

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	3
----------	---

Κεφάλαιο 1 Πυρκαγιά και επίδρασή της σε κατασκευές

1.1 Εισαγωγή	5
1.2 Επιπτώσεις πυρκαγιάς	5
1.3 Ανάπτυξη μίας φωτιάς	6
1.4 Σενάρια εξάπλωσης πυρκαγιάς σε κτίρια	7
1.5 Κατάταξη πυρκαγιάς σύμφωνα με τη φύση του καυσίμου	8
1.6 Μέθοδοι πυροπροστασίας δομημάτων	8
1.6.1 Παθητική πυροπροστασία	8
1.6.2 Ενεργητική πυροπροστασία	9
1.7 Όροι και ορισμοί	9

Κεφάλαιο 2 Αλουμίνιο και προϊόντα του

2.1 Εισαγωγή	11
2.2 Παραγωγή προϊόντων αλουμινίου	11
2.3 Γενικά χαρακτηριστικά υλικού	11
2.4 Προϊόντα αλουμινίου	13
2.5 Ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου	13
2.6 Κατάταξη κραμάτων βάσει της διαδικασίας παραγωγής (και ονοματολογία)	14
2.6.1 Κράματα χυτών (castings)	14
2.6.2 Κράματα αλουμινίου για μηχανική πλαστική διαμόρφωση (wrought products)	15
2.7 Κατάταξη κραμάτων αλουμινίου με βάση τη χημική σύσταση (και ονοματολογία)	17
2.8 Κατεργασίες κραμάτων αλουμινίου	19

Κεφάλαιο 3 Κανονιστικό πλαίσιο σχεδιασμού φερουσών κατασκευών από αλουμίνιο

3.1 Ιστορικό Ευρωκωδίκων	25
3.2 Στοιχεία από τον Ευρωκώδικα 9 –Μέρος 1-Γενικές διατάξεις	25
3.2.1 Μηχανικά χαρακτηριστικά κραμάτων σε συνήθεις θερμοκρασίες	26
3.2.2 Κατάταξη διατομών και καθορισμός κλάσης	27
3.2.3 Υπολογισμός δομικών στοιχείων σε θλίψη	29
3.2.4 Υπολογισμός δομικών στοιχείων σε κάμψη	30
3.3 Στοιχεία από τον Ευρωκώδικα 9-Μέρος 2- Σχεδιασμός σε κατάσταση πυρκαγιάς	31
3.3.1 Βασικά στοιχεία για τον υπολογισμό	32
3.3.2 Υπολογισμός θερμοκρασίας του μετάλλου	33
3.3.3 Μέθοδοι ελέγχου	39

Κεφάλαιο 4
Πυροπροστατευτικά υλικά και μέτρα σχεδιασμού για πυρασφάλεια

4.1 Απαίτηση πυραντίστασης βιομηχανικών κτιρίων	45
4.2 Βασικά στοιχεία πυροπροστασίας	45
4.3 Πυροπροστατευτική μόνωση	45
4.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά	45
4.3.2 Πυράντοχες πλάκες επένδυσης	47
4.3.3 Πυροπροστατευτικές επιστρώσεις (χρώματα πυροπροστασίας)	49
4.3.4 Άλλες μέθοδοι πυροπροστασίας	52

Κεφάλαιο 5
Παραδείγματα εφαρμογής σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 9-Μέρος 2

5.1 Υποσύλωμα χωρίς πυροπροστατευτική μόνωση	55
5.2 Υποσύλωμα μονωμένο με πλάκες βερμικουλίτη πάχους 70mm	60
5.3 Μονωμένη δοκός με ορυκτόμαλλο πυκνότητας 120kg/m ³	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	67

Εισαγωγή

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη φερόντων στοιχείων από αλουμίνιο διέλασης σε κατάσταση πυρκαγιάς, σύμφωνα με το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα αλλά και τις αρχές της πυρομηχανικής. Επίσης παρουσιάστηκαν διάφορα υλικά και μέθοδοι πυροπροστασίας και εκτέθηκαν κατασκευαστικές λύσεις, που χρησιμοποιούνται από τον τεχνικό κόσμο.

Η εργασία ολοκληρώνεται σε πέντε κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην επίδραση μιας πυρκαγιάς σε μια κατασκευή καθώς και στις μεθόδους πυροπροστασίας δομημάτων (ενεργητική, παθητική). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην παθητική πυροπροστασία και ειδικότερα στον έλεγχο της εξάπλωσης της πυρκαγιάς μέσω κατάλληλης μελέτης, διαστασιολόγησης και κατασκευαστικής διαμόρφωσης των φερόντων δομικών στοιχείων.

Εν συνεχεία, στο δεύτερο κεφάλαιο εκτίθενται ορισμένα στοιχεία για τη χρήση του αλουμινίου σε φέρουσες κατασκευές. Εκτίθενται στοιχεία για την παραγωγική διαδικασία των κραμάτων αλουμινίου, τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των διαφόρων κραμάτων ανάλογα με τη χημική τους σύνθεση αλλά και τις θερμομηχανικές επεξεργασίες που αυτά υφίστανται για την βελτίωση των μηχανικών τους χαρακτηριστικών

Στο τρίτο κεφαλαίο εκτίθενται συνοπτικά στοιχεία για τη μελέτη κατασκευών από κράματα αλουμινίου αρχικά σε συνθήκες περιβάλλοντος σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 9-Μέρος 1 και εν συνεχεία για το σχεδιασμό κατασκευών από αλουμίνιο σε κατάσταση πυρκαγιάς σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 9-Μέρος 2. Εκτίθενται συνοπτικά οι μέθοδοι ελέγχου στοιχείων από αλουμίνιο σε κατάσταση πυρκαγιάς για διάφορες περιπτώσεις φόρτισης καθώς και οι μέθοδοι υπολογισμού της θερμοκρασίας του μετάλλου σύμφωνα με τις αρχές της πυρομηχανικής.

Στο τέταρτο κεφαλαίο γίνεται αναφορά στα πυροπροστατευτικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε δομικά στοιχεία από κράματα αλουμινίου, εκτίθενται οι σχετικές κατασκευαστικές λύσεις και αναφέρονται οι απαιτήσεις για πυροπροστασία των βιομηχανικών κτιρίων.

Στο τελευταίο κεφαλαίο εκτίθενται αναλυτικά τρία παραδείγματα υπολογισμού δομικών στοιχείων από αλουμίνιο σε συνήθεις συνθήκες και σε κατάσταση πυρκαγιάς σύμφωνα με αντίστοιχα εδάφια των κανονισμών. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται η μελέτη ενός κατακόρυφου στοιχείου χωρίς πυροπροστατευτική μόνωση, έπειτα με μόνωση με πλάκες βερμικουλίτη και τέλος η μελέτη μιας μονωμένης δοκού με ορυκτόμαλλο.

Κεφάλαιο 1

Πυρκαγιά και επίδρασή της σε κατασκευές

1.1 Εισαγωγή

Φωτιά ή **πυρ** γενικά ορίζεται ως η ταυτόχρονη ανάπτυξη θερμοκρασίας και φλόγας. Ο όρος πυρκαγιά είναι σύνθετος και προέρχεται από τις λέξεις πυρ και καίω και σημαίνει την, από φωτιά (πυρ), φθορά δηλαδή την καταστροφή (καύση) και είναι γενικότερος της έννοιας της φωτιάς, συχνά όμως χρησιμοποιείται με την ίδια σημασία.

Μολονότι η φωτιά αποτελεί ουσιαστικό συντελεστή της τεχνολογικής και εκπολιτιστικής ανάπτυξης του ανθρώπου συχνά έχει και δυσάρεστες επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο περιβάλλον του, τις οποίες ο άνθρωπος πρέπει να αποφύγει ή να ελαχιστοποιήσει. Αυτό επιτυγχάνεται τόσο με τον κατάλληλο σχεδιασμό (ενταγμένο σε ένα κατάλληλο κανονιστικό πλαίσιο), όσο και με την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων και μέτρων πυροπροστασίας. Ειδικότερα, όσο αφορά στα βιομηχανικά κτίρια, συχνά λόγω των επικίνδυνων εργασιών, που επιτελούνται σε αυτά (ύπαρξη εύφλεκτων υλικών, ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών, λειτουργία ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, κτλ.) δημιουργούνται συχνά οι ιδανικές συνθήκες για την έναρξη και ανάπτυξη μίας πυρκαγιάς με τεράστιες οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες. Για το λόγο αυτό, ζωτικής σημασίας για βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι η λήψη μέτρων για την πρόληψη και την ανάσχεση μίας πυρκαγιάς αλλά και την προστασία των ανθρώπων από τα καπναέρια, τα οποία αποτελούνται συνήθως από ορατά κατάλοιπα της καύσης (αιωρούμενα σωματίδια άνθρακα και πίσσας, ο καπνός) και από διάφορες χημικές ενώσεις.

1.2 Επιπτώσεις πυρκαγιάς

Ειδικά, όσο αφορά στον **πληθυσμό ενός κτιρίου**, οι επιπτώσεις μίας πυρκαγιάς μπορεί να είναι άμεσες λόγω επαφής ενώ υπάρχει και σοβαρός κίνδυνος ανάφλεξης των ρούχων. Παράλληλα, η υψηλή θερμοκρασία προκαλεί αφυδάτωση (εξάτμιση του νερού που είναι κύριο στοιχείο του ανθρώπινου σώματος) και εκτεταμένα εγκαύματα, που μπορεί να οδηγήσουν στο απώλεια ανθρώπινης ζωής. Επίσης, επειδή κατά τη διάρκεια μίας πυρκαγιάς καταναλώνεται οξυγόνο, οπότε μπορεί να προκληθεί στον άνθρωπο μία αίσθηση πνιγμού και συμπτώματα ασφυξίας, τα οποία δημιουργούν προβλήματα στη σωστή εκτίμηση μίας επικίνδυνης κατάστασης και μειώνουν την ικανότητα λήψης σωστών αποφάσεων συχνά με αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό του ανθρώπου στον επικίνδυνο χώρο. Με την εξέλιξη της πυρκαγιάς και εφόσον οι θερμοκρασίες διατηρούνται σε υψηλά επίπεδα αρχίζουν να υποβαθμίζονται ή καταστρέφονται τα φέροντα στοιχεία των κτιρίων και μπορεί να προκληθούν καταρρεύσεις δομικών στοιχείων με σοβαρές συνέπειες για τους ανθρώπους που βρίσκονται εντός του κτιρίου, ενώ σε περίπτωση έκρηξης, το ωστικό κύμα και τα θραύσματα προξενούν τραυματισμούς.

