

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

- Αέρος
- Στην παρειά των δομικών στοιχείων
- Στο εσωτερικό τους

1

ΠΡΟΧΕΙΡΟΣ ΟΔΗΓΟΣ

για τη

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

που αφορούν την

ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΙΚΡΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ
(από Σκυρόδεμα ή Τοιχοποιία)

μετά από

ΠΥΡΚΑΓΙΑ

Σκοπός

- Ο πρόχειρος (και πρακτικός) αυτός ΟΔΗΓΟΣ υποβοηθεί το επείγον έργο της 1^{ης} (συνοπτικής και γρήγορης) Αυτοψίας πυρόπληκτων κτιρίων, ως προς το ειδικό θέμα της φέρουσας ικανότητας («στατικής επάρκειας») μετά από ΠΥΡΚΑΓΙΑ.
- Οι Μηχανικοί Αυτοψίας συγκεντρώνουν και καταγράφουν τεχνικές και αξιόπιστες πληροφορίες μόνον – δεν αποτιμούν και δεν αποφαίνονται για τη φέρουσα ικανότητα των επιμέρους δομικών στοιχείων ή του κτιρίου ως συνόλου.

Οι διαδικασίες αυτές θα γίνουν στις Κεντρικές Υπηρεσίες, με βάση (i) τις πληροφορίες του Εντύπου «Α», κατά τον παρόντα ΟΔΗΓΟΝ, και (ii) τις διαπιστώσεις της 2^{ης} (συστηματικής και οριστικής) Αυτοψίας.

- Παρά ταύτα, αυτός εδώ ο πρόχειρος (και πρακτικός) ΟΔΗΓΟΣ περιλαμβάνει σύντομη υπόμνηση βασικών πληροφοριών για τη θερμική συμπεριφορά υλικών και δομικών στοιχείων, με στόχον την επιστημονική υποστήριξη του έργου των Μηχανικών Αυτοψίας.

(Σημείωση : Το προσωρινό αυτό κείμενο συντάχθηκε απ' τους συναδέλφους Θ.Π. Τάσιον και Μ.Π. Χρονόπουλον, θα αντικατασταθεί δε από έναν πλήρη ΟΔΗΓΟΝ που συντάσσεται στο ΕΜΠ, με πρωτοβουλία και χρηματοδότηση του ΤΕΕ.)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Συνοπτική περιγραφή της πυρκαγιάς
2. Εκτίμηση μέγιστων εξωτερικών θερμοκρασιών (αέρος και παρειάς)
3. Εκτίμηση εσωτερικών θερμοκρασιών, μέσα στα δομικά στοιχεία
4. Μεταβολή μηχανικών χαρακτηριστικών (κυρίως αντοχών) των υλικών κατασκευής
5. Χαρακτηριστικές βλάβες λόγω πυρκαγιάς (Σκυρόδεμα και Τοιχοποιία)
6. Έντυπο καταγραφής πληροφοριών (ΕΝΤΥΠΟ «Α»)

Παραρτήματα

- I. Πρόσθετα στοιχεία για τις εσωτερικές φωτιές
- II. Τυπικές βλάβες λόγω πυρκαγιάς και απομένουσες αντοχές δομικών στοιχείων
- III. Χαρακτηριστικές φωτογραφίες βλαβών λόγω πυρκαγιών (εκτός των πρόσφατων)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Στις δασικές πυρκαγιές κοντά σε οικισμούς, οι μέγιστες θερμοκρασίες ($T_{αερ.}$) 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 $^{\circ}\text{C}$.

Αντιθέτως, στις εσωτερικές φωτιές κτιρίων (κάθε είδους), οι μέγιστες θερμοκρασίες ($T_{αερ.}$) 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 $^{\circ}\text{C}$.

➤ 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.).

2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Για τους σκοπούς αυτού του ΟΔΗΓΟΥ, η εκτίμηση των εξωτερικών θερμοκρασιών μπορεί να γίνει εκ των ενόντων και χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ακριβείας.

Προς τούτο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα πιο κάτω κριτήρια (βλ. και Παράρτημα Ι) :

2.1 Ποιοτικά

Βάσει της γενικής συνοπτικής περιγραφής της πυρκαγιάς (βλ. § 1). Οι ειδικές Οδηγίες που θα δοθούν αργότερα στις Κεντρικές Υπηρεσίες, θα οδηγούν σε τρεις (ή το πολύ τέσσερις) κλάσεις θερμοκρασιών (αέρος, Ταερ.) με βάση τα γενικά δεδομένα της § 1, αλλά και τις τοπικές ενδείξεις από υλικά που κάηκαν, κατά τα αμέσως επόμενα.

2.2 Ποσοτικά

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 ενδείξεις μέγιστης θερμοκρασίας αέρος, κοντά ή πάνω στην επιφάνεια (στις παρειές) των δομικών στοιχείων.

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

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 εξάρτηση του φαινομένου απ' τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες.

B) Χρωματικές αλλαγές

Συνήθεις σε σκυροδέματα (καί με πυριτιακά καί με ασβεστολιθικά αδρανή), αλλά και σε επιχρίσματα (αν δεν αποκολληθούν), αναλόγως της θερμοκρασίας παρειάς (Tπαρ.), ως εξής :

- Για Tπαρ. < 300 °C
Φυσιολογικό χρώμα σκυροδέματος (γκρί-πράσινο), και καπνιά (αρκετή)
- Για 300 °C < Tπαρ. < 600 °C
Ροζ (ελαφρό), και καπνιά (αρκετή)
- Για 600 °C < Tπαρ. < 900 °C
Γκρί (-άσπρο), και καπνιά (αρκετή)
- Για Tπαρ. > 900 °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. ΚΤΧ 2007, § 3.6.2.

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 ÷ 950 °C
- Ορείχαλκος (Cu/Zn)
Τήξη στους 900 ÷ 1050 °C
- Χρυσός
Τήξη στους 1050 °C (περίπου)
- Χαλκός
Τήξη στους 1050 ÷ 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 ÷ 700 °C και τήξη στους 750 ÷ 950 °C, βλ. και ιδιαίτερη Σημείωση 2
- Μαγειρικό αλάτι, μαγειρική σόδα
Τήξη στους 800 ÷ 850 °C (περίπου)

B) Καύση ξύλου

Για χοντρές διατομές (π.χ. 100 mm), και αναλόγως του είδους, της πυκνότητας και της υγρασίας, η καύση (για πλήρως αναπτυγμένη πυρκαγιά) γίνεται με ταχύτητα της τάξεως των 25 ÷ 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 30λ.) είτε κατά την απότομη απόψυξη (θερμικό σοκ, με νερό), και είναι συνήθως εκρηκτικό.

Συμβαίνει σε πλάκες και τοιχεία, αλλά και σε λεπτά γραμμικά στοιχεία υπό υψηλή καταπόνηση, σε δοκούς (κυρίως στις στηρίξεις και εδράσεις) αλλά 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, αλλά και τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος (τα αδρανή, το πορώδες και την υγρασία) και του δομικού στοιχείου καθ' εαυτού (λεπτομέρειες όπλισης, πάχος και διατομή, έκθεση, καταπόνηση).

Εκ προοιμίου επισημαίνεται πως οι αποκολλήσεις συνιστούν ιδιαίτερον κίνδυνον :

Αφενός συνεπάγονται απομείωση των διατομών (σκυροδέματος), έως και έντονη (και βεβαίως απότομη), 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 ιδιαίτερον κίνδυνον (π.χ. βαριάς αστοχίας και καταρρεύσεως) για κίονες, πεσσούς κ.λπ. υπό υψηλή θλιπτική καταπόνηση.

Σημείωση 2, για τη συμπεριφορά των υαλοπινάκων (κάθε είδους)

Για τη συμπεριφορά του γυαλιού στην πυρκαγιά (παραμόρφωση, τήξη), δόθηκαν στοιχεία στον προηγούμενον Πίνακα, ενώ η συμπεριφορά των υαλοπινάκων καθ' εαυτών 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/σκληρυνση – βαφή, tempered/toughened), σε ειδικά πλαισιώματα υαλοστασίων και με ειδικόν σχεδιασμόν/ειδική μελέτη, μπορούν να παρουσιάσουν αυξημένη πυραντίσταση.

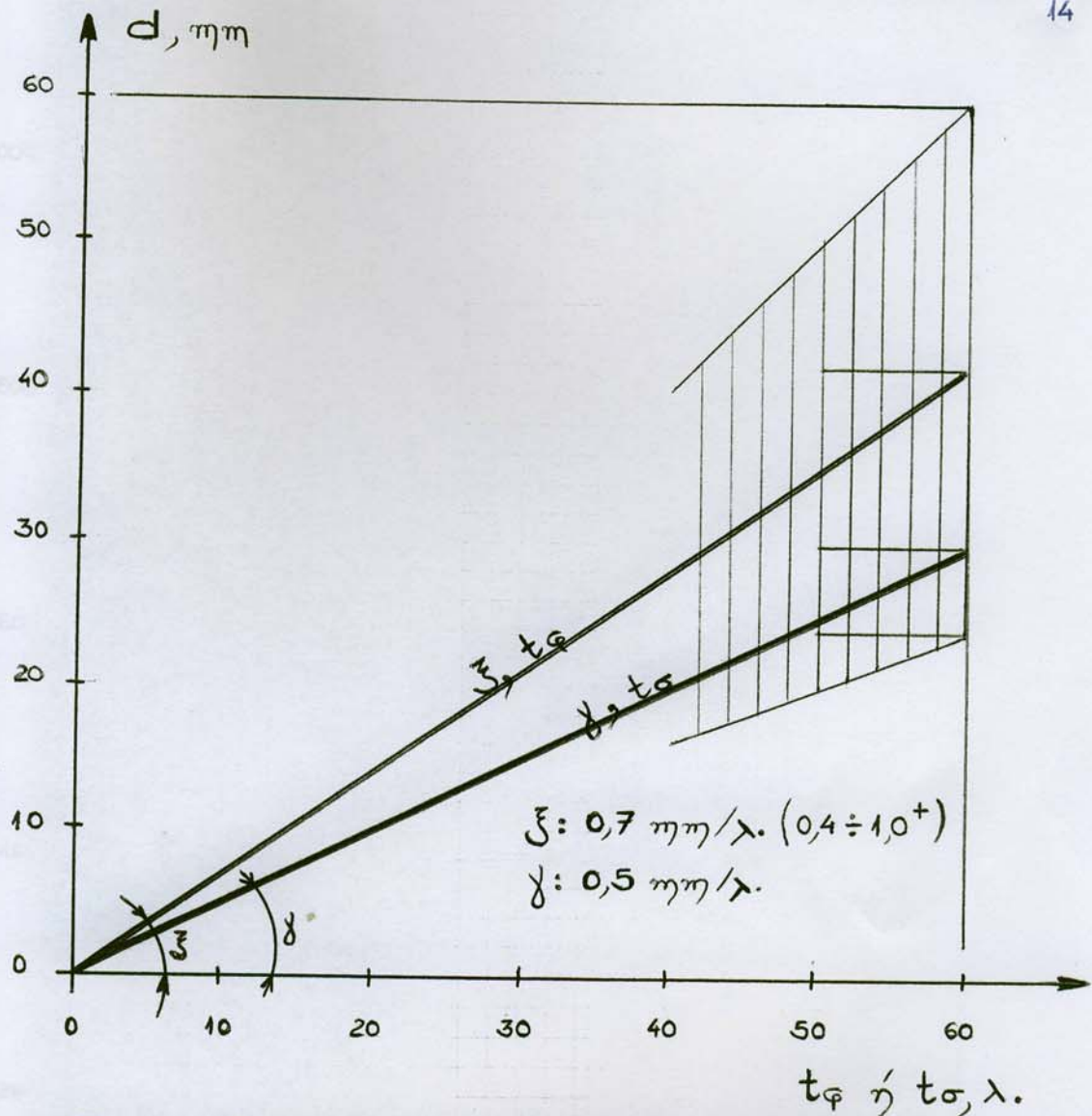
Στην κατηγορία των «πυρασφαλών» γυαλιών, περιλαμβάνονται (i) οι «πυρίμαχοι» υαλοπίνακες (για βιομηχανικές εφαρμογές), με ειδική σύσταση και ειδική παραγωγή, χωρίς ρηγμάτωση ακόμη και για $T \approx 750$ °C, και (ii) οι «πυράντοχοι» υαλοπίνακες (για οικοδομικές εφαρμογές), επίσης ειδικοί, οπλισμένοι ή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

