

Χ. Κ. Μπανιωτόπουλος
Ο. Vassart

Χ. Τ. Τσαλίκης
B. Zhao

Χαλύβδινες Κατασκευές σε Πυρκαγιά

Σχεδιασμός Σύμμικτης Πλάκας



Το πρόγραμμα MACS+ διατίθεται δωρεάν στην ιστοσελίδα:
www.arcelormittal.com/sections

ISBN 978-960-456-378-4

© Copyright, Μάρτιος 2013,

Μπανιωτόπουλος Χαράλαμπος, Τσαλίκης Χρήστος, Vassart O., Zhao B.,
Εκδόσεις Ζήτη

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Φωτοστοιχειοθεσία

Εκτύπωση

Βιβλιοδεσία

Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ

18° χλμ Θεσσαλονίκης - Περαιάς

Τ.Θ. 4171 • Περαιά Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19

Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



www.ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ:

Αρμενοπούλου 27 - 546 35 Θεσσαλονίκη • Τηλ.: 2310-203.720 • Fax 2310-211.305

e-mail: sales@ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΕΝΩΣΗ ΕΚΔΟΤΩΝ ΒΙΒΛΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:

Στοά του Βιβλίου (Πεσμαζόγλου 5) - 105 64 ΑΘΗΝΑ • Τηλ.-Fax: 210-3211.097

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ - ΑΠΟΘΗΚΗ ΑΘΗΝΩΝ:

Χαριλάου Τρικούπη 22 - Τ.Κ. 106 79, Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210-3816.650

e-mail: athina@ziti.gr

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ: www.ziti.gr

Πρόλογος

Η σταθεροποιητική δράση μεμβράνης στον σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς σύμμικτης πλάκας με συμπαγείς και κυψελωτές χαλύβδινες δοκούς – Αξιοποίηση (MACS+).

Το σύγγραμμα αυτό προέκυψε από το πρόγραμμα MACS+ (Σταθεροποιητική δράση μεμβράνης στον σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς σύμμικτης πλάκας με συμπαγείς και κυψελωτές χαλύβδινες δοκούς), το οποίο χρηματοδοτήθηκε με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission, Research Fund for Coal and Steel).

Στο βιβλίο εκφράζονται γνώμες και απόψεις μόνον των συγγραφέων, ενώ η επιτροπή δεν είναι υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιλαμβάνονται.

Συγκεκριμένα, το βιβλίο αποτελεί προϊόν των εξής ερευνητικών προγραμμάτων:

- του έργου FICEB+ που έχει χρηματοδοτηθεί από το RFCS
- του έργου COSSFIRE που έχει χρηματοδοτηθεί από το RFCS
- του έργου Leonardo Da Vinci 'Αξιολόγηση της πυραντίστασης μερικώς μονωμένων σύμμικτων πλακών' (FRACOF)
- ενός παλαιότερου έργου που χρηματοδοτήθηκε από την ArcelorMittal και το CTICM και εκτελέστηκε σε συνεργασία της CTICM με το SCI.

Η απλοποιημένη μέθοδος σχεδιασμού αρχικά αναπτύχθηκε ως αποτέλεσμα των πειραμάτων μεγάλης κλίμακας σε πολυώροφο μεταλλικό κτίριο στο BRE Cardington του Ηνωμένου Βασιλείου. Ο κύριος όγκος της θεωρητικής βάσης της μεθόδου σχεδιασμού υπήρχε από τα τέλη του 1950, και ακολούθησαν μελέτες σχετικές με την δομική συμπεριφορά των οπλισμένων πλακών σκυροδέματος σε φυσιολογική θερμοκρασία δωματίου. Η πρώτη έκδοση της απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού ήταν διαθέσιμη από τον Οδηγό Σχεδιασμού P288 SCI 'Σχεδιασμός Πυρασφάλειας: Μία νέα προσέγγιση στα πολυώροφα μεταλλικά κτίρια', 2^η έκδοση.

Παρόλο που η εφαρμογή της μεθόδου στο σχεδιασμό πυρασφάλειας είναι σχετικά καινούρια, η βάση της μεθόδου είναι ευρέως εδραιωμένη.

Η απλοποιημένη μέθοδος σχεδιασμού εφαρμόστηκε σε λογισμικό του SCI το

2000 και μία βελτιωμένη αναβάθμιση εκδόθηκε το 2006, ακολουθώντας τις εξελίξεις της απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού.

Η συνεισφορά των συναδέλφων:

- *Mary Brettle*, Steel Construction Institute
- *Ian Sims*, Steel Construction Institute
- *Louis Guy Cajot*, ArcelorMittal
- *Renata Obiala*, ArcelorMittal
- *Mohsen Roosefid*, CTICM
- *Gisèle Bihina*, CTICM

με πρωτότυπα ερευνητικά αποτελέσματα υπήρξε πολύτιμη στην ολοκλήρωση του βιβλίου αυτού και για τον λόγο αυτό, εκφράζονται από τους συγγραφείς προς όλους τους, θερμές ευχαριστίες.

Περιεχόμενα

Μέρος Α

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Περίληψη Θεωρητικού Υπόβαθρου	14
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ CARDINGTON.....	17
2.1 Το ερευνητικό πρόγραμμα.....	17
2.2 Πείραμα 1: Δεσμευμένη δοκός.....	19
2.3 Πείραμα 2: Επίπεδο πλαίσιο	22
2.4 Πείραμα 3: Γωνιακό Πυροδιαμέρισμα	24
2.5 Πείραμα 4: Γωνιακό Πυροδιαμέρισμα	27
2.6 Πείραμα 5: Μεγάλο Πυροδιαμέρισμα	29
2.7 Πείραμα 6: Δοκιμή γραφείου.....	31
2.8 Πείραμα 7: Κεντρικό Πυροδιαμέρισμα	35
2.9 Γενικά σχόλια στην παρατηρούμενη συμπεριφορά	39
3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ, ΓΑΛΛΙΑ	41
4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ	49
4.1 Broadgate.....	49
4.2 Κτίριο Churchill Plaza, Basingstoke	52
4.3 Πειράματα πυρκαγιάς στην Αυστραλία	54
4.3.1 Πειράματα πυρκαγιάς στην οδό William και προσεγγιστικός σχεδια- σμός.....	54
4.3.2 Πειράματα πυρκαγιάς στην οδό Collins	58
4.3.3 Συμπεράσματα της έρευνας στην Αυστραλία	59
4.4 Πειράματα πυρκαγιάς στη Γερμανία	59

4.5	Πειραματικές εργασίες σε θερμοκρασία δωματίου.....	60
4.6	Πειραματικές εργασίες σε υψηλές θερμοκρασίες.....	61
5	Η ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	63
5.1	Εισαγωγή στη θεωρία γραμμών διαρροής και στη δράση της μεμβράνης σταθεροποίησης.....	64
5.1.1	Πλάκα με πλήρη δέσμευση ελευθεριών εντός επιπέδου.....	66
5.1.2	Πλάκα χωρίς δέσμευση ελευθεριών εντός επιπέδου	67
5.1.3	Επίδραση των τάσεων μεμβράνης στις γραμμές διαρροής	68
5.2	Υπολογισμός της αντοχής σύμπτυξης πλάκας σύμφωνα με την απλοποιημένη μέθοδο σχεδιασμού.....	71
5.2.1	Υπολογισμός της αντοχής	71
5.2.2	Εξαγωγή έκφρασης για την παράμετρο k	75
5.2.3	Εξαγωγή έκφρασης για την παράμετρο b	76
5.2.4	Δυνάμεις της μεμβράνης σταθεροποίησης	80
5.3	Αστοχία σε θλίψη του σκυροδέματος.....	87
6	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	89
6.1	Παραδοχές σχεδιασμού.....	90
6.2	Κριτήριο αστοχίας	91
6.2.1	Βύθιση της πλάκας	92
6.2.1.1	Θερμικές επιδράσεις.....	92
6.2.1.2	Μηχανικές παραμορφώσεις στον οπλισμό	93
6.2.1.3	Υπολογισμός της βύθισης της πλάκας ώστε να επιτρέπεται ο υπολογισμός των δυνάμεων της μεμβράνης.....	95
6.2.2	Βαθμονόμηση στα πειράματα πυρκαγιάς Cardington.....	95
6.3	Μεθοδολογία σχεδιασμού	98
6.3.1	Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας της πλάκας.....	99
6.3.2	Υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας των μη μονωμένων δοκών	99
6.4	Σχεδίαση των πυράντοχων περιμετρικών δοκών	101
6.4.1	Μη μονωμένες δοκοί με ακραίες δοκούς στις δύο πλευρές	103
6.4.1.1	Γραμμή διαρροής παράλληλα στις μη μονωμένες δοκούς	103
6.4.1.2	Γραμμή διαρροής κάθετα στις μη μονωμένες δοκούς	105
6.4.2	Μη μονωμένες δοκοί με μία ακραία δοκό στη μία πλευρά	106
6.4.2.1	Γραμμή διαρροής παράλληλη στις μη μονωμένες δοκούς	106
6.4.2.2	Γραμμή διαρροής κάθετη στις μη μονωμένες δοκούς	108
6.4.3	Ζώνη σχεδιασμού πλάκας χωρίς ακραίες δοκούς.....	110
6.4.4	Σχεδιασμός των ακραίων δοκών.....	110
6.5	Θερμική ανάλυση.....	110

6.5.1 Συντελεστές σχήματος.....	112
6.5.2 Ιδιότητες υλικών	113
6.5.3 Εσωτερική μεταφορά θερμότητας με συναγωγή	114
6.5.4 Θερμοκρασίες σχεδιασμού για μη μονωμένες μεταλλικές δοκούς.....	116
7 ΠΕΙΡΑΜΑ ΠΥΡΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΣΥΜΜΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΑΚΑΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ	119
7.1 Πεδίο εφαρμογής.....	119
7.2 Πείραμα FRACOF	120
7.2.1 Πειραματικό δοκίμιο	120
7.2.2 Μεθοδολογία του πειράματος	124
7.2.3 Αποτελέσματα.....	128
7.2.3.1 Μεταβολή θερμοκρασίας στην κατασκευή.....	128
7.2.3.2 Μετακινήσεις των δομικών στοιχείων.....	131
7.2.3.3 Συμπεριφορά της σύμμικτης πλάκας κατά τη διάρκεια του πειράματος.....	134
7.2.4 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων του πειράματος	136
7.3 Πρόγραμμα πειράματος πυρκαγιάς COSSFIRE.....	137
7.3.1 Δοκίμιο του πειράματος.....	137
7.3.2 Μετρήσεις των αποτελεσμάτων του πειράματος	140
7.3.3 Τα βασικά αποτελέσματα του πειράματος.....	142
7.3.4 Παρατηρήσεις των πειραμάτων.....	146
7.4 Πείραμα πραγματικής κλίμακας σε σύμμικτη πλάκα με κυψελωτές δοκούς μεγάλου ανοίγματος.....	150
7.4.1 Πειραματικό δοκίμιο	150
7.4.2 Φορτία σχεδιασμού.....	153
7.4.3 Σχεδιασμός της πυρκαγιάς	154
7.4.4 Εγκατάσταση οργάνων μέτρησης	155
7.4.5 Μετατόπιση δοκού / πλάκας.....	156
7.4.6 Δράση της μεμβράνης σταθεροποίησης σε πλάκες	164
7.4.7 Συμπεράσματα	165
8 ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ.....	167
8.1 Πεδίο εφαρμογής.....	167
8.2 Επαλήθευση του αριθμητικού μοντέλου ANSYS στο πείραμα FRACOF.....	167
8.2.1 Γενικά.....	167
8.2.2 Δομική ανάλυση.....	168
8.2.3 Ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας.....	169

8.2.4 Μηχανική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων	171
8.3 Επαλήθευση του αριθμητικού μοντέλου SAFIR σε πειράματα πυρκαγιάς	173
8.3.1 Γενικά	173
8.3.2 Το λογισμικό SAFIR στο πείραμα FRACOF	173
8.3.2.1 Πυροθερμικό φορτίο	173
8.3.2.2 Θερμικές αναλύσεις: Αριθμητικά μοντέλα και κύρια αποτελέ- σματα	174
8.3.2.3 Δομική ανάλυση	178
8.3.3 Το λογισμικό SAFIR στο πείραμα COSSFIRE	180
8.3.3.1 Πυροθερμικό φορτίο	180
8.3.3.2 Θερμική ανάλυση: Αριθμητικά μοντέλα και κύρια αποτελέσματα	180
8.3.3.3 Δομική ανάλυση	184
8.3.4 Το λογισμικό ΣΑΦΙΡ στο πείραμα ΦΙΒΕΡ	186
8.3.4.1 Πυροθερμικό φορτίο	186
8.3.4.2 Θερμική ανάλυση: Αριθμητικά μοντέλα και κύρια αποτελέσματα	187
8.3.4.3 Δομική ανάλυση	190
8.4 Παραμετρική μελέτη με χρήση της πρότυπης καμπύλης θερμοκρασίας - χρόνου	193
8.4.1 Εισαγωγή δεδομένων για την παραμετρική μελέτη	193
8.4.2 Εισαγωγή δεδομένων για την παραμετρική μελέτη	201
8.4.2.1 Μέγιστη βύθιση της πλάκας	201
8.4.2.2 Επιμήκυνση του μεταλλικού πλέγματος ενίσχυσης	206
8.5 Συμπεράσματα	216
Βιβλιογραφικές Αναφορές	217

Μέρος Β

Οδηγός Σχεδιασμού

Περίληψη Μεθόδου Σχεδιασμού	222
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	223
2 ΒΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	227
2.1 Πυρασφάλεια	227
2.2 Είδος κατασκευής	228