Σημαντικές και ίσως καθοριστικές για τον άνθρωπο είναι οι επιπτώσεις από την επίδραση του καπνού και των καπναερίων, οι οποίες μπορεί να οφείλονται στην εναπόθεση αιθάλης στους πνεύμονες, στην παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα, η εισπνοή του οποίου ακόμη και για λίγα λεπτά της ώρας είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη και μπορεί να προκαλέσει ανθρώπινες

απώλειες, όπως και στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο μπορεί να προκαλέσει ασφυξία, επειδή εκτοπίζει το οξυγόνο και μειώνει την ποσοστιαία συμμετοχή του στο μίγμα της αναπνοής, κτλ. Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί, ότι οι περισσότερες ανθρώπινες απώλειες οφείλονται σε εισπνοή τοξικών αναθυμιάσεων και καπνού και όχι σε εγκαύματα από επαφή με τη φωτιά

Όσο αφορά στις υλικές ζημιές εξαιτίας μιας πυρκαγιάς, το ολικό κόστος μιας πυρκαγιάς μπορεί να υπολογισθεί μόνο όταν προσδιορισθούν όλες οι απώλειες λόγω φωτιάς αλλά και οι δαπάνες για πρόληψη ή/και καταστολή της (αποζημιώσεις, πυρασφαλίσεις ενδεχομένως, κτλ.) Για την «κοστολόγηση» πρέπει να ληφθεί υπόψη, ότι οι απώλειες συνθέτονται από άμεσες και έμμεσες ζημιές και ότι οι δαπάνες διαμορφώνονται από τα έξοδα διατήρησης ενός ικανοποιητικού επίπεδου ελέγχου της φωτιάς αλλά και το κόστος επανάκτησης των απωλειών.

Πιο συγκεκριμένα, το κόστος μίας πυρκαγιάς πρέπει να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:

- Καταστροφές υλικών αγαθών, του εξοπλισμού.
- Καταστροφή των φερόντων στοιχείων (υποστυλώματα, δοκοί) λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές αστοχίες ή ολική κατάρρευση του κτιρίου.
- Καταστροφές από μετάδοση ή επέκταση της πυρκαγιάς σε γειτονικούς χώρους και ενδεχόμενες αποζημιώσεις.
- Έμμεσες ζημιές από τη μερική ή ολική, προσωρινή ή οριστική διακοπή χρήσης της κατασκευής.
- Κόστος ασφάλειας έναντι φωτιάς.
- Κόστος συντήρησης και λειτουργίας ενεργητικών μέτρων πυροπροστασίας.

1.3 Ανάπτυξη μίας φωτιάς

Οι φωτιές διακρίνονται σε φωτιές σε ανοικτό ή κλειστό χώρο. Ακολούθως θα δοθούν συνοπτικά στοιχεία ανάπτυξης μίας φωτιάς σε κλειστό χώρο, όπου συνήθως γίνεται η έναρξη μίας φωτιάς σε μία βιομηχανική εγκατάσταση.

Γενικά τα χαρακτηριστικά μίας φωτιάς σε κλειστό χώρο δεν παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις από αυτά μίας φωτιάς σε ανοικτό χώρο κατά τα πρώτα στάδια της εκδήλωσης της, εντούτοις επέρχονται σημαντικές αλλαγές στο φαινόμενο, καθώς περνάμε από το αρχικό στάδιο ανάφλεξης στη φάση ανάπτυξης. Τα θερμά προϊόντα της καύσης (καυσαέρια και φλεγόμενα σωματίδια) συγκεντρώνονται κάτω από την οροφή του δομήματος, είτε αναφλέγοντας καύσιμα υλικά της οροφής, είτε ακτινοβολώντας θερμότητα προς τα υποκείμενα μη αναφλεγέντα υλικά τα οποία και θερμαίνονται. Εν συνεχεία, όταν αυτά θερμανθούν αρκετά, αναφλέγονται απότομα όλα μαζί με αποτέλεσμα να έχουμε την λεγόμενη καθολική ανάφλεξη .

Η **διάρκεια** της πλήρως αναπτυγμένης πυρκαγιάς εξαρτάται από την διαθέσιμη ποσότητα οξυγόνου και από τη διαθέσιμη ποσότητα καύσιμης ύλης. Αν ο χώρος παραμείνει κλειστός, καθώς μειώνεται το οξυγόνο επιβραδύνεται και ο ρυθμός καύσης, η οποία μετατρέπεται σε ατελή καύση, σχηματίζοντας έτσι προϊόντα πολύ τοξικά και επικίνδυνα.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της φωτιάς σε κλειστό χώρο είναι η **αύξηση της πίεσης** λόγω των θερμών καπναερίων και η δημιουργία υπερπίεσης σε

σχέση με τον εξωτερικό χώρο, κυρίως στα ανώτερα στρώματα του κτιρίου. Αυτό οδηγεί σε ροή θερμού αέρα, που διαφεύγει από τα ανοίγματα, χαραμάδες, κτλ., ενώ ταυτόχρονα κρύος αέρας από το περιβάλλον εισχωρεί στο κτίριο από διάφορα ανοίγματα «προσφέροντας» περισσότερο οξυγόνο για την καύση.

Η πιο σημαντική φάση, από πλευράς επιπτώσεων, τόσο για το ίδιο το κτίριο στο οποίο εκδηλώθηκε η φωτιά, όσο και για τον πληθυσμό του κτιρίου αλλά επίσης και για τα διπλανά κτίρια στα οποία μπορεί να μεταδοθεί η πυρκαγιά, είναι η φάση της πλήρως αναπτυσσόμενης φωτιάς. Τα φαινόμενα κατά τη φάση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονα. Αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες και έντονη ακτινοβολία, παράγεται μεγάλος όγκος καυσαερίων, ενώ υπάρχει δυσκολία μετακίνησης για διαφυγή ή για επέμβαση. Παράλληλα, εμφανίζονται επιπτώσεις στη δομική ακεραιότητα του κτιρίου, υπάρχει η πιθανότητα εξάπλωσης της φωτιάς σε γειτονικούς χώρους με ανάφλεξη υλικών στην απρόσβλητη, από τη φωτιά, πλευρά είτε λόγω υπερβολικής θέρμανσης είτε λόγω ύπαρξης ευθερμαγωγών υλικών, που συνεχίζονται σε διπλανούς χώρους, είτε μέσω διείδυσης φλογών και μετάδοσης ακτινοβολίας από ανοίγματα ή λόγω καταρρεύσεων διαχωριστικών στοιχείων.

1.4 Σενάρια εξάπλωσης πυρκαγιάς σε κτίρια

Στις πυρκαγιές (βιομηχανικών ή όχι) δομικών κατασκευών διακρίνονται οι τρεις ακόλουθες περιπτώσεις εξέλιξης μίας πυρκαγιάς:

- ένα θεωρούμενο σύστημα (κτίριο) να γίνει «κόμπος φωτιάς» μεταφέροντας τη φωτιά σε άλλο σύστημα (κτίριο),
- το θεωρούμενο κτίριο να αποτελέσει «δέκτη φωτιάς», λόγω πυρκαγιάς σε άλλες κατασκευές και
- να προκληθεί πυρκαγιά μέσα σε κτίριο και να περιοριστεί μέσα σε αυτό (χωρίς αυτό να γίνει «πομπός φωτιάς»)·(εάν υπάρξει τέτοια εξέλιξη τότε η εξάπλωση της πυρκαγιάς εμπίπτει σε εκείνη της 1^{ης} περίπτωσης.)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ως **δομικές βιομηχανικές κατασκευές** νοούνται τα κτίρια των βιομηχανιών (κύριοι χώροι: χώροι κατεργασίας, κεντρικοί σταθμοί παραγωγής, αποθήκες κτλ., δευτερεύοντες χώροι, όπως θυρωρεία, λουτρά, εστιατόρια κτλ., διάφορες εγκαταστάσεις, όπως εγκαταστάσεις αερισμού, απορρόφησης, κλιματιστικές κτλ.) και οι ειδικές κατασκευές (δεξαμενές αερίων, υγρών, στερεών/-silos, κάμινοι/φούρνοι, θεμέλια μηχανών, καπνοδόχοι, κτλ.).

Καθώς η δραστηριότητα των ανθρώπων, εκδηλώνεται και αναπτύσσεται τόσο εντός των κτιρίων όσο και εκτός αυτού, η πυρκαγιά σε ένα κτίριο μπορεί να προσβάλει και τον άκτιστο χώρο. Αλλά και αντίστροφα είναι δυνατή η μετάβαση πυρκαγιάς από μη δομημένο χώρο (π.χ. δάσος) σε δομημένο χώρο.

Στην περίπτωση, ειδικά, μετάδοσης πυρκαγιάς μεταξύ κτιρίων διακρίνουμε μετάδοση πυρκαγιάς:

- α) από υψηλότερο κτίριο σε χαμηλότερο
- β) μεταξύ ισοϋψών κτιρίων
- γ) από χαμηλότερο κτίριο σε υψηλότερο

Για κτίρια που δεν είναι σε επαφή, στις δύο πρώτες περιπτώσεις η εξάπλωση της πυρκαγιάς γίνεται κυρίως με ακτινοβολία και, σε μεγάλο βαθμό, κατά την οριζόντια έννοια- στην τρίτη περίπτωση, παράλληλα με την ακτινοβολία αυτή, μεγάλη είναι η συνεισφορά της επιστέγασης του χαμηλού κτιρίου.

1.5 Κατάταξη πυρκαγιάς σύμφωνα με τη φύση του καυσίμου

Οι πυρκαγιές, ανάλογα με το είδος του καυσίμου κατηγοριοποιούνται σε πέντε κατηγορίες.

