
II. Η ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

II.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα πρώτα και κύρια βήματα κατά την διαδικασία αποτίμησης ενός κτιρίου μετά από πυρκαγιά είναι η εκτίμηση των μέγιστων θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν σε διάφορες περιοχές του κτιρίου (στο εσωτερικό του και στην εξωτερική περίμετρό του), καθώς και η εκτίμηση της διάρκειας της πυρκαγιάς. Όπως θα δειχθεί στο Κεφάλαιο III του παρόντος Πρακτικού Οδηγού, αυτά τα στοιχεία είναι απαραίτητα για την εκτίμηση της κατανομής των θερμοκρασιών στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων, καθώς και της επιρροής τους στα χαρακτηριστικά των υλικών, στα χαρακτηριστικά φέρουσας ικανότητας και παραμορφώσεων των δομικών στοιχείων και, κατά συνέπεια, για την αποτίμηση του δομήματος συνολικά.

Λόγω της μεγάλης σημασίας του θέματος, στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται οι παρατηρήσεις, καθώς και οι μετρήσεις που θα πρέπει να γίνουν από τον Μηχανικό επί τόπου, ώστε να συγκεντρωθούν τα απαραίτητα αξιόπιστα στοιχεία. Πρέπει, βεβαίως, να αναφερθεί ότι πολλά από τα στοιχεία που περιγράφονται σε αυτό το Κεφάλαιο μπορεί να μην είναι στην διάθεση του Μελετητή Πολιτικού Μηχανικού, όταν αναλαμβάνει την σύνταξη μιας μελέτης πυρόπληκτου κτιρίου. Έτσι, για παράδειγμα, ο καθαρισμός του εσωτερικού ενός κτιρίου που έχει υποστεί πυρκαγιά, η απομάκρυνση των επιχρισμάτων και των καμμένων κουφωμάτων κ.λπ., αλλοιώνουν ή/και εξαφανίζουν στοιχεία μεγάλης σημασίας. Γι' αυτόν τον λόγο, οι σχετικές πληροφορίες θα πρέπει να έχουν συλλεγεί και καταχωρισθεί από τα Συνεργεία τα οποία πραγματοποιούν τον ταχύ οπτικό έλεγχο των κτιρίων μετά από πυρκαγιά ή από τον αρμόδιο Μηχανικό, πριν τις αποξηλώσεις και καθαιρέσεις.

II.2 ΚΑΜΠΥΛΕΣ T-t ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι καμπύλες θερμοκρασίας (αέρος) και χρόνου (T-t) για τις πραγματικές (εσωτερικές) πυρκαγιές κτιρίων και άλλων κατασκευών διαφέρουν από τις καμπύλες T-t τυπικών/ πρότυπων πυρκαγιών (π.χ. κατά ISO, DIN κ.λπ.), όπως αναπτύσσονται σε φούρνους δοκιμών.

Για τις πραγματικές (εσωτερικές) πυρκαγιές, και όπως παρουσιάστηκε αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο I του παρόντος Πρακτικού Οδηγού, η εξέλιξη των μέγιστων θερμοκρασιών αέρος συναρτήσει του χρόνου, δηλ. οι καμπύλες T-t ($T = T_{aeg}$), εξαρτώνται: (i) απ' τα χαρακτηριστικά του κάθε πυροδιαμερίσματος (μέγεθος/επιφάνεια και όγκος, τύπος/υλικά κελύφους και συντελεστής ανοιγμάτων/αερισμού), και (ii) απ' τα χαρακτηριστικά των καύσιμων υλικών (μάζα και κατανομή, βαθμός καύσης, τύπος/θερμαντική ικανότητα και χαρακτηριστικά/θερμοκρασίες αναφλέξεως).

Γενικώς, για εσωτερικές φωτιές (πυρκαγιές κτιρίων), οι τυπικές καμπύλες T-t παρουσιάζουν τρία (3), μάλλον διακριτά, χαρακτηριστικά στάδια :

Την επώαση (που λήγει με την ανάφλεξη μεγάλου μέρους των καύσιμων υλικών), την ανάπτυξη (κυρίως καύση, οπότε καίγεται το μεγαλύτερο ποσοστό υλικών, εμπειρικώς περίπου 60 %, με περίπου σταθερό ρυθμό/σταθερή ταχύτητα) και την απόσβεση (επίσης με περίπου σταθερό ρυθμό/σταθερή ταχύτητα).

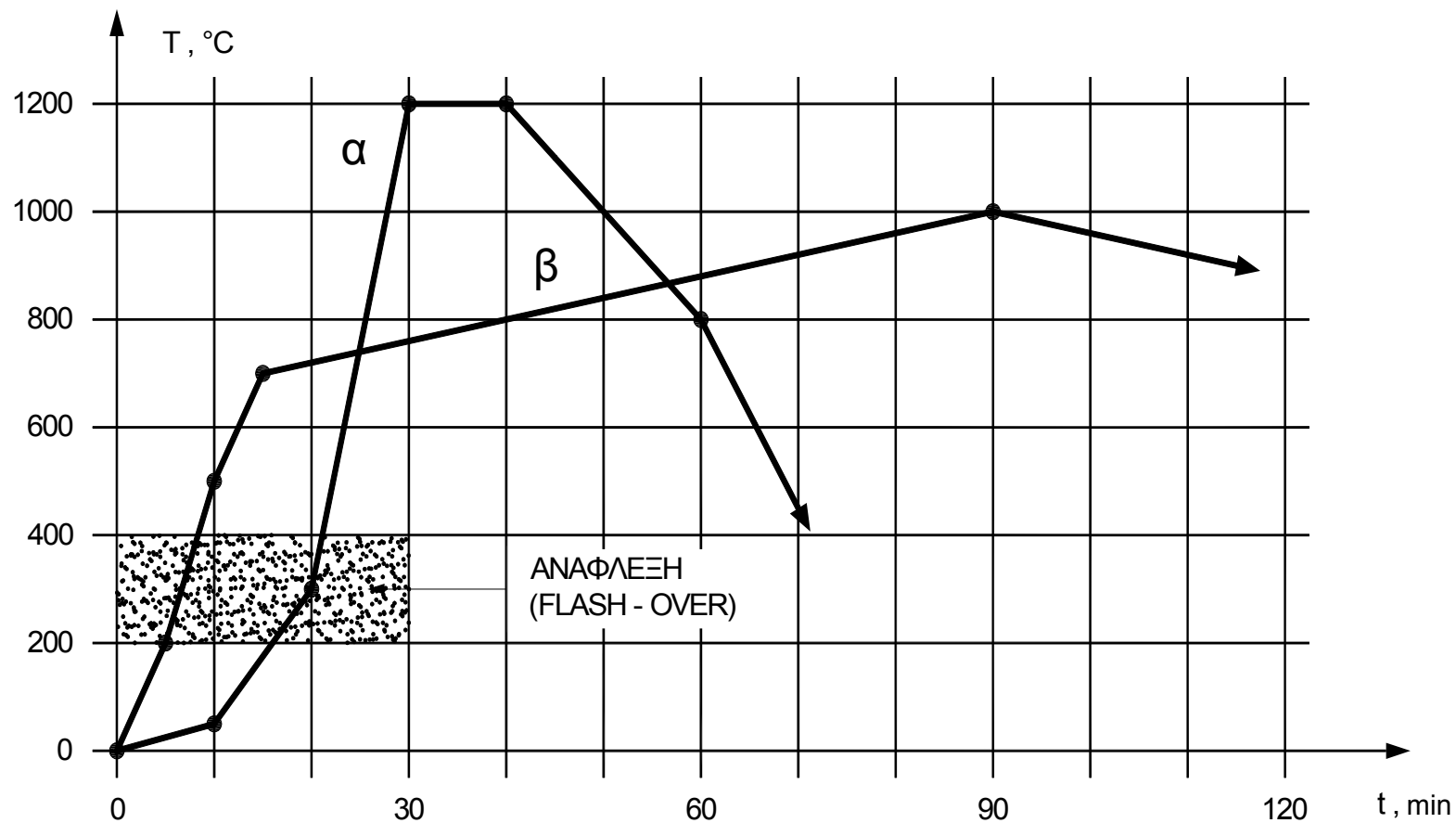
Στα πιο αβέβαια στάδια της επώασης και της απόσβεσης (δηλ. στην αρχή και στο τέλος), οι φωτιές είναι συνήθως καυσιμο-ελεγχόμενες, ενώ στο κύριο στάδιο της ανάπτυξης (και της διάδοσης της φωτιάς σε άλλους χώρους) οι φωτιές είναι αερο-ελεγχόμενες (με περίπου σταθερή καύση/απώλεια μάζας των καύσιμων υλικών, αναλόγως της εισροής του αέρα/οξυγόνου).

Στα επόμενα παρατίθενται :

- Σχηματοποιημένες καμπύλες T-t (ενδεικτικές), για πυροδιαμερίσματα με πολλά ή λίγα ανοίγματα (βλ. Σχήμα II.1), δηλαδή για πυρκαγιές αερο-ελεγχόμενες ή καυσιμο-ελεγχόμενες.
- Καμπύλες («σχέσεις») T-t για τυπικές αλλά και πραγματικές πυρκαγιές οικοδομών (και άλλων κτιρίων) (βλ. Σχήμα II.2), με βάση καί ελληνικές παρατηρήσεις.
- Συγκριτικώς, καμπύλες T-t για τις (δυσμενέστερες όλων) εσωτερικές φωτιές σε σήραγγες (και συναφή έργα) (βλ. Σχήμα II.3).

