



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## Σχεδιασμός Μεταλλικού Υπόστεγου έναντι Πυρκαγιάς



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κυρίσης Γ. Ιωάννης

Επιβλέπων: Ιωάννης Ραυτογιάννης

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

ΕΜΚ ΔΕ 2016/40

Κυρίτσης Ι.Γ. (2016).  
Σχεδιασμός Μεταλλικού Υπόστεγου έναντι Πυρκαγιάς  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2016/40  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ελλάδα

Kyritsis I.G. (2016).  
Fire Design of a Steel Shelter  
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2016/40  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

## Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων.....	1
Περίληψη.....	3
Abstract .....	4
Ευχαριστίες.....	5
1 Εισαγωγή .....	6
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	6
1.2 Περιστατικά Πυρκαγιών σε Αποθηκευτικούς Χώρους.....	6
1.3 Σκοπός της Εργασίας.....	8
2 Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	9
2.1 Δομικός Χάλυβας.....	9
2.2 Διατομές Ψυχρής Έλασης.....	10
2.3 Χάλυβας και Πυρκαγιά.....	11
2.4 Πυροπροστασία.....	12
2.4.1 Παθητική πυροπροστασία.....	12
2.4.2. Ενεργητική πυροπροστασία.....	13
2.5 Παθητική Πυροπροστασία σε Αποθήκες.....	13
2.5.1. Γενικά.....	13
2.5.2. Οδεύσεις Διαφυγής.....	14
2.5.3 Φωτισμός-Σήμανση.....	15
2.5.4 Σήμανση Οδεύσεων Διαφυγής.....	16
2.5.5 Δομική Πυροπροστασία.....	17
2.6 Ενεργητική Πυροπροστασία σε Αποθήκες.....	18
2.6.1 Πυρανίχνευση.....	18
2.6.2 Συναγερμός.....	19
2.6.3 Πυρόσβεση.....	20
2.7 Χαρακτηριστικά της Πυρκαγιάς.....	21
2.7.1 Χαρακτηριστικά του Διαμερίσματος Εκδήλωσης της Πυρκαγιάς.....	21
2.7.2 Πυροθερμικό Φορτίο.....	21
2.7.3 Είδος Πυρκαγιάς.....	23
2.7.4 Σχεδιασμός της Πυρκαγιάς.....	23
2.7.5 Μοντέλα Ανάπτυξης της Πυρκαγιάς.....	25
2.8 Μηχανικές Δράσεις σε Περίπτωση Πυρκαγιάς.....	29
3 Διαστασιολόγηση του Κτηρίου .....	31
3.1 Διαστάσεις και Διάταξη του Φορέα.....	31
3.1 Στοιχεία Ανέμου.....	31
3.1.1 Βασική ταχύτητα ανέμου:.....	31
3.1.2 Χαρακτηριστική πίεση ταχύτητας αιχμής.....	32
3.2 Στοιχεία Σεισμού.....	32
3.3 Διαστασιολόγηση.....	33
3.3.1 Μετωπικοί Στύλοι.....	33
3.3.2 Οριζόντιοι Σύνδεσμοι.....	33
3.3.3 Τεγίδες.....	34
3.3.4 Μηκίδες.....	34
3.3.5 Κατακόρυφοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας.....	34
3.3.6 Κεφαλοδοκός.....	34
3.3.7 Υποσύλωμα-Δοκός.....	34

3.4 Συνδέσεις Μελών.....	35
3.4.1 Σύνδεση Υποστυλωμάτων-Δοκών.....	35
3.4.2 Κατακόρυφοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας.....	35
3.4.3 Οριζόντιοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας.....	35
3.4.4 Μετωπικοί Στύλοι.....	36
3.4.5 Τεγίδες προς Δοκούς.....	36
3.4.6 Μηκίδες προς Υποστυλώματα και Μετωπικούς Στύλους.....	36
3.4.7 Φύλλα Επικάλυψης προς τεγίδες και μηκίδες και μεταξύ τους.....	36
3.5. Ενδεικτικά Σχέδια.....	36
4 Σχεδιασμός Έναντι Πυρκαγιάς.....	41
4.1 Πυροθερμικό Φορτίο.....	41
4.2 Παθητική Πυροπροστασία.....	41
4.2.1 Θεωρητικός Πληθυσμός.....	41
4.2.2 Οδεύσεις Διαφυγής – Έξοδοι Κινδύνου.....	41
4.2.3 Δομική Πυροπροστασία.....	42
4.2.4 Φωτισμός – Σήμανση.....	42
4.3 Ενεργητική Πυροπροστασία.....	42
4.3.1 Χειροκίνητο Σύστημα Συναγερμού.....	42
4.3.2 Πίνακας Επιτήρησης.....	42
4.3.3 Μπουτόν Συναγερμού.....	43
4.3.4 Καλωδιώσεις.....	43
4.3.5 Σύστημα Πυρανίχνευσης.....	43
4.3.6 Σειρήνα Συναγερμού με Ενσωματωμένη Λυχνία (Φάρος).....	43
4.3.7 Πυροσβεστήρες.....	44
4.3.8 Φωτιστικό Ασφαλείας.....	44
4.3.9 Δίκτυο Πυρόσβεσης.....	44
4.4 Μελέτη Εξάπλωσης της Πυρκαγιάς.....	45
4.4.1 Στοιχεία του Πυροδιαμερίσματος.....	45
4.4.2 Στοιχεία της Πυρκαγιάς.....	48
4.5 Ανάλυση των Διατομών.....	54
4.5.1 Διατομή HEA300 των Μετωπικών Στύλων.....	55
4.5.2 Διατομή HEA180 των Κεφαλοδοκών.....	59
4.5.3 Διατομή HEB360 των Υποστυλωμάτων και Δοκών.....	61
4.5.4 Διατομή UPN160 των Κατακόρυφων Συνδέσμων.....	63
4.5.5 Διατομή L100x100x8 των Οριζόντιων Συνδέσμων.....	66
4.5.6 Διατομή C180x70x8 των Μηκίδων.....	66
4.5.7 Διατομή Z200x80x7 των τεγίδων.....	66
4.6 Συνδέσεις.....	66
4.6.1 Κοχλίες Κατακόρυφων Συνδέσμων.....	67
4.6.2 Κοχλίες Τεγίδων.....	67
5 Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	68
5.1 Φορέας.....	68
5.2 Ανάλυση της Πυρκαγιάς.....	68
5.3 Παθητική και Ενεργητική Πυροπροστασία.....	68
6 Βιβλιογραφία.....	70

## Σχεδιασμός μεταλλικού υπόστεγου έναντι πυρκαγιάς

Κυρίτσης Γ. Ιωάννης (Επιβλέπων Ραυτογιάννης Ι.)

### Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός μεταλλικής αποθήκης σε πυρκαγιά. Για το σκοπό αυτό, έγινε πρώτα διαστασιολόγηση των διατομών της αποθήκης και των συνδέσεων τους σε οριακή κατάσταση αστοχίας. Στη συνέχεια βρέθηκε το πυροθερμικό φορτίο και έγινε μελέτη παθητικής και ενεργητικής πυροπροστασίας, σύμφωνα με τις κατάλληλες πυροσβεστικές διατάξεις.

Αφού όλες οι ζητούμενες παράμετροι βρέθηκαν, υπολογίστηκε η πυκνότητα σχεδιασμού του πυροθερμικού φορτίου, ο Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας και η θερμοκρασιακή μεταβολή στο πυροδιαμέρισμα. Στη συνέχεια, προσθέτοντας την απαιτούμενη μόνωση, υπολογίστηκε η αύξηση θερμοκρασίας του κάθε μέλους, σύμφωνα με τους κανονισμούς του Eurocode για την πυροπροστασία, και ελέγχθηκε η επάρκεια τους σε συνθήκες πυρκαγιάς. Για την ανάλυση και την εύρεση πολλών παραμέτρων, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα σχεδιασμού σε πυρκαγιά OZone του Πανεπιστημίου της Λιέγης.

### ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

Μεταλλικό Υπόστεγο, Πυροπροστασία, Πυρασφάλεια, Πυροθερμικό Φορτίο, Ρυθμός Έκλυσης Θερμότητας, Πυροδιαμέρισμα, OZone.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS  
EMK ΔΕ 2016/40

## **Fire design of a steel shelter**

Kyritsis G. Ioannis (Supervised by Raftoyiannis I.)

### **Abstract**

The object of this thesis is the fire design of a steel warehouse. For this purpose, the steel members and their corresponding connections were profiled based on the ultimate limit state. The fire load was then calculated and passive and active fire protection measures were taken, according to the proper fire security Annex.

After every necessary parameter was determined, the design fire load density, the Rate of Heat Release and the temperature change of the fire compartment were assessed. Continuing by applying the required fire insulation, the temperature rise of each member was calculated based on the Eurocode fire design Annex and their sufficiency to imposed loads during a fire. For the analysis and determination of many of the parameters, the fire modeling program created by the University of Liege, OZone, was used.

### **KEY WORDS**

Steel Shelter, Fire security, Fire design, Fire load, Fire compartment, RHR, OZone.

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου κύριο Ι. Ραυτογιάννη, καθώς και τους φίλους μου  
Αλέκο, Γρηγόρη, Γιώργο, Χαράλαμπο και Στέφανο.

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η σημασία της αποθήκευσης αγαθών είναι γνωστή στον άνθρωπο από την προϊστορική περίοδο. Οι σιταποθήκες εμφανιστήκαν πρακτικά την ίδια περίοδο που εμφανίστηκε η σιτοκαλλιέργεια, με προφανή σκοπό, την αποθήκευση σίτου σε περιόδους αφθονίας ώστε να χρησιμοποιηθεί/πωληθεί σε περιόδους ελλείψεως.

Ακολουθώντας την ανάπτυξη μεταφορικών συστημάτων (καραβάνια, πλοία) και υποδομών (λιμάνια, δρόμοι), οι αποθήκες μεταλλάχθηκαν σε ενδιάμεσους και τερματικούς σταθμούς τροφίμων. Η Βιομηχανική Επανάσταση, με την μετατροπή των βιοτεχνιών σε βιομηχανίες, έφερε ραγδαίες αλλαγές στο μέγεθος της παραγωγής. Η μαζική παραγωγή, δημιούργησε μεγάλη ανισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Ο ρόλος της αποθήκης αναβαθμίστηκε σε «βαλβίδα ασφαλείας», σε μέσο εξισορρόπησης. Η αποθήκη η ίδια, μεταφέρθηκε από το εργοστασιακό συγκρότημα κοντά στην αγορά, παίζοντας ενεργό ρόλο στη διανομή των προϊόντων.

Κατά τον 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο, η εμφάνιση μηχανοποιημένου εξοπλισμού (κλαρκ) και των ξύλινων παλετών επέτρεψε στην καθ' ύψος στοίχιση των εμπορευμάτων να διπλασιαστεί, ακόμα και να τριπλασιαστεί. Μαζί με την αύξηση του εργατικού κόστους, ως οικονομική επίπτωση του πολέμου, οι εφευρέσεις αυτές είχαν ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση από τις πολυώροφες αποθήκες και την αντικατάστασή τους από μονώροφες με μεγάλη επιφάνεια. Αυτή η ανάγκη για ανοιχτές εκτάσεις, οδήγησε στη μεταφορά των αποθηκών από τους σιδηροδρομικούς σταθμούς στα περίχωρα των πόλεων. Οι δυνατότητες του κλαρκ, έθεσαν και τα όρια στα ύψη των αποθηκών, που κυμάνθηκαν μεταξύ των 6 και 9 μέτρων.

Με την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας, νέοι τρόποι διαχείρισης των εμπορευμάτων κάνουν την εμφάνισή τους, με πιο σημαντικούς τα ανυψωτικά μηχανήματα, τους ιμάντες μεταφοράς, τις γερανογέφυρες κ.ά.

## 1.2 Περιστατικά Πυρκαγιών σε Αποθηκευτικούς Χώρους

Στις αποθήκες παρατηρείται συνύπαρξη μη ομοειδών εμπορευμάτων και υλικών (πλαστικό και ξύλο σχεδόν πάντα παρόντα), συνεχής φόρτωση, εκφόρτωση και άλλες δραστηριότητες σχετικές με τη μεταφορά των αγαθών. Διατηρούν πάντα ένα μεγάλο αριθμό εύφλεκτων προϊόντων και κατά συνέπεια, ένα ασυνήθιστα μεγάλο πυροθερμικό φορτίο. Λόγω της μεγάλης ποσότητας εμπορευμάτων και την πιθανή βλαβερή φύση τους, η φωτιά μπορεί να προκαλέσει σημαντικές περιβαλλοντικές ζημιές.

Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα υπάρχουν αρκετά:

- Η φωτιά του Sandoz στην περιφέρεια της Βασιλείας στην Ελβετία (1986), όπου 1300 τόνοι αγροτοχημικά, μεταφερόμενα από το νερό της πυρόσβεσης, χύθηκαν στον Ρήνο. Αποτέλεσμα αυτής της μόλυνσης ήταν, εκτός της μεταχρωμάτισης των νερών του ποταμού σε κόκκινα, ο θάνατος εκατοντάδων χιλιάδων ψαριών και ο πλήρης αφανισμός μερικών ειδών. Κανένας κανονισμός της



ΕΕ εκείνη την εποχή, αγνοώντας το γεγονός πως η Ελβετία δεν είναι μέλος της, δεν θα μπορούσε να έχει αποτρέψει τη φωτιά. Το περιστατικό αυτό ώθησε στην δημιουργία νέων κανονισμών σχετικών με την αποθήκευση επικίνδυνων χημικών.

- Το 1987, στο Οχάιο της Αμερικής, ξέσπασε φωτιά σε αποθήκη χρωμάτων εξοπλισμένη με την τελευταία λέξη της αντιπυρικής τεχνολογίας. Ωστόσο, τα συστήματα πυροπροστασίας δεν ανανεώθηκαν ούτε με την αλλαγή του είδους των κοντέινερ, ούτε όταν η ποσότητα και το ύψος αποθήκευσης ξεπέρασαν τα σχεδιαστικά όρια. Οι φόβοι πως οι προσπάθειες πυρόσβεσης θα μόλυναν το νερό της περιοχής, ανάγκασε τις υπηρεσίες να αφήσουν την πυρκαγιά να εκτονωθεί και να σβήσει μόνη της. Οι ζημιές υπολογίζονται σε 105 εκατομμύρια σημερινά δολάρια.

- Τον Αύγουστο του 2000, στην Αριζόνα της Αμερικής, φωτιά κατέστρεψε αποθήκη που χρησιμοποιούταν από 2 εταιρείες: η μια ειδών σπιτιού και κήπου, η άλλη διανομής φαρμακευτικών. Η φωτιά ξεκίνησε από το τμήμα της αποθήκευσης ειδών κήπου. Ενώ οι αιτίες της φωτιάς δεν έχουν προσδιοριστεί, ερευνητές συμπέραναν πως τα οξειδωτικά πισίνας, πιθανόν να ήταν πολύ κοντά τοποθετημένα σε υλικά με βάση υδρογονάνθρακες (CH), δεν ήταν αποθηκευμένα σε κατάλληλα διαμορφωμένες συνθήκες, και οι ψεκασθήρες οροφής δεν ήταν επαρκείς για το είδος των εμπορευμάτων που ήταν αποθηκευμένα.



Σχήμα 1.1: Αποτελέσματα της πυρκαγιάς στο Sandoz

Σύμφωνα με στοιχεία της αμερικανικής NFPA (National Fire Protection Association), η πυροσβεστική υπηρεσία της χώρας, ανταποκρίνεται, κατά μέσο όρο, σε 1210 περιστατικά φωτιάς σε αποθήκες το χρόνο (εξαιρουμένων των αποθηκών κατεψυγμένων προϊόντων). Οι πυρκαγιές αυτές προκαλούν τον θάνατο τριών (3) πολιτών, τον τραυματισμό δεκαεννιά (19) και την καταστροφή περιουσίας αξίας 155 εκατομμυρίων ανά χρόνο. Κύριες αιτίες των πυρκαγιών αυτών είναι οι εμπρησμοί και η δυσλειτουργία ηλεκτρικών γραμμών /φωταγωγικών εξοπλισμών.

Ενώ ο αριθμός περιστατικών έχει μειωθεί κατά 74% μέσα σε 30 περίπου χρόνια (4700 το 1980, 1200 το 2013), η υλική ζημιά δεν παρουσιάζει ανάλογη μείωση, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τον πληθωρισμό (αυτό προφανώς οφείλεται στην πολυπλοκότητα και εξέλιξη των εμπορευμάτων ποιοτικά και ποσοτικά).

Συμπερασματικά, οι αποθήκες αποτελούν δυσκολότερες περιπτώσεις αποτελεσματικής πυροπροστασίας και αντιμετώπισης περιστατικών, λόγω των μεγάλων επιφανειών και ύψους τους, της διαρρύθμισής τους, του εξοπλισμού τους και των αποθηκευόμενων εμπορευμάτων. Εκτός από τα συστήματα ενεργητικής πυροπροστασίας (ψεκαστήρες, συναγερμοί κτλ.) η παθητική πυροπροστασία (οδοί διαφυγής, πυροδιαμερισματοποίηση) έχει πολύ σημαντικό ρόλο στην έγκαιρη αντιμετώπιση της φωτιάς ώστε να αποφευχθούν υλικές ζημιές και ζητήματα υγείας.

### 1.3 Σκοπός της Εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι η μελέτη πυρασφάλειας μιας αποθήκης κατασκευασμένης σχεδόν εξ' ολοκλήρου από μεταλλικά μέλη (το πάτωμα μόνο είναι από σκυρόδεμα).

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που θα είναι ο οδηγός στη μελέτη της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς μα και της επιρροής αυτής στα μέλη που απαρτίζουν την κατασκευή.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση των μελών του φορέα καθώς και των συνδέσεών τους. Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται η μελέτη της πυρκαγιάς και ο έλεγχος επάρκειας των διατομών.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των συμπερασμάτων και προτείνονται μερικές εναλλακτικές μέθοδοι προσέγγισης και επίλυσης του προβλήματος.

## 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Δομικός Χάλυβας

Ο δομικός χάλυβας είναι ένα κράμα με βασικό συστατικό το σίδηρο και μια πλειάδα άλλων στοιχείων, μεταλλικών και μη, που προσδιορίζουν τις χαρακτηριστικές ιδιότητές του. Το πιο σημαντικό από αυτά, ο άνθρακας, παρουσιάζεται σε ποσοστά 0,15%-0,29% και, μικρή διαφοροποίηση σε αυτήν την περιεκτικότητα μπορεί να δώσει μεγάλη αλλαγή στις ιδιότητες του υλικού. Άλλα στοιχεία που μπορούν να περιέχονται είναι ο Χαλκός, το Μαγγάνιο, το Θείο, το Πυρίτιο κτλ, κάποια επιθυμητά και κάποια μη.

Ο δομικός χάλυβας συνδυάζει έναν αριθμό μοναδικών χαρακτηριστικών που τον κάνουν την ιδεατή λύση για πάμπολλες εφαρμογές στον κατασκευαστικό τομέα.

Αρχικά, η μεγάλη αντοχή του συναρτήσεται του ίδιου βάρους, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του βάρους του φέροντα οργανισμού και την εξοικονόμηση χώρου και υλικού.

Επίσης, μας δίνει τη δυνατότητα και για ζεύξη μεγάλων ανοιγμάτων, χωρίς την ανάγκη ενδιάμεσης υποστήλωσης. Η ομογένεια του υλικού, δηλαδή η σταθερότητα των ιδιοτήτων του σε κάθε σημείο της μάζας του, εξασφαλίζει την ακρίβεια των παραδοχών ανάλυσης και των ελέγχων αντοχής.

Η κατάλληλη συντήρηση, αναδεικνύει την μονιμότητα των ιδιοτήτων του χάλυβα, που σχεδόν απειρίζεται τη διάρκεια ζωής του έργου. Η ελαστικότητα και η ολκιμότητά του, σημαίνουν πως μπορεί να συμπεριφέρεται ελαστικά μέχρι υψηλές τάσεις και να υπόκειται σε μεγάλες παραμορφώσεις χωρίς να αστοχεί. Η ολκιμότητα, επιτρέπει την ανάπτυξη τοπικής διαρροής σε σημεία όπου εμφανίζεται συγκέντρωση υψηλών τάσεων υπό τα φορτία σχεδιασμού, με αποτέλεσμα την ανακατανομή της έντασης και την πρόληψη της πρόωρης αστοχίας. Σε πιθανή υπερφόρτιση της κατασκευής, οι μεγάλες παραμορφώσεις, λόγω ολκιμότητας, είναι φανερές και οδηγούν στην πρόληψη της επερχόμενης αστοχίας.

Το μικρό βάρος συνεπάγεται μικρότερες αδρανειακές σεισμικές δυνάμεις. Σε συνδυασμό με την ικανότητα ανάπτυξης μεγάλων πλαστικών παραμορφώσεων, άρα την απορρόφηση σημαντικής ενέργειας, ο χάλυβας είναι ιδανικό υλικό για αντισεισμικές κατασκευές.

Η κατασκευή του χάλυβα σε βιομηχανίες και όχι στο εργοτάξιο, εκτός απ' την τυποποίησή του και κατά συνέπεια την ελεγχόμενη του ποιότητα, ελαττώνει το οικονομικό ρίσκο μιας ενδεχόμενης καθυστέρησης. Η δυνατότητα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησής του, εκτός από οικονομικά οφέλη, συνεισφέρει σημαντικά στην μείωση των περιβαλλοντικών βλαβών που μπορεί να προκαλέσει ο κατασκευαστικός τομέας.

Φυσικά, σαν κάθε υλικό, ο δομικός χάλυβας παρουσιάζει και μερικά μειονεκτήματα. Ένα πολύ σημαντικό, που θα είναι και το αντικείμενο μελέτης αυτής της διπλωματικής εργασίας, είναι η ευαισθησία του σε υψηλές θερμοκρασίες (αυτές που αναπτύσσονται κατά την πυρκαγιά) και κατά συνέπεια η ανάγκη λήψης αυξημένων μέτρων πυροπροστασίας.

Ο χάλυβας είναι επίσης περισσότερο επιρρεπής σε φαινόμενα αστάθειας, κάτι που σημαίνει αύξηση του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί σε θλιβόμενα στοιχεία για την αποφυγή του λυγισμού. Η βιομηχανοποίησή του, συνεπάγεται και αδυναμία

προσαρμογής του στις ιδιαίτερες επιταγές της κάθε κατασκευής, άρα την αναγκαστική προσαρμογή της κατασκευής στην όποια τυποποίηση.

Τελικώς, η έκθεσή του στο περιβάλλον, τον καθιστά υποκείμενο της διάβρωσης και έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση σκουριάς, άρα την απομείωση της αντοχής του. Η συχνή συντήρηση του, απαιτεί ακριβά «στοιχεία θυσιασμού», όπως το γαλβανισμό, η επάλειψη με χρώματα πλούσια σε ψευδάργυρο ή τη χρήση αντιοξειδωτικών βαφών.

## 2.2 Διατομές Ψυχρής Έλασης

Παλιότερα, η χρήση διατομών ψυχρής έλασης, περιοριζόταν στην αεροναυτική, στην κατασκευή σιδηροδρομικών οχημάτων και γενικώς μέσων μεταφοράς. Σιγά σιγά, άρχισαν να βρίσκουν εφαρμογή σαν επικαλύψεις ή δομικά υλικά δευτερεύουσας σημασίας. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας στον κατασκευαστικό τομέα, την βελτίωση της αντιοξειδωτικής και αντιπυρικής προστασίας και την αύξηση αντοχής του υλικού, οι διατομές ψυχρής έλασης απέκτησαν τόσο ευρεία εφαρμογή, που η βιομηχανία παραγωγής τους είναι ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος τομέας του βιομηχανικού χάλυβα. Πλέον βλέπουν χρήση στην κατασκευή οικιών, γραφείων και βιομηχανιών, στην ναυπηγική, ακόμα και στην πυρηνική και διαστημική βιομηχανία.

Πιο συγκεκριμένα, άλματα έχουν γίνει στην οικονομικότερη κατασκευή χαλυβδόφυλλων, επικαλυμμένα με αλουμίνιο ή ψευδάργυρο, τα οποία αργότερα μετατρέπονται σε λεπτότοιχες διατομές, μέσω της ψυχρής έλασης. Μελέτες έδειξαν πως η απώλεια επικάλυψης για γαλβανισμένα μέλη είναι επαρκώς χαμηλή, πρακτικά μηδενική, ώστε να είναι εγγυημένη η σχεδιαστική διάρκεια ζωής 60 ετών. Το πάχος τους κυμαίνεται από 3 ως 25mm και ο χρησιμοποιούμενος χάλυβας είναι αντοχής 250-550MPa, με τους χάλυβες υψηλότερης αντοχής να απαντώνται όλο και συχνότερα, καθώς εξελίσσεται η βιομηχανία παραγωγής τους.

Η χρήση λεπτότερων διατομών και υψηλότερης αντοχής χάλυβα, δημιουργεί προβλήματα που δε θα παρουσίαζε η χρήση του κοινού κατασκευαστικού χάλυβα. Η δομική αστάθεια τμημάτων είναι πιθανό να υπάρξει όπου έχουμε χρήση λεπτότοιχων διατομών, μιας και είναι ευκολότερη η εμφάνιση λυγισμού, και η υψηλή αντοχή του χάλυβα σχεδόν εξισώνει τις τάσεις λυγισμού και διαρροής.

Τα μέλη κατασκευάζονται με αναδίπλωση ή συμπίεση. Μπορούν να είναι λεπτότοιχες διατομές ή χαλυβδόφυλλα. Η αναδίπλωση χρησιμοποιείται στη μαζική παραγωγή, ενώ η συμπίεση στην παραγωγή μικρών ποσοτήτων και περισσότερο εξεζητημένων σχημάτων.

Συγκριτικά με τις διατομές θερμής έλασης, οι διατομές ψυχρής έλασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μικρότερα φορτία και διάρκεια ζωής. Σπανιότερες μορφές διάταξης παράγονται ευκολότερα μέσω της αναδίπλωσης/συμπίεσης με αποτέλεσμα την αυξημένη αναλογία αντοχής-βάρους. Τα χαλυβδόφυλλα μπορούν να παίζουν τον ρόλο τοίχων, οροφών και πατωμάτων, και η ιδιαίτερη μορφή τους να παράσχει προστασία σε ηλεκτρικούς και άλλους αγωγούς. Επίσης, πέραν της αντοχής τους σε φορτία κάθετα στην επιφάνειά τους, με την κατάλληλη διάταξη και σύνδεση, μπορούν να αποκτήσουν διαφραγματική λειτουργία.

Συγκριτικά με άλλα υλικά, όπως το σκυρόδεμα και το ξύλο, παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα που οδηγούν στη μείωση κόστους της κατασκευής. Το χαμηλό βάρος, η

υψηλή αντοχή και στιβαρότητά τους, η ικανότητα δημιουργίας μεγάλων ανοιγμάτων (έως και 12 μέτρα) είναι τα πιο φανερά. Επιπλέον, σαν τον χάλυβα θερμής έλασης, η βιομηχανικά τυποποιημένη κατασκευή και η ανακύκλωση τους, παρέχουν σημαντικά οικονομικά και χρονικά οφέλη και παραμένουν επί το πλείστον ανεπηρέαστα από τις καιρικές συνθήκες.

Ένα πρόβλημα που εμφανίζεται συχνά στις λεπτότοιχες διατομές, είναι ο λυγισμός. Ο τοπικός λυγισμός είναι ο πιο κοινός, με τον στρεπτοκαμπτικό να εμφανίζεται σε δοκούς και υποστυλώματα και τη στρέβλωση των πελμάτων στο ενδιάμεσο μήκος κύματος μεταξύ τοπικού και στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Η μεγάλη πιθανότητα τοπικού λυγισμού, σημαίνει και χαμηλή ολκιμότητα, άρα και απαγόρευση πλαστικού σχεδιασμού. Λόγω του μικρού πάχους κορμού, η θλίψη του είναι πιθανή, κάτω από υψηλά φορτία. Το μικρό πάχος των τοιχωμάτων αποτρέπει και την χρήση των συνηθισμένων μεθόδων σύνδεσης και απαιτεί πιο εξεζητημένους και ακριβούς τρόπους, όπως την σύνδεση με πρέσα. Τελικώς, όπως και ο κοινός χάλυβας, απαιτεί αυξημένη προστασία ενάντια στην πυρκαγιά και τη διάβρωση.

