



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

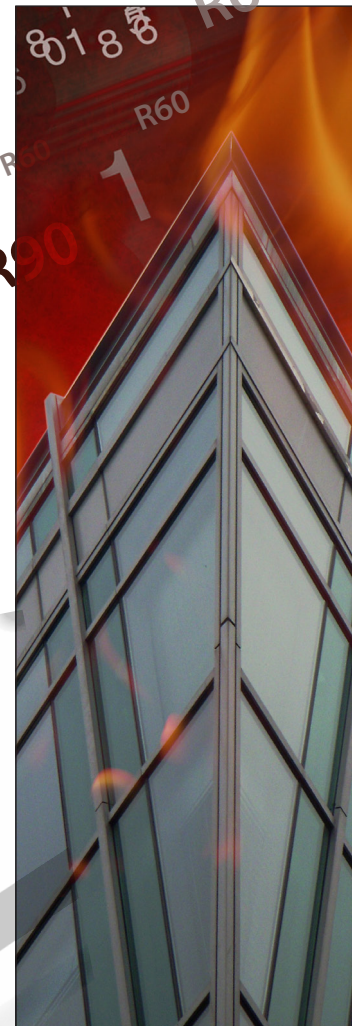
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΑΝΩ ΣΤΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ  
ΤΟΥ ΜΕΡΟΥΣ 1 - 2 ΤΩΝ ΕC1, ΕC3 & ΕC4



### Διπλωματική Εργασία

Κωνσταντοπούλου Δ. Σοφία και Πετικίδης Π. Δημήτριος  
Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Ιωαννίδης

Αθήνα, Οκτώβριος 2012  
ΕΜΚ ΜΕ 2012/03



ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ • ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ Δ. ΣΟΦΙΑ - ΠΕΤΙΚΙΔΗΣ Π. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Κωνσταντοπούλου Δ. Σ. & Πετικίδης Π. Δ. (2012).  
**Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς**  
Αριθμητικές εφαρμογές πάνω στα παραρτήματα του μέρους 1-2 των EC1, EC3 & EC4  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΜΕ 2012/03  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Konstantopoulou D. S. & Petikidis P. D. (2012).  
**Structural fire design**  
Calculation models based on the annexes of the part 1-2 from EC1, EC3 & EC4  
Diploma Thesis ΕΜΚ ΜΕ 2012/03  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece



# Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Ευχαριστίες .....	5
1 Εισαγωγή .....	7
1.1 Γενικά .....	7
1.2 Εξέλιξη μιας πυρκαγιάς .....	8
1.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την εξέλιξη της πυρκαγιάς .....	8
1.3 Θερμικές ιδιότητες .....	9
1.3.1 Θερμικές ιδιότητες χάλυβα .....	9
1.3.2 Θερμικές ιδιότητες ανοξείδωτου χάλυβα .....	10
1.3.3 Θερμικές δράσεις για την ανάλυση της θερμοκρασίας .....	11
1.4 Ονομαστικές καμπύλες .....	11
1.4.1 Η πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου ISO .....	11
1.5 Παραμετρικές καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου .....	12
1.5.1 Προσδιορισμός παραμετρικών καμπυλών .....	12
1.6 Ανάπτυξη θερμοκρασίας του χάλυβα σε μη προστατευμένα εσωτερικά δομικά μέλη από χάλυβα .....	15
1.6.1 Συντελεστής διατομής για μη μονωμένα χαλύβδινα δομικά στοιχεία .....	16
1.7 Ανάπτυξη της θερμοκρασίας του χάλυβα σε εσωτερικά δομικά μέλη από χάλυβα μονωμένα με υλικά πυροπροστασίας .....	17
1.8 Αριθμητικές εφαρμογές .....	18
2 Θερμικές δράσεις σε εξωτερικά μέλη - Απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού .....	27
2.1 Απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού .....	27
2.2 Προϋποθέσεις χρήσης μεθόδου .....	27
2.3 Επίδραση ανέμου .....	28
2.3.1 Χαρακτηριστικά της φωτιάς και των φλογών .....	29
2.3.2 Συνολικοί συντελεστές διάταξης .....	32
2.4 Μεταφορά θερμότητας σε εξωτερικά δομικά στοιχεία από χάλυβα .....	32
2.4.1 Βασικές αρχές .....	32
2.4.2 Θερμική ισορροπία .....	33
2.5 Υποσύλωμα μη περιβαλλόμενο από φλόγες .....	34
2.5.1 Μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας .....	34
2.5.2 Ικανότητα ακτινοβολίας της φλόγας .....	34
2.5.3 Απορροφητικότητα της θερμότητας που εκπέμπεται από μία φλόγα .....	35
2.6 Συντελεστής Διάταξης .....	35
2.7 Επίδραση σκίασης (shadow effects) .....	36
2.7.1 Εξωτερικά μέλη .....	36
2.8 Αριθμητικές εφαρμογές .....	38
3 Τοπικές πυρκαγιές .....	50
3.1 Όταν η φλόγα δεν επηρεάζει την οροφή του πυροδιαμερίσματος .....	50
3.2 Όταν η φλόγα επηρεάζει την οροφή του πυροδιαμερίσματος .....	50
3.3 Αριθμητικές εφαρμογές .....	52
4 Πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου .....	62
4.1.1 Προσδιορισμός της πυκνότητας πυροθερμικού φορτίου .....	63
4.1.2 Προστατευμένα πυροθερμικά φορτία .....	63
4.1.3 Αντίδραση στην καύση .....	64

4.1.4 Ρυθμός εκροής θερμότητας Q .....	64
5 Ισοδύναμος χρόνος έκθεσης στη φωτιά.....	66
5.1 Αριθμητικές εφαρμογές.....	67
6 Ευρωκώδικας 4 – Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα. Μέρος 1-2: Γενικοί Κανόνες - Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς.....	80
6.1 Παράρτημα D: Προσομοίωμα για τον υπολογισμό της αντοχής έναντι πυρκαγιάς των απροστάτευτων σύμμικτων πλακών, που εκτίθενται σε πυρκαγιά κάτω από την πλάκα σύμφωνα με την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου. ....	80
6.1.1 Εισαγωγή.....	80
6.1.2 Αντοχή έναντι πυρκαγιάς με βάση τη θερμική μόνωση.....	80
6.1.3 Υπολογισμός της θετικής καμπτικής ροπής αντοχής $M_{fi,Rd}^+$ .....	81
6.1.4 Υπολογισμός της αρνητικής καμπτικής ροπής αντοχής $M_{fi,Rd}^-$ : .....	83
6.1.5 Ενεργό πάχος μιας σύμμικτης πλάκας .....	86
6.1.6 Πεδίο εφαρμογής.....	87
6.2 Αριθμητικές εφαρμογές.....	87
6.2.1 Υπολογισμός αντοχής απροστάτευτης σύμμικτης πλάκας με χαλυβδόφυλλο τραπεζοειδούς διατομής, που εκτίθεται σε πυρκαγιά κάτω από την πλάκα σύμφωνα με την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου. ....	87
6.2.2 Παρατηρήσεις και Συμπεράσματα .....	105
6.3 Διερεύνηση.....	106
7 Παράρτημα G: Προσομοίωμα ισόρροπου αθροίσματος για τον υπολογισμό της αντοχής έναντι πυρκαγιάς σύμμικτων υποστυλωμάτων, με μερικώς εγκιβωτισμένες διατομές χάλυβα, για κάμψη περί τον ασθενή άξονα, τα οποία εκτίθενται σε πυρκαγιά γύρω από το υποστύλωμα σύμφωνα με την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου. ....	110
7.1 Εισαγωγή.....	110
7.2 Αριθμητική εφαρμογή 1 <sup>η</sup> .....	112
7.2.1 Μερικώς εγκιβωτισμένο υποστύλωμα σε κατάσταση πυρκαγιάς.....	112
7.2.2 Επαλήθευση βάσει των πινακοποιημένων δεδομένων.....	121
7.2.3 Συμπεράσματα και παρατηρήσεις.....	124
7.3 Διερεύνηση.....	124
7.3.1 Αριθμητική εφαρμογή 2 <sup>η</sup> .....	124
7.3.2 Αριθμητική εφαρμογή 3 <sup>η</sup> .....	128
8 Συμπεράσματα.....	132
9 Βιβλιογραφία.....	134

**Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς**  
**Αριθμητικές εφαρμογές πάνω στα παραρτήματα του μέρους 1-2 των EC1, EC3 & EC4**

Κωνσταντοπούλου Δ. Σ. και Πετικίδης Π. Δ. (Επιβλέπων: Ιωαννίδης Γ.)

**Περίληψη**

Ο σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς είναι μια σημαντική και απαραίτητη προϋπόθεση για το σχεδιασμό κτιρίων και έργων πολιτικού μηχανικού. Όλα τα κτίρια πρέπει να πληρούν ορισμένες λειτουργικές απαιτήσεις και αυτά συνήθως συνδέονται με το σκοπό και το ύψος του κτιρίου. Η πιο σημαντική απαίτηση είναι το κτίριο να διατηρήσει τη σταθερότητά του για ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Η πιο κοινή μέθοδος σχεδιασμού έναντι πυρκαγιάς είναι να σχεδιαστεί το κτίριο για φόρτιση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και στη συνέχεια να καλυφθούν τα χαλύβδινα μέλη με υλικά πυροπροστασίας για να διασφαλιστεί ότι δεν θα ξεπεραστεί μία συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Η διαδικασία σχεδιασμού του Ευρωκώδικα μπορεί να απλοποιηθεί σε τρία βήματα που είναι ο χαρακτηρισμός του μοντέλου πυρκαγιάς, η μελέτη της διανομής της θερμοκρασίας εντός της κατασκευής και η εκτίμηση της απόκρισης της κατασκευής στη φωτιά. Πληροφορίες για τις θερμικές δράσεις για την ανάλυση της θερμοκρασίας δίνονται στο EN1991-1-2 και η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αύξησης της θερμοκρασίας των δομικών μεταλλικών μελών (είτε είναι μονωμένα είτε μη μονωμένα) βρίσκεται στο EN1993-1-2. Οι διαδικασίες σχεδιασμού για την επίτευξη αντοχής ορίζεται στο πρότυπο EN 1993, αλλά οι δράσεις (ή τα φορτία) που θα χρησιμοποιηθούν λαμβάνονται από τα σχετικά μέρη του EN 1991.

Επίσης εξετάζεται η αντοχή σύμμικτων στοιχείων σε υψηλές θερμοκρασίες, υπολογίζονται δε οι αντοχές των στοιχείων αυτών με βάση τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 4 μέρος 1-2. Έχουν μελετηθεί και πραγματοποιηθεί δύο περιπτώσεις-αριθμητικές εφαρμογές εμπνευσμένες από τα παραρτήματα του EN1994-1-2 και συγκεκριμένα από τα παραρτήματα D και G. Στο τέλος κάθε εφαρμογής ακολουθούν τα συμπεράσματα και κάποιες παρατηρήσεις καθώς και επιπλέον διερεύνηση με αριθμητικά παραδείγματα και σύγκριση αντοχών.

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

DIPLOMA THESIS  
EMK ME 2012/03

**Structural fire design**  
**Calculation models based on the annexes of the part 1-2 from**  
**EC1,EC3 & EC4**

Konstantopoulou D. S. & Petikidis P. D. (Supervisor Ioanidis G.)

**Abstract**

Designing for fire is an important and essential requirement in the design process of buildings and civil engineering structures. All buildings must meet certain functional requirements and these are usually linked to the purpose and height of the building. The most important requirement is for the building to retain its stability for a reasonable period. The most common method of designing a steel structure for the fire condition is to design the building for the ambient temperature loading condition and then to cover the steel members with proprietary fire protection materials to ensure that a specific temperature is not exceeded.

The Eurocode process can be simplified in to three components consisting of the characterisation of the fire model, a consideration of the temperature distribution within the structure and an assessment of the structural response to the fire. Information on thermal actions for temperature analysis is given in EN 1991-1-2 and the method used to calculate the temperature rise of structural steelwork (either protected or unprotected) is found in EN 1993-1-2. The design procedures to establish structural resistance are set out in EN 1993 but the actions (or loads) to be used for the assessment are taken from the relevant parts of EN 1991.

Also this thesis examines and calculates the fire resistance of composite sections at elevated temperatures based on the requirements of the Eurocode 4 section 1-2. Two different cases-numerical examples inspired by the annexes D and G have been developed. At the very end of each example, there is a section with remarks and conclusions, which are followed by an investigation with further examples. The new results of resistance are compared against the previous ones.

## Ευχαριστίες

Με τη διπλωματική εργασία αυτή ολοκληρώνεται η φοίτησή μας στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την αφορμή αυτή θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κύριο Γεώργιο Ιωαννίδη, επιβλέποντα της διπλωματικής μας εργασίας, για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη που μας προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησής της. Τον ευχαριστούμε για τον χρόνο που μας αφιέρωσε, την υπομονή, συνεργασία και θέληση, να μας μεταδώσει τις επιστημονικές του γνώσεις και εμπειρία.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς, τα αδέρφια και τους φίλους μας για την συνεχή ηθική υποστήριξη που μας προσέφεραν κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας στο Ε.Μ.Π. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Μαρίνα Παπαπαναγιώτου για την καλλιτεχνική επιμέλεια του εξωφύλλου.





# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η μελέτη των διατάξεων του EC1, EC3 και EC4 και ειδικότερα του μέρους 1-2. Πιο συγκεκριμένα μελετώνται τα παραρτήματα των Ευρωκωδίκων. Για την καλύτερη κατανόηση των κειμένων αυτών, πραγματοποιήθηκαν αριθμητικές εφαρμογές.

Αρχικά, στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο μελετώνται οι παραμετρικές καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου (παράρτημα Α του EN 1991.1.2). Οι καμπύλες αυτές σχεδιάστηκαν ώστε να λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά του πυροδιαμερίσματος (αερισμός, περίβλημα, πυροθερμικό φορτίο). Επίσης εκτιμάται η συμπεριφορά του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι θερμικές ιδιότητες του χάλυβα εξαρτώνται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Αναφέρονται επίσης οι τύποι που σχετίζουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία στο χάλυβα μονωμένου και μη μέλους. Τέλος αναφέρονται κάποια παραδείγματα στα οποία υπολογίζονται οι παραμετρικές καμπύλες για δεδομένα στοιχεία πυροδιαμερίσματος.

Στο 2<sup>ο</sup> σχετίζεται με τις θερμικές δράσεις που αναπτύσσονται στα εξωτερικά μέλη μιας κατασκευής (παράρτημα Β, EN1991.1.2). Αρχικά εκτιμούνται οι συνθήκες πυροδιαμερίσματος (θερμοκρασία, διαστάσεις φλόγας) για συνθήκες με ή χωρίς ρεύμα αέρα και στη συνέχεια προσδιορίζεται η θερμοκρασία του χαλύβδινου εξωτερικού μέλους.

Στο 3<sup>ο</sup> αναφέρεται η ειδική περίπτωση των τοπικών πυρκαγιών (παράρτημα C). Γίνεται εκτίμηση των θερμικών δράσεων (με τη βοήθεια ενός αριθμητικού παραδείγματος) για την περίπτωση που οι φλόγες δεν αγγίζουν το δομικό μέλος και για την περίπτωση που οι φλόγες το περιβάλλουν.

Αντικείμενο του 4<sup>ου</sup> κεφαλαίου είναι η εκτίμηση της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου  $q_{f,d}$  (παράρτημα Ε).

Το 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο υποδεικνύει τον τρόπο υπολογισμού του ισοδύναμου χρόνου έκθεσης στην πυρκαγιά  $t_{e,d}$ , του χρόνου δηλαδή στον οποίο λαμβάνουμε το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα από την πρότυπη καμπύλη ISO και την αντίστοιχη παραμετρική (παράρτημα F).

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται υπολογισμός αντοχής απροστάτευτης σύμμικτης πλάκας, με χαλυβδόφυλλο τραπεζοειδούς διατομής, που εκτίθεται σε πυρκαγιά κάτω από την πλάκα σύμφωνα με την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου. Πραγματοποιήθηκε επίλυση μιας δεδομένης του εμπορίου σύμμικτης πλάκας που αποτελεί φέρων στοιχείο σε εμπορικό κέντρο. Αρχικά επιλέχθηκε δείκτης πυραντίστασης και έγινε έλεγχος σε φάση κατασκευής και φάση λειτουργίας σε συνήθεις συνθήκες. Έπειτα ακολούθησε ο έλεγχος σε κατάσταση πυρκαγιάς. Εξετάστηκε το εύρος εφαρμογής των γεωμετρικών στοιχείων, το κριτήριο μονωτικής ικανότητας και το κριτήριο φέρουσας ικανότητας. Εξακριβώθηκε η επάρκεια της σύμμικτης διατομής σε κατάσταση πυρκαγιάς με τον προεπιλεγμένο δείκτη πυραντίστασης. Στη συνέχεια ακολουθούν παρατηρήσεις και συμπεράσματα που προκύπτουν από την πορεία επίλυσης. Έπεται η διερεύνηση που επικεντρώνεται στη σημασία καταρχήν ύπαρξης των ευθύγραμμων ράβδων οπλισμού στις νευρώσεις του χαλυβδόφυλλου και κατ'επέκταση της θέσης τους και επικάλυψή τους από το σκυρόδεμα. Αποδεικνύεται ότι εφόσον έχουν επαρκή επικάλυψη αποτελούν τον οπλισμό που δίνει την απαιτούμενη εφελκυστική αντοχή σε κατάσταση πυρκαγιάς. Κρίσιμος επίσης και ο άνω πρόσθετος οπλισμός (εσχάρα) που οφείλεται στις αρνητικές ροπές. Ως συντηρητική προσέγγιση, μπορεί να αμελείται η συμβολή του χαλύβδινου καταστρώματος στην αρνητική ροπή αντοχής σε κάμψη.

Στο 7ο κεφάλαιο γίνεται χρήση του προσομοιώματος ισόρροπου αθροίσματος για τον υπολογισμό της αντοχής έναντι πυρκαγιάς δεδομένου σύμμικτου υποστυλώματος με μερικώς



Αν οι θερμοκρασίες της επιφάνειας των σωμάτων φτάσουν τους  $600^{\circ}\text{C}$ , η θερμοκρασία αυξάνεται σε μικρό χρονικό διάστημα, ώστε να οδηγήσει στην ανάφλεξη (*flashover*) της πυρκαγιάς με την οποία γίνεται και η μετάβαση στην περίοδο πλήρους ανάπτυξης της πυρκαγιάς (*burning period*). Η αύξηση της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο στην περίοδο ανάπτυξης (*growth period*) της πυρκαγιάς γενικώς εξαρτάται από τη φύση των καιγόμενων επιφανειών, σε αντίθεση με τη περίοδο πλήρους ανάπτυξης της πυρκαγιάς (*burning period*), όπου οι θερμοκρασίες και η θερμική ροή λόγω ακτινοβολίας μέσα στο δωμάτιο είναι τόσο μεγάλες, που όλες οι επιφάνειες καίγονται και ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας ελέγχεται από το διαθέσιμο αερισμό.

Η περίοδος πλήρους ανάπτυξης της πυρκαγιάς (*burning period*) είναι αυτή που επιδρά στα δομικά στοιχεία και στα όρια των διαμερισμάτων. Εάν η φωτιά συνεχίσει, τότε όλα τα καύσιμα υλικά καίγονται και οι θερμοκρασίες μειώνονται, μεταβαίνοντας έτσι από την περίοδο ανάπτυξης της πυρκαγιάς στην περίοδο εξασθένησης (*decay period*). Ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας σε αυτή την περίοδο εξασθένησης της φωτιάς εξαρτάται από τα υλικά καύσιμα, που συνεχώς μειώνονται, ενώ δεν μας ενδιαφέρει πια ο αερισμός.

### 1.3 Θερμικές ιδιότητες

#### 1.3.1 Θερμικές ιδιότητες χάλυβα

1. Η πυκνότητα  $\rho$ ,
2. Η ειδική θερμότητα  $c_a$ ,
3. Η θερμική αγωγιμότητα  $\lambda_a$

Η πυκνότητα του χάλυβα  $\rho_a$ , δηλαδή η μάζα του υλικού ανά μονάδα όγκου δεν μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και έχει τιμή  $7850\text{kg/m}^3$ .

Η ειδική θερμότητα  $c_a$ , περιγράφει το ποσό της εισαγόμενης θερμότητας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία της μοναδιαίας μάζας του υλικού κατά  $1^{\circ}\text{C}$ . Για απλούς υπολογισμούς υιοθετούμε μια μέση ειδική θερμότητα του χάλυβα ίση με  $600\text{ J/kgK}$ . Η ειδική θερμότητα αυξάνεται δραματικά στους  $700^{\circ}\text{C}$  κατά τη διάρκεια της μεταλλουργικής αλλαγής του χάλυβα και στο σημείο αυτό μπορεί να υπάρξει μια ελαφρώς μικρή καθυστέρηση στην αύξηση της θερμοκρασίας, σε μια καθορισμένη ιδεατή δοκιμή φωτιάς. Πάνω από  $750^{\circ}\text{C}$  η ειδική θερμότητα πέφτει σε χαμηλότερο επίπεδο.

Η ειδική θερμότητα του χάλυβα  $c_a$  θα προσδιορίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

1. για  $20^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 600^{\circ}\text{C}$ :

$$c_a = 425 + 7.73 \times 10^{-1} \theta_a - 1.69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2.22 \times 10^{-6} \theta_a^3 \quad \text{J/kgK}, \quad (1.1)$$

2. για  $600^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 735^{\circ}\text{C}$ :

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a} \quad \text{J/kgK}, \quad (1.2)$$

3. για  $735^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 900^{\circ}\text{C}$ :

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731} \quad \text{J/kgK}, \quad (1.3)$$

4. για  $900^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^{\circ}\text{C}$ :

$$c_a = 650 \text{ J/kgK}, \quad (1.4)$$

όπου:

$\theta_a$  είναι η θερμοκρασία του χάλυβα [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Η θερμική αγωγιμότητα  $\lambda_a$  για το χάλυβα είναι το ποσό της θερμότητας ανά δευτερόλεπτο, που διέρχεται από τη μονάδα επιφάνειας του υλικού για μοναδιαία αύξηση της θερμοκρασίας (μεταβολή θερμοκρασίας  $1^{\circ}\text{C}$  ανά μονάδα μήκους). Αυτή η παράμετρος δεν είναι τόσο σημαντική για το χάλυβα όσο για τα υλικά προστασίας του χάλυβα. Και τούτο γιατί η θερμική αγωγιμότητα του χάλυβα είναι 50 φορές μεγαλύτερη από τη θερμική αγωγιμότητα του τσιμέντου και 500 φορές μεγαλύτερη από τα κοινά υλικά προστασίας. Η θερμική αγωγιμότητα του χάλυβα είναι περίπου  $54 \text{ W/mK}$  σε θερμοκρασία δωματίου και μειώνεται σε μια μέση τιμή  $45 \text{ W/mK}$  σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Η θερμική αγωγιμότητα του χάλυβα θα προσδιορίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

1. για  $20^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 800^{\circ}\text{C}$  :

$$\lambda_a = 54 - 3.33 \times 10^{-2} \theta_a \quad \text{W/mK}, \quad (1.5)$$

2. για  $800^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^{\circ}\text{C}$  :

$$\lambda_a = 27.3 \quad \text{W/mK}, \quad (1.6)$$

όπου:

$\theta_a$  είναι η θερμοκρασία του χάλυβα [ $^{\circ}\text{C}$ ].

### 1.3.2 Θερμικές ιδιότητες ανοξείδωτου χάλυβα

Οι θερμικές ιδιότητες του ανοξείδωτου χάλυβα λαμβάνονται από το Παράρτημα C του EN 1993.

Η πυκνότητα του ανοξείδωτου χάλυβα  $\rho_a$ , δηλαδή η μάζα του υλικού ανά μονάδα όγκου, δεν μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και έχει τιμή  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

Η ειδική θερμότητα του ανοξείδωτου χάλυβα  $c_a$  μπορεί να προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$c_a = 450 + 0.280 \times \theta_a - 2.91 \times 10^{-4} \theta_a^2 + 1.34 \times 10^{-7} \theta_a^3 \quad \text{J/kgK} \quad (1.7)$$

Η θερμική αγωγιμότητα  $\lambda_a$  του ανοξείδωτου χάλυβα μπορεί να προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\lambda_a = 14.6 + 1.27 \times 10^{-2} \theta_a \quad \text{W/mK} \quad (1.8)$$

όπου:

$\theta_a$  είναι η θερμοκρασία του χάλυβα [ $^{\circ}\text{C}$ ]

### 1.3.3 Θερμικές δράσεις για την ανάλυση της θερμοκρασίας

Οι θερμικές δράσεις εκφράζονται από την καθαρή θερμική ροή  $h_{net}$  (W/m<sup>2</sup>) στην επιφάνεια ενός μέλους.

Η θερμική ροή σχεδιασμού  $h_{net,d}$  σε επιφάνειες που εκτίθενται στη φωτιά, προκύπτει από το άθροισμα της θερμικής ροής λόγω αφ' ενός ( $h_{net,c}$ ) της επαφής θερμού αέρα-χάλυβα (*convection*) και αφετέρου ( $h_{net,r}$ ) της ακτινοβολίας των φλογών (*radiation*):

$$h_{net,d} = h_{net,c} + h_{net,r} \quad (1.9)$$

Η θερμική ροή λόγω επαφής θερμού αέρα-χάλυβα  $h_{net,c}$  ορίζεται ως:

$$h_{net,c} = \alpha_c \cdot (\Theta_g - \Theta_m) \quad (1.10)$$

όπου,

$\alpha_c$  είναι ο συντελεστής μεταφοράς της θερμότητας δια συναγωγής (W/m<sup>2</sup>K)

$\Theta_g$  είναι η θερμοκρασία του αέρα κοντά στο μεταλλικό μέλος (°C)

$\Theta_m$  είναι η θερμοκρασία του μεταλλικού μέλους (°C)

Η θερμική ροή λόγω ακτινοβολίας  $h_{net,r}$  ορίζεται ως:

$$h_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_r + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4] \quad (1.11)$$

όπου,

$\Phi$  είναι ο συντελεστής διάταξης

$\varepsilon_m$  είναι ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας (emissivity) του μέλους,  $\varepsilon_m = 0.7$  για τον ανθρακούχο χάλυβα,  $\varepsilon_m = 0.5$  για τον ανοξείδωτο χάλυβα και  $\varepsilon_m = 0.8$  για άλλα υλικά.

$\varepsilon_f$  είναι ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας (emissivity) της φλόγας,  $\varepsilon_f = 1.0$ .

$\sigma$  είναι η σταθερά του νόμου Stephan Boltzmann ( $= 5.67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$ )

$\Theta_r$  είναι η θερμοκρασία του ακτινοβολούντος περιβάλλοντος του μέλους (°C) και μπορεί να λαμβάνεται ίση με τη θερμοκρασία του αέρα  $\Theta_g$ .

$\Theta_m$  είναι η θερμοκρασία του μεταλλικού μέλους (°C).

## 1.4 Ονομαστικές καμπύλες

### 1.4.1 Η πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου ISO

Η πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου χαρακτηρίζεται από θερμοκρασία αέρα στο πυροδιαμέρισμα η οποία αυξάνεται συνεχώς με το χρόνο, αλλά με επιβραδυνόμενο ρυθμό. Η συνάρτηση αυτή δεν παριστά κανένα τύπο φυσικής φωτιάς σε κτίριο και ο δείκτης πυραντίστασης που αναφέρεται στην καμπύλη αυτή δε δείχνει τον πραγματικό χρόνο κατά τον οποίο ένα στοιχείο θα επιζήσει σε μία πυρκαγιά κτιρίου, αλλά αποτελεί συγκριτική ένδειξη της πιθανότητας ενός στοιχείου να επιβιώσει σε μία σοβαρή πυρκαγιά.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου κατά τον ISO-834 είναι:

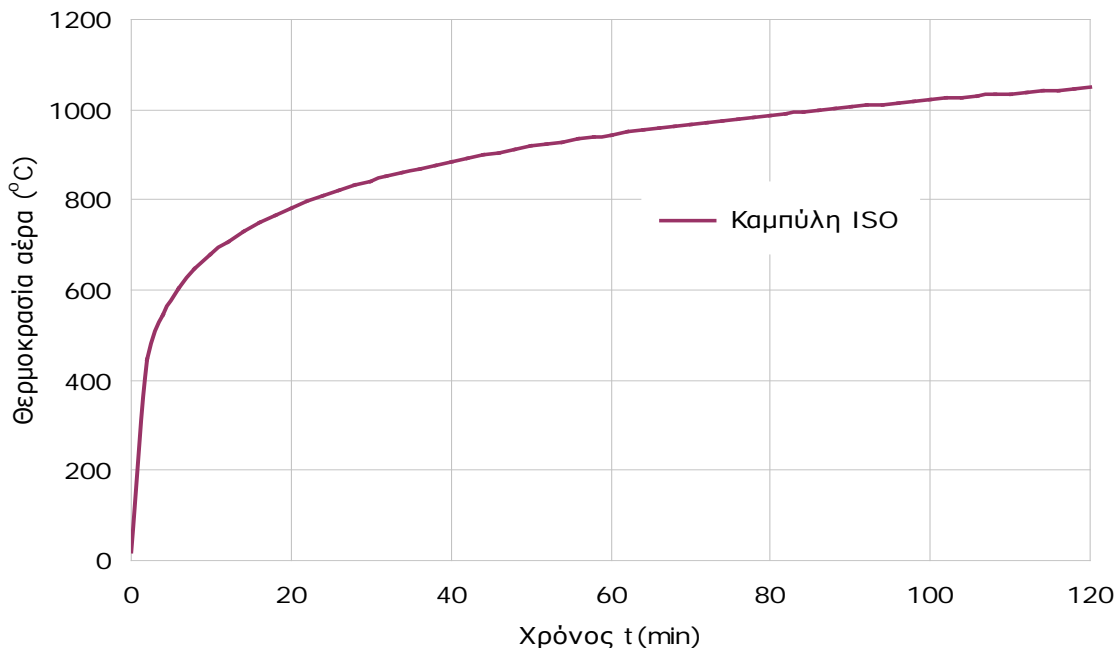
$$\Theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (1.12)$$

όπου :

$\Theta_g$  είναι η θερμοκρασία του αέρα στο πυροδιαμέρισμα ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T$  είναι ο χρόνος (min)

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής είναι :  $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$



Σχήμα 1.2: Πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου

## 1.5 Παραμετρικές καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου

Οι παραμετρικές καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου δημιουργήθηκαν από την ανάγκη να ληφθούν υπ' όψιν οι παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη της πυρκαγιάς. Οι παράγοντες αυτοί είναι το πυροθερμικό φορτίο, τα ανοίγματα και οι θερμικές ιδιότητες του περιβλήματος του πυροδιαμερίσματος. Επιπλέον, οι καμπύλες αυτές έχουν το χαρακτηριστικό (αντίθετα με τις πρότυπες) να διαθέτουν καθοδικό κλάδο που αντιστοιχεί στην πτώση της θερμοκρασίας του αέρα μετά την αιχμή της πυρκαγιάς. Οι παραμετρικές καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου είναι το αντικείμενο του Παραρτήματος Α του EN 1191-1-2.

### 1.5.1 Προσδιορισμός παραμετρικών καμπυλών

Οι καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου κατά τη φάση ανάπτυξης της πυρκαγιάς (ανοδικός κλάδος) δίνονται από τη σχέση :

$$\Theta_g = 20 + 1325 \left( 1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*} \right) \quad (1.13)$$

όπου:

$\Theta_g$  η θερμοκρασία του αέρα στο πυροδιαμέρισμα ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t^*$  ο σχετικός χρόνος (h)

όπου,  $t^* = t \cdot \Gamma$  (1.14)

$t$  χρόνος (h)

$\Gamma$  συντελεστής εξαρτώμενος από τις συνθήκες αερισμού

$$\Gamma = [O/b]^2 / (0.04/1160)^2 \quad (1.15)$$

$b$  συντελεστής εξαρτώμενος από τη μονωτική ικανότητα του περιβλήματος,

$$b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$$

με τον ακόλουθο περιορισμό:  $100 \leq b \leq 2200$  ( $J/m^2 s^{1/2} K$ )

$\rho$  πυκνότητα του υλικού του περιβλήματος ( $kg/m^3$ )

$c$  ειδική θερμότητα του περιβλήματος ( $J/kgK$ )

$\lambda$  θερμική αγωγιμότητα του περιβλήματος ( $W/mK$ )

$O$  συντελεστής επιρροής ανοιγμάτων:  $A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$  ( $m^{1/2}$ ), με τον ακόλουθο περιορισμό:  
 $0.02 \leq O \leq 0.20$

$A_v$  η επιφάνεια των κατακόρυφων ανοιγμάτων σε όλους τους τοίχους ( $m^2$ )

$h_{eq}$  το μέσο ύψος των παραθύρων σε όλους τους τοίχους (m)

$A_t$  η συνολική επιφάνεια του περιβλήματος ( $m^2$ )

(τοίχοι, οροφή και δάπεδο συμπεριλαμβανομένων των ανοιγμάτων)

Στην περίπτωση όπου  $\Gamma=1$  η εξίσωση 1.15 προσεγγίζει την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας χρόνου.

Στην περίπτωση που η επιφάνεια περιβλήματος αποτελείται από διαφορετικές στρώσεις υλικού τότε:

1. Αν  $b_1 < b_2$ ,  $b=b_1$

2. Αν  $b_1 > b_2$ , εισάγεται το πάχος  $s_{lim}$  που υπολογίζεται για το εκτεθειμένο υλικό σύμφωνα με τον τύπο:

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3600 t_{max} \lambda_1}{c_1 \rho_1}} \quad (1.16)$$

αν  $s_1 > s_{lim}$ , τότε  $b=b_1$

$$\text{αν } s_1 < s_{lim}, \text{ τότε } b = \frac{s_1}{s_{lim}} b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{lim}}\right) b_2$$

όπου :

ο αριθμός 1 αντιπροσωπεύει το στρώμα που είναι απευθείας εκτεθειμένο στην πυρκαγιά και ο αριθμός 2 το αμέσως επόμενο στρώμα.

$s_i$  είναι το πάχος του στρώματος  $i$

$$b_i = \sqrt{(\rho_i c_i \lambda_i)} \quad (1.17)$$

$\rho_i$  είναι η πυκνότητα του στρώματος  $i$

$c_i$  είναι η ειδική θερμότητα του στρώματος  $i$



$\lambda_i$  είναι η θερμική αγωγιμότητα του στρώματος  $i$   
Για διαφορετικές τιμές του συντελεστή  $b$  σε τοίχο, οροφή και δάπεδο:

$$b = \left( \sum (b_j A_j) \right) / (A_t - A_v) \quad (1.18)$$

όπου

$A_j$  είναι η επιφάνεια του περιβλήματος  $j$ , μη συμπεριλαμβανομένων των παραθύρων

$b_j$  είναι η θερμική ιδιότητα του περιβλήματος  $j$

Η μέγιστη θερμοκρασία  $\Theta_{max}$  στη φάση ανάπτυξης της πυρκαγιάς προκύπτει για χρόνο  $t^* = t_{max}^*$ .

$$t_{max}^* = t_{max} \cdot \Gamma \quad (h) \quad (1.19)$$

$$t_{max} = \max \left[ \left( 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O ; t_{lim} \right) \right] \quad (h) \quad (1.20)$$

όπου:

$q_{t,d}$  η τιμή σχεδιασμού της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου εκφραζόμενη στη συνολική επιφάνεια του περιβλήματος  $A_t$ , με  $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$  [ $MJ/m^2$ ]. Ο ακόλουθος περιορισμός πρέπει να ισχύει:  $50 \leq q_{t,d} \leq 1000$  [ $MJ/m^2$ ].

$q_{f,d}$  η τιμή σχεδιασμού της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου, εκφραζόμενη στην επιφάνεια  $A_f$  του δαπέδου ( $MJ/m^2$ ) και υπολογίζεται σύμφωνα με το Παράρτημα Ε του EN 1991-1-2.

$t_{lim}$  ο χρόνος σε (h) όπου σε περίπτωση χαμηλού ρυθμού ανάπτυξης της πυρκαγιάς λαμβάνεται  $t_{lim} = 25$  min, σε περίπτωση μεσαίου ρυθμού ανάπτυξης,  $t_{lim} = 20$  min και σε περίπτωση γρήγορου ρυθμού ανάπτυξης,  $t_{lim} = 15$  min. Ο ρυθμός ανάπτυξης της πυρκαγιάς εξαρτάται από τη χρήση του πυροδιαμερίσματος (Πίνακας Ε.5 του Παραρτήματος Ε του EN 1991-1-2).

Όταν ο χρόνος  $t_{max} = t_{lim}$ , ο σχετικός χρόνος  $t^*$  που χρησιμοποιείται στην εξίσωση 1.18 είναι ίσος με:

$$t^* = t \cdot \Gamma_{lim} \quad (h) \quad (1.21)$$

$$\Gamma_{lim} = [O_{lim} / b]^2 / (0.04 / 1160)^2 \quad (1.22)$$

όπου,  $O_{lim} = 0.1 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / t_{lim}$

Στην περίπτωση όπου  $O > 0.04$  και  $q_{t,d} < 75$  και  $b < 1160$ , ο συντελεστής  $\Gamma_{lim}$  της εξίσωσης (1.24) πρέπει να πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή  $k$  ο οποίος δίνεται από τον τύπο:

$$k = 1 + \left( \frac{O - 0.04}{0.04} \right) \left( \frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \left( \frac{1160 - b}{1160} \right) \quad (1.23)$$

Οι καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου στη φάση ύφεσης της πυρκαγιάς (καθοδικός κλάδος) δίνονται από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned}\Theta_g &= \Theta_{\max} - 625(t^* - t_{\max}^* \cdot x) && \text{όταν, } t_{\max}^* \leq 0,5 \\ \Theta_g &= \Theta_{\max} - 250(3 - t_{\max}^*)(t^* - t_{\max}^* \cdot x) && \text{όταν, } 0,5 < t_{\max}^* < 2 \\ \Theta_g &= \Theta_{\max} - 250(t^* - t_{\max}^* \cdot x) && \text{όταν, } t_{\max}^* \geq 2\end{aligned}$$

Όπου  $t^*$  δίνεται από την εξίσωση (1.16)

$$t_{\max} = (0.2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O) \cdot \Gamma$$

$$x = 1.0 \text{ αν } t_{\max} > t_{\lim}, \text{ ή } x = t_{\lim} \cdot \Gamma / t_{\max}^* \text{ αν } t_{\max} = t_{\lim}$$

## 1.6 Ανάπτυξη θερμοκρασίας του χάλυβα σε μη προστατευμένα εσωτερικά δομικά μέλη από χάλυβα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας ενός χαλύβδινου μη μονωμένου μέλους κατά τη διάρκεια χρονικού διαστήματος  $\Delta t$  για ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στις διατομές, προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$\Delta\theta_{\alpha,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t \quad (1.24)$$

όπου,

$\Delta\theta_{\alpha,t}$  η μεταβολή της θερμοκρασίας του χάλυβα (σε βαθμούς Κελσίου) εντός χρονικού διαστήματος  $\Delta t$  (sec).

$k_{sh}$  ο διορθωτικός συντελεστής που χρησιμοποιείται για να ληφθεί υπόψη η σκίαση που παρέχουν τμήματα της διατομής σε άλλα

$A_m/V$  ο συντελεστής διατομής για μη μονωμένα μέλη από χάλυβα ( $m^{-1}$ )

$c_a$  η ειδική θερμότητα του χάλυβα (J / kgK)

$\rho_a$  η πυκνότητα του χάλυβα ( $kg/m^3$ )

$h_{net,d}$  η τιμή σχεδιασμού της θερμικής ροής ( $W/m^2$ )

$\Delta t$  το χρονικό διάστημα (sec)

Για διατομές διπλού ταυ υπό την δράση ονομαστικής πυρκαγιάς, ο διορθωτικός συντελεστής της επίδρασης της σκίασης μπορεί να προσδιορίζεται από:

$$k_{sh} = 0.9[A_m/V]_b / [A_m/V] \quad (1.25)$$

όπου,

$[A_m/V]_b$  η τιμή του συντελεστή διατομής θεωρώντας για τον υπολογισμό της  $A_m$  το ορθογώνιο που περιβάλλει τη διατομή.

Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις η τιμή του  $k_{sh}$  θα λαμβάνεται ως:

$$k_{sh} = [A_m/V]_b / [A_m/V]$$

Για διατομές με κυρτό σχήμα (πχ ορθογωνικές ή κοίλες κυκλικές διατομές), πλήρως περιβαλλόμενες από φλόγες η επιρροή της «σκίασης» δεν παίζει ρόλο και επομένως ο διορθωτικός συντελεστής  $k_{sh}$  είναι ίσος προς τη μονάδα. Αγνοώντας την επιρροή της «σκίασης» (δηλ.  $k_{sh}=1$ ), λαμβάνονται πιο συντηρητικά αποτελέσματα

Η θερμική ροή σχεδιασμού  $h_{net,d}$  σε επιφάνειες που εκτίθενται στη φωτιά, προκύπτει από το άθροισμα της θερμικής ροής λόγω αφ' ενός ( $h_{net,c}$ ) της επαφής θερμού αέρα-χάλυβα (*convection*) και αφετέρου ( $h_{net,r}$ ) της ακτινοβολίας των φλογών (*radiation*) :

$$h_{net,d} = h_{net,c} + h_{net,r} \quad (1.26)$$

Η θερμική ροή λόγω επαφής θερμού αέρα-χάλυβα  $h_{net,c}$  ορίζεται ως:

$$h_{net,c} = \alpha_c (\Theta_g - \Theta_m) \quad (1.27)$$

όπου

$\alpha_c$  είναι ο συντελεστής μεταφοράς της θερμότητας δια συναγωγής ( $W/m^2K$ ), ο οποίος για χρήση της πρότυπης καμπύλης θερμοκρασίας - χρόνου είναι ίσος με  $\alpha_c = 25 W/m^2K$  ενώ για χρήση παραμετρικής καμπύλης ο συντελεστής λαμβάνεται ίσος με  $\alpha_c = 35 W/m^2K$ .

$\Theta_g$  είναι η θερμοκρασία του αέρα κοντά στο μεταλλικό μέλος ( $^{\circ}C$ )

$\Theta_m$  είναι η θερμοκρασία του μεταλλικού μέλους ( $^{\circ}C$ )

Η θερμική ροή λόγω ακτινοβολίας  $h_{net,r}$  ορίζεται ως:

$$h_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_r + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4] \quad (1.28)$$

όπου

$\Phi$  είναι ο συντελεστής διάταξης,  $\Phi=1.0$ .

$\varepsilon_m$  είναι ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας (*emissivity*) του μέλους,  $\varepsilon_m = 0.8$ .

$\varepsilon_f$  είναι ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας (*emissivity*) της φλόγας,  $\varepsilon_f = 1.0$ .

$\sigma$  είναι η σταθερά του νόμου Stephan Boltzmann ( $= 5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$ )

$\Theta_r$  είναι η θερμοκρασία του ακτινοβολούντος περιβάλλοντος του μέλους ( $^{\circ}C$ ) και μπορεί να λαμβάνεται ίση με τη θερμοκρασία του αέρα  $\Theta_g$ .

$\Theta_m$  είναι η θερμοκρασία του μεταλλικού μέλους ( $^{\circ}C$ ).

Προκειμένου για απλά υπολογιστικά προσομοιώματα η ειδική θερμότητα  $c_a$  του χάλυβα επιτρέπεται να θεωρείται ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του και ίση προς  $600 J/kg \cdot K$ . Η πυκνότητα του χάλυβα θεωρείται ίση με  $\rho_a = 7850 kg/m^3$ .

Για τον προσδιορισμό της μεταβολής της θερμοκρασίας του χάλυβα ενός μη μονωμένου μέλους δεν επιτρέπεται να θεωρούνται διαδοχικά χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα των 5 sec.

### 1.6.1 Συντελεστής διατομής για μη μονωμένα χαλύβδινα δομικά στοιχεία

Οι μη προστατευμένες χαλύβδινες διατομές θερμαίνονται γρήγορα κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, ιδιαίτερα εάν η διατομή είναι μικρών διαστάσεων και εκτίθεται μεγάλη επιφάνεια

του δομικού στοιχείου. Για να προσδιορίσουμε το ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας σε ένα χαλύβδινο στοιχείο είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του συντελεστή διατομής (section factor),  $A_m/V$  όπου  $A_m$  η εκτιθέμενη στην πυρκαγιά επιφάνεια του στοιχείου ανά μονάδα μήκους [ $m^2/m$ ] και  $V$  ο όγκος του στοιχείου ανά μονάδα μήκους [ $m^3/m$ ]. Ο συντελεστής διατομής είναι μια σημαντική παράμετρος που καθορίζει τη θερμοκρασιακή αύξηση σε ένα χαλύβδινο στοιχείο. Όσο αυξάνεται ο συντελεστής διατομής, αυξάνεται και η εκτιθέμενη στη φωτιά επιφάνεια, δηλαδή η εισαγόμενη θερμότητα στο στοιχείο, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας.

## 1.7 Ανάπτυξη της θερμοκρασίας του χάλυβα σε εσωτερικά δομικά μέλη από χάλυβα μονωμένα με υλικά πυροπροστασίας

Για ένα μονωμένο χαλύβδινο στοιχείο, η μόνωση επιβραδύνει το ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας στο δομικό στοιχείο. Έτσι ουσιαστικά οι θερμοκρασίες στα χαλύβδινα δομικά στοιχεία διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα για το απαραίτητο χρονικό διάστημα που έχει οριστεί από τους Κανονισμούς Πυροπροστασίας. Η ικανότητα των μονωτικών να επιβραδύνουν το ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας στα χαλύβδινα δομικά στοιχεία οφείλεται στις θερμικές ιδιότητες τους και εξαρτάται από το πάχος της μόνωσης και το συντελεστή διατομής.

Για περίπτωση ομοιόμορφης κατανομής της θερμοκρασίας στη διατομή, η αύξηση της θερμοκρασίας  $\Delta\theta_{a,t}$  ενός μονωμένου μέλους από χάλυβα κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος  $\Delta t$  μπορεί να λαμβάνεται από:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V}{d_p c_a \rho_a} \frac{(\Theta_{g,t} - \Theta_{a,t})}{(1 + \varphi/3)} \Delta t - (e^{\varphi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad (1.29)$$

$$\varphi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p A_p / V \quad (1.30)$$

αλλά  $\Delta\theta_{a,t} \geq 0$  εάν  $\Delta\theta_{g,t} > 0$ , με  
όπου:

$A_p/V$  είναι ο συντελεστής διατομής για μέλη από χάλυβα μονωμένα με υλικά προστασίας έναντι πυρκαγιάς,

$A_p$  είναι το κατάλληλο εμβαδόν του υλικού προστασίας ανά μονάδα μήκους μέλους ( $m^2/m$ ),

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

$c_a$  είναι η εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία ειδική θερμότητα του χάλυβα, βλέπε κεφάλαιο 3 EN1993-1-2, (J/kg K),

$c_p$  είναι η ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία ειδική θερμότητα του υλικού προστασίας (J/kg K),

$d_p$  είναι το πάχος του υλικού προστασίας (m)

$\Delta t$  είναι το χρονικό διάστημα (seconds)

$\Theta_{a,t}$  είναι η θερμοκρασία του χάλυβα τη χρονική στιγμή  $t$  ( $^{\circ}C$ ),

$\Theta_{g,t}$  είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος το μέλος αέρα στο χρόνο  $t$  ( $^{\circ}C$ ),

$\Delta\theta_{g,t}$  είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος το μέλος αέρα κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος  $\Delta t$  (K),

$\lambda_p$  είναι η θερμική αγωγιμότητα του συστήματος προστασίας έναντι πυρκαγιάς (W/mK),

$\rho_a$  είναι η πυκνότητα του χάλυβα ( $kg/m^3$ )

$\rho_p$  είναι η πυκνότητα του υλικού προστασίας ( $kg/m^3$ )

Η εξίσωση (1.31) είναι προσεγγιστική και ισχύει μόνο για μικρές τιμές του συντελεστή  $\varphi$ . Σύμφωνα με τον Wang Z (2004) αυτός ο συντελεστής δεν θα πρέπει αν είναι μεγαλύτερος από 1.5. Αλλά αυτός ο περιορισμός δεν δίνεται στον Ευρωκώδικα.