Με βάση αυτές τις καμπύλες, αλλά και πλήθος παρατηρήσεων υπό πραγματικές πυρκαγιές, αναφέρεται πως οι μεγαλύτερες διαφορές και αποκλίσεις για τις μέγιστες θερμοκρασίες αέρος παρατηρούνται σε «μέσης» διάρκειας πλήρως αναπτυγμένες πυρκαγιές, της τάξεως των 30 ÷ 60 min.

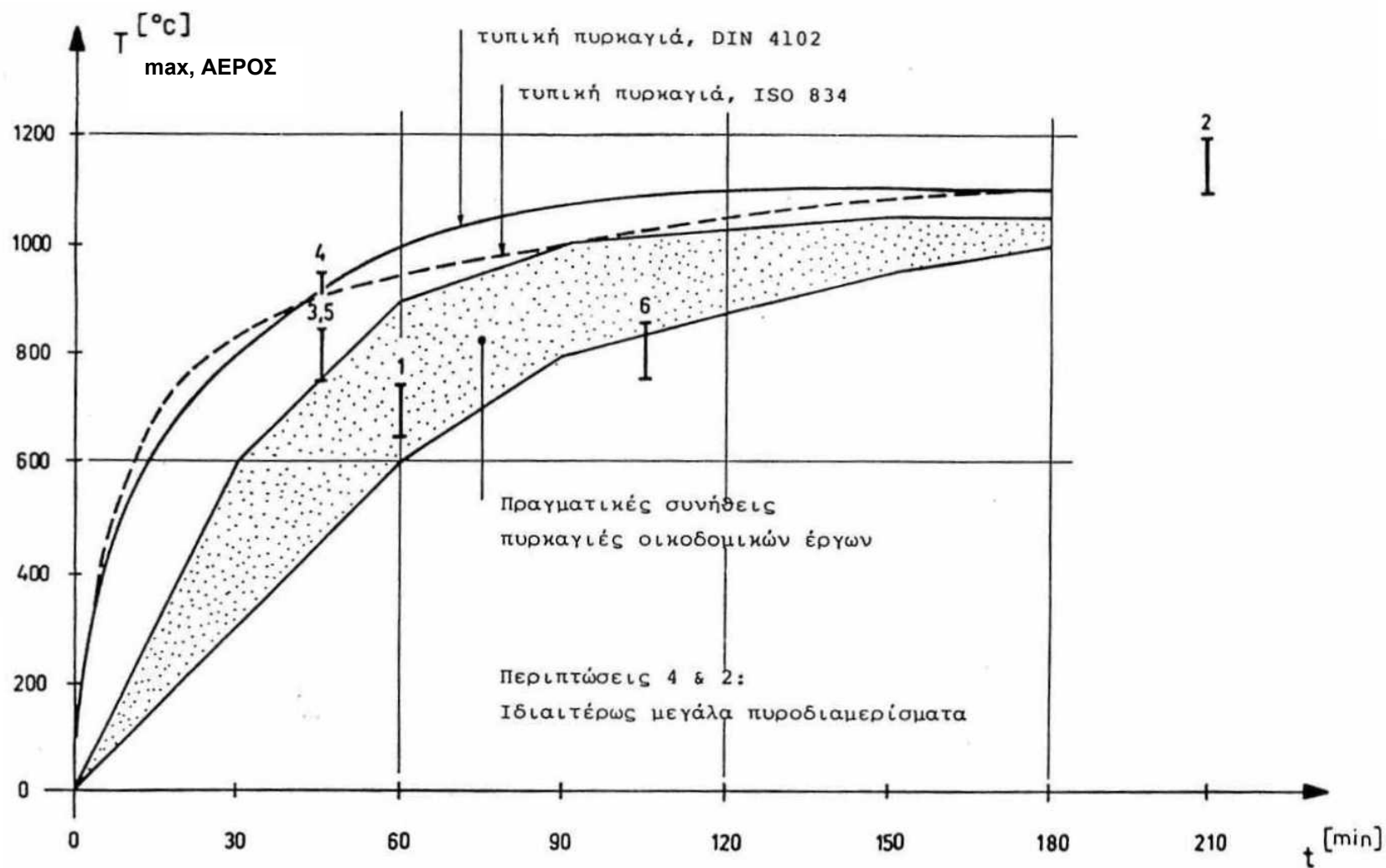
Σε αυτές τις περιπτώσεις, απαιτείται συστηματικότερη και λεπτομερέστερη προσέγγιση του προβλήματος, καλύτερη διασταύρωση όλων των στοιχείων και βαθμονόμηση όλων των ενδείξεων.



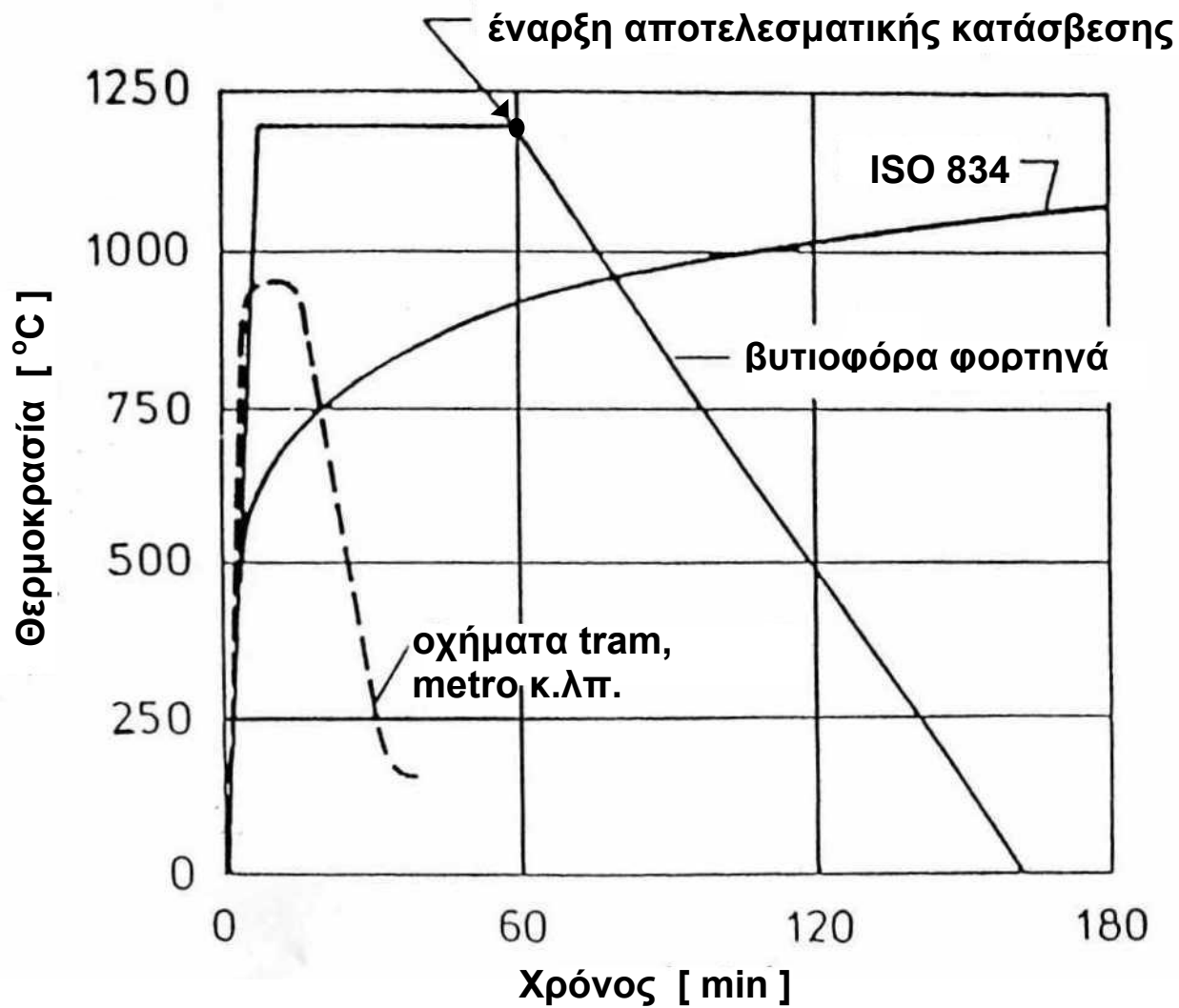
Σχήμα II.1 Σχηματοποιημένες και ενδεικτικές τυπικές καμπύλες T-t

α : Πολλά ανοίγματα, αερο-ελεγχόμενη πυρκαγιά, καύση < 45 min, απόσβεση (βλ. §I.3.3) ~ 10 °C / min

β : Λίγα ανοίγματα, καυσιμο-ελεγχόμενη πυρκαγιά, καύση > 90 min, απόσβεση (βλ. §I.3.3) ~ 5 °C / min



Σχήμα II.2 Σχέσεις T-t για «τυπικές» αλλά και πραγματικές πυρκαγιές, για 6 περιπτώσεις κτιρίων.
(Μ. Χρονόπουλος – Χ. Σπανός, 1991) [1]