### 2.3 Χάλυβας και Πυρκαγιά

Η πυρκαγιά αποτελεί έναν σοβαρότατο κίνδυνο για τις κατασκευές γενικά, καθώς η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, πιο συγκεκριμένα, σε απώλεια αντοχής και δυσκαμψίας. Ο κίνδυνος αυτός, είναι αυξημένος στον δομικό χάλυβα, μιας και είναι ένα υλικό με μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και μικρό πάχος.

Σε θερμοκρασίες άνω των 300C, οι μεταβολές στις μηχανικές ιδιότητες, αρχίζουν να γίνονται εμφανείς. Στους 600C, η δυσκαμψία έχει μειωθεί κατά 70% και η αντοχή κατά 50%, ενώ στους 900C είναι πρακτικώς μηδενικές.

Μια πυρκαγιά σε ένα κτήριο, αναπτύσσεται σύμφωνα με τη μάζα του καιόμενου υλικού, την ταχύτητα καύσης του και τις συνθήκες αερισμού. Η θερμοκρασία της κατασκευής αυξάνεται καθώς απορροφάει την εκλυόμενη ενέργεια αλλά και με την έκθεσή της στην ακτινοβολία της φωτιάς.

Ο αντιπυρικός σχεδιασμός μιας κατασκευής, έχει ως κύριο σκοπό τον προσδιορισμό του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ της έναρξης της φωτιάς και της κατάρρευσής της. Ο χρόνος αυτός, είναι ο δείκτης πυραντίστασης της κατασκευής. Σημαντικοί στόχοι του σχεδιασμού είναι φυσικά και ο περιορισμός της πρόκλησης και διάδοσης φωτιάς και καπνού μέσα στο κτήριο, ο εμποδισμός διάδοσής της σε γειτονικές κατασκευές, η έγκαιρη και ασφαλής εγκατάλειψη του κτηρίου από τους χρήστες του και η ασφάλεια και αποδοτικότητα των ομάδων διάσωσης και αντιμετώπισης του κινδύνου.

Οι συνηθέστερες βλάβες που παρουσιάζονται στις κατασκευές, μετά από την έκθεση σε πυρκαγιά είναι ο τοπικός λυγισμός των ελεύθερων πελμάτων των δοκών, των κεφαλών των υποστυλωμάτων, η εμφάνιση μεγάλων πλαστικών παραμορφώσεων, ο λυγισμός των διαγώνιων συνδέσμων δυσκαμψίας και η θραύση των κοχλίων.



## 2.4 Πυροπροστασία

Με τον όρο πυροπροστασία εννοούμε το σύνολο των μέτρων που λαμβάνονται για την προστασία από τη φωτιά και τις συνέπειές της. Μέτρα πυροπροστασίας λαμβάνονται σε οχήματα, πλοία, αεροπλάνα και κτήρια.

Μέτρα πυροπροστασίας προβλέπονται από τη νομοθεσία κάθε χώρας κατά την μελέτη και κατασκευή ενός κτηρίου και αποβλέπουν αφενός στην πρόληψη του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς στο κτήριο και αφετέρου στην αντιμετώπιση της πυρκαγιάς σε περίπτωση που αυτή εκδηλωθεί. Κατά την σχεδίαση ενός κτιρίου από τους μελετητές (αρχιτέκτονα, πολιτικό μηχανικό, μηχανολόγο μηχανικό, τοπογράφο μηχανικό, γεωλόγο) μεταξύ των άλλων αντιμετωπίζεται και το θέμα της πρόληψης και αντιμετώπισης της πιθανότητας εμφάνισης πυρκαγιάς. Τα μέτρα που λαμβάνονται είναι 2 κατηγοριών: Μέτρα παθητικής πυροπροστασίας και μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας.

### 2.4.1 Παθητική πυροπροστασία

Η παθητική πυροπροστασία ενός κτηρίου αποβλέπει στον έλεγχο της εξάπλωσης της πυρκαγιάς και στην έγκαιρη εκκένωση του κτηρίου από όσους βρίσκονται μέσα σε αυτό κατά την εκδήλωση της πυρκαγιάς. Τα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας αποτελούν την δομική πυροπροστασία του κτηρίου και είναι ενσωματωμένα στην αρχιτεκτονική και στατική σχεδίαση και κατασκευή του κτηρίου (αρχιτέκτονας, πολιτικός μηχανικός).

Στα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας περιλαμβάνονται (για όλα τα κτίρια):

- μέτρα για μη εξάπλωση της πυρκαγιάς εντός του κτηρίου
- μέτρα για μη εξάπλωση της πυρκαγιάς εκτός του κτηρίου
- η επάρκεια και αντοχή των δομικών στοιχείων του κτηρίου στην πυρκαγιά για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να είναι δυνατή η έγκαιρη εκκένωσή του
- κατάλληλη σχεδίαση των οδύσεων διαφυγής και των εξόδων κινδύνου

Σύμφωνα με τον ορισμό που έχει δοθεί, Δομική Πυροπροστασία είναι το σύνολο των μέτρων, εργασιών και κατασκευών, που βασισμένες σε προσεκτική μελέτη όσων διαδραματίζονται στις πυρκαγιές κτηρίων, επιτρέπουν την πυρασφαλή σχεδίαση των δομικών κατασκευών.

Με τη δομική πυροπροστασία επιδιώκεται να γίνουν οι κατάλληλες προβλέψεις ώστε, σε περίπτωση πυρκαγιάς, να διασφαλίζονται οι ανθρώπινες ζωές και τα αποτελέσματα της να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο καταστρεπτικά για τους ενοίκους, το άψυχο περιεχόμενο, αυτό το ίδιο το κτήριο και την περιοχή που το περιβάλλει, ακόμη και αν δεν γίνει επέμβαση για κατάσβεση του πυρός, με τα μέσα της ενεργού πυροπροστασίας. Επειδή αναφέρεται σε κατασκευαστικές προβλέψεις χαρακτηρίζεται σαν «παθητική» πυροπροστασία, σε αντίθεση με την «ενεργητική» πυροπροστασία που αναφέρεται σ' ένα σύνολο προβλέψεων και κατασκευών που λειτουργούν μετά την εκδήλωση της πυρκαγιάς.

Τα θέματα της «παθητικής» πυροπροστασίας απασχολούν σημαντικό αριθμό ερευνητών και τα κυριότερα συμπεράσματα των σχετικών προσπαθειών επιβάλλονται νομοθετικά σαν διατάξεις οικοδομικών κανονισμών, σε συνδυασμό με την ειδική χρήση κάθε κατηγορίας κτιρίων.

## 2.4.2. Ενεργητική πυροπροστασία

Η ενεργητική πυροπροστασία ενός κτηρίου αποβλέπει στην αντιμετώπιση και καταστολή της πυρκαγιάς σε περίπτωση που αυτή εκδηλωθεί. Τα προβλεπόμενα από τον μελετητή μέτρα αφορούν τον εξοπλισμό και τις προγραμματισμένες ενέργειες που ενεργοποιούνται αν εμφανιστεί και κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς.

Στα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας περιλαμβάνονται (ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του κτηρίου):

- τοποθέτηση φορητών μέσων πυρόσβεσης (πυροσβεστήρες)
- τοποθέτηση συστήματος πυρανίχνευσης
- τοποθέτηση χειροκίνητου συστήματος συναγερμού (κομβία συναγερμού)
- τοποθέτηση μονίμου υδροδοτικού πυροσβεστικού δικτύου (πυροσβεστικές φωλιές)
- τοποθέτηση συστήματος καταιονητήρων (sprinklers).

Παρακάτω βλέπουμε πιο συγκεκριμένα τα μέτρα παθητικής και ενεργητικής πυροπροστασίας.

## 2.5 Παθητική Πυροπροστασία σε Αποθήκες

### 2.5.1. Γενικά

Οι αποθήκες υπάγονται στο Άρθρο 11 της αντιπυρικής νομοθεσίας (κτήρια ή τμήματα κτηρίων που στεγάζουν βιομηχανίες, βιοτεχνίες, εργαστήρια, αποθήκες κάθε είδους κλπ., στις οποίες παράγονται ή επεξεργάζονται διάφορα προϊόντα και αποθηκεύονται πρώτες ύλες ή άλλα αγαθά).

Οι βιομηχανίες, βιοτεχνίες και αποθήκες κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την επικινδυνότητά τους σε σχέση με την εκδήλωση πυρκαγιάς, σύμφωνα με το παράρτημα της Απόφασης 5905/12-6-95 Υπουργού Βιομηχανίας Ενέργειας και Τεχνολογίας, όπως ισχύει κάθε φορά:

*Z<sub>1</sub>: χαμηλού βαθμού κινδύνου (Αα, Βα, Ca, D της απόφασης 5905)*

*Z<sub>2</sub>: μέσου βαθμού κινδύνου (Αβ, Ββ, Cβ της απόφασης 5905)*

*Z<sub>3</sub>: υψηλού βαθμού κινδύνου (Αγ, Βγ, Cγ της απόφασης 5905)*

Ιδιαίτερα για τις αποθήκες, η κατάταξη μπορεί να γίνει ορθότερα με βάση τη μέση πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου, εφόσον αυτό παραμένει σχετικά σταθερό, ως εξής:

*Z<sub>1</sub>: πυροθερμικό φορτίο <1000 MJ/m<sup>2</sup>*

*Z<sub>2</sub>: πυροθερμικό φορτίο 1000-2000 MJ/m<sup>2</sup>*

*Z<sub>3</sub>: πυροθερμικό φορτίο >2000 MJ/m<sup>2</sup>*

## 2.5.2. Οδεύσεις Διαφυγής

### 2.5.2.α Στόχος

Ο κύριος στόχος του σχεδιασμού των οδεύσεων διαφυγής σε ένα κτήριο είναι η επίτευξη ασφαλούς εκκένωσης όλων των ενοίκων, σε περίπτωση πυρκαγιάς. Οι οδεύσεις διαφυγής πρέπει να παραμένουν ασφαλείς και αποτελεσματικές για τη χρονική διάρκεια που χρειάζονται και να είναι σαφώς αντιληπτές και προσπελάσιμες απ' όλους τους χρήστες. Η χρήση του κτηρίου και οι ανάγκες των ενοίκων καθορίζουν τον τρόπο σχεδιασμού, τη διαστασιολόγηση, καθώς και τη θέση των οδεύσεων διαφυγής.

### 2.5.2.β Σχεδιασμός

Ο πληθυσμός ενός κτηρίου της κατηγορίας Z μπορεί να υπολογιστεί με το μέγιστο προβλεπόμενο αριθμό των ατόμων που πρόκειται να χρησιμοποιήσουν τον χώρο, εφόσον αυτό μπορεί να καθοριστεί με σαφήνεια. Σε αντίθετη περίπτωση, ο θεωρητικός πληθυσμός υπολογίζεται για τις αποθήκες με την αναλογία ενός ατόμου ανά 40m<sup>2</sup> μικτής επιφάνειας. Στη συνολική επιφάνεια συμπεριλαμβάνονται και οι ανοιχτοί εξώστες (πατάρια) που πιθανόν να υπάρχουν στις αίθουσες.

Το πλάτος των τελικών εξόδων στον όροφο ή στο επίπεδο εκκένωσης πρέπει να επαρκεί για το άθροισμα των παροχών α+β+γ όπου:

A) παροχή κλιμακοστασίων και ραμπών από υπερκείμενους ορόφους ή επίπεδα

B) παροχή κλιμακοστασίων και ραμπών από υποκείμενους ορόφους ή επίπεδα

Γ) παροχή από τον ίδιο όροφο ή επίπεδο εκκένωσης

Η παροχή ανά μονάδα πλάτους (0.60 του μέτρου) καθορίζεται σε 100 άτομα για τις οριζόντιες οδεύσεις (διάδρομοι-πόρτες) και σε 75 άτομα για τις κατακόρυφες οδεύσεις (σκάλες-ράμπες). Το ελάχιστο πλάτος των οδεύσεων διαφυγής ορίζεται σε 1.00 μέτρο, ενώ το ελάχιστο ελεύθερο πλάτος για τις πόρτες των οδεύσεων διαφυγής είναι 0.85 του μέτρου και για τους χώρους υγιεινής 0.75 του μέτρου. Το ελεύθερο ύψος των χώρων όπου περνά οδευση διαφυγής, πρέπει να είναι τουλάχιστον 2.20 μέτρα, ενώ για τις σκάλες, δοκούς, ανώφλια θυρών μπορεί να είναι 2.00 μέτρα. Κάθε πόρτα που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί σαν έξοδος κινδύνου, πρέπει να βρίσκεται σε θέση κατάλληλη έτσι ώστε η πορεία διαφυγής να είναι προφανής και πραγματοποιήσιμη. Το δάπεδο και απ' τις 2 πλευρές κάθε πόρτας πρέπει να είναι επίπεδο και να βρίσκεται στην ίδια στάθμη. Κατ' εξαίρεση, όταν η πόρτα οδηγεί προς το ύπαιθρο ή προς εσωτερικό εξώστη ή προς την τελική έξοδο, επιτρέπεται η στάθμη του δαπέδου στην εξωτερική μεριά της πόρτας να βρίσκεται μέχρι και 0.20 του μέτρου χαμηλότερα σε σχέση με την εσωτερική στάθμη.

Κάθε πόρτα που εξυπηρετεί σαν έξοδος κινδύνου, πρέπει να ανοίγει προς την κατεύθυνση της διαφυγής παρέχοντας το πλήρες πλάτος του ανοίγματός της. Μπορούν να εξαιρεθούν πόρτες που εξυπηρετούν χώρους χαμηλού βαθμού κινδύνου και συνολικό πληθυσμό που δεν ξεπερνά τα 50 άτομα.

Επίσης, κάθε πόρτα πρέπει να έχει κατάλληλο εξοπλισμό, έτσι ώστε να ανοίγει αμέσως προς την πλευρά διαφυγής της οδευσης διαφυγής. Σύρτες ή άλλα μέσα



ασφαλίσεως της πόρτας πρέπει να έχουν χειρολαβές ευκολόχρηστες ακόμα και στο σκοτάδι. Οι κλειδαριές, αν υπάρχουν, πρέπει να είναι τέτοιου τύπου ώστε να μην απαιτείται η χρησιμοποίηση κλειδιού για ν' ανοίξουν προς την κατεύθυνση της διαφυγής. Κάθε πόρτα που προβλέπεται να παραμένει κλειστή σε περίπτωση πυρκαγιάς (π.χ. πόρτα σε περίβλημα κλιμακοστασίου), πρέπει να είναι αυτοκλειόμενη και δεν επιτρέπεται να στερεώνεται σε θέση ανοιχτή.

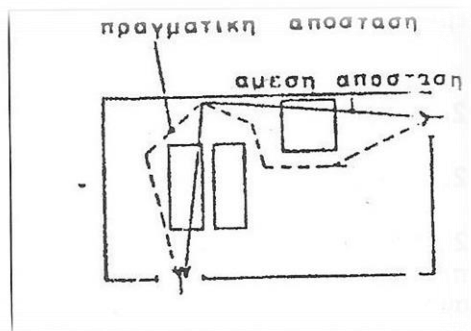
### 2.5.2.c Απόσταση διαφυγής-Διάταξη Εξόδων

Πραγματική απόσταση απροστάτευτης όδευσης διαφυγής, λέγεται το μήκος της πραγματικής πορείας, μη συμπεριλαμβανομένων των κινητών επίπλων, που πρέπει να διασχίσει το άτομο από τυχόν σημείο της κάτοψης του κτηρίου, μέχρι να φτάσει στην κοντινότερη έξοδο κινδύνου, δηλαδή στην αρχή μιας πυροπροστατευμένης όδευσης διαφυγής. Η πραγματική απόσταση, όπως και η άμεση απόσταση απροστάτευτης όδευσης, αναφέρονται συνήθως σε οριζόντια διαδρομή. Όταν όμως παρεμβάλλεται στην όδευση απροστάτευτο κλιμακοστάσιο, προστίθεται το ανάπτυγμα της σκάλας στη γραμμή ανάβασης, επαυξημένο κατά 50%.

Γενικά απαιτούνται τουλάχιστον 2 εξοδοί κινδύνου τοποθετημένες μεταξύ τους σε αποστάσεις σύμφωνες με την παρακάτω διάταξη

Πίνακας 2.1: Μέγιστες αποστάσεις οδεύσεων διαφυγής

Κατηγορία κτιρίου	Μέγιστα όρια	
	Πραγματική απόσταση	Άμεση απόσταση
Κτίρια Z <sub>1</sub>	60 μέτρα	35 μέτρα
Κτίρια Z <sub>2</sub>	45 μέτρα	25 μέτρα
Κτίρια Z <sub>3</sub>	25 μέτρα	15 μέτρα



### 2.5.3 Φωτισμός-Σήμανση

Ανάλογα με τις ειδικές διατάξεις για κάθε χρήση κτηρίου, όταν απαιτείται φωτισμός των οδεύσεων διαφυγής, πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες διατάξεις:

Ο φωτισμός των οδεύσεων διαφυγής (τεχνητός ή φυσικός) πρέπει να είναι συνεχής στο χρονικό διάστημα που το κτήριο βρίσκεται σε λειτουργία, παρέχοντας την ελάχιστη ένταση φωτισμού των 15 lux, ιδιαίτερα στα δάπεδα των οδεύσεων διαφυγής, συμπεριλαμβανομένων των γωνιών, των διασταυρώσεων διαδρόμων, των κλιμακοστασίων και κάθε πόρτα εξόδου διαφυγής.

### 2.5.3.a Πηγές Φωτισμού

Ο τεχνητός φωτισμός πρέπει να τροφοδοτείται από σίγουρες πηγές ενέργειας, όπως ηλεκτρικό ρεύμα από τη Δ.Ε.Η. Απαγορεύεται η χρησιμοποίηση φωτιστικών σωμάτων, που λειτουργούν με συσσωρευτές και η χρήση των φορητών στοιχείων για τον κανονικό φωτισμό των οδύσεων διαφυγής, όμως επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν ως βοηθητική πηγή ενέργειας, για το φωτισμό ασφαλείας. Απαγορεύεται να χρησιμοποιούνται φωσφορίζοντα ή αντανακλαστικά του φωτός στοιχεία ως υποκατάστατα των απαιτούμενων ηλεκτρικών φωτιστικών σωμάτων.

### 2.5.3.b Φωτισμός Ασφαλείας

Για κάθε κτήριο, όπου σύμφωνα με τις Ειδικές διατάξεις του, απαιτείται φωτισμός ασφαλείας στις οδύσεις διαφυγής, πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες παράγραφοι:

Α) Η διακοπή του φωτισμού, στη διάρκεια αλλαγής από μια πηγή ενέργειας σε άλλη, πρέπει να είναι ελάχιστη. Η επιτρεπόμενη διακοπή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 δευτερόλεπτα.

Β) Ο φωτισμός ασφαλείας πρέπει να τροφοδοτείται από σίγουρη εφεδρική πηγή ενέργειας, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται σε όλα τα σημεία του δαπέδου των οδύσεων διαφυγής η ελάχιστη τιμή των 10 lux, μετρούμενη στη στάθμη του δαπέδου.

Γ) Το σύστημα φωτισμού ασφαλείας πρέπει να διατηρεί τον απαιτούμενο φωτισμό για 1.5 τουλάχιστον ώρα (90 λεπτά), σε περίπτωση διακοπής του κανονικού φωτισμού.

### 2.5.4 Σήμανση Οδύσεων Διαφυγής

Η σήμανση των οδύσεων διαφυγής για όλα τα στάδια, εφόσον οι ειδικές διατάξεις των κτηρίων το απαιτούν, πρέπει να γίνεται με σήματα και ευανάγνωστες επιγραφές. Αυτή η σήμανση επιβάλλεται ιδιαίτερα όταν η έξοδος ή η όδευση διαφυγής δεν είναι άμεσα ορατή η αντιληπτή.

Κάθε σήμανση που απαιτείται σύμφωνα με την παραπάνω παράγραφο, πρέπει να είναι σύμφωνη με τις διατάξεις του Π.Δ. 422/8-6-79 «Περί συστήματος σηματοδότησεως ασφαλείας εις τους χώρους εργασίας» με τις συμπληρώσεις των παρακάτω παραγράφων:

Κάθε επιγραφή ή σήμα που δείχνει μια έξοδο ή πρόσβαση διαφυγής, πρέπει να είναι κατάλληλα τοποθετημένη έτσι ώστε να είναι άμεσα ορατή. Απαγορεύεται η τοποθέτηση διακόσμησης ή άλλου εξοπλισμού, που εμποδίζει την ορατότητα.

Σε κάθε θέση όπου η κατεύθυνση της όδευσης διαφυγής προς την πλησιέστερη έξοδο δεν είναι ορατή, πρέπει να τοποθετείται το σήμα διάσωσης γ, όπως προβλέπεται από το Π.Δ. 422/8-6-7-1979. Το μέγεθος και το χρώμα του σήματος προσδιορίζεται από το άρθρο 3, παράγ. 1γ του ίδιου Διατάγματος.

Επάνω από κάθε πόρτα εξόδου διαφυγής, πρέπει να τοποθετείται το σήμα διάσωσης ε του άρθρου 4 του ίδιου Π.Δ., με ύψος προσαυξημένο, έτσι ώστε να υπάρχει χώρος για τη λέξη έξοδος κάτω από το σύμβολο.

Κάθε πόρτα που σύμφωνα με τον κανονισμό πρέπει να παραμένει κλειστή σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας του κτηρίου, πρέπει να φέρει την επιγραφή «Η ΠΟΡΤΑ ΝΑ ΜΕΝΕΙ ΚΛΕΙΣΤΗ».

### 2.5.5 Δομική Πυροπροστασία

Έχει σκοπό τον περιορισμό των κινδύνων μερικής ή ολικής κατάρρευσης του κτηρίου εξαιτίας πυρκαγιάς, εξάπλωσης της φωτιάς μέσα στο κτήριο και μετάδοσής της σε γειτονικά κτήρια ή άλλες κατασκευές.

Ο φέρων οργανισμός των κτηρίων, πρέπει, σε περίπτωση πυρκαγιάς, να είναι ικανός να φέρει τα φορτία για τα οποία προορίζεται, για ένα χρονικό διάστημα που καθορίζεται από τον δείκτη πυραντίστασης στις ειδικές διατάξεις για κάθε χρήση κτηρίου. Η απαίτηση αυτή εφαρμόζεται τόσο στο σύνολο του φέροντος οργανισμού, όσο και στα επιμέρους δομικά στοιχεία που τον απαρτίζουν. Πιο συγκεκριμένα, για τις αποθήκες, ισχύουν οι παρακάτω περιοριστικές διατάξεις.

**Πίνακας 2.2: Επιτρεπόμενοι δείκτες πυραντίστασης**

ΕΛΑΧΙΣΤΟΙ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΥΡΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ				
Κατηγορία κτιρίου	Μονόροφα	Πολυόροφα	Υπόγεια	Εγκατάσταση* καταιονητήρων (συντελεστής)
<b>Βιομηχανίες</b>				
Z <sub>1</sub>	χωρίς απαίτηση	60 λεπτά	120 λεπτά	0,5
Z <sub>2</sub>	60 λεπτά	90 λεπτά	120 λεπτά	0,6
Z <sub>3</sub>	60 λεπτά	120 λεπτά	180 λεπτά	0,7
<b>Αποθήκες</b>				
Z <sub>1</sub>	60 λεπτά	90 λεπτά	120 λεπτά	0,5
Z <sub>2</sub>	120 λεπτά	180 λεπτά	180 λεπτά	0,5
Z <sub>3</sub>	180 λεπτά	240 λεπτά	240 λεπτά	0,5

\* Συντελεστής μείωσης για κάθε περίπτωση.

Ο έλεγχος της εξάπλωσης πυρκαγιάς μέσα σε ένα κτήριο επιδιώκεται με τον διαχωρισμό του σε πυροδιαμερίσματα και τη χρήση υλικών περιορισμένης αναφλεξιμότητας και καυστότητας, στα διάφορα δομικά στοιχεία και στα εσωτερικά τελειώματα. Για τις αποθήκες, το μέγιστο εμβαδό πυροδιαμερισμάτων δίνεται από τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.3: Μέγιστα εμβαδά πυροδιαμερισμάτων

ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ				
Κατηγορία κτηρίου	Μονόροφα	Πολυόροφα	Υπόγεια	Εγκατάσταση* καταιονητήρων (συντελεστής)
<b>Βιομηχανίες</b>				
Z <sub>1</sub>	5.000 τ. μ.	500 τ. μ.	700 τ. μ.	2,5
Z <sub>2</sub>	2.500 τ. μ.	500 τ. μ.	500 τ. μ.	2,0
Z <sub>3</sub>	2.000 τ. μ.	500 τ. μ.	300 τ. μ.	2,0
<b>Αποθήκες</b>				
Z <sub>1</sub>	2.500 τ. μ.	500 τ. μ.	300 τ. μ.	4,0
Z <sub>2</sub>	2.500 τ. μ.	500 τ. μ.	300 τ. μ.	2,0
Z <sub>3</sub>	1.000 τ. μ.	300 τ. μ.	200 τ. μ.	2,0

\* Συντελεστής αύξησης για κάθε περίπτωση.

Θα πρέπει επίσης ο όγκος του πυροδιαμερίσματος να μην ξεπερνά τα 15000 κυβικά μέτρα για μονώροφες και τα 3000 κυβικά μέτρα για πολυώροφες αποθήκες.

Οι απαιτήσεις για τους παραπάνω δείκτες πυραντίστασης θα πρέπει να ισχύουν και για περιβλήματα πυροπροστατευμένων οδύσεων διαφυγής ή πυροπροστατευμένων προθαλάμων, καθώς και για τοίχους που διαχωρίζουν τμήματα διαφορετικής ιδιοκτησίας ή διαφορετικών χρήσεων. Σε όλες τις περιπτώσεις ο τοίχος δεν επιτρέπεται να έχει δείκτη πυραντίστασης μικρότερο των 60 λεπτών.

Τα μέγιστα όρια εμβαδών πυροδιαμερίσματος μπορούν να αυξηθούν κατά 25% και 50% αντίστοιχα, όταν 50% ή 100% της περιμέτρου του κτηρίου είναι ελεύθερο για την προσπέλαση των πυροσβεστικών οχημάτων, με την προϋπόθεση ύπαρξης οργανωμένης Π.Υ. στην περιοχή.

Οι τοίχοι και τα πατώματα πυροδιαμερισμάτων, καθώς και οι εξωτερικοί τοίχοι, πρέπει να δομούνται έτσι ώστε να εμπλέκονται στις συναντήσεις τους, για να μην είναι εύκολη η διείσδυση των φλογών.

Όλα τα κουφώματα σε τοίχους πυροδιαμερισμάτων ή σε πυροπροστατευμένα φρέατα πρέπει να είναι πυράντοχα, με δείκτη πυραντίστασης τον απαιτούμενο για τον αντίστοιχο τοίχο. Σε περίπτωση που η επιφάνεια όλων των κουφωμάτων ενός ορόφου είναι μικρότερη από το 25% της αντίστοιχης συνολικής επιφάνειας των τοίχων, και ο απαιτούμενος δείκτης πυραντίστασης είναι ίσος ή μεγαλύτερος των 90 λεπτών, επιτρέπεται να μειώνεται ο δείκτης πυραντίστασης των πυράντοχων κουφωμάτων κατά 30 λεπτά. Τα πυράντοχα κουφώματα πρέπει να είναι αυτοκλειόμενα. Επιτρέπεται η χρήση υαλοπινάκων, με ενσωματωμένο συρματόπλεγμα, σε πυράντοχα κουφώματα, έτσι ώστε σε καμία περίπτωση ο δείκτης πυραντίστασης να είναι μικρότερος των 30 λεπτών.

## 2.6 Ενεργητική Πυροπροστασία σε Αποθήκες

### 2.6.1 Πυρανίχνευση

Σε αποθήκες της κατηγορίας Z<sub>2</sub> με συνολικό εμβαδό μεγαλύτερο από 2000m<sup>2</sup> και σε όλα τα κτήρια της κατηγορίας Z<sub>3</sub> ανεξάρτητα από τον πληθυσμό, τοποθετείται αυτόματο σύστημα πυρανίχνευσης. Σκοπός της εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος είναι η έγκαιρη ανίχνευση και η σήμανση συναγερμού, που γίνεται με οπτικά και ηχητικά μέσα, στην ελεγχόμενη περιοχή ή σ' ένα πίνακα ενδείξεων τοποθετημένο σε ειδικό χώρο ελέγχου. Η τοποθέτηση συστήματος αυτόματης ανίχνευσης απαλλάσσει από την ανάγκη τοποθέτησης χειροκίνητου συστήματος. Σε περίπτωση που τοποθετούνται και τα 2 πρέπει οπωσδήποτε να συνδέονται μεταξύ τους.

