



Ε.Μ.Π.

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙ

ΔΙΑΛΕΞΗ 8  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

2008



Ε.Μ.Π.

# ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ

Εκδήλωση πυρκαγιάς σε ένα χώρο



Αύξηση θερμοκρασίας χώρου



Αύξηση θερμοκρασίας φερόντων στοιχείων



Απομείωση μηχανικών χαρακτηριστικών χάλυβα



Απομείωση αντοχής και δυσκαμψίας φερόντων στοιχείων



Κίνδυνος αστοχίας υπό τα λοιπά μόνιμα και κινητά φορτία

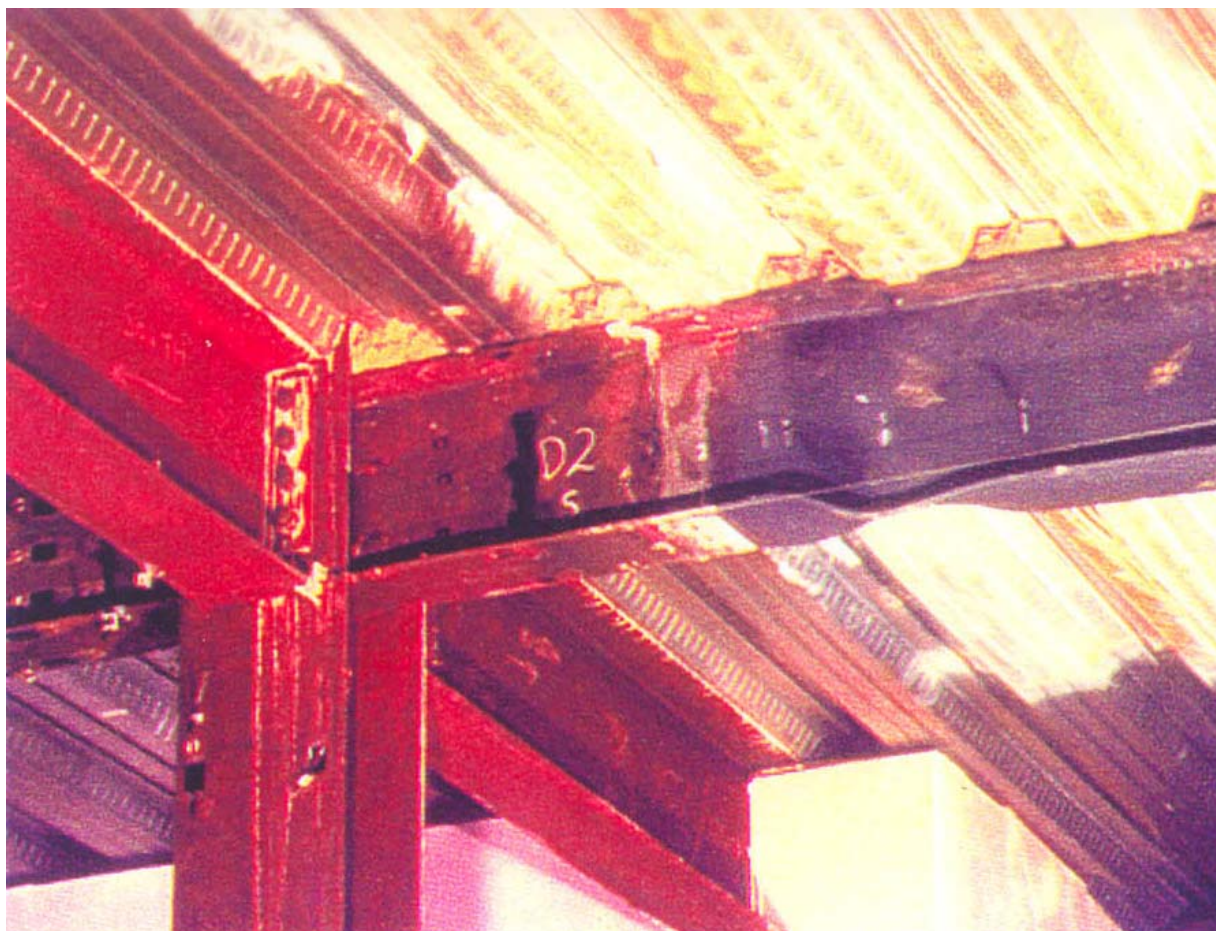


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΒΛΑΒΕΣ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

## Τοπικός λυγισμός πέλματος





Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΒΛΑΒΕΣ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

## Σύνθλιψη κεφαλής υποστυλώματος







Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΒΛΑΒΕΣ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

## Τοπικός λυγισμός υποστυλώματος



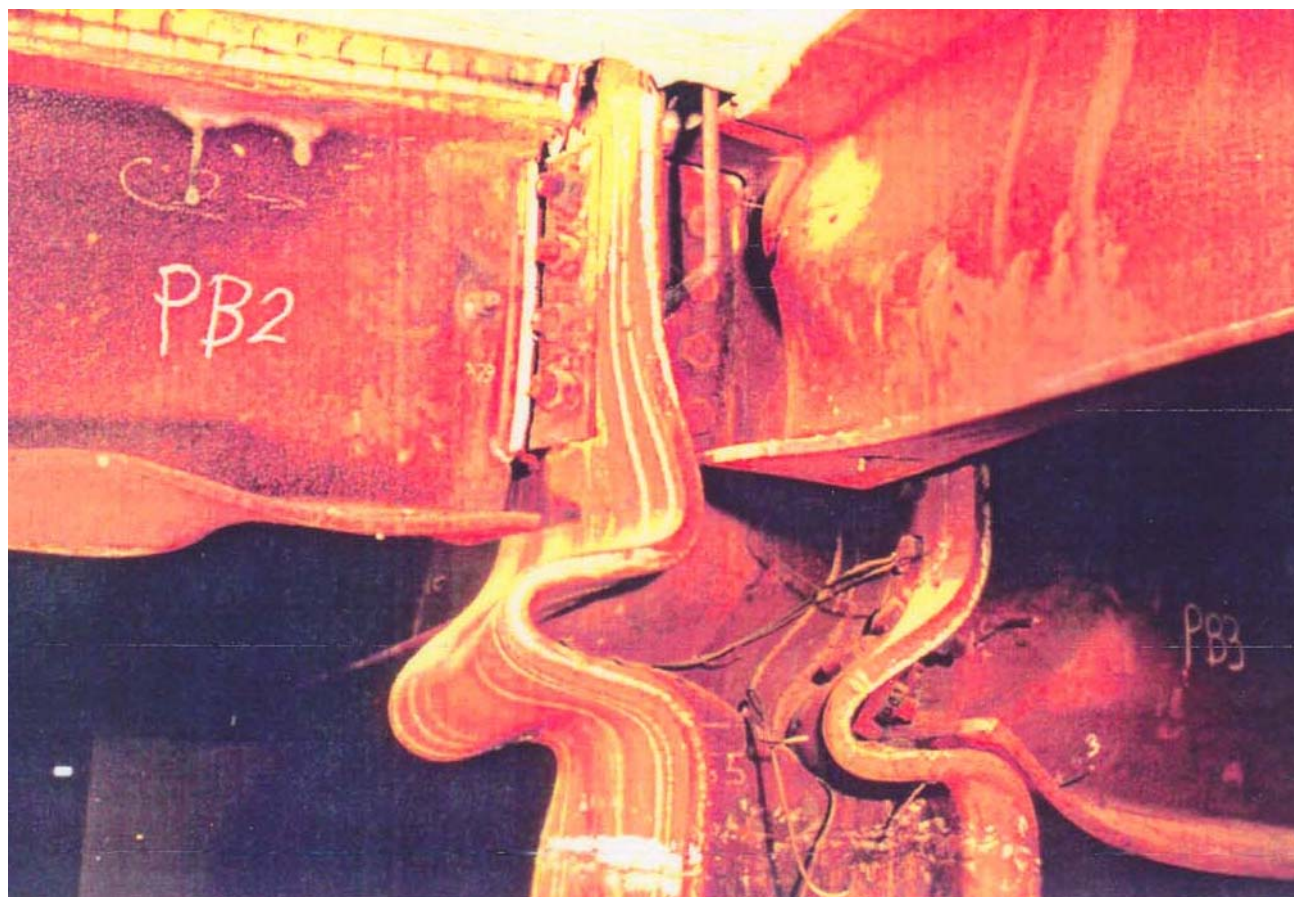


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΒΛΑΒΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

## Διατμητική αστοχία κοχλιών





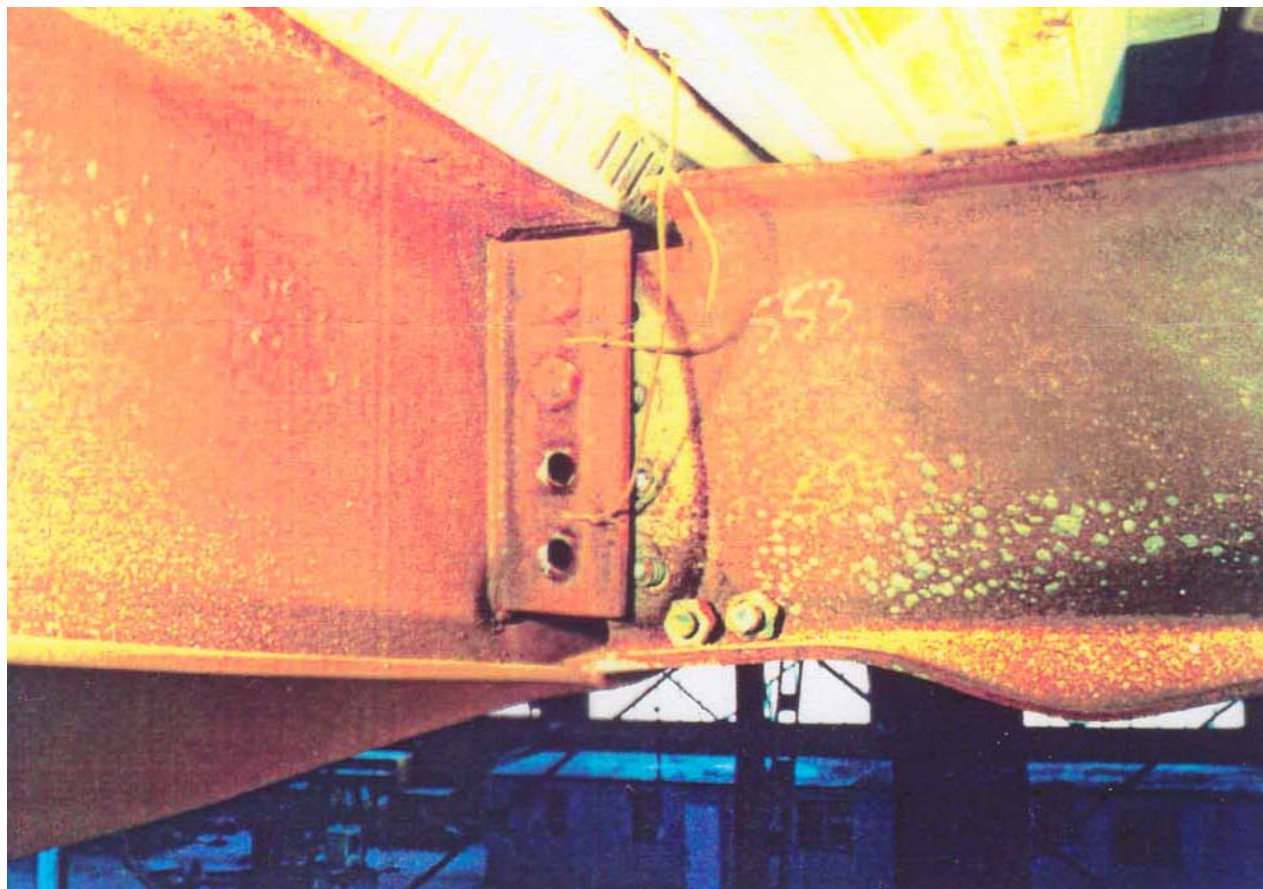


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΒΛΑΒΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