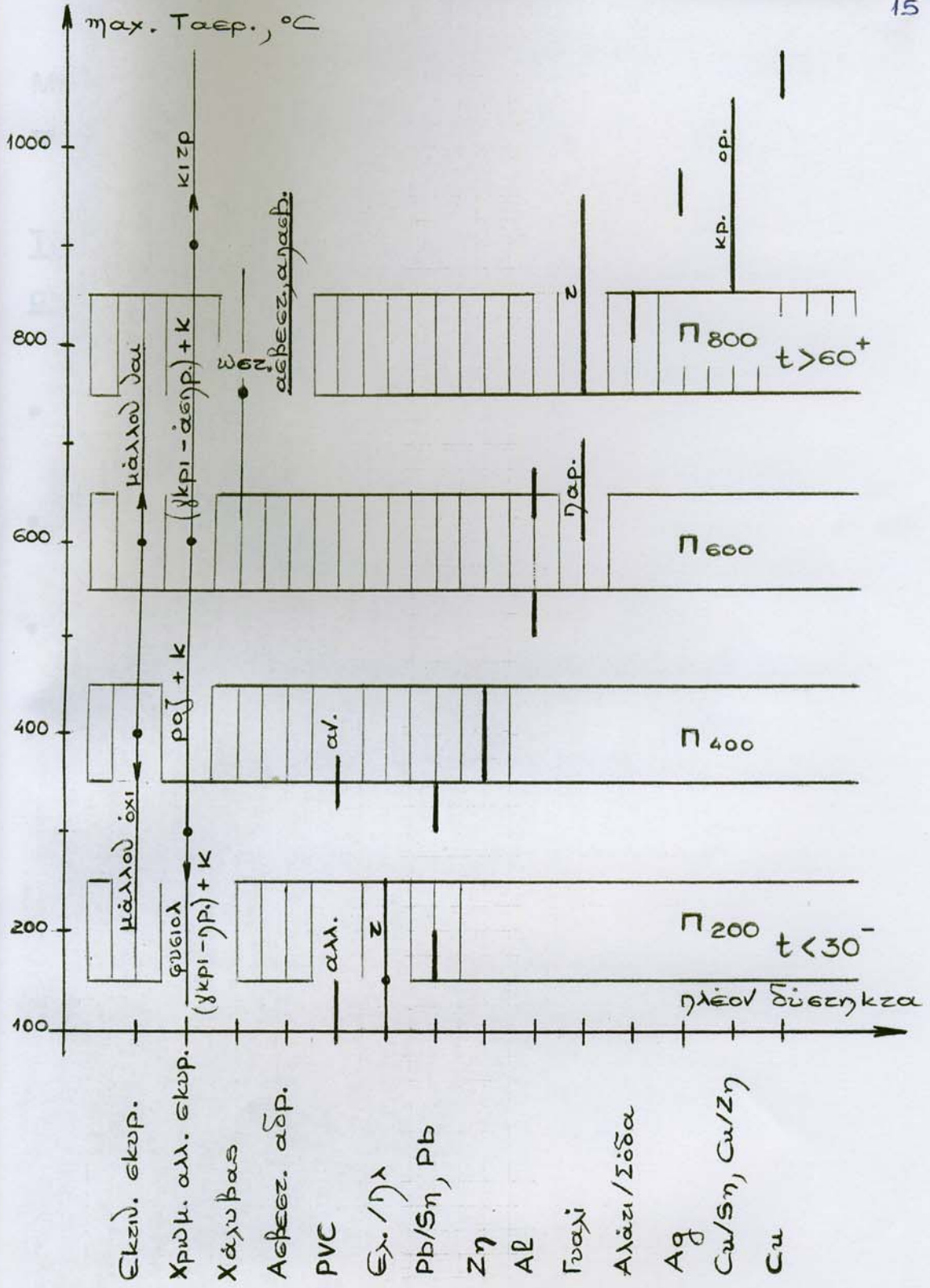
Σε αντίθεση, λόγω του ενσωματωμένου πλέγματος, παρουσιάζουν καλύτερη φέρουσα ικανότητα αλλά και «ακεραιότητα», έναντι φλόγας, καπνού κ.λπ.

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

- (i) Θόλωμα/θάμπωμα σύνθετων υαλοπινάκων (triplex), σε χαμηλές σχετικώς θερμοκρασίες, από (100 ±) 150 °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 ±) 600 °C.



- 1: Βάθος (ή παχύτητα) έγκαυσης ξύλου κω/ρωλ, για ηλήρωσ αδαηωγμέδη ηυρκαχιά (t_ϕ), μετὰ ζουσ 250°C (ηερ.)
- 2: Βάθος ηροσβεχής αηλιώ ηυγοεαδιδωλ/αηο-εύνδεσης ή ηζώσης "ηουδρας" άλυδρης ζύγου, μετὰ ζουδσ $100(\div 350)^\circ\text{C}$, άρα για χπόδωλ t_σ (μεταβατικη ζώδη μετὰξω της μαχακης άλυδρης ή της εκηρης έλυδρης ζύγου)



Με βάση διασταυρωμένα και αξιόπιστα τεχνικά στοιχεία,
ποιοτικά καί ποσοτικά :

**Τέσσερις «κλάσεις» πυρκαγιάς (εξωτ. ή/και εσωτ.),
αναλόγως max. Ταερ. (± 50 °C)**

- Π 200 , με max. Ταερ. ≈ 200 °C
- Π 400 , με max. Ταερ. ≈ 400 °C
- Π 600 , με max. Ταερ. ≈ 600 °C
- Π 800 , με max. Ταερ. ≈ 800 °C

Π 200 : Διάρκεια φλογών $< 30^-$ λ., όχι τήξη ή καύση υλικών,
μάλλον ασήμαντες ή μικρές βλάβες, τοπικού χαρακτήρα
(βλ. §5 του ΟΔΗΓΟΥ).

Π 800 : Διάρκεια φλογών $> 60^+$ λ., καύση και τήξη υλικών,
σοβαρές έως και βαριές βλάβες, εκτεταμένες
(βλ. §5 του ΟΔΗΓΟΥ).

ΠΡΟΣΟΧΗ

- Σύγκριση όσο αφορά τη διάρκεια φλογών, δηλ. τη διάρκεια πλήρως αναπτυγμένης φωτιάς και καύσης (t_f), ή τη συνολική διάρκεια της πυρκαγιάς (t_s), στην οποία περιλαμβάνεται καί η επώαση (υποχρεωτικώς) καί η απόσβεση (ενδεχομένως).
- Αξιόπιστη εκτίμηση των χρονικών διαρκειών t_f και t_s , για εσωτερικές φωτιές, σε ΠΔ, μπορεί να γίνει μόνον όταν διατίθενται διασταυρωμένα και αξιόπιστα στοιχεία για αρκετές (έως πολλές) από τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στο πρόβλημα.
- Η αβεβαιότητα όσο αφορά την αρχική φάση της επώασης (και κυρίως τη διάρκειά της) είναι μεγάλη.

Αναλόγως των συνθηκών, η επώαση διαρκεί λίγα λ. (π.χ. 5) έως και περισσότερο από μισή ώρα.

Σχετικώς, η χρονική διάρκεια που μεσολαβεί μέχρι την καθολική ανάφλεξη σε ένα ΠΔ, εξαρτάται από :

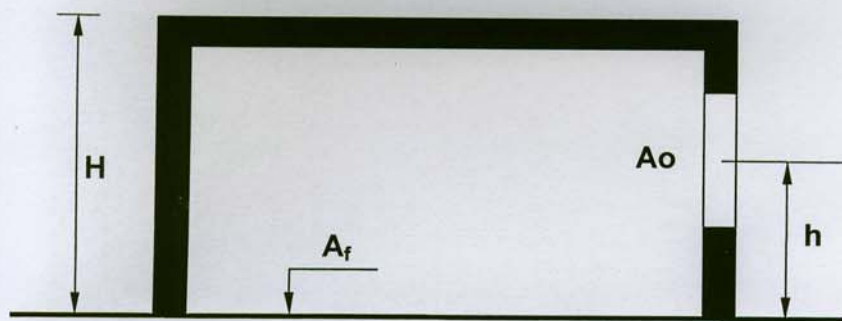
- Τη μάζα, τη φύση και τη θερμαντική ικανότητα των διαφόρων καύσιμων υλικών
- Τη γεωμετρία του πυροδιαμερίσματος
- Την κατανομή και το στοίβαγμα των καύσιμων υλικών
- Τα ανοίγματα και τον αερισμόν
- Την περιοχή έναρξης της πυρκαγιάς, και
- Το μέγεθος της πηγής θερμότητας.