Εκτός των ανιχνευτών πυρκαγιάς, άλλα αυτόματα μέσα πρόκλησης σημάτων είναι οι συσκευές διαπίστωσης ροής σε αυτόματο σύστημα πυρόσβεσης, οι συσκευές παρακολούθησης της ετοιμότητας λειτουργίας του αυτόματου συστήματος πυρόσβεσης κ.ά.

Ένα σύστημα πυρανίχνευσης πρέπει να περιλαμβάνει πίνακα, καλωδιώσεις, ανιχνευτές, φωτεινούς επαναλήπτες, σειρήνες συναγερμού, ένδειξη ενεργοποίησης χειροκίνητου συστήματος και εφεδρική πηγή ενέργειας.

### **2.6.1.α Μέσα πυρανίχνευσης**

Επιτρέπεται η αιτιολογημένη χρήση όλων των κυκλοφορούντων, σύμφωνα με εγκεκριμένες προδιαγραφές, ανιχνευτών, όπως ανιχνευτών θερμότητας, καπνού (τύπου ιονισμού ή φωτοηλεκτρικού), φλόγας, αερίων, σημειακών, πολυσημειακών ή γραμμικών κλπ.

Κάθε κεφαλή σημειακού ανιχνευτή θερμότητας δεν πρέπει να καλύπτει επιφάνεια δαπέδου μεγαλύτερη των 100m<sup>2</sup>. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ 2 ανιχνευτών είναι 13m ενώ η μέγιστη απόσταση τοποθέτησης από τον τοίχο είναι 6m.

Ανάλογα, κάθε σημειακός ανιχνευτής καπνού δεν μπορεί να καλύπτει επιφάνεια μεγαλύτερη των 50m<sup>2</sup>, η δε μέγιστη απόσταση μεταξύ 2 ανιχνευτών είναι 10m (15m για διαδρόμους) και η μέγιστη απόσταση από τον τοίχο 3.5m.

Σε χώρους με μεγάλο ελεύθερο ύψος γίνεται συνδυασμός ανιχνευτών καπνού-θερμότητας, έτσι ώστε αν δεν ενεργοποιηθεί ο ανιχνευτής καπνού να ενεργοποιηθεί ο ανιχνευτής θερμότητας, εκτός εξαιρέσεων μετά από έγκριση την ελέγχουσας αρχής.

### **2.6.2 Συναγερμός**

Απαιτείται τοποθέτηση χειροκίνητου ηλεκτρικού συστήματος σε πολώροφα κτήρια με συνολικό πληθυσμό μεγαλύτερο από 100 άτομα ή πληθυσμό ορόφου μεγαλύτερο από 30 άτομα.

Σε περίπτωση πυρκαγιάς ο συναγερμός προκαλείται με φωνητική επικοινωνία, χειροκίνητα μέσα ή/και με αυτόματα μέσα. Οι συσκευές συναγερμού που εκπέμπουν ηχητικά σήματα πρέπει να έχουν τέτοια χαρακτηριστικά και να είναι κατανοητές με τέτοιο τρόπο ώστε τα σήματα να υπερισχύουν της μέγιστης στάθμης θορύβου που υπάρχει σε κανονικές συνθήκες και να ξεχωρίζουν από τα ηχητικά σήματα άλλων συσκευών στον ίδιο χώρο.



### 2.6.2.α Χειροκίνητα Ηλεκτρικά Μέσα

Οι ηλεκτρικοί αγγελτήρες πυρκαγιάς πρέπει να τοποθετούνται σε προσιτά και φανερά σημεία των οδούσεων διαφυγής, σε κουτί με σταθερό γυάλινο κάλυμμα. Οι αγγελτήρες τοποθετούνται κοντά στο κλιμακοστάσιο ή στην έξοδο κινδύνου. Η πίεση του ηλεκτρικού κουμπιού μετά από το σπάσιμο του καλύμματος ενεργοποιεί σειρήνα συναγερμού που είναι συνδεδεμένη με το κύκλωμα.

Τα αυτόματα μέσα πρόκλησης συναγερμού που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.3.1. ενεργοποιούνται με την εμφάνιση πυρκαγιάς ή την πρόκληση βλάβης στο αντίστοιχο σύστημα και μεταδίδουν ηχητικά σήματα με σειρήνες συναγερμού. Όπου από ειδικές διατάξεις απαιτείται η αυτόματη ειδοποίηση της Π.Υ., πρέπει το σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς να προβλέπει αυτόματη διαβίβαση του σήματος συναγερμού στον πλησιέστερο Πυροσβεστικό Σταθμό.

### 2.6.3 Πυρόσβεση

Αυτόματο σύστημα πυρόσβεσης απαιτείται σε όλα τα κτήρια κατηγορίας  $Z_3$  και σε αποθήκες της κατηγορίας  $Z_2$ , εφόσον το συνολικό εμβαδόν τους ξεπερνά τα  $2000\text{m}^2$ . Το κατασβεστικό μέσο πρέπει να είναι κατάλληλο για τα υλικά που πρόκειται να κατασβήσει. Οι εγκαταστάσεις καταιονισμού SPRINKLER SYSTEMS μπορεί να είναι

- εγκαταστάσεις υγρού τύπου, όπου οι σωληνώσεις έχουν διαρκώς νερό υπό πίεση
- εγκαταστάσεις ξηρού τύπου, όπου οι σωληνώσεις περιέχουν ατμοσφαιρικό αέρα ή άζωτο (N) πάνω από το διάγραμμα της βαλβίδας ξηρού τύπου και νερό κάτω από αυτό.
- εγκαταστάσεις προενέργειας, οι οποίες αποτελούνται από συνδυασμό ανιχνευτών και σωληνώσεων που καταλήγουν στους καταιονητήρες. Το νερό εισέρχεται στις σωληνώσεις σε περίπτωση ενεργοποίησης των ανιχνευτών.
- εγκαταστάσεις ολικού κατακλυσμού (DELUGE), όπου οι καταιονητήρες είναι ανοιχτού τύπου και η βαλβίδα ελέγχου επιτρέπει την άμεση κατάθλιψη νερού από όλους τους καταιονητήρες ταυτόχρονα στην περίπτωση ενεργοποίησης του ανιχνευτικού δικτύου.

Σε περίπτωση που η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη των  $4^\circ\text{C}$ , χρησιμοποιούνται εγκαταστάσεις υγρού τύπου, ώστε να αποκλείεται ο κίνδυνος φραγής των σωληνώσεων ή η δημιουργία μηχανικών βλαβών ως συνέπεια ψύξης του περιεχόμενου σε αυτές νερού.

Το σύστημα πρέπει να περιλαμβάνει εξοπλισμό για την τροφοδοσία νερού (αντλίες, εφεδρική δεξαμενή νερού ή πιεστικό δοχείο ή/και σύνδεση με το υδροδοτικό δίκτυο της πόλης) και ξεχωριστό υδραυλικό δίκτυο σωληνώσεων που καταλήγει στους καταιονητήρες. Επίσης πρέπει να περιλαμβάνει βάνα ελέγχου, βαλβίδα αντεπιστροφής, μετρητή πίεσης, συσκευή διαπίστωσης ροής νερού συνδεδεμένη με το σύστημα συναγερμού του κτηρίου και σύνδεση δοκιμής του συστήματος.

Σε κτήρια υψηλού βαθμού κινδύνου, η απόσταση μεταξύ των 2 κεφαλών καταιονητήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 3m και η μέγιστη καλυπτόμενη επιφάνεια ανά κεφαλή να είναι  $9\text{m}^2$ .

Σε όλα τα κτήρια αποθηκών τοποθετούνται φορητοί πυροσβεστήρες ανάλογοι σε πλήθος, θέση και δυναμικότητα με το είδος και το μέγεθος του κινδύνου.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της ελέγχουσας αρχής, μπορεί να εγκατασταθεί και μόνιμο υδροδοτικό πυροσβεστικό δίκτυο, εάν κρίνει ότι αυτό θα διευκολύνει σημαντικά την επιχείρηση κατάσβεσης.

Τέλος, ο ιδιοκτήτης και ο διευθυντής της επιχείρησης είναι συνυπεύθυνοι για τη συγκρότηση ομάδας πυρασφάλειας από το μόνιμο προσωπικό.

## 2.7 Χαρακτηριστικά της Πυρκαγιάς

### 2.7.1 Χαρακτηριστικά του Διαμερίσματος Εκδήλωσης της Πυρκαγιάς

Μια σημαντική υπόθεση για τη μελέτη της φωτιάς, είναι ότι αυτή δε θα εξαπλωθεί σε άλλα πυροδιαμερίσματα. Το κατά πόσο αυτό θα ισχύσει, εξαρτάται από τα θερμομονωτικά χαρακτηριστικά των τοίχων, των πατωμάτων, της οροφής και των ανοιγμάτων του διαμερίσματος προς εξέταση.

#### 2.7.1.α Θερμικά Χαρακτηριστικά των Τοίχων

Η απώλεια θερμότητας από το διαμέρισμα μέσω των τοίχων πρέπει να είναι γνωστή για την σωστή εκτίμηση της θερμοκρασίας. Η απώλεια συμβαίνει μέσω αγωγής και ακτινοβολίας. Οι θερμικές ιδιότητες των τοίχων, δηλαδή η ειδική θερμότητά του  $c_p$ , η πυκνότητά του  $\rho$ , και η αγωγιμότητά του  $\lambda$ , πρέπει να είναι γνωστές. Η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα εξαρτούνται από τη θερμοκρασία και λαμβάνονται για πρότυπες συνθήκες. Αυτά εκφράζονται και εισέρχονται στους υπολογισμούς μέσω του όρου  $b = \sqrt{\lambda \rho c_p}$ . Σε περίπτωση μονωμένων τοίχων, ως  $b$  λαμβάνεται αυτό του μονωτικού υλικού, προφανώς όταν η τιμή του είναι χαμηλότερη.

#### 2.7.1.β Χαρακτηριστικά των Ανοιγμάτων

Ανοίγματα σε ένα διαμέρισμα θεωρούνται οι πόρτες, τα παράθυρα και οι φεγγίτες. Η ένταση της φωτιάς εξαρτάται και από το ποσοστό των ανοιγμάτων.

Σε απλά μοντέλα, χρησιμοποιείται ο όρος  $O = A_w \sqrt{H}$ , όπου

$A_w = \sum A_{wi}$  η ολική επιφάνεια ανοιγμάτων και

$H = \left[ \frac{\sum A_{wi} \times H}{\sum A_{wi}} \right]^2$  το ύψος των ανοιγμάτων.

### 2.7.2 Πυροθερμικό Φορτίο

Είναι η εκλυόμενη, από το υλικό που καίγεται, ποσότητα θερμότητας (Mj) στον χώρο που εκδηλώθηκε η πυρκαγιά. Η ανά τετραγωνικό μέτρο ποσότητα της παραπάνω θερμότητας μας δίνει την πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου  $q_f$  (Mj/m<sup>2</sup>). Μπορεί να εκφραστεί και σε Kg ξύλου που απαιτείται να καεί ώστε να παραχθεί το ίδιο πυροθερμικό φορτίο. Η αντιστοιχία είναι 58Kg/m<sup>2</sup> ξύλου προς 1Mj/m<sup>2</sup>. Σύμφωνα με τον EC1, η χαρακτηριστική τιμή πυκνότητας πυροθερμικού φορτίου, δίνεται από τον τύπο

$$q_f = \frac{\sum(m_i \cdot \Psi_i \cdot H_{ui} \cdot M_i)}{A_f} \text{ όπου}$$

$m_i$  ο συντελεστής καύσης του υλικού  $i$

$\Psi_i$  ο συντελεστής πιθανής ύπαρξης προστατευμένων υλικών

$M_i$  η συνολική καιόμενη μάζα

$H_{ui}$  η θερμική απόδοση της καιόμενης μάζας

Ο όρος  $H_{ui} \cdot M_i$  συμβολίζει τη συνολική ενέργεια που περιέχεται σε ένα υλικό  $i$  και εκλύεται υποθέτοντας πλήρη καύση. Ο συντελεστής καύσης  $m_i=1$  σημαίνει πλήρη καύση του υλικού  $i$ , ενώ για  $m_i=0$  δεν υπάρχει καθόλου καύση. Λαμβάνεται συνήθως ίσος με 0.8.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε μερικές χαρακτηριστικές τιμές θερμικής απόδοσης για κάποια υλικά σύμφωνα με τον EC.

**Πίνακας 2.4: Προτεινόμενη τιμή θερμικής απόδοσης  $H_u$  για τον υπολογισμό του πυροθερμικού φορτίου**

<b>Solids</b>		<b>Aromatic series</b>	40
<b>Wood</b>	17,5	Benzene	
<b>Other cellulosic materials</b>	20	Toluene	
Clothes		<b>Alcohols</b>	30
Cork		Methanol	
Cotton		Ethanol	
Paper, cardboard		Ethyl alcohol	
Silk		<b>Fuels</b>	45
Straw		Gasoline, petroleum	
Wool		Diesel	
Carbon	30	<b>Pure hydrocarbons plastics</b>	40
Anthracite		Polyethylene	
Charcoal		Polystyrene	
Coal		Polypropylene	
<b>Chemicals</b>		<b>Other products</b>	
<b>Paraffin series</b>	50	ABS (plastic)	35
Methane		Polyester (plastic)	30
Ethane		Polyisocyanerat and polyurethane (plastics)	25
Propane		Polyvinylchloride, PVC (plastic)	20
Butane		Bitumen, asphalt	40
<b>Olefin series</b>	45	Leather	20
Ethylene		Linoleum	20
Propylene		Rubber tyre	30
Butene			



### 2.7.3 Είδος Πυρκαγιάς

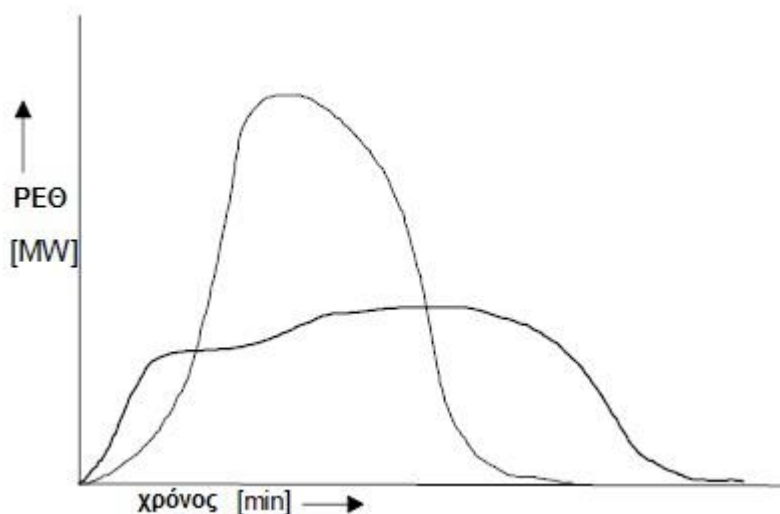
Άλλος ένας παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι το ποσοστό του πυροθερμικού φορτίου που θα καεί και πως αυτό θα επηρεάσει την καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου.

Οι φωτιές ποτέ δεν ξεκινάνε ταυτόχρονα σε πολλά σημεία του προς μελέτη διαμερίσματος (εκτός από τις περιπτώσεις εμπρησμού ή εκρήξεως, κάτι που δε μελετάται εδώ). Πάντα ξεκινούν ως τοπικές φωτιές και, ανάλογα με τις συνθήκες, παραμένουν τοπικές ή εξελίσσονται σε μεγάλες που περικλείουν την πλειονότητα του διαμερίσματος. Για τις τοπικές φωτιές λαμβάνονται 2 θερμοκρασιακές ζώνες (δηλαδή 2 καμπύλες θερμοκρασίας-χρόνου), ενώ για τις πλήρως ανεπτυγμένες μία.

Σε περιπτώσεις πλήρως ανεπτυγμένης φωτιάς, το πυροθερμικό φορτίο όλου του διαμερίσματος καίγεται, άρα το διαμέρισμα είναι γεμάτο με καπνό, αέρα και καύσιμα υλικά που αναμειγνύονται τόσο ιδεατά, ώστε το αέριο να θεωρείται ομογενοποιημένο και να αναπαρίσταται με μία μόνο καμπύλη.

### 2.7.4 Σχεδιασμός της Πυρκαγιάς

Αφού έχει προσδιοριστεί το πυροθερμικό φορτίο, πρέπει να βρεθεί ο ρυθμός με τον οποίο θα καεί. Αυτό συνιστά τον Ρυθμό Έκλυσης Θερμότητας (RHR). Από αυτόν εξαρτάται η θερμοκρασία των αερίων της φωτιάς. Το ίδιο πυροθερμικό φορτίο μπορεί να δώσει διαφορετικές καμπύλες θερμοκρασίας-χρόνου, ανάλογα με το πόσο γρήγορα καίγεται.



Σχήμα 2.1: Ρυθμός έκλυσης θερμότητας (RHR) συναρτήσει του χρόνου

Ο ΡΕΘ είναι η πηγή της αύξησης της θερμοκρασιακής μεταβολής των αερίων και της εξάπλωσης του καπνού και των αερίων αυτών. Δύο είναι οι πιθανές καταλήξεις της πυρκαγιάς και εξαρτώνται από την ύπαρξη ή όχι αρκετού οξυγόνου ώστε να διατηρηθεί η ανάφλεξη κατά τη φάση της ανάπτυξής της. Είτε υπάρχει αρκετό οξυγόνο για να φτάσει ο ΡΕΘ το μέγιστό του, το οποίο εξαρτάται από την ποσότητα του πυροθερμικού φορτίου, ή η ποσότητα αέρα που παρέχεται από τα ανοίγματα του διαμερίσματος είναι μικρή και το μέγιστο του ΡΕΘ περιορίζεται από την ποσότητα του οξυγόνου.

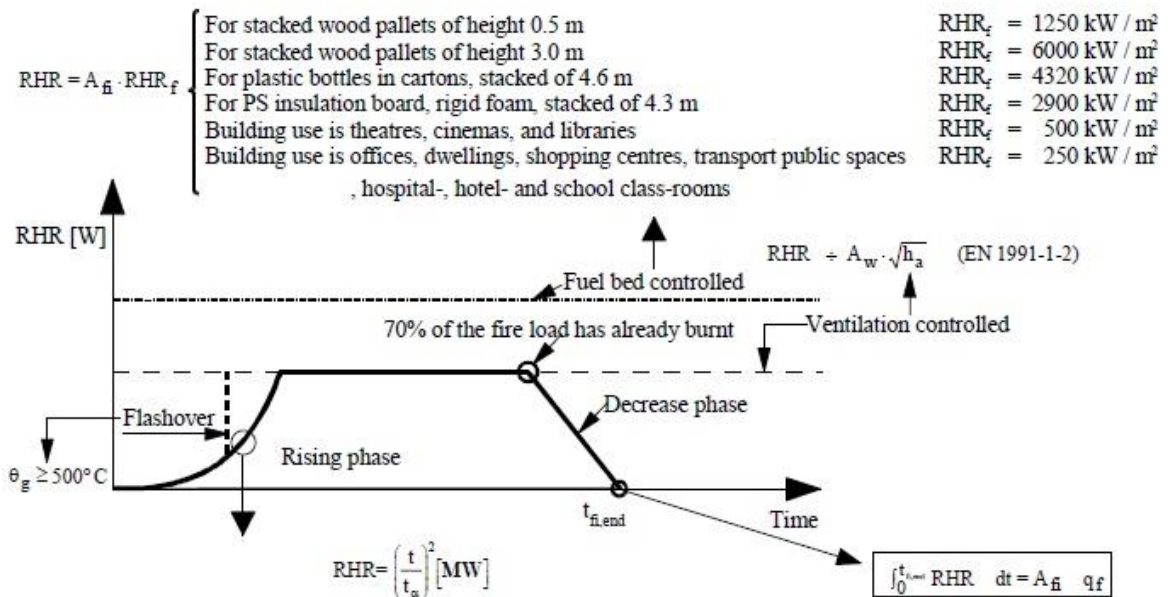
Η αύξηση του ΡΕΘ ως τη μέγιστη τιμή του δίνεται από τη σχέση

$$RHR = (t/t_a)^2, \text{ όπου}$$

$t = \text{o χρόνος (s)}$

$t_a = \text{χρονική σταθερά που δίνεται στον παρακάτω πίνακα (s)}$

Πίνακας 2.5: Χαρακτηριστικές τιμές του ΡΕΘ



Fire growth rate	Typical equivalent materials	$t_a$ : Time [s] for RHR = 1 MW	Occupancy
Slow	no uniform fire load	600	Transport (Public Space)
Medium	Cotton/polyester sprung mattress	300	Dwelling, Hotel- & Hospital-room, Office, Classroom of a school
Fast	Full mail bags, plastic foam, stacked timber pallets	150	Shopping centre, Theatre, Cinema
Ultra-fast	Methyl alcohol pool fire, faster burning upholstered furniture	75	

OCCUPANCY / ACTIVITY	Fire load (80% fractile) $q_{fx}$ [MJ/m <sup>2</sup> ]
Dwelling	948
Hospital (room)	280
Hotel (room)	377
Library	1824
Office	511
Classroom of a school	347
Shopping centre	730
Theatre (cinema)	365
Transport (public space)	122

Η καμπύλη διαχωρίζεται σε 3 φάσεις: την ανοδική, τη σταθερή και την πτωτική.

Η παράμετρος αύξησης της φωτιάς διαφέρει από κτήριο σε κτήριο ανάλογα με τη χρήση του. Κατά την σταθερή φάση, το μέγεθος του ΡΕΘ εξαρτάται από τις συνθήκες

οξυγόνου. Fuel bed controlled σημαίνει ότι υπάρχει αρκετό οξυγόνο ώστε να αναπτυχθεί ελεύθερα η φωτιά, ενώ Ventilation controlled σημαίνει ότι το οξυγόνο είναι περιορισμένο κι έτσι η φωτιά φτάνει σε χαμηλότερο μέγιστο. Όταν έχει καεί το 70% του πυροθερμικού φορτίου, φτάνουμε στο σβήσιμο της φωτιάς και περνάμε στην 3<sup>η</sup> φάση της καμπύλης όπου η πτώση του ΡΕΘ αντιπροσωπεύεται από μια γραμμική μείωση.

### 2.7.5 Μοντέλα Ανάπτυξης της Πυρκαγιάς

Υπάρχουν 2 διαφορετικοί τύποι μοντέλων υπολογισμού, αυτοί που έχουν ως αντικείμενο την ανοδική φάση της καμπύλης θερμοκρασίας χρόνου όπου η φωτιά είναι τοπική, και αυτοί που έχουν ως αντικείμενο την σταθερή φάση της καμπύλης όπου η φωτιά είναι πλήρως ανεπτυγμένη. Για την πρώτη κατηγορία, θα μελετήσουμε το μοντέλο των δύο ζωνών και για την δεύτερη, το μοντέλο της μιας ζώνης.

Άλλα μοντέλα για την τοπική φωτιά είναι η Μέθοδος του Heskestad, όπου υπολογίζονται οι θερμικές δράσεις της φωτιάς ανάλογα με την θέση της οροφής, και η μέθοδος του Hasemi, ένα απλοποιημένο εργαλείο για την εκτίμηση των τοπικών επιπτώσεων της φωτιάς σε στοιχεία ακριβώς πάνω από αυτήν.

Για την πλήρως ανεπτυγμένη φωτιά, εναλλακτικά μοντέλα μελέτης της είναι η Παραμετρική Φωτιά, που λαμβάνει υπ' όψιν την γεωμετρία του διαμερίσματος, τα ανοίγματά του, τις ιδιότητες των υλικών του περιβλήματος και το πυροθερμικό φορτίο εντός του διαμερίσματος αυτού. Σύμφωνα με το Παράρτημα Α του EN 1991-1-2, το μοντέλο αυτό μπορεί να βρει χρήση σε διαμερίσματα μικρότερα των 500m<sup>2</sup> σε επιφάνεια και των 4m σε ύψος.

#### 2.7.5.α Μοντέλο Δύο Ζωνών

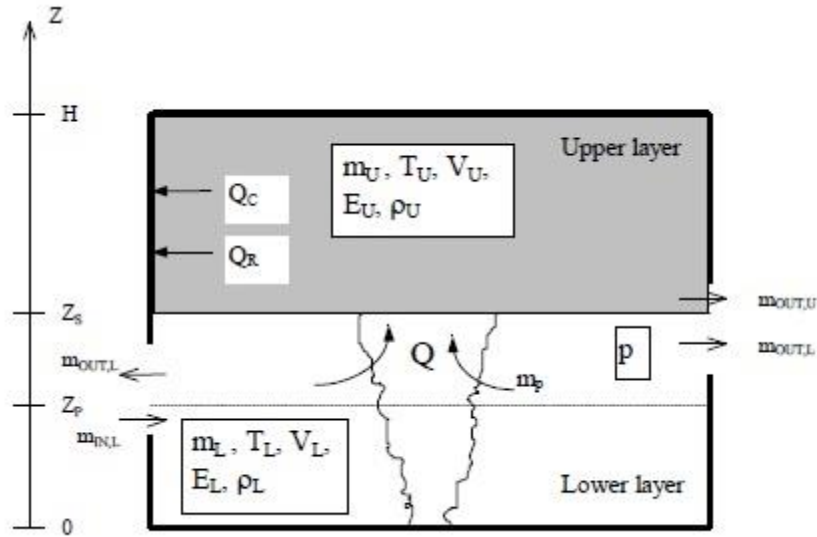
Είναι ουσιαστικά αριθμητικά προγράμματα που υπολογίζουν την πορεία της θερμοκρασίας των αερίων συναρτήσει του χρόνου, εισάγοντας τις συνήθεις διαφορικές εξισώσεις που εκφράζουν την διατήρηση της ενέργειας και της μάζας για κάθε ζώνη του διαμερίσματος. Βασίζονται στην παραδοχή ότι η θερμοκρασία είναι ομοιόμορφη σε κάθε ζώνη.

Τα μοντέλα είναι ικανά να μας δώσουν όχι μόνο τη θερμοκρασία των διαμερισμάτων, αλλά και πρόσθετες πληροφορίες όπως τη θερμοκρασία των τοίχων, την ταχύτητα των αερίων κ.ά.

Τα δεδομένα που πρέπει να παράσχουμε είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (διαστάσεις του διαμερίσματος, ανοίγματα), τα υλικά των τοίχων, η καμπύλη ΡΕΘ και η θερμότητα καύσης των υλικών.

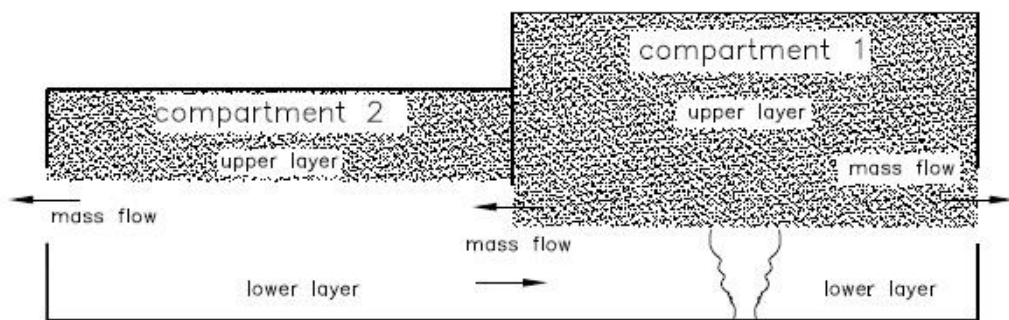
Σαν αποτέλεσμα της προσομοίωσης, δίνονται οι θερμοκρασίες των αερίων και για τα 2 στρώματα, καθώς και οι θερμοκρασίες των τοίχων και η ροή αέρα στα ανοίγματα. Ένα σημαντικό αποτέλεσμα είναι η εξέλιξη, συναρτήσει του χρόνου, του πάχους κάθε στρώματος. Το παρακάτω σχήμα δείχνει πως μορφοποιείται ένα διαμέρισμα με το

μοντέλο των δύο ζωνών. Είναι μια απλή περίπτωση όπου το πυροδιαμέρισμα ανταλλάσει αέρια μόνο με το εξωτερικό περιβάλλον.