- 1^η Κατηγορία
Σε αυτή περιλαμβάνονται οι πυρκαγιές των κοινών στερεών καυσίμων (ξύλου, χαρτιού, υφασμάτων κτλ.).
- 2^η Κατηγορία
Σε αυτή περιλαμβάνονται οι πυρκαγιές των εύφλεκτων υγρών (πετρελαιοειδών, χρωμάτων, υγρών καθαρισμού, κτλ.).
- 3^η Κατηγορία
Σε αυτή περιλαμβάνονται οι πυρκαγιές που προέρχονται από αέρια καύσιμα.
- 4^η Κατηγορία
Σε αυτή περιλαμβάνονται οι πυρκαγιές που προέρχονται από μέταλλα.
- 5^η Κατηγορία
Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται πυρκαγιές από καύσιμα των παραπάνω κατηγοριών όταν, άσχετα με το αίτιο της πυρκαγιάς, υπάρχουν στις εστίες της πυρκαγιάς ή πολύ κοντά σε αυτές, ηλεκτρικές εγκαταστάσεις υπό ηλεκτρική τάση.

1.6 Μέθοδοι πυροπροστασίας δομημάτων

Κατά τη σχεδίαση ενός κτιρίου από τους μελετητές (αρχιτέκτονα, πολιτικό, μηχανολόγο, τοπογράφο μηχανικό) μεταξύ των άλλων αντιμετωπίζεται και το θέμα της πρόληψης και αντιμετώπισης της πιθανότητας εμφάνισης πυρκαγιάς και μετάδοσής της. Τα μέτρα που λαμβάνονται διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τα παθητικά μέτρα πυρασφάλειας, που αφορούν στην πρόληψη μιας πυρκαγιάς και τα ενεργητικά μέτρα πυροπροστασίας, που αφορούν κυρίως στην καταστολή μιας πυρκαγιάς σε περίπτωση εμφάνισης της.

1.6.1 Παθητική πυροπροστασία

Τα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας αποβλέπουν κυρίως στον έλεγχο της εξάπλωσης της πυρκαγιάς με σκοπό την έγκαιρη εκκένωση του κτιρίου σε πιθανή εκδήλωση της πυρκαγιάς. Τα μέτρα της παθητικής πυροπροστασίας αποτελούν τη δομική πυροπροστασία του κτιρίου και αφορούν κυρίως στο σχεδιασμό και τη μελέτη των δομικών στοιχείων σε κατάσταση πυρκαγιάς σύμφωνα με το σχετικό κανονιστικό πλαίσιο.

Ειδικότερα στα μέτρα της παθητικής πυροπροστασίας περιλαμβάνονται :

- Μέτρα για τη μη εξάπλωση μιας πυρκαγιάς εντός κτιρίου (δημιουργία ανεξάρτητων πυροδιαμερισμάτων, δηλαδή τμήματα κτιρίων ή ολόκληρο κτίριο, που περικλείεται ερμητικά από δομικά στοιχεία με

προκαθορισμένο κατά περίπτωση δείκτη πυραντίστασης, χρήση πυράντοχων θυρών, κτλ.)

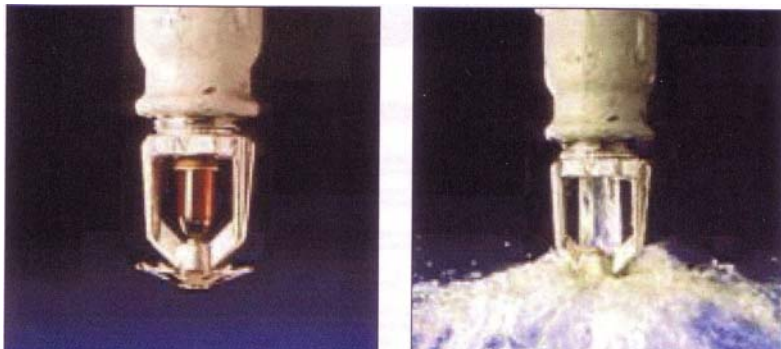
- Μέτρα για την αποφυγή εξάπλωσης της πυρκαγιάς εκτός κτιρίου. (Η πυρκαγιά μπορεί να μεταδοθεί από ένα κτίριο σε γειτονικό, που βρίσκεται σε επαφή διαμέσου του διαχωριστικού τοίχου, ή σε ένα άλλο κοντινό κτίριο με ακτινοβολία από τον αντίστοιχο εξωτερικό τοίχο ή και από τη στέγη ή και προς τη στέγη του γειτονικού κτιρίου) .
- Η επίτευξη επάρκειας των δομικών στοιχείων του κτιρίου στη πυρκαγιά για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να είναι δυνατή η έγκαιρη εκκένωση του (επίτευξη κατάλληλου δείκτη πυραντίστασης, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου.)
- Κατάλληλη σχεδίαση των οδεύσεων διαφυγής και των εξόδων κινδύνου (αφορά στο σχεδιασμό, στις διαστάσεις των οδεύσεως διαφυγής, θυρών, κτλ.)

Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας θα ασχοληθούμε με τη μελέτη μεμονωμένων φερόντων δομικών μελών από κράματα αλουμινίου για την επίτευξη επάρκειας σύμφωνα με το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα.

1.6.2 Ενεργητική πυροπροστασία

Η ενεργητική πυροπροστασία ενός κτιρίου αποβλέπει στην αντιμετώπιση και καταστολή της πυρκαγιάς στην περίπτωση που αυτή έχει ήδη εκδηλωθεί.

Τα προβλεπόμενα, από τον μελετητή, μέτρα αφορούν στον εξοπλισμό και στις προγραμματισμένες ενέργειες, που ενεργοποιούνται μόλις εμφανιστεί και κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς.



Στα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας περιλαμβάνονται:

Σχήμα 1: Τα συστήματα αυτόματου καταιονισμού ανήκουν στα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας

- Τοποθέτηση φορητών μέσων πυρόσβεσης (πυροσβεστήρες).
- Τοποθέτηση συστήματος πυρανίχνευσης.
- Τοποθέτηση χειροκίνητου συστήματος συναγερμού (κομβία συναγερμού).
- Τοποθέτηση μόνιμου υδροδοτικού δικτύου (πυροσβεστικές φωλιές).
- Τοποθέτηση συστήματος καταιονισμού.

1.7 Όροι και ορισμοί

Ακολούθως θα δοθούν ορισμένοι βασικοί ορισμοί, που αφορούν στην πυραντίσταση δομικών στοιχείων, χρησιμοποιούνται ευρέως από τον τεχνικό κόσμο και αναφέρονται στους κανονισμούς.

Η **πυραντίσταση** είναι η ικανότητα μίας κατασκευής να αντιστέκεται για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα που ονομάζεται **δείκτης πυραντίστασης**, στα

θερμικά αποτελέσματα μιας φωτιάς χωρίς απώλεια της ευστάθειας, της ακεραιότητας και της αντίστασης στη δίοδο της θερμότητας.

Η **ακεραιότητα απέναντι στην φωτιά** του δομικού στοιχείου αφορά στην ικανότητα του στοιχείου να εμποδίζει το πέρασμα των φλογών και των θερμών καυσαερίων στη μη εκτεθειμένη πλευρά, στην περίπτωση προσβολής φωτιάς ενός στοιχείου μόνο από την μία πλευρά.

Η **αντίσταση στη δίοδο της θερμότητας** του δομικού στοιχείου αφορά στην παρεμπόδιση της μετάδοσης της θερμότητας δια μέσου της μάζας του στοιχείου ενός προκαθορισμένου ποσού θερμότητας.

Η **ευστάθεια σε φωτιά του δομικού στοιχείου** είναι η ικανότητά του να μην καταρρέει ή να μην ξεπερνά όρια παραμόρφωσης, όταν φορτισμένο με προκαθορισμένο φορτίο, εκτίθεται στην επίδραση της φωτιάς.

Οι δείκτες πυραντίστασης πυρανασχετικών υλικών αλλά και των υπόλοιπων υλικών καθορίζονται βάσει πειραμάτων, που πρέπει να πραγματοποιούν οι κατασκευάστριες εταιρείες σε πιστοποιημένα ινστιτούτα βάσει των κατάλληλων ευρωπαϊκών προδιαγραφών. Οι ελάχιστοι επιτρεπόμενοι δείκτες πυραντίστασης στην Ελλάδα καθορίζονται στο Π/Δ. 71/1988 για κτίρια διαφόρων χρήσεων. Εκτενέστερη αναφορά για τα βιομηχανικά κτίρια θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 2 Αλουμίνιο και προϊόντα του

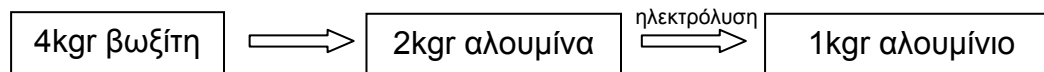
2.1 Εισαγωγή

Το αλουμίνιο αποτελεί το 8% του γήινου φλοιού. Σε αντιδιαστολή όμως με το σίδηρο, το αλουμίνιο δεν βρίσκεται στη φύση υπό τη μορφή απλών χημικών ενώσεων και έτσι η δυσκολία απομόνωσης του μετάλλου καθυστέρησε την χρήση του σε ευρεία κλίμακα. Με κάτι περισσότερο από 100 χρόνια ιστορίας ως βιομηχανοποιημένο προϊόν σήμερα αποτελεί ένα σύγχρονο υλικό με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές στο χώρο των κατασκευών, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της ναυπηγικής και αεροναυπηγικής αλλά και της διαστημικής τεχνολογίας.

2.2 Παραγωγή προϊόντων αλουμινίου

Για πρώτη φορά το αλουμίνιο παρήχθη το 1824 σε ένα εργαστήριο στη Δανία. Η διαδικασία παραγωγής του απεδείχθη εξαιρετικά δαπανηρή διότι απαιτούσε την κατανάλωση μεγάλης ποσότητας ενέργειας με αποτέλεσμα επί 50 ακόμη χρόνια να θεωρείται πολύτιμο μέταλλο πιο περιζήτητο και από το χρυσό. Τελικά το αλουμίνιο παρήχθη βιομηχανικά για πρώτη φορά το 1886 μέσω της ηλεκτρολυτικής διαδικασίας.