Αν η ειδική θερμότητα του μονωτικού υλικού  $c_p$ , αγνοείται, η ποσότητα της θερμότητας που αποθηκεύεται στην μόνωση μπορεί να λαμβάνεται ως  $\varphi=0$  και έτσι η εξίσωση (1.31) γίνεται:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p}{d_p V c_a \rho_a} \frac{1}{c_a \rho_a} (\Theta_{g,t} - \Theta_{a,t}) \Delta t \quad (1.31)$$

Για τον προσδιορισμό της μεταβολής της θερμοκρασίας του χάλυβα ενός μονωμένου μέλους δεν επιτρέπεται να θεωρούνται διαδοχικά χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα των 30 sec.

Το εμβαδόν  $A_p$  του υλικού προστασίας πρέπει γενικά να λαμβάνεται ως το εμβαδόν της εσωτερικής του επιφάνειας. Για περίπτωση ορθογωνικού εγκιβωτισμού σε μια απόσταση από το χαλύβδινο μέλος πρέπει να εφαρμόζεται η ίδια τιμή όπως για ορθογωνικό εγκιβωτισμό χωρίς απόσταση από το χαλύβδινο μέλος.

## 1.8 Αριθμητικές εφαρμογές

**Ποια είναι η επιρροή των συντελεστών  $O$ ,  $b$  και  $q_{t,d}$  στην μελέτη των παραμετρικών καμπυλών;**

*Επιρροή συντελεστή  $O$*

Θα εξετάσουμε πως μεταβάλλεται η παραμετρική καμπύλη θερμοκρασίας αέρα – χρόνου για διάφορες τιμές του συντελεστή επιρροής ανοιγμάτων  $O$ , θεωρώντας ότι ο συντελεστής επίδρασης του περιβλήματος  $b$  και ο συντελεστής πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου παραμένουν σταθεροί και ίσοι με  $b=1300 \text{ J/m}^2\text{s}^{0.5}\text{K}$  και  $q_{t,d} = 600 \text{ MJ/m}^2$  αντίστοιχα.

- Για  $O=0.04$ :

Ο συντελεστής εξαρτώμενος από τις συνθήκες αερισμού είναι:

$$\Gamma = \left( \frac{O/0.04}{b/1160} \right)^2 = \left( \frac{0.04/0.04}{1300/1160} \right)^2 = 0.80$$

Ο χρόνος στην φάση ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι:

$$t_{\max} = 0.0002 q_{t,d} / O = 0.0002 \times 600 / (0.04) = 3 \text{ (σε λεπτά)}$$

$$t_{\max}^* = \Gamma \times t_{\max} = 0.80 \times 3 = 2.4 \text{ λεπτά}$$

$$\theta_{\max} = 20 + 1325 \left( 1 - 0.324e^{-0.2 \times 2.4} - 0.204e^{-1.7 \times 2.4} - 0.472e^{-19 \times 2.4} \right) = 1074^\circ \text{C}$$

Για  $t_{\max}^* \geq 2,0$ , ο σχετικός χρόνος στο τέλος της φάσης ύφεσης της πυρκαγιάς είναι:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250 \left( t^* - t_{\max}^* \right)$$

- Για  $O=0.06$ :

Ο συντελεστής εξαρτώμενος από τις συνθήκες αερισμού είναι:

$$\Gamma = \left( \frac{O/0.04}{b/1160} \right)^2 = \left( \frac{0.06/0.04}{1300/1160} \right)^2 = 1.79$$

Ο χρόνος στην φάση ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι:

$$t_{\max} = 0.0002 q_{t,d} / O = 0.0002 \times 600 / (0.06 \text{ min})$$

$$t_{\max}^* = \Gamma \times t_{\max} = 1.79 \times 2 = 3.58 \text{ s}$$

$$\theta_{\max} = 20 + 1325 \left( 1 - 0.324e^{-0.2 \times 3.58} - 0.204e^{-1.7 \times 3.58} - 0.472e^{-19 \times 3.58} \right) = 1135^\circ \text{C}$$

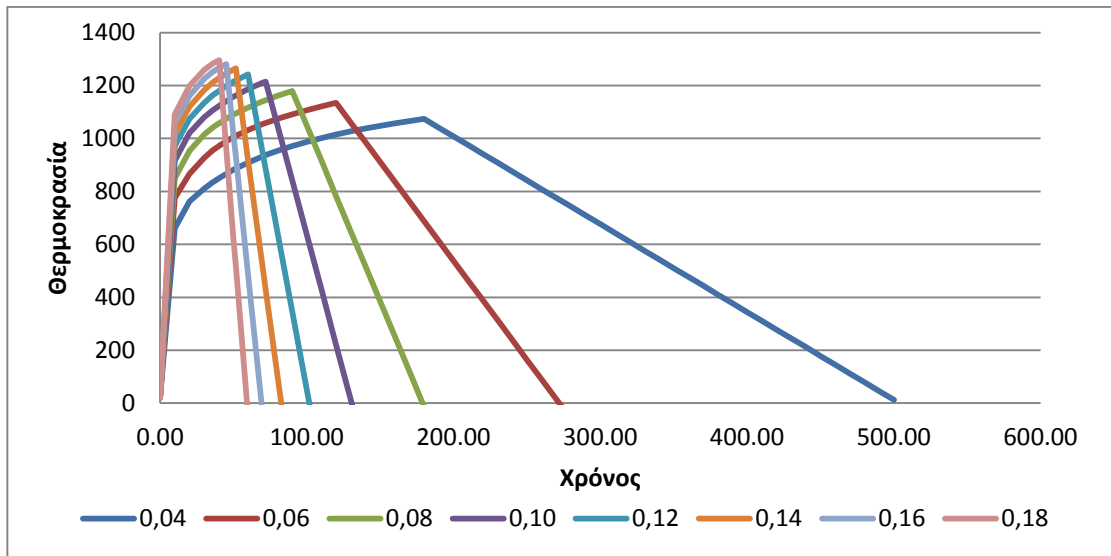
Για  $t_{\max}^* \geq 2.0$ , ο σχετικός χρόνος στο τέλος της φάσης ύφεσης της πυρκαγιάς είναι:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(t^* - t_{\max}^*)$$

Πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία για τους υπόλοιπους συντελεστές O και προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

t (min)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)
0,00	20	20	20	20	20	20	20	20
10,00	661	776	849	915	971	1018	1057	1091
20,00	762	866	953	1021	1074	1120	1161	1198
30,00	811	927	1015	1080	1135	1183	1225	1259
36,00	835	955	1042	1107	1163	1212	1252	1283
40,00	849	971	1057	1123	1180	1228	1266	1295
40,20	850	972	1058	1124	1181	1229	1267	1296
45,00	866	989	1074	1141	1198	1246	1281	960
50,00	882	1005	1090	1157	1215	1261	1016	624
51,60	886	1010	1094	1162	1220	1265	931	516
60,00	909	1032	1117	1186	1243	916	485	
70,00	933	1055	1140	1211	944	510		
72,00	937	1059	1145	1215	884	429		
80,00	953	1074	1161	1049	645	104		
90,00	971	1091	1180	842	347			
100,00	987	1107	1047	634	48			
110,00	1002	1121	914	427				
120,00	1015	1135	782	220				
130,00	1027	1060	649					
140,00	1037	985	516					
150,00	1048	911	384					
160,00	1057	836	251					
170,00	1066	761	118					
180,00	1074	687						

190,00	1041	612						
200,00	1008	538						
210,00	975	463						



Συμπεραίνεται ότι όσο αυξάνεται ο συντελεστής επιρροής ανοιγμάτων  $O$ , η θερμοκρασία του αέρα φτάνει σε υψηλότερες τιμές σε πολύ μικρότερο χρόνο. Επίσης όσο μεγαλώνει ο συντελεστής αερισμού τόσο μικραίνει και ο χρόνος  $t_{max}$  κατά τον οποίο παρατηρείται η μέγιστη θερμοκρασία. Τελικά όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής αερισμού τόσο μεγαλύτερη η αύξηση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα το φαινόμενο της καύσης να τερματίζει συντομότερα.

#### Επιρροή συντελεστή $b$

Θα εξετάσουμε πως μεταβάλλεται η παραμετρική καμπύλη θερμοκρασίας αέρα – χρόνου για διάφορες τιμές του συντελεστή επίδρασης του περιβλήματος  $b$ , θεωρώντας ότι ο συντελεστής αερισμού  $O$  και ο συντελεστής πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου παραμένουν σταθεροί και ίσοι με  $O=0.06$  και  $q_{t,d} = 600 \text{ MJ/m}^2$  αντίστοιχα.

- Για  $b=400 \text{ J/m}^2\text{s}^{0.5}\text{K}$  :

Ο συντελεστής εξαρτώμενος από τις συνθήκες αερισμού είναι:

$$\Gamma = \left( \frac{O/0.04}{b/1160} \right)^2 = \left( \frac{0.06/0.04}{400/1160} \right)^2 = 18.92$$

Ο χρόνος στην φάση ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι:

$$t_{max} = 0.0002q_{t,d}/O = 0.0002 \times 600 / (0.06) = 2 \text{ (σε λεπτά)}$$

$$t_{max}^* = \Gamma \times t_{max} = 18.92 \times 2 = 37.84 \text{ (σε λεπτά)}$$

$$\theta_{max} = 20 + 1325 \left( 1 - 0.324e^{-0.2 \times 37.84} - 0.204e^{-1.7 \times 37.84} - 0.472e^{-19 \times 37.84} \right) = 1345^\circ \text{C}$$

Για  $t_{max}^* \geq 2.0$ , ο σχετικός χρόνος στο τέλος της φάσης ύφεσης της πυρκαγιάς είναι:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(t^* - t_{\max}^*)$$

- Για  $b=600 \text{ J/m}^2 \text{ s}^{0.5} \text{ K}$  :

Ο συντελεστής εξαρτώμενος από τις συνθήκες αερισμού είναι:

$$\Gamma = \left( \frac{O/0.04}{b/1160} \right)^2 = \left( \frac{0.06/0.04}{600/1160} \right)^2 = 8.41$$

Ο χρόνος στην φάση ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι:

$$t_{\max} = 0.0002 q_{t,d} / O = 0.0002 \times 600 / (0.06 \text{ m}^2)$$

$$t_{\max}^* = \Gamma \times t_{\max} = 8.41 \times 2 = 16.82 \text{ s}$$

$$\theta_{\max} = 20 + 1325 \left( 1 - 0.324e^{-0.2 \times 16.82} - 0.204e^{-1.7 \times 16.82} - 0.472e^{-19 \times 16.82} \right) = 1330^\circ \text{C}$$

Για  $t_{\max}^* \geq 2.0$ , ο σχετικός χρόνος στο τέλος της φάσης ύφεσης της πυρκαγιάς είναι:

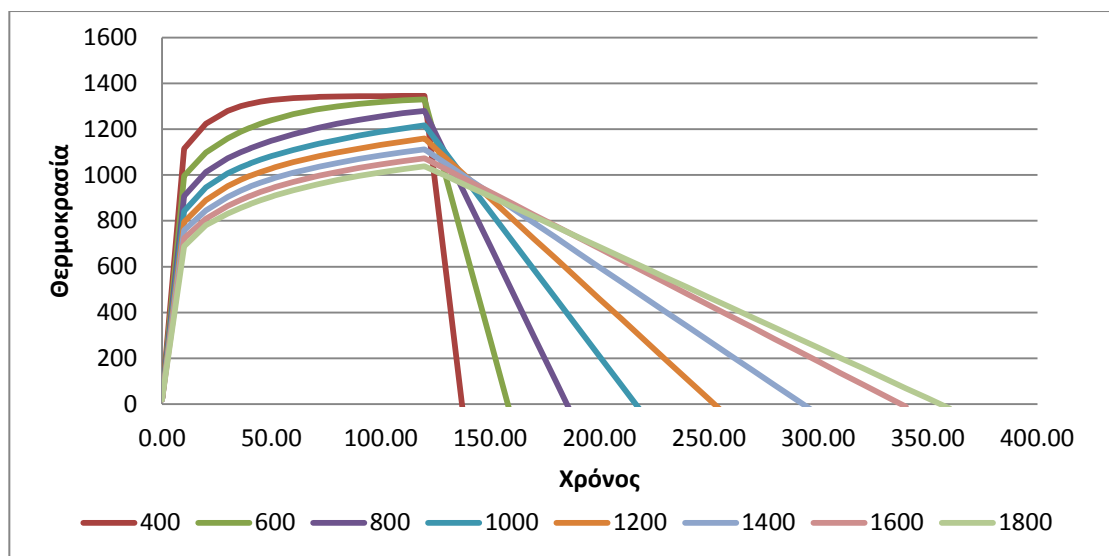
$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(t^* - t_{\max}^*)$$

Πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία για τους υπόλοιπους συντελεστές  $b$  και προκύπτει ο παρακάτω πίνακας και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

<b>b</b> ( $\text{J/m}^2 \text{ s}^{0.5} \text{ K}$ )	<b>400</b>	<b>600</b>	<b>800</b>	<b>1000</b>	<b>1200</b>	<b>1400</b>	<b>1600</b>	<b>1800</b>
<b>t</b> (min)	<b><math>\theta_g</math></b> ( $^\circ\text{C}$ )	<b><math>\theta_g</math></b> ( $^\circ\text{C}$ )	<b><math>\theta_g</math></b> ( $^\circ\text{C}$ )	<b><math>\theta_g</math></b> ( $^\circ\text{C}$ )	<b><math>\theta_g</math></b> ( $^\circ\text{C}$ )	<b><math>\theta_g</math></b> ( $^\circ\text{C}$ )	<b><math>\theta_g</math></b> ( $^\circ\text{C}$ )	<b><math>\theta_g</math></b> ( $^\circ\text{C}$ )
0,00	20	20	20	20	20	20	20	20
10,00	1115	996	908	842	795	758	724	689
20,00	1223	1098	1013	946	890	845	810	781
30,00	1280	1160	1073	1007	952	904	865	832
36,00	1301	1188	1099	1034	980	932	892	857
40,00	1311	1205	1115	1050	996	949	908	872
40,20	1311	1206	1116	1050	996	949	908	873
45,00	1320	1223	1133	1067	1013	967	926	890
50,00	1327	1239	1150	1082	1029	983	942	906
51,60	1328	1244	1154	1087	1033	988	947	910
60,00	1335	1265	1178	1109	1055	1010	970	934
70,00	1340	1285	1203	1133	1078	1033	993	957
72,00	1340	1288	1207	1137	1082	1037	998	962
80,00	1342	1299	1223	1153	1098	1052	1013	978
90,00	1344	1311	1241	1172	1115	1070	1031	996
100,00	1344	1319	1256	1188	1131	1085	1046	1011
110,00	1345	1325	1269	1204	1146	1099	1060	1026
120,00	1345	1330	1280	1217	1160	1112	1073	1038



130,00	556	980	1083	1091	1072	1048	1023	994
140,00		629	886	965	984	983	974	950
150,00		279	689	839	897	919	925	906
160,00			492	713	809	855	876	862
170,00			295	586	722	790	826	818
180,00			98	460	634	726	777	774
190,00				334	546	662	728	730
200,00				208	459	597	678	686
210,00				82	371	533	629	642
220,00					284	469	580	598
230,00					196	404	531	554
240,00					108	340	481	510
250,00					21	275	432	466
260,00						211	383	422
270,00						147	333	378
280,00						82	284	334
290,00						18	235	290
300,00							186	246



Συμπεραίνεται ότι όσο αυξάνεται ο συντελεστής επίδρασης του περιβλήματος  $b$  δηλαδή όσο καλύτερη είναι η μονωτική ικανότητα του περιβλήματος, τόσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται ενώ ο χρόνος  $t_{max}$  κατά τον οποίο παρατηρείται η μέγιστη θερμοκρασία παραμένει σταθερός αφού δεν επηρεάζεται από τον συντελεστή περιβλήματος.

#### Επιρροή συντελεστή $q_{t,d}$

Θα εξετάσουμε πως μεταβάλλεται η παραμετρική καμπύλη θερμοκρασίας αέρα – χρόνου για διάφορες τιμές πυκνότητας πυροθερμικού φορτίου  $q_{t,d}$ , θεωρώντας ότι ο συντελεστής αερισμού  $O$  και ο συντελεστής επίδρασης περιβλήματος  $b$  παραμένουν σταθεροί και ίσοι με  $O=0.06$  και με  $b=1300 \text{ J/m}^2\text{s}^{0.5}\text{K}$  αντίστοιχα.

- Για  $q_{t,d} = 200 \text{ MJ/m}^2$ :

Ο συντελεστής εξαρτώμενος από τις συνθήκες αερισμού είναι:

$$\Gamma = \left( \frac{O/0.04}{b/1160} \right)^2 = \left( \frac{0.06/0.04}{1300/1160} \right)^2 = 1.79$$

Ο χρόνος στην φάση ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι:

$$t_{\max} = 0.0002q_{t,d}/O = 0.0002 \times 200 / (0.06 - 0.167)$$

$$t_{\max}^* = \Gamma \times t_{\max} = 1.79 \times 0.67 = 1.19 \text{ λεπτά}$$

$$\theta_{\max} = 20 + 1325 \left( 1 - 0.324e^{-0.2 \times 1.20} - 0.204e^{-1.7 \times 1.20} - 0.472e^{-19 \times 1.20} \right) = 971^\circ \text{C}$$

Για  $0.5 < t_{\max}^* < 2.0$ , ο σχετικός χρόνος στο τέλος της φάσης ύφεσης της πυρκαγιάς είναι:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(3 - t_{\max}^*)(t^* - t_{\max}^*)$$

- Για  $q_{t,d} = 400 \text{ MJ/m}^2$ :

Ο συντελεστής εξαρτώμενος από τις συνθήκες αερισμού είναι:

$$\Gamma = \left( \frac{O/0.04}{b/1160} \right)^2 = \left( \frac{0.06/0.04}{1300/1160} \right)^2 = 1.79$$

Ο χρόνος στην φάση ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι:

$$t_{\max} = 0.0002q_{t,d}/O = 0.0002 \times 400 / (0.06 - 0.167)$$

$$t_{\max}^* = \Gamma \times t_{\max} = 1.79 \times 1.33 = 2.39 \text{ λεπτά}$$

$$\theta_{\max} = 20 + 1325 \left( 1 - 0.324e^{-0.2 \times 2.38} - 0.204e^{-1.7 \times 2.38} - 0.472e^{-19 \times 2.38} \right) = 1074^\circ \text{C}$$

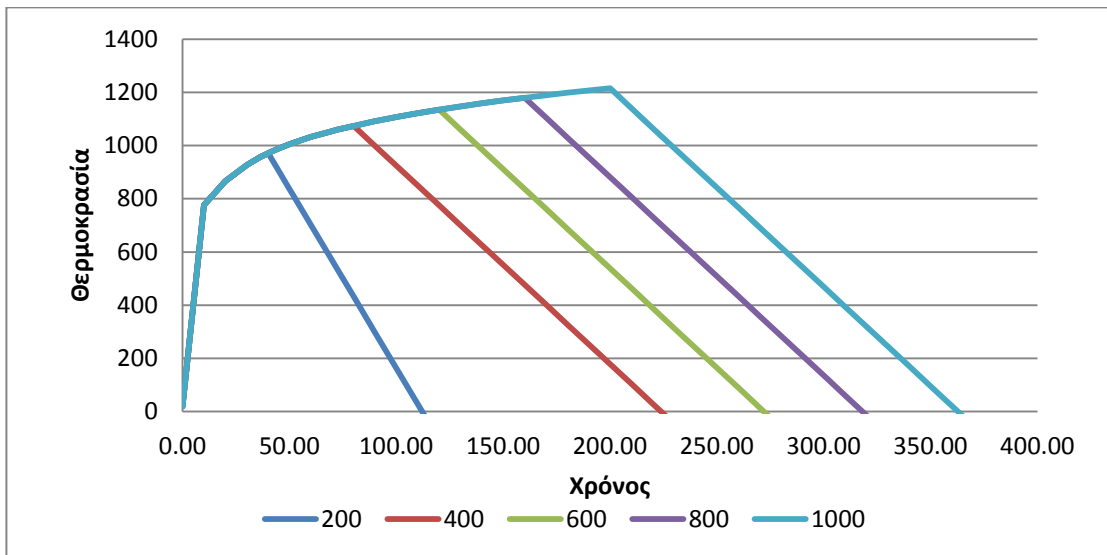
Για  $t_{\max}^* \geq 2.0$ , ο σχετικός χρόνος στο τέλος της φάσης ύφεσης της πυρκαγιάς είναι:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(t^* - t_{\max}^*)$$

Πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία για τους υπόλοιπους συντελεστές  $b$  και προκύπτει ο παρακάτω πίνακας και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

$q_{t,d}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	200	400	600	800	1000
$t$ (min)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)	$\theta_g$ (°C)
0,00	20	20	20	20	20
10,00	776	776	776	776	776
20,00	866	866	866	866	866
30,00	927	927	927	927	927

36,00	955	955	955	955	955
40,00	971	971	971	971	971
40,20	969	972	972	972	972
45,00	904	989	989	989	989
50,00	837	1005	1005	1005	1005
51,60	815	1010	1010	1010	1010
60,00	702	1032	1032	1032	1032
70,00	567	1055	1055	1055	1055
72,00	540	1059	1059	1059	1059
80,00	432	1074	1074	1074	1074
90,00	298	999	1091	1091	1091
100,00	163	925	1107	1107	1107
110,00	28	850	1121	1121	1121
120,00		776	1135	1135	1135
130,00		701	1060	1147	1147
140,00		626	985	1159	1159
150,00		552	911	1170	1170
160,00		477	836	1180	1180
170,00		402	761	1105	1189
180,00		328	687	1031	1198
190,00		253	612	956	1207
200,00		178	538	881	1215
210,00		104	463	807	1140
220,00		29	388	732	1066
230,00			314	657	991
240,00			239	583	916
250,00			164	508	842
260,00			90	433	767
270,00			15	359	692
280,00				284	618
290,00				209	543
300,00				135	469
310,00				60	394
320,00					319
330,00					245
340,00					170



Συμπεραίνεται ότι ο ανοδικός κλάδος των παραμετρικών καμπυλών είναι ο ίδιος για όλες τις τιμές πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου αφού εξαρτάται μόνο από τους συντελεστές  $O$  και  $b$ . Όσο αυξάνεται η πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου  $q_{t,d}$  τόσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται όπως και ο χρόνος  $t_{max}$  κατά τον οποίο παρατηρείται η μέγιστη θερμοκρασία. Επίσης όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου τόσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του φαινομένου της καύσης.



## 2 Θερμικές δράσεις σε εξωτερικά μέλη - Απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού

Εξωτερικό μέλος είναι ένα δομικό μέλος που βρίσκεται εξωτερικά της πρόσοψης του κτιρίου και το οποίο μπορεί να εκτεθεί σε πυρκαγιά μέσω των ανοιγμάτων του περιβλήματος του κτιρίου. Για τον προσδιορισμό των θερμικών δράσεων που δέχεται ένα εξωτερικό μέλος σε περίπτωση πυρκαγιάς, πρέπει πρώτα να εκτιμηθούν οι συνθήκες του πυροδιαμερίσματος και οι φλόγες που εκπηγάζουν από τα ανοίγματα, αντικείμενο του παραρτήματος Β του EN 1991 μέρος 1-2 και στη συνέχεια να υπολογιστούν οι θερμικές ροές από ακτινοβολία και συναγωγή, οι οποίες μας επιτρέπουν να προσδιορίσουμε τη μέση θερμοκρασία  $T_m$  του εξωτερικού χαλύβδινου μέλους, αντικείμενο του παραρτήματος Β του EN 1993 μέρος 1-2.

Η θερμοκρασία εξωτερικών κατασκευών από χάλυβα θα προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη:

1. τη ροή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από το πυροδιαμέρισμα,
2. τη θερμική ροή λόγω ακτινοβολίας και λόγω συναγωγής (επαφής) από τις φλόγες που εκπηγάζουν από τα ανοίγματα,
3. τις απώλειες θερμότητας από ακτινοβολία και συναγωγή από τη χαλύβδινη κατασκευή προς την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα, τις θέσεις και τα μεγέθη των δομικών μελών.

### 2.1 Απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού

Η μέθοδος που παρουσιάζεται στο παράρτημα Β του Ευρωκώδικα 1.1.2 επιτρέπει τον προσδιορισμό :

1. των μέγιστων θερμοκρασιών του πυροδιαμερίσματος,
2. τις διαστάσεις και τις θερμοκρασίες των φλογών από τα ανοίγματα,
3. των παραμέτρων που σχετίζονται με τη θερμότητα από ακτινοβολία και επαφή.

Η μέθοδος αυτή θεωρεί σταθερές συνθήκες για τις διάφορες παραμέτρους. Η μέθοδος ισχύει μόνο για πυκνότητες πυροθερμικού φορτίου μεγαλύτερες των  $200 \text{ MJ/m}^2$ .

### 2.2 Προϋποθέσεις χρήσης μεθόδου

Όταν υπάρχουν περισσότερα από ένα παράθυρα στο σχετικό πυροδιαμέρισμα χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των υψών των παραθύρων  $h_{eq}$ , η συνολική επιφάνεια κατακόρυφων ανοιγμάτων  $A_v$ , καθώς και το άθροισμα των πλατών των παραθύρων  $w_i = \sum w_i$

Όταν υπάρχουν παράθυρα μόνο στον τοίχο 1 ο λόγος  $D/W$  δίνεται από τον τύπο :

$$D/W = \frac{W_2}{w_i} \quad (2.1)$$

Όταν υπάρχουν παράθυρα σε περισσότερους από έναν τοίχους, ο λόγος  $D/W$  δίνεται από τον τύπο :

$$D/W = \frac{W_2 \cdot A_{v1}}{W_1 \cdot A_v} \quad (2.2)$$

όπου :

$W_1$  είναι το πλάτος του τοίχου 1, υποθέτοντας ότι περιλαμβάνει τη μεγαλύτερη επιφάνεια παραθύρων

$A_{v1}$  είναι το άθροισμα των επιφανειών των παραθύρων στον τοίχο 1

$W_2$  είναι το πλάτος του κάθετου στον 1 τοίχου στο πυροδιαμέρισμα.

Όταν υπάρχει πυρήνας στο πυροδιαμέρισμα ο λόγος  $D/W$  υπολογίζεται όπως παρακάτω:

1. εφαρμόζονται οι περιορισμοί που αναφέρονται παρακάτω σχετικά με τις διαστάσεις του πυροδιαμερίσματος
2.  $L_c$  και  $W_c$  είναι το μήκος και το πλάτος του πυρήνα αντίστοιχα
3.  $W_1$  και  $W_2$  είναι το μήκος και το πλάτος του πυροδιαμερίσματος αντίστοιχα :

$$D/W = \frac{(W_2 - L_c) A_{v1}}{(W_1 - W_c) A_v} \quad (2.3)$$

Όλα τα μέρη ενός εξωτερικού τοίχου που δεν έχουν την απαιτούμενη για την ευστάθεια του κτιρίου αντοχή στην πυρκαγιά (REI) υπολογίζονται ως επιφάνειες παραθύρων.

Η συνολική επιφάνεια των παραθύρων σε έναν εξωτερικό τοίχο είναι :

1. η συνολική επιφάνεια, σύμφωνα με τα προηγούμενα, εάν είναι μικρότερη από το 50% της επιφάνειας του σχετικού εξωτερικού τοίχου του διαμερίσματος,
2. αρχικά η συνολική επιφάνεια και στη συνέχεια το 50% της επιφάνειας του αντίστοιχου εξωτερικού τοίχου του διαμερίσματος αν σύμφωνα με τα προηγούμενα η επιφάνεια είναι μεγαλύτερη του 50%. Αυτές οι δύο περιπτώσεις πρέπει να εξετάζονται στους υπολογισμούς. Όταν χρησιμοποιούμε το 50% της επιφάνειας του εξωτερικού τοίχου, πρέπει να επιλέγονται η θέση και η γεωμετρία των ανοιχτών επιφανειών ώστε να θεωρούμε τη δυσμενέστερη περίπτωση.

Οι διαστάσεις του πυροδιαμερίσματος δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 7 m σε μήκος, τα 18m σε πλάτος και τα m σε ύψος.

Η θερμοκρασία της φλόγας μπορεί να θεωρείται ομοιόμορφη κατά πλάτος και πάχος της φλόγας.

## 2.3 Επίδραση ανέμου

### Μέθοδος αερισμού

Αν υπάρχουν παράθυρα σε απέναντι πλευρές του πυροδιαμερίσματος ή αν πρόσθετος αέρας τροφοδοτεί την πυρκαγιά από άλλη προέλευση (εκτός παραθύρων), τότε ο υπολογισμός γίνεται σε συνθήκες “με ρεύμα αέρα” (*forced draught*). Διαφορετικά ο υπολογισμός γίνεται σε συνθήκες “χωρίς ρεύμα αέρα” (*no forced draught*).

### Εκτροπή φλόγας από τον άνεμο

Οι φλόγες από ένα άνοιγμα εκτιμάται ότι εξέρχονται από το πυροδιαμέρισμα :

1. κάθετα στην πρόσοψη,
2. με απόκλιση 45° λόγω της επίδρασης του ανέμου.

### 2.3.1 Χαρακτηριστικά της φωτιάς και των φλογών

*Χωρίς ρεύμα αέρα*

Ο ρυθμός εκροής θερμότητας  $Q$  δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \min \left( (A_f \cdot q_{f,d}) / \tau_f ; 3.15 \left( 1 - e^{-0.036/o} \right) A_v \left( \frac{h_{eq}}{D/W} \right)^{1/2} \right) \quad (2.4)$$

Η θερμοκρασία του πυροδιαμερίσματος  $T_f$  δίνεται από τη σχέση :

$$T_f = 6000 \left( 1 - e^{-0.1/o} \right) O^{1/2} \left( 1 - e^{-0.00286\Omega} \right) + T_0 \quad (2.5)$$

Το ύψος της φλόγας  $L_L$  δίνεται από τη σχέση :

$$L_L = \max \left( 0 ; h_{eq} \cdot \left( 2.37 \left( \frac{Q}{A_v \rho_g (h_{eq} g)^{1/2}} \right)^{2/3} - 1 \right) \right) \quad (2.6)$$

Το πλάτος της φλόγας είναι το πλάτος του παραθύρου,  $w_f = w_t$  (2.7)

Το βάθος της φλόγας  $d_f$  είναι τα 2/3 του ύψους του παραθύρου :  $d_f = 2/3 h_{eq}$  (2.8)

Η οριζόντια προβολή των φλογών  $L_H$  δίνεται από τις σχέσεις:

- σε περίπτωση που υπάρχει τοίχος πάνω από το παράθυρο :

$$L_H = h_{eq} / 3 \quad \text{αν } h_{eq} \leq 1.25 w_t$$

$$L_H = 0.3 h_{eq} \left( h_{eq} / w_t \right)^{0.54} \quad \text{αν } h_{eq} > 1.25 w_t \text{ και η απόσταση από οποιοδήποτε άλλο παράθυρο } > 4 w_t$$

$$L_H = 0.454 h_{eq} \left( h_{eq} / 2 w_t \right)^{0.54} \quad \text{σε άλλες περιπτώσεις}$$

- στην περίπτωση που δεν υπάρχει τοίχος πάνω από το παράθυρο :

$$L_H = 0.6 h_{eq} \left( L_L / h_{eq} \right)^{1/3}$$

Το μήκος της φλόγας κατά μήκος του άξονα  $L_f$  :  
όταν  $L_L > 0$

$$L_f = L_L + h_{eq} / 2 \quad \text{αν υπάρχει τοίχος πάνω από παράθυρο ή αν } h_{eq} \leq 1.25 w_t$$

$$L_f = \left( L_L^2 + \left( L_H - h_{eq} / 3 \right)^2 \right)^{1/2} + h_{eq} / 2 \quad \text{αν δεν υπάρχει τοίχος πάνω από το παράθυρο ή αν } h_{eq} > 1.25 w_t$$



όταν  $L_L = 0$ , τότε  $L_f = 0$

Η θερμοκρασία της φλόγας  $T_w$  στο παράθυρο δίνεται από τη σχέση :

$$T_w = 520 / \left(1 - 0.4725 \left(L_f w_t / Q\right)\right) + T_0 \quad (2.9)$$

με  $L_f \cdot w_t / Q < 1$

Ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας (*emissivity*) των φλογών στο παράθυρο λαμβάνεται ίσος με  $\varepsilon_f = 1$ .

Η θερμοκρασία της φλόγας κατά μήκος του άξονα δίνεται από τον τύπο :

$$T_z = (T_w - T_o) \left(1 - 0.4725 \left(L_x w_t / Q\right)\right) + T_o \quad (2.10)$$

με  $L_x \cdot w_t / Q < 1$

όπου:

$L_x$  είναι το μήκος του άξονα από το παράθυρο ως και το σημείο όπου γίνεται ο υπολογισμός

Ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας  $\varepsilon_f$  (*emissivity*) των φλογών λαμβάνεται ίσος με:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0.3d_f} \quad (2.11)$$

όπου  $d_f$  είναι το πάχος της φλόγας (m)

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από επαφή  $\alpha_c$  δίνεται από τη σχέση :

$$\alpha_c = 4.67 \left(1/d_{eq}\right)^{0.4} \left(Q/A_v\right)^{0.6} \quad (2.12)$$

Σε περίπτωση που ένα σκίαστρο ή ένας πρόβολος (με οριζόντια προβολή  $W_a$ ) βρίσκεται στο επίπεδο της κορυφής του παραθύρου σε όλο του το πλάτος, για την περίπτωση που υπάρχει τοίχος πάνω από το παράθυρο και  $h_{eq} \leq 1.25 w_t$ , το ύψος και η οριζόντια προβολή της φλόγας πρέπει να τροποποιείται όπως παρακάτω :

1. το ύψος της φλόγας  $L_L$  μειώνεται κατά  $W_a(1 + \sqrt{2})$ ,
2. η οριζόντια προβολή της φλόγας  $L_H$  αυξάνεται κατά  $W_a$ .

Στην περίπτωση που ισχύουν οι ίδιες συνθήκες όσον αφορά το σκίαστρο ή τον πρόβολο με τα παραπάνω, αλλά δεν υπάρχει τοίχος πάνω από το παράθυρο ή  $h_{eq} > 1.25 w_t$  τότε το ύψος και η οριζόντια προβολή της φλόγας τροποποιείται ως εξής :

1. το ύψος της φλόγας  $L_L$  μειώνεται κατά  $W_a$ ,
2. η οριζόντια προβολή της φλόγας  $L_H$  αυξάνεται κατά  $W_a$ , λαμβάνοντας υπόψη στον υπολογισμό την παραπάνω τιμή του  $L_L$ .

Με ρεύμα αέρα

Ο ρυθμός εκροής θερμότητας  $Q$  δίνεται από τον τύπο :

$$Q = (A_f q_{f,d}) / \tau_f \quad (2.13)$$

Η θερμοκρασία του πυροδιαμερίσματος  $T_f$  δίνεται από τον τύπο :

$$T_f = 1200 \left( (A_f q_{f,d}) / \Gamma 7.5 - e^{-0.00228\Omega} \right) + \quad (2.14)$$

Το ύψος της φλόγας  $L_L$  δίνεται από τον τύπο :

$$L_L = \left( 1.366 \left( \frac{1}{u} \right)^{0.43} \frac{Q}{A_v^{1/2}} \right) - h_{eq} \quad (2.15)$$

Η οριζόντια προβολή των φλογών  $L_H$  δίνεται από τη σχέση :

$$L_H = 0.605 (u^2 / h_{eq})^{0.22} (L_L + h_{eq}) \quad (2.16)$$

$$\text{Το πλάτος της φλόγας } w_f \text{ είναι ίσο με : } w_f = w_i + 0.4L_H \quad (2.17)$$

Το μήκος της φλόγας κατά μήκος του άξονα δίνεται από τη σχέση :

$$L_f = (L_L^2 + L_H^2)^{1/2} \quad (2.18)$$

Η θερμοκρασία της φλόγας στο παράθυρο  $T_w$  δίνεται από τον τύπο :

$$T_w = 520 / \left( 1 - 0.3325 L_f (A_v)^{1/2} / Q \right) + T_o \quad (2.19)$$

$$\text{με } L_f \cdot (A_v)^{1/2} / Q < 1$$

Ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας (*emissivity*) στο παράθυρο μπορεί να λαμβάνεται ίσος με  $\varepsilon_f = 1.0$ .

Η θερμοκρασία της φλόγας κατά μήκος του άξονα δίνεται από τον τύπο:

$$T_z = \left( 1 - 0.3325 \frac{L_x (A_v)^{1/2}}{Q} \right) (T_w - T_o) + T_o \quad (2.20)$$

όπου,

$L_x$  είναι το μήκος του άξονα από το παράθυρο ως το σημείο όπου γίνεται ο υπολογισμός

Ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας  $\varepsilon_f$  (*emissivity*) των φλογών μπορεί να λαμβάνεται ίσος με :

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0.3d_f} \quad (2.21)$$

όπου  $d_f$  είναι το πάχος της φλόγας (m)

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από επαφή  $\alpha_c$ , δίνεται από τον τύπο:

$$\alpha_c = 9.8 \left(1/d_{eq}\right)^{0.4} \left(Q/(17.5A_v) + u/1.6\right)^{0.6} \quad (2.22)$$

### 2.3.2 Συνολικοί συντελεστές διάταξης

Ο συνολικός συντελεστής διάταξης  $\Phi_f$  ενός μέλους για μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία από ένα άνοιγμα ορίζεται ως :

$$\varphi_f = \frac{(C_1\varphi_{f,1} + C_2\varphi_{f,2})d_1 + (C_3\varphi_{f,3} + C_4\varphi_{f,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2} \quad (2.23)$$

όπου:

$\varphi_{f,i}$  είναι ο συντελεστής διάταξης της όψης  $i$  του μέλους για το άνοιγμα αναφοράς.

$d_i$  είναι η διάσταση της διατομής της όψης  $i$  του μέλους

$C_i$  είναι ο συντελεστής προστασίας της όψης  $i$  του μέλους ως εξής:

1. για προστατευμένη όψη:  $C_i=0$
2. για μη προστατευμένη όψη:  $C_i=1$

Ο συντελεστής διάταξης  $\Phi_{f,i}$  μιας όψης του μέλους από την οποία το άνοιγμα δεν είναι ορατό λαμβάνεται ίσος με μηδέν.

Ο συνολικός συντελεστής  $\Phi_z$  ενός μέλους για μεταφορά θερμότητας εξ' ακτινοβολίας από μια φλόγα ορίζεται ως :

$$\varphi_f = \frac{(C_1\varphi_{z,1} + C_2\varphi_{z,2})d_1 + (C_3\varphi_{z,3} + C_4\varphi_{z,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2} \quad (2.24)$$

όπου

$\varphi_{z,i}$  είναι ο συντελεστής διάταξης της όψης  $i$  του μέλους ως προς τη φλόγα.

Ο συντελεστής διάταξης  $\Phi_{z,i}$  κάθε όψης του μέλους για μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία από τη φλόγα υπολογίζεται θεωρώντας ισοδύναμες ορθογωνικές διαστάσεις της φλόγας. Οι διαστάσεις και οι θέσεις των ισοδύναμων ορθογωνίων καθορίζονται στο παράρτημα G του Ευρωκώδικα 1-2-1.

## 2.4 Μεταφορά θερμότητας σε εξωτερικά δομικά στοιχεία από χάλυβα

Έχοντας προσδιορίσει τις συνθήκες του πυροδιαμερίσματος καθώς και τις διαστάσεις των φλογών που εξέρχονται από τα ανοίγματα προς τα εξωτερικά μέλη, μπορεί να εκτιμηθεί η θερμική ροή από ακτινοβολία και συναγωγή και στη συνέχεια η θερμοκρασία του χάλυβα σύμφωνα με το Παράρτημα Β του Ευρωκώδικα 1993-1-2.

### 2.4.1 Βασικές αρχές

Στο παρόν κεφάλαιο, το πυροδιαμέρισμα υποτίθεται ότι περιορίζεται σε ένα μόνο όροφο. Όλα τα παράθυρα ή άλλα παρόμοια ανοίγματα του πυροδιαμερίσματος υποτίθεται ότι είναι ορθογώνια.

Επίσης, διάκριση πρέπει να γίνεται μεταξύ μελών που περιβάλλονται από τις φλόγες και μελών που δεν περιβάλλονται, ανάλογα με τη σχετική θέση τους ως προς τα ανοίγματα επί των τοίχων του πυροδιαμερίσματος. Ένα μέλος το οποίο δεν περιβάλλεται από φλόγες πρέπει να υποθεθεί ότι δέχεται μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας, από όλα τα ανοίγματα του πυροδιαμερίσματος, που βρίσκονται προς την πλευρά του και από τις φλόγες που προβάλλουν από αυτά τα ανοίγματα. Ένα μέλος το οποίο περιβάλλεται από φλόγες πρέπει να υποθεθεί ότι δέχεται μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής από τις περιβάλλουσες αυτό φλόγες και επί πλέον μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας από την περιβάλλουσα φλόγα και από το άνοιγμα του πυροδιαμερίσματος από το οποίο η φλόγα προβάλλει. Η μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας από άλλες φλόγες και άλλα ανοίγματα μπορεί να αμελείται. Στο παρόν κεφάλαιο θα εξετάσουμε την περίπτωση ενός εξωτερικού χαλύβδινου υποστυλώματος μη περιβαλλόμενου από φλόγες.

#### 2.4.2 Θερμική ισορροπία

Για ένα χαλύβδινο μέλος που δεν περιβάλλεται από φλόγες, η μέση θερμοκρασία του χάλυβα  $T_m$  [K] προσδιορίζεται από τη λύση της ακόλουθης εξίσωσης θερμικής ισορροπίας :

$$\sigma T_m^4 + \alpha T_m = \Sigma I_z + \Sigma I_f + 293\alpha \quad (2.25)$$

όπου:

$\sigma$  είναι η σταθερά του Stefan Boltzmann [ $56.7 \times 10^{-12}$  kW/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>],

$\alpha$  είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής [kW/m<sup>2</sup>K],

$I_z$  είναι η θερμική ροή δι' ακτινοβολίας από μια φλόγα [kW/m<sup>2</sup>],

$I_f$  είναι η θερμική ροή δι' ακτινοβολίας από ένα άνοιγμα [kW/m<sup>2</sup>]

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής  $\alpha$  μπορεί να λαμβάνεται από το Παράρτημα Β του EN 1991-1-2 για συνθήκες 'χωρίς ρεύμα αέρα' ή 'με ρεύμα αέρα', όποια είναι πιο κατάλληλη, χρησιμοποιώντας μία ενεργή διάσταση διατομής  $d = (d_1 + d_2) / 2$ .

Για ένα μέλος που περιβάλλεται από φλόγες, η μέση θερμοκρασία του  $T_m$  [K] προσδιορίζεται μέσω της λύσεως της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\sigma T_m^4 + \alpha T_m = I_z + I_f + \alpha T_z \quad (2.26)$$

όπου:

$T_z$  είναι η θερμοκρασία των φλογών [K],

$I_z$  είναι η θερμική ροή δι' ακτινοβολίας από τις φλόγες [kW/m<sup>2</sup>],

$I_f$  είναι η θερμική ροή δι' ακτινοβολίας από το αντίστοιχο άνοιγμα [kW/m<sup>2</sup>]

Η θερμική ροή δι' ακτινοβολίας  $I_z$  από τις φλόγες θα προσδιορίζεται ανάλογα με τη θέση και τον τύπο του μέλους.

Η θερμική ροή δι' ακτινοβολίας  $I_f$  από ένα άνοιγμα θα προσδιορίζεται από:

$$I_f = \phi_f \varepsilon_f (1 - a_z) \sigma T_f^4 \quad (2.27)$$

όπου:

$\phi_f$  είναι ο συνολικός συντελεστής διάταξης του μέλους για περίπτωση μεταφοράς θερμότητας δι' ακτινοβολίας από αυτό το άνοιγμα,

$\varepsilon_f$  είναι η ικανότητα ακτινοβολίας του ανοίγματος,

$a_z$  είναι ο βαθμός απορρόφησης της θερμότητας από τις φλόγες,

$T_f$  είναι η θερμοκρασία της πυρκαγιάς [K] από το Παράρτημα Β του EN 1991-1-2

Η ικανότητα ακτινοβολίας ενός ανοίγματος  $\varepsilon_f$  θα λαμβάνεται μονάδα.

Ο βαθμός απορρόφησης  $a_z$  της θερμότητας που εκπέμπεται από τις φλόγες θα προσδιορίζεται από το Παράρτημα Β του EN 1993-1-2, κεφάλαιο 4.3.5 για συνθήκες με ή χωρίς ρεύμα αέρα.

## 2.5 Υποστύλωμα μη περιβαλλόμενο από φλόγες

### 2.5.1 Μεταφορά θερμότητας δι' ακτινοβολίας

Πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ ενός υποστυλώματος που βρίσκεται απέναντι από ένα άνοιγμα και ενός που βρίσκεται μεταξύ ανοιγμάτων.

Εάν το υποστύλωμα είναι απέναντι από άνοιγμα η θερμική ροή δι' ακτινοβολίας  $I_z$  από τη φλόγα θα προσδιορίζεται από:

$$I_z = \varphi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 \quad (2.28)$$

όπου:

$\varphi_z$  είναι ο συνολικός συντελεστής διάταξης του υποστυλώματος για θερμότητα από τη φλόγα,

$\varepsilon_z$  είναι η ικανότητα ακτινοβολίας της φλόγας,

$T_z$  είναι η θερμοκρασία της φλόγας [K]

Εάν το υποστύλωμα βρίσκεται μεταξύ ανοιγμάτων, η ολική θερμική ροή δι' ακτινοβολίας  $I_z$  από τις φλόγες σε κάθε πλευρά θα προσδιορίζεται από:

$$I_z = (\varphi_{z,m} \varepsilon_{z,m} + \varphi_{z,n} \varepsilon_{z,n}) \sigma T_z^4 \quad (2.29)$$

όπου:

$\varphi_{z,m}$  είναι ο συνολικός συντελεστής διάταξης του υποστυλώματος για θερμότητα από τις φλόγες στην πλευρά m.

$\varphi_{z,n}$  είναι ο συνολικός συντελεστής διάταξης του υποστυλώματος για θερμότητα από τις φλόγες στην πλευρά n.

$\varepsilon_{z,m}$  είναι η συνολική ικανότητα ακτινοβολίας των φλογών στην πλευρά m .

$\varepsilon_{z,n}$  είναι η συνολική ικανότητα ακτινοβολίας των φλογών στην πλευρά n .

### 2.5.2 Ικανότητα ακτινοβολίας της φλόγας

Εάν το υποστύλωμα βρίσκεται απέναντι από άνοιγμα, η ικανότητα ακτινοβολίας  $\varepsilon_z$  της φλόγας θα προσδιορίζεται από την έκφραση για το  $\varepsilon$  που δίδεται στο Παράρτημα Β του EN 1991-1-2, χρησιμοποιώντας το πάχος φλόγας  $\lambda$  στην ανώτερη στάθμη των ανοιγμάτων. Υπό την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει σκίαστρο ή εξώστης πάνω από το άνοιγμα, το  $\lambda$  μπορεί να λαμβάνεται ως εξής:

1. για συνθήκες 'χωρίς ρεύμα αέρα':  $\lambda = 2h/3$
2. για συνθήκες 'με ρεύμα αέρα':  $\lambda = x$  αλλά  $\lambda \leq hx/z$

όπου  $h$ ,  $x$  και  $z$  δίδονται στο Παράρτημα Β του EN 1991-1-2.

