

Συμπεριφορά των Ξυλίνων Κατασκευών στην Φωτιά Απαιτήσεις Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 5

Εκπαιδευτικές Σημειώσεις

Κοντέας Ζαννής

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.
Αναστηλωτής Ε.Μ.Π.

1 ΓΕΝΙΚΑ

- 1.1 Πεδίο Ισχύος
- 1.2 Γενικές Απαιτήσεις
- 1.3 Απαιτήσεις Παθητικής Πυροπροστασίας
- 1.4 Η Εκτίμηση της Πυρκαϊάς
- 1.5 Το Αντικείμενο του Παρόντος

2 ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ / ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

- 2.1 Υπολογισμός των Εντατικών Μεγεθών
- 2.2 Υπολογισμός των Αντοχών
 - 2.2.1 Υπολογισμός του βάθους απανθρακώσεως
 - 2.2.2 Τιμές σχεδιασμού αντοχών
 - 2.2.3 Στοιχεία εξασφάλισης δυσκαμψίας

3 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ / ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

- 3.1 Συνδέσεις με Μεσαίο και Πλευρικά Μέλη από Ξύλο
- 3.2 Συνδέσεις με Πλευρικά Μέλη από Ξύλο και Εσωτερικά Χαλύβδινα Ελάσματα
- 3.3 Συνδέσεις με Εξωτερικά Χαλύβδινα Ελάσματα

4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ / ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

- 4.1 Απλοποιητική Μέθοδος

5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΛΥΣΕΩΣ

1 ΓΕΝΙΚΑ

1.1 Πεδίο Ισχύος

Το EN 1995 [Ευρωκώδικας 5] εφαρμόζεται στον σχεδιασμό κτηρίων και έργων Πολιτικού Μηχανικού από ξύλο [φυσική ξυλεία, πριστή, πλανισμένη ή στρογγυλή, επικολλητή ξυλεία ή δομικά προϊόντα από ξύλο π.χ. ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL)] ή ξυλόπλακες που συνδέονται μεταξύ τους με κόλλες ή μηχανικούς συνδέσμους. Το EN 1995-1-1 καλύπτει τον σχεδιασμό σε κανονικές συνθήκες.

Το EN 1995-1-2 ασχολείται με τον σχεδιασμό ξυλίνων κατασκευών για την τυχηματική κατάσταση εκθέσεως σε φωτιά και προορίζεται να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα EN 1995-1-1 και EN 1991-1-2:2002 [Για παράδειγμα οι θερμικές και οι μηχανικές δράσεις λαμβάνονται από το EN 1991:2002]. Το EN 1995-1-2 απλώς συμπληρώνει τον σχεδιασμό σε συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας ή προσδιορίζει διαφορές από αυτόν. Οι μέθοδοι και οι κανόνες που δίδονται στο EN 1995-1-2 ισχύουν μόνο για τα προϊόντα που καλύπτονται από αντίστοιχα πρότυπα προϊόντων [ENs].

1.2 Γενικές Απαιτήσεις

Απέναντι στον κίνδυνο εξ αιτίας πυρκαϊάς έχουν διατυπωθεί κάποιες ουσιώδεις απαιτήσεις, οι οποίες συνοψίζονται στο ότι τα κατασκευαστικά έργα θα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται κατά τρόπον ώστε σε περίπτωση φωτιάς:

- η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής να μπορεί να εκτιμηθεί για μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια
- η γένεση και η εξάπλωση της φωτιάς και του καπνού εντός των έργων να περιορίζεται
- η εξάπλωση της φωτιάς σε γειτονικές κατασκευές περιορίζεται
- οι χρήστες να μπορούν να εγκαταλείψουν τα έργα ή να διασωθούν από άλλα μέσα
- η ασφάλεια των συνεργείων διασώσεως να λαμβάνεται υπ' όψιν.

Οι απαιτήσεις αυτές μπορούν να τηρούνται ακολουθώντας τις διάφορες στρατηγικές ασφαλείας συμπεριλαμβανομένων των μέτρων παθητικής ή/και ενεργητικής πυροπροστασίας.

Το EN 1995-1-2 περιγράφει τις αρχές, τις απαιτήσεις και τους κανόνες για τον δομικό σχεδιασμό των ξυλίνων κατασκευών που εκτίθενται σε φωτιά, και έχει να κάνει αποκλειστικά με συγκεκριμένες πλευρές της παθητικής πυροπροστασίας σε όρους σχεδιασμού των κατασκευών (και κατ' επέκτασιν τμημάτων τους) καλύπτοντας δύο ελέγχους: τον έλεγχο για επαρκή φέρουσα ικανότητα και τον έλεγχο για περιορισμό της εξαπλώσεως της φωτιάς. [Το EN 1995-1-2 δεν επεκτείνεται σε απαιτήσεις που αφορούν για παράδειγμα την πιθανότητα εγκαταστάσεως και συντηρήσεως συστημάτων καταιονισμού, την χρήση αποδεκτών υλικών επαλείψεως κλπ]

1.3 Απαιτήσεις Παθητικής Πυροπροστασίας

Τόσο η φέρουσα ικανότητα ενός κατασκευαστικού έργου, όπως επίσης και ο περιορισμός της εξαπλώσεως της φωτιάς (διαμερισματοποίηση) δεν απαιτείται να εξασφαλίζονται επ' άπειρον, αλλά για κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα. Κατακλείδα λοιπόν του υπολογισμού είναι ο προσδιορισμός του χρόνου για τον οποίο οι δύο αυτές απαιτήσεις ικανοποιούνται και ο οποίος ονομάζεται χρόνος πυραντιστάσεως.

Η εξασφάλιση της φέρουσας ικανότητας προσδιορίζεται με την ικανοποίηση του κριτηρίου μηχανικής αντοχής (κριτήριο R). Το κριτήριο R θεωρείται ότι πληρούται όταν η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής διατηρείται κατά τον απαιτούμενο χρόνο έκθεσης σε πυρκαϊά. Για τον έλεγχο αυτόν υπάρχει η δυνατότητα ξεχωριστής επίλυσης κάθε μέλους ή σύνδεσης, διαδικασία που αποτελεί και την απλούστερη υπολογιστικά.

Η εξασφάλιση της διαμερισματοποίησης έναντι φωτιάς πληρούται όταν τα στοιχεία που σχηματίζουν τα όρια του εκάστοτε πυροδιαμερίσματος, συμπεριλαμβανομένων και των αρμών, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται έτσι ώστε να διατηρούν την λειτουργία τους ως διαχωριστικά για τον απαιτούμενο χρόνο έκθεσης σε πυρκαϊά. Αυτό προσδιορίζεται από δύο κριτήρια: το κριτήριο ακεραιότητας (κριτήριο E) και το κριτήριο μόνωσης (κριτήριο I) που απαιτείται σχεδόν χωρίς εξαίρεση.

Εξασφαλίζεται έτσι ότι:

- τα διαχωριστικά στοιχεία παραμένουν ακέραια (έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η απ' ευθείας διάδοση θερμών αερίων που θα οδηγούσαν στην εξάπλωση της φωτιάς στο γειτονικό πυροδιαμέρισμα)
- τα διαχωριστικά στοιχεία δεν αναπτύσσουν υπερβολικές θερμοκρασίες στην μη εκτιθέμενη στην φωτιά παρειά τους (γεγονός που θα οδηγούσε σε ανάφλεξη στοιχείων του γειτονικού πυροδιαμερίσματος).
- περιορίζεται η θερμική ακτινοβολία από την μη εκτεθειμένη παρειά προς το γειτονικό πυροδιαμέρισμα (για τον ίδιο λόγο με παραπάνω).

Για όσα στοιχεία απαιτείται ταυτοχρόνως διαχωριστική και φέρουσα λειτουργία, θα πρέπει να πληρούνται τα κριτήρια R, E καθώς και το κριτήριο I που κατά κανόνα απαιτείται.

1.4 Η Εκτίμηση της Πυρκαϊάς

Μία πυρκαϊά χαρακτηρίζεται κατά μείζονα λόγο από την εξέλιξη της θερμοκρασίας των αερίων του χώρου. Σε ό,τι αφορά τον υπολογισμό μπορούν να χρησιμοποιούνται είτε τυπικές πυρκαϊές (π.χ. η πρότυπη πυρκαϊά), οπότε και η εξέλιξη της θερμοκρασίας των αερίων λαμβάνεται από πρότυπα, είτε παραμετρικές πυρκαϊές, οπότε και η εξέλιξη της θερμοκρασίας των αερίων προκύπτει από φυσικά προσομοιώματα που λαμβάνουν υπ' όψιν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του χώρου και του εξοπλισμού του. Η τελευταία αποτελεί την λεπτομερή προσέγγιση του ζητήματος και κατά συνέπεια πιο επίπονη διαδικασία υπολογιστικώς.

Το μεγαλύτερο μέρος του EN 1995-1-2 αφορά την έκθεση στην πρότυπη πυρκαϊά, ενώ δίδονται εναλλακτικά κάποιοι κανόνες για την παραμετρική αντιμετώπιση του ζητήματος που δεν επεξηγούνται, όμως, εντός του παρόντος.

1.5 Το Αντικείμενο του Παρόντος

Όσα εκτίθενται εντός του παρόντος σε σχέση με την φέρουσα ικανότητα σε συνθήκες πυρκαϊάς αφορούν την ξεχωριστή επίλυση κάθε μέλους και συνδέσεως του φέροντος οργανισμού για έκθεση στην πρότυπη πυρκαϊά.