Το κυριότερο μετάλλευμά του είναι ο βωξίτης στον οποίο περιέχεται με τη μορφή οξειδίων ή ένυδρων οξειδίων (αλουμίνα). Συνοπτικά η διαδικασία παραγωγής του δεικνύεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Το μέταλλο που παράγεται με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης της αλουμίνας είτε ως καθαρό αλουμίνιο είτε ως κράμα αλουμινίου ονομάζεται πρωτόχυτο αλουμίνιο. Μία άλλη πηγή αλουμινίου πολύ σημαντική από ενεργειακή άποψη, είναι η επανάτηση και η επαναχύτευση κομματιών που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί (*scrap*). Το *scrap* προέρχεται είτε από τη συλλογή διαφόρων κομματιών αλουμινίου που δεν χρησιμοποιούνται πλέον, είτε από τα αποκόμματα που δημιουργούνται κατά την επεξεργασία του αλουμινίου για την παραγωγή προϊόντων (*new scrap*). Το αλουμίνιο που παράγεται από την επανάτηση του *scrap* ονομάζεται δευτερόχυτο αλουμίνιο, το οποίο με κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να ανακτήσει τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του πρωτόχυτου αλουμινίου.

2.3 Γενικά χαρακτηριστικά υλικού

Η βελτίωση των μεθόδων παραγωγής των προϊόντων αλουμινίου, οι μεγάλες δυνατότητες μορφοποίησης των προϊόντων αλουμινίου και διαμόρφωσης της τελικής του επιφάνειας έδωσαν στους μηχανικούς τη δυνατότητα να το χρησιμοποιήσουν σε πολλές εφαρμογές.

Η εξαιρετική **ανθεκτικότητά του σε διάβρωση** και η μεγάλη αντοχή του υλικού σε συνδυασμό με το **μικρό βάρος** (1/3 της πυκνότητα του χάλυβα), επιτρέπει στους μελετητές να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις ειδικών προδιαγραφών, με μείωση των φορτίων στα φέροντα στοιχεία. Η ανακυκλωσιμότητά του επίσης το καθιστά ιδανικό υλικό από ενεργειακής άποψης, σύμφωνα με τις αρχές τις **αιεφορίας**. Συχνά για την προστασία των

δομικών στοιχείων από αλουμίνιο εφαρμόζεται επίσης και η **ανοδίωση**, η οποία είναι μία επιφανειακή επεξεργασία κατά την οποία, το προστατευτικό επιφανειακό στρώμα του οξειδίου αποκτά ακόμα μεγαλύτερο πάχος. Η **ηλεκτροστατική βαφή** επίσης προσφέρει πρόσθετη προστασία στα δομικά στοιχεία αλουμινίου όπως και τη δυνατότητα χρωματισμού τους σε πολλές αποχρώσεις. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι τα στοιχεία αλουμινίου θα πρέπει να προστατεύονται έναντι της ηλεκτροχημικής διάβρωσης, η οποία δημιουργείται όταν δυο διαφορετικά μέταλλα έρθουν σε επαφή. Για την αποτροπή αυτού του φαινομένου πρέπει ως συνδετικά μέσα να χρησιμοποιούνται κοχλίες από γαλβανισμένο η ανοξείδωτο χάλυβα και να προστατεύονται οι επιφάνειες επαφής του αλουμινίου με άλλη μεταλλική επιφάνεια.

Μολονότι η αντοχή του καθαρού αλουμινίου είναι μικρή (περίπου 30N/mm^2), η κραματοποίησή του με άλλα στοιχεία οδήγησε στην παραγωγή προϊόντων με αξιόλογες μηχανικές αντοχές (350N/mm^2 σε δομικές εφαρμογές ή και 800N/mm^2 σε ειδικές εφαρμογές ναυπηγικής.) Έτσι προκύπτει, ότι οι μηχανικές αντοχές μερικών κραμάτων αλουμινίου είναι εφάμιλλες και μερικές φορές μεγαλύτερες από αυτές των κοινών χαλύβων. Το εύρος αυτό επιτρέπει την επιλογή του κατάλληλου κράματος ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής.

Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να επισημανθεί ότι όταν αναφερόμαστε στο αλουμίνιο, ουσιαστικά αναφερόμαστε σε κάποιο κράμα του καθώς, όπως αναφέρθηκε, το αλουμίνιο λόγω της μικρής του αντοχής σπάνια χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μηχανικού.

Το μικρό **μέτρο ελαστικότητας** του αλουμινίου (70000N/mm^2), περίπου το $1/3$ του χάλυβα σημαίνει ότι τα αναπτυσσόμενα βέλη κάμψης στα δομικά στοιχεία από αλουμίνιο είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα αυτών του χάλυβα. Για τον ίδιο λόγο τα θλιβόμενα στοιχεία από αλουμίνιο είναι ευεπίφορα σε λογισμό σε σχέση με τα αντίστοιχα του χάλυβα. Όλα αυτά συντείνουν στο γεγονός τα δομικά στοιχεία του αλουμινίου θα πρέπει να σχεδιάζονται διαφορετικά από τα αντίστοιχα του χάλυβα (μεγαλύτερα πάχη στοιχείων, υλικό τοποθετημένο σε μεγάλη απόσταση από το Κ.Β σε σχέση με της αντίστοιχης αντοχής διατομές του χάλυβα.)

Τα περισσότερα κράματα αλουμινίου παρέχουν **καλή συγκολλησιμότητα** με βασικές μεθόδους συγκόλλησης την ηλεκτροσυγκόλληση τόξου με τη χρήση αδρανούς αερίου με η χωρίς ηλεκτρόδιο (MIG, TIG). Μειονέκτημα των κραμάτων που έχουν υποστεί θερμομηχανική επεξεργασία (T4, T5, T6) είναι η απομείωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων έως και 65% σε μια ζώνη πλάτους 1 ίντσας γύρω από τη περιοχή της συγκόλλησης (Ζώνη Επιρροής Θερμότητας-ZEΘ), γεγονός το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό.

Επίσης **σε υψηλές θερμοκρασίες** το αλουμίνιο χάνει γρηγορότερα την αντοχή του από τον χάλυβα (σημείο τήξης 660°C), επομένως είναι απαραίτητη η προστασία των δομικών στοιχείων από αλουμίνιο έναντι πυρκαγιάς, εφόσον κάτι τέτοιο απαιτείται. Ο συντελεστής διαστολής του είναι διπλάσιος του χάλυβα, επομένως η κατασκευή επιβαρύνεται ακόμα περισσότερο σε σχέση με τις αντίστοιχες από χάλυβα, από τις αλλαγές μήκους των δομικών στοιχείων και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας πενταπλάσιος αυτόν του χάλυβα.

Η **κόπωση** επίσης είναι ένας παράγοντας αστοχίας σημαντικός στην περίπτωση των κατασκευών από αλουμίνιο.

2.4 Προϊόντα αλουμινίου

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του αλουμινίου είναι η δυνατότητα εύκολης μορφοποίησής του. Τα κυριότερα προϊόντα του αλουμινίου είναι τα ακόλουθα:

Φύλλα

Επίπεδα προϊόντα έλασης, ορθογωνικής διατομής με πάχος μεγαλύτερο από 0.20mm. Παράγονται σε ευθύγραμμα μήκη ή σε δίσκους με ψαλιδισμένα άκρα (ξακρισμένα) ή πριονισμένα άκρα. Φύλλα με πάχος μεγαλύτερο από 6mm ονομάζονται «χοντρά φύλλα».

Ταινίες

Επίπεδα προϊόντα έλασης ορθογωνικής διατομής με πάχος από 0.2 mm έως 6 mm, τα οποία παράγονται σε ρολούς.

Λεπτά φύλλα

Επίπεδα προϊόντα έλασης πάχους μέχρι 0.6 mm, τα οποία παράγονται σε ρολούς.

Βαμμένα φύλλα

Φύλλα αλουμινίου βαμμένα που κατάλληλα διαμορφωμένα σε λωρίδες χρησιμοποιούνται για επικαλύψεις κτιρίων, για τη κατασκευή ρολών, τεντών τη κάλυψη στεγών, κ.λ.π

Ράβδοι

Προϊόντα διέλασης ή όλκησης με κυρτή διατομή σταθερή σε όλο το μήκος που μπορεί να είναι κυκλική, τετραγωνική, ορθογωνική ή κανονική πολυγωνική. Παράγονται σε ευθύγραμμα μήκη.

Μορφοράβδοι (Προφίλ) πλήρους διατομής

Προϊόντα διέλασης με πλήρη και σταθερή διατομή οποιουδήποτε σχήματος που παράγονται σύμφωνα με σχέδια και μοντέλα και παράγονται σε ευθύγραμμα μήκη

Μορφοράβδοι (προφίλ) σωληνωτής διατομής

Προϊόντα διέλασης ή όλκησης σταθερής σωληνωτής διατομής με οποιαδήποτε εξωτερική μορφή με μία ή περισσότερες εσωτερικές κοιλότητες, τα οποία παράγονται σε ευθύγραμμα μήκη.

Σύρματα

Προϊόντα διέλασης ή όλκησης με πλήρη κυρτή διατομή, σταθερή σε όλο το μήκος της που μπορεί να είναι κυκλική, τετραγωνική, ορθογωνική ή κανονική πολυγωνική, τα οποία παραδίδονται σε στεφάνια ή κουλλούρες.

Σωλήνες

Προϊόντα διέλασης ή όλκησης με σταθερή σωληνωτή διατομή που μπορεί να είναι κυκλική, ελλειπτική, τετραγωνική ή ορθογωνική με σταθερό πάχος τα οποία παραδίνονται είτε σε κουλούρες είτε σε μπομπίνες.

2.5 Ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου

Οι μηχανικές ιδιότητες των προϊόντων του αλουμινίου εξαρτώνται τόσο από την κραματοποίησή του όσο και από τις μηχανικές και θερμικές κατεργασίες που αυτό θα υποστεί μετά την παραγωγή του. Οι φυσικές όμως ιδιότητες του αλουμινίου (Πίνακας 1), δεν μεταβάλλονται με τη χημική σύνθεση του κράματος και οι χρησιμοποιούμενες στους υπολογισμούς αναφέρονται στον

παρακάτω πίνακα όπου παρατίθενται και οι αντίστοιχες τιμές του χάλυβα για σύγκριση.