Εκτίμηση του συντελεστή ανοιγμάτων

(→ συντελεστή αερισμού, f)

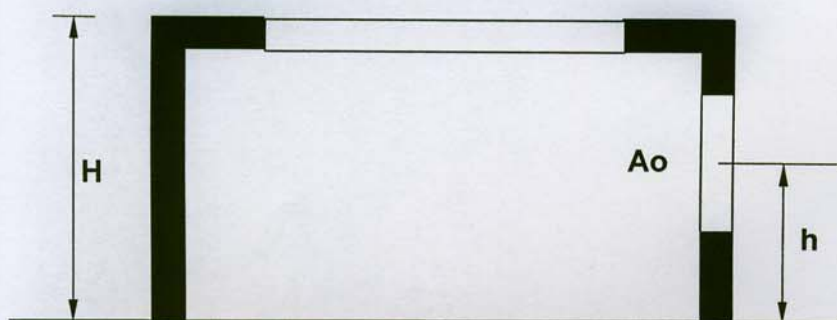
για ΠΔ πάνω ανοικτά,

π.χ. μετά από πρόωρη κατάρρευση στέγης, οροφής κ.λπ.



αρχικώς

$$f = A_o \sqrt{h}$$



σταδιακώς

$$f = A_o \sqrt{h} + (\kappa A_f) \sqrt{H}, \kappa = 0,1 \div 0,9$$

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

3.1 Επιφανειακές θερμοκρασίες

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

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

όπου $T_{\text{αερ.}}$ η μέγιστη θερμοκρασία αέρος, όπως εκτιμάται κατά την §1 αλλά και την §2.1, και $T_{\text{παρ.}}$ η μέγιστη (και κρίσιμη) θερμοκρασία πάνω στην παρειά των δομικών στοιχείων, κατά τα επόμενα αλλά και την §2.2.

Αδρομερώς, 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 των 2 ωρών) την παρειά του στοιχείου, λαμβάνεται :

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

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

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

3.2 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.).

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

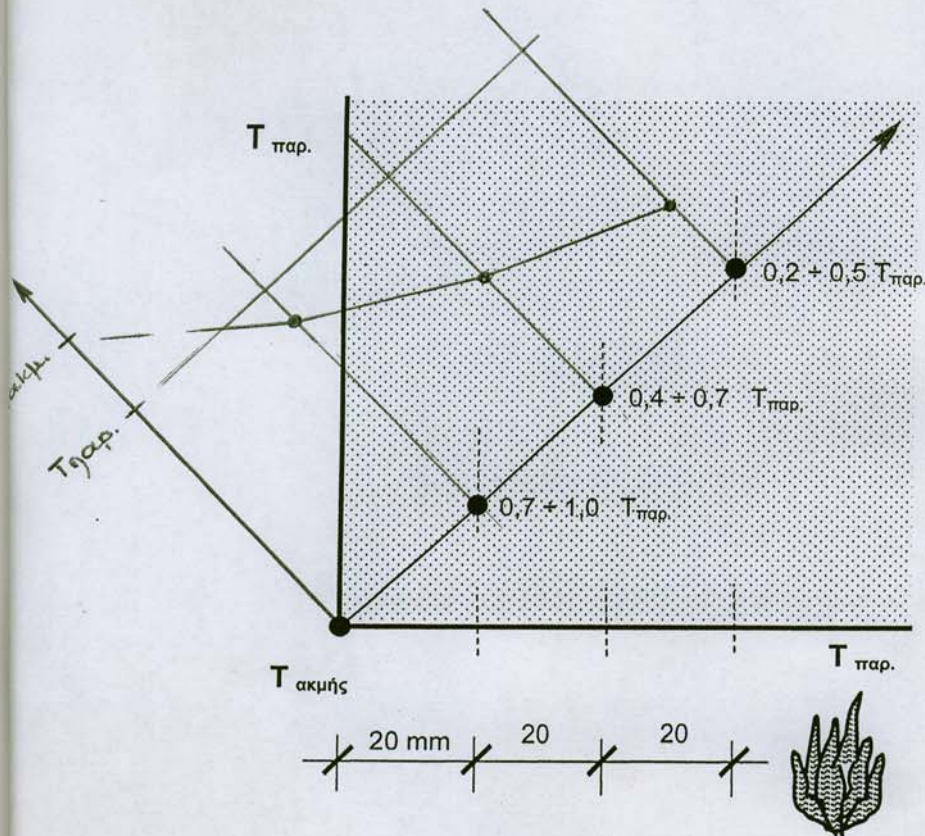
Σχετικώς, και για τους επείγοντες σκοπούς αυτού του ΟΔΗΓΟΥ, αρκεί να εκτιμηθεί η θερμοκρασία που αναπτύχθηκε στις εξωτερικές (κρίσιμες) λωρίδες – στοιβάδες των δομικών στοιχείων, είτε με τη βοήθεια των διαγραμμάτων που ακολουθούν είτε και με απλούστερες προσεγγίσεις, κατά τη Σημείωση στο τέλος αυτής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

Στο Παράρτημα Ι δίνονται πρόσθετα λεπτομερέστερα διαγράμματα για στοιχεία ΟΣ (και τοίχους ΦΤ), όπως προέκυψαν από δοκιμές και μετρήσεις σε πλήθος περιπτώσεων.

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).

ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΜΕ ΑΚΜΗ

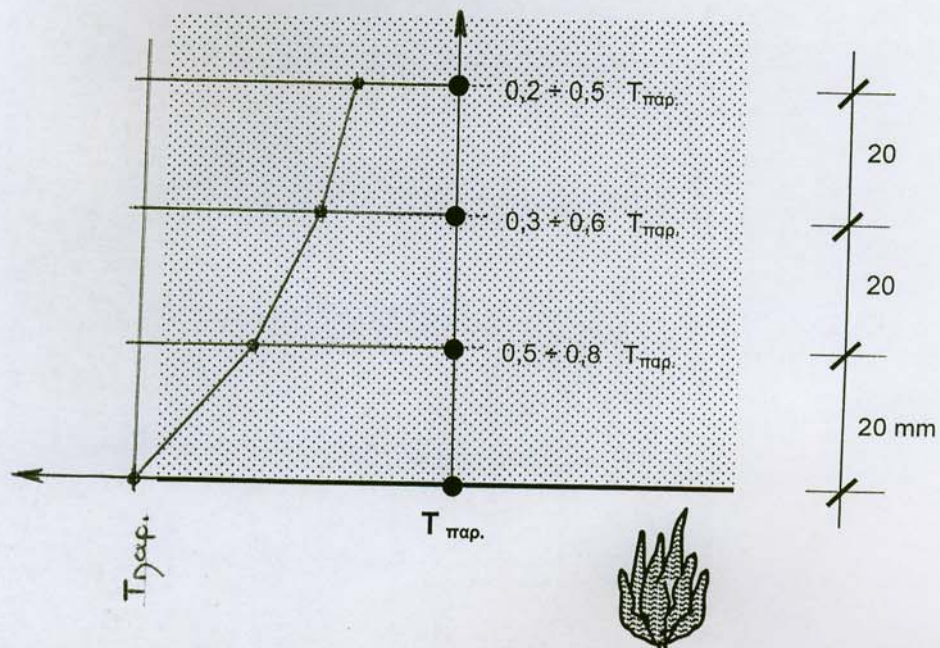
(π.χ στύλοι και δοκοί από ΟΣ, υπό καθολική έκθεση)



- 1) $T_{\alpha\kappa\mu\eta\varsigma} \approx 1,5/1,4 T_{\pi\alpha\rho.}$ έως $1,2/1,1 T_{\pi\alpha\rho.}$, 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.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ

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

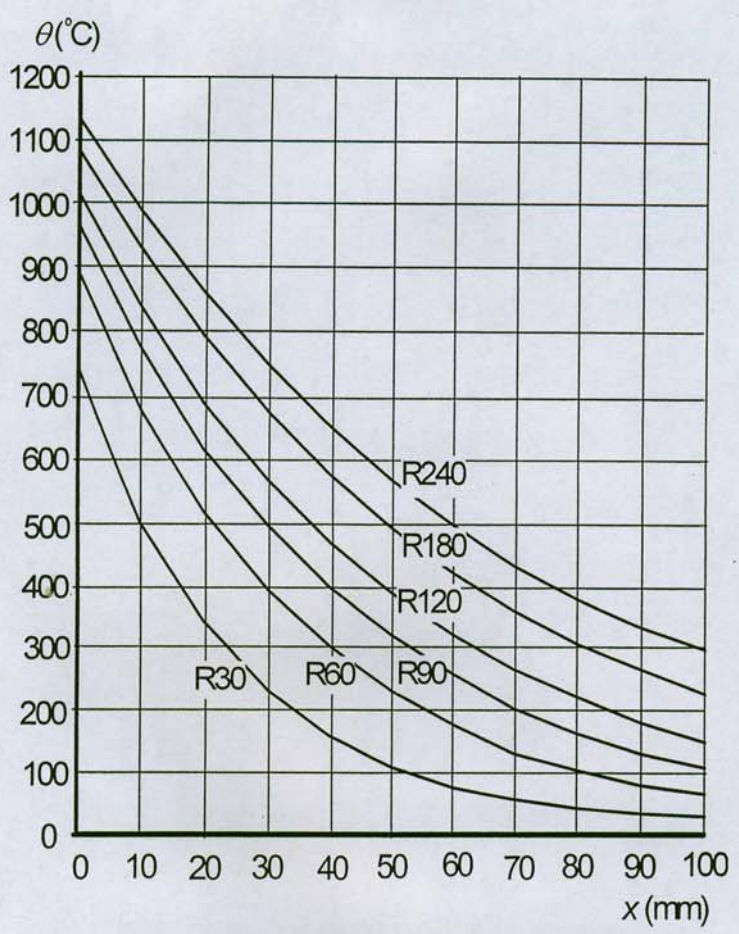


- 1) Ιδιαίτερος για πλάκες, η $T_{\text{παρ}}$ είναι περίπου σταθερή, σε αρκετή έως μεγάλη έκταση.
- 2) Η μείωση της θερμοκρασίας με το βάθος εξαρτάται και από την ποιότητα (και πυκνότητα) των εξωτερικών στοιβάδων σκυροδέματος, της επικάλυψης.
- 3) Ανάλογα με τη θέση (το βάθος) των ράβδων οπλισμού, εκτιμάται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

Παράρτημα Α (πληροφοριακό)