Όσα αφορούν την διαχωριστική λειτουργία, αναφέρονται σε διαχωριστικά στοιχεία που εκτίθενται από την μία παρειά τους στην πρότυπη πυρκαϊά.

Οι πίνακες, τα σχήματα και οι σχέσεις που περιλαμβάνονται στο παρόν ακολουθούν την αρίθμηση του EN_1995-1-2, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έχουν μερικώς τροποποιηθεί για λόγους ευκολίας.

Το παρόν αποτελεί επεξηγηματικό βοήθημα και δεν υποκαθιστά το EN 1995-1-2. Από την χρήση του παρόντος δεν προκύπτουν ευθύνες για τον γράφοντα.

2 ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ / ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Γενικά

Ο έλεγχος για την ικανοποίηση της απαίτησης φέρουσας ικανότητας για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (κριτήριο R) αποτελεί έναν έλεγχο οριακής κατάστασης αστοχίας ανάλογο με αυτόν που λαμβάνει χώρα κατά τον σχεδιασμό σε κανονικές συνθήκες. Απαιτείται λοιπόν να υιοθετηθεί ένα προσομοίωμα του δομικού συστήματος που θα αντανακλά την αναμενόμενη συμπεριφορά της κατασκευής κατά την πυρκαϊά και θα πρέπει να ελέγχεται για το απαιτούμενο χρονικό διάστημα t της εκθέσεως σε πυρκαϊά ότι η εκάστοτε αντοχή είναι μεγαλύτερη της εκάστοτε δράσεως, δηλαδή:

$$E_{d,t,\text{fi}} \leq R_{d,t,\text{fi}}$$

όπου:

$E_{d,t,\text{fi}}$ είναι τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού για την κατάσταση πυρκαϊάς, συμπεριλαμβανομένων των αποτελεσμάτων των θερμικών διαστολών και παραμορφώσεων,
 $R_{d,t,\text{fi}}$ είναι η αντίστοιχη αντοχή σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαϊάς.

Η τιμή της αντοχής κάθε μέλους (ή συνδέσεως) $R_{d,t,\text{fi}}$ έχει φθίνουσα εξέλιξη με τον χρόνο λόγω της απανθρακώσεως των ξυλίνων μελών (ή/και της απομειώσεως των μηχανικών αντοχών του χάλυβα των συνδέσεων).

Ο όρος που εκφράζει τα εντατικά μεγέθη $E_{d,t,\text{fi}}$ περιλαμβάνει δύο επί μέρους μεγέθη. Το πρώτο είναι η μέγιστη πιθανή τιμή ενός εντατικού μεγέθους που αναμένεται να αναπτυχθεί από κάποια ασκουμένη δράση κατά την χρονική διάρκεια που εξετάζεται, το οποίο κατ' ουσίαν προσδιορίζεται στατιστικώς και λαμβάνει κάποια τιμή ανεξάρτητη με την εξέλιξη του φαινομένου της πυρκαϊάς. Το δεύτερο είναι τα εντατικά μεγέθη λόγω θερμικών διαστολών και παραμορφώσεων. Σε ό,τι αφορά τα τελευταία, η επίδραση των θερμικών διαστολών των υλικών πλήν του ξύλου θα λαμβάνεται υπ' όψιν. Επ' αυτού πρέπει να σημειωθεί ότι το ξύλο δεν παρουσιάζει αξιόλογη ανάπτυξη εντατικών μεγεθών λόγω θερμικής διαστολής για πολλούς λόγους [συγκεκριμένα η αύξηση της θερμοκρασίας περιορίζεται στην περίμετρο της διατομής και σε μικρό βάθος από αυτήν, συνοδεύεται από αποβολή της υγρασίας και παράλληλη κατά μήκος βράχυνση, το μέτρο ελαστικότητας ξύλου απομειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας οπότε όσο αυξάνεται η διαστολή μειώνεται η ανηγμένη στην παραμόρφωση αποδοιδομένη τάση κλπ]. Στοιχεία πλήν του ξύλου (μεταλλικά για παράδειγμα) μπορούν διαστελλόμενα να προκαλέσουν επί πλέον εντατικά μεγέθη που θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν και να 'αθροίζονται' με τα αντίστοιχα προκαλούμενα από τις εξωτερικές δράσεις.

Ζητούμενο σε κάθε περίπτωση είναι να εκτιμηθούν οι τιμές των παραπάνω μεγεθών στην κατάσταση της πυρκαϊάς, ώστε να καταστεί δυνατός ο έλεγχος της στατικής επάρκειας.

2.1 Υπολογισμός των Εντατικών Μεγεθών

Τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού στην περίπτωση πυρκαϊάς $E_{d,\text{fi}}$ μπορούν να προσδιορίζονται αναλυτικώς.

Θεωρώντας όμως ότι:

- το στατικό προσομοίωμα δεν αλλάζει σε σχέση με εκείνο του σχεδιασμού σε συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας (αν οι συνοριακές συνθήκες στις στηρίξεις μπορούν να θεωρηθούν σταθερές ως προς τον χρόνο)
- δεν λαμβάνονται υπ' όψιν φαινόμενα μη-γραμμικότητας των υλικών ή του φορέα

τότε ανάμεσα στα εντατικά μεγέθη στην περίπτωση της πυρκαϊάς και τα αντίστοιχα που προκύπτουν από

τον σχεδιασμό για κανονικές συνθήκες υπάρχει η ίδια σχέση αναλογίας με αυτή των ασκουμένων φορτίων στις δύο αυτές περιπτώσεις. Έτσι εναλλακτικώς [και απλοποιητικώς] επιτρέπεται τα οφειλόμενα σε εξωτερικές δράσεις εντατικά μεγέθη σχεδιασμού στην περίπτωση της φωτιάς $E_{d,fi}$, να εξάγονται από τον (συνήθως προσηγηθέντα) υπολογισμό για συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας, ως εξής:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d \quad (2.8)$$

όπου:

E_d είναι η τιμή σχεδιασμού των εντατικών μεγεθών για σχεδιασμό σε συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας, για τον βασικό συνδυασμό των δράσεων,

η_{fi} είναι ένας μειωτικός συντελεστής που εκφράζει την μείωση των ασκουμένων φορτίων στην περίπτωση πυρκαϊάς σε σχέση με εκείνα του σχεδιασμού σε κανονικές συνθήκες.

Ο μειωτικός συντελεστής η_{fi} όπως προκύπτει με την θεώρηση του συνδυασμού των δράσεων που αντιστοιχεί στην Σχέση (6.10) του EN 1990 και θα πρέπει να λαμβάνεται ως:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (2.9)$$

όπου:

$Q_{k,1}$ είναι η χαρακτηριστική τιμή της κύριας μεταβλητής δράσης

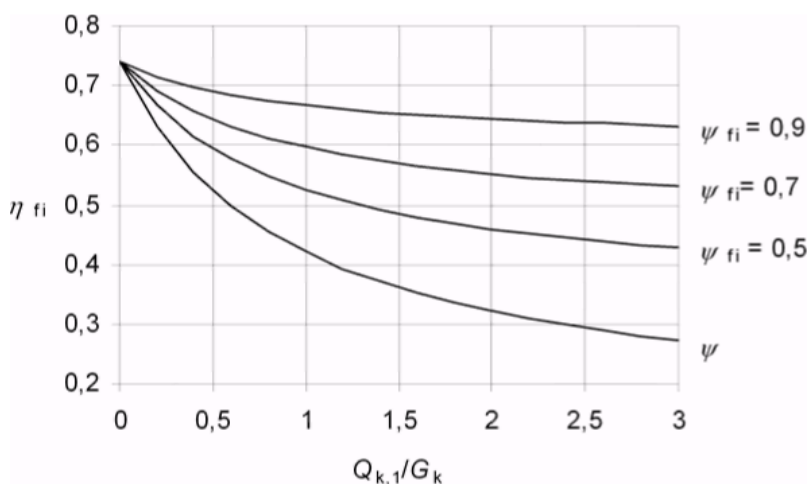
G_k είναι η χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων δράσεων

γ_G είναι ο επί μέρους συντελεστής για μόνιμες δράσεις

$\gamma_{Q,1}$ είναι ο επί μέρους συντελεστής για την μεταβλητή δράση 1

ψ_{fi} είναι ο συντελεστής συνδυασμού για τις συχνές τιμές των μεταβλητών δράσεων στην κατάσταση της πυρκαϊάς, που δίδεται είτε ως $\psi_{1,1}$ είτε ως $\psi_{2,1}$, βλέπε EN 1991-1-2:2002

Για να δοθεί μία εικόνα των τιμών που λαμβάνει ο συντελεστής η_{fi} παρατίθεται ένα παράδειγμα διακυμάνσεώς του, συναρτήσεως του λόγου των φορτίων $Q_{k,1}/G_k$ για διαφορετικές τιμές του συντελεστή συνδυασμού ψ_{fi} σύμφωνα με την Σχέση (2.9) με τις ακόλουθες παραδοχές: $\gamma_{GA}=1,0$, $\gamma_G=1,35$ και $\gamma_Q=1,5$.