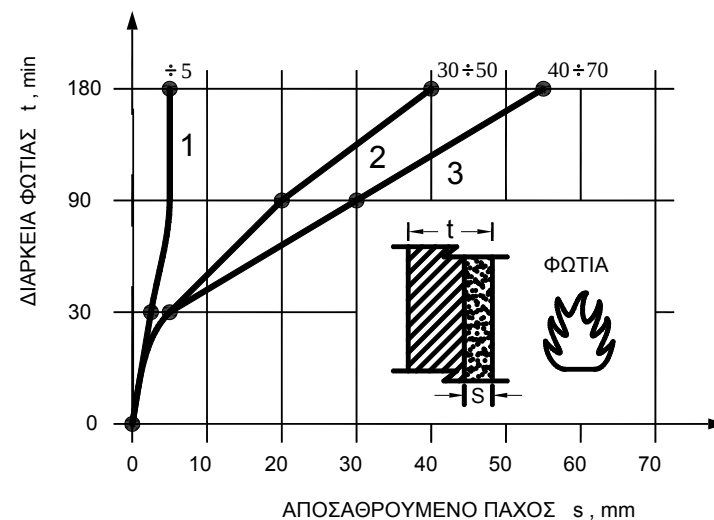
Σχήμα II.3 Συγκριτικές καμπύλες T-t για εσωτερικές φωτιές σε σήραγγες.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, εκτιμήσεις του αποσαθρούμενου (υπό πυρκαγιά) πάχους τοίχων μπορούν να οδηγήσουν σε εκτιμήσεις της διάρκειας (και της θερμοκρασίας) της πυρκαγιάς.

Για τοιχοδομές από διάφορα υλικά (και διάφορα σκυροδέματα, πρακτικώς άοπλα), το προσβαλλόμενο και αποσαθρούμενο πάχος μπορεί προσεγγιστικώς να εκτιμηθεί βάσει του διαγράμματος που φαίνεται στο Σχήμα II.4 (C. Meyer – Ottens, 1971) [2], για τυπικές αλλά και πραγματικές πυρκαγιές, αναλόγως της διάρκειάς τους.

Σχετικώς, απαιτείται προσοχή στην εκτίμηση της διάρκειας μιας (εσωτερικής) πυρκαγιάς :

Είναι άλλη η διάρκεια των φλογών (t_{ϕ}), μετά την επώαση και την ανάφλεξη, και άλλη (αρκετά μεγαλύτερη) η συνολική διάρκεια της πυρκαγιάς (t_{ω}), η οποία αρχίζει με την έναυση (βλ. Κεφάλαιο I του παρόντος Πρακτικού Οδηγού). Συνήθως, η αρχική φάση της επώασης διαρκεί από λίγα λεπτά (π.χ. 5) έως και αρκετό χρόνο (π.χ. μισή ή και μία ώρα).

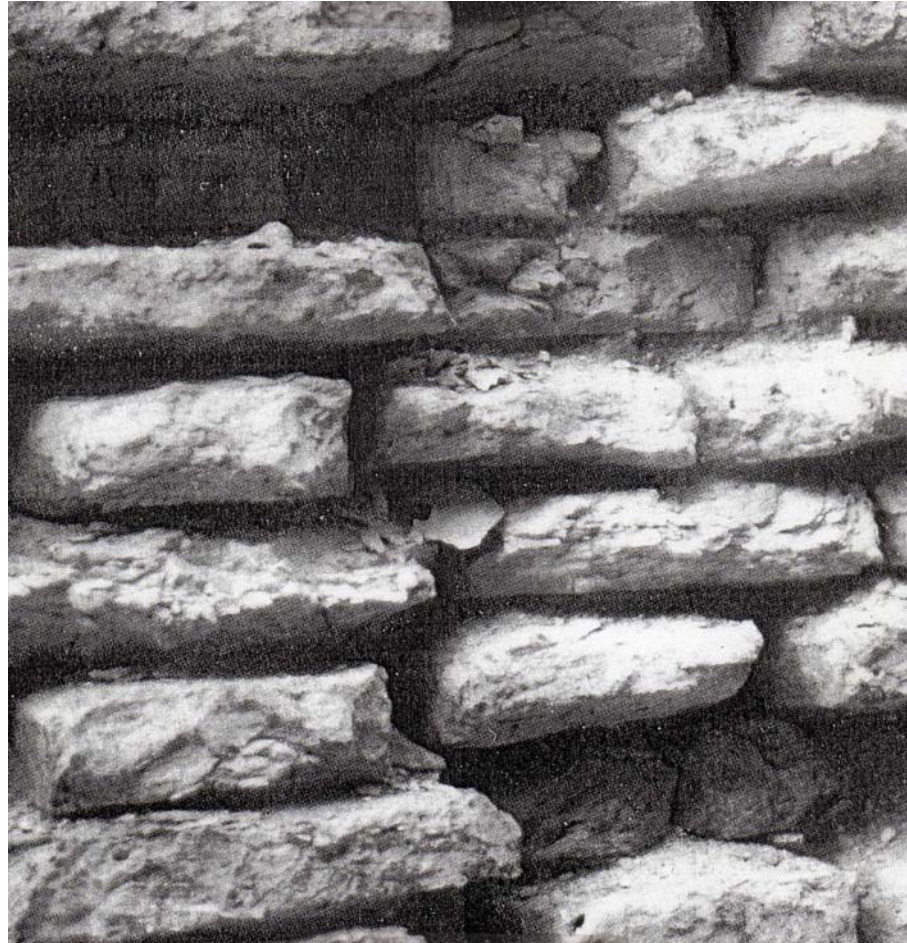


Σχήμα II.4 Αποσαθρούμενο πάχος τοίχων, συναρτήσεως της διάρκειας της φωτιάς. (C. Meyer – Ottens, 1971) [2]

- 1 : Πλίνθοι (καλοψημμένες)
- 2 : Ασβεστόλιθοι και σκυροδέματα (πρακτικώς άοπλα)
- 3 : Διάφορα ελαφροσκυροδέματα (επίσης άοπλα)



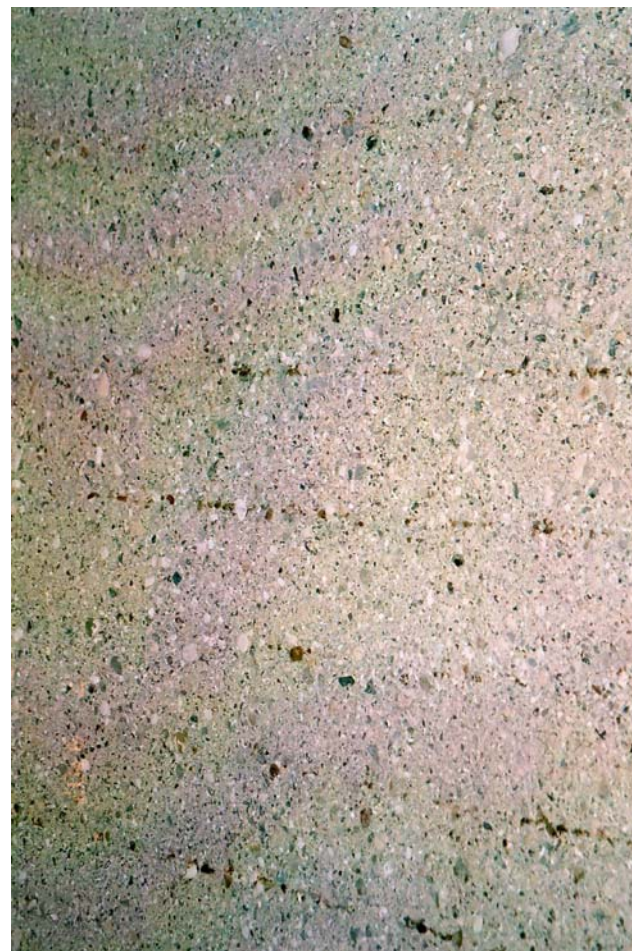
Καμμένη πλάκα, εκτεταμένη αποσύνθεση σκυροδέματος και εκτεθειμένοι σιδηροπλισμοί (για $t/T \approx 75 \text{ min/ } 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$, αποσάθρωση $s \approx 40\text{mm}$). [8]



Καλοχτισμένη λιθοδομή, ρηγματώσεις και απολεπίσεις λιθοσωμάτων, αποσύνθεση κονιάματος σε μεγάλο βάθος (για $t/T \approx 90 \text{ min}/900^\circ\text{C}$, αποσύνθεση κονιάματος $s \approx 50\text{mm}$). [8]



Ακαυτη πλευρά τσιμεντολιθοδομής, θραύση λίθων, ρωγμή τοίχου, ελαφριά κύρτωση. [8]



Καμμένη πλευρά τσιμεντολιθοδομής, αποσύνθεση λίθων/κονιάματος (σε βάθος λίγων mm). [8]

Π.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Σχετικώς, περιγράφονται συνοπτικότερα οι συνθήκες και τα δεδομένα της τοπικής πυρκαγιάς (στην περιοχή του κτιρίου, καί στο εσωτερικό του), με κύριο σκοπό να εκτιμηθούν :

- Η ένταση του φαινομένου, και

- Η κρίσιμη διάρκειά του,

προκειμένου να χρησιμεύσουν για την αδρομερή εκτίμηση των μέγιστων θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν στον αέρα και στα δομικά στοιχεία.