## Διατμητική αστοχία κοχλιών



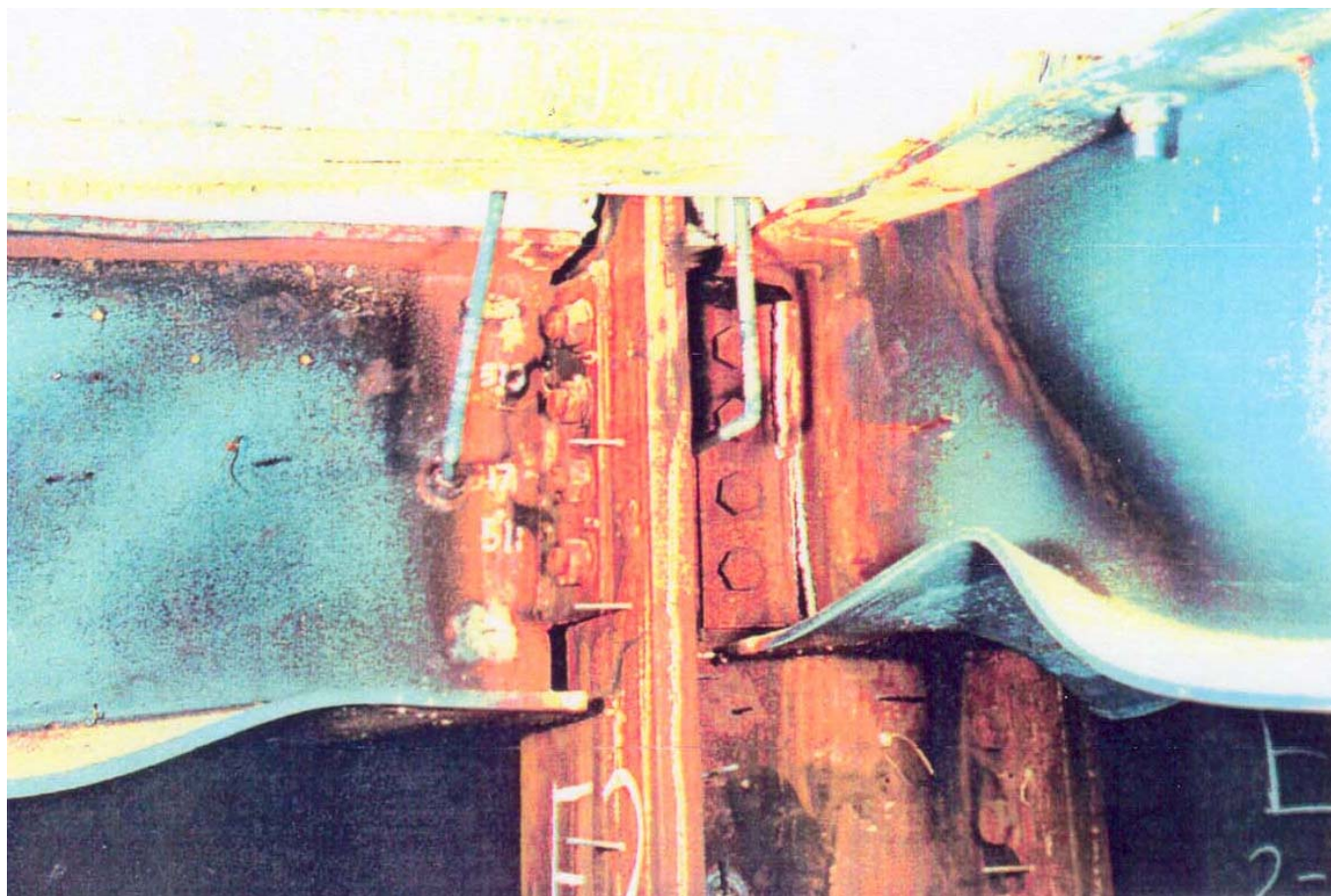


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΒΛΑΒΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

## Διατμητική αστοχία κοχλιών







Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΒΛΑΒΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

## Διατμητική αστοχία κοχλιών





Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ



ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙ

ΔΙΑΛΕΞΗ 8  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

2008





Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ



ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙ

ΔΙΑΛΕΞΗ 8  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

2008





Ε.Μ.Π.

# ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

**Απαραίτητες ιδιότητες υλικών προστασίας:**

**Διατήρηση των θερμικών χαρακτηριστικών τους σε ψηλές θερμοκρασίες**

**Μη έκλυση καπνού και τοξικών αερίων**



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

## Πυρίμαχες πλάκες





Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

## Εκτοξευόμενα επιχρίσματα



ΣΙΔΗΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΙΙ

ΔΙΑΛΕΞΗ 8  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

2008

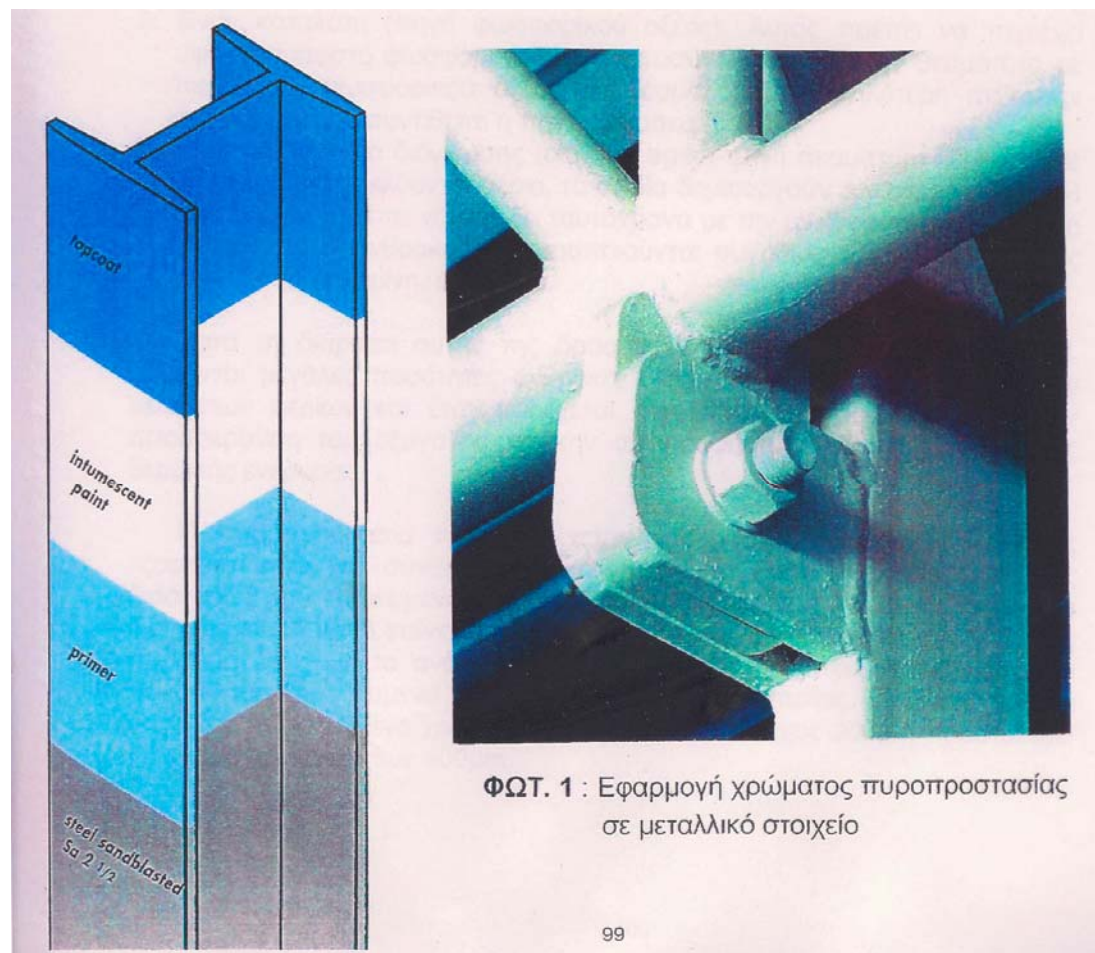




Ε.Μ.Π.

# ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

## Διογκούμενες βαφές



99



Ε.Μ.Π.

# ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

## Τιμές συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας $\lambda$ μονωτικών υλικών

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (w/m°C)
Εκτοξευόμενες ορυκτές ίνες	250-350	0,10
Πλάκες περλίτη	300-800	0,15
Γυψοσανίδες	800	0,15
Πλάκες ορυκτοβάμβακα	120-150	0,25
Κυψελωτό μπετόν	600	0,30
Κυψελωτό μπετόν	1000	0,45
Κυψελωτό μπετόν	1300	0,65
Ελαφρομπετόν	1600	0,80
Τούβλα από αργιλικό υλικό	2000	1,20
Μπετόν συνήθους βάρους	2200	1,30



Ε.Μ.Π.

# ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΥΡΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Το χρονικό διάστημα από την έναρξη της πυρκαγιάς μέχρι την αστοχία της κατασκευής δίνει το μέτρο της αντοχής σε συνθήκες πυρκαγιάς και ονομάζεται **δείκτης πυραντίστασης**.

Στα έργα τα στοιχεία μόνωσης των δομικών στοιχείων προσδιορίζονται κατάλληλα, ώστε ο δείκτης πυραντίστασης να βρίσκεται μέσα σε όρια καθοριζόμενα από τους κανονισμούς, ανάλογα με τη χρήση του χώρου.

Οι απαιτούμενοι κατά περίπτωση κτιρίου δείκτες πυραντίστασης και τα λοιπά μέτρα πυροπροστασίας και πυρασφάλειάς τους καθορίζονται στο Π.Δ. 71/1988.





Ε.Μ.Π.