Σχήμα 2.1 – Διακύμανση του μειωτικού συντελεστή η_{fi} ως προς τον λόγο των φορτίων $Q_{k,1}/G_k$ σύμφωνα με την Σχέση (2.9)

Όπως προκύπτει και από το Σχήμα 2.1, η τιμή $\eta_{\#}=0,6$ παρέχει αποδεκτά επίπεδα ασφαλείας στις περισσότερες περιπτώσεις. Εξαιρέση αποτελούν οι περιοχές με ενδεχόμενη συσσώρευση αγαθών, για τις οποίες προτιμώτερη θα ήταν η τιμή $\eta_{\#}=0,7$. Τα αναπτυσσόμενα, δηλαδή, εντατικά μεγέθη στην περίπτωση της φωτιάς μπορεί να θεωρείται ότι αποτελούν το 60% ή 70% των αντίστοιχων του σχεδιασμού σε συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας. Εναλλακτικά της παραπάνω μεθόδου τα εντατικά μεγέθη μπορούν να προσδιορίζονται με την επίλυση ολοκλήρου ή τμήματος του φέροντος οργανισμού σε συνθήκες πυρκαϊάς.

Σε αυτά τα εντατικά μεγέθη θα πρέπει να 'προστίθενται' όσα οφείλονται σε θερμικές διαστολές και παραμορφώσεις.

2.2 Υπολογισμός των Αντοχών

Κατά τον υπολογισμό των αντοχών των ξυλίνων μελών θα πρέπει να υπολογιστεί κατ' αρχάς το απανθρακωμένο τμήμα της διατομής του μέλους μιάς και δεν συμμετέχει στην ανάληψη φορτίων. Θα πρέπει να υπολογισθεί, επίσης, η τιμή των ιδιοτήτων (αντοχή και δυσκαμψία) της εναπομένουσας (άκαυστης) διατομής καθώς και οι συνοριακές συνθήκες του μέλους εάν έχουν μεταβληθεί.



Εικόνα 1

«Το φυσικό ξύλο απανθρακωμένο εξωτερικώς και άκαυστο εσωτερικώς.» [Φωτ. Αρχείο Π. Τουλιάτου]

2.2.1 Υπολογισμός του βάθους απανθρακώσεως

Οι κανόνες που ακολουθούν εφαρμόζονται για έκθεση σε πρότυπη πυρκαϊά.

Υπενθυμίζεται ότι ένα ξυλίνο μέλος καίγεται κατά την εκτιθέμενη επιφάνειά του και αντιστοίχως μία θεωρούμενη διατομή καίγεται κατά τις εκτιθέμενες πλευρές της. Η απανθράκωση λοιπόν αφορά το σύνολο των εκτιθεμένων πλευρών μιάς διατομής και ξεκινά από την περίμετρο προχωρώντας σταδιακά προς το εσωτερικό. Για τον υπολογισμό του απανθρακωμένου τμήματος απαιτείται λοιπόν να υπολογιστεί το βάθος

απανθρακώσεως. Ως βάθος απανθρακώσεως νοείται η απόσταση μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του αρχικού μέλους και της θέσης του ορίου απανθρακώσεως. Υπενθυμίζεται ότι η ταχύτητα (ρυθμός) της απανθρακώσεως είναι σταθερή με τον χρόνο και κατά συνέπεια το βάθος απανθρακώσεως είναι ανάλογο αυτής και του χρόνου εκθέσεως στην φωτιά.

Υπενθυμίζεται επίσης ότι σε σημεία που εκτίθενται περισσότερο η απανθρακώση παρουσιάζεται αυξημένη, όπως για παράδειγμα στις ακμές των μελών (στις γωνίες των διατομών) όταν εκτίθενται και από τις δύο πλευρές, όπου σημειώνεται στρογγύλευση.



Εικόνα 2

«Ευθύγραμμο μέλος GLU-LAM πριν και μετά την έκθεση σε φωτιά. Διακρίνεται η στρογγύλευση των ακμών.»

[Φωτ. Αρχείο Π. Τουλιάτου]

Το πραγματικό βάθος απανθρακώσεως

Η πραγματική εικόνα της εναπομένουσας (άκαυστης) διατομής μπορεί να εκτιμηθεί με την χρήση του πραγματικού ρυθμού απανθρακώσεως β_0 συνυπολογίζοντας το φαινόμενο της στρογγυλεύσεως στις ακμές (σε ορθογωνικές διατομές μπορεί να θεωρηθεί ότι η στρογγύλευση αποτελεί τεταρτοκύκλιο με ακτίνα ίση με το πραγματικό βάθος απανθρακώσεως). Συγκεκριμένα, το πραγματικό βάθος απανθρακώσεως σχεδιασμού¹ μπορεί να υπολογίζεται ως:

$$d_{char,0} = \beta_0 t \quad (3.1)$$

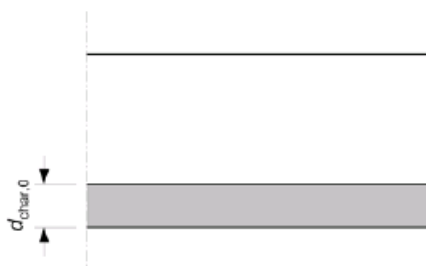
όπου :

$d_{char,0}$ είναι το βάθος απανθρακώσεως σχεδιασμού για μονοδιάστατη απανθρακώση (πραγματικό βάθος απανθρακώσεως),

β_0 είναι ο ρυθμός μονοδιάστατης απανθρακώσεως σχεδιασμού για έκθεση σε πρότυπη πυρκαϊά,

t είναι ο χρόνος της έκθεσης σε φωτιά.

¹ Οι προτεινόμενες τιμές των ρυθμών απανθρακώσεως είναι τιμές σχεδιασμού και δεν απαιτείται χρήση επί μέρους συντελεστή ασφαλείας. Οι όροι ρυθμός απανθρακώσεως και ρυθμός απανθρακώσεως σχεδιασμού, όπως αντίστοιχα βάθος απανθρακώσεως και βάθος απανθρακώσεως σχεδιασμού χρησιμοποιούνται αδιακρίτως.



Σχήμα 3.1 – Μονοδιάστατη απανθράκωση μέλους

Με την θεώρηση, όμως, του πραγματικού βάθους απανθρακώσεως δεν υφίσταται ισχύουσα μέθοδος για τον υπολογισμό των αντοχών μιάς ορθογωνικής διατομής, που είναι και το ζητούμενο.

Το θεωρητικό βάθος απανθρακώσεως

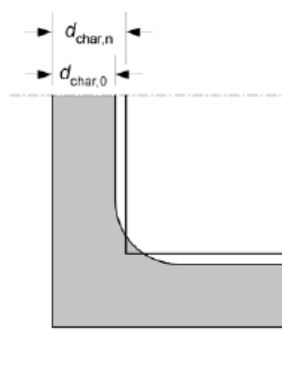
Για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων μιάς διατομής, η απανθράκωση που λαμβάνει χώρα θα πρέπει να εκτιμάται χρησιμοποιώντας τον θεωρητικό ρυθμό απανθρακώσεως β_n . Ο θεωρητικός ρυθμός απανθρακώσεως είναι κατά τι μεγαλύτερος του πραγματικού ρυθμού απανθρακώσεως έτσι ώστε να 'αντισταθμίσει' την αυξημένη απανθράκωση στις ακμές του μέλους. Η χρήση του θεωρητικού ρυθμού απανθρακώσεως γίνεται βεβαίως χωρίς την ταυτόχρονη θεώρηση στρογγυλεύσεων στις ακμές. Έτσι το θεωρητικό βάθος απανθρακώσεως σχεδιασμού πρέπει να υπολογίζεται ως :

$$d_{char,n} = \beta_n t \quad (3.2)$$

όπου:

$d_{char,n}$ είναι το θεωρητικό βάθος απανθρακώσεως σχεδιασμού, στο οποίο συμπεριλαμβάνεται η επίδραση των στρογγυλεύσεων στις ακμές,

β_n είναι ο θεωρητικός ρυθμός απανθρακώσεως σχεδιασμού, στην τιμή του οποίου συμπεριλαμβάνεται η επίδραση των στρογγυλεύσεων στις ακμές.



Σχήμα 3.2 – Βάθος απανθρακώσεως $d_{char,0}$ για μονοδιάστατη απανθράκωση και θεωρητικό βάθος απανθρακώσεως $d_{char,n}$.

Για επιφάνειες από ξύλο, που είναι απροστάτευτες καθ' όλη την διάρκεια της έκθεσης στην φωτιά, οι ρυθμοί απανθρακώσεως σχεδιασμού β_0 και β_n μπορούν να λαμβάνονται από τον Πίνακα 3.1. Οι ρυθμοί απανθρακώσεως για την φυσική ξυλεία πλατυφύλλων, εκτός της οξυάς, με χαρακτηριστικές πυκνότητες ανάμεσα στα 290 και 450 kg/m³, μπορούν να λαμβάνονται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών του Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 – Ρυθμοί απανθρακώσεως σχεδιασμού β_0 και β_n για ξυλεία, ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL), σανίδωμα και ξυλόπλακες.