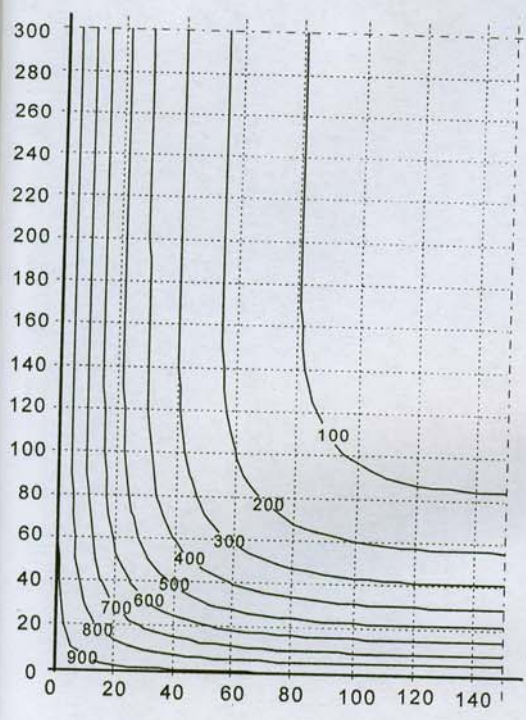
Κατανομή θερμοκρασίας σε διατομή

Fourier, ζωνοκρόνος μεταφορά θερμότητας/ηφραείας

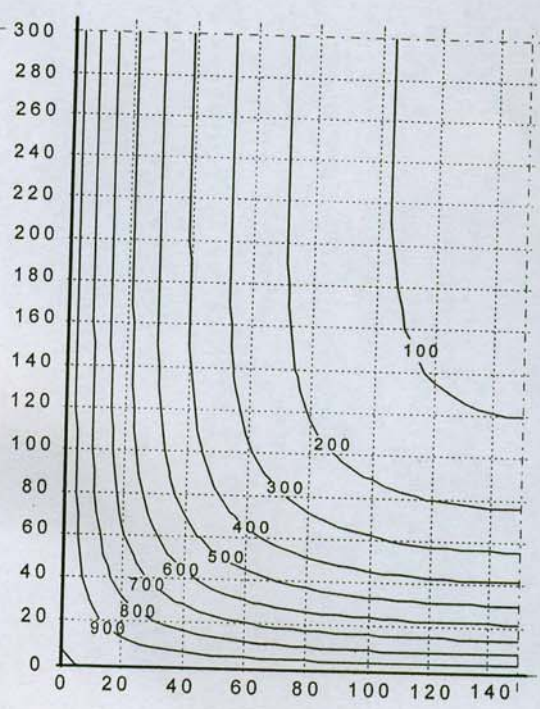


x είναι η απόσταση από την εκτεθειμένη επιφάνεια

Κατανομές θερμοκρασίας σε διατομή για πλάκες (ύψος $h = 200$) για R60 - R240



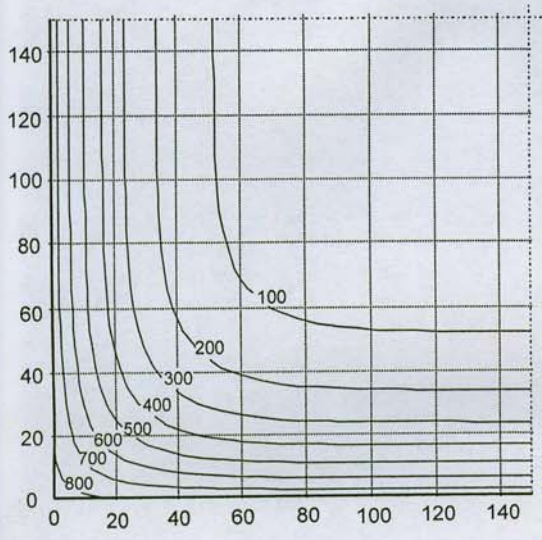
a) R60



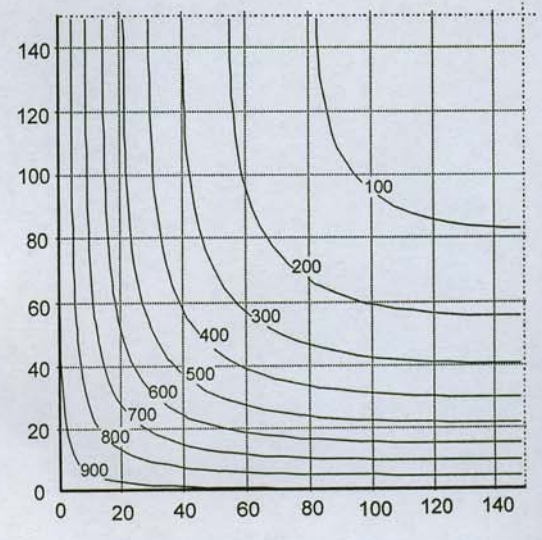
b) R90

Κατανομές θερμοκρασίας σε διατομή (°C) για δοκό $h \times b = 600 \times 300$

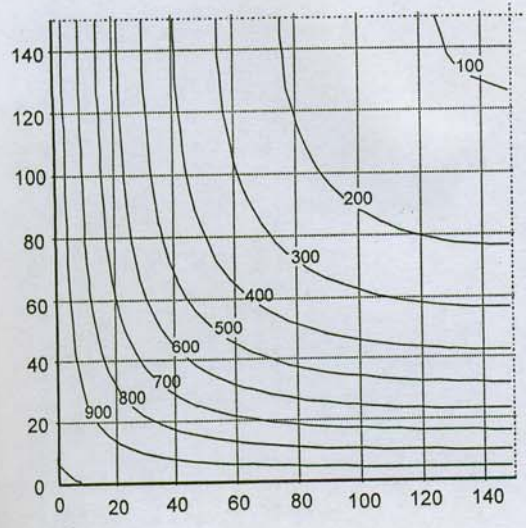
EN 1992-1-2



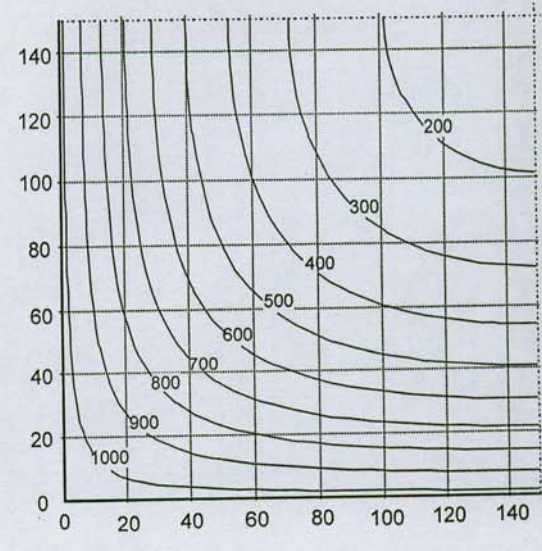
Κατανομές θερμοκρασίας σε διατομή (°C) για υποστύλωμα, $h \times b = 300 \times 300 - R30$



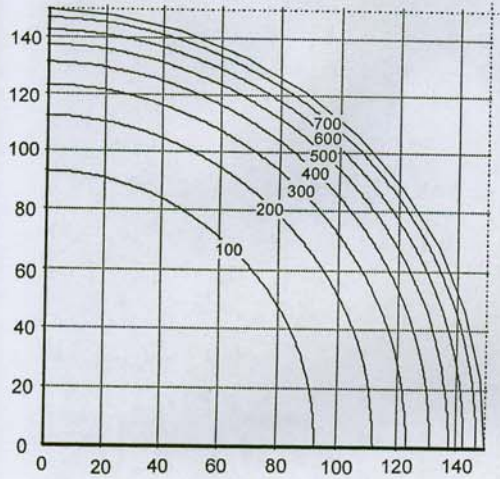
Κατανομές θερμοκρασίας σε διατομή (°C) για υποστύλωμα, $h \times b = 300 \times 300 - R60$



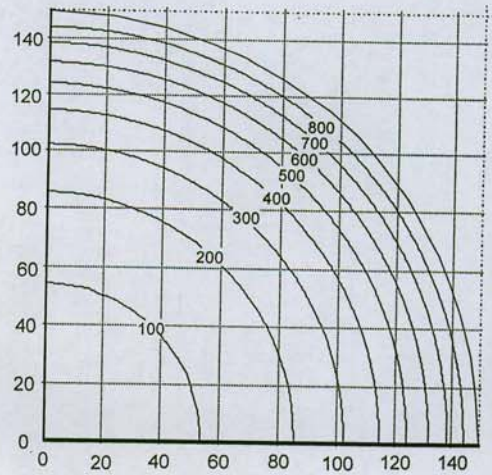
Κατανομές θερμοκρασίας σε διατομή (°C) για υποστύλωμα, $h \times b = 300 \times 300 - R90$



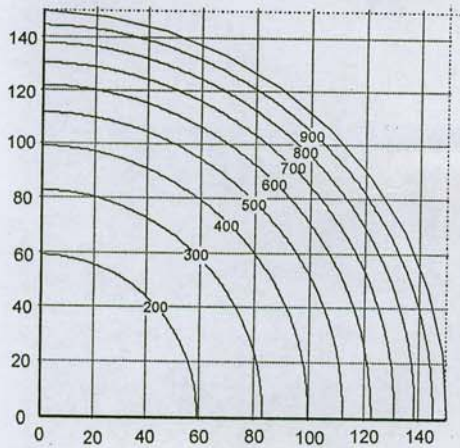
Κατανομές θερμοκρασίας σε διατομή (°C) για υποστύλωμα, $h \times b = 300 \times 300 - R120$



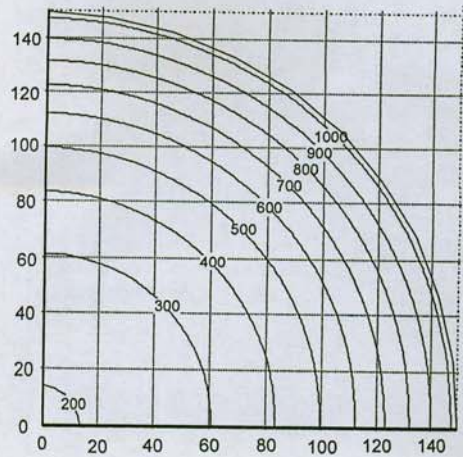
Κατανομές θερμοκρασίας σε διατομή (°C) για κυκλικό υποστώλωμα, 300 dia - R30



Κατανομές θερμοκρασίας σε διατομή (°C) για κυκλικό υποστώλωμα, 300 dia - R60



Κατανομές θερμοκρασίας σε διατομή (°C) για κυκλικό υποστώλωμα, 300 dia - R90



Κατανομές θερμοκρασίας σε διατομή (°C) για κυκλικό υποστώλωμα, 300 dia - R120

Σημείωση

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

- Για στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΟΣ), σε βάθος της τάξεως των 25 mm, ή λίγο πίσω απ' το μέσο βάθος του κλωβού οπλισμού, ενώ
- Για στοιχεία από φέρουσα τοιχοποιία (ΦΤ), σε βάθος της τάξεως των 70 mm απ' την παρειά του γυμνού τοίχου (χωρίς το πιθανό επίχρισμα).