Εάν το υποστυλώμα βρίσκεται μεταξύ δύο ανοιγμάτων οι συνολικές ικανότητες ακτινοβολίας  $\varepsilon_{z,m}$  και  $\varepsilon_{z,n}$  των φλογών από τις πλευρές  $m$  και  $n$  θα προσδιορίζονται από την έκφραση για το  $\varepsilon$  που δίδεται στο Παράρτημα Β του EN 1991-1-2 χρησιμοποιώντας για το ολικό πάχος  $\lambda$  της φλόγας την τιμή:

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i$$

1. για την πλευρά  $m$  :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

2. για την πλευρά  $n$  :

όπου:

$m$  είναι ο αριθμός ανοιγμάτων στην πλευρά  $m$ ,

$n$  είναι ο αριθμός ανοιγμάτων στην πλευρά  $n$ ,

$\lambda_i$  είναι το πάχος της φλόγας για το άνοιγμα  $i$ .

Το πάχος της φλόγας  $\lambda_i$  θα λαμβάνεται ως ακολούθως:

1. για συνθήκες “χωρίς ρεύμα αέρα” :  $\lambda_i = w_i$

2. για συνθήκες “με ρεύμα αέρα” :  $\lambda_i = w_i + 0.4s$

όπου:

$w_i$  είναι το πλάτος του ανοίγματος,

$s$  είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ του άξονα του υποστυλώματος και του τοίχου του πυροδιαμερίσματος

### 2.5.3 Απορροφητικότητα της θερμότητας που εκπέμπεται από μία φλόγα

Για τη συνθήκη ‘χωρίς ρεύμα αέρα’, η απορροφητικότητα φλόγας  $a_z$  θα λαμβάνεται ίση προς μηδέν. Για τη συνθήκη ‘με ρεύμα αέρα’, η απορροφητικότητα  $a_z$  θα λαμβάνεται ως ίση προς την ικανότητα ακτινοβολίας  $\varepsilon_z$  της σχετικής φλόγας.

## 2.6 Συντελεστής Διάταξης

Ο συντελεστής διάταξης  $\Phi$  για μεταφορά θερμότητας δι’ ακτινοβολίας από μία επιφάνεια Α προς μία επιφάνεια Β ορίζεται ως το τμήμα της διαχύτως ακτινοβολούμενης ενέργειας που ξεκινάει από την επιφάνεια Α και προσπίπτει στη γειτονική επιφάνεια Β.

$$dF_{d1-d2} = \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi S_{1-2}^2} dA_2 \quad (2.30)$$

Ο συντελεστής διάταξης μετρά το τμήμα της συνολικής θερμότητας που αφήνει μια δεδομένη επιφάνεια εκπομπής και φθάνει σε μια δεδομένη επιφάνεια λήψης. Η τιμή του εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας εκπομπής, την απόσταση της επιφάνειας εκπομπής από την επιφάνεια λήψης και το σχετικό τους προσανατολισμό. Ο ακριβής υπολογισμός του συντελεστή διάταξης  $\Phi$  είναι αντικείμενο του παραρτήματος G του EN 1991-1-2.

Σε περίπτωση που η εστία εκπομπής έχει ομοιόμορφη θερμοκρασία και ικανότητα ακτινοβολίας, ο ορισμός απλοποιείται ως εξής, "η στερεά γωνία εντός της οποίας μπορεί να εντοπιστεί από συγκεκριμένο τμήμα απειροελάχιστης επιφάνειας το περιβάλλον που ακτινοβολεί, διαιρούμενη με  $2\pi$ ".

Η μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία σε μια απειροελάχιστη επιφάνεια ενός κυρτού μέλους καθορίζεται μόνο από τη θέση και το μέγεθος της πυρκαγιάς (*position effect*). Η μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία σε μια απειροελάχιστη επιφάνεια ενός κοίλου μέλους καθορίζεται από τη θέση και το μέγεθος της πυρκαγιάς (*position effect*) όπως και από την ακτινοβολία άλλων τμημάτων του μέλους (*shadow effects*).

Άνω όρια του συντελεστή διάταξης  $\Phi$  δίνονται στον πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Όρια συντελεστή διάταξης  $\Phi$

		Τοπική	Πλήρως ανεπτυγμένη
position effect		$\Phi \leq 1$	$\Phi = 1$
shadow effect	κυρτό	$\Phi = 1$	$\Phi = 1$
	κοίλο	$\Phi \leq 1$	$\Phi \leq 1$

## 2.7 Επίδραση σκίασης (shadow effects)

Συγκεκριμένοι κανόνες για να συνεκτιμηθεί η επίδραση της σκίασης δίνονται στα τμήματα του Ευρωκώδικα που αναφέρονται σε συγκεκριμένα υλικά.

### 2.7.1 Εξωτερικά μέλη

Όλες οι επιφάνειες που εκπέμπουν ακτινοβολία πρέπει να θεωρούνται ορθογώνιες στο σχήμα. Περιλαμβάνουν παράθυρα και άλλα ανοίγματα στους τοίχους του πυροδιαμερίσματος όπως και τις ισοδύναμες επιφάνειες των φλογών.

Στον υπολογισμό του συντελεστή διάταξης  $\Phi$ , ένα ορθογώνιο περίβλημα πρέπει να σχεδιάζεται γύρω από τη διατομή του μέλους που λαμβάνει τη θερμότητα. Η τιμή του συντελεστή  $\Phi$  προσδιορίζεται για το σημείο  $P$  (μέσο) της κάθε όψης του ορθογωνίου.

Ο συντελεστής  $\Phi$  πρέπει να υπολογίζεται για κάθε επιφάνεια λήψης ως το άθροισμα της συνεισφοράς της κάθε ζώνης στην επιφάνεια που ακτινοβολεί (κανονικά είναι τέσσερις) και είναι ορατές από το σημείο  $P$  της επιφάνειας λήψης. Οι ζώνες αυτές καθορίζονται από το σημείο  $X$ , το οποίο βρίσκεται όταν μια οριζόντια γραμμή που είναι κάθετη στην επιφάνεια λήψης τμήσει το επίπεδο που περιλαμβάνει την επιφάνεια εκπομπής. Καμία συνεισφορά δεν υπολογίζεται από τις ζώνες που δεν είναι ορατές από το σημείο  $P$ .

Η συνεισφορά κάθε ζώνης καθορίζεται όπως παρακάτω:

1. Όταν η επιφάνεια λήψης είναι παράλληλη στην επιφάνεια εκπομπής:

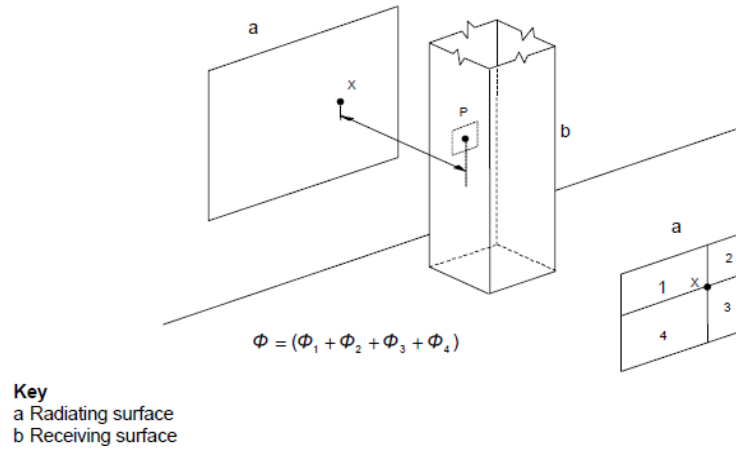
$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{a}{(1+a^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left( \frac{b}{(1+a^2)^{0.5}} \right) + \frac{b}{(1+b^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left( \frac{a}{(1+b^2)^{0.5}} \right) \right] \quad (2.31)$$

όπου:

$$a = h/s$$

$$b = w/s$$

- $s$  η απόσταση του σημείου P από το σημείο X.  
 $h$  το ύψος της ζώνης στην επιφάνεια εκπομπής ακτινοβολίας  
 $w$  το πλάτος της ζώνης αυτής



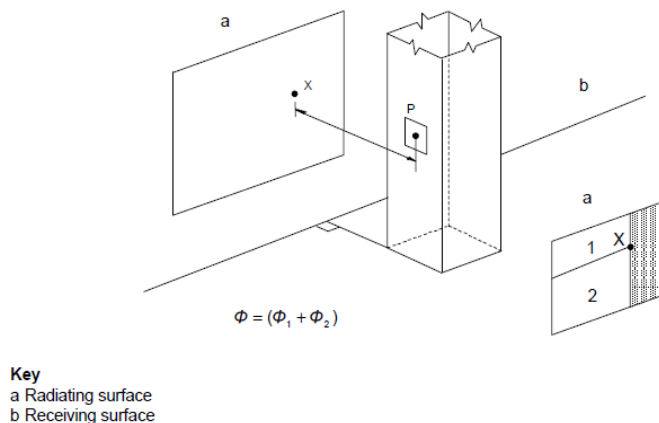
Σχήμα 2.1: Επιφάνεια λήψης παράλληλη στην επιφάνεια εκπομπής

2. Όταν η επιφάνεια λήψης είναι κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[ \tan^{-1}(a) - \frac{1}{(1+b^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left( \frac{a}{(1+b^2)^{0.5}} \right) \right] \quad (2.32)$$

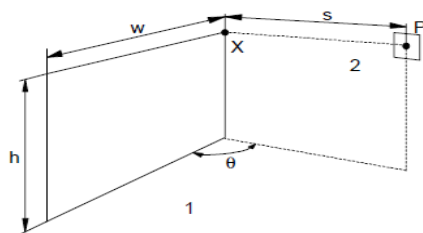
3. Όταν η επιφάνεια λήψης βρίσκεται σε επίπεδο που σχηματίζει γωνία  $\theta$  με την επιφάνεια εκπομπής:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[ \tan^{-1}(a) - \frac{(1-b \cos \theta)}{(1+b^2 - 2b \cos \theta)^{0.5}} \tan^{-1} \left( \frac{a}{(1+b^2 - 2b \cos \theta)^{0.5}} \right) + \frac{a \cos \theta}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0.5}} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{(b - \cos \theta)}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0.5}} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{\cos \theta}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0.5}} \right) \right] \right] \quad (2.33)$$





Σχήμα 2.2: Επιφάνεια λήψης κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής



**Key**  
1 Radiating surface  
2 Receiving surface

Σχήμα 2.3: Επιφάνεια λήψης σχηματίζει γωνία με την επιφάνεια εκπομπής

## 2.8 Αριθμητικές εφαρμογές

Ένα ξενοδοχείο είναι κατασκευασμένο από μεταλλικό σκελετό που υποστηρίζει προκατασκευασμένα δωμάτια. Μέρος της κατασκευής είναι εξωτερικό. Το ύψος μεταξύ των ορόφων είναι 2.8m και το πλέγμα έχει 3m πλάτος. Τα παράθυρα είναι διαστάσεων 1.5m πλάτος και 1m ύψος. Η εξωτερική μεταλλική κατασκευή έχει 1m απόσταση από την πρόσοψη. Κάθε δωμάτιο έχει 2.8m πλάτος και 6m μήκος, με ύψος μεταξύ δαπέδου και οροφής ίσο με 2.5m. Η επιρροή του ανέμου δεν λαμβάνεται υπόψη.

Να υπολογιστεί η θερμοκρασία των χαλύβδινων κυβικών κολώνων διαστάσεων 0.2m x 0.2m.

Η επιφάνεια του παραθύρου (1.5m<sup>2</sup>) είναι μικρότερη από το 50% της επιφάνειας του τοίχου (7m<sup>2</sup>). επικρατούν συνθήκες χωρίς ρεύμα αέρα και η πόρτα του δωματίου θεωρείται κλειστή.

$$\text{Επιφάνεια δαπέδου: } A_f = 6 \times 2.8 = 16.8 \text{ m}^2$$

Από τον πίνακα Ε.4 του Ευρωκώδικα 1 λαμβάνουμε την τιμή σχεδιασμού της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου  $q_{f,d}$  ίση με 377 MJ/m<sup>2</sup> για δωμάτιο ξενοδοχείου.

$$\text{Ο λόγος } D/W \text{ δίνεται από τον τύπο: } D/W = \frac{W_2}{w_1} = \frac{6}{2.8} = 2.14$$

Μέσω ύψος παραθύρου  $h_{eq} = 1\text{m}$

Επιφάνεια κατακόρυφων ανοιγμάτων:  $A_v = 1.5 \times 1 = 1.5 \text{ m}^2$

Συνολική επιφάνεια περιβλήματος:  $A_t = 2 \times 16.8 + 2 \times 2.5(6+2.8) = 77.6 \text{ m}^2$

$$\text{Συντελεστής ανοιγμάτων: } O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t = 1.5 \times \sqrt{1} / 77.6 = 0.019 \text{ m}^{0.5}$$

Για συνθήκες χωρίς ρεύμα αέρα ο ρυθμός εκροής θερμότητας είναι:

$$Q = \min \left[ \frac{377 \times 16.8}{1200}; 3.15(1 - e^{-0.036/0.019}) 1.5 \sqrt{\frac{1}{2.14}} \right]$$

$$Q = \min [5.28; 2.74] = 2.74 \text{ MW}$$

Η θερμοκρασία του πυροδιαμερίσματος:

$$\Omega = \frac{A_f q_{f,d}}{\sqrt{A_v A_t}} = \frac{16.8 \times 377}{\sqrt{1.5 \times 77.6}} = 587$$

$$T_f = 6000(1 - e^{-0.1/0.019}) \sqrt{0.019} (1 - e^{-0.00286 \times 587}) + 20 = 689^\circ \text{C}$$

$$L_L = 1.9 \left( \frac{Q}{w_t} \right)^{2/3} - h_{eq} = 1.9 \left( \frac{2.74}{1.5} \right)^{2/3} - 1 = 1.84 \text{ m}$$

Το ύψος της φλόγας:

Η θερμοκρασία της φλόγας στο παράθυρο:

$$L_f = L_L + h_{eq}/2 = 1.84 + 1/2 = 2.34 \text{ m}$$

$$L_f w_t / Q = 2.34 \times 1.5 / 2.74 = 1.401 > 1 \quad \text{. Επομένως } L_f w_t / Q = 1$$

$$T_w = 520 / (1 - 0.4725 \times 1.0) + 20 = 1006^\circ \text{C}$$

Η θερμοκρασία της φλόγας κατά μήκος του άξονα:

$$L_x w_t / Q = L_x \times 1.5 / 2.74 = 0.55 L_x < 1 \rightarrow L_x < 1.83 \text{ m}$$

$$T_z = (1006 - 20)(1 - 0.4725 \times 0.55 L_x) + 20$$

$$T_z = 986(1 - 0.26 \times L_x) + 20 = 1006 - 256 L_x$$

Η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά μήκος του άξονα της φλόγας. Από του  $1006^\circ \text{C}$  στο παράθυρο, σημείο Α του σχεδίου, η θερμοκρασία μειώνεται στους  $885^\circ \text{C}$  στο σημείο Β ( $L_x = 0.471 \text{ m}$ ) και  $538^\circ \text{C}$  στο σημείο C που βρίσκεται  $1.83 - 0.471 = 1.359 \text{ m}$  πάνω από το σημείο Β.

Θεωρείται ότι το σημείο της μέγιστης θερμοκρασίας βρίσκεται κατά μήκος του μεγαλύτερου μέρους της φλόγας, δηλαδή του μέρους που εκτείνεται κατά μήκος του τοίχου πάνω από το παράθυρο. Επειδή οι υψηλότερες θερμοκρασίες επικρατούν στο χαμηλότερο μέρος της φλόγας, θεωρείται ότι το σημείο με την υψηλότερη θερμοκρασία είναι λίγο χαμηλότερα από το μέσο του κάθετου τμήματος. Η θερμοκρασία θα υπολογιστεί σε σημείο που βρίσκεται  $0.6 \text{ m}$  πάνω από το σημείο Β.

Για απλοποίηση, η θερμοκρασία στο κάθετο μέρος της φλόγας θα θεωρείται ως σταθερή και ίση με αυτή στα  $0.6 \text{ m}$  πάνω από το σημείο Β. Αυτή η θερμοκρασία είναι  $732^\circ \text{C}$ .

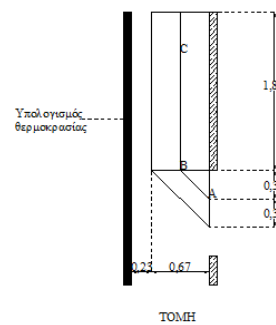
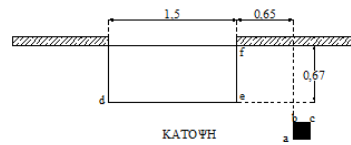
Για την εφαρμογή της μεθόδου των όψεων το κάθετο τριγωνικό μέρος της φλόγας θεωρείται τετράγωνο ίσης επιφάνειας ( $0.47 \text{ m} \times 0.47 \text{ m} = 0.222 \text{ m}^2$ ) με ομοιόμορφη θερμοκρασία ίση με  $945^\circ \text{C}$  (ο μέσος όρος μεταξύ  $T_A$  και  $T_B$ ) που τοποθετείται στο κέντρο βάρους του τριγώνου.

*Όψη b-c της διατομής και όψη d-e της φλόγας, (επιφάνεια λήψης παράλληλη στην επιφάνεια εκπομπής)*

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.233 \text{ m}$ .

Το κάθετο μέρος της φλόγας χωρίζεται σε 4 ζώνες (2 από αυτές με αρνητικό συντελεστή  $\varphi$ ).

<b>ΖΩΝΗ</b>	<b>h</b>	<b>w</b>	<b>s</b>	<b>α</b>	<b>b</b>	<b>B</b>		<b>φ</b>
1	0,60	2,25	0,23	2,58	9,66	0,26	1,46	0,233
2	0,60	0,75	0,23	2,58	3,22	0,62	1,43	-0,227
3	1,24	2,25	0,23	5,32	9,66	0,50	1,54	0,245
4	1,24	0,75	0,23	5,32	3,22	0,96	1,49	-0,237
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>								<b>0,014</b>



Όψη b-c της διατομής και όψη e-f της φλόγας, (επιφάνεια λήψης κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0,75$  m.

Το κάθετο μέρος της φλόγας χωρίζεται σε 4 ζώνες (2 από αυτές με αρνητικό συντελεστή  $\phi$ ).

<b>ΖΩΝΗ</b>	<b>h</b>	<b>w</b>	<b>s</b>	<b>α</b>	<b>b</b>	<b>φ</b>
1	0,60	0,90	0,75	0,80	1,20	0,059
2	0,60	0,23	0,75	0,80	0,31	-0,008
3	1,24	0,90	0,75	1,65	1,20	0,081
4	1,24	0,23	0,75	1,65	0,31	-0,010
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>						<b>0,121</b>

Ο συνολικός συντελεστής  $\phi$  από την όψη b-c της διατομής στην όψη της φλόγας στους  $732^\circ\text{C}$  είναι ίση με  $0.014+0.121=0.135$ .

Όψη b-c της διατομής και το κάθετο τριγωνικό τμήμα της φλόγας, (επιφάνεια λήψης κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.75$  m.

Το κάθετο μέρος της φλόγας χωρίζεται σε 4 ζώνες (2 από αυτές με αρνητικό συντελεστή  $\phi$ ).

<b>ΖΩΝΗ</b>	<b>h</b>	<b>w</b>	<b>s</b>	<b>α</b>	<b>b</b>	<b>φ</b>
1	1,057	0,913	0,75	1,41	1,22	0,078
2	1,057	0,443	0,75	1,41	0,59	-0,031
3	0,587	0,913	0,75	0,78	1,22	-0,059
4	0,587	0,443	0,75	0,78	0,59	0,024

ΣΥΝΟΛΟ						<b>0,012</b>
--------	--	--	--	--	--	--------------

Όψη a-b της διατομής και όψη e-f της φλόγας, (επιφάνεια λήψης παράλληλη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.65$  m.

Το κάθετο μέρος της φλόγας χωρίζεται σε 4 ζώνες (2 από αυτές με αρνητικό συντελεστή  $\varphi$ ).

ΖΩΝΗ	h	w	s	$\alpha$	b	$\varphi$
1	0,60	1,00	0,65	0,92	1,54	0,154
2	0,60	0,33	0,65	0,92	0,51	-0,088
3	1,24	1,00	0,65	1,91	1,54	0,195
4	1,24	0,33	0,65	1,91	0,51	-0,108
ΣΥΝΟΛΟ						<b>0,153</b>

Όψη a-b της διατομής και όψη e-d της φλόγας, (επιφάνεια λήψης κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0,333$  m.

Το κάθετο μέρος της φλόγας χωρίζεται σε 4 ζώνες (2 από αυτές με αρνητικό συντελεστή  $\varphi$ ).

ΖΩΝΗ	h	w	s	$\alpha$	b	$\varphi$
1	0,60	2,15	0,333	1,80	6,46	0,163
2	0,60	0,65	0,333	1,80	1,95	-0,120
3	1,24	2,15	0,333	3,72	6,46	0,196
4	1,24	0,65	0,333	3,72	1,95	-0,133
ΣΥΝΟΛΟ						<b>0,106</b>

Ο συνολικός συντελεστής  $\varphi$  από την όψη a-b της διατομής στην όψη της φλόγας στους 732°C είναι ίση με  $0.151+0.106=0.257$ .

Όψη a-b της διατομής και το κάθετο τριγωνικό τμήμα της φλόγας, (επιφάνεια λήψης παράλληλη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.65$  m.

Το κάθετο μέρος της φλόγας χωρίζεται σε 4 ζώνες (2 από αυτές με αρνητικό συντελεστή  $\varphi$ ).

ΖΩΝΗ	h	w	s	$\alpha$	b	$\varphi$
1	1,057	1,013	0,65	1,63	1,56	0,189
2	1,057	0,543	0,65	1,63	0,84	-0,147
3	0,587	1,013	0,65	0,90	1,56	-0,152
4	0,587	0,543	0,65	0,90	0,84	0,121
ΣΥΝΟΛΟ						<b>0,011</b>

Όψη b-c της διατομής και του παραθύρου, (επιφάνεια λήψης παράλληλη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.90$  m.

Το κάθετο μέρος της φλόγας χωρίζεται σε 4 ζώνες (2 από αυτές με αρνητικό συντελεστή  $\varphi$ ).

ΖΩΝΗ	h	w	s	a	b	$\varphi$
1	1,60	2,25	0,90	1,78	2,50	0,209
2	1,60	0,75	0,90	1,78	0,83	-0,150
3	0,60	2,25	0,90	0,67	2,50	-0,135
4	0,60	0,75	0,90	0,67	0,83	0,102
ΣΥΝΟΛΟ						<b>0,027</b>

Όψη a-b της διατομής και του παραθύρου, (επιφάνεια λήψης κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 1,0$  m.

Το κάθετο μέρος της φλόγας χωρίζεται σε 4 ζώνες (2 από αυτές με αρνητικό συντελεστή  $\varphi$ ).

ΖΩΝΗ	h	w	s	a	b	$\varphi$
1	1,60	2,15	1,000	1,60	2,15	0,121
2	1,60	0,65	1,000	1,60	0,65	-0,037
3	0,60	2,15	1,000	0,60	2,15	-0,069
4	0,60	0,65	1,000	0,60	0,65	0,024
ΣΥΝΟΛΟ						<b>0,039</b>

Παράθυρο ως επιφάνεια εκπομπής ακτινοβολίας

Ο συνολικός συντελεστής διάταξης  $\varphi_f$  ενός μέλους για την περίπτωση μεταφοράς θερμότητας διά ακτινοβολίας από ένα άνοιγμα προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\varphi_f = \frac{(0.027 \times 200 + 0.039 \times 200)}{(4 \times 200)} = 0.017$$

Για προστατευμένη όψη  $C_i=1$ .

Ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας του ανοίγματος είναι,  $\varepsilon_f = 1 - e^{-0.3df}$

Το πάχος της φλόγας  $d_f$  για συνθήκες με ρεύμα αέρα είναι:  $d_f = w_i + 0.4s = 1.00 + 0.4 \times$

Ο βαθμός απορρόφησης της θερμότητας από τις φλόγες είναι,  $\alpha_z = 0$ .

Άρα η θερμική ροή για ακτινοβολίας από ένα άνοιγμα είναι:

$$I_f = \varphi_f \varepsilon_f (1 - \alpha_z) \sigma T_f^4 = 0.017 \times 1 \times (1 - 0) \times 5.67 \times 10^{-8} \times (689 + 273) = 826 \text{ W/m}^2$$

Φλόγα ως επιφάνεια εκπομπής ακτινοβολίας

Ακτινοβολία από το μέρος της φλόγας που βρίσκεται πάνω από το παράθυρο.

Ο συνολικός συντελεστής διάταξης για μεταφορά θερμοκρασίας δια ακτινοβολίας από μία φλόγα προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\varphi_f = \frac{(0.135 \times 200 + 0.257 \times 200)}{(4 \times 200)} = 0.098$$

Για προστατευμένη όψη  $C_i=1$ .

Ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας της φλόγας είναι:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0.3d_f} = 1 - e^{-0.3 \times 1.5} = 0.362$$

Το πάχος της φλόγας είναι ίσο με 1.5m σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

Άρα η θερμική ροή διά ακτινοβολίας  $I_z$  από τη φλόγα για υποστύλωμα μη περιβαλλόμενο από φλόγες που είναι απέναντι από άνοιγμα προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$I_z = \varphi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 = 0.098 \times 0.362 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (732 + 273) = 2052 \text{ W/m}^2$$

*Ακτινοβολία από το τριγωνικό μέρος της φλόγας*

Ο συνολικός συντελεστής διάταξης για μεταφορά θερμοκρασίας δια ακτινοβολίας από μία φλόγα προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\varphi_f = \frac{(0.012 \times 200 + 0.011 \times 200)}{(4 \times 200)} = 0.006$$

Για προστατευμένη όψη  $C_i=1$ .

Ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας της φλόγας είναι:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0.3d_f} = 1 - e^{-0.3 \times 1.5} = 0.362$$

Το πάχος της φλόγας είναι ίσο με 1.5m σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

Άρα η θερμική ροή διά ακτινοβολίας  $I_z$  από τη φλόγα για υποστύλωμα μη περιβαλλόμενο από φλόγες που είναι απέναντι από άνοιγμα προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$I_z = \varphi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 = 0.006 \times 0.362 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (945 + 273) = 271 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Ενεργή διάσταση διατομής: } d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{0.2 + 0.2}{2} = 0.2$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από επαφή είναι:

$$a_c = 4.67 \left(1/d_{eq}\right)^{0.4} (Q/A_v)^{0.6} = 4.67 (1/0.2)^{0.4} (2.74/1.5)^{0.6} = 12.8$$

Από την εξίσωση θερμικής ισορροπίας που δίνεται στο Παράρτημα Β του Ευρωκώδικα 3-1-2 θα υπολογίσουμε τη μέση θερμοκρασία  $T_m$  για χαλύβδινο μέλος που δεν περιβάλλεται από φλόγες:  $5.67 \times 10^{-8} T_m^4 + 12.8 T_m = 826 + 2052 + 271 + 293 \times 12.8$

Με δοκιμές προκύπτει η μέση θερμοκρασία του χαλύβδινου μέλους ίση με  $T_m = 412\text{K}$  ή  $139^\circ\text{C}$ .

**Ένα ξενοδοχείο είναι κατασκευασμένο από μεταλλικό σκελετό που υποστηρίζει προκατασκευασμένα δωμάτια. Μέρος της κατασκευής είναι εξωτερικό. Το ύψος μεταξύ των ορόφων είναι 2.8m και το πλέγμα έχει 3m πλάτος. Τα παράθυρα είναι διαστάσεων 1.5m πλάτος και 1m ύψος. Η εξωτερική μεταλλική κατασκευή έχει 1m απόσταση από την**

**πρόσοψη. Κάθε δωμάτιο έχει 2.8m πλάτος και 6m μήκος, με ύψος μεταξύ δαπέδου και οροφής ίσο με 2.5m. Η επιρροή του ανέμου λαμβάνεται υπόψη.**

**Να υπολογιστεί η θερμοκρασία των χαλύβδινων κυβικών κολώνων διαστάσεων 0.2m x 0.2m.**

Η επιφάνεια του παραθύρου ( $1.5m^2$ ) είναι μικρότερη από το 50% της επιφάνειας του τοίχου ( $7m^2$ ). Επικρατούν συνθήκες με ρεύμα αέρα και η πόρτα του δωματίου που βρίσκεται στην απέναντι πλευρά είναι ανοιχτή και έχει διαστάσεις  $1.00m \times 2.00m$ .

$$\text{Επιφάνεια δαπέδου: } A_f = 6 \times 2.8 = 16.8 \text{ m}^2$$

$$\text{Συνολική επιφάνεια κατακόρυφων ανοιγμάτων: } A_v = 1.5 \times 1 + 1.00 \times 2.00 = 3.5 \text{ m}^2$$

Από τον πίνακα Ε.4 του Ευρωκώδικα 1 λαμβάνουμε την τιμή σχεδιασμού της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου  $q_{f,d}$  ίση με  $377 \text{ MJ/m}^2$  για δωμάτιο ξενοδοχείου.

$$\text{Μέσω ύψος ανοιγμάτων: } h_{eq} = \frac{1.00 + 2.00}{2} = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{Συνολική επιφάνεια περιβλήματος } A_t = 2 \times 16.8 + 2 \times 2.5(6+2.8) = 77.6 \text{ m}^2$$

Για συνθήκες με ρεύμα αέρα ο ρυθμός εκροής θερμότητας είναι:

$$Q = A_f q_{f,d} / \tau_F = 377 \times 16.8 / 1200 = 5.278 \text{ MW}$$

Η θερμοκρασία του πυροδιαμερίσματος:

$$\Omega = \frac{A_f q_{f,d}}{\sqrt{A_v A_t}} = \frac{16.8 \times 377}{\sqrt{3.5 \times 77.6}} = 384.31$$

$$T_f = 1200 \left( \frac{(16.8 \times 377)}{17.5} - e^{-0.00228 \times 384.31} \right) + 20 = 433824 \text{ }^\circ\text{C} \quad (??????)$$

$$\text{Το ύψος της φλόγας: } L_L = 0.628 \times 5.278 / 3.5^{1/2} - 1.5 = 0.27 \text{ m}$$

$$\text{Η οριζόντια προβολή των φλογών } L_H: L_H = 1.33(0.27 + 1.5) / 1.5^{0.22} = 2.15 \text{ m}$$

$$\text{Το πλάτος της φλόγας } w_f: w_f = w_t + 0.4L_H = 1.5 + 0.4 \times 2.15 = 2.36 \text{ m}$$

Το μήκος της φλόγας κατά μήκος του άξονα  $L_f$ :

$$L_f = (L_L^2 + L_H^2)^{1/2} = (0.27^2 + 2.15^2)^{1/2} = 2.16 \text{ m}$$

Η θερμοκρασία της φλόγας στο παράθυρο

$$T_w = 520 / \left( 1 - 0.3325 \times 2.16 \times (3.5)^{1/2} / 5.278 \right) + 20 = 718 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{όπου, } L_f (A_v)^{1/2} / Q = 2.16 \times (3.5)^{1/2} / 5.278 = 0.77 < 1$$

Η θερμοκρασία της φλόγας κατά μήκος του άξονα:

$$L_x w_i / Q = L_x \times 1.5 / 5.278 = 0.28 L_x < 1 \rightarrow L_x < 3.51 \text{ m}$$

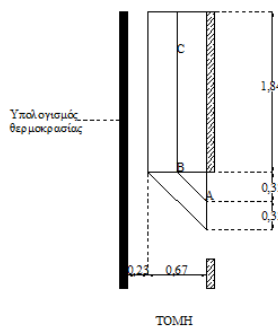
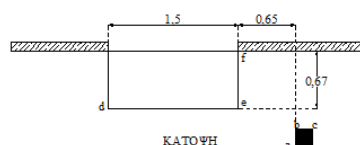
$$T_z = \left( 1 - 0.3325 \frac{L_x (3.5)^{1/2}}{5.278} \right) (718 - 20) + 20 = 698 - 82 L_x$$

Η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά μήκος του άξονα της φλόγας. Από του 698°C στο παράθυρο, σημείο A του σχεδίου, η θερμοκρασία μειώνεται στους 659°C στο σημείο B ( $L_x = 0.471 \text{ m}$ ) και 410°C στο σημείο C που βρίσκεται  $3.51 - 0.471 = 3.039 \text{ m}$  πάνω από το σημείο B.

Θεωρείται ότι το σημείο της μέγιστης θερμοκρασίας βρίσκεται κατά μήκος του μεγαλύτερου μέρους της φλόγας, δηλαδή του μέρους που εκτείνεται κατά μήκος του τοίχου πάνω από το παράθυρο. Επειδή οι υψηλότερες θερμοκρασίες επικρατούν στο χαμηλότερο μέρος της φλόγας, θεωρείται ότι το σημείο με την υψηλότερη θερμοκρασία είναι λίγο χαμηλότερα από το μέσο του κάθετου τμήματος. Η θερμοκρασία θα υπολογιστεί σε σημείο που βρίσκεται 0.6m πάνω από το σημείο B.

Για απλοποίηση, η θερμοκρασία στο κάθετο μέρος της φλόγας θα θεωρείται ως σταθερή και ίση με αυτή στα 0,6m πάνω από το σημείο B. Αυτή η θερμοκρασία είναι 610°C.

Για την εφαρμογή της μεθόδου των όψεων το κάθετο τριγωνικό μέρος της φλόγας θεωρείται τετράγωνο ίσης επιφάνειας ( $0.47 \text{ m} \times 0.47 \text{ m} = 0.222 \text{ m}^2$ ) με ομοιόμορφη θερμοκρασία ίση με 679°C (ο μέσος όρος μεταξύ  $T_A$  και  $T_B$ ) που τοποθετείται στο κέντρο βάρους του τριγώνου.



Όψη b-c της διατομής και όψη d-e της φλόγας, (επιφάνεια λήψης παράλληλη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.233 \text{ m}$ .

ZΩΝΗ	h	w	s	a	b	B		φ
1	0,60	2,25	0,23	2,58	9,66	0,26	1,46	0,233
2	0,60	0,75	0,23	2,58	3,22	0,62	1,43	-0,227
3	1,24	2,25	0,23	5,32	9,66	0,50	1,54	0,245
4	1,24	0,75	0,23	5,32	3,22	0,96	1,49	-0,237
ΣΥΝΟΛΟ								<b>0,014</b>

Όψη b-c της διατομής και όψη e-f της φλόγας, (επιφάνεια λήψης κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής)



Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.75$  m.

<b>ZΩNH</b>	<b>h</b>	<b>w</b>	<b>s</b>	<b>α</b>	<b>b</b>	<b>φ</b>
1	0,60	0,90	0,75	0,80	1,20	0,059
2	0,60	0,23	0,75	0,80	0,31	-0,008
3	1,24	0,90	0,75	1,65	1,20	0,081
4	1,24	0,23	0,75	1,65	0,31	-0,010
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>						<b>0,121</b>

Ο συνολικός συντελεστής  $\phi$  από την όψη b-c της διατομής στην όψη της φλόγας στους 732°C είναι ίση με  $0.014+0.121=0.135$ .

*Όψη b-c της διατομής και το κάθετο τριγωνικό τμήμα της φλόγας, (επιφάνεια λήψης κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής)*

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.75$  m.

<b>ZΩNH</b>	<b>h</b>	<b>w</b>	<b>s</b>	<b>α</b>	<b>b</b>	<b>φ</b>
1	1,057	0,913	0,75	1,41	1,22	0,078
2	1,057	0,443	0,75	1,41	0,59	-0,031
3	0,587	0,913	0,75	0,78	1,22	-0,059
4	0,587	0,443	0,75	0,78	0,59	0,024
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>						<b>0,012</b>

*Όψη a-b της διατομής και όψη e-f της φλόγας, (επιφάνεια λήψης παράλληλη στην επιφάνεια εκπομπής)*

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.65$  m.

<b>ZΩNH</b>	<b>h</b>	<b>w</b>	<b>s</b>	<b>α</b>	<b>b</b>	<b>φ</b>
1	0,60	1,00	0,65	0,92	1,54	0,154
2	0,60	0,33	0,65	0,92	0,51	-0,088
3	1,24	1,00	0,65	1,91	1,54	0,195
4	1,24	0,33	0,65	1,91	0,51	-0,108
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>						<b>0,153</b>

*Όψη a-b της διατομής και όψη e-d της φλόγας, (επιφάνεια λήψης κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής)*

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.333$  m.

<b>ZΩNH</b>	<b>h</b>	<b>w</b>	<b>s</b>	<b>α</b>	<b>b</b>	<b>φ</b>
1	0,60	2,15	0,333	1,80	6,46	0,163
2	0,60	0,65	0,333	1,80	1,95	-0,120
3	1,24	2,15	0,333	3,72	6,46	0,196
4	1,24	0,65	0,333	3,72	1,95	-0,133
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>						<b>0,106</b>

Ο συνολικός συντελεστής  $\varphi$  από την όψη a-b της διατομής στην όψη της φλόγας στους 732°C είναι ίση με  $0.151+0.106=0.257$ .

Όψη a-b της διατομής και το κάθετο τριγωνικό τμήμα της φλόγας, (επιφάνεια λήψης παράλληλη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.65$  m.

ZΩΝΗ	h	w	s	$\alpha$	b	$\varphi$
1	1,057	1,013	0,65	1,63	1,56	0,189
2	1,057	0,543	0,65	1,63	0,84	-0,147
3	0,587	1,013	0,65	0,90	1,56	-0,152
4	0,587	0,543	0,65	0,90	0,84	0,121
ΣΥΝΟΛΟ						<b>0,011</b>

Όψη b-c της διατομής και του παραθύρου, (επιφάνεια λήψης παράλληλη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 0.90$  m.

ZΩΝΗ	h	w	s	$\alpha$	b	$\varphi$
1	1,60	2,25	0,90	1,78	2,50	0,209
2	1,60	0,75	0,90	1,78	0,83	-0,150
3	0,60	2,25	0,90	0,67	2,50	-0,135
4	0,60	0,75	0,90	0,67	0,83	0,102
ΣΥΝΟΛΟ						<b>0,027</b>

Όψη a-b της διατομής και του παραθύρου, (επιφάνεια λήψης κάθετη στην επιφάνεια εκπομπής)

Η απόσταση μεταξύ των δύο όψεων είναι  $s = 1.0$  m.

ZΩΝΗ	h	w	s	$\alpha$	b	$\varphi$
1	1,60	2,15	1,000	1,60	2,15	0,121
2	1,60	0,65	1,000	1,60	0,65	-0,037
3	0,60	2,15	1,000	0,60	2,15	-0,069
4	0,60	0,65	1,000	0,60	0,65	0,024
ΣΥΝΟΛΟ						<b>0,039</b>

Παράθυρο ως επιφάνεια εκπομπής ακτινοβολίας

Ο συνολικός συντελεστής διάταξης  $\varphi_f$  ενός μέλους για την περίπτωση μεταφοράς θερμότητας διά ακτινοβολίας από ένα άνοιγμα προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\varphi_f = \frac{(0.027 \times 200 + 0.039 \times 200)}{(4 \times 200)} = 0.017$$

Για προστατευμένη όψη  $C_i=1$ .

Ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας του ανοίγματος είναι,  $\epsilon_f=1.0$ .

Ο βαθμός απορρόφησης της θερμότητας από τις φλόγες είναι,  $\alpha_z=0$ .

Άρα η θερμική ροή για ακτινοβολίας από ένα άνοιγμα είναι:

$$I_f = \varphi_f \varepsilon_f (1 - \alpha_z) \sigma T_f^4 = 0.017 \times 1 \times (1 - 0) \times 5.67 \times 10^{-8} \times (433824 + 273)^4 = 34 \times 10^{12} \text{ W/m}^2$$

Φλόγα ως επιφάνεια εκπομπής ακτινοβολίας

Ακτινοβολία από το μέρος της φλόγας που βρίσκεται πάνω από το παράθυρο.

Ο συνολικός συντελεστής διάταξης για μεταφορά θερμοκρασίας δια ακτινοβολίας από μία φλόγα προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\varphi_f = \frac{(0.135 \times 200 + 0.257 \times 200)}{(4 \times 200)} = 0.098$$

Για προστατευμένη όψη  $C_i=1$ .

Ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας της φλόγας είναι:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0.3d_f} = 1 - e^{-0.3 \times 1.9} = 0.434$$

Το πάχος της φλόγας για συνθήκες με ρεύμα αέρα είναι ίσο με  $d_f = w_i + 0.4s = 1.5 + 0.4 \times 1 = 1.9$  σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

Άρα η θερμική ροή διά ακτινοβολίας  $I_z$  από τη φλόγα για υποστύλωμα μη περιβαλλόμενο από φλόγες που είναι απέναντι από άνοιγμα προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$I_z = \varphi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 = 0.098 \times 0.434 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (610 + 273)^4 = 1466 \text{ W/m}^2$$

Ακτινοβολία από το τριγωνικό μέρος της φλόγας.

Ο συνολικός συντελεστής διάταξης για μεταφορά θερμοκρασίας δια ακτινοβολίας από μία φλόγα προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\varphi_f = \frac{(0.012 \times 200 + 0.011 \times 200)}{(4 \times 200)} = 0.006$$

Για προστατευμένη όψη  $C_i=1$ .

Ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας της φλόγας είναι:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0.3d_f} = 1 - e^{-0.3 \times 1.9} = 0.434$$

Το πάχος της φλόγας για συνθήκες με ρεύμα αέρα είναι ίσο με  $d_f = w_i + 0.4s = 1.5 + 0.4 \times 1 = 1.9$  σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

Άρα η θερμική ροή διά ακτινοβολίας  $I_z$  από τη φλόγα για υποστύλωμα μη περιβαλλόμενο από φλόγες που είναι απέναντι από άνοιγμα προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$I_z = \varphi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 = 0.006 \times 0.434 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (610 + 273)^4 = 90 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Ενεργή διάσταση διατομής: } d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{0.2 + 0.2}{2} = 0.2$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από επαφή είναι:

$$a_c = 9.8(1/d_{eq})^{0.4} ((Q/17.5A_v) + u/1.6)^{0.6}$$

Για  $u=6$  m/s ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από επαφή γίνεται:

$$a_c = 9.8(1/d_{eq})^{0.4} ((Q/17.5A_v) + 3.75)^{0.6} = 9.8(1/0.2)^{0.4} ((5.278/17.5 \times 3.5) + 3.75)^{0.6} = 41.80 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Από την εξίσωση θερμικής ισορροπίας που δίνεται στο Παράρτημα Β του Ευρωκώδικα 3-1-2 θα υπολογίσουμε τη μέση θερμοκρασία  $T_m$  για χαλύβδινο μέλος που δεν περιβάλλεται από φλόγες:

$$5.67 \times 10^{-8} T_m^4 + 12.8 T_m = 1466 + 90 + 34 \times 10^{12} + 293 \times 41.80$$

Με δοκιμές προκύπτει η μέση θερμοκρασία του χαλύβδινου μέλους ίση με  $T_m = 156000\text{K}$  ή  $155727^\circ\text{C}$ . (????????????)

### 3 Τοπικές πυρκαγιές

Εκτός από πολύ ειδικές περιπτώσεις, κάθε πυρκαγιά ξεκινάει από μία τοπική εστία. Τοπική χαρακτηρίζεται μια πυρκαγιά που αναπτύσσεται σε μια περιορισμένη έκταση και αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο πυροθερμικό φορτίο.

Στο παράρτημα C του Ευρωκώδικα 1991-1-2 παρουσιάζονται δύο μοντέλα επίδρασης των τοπικών πυρκαγιών. Ποιο από τα δύο μοντέλα θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το κάθετο μήκος της φλόγας που αναπτύσσεται κατά την απουσία οροφής. Το μήκος της φλόγας μιας τοπικής πυρκαγιάς δίνεται από τη σχέση:

$$L_f = 0.0148Q^{0.4} - 1.02D \quad (3.1)$$

#### 3.1 Όταν η φλόγα δεν επηρεάζει την οροφή του πυροδιαμερίσματος

Όταν η φλόγα δεν επηρεάζει την οροφή ενός διαμερίσματος δηλαδή  $L_f < H$  ή σε περίπτωση πυρκαγιάς σε υπαίθριο χώρο, η θερμοκρασία  $\Theta_{(z)}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα της πυρκαγιάς δίνεται από τη σχέση:

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0.25Q_c^{2/3} (z - z_o)^{-5/3} \leq 900 \quad (3.2)$$

$D$  είναι η διάμετρος της πυρκαγιάς (m)

$Q$  είναι ο ρυθμός εκροής θερμότητας (W)

$Q_c$  είναι το μέρος του ρυθμού εκροής θερμότητας εκ συναγωγής (convective part), με  $Q_c = 0.8 Q$

$z$  είναι το ύψος κατά μήκος του άξονα της πυρκαγιάς (m)

$H$  είναι η απόσταση ανάμεσα στην εστία της πυρκαγιάς και την οροφή (m)

Η πραγματική αφετηρία  $z_o$  (m) του άξονα δίνεται από τη σχέση:

$$z_o = 0.00524 Q^{0.4} - 1.02D \quad (3.3)$$

#### 3.2 Όταν η φλόγα επηρεάζει την οροφή του πυροδιαμερίσματος

Όταν η φλόγα επηρεάζει την οροφή, δηλαδή  $L_f \geq H$  τότε η θερμική ροή  $\dot{h}$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) που λαμβάνει η εκτεθειμένη στην πυρκαγιά επιφάνεια στο επίπεδο της οροφής δίνεται από:

$$\dot{h} = 100000 \quad \text{αν } y \leq 0,30 \quad (3.4)$$

$$\dot{h} = 136300 \text{ έως } 121000 y \quad \text{αν } 0,30 < y < 1,0 \quad (3.5)$$

$$\dot{h} = 15000 y^{-3.7} \quad \text{αν } y \geq 1,0 \quad (3.6)$$

όπου,

$y$  είναι παράμετρος (-) που δίνεται από τη σχέση :

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'} \quad (3.7)$$

$R$  είναι η οριζόντια απόσταση ανάμεσα στον κατακόρυφο άξονα της πυρκαγιάς και στο σημείο κατά μήκος της οροφής όπου η θερμική ροή υπολογίζεται (m).

$H$  είναι η απόσταση μεταξύ της εστίας της πυρκαγιάς και της οροφής (m).

Το οριζόντιο μήκος  $L_h$  της φλόγας, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$L_h = \left( 2.9H (Q_H^*)^{0.33} \right) - H \quad (3.8)$$

Ο αδιάστατος ρυθμός εκροής θερμότητας  $Q_H^*$ , δίνεται από τον τύπο:

$$Q_H^* = Q / (1.11 \cdot 10^6 \cdot H^{2.5}) \quad (3.9)$$

Η κατακόρυφη θέση της πραγματικής εστίας θερμότητας  $z'$ , δίνεται από τη σχέση:

$$z' = 2.4D (Q_D^{*2/5} - Q_D^{*2/3}) \quad \text{όταν } Q_D^* < 1,0 \quad (3.10)$$

$$z' = 2.4D (1.0 - Q_D^{*2/5}) \quad \text{όταν } Q_D^* \geq 1,0 \quad (3.11)$$

όπου

$$Q_D^* = Q / (1.11 \cdot 10^6 \cdot D^{2.5}) \quad (3.12)$$

Η καθαρή θερμική ροή  $h_{net}$  ( $W/m^2$ ) που λαμβάνει η εκτεθειμένη στην πυρκαγιά επιφάνεια στο επίπεδο της οροφής δίνεται από τον τύπο:

$$h_{net} = h - \alpha_c \cdot (\Theta_m - 20) - \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_m - 273)^4 - (293)^4] \quad (3.13)$$

Η εξίσωση (3.1) και (3.13) ισχύουν αν ικανοποιούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

1. η διάμετρος της εστίας περιορίζεται σε  $D \leq 10m$ ,
2. ο ρυθμός εκροής θερμότητας περιορίζεται σε  $Q \leq 50MW$ .