Σχήμα 2.2: Πυροδιαμέρισμα σε μοντέλο 2 ζωνών

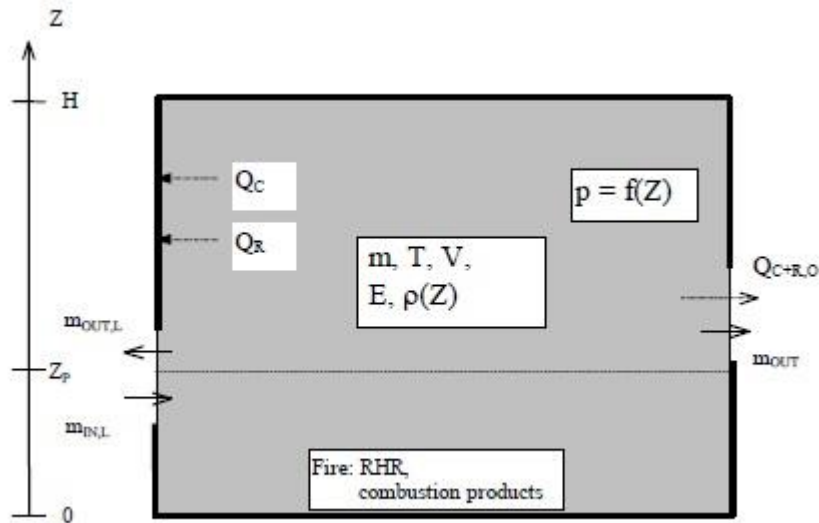
Τα προγράμματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να αναλύσουν και περιπλοκότερα κτήρια, όπου το αρχικό πυροδιαμέρισμα ανταλλάσει αέρια όχι μόνο με το περιβάλλον αλλά και με γειτονικά διαμερίσματα. Έτσι μπορούμε να εκτιμήσουμε και την επέκταση των καπνών και της φωτιάς και σε αυτά. Ένα παράδειγμα δίνεται στο παρακάτω σχέδιο.



Σχήμα 2.3: Πολύ-Διαμερισματοποιημένο μοντέλο 2 ζωνών

### 2.7.5.β Μοντέλο Μίας Ζώνης

Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην υπόθεση ότι κατά τη διάρκεια της φωτιάς, η θερμοκρασία του αέρα είναι ομοιογενής σε όλο το διαμέρισμα. Συνήθως χρησιμοποιούνται για συνθήκες πλήρους εξάπλωσης της φωτιάς. Τα δεδομένα που πρέπει να παρασχεθούν είναι τα ίδια με αυτά που χρειάζεται ένα μοντέλο 2 ζωνών. Παρακάτω φαίνεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου μοντέλου.



Σχήμα 2.4: Πυροδιαμέρισμα σε μοντέλο 1 ζώνης

### 2.7.5.γ Συνδυασμός των Μοντέλων Μίας και Δύο Ζωνών

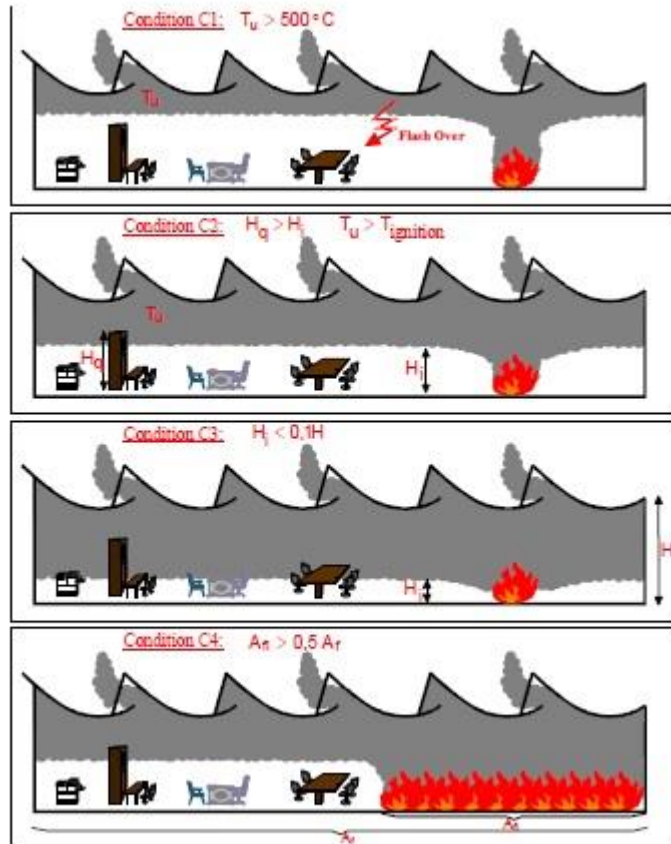
Αφού έχουμε καθορίσει τα χαρακτηριστικά της φωτιάς και του πυροδιαμερίσματος, πρέπει να επιλέξουμε και το μοντέλο ανάλυσης της πυρκαγιάς. Το ζητούμενο εδώ είναι ο προσδιορισμός της στιγμής όπου θα περάσουμε από μοντέλο δυο ζωνών στο μοντέλο της μιας ζώνης.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με μοντέλο 2 ζωνών δίνονται με τις μεταβλητές  $T_u$  (θερμοκρασία της πάνω ζώνης) και  $H_i$  (ύψος συνάντησης των δύο ζωνών). Αυτές οι 2 μεταβλητές θα μας δώσουν τις αναγκαίες και ικανές (από μόνες τους) συνθήκες που θα σημάνουν το πέρας της ανάλυσης με το μοντέλο των 2 ζωνών και την αρχή της ανάλυσης με το μοντέλο της μιας ζώνης. Οι συνθήκες αυτές είναι οι εξής:

- Η υψηλή θερμοκρασία των προϊόντων της καύσης ( $>500^{\circ}\text{C}$ ) οδηγεί σε πλήρη ανάπτυξη της φλόγας μέσω της ροής ακτινοβολίας στα υπόλοιπα πυροθερμικά φορτία του διαμερίσματος
- Η μείωση του ύψους συνάντησης μεταξύ των 2 ζωνών  $H_i$ , έτσι ώστε το μέγιστο ύψος εύφλεκτων υλικών  $H_q$ , να βρίσκεται εντός της άνω ζώνης (με το στρώμα καπνού). Το στρώμα καπνού πρέπει να έχει κάποια ορισμένη υψηλή θερμοκρασία (συνήθως  $T_{ign}>300^{\circ}\text{C}$ ), ώστε να υπάρχει εξάπλωση της φωτιάς σε όλο το διαμέρισμα μέσω της ανάφλεξης των εύφλεκτων υλικών.

- Το ύψος συνάντησης  $H_i$  κατεβαίνει τόσο ώστε να έχουμε ένα πολύ λεπτό κάτω στρώμα, τέτοιο που η φωτιά να μην αντιπροσωπεύεται από μοντέλο 2 ζωνών πλέον ( $H_i < 0.1H$ ).
- Η επιφάνεια φωτιάς είναι πλέον πολύ μεγάλη σε σχέση με την ολική επιφάνεια του διαμερίσματος ώστε να θεωρηθεί τοπική φωτιά ( $A_{fi} > 0.5A_f$ ).

Παρακάτω έχουμε τη σχηματική αναπαράσταση των συνθηκών αυτών.



Σχήμα 2.5: Όρια εφαρμογής μοντέλου 2 ζωνών

#### 2.7.5.8 Το Πρόγραμμα Ανάλυσης με Ζώνες Ozone

Το πρόγραμμα αυτό αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο της Λιέγης σε συνεργασία με την PROFILARBED-Research και έχει επικυρωθεί παίρνοντας υπ' όψιν 54 πειραματικά τεστ. Εισάγοντας τα απαραίτητα δεδομένα, το πρόγραμμα αυτό μπορεί να μας δώσει την ανάπτυξη της φωτιάς στο διαμέρισμα, την μέγιστη θερμοκρασία καθώς και διάφορα άλλα χαρακτηριστικά της φωτιάς.



## 2.8 Μηχανικές Δράσεις σε Περίπτωση Πυρκαγιάς

Η φωτιά είναι τυχηματική κατάσταση φόρτισης. Τα φορτία προσδιορίζονται σύμφωνα με τον τύπο

$$Q_{tot} = \sum G_{k,j} + (\Psi_{1,1} \text{ ή } \Psi_{2,1}) * Q_{k,1} + \sum \Psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Όπου

$G_{k,j}$  οι τιμές των μόνιμων δράσεων

$Q_{k,1}$  η τιμή της κύριας μεταβλητής δράσης

$Q_{k,i}$  οι τιμές των λοιπών μεταβλητών δράσεων

$\Psi_{i,i}$  συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων.

Οι τιμές των συντελεστών δίνονται από τον παρακάτω πίνακα σύμφωνα με τον EC:

Πίνακας 2.6: Συντελεστές συνδυασμού μεταβλητών δράσεων

Action	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Imposed loads in buildings, category (see EN 1991-1.1)			
Category A : domestic, residential areas	0,7	0,5	0,3
Category B : office areas	0,7	0,5	0,3
Category C : congregation areas	0,7	0,7	0,6
Category D : shopping areas	0,7	0,7	0,6
Category E : storage areas	1,0	0,9	0,8
Category F : traffic area vehicle weight $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Category G : traffic area, $30\text{ kN} < \text{vehicle weight} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Category H : roofs	0	0	0
Snow loads on buildings (see EN1991-1.3)			
Finland, Iceland, Norway, Sweden	0,70	0,50	0,20
Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude $H > 1000\text{ m a.s.l.}$	0,70	0,50	0,20
Remainder of CEN Member States, for sites located at altitude $H \leq 1000\text{ m a.s.l.}$	0,50	0,20	0
Wind loads on buildings (see EN1991-1.4)	0,6	0,2	0
Temperature (non-fire) in buildings (see EN1991-1.5)	0,6	0,5	0

Άλλος ένας παράγοντας που χρησιμοποιείται ευρέως στην αντιπυρική μελέτη είναι ο συντελεστής στάθμης φόρτισης  $\eta_{fi}$ , που ισούται με  $E_{d,fi}/E_d$ , όπου  $E_{d,fi}$  ο συνδυασμός δράσεων για την κατάσταση φωτιάς και  $E_d$  ο συνδυασμός για θερμοκρασία δωματίου. Εναλλακτικά ο συντελεστής μπορεί να ληφθεί από τον τύπο

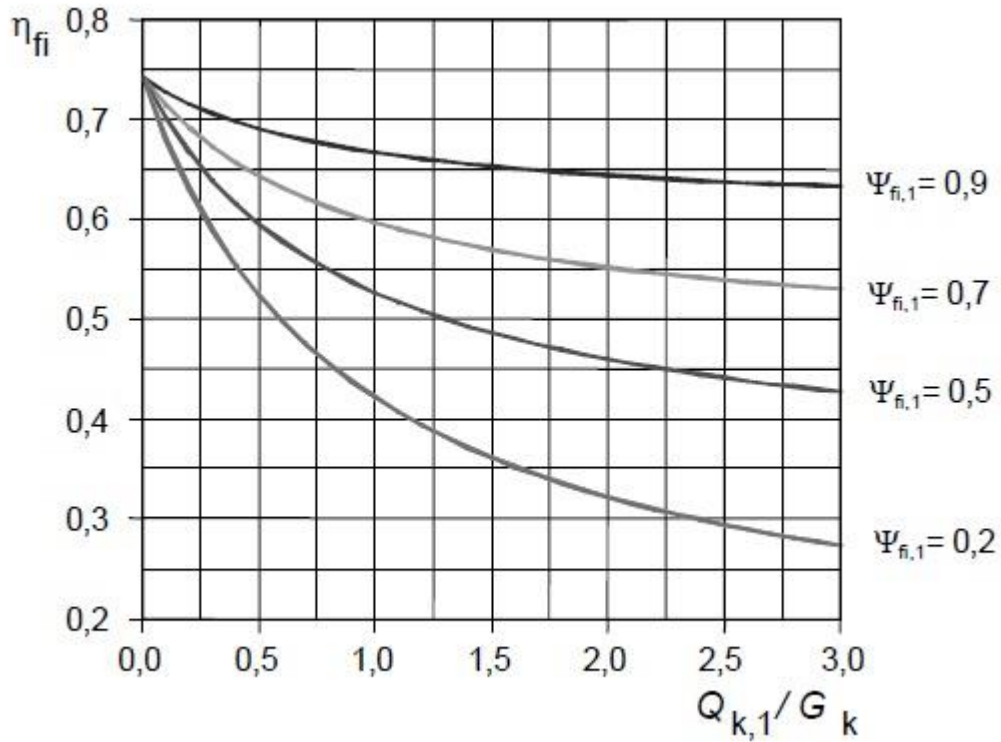
$$\eta_{fi} = \frac{(G_k + \psi_{fi,1} * Q_{k,1})}{(\gamma_G * G_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1})}$$

όπου

$\gamma_G$  και  $\gamma_{Q,1}$  οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τις μόνιμες και τις κύριες μεταβλητές δράσεις αντίστοιχα.

Ο συντελεστής  $\eta_{fi}$  εξαρτάται ιδιαίτερα από τον συντελεστή  $\psi_{fi,1}$ , που μεταβάλλεται σύμφωνα με την χρήση των κτηρίων. Ο παρακάτω πίνακας που παράσχει ο EN 1993-1-2, δείχνει ξεκάθαρα την επιρροή της αναλογίας  $Q_{k,1}/G_k$  και του συντελεστή  $\psi_{fi,1}$ .

Πίνακας 2.7: Μεταβολή του μειωτικού συντελεστή  $\eta_{fi}$  με τη μεταβολή της αναλογίας  $Q_{k,1}/G_k$





## 3 Διαστασιολόγηση του Κτηρίου

### 3.1 Διαστάσεις και Διάταξη του Φορέα

Αντικείμενο της μελέτης είναι μια αποθήκη στο νησί της Κω. Το πλάτος της είναι  $b=20\text{m}$  και το μήκος της  $d=40\text{m}$ . Το ύψος των τοίχων είναι  $h=6\text{m}$  και η στέγη έχει κλίση 15%, άρα το ύψος της είναι  $h_c=1,5\text{m}$ . Τοποθετούνται πλαίσια ανά 5m, καθώς και οριζόντιοι και κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας ανάμεσα στο 1<sup>ο</sup> και το 2<sup>ο</sup> πλαίσιο κάθε πλευράς.

Για τις διατομές από θερμή έλαση (υποστυλώματα, δοκοί πλαισίων, κεφαλοδοκοί, οριζόντιοι και κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, μετωπικοί στύλοι), χρησιμοποιούμε χάλυβα ποιότητας S275. Για τις διατομές από ψυχρά έλαση (τεγίδες, μηκίδες) ο χάλυβας είναι ποιότητας S355MC.

Για την οροφή και τους τοίχους, χρησιμοποιούνται 2 φύλλα επικάλυψης, τραπεζοειδή TR50.260.1038, ποιότητας S320GD (negative) με πάχος 1mm και βάρος  $0.094\text{kN/m}^2$ . Η μόνωση είναι πολυουρεθάνης, με  $\lambda=0.025\text{ W/mK}$ , πάχος  $d=4\text{cm}$ ,  $\rho=50\text{Kg/m}^3$  άρα βάρος  $0.5*0.04=0.02\text{kN/m}^2$ .

### 3.1 Στοιχεία Ανέμου

Δε βρίσκεται σε ζώνη κατηγοριοποιημένης χιονόπτωσης, άρα αμελούνται τα πιθανά κινητά φορτία λόγω χιονιού.

Ανήκει στη νησιωτική ζώνη, έτσι η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας ανέμου είναι  $V_{b,0}=33\text{m/s}$ . Για τον συντελεστή τραχύτητας λαμβάνουμε Κατηγορία Εδάφους II. Η κατασκευή βρίσκεται σε ύψος 10m από την επιφάνεια της θάλασσας. Προχωρούμε στην ανάλυση των χαρακτηριστικών του ανέμου και των φορτίων του.

#### 3.1.1 Βασική ταχύτητα ανέμου:

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0}$$

όπου

$$C_{dir}=1,00 \text{ (συντελεστής διεύθυνσης)}$$

$$C_{season}=1,00 \text{ (συντελεστής εποχής)}$$

$$v_{b,0}=33\text{m/s}$$

$$\text{Άρα } v_b=33\text{m/s}$$

### 3.1.2 Χαρακτηριστική πίεση ταχύτητας αιχμής

$$q_p = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

όπου

$\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα, που εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση του ανέμου που αναμένονται σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια ανεμοθύελλας και λαμβάνεται ίση με  $1.25 \text{ Kg/m}^3$

$I_v(z)$  η ένταση του στροβιλισμού σε ύψος  $z$

$v_m$  η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$  πάνω από το έδαφος

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

$c_r(z)$  ο συντελεστής τραχύτητας

$c_0(z)$  ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης

$v_b$  η βασική ταχύτητα ανέμου

Για τον συντελεστή τραχύτητας:

$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0)$ , αφού  $z=10\text{m} > z_{\min}=2\text{m}$  (Έδαφος Κατηγορίας II)

$k_r = 0.19 \cdot (z/z_{0,II})^{0,07}$ , ο συντελεστής εδάφους

$$z_0 = z_{0,II} = 0.05\text{m}$$

$$k_r = 0.27531$$

Άρα

$$c_r(z) = 1.45868$$

Για την ένταση στροβιλισμού:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

$k_I = 1$ , είναι ο συντελεστής στροβιλισμού

$c_0(z)$ , ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης

Θεωρούμε έδαφος μικρής κλίσης, άρα  $\Phi < 0.05$  και  $c_0 = 1$

$$I_v(z) = 0.18873$$

$$v_m(z) = 1.45868 \cdot 1 \cdot 33 = 48,1364 \text{ m/s}$$

άρα τελικά

$$q_p(z) = 3.3614 \text{ kN/m}^2.$$

Από τους πίνακες για τους συντελεστές εξωτερικής πίεσης του EC1-Part 1,4, βρίσκουμε τα φορτία με τα οποία διαστασιολογούμε τον φορέα μας:

$$q_{\text{τοιχων}} = 4.03 \text{ kN/m}^2 \text{ και } q_{\text{στέγης}} = 5.51 \text{ kN/m}^2.$$

### 3.2 Στοιχεία Σεισμού

Η περιοχή ανήκει στη Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II, με  $a=0.24$ . Ο συντελεστής θεμελίωσης του κτηρίου λαμβάνεται  $\theta=1.00$  και η κατηγορία σπουδαιότητας του είναι Σ2 ( $\gamma=1.00$ ).

Για τα φορτία από άνεμο, σε περίπτωση σεισμού, ο μειωτικός συντελεστής είναι  $\psi_2=0$ , άρα έχουμε σεισμικό φορτίο μόνο από τα μόνιμα. Εκτιμούμε συνολικό βάρος

επικάλυψης, μόνωσης, καθώς και μηκίδων, τειγίδων και οριζοντίων συνδέσμων και διαφόρων αναρτώμενων εξοπλισμών στα  $0.15\text{kN/m}^2$ .

Άρα το συνολικό βάρος του κτηρίου θα είναι

$$W=0.15*(20*40+6*20*2+6*40*2)=228\text{kN}.$$

Έχουμε τα παρακάτω στοιχεία για τον σεισμό:

$A=0.24g$ , μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους

$\beta_0=2.5$ , συντελεστής φασματικής ενίσχυσης

$\theta=1$ , συντελεστής θεμελίωσης

$\gamma=1$ , συντελεστής σπουδαιότητας του κτηρίου

$\zeta=3\%$ , κρίσιμη απόσβεση, συγκολλητή και κοχλιωτή κατασκευή

$\eta=\sqrt{(7/2+3)}=1.183$ , διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης

$q=3$ , συντελεστής συμπεριφοράς για κτήριο από χάλυβα, με διαγώνιους συνδέσμους χωρίς εκκεντρότητα

Άρα η φασματική επιτάχυνση θα είναι:

$$\Phi_d=0.24*1.183*2.5/3=0.237\text{m/s}^2$$

και το σεισμικό φορτίο  $q=\Phi_d*W=54\text{kN}$ . Ισοκατανεμημένο στους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας, θα γίνεται  $E=W/4=13.5\text{kN}$ , φορτίο κατά πολύ μικρότερο από αυτό που προκύπτει από τα φορτία ανέμου σε οριακή κατάσταση αστοχίας. Άρα η διαστασιολόγηση γίνεται με τα φορτία του ανέμου.

### 3.3 Διαστασιολόγηση

#### 3.3.1 Μετωπικοί Στύλοι

Η διαστασιολόγηση γίνεται για τον δυσμενέστερο στύλο, δηλαδή αυτόν που βρίσκεται σε απόσταση 10m από τις άκρες του ανοίγματος και έχει μήκος 7.5m και πλάτος επιρροής 5m. Θεωρείται αμφιαρθρωτός.

Το φορτίο που ασκείται στον στύλο είναι της ανεμοπίεσης στους τοίχους  $q_{\text{τοιχ}}=1.5*4.03*5=30.225\text{kN/m}$ . Αυτό προκαλεί ροπή  $M_{sd}=21252\text{kNcm}$  και τέμνουσα  $V_{sd}=113.34\text{kN}$ .

Για επάρκεια και στον έλεγχο βελών επιλέγεται διατομή HEA300.

#### 3.3.2 Οριζόντιοι Σύνδεσμοι

Παραλαμβάνουν τα φορτία ανέμου των τοίχων.

$q_{\theta l}=1.5*4.03*6*10=362.7\text{kN}$  σε κάθε ορθοστάτη (τις κεφαλοδοκούς).

$$\tan\varphi=5/3.334=1.5\rightarrow\varphi=56.3^\circ$$

$$N_0*\sin\varphi+120.92=362.7\rightarrow N_0=290.61\text{kN}.$$

$N_{Rd}=A*27.5\geq 290.61\rightarrow A\geq 10.56\text{cm}^2$  άρα επιλέγουμε διατομή L100x100x8 με  $A=15.51\text{cm}^2$  και  $N_{pl,Rd}=426.52\text{kN}$ .

### 3.3.3 Τεγίδες

Η διαστασιολόγηση θα γίνει με τα κατακόρυφα φορτία λόγω ανεμοπίεσης και βάρους επικάλυψης. Θεωρούμε πως υπάρχει πλευρική εξασφάλιση από τα φύλλα επικάλυψης, άρα δεν ελέγχουμε σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

Η κάθε τεγίδα έχει πλάτος επιρροής 1.667m, άρα  $q=1.667*(1.5*5.5 + 1.35*0.2) = 14.23\text{kN/m}$  που προκαλεί ροπή  $M_{Ed}=4447\text{kNcm}$  και τέμνουσα  $V_{Ed}=35.57\text{kN}$ .

Θεωρούμε  $A_{eff}=A_g$  και επιλέγουμε διατομή Z200x80x7, ποιότητας S355MC. Η διατομή επαρκεί σε κάμψη με  $M_{pl,Rd}=4686\text{kNcm}$ .

### 3.3.4 Μηκίδες

Παραλαμβάνουν τα φορτία λόγω ανέμου στους τοίχους. Έχουν πλάτος επιρροής 2m, άρα  $q=8.06*1.5\text{kN/m}=12.09\text{kN/m}$ . Διαστασιολογούνται για ροπή  $M_{Ed}=37.78\text{kNm}$  και τέμνουσα  $V_{Ed}=12.09*5/2=30.22\text{kN}$ .

Επιλέγουμε διατομή C180x70x8, ποιότητας S355MC.

### 3.3.5 Κατακόρυφοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας

Έχουμε τα φορτία ανέμου που μεταφέρονται απ τους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας και την κεφαλοδοκό:  $E=362.67\text{kN}$

Διαστασιολογούνται για  $N_{Ed}=566.62\text{kN}$ .

Επίσης λόγω περιορισμού λυγηρότητας πρέπει  $i \geq 82.91*0.036=2.99\text{cm}$ . Επιλέγουμε UPN160 με  $N_{pl,Rd}=660\text{kN}$ .

### 3.3.6 Κεφαλοδοκός

Παραλαμβάνει τα θλιπτικά φορτία λόγω ανεμοπίεσης στους τοίχους καθώς και καμπτικά φορτία λόγω της ανεμοπίεσης στη στέγη.

Η θλιπτική δύναμη είναι  $N_{ed}=362.7\text{kN}$  και η καμπτική  $M_{Ed}=2150\text{kNcm}$ .

Επιλέγουμε HEA180. Η διατομή επαρκεί και στον έλεγχο για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

### 3.3.7 Υποστώλωμα-Δοκός

Επιλέγουμε υποθετικά διατομή HEB360 για τα 2 μέλη. Δυσμενέστερα είναι τα ακραία πλαίσια. Τα υποστυλώματα δέχονται φορτία

$q=16.9\text{kN/m}$

Από αυτά τα φορτία, τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν είναι:

Τέμνουσα:  $H=78\text{kN}$

Ροπή:  $M=468\text{kNm}$

Αξονική:  $N=169\text{kN}$

Για το φορτίο του ανέμου, το δυσμενέστερο υποστύλωμα θα παραλάβει πρόσθετη θλιπτική δύναμη ίση με:  $N_e = E \cdot \tan \varphi = 362.7 \cdot \tan 50.2 = 435.3 \text{ kN}$ . Άρα συνολικά λαμβάνει δύναμη ίση με  $N = 169 + 435.3 = 604.3 \text{ kN}$ .

Ελέγχοντας σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό και σε ταυτόχρονη θλίψη και κάμψη, βρίσκουμε πως η διατομή του υποστυλώματος επαρκεί.

### 3.4 Συνδέσεις Μελών

#### 3.4.1 Σύνδεση Υποστυλωμάτων-Δοκών

Στο άνω πέλαμα της δοκού προκαλείται συνολική θλιπτική δύναμη από τη ροπή του υποστυλώματος και την τέμνουσα του  $N_{Ed} = 1397.52 \text{ kN}$ .

Μια απλή συγκόλληση δεν επαρκεί, άρα προσθέτουμε νευρώσεις πάχους ίσου με των πελμάτων της δοκού και πλάτους τέτοιου ώστε να μην εξέχουν από τα πέλαμα του υποστυλώματος. Τοποθετούνται σε θέσεις συνευθειακές με των πελμάτων της δοκού.

Η συγκόλληση γίνεται περιμετρικά της διατομής της δοκού με πάχος 9mm στον κορμό και 16mm στα πέλαμα.

Για την κεφαλοδοκό, η μόνη δράση είναι η θλιπτική της κεφαλοδοκού  $N_{Ed} = 362.67 \text{ kN}$ , άρα η συγκόλληση επαρκεί.

Για τη σύνδεση των δοκών στο μέσο, συγκολλούνται με 2 ελάσματα πάχους 0.9cm, το καθένα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με 9 κοχλίες M14 10.9.

Τέλος, το υποστύλωμα συγκολλείται σε πλάκα έδρασης, η οποία συνδέεται κοχλιωτά με 4 αγκύρια M25x190 που ενώνουν την πλάκα με το θεμέλιο.

#### 3.4.2 Κατακόρυφοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας

Η δρώσα θλιπτική δύναμη είναι  $N_{Ed} = 566.62 \text{ kN}$ . Έχουμε 2 ελάσματα πάχους 9mm που συγκολλούνται στον κόμβο και ένα πάχους 15mm που συνδέει τα ελάσματα αυτά με τη διατομή. Η σύνδεση γίνεται με 4 κοχλίες M20 κατηγορίας 8.8. Το έλασμα είναι πλάτους  $b = 16 \text{ cm}$ . Η σύνδεση της διατομής με το έλασμα γίνεται με συγκόλληση πάχους 6mm και μήκους 14cm.

Τα ίδια μέσα σύνδεσης χρησιμοποιούνται και για τη σύνδεση των συνδέσμων δυσκαμψίας στο μέσο τους, με τα χρησιμοποιούμενα ελάσματα να είναι διαστάσεων 45x45x0.9cm.