Οι (κρίσιμες) εσωτερικές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε αυτά τα βάθη ($T_{\text{εσωτ.}}$) θεωρούνται μέσες αντιπροσωπευτικές για τους οπλισμούς και για τις εξωτερικές στοιβάδες σκυροδέματος και τοιχοποιίας διπλάσιου πρακτικώς πάχους (δηλ. 50 mm για τα στοιχεία ΟΣ και 140 mm για τα στοιχεία ΦΤ).

Πρακτικώς, για τις γωνίες στύλων και δοκών (από ΟΣ), υπό καθολική έκθεση σε πυρκαγιά, καθώς και για πλάκες (από ΟΣ) αλλά και τοιχεία/τοίχους (από ΟΣ ή ΦΤ), υπό μονόπλευρη έκθεση, οι εσωτερικές θερμοκρασίες μπορούν να εκτιμηθούν συντηρητικώς ως εξής, αν δεν έχουν (βεβαίως) συμβεί αποκολλήσεις :

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

Παράρτημα Ι

Πρόσθετα στοιχεία
για τις εσωτερικές φωτιές

A) Πυρκαγιά (φωτιά)

Πρόκειται για εξώθερμη, σύνθετη χημική αντίδραση οξείδωσης καύσιμων υλικών με ένα οξειδωτικό μέσο (οξειδοαναγωγή), δηλ. για ταχεία «ένωση» με οξυγόνο (εν προκειμένω), που συνοδεύεται από ταχεία έκλυση σημαντικού ποσού θερμότητας και από ισχυρή φωταύγεια (φλόγες).

Απ' την εκλυόμενη θερμότητα, ένα ποσοστό απορροφάται απ' τα καιόμενα υλικά (διαβίβαση, αγωγιμότητα) και ένα ποσοστό διαχέεται προς το περιβάλλον, μέσω θερμικής ακτινοβολίας και μέσω της κίνησης του θερμού (ή υπέρθερμου) αέρα (μετάδοση, μεταφορά), ο οποίος παρασύρει σπίθες και καιόμενα υλικά.

Καπνός

Μίγμα σωματιδίων άνθρακα και πίσσας, αλλά και προϊόντων πυρόλυσης και ατελούς καύσης.

Φλόγα

Συγκέντρωση υπέρθερμων ή διάπυρων αερίων και μορίων των καιόμενων υλικών.

Καυσαέρια (γενικώς τοξικά)

Κυρίως CO (1,0÷1,2% κο → Θ) και CO₂ (10,0÷12,0% κο → Θ), αλλά καί :

- Αμμωνία (NH₃), όταν καίγεται μαλλί, μετάξι, μελαμίνη, nylon
- Διοξείδιο του αζώτου (NO₂), όταν καίγονται υφάσματα (> 200 ppm → Θ)
- Υδροφθόριο (HF) και υδροβρώμιο (HBr), όταν καίγονται πλαστικά με αντιπυρρικά πρόσμικτα (αλογόνα)
- Υδροκυάνιο (HCN), όταν καίγεται μαλλί, μετάξι, ξύλο, χαρτί, πολυουρεθάνη (> 350 ppm → Θ)
- Ακρυλική αλδεϋδη (CH₂:CHCHO), όταν καίγονται πετρελαιοειδή (> 100 ppm → Θ)
- Υδρόθειο (H₂S) και διοξείδιο του θείου (SO₂), όταν καίγεται μαλλί ή ελαστικά (> 500 ppm → Θ)
- Υδροχλώριο (HCl), όταν καίγονται πλαστικά – π.χ. PVC (> 500 ppm → Θ)

B) Καμπύλες T – t

31

Κατά την πυρκαγιά, η εξέλιξη των μέγιστων θερμοκρασιών αέρος συναρτήσκει του χρόνου, δηλ. οι καμπύλες $T - t$ ($T = T_{\text{αερ.}}$), εξαρτάται (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 σταθερόν ρυθμόν/σταθερή ταχύτητα) και την απόσβεση (επίσης με περίπου σταθερόν ρυθμόν/σταθερή ταχύτητα).

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

Στα επόμενα δίνονται δίδονται στοιχεία για την ανάφλεξη διαφόρων υλικών, καθώς και :

- Σχηματοποιημένες καμπύλες $T - t$ (ενδεικτικές), για πυροδιαμερίσματα με πολλά ή λίγα ανοίγματα
- Καμπύλες («σχέσεις») $T - t$ για τυπικές αλλά και πραγματικές πυρκαγιές οικοδομών (και άλλων κτιρίων)
- Συγκριτικώς, καμπύλες $T - t$ για τις (χειρότερες όλων) εσωτερικές φωτιές σε σήραγγες (και συναφή έργα).

Με βάση αυτές τις σχέσεις, 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 $30 \div 60$ λ.

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

Ανάφλεξη

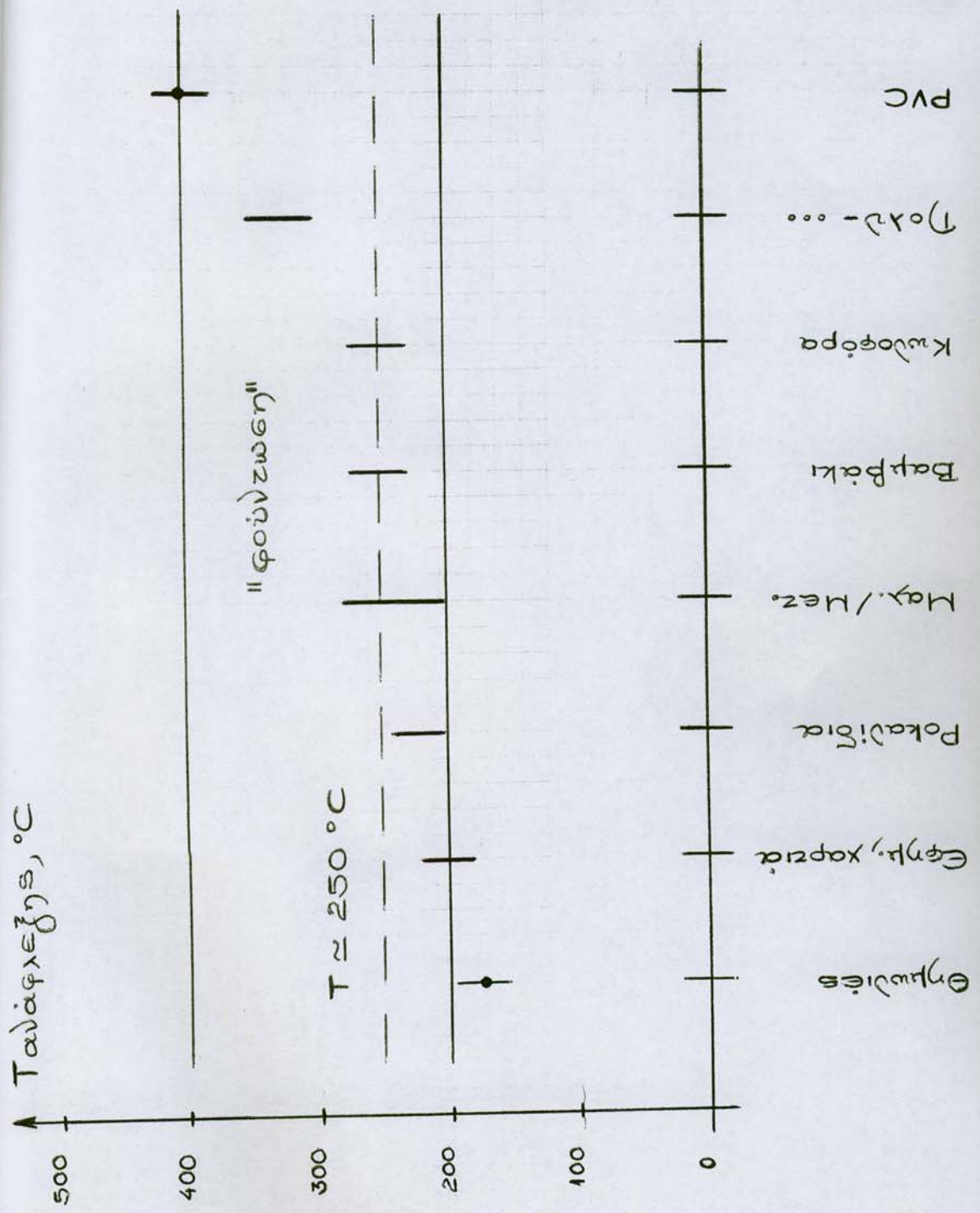
Επαφή καύσιμου υλικού με οξυγόνο, οπότε υπό θέρμανση (φλόγα) παρατηρείται έναρξη καύσης.