2.2.1 Μοντέλα απλών συνδέσεων.....	228
2.2.2 Πλάκες και δοκοί	230
2.3 Ζώνες σχεδιασμού της πλάκας	232
2.4 Συνδυασμός δράσεων.....	233
2.5 Έκθεση στην πυρκαγιά.....	235
2.5.1 Πυραντίσταση	235
2.5.2 Φυσική πυρκαγιά (παραμετρική καμπύλη θερμοκρασίας - χρόνου)	237
3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	239
3.1 Ζώνες σχεδιασμού της πλάκας	239
3.2 Πλάκες και δοκοί	241
3.2.1 Υπολογισμός θερμοκρασίας στην πλάκα.....	241
3.2.2 Υπολογισμός θερμοκρασίας στις μη μονωμένες σύμμικτες δοκούς.....	243
3.2.3 Σχεδιασμός της πλάκας έναντι πυρκαγιάς.....	244
3.2.4 Σχεδιασμός των δοκών στην περίμετρο της ζώνης σχεδιασμού της πλάκας	247
3.3 Λεπτομέρειες οπλισμού	248
3.3.1 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του πλέγματος ενίσχυσης.....	249
3.3.2 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες των άκρων της σύμμικτης πλάκας	250
3.4 Σχεδιασμός των μη σύμμικτων ακραίων δοκών	252
3.5 Στύλοι.....	253
3.6 Συνδέσεις.....	254
3.6.1 Κατηγορίες συνδέσεων	254
3.6.2 Ακραία ελάσματα.....	255
3.6.3 Ελάσματα περυγίου	256
3.6.4 Γωνιακά ελάσματα κορμού.....	257
3.6.5 Πυροπροστασία	258
3.7 Συνολική ευστάθεια της κατασκευής.....	258
4 ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ	259
4.1 Δοκοί πάνω από τους πυράντοχους τοίχους	259
4.2 Ευστάθεια.....	261
4.3 Ακεραιότητα και μόνωση.....	261
5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	263
5.1 Σχεδιασμός της σύμμικτης πλάκας σε συνθήκες πυρκαγιάς.....	268
5.1.1 Σχεδιασμός πλάκας: Ζώνη Β	268

5.1.2 Σχεδιασμός πλάκας: Ζώνη Α	286
5.1.3 Σχεδιασμός πλάκας: Ζώνη Ε.....	292
5.1.4 Σχεδιασμός πλάκας: Ζώνη Ε.....	307
5.2 Λεπτομέρειες οπλισμού.....	318
5.3 Πυροπροστασία των στύλων	318
Βιβλιογραφία	321
Ευρετήριο Όρων.....	325

Μέρος Πρώτο

Θεωρητικό Υπόβαθρο

1. Εισαγωγή
2. Πρόγραμμα πειραμάτων πυρκαγιάς Cardington
- 3 Πειράματα πυρκαγιάς σε χώρους στάθμευσης οχημάτων, Γαλλία
4. Στοιχεία από τυχηματικές πυρκαγιές και από άλλες χώρες
5. Η απλοποιημένη μέθοδος σχεδιασμού
6. Ανάπτυξη της μεθόδου σχεδιασμού
7. Πείραμα πυραντοχής σε σύμμικτο σύστημα πλάκας σε πραγματική κλίμακα
8. Παραμετρικές μελέτες



Περίληψη Θεωρητικού Υπόβαθρου

Τα πειράματα πυρκαγιάς μεγάλης κλίμακας που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες χώρες και οι παρατηρήσεις πάνω σε πραγματικές πυρκαγιές κτιρίων έχουν δείξει ότι τα κτίρια με σύμμικτο μεταλλικό σκελετό παρουσιάζουν πολύ καλύτερη συμπεριφορά στην πυρκαγιά σε σχέση με τις ενδείξεις των πειραμάτων πυραντοχής για μεμονωμένα στοιχεία. Είναι γεγονός ότι τα σύγχρονα κτίρια με μεταλλικό σκελετό παρουσιάζουν μεγάλα αποθέματα πυραντοχής, ενώ τα πρότυπα πειράματα πυραντοχής σε αυτόνομα, μη περιορισμένα μέλη δεν αποτελούν ικανοποιητικό δείκτη για τη συμπεριφορά αυτών των κατασκευών απέναντι σε πυρκαγιά.

Τα αποτελέσματα της παρατήρησης και της ανάλυσης του πειράματος πυρκαγιάς μεγάλης κλίμακας BRE Cardington, που πραγματοποιήθηκε μεταξύ 1995 και 1996, οδήγησαν στην ανάπτυξη μιας απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού, η οποία βασίζεται στη σταθεροποιητική δράση μεμβράνης της σύμμικτης πλάκας χάλυβα-σκυροδέματος και η οποία επιτρέπει στους μελετητές να επωφελούνται από την εγγενή πυραντοχή της σύμμικτης πλάκας έδρασης, χωρίς να καταφεύγουν στη σύνθετη ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων της συνολικής συμπεριφοράς ενός κτιρίου. Ωστόσο, οι περισσότεροι μηχανικοί και οι Ρυθμιστικές Αρχές δεν είναι ακόμα εξοικειωμένοι με αυτή την πρωτοποριακή ιδέα σχεδίασης, εξαιτίας των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της. Ως εκ τούτου, το παρόν τεχνικό κείμενο έχει συνταχθεί με σκοπό να παρέχει όλες τις απαραίτητες σχετικές πληροφορίες, ώστε να γίνει εύκολα κατανοητή στον αναγνώστη η βάση των προτάσεων της παραπάνω απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού.

Το παρόν τεχνικό έγγραφο περιγράφει τη θεωρητική βάση της απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού και την εξέλιξή της για εφαρμογή στη μηχανική πυρασφάλειας. Επίσης, στο παρόν έγγραφο πραγματοποιείται μια σημαντική επισκόπηση των σχετικών πειραμάτων πυρκαγιάς που έχουν πραγματοποιηθεί παγκοσμίως σε κτίρια πραγματικής κλίμακας όπου συνοψίζονται τα δεδομένα των πειραμάτων αυτών. Παρουσιάζονται επίσης οι πληροφορίες που έχουν προκύψει από την παρατήρηση της συμπεριφοράς πολυώροφων κτιρίων σε τυχηματικές πυρκαγιές. Παράλληλα, επεξηγούνται λεπτομερώς τα νέα πειράματα πυρκαγιάς μεγάλης κλίμακας σε σύμμικτα συστήματα πλακών, τα οποία πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες πρότυπης πυρκαγιάς ISO μεγάλης διάρκειας, και τα οποία προσφέρουν περισσότερα στοιχεία για την εγκυρότητα της απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού. Τέλος, η συντηρητικότητα του μοντέλου επιδεικνύεται σαφώς μέσα από τη σύγκριση με τη παραμετρική μελέτη που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια προηγμένων υπολογιστικών μοντέλων.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πειράματα πυρκαγιάς μεγάλης κλίμακας που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες χώρες και οι παρατηρήσεις πάνω σε πραγματικές πυρκαγιές κτιρίων έχουν δείξει ότι τα κτίρια με μεταλλικό σκελετό με σύμμικτες πλάκες (πλάκες σκυροδέματος συνδεδεμένες με μεταλλικές δοκούς με ήλους διάτμησης) παρουσιάζουν πολύ καλύτερη συμπεριφορά στην πυρκαγιά σε σχέση με τις ενδείξεις των πειραμάτων πυραντοχής σε σύμμικτες πλάκες ή σύμμικτες δοκούς ως μεμονωμένα δομικά στοιχεία. Είναι γεγονός ότι τα σύγχρονα κτίρια με μεταλλικό σκελετό παρουσιάζουν μεγάλα αποθέματα πυραντοχής, ενώ τα πρότυπα πειράματα πυραντοχής σε αυτόνομα, μη περιορισμένα μέρη δεν αποτελούν ικανοποιητικό δείκτη για τη συμπεριφορά αυτών των κατασκευών απέναντι σε πυρκαγιά.

Από την ανάλυση προκύπτει ότι η εξαιρετική συμπεριφορά στην πυρκαγιά οφείλεται στην ανάπτυξη της δράσης εφελκυσμού της μεμβράνης σταθεροποίησης στην πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος και στην αλυσιδωτή δράση των μεταλλικών δοκών.

Το αποτέλεσμα των παραπάνω παρατηρήσεων και της ανάλυσης ήταν η δημιουργία μιας νέας ιδέας σχεδίασης για την πυρκαγιά σε σύγχρονα πολώροφα κτίρια με μεταλλικό σκελετό στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ο οδηγός σχεδίασης και τα εργαλεία σχεδίασης λογισμικού για τις σύμμικτες πλάκες έδρασης που βασίστηκαν σε αυτή τη μέθοδο παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 2000. Έκτοτε, πολλά κτίρια στο Ηνωμένο Βασίλειο έχουν επωφεληθεί από την εφαρμογή της απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους πυροπροστασίας⁽¹⁾.

Αυτός ο τρόπος σχεδιασμού επιτρέπει στους μελετητές να επωφεληθούν από τη συνολική συμπεριφορά ενός κτιρίου σε πυρκαγιά, καθώς επιτρέπει να παραμένουν μη μονωμένα κάποια μέρη, ενώ ταυτόχρονα διατηρούνται τα επίπεδα α-

σφαλείας που προβλέπονται για τις πλήρως πυροπροστατευμένες κατασκευές. Αυτή η μέθοδος σχεδιασμού επιτρέπει την εκτίμηση της πυραντοχής των μερικών πυροπροστατευμένων σύμμικτων πλακών όταν εκτίθενται σε πυρκαγιές από φυσικά αίτια ή σε πρότυπες πυρκαγιές. Η τελευταία παρατήρηση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς συνάγεται ότι αυτός ο τρόπος σχεδιασμού μπορεί να εφαρμοστεί από τους μελετητές χωρίς να είναι απαραίτητες εξειδικευμένες γνώσεις στη μηχανική πυρασφάλειας.

Η ενίσχυση της πυραντοχής που οφείλεται στη μεμβράνη σταθεροποίησης και στην αλυσιδωτή δράση, παρόλο που χρησιμοποιείται ευρέως στο Ηνωμένο Βασίλειο, αποτελεί, ακόμα, νέα ιδέα για τους περισσότερους μηχανικούς και τις Ρυθμιστικές Αρχές στην Ευρώπη.

Το παρόν έγγραφο έχει ως στόχο να αποτελέσει ένα αξιόπιστο πακέτο τεχνικής υποστήριξης αυτού του τρόπου σχεδιασμού, προς πληροφόρηση των δυνητικών ομάδων χρήσης.

Το πακέτο αυτό περιλαμβάνει:

- επισκόπηση των διαθέσιμων στοιχείων για τη συμπεριφορά των σύμμικτων κατασκευών σε πειράματα πυρκαγιάς μεγάλης κλίμακας και τυχηματικές πυρκαγιές κτιρίων,
- λεπτομερή επεξήγηση της θεωρητικής βάσης της απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού σε σύμμικτα συστήματα πλακών με στήριξη απλών προφίλ διατομών και κυψελωτών δοκών,
- περιγραφή των βασικών παραδοχών που υιοθετούνται από την απλοποιημένη μέθοδο σχεδιασμού για την εκτίμηση της πυραντοχής σύμμικτων συστημάτων πλακών χάλυβα-σκυροδέματος,
- λεπτομέρειες του πειράματος επίδειξης σε σύμμικτα συστήματα πλακών χάλυβα-σκυροδέματος πραγματικής κλίμακας με χρήση της πρότυπης καμπύλης θερμοκρασίας-χρόνου κατά EN 1365-2, για διάρκεια μεγαλύτερη των 120 λεπτών και
- λεπτομερή παραμετρική εξέταση για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων της απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού.

Πίνακας 3.1: Πίνακας σχεδίασης ανοιχτού χώρου στάθμευσης οχημάτων με στοιχεία σχετικά με την πυραντοχή της κατασκευής

		<p>Άνοιγμα πλάκας: 2.5 m Άνοιγμα δευτερεύουσας δοκού: 7.5 m Άνοιγμα κύριας δοκού: 7.5 m Απόσταση στύλων: 7.5 m</p> <p>Εφαρμοζόμενο φορτίο (εκτός ιδίου βάρους):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Τυπικό επίπεδο: <ul style="list-style-type: none"> - Μόνιμο φορτίο: 0.20 kN/m² - Κινητό φορτίο: 2.50 kN/m² • Τελευταίο επίπεδο: <ul style="list-style-type: none"> - Μόνιμο φορτίο: 1.45 kN/m² - Κινητό φορτίο: 2.50 kN/m² • Ίδιο βάρος πρόσοψης: 7.5 kN/m <p>Διεύθυνση θέσης στάθμευσης:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Κάθεται στη δευτερεύουσα δοκό
Καθαρό ύψος μεταξύ μεταλλικών δοκών: 2.1 m		
Ελάχιστη διατομή δευτερεύουσας δοκού	Τυπικό επίπεδο	IPE240
	Τελευταίο επίπεδο	IPE270
Ελάχιστη διατομή κύριας δοκού	Τυπικό επίπεδο	IPE400
	Τελευταίο επίπεδο	IPE450
Διαστασιολόγηση διατομής στύλου	Διαθέσιμες διατομές	HEA, HEB et HEM
	Μέγιστο επίπεδο φορτίου (**)	0.35
Κατασκευαστικές απαιτήσεις πλάκας σκυροδέματος	Συνολικό ύψος πλάκας	≥ 120 mm & ≤ 140 mm
	Μέγιστο ύψος μεταλλικού υποστρώματος	62 mm
	Ελάχιστη αναλογία διαστάσεων του μεταλλικού υποστρώματος (*)	0.393
	Ελάχιστο πάχος του μεταλλικού φύλλου	0.75 mm
	Ελάχιστη διατομή πλέγματος ενίσχυσης	φ 7 150 mmx150 mm
	Τοποθεσία μεταλλικού πλέγματος	30 mm από το άνω μέρος της πλάκας
(*) Αναλογία της εσοχής του μεταλλικού υποστρώματος $\frac{(l_1 + l_2)}{2(l_1 + l_3)}$		
(**) Επίπεδο φορτίου: λόγος του εφαρμοζόμενου σε κατάσταση πυρκαγιάς προς το μέγιστο φορτίο σε θερμοκρασία δωματίου		



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟ ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ

Δύο πυρκαγιές σε κτίρια στην Αγγλία στις αρχές της δεκαετίας του 1990 (Broadgate και Churchill Plaza) αποτέλεσαν αφορμή για την παρατήρηση της συμπεριφοράς στην πυρκαγιά των σύγχρονων κτιρίων με μεταλλικό σκελετό. Η εμπειρία από αυτές τις πυρκαγιές επηρέασε σε μεγάλο βαθμό το σκεπτικό της σχεδίασης κτιρίων με πυραντίσταση και ήταν το έναυσμα για τη σειρά πειραμάτων στο Cardington.