	β_0 mm/min	β_n mm/min
α) Μαλακή Ξυλεία (Κωνοφόρα) και Οξυά		
Επικολητή Ξυλεία με χαρακτηριστική πυκνότητα $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
Φυσική Ξυλεία με χαρακτηριστική πυκνότητα $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,80
β) Σκληρή Ξυλεία (Πλατύφυλλα)		
Φυσική ή Επικολητή Ξυλεία Πλατυφύλλων με χαρακτηριστική πυκνότητα $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
Φυσική ή Επικολητή Ξυλεία Πλατυφύλλων με χαρακτηριστική πυκνότητα $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
γ) Ξυλεία Συγκολλημένων Φύλλων (LVL) με χαρακτηριστική πυκνότητα $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
δ) Επιφανειακά στοιχεία		
Σανίδωμα	0,90 ^α	-
Αντικολλητή Ξυλεία	1,00 ^α	-
Ξυλόπλακες εκτός Αντικολλητής Ξυλείας	0,90 ^α	-
<p>^αΟι τιμές ισχύουν για ξυλόπλακες, σε συμφωνία με τα EN 309, EN 313-1, EN 300 και EN 316, για χαρακτηριστική πυκνότητα 450 kg/m^3 και πάχος επιφανειακού στοιχείου 20 mm. Μεγαλύτερη πυκνότητα σημαίνει εν γένει καλλίτερη συμπεριφορά έναντι της φωτιάς και εν προκειμένω μικρότερους ρυθμούς απανθρακώσεως. Αντίστοιχα πάχη επιφανειακών στοιχείων μικρότερα των 20 mm, οδηγούν σε συγκέντρωση θερμότητας και ταχύτερη απανθράκωση. Για τον λόγο αυτό η διαφορετική ταχύτητα απανθρακώσεως που προκύπτει για διαφορετικές πυκνότητες και πάχη πλακών μικρότερα των 20 mm, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν με την χρήση συντελεστών ως εξής: $\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 k_\rho k_t$ με $k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}}$ και $k_t = \sqrt{\frac{20}{h_p}}$ όπου ρ_k είναι η χαρακτηριστική πυκνότητα σε kg/m^3 και h_p είναι το πάχος του επιφανειακού στοιχείου επένδυσης σε χιλιοστά.</p>		

Λόγω της συμπεριφοράς των ξυλίνων μελών στην πυρκαϊά, οι απαιτούμενες διαστάσεις της άκαυστης διατομής μπορούν να εξασφαλιστούν για τον επιθυμητό χρόνο πυραντιστάσεως με μόνη την επαύξηση των αρχικών διαστάσεων της διατομής του μέλους. Ο τρόπος αυτός αποτελεί φυσικά τον απλούστερο, τόσο υπολογιστικά όσο και από πλευρά υλοποίησης.

Δυνατή πάντως είναι και η χρήση πυροπροστατευτικών επικαλύψεων (όπως επί παραδείγματι στην περίπτωση ισταμένων κτηρίων) που τοποθετούνται στις επιφάνειες μελών της κατασκευής. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατόν οι ιδιότητες και διαστάσεις (πάχος) της προστασίας να είναι τέτοιο ώστε να μην σημειώνεται απανθράκωση του μέλους, είναι όμως δυνατόν να σημειώνεται απανθράκωση του μέλους μετά [ή ακόμη και πριν] από την αχρήστευση της προστασίας (και εντός του απαιτούμενου χρόνου πυραντιστάσεώς του), οπότε είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του βάθους απανθρακώσεώς του, οπότε και πρέπει να ακολουθεί αντίστοιχος υπολογισμός.

2.2.2 Τιμές σχεδιασμού αντοχών

[Υπενθυμίζεται ότι η τιμή σχεδιασμού των αντοχών του ξύλου λαμβάνεται από μία χαρακτηριστική τιμή που πολλαπλασιάζεται με τον τροποποιητικό συντελεστή k_{mod} έτσι ώστε να ληφθούν υπ' όψιν η υγρασία του μέλους και η διάρκεια της φορτίσεως, ενώ συμπεριλαμβάνεται και ένας επί μέρους συντελεστής ασφαλείας.

$$f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_M}$$

- f_d είναι η αντοχή σχεδιασμού σε κανονικές θερμοκρασίες
 f_k είναι η χαρακτηριστική μιάς αντοχής σε κανονικές θερμοκρασίες
 k_{mod} είναι ο τροποποιητικός συντελεστής σε κανονικές θερμοκρασίες
 γ_M είναι ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για το ξύλο στην σε κανονικές θερμοκρασίες.

Ως χαρακτηριστική τιμή μιάς αντοχής f_k λαμβάνεται η τιμή με πιθανότητα υποσκελισμού 5%, και συμβολίζεται με f_{05} . Οι τιμές των f_k , k_{mod} και $\gamma_{M,fi}$ αντιστοιχούν στον σχεδιασμό σε κανονικές θερμοκρασίες.]

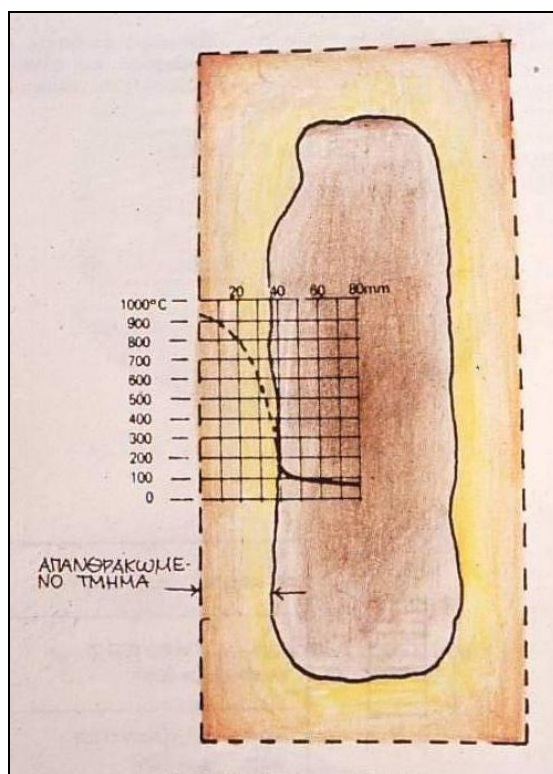
Για τον υπολογισμό της αντοχής μιάς διατομής στην περίπτωση της πυρκαϊάς, η ισχύουσα μέθοδος (μέθοδος της απομειωμένης διατομής) ορίζει ότι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιάς διατομής θα πρέπει να απομειώνονται κατά το δρών βάθος απανθράκωσης d_{ef} . Το δρών βάθος απανθράκωσης ισούται με το θεωρητικό βάθος απανθράκωσης επαυξημένο κατά έναν όρο k_{0d_0} (που ως μέγιστη τιμή λαμβάνει τα 7 mm), έτσι ώστε να εξαιρεθούν από τον υπολογισμό τα τμήματα της διατομής που βρίσκονται στην εκτιθέμενη περίμετρο του μη απανθρακωμένου τμήματος της διατομής και έχουν υποστεί μηχανική υποβάθμιση λόγω της θερμότητας. Έτσι το δρών βάθος απανθράκωσης υπολογίζεται ως:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_{0d_0} \quad (4.1)$$

όπου

- $d_{char,n}$ είναι το θεωρητικό βάθος απανθράκωσης,
 d_0 είναι μία σταθερά με τιμή 7 mm,
 k_0 ένας συντελεστής η τιμή του οποίου, για την περίπτωση απροστάτευτων διατομών, είναι μηδέν κατά την έναρξη του φαινομένου και αυξανόμενος γραμμικά με τον χρόνο φτάνει την μονάδα μετά την πάροδο 20 λεπτών, ενώ κατόπιν παραμένει σταθερός. Η θεώρηση ότι ο k_0 λαμβάνει εξ αρχής την τιμή 1, είναι υπολογιστικά απλούστερος και υπέρ της ασφαλείας.

Η διατομή που προκύπτει από την αρχική μετά την αφαίρεση του δρώντος βάθους απανθράκωσης καλείται δρώσα διατομή.

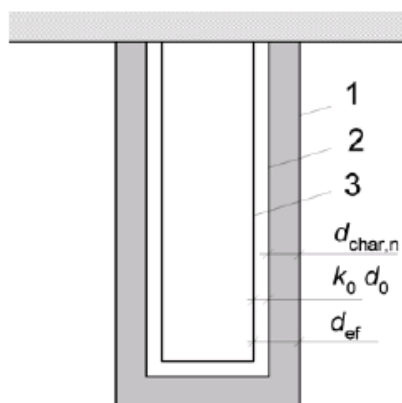


Εικόνα 3

«Εικόνα καιομένου ξυλίνου μέλους.

Λίγο βαθύτερα από το όριο απανθράκωσης η θερμοκρασία παρουσιάζεται ελάχιστα αυξημένη, αφήνοντας ανεπηρέαστο το άκανστο ξύλο σε μικρό μόνο βάθος και εσωτερικότερα.»

[TRADA - Π. Τουλιάτος]



Υπόμνημα

- 1 αρχική επιφάνεια του μέλους
- 2 όριο της εναπομένουσας διατομής
- 3 όριο της δρώσας διατομής

Σχήμα 4.1 – Προσδιορισμός της εναπομένουσας και της δρώσας διατομής



Εικόνες 4-5

«Ξύλινες Κατασκευές μετά από πυρκαϊά. Τα μέλη του φέροντος οργανισμού, καίτοι απανθρακωμένα εξωτερικώς, παραμένουν υγιή εσωτερικώς και σε θέση να φέρουν φορτία.»

[Εικόνα 4 Πρυτανεία ΕΜΠ, Φωτ. Π. Τουλιάτος. Εικόνα 5 Ξύλινη δοκίδα μετά από πυρκαϊά εν τομή.]