Ε  
Ρ  
Γ  
Α  
Σ  
Τ  
Η  
Ρ  
Ι  
Ο  
  
Μ  
Ε  
Τ  
Α  
Λ  
Λ  
Ι  
Κ  
Ω  
Ν  
  
Κ  
Α  
Τ  
Α  
Σ  
Κ  
Ε  
Υ  
Ω  
Ν

# ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΥΡΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

2  
0  
0  
8

για αποθήκες

Z1	πυκνότητα	πυροθερμικού	φορτίου	$\leq 1000$	MJ / m <sup>2</sup>
Z2	"	"	"	1000-2000	"
Z3	"	"	"	$\geq 2000$	"

για βιομηχανίες

καθορισμός κατηγοριών Z1, Z2, Z3 κατά την απόφαση 17483/78 του  
Υπουργείου Βιομηχανίας



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΥΡΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΕΛΑΧΙΣΤΟΙ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΥΡΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (Π.Δ.71/88)

Κατηγορία κτιρίου	Μονόροφα	Πολυρόροφα	Υπόγεια	Εγκατάσταση καταλονιστήρα μειωτικός συντελεστής
Βιομηχανίες				
Z1	χωρίς απαίτηση	60 λ.	120 λ.	0,5
Z2	60 λεπτά	90 λ.	120 λ.	0,6
Z3	60 λεπτά	120 λ.	180 λ.	0,7
Αποθήκες				
Z1	60 λεπτά	90 λ.	120 λ.	0,5
Z2	120 λεπτά	80 λ.	180 λ.	0,5
Z3	180 λεπτά	140 λ.	240 λ.	0,5



Ε.Μ.Π.

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

Κατά το σχεδιασμό η πυρκαγιά αντιμετωπίζεται ως φόρτιση, κατατάσσεται στις τυχηματικές (accidental) φορτίσεις και ως τέτοια συνδυάζεται με τα υπόλοιπα φορτία που δρουν επί της κατασκευής.

$$\sum_j \gamma_{GA,j} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$





Ε.Μ.Π.

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

## ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΥΡΟΚΩΔΙΚΑ 3

### ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΔΡΑΣΕΩΝ

1 Φορτία Χρήσης	Ψ0, Ψ1	Ψ2
1.1. Κατοικίες, γραφεία, καταστήματα, ξενοδοχεία, νοσοκομεία	0,6	0,3
1.2. Χώροι συχνής συνάθροισης προσώπων (σχολεία, θέατρα, στάδια κλπ.)	0,8	0,5
1.3. Χώροι στάθμευσης	0,9	0,6
1.4. Χώροι μακροχρόνιας αποθήκευσης (βιβλιοθήκες, αρχεία, αποθήκες, δεξαμενές, σιλό, υδατόπυργοι κλπ.)	1,0	0,8
2. Άνεμος	0,6	0
3. Χιόνι (μη βατές στέγες)	0,6	0,3
Χιόνι (βατές στέγες)	0,6	0,0



Ε.Μ.Π.

Ε  
Ρ  
Γ  
Α  
Σ  
Τ  
Η  
Ρ  
Ι  
Ο  
  
Μ  
Ε  
Τ  
Α  
Λ  
Λ  
Ι  
Κ  
Ω  
Ν  
  
Κ  
Α  
Τ  
Α  
Σ  
Κ  
Ε  
Υ  
Ω  
Ν

# ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

2  
0  
0  
8

## ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1

**Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών**

**Μέρος 1.2**

**Δράσεις επί κατασκευών εκτεθειμένων σε πυρκαγιά**

## ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3

**Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα**

**Μέρος 1.2**

**Σχεδιασμός δομικών στοιχείων έναντι πυρκαγιάς**

## ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 4

**Σχεδιασμός σύμμικτων δομικών στοιχείων**

**Μέρος 1.2**

**Σχεδιασμός σύμμικτων δομικών στοιχείων έναντι πυρκαγιάς**



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Η αντοχή του χάλυβα απομειώνεται όταν η θερμοκρασία του αυξάνεται. Η μείωση της αντοχής δεν είναι πρακτικά σημαντική μέχρι της θερμοκρασίας των 400°C μετά την οποία όμως η μείωση αυτή είναι ραγδαία. Ο χάλυβας γίνεται πρακτικά ρευστός (μηδενική αντοχή) περί τους 1200°C.

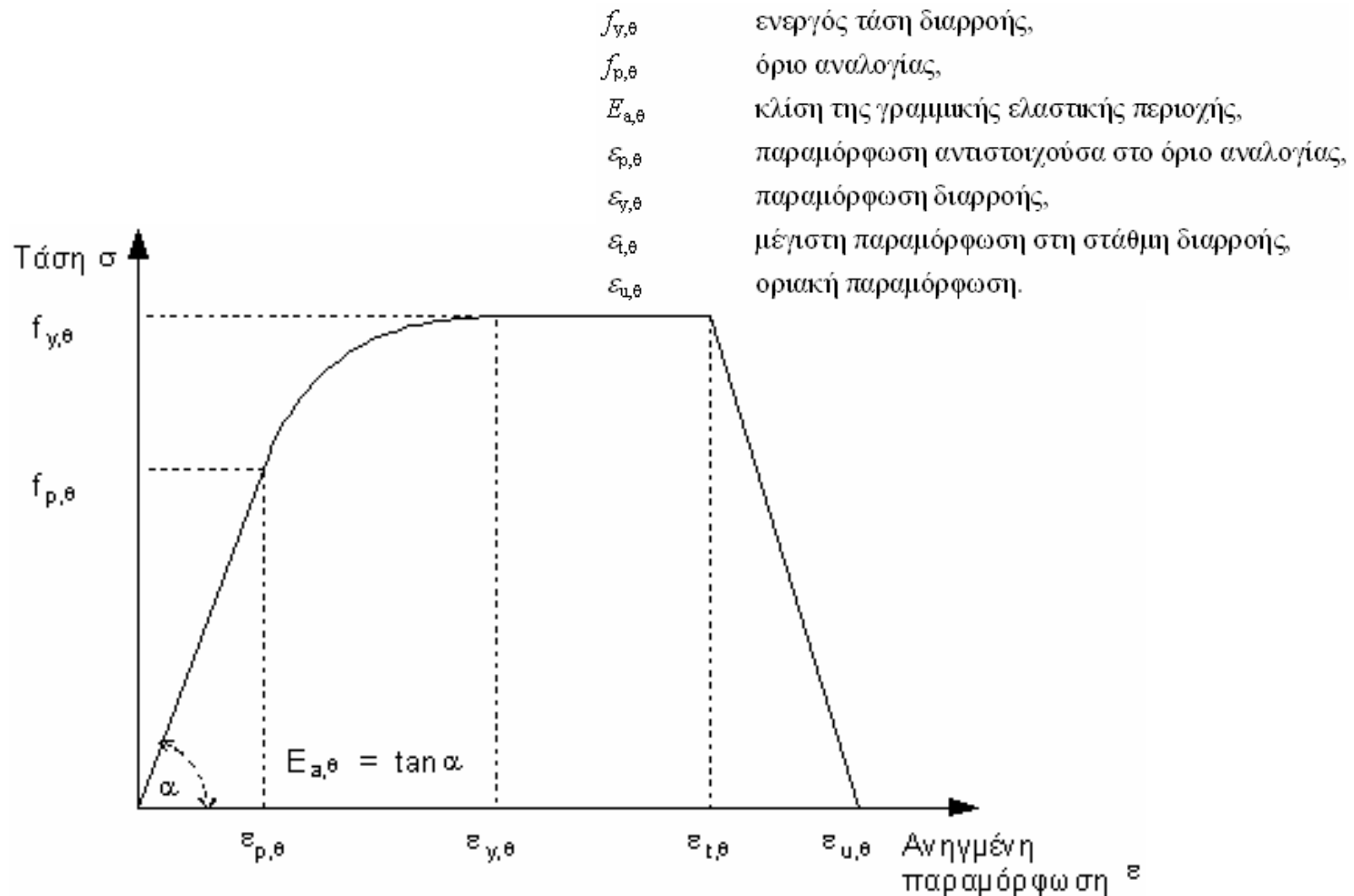
Στην περιοχή μεταξύ 0° και 400°C η τάση διαρροής δεν μεταβάλλεται, μεταβάλλεται όμως η παραμορφωσιμότητα του χάλυβα, η πραγματοποίηση δηλαδή της αντοχής διαρροής συνδέεται, αυξανόμενης της θερμοκρασίας, με όλο και μεγαλύτερες ανηγμένες παραμορφώσεις.





Ε.Μ.Π.

# ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ





Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

2008

Περιοχή (ανηγμένων) παραμορφώσεων	Τάση $\sigma$	Εφαπτομενικό μέτρο
$\varepsilon \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$\varepsilon E_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
$\varepsilon_{p,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{y,\theta}$	$f_{p,\theta} - c + (b/a) \left[ a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2 \right]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)}{a \left[ a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2 \right]^{0,5}}$
$\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{t,\theta}$	$f_{y,\theta}$	0
$\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta} \left[ 1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta}) \right]$	-
$\varepsilon = \varepsilon_{u,\theta}$	0,00	-
Παράμετροι	$\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta} / E_{a,\theta}$ $\varepsilon_{y,\theta} = 0,02$ $\varepsilon_{t,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{u,\theta} = 0,20$	
Συναρτήσεις	$a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c / E_{a,\theta})$ $b^2 = c (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) E_{a,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2}{(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) E_{a,\theta} - 2(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})}$	



Ε.Μ.Π.

# ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Οι τιμές σχεδιασμού των μηχανικών ιδιοτήτων (αντοχή και παραμορφώσεις) του υλικού  $\chi_{d,fi}$  ορίζονται ως ακολούθως:

$$\chi_{d,fi} = k_{\theta} \chi_k / \gamma_{M,fi}$$

όπου:

$\chi_k$  είναι η χαρακτηριστική τιμή μιας συγκεκριμένης ιδιότητας αντοχής ή παραμορφώσεως (γενικά  $f_k$  ή  $E_k$ ) που λαμβάνεται υπόψη για συνήθη θερμοκρασία

$k_{\theta}$  είναι ο μειωτικός συντελεστής για μια ιδιότητα αντοχής ή παραμόρφωσης ( $\chi_{k,\theta} / \chi_k$ ), εξαρτώμενος από τη θερμοκρασία του υλικού

$\gamma_{M,fi}$  είναι ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για τη συγκεκριμένη ιδιότητα του υλικού στην κατάσταση πυρκαγιάς.

Συνιστάται η χρησιμοποίηση της τιμής  $\gamma_{M,fi} = 1.0$ .





Ε.Μ.Π.

# ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Θερμοκρασία χάλυβα $\theta_a$	Μειωτικοί συντελεστές σε θερμοκρασία $\theta_a$ ως προς την τιμή της $f_y$ ή του $E_a$ σε 20°C		
	Μειωτικός συντελεστής (ως προς την $f_y$ ) για την ενεργό τάση διαρροής  $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Μειωτικός συντελεστής (ως προς την $f_y$ ) για το όριο αναλογίας  $k_{r,\theta} = f_{r,\theta}/f_y$	Μειωτικός συντελεστής (ως προς το $E_a$ ) για την κλίση της γραμμικής ελαστικής περιοχής  $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

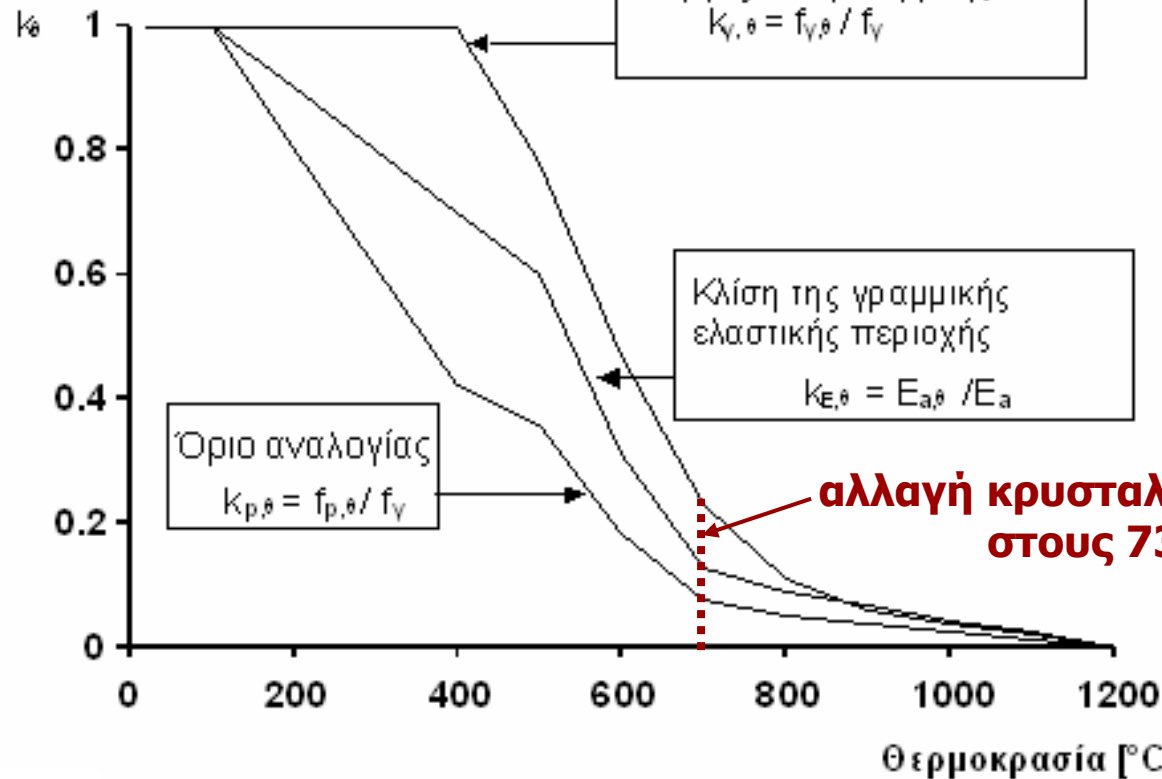


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Μειωτικός συντελεστής



Μειωτικοί συντελεστές για τις ιδιότητες συνήθων χαλύβων που συνδέονται με το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων, σε υψηλές θερμοκρασίες



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Με τη θερμοκρασία μεταβάλλονται και οι θερμικές ιδιότητες του χάλυβα οι οποίες επηρεάζουν τη συμπεριφορά του:

**ειδική θερμότητα** είναι η ποσότητα ενέργειας (Joule) που απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία της μονάδας μάζας (kg) κατά ένα βαθμό Κελσίου

**θερμική αγωγιμότητα** είναι η ποσότητα θερμότητας (Joule) η οποία διαπερνά στη μονάδα του χρόνου (sec) ένα τοίχωμα από το υλικό πάχους 1m όταν εκατέρωθεν του τοιχώματος υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας  $1^{\circ}\text{C}$  ( $1\text{Walt} = 1\text{Joule/sec}$ )

**συντελεστής θερμικής διαστολής** είναι η ανηγμένη αξονική παραμόρφωση λόγω διαφορά θερμοκρασίας  $1^{\circ}\text{C}$  (σημαντικός παράγοντας δεδομένου ότι η πυρκαγιά εκδηλώνεται σε τμήμα του κτιρίου του οποίου η διαστολή παρεμποδίζεται από τα γειτονικά του τα οποία βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία)



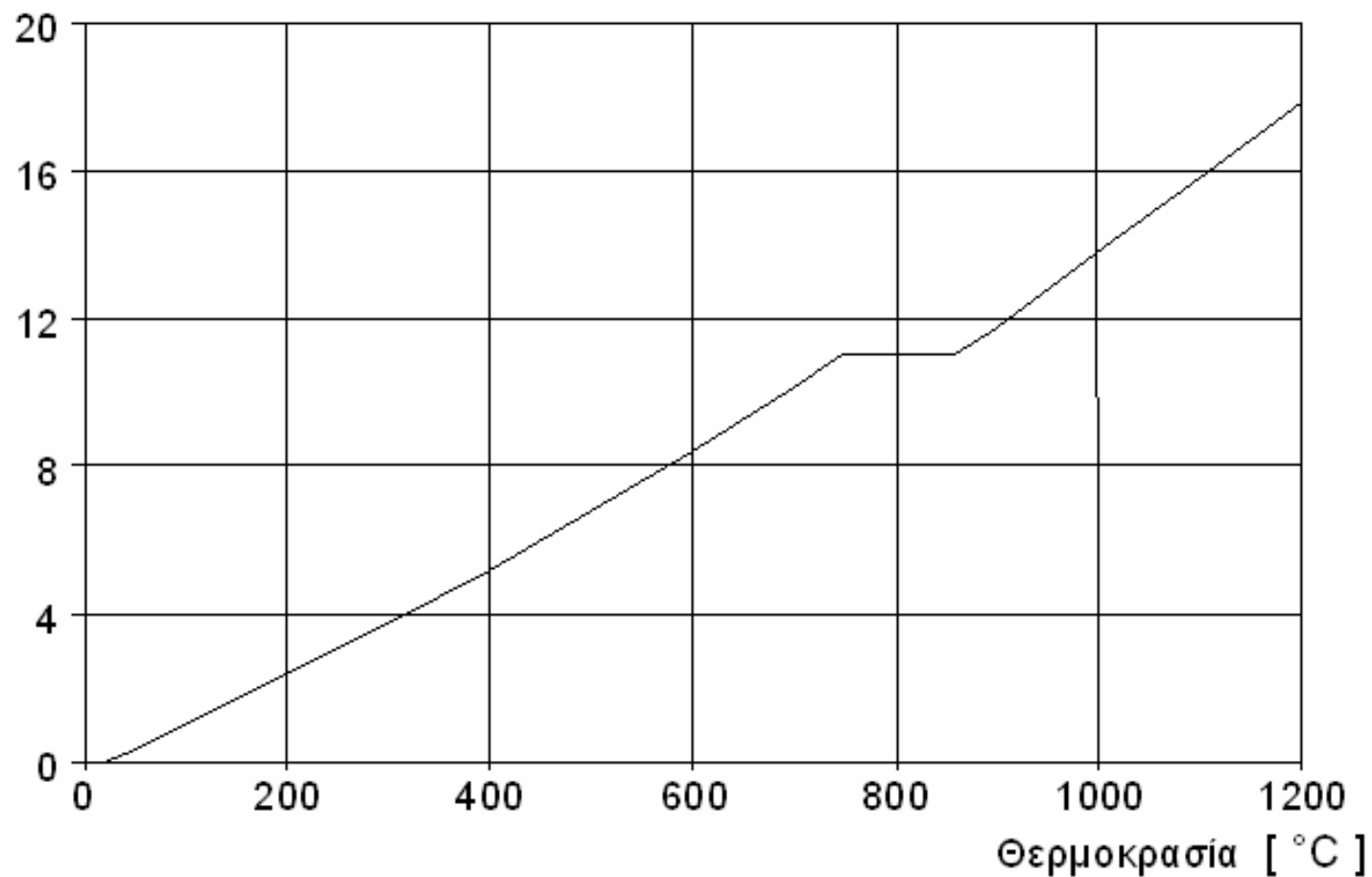


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Διαστολή  $\Delta l / l [\times 10^{-3}]$



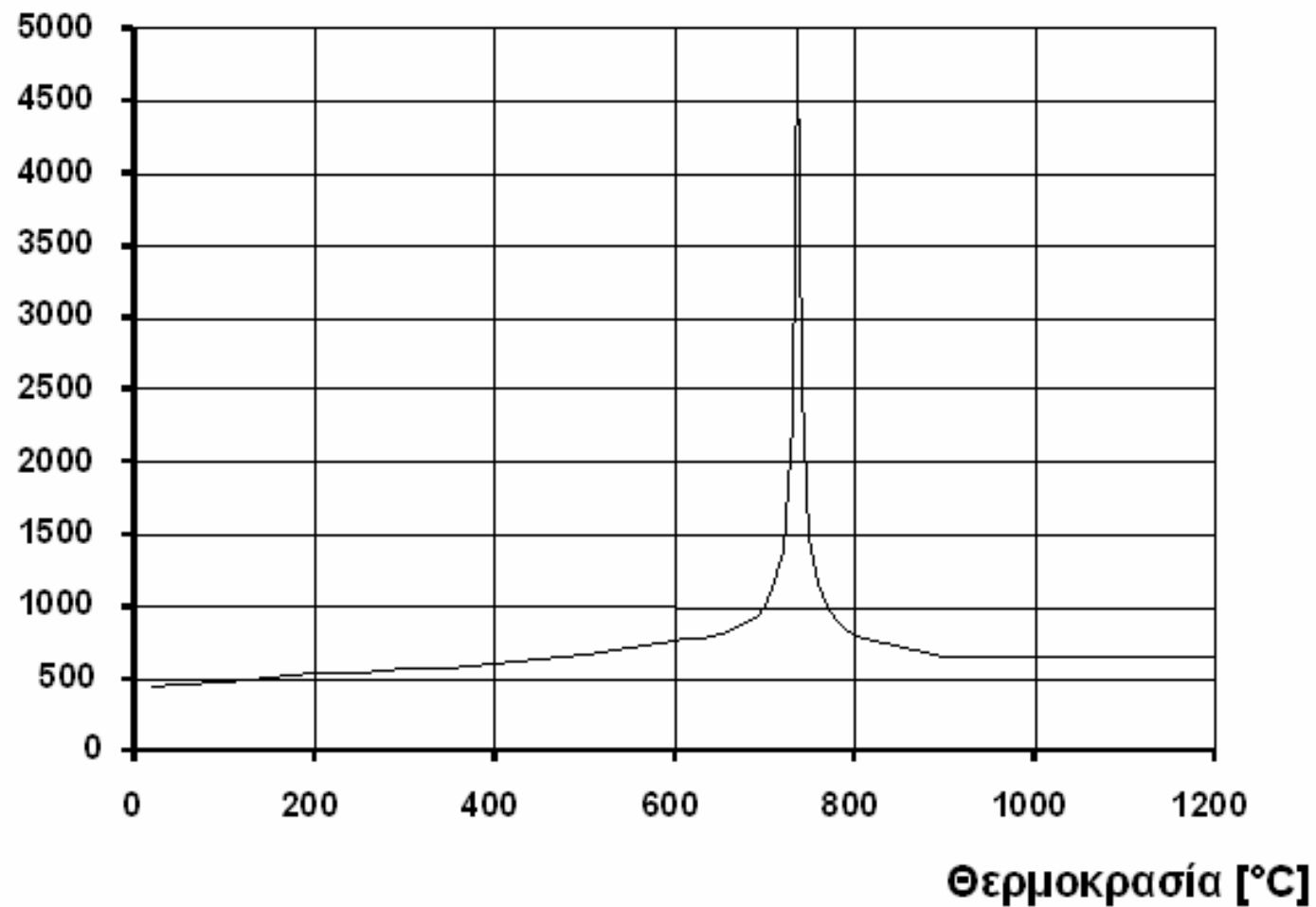


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Ειδική θερμότητα [J / kg K]