### 3.3 Αριθμητικές εφαρμογές

Ποιο είναι το μήκος της φλόγας μίας τοπικής πυρκαγιάς, που εκδηλώνεται σε ένα εμπορικό κέντρο, 5 λεπτά μετά την έναρξη της; Ποια είναι η θερμοκρασίας της φλόγας σε απόσταση 1,50m πάνω από την εστία της πυρκαγιάς; Να γίνει έλεγχος έναντι πυρκαγιάς δοκού HEA200 σε ύψος 6,00m στον άξονα της φωτιάς. Να επαναληφθεί ο έλεγχος για την περίπτωση ανοξείδωτου χάλυβα.

Σύμφωνα με τον πίνακα E.5 του Ευρωκώδικα 1 ο απαιτούμενος χρόνος  $t_a$  για ρυθμό εκροής θερμότητας ίσο με 1MW στην περίπτωση του εμπορικού κέντρου είναι ίσος με 150s.

$$Q = 10^6 \left( \frac{t}{t_a} \right)^2 = 10^6 \left( \frac{5 \times 60}{150} \right)^2 = 4 \text{ MW}$$

Ο ρυθμός εκροής θερμότητας είναι:

Από τον ίδιο πίνακα λαμβάνεται ο μέγιστος ρυθμός εκροής θερμότητας  $RHR_f$  που παράγεται από  $1\text{m}^2$  πυρκαγιάς ίσος με  $250 \text{ kW/m}^2$  ή  $0.25 \text{ MW/m}^2$ . Η απαιτούμενη επιφάνεια πυρκαγιάς για την εκροή θερμότητας 4 MW είναι:

$$Q = A_{fire} \cdot RHR_f \Rightarrow A_{fire} = \frac{Q}{RHR_f} = \frac{4}{0.25} = 16\text{m}^2$$

Θεωρώντας ότι η εστία της πυρκαγιάς είναι κυκλική υπολογίζεται η διάμετρος της ίση με:

$$A_{fire} = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \Rightarrow D = \sqrt{\left( \frac{4A_{fire}}{\pi} \right)} = \sqrt{\left( \frac{4 \times 16}{\pi} \right)} = 4.514\text{m}$$

Το μήκος της φλόγας υπολογίζεται από την σχέση:

$$L_f = -1.02D + 0.0148Q^{2/5} = -1.02 \times 4.514 + 0.0148 \times (4 \times 10^6)^{2/5} = 1.869\text{m}$$

Η πραγματική αφετηρία  $z_0$  του άξονα δίνεται από τη σχέση:

$$z_0 = -1.02D + 0.00524Q^{2/5} = -1.02 \times 4.514 + 0.00524 \times (4 \times 10^6)^{2/5} = -2.312\text{m}$$

Εφόσον η φλόγα δεν επηρεάζει την οροφή του πυροδιαμερίσματος, δηλαδή  $L_f < H$  η θερμοκρασία  $\theta_{(z)}$  κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα της πυρκαγιάς δίνεται από την σχέση:

$$\theta_{(z)} = 20 + 0.25 \left( 0.8 \times 44.44t^2 \right)^{2/3} \left( 6 + 4.60 + 0.024t^{4/5} \right)^{-5/3} \leq 900$$

$$\theta_{(z)} = 20 + 0.25 \left( 0.8 \times 4 \times 10^6 \right)^{2/3} \left( 1.5 + 2.312 \right)^{-5/3} = 604 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 900 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 10^6 \left( \frac{t}{t_a} \right)^2 = 10^6 \left( \frac{t}{150} \right)^2 = 44.44t^2$$

Ο ρυθμός εκροής συναρτήσει του χρόνου είναι:

Άρα το μήκος της φλόγας συναρτήσει του χρόνου υπολογίζεται από την σχέση:

$$L_f = -1.02D + 0.0148Q^{2/5} = -1.02 \times 4.514 + 0.0148 \times (44.44t^2)^{2/5} = -4.60 + 0.0678t^{4/5}$$

Η πραγματική αφετηρία  $z_0$  του άξονα συναρτήσει του χρόνου δίνεται από τη σχέση:

$$z_0 = -1.02D + 0.00524Q^{2/5} = -1.02 \times 4.514 + 0.00524 \times (44.44t^2)^{2/5} = -4.60 + 0.024t^{4/5}$$

Τελικά η θερμοκρασία  $\theta_{(z)}$  μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου σύμφωνα με την σχέση:

$$\theta_{(z)} = 20 + 0.25(0.8 \times 44.44t^2)^{2/3} (6 + 4.60 + 0.024t^{4/5})^{-5/3} \leq 900$$

Γίνεται η παραδοχή ομοιόμορφης κατανομής της θερμοκρασίας στη δοκό. Η θερμοκρασία της μη μονωμένης χαλύβδινης δοκού δίνεται από την σχέση:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t$$

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της διατομής HEA200 είναι:

$$h = 190\text{mm}$$

$$b = 200\text{mm}$$

$$A = 53.83\text{cm}^2$$

$$t_w = 6.5\text{mm}$$

$$t_f = 10\text{mm}$$

Η διατομή είναι εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από τρεις πλευρές. Η περίμετρος της διατομής που είναι σε επαφή με τον αέρα είναι:  $S = 2(h-2t_f) + 3b = 2(19-2 \times 1) + 3 \times 20 = 94\text{cm}$

$$\text{Επομένως, ο συντελεστής διατομής είναι: } \frac{A_m}{V} = \frac{S}{A} = \frac{94 \times 10^{-2}}{53.83 \times 10^{-4}} = 175\text{m}^{-1}$$

Ο συντελεστής επίδρασης σκίασης είναι:

$$(A_m/V)_b = \frac{2 \cdot (b+h)}{A} = \frac{2 \cdot (20+19) \times 10^{-2}}{53.83 \times 10^{-4}} = 144.90 \text{ m}^{-1}$$

$$k_{sh} = 0.9(A_m/V)_b / (A_m/V) = 0.9 \times (144.90/175) = 0.75$$

Η ειδική θερμότητα  $c_a$  του χάλυβα είναι ίση με  $600 \text{ J/kgK}$  και η πυκνότητα  $\rho_a$  του χάλυβα ίση με  $7850 \text{ kg/m}^3$ . Η ειδική θερμότητα  $c_a$  του ανοξειδωτου χάλυβα είναι ίση με  $500 \text{ J/kgK}$  και η πυκνότητα  $\rho_a$  του ανοξειδωτου χάλυβα ίση με  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

Η θερμική ροή δια συναγωγής είναι:

$$h_{net,c} = a_c (\theta_g - \theta_m) = 35 (\theta_g - \theta_m)$$

Η θερμική ροή δια συναγωγής για την περίπτωση ανοξειδωτου χάλυβα είναι:

$$h_{net,c} = a_c (\theta_g - \theta_m) = 50 (\theta_g - \theta_m)$$



Η θερμική ροή δι' ακτινοβολίας υπολογίζεται από την σχέση:

$$h_{net,r} = 1.00 \times 0.80 \times 1.00 \times 5.67 \times 10^{-8} \left[ (\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right]$$

$$h_{net,r} = 4.536 \times 10^{-8} \left[ (\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right]$$

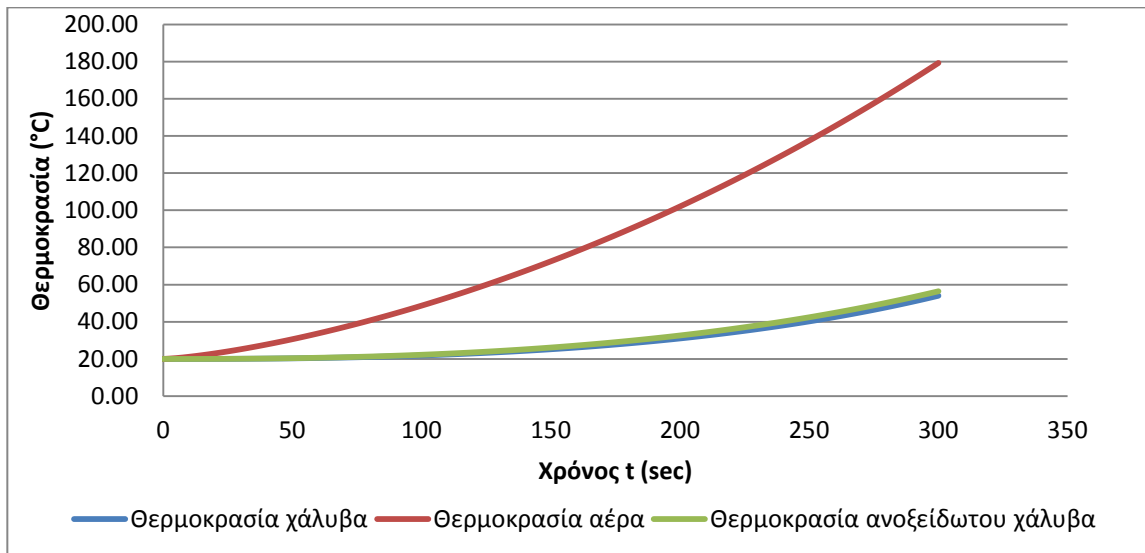
Η θερμική ροή δι' ακτινοβολίας στην περίπτωση ανοξείδωτου χάλυβα υπολογίζεται από την σχέση:

$$h_{net,r} = 1.00 \times 0.40 \times 1.00 \times 5.67 \times 10^{-8} \left[ (\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right]$$

$$h_{net,r} = 2.268 \times 10^{-8} \left[ (\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right]$$

t (sec)	Q (J/s)	L <sub>f</sub> (m)	z <sub>o</sub> (m)	Θ <sub>(t)</sub> z = 6,00 m (°C)	Θ <sub>m</sub> (°C)	h <sub>net,c</sub> (W/m <sup>2</sup> )	h <sub>net,r</sub> (W/m <sup>2</sup> )	h <sub>net,d</sub> (W/m <sup>2</sup> )	ΔΘ <sub>a,t</sub> (°C)
0	0,00	-4,60	-4,60	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0
5	1111,11	-4,36	-4,51	20,46	20,00	16,03	11,88	27,91	0,003889
10	4444,44	-4,17	-4,45	21,17	20,00	40,68	30,26	70,93	0,009883
15	10000,00	-4,01	-4,39	22,02	20,01	70,25	52,48	122,73	0,0171
20	17777,78	-3,86	-4,34	22,99	20,03	103,62	77,81	181,43	0,025279
25	27777,78	-3,71	-4,29	24,06	20,06	140,20	105,86	246,06	0,034283
30	40000,00	-3,57	-4,24	25,22	20,09	179,58	136,42	316,00	0,044028
35	54444,44	-3,44	-4,19	26,46	20,13	221,49	169,37	390,85	0,054458
40	71111,11	-3,31	-4,14	27,78	20,19	265,72	204,62	470,34	0,065533
45	90000,00	-3,18	-4,10	29,17	20,25	312,11	242,13	554,25	0,077224
50	111111,11	-3,06	-4,05	30,63	20,33	360,54	281,89	642,43	0,089511
55	134444,44	-2,93	-4,01	32,16	20,42	410,89	323,90	734,79	0,102379
60	160000,00	-2,81	-3,97	33,75	20,52	463,06	368,18	831,25	0,115819
65	187777,78	-2,70	-3,93	35,41	20,64	516,99	414,77	931,76	0,129823
70	217777,78	-2,58	-3,88	37,13	20,77	572,61	463,69	1036,29	0,144388
75	250000,00	-2,46	-3,84	38,91	20,91	629,84	515,00	1144,85	0,159513
80	284444,44	-2,35	-3,80	40,75	21,07	688,65	568,78	1257,43	0,175199
85	321111,11	-2,24	-3,76	42,65	21,25	748,98	625,08	1374,06	0,191449
90	360000,00	-2,13	-3,73	44,61	21,44	810,79	683,98	1494,77	0,208268
95	401111,11	-2,02	-3,69	46,62	21,65	874,05	745,56	1619,61	0,225662
100	444444,44	-1,91	-3,65	48,69	21,87	938,70	809,93	1748,63	0,243639
105	490000,00	-1,81	-3,61	50,82	22,12	1004,73	877,18	1881,90	0,262208
110	537777,78	-1,70	-3,57	53,01	22,38	1072,09	947,41	2019,50	0,28138
115	587777,78	-1,59	-3,54	55,25	22,66	1140,77	1020,74	2161,51	0,301166
120	640000,00	-1,49	-3,50	57,55	22,96	1210,73	1097,30	2308,03	0,32158
125	694444,44	-1,39	-3,46	59,91	23,28	1281,94	1177,20	2459,15	0,342636
130	751111,11	-1,28	-3,43	62,32	23,63	1354,39	1260,59	2614,99	0,364349
135	810000,00	-1,18	-3,39	64,79	23,99	1428,05	1347,62	2775,67	0,386737

140	871111,11	-1,08	-3,35	67,32	24,38	1502,89	1438,43	2941,32	0,409818
145	934444,44	-0,98	-3,32	69,90	24,79	1578,90	1533,18	3112,08	0,43361
150	1000000,00	-0,88	-3,28	72,54	25,22	1656,04	1632,06	3288,10	0,458135
155	1067777,78	-0,78	-3,25	75,23	25,68	1734,31	1735,22	3469,53	0,483413
160	1137777,78	-0,69	-3,21	77,98	26,16	1813,67	1842,87	3656,54	0,50947
165	1210000,00	-0,59	-3,18	80,79	26,67	1894,11	1955,20	3849,30	0,536328
170	1284444,44	-0,49	-3,15	83,65	27,21	1975,60	2072,41	4048,01	0,564014
175	1361111,11	-0,39	-3,11	86,58	27,77	2058,13	2194,73	4252,86	0,592556
180	1440000,00	-0,30	-3,08	89,56	28,36	2141,68	2322,38	4464,05	0,621982
185	1521111,11	-0,20	-3,04	92,59	28,99	2226,21	2455,60	4681,81	0,652322
190	1604444,44	-0,11	-3,01	95,69	29,64	2311,72	2594,65	4906,36	0,68361
195	1690000,00	-0,01	-2,98	98,84	30,32	2398,17	2739,78	5137,95	0,715877
200	1777777,78	0,08	-2,94	102,05	31,04	2485,55	2891,28	5376,83	0,74916
205	1867777,78	0,17	-2,91	105,33	31,79	2573,83	3049,44	5623,26	0,783496
210	1960000,00	0,27	-2,88	108,66	32,57	2662,98	3214,55	5877,53	0,818923
215	2054444,44	0,36	-2,84	112,05	33,39	2753,00	3386,93	6139,92	0,855483
220	2151111,11	0,45	-2,81	115,50	34,25	2843,83	3566,92	6410,75	0,893218
225	2250000,00	0,54	-2,78	119,01	35,14	2935,47	3754,86	6690,34	0,932173
230	2351111,11	0,63	-2,75	122,58	36,07	3027,89	3951,12	6979,01	0,972394
235	2454444,44	0,72	-2,71	126,22	37,04	3121,04	4156,09	7277,13	1,013932
240	2560000,00	0,81	-2,68	129,91	38,06	3214,92	4370,15	7585,07	1,056837
245	2667777,78	0,90	-2,65	133,67	39,11	3309,48	4593,73	7903,20	1,101163
250	2777777,78	0,99	-2,62	137,49	40,22	3404,69	4827,26	8231,94	1,146967
255	2890000,00	1,08	-2,59	141,38	41,36	3500,51	5071,20	8571,71	1,194307
260	3004444,44	1,17	-2,56	145,33	42,56	3596,92	5326,02	8922,95	1,243245
265	3121111,11	1,26	-2,52	149,34	43,80	3693,88	5592,23	9286,11	1,293845
270	3240000,00	1,35	-2,49	153,42	45,09	3791,35	5870,34	9661,69	1,346175
275	3361111,11	1,44	-2,46	157,56	46,44	3889,28	6160,90	10050,18	1,400304
280	3484444,44	1,53	-2,43	161,77	47,84	3987,63	6464,48	10452,11	1,456305
285	3610000,00	1,61	-2,40	166,05	49,30	4086,36	6781,67	10868,03	1,514256
290	3737777,78	1,70	-2,37	170,39	50,81	4185,43	7113,08	11298,51	1,574236
295	3867777,78	1,79	-2,34	174,81	52,38	4284,78	7459,37	11744,16	1,636327
300	4000000,00	1,87	-2,31	179,29	54,02	4384,36	7821,21	12205,58	



**Τοπική πυρκαγιά εκδηλώνεται σε χώρο βιβλιοθήκης. Ποια είναι η μέγιστη θερμική ροή που λαμβάνεται από την οροφή 15 λεπτά μετά την έναρξη της πυρκαγιάς αν η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της πηγής της πυρκαγιάς και της οροφής είναι 3,00m; Να γίνει έλεγχος έναντι πυρκαγιάς δοκού ΗΕΑ200 που βρίσκεται ακριβώς πάνω από την εστία της πυρκαγιάς και σε απόσταση  $r=2m$  από τον άξονα της φλόγας.**

Σύμφωνα με τον πίνακα Ε.5 του Ευρωκώδικα 1 ο απαιτούμενος χρόνος  $t_a$  για ρυθμό εκροής θερμότητας ίσο με 1MW στην περίπτωση της βιβλιοθήκης είναι ίσος με 150s.

$$Q = 10^6 \left( \frac{t}{t_a} \right)^2 = 10^6 \left( \frac{15 \times 60}{150} \right)^2 = 36 \text{ MW}$$

Ο ρυθμός εκροής θερμότητας είναι:

Από τον ίδιο πίνακα λαμβάνεται ο μέγιστος ρυθμός εκροής θερμότητας  $RHR_f$  που παράγεται από  $1m^2$  πυρκαγιάς ίσος με  $500 \text{ kW}/m^2$  ή  $0.5 \text{ MW}/m^2$ . Η απαιτούμενη επιφάνεια πυρκαγιάς για την εκροή θερμότητας 36 MW είναι:

$$Q = A_{fire} \cdot RHR_f \Rightarrow A_{fire} = \frac{Q}{RHR_f} = \frac{36}{0.50} = 72m^2$$

Θεωρώντας ότι η εστία της πυρκαγιάς είναι κυκλική υπολογίζεται η διάμετρος της ίση με:

$$A_{fire} = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \Rightarrow D = \sqrt{\left( \frac{4A_{fire}}{\pi} \right)} = \sqrt{\left( \frac{4 \times 72}{\pi} \right)} = 9.58m$$

Το μήκος της φλόγας υπολογίζεται από την σχέση:

$$L_f = -1.02D + 0.0148Q^{2/5} = -1.02 \times 9.58 + 0.0148 \times (36 \times 10^6)^{2/5} = 5.816m$$

Η φλόγα επηρεάζει την οροφή του πυροδιαμερισματος, δηλαδή  $L_f > H=3.00m$ . Υπολογίζουμε τον αδιάστατο ρυθμό εκροής θερμότητας:

$$Q_H^* = Q / (1.11 \times 10^6 H^{2.5}) = 36 \times 10^6 / (1.11 \times 10^6 \times 3^{2.5}) = 2.081$$

$$Q_D^* = Q / (1.11 \times 10^6 D^{2.5}) = 36 \times 10^6 / (1.11 \times 10^6 \times 9.58^{2.5}) = 0.114 < 1$$

Το οριζόντιο μήκος της φλόγας είναι:

$$L_h = (2.9H(Q_H^*)^{0.33}) - H = 2.9 \times 3 \times 2.081^{0.33} - 3 = 8.080 \text{m}$$

Άρα η κατακόρυφη θέση της πραγματικής εστίας θερμότητας είναι:

$$z' = 2.4D(Q_D^{*2/5} - Q_D^{*2/3}) = 2.4 \times 9.58(0.114^{2/5} - 0.114^{2/3}) = 4.24 \text{m}$$

Η μέγιστη εκροή θερμότητας πραγματοποιείται ακριβώς από πάνω από την εστία της πυρκαγιάς, όπου  $r=0$ . Σε αυτή την περιοχή, η παράμετρος  $y$  υπολογίζεται από την σχέση:

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'} = \frac{3 + 4.24}{8.080 + 3 + 4.24} = 0.473$$

$$Q = 10^6 \left( \frac{t}{t_a} \right)^2 = 10^6 \left( \frac{t}{150} \right)^2 = 44.44t^2$$

Ο ρυθμός εκροής συναρτήσει του χρόνου είναι:

Άρα το μήκος της φλόγας συναρτήσει του χρόνου υπολογίζεται από την σχέση:

$$L_f = -1.02D + 0.0148Q^{2/5} = -1.02 \times 9.58 + 0.0148 \times (44.44t^2)^{2/5} = -9.77 + 0.0678t^{4/5}$$

Ο αδιάστατος ρυθμός εκροής θερμότητας συναρτήσει του χρόνου είναι:

$$Q_H^* = Q / (1.11 \times 10^6 H^{2.5}) = 44.44t^2 / (1.11 \times 10^6 \times 3^{2.5}) = 2.568 \times 10^{-6} \cdot t^2$$

$$Q_D^* = Q / (1.11 \times 10^6 D^{2.5}) = 44.44t^2 / (1.11 \times 10^6 \times 9.58^{2.5}) = 1.409 \times 10^{-7} \cdot t^2 < 1$$

Άρα η κατακόρυφη θέση της πραγματικής εστίας θερμότητας συναρτήσει του χρόνου είναι:

$$z' = 2.4D(Q_D^{*2/5} - Q_D^{*2/3}) = 2.4 \times 9.58 \left( (1.409 \times 10^{-7} \cdot t^2)^{2/5} - (1.409 \times 10^{-7} \cdot t^2)^{2/3} \right)$$

$$z' = 0.0418t^{4/5} - 6.226 \times 10^{-4} \cdot t^{4/3}$$

Το οριζόντιο μήκος της φλόγας συναρτήσει του χρόνου είναι:

$$L_h = (2.9H(Q_H^*)^{0.33}) - H = 2.9 \times 3 \times (2.568 \times 10^{-6} \cdot t^2)^{0.33} - 3 = 0.124t^{0.66} - 3$$

Η παράμετρος  $y$  συναρτήσει του χρόνου για  $r=0$  υπολογίζεται από την σχέση:

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'} = \frac{3 + 0.0418t^{4/5} - 6.227 \times 10^{-4} \cdot t^{4/3}}{0.124t^{0.66} + 0.0418t^{4/5} - 6.227 \times 10^{-4} \cdot t^{4/3}}$$

Η παράμετρος  $y$  συναρτήσει του χρόνου για  $r=2.00\text{m}$  υπολογίζεται από την σχέση:

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'} = \frac{5 + 0.0418t^{4/5} - 6.227 \times 10^{-4} \cdot t^{4/3}}{0.124t^{0.66} + 0.0418t^{4/5} - 6.227 \times 10^{-4} \cdot t^{4/3}}$$

Η καθαρή θερμική ροή  $h_{net}$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) που λαμβάνει η εκτεθειμένη στην πυρκαγιά επιφάνεια στο επίπεδο της οροφής δίνεται από τον τύπο:

$$\begin{aligned} \dot{h}_{net} &= \dot{h} - 35 \cdot (\theta_m - 20) - 1 \times 0.8 \times 1 \times 5.67 \times 10^{-8} \left[ (\theta_m + 273)^4 - 293^4 \right] \\ \dot{h}_{net} &= \dot{h} - 35 \cdot (\theta_m - 20) - 4.536 \times 10^{-8} \left[ (\theta_m + 273)^4 - 293^4 \right] \end{aligned}$$

Η καθαρή θερμική ροή  $h_{net}$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) που λαμβάνει η εκτεθειμένη στην πυρκαγιά επιφάνεια στο επίπεδο της οροφής για την περίπτωση του ανοξείδωτου χάλυβα δίνεται από τον τύπο:

$$\begin{aligned} \dot{h}_{net} &= \dot{h} - 50 \cdot (\theta_m - 20) - 1 \times 0.4 \times 1 \times 5.67 \times 10^{-8} \left[ (\theta_m + 273)^4 - 293^4 \right] \\ \dot{h}_{net} &= \dot{h} - 50 \cdot (\theta_m - 20) - 2.268 \times 10^{-8} \left[ (\theta_m + 273)^4 - 293^4 \right] \end{aligned}$$

Η θερμοκρασία της μη μονωμένης χαλύβδινης δοκού δίνεται από την σχέση:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t$$

Η ειδικής θερμότητα  $c_a$  του χάλυβα είναι ίση με  $600 \text{ J}/\text{kgK}$  και η πυκνότητα  $\rho_a$  του χάλυβα ίση με  $7850 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Η ειδικής θερμότητα  $c_a$  του ανοξείδωτου χάλυβα είναι ίση με  $500 \text{ J}/\text{kgK}$  και η πυκνότητα  $\rho_a$  του ανοξείδωτου χάλυβα ίση με  $7850 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της διατομής HEA200 είναι:

$$h = 190\text{mm}$$

$$b = 200\text{mm}$$

$$A = 53.83\text{cm}^2$$

$$t_w = 6.5\text{mm}$$

$$t_f = 10\text{mm}$$

Η διατομή είναι εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από τρεις πλευρές. Η περίμετρος της διατομής που είναι σε επαφή με τον αέρα είναι:  $S = 2(h-2t_f) + 3b = 2(19-2 \times 1) + 3 \times 20 = 94\text{cm}$

$$\text{Επομένως, ο συντελεστής διατομής είναι: } \frac{A_m}{V} = \frac{S}{A} = \frac{94 \times 10^{-2}}{53.83 \times 10^{-4}} = 175\text{m}^{-1}$$

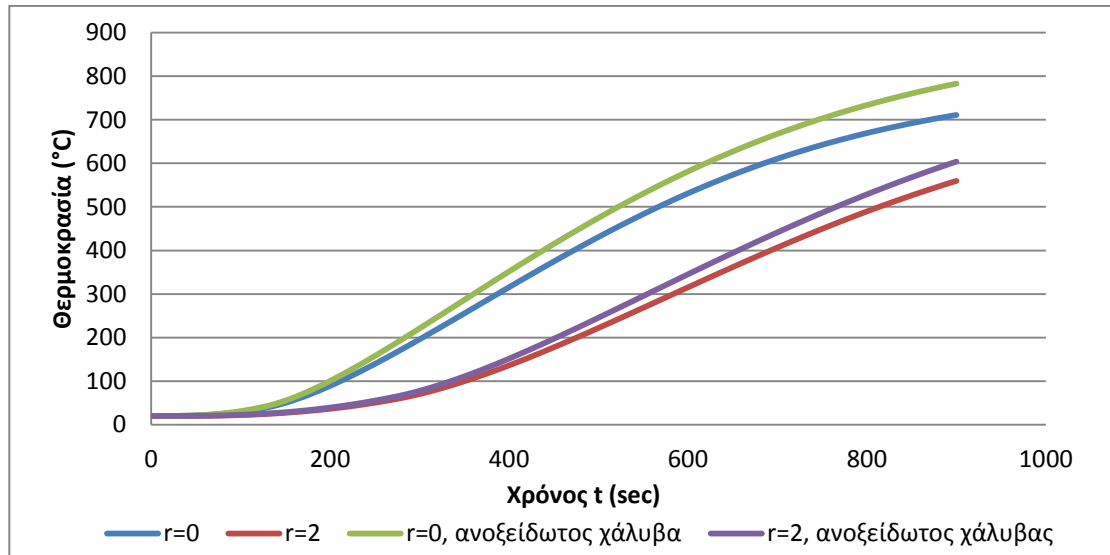
Ο συντελεστής επίδρασης σκίασης είναι:

$$(A_m/V)_b = \frac{2 \cdot (b+h)}{A} = \frac{2 \cdot (20+19) \times 10^{-2}}{53.83 \times 10^{-4}} = 144.90 \text{ m}^{-1}$$

$$k_{sh} = 0.9(A_m/V)_b / (A_m/V) = 0.9 \times (144.90/175) = 0.75$$

t (sec)	Q (W)	L <sub>r</sub> (m)	Q <sub>D</sub>	Q <sub>H</sub>	z' (m)	L <sub>h</sub> (m)	y (r=0)	h (W/m <sup>2</sup> )	h <sub>net</sub> (W/m <sup>2</sup> )	θ (°C)	Δθ <sub>a,t</sub> (r=0)
0	0	-9,77	0,000000	0,0000	0,00	-3,00				20	
5	1111	-9,52	0,000004	0,0001	0,15	-2,64	6,23	17,22	17,22	20	0,0024
10	4444	-9,34	0,000014	0,0003	0,25	-2,43	3,98	90,66	90,56	20,002	0,0126
15	9999	-9,18	0,000032	0,0006	0,34	-2,26	3,09	231,58	230,99	20,015	0,0322
20	17776	-9,03	0,000056	0,0010	0,43	-2,10	2,59	441,53	439,67	20,047	0,0613
25	27775	-8,88	0,000088	0,0016	0,50	-1,96	2,27	718,53	714,24	20,108	0,0995
30	39996	-8,74	0,000127	0,0023	0,58	-1,83	2,05	1059,10	1050,87	20,208	0,1464
35	54439	-8,60	0,000173	0,0031	0,65	-1,70	1,88	1459,21	1445,19	20,354	0,2014
40	71104	-8,47	0,000225	0,0041	0,71	-1,58	1,74	1914,66	1892,67	20,556	0,2637
45	89991	-8,35	0,000285	0,0052	0,78	-1,47	1,64	2421,34	2388,90	20,819	0,3328
50	111100	-8,22	0,000352	0,0064	0,84	-1,36	1,55	2975,31	2929,69	21,152	0,4082
55	134431	-8,10	0,000426	0,0078	0,90	-1,25	1,47	3572,89	3511,09	21,561	0,4892
60	159984	-7,98	0,000507	0,0092	0,96	-1,15	1,41	4210,65	4129,45	22,050	0,5754
65	187759	-7,86	0,000595	0,0108	1,02	-1,05	1,35	4885,43	4781,41	22,625	0,6662
70	217756	-7,74	0,000690	0,0126	1,07	-0,95	1,31	5594,32	5463,85	23,291	0,7613
75	249975	-7,63	0,000793	0,0144	1,13	-0,86	1,26	6334,66	6173,94	24,053	0,8602
80	284416	-7,51	0,000902	0,0164	1,18	-0,76	1,22	7104,01	6909,07	24,913	0,9626
85	321079	-7,40	0,001018	0,0186	1,23	-0,67	1,19	7900,13	7666,86	25,875	1,0682
90	359964	-7,29	0,001141	0,0208	1,28	-0,58	1,16	8720,99	8445,13	26,944	1,1767
95	401071	-7,18	0,001272	0,0232	1,33	-0,50	1,13	9564,73	9241,89	28,120	1,2877
100	444400	-7,07	0,001409	0,0257	1,38	-0,41	1,10	10429,63	10055,30	29,408	1,401
105	489951	-6,96	0,001553	0,0283	1,42	-0,32	1,08	11314,16	10883,71	30,809	1,5164
110	537724	-6,86	0,001705	0,0311	1,47	-0,24	1,06	12216,88	11725,59	32,325	1,6337
115	587719	-6,75	0,001863	0,0340	1,51	-0,16	1,04	13136,50	12579,52	33,959	1,7527
120	639936	-6,65	0,002029	0,0370	1,56	-0,08	1,02	14071,82	13444,22	35,712	1,8732
125	694375	-6,54	0,002202	0,0401	1,60	0,00	1,00	15047,43	14344,17	37,585	1,9986
130	751036	-6,44	0,002381	0,0434	1,64	0,08	0,98	17062,84	16278,67	39,584	2,2681
135	809919	-6,34	0,002568	0,0468	1,68	0,16	0,97	18953,29	18077,02	41,852	2,5187
140	871024	-6,24	0,002762	0,0503	1,73	0,23	0,95	20730,96	19752,10	44,371	2,7521
145	934351	-6,14	0,002962	0,0540	1,77	0,31	0,94	22406,50	21315,15	47,123	2,9699
150	999900	-6,04	0,003170	0,0578	1,81	0,39	0,93	23989,20	22775,98	50,092	3,1734
155	1067671	-5,94	0,003385	0,0617	1,84	0,46	0,91	25487,26	24143,26	53,266	3,3639
160	1137664	-5,84	0,003607	0,0657	1,88	0,53	0,90	26907,90	25424,64	56,630	3,5424
165	1209879	-5,74	0,003836	0,0699	1,92	0,61	0,89	28257,54	26626,90	60,172	3,71
170	1284316	-5,64	0,004072	0,0742	1,96	0,68	0,88	29541,89	27756,08	63,882	3,8673
175	1360975	-5,55	0,004315	0,0786	1,99	0,75	0,87	30766,03	28817,58	67,750	4,0152
180	1439856	-5,45	0,004565	0,0832	2,03	0,82	0,86	31934,56	29816,24	71,765	4,1543

185	1520959	-5,35	0,004822	0,0879	2,07	0,89	0,85	33051,56	30756,39	75,919	4,2853
190	1604284	-5,26	0,005086	0,0927	2,10	0,96	0,84	34120,76	31641,96	80,204	4,4087
195	1689831	-5,16	0,005358	0,0976	2,14	1,03	0,83	35145,49	32476,47	84,613	4,525
900	35996400	5,88	0,114129	2,0801	4,24	8,05	0,47	78691,37	12307,40	711,036	







## 4 Πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου

Ως πυροθερμικό φορτίο ορίζεται σε (MJ) η εκλυόμενη, από το υλικό που καίγεται, ποσότητα θερμότητας εντός του χώρου που εκδηλώθηκε η πυρκαγιά. Ως πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου, ορίζεται η ανά τετραγωνικό μέτρο εκλυόμενη ποσότητα θερμότητας σε (MJ/m<sup>2</sup>). Το πυροθερμικό φορτίο εξαρτάται προφανώς από το καιόμενο υλικό. Επομένως, κατά το σχεδιασμό και έλεγχο μιας κατασκευής, μεγάλη σημασία έχει η χρήση της (και άρα τα υλικά που περιέχει) και βάσει αυτής προκύπτει το πυροθερμικό φορτίο για το οποίο θα γίνει ο έλεγχος. Συχνά η πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου εκφράζεται και σε kg ξύλου που απαιτούνται να καούν για να αποδοθεί το ίδιο πυροθερμικό φορτίο. Η ισοδυναμία είναι 58 kg/m<sup>2</sup> ξύλου, προς 1000 KJ/m<sup>2</sup>. Ο υπολογισμός της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου είναι αντικείμενο του παραρτήματος E του EN 1991-1-2.

Η τιμή σχεδιασμού της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου καθορίζεται:

1. από μια εθνική κατάταξη πυροθερμικών φορτίων αναλόγως τη χρήση της κατασκευής, ή
2. ειδικότερα, σε ένα συγκεκριμένο έργο από εκτίμηση των υλικών που περιέχει η κατασκευή.

Η τιμή σχεδιασμού του πυροθερμικού φορτίου  $q_{fd}$  (MJ/m<sup>2</sup>) ορίζεται ως:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \quad (4.1)$$

όπου

$m$  είναι ο συντελεστής καύσης.

$\delta_{q1}$  είναι ο συντελεστής που σχετίζεται με τον κίνδυνο ενεργοποίησης πυρκαγιάς εξαιτίας του μεγέθους του κτιρίου.

$\delta_{q2}$  είναι ο συντελεστής που σχετίζεται με τον κίνδυνο ενεργοποίησης πυρκαγιάς εξαιτίας του είδους χρήσεως του κτιρίου.

$\delta_n$  είναι ο συντελεστής που σχετίζεται με τα ενεργά μέτρα προστασίας ενάντια στην πυρκαγιά (πυροσβεστικός ψεκαστήρας, ανιχνευτής καπνού, αυτόματος συναγερμός, πυροσβεστική υπηρεσία). Αυτά τα μέτρα επιβάλλονται για λόγους ασφάλειας ζωής.

$q_{f,k}$  είναι η χαρακτηριστική πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου ανά τετραγωνικό μέτρο.

Οι τιμές των συντελεστών  $\delta_{q1}$  και  $\delta_{q2}$  για διάφορες τιμές επιφάνειας πυροδιαμερισμάτων και διάφορες χρήσεις δίνονται από πίνακες όπως και οι τιμές των συντελεστών  $\delta_n$  ( $\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$ )

για διάφορα μέτρα προστασίας έναντι πυρκαγιάς.

Για τα συνήθη μέτρα προστασίας, που πρέπει πάντα να υπάρχουν, όπως οι διάδρομοι ασφαλείας, μηχανισμοί κατάσβεσης της πυρκαγιάς κλπ, η τιμή του συντελεστή  $\delta_n$  μπορεί να λαμβάνεται ίση με 1.0. Αν όμως αυτά τα μέτρα δεν έχουν προβλεφθεί, τότε η τιμή του συντελεστή  $\delta_n$  πρέπει να λαμβάνεται ίση με 1.50.

#### 4.1.1 Προσδιορισμός της πυκνότητας πυροθερμικού φορτίου

Το πυροθερμικό φορτίο αποτελείται από όλο το εύφλεκτο περιεχόμενο του κτιρίου καθώς και τα εύφλεκτα μέρη της κατασκευής, συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων επένδυσης και τελειωμάτων.

Οι επόμενες ενότητες ισχύουν για τον προσδιορισμό της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου είτε από την κατάταξη αναλόγως τη χρήση της κατασκευής, είτε από εκτίμηση των επιμέρους υλικών ενός συγκεκριμένου έργου.

Στην περίπτωση που η πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου καθορίζεται από ταξινόμηση ανάλογα τη χρήση τα πυροθερμικά φορτία διακρίνονται σε:

1. πυροθερμικά φορτία χρήσεως, από τη δεδομένη κατάταξη ή
2. πυροθερμικά φορτία από το κτίριο (δομικά στοιχεία, επενδύσεις και τελειώματα) που δεν περιλαμβάνονται στην κατάταξη.

Το χαρακτηριστικό πυροθερμικό φορτίο ορίζεται ως:

$$Q_{f,i,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \Psi_i = \sum Q_{f,i,k,i} \quad (4.2)$$

όπου :

$M_{k,i}$  είναι το ποσό του εύφλεκτου υλικού (kg)

$H_{ui}$  είναι η καθαρή θερμική απόδοση (MJ/kg)

$\Psi_i$  είναι ο προαιρετικός συντελεστής για την εκτίμηση των προστατευμένων πυροθερμικών φορτίων.

Η χαρακτηριστική πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου ανά μονάδα επιφάνειας ορίζεται ως:

$$q_{f,k} = Q_{f,i,k} / A \quad (4.3)$$

όπου  $A$  είναι η επιφάνεια του πυροδιαμερίσματος.

#### 4.1.2 Προστατευμένα πυροθερμικά φορτία

Τα πυροθερμικά φορτία ενός πυροδιαμερίσματος, τα οποία έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να αντέχουν στην έκθεση στην πυρκαγιά (παραμένουν άθικτα) δε χρειάζεται να υπολογίζονται.

Η τιμή της χαρακτηριστικής πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου εκτιμάται ανάλογα με τη χρήση της κατασκευής και προσδιορίζεται από τον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικές πυκνότητες πυροθερμικού φορτίου  $q_{f,k}$  (MJ/m<sup>2</sup>) για διαφορετικές χρήσεις κατασκευής.

Χρήση κατασκευής	Μέσος όρος $q_{f,k}$
Κατοικία	780
Νοσοκομείο (δωμάτιο)	230
Ξενοδοχείο (δωμάτιο)	310
Βιβλιοθήκη	1500
Γραφείο	420
Σχολική αίθουσα	285
Εμπορικό κέντρο	600
Θέατρο (κινηματογράφος)	300
Συγκοινωνίες (δημόσιοι χώροι)	100

Οι παραπάνω τιμές του πίνακα ισχύουν για την περίπτωση που ο συντελεστής  $\delta_{q2} = 1.0$

### 4.1.3 Αντίδραση στην καύση

Η συμπεριφορά των καυσίμων υλικών πρέπει να λαμβάνεται ως συνάρτηση της χρήσης του πυροδιαμερίσματος και του πυροθερμικού φορτίου. Για τα υλικά κυτταρικού τύπου, ο συντελεστής καύσης μπορεί να λαμβάνεται  $m=0.8$ .

### 4.1.4 Ρυθμός εκροής θερμότητας Q

Ο ρυθμός εκροής θερμότητας Q (W) δίνεται από τη σχέση :

$$Q = 10^6 \left( \frac{t}{t_a} \right)^2 \quad (4.4)$$

$t$  είναι ο χρόνος (sec)

$t_a$  είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει ο ρυθμός εκροής θερμότητας 1MW

Η παράμετρος  $t_a$  και ο μέγιστος ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας  $RHR_f$ , για διάφορες χρήσεις της κατασκευής δίνονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Ρυθμός ανάπτυξης της φωτιάς και  $RFR_f$  για διάφορες χρήσεις

Μέγιστος ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας $RFR_f$			
Χρήση	Ρυθμός ανάπτυξης φωτιάς	$t_a$ (s)	$RFR_f$ (kW/m <sup>2</sup> )
Κατοικία	Ενδιάμεσος	300	250
Νοσοκομείο(δωμάτιο)	Ενδιάμεσος	300	250
Ξενοδοχείο(δωμάτιο)	Ενδιάμεσος	300	250
Βιβλιοθήκη	Γρήγορος	150	500
Γραφείο	Ενδιάμεσος	300	250
Σχολική αίθουσα	Ενδιάμεσος	300	250
Εμπορικό κέντρο	Γρήγορος	150	250
Θέατρο (σινεμά)	Γρήγορος	150	500
Συγκοινωνίες	Αργός	600	250

Οι παραπάνω τιμές του πίνακα για το ρυθμό ανάπτυξης της φωτιάς και τον  $RFR_f$  ισχύουν για την περίπτωση που ο συντελεστής  $\delta_{q2}$  είναι ίσος με 1.0.

Το στάδιο ανάπτυξης ολοκληρώνεται όταν ο ρυθμός Q σταθεροποιηθεί και λάβει την τιμή που δίνεται από την έκφραση ( $RFR_f \cdot A_{fi}$ )

όπου:

$A_{fi}$  είναι η μέγιστη επιφάνεια της πυρκαγιάς, η οποία είναι ίση με την επιφάνεια του πυροδιαμερίσματος σε περίπτωση ομοιόμορφα κατανεμημένου πυροθερμικού φορτίου ή μικρότερη στην περίπτωση τοπικής πυρκαγιάς

$RFR_f$  είναι ο μέγιστος ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας που παράγεται από 1 m<sup>2</sup> πυρκαγιάς (kW/m<sup>2</sup>).

Η φάση της ύφεσης ξεκινάει όταν έχει καεί ολοκληρωτικά το 70% του συνολικού πυροθερμικού φορτίου.



## 5 Ισοδύναμος χρόνος έκθεσης στη φωτιά

Παρατηρούμε ότι για τις πρότυπες καμπύλες η σχέση θερμοκρασίας-χρόνου είναι αύξουσα, πράγμα που δεν είναι ρεαλιστικό καθώς η θερμοκρασία μειώνεται, όταν εξαντλείται το πυροθερμικό φορτίο. Επειδή όμως οι πρότυπες καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, έγινε προσπάθεια να συνδεθούν με τη ρεαλιστική φωτιά με την έννοια του ισοδύναμου χρόνου.

Ο ισοδύναμος χρόνος έκθεσης στην πυρκαγιά, που προκύπτει από την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας - χρόνου είναι ο χρόνος αυτός κατά τον οποίο έχουμε το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα, όπως σε μια πραγματική φωτιά στο συγκεκριμένο πυροδιαμέρισμα. Ο προσδιορισμός του ισοδύναμου χρόνου έκθεσης στην πυρκαγιά είναι αντικείμενο του Παραρτήματος F του Ευρωκώδικα 1 μέρους 1-2.

Η παρακάτω προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιείται όταν ο σχεδιασμός των μελών είναι βασισμένος σε πινακοποιημένα δεδομένα ή σε άλλους απλοποιημένους κανόνες που σχετίζονται με την πρότυπη έκθεση στην πυρκαγιά.

*Σημείωση:* Η μέθοδος που περιγράφεται σε αυτό το παράρτημα είναι εξαρτώμενη από το υλικό. Δεν είναι εφαρμόσιμη σε σύμμικτη ή ξύλινη κατασκευή.

Όταν η πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου προσδιορίζεται χωρίς ειδική μελέτη της συμπεριφοράς στην καύση (παράρτημα Ε), τότε αυτή η προσέγγιση πρέπει να περιορίζεται σε πυροδιαμερίσματα με πυροθερμικά φορτία κυτταρινικού (cellulosic) τύπου.

Ο ισοδύναμος χρόνος έκθεσης σε πυρκαγιά  $t_{e,d}$  (min) προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$t_{ed} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) k_c \quad \text{ή} \quad t_{ed} = (q_{t,d} \cdot k_b \cdot w_t) k_c \quad (5.1)$$

όπου:

$q_{f,d}$  η τιμή σχεδιασμού της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου, όπου  $q_{td} = q_{fd} \cdot A_f / A_t$

$k_b$  ο συντελεστής μετατροπής, όπως εκτιμάται από τον πίνακα 5.2

$w_f$  ο συντελεστής αερισμού, ισχύει  $w_t = w_f \cdot A_t / A_f$

$k_c$  ο συντελεστής διόρθωσης που εξαρτάται από το υλικό που συνθέτει τη διατομή και προσδιορίζεται από τον πίνακα 5.1

Πίνακας 5.1: Συντελεστής διόρθωσης  $k_c$  σε σχέση με το υλικό της διατομής

Υλικό διατομής	Συντελεστής διόρθωσης $k_c$
Οπλισμένο σκυρόδεμα	1,0
Προστατευμένος χάλυβας	1,0
Μη προστατευμένος χάλυβας	13,7· 0

Όταν δε γίνεται λεπτομερής εκτίμηση των θερμικών ιδιοτήτων του περιβλήματος, ο συντελεστής μετατροπής μπορεί να θεωρείται :

$$k_b = 0.07 \text{ (min} \cdot \text{m}^2/\text{MJ)}$$

Διαφορετικά ο  $k_b$  σχετίζεται με τη θερμική ιδιότητα  $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$  του περιβλήματος σύμφωνα με τον πίνακα 5.2. Ο προσδιορισμός του  $b$  για πολλαπλές στρώσεις υλικών ή διαφορετικά υλικά σε τοίχους, δάπεδο, οροφή αναφέρεται αναλυτικά στο Παράρτημα Α του EN 1991-1-2.

Πίνακας 5.2: Συντελεστής μετατροπής  $k_b$ , που εξαρτάται από τις θερμικές ιδιότητες του περιβλήματος.

$b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ ( $J/m^2 s^{1/2} K$ )	$k_b$ ( $min \cdot m^2 / MJ$ )
$b > 2500$	0,04
$720 \leq b \leq 2500$	0,055
$b < 720$	0,07

Ο συντελεστής αερισμού  $w_f$  υπολογίζεται ως εξής :

$$w_f = (6.0/H)^{0.3} \left[ 0.62 + 90(0.4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \alpha_h) \right] \geq 0,5 \quad (5.2)$$

όπου:

$\alpha_v = A_v/A_f$  είναι η επιφάνεια των κατακόρυφων ανοιγμάτων στην πρόσοψη ( $A_v$ ) ως προς την επιφάνεια του δαπέδου  $A_f$ , με τον περιορισμό  $0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25$ .

$\alpha_h = A_h/A_f$  είναι η επιφάνεια των οριζόντιων ανοιγμάτων στην οροφή ( $A_h$ ) ως προς την επιφάνεια του δαπέδου  $A_f$ .

$$b_v = 12.5(1 + 10\alpha_v - \alpha_v^2) \geq 10,0 \quad (5.3)$$

$H$  είναι το ύψος του πυροδιαμερίσματος.