Προς τούτο, αρκεί να συμπληρωθούν (κατά το δυνατόν) οι Πίνακες Π.1 και Π.2, με βάση υπεύθυνες και αξιόπιστες πληροφορίες χρηστών, κατοίκων και περιοίκων.

Πίνακας Π.1 Εξωτερική πυρκαγιά.

Πυκνότητα φυτείας κοντά στο κτίριο			Απόσταση φυτείας από το κτίριο			Διάρκεια φλογών (min)		
Μεγάλη	Μέτρια	Μικρή	<10m	~20m	>30m	>60	60÷30	<30

Πίνακας Π.2 Εσωτερική πυρκαγιά.

Χρήση κτιρίου (καύσιμη ύλη)			Διάρκεια φλογών (min)			Συμπεριφορά στέγης		
Αποθήκες	Καταστήματα, Βιοτεχνίες	Γραφεία, Κατοικίες	>60	60÷30	<30	Κατέρρευσε και κάηκε	Κατέρρευσε αλλά δεν κάηκε	Διατηρήθηκε με ή χωρίς βλάβες

Παρατήρηση :

Στις δασικές πυρκαγιές κοντά σε οικισμούς, οι μέγιστες θερμοκρασίες αέρος ($T_{αερ.}$) μπορεί να διαφέρουν έντονα από θέση σε θέση γύρω από ένα κτίριο, ακόμη και μικρό, ενώ δεν είναι ασυνήθη τα φαινόμενα «θερμικής σκιάς», με διαφορές θερμοκρασίας αρκετών εκατοντάδων $^{\circ}\text{C}$ (βλ. χαρακτηριστικές φωτογραφίες).

Αντιθέτως, στις εσωτερικές φωτιές κτιρίων (κάθε είδους), οι μέγιστες θερμοκρασίες αέρος ($T_{αερ.}$) που αναπτύσσονται σε ένα συνηθισμένο πυροδιαμέρισμα (π.χ. μεγάλο δωμάτιο, μικρή αποθήκη), είναι περίπου σταθερές για πλήρως αναπτυγμένη πυρκαγιά, με διαφορές από θέση σε θέση που συνήθως δεν ξεπερνούν τους $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Αντιστοίχως, και οι διαφορές που παρατηρούνται στις μέγιστες θερμοκρασίες των επιφανειών/ των παρειών των δομικών στοιχείων ($T_{παρ.}$), είναι συνήθως μικρές.

Τέλος, υπενθυμίζεται πως η σχέση θερμοκρασίας – χρόνου ($T-t$, $T = T_{αερ.}$ ή $T_{παρ.}$) ΔΕΝ είναι ορισμένη και μονοσήμαντη για πραγματικές πυρκαγιές, σε αντίθεση με τυπικές πυρκαγιές, σε «φούρνους» (π.χ. κατά ISO, DIN κ.λπ.), όπου καί σε αυτούς παρατηρούνται διαφοροποιήσεις (αναλόγως μεγέθους φούρνου, μεγέθους και θερμοχωρητικότητας δοκιμίου κ.λπ.).



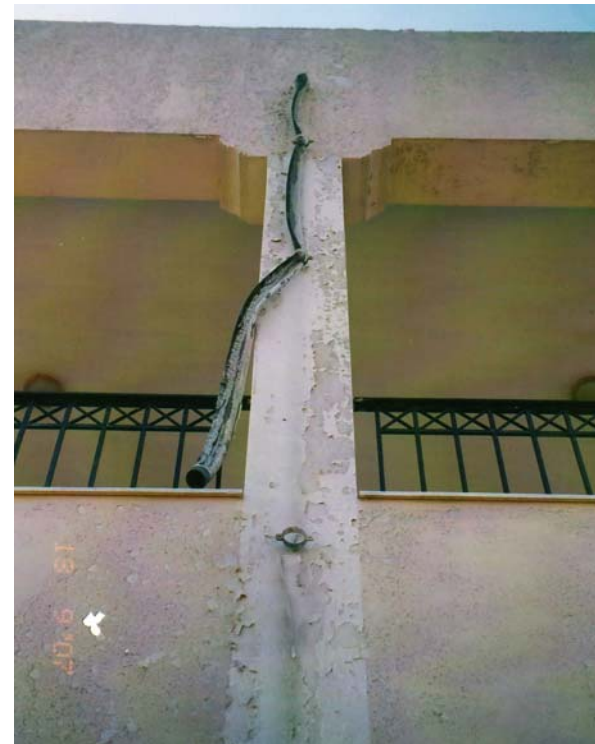
Τα γύρω δένδρα έχουν μόνο εν μέρει καεί (μάλλον ελαφρώς), ενώ η στέγη έχει καεί και καταρρεύσει. [8]



Στον εξωνάρθηκα, πρόχειρο ξύλινο υπόστεγο με τέντες από nylon έχει παραμείνει σχεδόν άθικτο. [8]



Στο εσωτερικό της εκκλησίας, σπασμένα κεραμίδια και αποκαΐδια της ξύλινης στέγης. [8]



Φαινόμενο έντονης «θερμικής σκιάς». [8]

Αριστερά : $T_{\text{παρ.}} \rightarrow 500^{\circ}\text{C}$ (για $t < 15\text{min}$), όπως παρατηρείται από την καύση ξύλινων στοιχείων και την προσβολή των επιχρισμάτων.

Δεξιά : $T_{\text{παρ.}} \leq 200^{\circ}\text{C}$, βλ. χαρακτηριστική φωτογραφία με την πλαστική υδρορρόη (από PVC), η οποία έχει απλώς παραμορφωθεί.

II.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Για τους σκοπούς αυτού του Πρακτικού Οδηγού, η εκτίμηση των εξωτερικών θερμοκρασιών μπορεί να γίνει με συνδυασμό στοιχείων και δεδομένων. Προς τούτο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες των ενοτήτων §II.4.1 και §II.4.2.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αναλόγως της χρήσης του κτιρίου, οι μέγιστες θερμοκρασίες αέρος που αναπτύσσονται κατά τις (πλήρεις) πυρκαγιές, μπορούν να φθάσουν τιμές κατά τον Πίνακα II.3 (R. Rybicki, 1979) [3].

Πρακτική σημασία έχει και η εξής παρατήρηση :

Για (πλήρεις) πυρκαγιές, κτιρίων με $\max. IBK\Xi \approx 250 \text{ kg/m}^2$, δηλ. συνήθως για κατοικίες, γραφεία, βιοτεχνίες, εργοστάσια και καταστήματα (όχι αποθήκες), η θερμοκρασία αέρος μπορεί να εκτιμηθεί με την ημιεμπειρική σχέση :

$$\max. T_{\alpha\epsilon\rho.} \approx 50 \sqrt{t \text{ (min)}} + 500 \text{ (σε } ^\circ\text{C)},$$

για $t > 15 \text{ min}$ (διάρκεια φλογών) και $T < 1000 \text{ } ^\circ\text{C}$.

(Π.χ. $t \approx 30 \text{ min} \rightarrow T_{\alpha\epsilon\rho.} \approx 775 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t \approx 90 \text{ min} \rightarrow T_{\alpha\epsilon\rho.} \approx 975 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Πίνακας II.3 Ενδεικτικές τιμές μέγιστων θερμοκρασιών αέρος, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου. (R. Rybicki, 1979) [3]

Χρήση	$T_{\alpha\epsilon\rho.}, ^\circ\text{C}$	Συνέπειες
Κατοικίες, Γραφεία	800 ÷ 900	Έντονες αποφλοιώσεις, έντονες λοξές ρωγμές
Αποθήκες με πολλά και αναφλέξιμα υλικά	800 ÷ 1000	Όπως πριν, σε μεγάλη έκταση
Αποθήκες με πολύ εύφλεκτα υλικά	1000 ÷ 1200	Όπως πριν, σύν τήξεις υλικών

II.4.1 Ποιοτικά κριτήρια

Χρησιμοποιούνται τα δεδομένα της γενικής συνοπτικής περιγραφής της πυρκαγιάς (βλ. §II.3). Σχετικώς, θα μπορούσαν να εκτιμηθούν τρείς (ή το πολύ τέσσερις) κλάσεις θερμοκρασιών (αέρος, $T_{\alpha\epsilon\rho.}$) με βάση τα γενικά δεδομένα της §II.3, αλλά και τις τοπικές ενδείξεις από υλικά που κάηκαν, κατά τα αμέσως επόμενα.

II.4.2 Ποσοτικά κριτήρια

Εντοπίζονται διάφορα συνηθισμένα και χαρακτηριστικά υλικά κοντά ή πάνω στα δομικά στοιχεία. Η έναντι πυρκαγιάς συμπεριφορά τους (βεβαίως, αναλόγως με τη θέση τους και τον βαθμό έκθεσής τους), δίνει αξιόπιστες ενδείξεις μέγιστης θερμοκρασίας αέρος, κοντά ή πάνω στην επιφάνεια (στις παρειές) των δομικών στοιχείων.

Προς τούτο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι πρακτικές πληροφορίες κατά τον Πίνακα II.4.