Στοιχεία για τη συμπεριφορά κτιρίων σε πυρκαγιά είναι επίσης διαθέσιμα από πειράματα μεγάλης κλίμακας στην Αυστραλία και στη Γερμανία. Τόσο στην Αυστραλία όσο και στη Ν. Ζηλανδία αναπτύχθηκαν σχεδιαστικές προσεγγίσεις με βάση τις οποίες επιτρέπεται η χρήση μη μονωμένου χάλυβα σε πολυώροφα κτίρια με μεταλλικό σκελετό.

4.1 Broadgate

Το 1990 εκδηλώθηκε πυρκαγιά στο συγκρότημα Broadgate στο Λονδίνο σε κτίριο γραφείων 14 ορόφων⁽⁶⁾. Η πυρκαγιά ξεκίνησε μέσα σε έναν μεγάλο εργοταξιακό χώρο στον πρώτο όροφο του κτιρίου. Η θερμοκρασία της πυρκαγιάς υπολογίζεται ότι υπερέβη τους 1000°C.

Η πλάκα ήταν κατασκευασμένη με δικτυωτά ζευκτά μεγάλου ανοίγματος και σύμμικτες δοκούς για υποστήριξη της σύμμικτης πλάκας. Η πλάκα ήταν σχεδιασμένη ώστε να παρέχει πυραντίσταση 90 λεπτών. Όταν εκδηλώθηκε η πυρκαγιά, το κτίριο ήταν υπό κατασκευή και η παθητική πυροπροστασία στη μεταλλική κατασκευή ήταν ημιτελής. Το σύστημα καταιονισμού και άλλα μέτρα ενεργής πυροπροστασίας δεν είχαν ακόμη τεθεί σε λειτουργία.

Μετά από την πυρκαγιά, η μεταλλουργική διερεύνηση έδειξε ότι η θερμοκρασία στη μη μονωμένη μεταλλική κατασκευή κατά πάσα πιθανότητα δεν υπερέβη τους 600°C. Παρόμοια εξέταση στους κοχλίες των συνδέσεων έδειξε ότι η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε στους κοχλίες, είτε κατά τη διάρκεια της κατασκευής είτε εξαιτίας της πυρκαγιάς, ήταν 540°C.

Οι παραμορφωμένες μεταλλικές δοκοί παρουσίασαν μόνιμες παραμορφώσεις μεταξύ 270 mm και 82 mm. Οι δοκοί που παρουσίασαν μόνιμες παραμορφώσεις στο υψηλότερο όριο αυτής της περιοχής παρουσίασαν ενδείξεις τοπικού λυγισμού στο κάτω πέλμα και στον κορμό κοντά στα στηρίγματά τους. Από αυτές τις ενδείξεις έγινε αντιληπτό ότι η συμπεριφορά των δοκών επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από τη δέσμευση της θερμικής διαστολής. Η περιβάλλουσα κατασκευή, η οποία παρουσίασε σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με το μέταλλο που εκτέθηκε στην πυρκαγιά, παρείχε αυτή τη δέσμευση. Οι αξονικές δυνάμεις που ασκήθηκαν στις θερμαινόμενες δοκούς προκάλεσαν αύξηση της κατακόρυφης βύθισης εξαιτίας των φαινομένων 2^{ας} τάξεως. Ο λυγισμός στο κάτω πέλμα και στον κορμό της δοκού κοντά στα στηρίγματά της προκλήθηκε από το συνδυασμό των αξονικών δυνάμεων που ασκήθηκαν και της αρνητικής ροπής εξαιτίας της άκαμπτης σύνδεσης.

Παρόλο που η εξέταση έδειξε την οπτικά αρνητική επίδραση της δέσμευσης στις μεταλλικές δοκούς, η πιθανή θετική επίδραση δεν καταγράφηκε λόγω του γεγονότος ότι η θερμοκρασία του μετάλλου διατηρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα. Η θετική επίδραση που θα μπορούσε να έχει αναπτυχθεί αφορά την αλυσιδωτή δράση των δοκών και τη γεφύρωση ή τη δράση της μεμβράνης σταθεροποίησης στη σύμμικτη πλάκα.

Τα κατασκευασμένα χαλύβδινα ζευκτά είχαν άνοιγμα 13.5 m και παρουσίασαν μόνιμη κατακόρυφη παραμόρφωση 552 mm. Ορισμένα στοιχεία δικτυώματος παρουσίασαν σημάδια λυγισμού. Το συμπέρασμα της εξέτασης ήταν ότι η δέσμευση της θερμικής διαστολής που παρείχαν τα άλλα στοιχεία δικτυώματος, σε συνδυασμό με την ανομοιομορφή θέρμανση, προκάλεσαν πρόσθετες θλιπτικές αξονικές δυνάμεις, που με τη σειρά τους προκάλεσαν λυγισμό.

Όταν εκδηλώθηκε η πυρκαγιά, δεν διέθεταν πυροπροστασία όλοι οι μεταλλικοί στύλοι. Οι μη μονωμένοι μεταλλικοί στύλοι παραμορφώθηκαν και μειώθηκε το ύψος τους κατά περίπου 100 mm (βλ. Σχήμα 4.1). Αυτοί οι στύλοι ήταν προσκείμενοι σε πολύ βαρύτερους στύλους που δεν παρουσίασαν σημάδια μόνιμης παραμόρφωσης. Εκτιμήθηκε ότι οι στύλοι παραμορφώθηκαν εξαιτίας της δεσμευμένης θερμικής διαστολής. Η δέσμευση της θερμικής διαστολής οφείλεται σε άκαμπτη δοκό που βρίσκεται σε ένα από τα ανώτερα επίπεδα του κτιρίου,



Σχήμα 4.1: Λυγισμένος στύλος και παραμορφωμένες δοκοί στο Broadgate

καθώς επίσης και στους στύλους εκτός της περιοχής που εκτέθηκε στην πυρκαγιά.

Παρόλο που ορισμένοι στύλοι παραμορφώθηκαν, η κατασκευή δεν παρουσίασε σημάδια κατάρρευσης. Εκτιμήθηκε ότι εκείνα τα μέλη της κατασκευής που επηρεάστηκαν λιγότερο σε σχέση με άλλα κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς ήταν ικανά να φέρουν το πρόσθετο φορτίο, το οποίο ανακατανεμήθηκε.

Μετά από την πυρκαγιά, η σύμμικτη πλάκα υπέστη μεγάλο βαθμό παραμορφώσεις με τη μέγιστη κατακόρυφη βύθιση να ανέρχεται σε 600 mm (βλ. Σχήμα 4.2). Παρατηρήθηκε μερική αστοχία της ενίσχυσης. Σε ορισμένες περιοχές το μεταλλικό υπόστρωμα αποκολλήθηκε από το σκυρόδεμα. Αυτό θεωρείται ότι προκλήθηκε κυρίως από την έκλυση ατμού του σκυροδέματος, σε συνδυασμό με την επίδραση της θερμικής δέσμμευσης και τη διαφορική διαστολή.

Χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός συνδέσεων με γωνιακά ελάσματα και ημιάκαμπτες συνδέσεις ακραίου ελάσματος (ελάσματα κάθετα στον κορμό). Μετά από την πυρκαγιά, δεν παρατηρήθηκε αστοχία σε καμία από τις συνδέσεις, παρόλο που ήταν εμφανής η παραμόρφωσή τους. Στις συνδέσεις με γωνιακό έλασμα παρατηρήθηκε παραμόρφωση στις οπές του κοχλία. Σε μία ημιάκαμπτη σύνδεση ακραίου ελάσματος δύο κοχλίες υπέστησαν θραύση. Σε άλλη ημιάκαμπτη σύνδεση ακραίου ελάσματος η πλάκα αστόχησε από διάτμηση στη μία πλευρά της δοκού, ωστόσο η σύνδεση διατήρησε την ικανότητα μεταφοράς της διάτμησης. Εκτιμήθηκε ότι η βασική αιτία της παραμόρφωσης ήταν οι δυνάμεις εφελκυσμού που ασκήθηκαν κατά τη διάρκεια της ψύξης.



Σχήμα 4.2: Όψη της παραμορφωμένης πλάκας πάνω από την πυρκαγιά (μέγιστη παραμόρφωση: περίπου 600 mm)

Μετά από την πυρκαγιά, δομικά στοιχεία που κάλυπταν επιφάνεια περίπου $40\text{ m} \times 20\text{ m}$ αντικαταστήθηκαν, είναι ωστόσο σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν σημειώθηκε αστοχία της κατασκευής και ότι η πλάκα διατήρησε την ακεραιότητά της κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Το άμεσο κόστος εξαιτίας της πυρκαγιάς υπερέβη τις 25 εκατ. λίρες Αγγλίας, από τα οποία λιγότερο από 2 εκατ. δαπανήθηκαν για την αποκατάσταση του δομικού σκελετού και της ζημιάς της πλάκας. Το υπόλοιπο κόστος προέκυψε εξαιτίας της ζημιάς που προκάλεσε ο καπνός. Η δομική αποκατάσταση του κτιρίου ολοκληρώθηκε σε 30 μέρες.

4.2 Κτίριο Churchill Plaza, Basingstoke

Το 1991 εκδηλώθηκε πυρκαγιά στο κτίριο Mercantile Credit Insurance, Churchill Plaza, Basingstoke. Το 12ώροφο κτίριο οικοδομήθηκε το 1988. Οι στύλοι διέθεταν πυράντοχη σανίδα εξωτερικά και οι δοκοί της σύμμικτης πλάκας διέθεταν σύστημα προστασίας καταιονισμού. Η κάτω πλευρά της σύμμικτης πλάκας δεν ήταν μονωμένη. Η κατασκευή σχεδιάστηκε ώστε να έχει πυραντοχή 90 λεπτών.

Η πυρκαγιά ξεκίνησε στον όγδοο όροφο και εξαπλώθηκε ταχέως στον ένατο και στη συνέχεια στον δέκατο όροφο, καθώς η υαλόφραξη αστόχησε. Κατά τη διάρ-

κεια της πυρκαγιάς, η πυροπροστασία επέδειξε θετική συμπεριφορά και δεν επήλθε μόνιμη παραμόρφωση του μεταλλικού σκελετού. Η πυρκαγιά χαρακτηρίστηκε σχετικώς “ήπια”, επειδή η αστοχία της υαλόφραξης επέτρεψε στον πλάγιο άνεμο να αυξήσει τον αερισμό. Οι μονωμένες συνδέσεις δεν υπέστησαν καμία παραμόρφωση.

Σε ορισμένα σημεία, το μεταλλικό υπόστρωμα παρουσίασε σημάδια αποκόλλησης από την πλάκα σκυροδέματος (όπως παρατηρήθηκε και στην πυρκαγιά Broadgate). Στην περιοχή η οποία επηρεάστηκε περισσότερο από την πυρκαγιά πραγματοποιήθηκε πείραμα φορτίου, με φορτίο 1.5 φορές το συνολικό φορτίο σχεδιασμού. Το πείραμα έδειξε ότι η πλάκα είχε επαρκή φέρουσα ικανότητα και μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εκ νέου χωρίς να χρειάζεται αποκατάσταση.

Η μονωμένη μεταλλική κατασκευή δεν υπέστη ζημιές. Το συνολικό κόστος για την αποκατάσταση υπερέβη τις 15 εκατ. λίρες Αγγλίας. Το μεγαλύτερο μέρος του κόστους οφείλεται στη μόλυνση από τον καπνό, όπως και στην πυρκαγιά Broadgate. Στο ανακαινισμένο κτίριο εγκαταστάθηκαν καταιονητήρες.



Σχήμα 4.3: Churchill Plaza, Basingstoke: μετά από την πυρκαγιά

4.3 Πειράματα πυρκαγιάς στην Αυστραλία

Η BHP, η μεγαλύτερη μεταλλουργική εταιρία στην Αυστραλία, πραγματοποιεί έρευνες και αναφορές^(7, 8) στη μηχανική πυρασφάλειας για κτίρια με μεταλλικό σκελετό εδώ και πολλά χρόνια. Σειρά πειραμάτων πυρκαγιάς από φυσικά αίτια μεγάλης κλίμακας πραγματοποιήθηκαν σε ειδικά κατασκευασμένες εγκαταστάσεις στο Εργαστήριο της Μελβούρνης. Οι εγκαταστάσεις που κατασκευάστηκαν προσομοίωναν γήπεδα, χώρους στάθμευσης οχημάτων και γραφεία. Το πρόγραμμα πειραμάτων γραφείου εστιάστηκε σε έργα ανακαίνισης σε μεγάλα κτίρια στο εμπορικό κέντρο της Μελβούρνης.

4.3.1 Πειράματα πυρκαγιάς στην οδό William και προσεγγιστικός σχεδιασμός

Το κτίριο 41 ορόφων της οδού William στο κέντρο της Μελβούρνης ήταν το υψηλότερο κτίριο στην Αυστραλία όταν οικοδομήθηκε το 1971. Το κτίριο είχε τετραγωνική κάτοψη με κεντρικό τετραγωνικό πυρήνα. Το κτίριο διέθετε σύστημα καταιονισμού χαμηλού κινδύνου. Η μεταλλική κατασκευή γύρω από τον κεντρικό πυρήνα και οι περιμετρικοί μεταλλικοί στύλοι διέθεταν πυροπροστασία με επένδυση από σκυρόδεμα. Οι δοκοί και το εσωρράχιο του σύμμικτου μεταλλικού υποστρώματος της πλάκας ήταν μονωμένο με υλικό με βάση τον αμίαντο. Κατά τη διάρκεια του προγράμματος ανακαίνισης το 1990, αποφασίστηκε να αφαιρεθεί ο επικίνδυνος αμίαντος.