#### 3.4.3 Οριζόντιοι Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας

Χρησιμοποιούνται 2 ελάσματα των 9mm για τη σύνδεση με τον κόμβο. 3 κοχλίες M16 8.8 συνδέουν το μεσαίο έλασμα πάχους 9mm και πλάτους  $b=11\text{cm}$ . Αυτό συνδέεται με τη διατομή με συγκόλληση πάχους 5mm και μήκους 7cm.

Τα ίδια μέσα σύνδεσης χρησιμοποιούνται και για τη σύνδεση των συνδέσμων δυσκαμψίας στο μέσο τους, με τα χρησιμοποιούμενα ελάσματα να είναι διαστάσεων  $35 \times 35 \times 0.9\text{cm}$ .

#### 3.4.4 Μετωπικοί Στύλοι

Οι συγκολλούνται σε έλασμα το οποίο συνδέεται κοχλιωτά στη δοκό. Η συγκόλληση γίνεται σε όλη την περίμετρο του στύλου, με πάχη 8mm στα πέλματα και 4mm στον κορμό. Το έλασμα είναι διαστάσεων  $30 \times 30 \times 1\text{cm}$ .

Οι κοχλίες ελέγχονται σε διάτμηση μεγέθους  $V_{Ed}=113.34\text{kN}$ . Επιλέγονται 4 M12 10.9.

Για τον κεντρικό στύλο, οι δοκοί συνδέονται συγκολλητά με έλασμα το οποίο κοχλιώνεται με 9 M14, 10.9.

#### 3.4.5 Τεγίδες προς Δοκούς

Διαστασιολογούνται σε εφελκυσμό, μεγέθους  $N_{Ed}=35.7\text{kN}$ .

Επιλέγουμε 1 κοχλία M12 8.8. Αποκαθιστούμε τη συνέχεια μεταξύ των τεγίδων με ελάσματα πάχους 0.7cm και 2 κοχλίες ανά πέλμα τεγίδας.

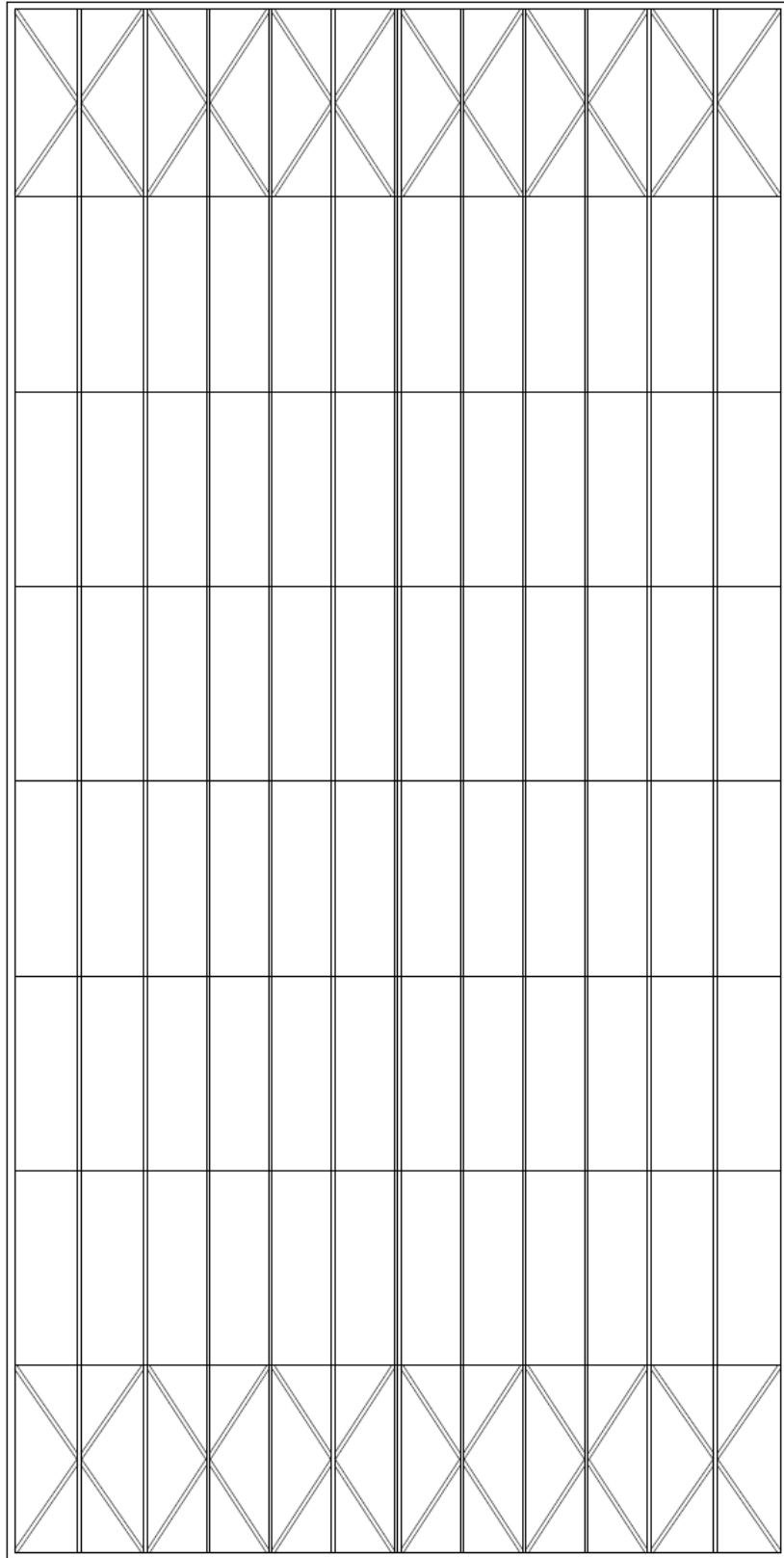
#### 3.4.6 Μηκίδες προς Υποστυλώματα και Μετωπικούς Στύλους

Για τις μηκίδες στις πλευρές του κτηρίου, διαστασιολογούμε για εφελκυσμό  $N_{Ed}=30.22\text{kN}$ . Επιλέγουμε 1 κοχλία M12 ποιότητας 8.8.

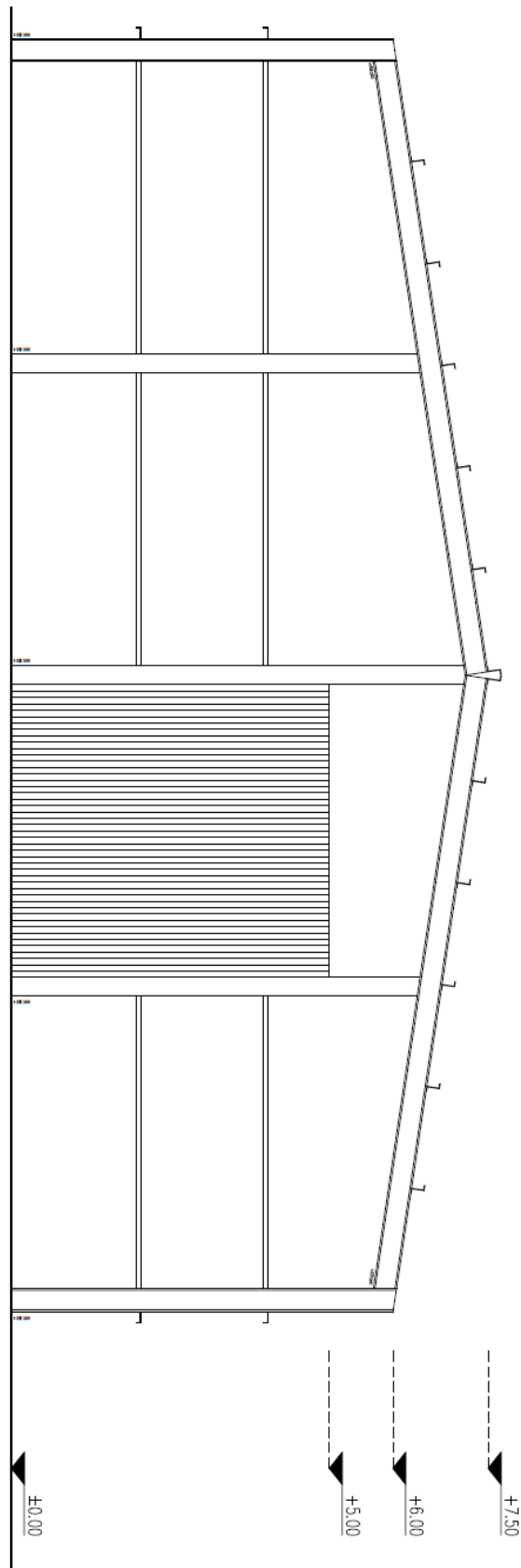
#### 3.4.7 Φύλλα Επικάλυψης προς τεγίδες και μηκίδες και μεταξύ τους

Συνδέονται με τρυπανόβιδες διαμέτρου  $6.3 \times 100\text{mm}$ .

### 3.5. Ενδεικτικά Σχέδια

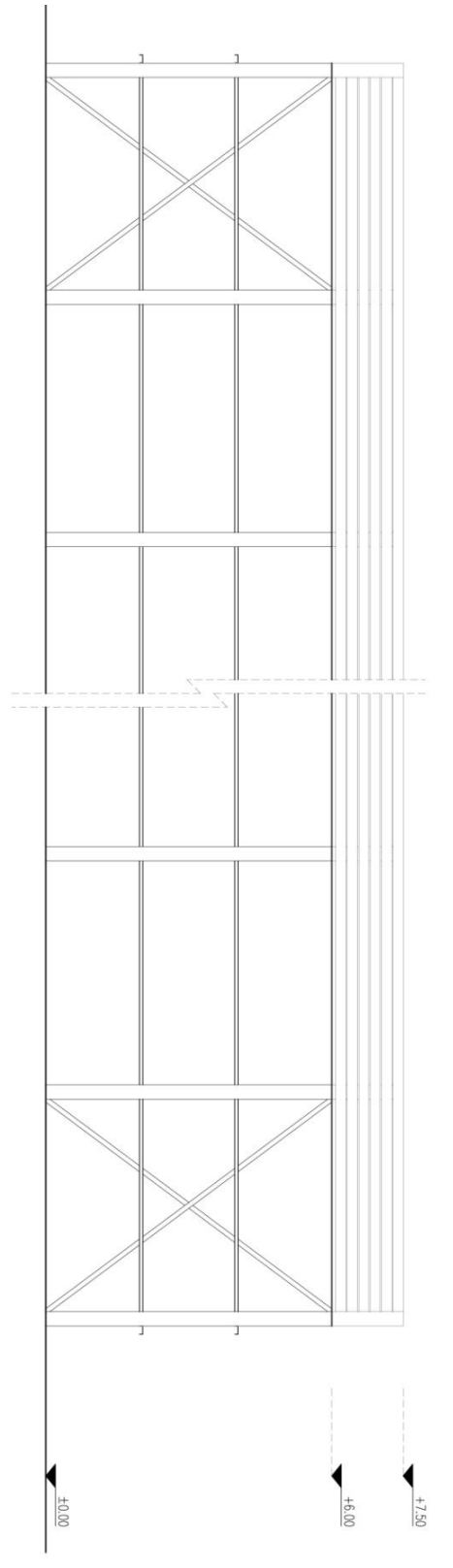


Σχήμα 3.1: Κάτοψη της οροφής

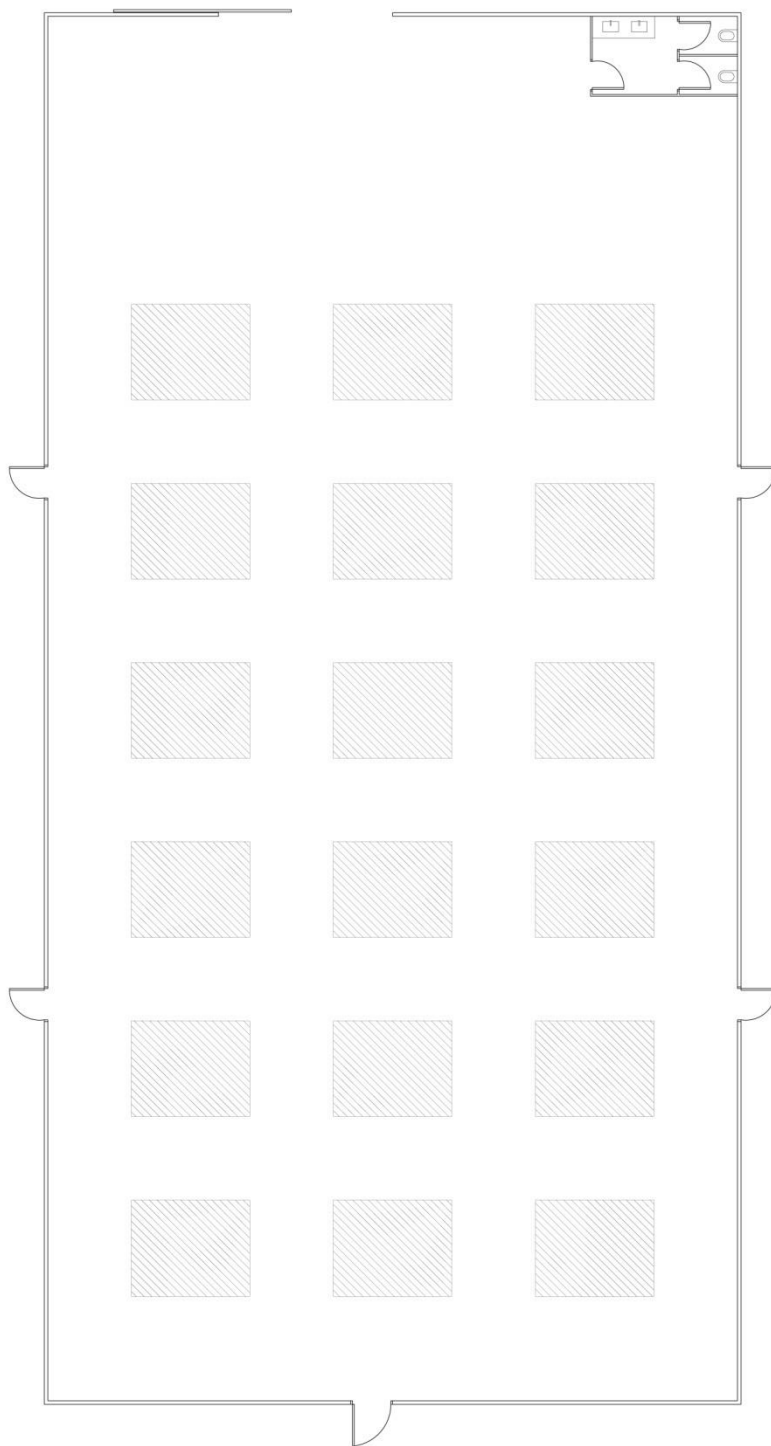


Σχήμα 3.2: Όψη του τοίχου 1





Σχήμα 3.3: Πλάγια όψη (τοιχών 2 και 4)



Σχήμα 3.4: Κάτοψη Ισογείου

## 4 Σχεδιασμός Έναντι Πυρκαγιάς

### 4.1 Πυροθερμικό Φορτίο

Για την αποθήκη μας, δεχόμαστε πως το 85% της επιφάνειάς της καταλαμβάνεται από τον χώρο αποθήκευσης (το υπόλοιπο 15% από τον χώρο φόρτωσης-εκφόρτωσης των προϊόντων, τα γραφεία και κοινόχρηστους χώρους). Η αποθήκευση γίνεται σε στοίβες των 3.6x3x4.5m. Μια μέση πυκνότητα του ξύλου είναι 650kg/m<sup>3</sup>, άρα για κάθε στοίβα έχουμε μάζα 650\*3.6\*3\*4.5=31590kg.

Παίρνουμε αποστάσεις μεταξύ των στοιβών  $L=2.3m$ . Έτσι έχουμε 3 στοίβες κατά το πλάτος  $b=20m$  και 6 κατά το μήκος  $d=0.85*40=34m$ .

Άρα η συνολική καίσιμη μάζα θα είναι 31590\*3\*6=568620kg και το συνολικό πυροθερμικό φορτίο

$$Q_{f,i,k} = \sum M_{k,i} * H_{u,i} * m_i * \Psi_i = 568620 * 17.5 * 0.8 * 1 = 7960680MJ.$$

Η πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου είναι  $Q_{f,i,k}/A=9950.85MJ/m^2$ .

Προχωρούμε σε μελέτη της παθητικής και ενεργητικής πυροπροστασίας της κατασκευής.

### 4.2 Παθητική Πυροπροστασία

#### 4.2.1 Θεωρητικός Πληθυσμός

Όπως φαίνεται και από την κάτοψη, ο θεωρητικός πληθυσμός είναι:

$$\text{Εμβαδό Αποθήκης} = 800m^2$$

$$\text{Εμβαδό Αποθήκης} / 40.00m^2 = 800 m^2 / 40 m^2 = 20 \text{ άτομα.}$$

#### 4.2.2 Οδεύσεις Διαφυγής - Έξοδοι Κινδύνου

Στην αποθήκη δεν υπάρχουν οδεύσεις διαφυγής, μιας και οι έξοδοι είναι γρήγορα και εύκολα προσβάσιμες από κάθε μέρος του κτηρίου. Στην πρόσοψη του κτηρίου (τοίχος 1) υπάρχει η συρόμενη αναρτώμενη θύρα πλάτους 5m και ύψους 5m.

Στους τοίχους 2 και 4 υπάρχουν 2 έξοδοι ανά τοίχο με πλάτος 1m και ύψος 2.3m η καθεμία και στον τοίχο 3 υπάρχει μια έξοδος με πλάτος 1.2m και ύψος 2.3m.

Οι φέρουσες κατασκευές είναι κατασκευασμένες από μεταλλικές διατομές θερμής και ψυχρής έλασης με ειδική προστατευτική επίστρωση.

Το μέγιστο εμβαδό πυροδιαμερίσματος της αποθήκης αυξάνεται κατά 50% λόγω της ύπαρξης συστήματος καταιονητήρων. Άρα τελικά την εξετάζουμε σαν 1 πυροδιαμέρισμα.

Η Μέγιστη Πραγματική Απόσταση Απροστάτευτης Όδευσης είναι 16m<25m.

### 4.2.3 Δομική Πυροπροστασία

Οι πόρτες εξόδου θα έχουν δείκτη πυραντίστασης 60min και ο δείκτης για τον φέροντα οργανισμό θα είναι 180min πολλαπλασιασμένος επί 0.5 λόγω της ύπαρξης καταιονητήρων άρα  $180 \times 0.5 = 90\text{min}$ . Οι τοίχοι θα έχουν δείκτη πυραντίστασης 60min.

### 4.2.4 Φωτισμός - Σήμανση

Στις εξόδους κινδύνου τοποθετείται φωτισμός ασφαλείας. Η αποθήκη όμως θα διαθέτει και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος το οποίο θα ενεργοποιείται αυτόματα σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος.

## 4.3 Ενεργητική Πυροπροστασία

### 4.3.1 Χειροκίνητο Σύστημα Συναγερμού

Το χειροκίνητο σύστημα συναγερμού περιλαμβάνει:

- πίνακα επιτήρησης,
- καλωδιώσεις,
- μπουτόν συναγερμού,
- φαροσειρήνες συναγερμού,
- μετασχηματιστή 24V και
- ηλεκτρική έξοδο για σύνδεση με ηχητικά όργανα συναγερμού (σειρήνες, βομβητές, κώδωνες).

### 4.3.2 Πίνακας Επιτήρησης

Ο πίνακας πυρανίχνευσης αποτελείται από

- κύρια και εφεδρική τροφοδοσία χαμηλής τάσης (η εφεδρική τροφοδοσία θα επαρκεί για συναγερμό 30 λεπτών),
- αυτόματο σύστημα επανάταξης,
- σύστημα επιτήρησης των γραμμών με επιλογικό διακόπτη εντοπισμού της βλάβης,
- σύστημα απόσβεσης των φωτεινών επαναληπτών και
- ηλεκτρική έξοδο για σύνδεση με ηχητικά όργανα συναγερμού.

### 4.3.3 Μπουτόν Συναγερμού

Είναι πλαστικά κουτιά, διαστάσεων 5cm x 5cm, φέρουν κομβίον προστατευμένο με κάλυμμα από εύθραυστο τζάμι. Σπάζοντας το προστατευτικό κάλυμμα και πιέζοντας το κομβίον, μεταδίδεται ηλεκτρικό σήμα στη σειρήνα και στο φάρο «XENON», ώστε να προσφέρεται οπτικό και ηχητικό σήμα στον πληθυσμό. Τοποθετούνται στις εξόδους κινδύνου.

### 4.3.4 Καλωδιώσεις

Για τη σύνδεση του πίνακα επιτήρησης με τα επιμέρους συστήματα χρησιμοποιείται καλώδιο UTP 4 ζευγών, 4 x 0.8mm<sup>2</sup>.

### 4.3.5 Σύστημα Πυρανίχνευσης

Χρησιμοποιούνται συστήματα ανίχνευσης θερμότητας και συστήματα ανίχνευσης καπνού.

Για το σύστημα ανίχνευσης θερμότητας, οι κεφαλές τοποθετούνται σε απόσταση 4m<6m από τον τοίχο και 6m<13m μεταξύ τους στο πλάτος  $b=20m$ , άρα έχουμε 3 κεφαλές κατά  $b$ . Κατά μήκος  $d=40m$  τοποθετούνται σε απόσταση 4m<6m από τον τοίχο και 8m<13m μεταξύ τους, άρα έχουμε 5 κεφαλές κατά  $d$ . Μέγιστο εμβαδό επιρροής κεφαλής είναι το  $6*8=48m^2 < 100m^2$ .

Για το σύστημα ανίχνευσης καπνού, οι κεφαλές τοποθετούνται σε απόσταση 2m<3.5m από τους τοίχους και 4m<10m μεταξύ τους κατά πλάτος  $b$ , άρα έχουμε 4 κεφαλές κατά  $b$ . Κατά μήκος  $d$  τοποθετούνται σε απόσταση 2.5m<3.5m από τους τοίχους και 5m<10m μεταξύ τους άρα έχουμε 8 κεφαλές κατά  $d$ . Μέγιστο εμβαδό επιρροής κεφαλής είναι το  $4*5=20m^2 < 50m^2$ .

### 4.3.6 Σειρήνα Συναγερμού με Ενσωματωμένη Λυχνία (Φάρος)

Η ηλεκτρική σειρήνα είναι κατάλληλη για την αναγγελία ηχητικών σημάτων συναγερμού και είναι τάσεως λειτουργίας 24V DC.

Η σειρήνα είναι επίτοιχη κατάλληλη για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Θα είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο και βαμμένη σε κόκκινο χρώμα. Έχει κατανάλωση ρεύματος όχι μεγαλύτερη από 63mA και ισχύ ήχου σε απόσταση 3m, 90dB.

Θα είναι τοποθετημένη μέσα σε ιδιαίτερο μεταλλικό περίβλημα, το οποίο έχει ενσωματωμένη λυχνία για την παροχή και οπτικών σημάτων συναγερμού. Η λυχνία απαιτεί ρεύμα όχι μεγαλύτερο από 60mA, ενώ θα δίνει ισχύ 0.9CD. Η συσκευή είναι εφοδιασμένη με ηλεκτρονική διάταξη για την παροχή της φωτεινής ενέργειας με αναλαμπές.

#### 4.3.7 Πυροσβεστήρες

Το κυρίως κυλινδρικό δοχείο, που περιέχει την ξηρή σκόνη είναι κατασκευασμένο από χαλυβδοέλασμα που πληροί τις προδιαγραφές NHS 19/72 και έχει υποβληθεί σε δοκιμαστική υδραυλική πίεσης 25 Atm και σε πίεση θραύσης 75 Atm. Το μήκος εκτόξευσης της σκόνης ή του αερίου κατά τη λειτουργία πρέπει να είναι 6.5m. Οι πυροσβεστήρες τοποθετούνται σε κάθε έξοδο κινδύνου. Ένας επίσης τοποθετείται στον τοίχο 4 και ένας στον τοίχο 2, σε απόσταση 23m από τον τοίχο 1, ώστε να περιορίζεται η μέγιστη απόσταση από κάθε σημείο προς πυροσβεστήρα στα <15m.

#### 4.3.8 Φωτιστικό Ασφαλείας

Το φωτιστικό ασφαλείας 6 Watts, διαθέτει συσσωρευτή Ni – Cd, τουλάχιστον 4Ah, 4.8V, διαθέτει λυχνία φθορισμού με τροφοδοσία 220 Volts και διάταξη φορτίσεως και αυτοματισμό αφής κατά τη διακοπή της τροφοδοσίας των 220 Volts, με αυτονομία λειτουργίας 90 min.

#### 4.3.9 Δίκτυο Πυρόσβεσης

Για την πυρόσβεση της αποθήκης, επιλέγεται σύστημα αυτόματου καταιονισμού (SPRINKLER) και μια Πυροσβεστική Φωλιά Κατηγορίας II, δηλαδή για χρήση των ενοίκων μέχρι την άφιξη της Π.Υ., με διάμετρο σωλήνας 45mm. Οι κεφαλές καταιονισμού είναι ανεστραμμένου τύπου sprinkler ½” (12.7mm). Τοποθετούνται σε απόσταση 2m<3m μεταξύ τους και από τους τοίχους, και η επιφάνεια επιρροής του καθενός είναι  $4 \times 2 = 8\text{m}^2 < 9\text{m}^2$  για αποθήκη κατηγορίας Z<sub>3</sub>.

Οι παροχές στα τμήματα που καταλήγουν σε υποδοχείς πυρόσβεσης είναι 55 l/min για τα sprinklers και 380 l/min για την φωλιά. Έχουμε λοιπόν 100 κεφαλές sprinklers. Χρησιμοποιείται αντλία MPFC-D 3 29/20/j πετρελαιοκίνητη, με ισχύ 29HP και μέση παροχή 76m<sup>3</sup>/h άρα 1266 l/min. Ελάχιστος χρόνος λειτουργίας είναι τα 30min, άρα ο ελάχιστος όγκος δεξαμενής είναι τα  $1266 \times 30 / 1000 = 37.98\text{m}^3$ . Επιλέγουμε δεξαμενή διαστάσεων  $3.5 \times 3.5 \times 4 = 49\text{m}^3$ .

Το πιεστικό συγκρότημα αποτελείται από

- πετρελαιοκίνητο αντλητικό συγκρότημα,
- ηλεκτροκίνητο αντλητικό συγκρότημα,
- πιεστική δεξαμενή μεμβράνης όγκου 300 λίτρων,
- πίνακα αυτοματισμού με όλα τα απαραίτητα υλικά για λειτουργία (διακόπτες, λυχνίες κτλ.) και συστήματα εκκίνησης του πετρελαιοκινητήρα, φόρτισης και συντήρησης μπαταριών, και
- όργανα ελέγχου και προστασίας όπως πιεζοστάτες οθόνης, για τον έλεγχο της λειτουργίας του πυροσβεστικού συγκροτήματος, μανόμετρα, βαλβίδες αντεπιστροφής κτλ.

Αφού έχουμε πλέον προσδιορίσει τα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας, μπορούμε να περάσουμε στη μελέτη της πυρκαγιάς μας.

## 4.4 Μελέτη Εξάπλωσης της Πυρκαγιάς

### 4.4.1 Στοιχεία του Πυροδιαμερίσματος

Εισάγουμε τα στοιχεία στο πρόγραμμα OZone. Αρχικά δίνουμε τις διαστάσεις των τοίχων, το σχήμα της οροφής και το ύψος της.