Πίνακας II.4 Αλλοιώσεις και φθορές συνηθισμένων υλικών υπό πυρκαγιά.

A) Απολεπίσεις, αποφλοιώσεις, αποκολλήσεις και εκτινάξεις επιφανειακών στοιβάδων σκυροδέματος και συμπαγών λίθων, πλίνθων κ.λπ.

Ο τύπος, η ένταση και η έκτασή τους εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους, βλ. και ιδιαίτερη Σημείωση 1.

Έτσι, δεν είναι ευχερής η άμεση και ευθεία εξάρτηση του φαινομένου από τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες.

B) Χρωματικές αλλαγές

Συνήθεις σε σκυροδέματα (καί με πυριτιακά και με ασβεστολιθικά αδρανή), αλλά και σε επιχρίσματα (αν δεν αποκολληθούν), αναλόγως της θερμοκρασίας παρειάς ($T_{\text{παρ.}}$), ως εξής :

- Για $T_{\text{παρ.}} < 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Φυσιολογικό χρώμα σκυροδέματος (γκρί-πράσινο), και καπνιά (αρκετή)
- Για $300 \text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{παρ.}} < 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Ροζ (ελαφρό), και καπνιά (αρκετή)
- Για $600 \text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{παρ.}} < 900 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Γκρί (-άσπρο), και καπνιά (αρκετή)
- Για $T_{\text{παρ.}} > 900 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Φαιό, κίτρινο (ελαφρό, κιτρινωπό).

Γ) Μεταβολές δομής (και όγκου και άλλων χαρακτηριστικών)

Τα πυριτιακά αδρανή υφίστανται μεταβολές δομής στους 550 °C και 850 °C (περίπου), ενώ τα ασβεστολιθικά αδρανή υφίστανται ασβεστοποίηση στους 750 °C (περίπου).

Μεταβολές δομής υπό υψηλές θερμοκρασίες υφίσταται και ο χάλυβας οπλισμών (π.χ. ωστενίτης, στους 750 °C περίπου, με έντονη συστολή). Σχετικώς, βλ. και Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων (KTX 2008) [4].

Δ) Αλλοιώσεις και τήξεις υλικών

- Χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC)
Έναρξη αποσύνθεσης στους 125 °C (περίπου), ανάφλεξη (350 °C) και έκλυση ατμών HCl (με ενδεχόμενους κινδύνους)
- Ελαστικά και πλαστικά
Αλλοιώσεις στους 100 ÷ 150 °C, τήξη στους 150 ÷ 250 °C
- Μόλυβδος
Τήξη στους 300 ÷ 350 °C, και από τους 150 °C για κράματα Pb/Sn
- Ψευδάργυρος
Τήξη στους 400 ÷ 450 °C, και από τους 350 °C για κράματα
- Αλουμίνιο
Τήξη στους 650 °C (περίπου), και από τους 500 °C για κράματα
- Αργυρος
Τήξη στους 950 °C (περίπου)

- Μπρούντζος, κρατέρωμα (Cu/Sn)
Τήξη στους $850 \div 950$ °C
- Ορείχαλκος (Cu/Zn)
Τήξη στους $900 \div 1050$ °C
- Χρυσός
Τήξη στους 1050 °C (περίπου)
- Χαλκός
Τήξη στους $1050 \div 1100$ °C
- Χυτοσίδηρος και χάλυβας (με αρκετόν C)
Τήξη από τους 1150 °C (περίπου), έως και τους 1350 °C
- Σίδηρος (καθαρός)
Τήξη στους 1500 °C
- Σκυρόδεμα
Τήξη στους 1600 °C
- Γυαλί (SiO₂, με Ca, Na, Al και Fe, K, Pb κ.λπ.)
Παραμόρφωση στους $600 \div 700$ °C και
τήξη στους $750 \div 950$ °C, βλ. και ιδιαίτερη Σημείωση 2
- Μαγειρικό αλάτι, μαγειρική σόδα
Τήξη στους $800 \div 850$ °C (περίπου)

E) Καύση ξύλου

Για χοντρές διατομές (π.χ. με πάχος μεγαλύτερο των 100 mm), και αναλόγως του είδους, της πυκνότητας και της υγρασίας, η καύση (για πλήρως αναπτυγμένη πυρκαγιά) γίνεται με ταχύτητα της τάξεως των $25 \div 60$ mm την ώρα (για πεύκο ή έλατο).

Σημείωση 1: Για τις αποκολλήσεις και εκτινάξεις επιφανειακών στοιβάδων σκυροδέματος (spalling)

Το υπόψη φαινόμενο, διαφορετικό απ' αυτό των αποκολλήσεων των επιχρισμάτων, παρατηρείται γενικώς είτε στα πρώτα στάδια έντονης πυρκαγιάς (π.χ. στα πρώτα 30min) είτε κατά την απότομη απόψυξη (θερμικό σοκ, με νερό), και είναι συνήθως εκρηκτικό.

Συμβαίνει σε πλάκες και τοιχεία, καθώς και σε λεπτά γραμμικά στοιχεία υπό υψηλή καταπόνηση, σε δοκούς (κυρίως στις στηρίξεις και εδράσεις) και σε στύλους.

Ο τύπος, η ένταση (το βάθος, από λίγα mm έως και αρκετά cm) και η έκταση των αποκολλήσεων (από αρκετά cm² έως και λίγα m²) εξαρτάται απ' τις θερμοκρασίες και τη διάρκεια της πυρκαγιάς, καθώς και από τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος (τα αδρανή, το πορώδες και την υγρασία) και του δομικού στοιχείου καθ' εαυτό (λεπτομέρειες όπλισης, πάχος και διατομή, έκθεση, καταπόνηση).

Εκ προοιμίου επισημαίνεται πως οι αποκολλήσεις συνιστούν ιδιαίτερο κίνδυνο :

Αφενός μπορεί να συνεπάγονται έντονη (και βεβαίως απότομη) απομείωση των διατομών (σκυροδέματος), και αφετέρου οδηγούν σε πρόωρη έκθεση των οπλισμών και του εσωτερικού των δομικών στοιχείων σε υψηλές θερμοκρασίες.

Αντίστοιχα φαινόμενα, υπό υψηλές θερμοκρασίες, παρατηρούνται και σε συμπαγείς λίθους, πλίνθους κ.λπ., με ιδιαίτερο κίνδυνο (π.χ. βαριάς αστοχίας και καταρρεύσεως) για κίονες, πεσσούς κ.λπ. υπό υψηλή θλιπτική καταπόνηση.

Σημείωση 2: Για την συμπεριφορά των υαλοπινάκων (κάθε είδους)

Για την συμπεριφορά του γυαλιού στην πυρκαγιά (παραμόρφωση, τήξη), δόθηκαν στοιχεία στον Πίνακα II.4, ενώ η συμπεριφορά των υαλοπινάκων καθ' εαυτούς εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως το είδος και η ποιότητα των γυαλιών, το πάχος και οι διαστάσεις των φατνωμάτων, η διάταξή τους (κατακορύφως ή οριζοντίως), οι λεπτομέρειες των περιμετρικών στηρίξεων και σφραγισμάτων, η εν θερμώ συμπεριφορά της κόλλας και των ενδεχόμενων μηχανικών στηριγμάτων κ.λπ.

Σχετικώς, αναφέρεται πως οι συνδυασμένες διαφορές (μέσα – έξω) πίεσης και θερμοκρασίας υπό πυρκαγιά (εσωτερική ή εξωτερική) οδηγούν σε πρόωρη και εκρηκτική αστοχία των (άοπλων, συνήθως) υαλοπινάκων, ακόμη και για θερμοκρασία μικρότερη ή αρκετά μικρότερη των 250 °C, που είναι η θερμοκρασία ανάφλεξης των περισσότερων και συνηθέστερων υλικών.

Έτσι, όλοι οι συνήθεις τύποι (άοπλων) υαλοπινάκων, σε φατνώματα συνήθων διαστάσεων, με απλά/μονά γυαλιά ή γυαλιά διπλά/με «κενό» ή γυαλιά σύνθετα/triplex (laminated, με εσωτερική μεμβράνη), παρουσιάζουν πρόωρη, σχετικώς, ρηγμάτωση και θραύση υπό υψηλές θερμοκρασίες, ενώ μόνον ειδικά γυαλιά («ασφαλείας»/securit, με ειδική θερμική κατεργασία/σκλήρυνση – βαφή, tempered/toughened), σε ειδικά πλαισιώματα υαλοστασίων και με ειδικό σχεδιασμό/ειδική μελέτη, μπορούν να παρουσιάσουν αυξημένη πυραντίσταση.

Στην κατηγορία των «πυρασφαλών» γυαλιών, περιλαμβάνονται (i) οι «πυρίμαχοι» υαλοπίνακες (για βιομηχανικές εφαρμογές), με ειδική σύσταση και ειδική παραγωγή, χωρίς ρηγμάτωση ακόμη και για $T \approx 750\text{ }^{\circ}\text{C}$, και (ii) οι «πυράντοχοι» υαλοπίνακες (για οικοδομικές εφαρμογές), επίσης ειδικοί, οπλισμένοι ή όχι, που ικανοποιούν τα κριτήρια φέρουσας ικανότητας και ακεραιότητας, ή και (πυρο-)μόνωσης, για φωτιές ακόμη και 120 min ($T > 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Οι οπλισμένοι υαλοπίνακες, με βροχίδες συρμάτων πλεγμάτων 12,5 ή 25,0 mm, μπορεί να είναι κοινοί (με μή-λειασμένες επιφάνειες) ή μορφής κρυστάλλου (με επίπεδες και λείες επιφάνειες), ενώ γενικώς παρουσιάζουν μικρότερες μηχανικές αντοχές έως και κατά 25% έναντι των αντίστοιχων άοπλων γυαλιών και ταχύτερη ρηγμάτωση υπό πυρκαγιά.