Η δομή της πλάκας είχε σχεδιαστεί περισσότερο με γνώμονα την λειτουργικότητα παρά τις απαιτήσεις αντοχής. Το παραπάνω σημαίνει ότι υπήρχε διαθέσιμο απόθεμα αντοχής, το οποίο θα μπορούσε να ωφελήσει την προστασία του σκελετού στην πυρκαγιά, εμποδίζοντας την άνοδο της θερμοκρασίας πριν ο σκελετός φτάσει στο οριακό του σημείο.

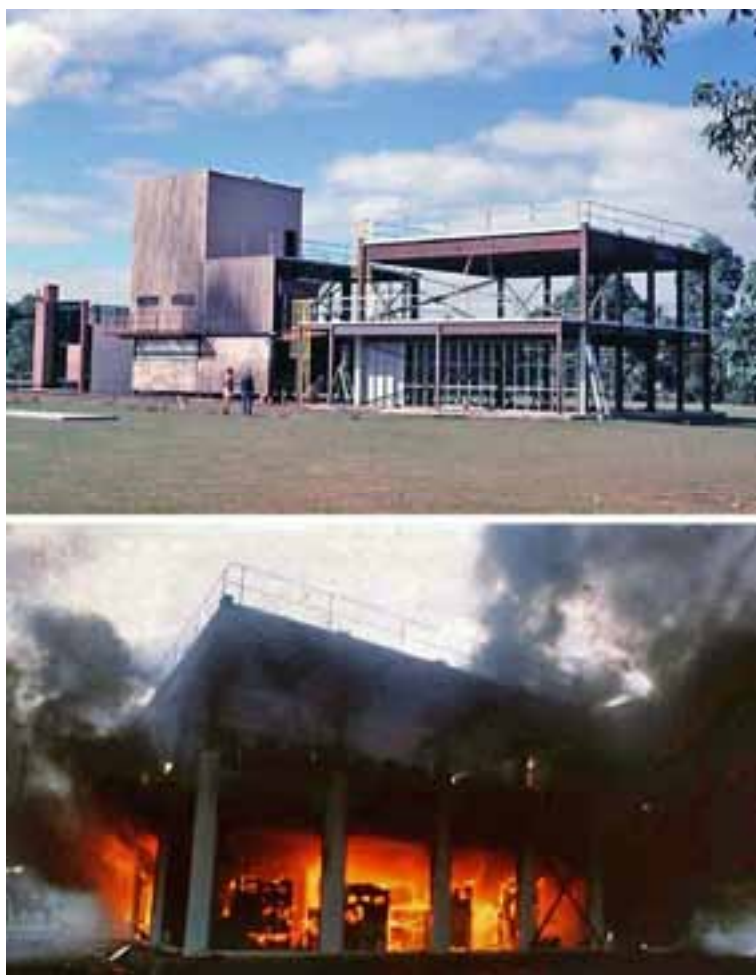
Κατά τη διάρκεια της ανακαίνισης, η απαιτούμενη πυραντοχή ήταν 120 λεπτά. Τυπικά αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μόνωσης στις μεταλλικές δοκούς και στο εσωρράχιο με πλάκα ελαφριού οπλισμού (Οι κανονισμοί στην Αυστραλία έχουν αναθεωρηθεί και πλέον επιτρέπουν το εσωρράχιο της πλάκας να παραμένει μη μονωμένο για πυραντοχή 120 λεπτών). Επιπλέον, το υπάρχον σύστημα καταιονισμού χαμηλού κινδύνου απαιτούσε αναβάθμιση ώστε να πληρούνται οι ισχύοντες κανονισμοί.

Το 1990 η πυρασφάλεια των κτιρίων έγινε αντικείμενο δημόσιας διαβούλευσης σε εθνικό επίπεδο. Με αυτή την ευκαιρία πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση επικινδυνότητας, με σκοπό να εκτιμηθεί κατά πόσο η πυροπροστασία της μεταλλικής κατασκευής και η αναβάθμιση του συστήματος καταιονισμού ήταν απαραίτητα για το κτίριο. Έγιναν δύο εκτιμήσεις. Η πρώτη έγινε με βάση ότι το κτίριο συμμορφωνόταν με τους τρέχοντες κανονισμούς, χωρίς πρόσθετα μέτρα ασφαλείας. Η δεύτερη δεν πρόβλεπε προστασία στις δοκούς ή το εσωρράχιο της πλάκας, σε συνδυασμό με αναστολή της λειτουργίας του υπάρχοντος συστήματος καταιονισμού. Στη δεύτερη εκτίμηση λήφθηκε επίσης υπόψη η επίδραση των συστημάτων ανίχνευσης και των συστημάτων διαχείρισης κτιρίων. Οι αρχές συμφώνησαν ότι στην περίπτωση που τα αποτελέσματα της δεύτερης ανάλυσης επικινδυνότητας ήταν εξίσου θετικά με τα αντίστοιχα της πρώτης ανάλυσης, θα θεωρούταν αποδεκτή η χρήση του υπάρχοντος συστήματος καταιονισμού και των μη μονωμένων μεταλλικών δοκών και σύμμικτων πλακών.

Τέσσερα πειράματα πραγματοποιήθηκαν ώστε να συλλεχθούν τα δεδομένα για τη δεύτερη ανάλυση επικινδυνότητας. Τα πειράματα είχαν σκοπό την μελέτη ζητημάτων όπως την πιθανή φύση της φωτιάς, τη συμπεριφορά του υπάρχοντος συστήματος καταιονισμού, τη συμπεριφορά της μη μονωμένης σύμμικτης πλάκας και των κυψελωτών δοκών όταν εκτίθενται σε πραγματικές συνθήκες πυρκαγιάς και την πιθανή παραγωγή καπνού και τοξικών προϊόντων.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε ένα κτίριο που κατασκευάστηκε ειδικά για τον σκοπό αυτό στο Εργαστήριο της Μεμβούρνης του τμήματος Έρευνας της BHP (βλ. Σχήμα 4.4). Με τον τρόπο αυτό επετεύχθη η προσομοίωση ενός τυπικού ορόφου με ύψος $12\text{ m} \times 12\text{ m}$ σε γωνιακό άνοιγμα του κτιρίου. Το κτίριο του πειράματος επιπλώθηκε ώστε να αντιπροσωπεύει περιβάλλον γραφείου, με ένα μικρό γραφείο, διαστάσεων $4\text{ m} \times 4\text{ m}$, προσκείμενο στην περίμετρο του κτιρίου. Το γραφείο κλείστηκε με γυψοσανίδα, υαλοπίνακες, μία πόρτα και την πρόσοψη του κτιρίου. Ως φορτίο του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δεξαμενές νερού.

Πραγματοποιήθηκαν τέσσερα πειράματα πυρκαγιάς. Τα πρώτα δύο πραγματοποιήθηκαν για τον έλεγχο της συμπεριφοράς του συστήματος καταιονισμού χαμηλού κινδύνου. Στο Πείραμα 1, η πυρκαγιά ξεκίνησε στο μικρό γραφείο και οι καταιονητήρες ενεργοποιήθηκαν αυτόματα. Το γραφείο έφερε πυροθερμικό φορτίο 52 kg/m^2 . Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ανήλθε στους 60°C μέχρι η πυρκαγιά να ελεγχθεί και να κατασβηστεί από τους καταιονητήρες. Στο Πείραμα 2, η πυρκαγιά ξεκίνησε σε ανοιχτό χώρο στο μέσο μεταξύ τεσσάρων καταιονητήρων. Η περιοχή έφερε φορτίο 53.5 kg/m^2 . Η θερμοκρασία περιβάλλοντος ανήλθε στους 118°C μέχρι η πυρκαγιά να ελεγχθεί και να κατασβηστεί από τους



Σχήμα 4.4: Το κτίριο του πειράματος και το πείραμα πυρκαγιάς της BHP

καταιονητήρες. Τα δύο πειράματα έδειξαν ότι το υπάρχον σύστημα καταιονισμού χαμηλού κινδύνου ήταν κατάλληλο για την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς.

Στο Πείραμα 3 εκτιμήθηκε η δομική και θερμική συμπεριφορά της σύμμικτης πλάκας. Οι δοκοί υποστήριξης ήταν μερικώς μονωμένες. Η πυρκαγιά ξεκίνησε στον ανοιχτό χώρο και αναπτύχθηκε ελεύθερα με τους καταιονητήρες απενεργοποιημένους. Η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος ανήλθε στους 1254°C. Η πυρκαγιά κατασβήστηκε όταν υπολογίστηκε ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος έφτασε στην ανώτατη τιμή της. Η πλάκα υποστήριξε το φορτίο που ασκήθηκε. Η μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε στην ανώτερη επιφάνεια της πλάκας ήταν 72°C. Η κάτω πλευρά της πλάκας ήταν μερικώς μονωμένη από το σύστημα

οροφής, το οποίο παρέμεινε σε μεγάλο βαθμό ανεπηρέαστο κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς.

Στο Πείραμα 4, οι μεταλλικές δοκοί ήταν μη μονωμένες και η πυρκαγιά ξεκίνησε στο μικρό γραφείο. Η πυρκαγιά δεν εξαπλώθηκε στον ανοιχτό χώρο, παρόλο που οι υαλοπίνακες υπέστησαν θραύση από τους χειριστές του πειράματος ώστε να αυξηθεί ο αερισμός. Κατά συνέπεια, η πυρκαγιά προκλήθηκε τεχνητά στον ανοιχτό χώρο. Η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος που καταγράφηκε ήταν 1228°C και η μέγιστη θερμοκρασία στη μεταλλική δοκό 632°C, πάνω από την αναρτημένη οροφή. Η κεντρική βύθιση της κυψελωτής δοκού ήταν 120 mm και κατά το μεγαλύτερο μέρος της η παραμόρφωση αυτή αποκαταστήθηκε όταν η θερμοκρασία της κατασκευής επανήλθε σε τιμές θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Τρεις αφόρτιστοι στύλοι τοποθετήθηκαν στο πυροδιαμέρισμα ώστε να εξεταστεί η επίδραση των απλών προστατευτικών καλυμμάτων ακτινοβολίας. Ο ένας στύλος ήταν μονωμένος με γαλβανισμένο μεταλλικό φύλλο, ο δεύτερος με επαργιλωμένο μεταλλικό φύλλο και ο τρίτος ήταν μη μονωμένος ως στύλος αναφοράς. Οι μέγιστες θερμοκρασίες που καταγράφηκαν για τους τρεις στύλους ήταν 580°C, 427°C και 1064°C αντίστοιχα, υποδεικνύοντας ότι τα απλά προστατευτικά καλύμματα ακτινοβολίας παρέχουν επαρκή προστασία στα μεταλλικά μέλη σε συνθήκες πυρκαγιάς χαμηλού φορτίου.

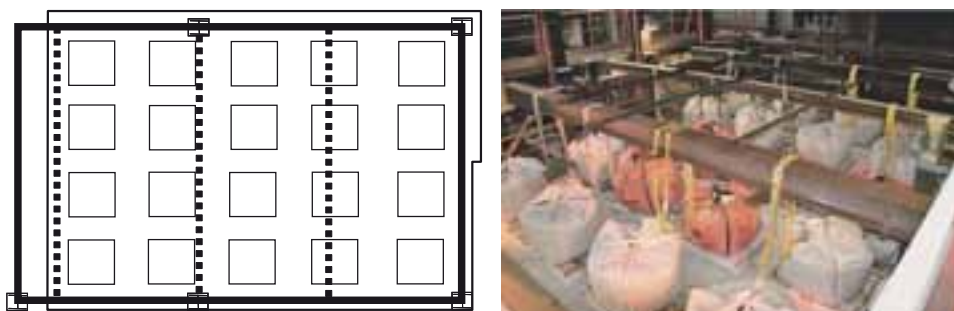
Τα τέσσερα πειράματα κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το υπάρχον σύστημα καταιονισμού χαμηλού κινδύνου ήταν επαρκές και δεν ήταν απαραίτητα άλλα μέτρα πυροπροστασίας για τις μεταλλικές δοκούς ή το εσωρράχιο της σύμμικτης πλάκας. Οποιαδήποτε πυρκαγιά στο κτίριο της οδού William δεν αναμένεται να παραμορφώσει την πλάκα ή τις μεταλλικές δοκούς σε υπερβολικό βαθμό, εφόσον οι θερμοκρασίες του μετάλλου δεν υπερβαίνουν τις αντίστοιχες που καταγράφηκαν στα πειράματα.

Η άνοδος της θερμοκρασίας στις μεταλλικές δοκούς επηρεάστηκε από το σύστημα αναρτημένης οροφής, το οποίο παρέμεινε σε μεγάλο βαθμό ανεπηρέαστο κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Το μεγάλο κτίριο γραφείων στο κέντρο της πόλης που υποβλήθηκε σε τεχνική εξέταση ανήκε στη μεγαλύτερη ασφαλιστική εταιρία της Αυστραλίας, η οποία ανέλαβε την πρωτοβουλία και τη χρηματοδότηση του προγράμματος των πειραμάτων. Οι τοπικές αρχές ενέκριναν το κτίριο χωρίς παθητική πυροπροστασία στις δοκούς, αλλά με το σύστημα καταιονισμού χαμηλού κινδύνου βελτιωμένης αξιοπιστίας και το σύστημα αναρτημένης οροφής, τα οποία αποδείχθηκαν ότι ανταποκρίνονται με επιτυχία στην πυρκαγιά κατά τη διάρκεια του προγράμματος των πειραμάτων.