Οι αντοχές σχεδιασμού της δρώσας διατομής υπολογίζονται κατά τρόπον αντίστοιχο με τον σχεδιασμό σε κανονικές συνθήκες, από την σχέση:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (2.1)$$

όπου:

- $f_{d,fi}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού στην περίπτωση πυρκαϊάς
- f_{20} είναι το ποσοστημόριο 20% μιάς ιδιότητας αντοχής σε κανονικές θερμοκρασίες
- $k_{mod,fi}$ είναι ο τροποποιητικός συντελεστής στην περίπτωση πυρκαϊάς
- $\gamma_{M,fi}$ είναι ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για το ξύλο στην περίπτωση πυρκαϊάς.

Οι διαφορές με τον σχεδιασμό σε κανονικές θερμοκρασίες είναι οι εξής:

- Επειδή τα εξωτερικά τμήματα της εναπομένουσας διατομής έχουν αφαιρεθεί, οι ιδιότητες της δρώσας διατομής θεωρούνται ανεπηρέαστες από την θερμότητα. Επί πλέον η διάρκεια της φορτίσεως και συνθήκες υγρασίας θεωρούνται δεδομένες, οπότε ο τροποποιητικός συντελεστής στην περίπτωση πυρκαϊάς $k_{mod,fi}$ θεωρείται πάντα ίσος με 1,00.
- Επειδή η πυρκαϊά είναι τυχηματικό φαινόμενο θεωρείται διαφορετική τιμή του επί μέρους συντελεστή ασφαλείας για το ξύλο. Η ισχύουσα Εθνική Επιλογή είναι $\gamma_{M,fi} = 1,00$.
- Επειδή η πυρκαϊά είναι τυχηματικό φαινόμενο ο προσδιορισμός της τιμής σχεδιασμού μιάς αντοχής δεν γίνεται με χρήση της χαρακτηριστικής τιμής f_k (f_{05}) που αντιστοιχεί σε τιμή με πιθανότητα υποσκελισμού 5% (ποσοστημόριο 5%), αλλά με την τιμή που έχει πιθανότητα υποσκελισμού 20% (ποσοστημόριο 20%) και συμβολίζεται με f_{20} . Η τιμή της f_{20} είναι φυσικά μεγαλύτερη της f_k και μπορεί να λαμβάνεται από την αντίστοιχη f_k από την σχέση:

$$f_{20} = k_{fi} f_k \quad (2.4)$$

όπου:

- f_{20} είναι το ποσοστημόριο 20% μιάς αντοχής σε συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας
- f_k είναι η χαρακτηριστική μιάς αντοχής σε κανονικές θερμοκρασίες
- k_{fi} ένας συντελεστής που λαμβάνει την τιμή 1,25 για το φυσικό ξύλο, 1,15 για το επικολλητό ξύλο και τις ξυλόπλακες και 1,10 για την Ξυλεία Συγκολλημένων Φύλλων (LVL).

Οι τιμές του k_{fi} απεικονίζουν την διασπορά της τιμής της αντοχής για τα διάφορα υλικά και για τον λόγο αυτόν παρουσιάζουν παρόμοια κλιμάκωση με τους επί μέρους συντελεστές ασφαλείας κατά τον σχεδιασμό σε κανονικές συνθήκες. Όσο περισσότερη βιομηχανική επεξεργασία έχει υποστεί το αρχικό ξύλο για να προκύψει το αντίστοιχο προϊόν (επικολλητή ξυλεία, αντικολλητή ξυλεία κλπ) τόσο μικρότερη είναι η διασπορά της τιμής των μηχανικών του χαρακτηριστικών και αντίστοιχα οι προαναφερόμενοι συντελεστές (k_{fi} , γ_M).

2.2.3 Στοιχεία εξασφάλισης δυσκαμψίας

Προσοχή πρέπει να δίδεται στις περιπτώσεις που θλιβόμενα ή καμπτόμενα μέλη σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπ' όψιν στοιχεία εξασφάλισης δυσκαμψίας ή δευτερεύοντα στοιχεία που αποτρέπουν τον λυγισμό, καθώς θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι τα στοιχεία αυτά δεν αστοχούν κατά την απαιτούμενη διάρκεια της έκθεσης σε φωτιά. Τα στοιχεία εξασφάλισης δυσκαμψίας από ξύλο μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν αστοχούν εάν το εναπομένον το εμβαδόν της διατομής είναι το 60% της αρχικής τιμής που απαιτείται για σχεδιασμό σε συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας και έχει εξασφαλισθεί η στερέωσή τους. Για τις ξυλόπλακες μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν αστοχούν, εάν το πάχος τους παραμένει τουλάχιστον στο 60% της αντίστοιχης αρχικής τιμής και έχει εξασφαλισθεί η στερέωσή τους.

3. ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ / ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Οι συνδέσεις των μελών του φέροντος οργανισμού μπορούν αντιμετωπιστούν κατ' αναλογία των όσων αναπτύχθηκαν για τα μέλη. Είναι λοιπόν δυνατόν να γίνει εκτίμηση των φορτίων στην περίπτωση της φωτιάς σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν και παράλληλα να εκτιμηθεί η αντοχή κάθε σύνδεσης σε σχέση με τον χρόνο έκθεσης στην φωτιά, ώστε να υπολογιστεί ο χρόνος πυραντιστάσεώς της. Εναλλακτικά όμως έχει αναπτυχθεί μία απλοποιημένη μέθοδος εκτίμησης του χρόνου πυραντιστάσεως μίας σύνδεσης (προστατευμένης ή μη) χωρίς την μεσολάβηση αναλυτικής επίλυσης. Αναλυτικώς παρατίθενται τα της μεθόδου αυτής.

Η μέθοδος περιορίζεται σε εγκάρσια φορτιζόμενες συμμετρικές συνδέσεις τριών μελών που υλοποιούνται με ήλους (καρφιά), βίδες, κοχλίες (μπουλόνια) ή βλήτρα, για πυραντιστάσεις που δεν υπερβαίνουν τα 60 λεπτά και για έκθεση σε πρότυπη πυρκαϊά.

3.1 Συνδέσεις με Μεσαίο και Πλευρικά Μέλη από Ξύλο

Όπως προαναφέρθηκε η κατάσταση της πυρκαϊάς είναι μία τυχηματική κατάσταση που σε σχέση με τον σχεδιασμό σε κανονικές συνθήκες:

- επιτρέπει ελαστικότερους επί μέρους συντελεστές ασφαλείας (και άρα μεγαλύτερες αντοχές σχεδιασμού) και
- θεωρεί μικρότερα ασκούμενα φορτία.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μία σύνδεση που πληροί –ακόμη και οριακά- τις απαιτήσεις του σχεδιασμού σε κανονικές συνθήκες, να διαθέτει ως έχει έναν χρόνο πυραντιστάσεως. [Το αυτό ισχύει και για τα μέλη του φέροντος οργανισμού.] Για τις συνδέσεις που περιγράφονται παραπάνω και υπό την προϋπόθεση ότι υπακούουν στους κανόνες για σχεδιασμό σε κανονικές συνθήκες, οι χρόνοι αυτοί έχουν ως δίδονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1 - Πυραντιστάσεις μη προστατευμένων συνδέσεων με πλευρικά μέλη από ξύλο

	Χρόνος πυραντιστάσεως $t_{d,R}$ (min)	Προϋποθέσεις ^a
Ήλοι (καρφιά)	15	$d \geq 2,8$ mm
Βίδες	15	$d \geq 3,5$ mm
Κοχλίες (μπουλόνια)	15	$t_1 \geq 45$ mm
Βλήτρα	20	$t_1 \geq 45$ mm
^a d είναι η διάμετρος του συνδέσμου και t_1 είναι το πάχος του πλευρικού μέλους		

Από τις τιμές του Πίνακα 3.1 που αντιστοιχούν στον θεωρητικό ρυθμό απανθράκωσης σε συνδυασμό με αυτές του Πίνακα 6.1 μπορεί να εκτιμηθεί ότι μία σύνδεση μετά το πέρας των 15 ή 20 λεπτών που δίδονται ως χρόνος πυραντιστάσεως έχει απολέσει το πολύ 12-16 mm θεωρητικού βάθους απανθράκωσης (για τιμή $\beta_n = 0,80$ mm/min). Οι μικρές αυτές τιμές των χρόνων πυραντιστάσεως που δίδονται δεν πρέπει να προκαλούν έκπληξη δεδομένου ότι στην περίπτωση των συνδέσεων η ταχεία έκπτωση της συνολικής αντοχής δεν οφείλεται τόσο στην απανθράκωση των μελών, όσο στην πρόσληψη θερμότητας από τα μεταλλικά στοιχεία και την αντίστοιχη μηχανική τους υποβάθμιση.