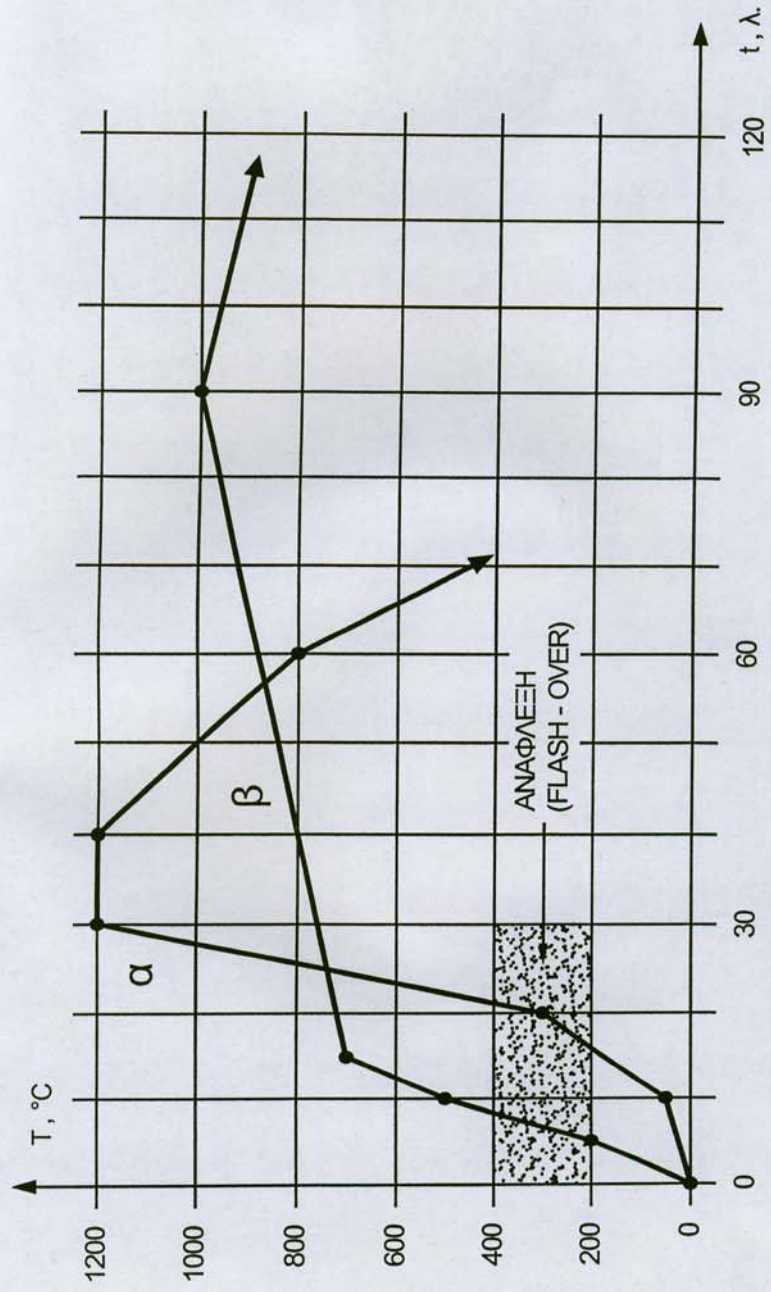
Αυτανάφλεξη

Δημιουργία μίγματος αερίων, «αυτόματη» αναπήδηση φλόγας και φωτιάς, έναρξη καύσης.

(Π.χ. αυτανάφλεξη σε θημωνιές λόγω βιολογικής διεργασίας)

	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, °C	
	ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ	ΑΥΤΑΝΑΦΛΕΞΗΣ
Στάχια, άχυρα, σε θημωνιές	~ 175	(~ 75)
Εφημερίδες, χαρτί	180 + 220	180 + 220
Ροκανίδια	200 + 220	200 + 220
Μαλλί, μετάξι	200 + 240	—
Βαμβάκι, ξυλεία (πεύκου, έλατου)	230 + 270	~ 255 + 260
Πολυστερίνη, πολυουρεθάνη, πολυαιθυλένιο	300 + 350	350 + 450
PVC	~ 400	~ 450

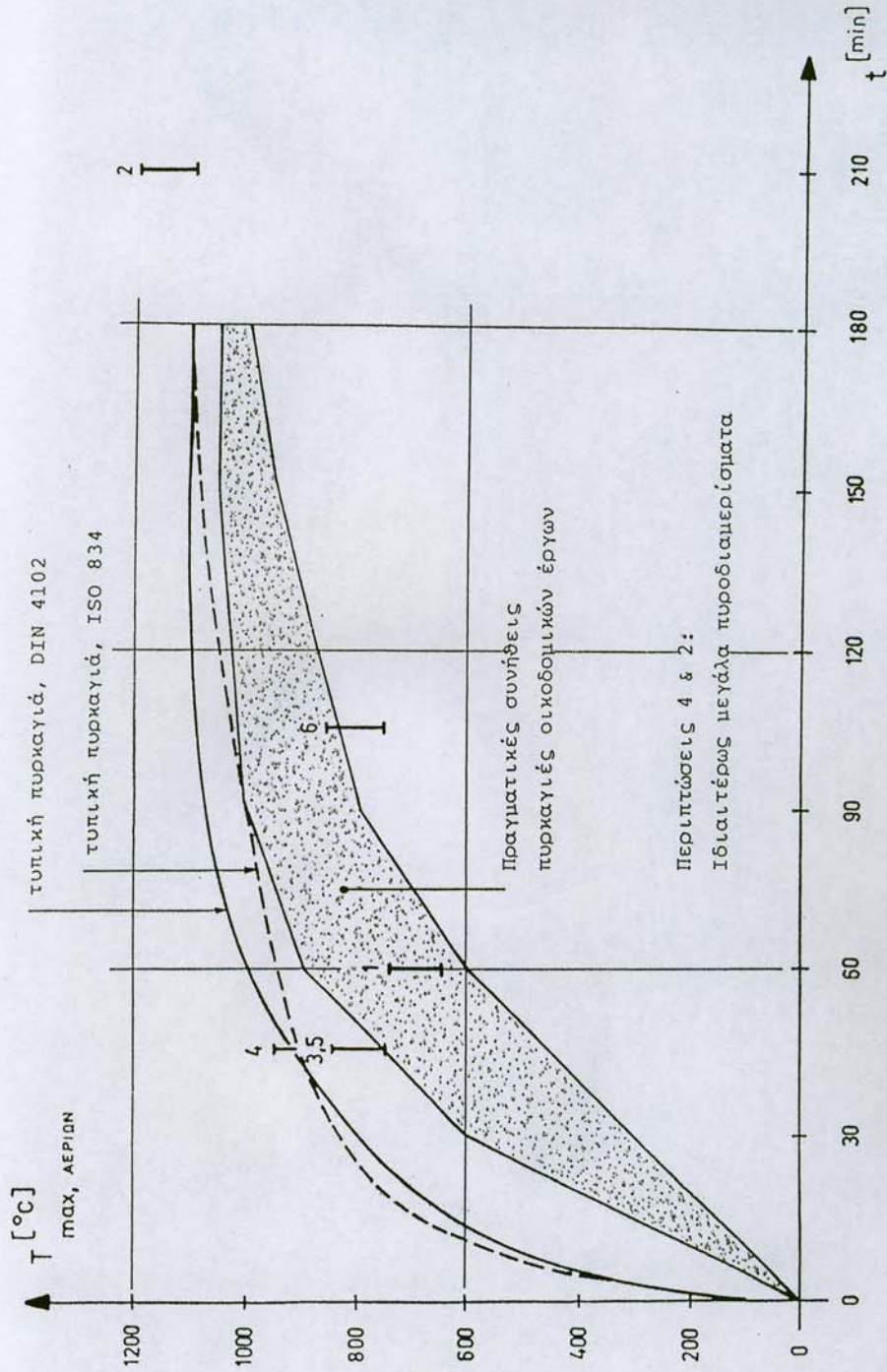




ΣΧΗΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΤΥΠΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ T - t



α : Πολλά ανοίγματα, αεροελεγχόμενη πυρκαγιά, καύση < 45 λ., απόσβεση ~ 10 °C / λ.
β : Λίγα ανοίγματα, καυσιμoeλεγχόμενη πυρκαγιά, καύση > 90 λ., απόσβεση ~ 5 °C / λ.



Σχέσεις T-t για "τυπικές" αλλά και πραγματικές πυρκαγιές

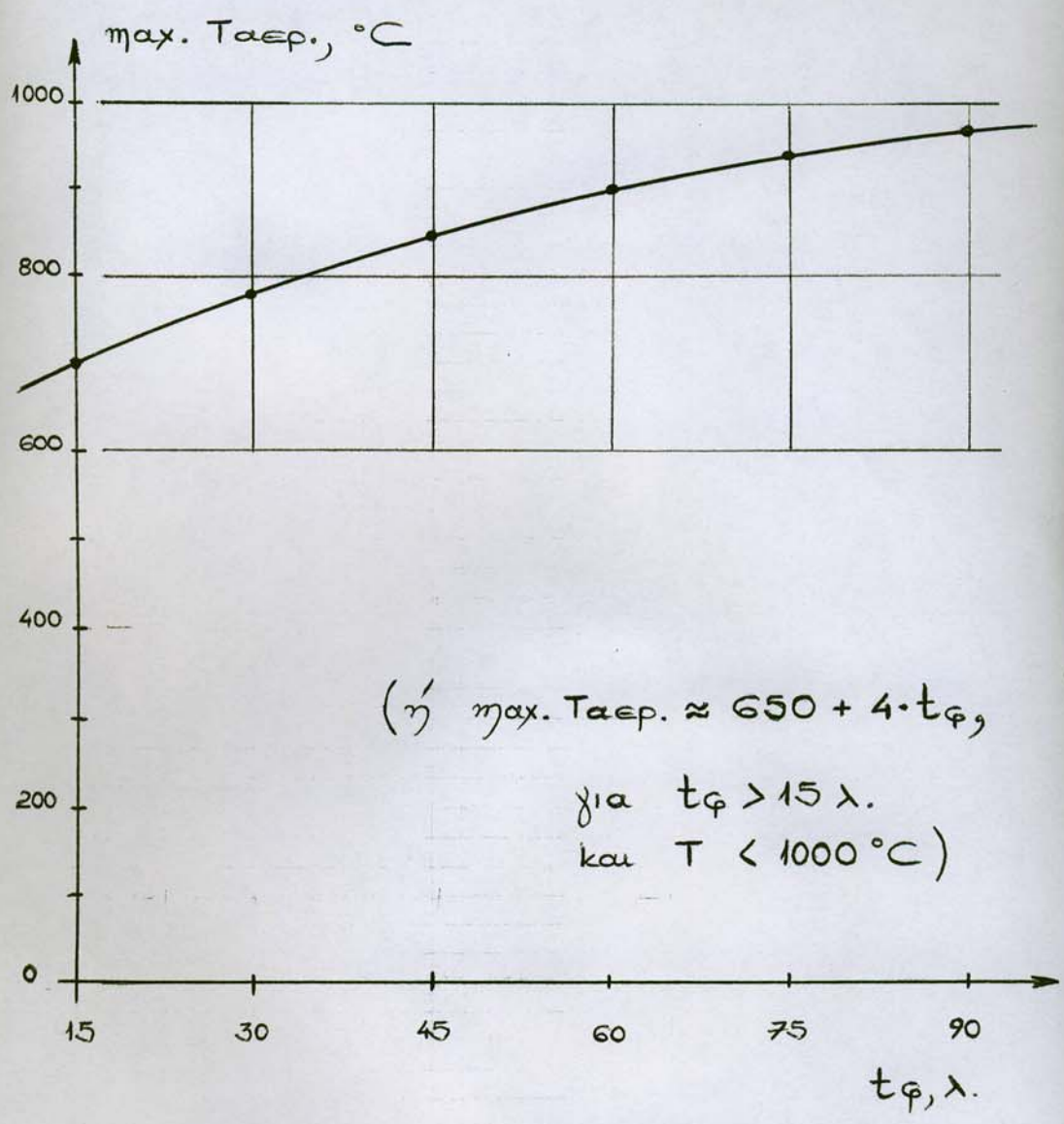
Για (πλήρεις) πυρκαγιές, κτιρίων με $\max. IBK\Xi \approx 250 \text{ kg/m}^2$, δηλ. συνήθως για κατοικίες, γραφεία, βιοτεχνίες, εργοστάσια και καταστήματα (όχι αποθήκες), η θερμοκρασία αέρος μπορεί να εκτιμηθεί με την ημιεμπειρική σχέση :

$$\max. T_{\text{αερ.}} \approx 50 \sqrt{t(\lambda)} + 500 \text{ (σε } ^\circ\text{C)},$$