Σχήμα 7.23: Διάφορες διατάξεις σύμμικτων συνδέσεων χάλυβα-σκυροδέματος



Σχήμα 7.24: Συνθήκες φορτίου σύμμικτης πλάκας χάλυβα-σκυροδέματος εκτεθειμένης σε πυρκαγιά



Σχήμα 7.37: Κατάρρευση της ακραίας δοκού



Σχήμα 7.38: Η πλάκα του πειράματος πριν και μετά από την πυρκαγιά

Παρατηρήθηκε τοπικός λυγισμός της μη μονωμένης δευτερεύουσας δοκού που ήταν συνδεδεμένη με τις κεντρικές μεταλλικές δοκούς, κοντά στις συνδέσεις, στο κάτω πέλμα της και στον κορμό της (βλ. Σχήμα 7.39). Ωστόσο, το πιο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό αυτού του πειράματος σε ό,τι αφορά τις μεταλλικές συνδέσεις είναι ότι όλες τους επέδειξαν πολύ θετική συμπεριφορά τόσο κατά τη φάση θέρμανσης όσο και κατά την φάση της ψύξης. Επίσης, δεν παρατηρήθηκε τοπικός λυγισμός στις μη μονωμένες δευτερεύουσες δοκούς που ήταν συνδεδε-

μένες με τις κύριες δοκούς, κοντά στις συνδέσεις (Σχήμα 7.40). Ομοίως, δεν παρατηρήθηκε αστοχία των ακραίων συνδέσεων μεταξύ της πλάκας σκυροδέματος και των μεταλλικών στοιχείων.



Σχήμα 7.39: Τοπικός λυγισμός των μη μονωμένων δευτερευουσών δοκών που ήταν συνδεδεμένες σε στύλο



Σχήμα 7.40: Κανένας τοπικός λυγισμός των μη μονωμένων δευτερευουσών δοκών που ήταν συνδεδεμένες στις κύριες δοκούς



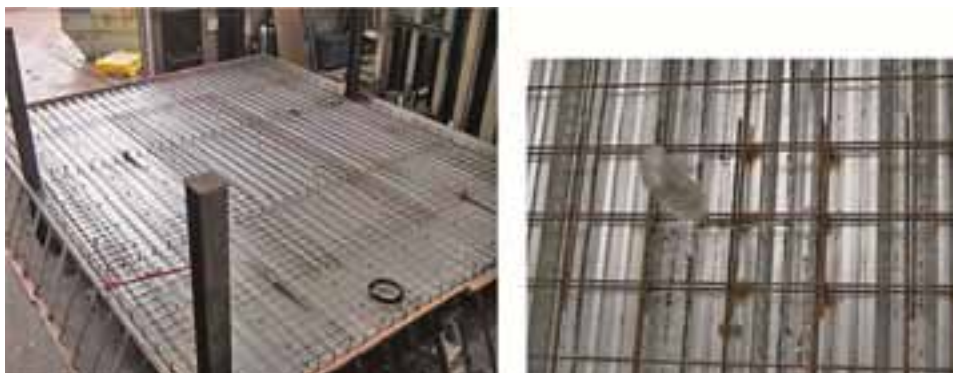
Σχήμα 7.41: Σχηματισμός ρωγμών στα γωνιακά τμήματα της πλάκας

Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό που αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο είναι ο σχηματισμός ρωγμών στη σύμμικτη πλάκα, γύρω από τους στύλους, που είναι πιθανό να επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά της πλάκας απέναντι στην πυρκαγιά. Τα βασικά αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν σχετικά είναι τα εξής:

- Όσον αφορά το σχηματισμό ρωγμών στα γωνιακά τμήματα της πλάκας, αυτές παρέμειναν μικρές και δεν επηρέασαν αρνητικά τα κριτήρια ακεραιότητας (βλ. Σχήμα 7.41).
- Όσον αφορά το σχηματισμό ρωγμών γύρω από τους μεσαίους στύλους, η σημαντική βύθιση της μη μονωμένης δοκού κάτω από τους στύλους προκάλεσε μεγάλη μετακίνηση της πλάκας προς τα μέσα, πιθανόν επηρεάζοντας αρνητικά τα κριτήρια ακεραιότητας εξαιτίας της ανοιχτής ρωγμής μπροστά από τον στύλο (βλ. Σχήμα 7.42).
- Δεν προκλήθηκαν σημαντικές ρωγμές στην πλάκα σκυροδέματος στο κεντρικό τμήμα της πλάκας, καθώς το μεταλλικό πλέγμα ενίσχυσης επέδειξε κατάλληλη συμπεριφορά υπό την επίδραση της μεμβράνης σταθεροποίησης, ακόμα και όταν η θερμοκρασία ανήλθε στους 500°C. Αυτή η πολύ θετική συμπεριφορά στην πυρκαγιά οφείλεται δίχως άλλο στην κατάλληλη αλληλεπικάλυψη των μεταλλικών πλεγμάτων ενίσχυσης (βλ. Σχήμα 7.43).
- Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες σύμφωνα με τις οποίες το μεταλλικό πλέγμα ενίσχυσης τοποθετείται πίσω από τους ήλους των ακραίων δοκών αποδεικνύονται εξαιρετικά αποτελεσματικές στην περίπτωση της δράσης της μεμβράνης σταθεροποίησης στη σύμμικτη πλάκα, με αποτέλεσμα να παρέχονται ωφέλιμες πλευρικές δεσμεύσεις στην πλάκα.
- Η εναπομένουσα φέρουσα ικανότητα της πλάκας παραμένει επαρκής και είναι αρκετή παρά τη σημαντική βύθιση της πλάκας.



Σχήμα 7.42: Σχηματισμός ρωγμών στο σκυρόδεμα γύρω από τους μεσαίους στύλους



Σχήμα 7.43: Αλληλεπικάλυψη του μεταλλικού πλέγματος ενίσχυσης στη σύμμικτη πλάκα

7.4 Πείραμα πραγματικής κλίμακας σε σύμμικτη πλάκα με κυψελωτές δοκούς μεγάλου ανοίγματος

7.4.1 Πειραματικό δοκίμιο

Η πλάκα έδρασης του πειράματος είχε διαστάσεις 9.6 m επί 15.6 m και ήταν στηριζόμενη σε μεταλλικό πλαίσιο με άνοιγμα 9 m επί 15 m, ανάμεσα σε τέσσερις γωνιακούς στύλους (Σχήμα 7.44). Οι κυψελωτές δοκοί ήταν τοποθετημένες στις κεντροβαρικές γραμμές 1, 4, B, C και D ως κύριες και δευτερεύουσες δοκοί της κατασκευής (Σχήμα 7.45). Οι διαστάσεις των δοκών φαίνονται στο Σχήμα 7.45 και στο Σχήμα 7.46. Οι μη μονωμένες δευτερεύουσες δοκοί 4 και 5 διέθεταν επίσης επίμηκες άνοιγμα κορμού στο κέντρο του ανοίγματός τους.



Σχήμα 7.44: Διαμέρισμα του πειράματος με μη μονωμένες κυψελωτές δοκούς μεγάλου ανοίγματος

Μέρος Δεύτερο

Οδηγός Σχεδιασμού

1. Εισαγωγή
2. Βάση σχεδιασμού
3. Προτάσεις για τα δομικά στοιχεία
4. Διαμερισματοποίηση
5. Παράδειγμα σχεδιασμού



Περίληψη Οδηγού Σχεδιασμού

Τα πειράματα πυρκαγιάς μεγάλης κλίμακας που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες χώρες και οι παρατηρήσεις πάνω σε πραγματικές πυρκαγιές κτιρίων έχουν δείξει ότι τα κτίρια με σύμμικτο μεταλλικό σκελετό παρουσιάζουν πολύ καλύτερη συμπεριφορά στην πυρκαγιά σε σχέση με τις ενδείξεις των πειραμάτων πυραντοχής για μεμονωμένα στοιχεία. Είναι γεγονός ότι τα σύγχρονα κτίρια με μεταλλικό σκελετό παρουσιάζουν μεγάλα αποθέματα πυραντοχής, ενώ τα πρότυπα πειράματα πυραντοχής σε αυτόνομα, μη περιορισμένα μέλη δεν αποτελούν ικανοποιητικό δείκτη για τη συμπεριφορά αυτών των κατασκευών απέναντι σε πυρκαγιά.

Το παρόν έγγραφο αποτελεί έναν οδηγό για την εφαρμογή μιας απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού, όπως εφαρμόζεται από το λογισμικό MACS+. Οι προτάσεις είναι συντηρητικές και περιορίζονται σε κατασκευές παρόμοιες με τις κατασκευές των πειραμάτων, δηλαδή πλευρικώς αντιστηριζόμενα μεταλλικά κτίρια με σύμμικτη πλάκα και σύμμικτες πλάκες με κυψελωτές δοκούς. Ο οδηγός επιτρέπει στους μελετητές τον έλεγχο της συμπεριφοράς όλου του κτιρίου και τους παρέχει τη δυνατότητα να καθορίζουν ποιά μέλη είναι δυνατόν να παραμένουν μη μονωμένα, ενώ παράλληλα να διατηρούνται τα επίπεδα ασφάλειας που ισοδυναμούν με εκείνα των παραδοσιακών μεθόδων.

Αναγνωρίζοντας το γεγονός ότι πολλοί μηχανικοί πυρασφάλειας σήμερα χρησιμοποιούν φυσικές πυρκαγιές, παρέχεται εδώ ένα μοντέλο φυσικής πυρκαγιάς, μαζί με το πρότυπο μοντέλο πυρκαγιάς, ως έκφραση της καμπύλης θερμοκρασίας-χρόνου σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1.

Εκτός από τον οδηγό σχεδιασμού του παρόντος εγγράφου, παρέχεται επίσης το Θεωρητικό Υπόβαθρο το οποίο περιλαμβάνει τις λεπτομέρειες των πειραμάτων πυρκαγιάς και την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων που πραγματοποιήθηκαν ως μέρος των έργων FRACOF, COSSFIRE και FICEB, καθώς επίσης και τις λεπτομέρειες των πειραμάτων Cardington που πραγματοποιήθηκαν σε οκταώροφο κτίριο στο Cardington. Το Θεωρητικό Υπόβαθρο χρησιμεύει ώστε να γίνει κατανοητή στον αναγνώστη η βάση των προτάσεων σχεδιασμού του παρόντος εγγράφου.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι προτάσεις σχεδιασμού του παρόντος εγγράφου βασίζονται στη συμπεριφορά των σύμμικτων πλακών, όπως έχει διαπιστωθεί σε πραγματικές πυρκαγιές κτιρίων και σε πειράματα πυρκαγιάς πραγματικής κλίμακας^(1, 2, 3). Αυτές οι συντηρητικές προτάσεις για τον σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς μπορούν να ληφθούν ως ισοδύναμες των προηγμένων μεθόδων των Ευρωκωδίκων.

Τα στοιχεία της κατασκευής σε πολυώροφα κτίρια απαιτείται, σύμφωνα με τους εθνικούς κανονισμούς για τον σχεδιασμό κατασκευών, να διαθέτουν πυραντίσταση. Η πυραντίσταση μπορεί να καθοριστεί είτε με βάση τη συμπεριφορά σε πρότυπα πειράματα πυραντίστασης ή με υπολογισμούς σύμφωνα με αναγνωρισμένα πρότυπα, κυρίως τα EN 1991-1-2⁽⁴⁾, EN 1993-1-2⁽⁵⁾ και EN 1994-1-2⁽⁶⁾. Σε πρότυπο πείραμα πυρκαγιάς, οι αυτόνομες και μη προστατευμένες διατομές μεταλλικών δοκών Ι ή Η αναμένεται να διαθέτουν πυραντίσταση μόλις 15 έως 20 λεπτών. Για τον λόγο αυτό, αποτελεί κοινή πρακτική οι μεταλλικές δοκοί και οι μεταλλικοί στύλοι να μονώνονται με πυράντοχες σανίδες, καταιονισμό ή διογκούμενο χρώμα ή ακόμα, στην περίπτωση λεπτής πλάκας ή κατασκευής με στήριξη της πλάκας από τον κορμό της διατομής, περικλείοντας τα στοιχεία της κατασκευής εντός της πλάκας.

Τα πειράματα φυσικής πυρκαγιάς πραγματικής κλίμακας⁽⁷⁾ που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες χώρες έδειξαν με συνέπεια ότι η εγγενής συμπεριφορά στην πυρκαγιά των σύμμικτων πλακών με μη μονωμένα μεταλλικά στοιχεία είναι πολύ καλύτερη από τα αποτελέσματα των πρότυπων πειραμάτων σε μεμονωμένα στοιχεία. Σύμφωνα με τις ενδείξεις των πραγματικών πυρκαγιών, σε ορισμένες περιπτώσεις η προστασία που εφαρμόζεται στα μεταλλικά στοιχεία ενδέχεται να είναι υπερβολική. Συγκεκριμένα, τα πειράματα πυρκαγιάς Cardington αποτέλεσαν μια ευκαιρία για την εξέταση της συμπεριφοράς πραγματικών κατασκευών σε πυρκαγιά και για την εκτίμηση της πυραντίστασης μη μονωμένων σύμμικτων κατασκευών σε πραγματικές συνθήκες.

Παρόλο που οι προτάσεις σχεδιασμού στο παρόν έγγραφο αφορούν γενικευμένες πυρκαγιές σε διαμερίσμα, είναι δυνατό να εφαρμοστούν με ευκολία σε συνθήκες πρότυπης πυρκαγιάς, όπως στο πείραμα της πλάκας πραγματικής κλίμακας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο των έργων FRACOF και COSSFIRE. Είναι προφανές ότι η δυνατότητα αυτή δίνει σημαντική ευχέρεια στους μηχανικούς για το σχεδιασμό της πυρασφάλειας πολυώροφων μεταλλικών κτιρίων. Τα πειράματα μεγάλης κλίμακας που πραγματοποιήθηκαν στο Ούλστερ στο πλαίσιο του έργου FICEB επιβεβαιώνουν ότι η θεωρία της μεμβράνης σταθεροποίησης είναι επίσης δυνατό να εφαρμοστεί σε κυψελωτές δοκούς.