Αντιθέτως, λόγω του ενσωματωμένου πλέγματος, παρουσιάζουν καλύτερη φέρουσα ικανότητα αλλά και «ακεραιότητα», έναντι φλόγας, καπνού κ.λπ.

Τέλος, για λόγους διαφορικής διάγνωσης σε πυρκαγιά, αναφέρονται και τα εξής χαρακτηριστικά :

- (i) Θόλωμα/θάμπωμα σύνθετων υαλοπινάκων (triplex), σε χαμηλές σχετικώς θερμοκρασίες, από $(100 \div 150)\text{ }^{\circ}\text{C}$, λόγω της αλλοίωσης των εσωτερικών μεμβρανών τους (συνήθως από PVB).
- (ii) Έντονη ρηγμάτωση, παραμόρφωση και κατάπτωση (ακόμη και πάνω στις ποδιές/στα περβάζια) υαλοπινάκων με εγκιβωτισμένο συρμάτινο πλέγμα (οπλισμένων), σε υψηλές θερμοκρασίες, από $(550 \div 600)\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Εκτός των προηγούμενων πρακτικών πληροφοριών, για την εκτίμηση της $T_{αερ.}$ και της $T_{παρ.}$ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες ενδείξεις, κατά τα επόμενα.

Όλα τα συνήθη καιόμενα στερεά σώματα παρουσιάζουν διάφορα χαρακτηριστικά χρώματα πυρακτώσεως, αναλόγως της θερμοκρασίας, κατά τον Πίνακα II.5.

Επίσης, και οι φλόγες των (συνηθισμένων) καύσιμων υλικών έχουν χαρακτηριστικές θερμοκρασίες, κατά τον Πίνακα II.6, χρήσιμο σε περιπτώσεις που οι φλόγες έγλειφαν δομικά στοιχεία (για αρκετό χρονικό διάστημα).

Πίνακας II.5 Χαρακτηριστικά χρώματα πυρακτώσεως, αναλόγως της θερμοκρασίας του καιόμενου στερεού σώματος. (R. Rybicki, 1979) [3]

Χρώμα πυρακτώσεως	Θερμοκρασία σε °C
• Στο σκοτάδι, κόκκινο	περίπου 500
• Κόκκινο βαθύ	700
• Βαθύ βυσσινί	800
• Βυσσινί	900
• Ανοιχτό κόκκινο	1000
• Βαθύ πορτοκαλί	1100
• Ανοιχτό πορτοκαλί	1200
• Ερυθρόλευκο	1300
• Ισχυρά λευκοπυρωμένο	1350
• Αστραφτερό λευκό	1500

Πίνακας II.6 Χαρακτηριστικές θερμοκρασίες φλογών καύσιμων υλικών. (R. Rybicki, 1979) [3]

Καύσιμο	Θερμοκρασία σε °C
• Πολυστερόλη	1100 ÷ 1150
• Βενζίνη, πετρέλαιο, ορυκτέλαιο	1200 ÷ 1300
• Ελαστικό, καουτσούκ	1200
• Ξύλο πεύκου και έλατου	1100
• Υγροποιημένα αέρια	1500

Χρήσιμες λεπτομερέστερες ενδείξεις σχετιζόμενες με τις αλλοιώσεις των υλικών και τις μεταβολές της δομής τους είναι και οι ακόλουθες :

- **Γύψος** (ορυκτή, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (κρυσταλλικό)+ελεύθερο νερό)

~ 100 °C (–)	Εξάτμιση ελεύθερου νερού
~ 200 °C (–)	Εξάτμιση κρυσταλλικού νερού
~ 350 °C	CaSO_4 διαλυτό → αδιάλυτο
~ 1250 °C	$\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaO} + \text{SO}_3$

Ακόμη και οι πυράντοχες γυψοσανίδες (συνήθως με πρόσμιξη διογκωμένου περλίτη και οπλισμένες με ίνες γυαλιού ή υαλοϋφάσματα), παρουσιάζουν έντονη αλλοίωση και έναρξη τήξης στους 700 °C (περίπου), οπότε έχει πλήρως εξατμισθεί όλο το κρυσταλλικό νερό και έχει αρχίσει η τήξη των γυάλινων ινών.

Σε υψηλές θερμοκρασίες, παρατηρείται μείωση του πάχους των συνηθισμένων γυψοσανίδων, αποσύνθεση και πτώση της «πούδρας» της άνυδρης γύψου.

Σχετικώς, έχει παρατηρηθεί πως θραύση τμήματος καμμένης γυψοσανίδας μπορεί να οδηγήσει σε εκτίμηση του βάθους της μεταβατικής ζώνης μεταξύ της μαλακής άνυδρης γύψου (πούδρας, σκόνης) και της σκληρής ένυδρης γύψου.

Το φαινόμενο της προσβολής της γύψου εξελίσσεται, για συνηθισμένες γυψοσανίδες, με ρυθμό της τάξεως του 0,5 mm/min, ενώ (όπως ήδη αναφέρθηκε) η καύση του ξύλου γίνεται με ταχύτητα περίπου 0,7 mm/ min.

- **Σκυρόδεμα (ή τσιμεντοκονία) με ασβεστολιθικά αδρανή**

~ 100 °C (–)	Εξάτμιση ελεύθερου νερού
~ 500 °C	Εξάτμιση κρυσταλλικού νερού
~ 750 °C	Εξάτμιση κρυσταλλικού νερού
~ 750/800 °C	Ασβεστοποίηση αδρανών (τήξη, κρυσταλλική θραύση Ca)
~ 900/950 °C	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (διάλυση, απασβέστωση)

- **Σκυρόδεμα** (ή τσιμεντοκονία) με **πυριτιακά αδρανή**

~ 100 °C (-)	Εξάτμιση ελεύθερου νερού
~ 500 °C	Εξάτμιση κρυσταλλικού νερού
~ 750 °C	Εξάτμιση κρυσταλλικού νερού
~ 550/600 °C	α-χαλαζίας → β-χαλαζίας, με έντονη διαστολή
~ 850 °C	β-χαλαζίας → τριδυμίτης, με έντονη διαστολή

(ενώ η εξάτμιση νερού συνοδεύεται από συστολή)

- **Άνθρακας** τήξη στους 3000 °C (+)

- **Νικέλιο** τήξη στους 1450 °C

- **Χρώμιο** τήξη στους 1800 °C

(γι' αυτό και οι ανοξείδωτοι χάλυβες, με Cr και Ni, έχουν αρκετά καλύτερη συμπεριφορά στην πυρκαγιά, με σχετικώς μικρότερη απομείωση των χαρακτηριστικών τους υπό υψηλές θερμοκρασίες συγκριτικώς με τους κοινούς χάλυβες)

II.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

II.5.1 Επιφανειακές θερμοκρασίες

Μεταξύ των μέγιστων εξωτερικών θερμοκρασιών αέρος και παρειάς των δομικών στοιχείων παρατηρείται γενικώς (ευνοϊκή) θερμοκρασιακή υστέρηση, ως εξής:

$$T_{\text{παρ.}} \approx T_{\text{αερ.}} - \Delta T_{\text{υστ.}},$$

όπου $T_{\text{αερ.}}$ η μέγιστη θερμοκρασία αέρος, όπως εκτιμάται κατά την §II.3 και την §II.4.1, και $T_{\text{παρ.}}$ η μέγιστη (και κρίσιμη) θερμοκρασία πάνω στην παρειά των δομικών στοιχείων, κατά τα επόμενα, καθώς και κατά την §II.4.2.

Αδρομερώς, για πρακτικούς σκοπούς, η θερμοκρασιακή υστέρηση (που μπορεί να φθάσει και τους 200 °C) είναι δυνατόν να εκτιμηθεί ως εξής:

- Αν οι φλόγες έγλειφαν (για αρκετό χρονικό διάστημα, μεγαλύτερο της 1 ώρας) την παρειά του στοιχείου, λαμβάνεται :

$$\Delta T_{\text{υστ.}} \approx 50^{\circ}\text{C} (\div 0^{\circ}\text{C})$$

- Αν οι φλόγες δεν έγλειφαν το υπόψη δομικό στοιχείο καθ' όλη τη διάρκεια της πυρκαγιάς, λαμβάνεται συντηρητικώς :

$$\Delta T_{\text{υστ.}} \approx 100^{\circ}\text{C}.$$

II.5.2 Εσωτερικές θερμοκρασίες

Με βάση την (κρίσιμη) θερμοκρασία παρειάς ($T_{\text{παρ.}}$), μπορεί να εκτιμηθεί η ανάπτυξη των θερμοκρασιών στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους (πάχος και διατομή, έκθεση, πυκνότητα, αγωγιμότητα, ειδική θερμότητα κ.λπ.), και κατά το επόμενο Κεφάλαιο III.