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

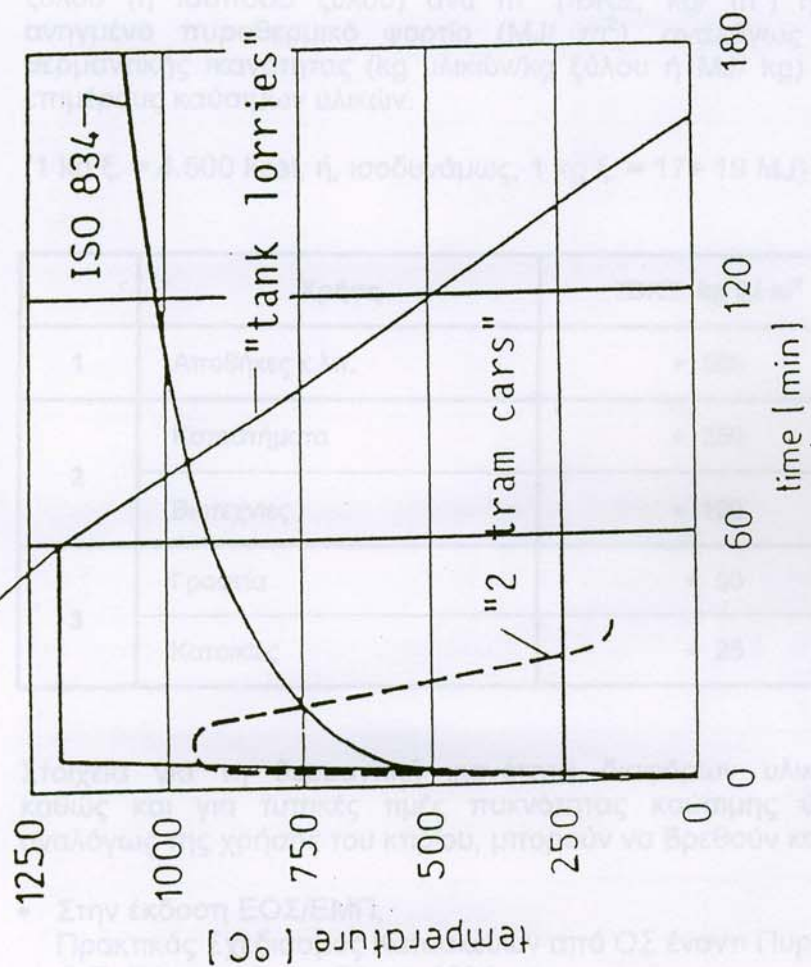
(Π.χ. $t \approx 30 \lambda \rightarrow T_{\text{αερ.}} \approx 775 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t \approx 90 \lambda \rightarrow T_{\text{αερ.}} \approx 975 \text{ } ^\circ\text{C}$)

ηυρκαγίης κζιριωυ



□ Χρήση κερύκευ (καύσιμη ύλη)
 Αναλόγως της χρήσης του κερύκευ, η πυκνότητα καύσιμης ύλης (ανά m³ επιφανειακής έκτασης του πυροδοκιμασμένου) έχει ή μπορεί να φθάσει κάποιες πηχές, ενδεικτικώς και συγκριτικώς κατά τον συνημμένον Πίνακα.

beginning of effective extinguishing



Gas-temperature development with tunnel fires

* Στις περιοδικές εκδόσεις CEB, Bull. d'Information No. 145/1982, No. 174/1986 και No. 206/1991, Fire Design of Concrete Structures.

Γ) Χρήση κτιρίου (καύσιμη ύλη)

Αναλόγως της χρήσης του κτιρίου, η πυκνότητα καύσιμης ύλης (ανά m^2 επιφάνειας/κάτοψης του πυροδιαμερίσματος) έχει ή μπορεί να φθάσει κάποιες τιμές, ενδεικτικώς και συγκριτικώς κατά τον συνημμένον Πίνακα.

Υπενθυμίζεται πως η πυκνότητα της καύσιμης ύλης εκφράζεται συνήθως σε ισοδύναμο βάρος (μάζα) καιόμενου ξύλου (ή ισόποσο ξύλου) ανά m^2 (IBKΞ, kg/m^2) ή σε ανηγμένο πυροθερμικό φορτίο (MJ/m^2), αναλόγως της θερμαντικής ικανότητας (kg υλικών/ kg ξύλου ή MJ/kg) των επιμέρους καύσιμων υλικών.

(1 kg ξ. \approx 4.500 kcal, ή, ισοδυνάμως, 1 kg ξ. \approx 17÷ 19 MJ)

	Χρήση	IBKΞ, kg ξ./ m^2
1	Αποθήκες κ.λπ.	+ 500
2	Καταστήματα	+ 250
	Βιοτεχνίες	+ 150
3	Γραφεία	+ 50
	Κατοικίες	+ 25

Στοιχεία για τη θερμαντική ικανότητα διαφόρων υλικών, καθώς και για τυπικές τιμές πυκνότητας καύσιμης ύλης αναλόγως της χρήσης του κτιρίου, μπορούν να βρεθούν και :

- Στην έκδοση ΕΟΣ/ΕΜΠ, Πρακτικός Σχεδιασμός Κατασκευών από ΟΣ έναντι Πυρκαγιάς, Θ.Π. Τάσιος / Γ. Δεοδάτης, 1984, και
- Στις περιοδικές εκδόσεις CEB, Bull. d' Information No. 145/1982, No. 174/1986 και No. 208/1991, Fire Design of Concrete Structures.

Επίσης, αναλόγως της χρήσης του κτιρίου, οι μέγιστες θερμοκρασίες αέρος που αναπτύσσονται κατά τις (πλήρεις) πυρκαγιές, μπορούν να φθάσουν τιμές κατά τον επόμενον Πίνακα (R. Rybicki, 1979).

Χρήση	Ταερ., °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, συν τήξεις υλικών

Τέλος, πρακτική σημασία έχει και η εξής παρατήρηση :

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

$$\max. \text{Ταερ.} \approx 50 \sqrt{t(\lambda.)} + 500 \text{ (σε } ^\circ\text{C)},$$

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

(Π.χ. $t \approx 30 \lambda. \rightarrow \text{Ταερ.} \approx 775 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t \approx 90 \lambda. \rightarrow \text{Ταερ.} \approx 975 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Δ) Θερμοκρασίες (αέρος, φλογών κ.λπ.)

Εκτός της προηγούμενης πρακτικής ημιεμπειρικής σχέσεως για την Ταερ., 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 επόμενον Πίνακα.

Χρώμα πυρακτώσεως	Θερμοκρασία σε °C
<ul style="list-style-type: none"> • Στο σκοτάδι, κόκκινο • Κόκκινο βαθύ • Βαθύ βυσσινί • Βυσσινί • Ανοιχτό κόκκινο • Βαθύ πορτοκαλί • Ανοιχτό πορτοκαλί • Ερυθρόλευκο • Ισχυρά λευκοπυρωμένο • Αστραφτερό λευκό 	<ul style="list-style-type: none"> περίπου 500 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1350 1500

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

Καύσιμο	Θερμοκρασία σε °C
<ul style="list-style-type: none"> • Πολυστερόλη • Βενζίνη, πετρέλαιο, ορυκτέλαιο • Ελαστικό, καουτσούκ • Ξύλο πεύκου και έλατου • Υγροποιημένα αέρια 	<ul style="list-style-type: none"> 1100 + 1150 1200 + 1300 1200 1100 1500

Ε) Αλλοιώσεις υλικών, μεταβολές δομής

Εκτός όσων αναφέρονται στην §2, μπορούν να βοηθήσουν (στην εκτίμηση των Ταερ. και Τπαρ.) και άλλες ενδείξεις, ως εξής :

- 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	$\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaO} + \text{SO}_3$

- 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 ανοξειδωτοι χάλυβες, με Cr και Ni, έχουν αρκετά καλύτερη συμπεριφορά στην πυρκαγιά)

Σημείωση

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, αναφέρεται πως θραύση τμήματος καμένης γυψοσανίδας μπορεί να οδηγήσει σε εκτίμηση του βάθους της μεταβατικής ζώνης μεταξύ της μαλακής άνυδρης γύψου (πούδρας, σκόνης) και της σκληρής άνυδρης γύψου.