Για μικρά πυροδιαμερίσματα ( $A_f < 100 m^2$ ) χωρίς ανοίγματα στην οροφή ο συντελεστής  $w_f$  μπορεί επίσης να υπολογίζεται ως :

$$w_f = O^{-1/2} \cdot A_f / A_t \quad (5.4)$$

όπου

$O$  ο συντελεστής αερισμού

Θα πρέπει να επαληθεύεται ότι:

$$t_{e,d} < t_{fi,d}$$

όπου:

$t_{fi,d}$  είναι η τιμή σχεδιασμού του χρόνου αντοχής της πρότυπης πυρκαγιάς των μελών σύμφωνα με τα μέρη του prEN 1992, prEN 1996 και prEN 1999.

## 5.1 Αριθμητικές εφαρμογές

Θεωρούμε χώρο γραφείων ορθογωνικής κάτοψης με διαστάσεις 16.00m x 12.5m, δηλαδή επιφάνειας 200m<sup>2</sup>. Το ύψος μεταξύ του δαπέδου και της οροφής είναι 2.60m. Ο συντελεστής αερισμού του πυροδιαμερίσματος είναι ίσος με  $O=0.04m^{0.5}$  και ο συντελεστής περιβλήματος  $b=1500 J/m^2 s^{0.5} K$ . Το εμβαδό των ανοιγμάτων είναι 40m<sup>2</sup>, ενώ δεν υπάρχει άνοιγμα στην οροφή. Οι τοίχοι είναι επιπλέον καλυμμένοι με ένα στρώμα γύψου πάχους 12.6mm. Να υπολογιστεί ο ισοδύναμος χρόνος έκθεσης σε πυρκαγιά  $t_{e,d}$  και να σχεδιαστούν οι παραμετρικές καμπύλες και οι πρότυπες καμπύλες θερμοκρασίας αέρα και χάλυβα για διατομή IPE200 σε συνάρτηση με τον χρόνο.

$$A_f = 200\text{m}^2$$

Η επιφάνεια  $A_f$  του δαπέδου είναι:

Από τον Πίνακα F.2 του Παραρτήματος F του Ευρωκώδικα 1 για  $b=1500 \text{ J/m}^2\text{s}^{0.5}\text{K}$  προκύπτει ότι ο συντελεστής μετατροπής  $k_b$  είναι ίσος με  $0.055 \text{ min}\cdot\text{m}^2/\text{MJ}$ . Ενώ από τον Πίνακα F.1. του Παραρτήματος F του Ευρωκώδικα 1 προκύπτει ότι για προστατευμένο χάλυβα ο συντελεστής διόρθωσης  $k_c$  είναι ίσος με 1.0.

Από τον πίνακα E.4 του Ευρωκώδικα 1 λαμβάνουμε την τιμή του  $q_{f,k}$  ίση με  $511 \text{ MJ/m}^2$ . Ο συντελεστής  $\delta_{q1}$  εξαρτάται από την επιφάνεια  $A_f$  του πυροδιαμερίσματος. Από τον Πίνακα E.1 του Παραρτήματος E του Ευρωκώδικα 1 με γραμμική παρεμβολή προκύπτει  $\delta_{q1} = 1.41$ . Ο συντελεστής  $\delta_{q2}$  για την περίπτωση γραφείου έχει την τιμή 1.00. Ο συντελεστής καύσης  $m$  λαμβάνεται ίσος με  $m=0.80$ . Και τέλος ο συντελεστής  $\delta_n$  για συνήθη μέτρα προστασίας λαμβάνεται ίσος με 1.00. Άρα η τιμή σχεδιασμού του πυροθερμικού φορτίου είναι ίση με:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n = 511 \times 0.8 \times 1.41 \times 1.00 \times 1.00 = 576.41 \text{ MJ/m}^2$$

Και η τιμή σχεδιασμού του πυροθερμικού φορτίου εκφραζόμενη ως προς τη συνολική επιφάνεια του περιβλήματος είναι:

$$q_{t,d} = q_{f,d} A_f / A_t = 576.41 \times 200 / 548 = 210.37 \text{ MJ} / \text{m}^2$$

Ο συντελεστής αερισμού  $w_f$  δίνεται από τον τύπο:

$$w_f = (6.0/H)^{0.3} \left[ 0.62 + 90(0.4 - a_v)^4 / (1 + b_v a_h) \right] \geq 0.5$$

όπου,

$$a_v = A_v / A_f = 40 / 200 = 0.20$$

$$a_h = A_h / A_f = 0, \text{ αφού το κτήριο δεν έχει άνοιγμα στην οροφή}$$

$$\text{Άρα, } w_f = (6.0/2.6)^{0.3} \left[ 0.62 + 90(0.4 - 0.20)^4 \right] = 0.98 > 0.5$$

$$\text{Τελικά, } t_{e,d} = (576.41 \times 0.055 \times 0.98) \times 1.0 = 31.07 \text{ min}$$

Ο συντελεστής εξαρτώμενος από τις συνθήκες αερισμού είναι:

$$\Gamma = \left( \frac{O/0.04}{b/1160} \right)^2 = \left( \frac{0.04/0.04}{1500/1160} \right)^2 = 0.60$$

Ο χρόνος  $t_{lim}$  σε περίπτωση χαμηλού ρυθμού ανάπτυξης της πυρκαγιάς λαμβάνεται ίσος με 25 min, σε περίπτωση μεσαίου ρυθμού 20 min. Και σε περίπτωση γρήγορου ρυθμού ανάπτυξης 15 min. Για την περίπτωση δωματίου ξενοδοχείου ο ρυθμός ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι μεσαίος.

Ο μέγιστος χρόνος στον οποίο αναπτύσσεται η μέγιστη θερμοκρασία στο πυροδιαμέρισμα είναι:

$$t_{\max} = \max \left[ (0.0002 q_{t,d} / O); t_{\lim} \right] = \max \left[ (0.0002 \times 210.37 / 0.04); 0.333 \right]$$

$$t_{\max} = \max [1.05; 0.333] = 1.05 \text{ sec (63.11 min.)}$$

Επειδή  $t_{\lim} < t_{\max}$ , η θερμοκρασία στο τέλος της φάσης ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι:

$$t_{\max}^* = \Gamma \times t_{\max} = 0.60 \times 1.05 = 0.63 \text{ sec}$$

$$\theta_{\max} = 20 + 1325 \left( 1 - 0.324 e^{-0.2 \times 0.63} - 0.204 e^{-1.7 \times 0.63} - 0.472 e^{-19 \times 0.63} \right)$$

$$\theta_{\max} = 874^\circ \text{C}$$

Για  $0.5 < t_{\max}^* < 2.0$ , ο καθοδικός κλάδος της φάσης ύφεσης της πυρκαγιάς δίνεται από τον τύπο:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250 \left( 3 - t_{\max}^* \right) \left( t^* - t_{\max}^* \right) = 874 - 250 \left( 3 - 0.63 \right) \left( t^* - 0.63 \right) = 874 - 592.5 \left( t^* - 0.63 \right)$$

Γίνεται χρήση της απλοποιημένης και ανεξάρτητης της ειδικής θερμότητας του μονωμένου υλικού σχέσης:

$$\Delta \theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \cdot A_p / V \cdot (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p c_a \rho_a} \Delta t \quad [^\circ \text{C}]$$

Η ειδική θερμότητα  $c_a$  του χάλυβα είναι ίση με  $600 \text{ J/kgK}$  και η πυκνότητα  $\rho_a$  του χάλυβα ίση με  $7850 \text{ kg/m}^3$ . Η θερμική αγωγιμότητα του συστήματος προστασίας έναντι πυρκαγιάς, δηλαδή της γύψου είναι  $\lambda_p = 0.488 \text{ W/mK}$ , η πυκνότητα της γύψου  $\rho_p = 1150 \text{ kg/m}^3$  και η ειδική θερμότητα  $c_p = 1000 \text{ J/kgK}$ .

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της διατομής IPE200 είναι:

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$A = 23.48 \text{ cm}^2$$

$$t_w = 5.6 \text{ mm}$$

$$t_f = 8.5 \text{ mm}$$

Η διατομή είναι εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από τρεις πλευρές. Η περίμετρος της διατομής που είναι σε επαφή με τον αέρα είναι:  $S = 2(h - 2t_f) + 3b = 2(20 - 2 \times 0.85) + 3 \times 10 = 66.60 \text{ cm}$

$$\text{Επομένως ο συντελεστής διατομής θα είναι: } \frac{A_p}{V} = \frac{S}{A} = \frac{66.60 \times 10^{-2}}{23.48 \times 10^{-4}} = 283.65 \text{ m}^{-1}$$

Τελικά η θερμοκρασία του χάλυβα για χρονικά διαστήματα 30 sec δίνεται από την σχέση:

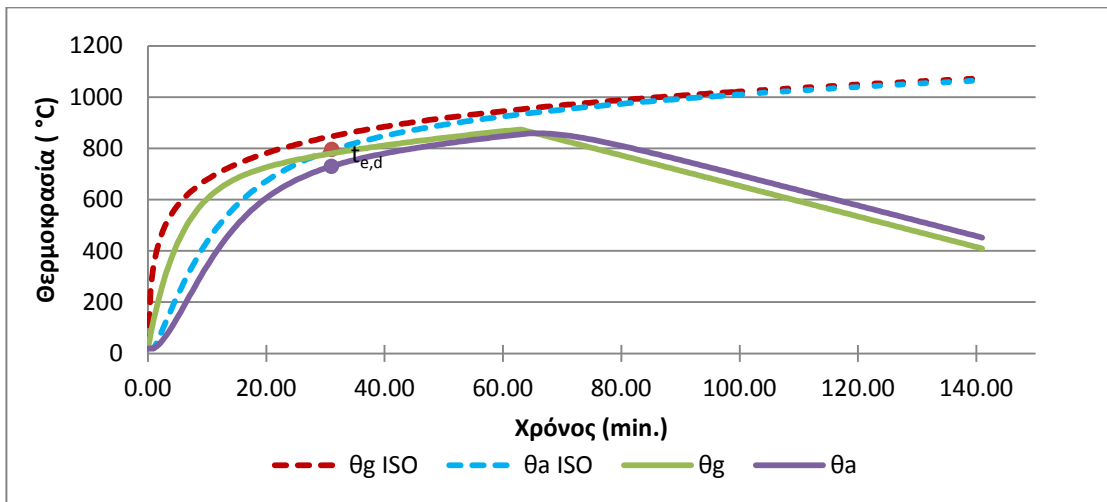
$$\Delta \theta_{a,t} = \frac{0.488 \cdot 283.65 \cdot (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{0.0126 \times 600 \times 7850} \Delta t = 0.00233 (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \cdot \Delta t$$



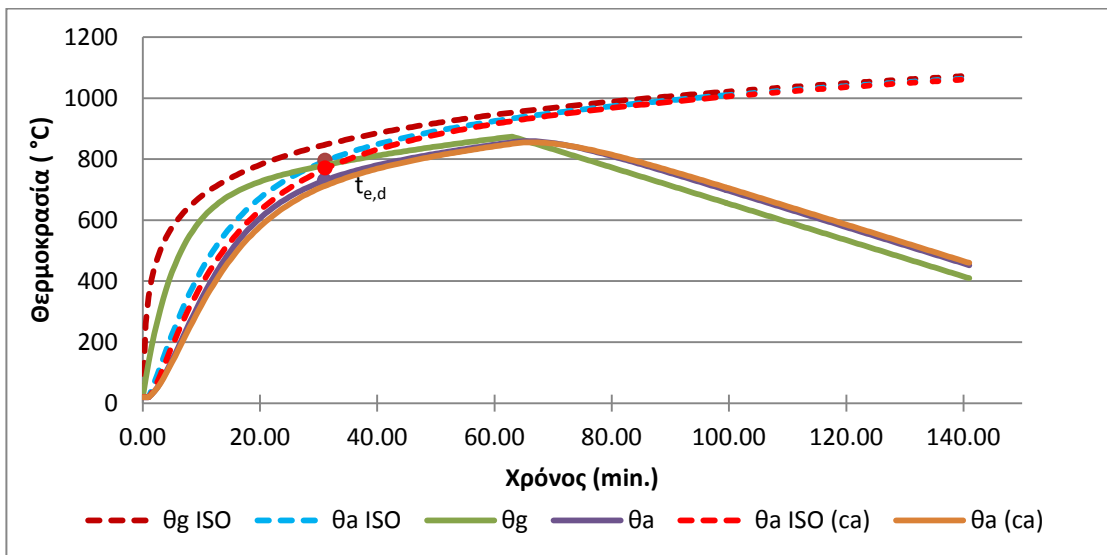
t (sec)	t (min)	t (h)	t* (h)	θg ISO (°C)	θα ISO (°C)	Δθα,t (°C)	θg (°C)	θα (°C)	Δθα,t (°C)
0	0,00	0,0000	0,0000	20	20		20	20	
30	0,50	0,0083	0,0050	261	20	0	79	20	0,00
60	1,00	0,0167	0,0100	349	20	23	134	20	7,94
90	1,50	0,0250	0,0150	404	43	25	183	28	10,85
120	2,00	0,0333	0,0200	445	68	26	228	39	13,26
150	2,50	0,0417	0,0250	476	95	27	270	52	15,22
180	3,00	0,0500	0,0300	502	121	27	308	67	16,81
210	3,50	0,0583	0,0350	525	148	26	342	84	18,05
240	4,00	0,0667	0,0400	544	174	26	374	102	19,01
270	4,50	0,0750	0,0450	561	200	25	403	121	19,71
300	5,00	0,0833	0,0500	576	225	25	430	141	20,20
330	5,50	0,0917	0,0550	590	250	24	454	161	20,50
360	6,00	0,1000	0,0600	603	274	23	477	182	20,63
390	6,50	0,1083	0,0650	615	297	22	497	202	20,63
420	7,00	0,1167	0,0700	626	319	21	516	223	20,51
450	7,50	0,1250	0,0750	636	340	21	534	243	20,30
480	8,00	0,1333	0,0800	645	361	20	550	264	20,00
510	8,50	0,1417	0,0850	654	381	19	565	284	19,64
540	9,00	0,1500	0,0900	663	400	18	578	303	19,22
570	9,50	0,1583	0,0950	671	418	18	591	323	18,76
600	10,00	0,1667	0,1000	678	436	17	603	341	18,27
630	10,50	0,1750	0,1050	686	453	16	613	360	17,75
660	11,00	0,1833	0,1100	693	469	16	623	377	17,21
690	11,50	0,1917	0,1150	699	485	15	633	394	16,66
720	12,00	0,2000	0,1200	705	500	14	641	411	16,10
750	12,50	0,2083	0,1250	711	514	14	650	427	15,54
780	13,00	0,2167	0,1300	717	528	13	657	443	14,98
810	13,50	0,2250	0,1350	723	541	13	664	458	14,43
840	14,00	0,2333	0,1400	728	554	12	671	472	13,88
870	14,50	0,2417	0,1450	734	566	12	677	486	13,34
900	15,00	0,2500	0,1500	739	578	11	683	499	12,81
930	15,50	0,2583	0,1550	743	589	11	688	512	12,30
960	16,00	0,2667	0,1600	748	600	10	693	525	11,80
990	16,50	0,2750	0,1650	753	610	10	698	536	11,32
1020	17,00	0,2833	0,1700	757	620	10	703	548	10,85
1050	17,50	0,2917	0,1750	761	630	9	707	559	10,40
1080	18,00	0,3000	0,1800	766	639	9	711	569	9,96
1110	18,50	0,3083	0,1850	770	648	9	715	579	9,54
1140	19,00	0,3167	0,1900	774	656	8	719	588	9,14
1170	19,50	0,3250	0,1950	778	665	8	723	598	8,75
1200	20,00	0,3333	0,2000	781	672	8	726	606	8,38
1230	20,50	0,3417	0,2050	785	680	7	729	615	8,02
1260	21,00	0,3500	0,2100	789	687	7	733	623	7,69

1290	21,50	0,3583	0,2150	792	694	7	736	630	7,36
1320	22,00	0,3667	0,2200	796	701	7	739	638	7,05
1350	22,50	0,3750	0,2250	799	708	6	742	645	6,76
1380	23,00	0,3833	0,2300	802	714	6	744	652	6,48
1410	23,50	0,3917	0,2350	805	720	6	747	658	6,21
1440	24,00	0,4000	0,2400	809	726	6	750	664	5,96
1470	24,50	0,4083	0,2450	812	732	6	752	670	5,72
1500	25,00	0,4167	0,2500	815	738	5	755	676	5,49
1530	25,50	0,4250	0,2550	818	743	5	757	681	5,28
1560	26,00	0,4333	0,2600	820	748	5	759	687	5,07
1590	26,50	0,4417	0,2650	823	753	5	762	692	4,88
1620	27,00	0,4500	0,2700	826	758	5	764	697	4,69
1650	27,50	0,4583	0,2750	829	763	5	766	701	4,52
1680	28,00	0,4667	0,2800	832	768	4	768	706	4,35
1710	28,50	0,4750	0,2850	834	772	4	770	710	4,19
1740	29,00	0,4833	0,2900	837	776	4	772	714	4,04
1770	29,50	0,4917	0,2950	839	781	4	774	718	3,90
1800	30,00	0,5000	0,3000	842	785	4	776	722	3,77
1830	30,50	0,5083	0,3050	844	789	4	778	726	3,64
1860	31,00	0,5167	0,3100	847	793	4	780	730	3,53
1864,2	31,07	0,5178	0,3107	847	796	0	780	730	0,46
1890	31,50	0,5250	0,3150	849	797	3	782	733	3,41
1920	32,00	0,5333	0,3200	851	800	4	784	737	3,31
1950	32,50	0,5417	0,3250	854	804	4	786	740	3,20
1980	33,00	0,5500	0,3300	856	807	3	788	743	3,11
2010	33,50	0,5583	0,3350	858	810	3	790	746	3,02
2040	34,00	0,5667	0,3400	860	814	3	791	749	2,93
2070	34,50	0,5750	0,3450	863	817	3	793	752	2,85
2100	35,00	0,5833	0,3500	865	820	3	795	755	2,78
2130	35,50	0,5917	0,3550	867	823	3	797	758	2,70
2160	36,00	0,6000	0,3600	869	826	3	798	761	2,63
2190	36,50	0,6083	0,3650	871	829	3	800	763	2,57
2220	37,00	0,6167	0,3700	873	832	3	802	766	2,51
2250	37,50	0,6250	0,3750	875	835	3	803	768	2,45
2280	38,00	0,6333	0,3800	877	838	3	805	771	2,39
2310	38,50	0,6417	0,3850	879	841	3	807	773	2,34
2340	39,00	0,6500	0,3900	881	843	3	808	775	2,29
2370	39,50	0,6583	0,3950	883	846	3	810	778	2,24
2400	40,00	0,6667	0,4000	885	849	3	811	780	2,20
2430	40,50	0,6750	0,4050	887	851	2	813	782	2,15
2460	41,00	0,6833	0,4100	888	854	2	815	784	2,11
2490	41,50	0,6917	0,4150	890	856	2	816	786	2,07
2520	42,00	0,7000	0,4200	892	858	2	818	789	2,04
2550	42,50	0,7083	0,4250	894	861	2	819	791	2,00

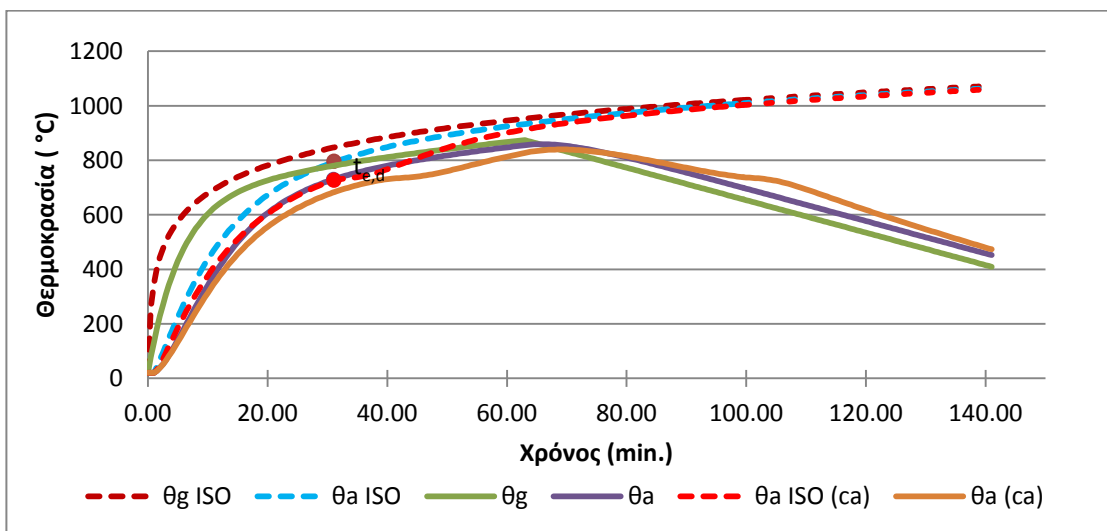
2580	43,00	0,7167	0,4300	896	863	2	821	793	1,97
2610	43,50	0,7250	0,4350	897	865	2	822	795	1,94
2640	44,00	0,7333	0,4400	899	868	2	824	797	1,91
2670	44,50	0,7417	0,4450	901	870	2	825	798	1,88
2700	45,00	0,7500	0,4500	902	872	2	827	800	1,85
2730	45,50	0,7583	0,4550	904	874	2	828	802	1,82
2760	46,00	0,7667	0,4600	906	876	2	830	804	1,80
2790	46,50	0,7750	0,4650	907	878	2	831	806	1,77
2820	47,00	0,7833	0,4700	909	880	2	833	808	1,75
2850	47,50	0,7917	0,4750	910	882	2	834	809	1,73
2880	48,00	0,8000	0,4800	912	884	2	835	811	1,71
2910	48,50	0,8083	0,4850	914	886	2	837	813	1,68
2940	49,00	0,8167	0,4900	915	888	2	838	814	1,66
2970	49,50	0,8250	0,4950	917	890	2	840	816	1,65
3000	50,00	0,8333	0,5000	918	892	2	841	818	1,63
3030	50,50	0,8417	0,5050	920	894	2	842	819	1,61
3060	51,00	0,8500	0,5100	921	895	2	844	821	1,59
3090	51,50	0,8583	0,5150	923	897	2	845	823	1,57
3120	52,00	0,8667	0,5200	924	899	2	846	824	1,56
3150	52,50	0,8750	0,5250	925	901	2	848	826	1,54
3180	53,00	0,8833	0,5300	927	902	2	849	827	1,53
3210	53,50	0,8917	0,5350	928	904	2	850	829	1,51
3240	54,00	0,9000	0,5400	930	906	2	852	830	1,50
3270	54,50	0,9083	0,5450	931	908	2	853	832	1,48
3300	55,00	0,9167	0,5500	932	909	2	854	833	1,47
3330	55,50	0,9250	0,5550	934	911	2	856	835	1,46
3360	56,00	0,9333	0,5600	935	912	2	857	836	1,45
3390	56,50	0,9417	0,5650	936	914	2	858	838	1,43
3420	57,00	0,9500	0,5700	938	916	2	859	839	1,42
3450	57,50	0,9583	0,5750	939	917	2	861	840	1,41
3480	58,00	0,9667	0,5800	940	919	2	862	842	1,40
3510	58,50	0,9750	0,5850	942	920	1	863	843	1,39
3540	59,00	0,9833	0,5900	943	922	1	864	845	1,38
3570	59,50	0,9917	0,5950	944	923	1	866	846	1,36
3600	60,00	1,0000	0,6000	945	925	1	867	847	1,35
3630	60,50	1,0083	0,6050	947	926	1	868	849	1,34
3660	61,00	1,0167	0,6100	948	927	1	869	850	1,33
3690	61,50	1,0250	0,6150	949	929	1	870	851	1,32
3720	62,00	1,0333	0,6200	950	930	1	872	853	1,31
3750	62,50	1,0417	0,6250	951	932	1	873	854	1,30
3780	63,00	1,0500	0,6300	953	933	1	874	855	1,29



Ανοξειδωτος χάλυβας



Αναλυτικοί τύποι  $c_a$



Θεωρούμε χώρο γραφείων ορθογωνικής κάτοψης με διαστάσεις 16.00m x 12.5m, δηλαδή επιφάνειας 200m<sup>2</sup>. Το ύψος μεταξύ του δαπέδου και της οροφής είναι 2.60m. Ο συντελεστής αερισμού του πυροδιαμερίσματος είναι ίσος με  $O=0.07\text{m}^{0.5}$  και ο συντελεστής περιβλήματος  $b=1500\text{ J/m}^2\text{s}^{0.5}\text{K}$ . Το εμβαδό των ανοιγμάτων είναι 40m<sup>2</sup>, ενώ υπάρχουν ανοίγματα στην οροφή συνολικού εμβαδού 10m<sup>2</sup>. Οι τοίχοι είναι επιπλέον καλυμμένοι με ένα στρώμα γύψου πάχους 12.6mm. Να υπολογιστεί ο ισοδύναμος χρόνος έκθεσης σε πυρκαγιά  $t_{e,d}$  και να σχεδιαστούν οι παραμετρικές καμπύλες και οι πρότυπες καμπύλες θερμοκρασίας αέρα και χάλυβα για διατομή IPE200 σε συνάρτηση με τον χρόνο.

$$A_f = 200\text{m}^2$$

Η επιφάνεια  $A_f$  του δαπέδου είναι:

Από τον Πίνακα F.2 του Παραρτήματος F του Ευρωκώδικα 1 για  $b=1500\text{ J/m}^2\text{s}^{0.5}\text{K}$  προκύπτει ότι ο συντελεστής μετατροπής  $k_b$  είναι ίσος με  $0.055\text{ min}\cdot\text{m}^2/\text{MJ}$ . Ενώ από τον Πίνακα F.1. του Παραρτήματος F του Ευρωκώδικα 1 προκύπτει ότι για προστατευμένο χάλυβα ο συντελεστής διόρθωσης  $k_c$  είναι ίσος με 1.0.

Από τον πίνακα E.4 του Ευρωκώδικα 1 λαμβάνουμε την τιμή του  $q_{f,k}$  ίση με  $511\text{ MJ/m}^2$ . Ο συντελεστής  $\delta_{q1}$  εξαρτάται από την επιφάνεια  $A_f$  του πυροδιαμερίσματος. Από τον Πίνακα E.1 του Παραρτήματος E του Ευρωκώδικα 1 με γραμμική παρεμβολή προκύπτει  $\delta_{q1} = 1,41$ . Ο συντελεστής  $\delta_{q2}$  για την περίπτωση γραφείου έχει την τιμή 1.00. Ο συντελεστής καύσης  $m$  λαμβάνεται ίσος με  $m=0.80$ . Και τέλος ο συντελεστής  $\delta_n$  για συνήθη μέτρα προστασίας λαμβάνεται ίσος με 1.00. Άρα η τιμή σχεδιασμού του πυροθερμικού φορτίου είναι ίση με:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n = 511 \times 0.8 \times 1.41 \times 1.00 \times 1.00 = 576.41\text{ MJ/m}^2$$

Και η τιμή σχεδιασμού του πυροθερμικού φορτίου εκφραζόμενη ως προς τη συνολική επιφάνεια του περιβλήματος είναι:

$$q_{t,d} = q_{f,d} A_f / A_t = 576.41 \times 200 / 548 = 210.37\text{ MJ} / \text{m}^2$$

Ο συντελεστής αερισμού  $w_f$  δίνεται από τον τύπο:

$$w_f = (6.0/H)^{0.3} \left[ 0.62 + 90(0.4 - a_v)^4 / (1 + b_v a_h) \right] \geq 0.5$$

όπου,

$$a_v = A_v / A_f = 40 / 200 = 0.20$$

$$a_h = A_h / A_f = 10 / 200 = 0.05$$

$$b_v = 12.5(1 + 10a_v - a_v^2) = 12.5(1 + 10 \times 0.20 - 0.20^2) = 37.0 \geq 10.0$$

$$\text{Άρα, } w_f = (6.0/2.6)^{0.3} \left[ 0.62 + 90(0.4 - 0.20)^4 / (1 + 37 \times 0.05) \right] = 0.86 > 0.5$$

$$\text{Τελικά, } t_{e,d} = (576.41 \times 0.055 \times 0.86) \times 1.0 = 27.26\text{ min}$$

Ο συντελεστής εξαρτώμενος από τις συνθήκες αερισμού είναι:

$$\Gamma = \left( \frac{O/0.04}{b/1160} \right)^2 = \left( \frac{0.07/0.04}{1500/1160} \right)^2 = 1.83$$

Ο χρόνος  $t_{lim}$  σε περίπτωση χαμηλού ρυθμού ανάπτυξης της πυρκαγιάς λαμβάνεται ίσος με 25min, σε περίπτωση μεσαίου ρυθμού 20 min. Και σε περίπτωση γρήγορου ρυθμού ανάπτυξης 15min. Για την περίπτωση δωματίου ξενοδοχείου ο ρυθμός ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι μεσαίος.

Ο μέγιστος χρόνος στον οποίο αναπτύσσεται η μέγιστη θερμοκρασία στο πυροδιαμέρισμα είναι:

$$t_{max} = \max \left[ \left( 0.0002 q_{t,d} / O \right); t_{lim} \right] = \max \left[ \left( 0.0002 \times 210.37 / 0.07 \right); 0.333 \right]$$

$$t_{max} = \max [1.05; 0.333] = 1.05 \text{ (36 min.)}$$

Επειδή  $t_{lim} < t_{max}$ , η θερμοκρασία στο τέλος της φάσης ανάπτυξης της πυρκαγιάς είναι:

$$t_{max}^* = \Gamma \times t_{max} = 1.83 \times 0.60 = 1.10 \text{ (1.10)}$$

$$\theta_{max} = 20 + 1325 \left( 1 - 0.324 e^{-0.2 \times 1.10} - 0.204 e^{-1.7 \times 1.10} - 0.472 e^{-19 \times 1.10} \right)$$

$$\theta_{max} = 959^\circ C$$

Για  $0.5 < t_{max}^* < 2.0$ , ο καθοδικός κλάδος της φάσης ύφεσης της πυρκαγιάς δίνεται από τον τύπο:

$$\theta_g = \theta_{max} - 250(3 - t_{max}^*)(t^* - t_{max}^*) = 959 - 250(3 - 1.10)(t^* - 1.10) = 959 - 475(t^* - 1.10)$$

Γίνεται χρήση της απλοποιημένης και ανεξάρτητης της ειδικής θερμότητας του μονωμένου υλικού σχέσης:

$$\Delta \theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \cdot A_p / V \cdot (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p c_a \rho_a} \Delta t \quad [^\circ C]$$

Η ειδική θερμότητα  $c_a$  του χάλυβα είναι ίση με 600 J/kgK και η πυκνότητα  $\rho_a$  του χάλυβα ίση με 7850 kg/m<sup>3</sup>. Η θερμική αγωγιμότητα του συστήματος προστασίας έναντι πυρκαγιάς, δηλαδή της γύψου είναι  $\lambda_p = 0.488$  W/mK, η πυκνότητα της γύψου  $\rho_p = 1150$  kg/m<sup>3</sup> και η ειδική θερμότητα  $c_p = 1000$  J/kgK.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της διατομής IPE200 είναι:

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$A = 23.48 \text{ cm}^2$$

$$t_w = 5.6 \text{ mm}$$

$$t_f = 8.5 \text{ mm}$$

Η διατομή είναι εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από τρεις πλευρές. Η περίμετρος της διατομής που είναι σε επαφή με τον αέρα είναι:  $S = 2(h - 2t_f) + 3b = 2(20 - 2 \times 0.85) + 3 \times 10 = 66.60 \text{ cm}$

$$\frac{A_p}{V} = \frac{S}{A} = \frac{66.60 \times 10^{-2}}{23.48 \times 10^{-4}} = 283.65 \text{ m}^{-1}$$

Επομένως ο συντελεστής διατομής θα είναι:

Τελικά η θερμοκρασία του χάλυβα για χρονικά διαστήματα 30 sec δίνεται από την σχέση:

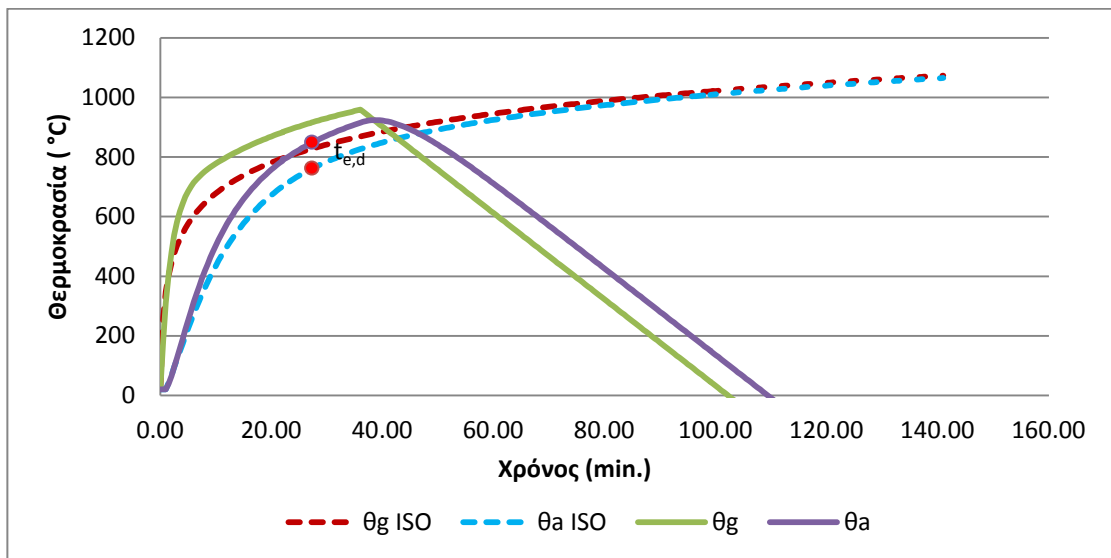
$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{0.488 \cdot 283.65 \cdot (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{0.0126 \times 600 \times 7850} \Delta t = 0.00233 (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \cdot \Delta t$$

t (sec)	t (min)	t (h)	t*	θg ISO (°C)	θα ISO (°C)	Δθα,t (°C)	Θg (°C)	Θα (°C)	Δθα,t (°C)
0	0,00	0,0000	0,00	20	20		20	20	
30	0,50	0,0083	0,02	261	20	0	186	20	0,00
60	1,00	0,0167	0,03	349	20	23	311	20	20,36
90	1,50	0,0250	0,05	404	43	25	407	40	25,65
120	2,00	0,0333	0,06	445	68	26	481	66	29,01
150	2,50	0,0417	0,08	476	95	27	538	95	30,96
180	3,00	0,0500	0,09	502	121	27	582	126	31,89
210	3,50	0,0583	0,11	525	148	26	617	158	32,10
240	4,00	0,0667	0,12	544	174	26	645	190	31,79
270	4,50	0,0750	0,14	561	200	25	667	222	31,14
300	5,00	0,0833	0,15	576	225	25	686	253	30,24
330	5,50	0,0917	0,17	590	250	24	701	283	29,20
360	6,00	0,1000	0,18	603	274	23	714	312	28,06
390	6,50	0,1083	0,20	615	297	22	725	340	26,88
420	7,00	0,1167	0,21	626	319	21	735	367	25,69
450	7,50	0,1250	0,23	636	340	21	744	393	24,51
480	8,00	0,1333	0,24	645	361	20	752	417	23,35
510	8,50	0,1417	0,26	654	381	19	759	441	22,23
540	9,00	0,1500	0,27	663	400	18	766	463	21,16
570	9,50	0,1583	0,29	671	418	18	772	484	20,13
600	10,00	0,1667	0,31	678	436	17	778	504	19,15
630	10,50	0,1750	0,32	686	453	16	784	523	18,22
660	11,00	0,1833	0,34	693	469	16	790	542	17,33
690	11,50	0,1917	0,35	699	485	15	795	559	16,50
720	12,00	0,2000	0,37	705	500	14	800	576	15,71
750	12,50	0,2083	0,38	711	514	14	805	591	14,97
780	13,00	0,2167	0,40	717	528	13	810	606	14,27
810	13,50	0,2250	0,41	723	541	13	815	620	13,61
840	14,00	0,2333	0,43	728	554	12	820	634	12,98
870	14,50	0,2417	0,44	734	566	12	824	647	12,40
900	15,00	0,2500	0,46	739	578	11	829	659	11,85

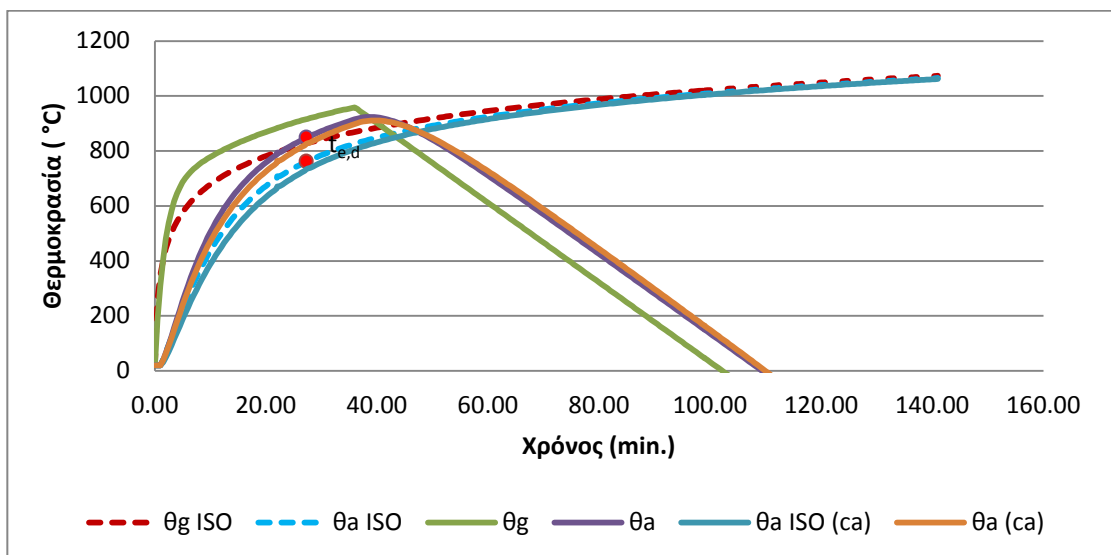
930	15,50	0,2583	0,47	743	589	11	833	671	11,33
960	16,00	0,2667	0,49	748	600	10	838	683	10,83
990	16,50	0,2750	0,50	753	610	10	842	693	10,37
1020	17,00	0,2833	0,52	757	620	10	846	704	9,94
1050	17,50	0,2917	0,53	761	630	9	850	714	9,52
1080	18,00	0,3000	0,55	766	639	9	854	723	9,14
1110	18,50	0,3083	0,56	770	648	9	858	732	8,77
1140	19,00	0,3167	0,58	774	656	8	862	741	8,42
1170	19,50	0,3250	0,59	778	665	8	865	750	8,10
1200	20,00	0,3333	0,61	781	672	8	869	758	7,79
1230	20,50	0,3417	0,63	785	680	7	873	766	7,50
1260	21,00	0,3500	0,64	789	687	7	876	773	7,22
1290	21,50	0,3583	0,66	792	694	7	880	780	6,96
1320	22,00	0,3667	0,67	796	701	7	883	787	6,71
1322,4	22,04	0,3673	0,67	796	708	0	883	794	0,50
1350	22,50	0,3750	0,69	799	708	6	887	794	5,93
1380	23,00	0,3833	0,70	802	714	6	890	800	6,26
1410	23,50	0,3917	0,72	805	720	6	893	807	6,05
1440	24,00	0,4000	0,73	809	726	6	896	813	5,85
1470	24,50	0,4083	0,75	812	732	6	899	818	5,66
1500	25,00	0,4167	0,76	815	738	5	902	824	5,47
1530	25,50	0,4250	0,78	818	743	5	905	830	5,30
1560	26,00	0,4333	0,79	820	748	5	908	835	5,14
1590	26,50	0,4417	0,81	823	753	5	911	840	4,98
1620	27,00	0,4500	0,82	826	758	5	914	845	4,84
1635,6	27,26	0,4543	0,83	828	763	2	916	850	2,39
1650	27,50	0,4583	0,84	829	765	2	917	852	2,17
1680	28,00	0,4667	0,85	832	767	4	920	854	4,57
1710	28,50	0,4750	0,87	834	772	4	923	859	4,44
1740	29,00	0,4833	0,88	837	776	4	925	863	4,32
1770	29,50	0,4917	0,90	839	780	4	928	868	4,20
1800	30,00	0,5000	0,92	842	785	4	930	872	4,09
1830	30,50	0,5083	0,93	844	789	4	933	876	3,98
1860	31,00	0,5167	0,95	847	792	4	935	880	3,88
1890	31,50	0,5250	0,96	849	796	4	938	884	3,78
1920	32,00	0,5333	0,98	851	800	4	940	888	3,68
1950	32,50	0,5417	0,99	854	804	4	943	891	3,59



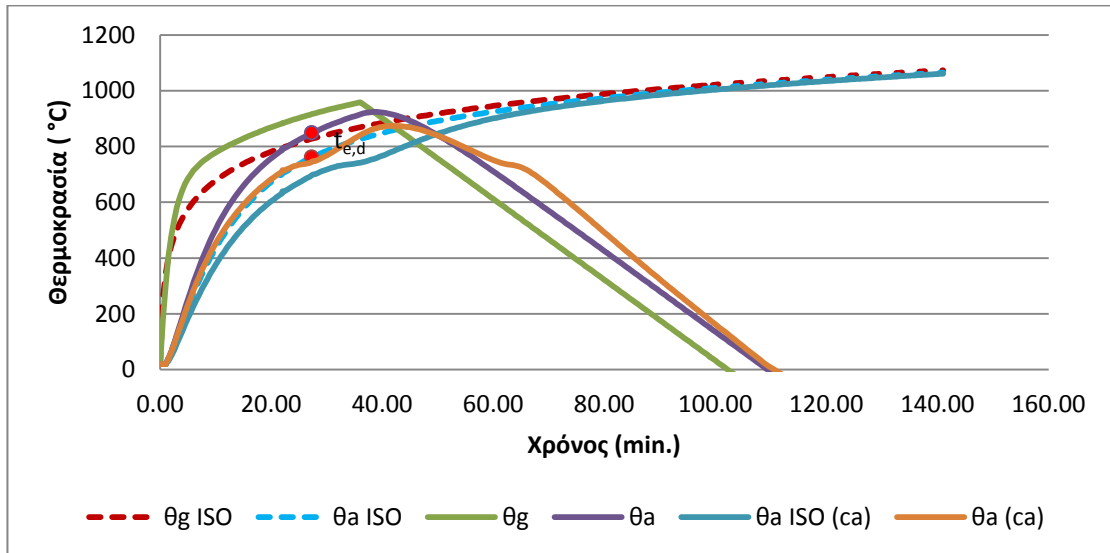
1980	33,00	0,5500	1,01	856	807	3	945	895	3,51
2010	33,50	0,5583	1,02	858	810	3	947	898	3,42
2040	34,00	0,5667	1,04	860	814	3	950	902	3,34
2070	34,50	0,5750	1,05	863	817	3	952	905	3,27
2100	35,00	0,5833	1,07	865	820	3	954	909	3,19
2130	35,50	0,5917	1,08	867	823	3	956	912	3,12
2160	36,00	0,6000	1,10	869	826	3	959	915	3,06



Ανοξείδωτος χάλυβας



Αναλυτικοί τύποι ca



## **6 Ευρωκώδικας 4 – Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα. Μέρος 1-2: Γενικοί Κανόνες - Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς**

### **6.1 Παράρτημα D: Προσομοίωμα για τον υπολογισμό της αντοχής έναντι πυρκαγιάς των απροστάτευτων σύμμικτων πλακών, που εκτίθενται σε πυρκαγιά κάτω από την πλάκα σύμφωνα με την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου.**

#### **6.1.1 Εισαγωγή**

Το παράρτημα D του EN 1994-1-2 αναφέρεται σε απροστάτευτες σύμμικτες πλάκες που εκτίθενται σε πυρκαγιά κάτω από την πλάκα σύμφωνα με την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου και μας δίνει ένα προσομοίωμα υπολογισμού. Οι σύμμικτες πλάκες αποτελούνται από χαλυβδόφυλλα και έγχυτο σκυρόδεμα. Σύμφωνα με το παραπάνω παράρτημα οι έλεγχοι που πρέπει να ακολουθηθούν είναι οι εξής :

Αντοχή έναντι πυρκαγιάς με βάση την θερμική μόνωση όπου πρέπει να ικανοποιείται το κριτήριο “T”. Το κριτήριο “T” θεωρείται ότι ικανοποιείται όπου η μέση αύξηση της θερμοκρασίας ολόκληρης της μη-εκτιθέμενης επιφάνειας περιορίζεται σε  $140^{\circ}C$  , και η μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας σε οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειας αυτής δεν υπερβαίνει τα  $180^{\circ}C$  .

Αντοχή με βάση την φέρουσα ικανότητα όπου πραγματοποιούνται έλεγχοι σε θετικές και αρνητικές ροπές.

Στους υπολογισμούς λαμβάνεται υπόψη η γεωμετρία του χαλυβδόφυλλου, η θέση των οπλισμών ,η ποιότητα των υλικών. Επίσης διακρίνονται περιπτώσεις ανάλογα με την αντοχή έναντι πυρκαγιάς που εξετάζουμε (σε min), την διατομή του χαλυβδόφυλλου (τραπεζοειδής η με εσοχές) καθώς και αν το σκυρόδεμα είναι με κανονικά η με ελαφρά αδρανή.

Για τον υπολογισμό της αρνητικής ροπής αντοχής λαμβάνουμε υπόψη μια μειωμένη διατομή, τα τμήματα της οποίας είναι κάτω από μία οριακή θερμοκρασία.

Η πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς είναι συνάρτηση του ενεργού πάχους της σύμμικτης πλάκας όπως αυτό καθορίζεται από το παρόν παράρτημα.

Το προσομοίωμα υπολογισμού δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα χαλυβδόφυλλα ,έχει συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής το οποίο και καθορίζεται και για τους δύο τύπους χαλυβδόφυλλων.

Παρατίθεται αυτούσιο το παράρτημα και στην συνέχεια αριθμητική εφαρμογή. Η αριθμητική εφαρμογή που ακολουθεί εξετάζει την περίπτωση σύμμικτης πλάκας η οποία αποτελεί μέρος εμπορικού κέντρου και έχει απαίτηση αντοχής έναντι πυρκαγιάς R90. Ακολουθούν συμπεράσματα και περαιτέρω διερεύνηση με αριθμητικά παραδείγματα.

#### **6.1.2 Αντοχή έναντι πυρκαγιάς με βάση τη θερμική μόνωση**

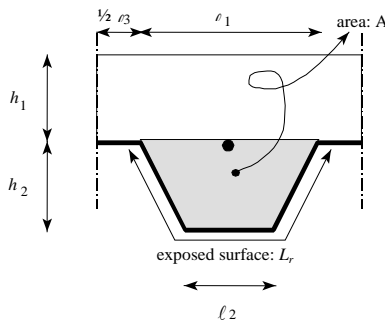
(1) Η αντοχή έναντι πυρκαγιάς σε σχέση με την αύξηση τόσο της μέσης θερμοκρασίας (=140°C) όσο και της μέγιστης θερμοκρασίας (=180°C), κριτήριο «I», μπορεί να προσδιορίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$t_i = a_0 + a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot \Phi + a_3 \cdot \frac{A}{L_r} + a_4 \cdot \frac{I}{\ell_3} + a_5 \cdot \frac{A}{L_r} \cdot \frac{I}{\ell_3} \quad (6.1)$$

όπου:

$t_i$	η αντοχή έναντι πυρκαγιάς σε σχέση με την θερμική μόνωση	[min]
$A$	όγκος σκυροδέματος της νεύρωσης ανά μέτρο μήκους της νεύρωσης	[mm <sup>3</sup> /m]
$L_r$	εκτιθέμενη επιφάνεια της νεύρωσης ανά μέτρο μήκους της νεύρωσης	[mm <sup>2</sup> /m]
$A/L_r$	συντελεστής της γεωμετρίας των νευρώσεων	[mm]
$\Phi$	ο συντελεστής όψης του άνω πέλματος	[-]
$\ell_3$	το πλάτος του άνω πέλματος (βλέπε Σχήμα 6.1)	[mm].