Πίνακας 1 Φυσικές ιδιότητες αλουμινίου

Φυσικές ιδιότητες	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	ΧΑΛΥΒΑΣ
Πυκνότητα(Kgr/m ³)	2700	7850
Συντελεστής θερμικής διαστολής (°C)	24*10 ⁻⁶	12*10 ⁻⁶
Ειδική θερμότητα (cal/gr)	0.225	0.12
Ηλεκτρική αντίσταση (μΩcm)	2.84	15.5

Πίνακας 2 Μηχανικές ιδιότητες αλουμινίου

Μηχανικές ιδιότητες	ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	ΧΑΛΥΒΑΣ
Μέτρο ελαστικότητας E (N/mm ²)	70000	210000
Μέτρο διάτμησης G (N/mm ²)	27000	81000
Λόγος του Poisson ν	0,3	0,3

Το όριο διαρροής και η αντοχή θραύσης είναι ιδιότητες που μεταβάλλονται σε μεγάλο βαθμό από τη σύσταση και τη θερμική επεξεργασία που υφίστανται τα κράματα αλουμινίου. Το εύρος της τιμής του ορίου θραύσης κυμαίνεται από 70-700 N/mm² για τα διάφορα κράματα αλουμινίου. Αντίστοιχες διακυμάνσεις παρουσιάζει και η πλαστιμότητα σε αντίθεση με το μέτρο ελαστικότητας το οποίο παρουσιάζει μία μικρή διακύμανση στην τιμή του από 68500-72000 N/mm², τιμή όμως σταθερά μικρότερη και περίπου ίση με το 1/3 της αντίστοιχης τιμής για τον χάλυβα.

Το αλουμίνιο και τα κράματά του γενικά υποδιαιρούνται σε δύο κατηγορίες:

Κράματα αλουμινίου για χρήση σε χυτήρια

Η χύτευση είναι μία διαδικασία μορφοποίησης άμορφης μάζας υλικού με ροή τήγματος του υλικού σε καλούπια (τύπους). Η χύτευση γενικά είναι μία φθηνή μέθοδος κατασκευής εξαρτημάτων ή αντικειμένων με μεγάλες διαστάσεις ή σύνθετη μορφή όπου η μηχανική επεξεργασία θα ήταν αδύνατη ή εξαιρετικά δαπανηρή. Η σύσταση του κράματος είναι αποφασιστικής σημασίας για τον αν ένα κράμα είναι χυτεύσιμο ή όχι. Γενικά τα ιδανικότερα κράματα για παραγωγή χυτών αντικειμένων είναι αυτά που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε πυρίτιο.

Κράματα αλουμινίου για μηχανική μεταποίηση (παραγωγή προϊόντων διέλασης, έλασης, κλπ). Αν κάποιο κράμα είναι για μηχανική μεταποίηση καθορίζεται από τη σύστασή του.

2.6 Κατάταξη κραμάτων βάσει της διαδικασίας παραγωγής (και ονοματολογία)

Τα κράματα αλουμινίου βάσει της παραγωγικής τους διαδικασίας διακρίνονται σε κράματα χυτών και σε κράματα για μηχανική μεταποίηση.

2.6.1 Κράματα χυτών (castings)

Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα τα κράματα αλουμινίου συμβολίζονται με πέντε αριθμητικά ψηφία. Το πρώτο ψηφίο προσδιορίζει την ομάδα κραμάτων βάσει του κυριότερου κραματοποιού στοιχείου. Το πέμπτο ψηφίο είναι πάντα 0. Του πενταψηφίου αυτού αριθμού προηγείται συμβολισμός που δείχνει τη χρήση του κράματος (Πίνακας 3).

Πίνακας 3 Κύρια κραματοποιά στοιχεία για τα κράματα χυτών

ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΥΤΩΝ		
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ		ΚΥΡΙΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ
EN AB- EN AC- En AM-	1XXX0	min Al 99%
	2XXX0	Cu
	4XXX0	Si
	5XXX0	Mg
	7XXX0	Zn
	8XXX0	Sn
	9XXX0	μητρικό κράμα

Σημ. A αλουμίνιο
 B χελώνα
 C κράμα για χύτευση
 M μητρικό κράμα

2.6.2 Κράματα αλουμινίου για μηχανική πλαστική διαμόρφωση (wrought products)

Η εφαρμογή του τελικού προϊόντος των κραμάτων αλουμινίου καθορίζει την διαδικασία μηχανικής πλαστικής διαμόρφωσης που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του.

Οι κυριότερες κατεργασίες μηχανικής πλαστικής διαμόρφωσης στις οποίες υποβάλλονται τα κράματα αλουμινίου και ενδιαφέρουν τα έργα μηχανικού είναι οι εξής:

- **Σφυρηλασία** (forging/forgeage)
Κρουστική (impact/par choc)
 Είναι κατεργασία εν θερμώ και επιτυγχάνεται με κρούση επιβαλλόμενη από σφύρες κρούσης.
Συμπιεστική (press/par pression)
 Είναι κατεργασία εν θερμώ και επιτυγχάνεται με πίεση από σφύρες συμπίεσης ή πιεστήρια σφυρηλασίας.
- **Έλαση** (rolling/laminage)
 Είναι μία κατεργασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε εν θερμώ, είτε εν ψυχρώ. Το μέταλλο υπό μορφή πλάκας, πιέζεται μεταξύ στρεφομένων κυλίνδρων για να λάβει το επιθυμητό σχήμα. Τα προϊόντα αυτής της κατεργασίας είναι ελάσματα, φύλλα, ταινίες, μορφοταινίες.
- **Διέλαση** (extrusion/filage)
 Είναι μία κατεργασία εν θερμώ. Το μέταλλο (κυλινδρικό τεμάχιο, κολώνα ή μπιγιέτα) υπό πίεση εμβόλου διέρχεται ρέον δια διακένου μήτρας κατασκευασμένης από σκληρό χάλυβα. Προϊόντα αυτής της κατεργασίας είναι ράβδοι, σωλήνες, μορφοράβδοι (προφίλ).
- **Εξέλαση** (impact extrusion/mandrinage)
 Είναι μία κατεργασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε εν θερμώ, είτε εν ψυχρώ. Η κατεργασία πραγματοποιείται με συμπίεση παχέως δίσκου με εμβόλιση (έμβολο εισερχόμενο εντός του μετάλλου) εντός κοίλης βαθιάς

μήτρας, ώστε τούτο να εξέλθει και διέλθει ρέον μεταξύ του διακένου της μήτρας. Με την κατεργασία αυτή παράγονται κυπελλοειδή προϊόντα.

- **Κοίλανση** (deep drawing/embouticage)
Είναι μία κατεργασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε εν θερμώ, είτε εν ψυχρώ και επιτυγχάνεται με συμπίεση ελάσματος (δίσκου) εντός κοίλης μήτρας δια εμβόλου προς κυπελλοειδή διαμόρφωση. Συνήθως πραγματοποιείται σε διαδοχικές πράξεις με αύξουσα κοιλότητα μήτρας και τα προϊόντα της κατεργασίας είναι κυρίως κυπελλοειδή προϊόντα.
- **Τύπωση**
Ισοπαχής (emposing/matrissage)
Ανισοπαχής (coining/estampage)
Είναι η κατεργασία κατά την οποία έχουμε τη συμπιεστική διαμόρφωση ελάσματος μετάλλου μεταξύ δύο μητρών (κλειστές μήτρες) με μεταβολή του πάχους σε ορισμένα τμήματα (ανισοπαχής) ή χωρίς μεταβολή του πάχους (ισοπαχής). Προϊόντα αυτής της κατεργασίας είναι ελάσματα και πλάκες τυπωμένες με πολύπλοκες επιφάνειες. Η κατεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε εν ψυχρώ, είτε εν θερμώ.
- **Περιώθηση** (spinning/repoussage)
Είναι η κατεργασία κατά την οποία έχουμε τη διαμόρφωση φύλλου μετάλλου, περιστρεφόμενου με ταχύτητα περί τον κάθετο στο επίπεδο του άξονα συμμετρίας, με πίεση πάνω σε αυτό λείου εργαλείου με σκοπό τη δημιουργία σχήματος επιφάνειας.
- **Ολκή**
Επεκτατική (drawing/etirage)
Είναι μία κατεργασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί εν ψυχρώ, όπου το μέταλλο ελκυσμένο διέρχεται δια φιλιέρας. Προϊόντα αυτής της κατεργασίας είναι ράβδοι και σωλήνες.
Συρματοποίηση (wire drawing/trefilage)
Είναι μία κατεργασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί εν ψυχρώ, όπου το μέταλλο ελκυσμένο διέρχεται δια φιλιέρας. Προϊόντα αυτής της κατεργασίας είναι σύρματα.

Μία σημαντική υποδιαίρεση στα κράματα αλουμινίου που παρήχθησαν με μηχανική πλαστική διαμόρφωση έχει σχέση με την ικανότητα τους να υποστούν θερμική επεξεργασία, η οποία μεταβάλλει τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με αυτή τη θεώρηση οι κατηγορίες κραμάτων είναι οι εξής:

- θερμικώς επεξεργαζόμενα κράματα
- μη θερμικώς επεξεργαζόμενα κράματα

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4) δίνονται συνοπτικά χαρακτηριστικά των κραμάτων αλουμινίου και σημειώνεται η ικανότητά τους να υποστούν θερμική κατεργασία. Ο πρώτος αριθμός στο συμβολισμό του κράματος δηλοί το κύριο κραματοποιό στοιχείο.

Πίνακας 4 Κράματα μηχανικής πλαστικής διαμόρφωσης

ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ				
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ		Κύριο κραματοποιό στοιχείο	Σκλήρυνση με μηχανική επεξεργασία	Σκλήρυνση με θερμική κατεργασία
EN AW	1XXX	min 99.00% Al	X	
	3XXX	Mn	X	
	4XXX	Si	X	
	5XXX	Mg	X	
	2XXX	Cu	(X)	X
	6XXX	Mg+Si	(X)	X
	7XXX	Zn	(X)	X
	8XXX	άλλο	(X)	X

2.7 Κατάταξη κραμάτων αλουμινίου με βάση τη χημική σύσταση (και ονοματολογία)

Το αλουμίνιο και τα κράματα αλουμινίου που προορίζονται για μηχανική επεξεργασία (έλαση, διέλαση, σφυρηλασία, κτλ.) καθορίζονται από το ευρωπαϊκά πρότυπα [ΕΛΟΤ EN 573.01] και [ΕΛΟΤ EN 573.02] και χαρακτηρίζονται με βάση τη χημική τους σύσταση σύμφωνα με ένα γενικώς αποδεκτό σύστημα που χρησιμοποιεί τέσσερις αριθμούς. Το πρώτο από τα τέσσερα ψηφία δείχνει την ομάδα κράματος σύμφωνα με το μεγαλύτερο σε ποσοστιαία αναλογία ευρισκόμενο στοιχείο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω τα κράματα αλουμινίου κατατάσσονται στις παρακάτω σειρές:

Κράματα της σειράς 1XXX

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν κράματα τα οποία περιέχουν αλουμίνιο σε πολύ μεγάλο ποσοστό (>99%).