File Tools View Help

Form of Compartment

- Rectangular Floor
- Flat Roof
- Single Pitch Roof
- Double Pitch Roof
- Any Compartment

Height: 7.5 m

Depth: 20 m

Length: 40 m

Ceiling Height: 1.5 m

Define Layers and Openings

Select Wall: Floor Define

Select Walls to Copy to: Ceiling Wall 1 Wall 2 Wall 3 Wall 4 Copy

Copy Openings

Wall	Type	Openings	Length
Floor	1		
Ceiling	2		
Wall 1	3	yes	20
Wall 2	3	yes	40
Wall 3	3	yes	20
Wall 4	3	yes	40

Forced Ventilation

Smoke Extractors: 0

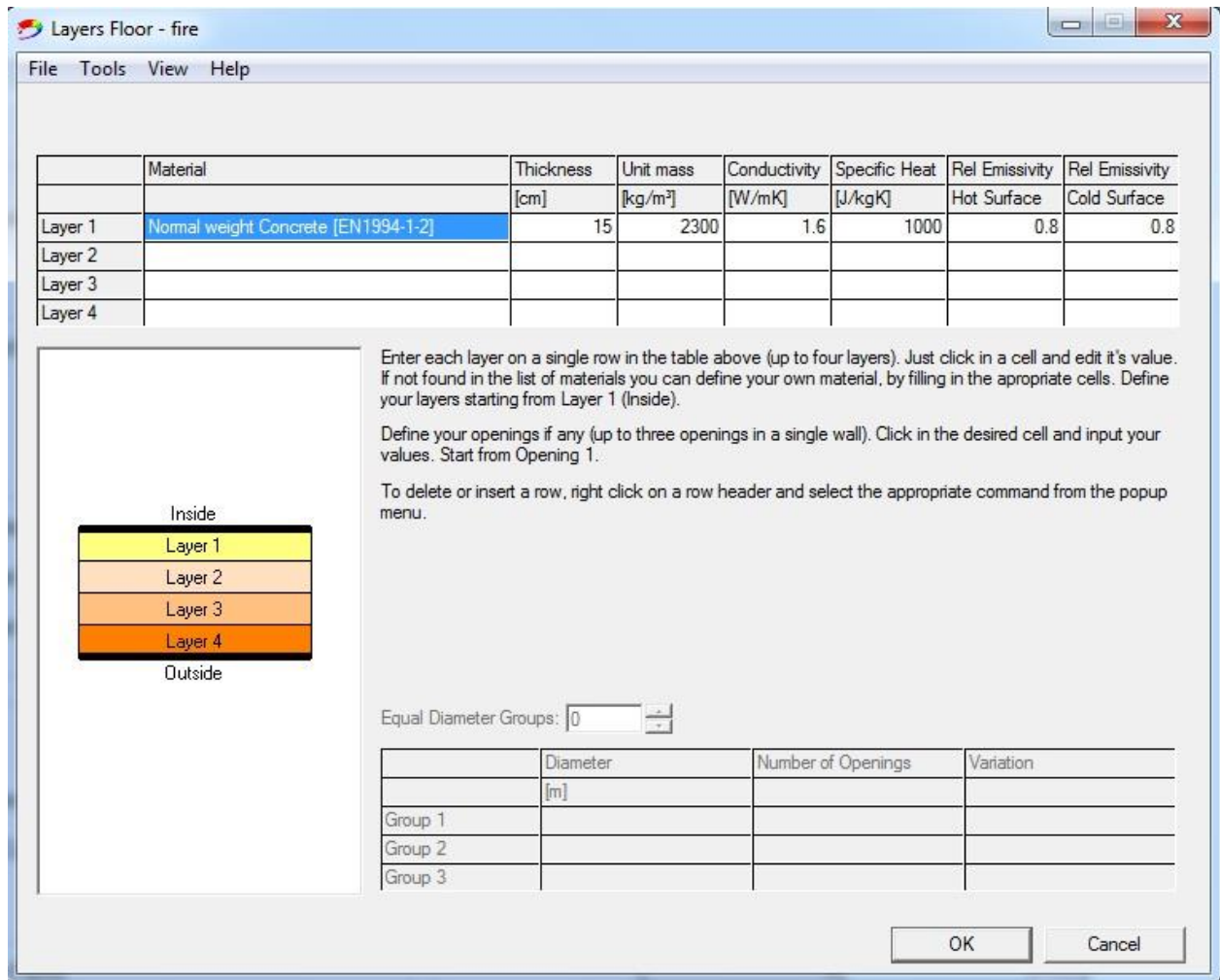
	Height	Diameter	Volume	In/Out
	m	m	m <sup>3</sup> /sec	
Extractor 1				
Extractor 2				
Extractor 3				

OK Cancel

Σχήμα 4.1: Διαστάσεις Πυροδιαμερίσματος

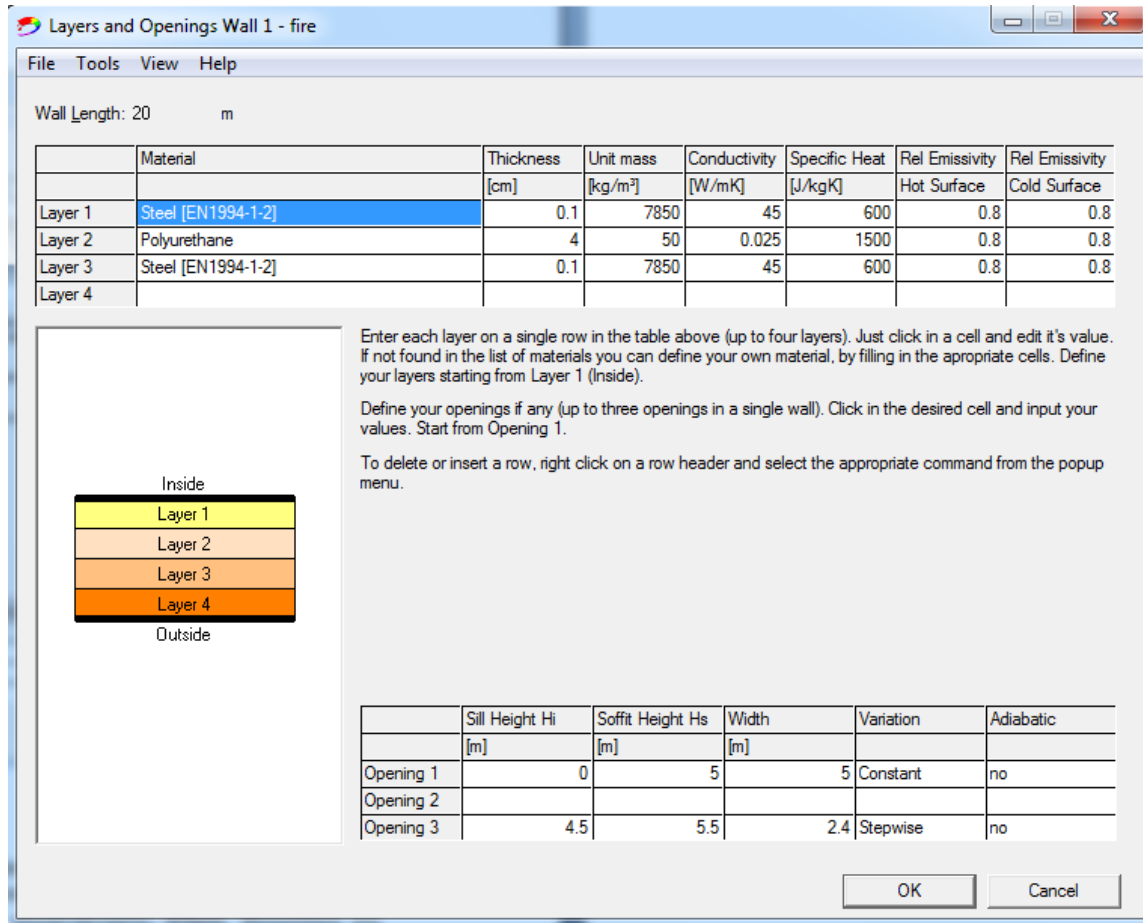


Στη συνέχεια εισάγουμε τα υλικά κατασκευής του περιβλήματος, δηλαδή της οροφής, του πατώματος και των τοίχων.



Σχήμα 4.2: Υλικά κατασκευής του πατώματος

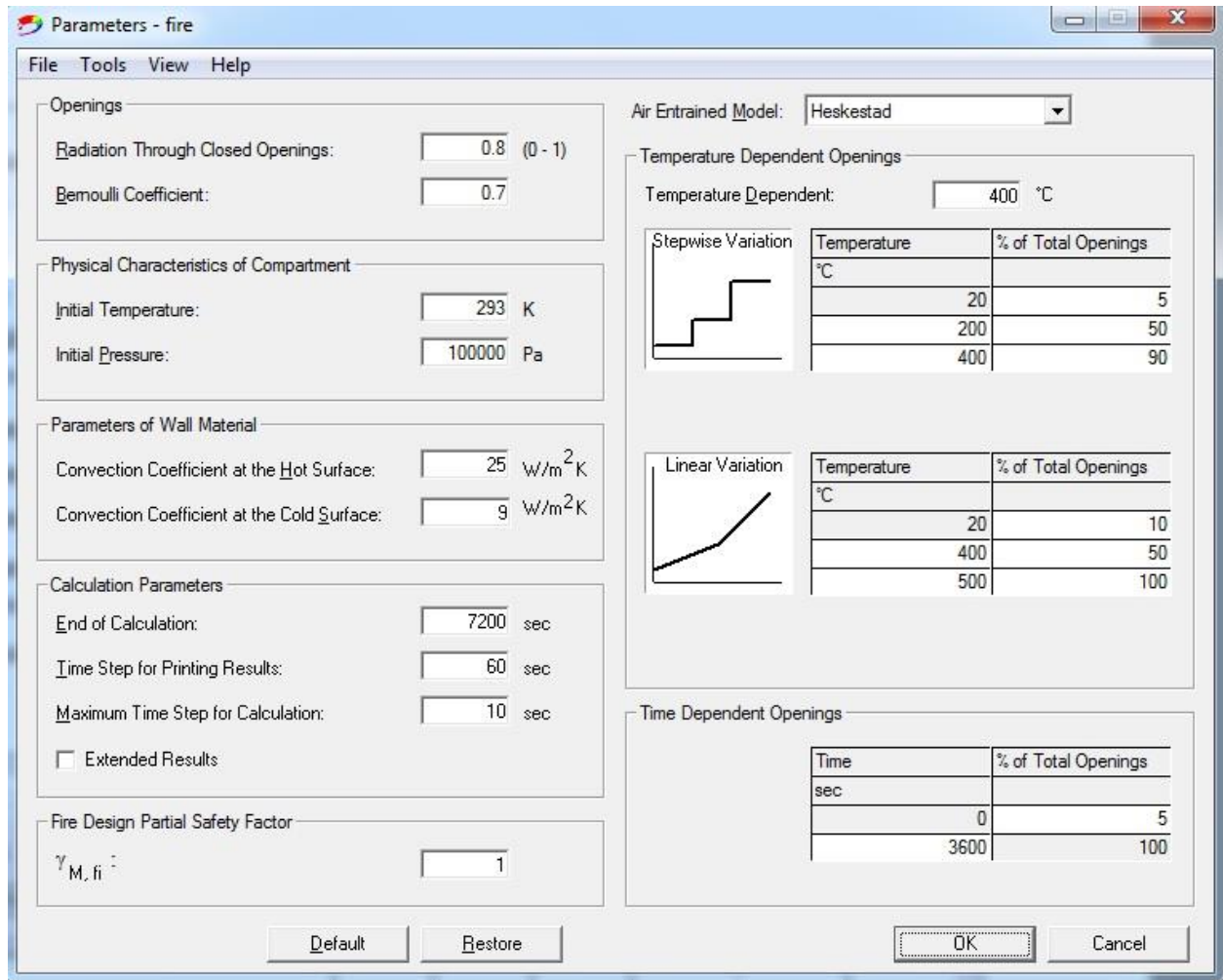
Για τους τοίχους, πρέπει να δηλώσουμε και τα μεγέθη των ανοιγμάτων, καθώς και τη κατάσταση τους (ανοιχτά/ κλειστά) και τη μορφή μεταβολής αυτής της κατάστασης.



Σχήμα 4.3: Υλικά κατασκευής τοίχων, ανοίγματα και τρόπος μεταβολής τους

Για τα παράθυρα, θεωρούμε ότι έχουμε διπλά τζάμια και πως ανοίγουν με την πυρκαγιά σε βαθμό 50% στους 200°C και σε βαθμό 90% στους 400 °C. Για τις πόρτες, θεωρούμε χρονικά εξαρτώμενη υποχώρηση, άρα με δείκτη πυραντίστασης 60min, θεωρούμε ότι είναι πλήρως ανοιχτές στα 3600sec.

Η κύρια είσοδος, από όπου γίνεται η φόρτωση και εκφόρτωση των αποθηκευόμενων προϊόντων, θεωρείται ανοιχτή κάθε στιγμή. Έτσι έχουμε τις παρακάτω παραμέτρους ανοιγμάτων.



Σχήμα 4.4: Παράμετροι υποχώρησης ανοιγμάτων

#### 4.4.2 Στοιχεία της Πυρκαγιάς

Προχωρούμε στην εισαγωγή των στοιχείων της φωτιάς. Για την εύρεση της τιμής σχεδιασμού πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου χρησιμοποιείται ο τύπος

$$q_{f,d} = q_{f,k} * m * \delta_{q1} * \delta_{q2} * \delta_n$$

όπου

$m$  είναι ο συντελεστής καύσης, εδώ παίρνεται 0.8

$\delta_{q1}$  ο συντελεστής επικινδυνότητας εκδήλωσης φωτιάς, που σχετίζεται με το μέγεθος του διαμερίσματος

$\delta_{q2}$  ο συντελεστής επικινδυνότητας που σχετίζεται με τη χρήση του διαμερίσματος και  $\delta_n$  ο μειωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπ' όψιν τα μέσα ενεργητικής πυροπροστασίας.

Για τον  $\delta_{q1}$  από τον παρακάτω πίνακα (EN 1991-1-2, Πίνακας E.1)

**Πίνακας 4.1: Κίνδυνος έναρξης πυρκαγιάς αναλογικά με το μέγεθος τους διαμερίσματος**

	Compartment floor area $A_f$ [m <sup>2</sup> ]				
	$\leq 25$	$\leq 250$	$\leq 2500$	$\leq 5000$	$\leq 10000$
Danger of fire activation $\delta_{q1}$	1,10	1,50	1,90	2,00	2,13

Και με γραμμική παρεμβολή, έχοντας  $A=680\text{m}^2$ , παίρνουμε  $\delta_{q1}=1.68$ .

Για τον  $\delta_{q2}$ , από τον ίδιο πίνακα

**Πίνακας 4.2: Κίνδυνος έναρξης πυρκαγιάς αναλογικά με τη χρήση του διαμερίσματος**

Danger of fire activation $\delta_{q2}$	Examples of occupancies
0,78	artgallery, museum, swimming pool
1,00	offices, residence, hotel, paper industry
1,22	manufactory for machinery & engines
1,44	chemical laboratory, painting workshop
1,66	manufactory for fireworks or paints

Με γραμμική παρεμβολή μεταξύ της χρήσης «βιομηχανία χάρτου» και της χρήσης «βιομηχανία μηχανολογικού εξοπλισμού», και με ένα βαθμό ελευθερίας, παίρνουμε  $\delta_{q2}=1.05$ .

Για τον συντελεστή  $\delta_n$ , από τον πίνακα EN 1991-1-2, Πίνακας E.2:

Πίνακας 4.3: Μειωτικοί συντελεστές μέτρων ενεργητικής πυροπροστασίας

$\delta_{ni}$ Function of Active Fire Fighting Measures	Automatic fire suppression	Automatic water extinguishing system	$\delta_{n1}$	0,61	
		Independent water supplies	0	1,0	
			1	$\delta_{n2}$	0,87
	Automatic fire detection	Automatic fire detection & alarm	2	0,7	
			by heat	$\delta_{n3}$	0,87
		Automatic fire transmission to fire brigade	by smoke	$\delta_{n4}$	0,73
	Manual fire suppression			$\delta_{n5}$	0,87
			Work fire brigade	$\delta_{n6}$	0,61
			Work fire brigade	$\delta_{n7}$	0,78
			Safe Access Routes	$\delta_{n8}$	0,9 or 1,0 or 1,5
Fire Fighting Devices			$\delta_{n9}$	1,0 or 1,5	
Smoke Exhaust System	$\delta_{n10}$	1,0 or 1,5			

Με τον συνυπολογισμό όλων των προαναφερθέντων μέσων, παίρνουμε  $\delta_n=0.3084$ .

Βρίσκουμε λοιπόν τελική τιμή  $q_{f,d}=4382.3 \text{ MJ/m}^2$ .

Fire - fire

File Tools View Help

Fire Curve

EN 1991 - 1 - 2  User Defined Fire

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kW/m <sup>2</sup> ]	Fire Load q <sub>f,k</sub> 80% Fractile [MJ/m <sup>2</sup> ]	Danger of Fire Activation
User Defined	200		9000	9950.85
Description	Fast	Stacked wood of height 4.5 m		1.05

Active Fire Fighting Measures

- Automatic Water Extinguishing System  $\delta_{n,1} = 0.61$
- Independent Water Supplies ( 1  2)  $\delta_{n,2} = 0.87$
- Automatic Fire Detection by Heat  $\delta_{n,4} = 0.73$
- Automatic Fire Detection by Smoke  $\delta_{n,5} = 0.87$
- Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade  $\delta_{n,6} = 0.61$
- Work Fire Brigade  $\delta_{n,8} = 1$
- Off Site Fire Brigade  $\delta_{n,9} = 1$
- Safe Access Routes  $\delta_{n,10} = 1.5$
- Staircases Under Overpressure in Fire Alarm
- Fire Fighting Devices
- Smoke Exhaust System

Fire Info

Max Fire Area:  m<sup>2</sup>

Fire Elevation:  m Fuel Height:  m

Design Fire Load

Fire Risk Area:  m<sup>2</sup>  $\delta_{q,1} = 1.68$

Danger of Fire Activation:  $\delta_{q,2} = 1.05$

Active Measures:  $\prod \delta_{n,i} = 0.3084$

$q_{f,d} = \delta_{q,1} \cdot \delta_{q,2} \cdot \prod \delta_{n,i} \cdot m \cdot q_{f,k} = 4330.8 \text{ MJ/m}^2$

Combustion

Combustion Heat of Fuel:  MJ/kg

Combustion Efficiency Factor:

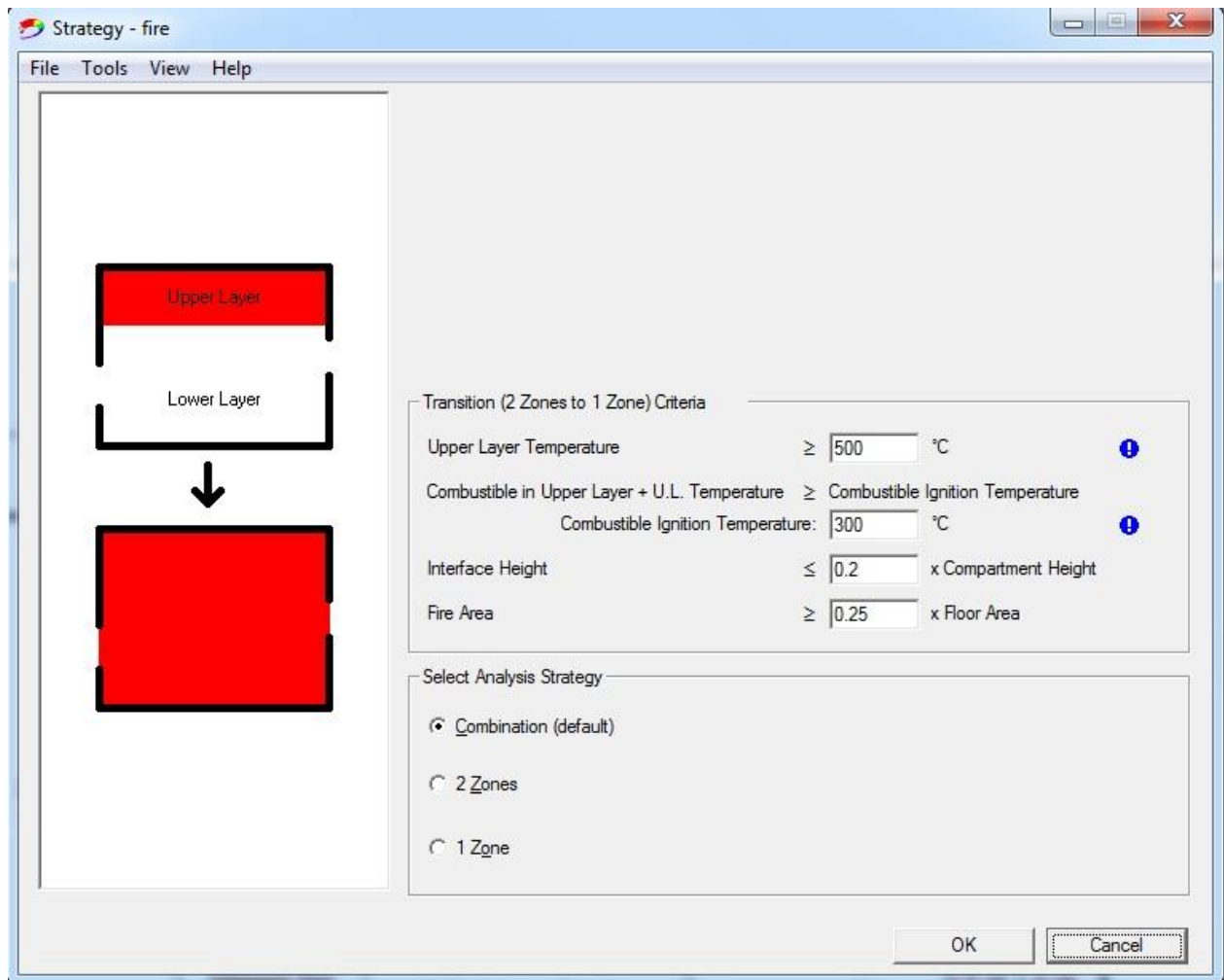
Combustion Model:

Stoichiometric Coefficient:

OK Cancel

Σχήμα 4.5: Στοιχεία συντελεστών της χαρακτηριστικής τιμής πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου

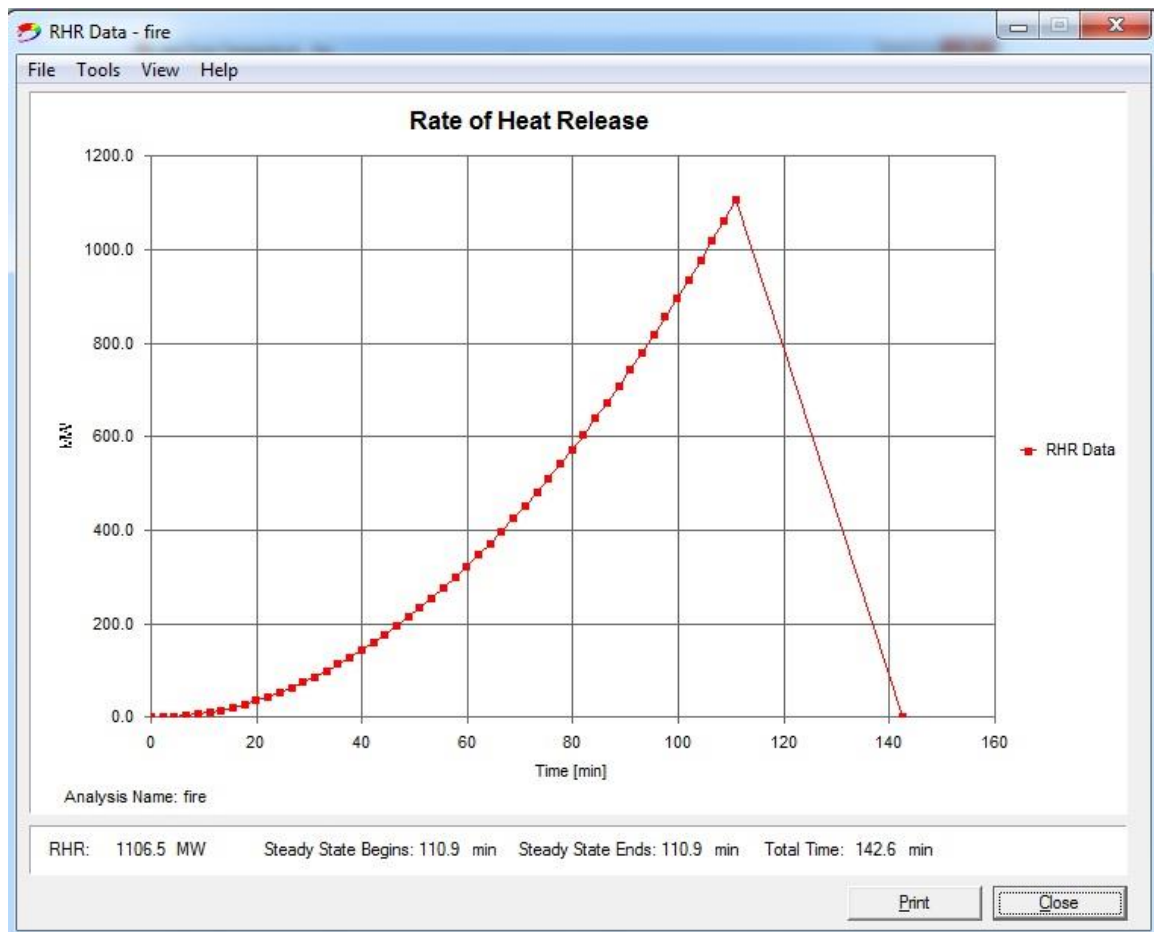
Τέλος, εισάγουμε και τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία το μοντέλο μελέτης θα μετατραπεί από 2 ζωνών σε μίας ζώνης ύστερα από κάποια χρονική στιγμή, έπειτα από την εκπλήρωση τουλάχιστον ενός από αυτά τα κριτήρια.



Σχήμα 4.6: Κριτήρια αλλαγής του μοντέλου εξάπλωσης

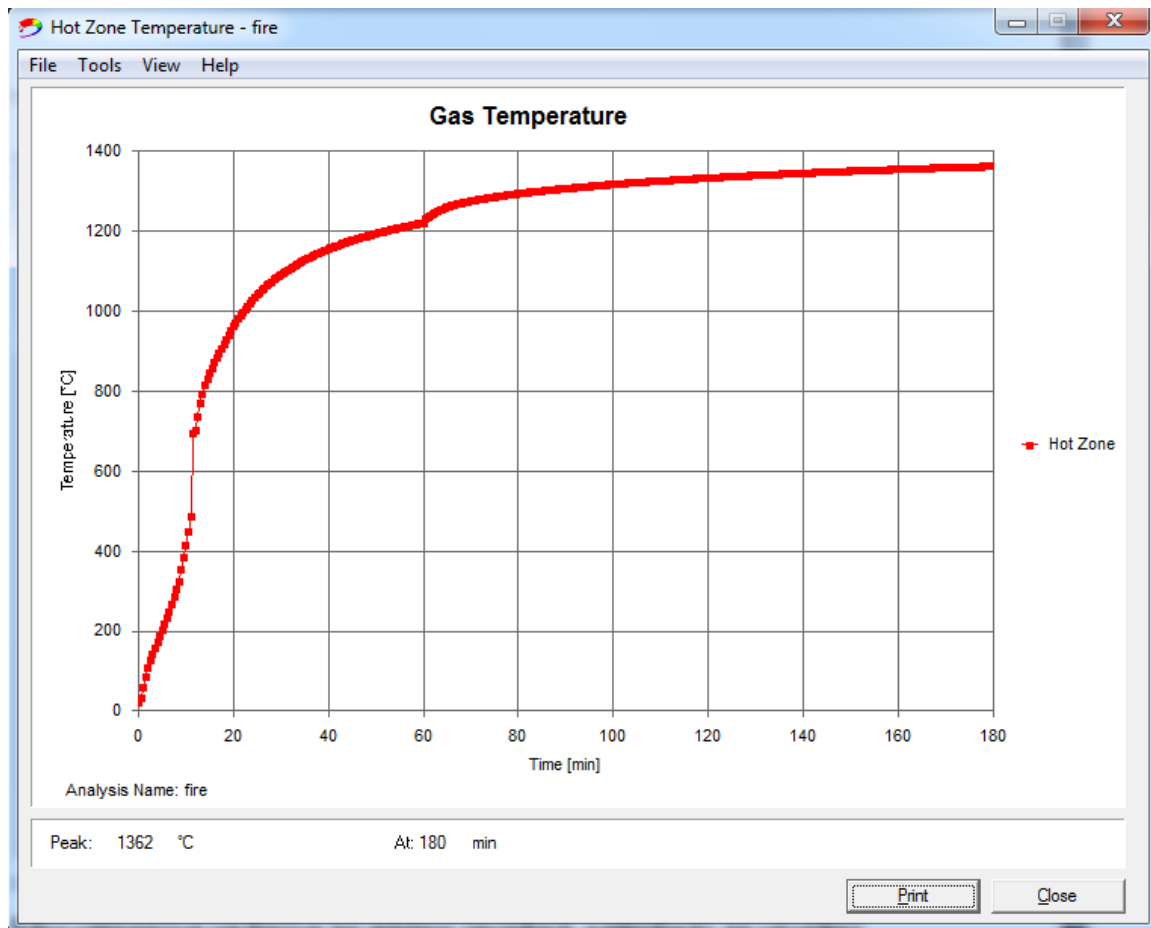
Αφού έχουμε τελειώσει με την εισαγωγή στοιχείων, περνάμε στην προσομοίωση της φωτιάς. Τρέχοντας το πρόγραμμα βλέπουμε ότι περνάμε στο μοντέλο της 1 ζώνης, πληρώνοντας το κριτήριο για  $T > 500^{\circ}\text{C}$ , στα 673sec. Επίσης μπορούμε να λάβουμε διάφορα άλλα στοιχεία όπως ο ΡΕΘ και η θερμοκρασία των αερίων:





Σχήμα 4.7: RHR αναλογικά με το χρόνο

Εδώ μπορούμε να δούμε τις φάσεις (ανοδική, καθοδική), το μέγεθος του ΡΕΘ καθώς και πότε τελειώνει η καύση του πυροθερμικού φορτίου.