Με επαύξηση των διαστάσεων των ξυλίνων μελών, η πρόσληψη θερμότητας από τα μεταλλικά στοιχεία καθυστερεί και έτσι μπορεί να επιτευχθούν κάπως μεγαλύτεροι χρόνοι πυραντιστάσεως. Έτσι, για συνδέσεις με βλήτρα, ήλους ή βίδες με μη-προεξέχουσες κεφαλές, είναι δυνατόν να επιτευχθούν μεγαλύτερες περιόδους πυραντιστάσεως $t_{d,R}$ από αυτές που δίδονται στον Πίνακα 6.1, οι οποίες όμως δεν υπερβαίνουν τα 30 λεπτά, αυξάνοντας κατά a_{R1} τις ακόλουθες διαστάσεις (βλέπε Σχήμα 6.1):

- το πάχος των πλευρικών μελών,
- το πλάτος των πλευρικών μελών
- τις αποστάσεις των συνδέσμων από τις πλευρές και το άκρο του ξύλου

όπου:

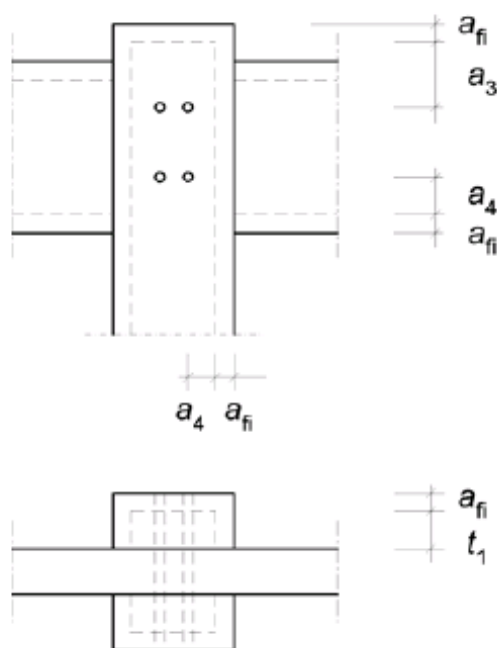
$$a_{fi} = \beta_n k_{flux} (t_{req} - t_{d,fi}) \quad (6.1)$$

β_n είναι ο ρυθμός απανθράκωσης σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1

k_{flux} είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει υπ' όψιν την αυξημένη ροή θερμότητας μέσω του συνδέσμου και θα πρέπει να λαμβάνεται ως $k_{flux}=1,5$

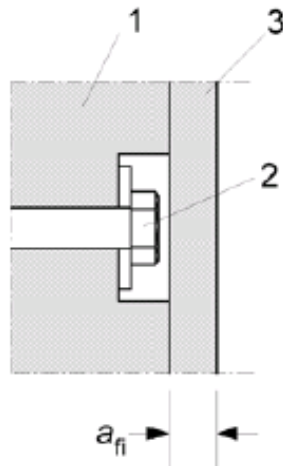
t_{req} είναι ο απαιτούμενος χρόνος πυραντιστάσεως σε πρότυπη πυρκαϊά

$t_{d,fi}$ είναι ο χρόνος πυραντιστάσεως της μη προστατευμένης συνδέσεως που δίδεται στον Πίνακα 6.1.



Σχήμα 6.1 – Επί πλέον πάχος και επί πλέον αποστάσεις από τις πλευρές και το άκρο για τις συνδέσεις

Σημειώνεται πάντως ότι με αυτό το μέτρο η σύνδεση παραμένει κατ' ουσίαν απροστατευτή καθώς τα μεταλλικά στοιχεία εξακολουθούν να είναι εκτεθειμένα. Τονίζεται, επίσης, ότι ο κανόνας αυτός που επιτρέπει την αύξηση του χρόνου πυραντιστάσεως σε μη προστατευμένες συνδέσεις, δεν ισχύει για συνδέσεις με κοχλίες ή βίδες με προεξέχουσες κεφαλές καθώς οι σύνδεσμοι αυτοί διαθέτουν προέχον τμήμα που προσελκύει μεγάλα ποσά θερμότητας και έτσι ο σύνδεσμος υφίσταται ταχέως έκπτωση των μηχανικών του ιδιοτήτων. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητοί μεγαλύτεροι χρόνοι σε συνδέσεις με κοχλίες ή βίδες με προεξέχουσες κεφαλές θα πρέπει η σύνδεση να προστατεύεται με επικαλύψεις πάχους a_{fi} , (σύμφωνα με την Σχέση 6.1), βλέπε Σχήμα 6.3.

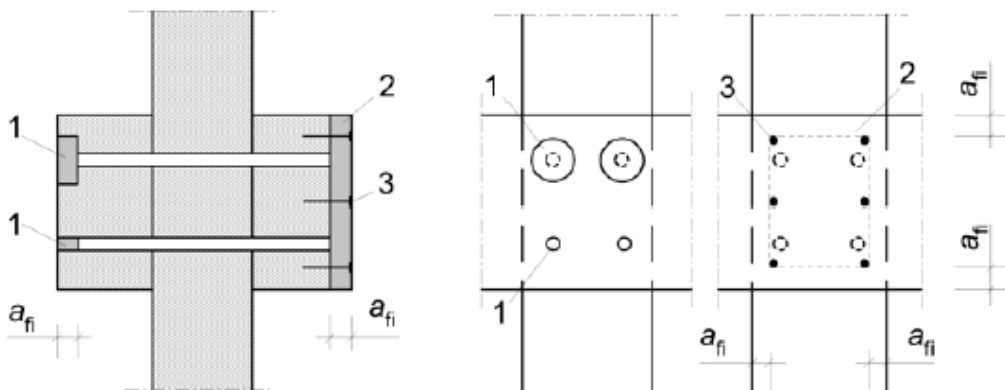


Υπόμνημα:

- 1 Μέλος
- 2 Κεφαλή κοχλίας
- 3 Μέλος που παρέχει προστασία

Σχήμα 6.3 – Παράδειγμα προστασίας μιάς κεφαλής κοχλίας

Άλλος τρόπος προστασίας μιάς σύνδεσης είναι κάλυψη των μεταλλικών συνδέσμων με βύσματα τα οποία κολλώνται εντός του ξύλου και φυσικά η πλήρης επικάλυψή της με πυροπροστατευτικά επιφανειακά στοιχεία, εφ' όσον εξασφαλίζεται η στερεώσή τους στο μη-καμένο ξύλο.



Υπόμνημα:

- 1 Κολλημένα εντός του ξύλου βύσματα
- 2 Πρόσθετη προστασία με την χρήση επικαλυπτικών στοιχείων
- 3 Σύνδεσμος που στερεώνει στοιχεία που παρέχουν πρόσθετη προστασία

Σχήμα 6.2 – Παραδείγματα πρόσθετης προστασίας με κολλημένα εντός του ξύλου βύσματα ή με ξυλόπλακες και γυψοσανίδες (στο σχήμα δεν εικονίζεται η προστασία των πλευρών, των πλευρικών και του μεσαίου μέλους)

3.2 Συνδέσεις με Πλευρικά Μέλη από Ξύλο και Εσωτερικά Χαλύβδινα Ελάσματα

Ανάλογα με τα όσα ισχύουν στην περίπτωση συνδέσεων ξύλο με ξύλο, ισχύουν και για τις συνδέσεις με χαλύβδινα ελάσματα. Η σύνδεση υποβαθμίζεται κυρίως λόγω του ότι ο χάλυβας προσλαμβάνει θερμότητα και μειώνονται οι αντοχές του. Έτσι ο χρόνος πυραντίστασης είναι τόσο μεγαλύτερος, όσο λιγότερο εκτεθειμένα είναι τα μεταλλικά ελάσματα. Αξιόλογοι χρόνοι πυραντίστασης μπορούν να προκύψουν κυρίως στην περίπτωση που το μεταλλικό έλασμα καλύπτεται από τα ξύλινα μέλη που απαρτίζουν μία σύνδεση, υπό την προϋπόθεση ότι το έλασμα δεν προεξέχει πέρα από την επιφάνεια των ξύλων. Επί πλέον προστασία μπορεί να εξασφαλισθεί με την χρήση επικαλύψεων ή λωρίδων που κολλώνται μεταξύ των ξύλων και καλύπτουν το έλασμα.

Οι συνδέσεις με πλευρικά μέλη από ξύλο και εσωτερικά χαλύβδινα ελάσματα μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν χρόνους πυραντίστασης 30 λεπτών εάν:

- το έλασμα δεν προεξέχει πέρα από την επιφάνεια του ξύλου
- το πάχος του ελάσματος είναι τουλάχιστον 2 mm
- το πλάτος b_{st} του ελάσματος είναι τουλάχιστον 200 mm (προκειμένου περί απροστάτευτου ελάσματος)
- το πλάτος b_{st} του ελάσματος είναι τουλάχιστον 120 mm (προκειμένου περί ελάσματος με προστατευμένες μία ή δύο παρειές)

Οι συνδέσεις με πλευρικά μέλη από ξύλο και εσωτερικά χαλύβδινα ελάσματα μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν χρόνους πυραντίστασης 60 λεπτών εάν:

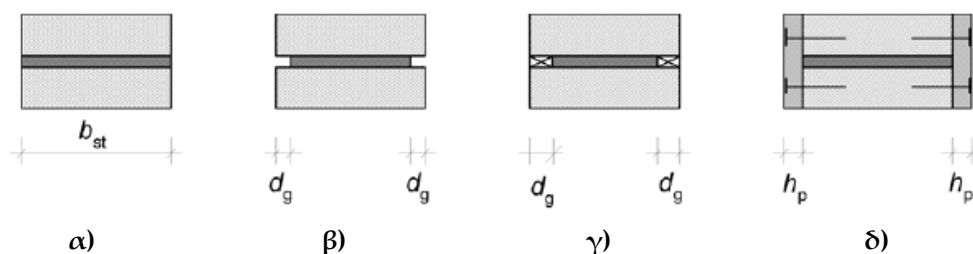
- το έλασμα δεν προεξέχει πέρα από την επιφάνεια του ξύλου
- το πάχος του ελάσματος είναι τουλάχιστον 2 mm
- το πλάτος b_{st} του ελάσματος είναι τουλάχιστον 280 mm (προκειμένου περί απροστάτευτου ή μερικώς προστατευμένου ελάσματος).