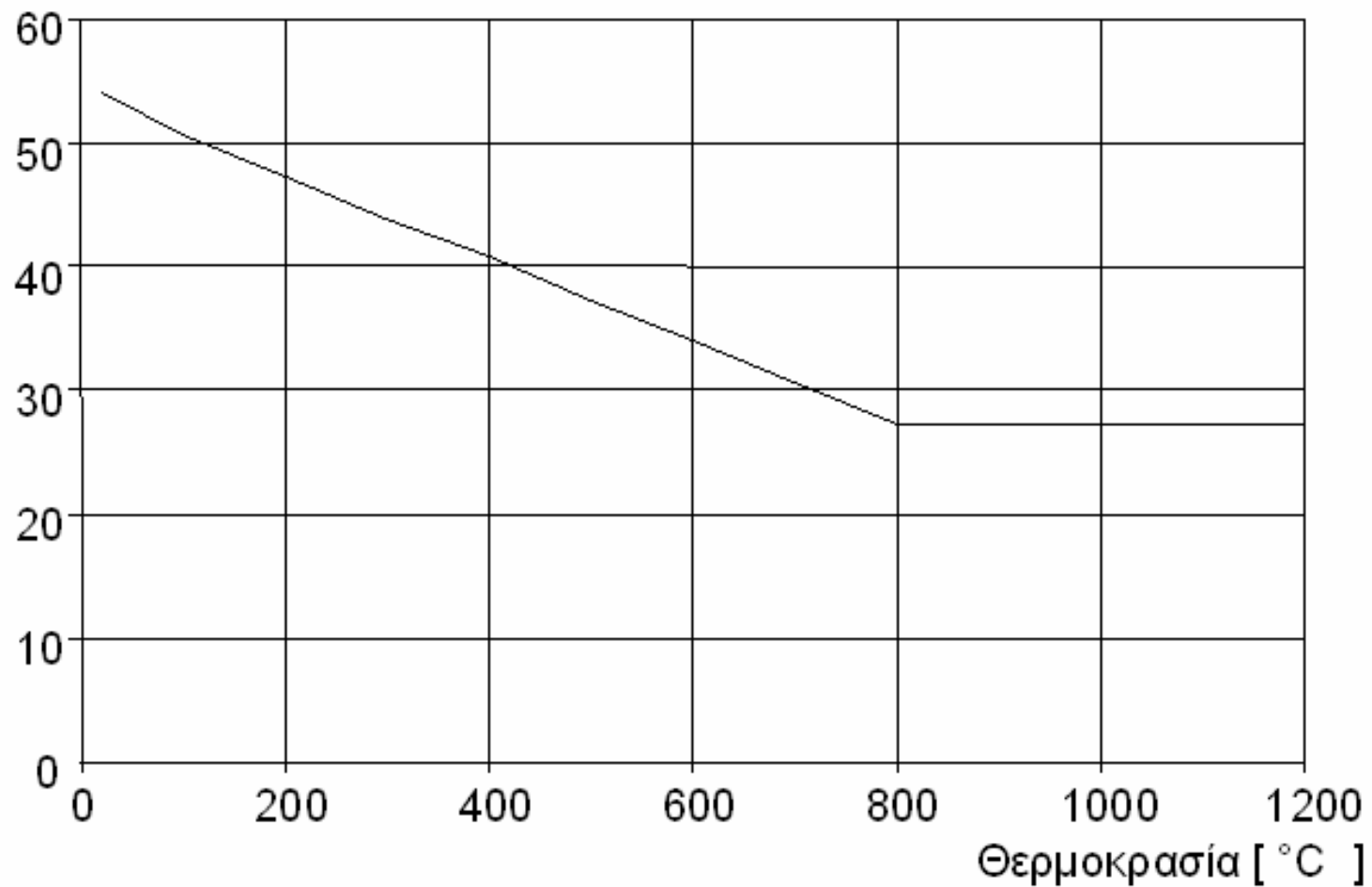


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΑΠΟΜΕΙΩΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Θερμική αγωγιμότητα [ W / mK ]







Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ

Πυκνότητες πυροθερμικού φορτίου  $q_{f,k}$  (MJ/m<sup>2</sup>)

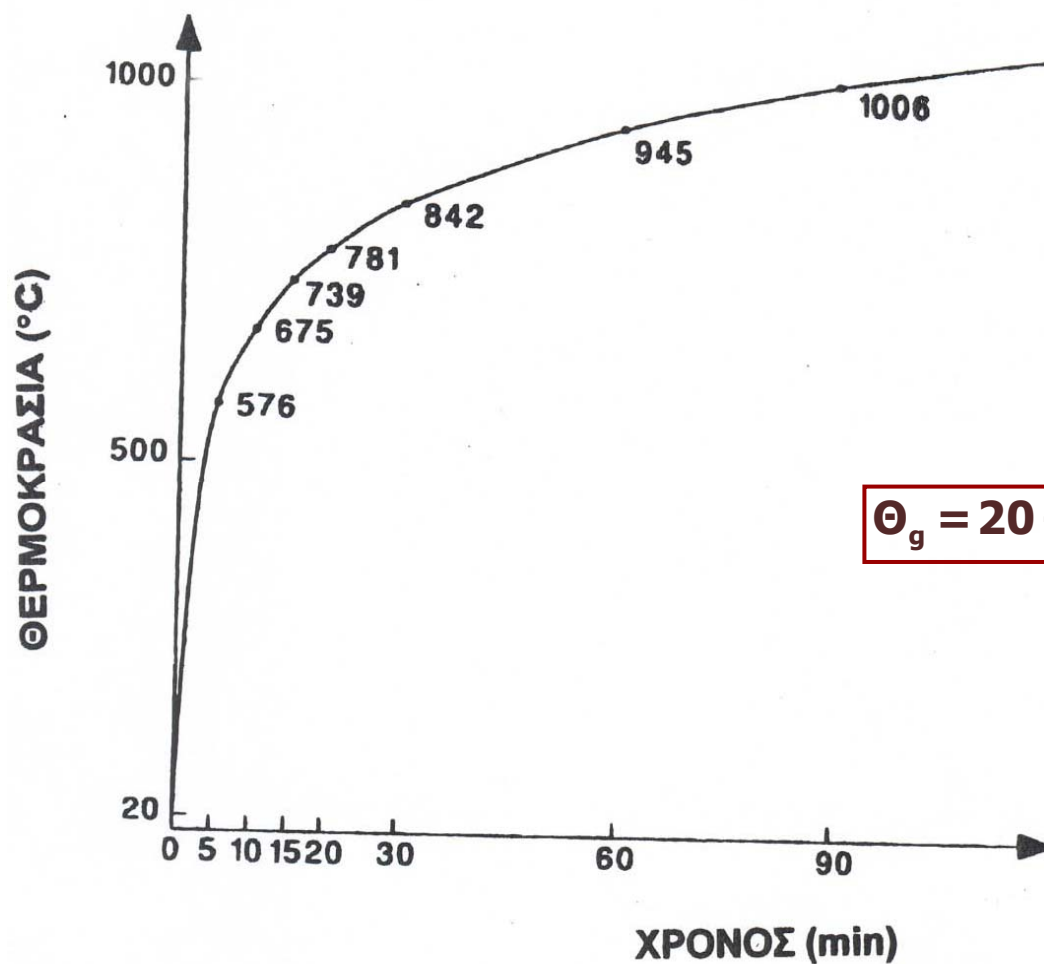
Χρήση	Μέση τιμή	Πιθανότητα υπέρβασης 20%
Κατοικίες	780	948
Νοσοκομεία (θάλαμοι)	230	280
Ξενοδοχεία (δωμάτια)	310	377
Βιβλιοθήκες	1500	1824
Γραφεία	420	511
Αίθουσες σχολείων	285	347
Εμπορικά κέντρα	600	730
Θέατρα (κινηματογράφοι)	300	365
Χώρος επιβατών σε συγκοινωνιακούς σταθμούς	100	122



Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ

Πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου

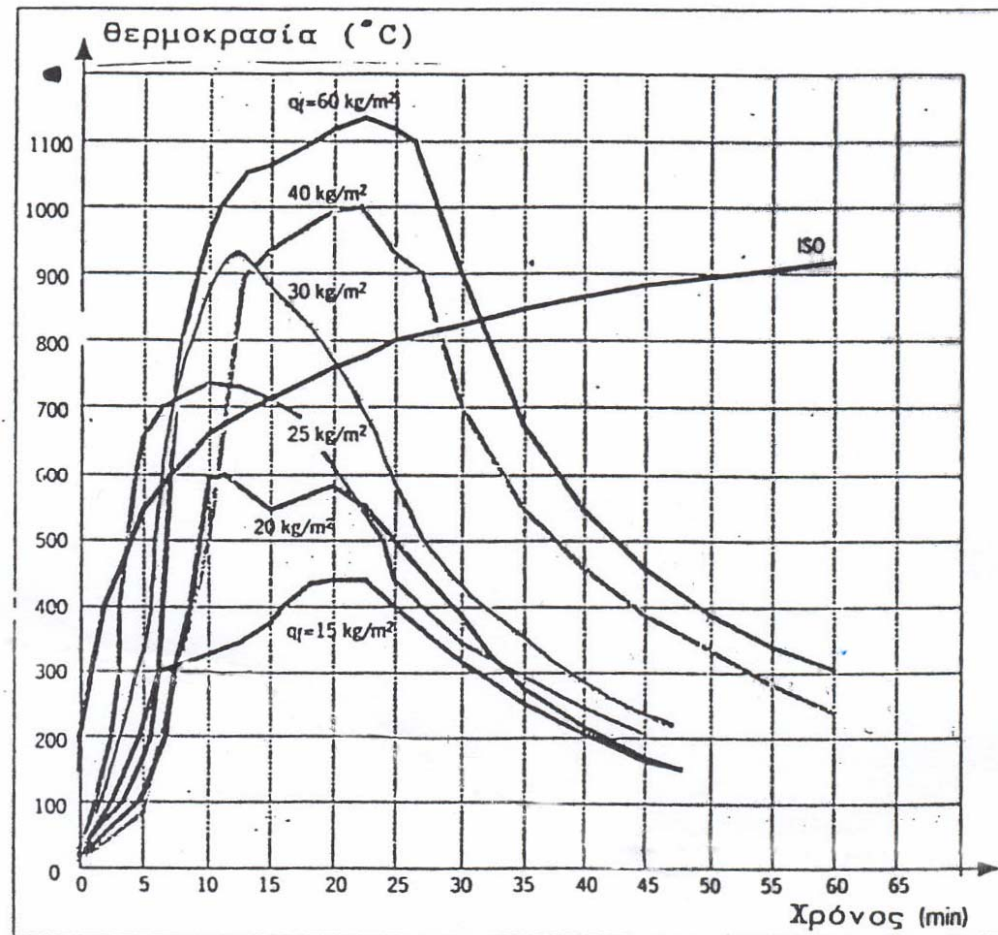




Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ

Παραμετρικές καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου  
για διάφορες πυκνότητες πυροθερμικού φορτίου





Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ

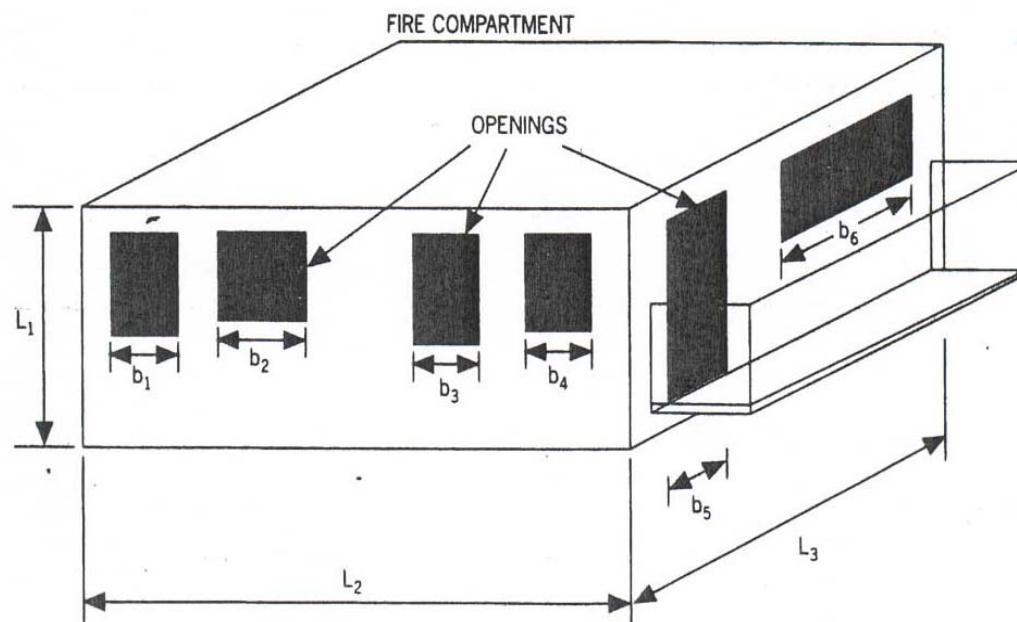
## Συντελεστής αερισμού

$$\text{Ventilation Factor } O = \frac{A_w}{A_t} \sqrt{h} \quad (m^{1/2})$$

$A_w$  = total area of openings ( $m^2$ )

$h$  = mean height of openings (m)

$A_t$  = total surrounding area of the compartment ( $m^2$ )



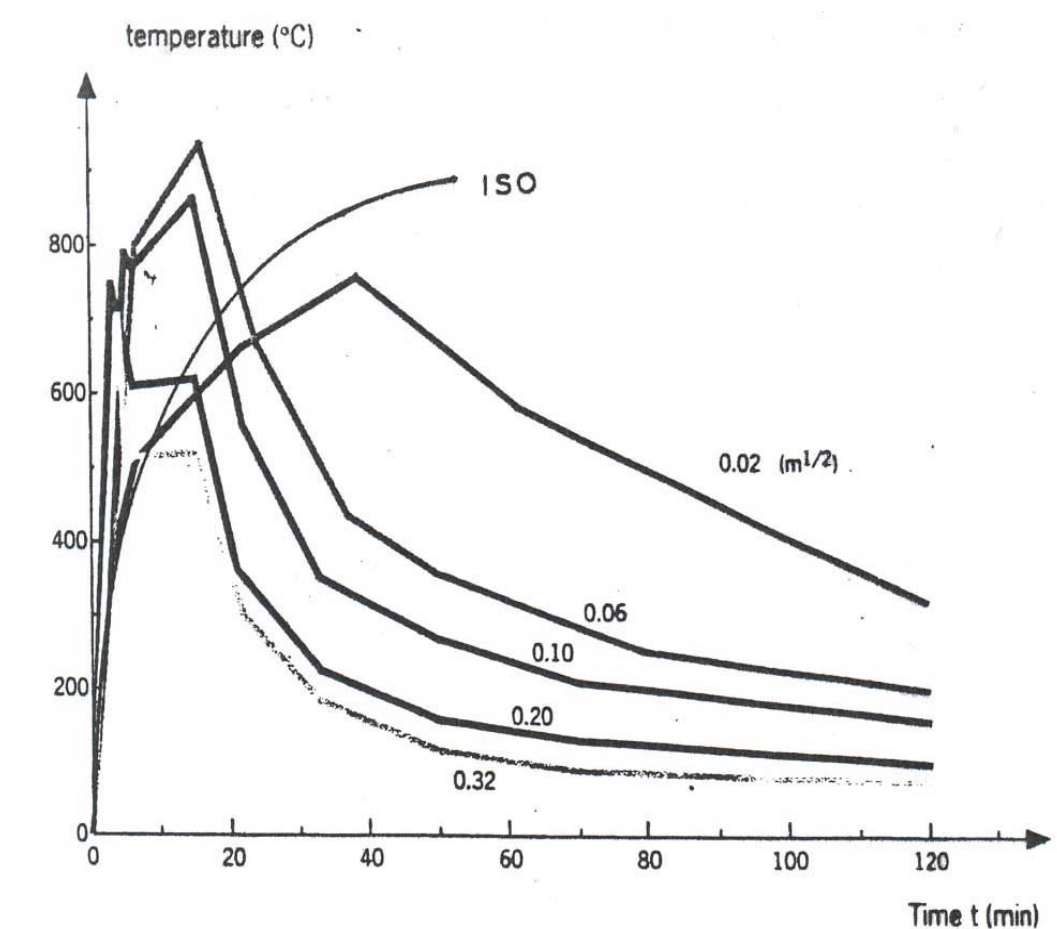




Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ

Παραμετρικές καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου  
για διάφορες τιμές του συντελεστή αερισμού





Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ

Οι καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου στη φάση της θέρμανσης δίδονται από:

$$\theta_g = 1325(1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,20e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*})$$

$\theta_g$ : είναι η θερμοκρασία των αερίων στο πυροδιαμέρισμα μετά από χρόνο  $t$  (h) από την έναρξη της πυρκαγιάς [σε °C]

$$t^* = t\Gamma \quad [\text{σε h}]$$

$$\Gamma = (O/b)^2 / (0,04/1160)^2 \text{ αδιάστατος συντελεστής}$$

$$O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t : \text{συντελεστής αερισμού [σε m}^{1/2}] \text{ με τα ακόλουθα όρια: } 0,02 \leq O \leq 0,20$$

$A_v$  συνολική επιφάνεια των κατακόρυφων ανοιγμάτων σε όλους τους τοίχους [σε m<sup>2</sup>]

$h_{eq}$  σταθμισμένος μέσος όρος του ύψους των παραθύρων σε όλους τους τοίχους [σε m]

$A_t$  συνολική επιφάνεια του περιγράμματος (τοίχοι, οροφή και δάπεδο, συμπεριλαμβανομένων των ανοιγμάτων) [σε m<sup>2</sup>]

$$b = \sqrt{\rho c \lambda} \text{ με τα ακόλουθα όρια: } 100 \leq b \leq 2200 \text{ [σε J/m}^2\text{s}^{1/2}\text{K]}$$

$\rho$  πυκνότητα του ορίου του περιγράμματος του χώρου [σε kg/m<sup>3</sup>]

$c$  ειδική θερμότητα του περιγράμματος του χώρου [σε J/kgK]

$\lambda$  θερμική αγωγιμότητα του περιγράμματος του χώρου [σε W/mK]



Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ

2008

Η ανωτέρω καμπύλη (ανοδικός κλάδος της καμπύλης θερμοκρασίας – χρόνου) ισχύει μέχρι την χρονική στιγμή  $t_d^*$  (κατά την οποία η θερμοκρασία φτάνει τη μέγιστη τιμή  $\theta_{max}$  που ορίζεται από τη σχέση

$$t_d^* = (0,13 \times 10^{-3} q_{td} \Gamma) / \alpha \quad [\text{σε h}]$$

όπου

$$50 \leq q_{td} \leq 1000.$$

Οι καμπύλες θερμοκρασίας – χρόνου στην φάση της ψύξης δίδονται από:

$$\theta_g = \theta_{max} - 625 (t^* - t_{max}^*) \quad \text{για } t_{max}^* \leq 0,5$$

$$\theta_g = \theta_{max} - 250 (3 - t_{max}^*) (t^* - t_{max}^*) \quad \text{για } t_{max}^* < 2$$