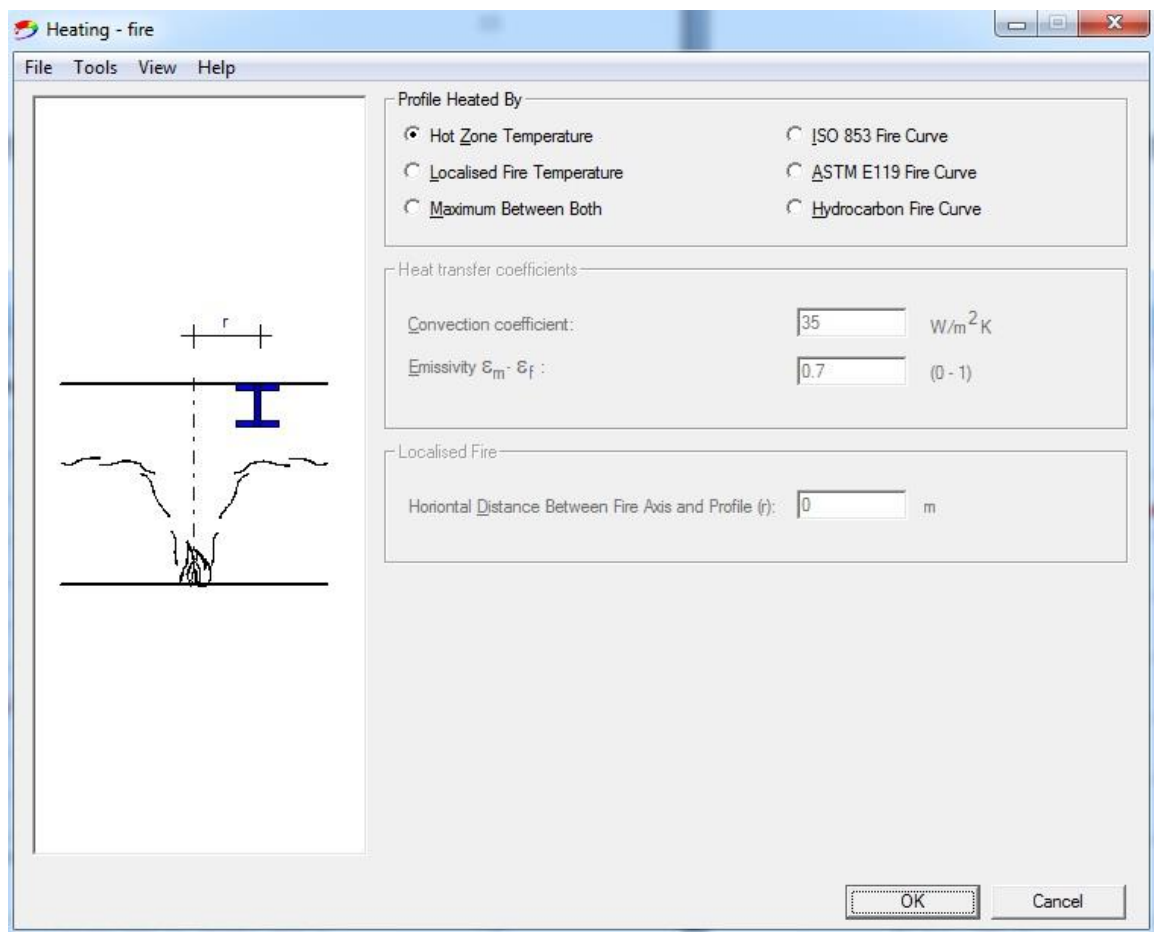


Σχήμα 4.8: Θερμοκρασιακή μεταβολή του άνω στρώματος

Εδώ παρατηρούμε τη στιγμή όπου έχουμε τη μεταβολή από 2 στρώματα σε ένα (380sec), καθώς και τη στιγμή όπου ουσιαστικά υποχωρούν οι έξοδοι κινδύνου (60min).

#### 4.5 Ανάλυση των Διατομών

Συνεχίζουμε επιλέγοντας το μοντέλο θέρμανσης των δομικών μελών του διαμερίσματος. Παίρνουμε το μοντέλο θερμής ζώνης.



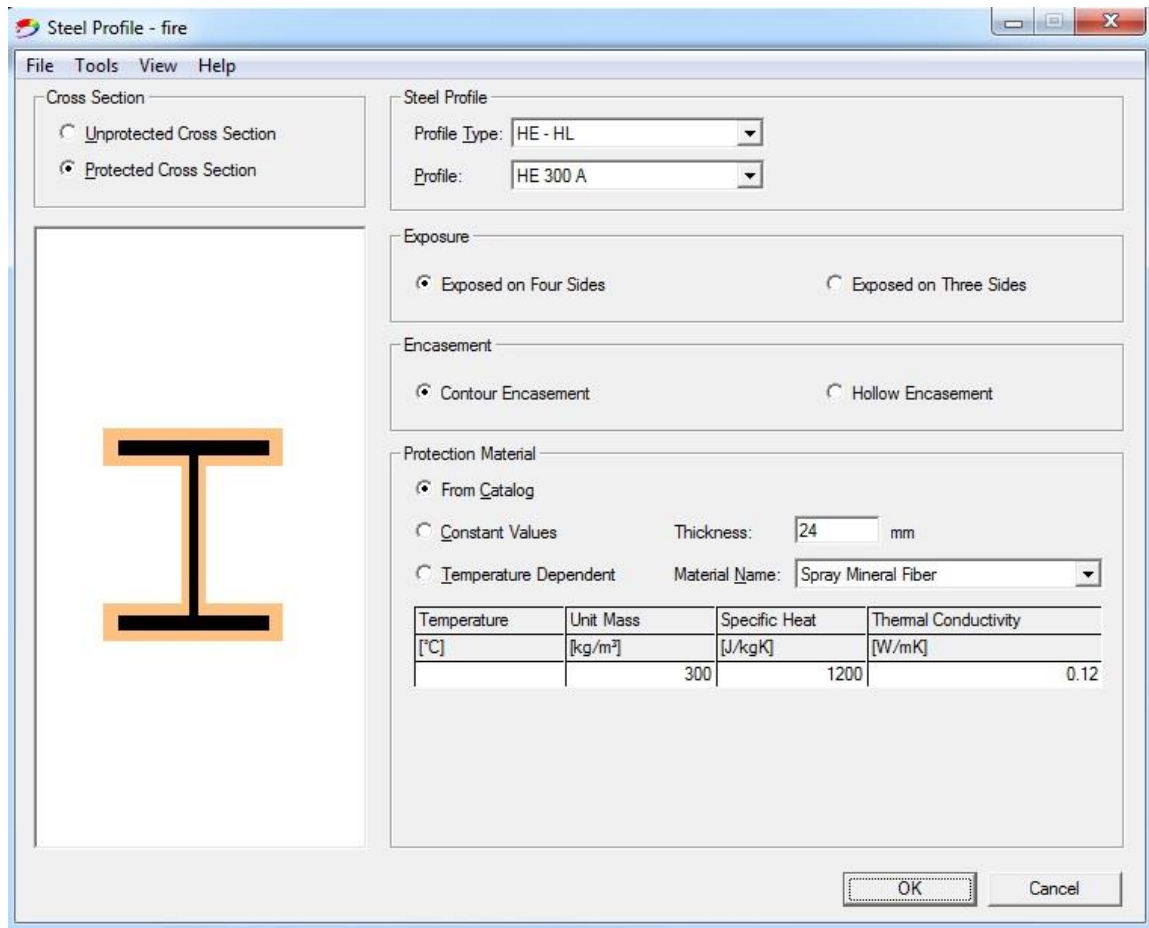
Σχήμα 4.9: Μοντέλο θέρμανσης διατομών

Αφού διαλέξουμε και το μοντέλο θέρμανσης, μπορούμε να περάσουμε στη μελέτη των επιμέρους στοιχείων του κτηρίου ώστε να προσδιορίσουμε την κρίσιμη θερμοκρασία τους, την αντοχή τους στις καταπονήσεις κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς και την επάρκεια τους ως προς τον επιτρεπόμενο δείκτη πυραντίστασης του κτηρίου. Οι τοίχοι έχουν δείκτη πυραντίστασης 90min, άρα δεν λαμβάνεται υπ' όψιν πιθανή ανεπάρκεια τους σε συνθήκες πυρκαγιάς.

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει τις διατομές HEA180, HEA300 και HEB360 που μας ενδιαφέρουν, οπότε θα το χρησιμοποιήσουμε για να τις αναλύσουμε και να ελέγξουμε την επάρκεια τους.

#### 4.5.1 Διατομή HEA300 των Μετωπικών Στύλων

Κάνουμε την ανάλυση μας για τον κεντρικό μετωπικό στύλο μήκους 7.5m, αφού θα είναι και ο δυσμενέστερος.



Σχήμα 4.10: Στοιχεία της διατομής του μετωπικού στύλου

Το περίβλημα της μόνωσης που έχουμε επιλέξει είναι εκτοξευόμενο επίχρισμα από ορυκτοβάμβακα, ενιαίου πάχους 24mm. Η διατομή μας θεωρείται εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από 4 μεριές. Η θερμοκρασία δίνεται με επαναλήψεις του τύπου θέρμανσης του χάλυβα σύμφωνα με τον ENV 1993-1-2:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \cdot (A_p/V) \cdot (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \cdot \Delta t}{d_p \cdot c_a \cdot \rho_a \cdot (1 + \varphi/3)} - (e^{\varphi/10} - 1) \cdot \Delta\theta_{g,t}$$

$$\text{με } \varphi = \frac{c_p \cdot \rho_p \cdot d_p \cdot A_p/V}{c_a \cdot \rho_a}$$

Όπου:

$A_p/V$  ο συντελεστής διατομής για μέλη από χάλυβα μονωμένα με υλικά πυροπροστασίας  
 $A_p$  το κατάλληλο εμβαδό του υλικού πυροπροστασίας ανά μονάδα μήκους του μέλους ( $m^2$ )

$V$  ο όγκος ανά μονάδα μήκους του μέλους ( $m^3$ )

$c_a$  η εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία ειδική θερμότητα του χάλυβα (J/kgK)

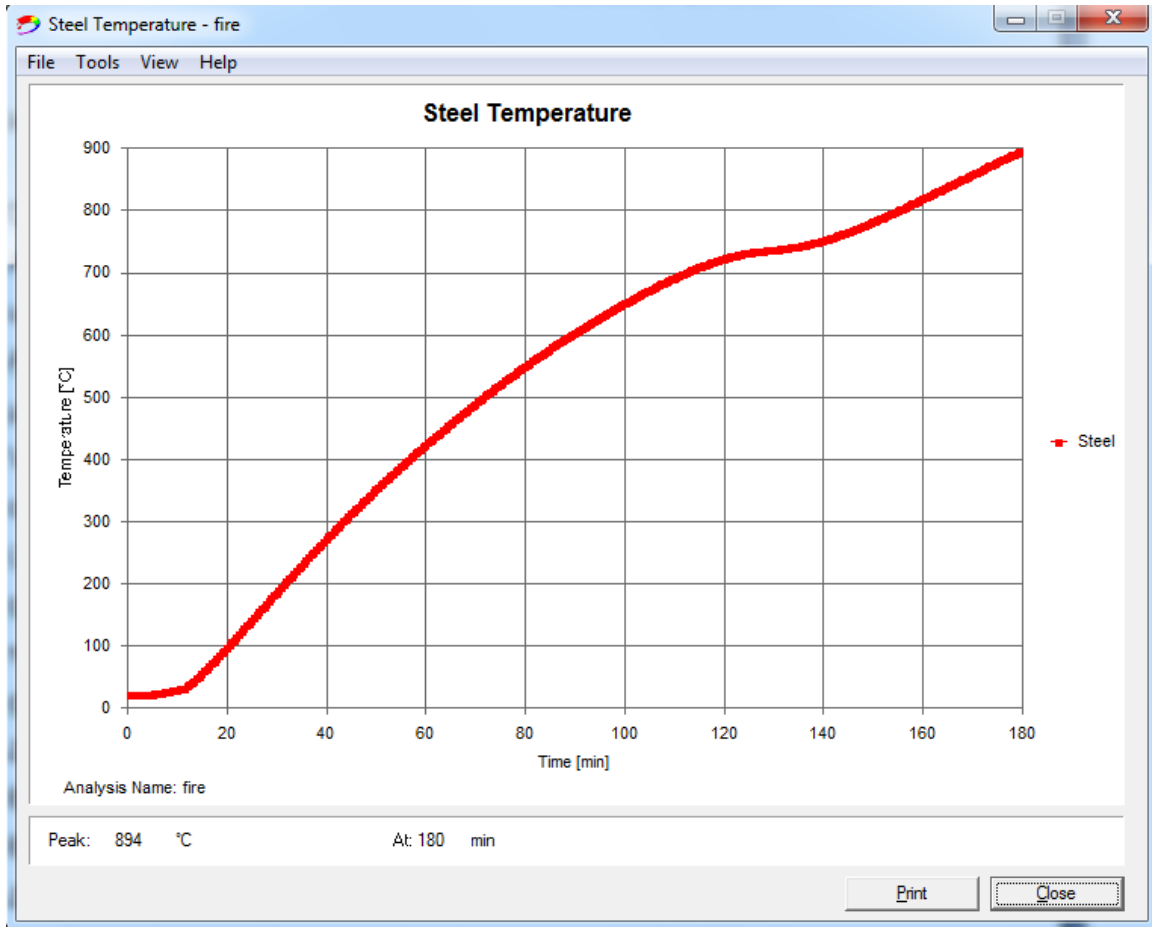
$c_p$  η ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία ειδική θερμότητα του υλικού πυροπροστασίας (J/kgK)

$d_p$  το πάχος του υλικού πυροπροστασίας (m)

$\Delta t$  το χρονικό διάστημα (s)

$\theta_{a,t}$  η θερμοκρασία του χάλυβα τη χρονική στιγμή  $t$  (°C)  
 $\theta_{g,t}$  η θερμοκρασία του περιβάλλοντος τη χρονική στιγμή  $t$  (°C)  
 $\Delta\theta_{g,t}$  η αύξηση της  $\theta_{g,t}$  κατά το χρονικό διάστημα  $\Delta t$   
 $\lambda_p$  η θερμική αγωγιμότητα του υλικού πυροπροστασίας (W/mK)  
 $\rho_a$  η πυκνότητα του χάλυβα ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $\rho_p$  η πυκνότητα του υλικού πυροπροστασίας ( $\text{kg/m}^3$ )

Η αύξηση της θερμοκρασίας του χάλυβα παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:

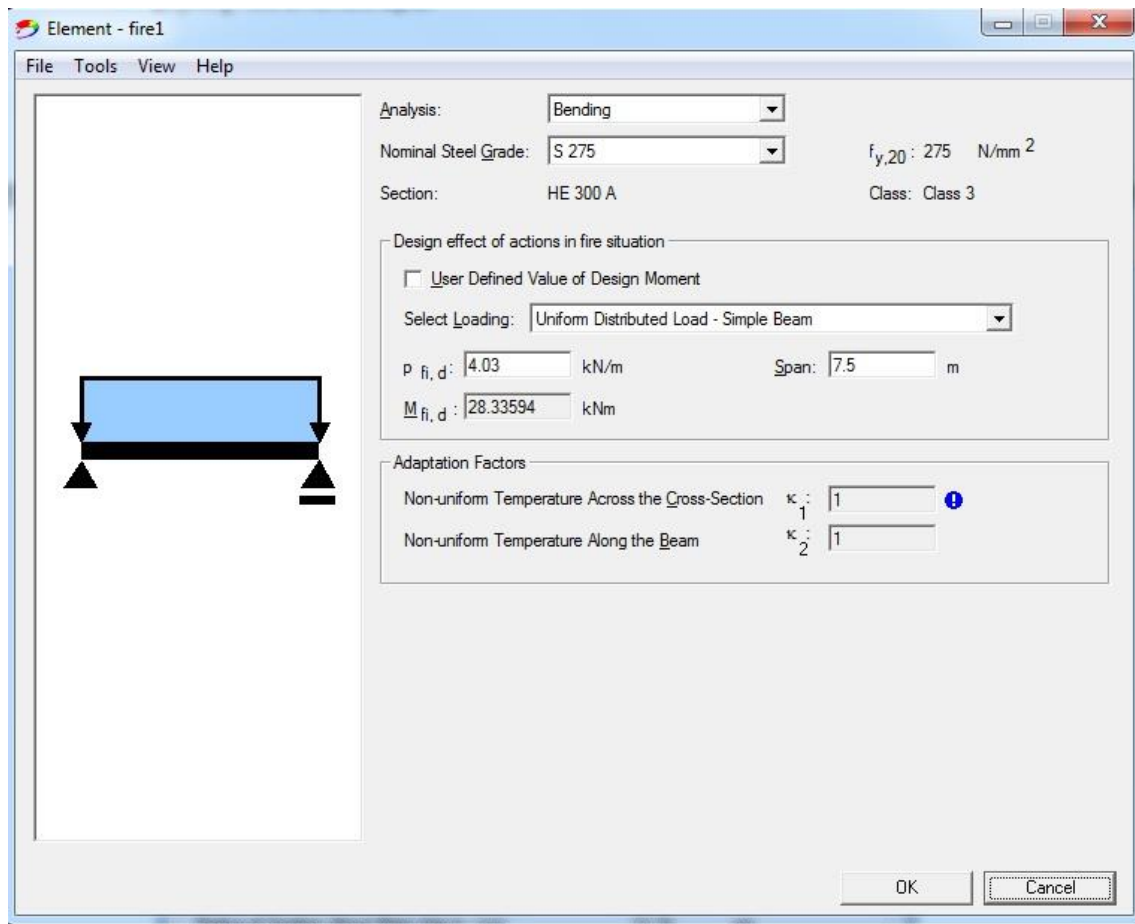


Σχήμα 4.11: Θερμοκρασία του χάλυβα για τη διατομή HEA300

Από το διάγραμμα βλέπουμε τη μέγιστη θερμοκρασία στο διάστημα που εξετάζουμε, καθώς και ότι η θερμοκρασία στα 90min είναι 620.30°C.

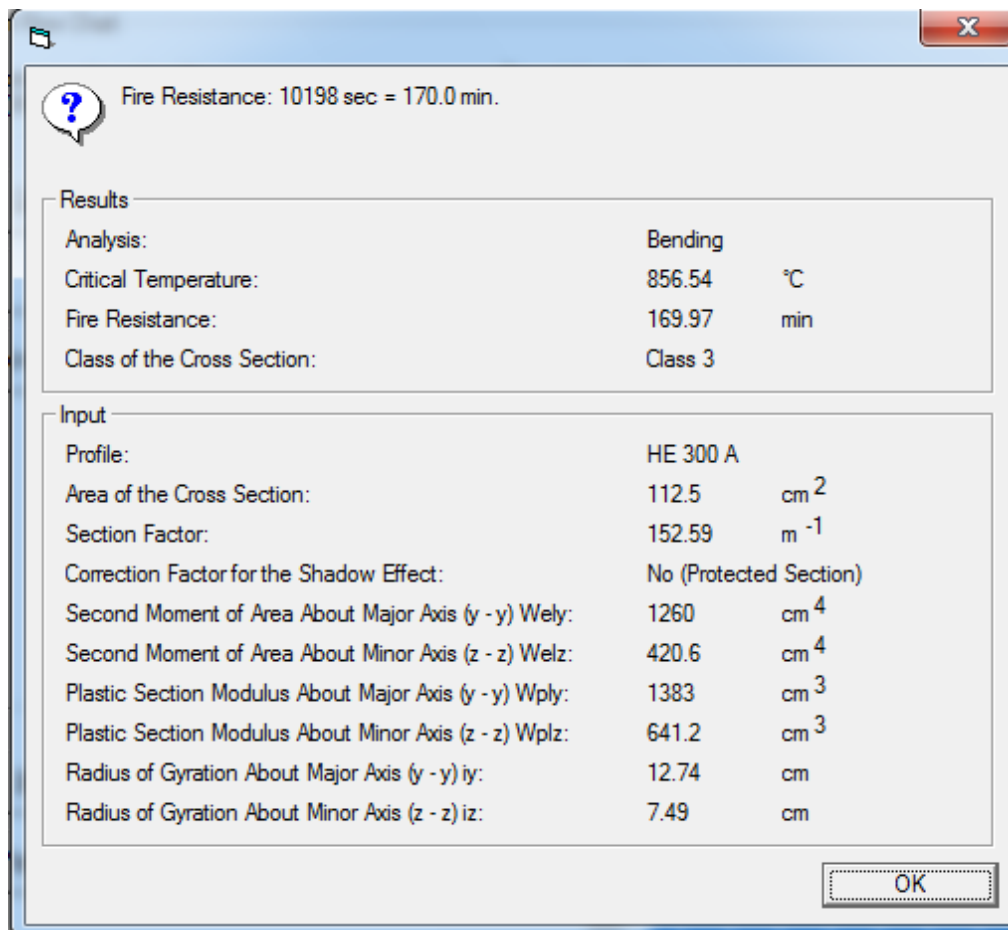
Στη συνέχεια ορίζουμε τη φόρτιση στην οποία επιβάλλεται η διατομή στην κατάσταση φωτιάς. Για τα φορτία του ανέμου ως κύρια μεταβλητή δράση, σύμφωνα με τον EN 1991-1-4, έχουμε συντελεστή αλληλεπίδρασης  $\psi_1=0.2$ .

Άρα ο μετωπικός στύλος υποβάλλεται σε φορτία  $q_{Ed} = 0.2 \cdot 20.15 = 4.03 \text{ kN/m}$ . Θεωρούμαι ομογενή θερμοκρασία στη διατομή και στο μήκος του στύλου άρα:



Σχήμα 4.12: Φορτία στο μετωπικό στύλο κατά την πυρκαγιά

Τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης μας δίνουν ότι η διατομή αστοχεί έπειτα από  $169.97\text{min} > 90\text{min}$ , σε κρίσιμη θερμοκρασία  $856.54^\circ\text{C}$ , άρα επαρκεί.



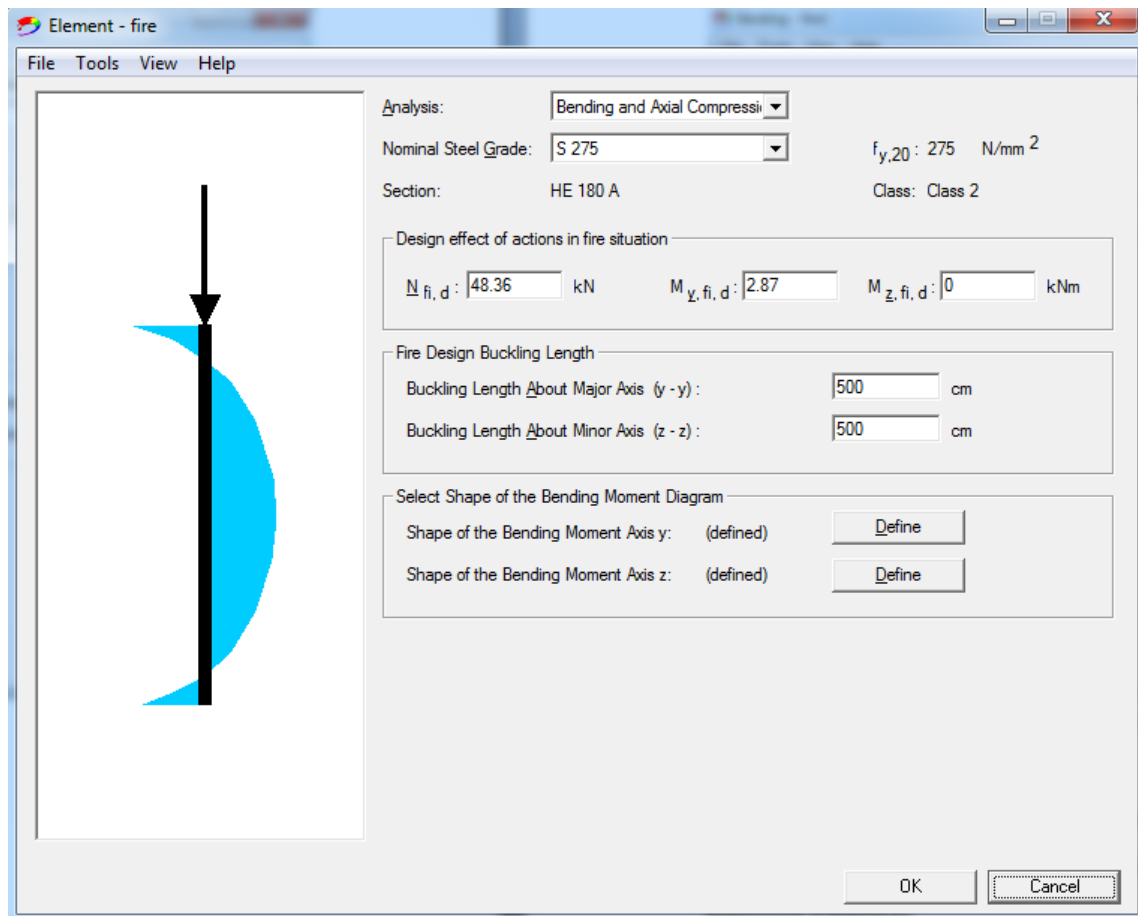
Σχήμα 4.13: Αποτελέσματα της ανάλυσης της διατομής HEA300

#### 4.5.2 Διατομή HEA180 των Κεφαλοδοκών

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία μόνωσης. Από το διάγραμμα θέρμανσης του χάλυβα βρίσκουμε ότι στα 90min, η θερμοκρασία της διατομής έχει φτάσει τους 713.53°C.