Οι συντελεστές  $a_i$ , για διαφορετικές τιμές του ύψους του σκυροδέματος  $h_1$ , τόσο για σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή όσο και για σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή, δίδονται στο Σχήμα 6.1 και στον Πίνακα 6.1. Για ενδιάμεσες τιμές, επιτρέπεται η γραμμική παρεμβολή.



$$\frac{A}{L_r} = \frac{h_2 \cdot \left( \frac{\ell_1 + \ell_2}{2} \right)}{\ell_2 + 2 \sqrt{h_2^2 + \left( \frac{\ell_1 - \ell_2}{2} \right)^2}} \quad (6.2)$$

Σχήμα 6.1: Ορισμός του συντελεστή της γεωμετρίας των νευρώσεων  $A/L_r$  για νευρώσεις σύμμικτων πλακών.

Πίνακας 6.1: Συντελεστές για τον προσδιορισμό της αντοχής έναντι πυρκαγιάς με βάση τη θερμική μόνωση

	$a_0$ [min]	$a_1$ [min/mm]	$a_2$ [min]	$a_3$ [min/mm]	$a_4$ [mm min]	$a_5$ [min]
Σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή	-28,8	1,55	-12,6	0,33	-735	48,0
Σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή	-79,2	2,18	-2,44	0,56	-542	52,3

(2) Ο συντελεστής διαμόρφωσης ή όψης  $\Phi$  του άνω πέλματος μπορεί να προσδιορίζεται ως εξής:

$$\Phi = \left( \sqrt{h_2^2 + \left( \ell_3 + \frac{\ell_1 - \ell_2}{2} \right)^2} - \sqrt{h_2^2 + \left( \frac{\ell_1 - \ell_2}{2} \right)^2} \right) / \ell_3 \quad (6.3)$$

### 6.1.3 Υπολογισμός της θετικής καμπτικής ροπής αντοχής $M_{fi,Rd}^+$

(1) Οι θερμοκρασίες  $\theta_a$  του κάτω πέλματος, του κορμού και του άνω πέλματος του χαλύβδινου καταστρώματος μπορούν να δίδονται από τη σχέση:

$$\theta_a = b_0 + b_1 \cdot \frac{I}{\ell_3} + b_2 \cdot \frac{A}{L_r} + b_3 \cdot \Phi + b_4 \cdot \Phi^2 \quad (6.4)$$

όπου:

$\theta_a$  είναι η θερμοκρασία του κάτω πέλματος, του κορμού ή του άνω πέλματος [°C]

Οι  $b_i$ , τόσο για το σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή όσο και για το σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή, δίδονται στον Πίνακα 6.2. Για ενδιάμεσες τιμές, επιτρέπεται η γραμμική παρεμβολή.

Πίνακας 6.2: Συντελεστές για τον προσδιορισμό των θερμοκρασιών των τμημάτων του χαλύβδινου καταστρώματος

Σκυρόδεμα	Αντοχή έναντι πυρκαγιάς [min]	Τμήμα του χαλυβδόφυλλου	$b_0$ [°C]	$b_1$ [°C]. mm	$b_2$ [°C]. mm	$b_3$ [°C]	$b_4$ [°C]
Σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή	60	Κάτω πέλημα	951	-1197	-2,32	86,4	-150,7
		Κορμός	661	-833	-2,96	537,7	-351,9
		Άνω πέλημα	340	-3269	-2,62	1148,4	-679,8
	90	Κάτω πέλημα	1018	-839	-1,55	65,1	-108,1
		Κορμός	816	-959	-2,21	464,9	-340,2
		Άνω πέλημα	618	-2786	-1,79	767,9	-472,0
	120	Κάτω πέλημα	1063	-679	-1,13	46,7	-82,8
		Κορμός	925	-949	-1,82	344,2	-267,4
		Άνω πέλημα	770	-2460	-1,67	592,6	-379,0
Σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή	30	Κάτω πέλημα	800	-1326	-2,65	114,5	-181,2
		Κορμός	483	-286	-2,26	439,6	-244,0
		Άνω πέλημα	331	-2284	-1,54	488,8	-131,7
	60	Κάτω πέλημα	955	-622	-1,32	47,7	-81,1
		Κορμός	761	-558	-1,67	426,5	-303,0
		Άνω πέλημα	607	-2261	-1,02	664,5	-410,0
	90	Κάτω πέλημα	1019	-478	-0,91	32,7	-60,8
		Κορμός	906	-654	-1,36	287,8	-230,3
		Άνω πέλημα	789	-1847	-0,99	469,5	-313,0
	120	Κάτω πέλημα	1062	-399	-0,65	19,8	-43,7
		Κορμός	989	-629	-1,07	186,1	-152,6
		Άνω πέλημα	903	-1561	-0,92	305,2	-197,2

(2) Ο συντελεστής όψης  $\Phi$  του άνω πέλματος και ο συντελεστής της γεωμετρίας των ραβδώσεων  $A/L_r$  μπορούν να προσδιορίζονται σύμφωνα με το Σχήμα 6.1.

(3) Η θερμοκρασία  $\theta_s$  των ράβδων οπλισμού μέσα στη νεύρωση (βλέπε Σχήμα 6.2) δίδεται από:

$$\theta_s = c_0 + \left( c_1 \cdot \frac{u_3}{h_2} \right) + (c_2 \cdot z) + \left( c_3 \cdot \frac{A}{L_r} \right) + (c_4 \cdot \alpha) + \left( c_5 \cdot \frac{I}{\ell_3} \right) \quad (6.5)$$

όπου:

$\theta_s$  η θερμοκρασία του πρόσθετου οπλισμού μέσα στη νεύρωση [°C]

$u_3$  απόσταση από το κάτω πέλημα [mm]

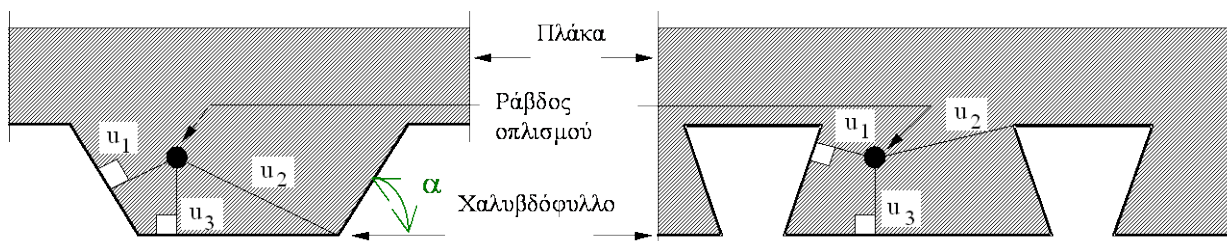
$z$  ένδειξη της θέσης του οπλισμού στη νεύρωση (βλέπε (4)) [mm<sup>-0.5</sup>]

$\alpha$  γωνία του κορμού [μότητες]

Οι  $c_i$  τόσο για σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή όσο και για σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή, δίδονται στον Πίνακα 6.3. Για ενδιάμεσες τιμές, επιτρέπεται γραμμική παρεμβολή.

Πίνακας 6.3: Συντελεστές για τον προσδιορισμό των θερμοκρασιών των ράβδων οπλισμού στη νεύρωση.

Σκυρόδεμα	Αντοχή έναντι πυρκαγιάς [min]	$c_0$ [°C]	$c_1$ [°C]	$c_2$ [°C]. mm <sup>0.5</sup>	$c_3$ [°C].mm	$c_4$ [°C/°]	$c_5$ [°C].mm
Σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή	60	1191	-250	-240	-5,01	1,04	-925
	90	1342	-256	-235	-5,30	1,39	-1267
	120	1387	-238	-227	-4,79	1,68	-1326
Σκυρόδεμα με αλαφρά αδρανή	30	809	-135	-243	-0,70	0,48	-315
	60	1336	-242	-292	-6,11	1,63	-900
	90	1381	-240	-269	-5,46	2,24	-918
	120	1397	-230	-253	-4,44	2,47	-906



Σχήμα 6.2: Παράμετροι για την θέση των ράβδων οπλισμού

(4) Ο συντελεστής  $z$  ο οποίος υποδεικνύει τη θέση της ράβδου οπλισμού δίδεται από:

$$\frac{I}{z} = \frac{I}{\sqrt{u_1}} + \frac{I}{\sqrt{u_2}} + \frac{I}{\sqrt{u_3}} \quad (6.6)$$

(5) Οι αποστάσεις  $u_1, u_2$  και  $u_3$  εκφράζονται σε mm και ορίζονται με τον ακόλουθο τρόπο:

$u_1, u_2$ : συντομότερη απόσταση του κέντρου της ράβδου οπλισμού από οποιοδήποτε σημείο των κορμών του χαλυβδόφυλλου,

$u_3$ : απόσταση του κέντρου της ράβδου οπλισμού από το κάτω πέλιμα του χαλυβδόφυλλου.

#### 6.1.4 Υπολογισμός της αρνητικής καμπτικής ροπής αντοχής $M_{fi,Rd}$ :

(1) Ως συντηρητική προσέγγιση, μπορεί να αμελείται η συμβολή του χαλύβδινου καταστρώματος στην αρνητική ροπή αντοχής σε κάμψη.

(2) Η αρνητική ροπή αντοχής σε κάμψη της πλάκας υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη μια μειωμένη διατομή. Τα τμήματα της διατομής, με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από μια συγκεκριμένη οριακή θερμοκρασία  $\theta_{lim}$ , δε λαμβάνονται υπόψη. Η εναπομένουσα διατομή θεωρείται σαν υπό συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου.

(3) Η εναπομένουσα διατομή προσδιορίζεται βάσει της ισόθερμου για την οριακή θερμοκρασία (βλέπε Σχήματα 6.3). Η ισόθερμος για την οριακή θερμοκρασία, προσδιορίζεται μέσω 4 χαρακτηριστικών σημείων, ως εξής:

σημείο I: βρίσκεται στον κεντρικό άξονα της νεύρωσης, σε απόσταση από το κάτω πέλιμα του χαλυβδόφυλλου και υπολογίζεται συναρτήσει της οριακής θερμοκρασίας σύμφωνα με την εξίσωση 6.7 και 6.9 του (4) και (5),

σημείο IV: βρίσκεται στον κεντρικό άξονα μεταξύ δύο νευρώσεων, σε απόσταση από το άνω πέλμα του χαλυβδόφυλλου και υπολογίζεται συναρτήσει της οριακής θερμοκρασίας σύμφωνα με τις εξισώσεις 6.7 και 6.14 του (4) και (5);,

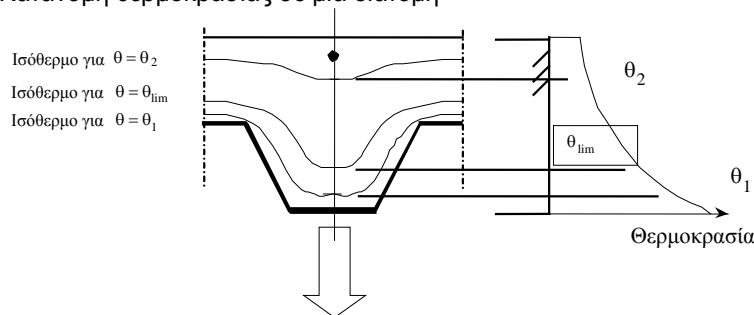
σημείο II: βρίσκεται πάνω σε μία γραμμή που διασχίζει το σημείο I, παράλληλη στο κάτω πέλμα του χαλυβδόφυλλου, και σε μια απόσταση από τον κορμό του χαλυβδόφυλλου, ίση με εκείνη από το του κάτω πέλμα,

σημείο III: βρίσκεται πάνω σε μια γραμμή που διασχίζει το άνω πέλμα του χαλυβδόφυλλου, σε απόσταση από τον κορμό του χαλυβδόφυλλου, ίση με την απόσταση του σημείου IV από το άνω πέλμα.

Η ισόθερμος προσδιορίζεται μέσω γραμμικής παρεμβολής μεταξύ των σημείων I, II, III και IV.

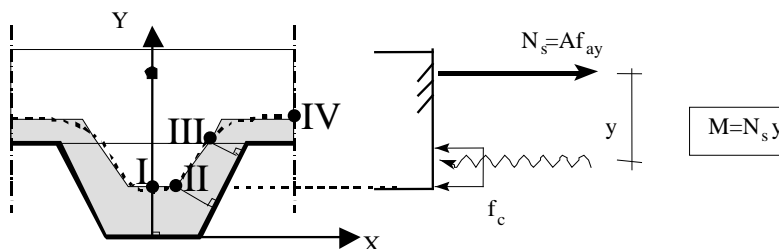
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η οριακή θερμοκρασία απορρέει από συνθήκες ισορροπίας στην διατομή και ως εκ τούτου δεν έχει καμία σχέση με την διεύθυνση της θερμοκρασίας.

A) Κατανομή θερμοκρασίας σε μια διατομή



(1) Σχήμα 6.3: Σχηματοποίηση ισόθερμου

B) Σχηματοποίηση της ειδικής ισόθερμου  $\theta = \theta_{lim}$



(4) Η οριακή θερμοκρασία,  $\theta_{lim}$  δίδεται από:

$$\theta_{lim} = d_0 + d_1 \cdot N_s + d_2 \cdot \frac{A}{L_r} + d_3 \cdot \Phi + d_4 \cdot \frac{I}{l_3} \quad (6.7)$$

όπου:

$N_s$  είναι η αξονική δύναμη στον οπλισμό που οφείλεται στις αρνητικές ροπές [N]

Οι συντελεστές  $d_i$ , τόσο για το σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή όσο και για το σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή, δίδονται στον Πίνακα D.3.3. Για ενδιάμεσες τιμές, επιτρέπεται γραμμική παρεμβολή.

(5) Οι συντεταγμένες των τεσσάρων σημείων I έως IV δίδονται από:

$$X_I = 0 \quad (6.8)$$

$$Y_I = Y_{II} = \frac{1}{\left(\frac{1}{z} - \frac{4}{\sqrt{\ell_1 + \ell_3}}\right)^2} \quad (6.9)$$

$$X_{II} = \frac{1}{2} \ell_2 + \frac{Y_I}{\sin \alpha} \cdot (\cos \alpha - 1) \quad (6.10)$$

$$X_{III} = \frac{1}{2} \ell_1 - \frac{b}{\sin \alpha} \quad (6.11)$$

$$Y_{III} = h_2 \quad (6.12)$$

$$X_{IV} = \frac{1}{2} \ell_1 + \frac{1}{2} \ell_3 \quad (6.13)$$

$$Y_{IV} = h_2 + b \quad (6.14)$$

$$\text{με: } \alpha = \arctan\left(\frac{2 h_2}{\ell_1 - \ell_2}\right)$$

$$\text{με: } a = \left(\frac{1}{z} - \frac{1}{\sqrt{h_2}}\right)^2 \ell_1 \sin \alpha$$

με:

$$b = \frac{1}{2} \ell_1 \sin \alpha \left(1 - \frac{\sqrt{a^2 - 4a + c}}{a}\right)$$

$$\text{με: } c = -8(1 + \sqrt{1 + a}); a \geq 8$$

$$\text{με: } c = +8(1 + \sqrt{1 + a}); a < 8$$

Πίνακας 6.4: Συντελεστές για τον προσδιορισμό της οριακής θερμοκρασίας περιορισμού.

Σκυρόδεμα	Αντοχή έναντι πυρκαγιάς [min]	$d_0$ [°C]	$d_1$ [°C] · N	$d_2$ [°C] · mm	$d_3$ [°C]	$d_4$ [°C] · mm
Σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή	60	867	$-1,9 \cdot 10^{-4}$	-8,75	-123	-1378
	90	1055	$-2,2 \cdot 10^{-4}$	-9,91	-154	-1990
	120	1144	$-2,2 \cdot 10^{-4}$	-9,71	-166	-2155
Σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή	30	524	$-1,6 \cdot 10^{-4}$	-3,43	-80	-392
	60	1030	$-2,6 \cdot 10^{-4}$	-10,95	-181	-1834
	90	1159	$-2,5 \cdot 10^{-4}$	-10,88	-208	-2233
	120	1213	$-2,5 \cdot 10^{-4}$	-10,09	-214	-2320

(6) Η παράμετρος  $z$  που δίδεται στο (5) μπορεί να επιλυθεί από την εξίσωση για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας των ράβδων οπλισμού (δηλ. εξίσ. 6.5), θεωρώντας  $u_3/h_2 = 0.75$  και χρησιμοποιώντας  $\theta_s = \theta_{lim}$ .

(7) Στην περίπτωση που  $Y_I > h_2$ , οι νευρώσεις της πλάκας μπορεί να αμεληθούν. Ο Πίνακας 6.5 μπορεί να χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης του ισόθερμου με συντηρητική προσέγγιση.



Πίνακας 6.5: Κατανομή της θερμοκρασίας σε μια συμπαγή πλάκα πάχους 100 mm, αποτελούμενη από σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή και όχι μονωμένης.

Βάθος x mm	Θερμοκρασία $\theta_c$ [°C] μετά από μια πυρκαγιά διάρκειας, σε min,					
	30'	60'	90'	120'	180'	240'
5	535	705				
10	470	642	738			
15	415	581	681	754		
20	350	525	627	697		
25	300	469	571	642	738	
30	250	421	519	591	689	740
35	210	374	473	542	635	700
40	180	327	428	493	590	670
45	160	289	387	454	549	645
50	140	250	345	415	508	550
55	125	200	294	369	469	520
60	110	175	271	342	430	495
80	80	140	220	270	330	395
100	60	100	160	210	260	305

(3)

(8) Η αρνητική ροπή αντοχής σε κάμψη υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εναπομένουσα διατομή η οποία προσδιορίζεται από τα (1) έως (7).

(9) Για σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή, οι θερμοκρασίες του Πίνακα 6.5 μειώνονται στο 90% των τιμών που δίδονται.

### 6.1.5 Ενεργό πάχος μιας σύμμικτης πλάκας

(1) Το ενεργό  $h_{eff}$  δίδεται από τον τύπο:

$$h_{eff} = h_1 + 0,5 h_2 \left( \frac{\ell_1 + \ell_2}{\ell_1 + \ell_3} \right) \quad \text{για } h_2/h_1 \leq 1,5 \text{ και } h_1 > 40 \text{ mm} \quad (6.15)$$

$$h_{eff} = h_1 \left[ 1 + 0,75 \left( \frac{\ell_1 + \ell_2}{\ell_1 + \ell_3} \right) \right] \quad \text{για } h_2/h_1 > 1,5 \text{ και } h_1 > 40 \text{ mm} \quad (6.16)$$

Οι διαστάσεις της διατομής της πλάκας  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $\ell_1$ ,  $\ell_2$  και  $\ell_3$  δίδονται στα Σχήματα 4.1 και 4.2.

(2) Εάν  $\ell_3 > 2 \ell_1$ , το ενεργό πάχος μπορεί να λαμβάνεται ίσο με  $h_1$ .

(3) Η σχέση μεταξύ της αντοχής έναντι πυρκαγιάς συναρτήσεως του κριτηρίου θερμικής μόνωσης και του ελάχιστου ενεργού πάχους της πλάκας  $h_{eff}$  δίδεται στον Πίνακα 6.6 για συνήθεις περιπτώσεις αντοχής έναντι πυρκαγιάς, όπου  $h_3$  είναι το πάχος της επίστρωσης, εάν υφίσταται, στο πάνω μέρος της πλάκας από σκυρόδεμα.

Πίνακας 6.6: Ελάχιστο ενεργό πάχος ως συνάρτηση της πρότυπης αντοχής έναντι πυρκαγιάς

Πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς	Ελάχιστο ενεργό πάχος $h_{eff}$ [mm]
R 30	60 - $h_3$
R 60	80 - $h_3$
R 90	100 - $h_3$
R 120	120 - $h_3$
R 180	150 - $h_3$
R 240	175 - $h_3$

### 6.1.6 Πεδίο εφαρμογής

(1) Το πεδίο εφαρμογής των απροστάτευτων σύμμικτων πλακών δίδεται στον Πίνακα 6.7 τόσο για σκυρόδεμα κανονικών αδρανών (NC) όσο και για σκυρόδεμα ελαφρών αδρανών (LC).

Πίνακας 6.7: Πεδίο εφαρμογής

για χαλυβδόφυλλα με εσοχές	για τραπεζοειδή χαλυβδόφυλλα
$77,0 \leq \ell_1 \leq 135,0$ mm	$80,0 \leq \ell_1 \leq 155,0$ mm
$110,0 \leq \ell_2 \leq 150,0$ mm	$32,0 \leq \ell_2 \leq 132,0$ mm
$38,5 \leq \ell_3 \leq 97,5$ mm	$40,0 \leq \ell_3 \leq 115,0$ mm
$50,0 \leq h_1 \leq 130,0$ mm	$50,0 \leq h_1 \leq 125,0$ mm
$30,0 \leq h_2 \leq 60,0$ mm	$50,0 \leq h_2 \leq 100,0$ mm

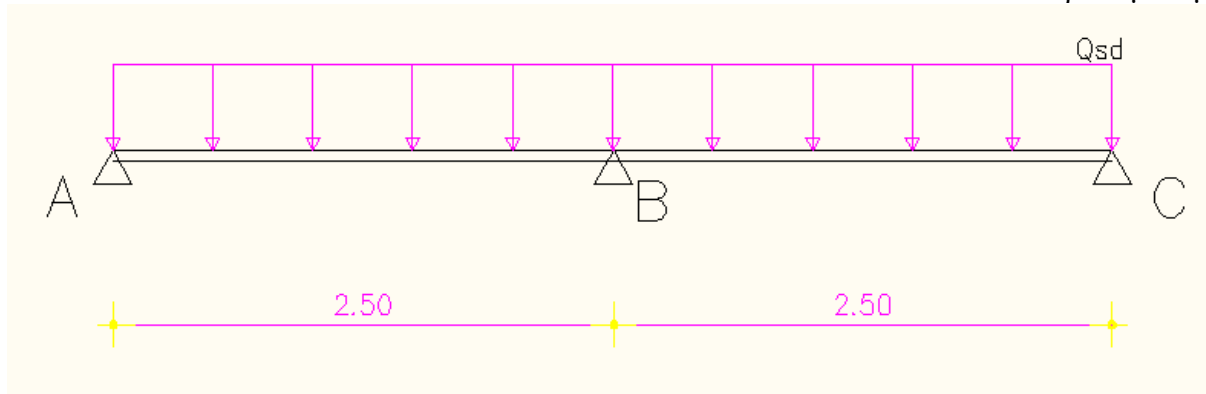
## 6.2 Αριθμητικές εφαρμογές

**6.2.1 Υπολογισμός αντοχής απροστάτευτης σύμμικτης πλάκας με χαλυβδόφυλλο τραπεζοειδούς διατομής, που εκτίθεται σε πυρκαγιά κάτω από την πλάκα σύμφωνα με την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου.**

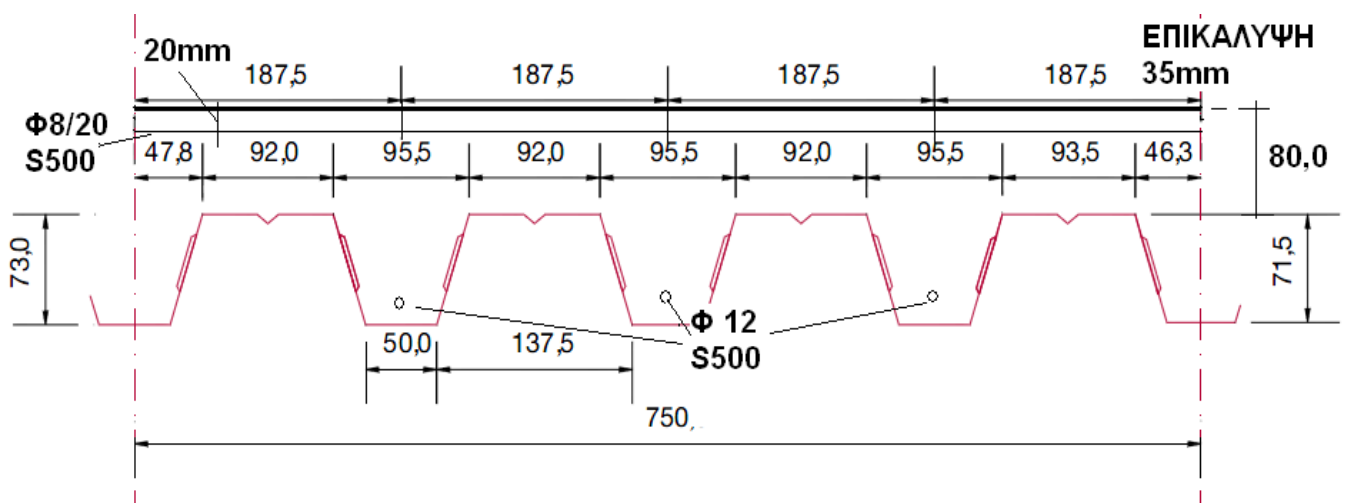
### ΣΥΜΜΙΚΤΗ ΠΛΑΚΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Έστω η σύμμικτη πλάκα SYMDECK 73 της εταιρείας ΕΛΑΣΤΡΟΝ σε εμπορικό κέντρο.

Με στατικό προσομοίωμα:



Με γεωμετρία του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου SYMDECK 73:



- Και με γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά του τραπεζοειδούς χαλυβδόφυλλου πάχους  $t = 1\text{mm}$  SYMDECK 73 ανά μέτρο πλάτους διατομής:

Πάχος	t (mm)	0,75	0,80	1,00	1,25
Βάρος	G (kg/m <sup>2</sup> )	9,81	10,47	13,08	16,36
Επιφάνεια	A (cm <sup>2</sup> /m)	12,76	13,533	16,96	21,31
Ροπή αδράνειας	L <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> /m)	110,01	117,33	147,22	184,43
Ροπή αντίστασης	W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> /m)	27,57	29,48	36,99	42,23

Κατηγορία χαλυβδόφυλλου S320:  $f_{yp} = 320\text{MPa}$

ΟΠΛΙΣΜΟΣ:

S500  $f_{ys} = 500\text{MPa}$

Φ12

Φ8/20

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ:

C25/30  $f_c = 25\text{N/mm}^2$

## ΦΟΡΤΙΑ

Στην φάση λειτουργίας:

Μόνιμα:

$$\text{χαλυβδόφυλλο: } 0,13 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$\text{Σκυρόδεμα: } 0,08 * 25 + 5,33 * 0,073 * \frac{0,0955 + 0,0500}{2} * 25 = 2,7 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$\text{Επικάλυψη: } 1,2 \text{ KN} / \text{m}^2$$

Κινητά:

$$p = 3,5 \text{ KN} / \text{m}^2$$

Στην φάση κατασκευής:

Μόνιμα:

$$\text{χαλυβδόφυλλο: } 0,13 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$\text{Σκυρόδεμα: } 0,08 * 25 + 5,33 * 0,073 * \frac{0,0955 + 0,0500}{2} * 25 = 2,7 \text{ KN} / \text{m}^2$$

Κινητά: (πρόκειται για το φορτίο διάστρωσης από EC4)

$$p_1 = 0,75 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$p_2 = 0,75 \text{ KN} / \text{m}^2 \text{ και πρόσθετο ομοιόμορφο φορτίο που δρα σε επιφάνεια } 3 \times 3$$

\*συντηρητικά χρησιμοποιούμε και τα 5m για λόγους ασφαλείας.

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΕ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

- ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

$$\text{Φορτία σχεδιασμού: } q_{sd} = 1,35 * (0,13 + 2,7) + 1,5 * 1,5 = 6,07 \text{ KN} / \text{m}^2$$

Δρώσες ροπές

Από το στατικό σύστημα:

$$M_B = \frac{-q * l^2}{32} = -\frac{6,07 * 5^2}{32} = -4,74 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

Υπολογισμός ροπής στο άνοιγμα:

$$\Sigma M_B = 0$$

$$Q_A * 2,5 - 6,07 * \frac{2,5^2}{2} + 4,74 = 0 \Rightarrow Q_A = 5,69 \text{ KN} / \text{m}$$

$$\max M_{AB} = (\max M_{B\Gamma}) = \frac{1}{2} * 5,69 * \frac{5,69}{6,07} = 2,67 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

$$M_{sd}^+ = 2,67 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

στη στήριξη\_B:

$$M_{sd}^- = - 4,74 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

Ροπές αντοχής

Εμβαδό χαλυβδόφυλλου:  $A_p = 294,93 \text{ mm}^2$

Κέντρο βάρους:

$$Z_p = \frac{7,3^2 * 0,105 / 2 + 2,5 * 7,3 * 0,1}{1,47} = 3,13 \text{ cm}$$

$$\text{Λόγος τάσεων : } \psi = \frac{3,13}{7,3 - 3,13} = 0,755$$

$$\psi f_y \rightarrow \varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{\psi * f_y}} = \sqrt{\frac{1}{0,755}} = 1,15$$

Θλιπτική τάση άνω πέλματος :

$$\frac{b}{t} = \frac{92}{1} = 92 > 42 * \varepsilon = 48,5$$

Από πίνακα :

Άρα το άνω πέλμα και ολόκληρη η διατομή είναι κατηγορίας 4.

Συνεπώς ο περαιτέρω υπολογισμός θα γίνει σύμφωνα με τον EC3 για την ενεργό διατομή.

Λυγηρότητα θλιβόμενου πέλματος :

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{\kappa_\sigma}} = \frac{92}{28,4 * 1,15 * \sqrt{4}} = 1,41$$

Μειωτικός συντελεστής:

$$\rho = (\bar{\lambda}_p - 0,22) / \bar{\lambda}_p^2 = (1,41 - 0,22) / 1,41^2 = 0,60$$

Ενεργό πλάτος πέλματος :

$$b_{eff} = \rho * b = 0,60 * 92 = 55,2 \text{ mm}$$

Για το εξεταζόμενο τμήμα χαλυβδόφυλλου:

$$b_{eff} = \frac{55,2}{2} = 27,6 \text{ mm}$$

Εμβαδό ενεργού διατομής:

$$A_{eff} = 2 * (2,76 * 0,1 + 7,3 * 0,105 + \frac{5,0}{2} * 0,1) = 2 * 1,293 = 2,585 \text{ cm}^2$$

Κέντρο βάρους ενεργού διατομής:

$$z_{eff} = \frac{7,3^2 * 0,105 / 2 + 2,5 * 7,3 * 0,1}{1,293} = 3,57 \text{ cm}$$

Ροπή αδράνειας ενεργού διατομής:

$$I_{eff} = 2 * (2,76 * 0,1 * 3,57^2 + \frac{7,3^2}{12} * 0,105 + 7,3 * 0,105 * (3,65 - 3,57)^2 + 2,5 * 0,1 * (7,3 - 3,57)^2) = 7,47 \text{ cm}^4$$

Ροπή αντίστασης :

$$w_{eff} = \frac{I_{eff}}{z_{eff}} = \frac{7,47}{3,56} = 2,10 \text{ cm}^3$$

Ροπή αντοχής :

$$M_{Rd} = w_{eff} * \frac{f_{y,p}}{1,1} * \frac{1}{100} = 2,10 * \frac{32,0}{1,1} * \frac{1}{100} = 0,611 \text{ KN} * \text{m} / 0,1875 \text{ m}$$

Σε 187,5mm :  $M_{Rd} = 3,26 \text{ KN} * \text{m} / \text{m} < M_{sd} = 4,74 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$  (στο στήριγμα)  
(επειδή ο έλεγχος δεν ικανοποιείται χρειαζόμαστε ενδιάμεση υποστήριξη στο μέσον του φαντώματος)

- ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Φορτία σχεδιασμού:  $q_{sd} = 1,35 * (0,13 + 2,7 + 1,2) + 1,5 * 3,5 = 10,69 \text{ KN} / \text{m}^2$

#### ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΡΟΠΕΣ

Δρώσες ροπές

Από το στατικό σύστημα:

$$M_B = \frac{-q * l^2}{32} = -\frac{10,69 * 5^2}{32} = -8,35 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

Υπολογισμός ροπής στο άνοιγμα:

$$Q_A * 2,5 - 10,69 * \frac{2,5^2}{2} + 8,35 = 0 \Rightarrow Q_A = 10,02 \text{ KN} / \text{m}$$

$$\max M_{AB} = (\max M_{BF}) = \frac{1}{2} * 10,02 * \frac{10,02}{10,69} = 4,70 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

$$M_{sd}^+ = 4,70 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

$$M_{sd}^- = -8,35 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

Ροπές αντοχής

Θετική ροπή αντοχής :

$$f_{cd} = 0,85 * \frac{25}{1,5} = 14,17 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$f_{pd} = \frac{320}{1,1} = 290,91 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Εφελκυστική Δύναμη:

$$Z = (50 + 92 + 152,99) \text{mm}^2 * 290,91 \text{ N} / \text{mm}^2 = 85,81 \text{ KN}$$

Κέντρο βάρους χαλυβδόφυλλου:

$$Z_p = \frac{7,3^2 * 0,105 / 2 + 2,5 * 7,3 * 0,1}{1,47} = 3,13 \text{ cm}$$

$$Z_0 = \frac{85,81 * 10^3}{(95,5 + 92) * 14,17} = 32,21 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd}^+ = \frac{85,81}{100} * (8 + 3,13 - \frac{3,23}{2}) = 8,16 \text{ KN} * m$$

$$M_{pl,Rd}^+ = \frac{8,16}{0,0955 + 0,092} = 43,55 \text{ KN} * m / m > 4,70 \text{ KN} * m / m$$

Αρνητική ροπή αντοχής:

$$A_s = \frac{187,5}{200} * \frac{\pi * 8^2}{4} = 47,12 \text{ mm}^2$$

$$f_{sd} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$Z = 20,49 \text{ KN}$$

$$Z_0 = (7,3 + 8) - \frac{20,44}{7,275 * 1,417} = 13,31 \text{ cm}$$

$$M_{pl,Rd}^- = -\frac{20,49}{100} * (13,31 - 0,2 + \frac{7,3 + 8 - 13,31}{2}) = -2,89 \text{ KN} * m$$

$$\text{Ανά } 187,5 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd}^- = -2,89 / 0,1875 = |-15,41| \text{ KN} * m / m > |-8,35| \text{ KN} * m / m$$

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ

Δρώσες τέμνουσες

$$Q_A = 10,02 \text{ KN} / m$$

$$Q_A - q * l_1 - Q_{B\alpha\rho} = 0 \Rightarrow Q_{B\alpha\rho} = 10,02 - 10,69 * 2,5 \Rightarrow Q_{B\alpha\rho} = -16,70 \text{ KN} / m$$

$$M_B + Q_{B\delta\epsilon\zeta} * l_2 - q_2 * \frac{l_2^2}{2} = 0 \Rightarrow Q_{B\delta\epsilon\zeta} = (-8,35 + 10,69 * \frac{2,5^2}{2}) / 2,5 \Rightarrow$$

$$Q_{B\delta\epsilon\zeta} = 10,023 \text{ KN} / m$$

$$Q_{B\delta\epsilon\zeta} - q_2 * l_2 - Q_\Gamma = 0 \Rightarrow$$

$$Q_\Gamma = -16,70 \text{ KN} / m$$

Τέμνουσες αντοχής:



$$\tau_{Rd} = 0,25 * f_{ctk0,05} / \gamma_c \quad \text{,,} \quad \gamma_c = 1,5 \text{ για}$$

C25 / 30  $\Rightarrow$

$$f_{ctk0,05} = 1,8$$

Από σχετικό πίνακα :

$$\tau_{Rd} = 0,25 * 0,18 / 1,5 = 0,03 \text{ KN} / \text{cm}^2$$

$$d_p = 8,00 + 3,13 = 11,13 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{A_\rho}{b_0 * d_p} = \frac{2,95}{7,275 * 11,13} = 0,036$$

$$K_v = 1,6 - d_p = 1,6 - 0,1113 = 1,49 > 1$$

$$V_{Rd} = b_0 * d_p * \tau_{Rd} * K_v * (1,2 + 40\rho) = 0,03 * 7,275 * 11,13 * 1,49 * (1,2 + 40 * 0,036) \Rightarrow$$

$$V_{Rd} = 9,555 \text{ KN}$$

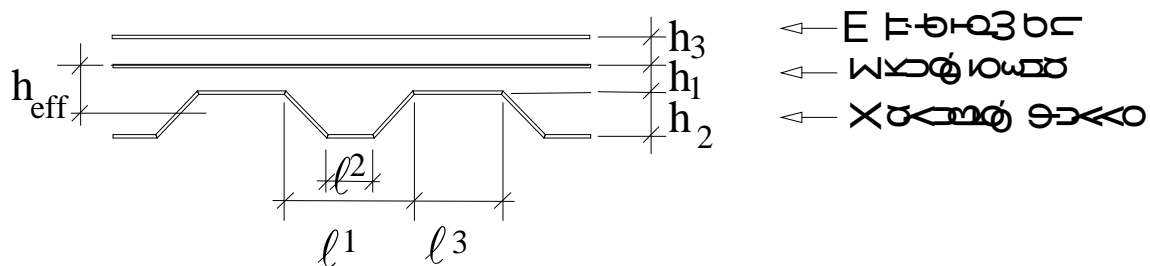
$$\sigma_\varepsilon = 0,1875 \text{ m}$$

$$V_{Rd} = 50,96 \text{ KN} / \text{m} > Q_{\max} = 16,70 \text{ KN} / \text{m}$$

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΒΑΣΕΙ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ D ΤΟΥ EN1994-1-2:2005

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ:

Εξετάζεται εάν η γεωμετρία του χαλυβδόφυλλου εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής του κανονισμού και αν το ενεργό πάχος σκυροδέματος είναι συμβατό με τον απαιτούμενο δείκτη πυραντίστασης.



α) γεωμετρία χαλυβδόφυλλου

Από πίνακα D7 του Παραρτήματος D του EN1994-1-2 για το τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο πάχους 1 mm που χρησιμοποιούμε έχουμε:

για τραπεζοειδή χαλυβδόφυλλα πρέπει:

80,0	$\leq$	$l_1$	$\leq$	155,0	mm
32,0	$\leq$	$l_2$	$\leq$	132,0	mm
40,0	$\leq$	$l_3$	$\leq$	115,0	mm
50,0	$\leq$	$h_1$	$\leq$	125,0	mm
50,0	$\leq$	$h_2$	$\leq$	100,0	mm

$$l_1 = 95,5 \text{ mm} \quad \text{ok}$$

$$l_2 = 50,0 \text{ mm} \quad \text{ok}$$

$$l_3 = 92,0 \text{ mm} \quad \text{ok}$$

$$h_1 = 80,0 \text{ mm} \quad \text{ok}$$

$$h_2 = 73,0 \text{ mm} \quad \text{ok}$$

β) ενεργό πάχος πλάκας

$$h_1 = 80 \text{ mm}$$

$$h_2 = 73 \text{ mm}$$

$$h_1 > 40 \text{ mm}$$

$$h_2 / h_1 = 0,913 < 1,5$$

$$h_{eff} = h_1 + 0,5 h_2 \left( \frac{\ell_1 + \ell_2}{\ell_1 + \ell_3} \right) = 80 + 0,5 * 73 * \left( \frac{95,5 + 50,0}{95,5 + 92,0} \right) = 108 \text{ mm}$$

Άρα :

από πίνακα D.6 του Παραρτήματος D του EN1994-1-παίρνουμε:

Πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς	Ελάχιστο ενεργό πάχος $h_{eff}$ [mm]
R 30	60 - $h_3$
R 60	80 - $h_3$
<b>R 90</b>	<b>100 -<math>h_3</math></b>
R 120	120 - $h_3$
R 180	150 - $h_3$
R 240	175 - $h_3$

Για αντοχή έναντι πυρκαγιάς R90 πρέπει:

$$h_{eff} \geq \min h_{eff} = 100 - h_3 = 100 - 35 = 65 \text{ mm}$$

$$h_{eff} = 108 \text{ mm} > 65 \text{ mm}$$

Άρα είμαστε ο.κ.

**ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ**

(1). Μια σύμμικτη πλάκα πρέπει να έχει χαρακτηριστικά και διαστάσεις τέτοια που να παρεμποδίζουν, για το χρονικό διάστημα που ορίζει ο απαιτούμενος δείκτης πυραντίστασης, τη μετάδοση της πυρκαγιάς στον ανώτερο όροφο, πρέπει δηλαδή να ικανοποιεί το κριτήριο μόνωσης ( κριτήριο «I» ). Το κριτήριο «I» θεωρείται ότι ικανοποιείται όπου η μέση αύξηση της θερμοκρασίας ολόκληρης της μη-εκτιθέμενης επιφάνειας περιορίζεται σε  $140^{\circ}C$ , και η μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας σε οποιοδήποτε σημείο της επιφάνειας αυτής δεν υπερβαίνει τους  $180^{\circ}C$ . Ικανοποιείται δε εάν ο χρόνος  $t_i$  είναι μεγαλύτερος του δείκτη πυραντίστασης.

$$t_i = a_0 + a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot \Phi + a_3 \cdot \frac{A}{L_r} + a_4 \cdot \frac{I}{\ell_3} + a_5 \cdot \frac{A}{L_r} \cdot \frac{I}{\ell_3}$$

Συντελεστής γεωμετρίας νευρώσεων :

$$\frac{A}{L_r} = \frac{h_2 \cdot \left( \frac{\ell_1 + f_2}{2} \right)}{f_2 + 2 \cdot \sqrt{h_2^2 + \left( \frac{\ell_1 - f_2}{2} \right)^2}} = \frac{73 \cdot \left( \frac{95,5 + 50,0}{2} \right)}{50 + 2 \cdot \sqrt{73^2 + \left( \frac{95,5 - 50,00}{2} \right)^2}} = 26,17 \text{ mm}$$

(2). Συντελεστής διαμόρφωσης ή όψης του άνω πέλματος:

$$\Phi = \left( \sqrt{h_2^2 + \left( l_3 + \frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2} - \sqrt{h_2^2 + \left( \frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2} \right) / l_3 \Rightarrow \Phi = 0,647$$

Για σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή από πίνακα 6.8 παίρνουμε τους συντελεστές  $a_i$

Πίνακας 6.8: Συντελεστές για τον προσδιορισμό της αντοχής έναντι πυρκαγιάς με βάση τη θερμική μόνωση

	$a_0$ [min]	$a_1$ [min/mm]	$a_2$ [min]	$a_3$ [min/mm]	$a_4$ [mm min]	$a_5$ [min]
Σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή	-28,8	1,55	-12,6	0,33	-735	48,0
Σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή	-79,2	2,18	-2,44	0,56	-542	52,3

Άρα

$$t_i = -28,8 + 1,55 \cdot 80 - 12,6 \cdot 0,647 + 0,33 \cdot 26,17 - 735 \cdot \frac{1}{92} + 48 \cdot 26,17 \cdot \frac{1}{92} = 101,35 \text{ min} > 90 \text{ min}$$

Συνεπώς δεκτό και άρα ικανοποιείται το κριτήριο “I”

#### ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

α) Δρώντα εντατικά μεγέθη  
Σε κατάσταση πυρκαγιάς :

$$E_{dA} = E(\sum G_K + A_d + \sum \psi_{2,i} Q_{K,i})$$

Για εμπορικό κέντρο:

$$\psi_{2,1} = 0,6 \quad \acute{\epsilon}\chi\omega:$$

$$Q = (0,13 + 2,7 + 1,2) + 0,6 * 3,5 = 6,13 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} = \frac{6,13}{1,35 * (0,13 + 2,7 + 1,2) + 1,5 * 3,5} = 0,573$$

$$M_{fi,d} = n_{fi} * 4,70 \text{ KN} * \text{m} / \text{m} = 2,69 \text{ KN} * \text{m} / \text{m} \quad (\text{θετική})$$

$$M_{fi,d} = n_{fi} * 8,35 \text{ KN} * \text{m} / \text{m} = 4,78 \text{ KN} * \text{m} / \text{m} \quad (\text{αρνητική})$$

Η από το στατικό σύστημα :

Ροπή στο στήριγμα:

$$M_B = -\frac{Q * l^2}{32} = -\frac{6,13 * 5^2}{32} = -4,79 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

Υπολογισμός Ροπής στο άνοιγμα:

$$Q_A * 2,5 - 6,13 * \frac{2,5^2}{2} + 4,79 = 0 \Rightarrow Q_A = 5,75 \text{ KN} / \text{m}$$

$$\max M_{AB} = (\max M_{B1}) = \frac{1}{2} * 5,75 * \frac{5,75}{6,13} = 2,69 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

$$M_{fi,d} = 2,69 \text{ KN} * \text{m} / \text{m} \quad (\text{θετική})$$

$$M_{fi,d} = 4,78 \text{ KN} * \text{m} / \text{m} \quad (\text{αρνητική})$$

β) Υπολογισμός της θετικής καμπτικής ροπής αντοχής  $M_{fi,Rd}^+$   
Οι θερμοκρασίες  $\theta_a$  του κάτω πέλματος, του κορμού και του άνω πέλματος του χαλύβδινου καταστρώματος μπορούν να δίδονται από τη σχέση:

$$\theta_a = b_0 + b_1 \cdot \frac{l}{\ell_3} + b_2 \cdot \frac{A}{L_r} + b_3 \cdot \Phi + b_4 \cdot \Phi^2$$

Τους συντελεστές  $b_i$  για σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή και R90 τους παίρνουμε από τον πίνακα 6.9.

Πίνακας 6.9: Συντελεστές για τον προσδιορισμό των θερμοκρασιών των τμημάτων του χαλύβδινου καταστρώματος

Σκυρόδεμα	Αντοχή έναντι πυρκαγιάς [min]	Τμήμα του χαλυβδόφυλλου	$b_0$ [°C]	$b_1$ [°C].mm	$b_2$ [°C].mm	$b_3$ [°C]	$b_4$ [°C]
Σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή	60	Κάτω πέλμα	951	-1197	-2,32	86,4	-150,7
		Κορμός	661	-833	-2,96	537,7	-351,9
		Άνω πέλμα	340	-3269	-2,62	1148,4	-679,8
	90	Κάτω πέλμα	1018	-839	-1,55	65,1	-108,1
		Κορμός	816	-959	-2,21	464,9	-340,2
		Άνω πέλμα	618	-2786	-1,79	767,9	-472,0
	120	Κάτω πέλμα	1063	-679	-1,13	46,7	-82,8
		Κορμός	925	-949	-1,82	344,2	-267,4
		Άνω πέλμα	770	-2460	-1,67	592,6	-379,0
Σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή	30	Κάτω πέλμα	800	-1326	-2,65	114,5	-181,2
		Κορμός	483	-286	-2,26	439,6	-244,0
		Άνω πέλμα	331	-2284	-1,54	488,8	-131,7
	60	Κάτω πέλμα	955	-622	-1,32	47,7	-81,1
		Κορμός	761	-558	-1,67	426,5	-303,0
		Άνω πέλμα	607	-2261	-1,02	664,5	-410,0
	90	Κάτω πέλμα	1019	-478	-0,91	32,7	-60,8
		Κορμός	906	-654	-1,36	287,8	-230,3
		Άνω πέλμα	789	-1847	-0,99	469,5	-313,0
	120	Κάτω πέλμα	1062	-399	-0,65	19,8	-43,7
		Κορμός	989	-629	-1,07	186,1	-152,6
		Άνω πέλμα	903	-1561	-0,92	305,2	-197,2

Για σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή και R90 έχω:

$$\text{Κάτω πέλμα: } \theta_{\alpha} = 1018 - 839 \cdot \frac{1}{92} - 1,55 \cdot 26,17 + 65,10 \cdot 0,647 - 1018 \cdot 0,677^2 = 965^{\circ} \text{C}$$

Ομοίως :

$$\text{Κορμός : } \theta_{\alpha} = 906^{\circ} \text{C}$$

$$\text{Άνω πέλμα : } \theta_{\alpha} = 840^{\circ} \text{C}$$

Η θερμοκρασία ράβδων οπλισμού μέσα στην νεύρωση δίνεται από την σχέση:

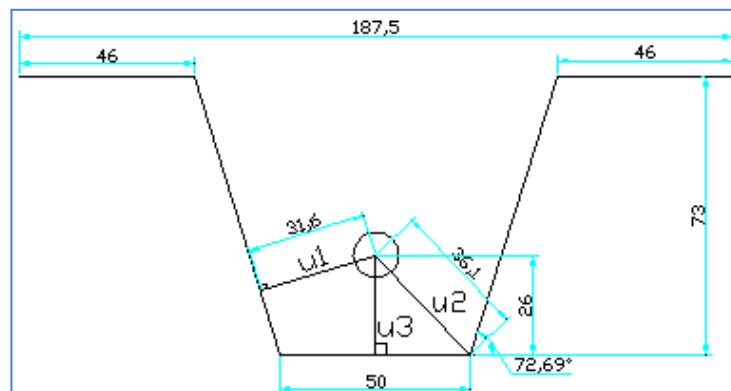
$$\theta_s = c_0 + \left( c_1 \cdot \frac{u_3}{h_2} \right) + (c_2 \cdot z) + \left( c_3 \cdot \frac{A}{L_r} \right) + (c_4 \cdot \alpha) + \left( c_5 \cdot \frac{I}{l_3} \right)$$

Οι συντελεστές  $c_i$  για σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή και R90 δίνονται από τον πίνακα 6.10.