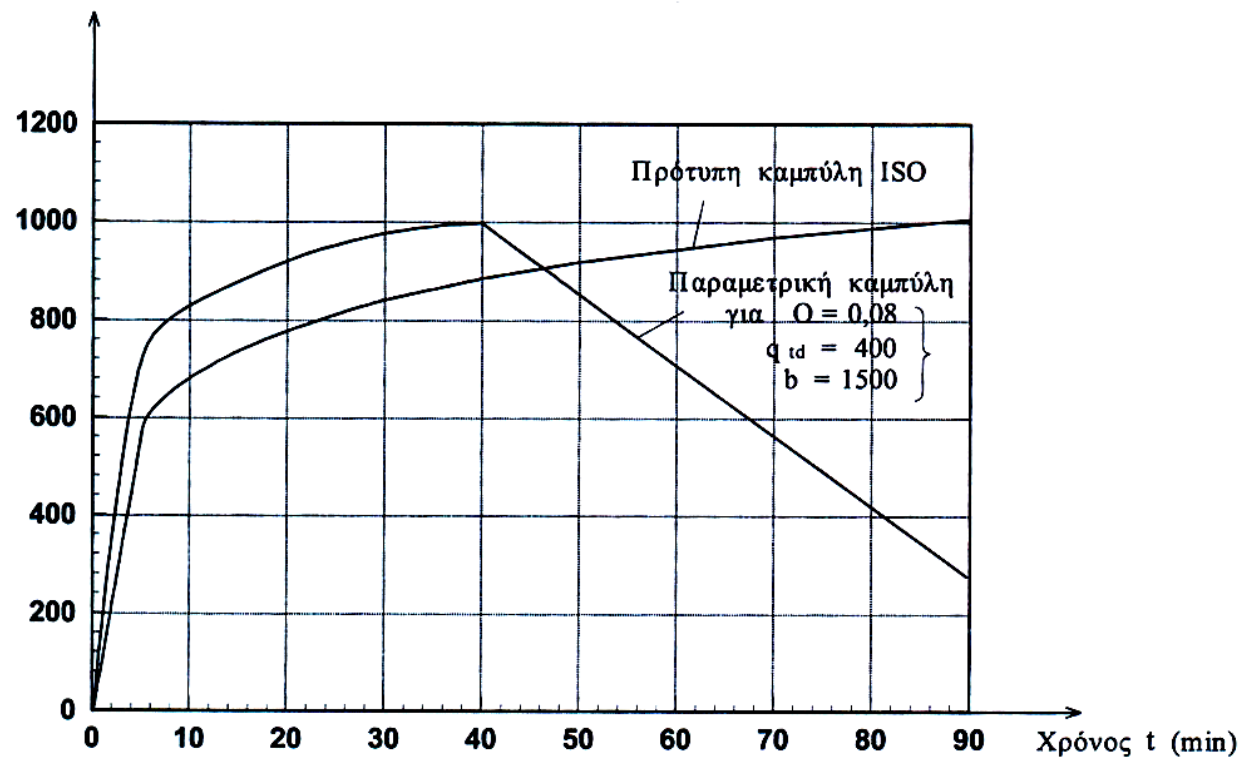
$$\theta_g = \theta_{max} - 250 (3 - t_{max}^*) \quad \text{για } t_{max}^* \geq 2$$



Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ

Θερμοκρασία αέρα  
πυροδιαμερίσματος  
(°C)



**Σχήμα** Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο πυροδιαμέρισμα (α) με βάση την πρότυπη καμπύλη ISO (β) με βάση την παραμετρική καμπύλη που αντιστοιχεί στα χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου πυροδιαμερίσματος.





Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΗ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

Για ισοδύναμη ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στις διατομές, η αύξηση της θερμοκρασίας  $\Delta\theta_{a,t}$  ενός μη προστατευόμενου χαλύβδινου μέλους κατά τη διάρκεια χρονικού διαστήματος  $\Delta t$  προσδιορίζεται από:

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

όπου:

$A_m/V$ : είναι ο συντελεστής διατομής για μη προστατευμένα μέλη από χάλυβα [σε 1/m],

$A_m$ : είναι η εκτεθειμένη στον αέρα του πυροδιαμερίσματος επιφάνεια του χαλύβδινου μέλους ανά μονάδα μήκους του [σε m<sup>2</sup>/m],

$V$ : είναι ο όγκος του μέλους ανά μονάδα μήκους του [σε m<sup>3</sup>/m],

$c_a$ : είναι η ειδική θερμότητα του χάλυβα [σε J/kgK],

$\rho_a$ : είναι η πυκνότητα του χάλυβα [σε kg/m<sup>3</sup>].

$\Delta t$ : είναι το χρονικό διάστημα [σε seconds],

$\dot{h}_{net,d}$ : είναι η θερμική τιμή σχεδιασμού για την καθαρή θερμική ροή ανά μονάδα επιφάνειας [σε W/m<sup>2</sup>], οφειλόμενη εν μέρει σε συναγωγή ( $\dot{h}_{net,c}$ ) και εν μέρει σε ακτινοβολία ( $\dot{h}_{net,r}$ )

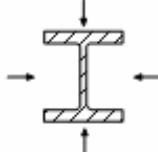
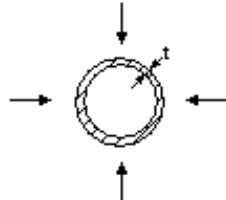
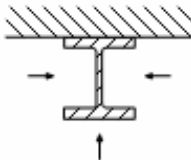
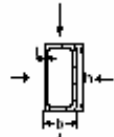
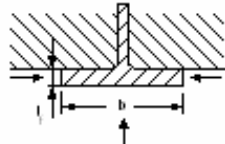
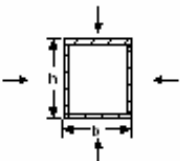
όπου  $\dot{h}_{net,c} = \alpha_c(\theta_g - \theta_a)$  και  $\dot{h}_{net,r} = 5,67 \times 10^{-8} \epsilon_r [(\theta_g + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4]$



Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΗ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

## Συντελεστής διατομής $A_m/V$ για μη προστατευμένα μέλη από χάλυβα

<p>Ανοικτή διατομή εκτεθειμένη σε πυρκαγιά και από τις τέσσερις πλευρές:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{περίμετρος}}{\text{εμβαδόν διατομής}}$ 	<p>Σωληνωτή διατομή εκτεθειμένη σε πυρκαγιά από όλες τις πλευρές: <math>A_m/V = 1/t</math></p> 
<p>Ανοικτή διατομή εκτεθειμένη από τρεις πλευρές:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{επιφάνεια εκτεθειμένη στην πυρκαγιά}}{\text{εμβαδόν διατομής}}$ 	<p>Κοίλη διατομή (ή συγκολλητή κιβωτιοειδής διατομή ενιαίου πάχους) εκτεθειμένη από όλες τις πλευρές:</p> <p>Εάν <math>t \ll b</math>: <math>A_m/V \approx 1/t</math></p> 
<p>Διατομή δupleού ταν με πέλμα εκτεθειμένο από τρεις πλευρές:</p> $A_m/V = (b + 2t_f)/(bt_f)$ <p>Εάν <math>t \ll b</math>: <math>A_m/V \approx 1/t_f</math></p> 	<p>Συγκολλητή κιβωτιοειδής διατομή εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από όλες τις πλευρές:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{εμβαδόν διατομής}}$  <p>Εάν <math>t \ll b</math>: <math>A_m/V \approx 1/t</math></p>



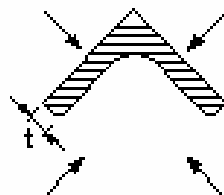
Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΗ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

Συντελεστής διατομής  $A_m/V$   
για μη προστατευμένα μέλη από χάλυβα

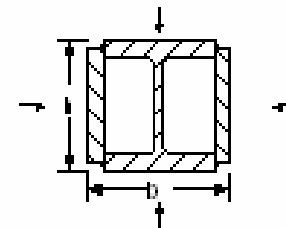
Διατομή γωνιακού εκτεθειμένη από όλες τις πλευρές:

$$A_m/V = 2/t$$



Διατομή διπλού ταν με κιβωτιοειδή ενίσχυση εκτεθειμένη από όλες τις πλευρές:

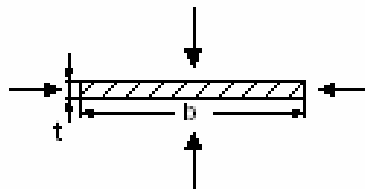
$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{εμβαδόν διατομής}}$$



Επίπεδο έλασμα εκτεθειμένο από όλες τις πλευρές:

$$A_m/V = 2(b+t)/(bt)$$

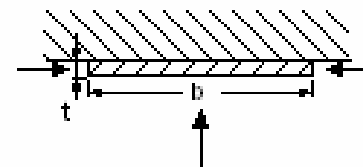
Εάν  $t \ll b$ :  $A_m/V \approx 2/t$



Επίπεδο έλασμα εκτεθειμένο από τρεις πλευρές:

$$A_m/V = (b+2t)/(bt)$$

Εάν  $t \ll b$ :  $A_m/V \approx 1/t$





Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΗ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

Μεταβολή της θερμοκρασίας  $\theta_a$  μη μονωμένης διατομής από χάλυβα για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας  $\theta_g$  του αέρα του πυροδιαμερίσματος με χαρακτηριστικά  $O=0.08$ ,  $q_{td}=400$ ,  $b=1500$  και διάφορες τιμές του συντελεστή διατομής.

Χρόνος $t$ (min)	Θερμοκρ. αέρα, $\theta_g$ (°C)	Συντελεστής Διατομής $A_m/V$ (m <sup>-1</sup> )			
		100	150	200	250
0	20	20	20	20	20
5	726	188	262	331	392
10	811	456	597	687	738
15	866	682	793	832	845
20	909	826	880	892	897
25	944	904	926	932	934
30	972	948	959	963	965
40	997	1000	1003	1004	1004
50	853	902	888	880	875
60	709	776	756	745	739
70	565	654	629	615	606
80	421	538	507	490	478
90	277	430	392	369	355
100	133	328	281	254	235

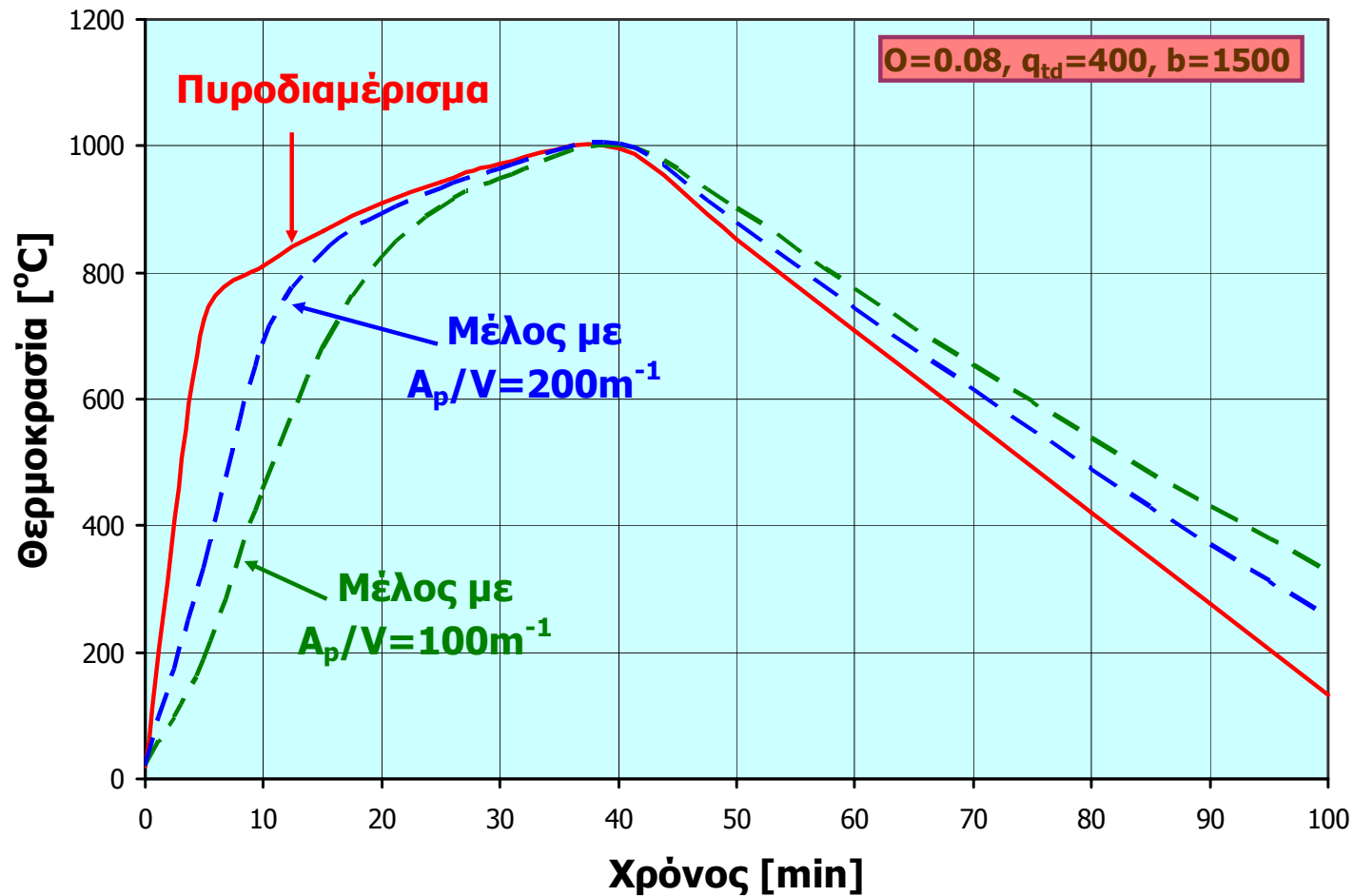


Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΗ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