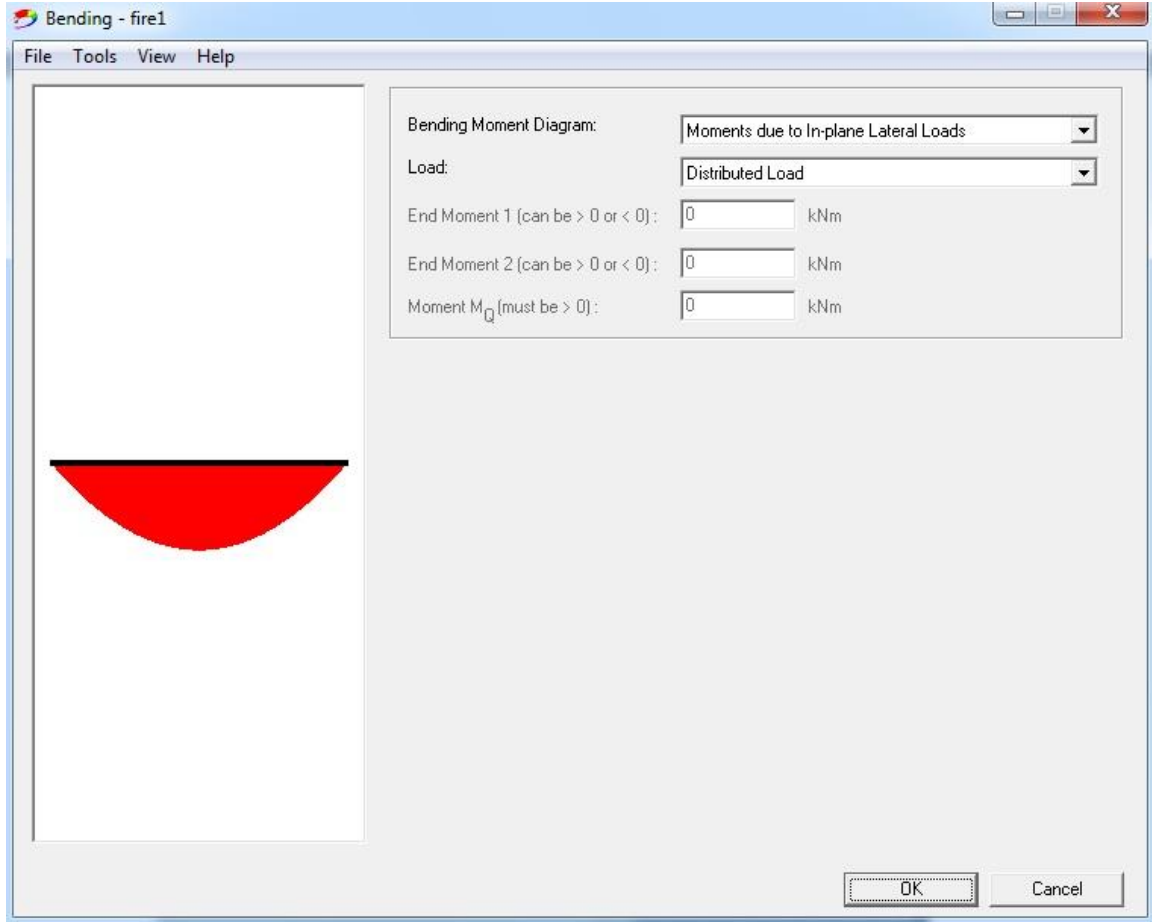
Καταπονείται από θλιπτική δύναμη  $N_{fi,d}=48.36\text{kN}$  και καμπτική ροπή  $M_{y,fi,d}=2.87\text{kNm}$ , από το κατανεμημένο φορτίο του ανέμου.





Σχήμα 4.14: Καταπόνηση της κεφαλοδοκού HEA180

Ορίζουμε το διάγραμμα ροπών.



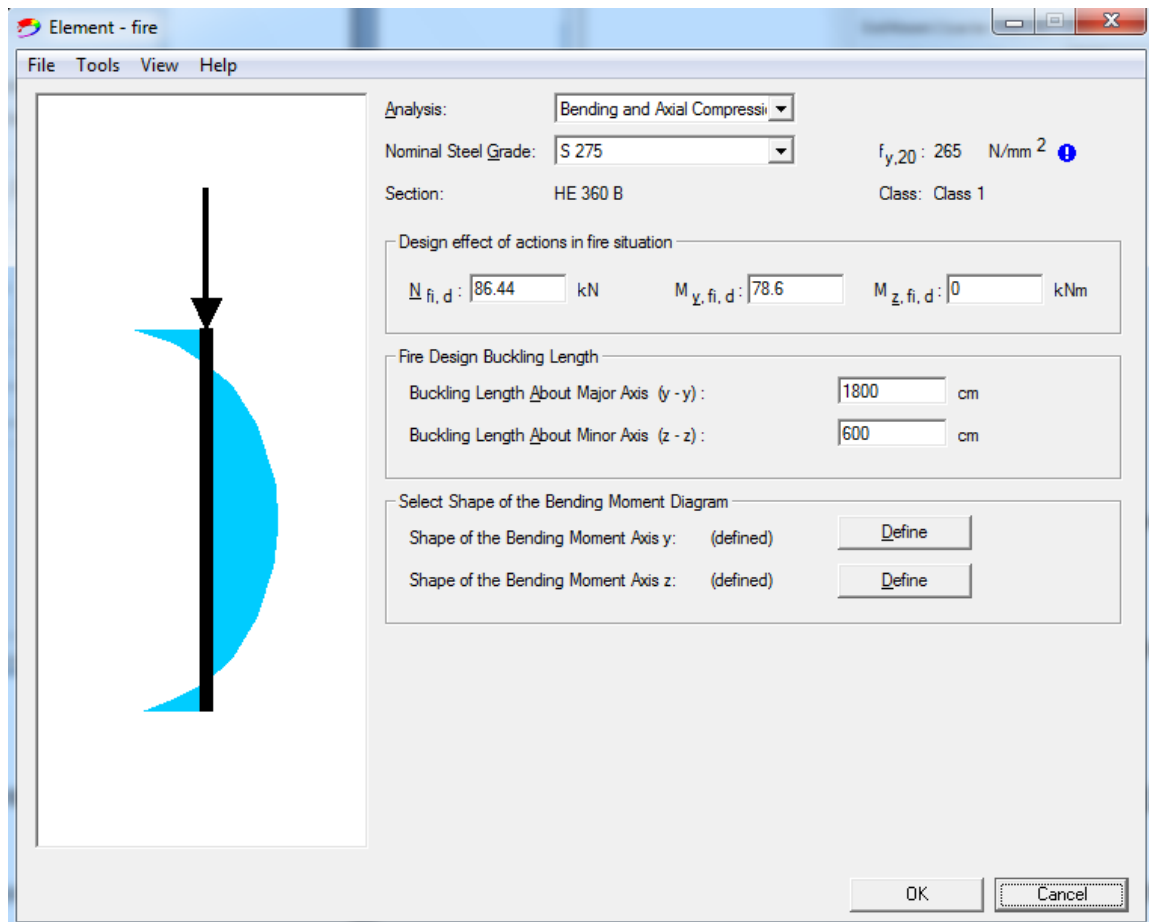
Σχήμα 4.15: Διάγραμμα καμπτικών ροπών της κεφαλοδοκού HEA180

Τα τελικά αποτελέσματα δίνουν ότι η κρίσιμη θερμοκρασία των  $721.27^{\circ}\text{C}$  πραγματοποιείται σε χρόνο  $92.12\text{min} > 90\text{min}$ , άρα η διατομή επαρκεί.

#### 4.5.3 Διατομή HEB360 των Υποστυλωμάτων και Δοκών

Με τις ίδιες συνθήκες μόνωσης, βρίσκουμε ότι στα 90min φωτιάς, η θερμοκρασία των διατομών έχει φτάσει τους  $483.66^{\circ}\text{C}$ .

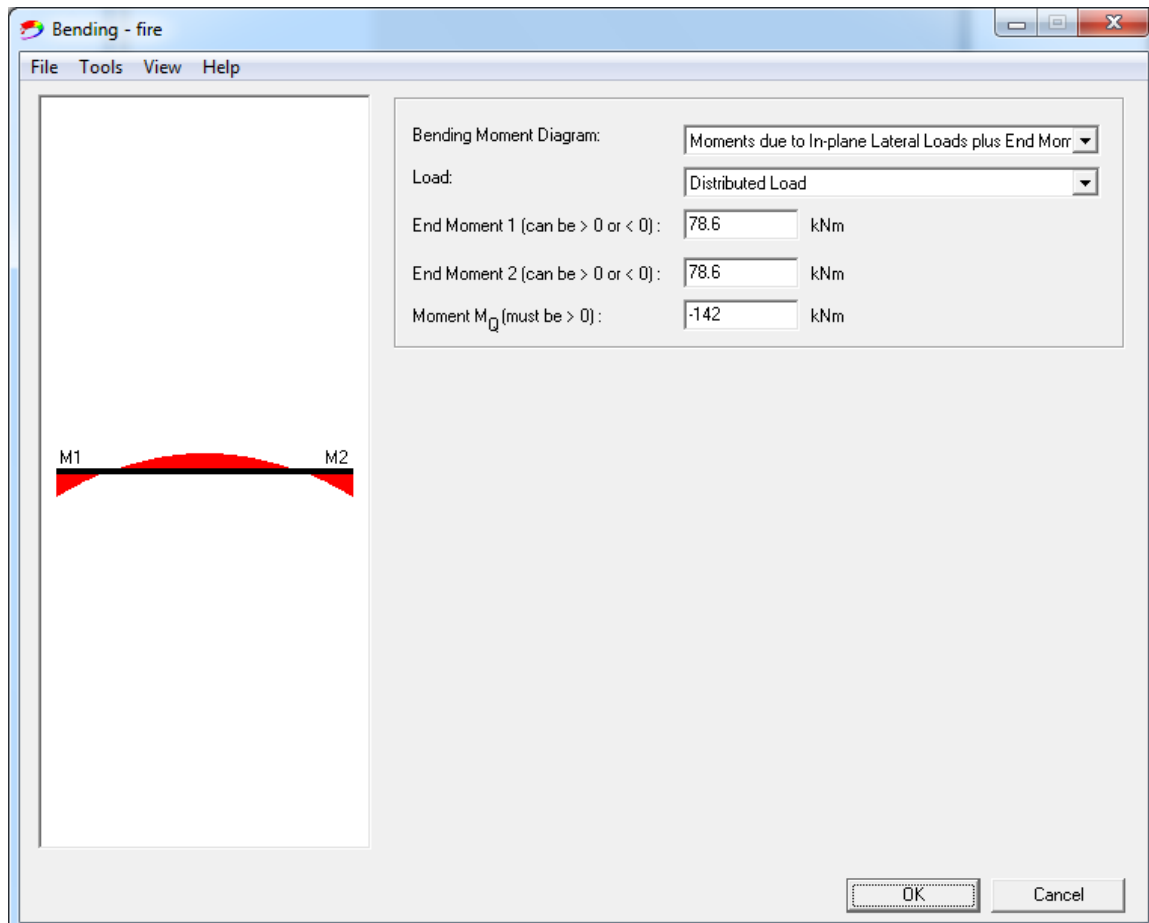
Το υποστύλωμα καταπονείται από φορτία  $2.84\text{kN/m}$ . Αυτά προκαλούν τέμνουσα  $V_{fi,d}=13.1\text{kN}$  στη βάση του υποστυλώματος και ροπή  $M_{y,fi,d}=78.6\text{kNm}$  στην κεφαλή του, καθώς και θλιπτική δύναμη  $N_{fi,d}=28.4+58.04$  (από κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας)= $86.44\text{kN}$ .



Σχήμα 4.16: Καταπόνηση του υποστυλώματος HE360

Η διατομή έχει κρίσιμη θερμοκρασία  $701.58^{\circ}\text{C}$ , που φτάνει σε διάστημα 15.49min, άρα επαρκεί.

Για την δοκό HEB360, έχουμε θλιπτική δύναμη ίση με την τέμνουσα του υποστυλώματος και ροπή ίση με τη ροπή στην κεφαλή του υποστυλώματος. Ροπή επίσης προκαλείται από τα φορτία ανέμου της οροφής ίση με  $M_{y,fi,d,q}=-142\text{kNm}$ , στο μέσο.



Σχήμα 4.17: Διάγραμμα ροπών της δοκού HEB360

Η κρίσιμη θερμοκρασία είναι  $784.36\text{ }^\circ\text{C}$ , μεγαλύτερη από τη μέγιστη των 180min ( $738.85^\circ\text{C}$ ), άρα και αυτή επαρκεί.

#### 4.5.4 Διατομή UPN160 των Κατακόρυφων Συνδέσμων

Για τις υπόλοιπες διατομές που δεν υπάρχουν στο πρόγραμμα, χρησιμοποιούμε υπολογιστικά φύλλα Excel και, εφαρμόζοντας τον τύπο του ENV 1993-1-2, βρίσκουμε τη θερμοκρασία τους στα 90min.

<b>Hot Zone</b>		<b>UPN160</b>				
<b>time</b>	<b>temp</b>	<b>ca</b>	<b>φ</b>	<b>Δθa,t</b>	<b>θa</b>	
0	20	439.80176	0.470484	0	20	
0.5	31.582	439.80176	0.470484	-0.476159	19.52384	
1	58.01	439.46426	0.470845	-1.002187	18.52165	
1.5	85.823	438.75159	0.47161	-0.866928	17.65473	
2	108.354	438.13256	0.472277	-0.447097	17.20763	
2.5	127.068	437.8124	0.472622	-0.126952	17.08068	
3	143.383	437.72137	0.47272	0.1056937	17.18637	
3.5	158.415	437.79716	0.472638	0.2736036	17.45997	
4	172.891	437.99318	0.472427	0.4010851	17.86106	
4.5	187.266	438.28011	0.472118	0.5047772	18.36584	
5	201.832	438.6405	0.47173	0.5947946	18.96063	
5.5	216.793	439.06414	0.471275	0.6769301	19.63756	
6	232.309	439.54493	0.470759	0.7544926	20.39205	
6.5	248.512	440.07912	0.470188	0.8297913	21.22185	
7	265.528	440.66458	0.469563	0.904011	22.12586	
7.5	283.48	441.29999	0.468887	0.9781583	23.10401	
8	302.49	441.98467	0.46816	1.0531254	24.15714	

Σχήμα 4.18: Υπολογιστικό φύλλο EXCEL για τη διατομή UPN160

Η θερμοκρασία στα 90min έχει φτάσει τους 664.3°C. Χρησιμοποιούμε τον παρακάτω πίνακα για να βρούμε τον συντελεστή  $k_{y,\theta}$ .

Πίνακας 4.4: Συντελεστής μείωσης των ιδιοτήτων του χάλυβα αναλογικά με τη θερμοκρασία

Steel Temperature $\theta_a$	Reduction factors at temperature $\theta_a$ relative to the value of $f_y$ or $E_a$ at 20°C		
	Reduction factor (relative to $f_y$ ) for effective yield strength  $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to $f_y$ ) for proportional limit  $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to $E_a$ ) for the slope of the linear elastic range  $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

**NOTE:** For intermediate values of the steel temperature, linear interpolation may be used.

Με γραμμική παρεμβολή βρίσκουμε τον  $k_{y,\theta}=0.32$ .

Η εφελκυστική δύναμη που ασκείται κατά την πυρκαγιά,  $N_{fi,Ed}$ , είναι  $0.2 \cdot 566.62 / 1.5 = 75.55 \text{ kN}$ .

Η αντοχή της διατομής σε εφελκυσμό σε  $t=90 \text{ min}$  είναι  $N_{fi,Rd} = 0.32 \cdot 660 = 211.2 \text{ kN}$ , άρα επαρκεί.

#### 4.5.5 Διατομή L100x100x8 των Οριζόντιων Συνδέσμων

Από τους υπολογισμούς μας στο Excel, βρίσκουμε ότι σε χρόνο  $t=90\text{min}$ , η θερμοκρασία της διατομής έχει φτάσει τους  $731.75^\circ\text{C}$ . Ο συντελεστής  $k_{y,\theta}=0.192$ . Η εφελκυστική δύναμη κατά την πυρκαγιά είναι  $N_{fi,Ed}=0.2*290.61/1.5=38.74\text{kN}$ .

Η αντοχή της διατομής σε εφελκυσμό είναι  $N_{fi,Rd}=0.192*426.52=81.9\text{kN}$ , άρα η διατομή μας επαρκεί.

#### 4.5.6 Διατομή C180x70x8 των Μηκίδων

Σε χρόνο  $t=90\text{min}$ , η διατομή έχει φτάσει σε θερμοκρασία  $731.5^\circ\text{C}$ . Κατά την πυρκαγιά, ασκείται καμπτική ροπή μεγέθους  $M_{fi,Ed}=1.6*5^2/8=5\text{kNm}$ .

Για τη διατομή έχουμε  $c/t=(180-2*12)/8=19.5$ .

$$\varepsilon=0.85*\sqrt{(235/275)}=0.786$$

άρα  $c/t < 72*\varepsilon=57$ , η διατομή είναι κατηγορίας 1.

Ο μειωτικός συντελεστής  $k_{y,\theta}=0.186$ .

Η αντοχή της σε κάμψη είναι  $M_{fi,Rd}=0.182*(1/1)*113*35.5=7.46\text{kNm}$ , επαρκεί.

#### 4.5.7 Διατομή Z200x80x7 των τεγίδων

Σε χρόνο  $t=90\text{min}$ , η διατομή έχει φτάσει σε θερμοκρασία  $745.37^\circ\text{C}$ .

Ο μειωτικός συντελεστής είναι  $k_{y,\theta}=0.176$ .

Στη διατομή ασκείται καμπτική ροπή μεγέθους  $M_{fi,Ed}=1.84*5^2/8=5.75\text{kNm}$ .

Έχουμε  $c/t=25.57$  και  $\varepsilon=0.85*\sqrt{(235/355)}=0.69$ , άρα  $c/t < 72*\varepsilon=49.68$ , άρα η διατομή είναι κατηγορίας 1.

Η αντοχή της σε κάμψη είναι  $M_{fi,Rd}=0.186*46.86=8.72\text{kNm}$ , επαρκεί.

### 4.6 Συνδέσεις

Η αστοχία στις θέσεις συνδέσεων μπορεί να παραληφθεί, αφού υποθέτουμε πως η θερμοκρασία στις θέσεις αυτές είναι μειωμένη λόγω της παρουσίας πρόσθετου υλικού. Η αντοχή κοχλιωτών και συγκολλητών συνδέσεων θεωρείται επαρκής εάν η θερμική αντίσταση  $(d_f/\lambda_f)_c$  τους είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των μελών. Με λίγα λόγια, αν εφαρμόσουμε θερμομόνωση πάχους  $2.6\text{cm}$  σε όλες τις θέσεις σύνδεσης, αυτές θεωρούνται ασφαλείς. Παρ' όλα αυτά, μπορούμε ενδεικτικά να ελέγξουμε μερικές συνδέσεις και την επάρκειά τους.

Ο έλεγχος των συνδέσεων γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του EN 1993-1-2. Για αντοχή κοχλιών σε διάτμηση χρησιμοποιείται ο τύπος

$$F_{v,t,Rd}=F_{v,Rd}*k_{b,\theta}*(\gamma_{M2}/\gamma_{M,f_i})$$



για αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας

$$F_{b,t,Rd} = F_{b,Rd} * k_{b,\theta} * (\gamma_{M2} / \gamma_{M,f_i})$$

και για αντοχή σε εφελκυσμό

$$F_{ten,t,Rd} = F_{t,Rd} * k_{b,\theta} * (\gamma_{M2} / \gamma_{M,f_i})$$

Για τις συγκολλήσεις, η αντοχή δίνεται από τον τύπο  $F_{w,t,Rd} = F_{w,Rd} * k_{w,\theta} * (\gamma_{M2} / \gamma_{M,f_i})$ .

Οι συντελεστές  $k_{b,\theta}$  και  $k_{w,\theta}$  δίνονται από τον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 4.5: Μειωτικοί συντελεστές κοχλιών και συγκολλήσεων**

Temperature $\theta_a$	Reduction factor for bolts, $k_{b,2}$ (Tension and shear)	Reduction factor for welds, $k_{w,2}$
20	1,000	1,000
100	0,968	1,000
150	0,952	1,000
200	0,935	1,000
300	0,903	1,000
400	0,775	0,876
500	0,550	0,627
600	0,220	0,378
700	0,100	0,130
800	0,067	0,074
900	0,033	0,018
1000	0,000	0,000

#### 4.6.1 Κοχλίες Κατακόρυφων Συνδέσμων

Θεωρούμε ότι δέχονται την ίδια μόνωση με τη διατομή και παρακολουθούν τη θερμοκρασία της. Για 664.3°C, ο συντελεστής  $k_{b,\theta} = 0.143$ , άρα η αντοχή σε διάτμηση είναι

$$F_{v,t,Rd} = 129.7 \text{ kN} > 75.55 \text{ kN} \text{ επαρκεί.}$$

Η αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας είναι

$$F_{b,t,Rd} = 110.68 \text{ kN} \text{ επαρκεί.}$$

Ο συντελεστής  $k_{w,\theta} = 0.22$ , άρα η αντοχή της συγκόλλησης είναι

$$F_{w,t,Rd} = 215.66 \text{ kN.}$$

#### 4.6.2 Κοχλίες Τεγίδων

Για 745.37°C, ο μειωτικός συντελεστής είναι  $k_{b,\theta} = 0.085$ . Η αντοχή σε εφελκυσμό είναι  $F_{ten,t,Rd} = 5.16 \text{ kN} > N_{Ed,t} = 4.6 \text{ kN}$ .

Τα υπόλοιπα μέλη αγγίζουν θερμοκρασίες κατά πολύ χαμηλότερες από τη θερμοκρασία των τεγίδων και είναι υπέρ-επαρκή σε συνθήκες πυρκαγιάς. Σε συνδυασμό με τις διατάξεις και προτάσεις του EC, ο έλεγχος των μέσων συνδέσεων τους παραλείπεται.

## 5 Συμπεράσματα-Προτάσεις

### 5.1 Φορέας

Μια εύκολη πρώτη παρατήρηση είναι το μειωμένο βάρος της κατασκευής, λόγω της αντικατάστασης του σκυροδέματος στις θέσεις τοίχων και οροφής από μεταλλικά πάνελ. Αποτέλεσμα αυτού του μειωμένου βάρους, είναι το πολύ χαμηλό σεισμικό φορτίο, τόσο μικρό που ουσιαστικά παραβλέπεται στην στατική μας ανάλυση.

Συγκριτικά, ένας αντίστοιχος φορέας με οροφή και περίβλημα κατασκευασμένα από σκυρόδεμα θα είχε βάρος  $(800*0.15 + 120*6*0.20)*24=6336\text{kN}$ , δηλαδή σεισμική μάζα  $q=0.237*6336=1710.7\text{kN}$ . Σε ικανοτικό σχεδιασμό, τα φορτία δοκών και υποστρωμάτων θα ήταν κατά πολύ μεγαλύτερα από τα τωρινά, και θα έπρεπε να επιλεγούν ακόμα μεγαλύτερες διατομές.

Αλλά ακόμα και με διατήρηση της μεταλλικής οροφής, η σεισμική μάζα των τοίχων θα ήταν μεγέθους  $0.237*3456=819.1\text{kN}$ , πάλι κατά πολύ μεγαλύτερη της τωρινής.

Από οικονομική σκοπιά, μόνο το κόστος του σκυροδέματος, για την 1<sup>η</sup> περίπτωση αγγίζει τις 66000€, ενώ για τη δεύτερη θα χρειαζόντουσαν περίπου 50000€, με την τιμή του κυβικού στα 250€ και των μεταλλικών πάνελ με μόνωση από πολυουρεθάνη στα 30€/m<sup>2</sup>. Αντίθετα, με τοποθέτηση μεταλλικών πάνελ σε τοίχους και οροφή, η τιμή των υλικών φτάνει τα 45600€ .

### 5.2 Ανάλυση της Πυρκαγιάς

Για την ανάλυση της φωτιάς, χρησιμοποιήσαμε ένα απλοποιημένο μοντέλο, το οποίο είναι προφανώς επαρκές για την ανάλυση μιας μικρού μεγέθους αποθήκης. Για την καλύτερη ανάλυση της ανάπτυξης της θερμοκρασίας στις διατομές, υπάρχουν πολυπλοκότερα μοντέλα, με βάσεις στα πεπερασμένα στοιχεία και κατά πολύ ακριβέστερα αποτελέσματα. Κάποια από αυτά είναι το Sofie, το Fire Dynamics Simulator (FDS) και το FireFoam/OpenFoam.

### 5.3 Παθητική και Ενεργητική Πυροπροστασία

Στην περίπτωση της πυρκαγιάς, το σκυρόδεμα απαγορεύει την μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας. Πράγματι, βλέπουμε πως με ολόκληρο το περίβλημα κατασκευασμένο από σκυρόδεμα, η θερμοκρασία του αέρα δεν ακουμπάει τους 900°C. Επίσης το σκυρόδεμα παρέχει θερμομονωτική κάλυψη στη μία πλευρά των διατομών, κάνοντας ακόμα δυσκολότερη την όποια πιθανή αστοχία τους.

Ένα πρόβλημα που υπάρχει στην επιλογή των υλικών είναι η ύπαρξη της πολυουρεθάνης ως μόνωσης. Αν και υλικό με μεγάλη θερμική χωρητικότητα και μικρή αγωγιμότητα, δεν παύει να είναι αρκετά εύφλεκτο. Σε περίπτωση, λοιπόν, υποχώρησης των μεταλλικών πάνελ, όντας εκτεθειμένη στην πυρκαγιά, δεν είναι απίθανη η ανάφλεξη

της, άρα και η αύξηση του πυροθερμικού φορτίου και η επιβάρυνση των διατομών. Μια βελτίωση είναι η αντικατάστασή της από πλάκες πετροβάμβακα. Οι πλάκες αυτές έχουν μικρότερη θερμική χωρητικότητα, όμως είναι πρακτικά άφλεκτες.

Για την μόνωση των μελών, όπως είδαμε, ο εκτοξευόμενος ορυκτοβάμβακας είναι καθ' όλα κατάλληλος. Το μη αποδεκτό αισθητικό αποτέλεσμα δεν έχει ιδιαίτερη σημασία εδώ, αφού ο χώρος είναι καθαρά επαγγελματικός. Παρ' όλα αυτά, μπορεί να αντικατασταθεί με διογκούμενες αντιπυρικές βαφές. Οι βαφές αυτές, αντιδρούν με την αύξηση της θερμοκρασίας και φτάνουν σε πάχος ως και 50 φορές μεγαλύτερο από το αρχικό τους. Πριν εφαρμοσθούν πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν ο απαιτούμενος δείκτης πυραντίστασης και διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής, ώστε το πάχος τους να είναι επαρκές. Ένα μειονέκτημα τους είναι το μεγάλο κόστος, γι' αυτό συνιστούνται για κτήρια με πολύ υψηλό βαθμό επικινδυνότητας (βιομηχανίες πυρομαχικών κτλ.). Σε περίπτωση που δεν επιθυμείται η επίχριση των διατομών, είναι δυνατή η κατασκευή περιβλήματος γυψοσανίδας ή σκυροδέματος, αν και η τελευταία θα ανεβάσει δραματικά το κόστος κατασκευής.

Για την προστασία του πληθυσμού, είναι ιδιαίτερα σημαντική η τήρηση των κανόνων ασφαλείας. Η σωστή διαρρύθμιση του αποθηκευτικού χώρου (πλάτη και ύψη στοιβών), προσφέρει τη δυνατότητα εύκολης διαφυγής στους κατοίκους και τον έλεγχο του πυροθερμικού φορτίου.

Για τον έλεγχο αυτό, εύκολα παρατηρεί κανείς, μέσω των μειωτικών συντελεστών, την μεγάλη σημασία της ενεργητικής πυροπροστασίας. Πράγματι, η χαρακτηριστική τιμή της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου πέφτει κάτω από το ήμισυ της αρχικής τιμής του. Έτσι περιορίζεται δραματικά η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, και κατά συνέπεια του χάλυβα, και επιμηκύνεται η ζωή των μελών, άρα και όλου του φορέα, ως την τελική απόσβεση της πυρκαγιάς.

## 6 Βιβλιογραφία

1. Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, Πυροσβεστική Ακαδημία (2008). «Νομοθεσία Πυρασφάλειας, 4<sup>η</sup> Έκδοση».
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Ι. (2005). «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
3. Μιχάλτσος Γ. (2009). «Ελαφρές μεταλλικές κατασκευές, 3<sup>η</sup> έκδοση». Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
4. ΣΠΜΕ (2001). «ΕΑΚ 2000». ΟΑΣΠ, Αθήνα.
5. ΦΕΚ (2003). «Τεύχος 2<sup>ο</sup>, Αρ. Φύλλου 1154».
6. Ackerman K. (1997). "Practical handbook of warehousing, 4<sup>th</sup> edition". Springer.
7. Ahrens M. (2009). "Warehouse fires excluding cold storage". NFPA.
8. Association for Specialty Fire Protection (2004). "Fire protection for structural steel in buildings, 3<sup>rd</sup> edition". ASFP.
9. Banerjee S. (2002). "Industrial hazards and plant safety". CRC Press.
10. Campbell R. (2015). "Structure fires in warehouse properties". NFPA.
11. CEN (2001). "Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads on buildings". CEN.
12. CEN (2001). "Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire". CEN.
13. CEN (2001). "Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions – Wind actions". CEN.
14. CEN (2002). "Eurocode 3: Actions on steel structures. Part 1-2: General rules – Structural fire design". CEN.
15. CEN (2003). "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings". CEN.
16. Cheng Yu (2016). "Recent trends in cold-formed steel construction". Woodhead Publishing.
17. Vassart O., Zhao B. (2014). "Eurocodes: background & applications. Structural fire design". JRC Science and Policy Reports.