Τα χαλύβδινα ελάσματα μπορούν να θεωρούνται προστατευμένα για μία διάρκεια πυραντίστασης 30 λεπτών, όταν:

- είναι στενότερα από το ξύλινο μέλος, έχουν πάχος το πολύ 3 mm και βάθος κενού d_g μεγαλύτερο από 20 mm,
- όταν υπάρχουν κολλημένες μεταξύ των ξύλων λωρίδες ή καλύπτονται από προστατευτικές ξυλόπλακες, όπου το βάθος της κολλημένης μεταξύ των ξύλων λωρίδας d_g ή το πάχος επιφανειακού στοιχείου h_p είναι μεγαλύτερο από 10 mm.

Τα χαλύβδινα ελάσματα μπορούν να θεωρούνται προστατευμένα για μία διάρκεια πυραντίστασης 60 λεπτών, όταν:

- είναι στενότερα από το ξύλινο μέλος, έχουν πάχος το πολύ 3 mm και βάθος κενού d_g μεγαλύτερο από 60 mm,
- όταν υπάρχουν κολλημένες μεταξύ των ξύλων λωρίδες ή καλύπτονται από προστατευτικές ξυλόπλακες, όπου το βάθος της κολλημένης μεταξύ των ξύλων λωρίδας d_g ή το πάχος επιφανειακού στοιχείου h_p είναι μεγαλύτερο από 30 mm.



Σχήμα 6.4 – Προστασία των πλευρών των χαλύβδινων ελασμάτων:
α) απροστάτευτη, β) προστατευμένη με κενά,
γ) προστατευμένη με κολλημένες μεταξύ των ξύλων λωρίδες και
δ) προστατευμένη με επιφανειακά στοιχεία επένδυσης

3.3 Συνδέσεις με Εξωτερικά Χαλύβδινα Ελάσματα

Σε συνδέσεις με εξωτερικά χαλύβδινα ελάσματα η πρόσληψη της θερμότητας από τον χάλυβα γίνεται άμεσα και έτσι οι χρόνοι πυραντιστάσεως δεν μπορούν να είναι αξιόλογοι χωρίς την λήψη μέτρων. Συνηθέστερη είναι η χρήση επικαλύψεων από ξύλο ή ξυλόπλακες. Σε αυτήν την περίπτωση για την εκτίμηση του απαιτούμενου πάχους προστασίας και του αντιστοίχου χρόνου πυραντιστάσεως μπορεί να χρησιμοποιείται η Σχέση (6.1) θέτοντας $t_{a,\#}=5$ λεπτά.

4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ / ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Υπενθυμίζεται ότι για επαρκή διαχωριστική λειτουργία πρέπει να ικανοποιούνται τα κριτήρια ακεραιότητας και μόνωσης (E και I) για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τα διαχωριστικά στοιχεία θα πρέπει να παραμένουν ακέραια, δεν πρέπει να αναπτύσσουν υπερβολικές θερμοκρασίες στην μη εκτιθέμενη στην φωτιά παρειά τους, και η ακτινοβολία της θερμότητας από την μη εκτιθέμενη παρειά θα πρέπει να περιορίζεται.

Για την μη ανάπτυξη υπερβολικών θερμοκρασιών στην μη εκτιθέμενη παρειά θα πρέπει για τα διαχωριστικά μέλη να εξασφαλίζεται ότι:

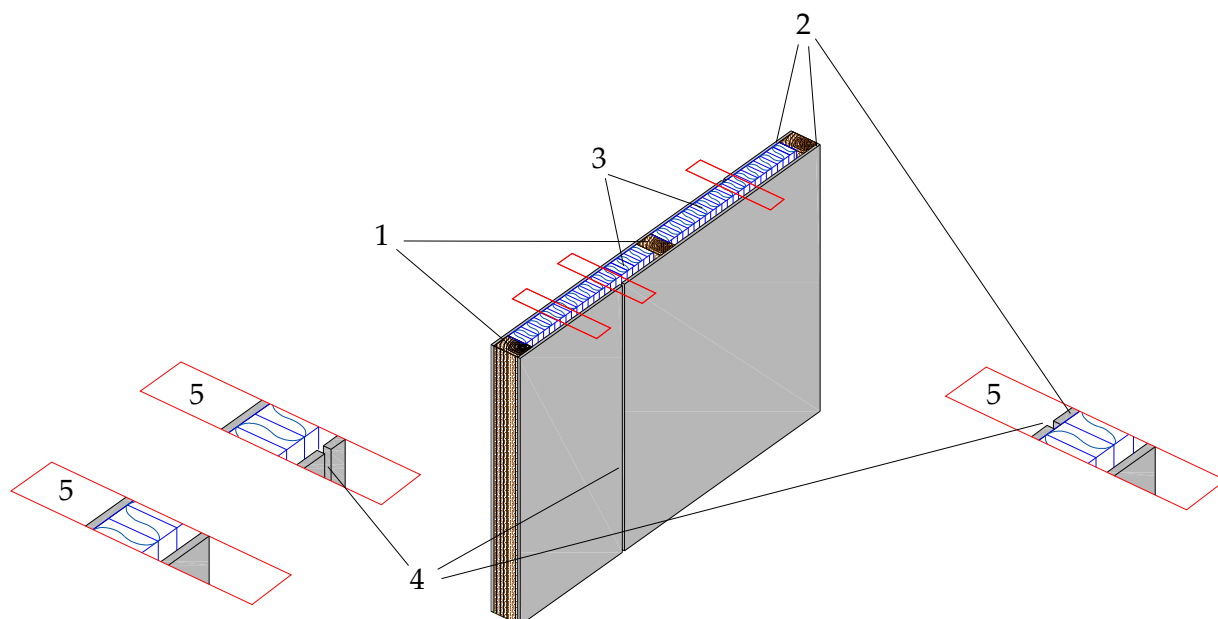
$$t_{ins} \geq t_{req} \quad (E.1)$$

όπου:

t_{ins} είναι ο χρόνος που απαιτείται έως ότου στην μη εκτεθειμένη όψη η θερμοκρασία φτάσει σε μη επιτρεπτά επίπεδα

t_{req} είναι η απαιτούμενη διάρκεια πυραντιστάσεως για την διαχωριστική λειτουργία του δομικού συστήματος (τοιχωμάτων ή πατωμάτων).

Η συνηθέστερη διάταξη που έχει τον χαρακτήρα διαχωριστικού στοιχείου στις ξύλινες κατασκευές (τοίχου ή πατώματος) αποτελείται από ξύλινο σκελετό (ορθοστάτες ή δοκίδες), που καλύπτεται αμφίπλευρα από μία ή δύο στρώσεις επιφανειακών στοιχείων (ξύλοπλακών ή γυψοσανίδων) και τα δημιουργούμενα κενά πληρούνται με μόνωση, όπως εικονίζεται κατωτέρω.



Υπόμνημα:

- 1 μέλος του ξύλινου σκελετού
- 2 επιφανειακό στοιχείο επένδυσης
- 3 μόνωση στα κενά ανάμεσα στον ξύλινο σκελετό
- 4 αρμός επιφανειακού στοιχείου επένδυσης που δεν έχει καλυφθεί εσωτερικά από ορθοστάτη ή δοκίδα ή από εγκάρσιο δευτερεύον στοιχείο
- 5 ενδεχόμενες δίοδοι θερμότητας

Σχήμα 1 – Απεικόνιση συνήθους διαχωριστικού στοιχείου από ξύλινο σκελετό και μία στρώση επιφανειακών στοιχείων σε κάθε όψη, τα κενά του οποίου είναι πεπληρωμένα με μόνωση

Υφίσταται μία μέθοδος υπολογισμού του χρόνου t_{ins} για αυτού του είδους τα διαχωριστικά στοιχεία. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για πυραντιστάσεις σε πρότυπη πυρκαϊά που δεν υπερβαίνουν τα 60 λεπτά. Απαιτείται στην μη-εκτιθέμενη στην φωτιά όψη του δομικού συστήματος να εξασφαλίζεται η στερέωση του επιφανειακού στοιχείου επένδυσης εντός του μη καμένου ξύλου. Οι απαιτήσεις σε σχέση με την ακεραιότητα (κριτήριο E) θεωρείται ότι ικανοποιούνται όπου ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σχετικά με την μόνωση (κριτήριο I) και τα επιφανειακά στοιχεία επένδυσης παραμένουν στερεωμένα στον ξύλινο σκελετό στην μη-εκτεθειμένη όψη. Οι κανόνες ισχύουν για τα ξύλινα μέλη του σκελετού, τις επενδύσεις από ξυλόπλακες σύμφωνα με το EN 13986 και τις γυψοσανίδες τύπου A, F και H σύμφωνα με το EN 520. Για άλλα υλικά, η ακεραιότητα πρέπει να προσδιορίζεται βάσει δοκιμών.

4.1 Απλοποιητική Μέθοδος

Με την ισχύουσα μέθοδο θεωρείται ότι ο χρόνος που απαιτείται έως ότου στην μη εκτιθέμενη παρεια αναπτυχθούν υπερβολικές θερμοκρασίες, διαμορφώνεται από τα επί μέρους υλικά που απαρτίζουν τις στρώσεις του διαχωριστικού στοιχείου και το πάχος τους, από την θέση καθενός στο διαχωριστικό στοιχείο και από την ενδεχόμενη ύπαρξη αρμών.