Όπου οι εθνικοί κανονισμοί επιτρέπουν τον σχεδιασμό βάσει της συμπεριφοράς των κτιρίων σε πυρκαγιά, η μέθοδος σχεδίασης που περιγράφεται στον παρόντα οδηγό είναι δυνατό να εφαρμοστεί, ώστε να διαπιστωθεί η πυραντίσταση της κατασκευής χωρίς πυροπροστασία. Σε ορισμένες χώρες η αποδοχή των παραπάνω διαπιστώσεων είναι πιθανό να απαιτεί την έκδοση ειδικής άδειας από την εθνική αρχή ελέγχου κατασκευών.

Οι προτάσεις που παρουσιάζονται στο παρόν έγγραφο μπορούν να ληφθούν ως προέκταση της μηχανικής πυρασφάλειας στο πεδίο της δομικής συμπεριφοράς των κατασκευών και ως βελτίωση του σχεδιασμού έναντι πυρκαγιάς. Ο τελικός στόχος είναι η μελέτη, που ακολουθεί τις προτάσεις που παρουσιάζονται στο παρόν, να επιτυγχάνει τουλάχιστον το επίπεδο ασφάλειας, όπως αυτό καθορίζεται από τους εθνικούς κανονισμούς, και ταυτόχρονα να γίνεται οικονομία στο κόστος της κατασκευής.

Εκτός από την πυραντίσταση με βάση την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου, παρουσιάζονται επίσης προτάσεις για κτίρια τα οποία έχουν κατασκευαστεί έτσι ώστε να αντέχουν σε φυσική πυρκαγιά. Οι φυσικές πυρκαγιές ορίζονται από το λογισμικό MACS+ με χρήση της παραμετρικής καμπύλης θερμοκρασίας-χρόνου που δίνεται στο EN 1991-1-2. Στο παραπάνω λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος του διαμερίσματος, το μέγεθος των ανοιγμάτων που τυχόν υπάρχουν και η ποσότητα των καυσίμων υλικών. Επιπλέον, το λογισμικό MACS+ παρέχει τη δυνατότητα ανάγνωσης της καμπύλης θερμοκρασίας-χρόνου από ένα αρχείο κειμένου, επιτρέποντας τη χρήση των αποτελεσμάτων άλλων μοντέλων πυρκαγιάς.

Οι προτάσεις εφαρμόζονται σε σύμμικτα πλαίσια παρόμοια με το οκταώροφο κτίριο του πειράματος Cardington, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1 και στο Σχήμα 1.2.

Οι προτάσεις σχεδιασμού παρουσιάζονται ως οδηγός για την εφαρμογή του λογισμικού MACS+, το οποίο είναι διαθέσιμο για ελεύθερο κατέβασμα στον ιστότοπο www.arcelormittal.com/sections.



Σχήμα 1.1:
Το κτίριο του πειράματος Cardington
test building πριν από τη σκυροδέτηση
της πλάκας



Σχήμα 1.2: Όψη των μη μονωμένων μεταλλικών στοιχείων



ΒΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Αυτό το κεφάλαιο περιέχει τη σύνοψη των αρχών σχεδιασμού και των παραδοχών που διέπουν την ανάπτυξη της απλοποιημένης μεθόδου σχεδιασμού· περισσότερες λεπτομερείς πληροφορίες δίνονται στο συνοδευτικό τεύχος (Θεωρητικό Υπόβαθρο)⁽⁷⁾. Περιγράφεται επίσης το είδος των κατασκευών για τις οποίες είναι δυνατό να εφαρμοστεί ο οδηγός σχεδιασμού.

Ο οδηγός σχεδιασμού αναπτύχθηκε από την έρευνα με βάση τα αποτελέσματα πειραμάτων πυρκαγιάς, πειραμάτων σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων.

2.1 Πυρασφάλεια

Η απλοποιημένη μέθοδος σχεδιασμού ισχύει με την εφαρμογή των παρακάτω βασικών απαιτήσεων πυρασφάλειας:

- ➔ Δεν θα πρέπει να προκύπτει αυξημένος κίνδυνος για την ασφάλεια της ζωής των ανθρώπων στο κτίριο, των πυροσβεστών και άλλων κοντά στο κτίριο, όπως καθορίζουν οι ισχύουσες ρυθμίσεις.
- ➔ Η πλάκα που εκτίθεται στην πυρκαγιά δεν θα πρέπει να υφίσταται υπερβολική παραμόρφωση η οποία θα προκαλεί αστοχία της διαμερισματοποίησης, δηλαδή η πυρκαγιά θα πρέπει να περιορίζεται εντός του διαμερίσματος στο οποίο ξεκίνησε και δεν θα πρέπει να εξαπλώνεται είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα.

2.2 Είδος κατασκευής

Ο οδηγός σχεδιασμού της απλοποιημένης μεθόδου εφαρμόζεται μόνο σε μεταλλικά κτίρια με σύμμικτες πλάκες της παρακάτω μορφής:

- πλευρικώς αντιστηριζόμενα πλαίσια, μη ευαίσθητα σε λυγισμό με πλευρική μετάθεση,
- πλαίσια με απλές συνδέσεις,
- σύμμικτες πλάκες οι οποίες αποτελούνται από μεταλλικό υπόστρωμα, πλέγμα ενίσχυσης και κανονικό ή ελαφρύ σκυρόδεμα, σχεδιασμένες σύμφωνα με το EN 1994-1-1⁽⁹⁾,
- δοκοί σχεδιασμένες ώστε να δρουν σύμμικτα με την πλάκα και σύμφωνα με το EN 1994-1-1,
- δοκοί με οπές για λειτουργικούς λόγους.

Ο οδηγός **δεν** είναι δυνατό να εφαρμοστεί σε:

- πλάκες κατασκευασμένες από προκατασκευασμένες πλάκες σκυροδέματος,
- εσωτερικές δοκούς που έχουν σχεδιαστεί ώστε να δρουν μη σύμμικτα (οι δοκοί στα άκρα της πλάκας ενδέχεται να είναι μη σύμμικτες).

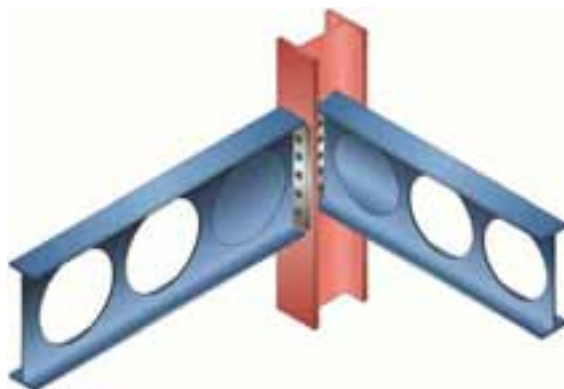
2.2.1 Μοντέλα απλών συνδέσεων

Τα μοντέλα συνδέσεων που υιοθετήθηκαν κατά την ανάπτυξη του οδηγού σχεδίασης του παρόντος εγγράφου προϋποθέτουν ότι η καμπτική ροπή δεν μεταδίδεται μέσω της σύνδεσης. Αυτού του είδους οι συνδέσεις είναι γνωστές ως “απλές συνδέσεις”.

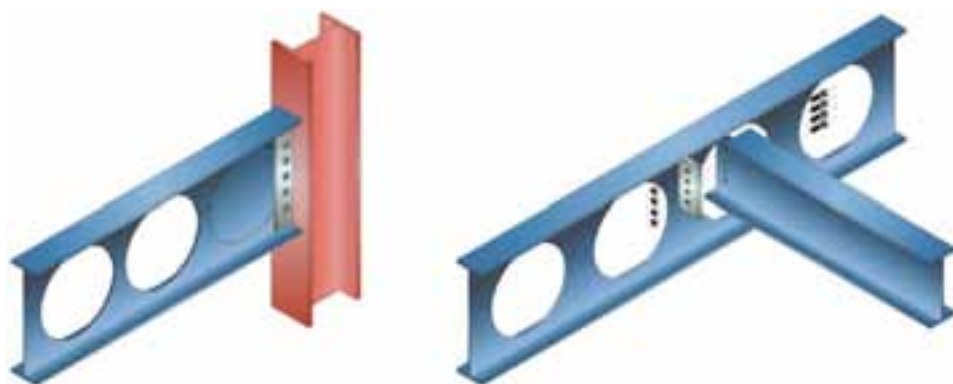
Οι συνδέσεις δοκών σε στύλο που είναι δυνατό να θεωρηθούν “απλές συνδέσεις” περιλαμβάνουν τα εξής:

- ημιάκαμπτες συνδέσεις ακραίου ελάσματος (Σχήμα 2.1)
- αρθρωτές συνδέσεις ελάσματος πτερυγίου (Σχήμα 2.2)
- γωνιακά ελάσματα κορμού (Σχήμα 2.3).

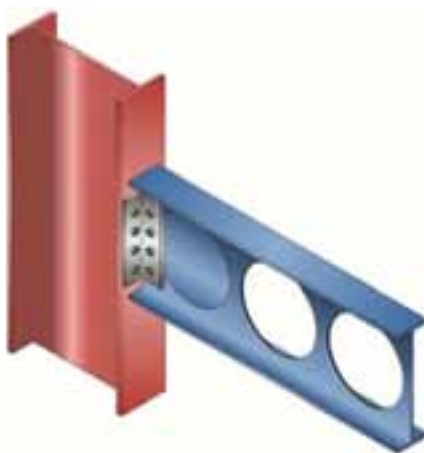
Περισσότερες πληροφορίες για τον σχεδιασμό των “απλών συνδέσεων” δίνονται στο κεφάλαιο 3.6.



Σχήμα 2.1: Παράδειγμα ημιάκαμπτων συνδέσεων ακραίου ελάσματος



Σχήμα 2.2: Παραδείγματα αρθρωτών συνδέσεων ελάσματος πτερυγίου



Σχήμα 2.3: Παράδειγμα σύνδεσης με γωνιακό έλασμα κορμού

2.2.2 Πλάκες και δοκοί

Οι προτάσεις σχεδιασμού του παρόντος οδηγού μπορούν να εφαρμοστούν για μεταλλικό υπόστρωμα πάχους έως 80 mm, με το ύψος του σκυροδέματος πάνω από το μεταλλικό υπόστρωμα να κυμαίνεται μεταξύ 60 και 130 mm. Η αντοχή του μεταλλικού υποστρώματος δεν λαμβάνεται υπόψη στη μέθοδο σχεδιασμού έναντι πυρκαγιάς, ωστόσο η παρουσία του μεταλλικού υποστρώματος εμποδίζει τον σχηματισμό ανοιγμάτων στο σκυρόδεμα στην κάτω πλευρά της πλάκας. Αυτό το είδος κατασκευής της πλάκας απεικονίζεται στο Σχήμα 2.4.

Αυτή η μέθοδος σχεδιασμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε με ιστροπικό είτε με ορθοτροπικό πλέγμα ενίσχυσης, δηλαδή με πλέγματα που παρουσιάζουν τα ίδια ή διαφορετικά εμβαδά σε ορθογωνικές διευθύνσεις. Η ποιότητα χάλυβα του πλέγματος ενίσχυσης πρέπει να καθορίζεται σύμφωνα με το EN 10080. Το λογισμικό MACS+ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για συγκολλημένα πλέγματα ενίσχυσης και δεν μπορεί να λαμβάνει υπόψη περισσότερα από ένα στρώματα ενίσχυσης. Οι ράβδοι ενίσχυσης στις εσοχές της σύμμικτης πλάκας **δεν** είναι απαραίτητες.

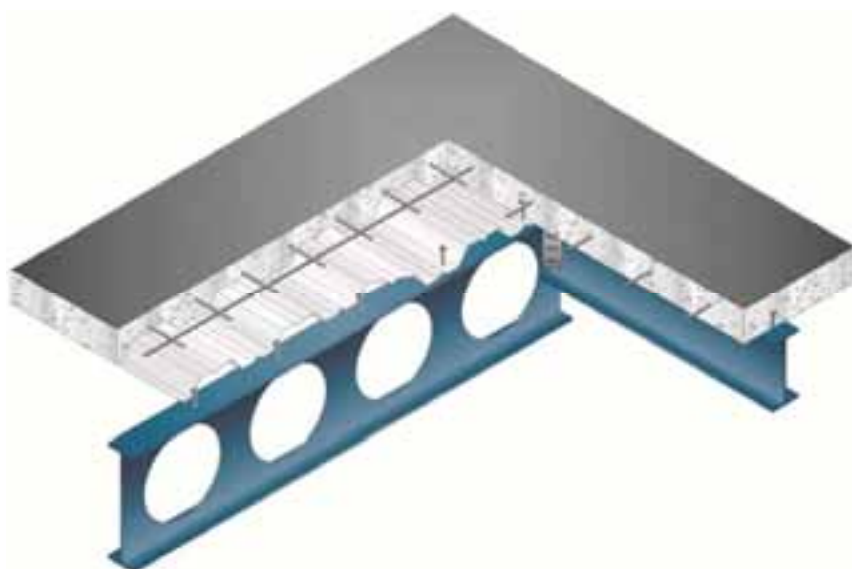
Το λογισμικό περιλαμβάνει τυποποιημένα μεταλλικά πλέγματα της σειράς Α και Β, όπως ορίζουν τα εθνικά πρότυπα στο Ηνωμένο Βασίλειο^(11, 12) (Πίνακας 2.1) και μία ποικιλία πλεγμάτων όπως ορίζουν τα εθνικά πρότυπα στη Γαλλία^(13, 14) (Πίνακας 2.2), τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην αγορά κατασκευών

Πίνακας 2.1: Τυποποιημένα πλέγματα βάσει των βρετανικών προτύπων 4483⁽¹¹⁾

Κωδικός αναφοράς ενίσχυσης	Μέγεθος πλέγματος (mm)	Βάρος (kg/m ²)	Διαμήκεις οπλισμοί		Εγκάρσιοι οπλισμοί	
			Μέγεθος (mm)	Επιφάνεια (mm ² /m)	Μέγεθος (mm)	Επιφάνεια (mm ² /m)
A142	200×200	2.22	6	142	6	142
A193	200×200	3.02	7	193	7	193
A252	200×200	3.95	8	252	8	252
A393	200×200	6.16	10	393	10	393
B196	100×200	3.05	5	196	7	193
B283	100×200	3.73	6	283	7	193
B385	100×200	4.53	7	385	7	193
B503	100×200	5.93	8	503	8	252

Πίνακας 2.2: Μεταλλικά πλέγματα που χρησιμοποιούνται συνήθως στην αγορά της Γαλλίας

Κωδικός αναφοράς ενίσχυσης	Μέγεθος πλέγματος (mm)	Βάρος (kg/m ²)	Διαμήκεις οπλισμοί		Εγκάρσιοι οπλισμοί	
			Μέγεθος (mm)	Επιφάνεια (mm ² /m)	Μέγεθος (mm)	Επιφάνεια (mm ² /m)
ST 20	150×300	2.487	6	189	7	128
ST 25	150×300	3.020	7	257	7	128
ST 30	100×300	3.226	6	283	7	128
ST 35	100×300	6.16	7	385	7	128
ST 50	100×300	3.05	8	503	8	168
ST 60	100×300	3.73	9	636	9	254
ST 15 C	200×200	2.22	6	142	6	142
ST 25 C	150×150	4.03	7	257	7	257
ST 40 C	100×100	6.04	7	385	7	385
ST 50 C	100×100	7.90	8	503	8	503
ST 60 C	100×100	9.98	9	636	9	636



Σχήμα 2.4: Όψη εγκάρσιας τομής τυποποιημένης κατασκευής σύμμικτης πλάκας

Το Σχήμα 5.7 δείχνει το διαχωρισμό της πλάκας σε ζώνες επιρροής. Είναι πιθανό οι ζώνες επιρροής της πλάκας Α και Β να παρουσιάζουν τις πιο δυσμενείς συνθήκες. Θα ληφθεί υπόψη η σχεδίαση και των δύο αυτών ζωνών.