Τα δύο τελευταία ψηφία στο συμβολισμό προσδιορίζουν την ποσοστιαία αναλογία του κράματος σε αλουμίνιο και αντιστοιχούν στο δεκαδικό μέρος της αναλογίας αυτής, π.χ. το κράμα 1005 περιέχει αλουμίνιο σε ποσοστό 99.05%. Για τις υπόλοιπες σειρές τα δύο τελευταία ψηφία δεν έχουν την ίδια σημασία, απλώς χρησιμοποιούνται για να διαφοροποιήσουν τα κράματα μεταξύ τους.

Το δεύτερο ψηφίο για τα κράματα της σειράς 1000 καθορίζει συνήθως τα υπόλοιπα κραματοποιά στοιχεία ή το βαθμό καθαρότητας του κράματος.

Σα υπόλοιπα κράματα το δεύτερο ψηφίο δηλοί ότι το κράμα υπέστη κάποια τροποποίηση σε σχέση με το αρχικό κράμα, το οποίο έχει ως δεύτερο ψηφίο το 0. Οι τροποποιήσεις αυτές αφορούν αλλαγές στη χημική σύσταση ή στην ποσοστιαία αναλογία των κραμάτων μέσα στα όρια που καθορίζονται στο ΕΛΟΤ EN 573.1/4.

Τα κράματα της σειράς 1XXX είναι μαλακά, δεν αναπτύσσουν μεγάλες αντοχές (30N/mm^2) έχουν όμως μεγάλη πλαστιμότητα ($\epsilon_t=30-40\%$) και παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε διαβρωτικές συνθήκες. Με ψυξηλασία είναι δυνατόν να αυξηθεί η αντοχή των κραμάτων αυτών (100N/mm^2), παρουσιάζουν όμως μεγάλη μείωση στην πλαστιμότητα ($\epsilon_t=3-4\%$). Δεν χρησιμοποιούνται ως φέροντα δομικά στοιχεία και οι κύριες χρήσεις τους είναι

σε φύλλα για ψευδοροφές, επιγραφές, πάνελ, Foils, καπάκια, οροφές για αυτοκίνητα, κλπ.

Κράματα της σειράς 2XXX

Τα κράματα που ανήκουν στην κατηγορία αυτή έχουν ως κύριο κραματοποιοί στοιχείο το χαλκό. Είναι αρκετά σκληρά κράματα γι' αυτό δεν έχουν τη δυνατότητα να διελαστούν εκτός και αν χρησιμοποιηθεί κατάλληλη διάταξη με αιχμηρή διαμόρφωση. Επίσης δεν διαθέτουν ικανοποιητική συγκολλησιμότητα. Αναπτύσσουν μεγάλες αντοχές και η κυριότερη χρήση τους είναι στην αεροναυπηγική, όπου κύριος τρόπος σύνδεσης είναι η κοχλίωση.

Κράματα που έχουν υποστεί την θερμική κατεργασία T4 αναπτύσσουν αντοχές όμοιες με του χάλυβα (συμβατικό όριο διαρροής 250 N/mm^2 και όριο θραύσης 400 N/mm^2 με καλή πλαστιμότητα, ενώ κράματα με τη θερμική επεξεργασία T6 αναπτύσσουν ακόμα μεγαλύτερες αντοχές (συμβατικό όριο διαρροής 375 N/mm^2 και όριο θραύσης 450 N/mm^2) με αντίστοιχη όμως μείωση της πλαστιμότητάς τους ($\epsilon_t=10\%$). Αρνητικά χαρακτηριστικά των κραμάτων αυτών είναι η μη διελασιμότητα, ή δύσκολη συγκολλησιμότητα, το υψηλό κόστος παραγωγής και η ελαττωμένη αντοχή τους σε διαβρωτικές συνθήκες. Τα κράματα αυτής της σειράς δεν χρησιμοποιούνται για δομική χρήση.

Κράματα της σειράς 3XXX

Κύριο κραματοποιοί στοιχείο είναι το μαγγάνιο. Αναπτύσσουν αντοχές μεγαλύτερες από αυτές των κραμάτων της σειράς 1XXX, διατηρώντας σε μεγάλο βαθμό την πλαστιμότητα και σε ικανοποιητικό βαθμό την μεγάλη τους αντίσταση σε διαβρωτικές συνθήκες. Κύριες χρήσεις τους είναι σε πάνελ που χρησιμοποιούνται για επικαλύψεις κτιρίων.

Κράματα της σειράς 4XXX

Κύριο κραματοποιοί τους στοιχείο είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο βελτιώνει τις ρεολογικές ιδιότητες έτσι ώστε το ρευστό μέταλλο να καταλαμβάνει όλες τις κοιλότητες του καλουπιού. Για το λόγο αυτό είναι κράματα ιδανικά για χύτευση και γενικά δεν χρησιμοποιούνται στη διέλαση.

Παρουσιάζουν ιδιότητες παρόμοιες με αυτές των κραμάτων της σειράς 3XXX, δεν χρησιμοποιούνται για οικοδομική χρήση λόγω του σκούρου χρωματισμού που αποκτούν κατά την παραγωγή τους. Η χρήση τους περιορίζεται στην κατασκευή συρμάτων ή ως υλικού συγκόλλησης.

Κράματα της σειράς 5XXX

Κύριο κραματοποιοί στοιχείο στα κράματα της σειράς 5000 είναι το μαγνήσιο. Η ύπαρξη του μαγνησίου σε διάφορες αναλογίες (<4.5%) επιτρέπει την παραγωγή κραμάτων με μεγάλη ποικιλία όσο αφορά τις μηχανικές αντοχές τους αλλά και την πλαστιμότητα. Χρησιμοποιούνται σε οικοδομικές χρήσεις με τη μορφή πλάκων και φύλλων, σε κατασκευές στο θαλάσσιο διαβρωτικό περιβάλλον αλλά και στην κατασκευή δεξαμενών για αποθήκευση και μεταφορά. Παρέχουν καλή συγκολλησιμότητα και δεν εμφανίζουν έντονο το φαινόμενο της μείωσης των μηχανικών αντοχών τους στην περιοχή της συγκόλλησης (ΖΕΘ).

Τα κράματα αυτής της σειράς που κυκλοφορούν στο εμπόριο δεν υφίστανται θερμική κατεργασία διότι αυτή είναι εφικτή μόνο στην περίπτωση που η ποσοστιαία αναλογία σε μαγνήσιο είναι μεγαλύτερη του 7.5%. Η ύπαρξη όμως υψηλού ποσοστού μαγνησίου αναιρεί τις αντιδιαβρωτικές ιδιότητες του υλικού. Η διελασιμότητα τους είναι μικρή και είναι ακατάλληλα και την κατασκευή διατομών με πολύ μικρό πάχος.

Κράματα της σειράς 6XXX

Τα κράματα αυτής της σειράς παρουσιάζουν άριστη διελασιμότητα, υφίστανται θερμικές κατεργασίες, γήρανση, «βαφή» για τη βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή προφίλ, μορφοσωληνών και ράβδων. Γενικά αναπτύσσουν ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές (συμβατικό όριο διαρροής $f_{0.2}=250 \text{ N/mm}^2$), καλή ολκιμότητα ($\epsilon_f=10\%$) και καλές αντιδιαβρωτικές ιδιότητες.

Η συγκόλλησή τους είναι εύκολη, παρουσιάζουν όμως έντονο το πρόβλημα της δραστηρικής μείωσης των μηχανικών τους αντοχών στην περιοχή της συγκόλλησης.

Κράματα της σειράς 7XXX

Τα κύρια κραματοποιά στοιχεία είναι το μαγνήσιο και ο ψευδάργυρος, ενώ η ύπαρξη ή όχι του χαλκού στη σύνθεσή τους μεταβάλλει δραστικά τις ιδιότητές τους.

- Με χαλκό

Είναι σκληρά κράματα, δεν μπορούν να διελαστούν, δεν υφίστανται θερμική κατεργασία, δεν συγκολλώνται, αναπτύσσουν μεγάλες αντοχές (συμβατικό όριο διαρροής $f_{0.2}=500 \text{ N/mm}^2$) και δεν είναι ανθεκτικά στις διαβρωτικές συνθήκες.

- Χωρίς χαλκό

Σε αντίθεση με τα πρώτα παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε διαβρωτικές συνθήκες και αναπτύσσουν μέσης τιμής αντοχές ($f_{0.2}=200 \text{ N/mm}^2$) και καλή πλαστιμότητα ($\epsilon=10\%$). Το γεγονός αυτό τα καθιστά χρήσιμα σε εφαρμογές πολιτικού μηχανικού.

Γενικά η διέλαση αυτών των κραμάτων είναι δύσκολη, διότι τέτοια κράματα είναι ιδιαίτερα σκληρά. Η παραγωγή τους απαιτεί τη χρήση υδραυλικών πρεσσών αυξημένων απαιτήσεων, γεγονός που αυξάνει το κόστος παραγωγής. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές εφαρμογές

2.8 Κατεργασίες κραμάτων αλουμινίου

Για τη βελτίωση της μηχανικής αντοχής, την αύξηση της πλαστιμότητας, της σταθερότητας διαστάσεων και χαρακτηριστικών συχνά τα κράματα αλουμινίου υποβάλλονται σε διάφορες κατεργασίες εν ψυχρών ή εν θερμώ. Οι κατεργασίες, στις οποίες έχει υποβληθεί ένα κράμα δηλώνονται και στο συμβολισμό του κράματος, ο οποίος ακολουθεί τις αρχές του ευρωπαϊκού πρότυπου [ΕΛΟΤ EN 515]. Σύμφωνα με αυτό ο αριθμητικός συμβολισμός του κράματος συμπληρώνεται με ένα γράμμα που καταδεικνύει την επεξεργασία στην οποία υποβλήθηκαν.

Οι βασικές καταστάσεις συμβολίζονται με γράμματα. Οι υποδιαίρεσεις αυτών των βασικών καταστάσεων εκφράζονται με έναν ή περισσότερους

χαρακτηριστικούς αριθμούς που αναφέρονται αμέσως μετά το αντίστοιχο γράμμα.