Ευτυχώς, στο εσωτερικό των μή-μεταλλικών στοιχείων, οι θερμοκρασίες απομειώνονται μάλλον γρήγορα, ακολουθώντας πρακτικώς καμπύλες 3^{ου} ή 2^{ου} βαθμού συναρτήσεως του βάθους απ' την εκτεθειμένη παρειά.

Σχετικώς, και για τους επείγοντες σκοπούς αυτού του Πρακτικού Οδηγού, αρκεί να εκτιμηθεί η θερμοκρασία που αναπτύχθηκε στις εξωτερικές (κρίσιμες) λωρίδες – στοιβάδες των δομικών στοιχείων, είτε με τη βοήθεια των διαγραμμάτων που ακολουθούν, είτε και με απλούστερες προσεγγίσεις, κατά τη Σημείωση στο τέλος αυτής της παραγράφου.

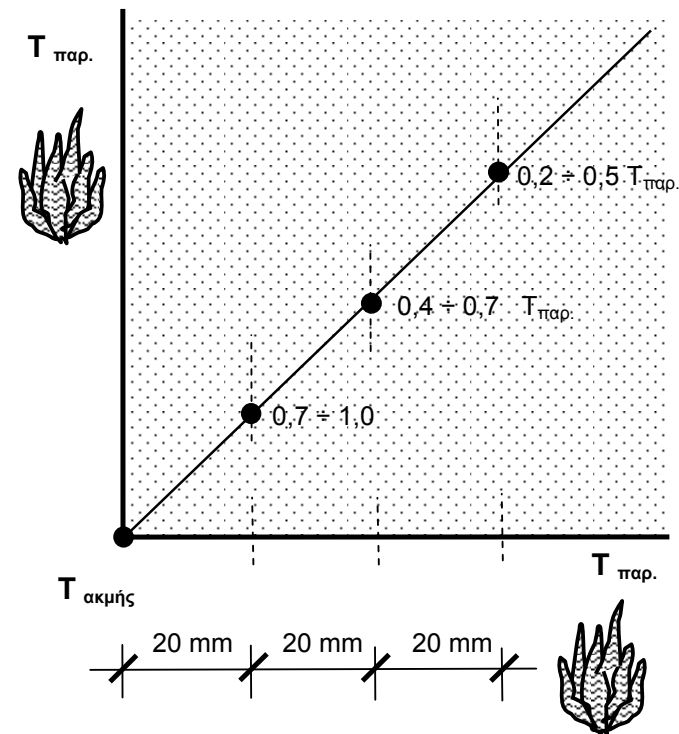
Επισημαίνεται, πάντως, πως σε περιπτώσεις απολεπίσεων και αποφλοιώσεων σκυροδέματος ή τοιχοποιίας, ως θέση παρειάς νοείται η νέα «εσωτερική» επιφάνεια του στοιχείου, μετά τη μείωση της διατομής (του πάχους).

Στην σχετική βιβλιογραφία μπορούν να αναζητηθούν λεπτομερέστερες και ίσως ακριβέστερες κατανομές θερμοκρασιών στο εσωτερικό στοιχείων από κανονικό (ή ελαφρό) σκυρόδεμα. Επισημαίνεται, όμως, πως συνήθως αφορούν σκυρόδεμα με πυριτιακά αδρανή, που έχουν χειρότερη συμπεριφορά από τα ελληνικά ασβεστολιθικά αδρανή, πλέον του ότι δίνονται για ζεύγη τιμών θερμοκρασίας – χρόνου (T-t) της πρότυπης πυρκαγιάς κατά ISO, και όχι για πραγματικές πυρκαγιές.

Γραμμικό δομικό στοιχείο με ακμή

(π.χ στύλοι και δοκοί από Ο.Σ., υπό καθολική έκθεση)

- 1) $T_{ακμής} \approx (1,5 \div 1,4) T_{παρ.}$ έως $(1,2 \div 1,1) T_{παρ.}$, για έντονη πυρκαγιά (με μεγάλη διάρκεια και υψηλές θερμοκρασίες).
- 2) Η μείωση της θερμοκρασίας με το βάθος εξαρτάται και από την ποιότητα (και πυκνότητα) των εξωτερικών στοιβάδων σκυροδέματος της επικάλυψης.
- 3) Ανάλογα με τη θέση των γωνιακών ράβδων οπλισμού, εκτιμάται και η θερμοκρασία του χάλυβα.
- 4) Στην περίπτωση καλοδομημένης **τοιχοποιίας**, η μείωση της θερμοκρασίας με το βάθος είναι αρκετά βραδύτερη.

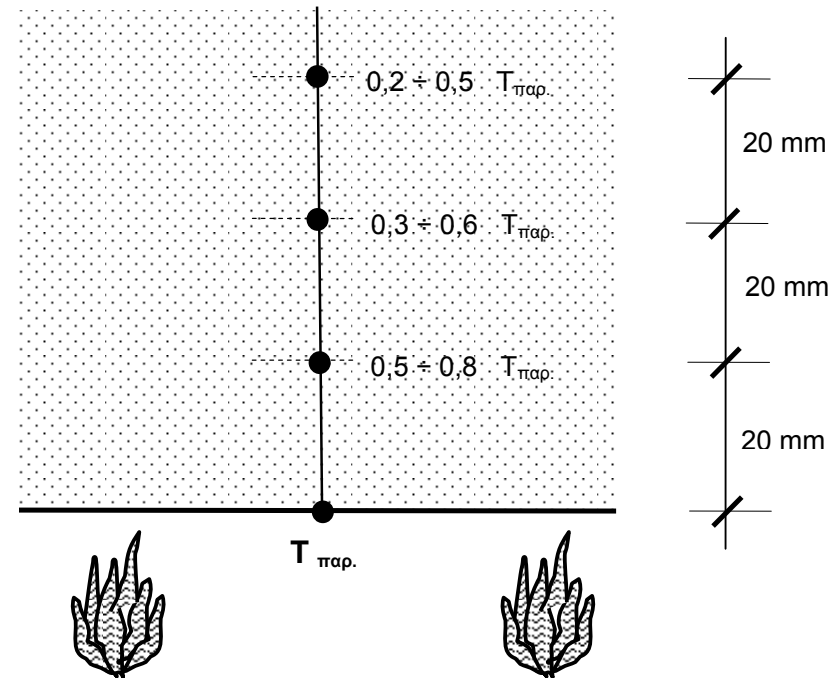


Σχήμα II.5 Σχέση μεταξύ $T_{ακμής}$ και $T_{παρ.}$ για γραμμικό δομικό στοιχείο με ακμή.

Επιφανειακό δομικό στοιχείο

(π.χ πλάκες και τοιχεία από Ο.Σ., υπό μονόπλευρη έκθεση)

- 1) Ιδιαίτερος για πλάκες, η $T_{\text{παρ.}}$ είναι περίπου σταθερή, σε αρκετή έως μεγάλη έκταση.
- 2) Η μείωση της θερμοκρασίας με το βάθος εξαρτάται και από την ποιότητα (και πυκνότητα) των εξωτερικών στοιβάδων σκυροδέματος, της επικάλυψης.
- 3) Ανάλογα με τη θέση (το βάθος) των ράβδων οπλισμού, εκτιμάται και η θερμοκρασία του χάλυβα.
- 4) Στην περίπτωση καλοδομημένης **τοιχοποιίας**, η μείωση της θερμοκρασίας με το βάθος είναι αρκετά βραδύτερη.



Σχήμα II.6 Τρόπος μεταβολής της $T_{\text{παρ.}}$ με την απόσταση, για επιφανειακό δομικό στοιχείο.

Σημείωση :

Ως απλούστερη και ταχύτερη προσέγγιση, για σημαντικές πυρκαγιές με $T_{\text{παρ.}} \approx 700^{\circ}\text{C}$ και διάρκεια $t < 1\text{h}$, μπορούν να εκτιμηθούν οι μέγιστες (κρίσιμες) εσωτερικές θερμοκρασίες, ως εξής :

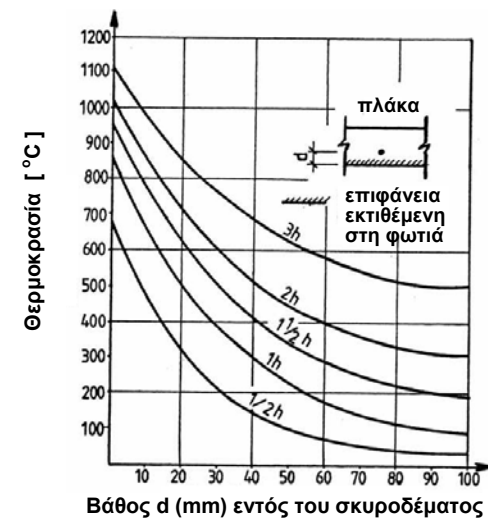
Οι (κρίσιμες) εσωτερικές θερμοκρασίες $T_{\text{εσωτ.}}$ που αναπτύσσονται σε βάθος 25mm για Ο.Σ. ή βάθος 70 mm για γυμνό τοίχο Φ.Τ., θεωρούνται μέσες αντιπροσωπευτικές για τους σπλισμούς και για τις εξωτερικές στοιβάδες σκυροδέματος και τοιχοποιίας διπλάσιου πρακτικώς πάχους (δηλ. 50 mm για τα στοιχεία από σκυρόδεμα και 140 mm για τα στοιχεία από τοιχοποιία).