Πίνακας 6.10: Συντελεστές για τον προσδιορισμό των θερμοκρασιών των ράβδων οπλισμού στη νεύρωση.

Σκυρόδεμα	Αντοχή έναντι πυρκαγιάς [min]	$c_0$ [°C]	$c_1$ [°C]	$c_2$ [°C].mm <sup>0.5</sup>	$c_3$ [°C].mm	$c_4$ [°C/°]	$c_5$ [°C].mm
Σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή	60	1191	-250	-240	-5,01	1,04	-925
	90	1342	-256	-235	-5,30	1,39	-1267
	120	1387	-238	-227	-4,79	1,68	-1326
Σκυρόδεμα με αλαφρά	30	809	-135	-243	-0,70	0,48	-315
	60	1336	-242	-292	-6,11	1,63	-900

αδρανή	90	1381	-240	-269	-5,46	2,24	-918
	120	1397	-230	-253	-4,44	2,47	-906



Από την γεωμετρία του χαλυβδόφυλλου έχω :

$$A_{\text{κάτωπέλμ.}} = 50 \cdot 1 = 50 \text{ mm}^2$$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,3 = 16,346 \text{ kN / m}^2$$

$$A = 2 \cdot 76,46 = 152,93 \text{ mm}^2$$

$$a = 72,69^\circ$$

$$u_3 = 26 \text{ mm}$$

$$u_2 = \sqrt{26^2 + 25^2} = 36,1 \text{ mm}$$

$$u_1 = 31,60 \text{ mm}$$

Επομένως ο συντελεστής z ο οποίος υποδεικνύει τη θέση της ράβδου οπλισμού είναι:

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}} = 0,178 + 0,166 + 0,196 = 0,54$$

Άρα

$$z = 1,852$$

Επομένως έχουμε:

$$\theta_s = 1342 - 256 \cdot \frac{20}{73} - 235 \cdot 1,852 - 5,3 \cdot 26,17 + 1,39 \cdot 72,69 - 1267 \cdot \frac{1}{92} = 784^\circ \text{C}$$

Από τις θερμοκρασίες και από τους πίνακες 6.11, 6.12, 6.13 και βάσει της 4.3.1 του EN1994-1-2 βρίσκουμε τα  $k_{y,\theta}$  με γραμμική παρεμβολή.

$$k_{y,\theta} = 0,11 + ((800 - 785,2) / (800 - 700)) \cdot (0,12 - 0,11) = 0,121$$

Πίνακας 6.11: Συντελεστές μείωσης  $k_\theta$  για τις σχέσεις τάσης - παραμόρφωσης του δομικού χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία χάλυβα $\theta_a$ [°C]	$k_{E,\theta} = \frac{E_{a,\theta}}{E_a}$	$k_{p,\theta} = \frac{f_{ap,\theta}}{f_{ay}}$	$k_{y,\theta} = \frac{f_{ay,\theta}}{f_{ay}}$	$k_{u,\theta} = \frac{f_{au,\theta}}{f_{ay}}$
20	1,00	1,00	1,00	1,25
100	1,00	1,00	1,00	1,25
200	0,90	0,807	1,00	1,25
300	0,80	0,613	1,00	1,25
400	0,70	0,420	1,00	
500	0,60	0,360	0,78	
600	0,31	0,180	0,47	
700	0,13	0,075	0,23	
800	0,09	0,050	0,11	
900	0,0675	0,0375	0,06	
1000	0,0450	0,0250	0,04	
1100	0,0225	0,0125	0,02	
1200	0	0	0	

Πίνακας 6.12: Τιμές για τις δύο κύριες παραμέτρους των σχέσεων τάσης-παραμόρφωσης του σκυροδέματος κανονικών αδρανών (NC) και του σκυροδέματος ελαφρών αδρανών (LC) σε υψηλές θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία σκυροδέματος $\theta_c$ [°C]	$k_{c,\theta} = f_{c,\theta}/f_c$		$\varepsilon_{cu,\theta} \cdot 10^3$
	NC	LC	NC
20	1	1	2,5
100	1	1	4,0
200	0,95	1	5,5
300	0,85	1	7,0
400	0,75	0,88	10,0
500	0,60	0,76	15,0
600	0,45	0,64	25,0
700	0,30	0,52	25,0
800	0,15	0,40	25,0
900	0,08	0,28	25,0
1000	0,04	0,16	25,0
1100	0,01	0,04	25,0
1200	0	0	-

Πίνακας 6.13: Συντελεστές μείωσης  $k_\theta$  για τις σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης του διαμορφωμένου εν ψυχρώ χάλυβα οπλισμού

Θερμοκρασία χάλυβα $\theta_s$ [°C]	$k_{E,\theta} = \frac{E_{s,\theta}}{E_s}$	$k_{p,\theta} = \frac{f_{sp,\theta}}{f_{sy}}$	$k_{y,\theta} = \frac{f_{sy,\theta}}{f_{sy}}$
20	1,00	1,00	1,00
100	1,00	0,96	1,00
200	0,87	0,92	1,00
300	0,72	0,81	1,00
400	0,56	0,63	0,94
500	0,40	0,44	0,67

600	0,24	0,26	0,40
700	0,08	0,08	0,12
800	0,06	0,06	0,11
900	0,05	0,05	0,08
1000	0,03	0,03	0,05
1100	0,02	0,02	0,03
1200	0	0	0

Οι δυνάμεις εφελκυσμού είναι οι εξής:

	Θερμοκ. $\theta_a$	$k_{y,\theta_i}$	$A_i$ mm <sup>2</sup>	$f_{y,i}$ MPa	$Z_i$ KN
κάτω πέλμα	965	0,047	50	320	0,752
κορμός	906	0,059	152,93	320	2,887
άνω πέλμα	840	0,090	92	320	2,650
οπλισμός	784	0,121	113,10	500	6,334

Θεωρούμε ότι ο ουδέτερος άξονας είναι πάνω από τα χαλυβδόφυλλα.

$$\sum_{i=1}^n A_i k_{y,\theta_i} \left( \frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,f,i,a}} \right) + \alpha_{slab} \sum_{j=1}^m A_j k_{c,\theta,j} \left( \frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,f,i,c}} \right) = 0$$

(υπολογίζεται με βάση την σχέση :

$$z_{pl} = \frac{\sum Z_i}{0,85 * (I_1 + I_3) * 25 * 10^{-3}} = \frac{0,752 + 2,887 + 2,650 + 11,360}{0,85 * (95,5 + 92) * 25 * 10^{-3}} = 4,430mm < 80mm$$

(ποιότητα σκυροδέματος C 25/30 ,οι συντελεστές  $\gamma_M$  προσδιορίζονται ίσοι με την μονάδα)

Οι αντίστοιχες ροπές αντοχής είναι οι εξής:

	Zi(KN)	zi(m)	Mi(KN*m <sub>-</sub> )
κάτω πέλμα	0,752	0,149	0,112
κορμός	2,887	0,112	0,323
άνω πέλμα	2,650	0,076	0,201
οπλισμός	6,334	0,123	0,800
σκυρόδεμα	16,946	0,002	-0,034
διατομής συν			1,406 KNm

Όπου αντοχή σκυροδέματος:

$$f_{cd} = 0,85 * f_{ck} / 1,3 = 1,63kN / cm^2$$

Σημείωση: Βάσει της παραγράφου 4.3.4.3.3 του EN1994-1-2 προκειμένου να υπολογιστεί η θετική καμπτική ροπή αντοχής θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το θλιβόμενο σκυρόδεμα της πλάκας, το άνω πέλμα της χαλύβδινης διατομής, ο κορμός της χαλύβδινης διατομής, το κάτω πέλμα της χαλύβδινης διατομής και οι ράβδοι οπλισμού. Για καθένα από τα τμήματα αυτά της διατομής, μπορεί ένας αντίστοιχος κανόνας να ορίζει την επίδραση της θερμοκρασίας. Το



σκυρόδεμα σε εφελκυσμό της πλάκας και το σκυρόδεμα μεταξύ των πελμάτων της χαλύβδινης διατομής θα πρέπει να μη λαμβάνονται υπόψη.

Σε πλάτος 187,5mm έχουμε:

$$1,406 / (0,0955 + 0,0920) = 7,52 \text{ KNm/m} > 2,69 \text{ KNm/m}$$

$$M_{fi,Rd+} = 7,52 \text{ KNm/m}$$

Δηλαδή ισχύει  $M_{fi,Rd+} > M_{fi,Sd+}$  και άρα δεκτό.

γ) Υπολογισμός της αρνητικής καμπτικής ροπής αντοχής  $M_{fi,Rd-}$ :

Η αρνητική ροπή αντοχής σε κάμψη της πλάκας υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη μια μειωμένη διατομή. Τα τμήματα της διατομής, με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από μια συγκεκριμένη οριακή θερμοκρασία  $\theta_{lim}$ , δε λαμβάνονται υπόψη. Η εναπομένουσα διατομή θεωρείται ως υπό συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου. Η συμβολή του χαλυβδόφυλλου αμελείται (συντηρητική προσέγγιση).

Υπολογίζουμε το  $\theta_{lim}$ .

$$\theta_{lim} = d_0 + d_1 \cdot N_s + d_2 \cdot \frac{A}{L_r} + d_3 \cdot \Phi + d_4 \cdot \frac{1}{\ell_3}$$

Για σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή από πίνακα D.3.3 παίρνουμε τους συντελεστές  $d_i$

Πίνακας 6.14: Συντελεστές για τον προσδιορισμό της οριακής θερμοκρασίας περιορισμού.

Σκυρόδεμα	Αντοχή έναντι πυρκαγιάς [min]	$d_0$ [°C]	$d_1$ [°C] · N	$d_2$ [°C] · mm	$d_3$ [°C]	$d_4$ [°C] · mm
Σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή	60	867	$-1,9 \cdot 10^{-4}$	-8,75	-123	-1378
	90	1055	$-2,2 \cdot 10^{-4}$	-9,91	-154	-1990
	120	1144	$-2,2 \cdot 10^{-4}$	-9,71	-166	-2155
Σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή	30	524	$-1,6 \cdot 10^{-4}$	-3,43	-80	-392
	60	1030	$-2,6 \cdot 10^{-4}$	-10,95	-181	-1834
	90	1159	$-2,5 \cdot 10^{-4}$	-10,88	-208	-2233
	120	1213	$-2,5 \cdot 10^{-4}$	-10,09	-214	-2320

(έχει θεωρηθεί άνω σχάρα Φ8/20)

$$N_s = A_s \cdot f_{ay}$$

$$A_s = \frac{187,5}{200} \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 47,12 \text{ mm}^2$$

$$N_s = 47,12 \text{ mm}^2 \cdot 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 23,56 \text{ KN}$$

$$\theta_{im} = 1055 + (-2,2 \cdot 10^{-4}) \cdot 23561,94 - 9,91 \cdot 26,17 - 154 \cdot 0,647 + (-1990) \cdot \frac{1}{92} = 669,20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Προσδιορισμός της παραμέτρου z από την εξίσωση:

$$\theta_s = c_0 + \left( c_1 \cdot \frac{u_3}{h_2} \right) + (c_2 \cdot z) + \left( c_3 \cdot \frac{A}{L_r} \right) + (c_4 \cdot \alpha) + \left( c_5 \cdot \frac{1}{l_3} \right)$$

Θεωρώντας

$$\frac{u_3}{h_2} = 0,75$$

$$\theta_s = \theta_{im}$$

$$669,20 = 1342 - 256 \cdot 0,75 + (-235) \cdot z - 5,30 \cdot 26,17 + 1,39 \cdot 72,69 - 1267 \cdot \frac{1}{92} \Rightarrow$$

$$-235 \cdot z = -429,37 \Rightarrow z = 1,827$$

Οι συντεταγμένες των τεσσάρων σημείων I, II, III και IV δίδονται από:

$$X_I = 0$$

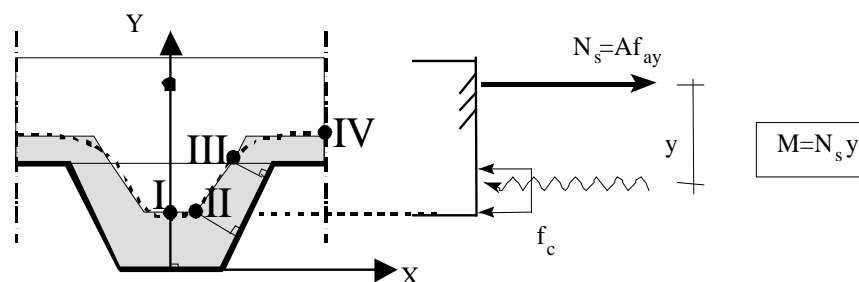
$$Y_I = Y_{II} = \frac{1}{\left( \frac{1}{z} - \frac{4}{\sqrt{l_1 + l_3}} \right)^2}$$

$$X_{II} = \frac{1}{2} l_2 + \frac{Y_I}{\sin \alpha} \cdot (\cos \alpha - 1)$$

$$\alpha = \arctan \left( \frac{2 h_2}{l_1 - l_2} \right)$$

με:

Εναπομένουσα Διατομή



$$X_{III} = \frac{1}{2} \ell_1 - \frac{b}{\sin \alpha}$$

$$Y_{III} = h_2$$

$$X_{IV} = \frac{1}{2} \ell_1 + \frac{1}{2} \ell_3$$

$$Y_{IV} = h_2 + b$$

$$\text{με: } a = \left( \frac{1}{z} - \frac{1}{\sqrt{h_2}} \right)^2 \ell_1 \sin \alpha$$

$$\text{με: } b = \frac{1}{2} \ell_1 \sin \alpha \left( 1 - \frac{\sqrt{a^2 - 4a + c}}{a} \right)$$

$$\text{με: } c = -8 \left( 1 + \sqrt{1+a} \right); a \geq 8$$

$$\text{με: } c = +8 \left( 1 + \sqrt{1+a} \right); a < 8$$

Επομένως οι συντεταγμένες της εναπομένουσας διατομής είναι οι εξής:  
έχω:

$$Y_I = Y_{II} = \frac{1}{\left( \frac{1}{1,827} - \frac{4}{\sqrt{95,5+92}} \right)^2} = 15,38 \text{ mm}$$

$$X_{II} = \frac{1}{2} * 50 + \frac{15,38}{\sin 72,69} * (\cos 72,69 - 1) = 13,68 \text{ mm}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{2*73}{95,5-50}\right) = 72,69^\circ$$

$$a = \left( \frac{1}{1,827} - \frac{1}{\sqrt{73}} \right) * 95,5 * \sin 72,69 = 39,23$$

$$b = \frac{1}{2} * 95,5 * \sin 72,69 * \left( 1 - \frac{\sqrt{39,23^2 - 4*39,23 - 58,74}}{39,23} \right)$$

$$b = 3,31$$

$$a \geq 8 \Rightarrow c = -8 * (1 + \sqrt{1+39,23}) = -58,74$$

$$X_{III} = \frac{1}{2} * 95,5 - \frac{3,31}{\sin 72,69} = 44,28 \text{ mm}$$

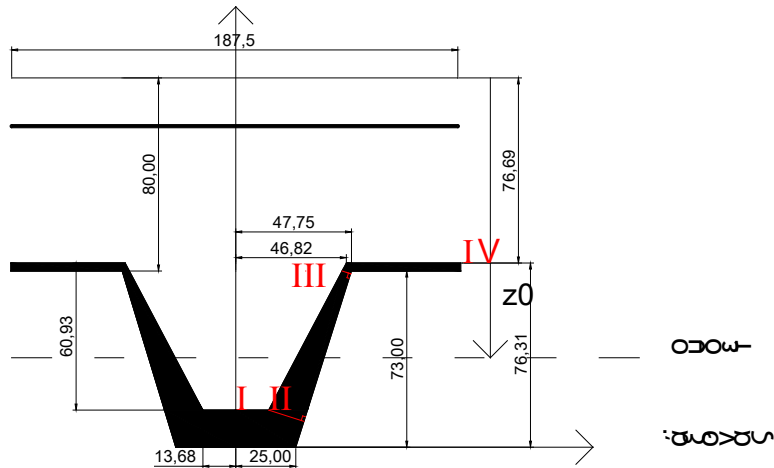
$$Y_{III} = 73 \text{ mm}$$

$$X_{IV} = \frac{1}{2} * 95,5 + \frac{1}{2} * 92 = 93,75 \text{ mm}$$

$$Y_{IV} = 73 + 3,31 = 76,31 \text{ mm}$$

Θεωρούμε ότι ο πλαστικός ουδέτερος άξονας είναι στην κυψέλη της εναπομένουσας διατομής. Υπολογίζεται με βάση την σχέση :

$$\sum_{i=1}^n A_i k_{y,\theta,i} \left( \frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,f_i,a}} \right) + \alpha_{slab} \sum_{j=1}^m A_j k_{c,\theta,j} \left( \frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,f_i,c}} \right) = 0$$



$$z_0 = 76,69 - \frac{23,56}{30,25 * 0,85 * 25 * 10^{-3}} = 40,04 \text{ mm}$$

$$M^- = N_s * y_s = 23,56 \text{ (KN)} * (40,04 - 20 + \frac{76,69 - 40,04}{2}) \text{ (mm)} = 903,88 \text{ KN} * \text{mm} = 0,904 \text{ KN} * \text{m}$$

$$\text{Σε } 187,5 \text{ mm έχουμε : } M^- = 0,904 / 0,1875 = 4,82 \text{ KN} * \text{m} / \text{m} > 4,78 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$$

Όπου  $4,78 \text{ KN} * \text{m} / \text{m}$  η δρώσα ροπή στο άνοιγμα.

Και άρα ισχύει  $M_{fi,Rd} > M_{fi,d}$  και άρα δεκτή η διατομή του χαλυβδόφυλλου που επιλέξαμε.

## 6.2.2 Παρατηρήσεις και Συμπεράσματα

- Απαιτείται ενδιάμεση υποστήριξη στο μέσον του φατνώματος κατά την φάση κατασκευής.
- Επάρκεια όλων των ελέγχων στη φάση κατασκευής και φάση λειτουργίας.
- Επάρκεια όλων των ελέγχων σε κατάσταση πυρκαγιάς για R90.
- Σωστή επιλογή δείκτη πυραντίστασης. Ικανοποιείται το κριτήριο μόνωσης.
- Τυχόν αξονική παρεμπόδιση της πλάκας δεν έχει ληφθεί υπόψη.
- Υψηλή πυροπροστασία με R90.
- Το κριτήριο E ακεραιότητας, να μην είναι δηλαδή δυνατόν να περάσουν μέσω της πλάκας φλόγες ή καπνός, θεωρείται ότι ικανοποιείται από τις σύμμικτες πλάκες λόγω του συνεχούς χαλυβδόφυλλου.
- Κρίσιμος στη στήριξη ο πάνω οπλισμός (σχάρα) που οφείλεται στις αρνητικές ροπές αφού η συμβολή των χαλυβδόφυλλων συντηρητικά αγνοείται όπως επίσης και το κάτω τμήμα που βρίσκεται σε  $\theta > \theta_{lim}$
- Για τις σύμμικτες πλάκες θεωρείται με βάση την πειραματική έρευνα ότι γενικά μπορούν να αναπτύξουν, υπό συνθήκες πυρκαγιάς, τις πλαστικές αντοχές τους. Με βάση την παραδοχή αυτή μπορεί να προσδιορίζεται η θέση του ουδέτερου άξονα και, εν συνέχεια, η ροπή αντοχής.

- Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν για σκυρόδεμα με κανονικά αδρανή.

### 6.3 Διερεύνηση

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αν απουσιάσουν οι ράβδοι οπλισμού Φ12 από τις νευρώσεις του χαλυβδόφυλλου στις περιοχές των ανοιγμάτων τότε η θετική καμπτική ροπή αντοχής της διατομής θα μειωθεί κατά περίπου 60%! πλησιάζοντας τη θετική δρώσα ροπή ( $M_{fi,d+} = 2,7 \text{KNm/m}$ ). Εφόσον έχουν επαρκή επικάλυψη αποτελούν τον οπλισμό που δίνει την απαιτούμενη εφελκυστική αντοχή σε κατάσταση πυρκαγιάς .

Δηλαδή οι αντίστοιχες ροπές αντοχής θα είναι οι εξής:

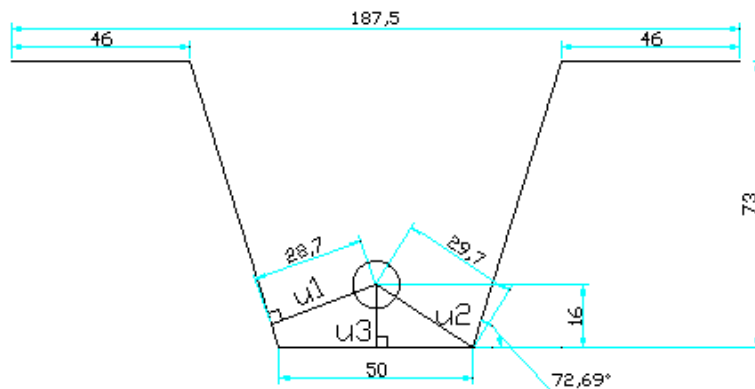
	Zi(KN)	zi(m)	Mi(KN*m <sub>⊥</sub> )
κάτω πέλμα	0,752	0,149	0,112
κορμός	2,887	0,112	0,323
άνω πέλμα	2,650	0,076	0,201
οπλισμός	0	0	0
σκυρόδεμα	16,946	0,002	-0,034
διατομής συν			0,602 KNm

Σε πλάτος 187,5mm θα έχουμε:

$$M_{fi,Rd+} = 0,602 / (0,0955 + 0,0920) = 3,2 \text{KNm/m}$$

Άρα μείωση της συνολικής αντοχής της διατομής κατά περίπου 60%

Αξιοσημείωτο είναι επίσης το πόσο κρίσιμη είναι η θέση των ράβδων μέσα στις νευρώσεις του χαλυβδόφυλλου στην τιμή της αντοχής όλης της διατομής. Στο πλαίσιο διερεύνησης επιχειρήθηκε αρχικά μείωση της κατακόρυφης αξονικής απόστασης από το κάτω πέλμα  $u_3$  κατά 1cm. Τα αποτελέσματα αναφέρονται για δεδομένο δείκτη πυραντίστασης R90, που αρχικά επιλέχθηκε. Παρακάτω παρουσιάζεται η πορεία:



$$a = 72,69^0$$

$$u_3 = 16mm$$

$$u_2 = 29,7mm$$

$$u_1 = 28,7mm$$

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}} = 0,187 + 0,183 + 0,25 = 0,62$$

Άρα

$$z' = 1,613$$

Επομένως η νέα θερμοκρασία ράβδων οπλισμού θα γίνει:

$$\theta_s' = 1342 - 256 * \frac{20}{73} - 235 * 1,613 - 5,3 * 26,17 + 1,39 * 72,69 - 1267 * \frac{1}{92} = 841,5^{\circ}C$$

και με γραμμική παρεμβολή από τον Πίνακα 6.13 παίρνουμε:

$$k_{y,\theta} = 0,08 + ((900 - 841,5) / (900 - 800)) * (0,11 - 0,08) = 0,098$$

Η νέα δύναμη εφελκυσμού των ράβδων θα είναι η εξής:

	Θερμοκ. $\theta_a$	$k_{y,\theta_i}$	$A_j$ mm <sup>2</sup>	$f_{y,i}$ MPa	$Z_i$ KN
οπλισμός	841,5	0,098	113,10	500	5,5

	Zi(KN)	zi(m)	Mi(KN*m)
κάτω πέλμα	0,752	0,149	0,112
κορμός	2,887	0,112	0,323
άνω πέλμα	2,650	0,076	0,201
οπλισμός	5,50	0,133	0,730
σκυρόδεμα	16,946	0,002	-0,034
διατομής συν			1,32 KNm

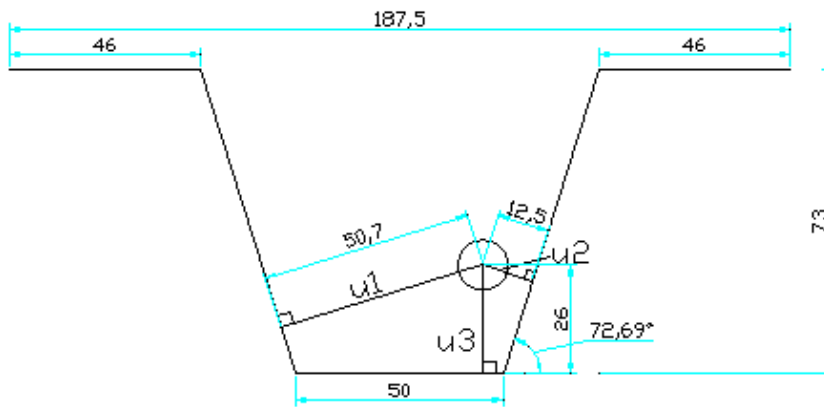
Σε πλάτος 187,5mm θα έχουμε:

$$M_{fi,Rd+} = 1,32 / (0,0955 + 0,0920) = 7KNm/m$$

Άρα μείωση της συνολικής αντοχής της διατομής κατά περίπου 7%

Με το ίδιο σκεπτικό επιχειρείται μείωση από την αρχική κατάσταση της αξονικής απόστασης  $u_2$  των ράβδων οπλισμού, πλησιάζοντας στον κορμό του χαλυβδόφυλλου κατά 2 εκατοστά. Τα αποτελέσματα αναφέρονται για δεδομένο δείκτη πυραντίστασης R90, που αρχικά επιλέχθηκε. Η επίδραση της αλλαγής αυτής παρουσιάζεται παρακάτω.

Η νέα διάταξη των οπλισμών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



$$a = 72,69^{\circ}$$

$$u_3 = 26\text{mm}$$

$$u_2 = 12,5\text{mm}$$

$$u_1 = 50,7\text{mm}$$

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}} = 0,14 + 0,283 + 0,196 = 0,619$$

Άρα

$$z' = 1,616$$

Επομένως η νέα θερμοκρασία ράβδων οπλισμού θα γίνει:

$$\theta_s' = 1342 - 256 * \frac{20}{73} - 235 * 1,616 - 5,3 * 26,17 + 1,39 * 72,69 - 1267 * \frac{1}{92} = 840,7^{\circ}\text{C}$$

και με γραμμική παρεμβολή από τον Πίνακα 3.4 παίρνουμε:

$$k_{y,\theta} = 0,08 + ((900 - 841,5) / (900 - 800)) * (0,11 - 0,08) = 0,098$$

Η νέα δύναμη εφελκυσμού των ράβδων θα είναι η εξής:

	Θερμοκ. $\theta_a$	$k_{y,\theta_i}$	$A_i$ mm <sup>2</sup>	$f_{y,i}$ MPa	$Z_i$ KN
οπλισμός	840,7	0,098	113,10	500	5,5

	Zi(KN)	zi(m)	Mi(KN*m <sub>o</sub> )
κάτω πέλμα	0,752	0,149	0,112
κορμός	2,887	0,112	0,323
άνω πέλμα	2,650	0,076	0,201
οπλισμός	5,50	0,123	0,676

σκυρόδεμα	16,946	0,002	-0,034
διατομής συν			1,28 KNm

Σε πλάτος 187,5mm θα έχουμε:

$$M_{fi,Rd+} = 1,28 / (0,0955 + 0,0920) = 6,83 \text{ KNm/m}$$

Άρα μείωση της συνολικής αντοχής της διατομής κατά περίπου 10%
--



## 7 Παράρτημα G: Προσομοίωμα ισόρροπου αθροίσματος για τον υπολογισμό της αντοχής έναντι πυρκαγιάς σύμμικτων υποστυλωμάτων, με μερικώς εγκιβωτισμένες διατομές χάλυβα, για κάμψη περί τον ασθενή άξονα, τα οποία εκτίθενται σε πυρκαγιά γύρω από το υποστύλωμα σύμφωνα με την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου.

### 7.1 Εισαγωγή

Στο παρόν παράρτημα του EN1994-1-2 παρουσιάζεται μια μέθοδος υπολογισμού της αντοχής έναντι πυρκαγιάς μερικώς εγκιβωτισμένων σύμμικτων υποστυλωμάτων.

Σύμφωνα με της βασικές διατάξεις του EN1994-1-2 στα απλά προσομοιώματα υπολογισμού η τιμή σχεδιασμού, στην κατάσταση πυρκαγιάς, της αντοχής των σύμμικτων υποστυλωμάτων σε αξονική θλίψη (φορτίο λυγισμού) θα πρέπει να λαμβάνεται από:

$$N_{f_i,Rd} = \chi N_{f_i,pl,Rd} \quad (7.1)$$

όπου:

$\chi$  είναι ο συντελεστής μείωσης για την καμπύλη λυγισμού  $c$  του 6.3.1 του EN 1993-1-1 και εξαρτάται από την σχετική λυγηρότητα  $\bar{\lambda}_\theta$ ,

$N_{f_i,pl,Rd}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της πλαστικής αντοχής στην αξονική θλίψη στην κατάσταση πυρκαγιάς. Το συγκεκριμένο προσομοίωμα έχει αναπτυχθεί μόνο για τον άξονα Z

Για τον υπολογισμό της τιμής σχεδιασμού της πλαστικής αντοχής σε αξονική θλίψη  $N_{f_i,pl,Rd}$  και της ενεργούς δυσκαμψίας σε κάμψη  $(EI)_{f_i,eff,z}$  στην κατάσταση πυρκαγιάς, η διατομή διαιρείται σε τέσσερα συστατικά μέρη:

- τα πέλματα της χαλύβδινης διατομής,
- τον κορμό της χαλύβδινης διατομής,
- το σκυρόδεμα το οποίο εγκιβωτίζεται από τη χαλύβδινη διατομή και
- τις ράβδους οπλισμού.

Κάθε μέρος μπορεί να αξιολογείται βάσει μιας μειωμένης χαρακτηριστικής αντοχής, ενός μειωμένου μέτρου ελαστικότητας και μιας μειωμένης διατομής σύμφωνα με την πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς R30, R60, R90 ή R120.

Η τιμή σχεδιασμού της πλαστικής αντοχής σε αξονική θλίψη και η ενεργός δυσκαμψία σε κάμψη της διατομής μπορεί να λαμβάνεται, από το ισόρροπο άθροισμα των αντίστοιχων τιμών των τεσσάρων συστατικών μερών. Δηλαδή ως εξής :

$$N_{f_i,pl,Rd} = \sum_j (A_{a,\theta} f_{ay,\theta}) / \gamma_{M,f_i,a} + \sum_k (A_{s,\theta} f_{sy,\theta}) / \gamma_{M,f_i,s} + \sum_m (A_{c,\theta} f_{c,\theta}) / \gamma_{M,f_i,c} \quad (7.2)$$

όπου:

$A_{i,\theta}$  είναι η επιφάνεια κάθε στοιχείου της διατομής στο οποίο αποδίδεται μια συγκεκριμένη θερμοκρασία  $\theta$ .

$$(EI)_{f_i,eff} = \sum_j \left( \varphi_{a,\theta} E_{a,\theta} I_{a,\theta} \right) + \sum_k \left( \varphi_{s,\theta} E_{s,\theta} I_{s,\theta} \right) + \sum_m \left( \varphi_{c,\theta} E_{c,sec,\theta} I_{c,\theta} \right)$$

όπου:

$I_{i,\theta}$  είναι η ροπή αδρανείας, του μερικώς μειωμένου τμήματος  $i$  της διατομής για κάμψη γύρω από τον ασθενή ή ισχυρό άξονα,

$\varphi_{i,\theta}$  είναι ο συντελεστής μείωσης ο οποίος εξαρτάται από την επίδραση των θερμικών τάσεων.

$E_{c,sec,\theta}$  είναι η χαρακτηριστική τιμή για το επιβατικό μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος στην κατάσταση πυρκαγιάς, η οποία δίδεται από  $f_{c,\theta}$  και διαιρείται δια του  $\varepsilon_{cu,\theta}$

Οι ιδιότητες αντοχής και παραμόρφωσης του χάλυβα και του σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες συμμορφώνονται με τις αντίστοιχες αρχές και τους κανόνες του EN1994-1-2. Τέλος υπάρχουν έτοιμα διαγράμματα για τον υπολογισμό του αξονικού φορτίου, τα οποία ισχύουν κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις.

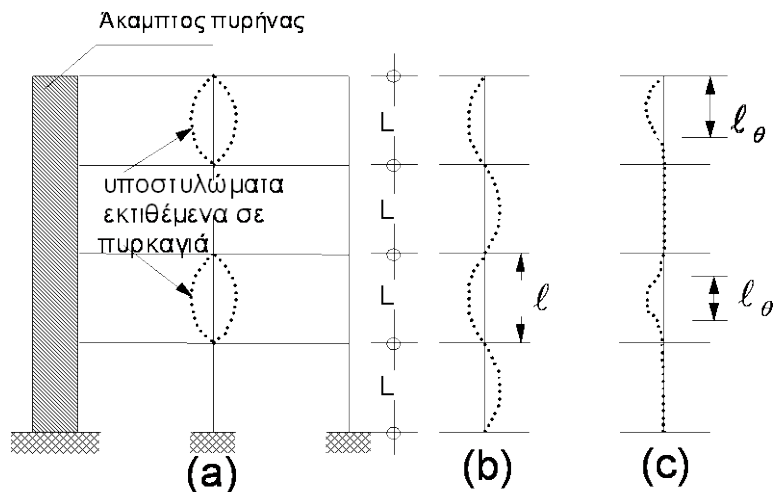
Παρατίθεται αυτούσιο το παράρτημα και στην συνέχεια τρεις αριθμητικές εφαρμογές.

Η 1<sup>η</sup> αριθμητική εφαρμογή που ακολουθεί εξετάζει την περίπτωση μερικώς εγκιβωτισμένου υποστυλώματος, πρότυπης χαλύβδινης διατομής, το οποίο αποτελεί μέρος κτιρίου γραφείων και έχει απαίτηση αντοχής έναντι πυρκαγιάς R60 και στην συνέχεια κάνουμε σύγκριση με τα ποινικοποιημένα αποτελέσματα.

Ακολουθούν συμπεράσματα και παρατηρήσεις και στη συνέχεια περαιτέρω διερεύνηση με αριθμητικές εφαρμογές αναβαθμίζοντας κάποιο από τα δεδομένα της πρώτης εφαρμογής και εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

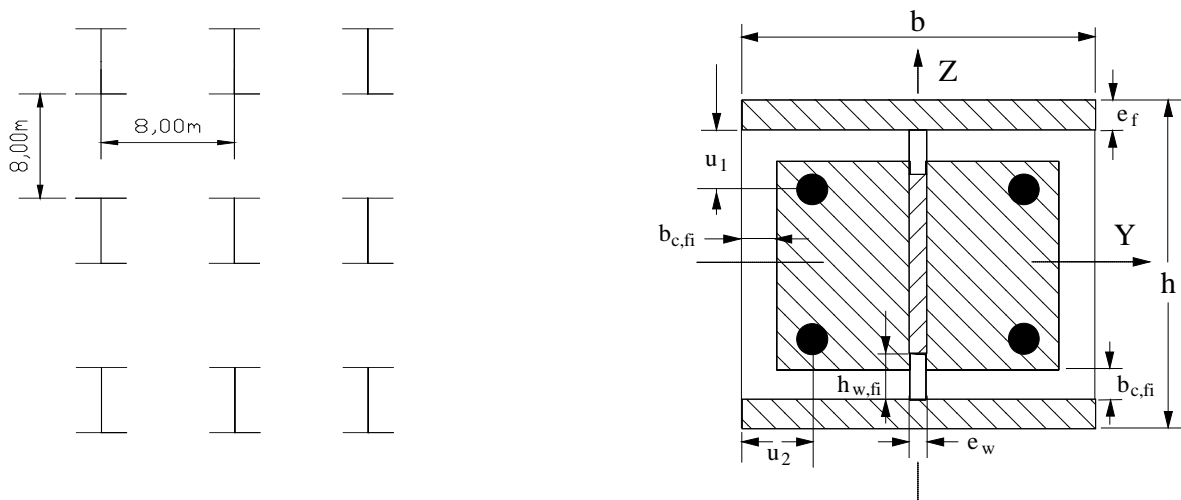
## 7.2 Αριθμητική εφαρμογή 1<sup>η</sup>

### 7.2.1 Μερικώς εγκιβωτισμένο υποστώλωμα σε κατάσταση πυρκαγιάς



- a) εγκάρσια τομή μέσα από το κτίριο  
 b) παραμόρφωση σε θερμοκρασία δωματίου  
 c) παραμόρφωση σε υψηλή θερμοκρασία

Σχήμα 1



Σχήμα 2

Πρόκειται για κτίριο με 4 ορόφους και χιαστή κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας. Το ύψος του υποστυλώματος  $L$  μεταξύ των ορόφων είναι 4m. Το υποστώλωμα είναι μέρος σύμμικτου πλαισίου καθένας από τους ορόφους μπορεί να θεωρείται ως πυροδιαμέρισμα με επαρκή αντοχή έναντι πυρκαγιάς.

Το μήκος λυγισμού  $l_\theta$  σε κατάσταση πυρκαγιάς είναι μειωμένο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Θα εξετάσουμε ένα υποστώλωμα σε ενδιάμεσο όροφο. Σε αυτή την περίπτωση το  $l_\theta$  δίνεται από το  $L_{ei}$

Η απαιτούμενος δείκτης πυραντίστασης που θα εξετάσουμε είναι R60.  
Διατομή χάλυβα : HEB 280

S235

$$h = 280\text{mm}$$

$$b = 280\text{mm}$$

$$e_w = 10,5\text{mm}$$

$$e_f = 18\text{mm}$$

$$A_a = 13140\text{mm}^2$$

$$f_y = 235\text{N} / \text{mm}^2$$

$$E_a = 210000\text{N} / \text{mm}^2$$

$$I_z = 6,595 * 10^7 \text{mm}^4$$

Οπλισμός : 4Φ25

S500

$$A_s = 4 * \frac{\pi * 25^2}{4} = 1963,50\text{mm}^2$$

$$E_s = 210000\text{N} / \text{mm}^2$$

$$u_s = 50\text{mm}$$

$$I_s = 1963,5 * \left(\frac{280}{2} - 50\right)^2 = 1,59 * 10^7 \text{mm}^4$$

Σκυρόδεμα : C25/30

$$A_c = 280 * 280 - 1963,5 - 13140 = 63296,5\text{mm}^2$$

$$f_c = 25\text{N} / \text{mm}^2$$

$$E_{cm} = 30500\text{N} / \text{mm}^2$$

$$I_c = 280 * \frac{280^3}{12} - 6,595 * 10^7 - 1,59 * 10^7 = 43,036 * 10^7 \text{mm}^4$$

Φορτία :

Φορτία βάσει EN1994-1-2 παραρτήματος D.

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

$$\text{Φορτίο σχεδιασμού : } q_{sd} = 1,35 * (0,13 + 2,7 + 1,2) + 1,5 * 3,5 = 10,69 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$\text{Άρα : } N_{sd} = 10,69 * 8 * 8 * 4 = 2736,64 \text{ KN}$$

Η πλαστική αντοχή της σύμμεικτης διατομής πρέπει να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το άθροισμα των πλαστικών αντοχών των επιμέρους στοιχείων:

$$N_{pl,Rd} = A_a * f_y / \gamma_{Ma} + A_c * (0,85 * f_{ck} / \gamma_c) + A_s * f_{sk} / \gamma_s$$

$$\gamma_{Ma} = 1,10$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\text{Όπου : } \gamma_s = 1,15$$

$$N_{pl,Rd} = A_a * f_y / \gamma_{Ma} + A_c * (0,85 * f_{ck} / \gamma_c) + A_s * f_{sk} / \gamma_s$$

$$\text{Άρα : } = 13140 * 235 / 1,1 + 63296,5 * 0,85 * 25 / 1,5 + 1963,5 * 500 / 1,15 = 4558KN$$

Η ενεργός ελαστική δυσκαμψία υπολογίζεται ως εξής :

$$(EI)_e = E_a I_a + 0,8 E_{cd} I_c + E_s I_s = 210000 * 6,595 * 10^7 + 0,8 * (30500 / 1,35) * 43,036 * 10^7 + 210000 * 1,59 * 10^7$$

$$= 2496686 * 10^7 N * mm^2 = 24967 * 10^9 N * mm^2 \approx 25 * 10^9 kN * mm^2$$

Το μήκος λυγισμού του υποστυλώματος σε συνήθεις συνθήκες μπορούμε να το λάβουμε υπόψη ως ίσος με την απόσταση L μεταξύ των κόμβων του πλαισίου, στα σημεία όπου συντρέχουν τα άκρα του υποστυλώματος.

Το ελαστικό κρίσιμο φορτίο στο μήκος του υποστυλώματος υπολογίζεται από την σχέση :

$$N_{cr} = \pi^2 (EI)_e / l^2 = \pi^2 * 2496686 * 10^7 / 4000^2 = 15401KN$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα στο επίπεδο κάμψεως δίνεται από τον τύπο :

$$\lambda = \sqrt{N_{pl,R} / N_{cr}} = \sqrt{4558 / 15401} = 0,55$$

Όπου  $N_{pl,R}$  είναι η τιμή  $N_{pl,Rd}$  όταν οι συντελεστές  $\gamma_M$  όπως  $\gamma_{Ma}, \gamma_c, \gamma_s$  θεωρηθούν ίση με 1,0

Χρησιμοποιώντας το  $\bar{\lambda}$  και την καμπύλη λυγισμού c του EN 1993-1-1 μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής μείωσης  $\chi_z$  και το αξονικό φορτίο λυγισμού σχεδιασμού σε συνήθεις συνθήκες λαμβάνεται από:

$$N_{Rd} = \chi N_{pl,Rd}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,55^2}} = 0,92 \leq 1 \text{ ο.κ}$$

$$\text{Όπου, } \Phi = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}^2 - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,55^2 - 0,2) + 0,55^2) = 0,68$$

Όπου  $\alpha$  συντελεστής ατελειών.

$$N_{Rd} = \chi N_{pl,Rd} = 0,92 * 4558 = 4193KN > N_{sd} = 2736,64KN$$

## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Σε κατάσταση πυρκαγιάς :

$$E_{dA} = E(\sum G_K + A_d + \sum \psi_{2,i} Q_{K,i})$$

Για  $\psi_{2,1} = 0,3$  έχω :

$$Q = (0,13 + 2,7 + 1,2) + 0,3 * 3,5 = 5,08 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$N_{fi,d} = 5,08 * 8 * 8 * 4 = 1300,48 \text{ KN}$$

## ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Μήκος λυγισμού  $l_\theta = 0,5 * 4000 = 2000 \text{ mm} < 13,5 * b = 13,5 * 280 = 3780 \text{ mm}$  ο.κ

Ύψος της διατομής :  $230 \leq h = 280 \text{ mm} \leq 1100$  ο.κ

Πλάτος της διατομής :  $230 \leq b = 280 \text{ mm} \leq 500$  ο.κ

Ποσοστό χάλυβα οπλισμού :  $1\% \leq \frac{A_s}{(A_s + A_c)} = \frac{1963,5}{1963,5 + 63296,5} \approx 3\% \leq 6\%$

Πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς :  $R60 \Rightarrow 60 \text{ min} < 120 \text{ min}$

## G.2 ΠΕΛΜΑΤΑ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

(1) Η μέση θερμοκρασία πέλματος μπορεί να προσδιορίζεται από:

$$\theta_{f,t} = \theta_{o,t} + k_t (A_m / V)$$

όπου:

$t$  είναι η διάρκεια σε λεπτά της έκθεσης σε πυρκαγιά

$A_m / V$  είναι ο συντελεστής διατομής σε  $\text{m}^{-1}$ , με  $A_m = 2 (h + b)$  σε [m] και  $V = h \cdot b$  σε  $[\text{m}^2]$

$\theta_{o,t}$  είναι μια θερμοκρασία σε  $^\circ\text{C}$  η οποία δίδεται στον Πίνακα G.1

$k_t$  είναι ο εμπειρικός συντελεστής που δίδεται στον Πίνακα G.1.

$$\text{Έχουμε : } \frac{A_m}{V} = \frac{2 * (h + b)}{h * b} = \frac{2 * (0,28 + 0,28)}{0,28 * 0,28} = 14,3 \text{ m}^{-1}$$

Πίνακας 7.1: Παράμετροι της θερμοκρασίας πέλματος

Πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς	$\theta_{o,t}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$k_t$ [ $\text{m}^\circ\text{C}$ ]
R30	550	9,65
R60	680	9,55
R90	805	6,15
R120	900	4,65

$$\text{Για R60 : } k_t = 9,55 (\text{m}^\circ\text{C}) \quad \theta_{f,t} = 680 + 9,55 * 14,3 = 817^\circ\text{C}$$

(2) Για τη  $\theta = \theta_{f,t}$  το αντίστοιχο μέγιστο επίπεδο τάσης και το μέτρο ελαστικότητας προσδιορίζονται από:

$$f_{ay,f,t} = f_{ay,f} k_{y,\theta}$$

$$\text{και } E_{a,f,t} = E_{a,f} k_{E,\theta}$$

Βρίσκουμε τα  $k_{y,\theta}$  και  $k_{E,\theta}$  από τον πίνακα 3.2.