Η μέθοδος υπολογίζει την τιμή του t_{ins} ως το άθροισμα των συνεισφορών των επί μέρους στρώσεων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, σύμφωνα με την σχέση:

$$t_{ins} = \sum_i t_{ins,0,i} k_{pos} k_j \quad (E.2)$$

όπου:

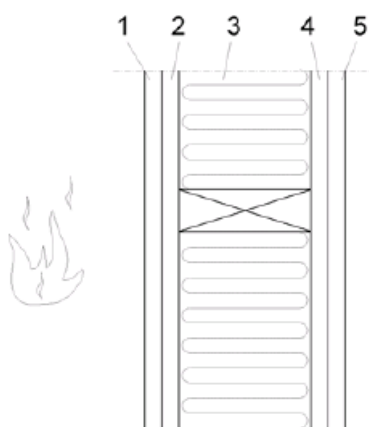
$t_{ins,0,i}$ είναι η βασική τιμή της μονωτικής ικανότητας της στρώσεως i σε λεπτά, που λαμβάνει υπ' όψιν τις ιδιότητες του επί μέρους υλικού,

k_{pos} είναι ένας συντελεστής θέσεως,

k_j είναι ένας συντελεστής αρμού,

οι τιμές των οποίων προσδιορίζονται παρακάτω. [Όπου η διαχωριστική κατασκευή αποτελείται από μία μόνο στρώση, π.χ. ένας τοίχος χωρίς μόνωση με μία μόνο στρώση επιφανειακών στοιχείων επένδυσης στην μία όψη, μπορεί να χρησιμοποιείται η μέθοδος και ο t_{ins} θα πρέπει να λαμβάνεται ως η βασική τιμή της μόνωσης της στρώσεως αυτής και, όπου υφίσταται κάτι σχετικό, πολλαπλασιασμένη με k_j .]

Ο σχετικός αριθμός των στρώσεων για την περίπτωση δύο στρώσεων επιφανειακών στοιχείων προσδιορίζεται στο Σχήμα E2.



Σχήμα E2 – Προσδιορισμός της αρίθμησης των στρώσεων

Οι βασικές τιμές μονώσεως των επιφανειακών στοιχείων επένδυσης, που έχουν προκύψει με βάση πειραματικά δεδομένα, είναι ανάλογες με το πάχος τους και μπορούν να προσδιορίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

- για αντικολλητή ξυλεία με χαρακτηριστική πυκνότητα μεγαλύτερη ή ίση των 450 kg/m^3

$$t_{\text{ins},0} = 0,95 h_p \quad (\text{E.3})$$

- για μοριόπλακες και ινόπλακες με χαρακτηριστική πυκνότητα μεγαλύτερη ή ίση των 600 kg/m^3

$$t_{\text{ins},0} = 1,1 h_p \quad (\text{E.4})$$

- για σανίδωμα με χαρακτηριστική πυκνότητα μεγαλύτερη ή ίση των 400 kg/m^3

$$t_{\text{ins},0} = 0,5 h_p \quad (\text{E.5})$$

- για γυψοσανίδες τύπου A, F, R ή H

$$t_{\text{ins},0} = 1,4 h_p \quad (\text{E.6})$$

όπου:

$t_{\text{ins},0}$ είναι η βασική τιμή της μονώσεως, σε λεπτά,

h_p είναι το πάχος του επιφανειακού στοιχείου επένδυσης σε χιλιοστά.

Όπου τα κενά ανάμεσα στον ξύλινο σκελετό παραμένουν κενά (χωρίς προσθήκη μονώσεως) με μέγεθος από 45 έως 200 mm, η βασική τιμή μονώσεως θα λαμβάνεται ως $t_{\text{ins},0}=5,0$ λεπτά. Όπου είναι μερικώς ή πλήρως πεπληρωμένα με μόνωση από ίνες γυαλιού ή από ορυκτές ίνες, οι βασικές τιμές της μονώσεως, θα πρέπει να προσδιορίζονται ως εξής:

- για στοιχεία μόνωσης από ορυκτές ίνες

$$t_{\text{ins},0,i} = 0,2 h_{\text{ins}} k_{\text{dens}} \quad (\text{E.7})$$

- για στοιχεία μόνωσης από ίνες γυαλιού

$$t_{\text{ins},0,i} = 0,1 h_{\text{ins}} k_{\text{dens}} \quad (\text{E.8})$$

όπου:

$t_{\text{ins},0}$ είναι η βασική τιμή της μονώσεως, σε λεπτά

h_{ins} είναι το πάχος της μονώσεως σε χιλιοστά

k_{dens} δίδεται στον Πίνακα E2.

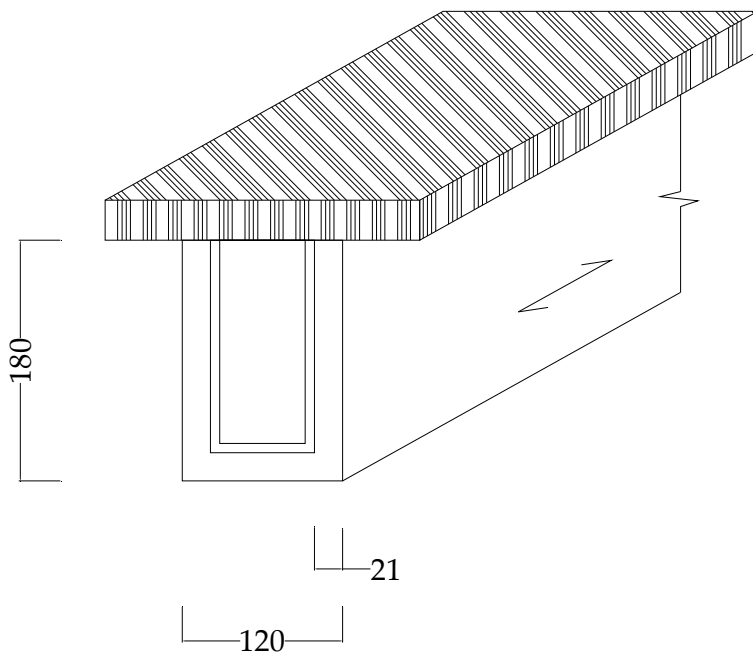
Πίνακας E2 – Τιμές του k_{dens} για μονωτικά υλικά κοιλοτήτων

Υλικό κοιλοτήτας	Πυκνότητα kg/m^3	k_{dens}^{α}
στοιχεία	15	0,9
μόνωσης από	20	1,0
ίνες γυαλιού	26	1,2
στοιχεία	26	1,0
μόνωσης από	50	1,1
ορυκτές ίνες		
α Για ενδιάμεσες πυκνότητες μπορεί να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή		

Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζονται ο συντελεστής θέσεως k_{pos} και ο συντελεστής αρμού k_j χρησιμοποιώντας τους αντίστοιχους πίνακες που βρίσκονται στο συγκεκριμένο παράρτημα του Ευρωκώδικα.

Παράδειγμα 1 Δοκός

Το ζητούμενο είναι να εκτιμηθεί η αντοχή σε κάμψη μιάς δοκού δαστάσεων 120*180 από ξυλεία κατηγορίας C14 ($f_{m,k} = 14 \text{ MPa}$, $\rho_k = 290 \text{ kg/m}^3$) μετά από έκθεση κατά τις τρεις πλευρές της σε πρότυπη πυρκαϊά για διάστημα 30 λεπτών. Θεωρείται ότι υφίσταται εξασφάλιση έναντι λυγισμού.



Μετά το χρονικό διάστημα $t = 30 \text{ min}$ υπολογίζουμε το θεωρητικό βάθος απανθράκωσης:

$$d_{\text{char},n} = \beta_n t \quad (3.2)$$

όπου το β_n λαμβάνεται από τον Πίνακα 3.1, (φυσική ξυλεία με χαρακτηριστική πυκνότητα 290 kg/m^3), ίσο με $0,80 \text{ mm/min}$, δηλαδή:

$$d_{\text{char},n} = \dots = 24 \text{ mm.}$$

Υπολογίζουμε το δρων βάθος απανθράκωσης, λαμβάνοντας τον όρο k_{ado} ίσο με 7 mm :

$$\begin{aligned} d_{\text{ef}} &= d_{\text{char},n} + k_{\text{ado}} \\ d_{\text{ef}} &= \dots = 31 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Υπολογίζουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της απομειωμένης διατομής:

$$\begin{aligned} b_{\text{απ}} &= b - 2 \cdot d_{\text{ef}} = \dots = 58 \text{ mm} \\ h_{\text{απ}} &= h - d_{\text{ef}} = \dots = 149 \text{ mm} \end{aligned}$$

την ροπή αντιστάσεως για την απομειωμένη διατομή:

$$W = b \cdot h^2 / 6 = \dots = 214.610 \text{ mm}^3.$$

Υπολογίζουμε την αντοχή σχεδιασμού σε συνθήκες πυρκαϊάς

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{m,20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (2.1)$$

έχοντας υπ' όψιν ότι:

$$f_{m,20} = k_{fi} * f_{m,k} = \dots = 17,5 \text{ MPa} \quad (2.4)$$

$$k_{mod,fi} = 1,00$$

$$\gamma_{M,fi} = 1,00.$$

Τελικώς:

$$f_{m,d,fi} = 17,5 \text{ MPa}$$

οπότε η αντοχή σε κάμψη είναι

$$M = W * f_{m,d,fi} = \dots = 3,76 \text{ KNm.}-$$