## Μεταβολή θερμοκρασίας μη μονωμένων μελών







Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

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

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V}{d_p c_a \rho_a (1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad (\text{αλλά } \Delta\theta_{a,t} \geq 0 \text{ εάν } \Delta\theta_{g,t} > 0)$$

με:

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p A_p / V$$

όπου:

$\lambda_d$  : η θερμική αγωγιμότητα του υλικού προστασίας έναντι πυρκαγιάς [σε W/mK],

$\rho_a$  : η πυκνότητα του χάλυβα, [σε kg/m<sup>3</sup>],

$\rho_p$  : η πυκνότητα του υλικού προστασίας [σε kg/m<sup>3</sup>],

$d_p$  : το πάχος του υλικού προστασίας [σε m],

$c_a$  : η εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία ειδική θερμότητα του χάλυβα, [σε J/kgK],

$c_p$  : η ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία ειδική θερμότητα του υλικού προστασίας [σε J/kgK],

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

$A_p$  : η εσωτερική επιφάνεια του μονωτικού υλικού ανά μονάδα μήκους μέλους [σε m<sup>2</sup>/m],

$V$  : ο όγκος του μέλους ανά μονάδα μήκους του [σε m<sup>3</sup>/m],

$\Delta t$  : το χρονικό διάστημα [σε sec],

$\theta_{a,t}$  : η θερμοκρασία του χάλυβα τη χρονική στιγμή  $t$  [σε °C],

$\theta_{g,t}$  : η θερμοκρασία του περιβάλλοντος το μέλος αέρα στο χρόνο  $t$  [σε °C],

$\Delta\theta_{g,t}$  : η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αέρα κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος  $\Delta t$  [σε K],



Ε.Μ.Π.

Ε  
Ρ  
Γ  
Α  
Σ  
Τ  
Η  
Ρ  
Ι  
Ο  
  
Μ  
Ε  
Τ  
Α  
Λ  
Λ  
Ι  
Κ  
Ω  
Ν  
  
Κ  
Α  
Τ  
Α  
Σ  
Κ  
Ε  
Υ  
Ω  
Ν

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ


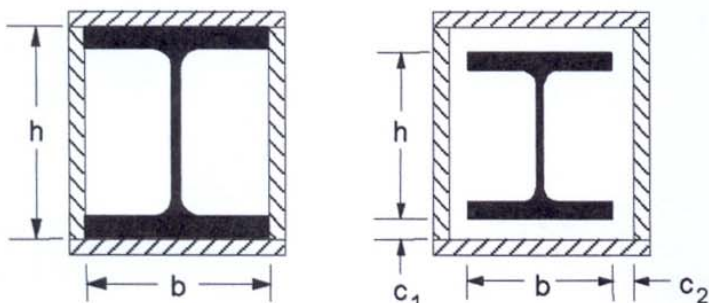
2  
0  
0  
8

Η τιμή του  $\Delta t$  δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη από 30 δευτερόλεπτα.  
Το εμβαδόν  $A_p$  του υλικού προστασίας πρέπει γενικά να λαμβάνεται ως το εμβαδόν της εσωτερικής του επιφάνειας, αλλά για περίπτωση ορθογωνικού εγκαβατισμού σε μια απόσταση περί το μέλος από χάλυβα πρέπει να εφαρμόζεται η ίδια τιμή όπως για ορθογωνικό εγκαβατισμό χωρίς απόσταση από το χαλύβδινο μέλος.



Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

Σχήμα	Περιγραφή	Συντελεστής διατομής ( $A_p/V$ )
	Περιμετρικό περίβλημα σταθερού πάχους	$\frac{\text{Περίμετρος χάλυβα}}{\text{Εμβαδόν διατομής χάλυβα}}$
	Ορθογωνικός εγκιβωτισμός ενιαίου πάχους) <sup>1</sup>	$\frac{2(b + h)}{\text{Εμβαδόν διατομής χάλυβα}}$



Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

	Περιμετρικό περίβλημα ενιαίου πάχους εκτεθειμένο στην πυρκαγιά από τρεις πλευρές	$\frac{\text{Περίμετρος χάλυβα} - b}{\text{εμβαδόν διατομής χάλυβα}}$
	Ορθογωνικός εγκιβωτισμός ενιαίου πάχους εκτεθειμένος από τρεις πλευρές <sup>1)</sup>	$\frac{2h + b}{\text{εμβαδόν διατομής χάλυβα}}$
<sup>1)</sup> Οι αποστάσεις $c_1$ και $c_2$ δεν πρέπει κανονικά να υπερβαίνουν το $h/4$		



Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

Μεταβολή της θερμοκρασίας  $\theta_a$  μονωμένης διατομής από χάλυβα για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας  $\theta_g$  του αέρα του πυροδιαμερίσματος με χαρακτηριστικά  $O=0.08$ ,  $q_{td}=400$ ,  $b=1500$  και διάφορες τιμές του συντελεστή διατομής.

t (min)	$\theta_g(^{\circ}\text{C})$	$Ap/V \text{ (m}^{-1}\text{)}$			
		100	150	200	250
0	20	20	20	20	20
5	726	52	67	82	97
10	811	96	132	165	197
15	866	142	196	246	292
20	909	188	259	323	380
25	944	234	320	395	460
30	972	279	378	463	534
40	997	364	486	582	659
50	853	431	562	659	731
60	709	473	599	685	743
70	565	492	605	674	714
80	421	492	585	632	652
90	277	475	544	568	568
100	133	442	484	485	468

Μόνωση με χαρακτηριστική τιμή  $d/\lambda=0,10$ .

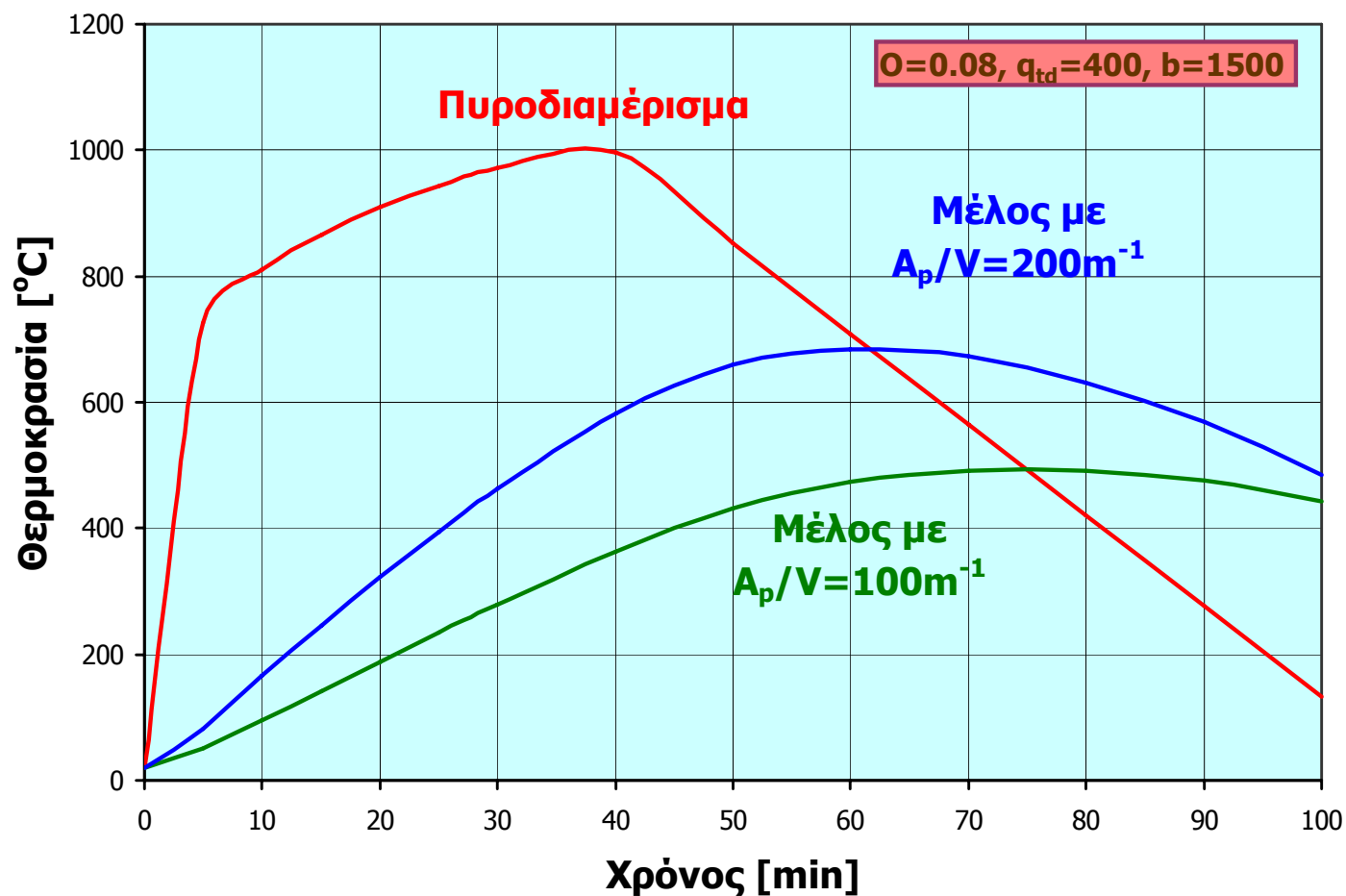




Ε.Μ.Π.

# ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

## Μεταβολή θερμοκρασίας μονωμένων μελών





Ε.Μ.Π.

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΜΕΛΩΝ

Μεταβολή θερμοκρασίας μονωμένων και μη μελών