5.1 Σχεδιασμός της σύμμικτης πλάκας σε συνθήκες πυρκαγιάς

Οι παρακάτω έλεγχοι για τον σχεδιασμό των ζωνών επιρροής της πλάκας βασίζονται στην κατασκευή της πλάκας που απαιτείται για τους ελέγχους σχεδιασμού σε θερμοκρασία δωματίου. Αν η κατασκευή αποδειχτεί ακατάλληλη σε συνθήκες πυρκαγιάς, τότε το μέγεθος του πλέγματος ή/και το ύψος της πλάκας θα πρέπει να αυξηθούν ώστε να βελτιωθεί η συμπεριφορά σε συνθήκες πυρκαγιάς. Καθώς η ζώνη επιρροής Β φαίνεται να είναι περισσότερο κρίσιμη από τη ζώνη επιρροής Α εξαιτίας του μεγαλύτερου ανοίγματος, το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τον έλεγχο της ζώνης επιρροής Β.

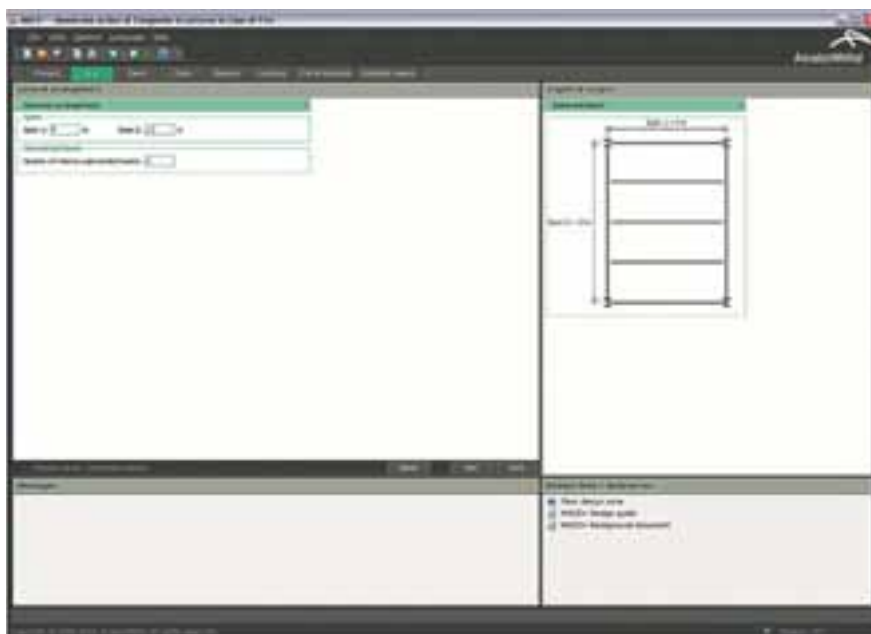
5.1.1 Σχεδιασμός πλάκας: Ζώνη Β

Ο Πίνακας 5.2 δείχνει τα εισαχθέντα δεδομένα για τη ζώνη επιρροής Β, τα οποία είναι 9 m επί 12 m όσον αφορά το μέγεθος του πλέγματος ST 15C. Εντός αυτής της ζώνης επιρροής βρίσκονται 3 μη σύμμικτες μη μονωμένες δοκοί.

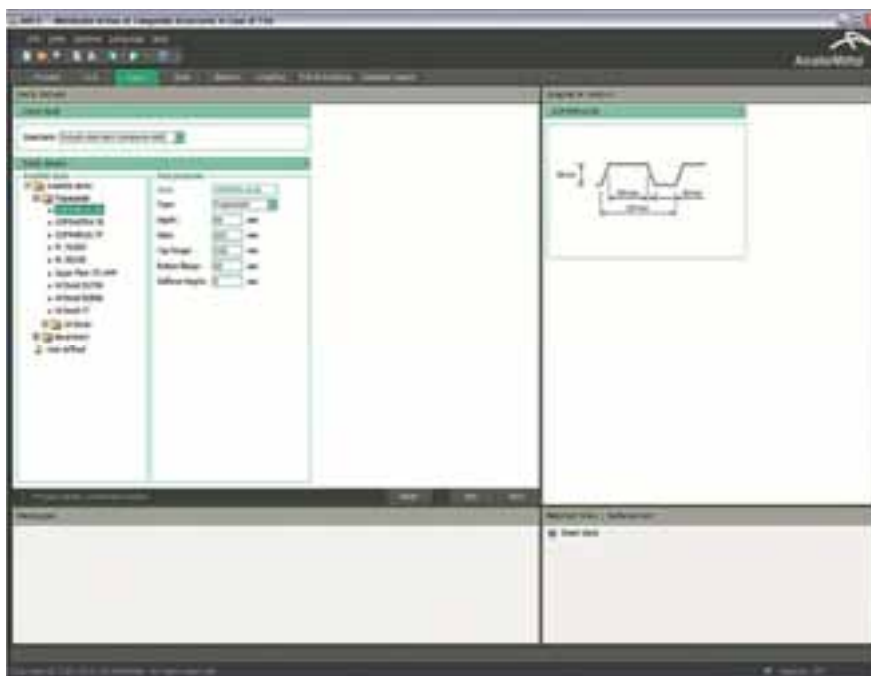
Πίνακας 5.2: Εισαχθέντα δεδομένα για τη ζώνη επιρροής Β

L (mm)	I (mm)	f_c (MPa)	A_s (mm ² /m)	f_{sy} (MPa)	Μη μονωμένες δοκοί	Μεταλλικό υπόστρωμα	Συνολικό πάχος της πλάκας (mm)	d : απόσταση άξονα πλέγματος (mm)
12 000	9 000	25	142	500	IPE400	Cofraplus60	130	30

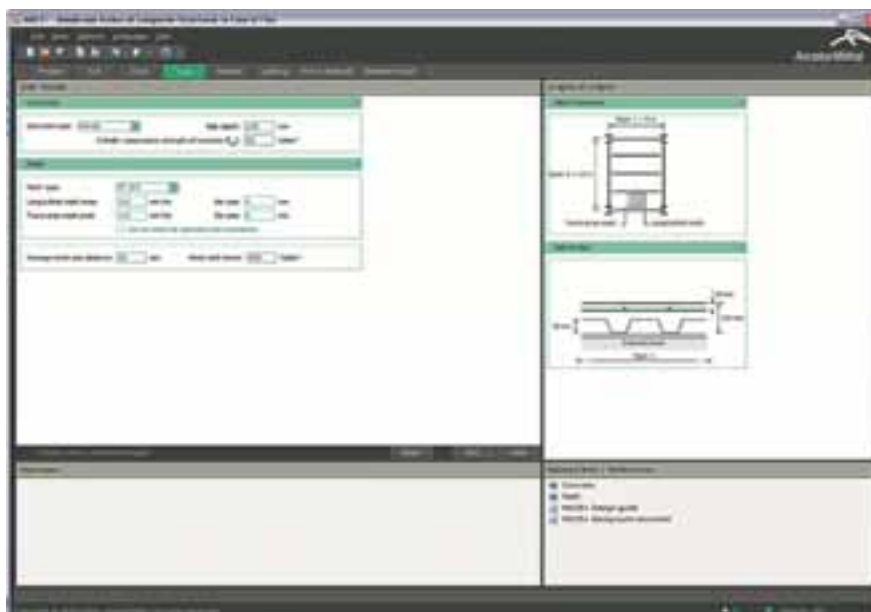
Το Σχήμα 5.8 έως το Σχήμα 5.11 δείχνουν τις ίδιες πληροφορίες στα παράθυρα εισαγωγής δεδομένων του λογισμικού MACS+.



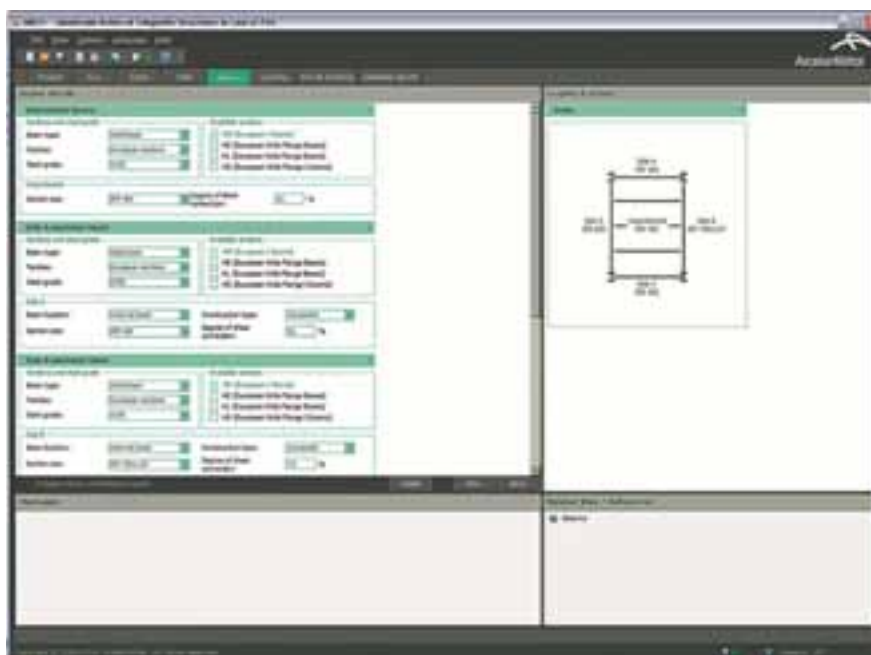
Σχήμα 5.8: Εισαχθέντα δεδομένα στο λογισμικό MACS+ – Γενική διάταξη



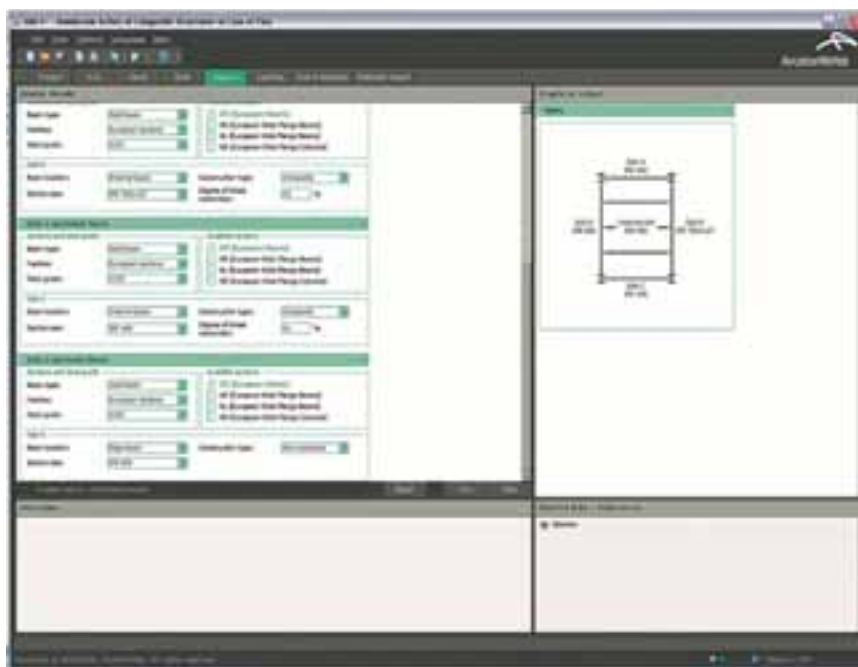
Σχήμα 5.9: Εισαχθέντα δεδομένα στο λογισμικό MACS+ – Υπόστρωμα