Πίνακας 7.2: Συντελεστές μείωσης  $k_y$  για τις σχέσεις τάσης – παραμόρφωσης του δομικού χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία χάλυβα $\theta_a [^\circ\text{C}]$	$k_{E,\theta} = \frac{E_{a,\theta}}{E_a}$	$k_{p,\theta} = \frac{f_{ap,\theta}}{f_{ay}}$	$k_{y,\theta} = \frac{f_{ay,\theta}}{f_{ay}}$	$k_{u,\theta} = \frac{f_{au,\theta}}{f_{ay}}$
20	1,00	1,00	1,00	1,25
100	1,00	1,00	1,00	1,25
200	0,90	0,807	1,00	1,25
300	0,80	0,613	1,00	1,25
400	0,70	0,420	1,00	
500	0,60	0,360	0,78	
600	0,31	0,180	0,47	
700	0,13	0,075	0,23	
800	0,09	0,050	0,11	
900	0,0675	0,0375	0,06	
1000	0,0450	0,0250	0,04	
1100	0,0225	0,0125	0,02	
1200	0	0	0	

$$k_{y,\theta} = 0,0600 + ((900 - 817) / (900 - 800)) * (0,11 - 0,0600) = 0,102$$

$$k_{E,\theta} = 0,0675 + ((900 - 817) / (900 - 800)) * (0,09 - 0,0675) = 0,086$$

(3) Η τιμή σχεδιασμού της πλαστικής αντοχής σε αξονική θλίψη και η δυσκαμψία σε κάμψη των δύο πελμάτων της διατομής από χάλυβα στην κατάσταση πυρκαγιάς προσδιορίζονται:

$$N_{f_i,pl,Rd,f} = 2 * (b * e_f * f_{ay,f,t}) / \gamma_{M,f_i,a} = 2 * (b * e_f * k_{y,\theta} * f_{a,y,f}) / \gamma_{M,f_i,a} =$$

$$2 * (280 * 18 * 0,102 * 235) / 1,0 = 241618N = 241,6KN$$

$$(EI)_{f_i,f,z} = E_{a,f,t} * (e_f * b^3) / 6 = k_{E,\theta} * E_{a,f} * (e_f * b^3) / 6$$

$$= 0,086 * 210000 * (18 * 280^3) / 6 = 1,19 * 10^{12} N * mm^2 = 1,2 * 10^9 KN * mm^2$$

#### ΚΟΡΜΟΣ ΤΗΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

(1) Το τμήμα του κορμού ύψους  $h_{w,f_i}$  που ξεκινά στο εσωτερικό άκρο του πέλατος μπορεί να αμελείται (βλέπε Σχήμα 2). Αυτό το τμήμα προσδιορίζεται από:

$$h_{w,f_i} = 0,5 (h - 2e_f) \left( 1 - \sqrt{1 - 0,16 (H_t/h)} \right)$$

όπου το  $H_t$  δίδεται στον Πίνακα 7.3.

Πίνακας 7.3: Παράμετρος για την μείωση του ύψους του κορμού

Πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς	$H_t$ [mm]
R 30	350
R 60	770
R 90	1100
R 120	1250

Για R60 :  $h_{w,fi} = 0,5 * (280 - 2 * 18) * (1 - \sqrt{1 - 0,16 * (770 / 280)}) = 30,7mm$

(2) Το μέγιστο επίπεδο τάσεων λαμβάνεται από:

$$f_{ay,w,t} = f_{ay,w} * \sqrt{1 - (0,16 * H_t / h)} = 0,235 * \sqrt{1 - 0,16 * (770 / 280)} = 0,176KN / mm^2$$

(3) Η τιμή σχεδιασμού της πλαστικής αντοχής σε αξονική θλίψη και η δυσκαμψία σε κάμψη του κορμού της χαλύβδινης διατομής στην κατάσταση πυρκαγιάς προσδιορίζονται από:

$$N_{fi,pl,Rd,w} = \left[ e_w * (h - 2 * e_f - 2 * h_{w,fi}) * f_{ay,w,t} \right] / \gamma_{M,fi,a}$$

$$= [10,5 * (280 - 2 * 18 - 2 * 30,7) * 0,176] / 1,0 = 337,4KN$$

$$(EI)_{fi,w,z} = \left[ E_{a,w} * (h - 2 * e_f - 2 * h_{w,fi}) * e_w^3 \right] / 12$$

$$= [210 * (280 - 2 * 18 - 2 * 30,7) * 10,5^3] / 12 = 3,7 * 10^6 KN * mm^2$$

### ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

(1) Μια εξωτερική επίστρωση σκυροδέματος πάχους  $b_{c,fi}$  μπορεί να αμελείται κατά τον υπολογισμό (βλέπε Σχήμα 2). Το πάχος  $b_{c,fi}$  δίδεται στον Πίνακα 7.4, με  $A_m / V$ , τον συντελεστή διατομής σε  $m^{-1}$  για ολόκληρη τη σύμμεικτη διατομή.

Πίνακας 7.4: Μείωση του πάχους της διατομής σκυροδέματος

Πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς	$b_{c,fi}$ [mm]
R30	4,0
R60	15,0
R90	$0,5 (A_m / V) + 22,5$
R120	$2,0 (A_m / V) + 24,0$

Για R60 :  $b_{c,fi} = 15,0mm$

(2) Η μέση θερμοκρασία στο σκυρόδεμα  $\theta_{c,t}$  δίδεται στον Πίνακα 7.5 σε συνάρτηση με τον συντελεστή διατομής  $A_m / V$  ολόκληρης της σύμμεικτης διατομής και τις κατηγορίες πρότυπης αντοχής έναντι πυρκαγιάς.



Πίνακας 7.5: Μέση θερμοκρασία σκυροδέματος

R30		R60		R90		R120	
$A_m / V$ [m <sup>-1</sup> ]	$\theta_{c,t}$ [°C]	$A_m / V$ [m <sup>-1</sup> ]	$\theta_{c,t}$ [°C]	$A_m / V$ [m <sup>-1</sup> ]	$\theta_{c,t}$ [°C]	$A_m / V$ [m <sup>-1</sup> ]	$\theta_{c,t}$ [°C]
4	136	4	214	4	256	4	265
23	300	9	300	6	300	5	300
46	400	21	400	13	400	9	400
-	-	50	600	33	600	23	600
-	-	-	-	54	800	38	800
-	-	-	-	-	-	41	900
-	-	-	-	-	-	43	1000

Για R60 και  $A_m / V = 14,3m^{-1}$  με γραμμική παρεμβολή έχουμε :

$$\theta_{c,t} = 400 - ((21 - 14,3) / (21 - 9)) * (400 - 300) = 344^{\circ}C$$

(3) Για τη θερμοκρασία  $\theta = \theta_{c,t}$  το επιβατικό μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος λαμβάνεται από:

$$E_{c,sec,\theta} = f_{c,\theta} / \varepsilon_{cu,\theta} = f_c * k_{c,\theta} / \varepsilon_{cu,\theta} \text{ με το } k_{c,\theta} \text{ και το } \varepsilon_{cu,\theta} \text{ σύμφωνα με τον Πίνακα 7.6.}$$

Πίνακας 7.6: Τιμές για τις δύο κύριες παραμέτρους των σχέσεων τάσης-παραμόρφωσης του σκυροδέματος κανονικών αδρανών (NC) και του σκυροδέματος ελαφρών αδρανών (LC) σε υψηλές θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία σκυροδέματος $\theta_c$ [°C]	$k_{c,\theta} = f_{c,\theta} / f_c$		$\varepsilon_{cu,\theta} \cdot 10^3$
	NC	LC	NC
20	1	1	2,5
100	1	1	4,0
200	0,95	1	5,5
300	0,85	1	7,0
400	0,75	0,88	10,0
500	0,60	0,76	15,0
600	0,45	0,64	25,0
700	0,30	0,52	25,0
800	0,15	0,40	25,0
900	0,08	0,28	25,0
1000	0,04	0,16	25,0
1100	0,01	0,04	25,0
1200	0	0	-

Σημείωση: Μετά από αριθμητικές δοκιμές εκτιμώ ότι ο συντελεστής παραμόρφωσης του σκυροδέματος  $\varepsilon_{cu,\theta}$  πρέπει να πολλαπλασιάζεται με αρνητική εκθετική δύναμη και όχι θετική όπως αναγράφεται στον Πίνακα 7.6. Δηλαδή να είναι  $\varepsilon_{cu,\theta} \cdot 10^{-3}$

Με αυτή την αλλαγή συνεχίζονται οι υπολογισμοί μου.

$$k_{c,\theta} = 0,75 + ((400 - 344) / (400 - 300)) * (0,85 - 0,75) = 0,806$$

$$\varepsilon_{cu,\theta} = \{10 - ((400 - 344) / (400 - 300)) * (10 - 7)\} * 10^{-3} = 8,32 * 10^{-3}$$

$$E_{c,sec,\theta} = f_{c,\theta} / \varepsilon_{cu,\theta} = f_c * k_{c,\theta} / \varepsilon_{cu,\theta} = 25 * 0,806 / (8,32 * 10^{-3}) = 2,42 * 10^3 \text{ N} / \text{mm}^2 = 2,42 \text{ kN} / \text{m}^2$$

(4) Η τιμή σχεδιασμού της πλαστικής αντοχής σε αξονική θλίψη και η καμπτική δυσκαμψία του σκυροδέματος στην κατάσταση πυρκαγιάς προσδιορίζονται από:

$$N_{f_i,pl,Rd,c} = 0,86 * \left\{ \left( (h - 2 * e_f - 2 * b_{c,f_i}) * (b - e_w - 2 * b_{c,f_i}) \right) - A_s \right\} * f_{c,\theta} / \gamma_{M,f_i,c}$$

$$= 0,86 * \{ ((28 - 2 * 1,8 - 2 * 1,5) * (28 - 1,05 - 2 * 1,5)) - 19,63 \} * \frac{(0,806 * 2,5)}{1,0} = 854,2 \text{ KN}$$

όπου

As είναι η διατομή των ράβδων οπλισμού, και το 0,86 είναι ο συντελεστής βαθμονόμησης.

$$(EI)_{f_i,c,z} = E_{c,sec,\theta} \left[ \left\{ (h - 2 * e_f - 2 * b_{c,f_i}) \left( (b - 2 * b_{c,f_i})^3 - e_w^3 \right) / 12 \right\} - I_{s,z} \right]$$

$$= 2,42 * \{ ((280 - 2 * 18 - 2 * 15) * ((280 - 2 * 15)^3 - 10,5^3) / 12) - 1,59 * 10^7 \} = 6,45 * 10^8 \text{ kN} * \text{mm}^2$$

όπου το  $I_{s,z}$  είναι ροπή αδρανείας των ράβδων οπλισμού ως προς τον κεντρικό άξονα Z της σύμμεκτης διατομής.

### ΡΑΒΔΟΙ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

(1) Ο συντελεστής μείωσης  $k_{y,t}$  του ορίου διαρροής και ο συντελεστής μείωσης  $k_{E,t}$  του μέτρου ελαστικότητας των ράβδων οπλισμού, ορίζονται ανάλογα με την πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς και το γεωμετρικό μέσο όρο  $u$  της αξονικής απόστασης του οπλισμού από τα εξωτερικά όρια του σκυροδέματος (βλέπε Πίνακες 7.6 και 7.7).

Πίνακας 7.7: Συντελεστής μείωσης  $k_{y,t}$  για το όριο διαρροής  $f_{sy}$  των ράβδων οπλισμού

u[mm]	40	45	50	55	60
Πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς					
R30	1	1	1	1	1
R60	0,789	0,883	0,976	1	1
R90	0,314	0,434	0,572	0,696	0,822
R120	0,170	0,223	0,288	0,367	0,436

Πίνακας 7.8: Συντελεστής μείωσης  $k_{E,t}$  για το μέτρο ελαστικότητας  $E_s$  των ράβδων οπλισμού

u[mm]	40	45	50	55	60
Πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς					
R30	0,830	0,865	0,888	0,914	0,935
R60	0,604	0,647	0,689	0,729	0,763
R90	0,193	0,283	0,406	0,522	0,619
R120	0,110	0,128	0,173	0,233	0,285

(2) Ο γεωμετρικός μέσος όρος  $u$  των αξονικών αποστάσεων  $u_1$  και  $u_2$  λαμβάνεται από:

$$u = \sqrt{u_1 * u_2}$$

όπου:

$u_1$  είναι η αξονική απόσταση της εξωτερικής ράβδου οπλισμού από το εσωτερικό άκρο του πέλματος [mm]

$u_2$  είναι η αξονική απόσταση της εξωτερικής ράβδου οπλισμού από την επιφάνεια του σκυροδέματος [mm]

$$\text{Έχουμε : } u = \sqrt{u_1 * u_2} = \sqrt{50 * 50} = 50 \text{ mm}$$

$$R60, u = 50 \text{ mm} \Rightarrow k_{y,t} = 0,976, k_{E,t} = 0,689$$

Η τιμή σχεδιασμού της πλαστικής αντοχής σε αξονική θλίψη και η καμπτική δυσκαμψία των ράβδων οπλισμού στην κατάσταση πυρκαγιάς δίδεται από:

$$N_{f_i,pl,Rd,s} = A_s * k_{y,t} * f_{sy} / \gamma_{M,f_i,s} = 1963,5 * 0,976 * 500 / 1,0 = 958188 \text{ N} = 958,2 \text{ kN}$$

$$(EI)_{f_i,s,z} = k_{E,t} * E_s * I_{s,z} = 0,689 * 210000 * 1,59 * 10^7 = 230 * 10^{10} \text{ N} * \text{mm}^2 = 2,3 * 10^9 \text{ KN} * \text{mm}^2$$

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

(1) Η τιμή σχεδιασμού της πλαστικής αντοχής σε αξονική θλίψη της διατομής στην κατάσταση πυρκαγιάς προσδιορίζεται από:

$$N_{f_i,pl,Rd} = N_{f_i,pl,Rd,f} + N_{f_i,pl,Rd,w} + N_{f_i,pl,Rd,c} + N_{f_i,pl,Rd,s}$$

$$= 253,5 + 337,4 + 854,2 + 958,2 = 2403,3 \text{ kN}$$

Η ενεργός καμπτική δυσκαμψία της διατομής στην κατάσταση πυρκαγιάς προσδιορίζεται από:

$$(EI)_{f_i,eff,z} = \varphi_{f,\theta} (EI)_{f_i,f,z} + \varphi_{w,\theta} (EI)_{f_i,w,z} + \varphi_{c,\theta} (EI)_{f_i,c,z} + \varphi_{s,\theta} (EI)_{f_i,s,z}$$

,όπου το  $\varphi_{i,\theta}$  είναι ένας συντελεστής μείωσης εξαρτώμενος από την επίδραση των θερμικών τάσεων. Οι τιμές του  $\varphi_{i,\theta}$  δίδονται στον Πίνακα 7.9..

Πίνακας 7.9: Συντελεστές μείωσης για την καμπτική δυσκαμψία

Πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς	$\varphi_{f,\theta}$	$\varphi_{w,\theta}$	$\varphi_{c,\theta}$	$\varphi_{s,\theta}$
R30	1,0	1,0	0,8	1,0
R60	0,9	1,0	0,8	0,9
R90	0,8	1,0	0,8	0,8
R120	1,0	1,0	0,8	1,0

$$(EI)_{fi,eff,z} = \varphi_{f,\theta} (EI)_{fi,f,z} + \varphi_{w,\theta} (EI)_{fi,w,z} + \varphi_{c,\theta} (EI)_{fi,c,z} + \varphi_{s,\theta} (EI)_{fi,s,z}$$

$$= 0,9 * 1,2 * 10^9 + 1,0 * 3,7 * 10^6 + 0,8 * 6,45 * 10^8 + 0,9 * 2,3 * 10^9$$

Για R60 :  $= 3,67 * 10^9 = 3,67 * 10^9 \text{ KN} * \text{mm}^2$

(2) Το φορτίο λυγισμού κατά Euler ή το κρίσιμο ελαστικό φορτίο είναι τότε:

$$N_{fi,cr,z} = \pi^2 (EI)_{fi,eff,z} / \ell_\theta^2 = 3,14^2 * 3,67 * 10^9 / (0,5 * 4000)^2 = 9046,2 \text{ KN}$$

(3) Ο αδιάστατος λόγος λυγηρότητας λαμβάνεται από:

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{N_{fi,pl,R} / N_{fi,cr,z}} = \sqrt{2403,3 / 9046,2} = 0,515$$

όπου:

$N_{fi,pl,R}$  είναι η τιμή του  $N_{fi,pl,Rd}$  όταν οι συντελεστές  $\gamma_{M,fi,a}$ ,  $\gamma_{M,fi,c}$  και  $\gamma_{M,fi,s}$  λαμβάνονται ως 1,0.

(4) Χρησιμοποιώντας το  $\bar{\lambda}_\theta$  και την καμπύλη λυγισμού  $\chi_z$  του EN 1993-1-1 μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής μείωσης  $\chi_z$  και το αξονικό φορτίο λυγισμού σχεδιασμού στην κατάσταση πυρκαγιάς λαμβάνεται από:

$$N_{fi,Rd,z} = \chi_z N_{fi,pl,Rd}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} = \frac{1}{0,65 + \sqrt{0,65^2 - 0,52^2}} = 0,96 \leq 1 \text{ ο.κ.}$$

Όπου,  $\Phi = 0,5 * (1 + a * (\bar{\lambda}_\theta^2 - 0,2) + \bar{\lambda}_\theta^2) = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,52^2 - 0,2) + 0,52^2) = 0,65$

$$N_{fi,Rd,z} = \chi_z N_{fi,pl,Rd} = 0,96 * 2403,3 = 2307,2 \text{ KN} > N_{fi,d} = 1300,48 \text{ KN}$$

Άρα η αντοχή του σύμμικτου υποστυλώματος είναι 2307 kN.

## 7.2.2 Επαλήθευση βάσει των πινακοποιημένων δεδομένων

(1) Τα σύμμικτα υποστυλώματα τα οποία είναι κατασκευασμένα από μερικούς εγκιβωτισμένες χαλύβδινες διατομές μπορούν να κατηγοριοποιούνται σε συνάρτηση με το επίπεδο φόρτισης  $n_{fi,t}$ , το βάθος  $b$  ή  $h$ , την ελάχιστη αξονική απόσταση των ράβδων οπλισμού  $u_s$  και το λόγο ανάμεσα στο πάχος κορμού  $e_w$  και το πάχος πέλματος  $e_f$  όπως δίδονται στον Πίνακα 4.6.

(2) Κατά τον προσδιορισμό του  $R_d$  και  $R_{fi,d,t} = \eta_{fi,t} R_d$ , σε σχέση με τον Πίνακα 4.6, δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ποσοστά οπλισμού  $A_s / (A_c + A_s)$  υψηλότερα από 6 % ή χαμηλότερα από 1 %.

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} = \frac{1963,5}{63296,5 + 1963,5} \approx 0,03 = 3\%$$

*Άρα*

Έχουμε :  $1\% < 3\% < 6\%$

Τα επίπεδα φόρτισης ορίζονται από τον λόγο μεταξύ των συναφών εντατικών μεγεθών σχεδιασμού των δράσεων και της αντοχής σχεδιασμού:

$$\eta = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,0$$

, επίπεδο φόρτισης το οποίο αναφέρεται στο EN 1994-1-1,

όπου:

$E_d$  είναι τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού των δράσεων για τον σχεδιασμό υπό κανονική θερμοκρασία και

$R_d$  είναι η αντοχή σχεδιασμού για τον σχεδιασμό υπό κανονική θερμοκρασία

$$\eta_{fi,t} = \frac{E_{fi,d,t}}{R_d}$$

; επίπεδο φόρτισης για τον σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς,

όπου:

$E_{fi,d,t}$  είναι τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού των δράσεων στην κατάσταση πυρκαγιάς, σε χρόνο t.

$$\eta_{fi,t} = \frac{E_{fi,d,t}}{R_d} = \frac{N_{fi,d}}{N_{Rd}} = \frac{1300,48}{4558} = 0,29$$

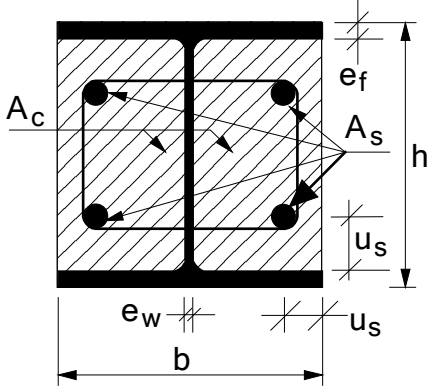
Άρα :

Ο Πίνακας 7.10 μπορεί να χρησιμοποιείται για τις κατηγορίες δομικού χάλυβα S 235, S 275 και S 355.

Στο παράδειγμά μας έχουμε χρησιμοποιήσει χάλυβα κατηγορίας S 235.

Από πίνακα 7.10 για R60 και για επίπεδο φόρτισης  $\eta_{fi,t} = 0,28$  παίρνω τα εξής :

Πίνακας 7.10: Ελάχιστες διαστάσεις διατομής, ελάχιστη αξονική απόσταση και ελάχιστα ποσοστά οπλισμού των σύμμεικτων υποστυλωμάτων που είναι κατασκευασμένα από μερικώς εγκιβωτισμένες χαλύβδινες διατομές.

		Πρότυπη αντοχή έναντι πυρκαγιάς			
		R30	R60	R90	R120
	Ελάχιστος λόγος πάχους κορμού προς πάχος πέλματος $e_w/e_f$	0,5	0,5	0,5	0,5
1	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για το επίπεδο φόρτισης $\eta_{fi,t} \leq 0,28$				
1.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b [mm]	160	200	300	400
1.2	Ελάχιστη αξονική απόσταση των ράβδων οπλισμού $u_s$ [mm]	-	50	50	70
1.3	Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού $A_s/(A_c+A_s)$ σε %	-	4	3	4
2	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για το επίπεδο φόρτισης $\eta_{fi,t} \leq 0,47$				
2.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b [mm]	160	300	400	-
2.2	Ελάχιστη αξονική απόσταση των ράβδων οπλισμού $u_s$ [mm]	-	50	70	-
2.3	Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού $A_s/(A_c+A_s)$ σε %	-	4	4	-
3	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για το επίπεδο φόρτισης $\eta_{fi,t} \leq 0,66$				
3.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b [mm]	160	400	-	-
3.2	Ελάχιστη αξονική απόσταση των ράβδων οπλισμού $u_s$ [mm]	40	70	-	-
3.3	Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού $A_s/(A_c+A_s)$ σε %	1	4	-	-

➤ Για τη δεδομένη σύμμικτη διατομή της αριθμητικής εφαρμογής ισχύει:

$(e_w / e_f)_{\min} = 0,5$	$e_w / e_f = 10,5 / 18 = 0,583$ ο.k
$b_{\min} = h_{\min} = 300mm$	$b = h = 280mm$ οριακά ανεπαρκές
$u_{s,\min} = 50mm$	$u_s = 50mm$ ο.k
$(A_s / (A_s + A_c))_{\min} = 4\%$	$A_s / (A_s + A_c) = 3\%$ ανεπαρκές

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό του οπλισμού είναι χαμηλότερο από το προαπαιτούμενο. Μπορούμε να αυξήσουμε την διάμετρο τον οπλισμών η να χρησιμοποιήσουμε περισσότερες ράβδους σε κάθε γωνία.

### 7.2.3 Συμπεράσματα και παρατηρήσεις

- Επάρκεια όλων των ελέγχων σε συνήθεις συνθήκες.
- Το αξονικό φορτίο λυγισμού σχεδιασμού σε συνήθεις συνθήκες είναι  $N_{Rd} = 4193kN$  ενώ σε συνθήκες πυρκαγιάς  $N_{fi,Rd} = 2307,2kN$ . Παρατηρούμε δηλαδή ότι είναι εμφανώς μειωμένο σε συνθήκες πυρκαγιάς. Αυτό γίνεται αντιληπτό από την ενεργό δυσκαμψία της σύμμικτης διατομής που σε κανονικές συνθήκες είναι  $25 \cdot 10^9 kN \cdot mm^2$  ενώ σε συνθήκες πυρκαγιάς  $3,67 \cdot 10^9 KN \cdot mm^2$ .
- το προσομοίωμα ισόρροπου αθροίσματος που χρησιμοποιήθηκε αρχικά μας έδειξε ότι το υποστύλωμα είναι επαρκές. Ενώ τα πινακοποιημένα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι το υποστύλωμα οριακά χρειάζεται μεγαλύτερη διατομή και περισσότερο οπλισμό κατά μία ποσοστιαία μονάδα.
- Συνεπώς τα πινακοποιημένα δεδομένα παρέχουν πιο συντηρητικά αποτελέσματα ως προς την ασφάλεια.

## 7.3 Διερεύνηση

### 7.3.1 Αριθμητική εφαρμογή 2<sup>η</sup>

*ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ 1<sup>ης</sup> ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΝΟΣ ΚΑΙ ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΥΜΜΙΚΤΟΥ ΜΕΡΙΚΟΥΣ ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΕΝΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΜΨΗ ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΣΘΕΝΗ ΑΞΟΝΑ, ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΕΚΤΙΘΕΤΑΙ ΣΕ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΤΥΠΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΧΡΟΝΟΥ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.*

Δίνεται διατομή σύμμικτου μερικώς εγκιβωτισμένου υποστυλώματος με τα ίδια στοιχεία της 1<sup>ης</sup> αριθμητικής εφαρμογής με μόνη διαφορά την ποιότητα του σκυροδέματος. Άρα συνοπτικά:

Διατομή χάλυβα	HEB 280
Ποιότητα χάλυβα	S235
Ποιότητα σκυροδέματος	C30/37

Οπλισμός σκυροδέματος	4Φ25
Ποιότητα ράβδων οπλισμού	S500
Αξονικές αποστάσεις ράβδων	$u_1 = u_2 = 50\text{mm}$
Κατηγορία πυρκαγιάς	R60

Ζητείται η αντοχή της διατομής σε υψηλές θερμοκρασίες.

Σκοπός της επίλυσης της Αριθμητικής Εφαρμογής 2 είναι η σύγκριση των αντοχών δυο διατομών, οι οποίες διαφέρουν μόνο στην ποιότητα του σκυροδέματος. Έτσι στη παρούσα διατομή χρησιμοποιούμε την αμέσως καλύτερη ποιότητα σκυροδέματος.

Για ποιότητα σκυροδέματος C30 η θλιπτική αντοχή είναι ίση με  $f_c = 30\text{N} / \text{mm}^2$ .

## G.2 ΠΕΛΜΑΤΑ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Θερμοκρασία πελμάτων

$$\theta_{f,t} = 817^{\circ}\text{C}$$

Δυσκαμψία των δυο πελμάτων

$$(EI)_{f_i,f,z} = 1,2 * 10^9 \text{ KN} * \text{mm}^2$$

Πλαστική αντοχή πελμάτων σε κατάσταση πυρκαγιάς.

$$N_{f_i,pl,Rd,f} = 241,6\text{KN}$$

## ΚΟΡΜΟΣ ΤΗΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Μείωση κορμού:  $h_{w,f_i} = 30,7\text{mm}$

με  $H_t = 770$  για κατηγορία R60

$$h_{w,f_i} = 0,5 * (280 - 2 * 18) * (1 - \sqrt{1 - 0,16 * (770 / 280)}) = 30,7\text{mm}$$

Ενεργός τάση διαρροής:

$$f_{ay,w,t} = f_{ay,w} * \sqrt{1 - (0,16 * H_t / h)} = 0,275 * \sqrt{1 - 0,16 * (770 / 280)} = 0,2058\text{KN} / \text{mm}^2$$

Πλαστική αντοχή κορμού στη κατάσταση πυρκαγιάς:

$$N_{f_i,pl,Rd,w} = 337,4\text{kN}$$

Δυσκαμψία κορμού

$$(EI)_{f_i,w,z} = 3,7 * 10^6 \text{ KN} * \text{mm}^2$$

## ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



Μείωση του πάχους της διατομής του σκυροδέματος  $b_{c,fi} = 15,0mm$   
από πίνακα G.3 για κατηγορία πυρκαγιάς R60

θερμοκρασία σκυροδέματος

$$\theta_{c,t} = 344^{\circ}C$$

Επιβατικό μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος

$$E_{c,sec,\theta} = f_{c,\theta} / \varepsilon_{cu,\theta} = f_c * k_{c,\theta} / \varepsilon_{cu,\theta} = 30 * 0,806 / (8,32 * 10^{-3}) = 2,9 * 10^3 N / mm^2 = 2,9kN / m^2$$

Με μειωτικό συντελεστή

$$k_{c,\theta} = 0,806$$

Και παραμόρφωση

$$\varepsilon_{cu,\theta} = 8,32 * 10^{-3}$$

Τιμές που προκύπτουν από Πίνακα 3.3 με γραμμική παρεμβολή έχοντας γνωστή τη θερμοκρασία του σκυροδέματος ( $\theta_{c,t} = 344^{\circ}C$ )

Πλαστική αντοχή σκυροδέματος

$$N_{fi,pl,Rd,c} = 0,86 * \left\{ \left( (h - 2 * e_f - 2 * b_{c,fi}) * (b - e_w - 2 * b_{c,fi}) \right) - A_s \right\} * f_{c,\theta} / \gamma_{M,fi,c}$$

$$= 0,86 * \left\{ ((28 - 2 * 1,8 - 2 * 1,5) * (28 - 1,05 - 2 * 1,5)) - 19,63 \right\} * \frac{(0,806 * 30)}{1,0} = 1025 KN$$

όπου  $A_s$  είναι η διατομή των ράβδων οπλισμού, και το 0,86 είναι ο συντελεστής βαθμονόμησης.

Δυσκαμψία σκυροδέματος στην κατάσταση πυρκαγιάς:

$$(EI)_{fi,c,z} = E_{c,sec,\theta} \left[ \left\{ (h - 2 * e_f - 2 * b_{c,fi}) \left( (b - 2 * b_{c,fi})^3 - e_w^3 \right) / 12 \right\} - I_{s,z} \right]$$

$$= 2,9 * \left\{ ((280 - 2 * 18 - 2 * 15) * ((280 - 2 * 15)^3 - 10,5^3) / 12) - 1,59 * 10^7 \right\} = 7,62 * 10^8 kN * mm^2$$

**ΡΑΒΔΟΙ ΟΠΛΙΣΜΟΥ**

Ο γεωμετρικός μέσος όρος  $u$  των αξονικών αποστάσεων  $u_1$  και  $u_2$  είναι:

$$u = 50mm$$

Η τιμή σχεδιασμού της πλαστικής αντοχής σε αξονική θλίψη και η καμπτική δυσκαμψία των ράβδων οπλισμού στην κατάσταση πυρκαγιάς είναι:

$$N_{\bar{f}i,pl,Rd,s} = 958,2 \text{ KN}$$

$$(EI)_{\bar{f}i,s,z} = 2,3 * 10^9 \text{ KN} * \text{mm}^2$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Η πλαστική αντοχή σε αξονική θλίψη της διατομής στην κατάσταση πυρκαγιάς είναι:

$$N_{\bar{f}i,pl,Rd} = N_{\bar{f}i,pl,Rd,f} + N_{\bar{f}i,pl,Rd,w} + N_{\bar{f}i,pl,Rd,c} + N_{\bar{f}i,pl,Rd,s}$$

$$= 253,5 + 337,4 + 1025 + 958,2 = 2574 \text{ kN}$$

Η ενεργός καμπτική δυσκαμψία της διατομής στην κατάσταση πυρκαγιάς είναι:

Για R60:

$$(EI)_{\bar{f}i,eff,z} = \phi_{f,\theta} (EI)_{\bar{f}i,f,z} + \phi_{w,\theta} (EI)_{\bar{f}i,w,z} + \phi_{c,\theta} (EI)_{\bar{f}i,c,z} + \phi_{s,\theta} (EI)_{\bar{f}i,s,z}$$

$$= 0,9 * 1,2 * 10^9 + 1,0 * 3,7 * 10^6 + 0,8 * 7,62 * 10^8 + 0,9 * 2,3 * 10^9$$

$$= 3,78 * 10^9 \text{ KN} * \text{mm}^2$$

όπου το  $\phi_{i,\theta}$  είναι ένας συντελεστής μείωσης εξαρτώμενος από την επίδραση των θερμικών τάσεων. Οι τιμές του  $\phi_{i,\theta}$  δίδονται στον Πίνακα G.7.

Το φορτίο λυγισμού κατά Euler ή το κρίσιμο ελαστικό φορτίο είναι τότε:

$$N_{\bar{f}i,cr,z} = \pi^2 (EI)_{\bar{f}i,eff,z} / \ell_{\theta}^2 = 3,14^2 * 3,78 * 10^9 / (0,5 * 4000)^2 = 9327 \text{ KN}$$

Η ανοιγμένη λυγηρότητα είναι:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \sqrt{N_{\bar{f}i,pl,R} / N_{\bar{f}i,cr,z}} = \sqrt{2574 / 9327} = 0,525$$

όπου:  $N_{\bar{f}i,pl,R}$  είναι η τιμή του  $N_{\bar{f}i,pl,Rd}$  όταν οι συντελεστές  $\gamma_{M,\bar{f}i,a}$ ,  $\gamma_{M,\bar{f}i,c}$  και  $\gamma_{M,\bar{f}i,s}$  λαμβάνονται ως 1,0.

Χρησιμοποιώντας το  $\bar{\lambda}_{\theta}$  και την καμπύλη λυγισμού c του EN 1993-1-1 μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής μείωσης  $\chi_z$  και το αξονικό φορτίο λυγισμού σχεδιασμού στην κατάσταση πυρκαγιάς λαμβάνεται από:

$$N_{\bar{f}i,Rd,z} = \chi_z N_{\bar{f}i,pl,Rd}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} = \frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,525^2}} = 0,95 \leq 1 \text{ ο.κ}$$

$$\text{Όπου, } \Phi = 0,5 * (1 + a * (\bar{\lambda}_{\theta}^2 - 0,2) + \bar{\lambda}_{\theta}^2) = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,525^2 - 0,2) + 0,525^2) = 0,66$$

$$N_{\bar{f}i,Rd,z} = \chi_z N_{\bar{f}i,pl,Rd} = 0,96 * 2574 = 2445 \text{ KN}$$

Άρα η αντοχή του σύμμικτου υποστρώματος με κατηγορία σκυροδέματος C30 είναι 2445 kN.

#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Χρησιμοποιώντας την αμέσως καλύτερη ποιότητα σκυροδέματος (C30/37) η αντοχή της διατομής αυξάνεται κατά 6%.

### 7.3.2 Αριθμητική εφαρμογή 3<sup>η</sup>

*ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ 1<sup>ης</sup> ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΝΟΣ ΚΑΙ ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΥΜΜΙΚΤΟΥ ΜΕΡΙΚΟΥΣ ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΕΝΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΜΨΗ ΠΕΡΙ ΤΟΝ ΑΣΘΕΝΗ ΑΞΟΝΑ, ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΕΚΤΙΘΕΤΑΙ ΣΕ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΤΥΠΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΧΡΟΝΟΥ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.*

Δίνεται διατομή σύμμικτου μερικώς εγκιβωτισμένου υποστρώματος με τα ίδια στοιχεία της 1<sup>ης</sup> αριθμητικής εφαρμογής με μόνη διαφορά την κατηγορία του δομικού χάλυβα. Άρα συνοπτικά:

Διατομή χάλυβα	HEB 280
Ποιότητα χάλυβα	S275
Ποιότητα σκυροδέματος	C25/30
Οπλισμός σκυροδέματος	4Φ25
Ποιότητα ράβδων οπλισμού	S500
Αξονικές αποστάσεις ράβδων	$u_1 = u_2 = 50\text{mm}$
Κατηγορία πυρκαγιάς	R60

Ζητείται η αντοχή της διατομής σε υψηλές θερμοκρασίες.

Σκοπός της επίλυσης της Αριθμητικής Εφαρμογής 3 είναι η σύγκριση των αντοχών δυο διατομών, οι οποίες διαφέρουν μόνο στην κατηγορία του δομικού χάλυβα της μεταλλικής διατομής. Έτσι στη παρούσα διατομή χρησιμοποιούμε την αμέσως καλύτερη ποιότητα δομικού χάλυβα.

Για ποιότητα δομικού χάλυβα S275 η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής τόσο των πελμάτων όσο και του κορμού, είναι ίση με  $f_y = 0,275\text{kN} / \text{mm}^2$  ή  $f_y = 275\text{kN} / \text{m}^2$ .

#### ΠΕΛΜΑΤΑ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Θερμοκρασία πελμάτων:

$$\theta_{f,t} = 817^{\circ}\text{C}$$

Δυσκαμψία των δυο πελμάτων:

$$\begin{aligned}(EI)_{f_i, f, z} &= E_{a, f, t} * (e_f * b^3) / 6 = k_{E, \theta} * E_{a, f} * (e_f * b^3) / 6 \\ &= 0,086 * 210000 * (18 * 280^3) / 6 = 1,19 * 10^{12} \text{ N} * \text{mm}^2 = 1,2 * 10^9 \text{ KN} * \text{mm}^2\end{aligned}$$

Πλαστική αντοχή σε αξονική θλίψη των δυο πελμάτων σε κατάσταση πυρκαγιάς:

$$N_{f_i,pl,Rd,f} = 2 * (b * e_f * f_{ay,f,t}) / \gamma_{M,f_i,a} = 2 * (b * e_f * k_{y,\theta} * f_{a,y,f}) / \gamma_{M,f_i,a} = 2 * (280 * 18 * 0,102 * 275) / 1,0 = 282755 N = 282,8 KN$$

#### ΚΟΡΜΟΣ ΤΗΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Μείωση κορμού:  $h_{w,f_i} = 30,7 mm$

με  $H_t = 770$  για κατηγορία R60

Ενεργός τάση διαρροής:

$$f_{ay,w,t} = f_{ay,w} * \sqrt{1 - (0,16 * H_t / h)} = 0,275 * \sqrt{1 - 0,16 * (770 / 280)} = 0,2058 KN / mm^2$$

Πλαστική αντοχή σε αξονική θλίψη του κορμού στη κατάσταση πυρκαγιάς:

$$N_{f_i,pl,Rd,w} = [e_w * (h - 2 * e_f - 2 * h_{w,f_i}) * f_{ay,w,t}] / \gamma_{M,f_i,a} = [10,5 * (280 - 2 * 18 - 2 * 30,7) * 0,2058] / 1,0 = 394,6 KN$$

Δυσκαμψία κορμού:

$$(EI)_{f_i,w,z} = [E_{a,w} * (h - 2 * e_f - 2 * h_{w,f_i}) * e_w^3] / 12 = [210 * (280 - 2 * 18 - 2 * 30,7) * 10,5^3] / 12 = 3,7 * 10^6 KN * mm^2$$

#### ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Μείωση του πάχους της διατομής του σκυροδέματος  $b_{c,f_i} = 15,0 mm$

από πίνακα 7.4 για κατηγορία πυρκαγιάς R60:

θερμοκρασία σκυροδέματος

$$\theta_{c,t} = 344^0 C$$

Επιβατικό μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος: (ίδιο με της 1<sup>ης</sup> Αριθμητικής Εφαρμογής)

$$E_{c,sec,\theta} = f_{c,\theta} / \epsilon_{cu,\theta} = 2,42 kN / m^2$$

Με μειωτικό συντελεστή:

$$k_{c,\theta} = 0,806$$

Και παραμόρφωση:

$$\varepsilon_{cu,\theta} = 8,32 * 10^{-3}$$

Πλαστική αντοχή σε αξονική θλίψη σκυροδέματος (ίδιο με της 1<sup>ης</sup> Αριθμητικής Εφαρμογής):

$$N_{f_i,pl,Rd,c} = 854,2KN$$

Δυσκαμψία σκυροδέματος στην κατάσταση πυρκαγιάς (ίδιο με της 1<sup>ης</sup> Αριθμητικής Εφαρμογής):

$$(EI)_{f_i,c,z} = 6,45 * 10^8 kN * mm^2$$

### ΡΑΒΔΟΙ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο γεωμετρικός μέσος όρος  $u$  των αξονικών αποστάσεων  $u_1$  και  $u_2$  είναι:  
 $u = 50mm$

Η τιμή σχεδιασμού της πλαστικής αντοχής σε αξονική θλίψη και η καμπτική δυσκαμψία των ράβδων οπλισμού στην κατάσταση πυρκαγιάς είναι:

$$N_{f_i,pl,Rd,s} = 958,2KN$$

$$(EI)_{f_i,s,z} = 2,3 * 10^9 KN * mm^2$$

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Η πλαστική αντοχή σε αξονική θλίψη της διατομής στην κατάσταση πυρκαγιάς είναι:

$$N_{f_i,pl,Rd} = N_{f_i,pl,Rd,f} + N_{f_i,pl,Rd,w} + N_{f_i,pl,Rd,c} + N_{f_i,pl,Rd,s}$$

$$= 282,8 + 394,6 + 854,2 + 958,2 = 2490kN$$

Η ενεργός καμπτική δυσκαμψία της διατομής στην κατάσταση πυρκαγιάς είναι:

$$(EI)_{f_i,eff,z} = \phi_{f,\theta} (EI)_{f_i,f,z} + \phi_{w,\theta} (EI)_{f_i,w,z} + \phi_{c,\theta} (EI)_{f_i,c,z} + \phi_{s,\theta} (EI)_{f_i,s,z}$$

$$= 0,9 * 1,2 * 10^9 + 1,0 * 3,7 * 10^6 + 0,8 * 6,45 * 10^8 + 0,9 * 2,3 * 10^9$$

$$\text{Για R60 : } = 3,67 * 10^9 KN * mm^2$$

,όπου το  $\phi_{i,\theta}$  είναι ένας συντελεστής μείωσης εξαρτώμενος από την επίδραση των θερμικών τάσεων. Οι τιμές του  $\phi_{i,\theta}$  δίδονται στον Πίνακα 7.9.

Το φορτίο λυγισμού κατά Euler ή το κρίσιμο ελαστικό φορτίο είναι τότε:  
 $N_{f_i,cr,z} = \pi^2 (EI)_{f_i,eff,z} / \ell_\theta^2 = 3,14^2 * 3,67 * 10^9 / (0,5 * 4000)^2 = 9046,2 KN$

Η ανοιγμένη λυγηρότητα είναι:

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{N_{f_i,pl,R} / N_{f_i,cr,z}} = \sqrt{2490 / 9046,2} = 0,525$$

όπου:

$N_{f_i,pl,R}$  είναι η τιμή του  $N_{f_i,pl,Rd}$  όταν οι συντελεστές  $\gamma_{M,f_i,a}$ ,  $\gamma_{M,f_i,c}$  και  $\gamma_{M,f_i,s}$  λαμβάνονται ως 1,0.

Χρησιμοποιώντας το  $\bar{\lambda}_\theta$  και την καμπύλη λυγισμού  $\chi$  του EN 1993-1-1 μπορεί να υπολογισθεί ο συντελεστής μείωσης  $\chi_z$  και το αξονικό φορτίο λυγισμού σχεδιασμού στην κατάσταση πυρκαγιάς λαμβάνεται από:

$$N_{f_i,Rd,z} = \chi_z N_{f_i,pl,Rd}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} = \frac{1}{0,656 + \sqrt{0,656^2 - 0,525^2}} = 0,96 \leq 1 \text{ o.k.}$$

Όπου,

$$\Phi = 0,5 * (1 + a * (\bar{\lambda}_\theta^2 - 0,2) + \bar{\lambda}_\theta^2) = 0,5 * (1 + 0,49 * (0,525^2 - 0,2) + 0,525^2) = 0,656$$

$$N_{f_i,Rd,z} = \chi_z N_{f_i,pl,Rd} = 0,96 * 2490 = 2390,4 KN$$

Άρα η αντοχή του σύμμικτου υποστυλώματος με κατηγορία δομικού χάλυβα S275 είναι 2390,4 kN.

#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Χρησιμοποιώντας την αμέσως καλύτερη κατηγορία δομικού χάλυβα (S275) η αντοχή της διατομής αυξάνεται κατά 3,5%.

## 8 Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική αυτή εργασία οδηγηθήκαμε σε κάποια συμπεράσματα σχετικά με τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη πυρκαγιά ως δράση σε δομικά έργα, με την βοήθεια των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις αριθμητικές εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν. Άρα καταλήγουμε ότι:

1. Η χάραξη των παραμετρικών καμπυλών θερμοκρασίας – χρόνου βάσει των στοιχείων του πυροδιαμερίσματος είναι μεγίστης σημασίας, καθώς μπορούμε εύκολα να προσδιορίσουμε τις μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα που αναπτύσσονται μέσα στο πυροδιαμέρισμα καθώς και τον χρόνο στον οποίο εκδηλώνονται αυτές.
2. Γνωρίζοντας τη θερμοκρασία του αέρα μπορούμε να προσδιορίσουμε τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στα χαλύβδινα δομικά μέλη προστατευμένα ή μη έναντι πυρκαγιάς. Με τη βοήθεια των καμπυλών θερμοκρασίας χάλυβα – χρόνου είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε το δείκτη πυραντίστασης για το δεδομένο πυροδιαμέρισμα, το χρόνο δηλαδή που μεσολαβεί από την έναρξη της πυρκαγιάς ως την αστοχία της κατασκευής.
3. Επίσης αφού εξετάζοντας την ειδική περίπτωση των θερμικών δράσεων που δέχονται εξωτερικά μέλη, με τη βοήθεια των σχέσεων του παραρτήματος Β του EN 1991-1-2 προσδιορίσαμε τη θερμοκρασία του πυροδιαμερίσματος σε περίπτωση φωτιάς και στη συνέχεια την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία σε ένα εξωτερικό χαλύβδινο μέλος που λαμβάνει θερμότητα δι' ακτινοβολίας από τα ανοίγματα και τις φλόγες του πυροδιαμερίσματος.
4. Εξετάζοντας στη συνέχεια την περίπτωση των τοπικών πυρκαγιών και καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως αναλόγως το φορτίο που καίγεται και την θερμική του απόδοση, η θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε ένα δομικό μέλος που βρίσκεται κοντά στον άξονα της πυρκαγιάς μπορεί να είναι σημαντική και να προκαλέσει ακόμα και αστοχία της κατασκευής.
5. Το πυροθερμικό φορτίο που βρίσκεται σε ένα πυροδιαμέρισμα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη και τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Ο προσδιορισμός του γίνεται αφού γίνει γνωστή η χρήση του πυροδιαμερίσματος, η επιφάνεια του και η ύπαρξη ή μη μέτρων έναντι πυρκαγιάς.
6. Κατά την εξέταση του ισοδύναμου χρόνου έκθεσης στην πυρκαγιά ενός πυροδιαμερίσματος καταλήξαμε ότι στο χρόνο αυτό έχουμε το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα κατά τη μελέτη του φαινομένου με τη βοήθεια της πρότυπης καμπύλης ISO και με τη βοήθεια της παραμετρικής καμπύλης θερμοκρασίας - χρόνου.
7. Για τις σύμμικτες πλάκες θεωρείται με βάση την πειραματική έρευνα ότι γενικά μπορούν να αναπτύξουν, υπό συνθήκες πυρκαγιάς, τις πλαστικές αντοχές τους. Με βάση την παραδοχή αυτή μπορεί να προσδιορίζεται η θέση του ουδέτερου άξονα και, εν συνέχεια, η ροπή αντοχής.

8. Κρίσιμος στη στήριξη ο πάνω οπλισμός (σχάρα) που οφείλεται στις αρνητικές ροπές αφού η συμβολή των χαλυβδόφυλλων συντηρητικά αγνοείται όπως επίσης και το κάτω τμήμα που βρίσκεται σε  $\theta > \theta_{lim}$
9. Τα πινακοποιημένα δεδομένα παρέχουν πιο συντηρητικά αποτελέσματα ως προς την ασφάλεια.



## 9 Βιβλιογραφία

1. Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης (2005), «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα», Κλειδάριθμος,
2. Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης, (2004) «Σιδηρές κατασκευές (Παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3)», Κλειδάριθμος,
3. Ι. Βάγιας (2001) «Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα», Κλειδάριθμος
4. Γ. Μιχάλτσου (2004), «Ελαφρές Μεταλλικές κατασκευές», Παπασωτηρίου,
5. Ευρωκώδικας 1 (EN1991), «Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών»
6. Ευρωκώδικας 3 (EN1993), «Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών»
7. Ευρωκώδικας 4 (EN1994), «Σχεδιασμός Σύμμικτων Κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα»
8. Patrick Dowling, Peter Knowles, «Structural Steel Design, (The steel construction Institute)»
9. Μεταλλικές κατασκευές, Εταιρία Ερευνών Μεταλλικών Έργων (Ε.Ε.Μ.Ε)
10. Μεταλλικές κατασκευές, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις (Ε.Τ.Ε)
11. David A. Nethercot, «Limit states design of structural steelwork»
12. ECCS-Technical Committee 3 - Fire Safety of Steel Structures, European Recommendations for the fire safety of Steel Structures, (Elsevier)
13. Jean-Marc Franssen, Paulo Vila Real (2010), «Fire Design of Steel Structures», ECCS Eurocode Design Manuals