Ο πρώτος χαρακτηριστικός αριθμός που ακολουθεί το γράμμα, αντιστοιχεί σε έναν προσδιορισμένο τύπο μηχανικής ή θερμικής κατεργασίας.

Ο δεύτερος χαρακτηριστικός αριθμός καθορίζει ορισμένους τύπους αυτών των κατεργασιών ή το βαθμό της επιτυγχανόμενης σκληρότητας.

Ο τρίτος χαρακτηριστικός αριθμός είναι κατά κανόνα στη διάθεση του παραγωγού για τον ορισμό ειδικών μεταλλουργικών παραλλαγών ή καταστάσεων παραδόσεως, σε συμφωνία με τα Πρότυπα ποιότητας. Ένας ορισμένος αριθμός από σύμβολα με τρεις χαρακτηριστικούς αριθμούς έχει τυποποιηθεί για να καθορίσει τις σημαντικές παραλλαγές ορισμένων καταστάσεων που χαρακτηρίζονται από σύμβολα με δύο χαρακτηριστικούς αριθμούς.

Οι βασικές καταστάσεις των κραμάτων αλουμινίου ορίζονται ως ακολούθως:

F (*as manufactured*) Βιομηχανικά ακατέργαστο προϊόν

Αυτό το σύμβολο χρησιμοποιείται για προϊόντα που παράγονται με πλαστική παραμόρφωση. Τα κράματα αυτά δεν έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία.

Εξ ορισμού, τα μηχανικά χαρακτηριστικά αυτών των προϊόντων δεν είναι καθορισμένα και υπολογίζονται ανά περίπτωση. Η κατάσταση F δεν περιλαμβάνει υποδιαίρεσεις.

O (*annealed*) Ανόπτηση

Χρησιμοποιείται σε ελατά προϊόντα με σκοπό την επίτευξη υψηλού βαθμού πλαστιμότητας, καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί η επεξεργασία αυτή οδηγεί σε μείωση της μηχανικής αντοχής.

Στα χυτά προϊόντα χρησιμοποιείται για την επίτευξη της σταθερότητας διαστάσεων.

Συμβολίζεται με το γράμμα O ακολουθούμενο από έναν χαρακτηριστικό αριθμό διαφορετικό από το μηδέν, ο οποίος καταδεικνύει το βαθμό ανόπτησης.

Η ανόπτηση δεν ακολουθείται είτε από τάνυση (*straightening*) είτε από επιπέδωση (*flattening*), οι οποίες είναι μηχανικές επεξεργασίες εν ψυχρώ που υφίστανται τα προφίλ αλουμινίου μετά την διαδικασία της διέλασης.

H (*work hardened stage*) Σκλήρυνση από παραμόρφωση, ενδοτράχυνση

Χρησιμοποιείται σε προϊόντα που η αντοχή τους αυξάνεται με ενδοτράχυνση (*non heat treated*) και σε συνδυασμό με ή χωρίς συμπληρωματικές θερμικές κατεργασίες επιτυγχάνεται μείωση της αντοχής με συνακόλουθη αύξηση της σκληρότητας.

Η ενδοτράχυνση ή σκλήρυνση από παραμόρφωση ή εργοσκλήρυνση (*strain hardening*) είναι η διεργασία κατά την οποία η εμφάνιση πλαστικής παραμόρφωσης στο υλικό μετά την επιβολή εξωτερικής φόρτισης οδηγεί σε αύξηση της σκληρότητας του υλικού.

H1 Προϊόντος σκληρυμένο με παραμόρφωση

Αυτό το σύμβολο χρησιμοποιείται σε προϊόντα σκληρυμένα με παραμόρφωση χωρίς μεταγενέστερη θερμική κατεργασία. Ο αριθμός που ακολουθεί αυτό το χαρακτηρισμό καταδεικνύει το βαθμό της παραμόρφωσης.

H2 προϊόν σκληρυμένο με παραμόρφωση και μερικά ανοπτημένο

Αυτό το σύμβολο χρησιμοποιείται για προϊόντα σκληρυμένα με παραμόρφωση ως ένα επίπεδο μηχανικών χαρακτηριστικών ανώτερο από αυτό που επιδιώκεται και των οποίων στη συνέχεια μειώθηκε η αντοχή στο επιθυμητό επίπεδο με μερική ανόπτηση (διατήρηση του κράματος σε κατάλληλη θερμοκρασία)

Ο αριθμός που ακολουθεί αυτό τον χαρακτηρισμό δείχνει το βαθμό σκλήρυνσης που παραμένει αφού στο προϊόν έχει γίνει μερική ανόπτηση.

H3 Προϊόντος σκληρυμένο με παραμόρφωση και σταθεροποιημένο(πλήρως ανοπτημένο)

Αυτό ο συμβολισμός χρησιμοποιείται σε προϊόντα που έχουν σκληρυνθεί και οι μηχανικές τους ιδιότητες έχουν σταθεροποιηθεί (με ανόπτηση) με αποτέλεσμα ελαφρά μείωση του ορίου θραύσης και αύξηση της πλαστικότητας.

Ο αριθμός που ακολουθεί αυτό το χαρακτηρισμό δείχνει το βαθμό σκλήρυνσης πριν από την κατεργασία σταθεροποίησης (πλήρης *ανόπτηση*).

Ο δεύτερος χαρακτηριστικός αριθμός που ακολουθεί το γράμμα H αντιστοιχεί σε ορισμένη βαθμίδα σκληρότητας ενώ συγχρόνως καθορίζει το επίπεδο της ελάχιστης αντοχής την οποία αναπτύσσει το υλικό. Σύμφωνα με την κατάταξη αυτή ο αριθμός 8 αντιστοιχεί στη βαθμίδα σκληρού, το ψηφίο 4 στη βαθμίδα ημίσκληρου, κοκ. Ο αριθμός 9 αντιστοιχεί στη βαθμίδα υπέρσκληρου υλικού.

Ο τρίτος συμπληρωματικός αριθμός καθορίζεται από τον παραγωγό σε συμφωνία όμως με τα πρότυπα ποιότητας. Ο τρίτος όμως αυτός αριθμός σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να αλλοιώσει το φορτίο θραύσης της βαθμίδας σκληρότητας που ορίζεται από το δεύτερο χαρακτηριστικό αριθμό.

Υπάρχουν βέβαια πολλές ενδιαμέσες καταστάσεις και βαθμίδες οι οποίες δίνονται αναλυτικά στο [Κανονισμός ΕΛΟΤ 515, Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου-Συμβατικός χαρακτηρισμός των καταστάσεων], δεν κρίνεται όμως σκόπιμο να εκτεθούν αναλυτικά στην παρούσα εργασία.

W (*tempered nonstabilized stage*) Ασταθές προϊόν που έχει υποβληθεί σε βαφή (ταχεία ψύξη)

Είναι μία ασταθής μεταλλουργική κατάσταση και δεν χρησιμοποιείται συχνά. Το σύμβολο W χρησιμοποιείται σε κράματα στα οποία έχει γίνει στερεή διαλυτοποίηση (*solid solution*) και βαφή (ταχεία ψύξη). Στη συνέχεια ακολουθεί ο αυθόρμητος μετασχηματισμός σε θερμοκρασία περιβάλλοντος σε μη ελεγχόμενες συνθήκες.

Η διεργασία αυτή συνοδεύεται από τη διαδικασία της φυσικής γήρανσης, η διάρκεια της οποίας αναγράφεται μετά από το γράμμα W. Είναι μία κατεργασία η οποία δεν εφαρμόζεται συχνά διότι τα κράματα που προκύπτουν δεν έχουν ελεγχόμενου εύρους μηχανικές ιδιότητες.

Tx (Σκληρυμένο προϊόν με θερμική κατεργασία)

Οι θερμικές κατεργασίες που συμβολίζονται με το γράμμα T είναι συνδυασμοί του συνόλου ή μέρους των ακόλουθων κατεργασιών:

Στερεής διαλυτοποίησης (*solid solution*)

Ταχείας ψύξης, βαφής (*quenching*)

Φυσικής γήρανσης (*natural ageing*)

Τεχνητής γήρανσης (*artificial ageing*)

Συχνά η κατεργασία εν θερμώ των κραμάτων συνοδεύεται και από απότομη ψύξη (*quenching*), η οποία έχει ως σκοπό τη σταθεροποίηση των ιδιοτήτων του κράματος με την απαγωγή των παραμενουσών τάσεων λόγω της θερμικής επεξεργασίας. Ο συμβολισμός της θερμικής επεξεργασίας συνοδεύεται και από ένα αριθμό, ο οποίος καταδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο έγινε η θερμική κατεργασία. Οι θερμικές αυτές κατεργασίες καθορίζονται ακριβώς στο [ΕΛΟΤ EN.515] Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου-Συμβατικός χαρακτηρισμός των καταστάσεων].

Σύμφωνα με τον παραπάνω κανονισμό παρατίθεται η ακόλουθη κατηγοριοποίηση:

T1 Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει ψύξη ύστερα από μορφοποίηση σε υψηλή θερμοκρασία και φυσική γήρανση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Χρησιμοποιείται κυρίως σε προϊόντα στα οποία μετά από μορφοποίηση σε υψηλή θερμοκρασία και ψύξη, δεν έχει γίνει ψυξηλασία ή στα οποία το αποτέλεσμα της ψυξηλασίας κατά την τάνυση ή την επιπέδωση μπορεί να μη βρίσκεται μέσα στα όρια των απαιτούμενων μηχανικών ιδιοτήτων.

T2 Το κράμα μετά από μορφοποίηση σε υψηλή θερμοκρασία, ψυξηλασία και φυσική γήρανση υφίσταται κάποιο είδους ψυξηλασία.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε προϊόντα στα οποία μετά από μορφοποίηση σε υψηλή θερμοκρασία και ψύξη, έχει γίνει ψυξηλασία για να βελτιωθεί η αντοχή τους. Το αποτέλεσμα της ψυξηλασίας (τάνυση ή/και επιπέδωση) λαμβάνεται υπ'όψιν για τον προσδιορισμό των μηχανικών αντοχών του μετάλλου.

T3 Κατά την επεξεργασία αυτή μετά από τη στερεή διαλυτοποίηση του κράματος και τη ψυξηλασία ακολουθεί φυσική γήρανση. Χρησιμοποιείται κυρίως σε προϊόντα στα οποία μετά από στερεή διαλυτοποίηση έχει γίνει ψυξηλασία για να βελτιωθεί η αντοχή τους ή στα οποία το αποτέλεσμα της ψυξηλασίας κατά την τάνυση ή την επιπέδωση λαμβάνεται υπ'όψιν για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων.