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

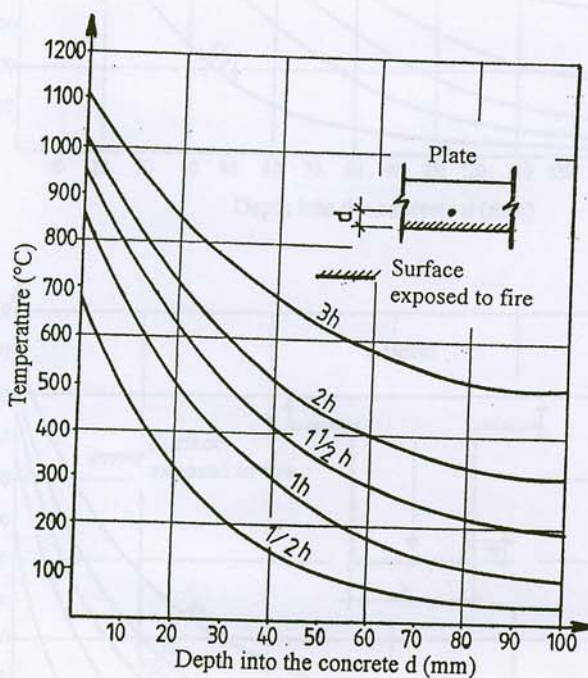
ΣΤ) «Κρίσιμες» θερμοκρασίες

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 επόμενο Πίνακα (M. Roitmann, 1974) :

Δομικό υλικό	Τκρ., °C
• Μπετόν με πυριτικά αδρανή	575
• Μπετόν με ασβεστολιθικά αδρανή	675
• Γρανίτης	700
• Ασβεστόλιθος	800
• Πλίνθοι (καλοψημένες)	900

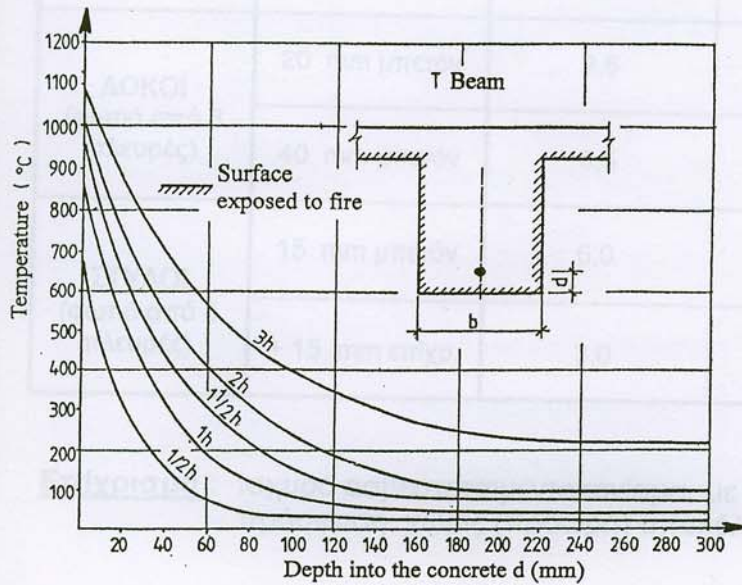
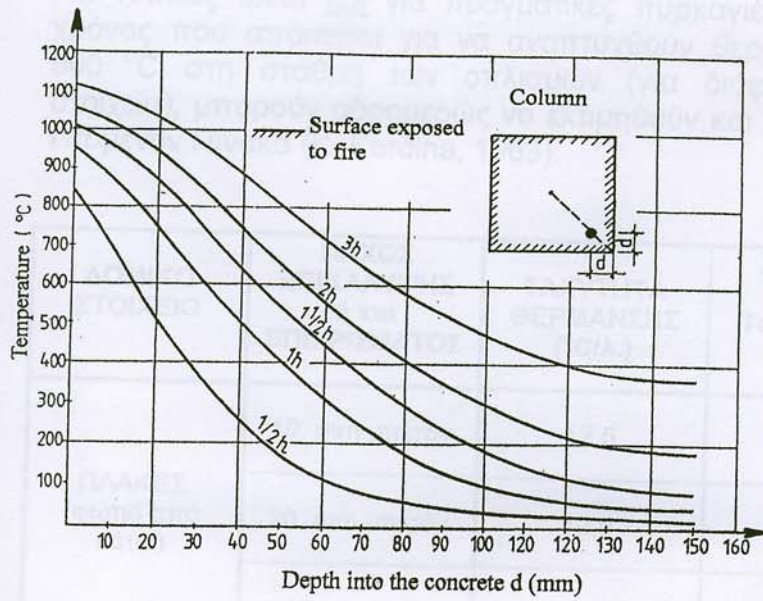
Z) **Στοιχεία ΟΣ**, κατανομή θερμοκρασιών

Για τυπικές (κυρίως) πυρκαγιές κτιρίων, οι εσωτερικές θερμοκρασίες στα διάφορα δομικά στοιχεία μπορούν να εκτιμηθούν με τη βοήθεια των επόμενων διαγραμμάτων (C. Furdūi, 1995), λαμβάνοντας (βεβαίως) υπόψη πως η σχέση $T - t$ δεν είναι ορισμένη και μονοσήμαντη για πραγματικές πυρκαγιές (βλ. και Παρατήρηση της §1).



Κατανομή θερμοκρασιών σε πλάκες (πάχους $\sim 100 + 160$ mm)

Κατανομή θερμοκρασιών
 - Σε πλάκες, πάχους $\sim 300 + 330$ mm
 - Σε δοκούς, πάχους $b = 250$ cm



Κατανομή θερμοκρασιών :

- Σε στύλους, διατομής $\sim 300 \times 300$ mm
- Σε δοκούς, πλάτους $b \approx 250$ mm

H) Στοιχεία ΟΣ, χρόνος για Τεσωτ. ≈ 500 °C

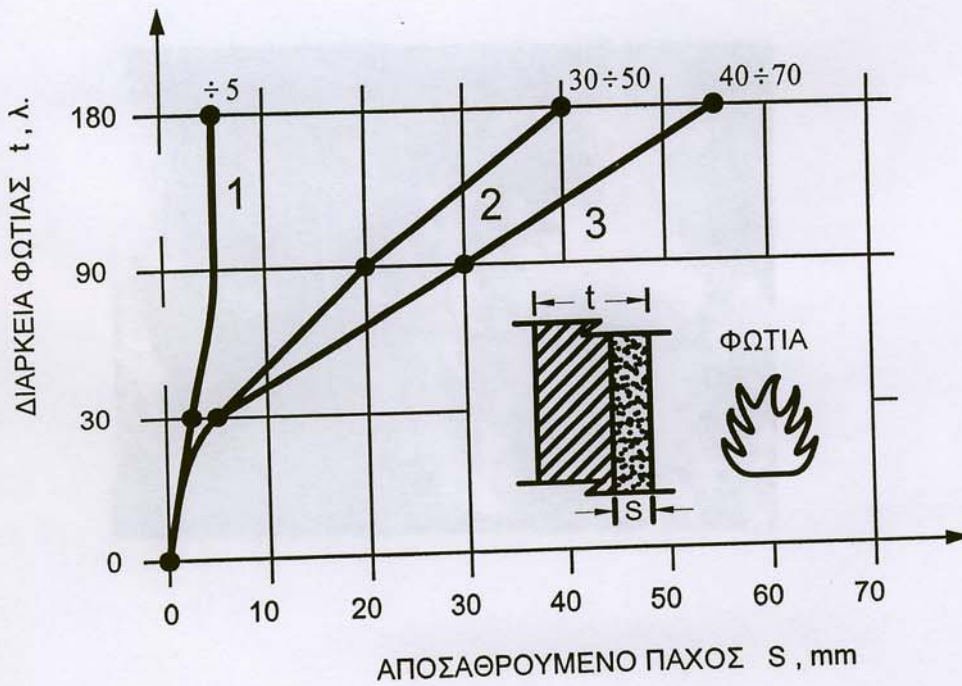
Για τυπικές αλλά και για πραγματικές πυρκαγιές κτιρίων, ο χρόνος που απαιτείται για να αναπτυχθούν θερμοκρασίες ~ 500 °C στη στάθμη των οπλισμών (για διάφορα δομικά στοιχεία), μπορούν αδρομερώς να εκτιμηθούν και με βάση τον επόμενο Πίνακα (Κ. Kordina, 1963).

ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΑΧΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ή και ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΟΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (°C/λ.)	ΧΡΟΝΟΣ για Τοπλ. ≈ 500 °C (λ.)
ΠΛΑΚΕΣ (φωτιά από κάτω)	10 mm μπετόν	12,5	40
	20 mm μπετόν	10,0	50
	+ 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 επίχρ.	3,0	170

Επίχρισμα : Ισχυρό ασβεστοσιμεντοκονίαμα, με καλή πρόσφυση, χωρίς (πρώρη) αποκόλληση

9) Τοίχοι ΦΤ, αποσαθρούμενο πάχος

Για τοιχοδομές από διάφορα υλικά (και διάφορα σκυροδέματα, πρακτικώς άοπτα), το προσβαλλόμενο και αποσαθρούμενο πάχος μπορεί προσεγγιστικώς να εκτιμηθεί βάσει του επομένου διαγράμματος, για τυπικές αλλά και πραγματικές πυρκαγιές (C. Meyer – Ottens, 1971).

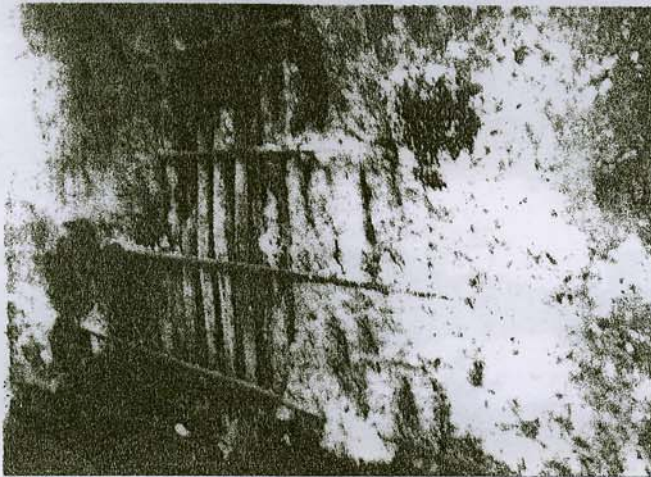


1 : Πλίνθοι (καλοψημένες)

2 : Ασβεστόλιθοι και σκυροδέματα (πρακτικώς άοπτα)

3 : Διάφορα ελαφροσκυροδέματα (επίσης άοπτα)

(για $V_T = 75 \text{ λ. / 100}^\circ\text{C}$, $\alpha = 60 \text{ mm}^2/\text{s}$)



**Εκτινάξεις και αποσύνθεση σκυροδέματος
στη βάση τοιχείου, λυγισμός ράβδων οπλισμού,
βαριά τοπική βλάβη**

(για $t/T \approx 75$ λ. / 800 °C, $s \approx 50$ mm)



Ρηγματώσεις και απολεπίσεις λιθοσωμάτων,
αποσύνθεση κονιάματος σε μεγάλο βάθος
(για $t/T \approx 90 \lambda.$ / 900°C , $s \approx 50 \text{ mm}$)

Θερμοκρασίες ράβδων οπλισμού

— Διαμήκεις ράβδοι

Έχουν την ίδια (περίπου) θερμοκρασία με το περιβάλλον σκυρόδεμα.

— Συνδετήρες (σε δοκούς και στύλους)

Διέρχονται από περιοχές με διαφορετικές θερμοκρασίες.

Έτσι, μεταφέρουν θερμότητα από τις περιοχές υψηλότερης προς τις περιοχές χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Άρα, η θερμοκρασία των συνδετήρων είναι χαμηλότερη από αυτήν του περιβάλλοντος σκυροδέματος, και τείνει να γίνει ομοιόμορφη στο σύνολο του μήκους τους.