Πρακτικώς, για τις γωνίες στύλων και δοκών (από Ο.Σ.), υπό καθολική έκθεση σε πυρκαγιά, καθώς και για πλάκες (από Ο.Σ.) αλλά και τοιχία/τοίχους (από Ο.Σ. ή τοιχοποιία) υπό μονόπλευρη έκθεση, οι εσωτερικές θερμοκρασίες μπορούν να εκτιμηθούν συντηρητικώς ως εξής, υπό την προϋπόθεση ότι δεν έχουν συμβεί αποκολλήσεις :

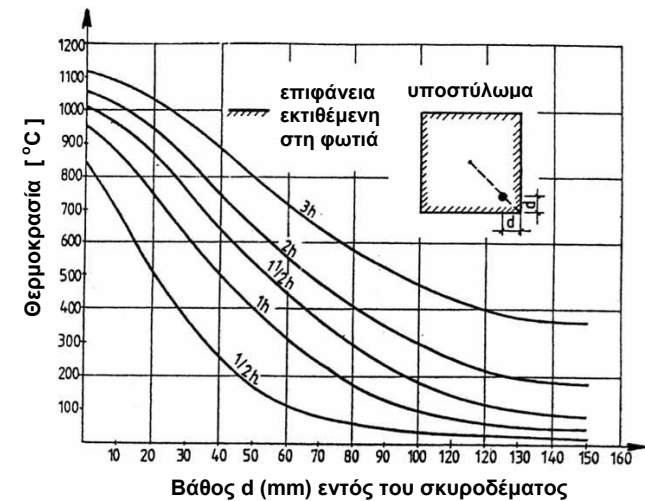
- Στύλοι και δοκοί (σε βάθος ~ 25 mm) : $T_{\text{εσωτ.}} \approx T_{\text{παρ.}} - 100^{\circ}\text{C}$
- Πλάκες (σε βάθος ~ 25 mm) : $T_{\text{εσωτ.}} \approx T_{\text{παρ.}} - 150^{\circ}\text{C}$
- Τοιχία Ο.Σ. (σε βάθος ~ 25 mm) : $T_{\text{εσωτ.}} \approx T_{\text{παρ.}} - 200^{\circ}\text{C}$
- Τοίχοι ΦΤ (σε βάθος ~ 70 mm) : $T_{\text{εσωτ.}} \approx T_{\text{παρ.}} - 300^{\circ}\text{C}$.

Π.5.3 Κατανομή θερμοκρασιών σε στοιχεία Ο.Σ.

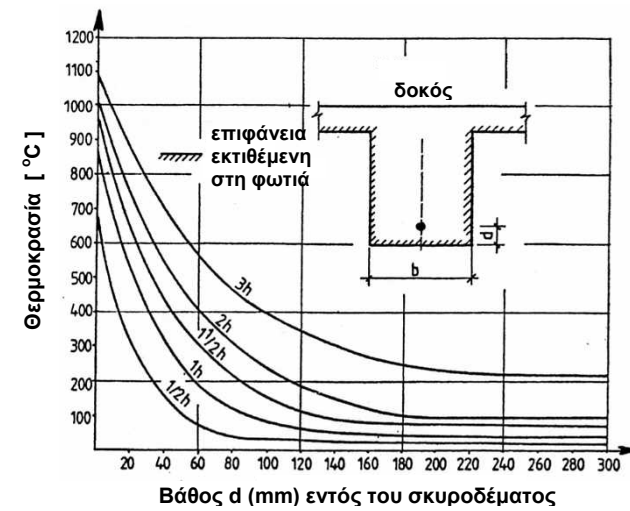
Για τυπικές (κυρίως) πυρκαγιές κτιρίων, οι εσωτερικές θερμοκρασίες στα διάφορα δομικά στοιχεία μπορούν να εκτιμηθούν και με τη βοήθεια των διαγραμμάτων που φαίνονται στα Σχήματα Π.7, Π.8 και Π.9 (C. Furdui, 1995) [5], λαμβάνοντας (βεβαίως) υπόψη πως η σχέση $T-t$ δεν είναι ορισμένη και μονοσήμαντη για πραγματικές πυρκαγιές (βλ. και Παρατήρηση της §II.3).



Σχήμα Π.7 Κατανομή θερμοκρασιών σε πλάκες πάχους ~ 100÷160mm. (C. Furdui, 1995) [5]



Σχήμα Π.8 Κατανομή θερμοκρασιών σε στύλους διατομής ~ 300x300mm. (C. Furdui, 1995) [5]



Σχήμα II.9 Κατανομή θερμοκρασιών σε δοκούς πλάτους $b \approx 300\text{mm}$. (C. Furdui, 1995) [5]

II.5.4 Απαιτούμενος χρόνος για την ανάπτυξη $T_{\text{εσωτ.}} \approx 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε στοιχεία Ο.Σ.

Για τυπικές αλλά και για πραγματικές πυρκαγιές κτιρίων, ο χρόνος που απαιτείται για να αναπτυχθούν θερμοκρασίες $\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ στη στάθμη των οπλισμών (για διάφορα δομικά στοιχεία), μπορεί αδρομερώς να εκτιμηθεί και με βάση τον Πίνακα II.7 (Κ. Kordina, 1963) [6], που έχει στηριχθεί σε πειραματικά δεδομένα υπό πρότυπη πυρκαγιά.

Στον Πίνακα αυτό, ως «επίχρισμα» θεωρείται ισχυρό ασβεστοτσιμεντοκονίαμα, με καλή πρόσφυση, χωρίς (πρόωρη) αποκόλληση.

Πίνακας II.7 «Κρίσιμες» θερμοκρασίες ολόσωμων δομικών υλικών και στοιχείων. (Κ. Kordina, 1963) [6]

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΑΧΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ή και ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΟΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	ΧΡΟΝΟΣ για $T_{\text{οπλ.}} \approx 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (min)
ΠΛΑΚΕΣ (φωτιά από κάτω)	10 mm μπετόν	12,5	40
	20 mm μπετόν	10,0	50
	20 mm μπετόν + 15 mm επίχρ.	2,0	250
ΔΟΚΟΙ (φωτιά από 3 πλευρές)	20 mm μπετόν	9,5	50 ÷ 55
	40 mm μπετόν	6,5	70 ÷ 85
ΣΤΥΛΟΙ (φωτιά από 4 πλευρές)	15 mm μπετόν	6,0	85
	15 mm μπετόν + 15 mm επίχρ.	3,0	170

II.5.5 «Κρίσιμες» θερμοκρασίες

Κατ' αντιστοιχία προς τον χάλυβα (οπλισμού σκυροδέματος), με «κρίσιμη» θερμοκρασία περίπου 500°C (400 ÷ 600°C), μπορούν να αναφερθούν «κρίσιμες» θερμοκρασίες και για άλλα «ολόσωμα» δομικά υλικά και στοιχεία, κατά τον Πίνακα II.8 (M. Roitmann, 1974) [7].

Σχετικώς, υπενθυμίζεται ότι για τους χάλυβες (οπλισμού σκυροδέματος), παλιούς και νέους, έχει επικρατήσει να θεωρείται ως «κρίσιμη» η θερμοκρασία των 500 °C διότι ενδέχεται να οδηγήσει σε απομείωση αντοχής (κατά την πυρκαγιά) έως και κατά 35%.

Πίνακας II.8 «Κρίσιμες» θερμοκρασίες ολόσωμων δομικών υλικών και στοιχείων. (M. Roitmann, 1974) [7]

Δομικό υλικό	T _{κρ.} , °C
• Σκυρόδεμα με πυριτιακά αδρανή	575
• Σκυρόδεμα με ασβεστολιθικά αδρανή	675
• Γρανίτης	700
• Ασβεστόλιθος	800
• Πλίνθοι (καλοψημένες)	900

II.6 ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μ. Χρονόπουλος - Χ. Σπανός, “Πρακτικές συστάσεις για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος μετά από πυρκαγιά”, 10^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ / ΕΤΣ, Ρόδος, 1991.
- [2] C. Meyer-Ottens, “Bauaufsichtliche Brandschutzvorschriften”, Teil 2 : Die Bauwirtschaft , Heft 25, 1971.
- [3] R. Rybicki, “Βλάβες δομικών έργων”, Τόμος 1 και 2, Μ. Γκιούρδας, Αθήνα, 1980.
- [4] ΚΕΔΕ, “Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (ΚΤΧ)”, Αθήνα, 2008.
- [5] C. Furdui, “General criteria regarding fire protection of structures”, Int. Symposium on the Fire Protection of Structures (TEMPOS '94), Bucharest, 1995.
- [6] K. Kordina, “Das Verhalten von Stahlbeton unter Feueraugriff”, Hefte 1 und 2, Befon 1963.
- [7] M. Roitmann, “Grundlagen der Brandschutz - Normierung im Bauwesen”, Verl. R. Mueller, 1974.
- [8] Προσωπικό αρχείο φωτογραφιών Μ. Χρονόπουλου, από παλαιότερες αλλά και από τις πρόσφατες πυρκαγιές του 2007 στις περιοχές των Νομών Ηλείας, Αρκαδίας και Ευβοίας.