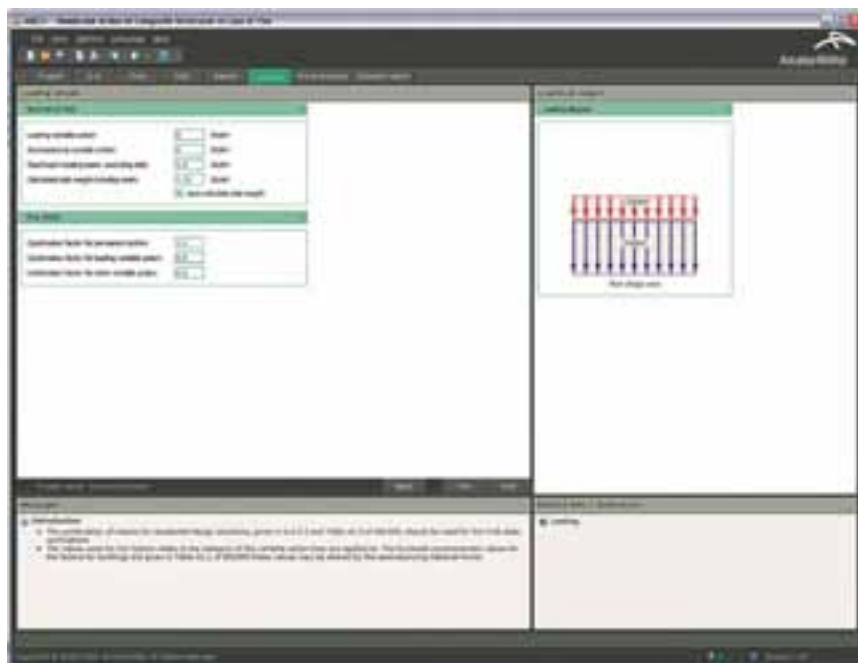
Σχήμα 5.10: Εισαχθέντα δεδομένα στο λογισμικό MACS+ – Πλάκα



Σχήμα 5.11(α): Εισαχθέντα δεδομένα στο λογισμικό MACS+ – Δοκοί εντός της ζώνης Β



Σχήμα 5.11(β): Εισαχθέντα δεδομένα στο λογισμικό MACS+ – Δοκοί εντός της ζώνης Β



Σχήμα 5.12: Εισαχθέντα δεδομένα στο λογισμικό MACS+ – Φορτίο

Η εφαρμογή του απλοποιημένου μοντέλου πραγματοποιείται σε μία σειρά από βήματα, όπως φαίνεται παρακάτω:

Βήμα 1: Υπολογισμός του εφαρμοζόμενου φορτίου στην πλάκα σε περίπτωση πυρκαγιάς

Το εφαρμοζόμενο φορτίο στην πλάκα σε περίπτωση πυρκαγιάς, με ίδιο βάρος της πλάκας 2.28 kN/m^2 προσδιορίζεται ως εξής:

$$q_{fi, sd} = G + 0.5Q = (2.28 + 0.7 + 0.5) + 0.5 \times (4.0 + 1.0) = 5.98 \text{ kN/m}^2$$

Βήμα 2: Υπολογισμός της μεταφοράς θερμότητας στη σύμμικτη πλάκα Cofraplus 60

Από τη σχέση D.15α του Παραρτήματος D του EN 1994-1-2⁽¹⁶⁾, το ενεργό πάχος της πλάκας μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$h_{eff} = h_1 + 0.5h_2 \left(\frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right) = 72 + 0.5 \times 58 \times \left(\frac{101 + 62}{101 + 106} \right) \approx 95 \text{ mm}$$

Αυτό το ενεργό πάχος επιτρέπει την επαλήθευση της πλήρωσης των κριτηρίων EI60 για την πλάκα, τα οποία απαιτούν ελάχιστο ενεργό πάχος τουλάχιστον 80 mm για τη σύμμικτη πλάκα.

Επιπλέον, αυτό το ενεργό πάχος έχει ως αποτέλεσμα τις ακόλουθες τιμές για τις θερμοκρασίες θ_1 , θ_2 και θ_s (βλ. Πίνακα 3.1). Για χρονικό διάστημα έκθεσης 60 λεπτών σε κανονική πυρκαγιά:

$$\theta_1 = 99^\circ\text{C}, \quad \theta_2 = 831^\circ\text{C} \quad \text{και} \quad \theta_s = 288^\circ\text{C}.$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.4 του EN 1994-1-2, δεν παρατηρείται μείωση της ενεργούς αντοχής του συγκολλημένου μεταλλικού πλέγματος:

$$f_{sy, \theta_s} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M, fi, s} = 1.0$$

Επιπλέον, ισχύει ότι:

$$\gamma_{M, fi, c} = 1.0$$

Βήμα 3: Υπολογισμός της ροπής αντοχής της διατομής $M_{fi, 0}$ της πλάκας

Σε αυτή τη ζώνη υπολογισμού:

$L_1 = 9\,000\text{ mm}$ (άνοιγμα των δευτερευουσών δοκών)

$L_2 = 12\,000\text{ mm}$ (άνοιγμα των κύριων δοκών)

Επομένως, $L = \max \{L_1; L_2\} = 12\,000\text{ mm}$ και $\ell = \min \{L_1; L_2\} = 9\,000\text{ mm}$.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2K A_s f_{sy, \theta_s} / \gamma_{M, fi, s}}{0.85 f_c / \gamma_{M, fi, c} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{142}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 30} = 0.777$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy, \theta_s} / \gamma_{M, fi, s}}{0.85 f_c / \gamma_{M, fi, c} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{142}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 30} = 0.777$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι η παράμετρος K ισούται με 1.0, γιατί το πλέγμα ενίσχυσης έχει την ίδια διατομή και στις δύο διαστάσεις.

Έτσι, η θετική ροπή αντοχής της διατομής της πλάκας είναι:

$$\begin{aligned} M_{fi,0} &= A_s f_{sy, \theta_s} / \gamma_{M, fi, s} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \\ &= \frac{142}{1000} \times 500 / 1.0 \times 30 \times \frac{3 + 0.777}{4} = 2011.4\text{ Nmm/mm} \end{aligned}$$

Παράλληλα, προσδιορίζονται και οι άλλες αναγκαίες παράμετροι:

$$\mu = K \frac{3 + (g_0)_1}{3 + (g_0)_2} = 1.0 \times \frac{3 + 0.777}{3 + 0.777} = 1.0$$

$$a = \frac{L}{l} = \frac{12\,000}{9\,000} = 1.333$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} \left(\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1 \right) = \frac{1}{2 \times 1.0 \times 1.333^2} \times \left(\sqrt{3 \times 1.0 \times 1.333^2 + 1} - 1 \right) = 0.427$$

Βήμα 4: Προσδιορισμός της φέρουσας ικανότητας αναφοράς της πλάκας

Η φέρουσα ικανότητα αναφοράς της πλάκας μπορεί να προσδιοριστεί:

$$\begin{aligned} p_{fi} &= 6 \frac{M_{fi,0}}{n^2 a^2 l^2} = 6 \times \frac{2011.4}{0.427^2 \times 1.333^2 \times 9000^2} = \\ &= 0.461 \times 10^{-3}\text{ N/mm}^2 = 0.461\text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Βήμα 5: Προσδιορισμός της βύθισης για τον υπολογισμό της δράσης της μεμβράνης σταθεροποίησης

Η βύθιση της πλάκας σε συνθήκες πυρκαγιάς ώστε να ληφθεί υπόψη η δράση της μεμβράνης σταθεροποίησης μπορεί να προσδιοριστεί:

$$\begin{aligned}
 w &= \min \left\{ \frac{\alpha(\theta_2 - \theta_1)l^2}{19.2h_{eff}} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0.5f_{sy}}{E_a\gamma_{M,f,i,s}} \right) \frac{3L^2}{8}}; \frac{l}{30} \right]; \frac{L+l}{30} \right\} \\
 &= \min \left\{ \frac{1.2 \times 10^{-5} (831 - 99) \times 9000^2}{19.2 \times 95} + \right. \\
 &\quad \left. + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0.5 \times 500}{210000 \times 1.0} \right) \frac{3 \times 12000^2}{8}}; \frac{9000}{30} \right]; \frac{12000 + 9000}{30} \right\} \\
 &= \min \{ 391.0 + \min [253.5; 300]; 700 \} = 644.6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Βήμα 6: Υπολογισμός των παραμέτρων για τον προσδιορισμό της δράσης της μεμβράνης σταθεροποίησης

Ο προσδιορισμός των διαφόρων πολλαπλασιαστικών συντελεστών της μεμβράνης σταθεροποίησης βασίζεται στις διαφορετικές παραμέτρους α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k και b , οι οποίες θα πρέπει να προσδιοριστούν. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων συνοψίζονται στον Πίνακα 5.3.

Βήμα 7: Υπολογισμός των ενισχυτικών συντελεστών της δράσης της μεμβράνης σταθεροποίησης

Οι πολλαπλασιαστικοί συντελεστές e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} και e_{2m} είναι δυνατό να προσδιοριστούν από τις Εξισώσεις 3.10, 3.11, 3.16 και 3.17:

Στη συνέχεια, ολικός ενισχυτικός συντελεστής e προσδιορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}
 e &= e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu a^2} = 6.360 - \frac{6.360 - 3.7948}{1 + 2 \times 1.0 \times 1.333^2} = \\
 &= 5.796
 \end{aligned}$$

Πίνακας 5.3: Παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση της δράσης της μεμβράνης σταθεροποίησης στη ζώνη επιρροής B

Εξίσωση	Ληφθείσα τιμή
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.412
$\beta_1 = \frac{1-(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.059
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.412
$\beta_2 = \frac{1-(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.059
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2+1} + 1$	1.194
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{l^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (l/2)^2 \right) \right]$	1 978 359 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (l/2)^2 \right) \right]$	7 242 376 mm ²
$C = \frac{l^2}{16n} (k-1)$	2 305 602 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	388 465 mm ²
$b = \min \left[\frac{l^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,fi,s}}{kKA_s f_{sy,\theta s}} \left(0.85 \frac{f_c}{\gamma_{M,fi,c}} \times 0.45d - A_s \frac{f_{sy,\theta s}}{\gamma_{M,fi,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	0.909

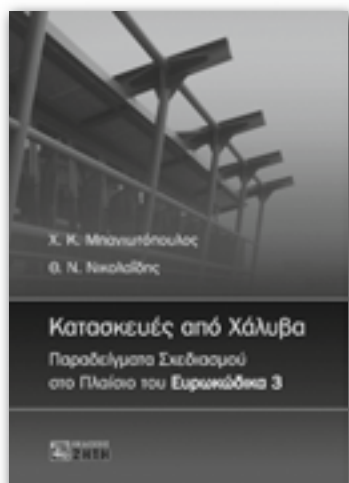
Μπανιωτόπουλος Χαράλαμπος

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

Αρχές σχεδιασμού στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 3

Στο βιβλίο αυτό μελετώνται γενικά θέματα φορέων χάλυβα και παρουσιάζονται κριτικά οι αρχές διαστασιολόγησης των μελών και των συνδέσεών τους. Απευθύνεται στους σπουδαστές των Τμημάτων Πολιτικών Μηχανικών και στους συνάδελφους Πολιτικούς Μηχανικούς, έχει δε ως στόχο να συμβάλει στη διάχυση των βασικών αρχών σχεδιασμού, οι οποίες εισάγονται με τον Ευρωκώδικα 3. Καταβλήθηκε προσπάθεια αφενός σύνδεσης των βασικών μεθόδων σχεδιασμού με τις αντίστοιχες θεωρητικές αναλύσεις της Μηχανικής και αφετέρου επεξήγησης των προαναφερόμενων μεθόδων με τη βοήθεια συναφών αριθμητικών εφαρμογών.

ISBN 978-960-456-184-1, σελ. 440, 17x24, Σκληρό εξώφυλλο



Μπανιωτόπουλος Χαράλαμπος, Νικολαΐδης Θεμιστοκλής

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

Παραδείγματα Σχεδιασμού στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 3

Το παρόν βιβλίο έχει ως στόχο να καλύψει θέματα σχεδιασμού κατασκευών χάλυβα, τα οποία προκύπτουν από την απαίτηση για παραγωγή έργων βιώσιμης ανάπτυξης, συστημάτων ανανεώσιμων μορφών παραγωγής ενέργειας, αλλά και κατασκευών με ειδικές απαιτήσεις και προδιαγραφές. Για τον λόγο αυτόν παρουσιάζεται με πρακτικό τρόπο ο σχεδιασμός μελών σύγχρονων τύπων χαλύβδινων κατασκευών, με έμφαση στην ανάλυση της συνολικής αλλά και της επιμέρους διαμόρφωσής τους, συνοδευόμενος από σχόλια και παρατηρήσεις από την εμπειρία της έρευνας και του σχεδιασμού τέτοιων κατασκευών που έχουν ήδη μελετηθεί και ανεγερθεί.

ISBN 978-960-456-323-4, σελ. 520, 17x24

Μπανιωτόπουλος Χαράλαμπος

ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Στα πλαίσια των Ευρωκωδίκων 3 & 9

Πρόγραμμα Συνεχιζόμενης Εκπαίδευσης στις Δομικές Συνδέσεις CESTRUCO, No CZ/00/B/F/PP-134049, Πρόγραμμα Λονάνρτο ντα Βίντσι της Ευρωπαϊκής Ένωσης

- Κοιλιώσεις • Συγκολλήσεις • Προσομοίωση της δομικής συμπεριφοράς
- Απλές συνδέσεις • Συνδέσεις παραλαβής ροπών • Βάσεις υποστυλωμάτων
 - Αντισεισμικός σχεδιασμός • Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς
- Συνδέσεις κοιλοδοκών • Συνδέσεις εν ψυχρώ εξηλασμένων μελών
 - Συνδέσεις αλουμινίου • Περιπτώσεις σχεδιασμού

ISBN 960-431-892-6, σελ. 192, 17x24



**ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΖΗΤΗ**

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ: Αρμενοπούλου 27 • Τηλ.: 2310 203 720 • e-mail: sales@ziti.gr
ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΑΣ ΠΩΛΗΣΗ ΧΟΝΔΡΙΚΗ - ΛΙΑΝΙΚΗ: Χαρίλδου Τρικούπη 22 • Τηλ.-Fax: 210 3816 650 • e-mail: athina@ziti.gr
www.ziti.gr