T4 Το κράμα μετά από τη στερεή διαλυτοποίηση υφίσταται φυσική γήρανση και δεν υποβάλλεται σε καμία μηχανική επεξεργασία (ψυξηλασία)

T5 Μετά από τη μορφοποίηση σε υψηλή θερμοκρασία ακολουθεί ψύξη του κράματος είτε με αέρα είτε με νερό και ακολουθεί η διαδικασία της τεχνητής γήρανσης (θέρμανση του υλικού στους 150^ο-180^οC για 6-8 ώρες). Η διαδικασί αυτή οδηγεί στη δημιουργία κραμάτων με αυξημένες μηχανικές αντοχές. (σκλήρυνση με καθίζηση)

T6 Μετά από τη στερεή διαλυτοποίηση ακολουθεί η διαδικασία της τεχνητής γήρανσης χωρίς την εφαρμογή ψυξηλασίας.

T7 Μετά από τη στερεή διαλυτοποίηση ακολουθεί η διαδικασία της υπεργήρανσης (θέρμανση προϊόντος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από αυτό των 8 ωρών) . Το προϊόν παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε διάβρωση, έχει όμως μειωμένες μηχανικές αντοχές σε σχέση με το κράμα στην κατάσταση

T6. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται στην περίπτωση που το κράμα πρέπει να εμφανίζει κάποια ειδικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες.

T8 Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει στερεή διαλυτοποίηση, ψυξηλασία και τεχνητή γήρανση. Χρησιμοποιείται σε προϊόντα όπου το κράμα μετά από τη διαδικασία της ψυξηλασίας αναπτύσσει τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες.

T9 Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει στερεή διαλυτοποίηση, τεχνητή γήρανση και ψυξηλασία. Χρησιμοποιείται σε προϊόντα στα οποία γίνεται ψυξηλασία για βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων.

T10 Απόψυξη ύστερα από μορφοποίηση σε υψηλή θερμοκρασία, ψυξηλασία και τεχνητή γήρανση. Χρησιμοποιείται σε προϊόντα στα οποία έχει γίνει ψυξηλασία για βελτίωση της μηχανικής αντοχής τους.

Οι υπόλοιπες θερμικές κατεργασίες που υφίστανται τα μέταλλα είναι ειδικές και συνήθως δεν εφαρμόζονται σε κράματα αλουμινίου. Για το λόγο αυτό δεν θα γίνει αναφορά σε αυτές.

Κεφάλαιο 3

Κανονιστικό πλαίσιο σχεδιασμού φερουσών κατασκευών από αλουμίνιο

3.1 Ιστορικό Ευρωκωδίκων

Το 1975, η Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Κοινότητας αποφάσισε να υλοποιήσει ένα πρόγραμμα δράσης στον τομέα των κατασκευών με σκοπό την άρση των τεχνικών εμποδίων στο εμπόριο καθώς και η εναρμόνιση των τεχνικών προδιαγραφών σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Για 15 χρόνια, η Επιτροπή, με τη βοήθεια μιας επιμέρους Επιτροπής με αντιπροσώπους από τα Κράτη Μέλη, ανέπτυξε το πρόγραμμα των Ευρωκωδίκων, το οποίο οδήγησε στους Ευρωπαϊκούς Κώδικες πρώτης γενιάς της δεκαετίας του 1980. Το 1989, η Επιτροπή, τα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η Γραμματεία ΕFTA αποφάσισαν, στη βάση μιας συμφωνίας μεταξύ της Επιτροπής και της CEN, να μεταφέρουν την περαιτέρω προετοιμασία και δημοσίευση των Ευρωκωδίκων στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN, μέσα από μία σειρά εντολών με σκοπό να τους προσδώσουν την υπόσταση ενός μελλοντικού Ευρωπαϊκού Προτύπου (EN). Αυτό συνδέει εκ προοιμίου τους Ευρωκώδικες με τις παραδοχές όλων των οδηγιών και/ή τις αποφάσεις της Επιτροπής η οποία ασχολείται με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς (π.χ. οδηγία 89/106/EEC για προϊόντα κατασκευών – CPD – και οι οδηγίες 93/37/EEC, 92/50/EEC και 89/440/EEC για δημόσια έργα και υπηρεσίες και οι αντίστοιχες ΕFTA οδηγίες που είχαν ως κίνητρο την διαμόρφωση της εσωτερικής αγοράς).

Το πρόγραμμα των Δομικών Ευρωκωδίκων περιλαμβάνει τους παρακάτω κανονισμούς οι οποίοι γενικά αποτελούνται από έναν αριθμό Μερών:

EN 1990	Ευρωκώδικας 0:	Βασικές αρχές σχεδιασμού
EN 1991	Ευρωκώδικας 1:	Δράσεις στις κατασκευές
EN 1992	Ευρωκώδικας 2:	Σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα
EN 1993	Ευρωκώδικας 3:	Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
EN 1994	Ευρωκώδικας 4:	Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα
EN 1995	Ευρωκώδικας 5:	Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών
EN 1996	Ευρωκώδικας 6:	Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία
EN 1997	Ευρωκώδικας 7:	Γεωτεχνικός σχεδιασμός
EN 1998	Ευρωκώδικας 8:	Σχεδιασμός αντισεισμικών κατασκευών
EN 1999	Ευρωκώδικας 9:	Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο

Σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, αναγνωρίζεται η ευθύνη που έχουν οι ελεγκτικοί μηχανισμοί σε κάθε Κράτος Μέλος και διασφαλίζεται το δικαίωμά τους να καθορίζουν τιμές σχετικές με ρυθμιστικά θέματα ασφαλείας σε εθνικό επίπεδο, όπου αυτές διαφοροποιούνται από Κράτος σε Κράτος (εθνικό προσάρτημα).

Ο Ευρωκώδικας 9, που αφορά στις φέρουσες κατασκευές αλουμινίου υποδιαιρείται σε διάφορα μέρη, τα οποία καλύπτουν όλο το εύρος των δομικών κατασκευών (συνήθεις κατασκευές, σε κατάσταση πυρκαγιάς, κόπωση, κελύφη, δεξεμενές, silos, φύλλα και ελάσματα).

3.2 Στοιχεία από τον Ευρωκώδικα 9 –Μέρος 1-Γενικές διατάξεις

Στον Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 9 δίνονται οι γενικές διατάξεις σχεδιασμού κατασκευών από αλουμίνιο σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Ακολούθως θα

δοθούν ορισμένα βασικά στοιχεία για τον υπολογισμό δομικών στοιχείων από αλουμίνιο για σχεδιασμό σε συνήθεις θερμοκρασίες, καθώς τα στοιχεία αυτά χρειάζονται για τον υπολογισμό των στοιχείων σε κατάσταση πυρκαγιάς, που αποτελεί το κύριο αντικείμενο της εργασίας αυτής.

3.2.1 Μηχανικά χαρακτηριστικά κραμάτων σε συνήθεις θερμοκρασίες

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των κυριότερων κραμάτων αλουμινίου από διέλαση που χρησιμοποιούνται για οικοδομική χρήση αναφέρονται στον πίνακα 3.2b του Ευρωκώδικα 9-Μέρος 1, που ισχύει για τις φέρουσες κατασκευές αλουμινίου. Στοιχεία αυτού του πίνακα δίνονται στον Πίνακα 1. Όπως είναι φανερό, οι μηχανικές ιδιότητες ενός κράματος εξαρτώνται από τη χημική σύνθεση του κράματος, τον τύπο της θερμικής κατεργασίας που αυτό θα υποστεί αλλά και το πάχος του διελασμένου προφίλ.

Πίνακας 1: Μηχανικά χαρακτηριστικά μορφοράβδους αλουμινίου σε συνήθεις θερμοκρασίες

Κράμα	Τύπος προϊόντος	Κατεργασία	Πάχος (t)	Συμβατικό όριο διαρροής f_o (N/mm ²)*	Όριο θραύσης f_u (N/mm ²)**	Επιμήκυνση θραύσης (%)***
5083	ET, EP, ER/B	0/111, F, H112	$t \leq 200$	110	270	12
	DT	H12/22/32	$t \leq 10$	200	280	6
		H14/24/34	$t \leq 5$	235	300	4
6060	EP, ET, ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8
	EP, ET, ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8
	DT		$t \leq 20$	160	215	12
	EP, ET, ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12
	EP, ET, ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8
	EP		$3 < t \leq 25$	150	195	8
6061	EP, ET, ER/B, DT	T4	$t \leq 25$	110	180	50
	EP, ET, ER/B, DT	T6	$t \leq 20$	240	260	8
6063	EP, ET, ER/B	T5	$t \leq 3$	130	175	8
	EP		$3 < t \leq 25$	110	160	7
	EP, ET, ER/B	T6	$t \leq 25$	160	195	8
	DT		$t \leq 20$	190	220	10
	EP, ET, ER/B	T66	$t \leq 10$	200	245	8
	EP		$10 < t \leq 25$	180	225	8
	DT		$t \leq 20$	195	230	10
6082	EP, ET, ER/B		$t \leq 25$	110	205	14
	EP/O, EP/H		$t \leq 5$	230	270	8
	EP/O, EP/H		$t \leq 5$	250	290	8
	ET		$5 < t \leq 15$	260	310	10
	ER/B	T6	$t \leq 20$	250	295	8
			$20 < t \leq 150$	260	310	8
	DT	T6	$t \leq 5$	255	310	8
$5 < t \leq 20$			240	310	10	
7020	EP, ET, ER/B	T6	$t \leq 15$	290	350	10
	EP, ET, ER/B	T6	$15 < t \leq 40$	275	350	10
	DT	T6	$t \leq 20$	280	350	10

EP EP/H EP/B	Προϊόντα διέλασης Κοιλοδοκοί Ράβδοι, προϊόντα διέλασης	EP/O ET DT	Ανοικτές διατομές, προϊόντα διέλασης Σωληνωτές διατομές διέλασης Σωληνωτές διατομές με εξόλκευση
--------------------	--	------------------	--

- * Συμβατικό όριο διαρροής (Για το αλουμίνιο ισοδυναμεί με την τιμή της τάσης που αντιστοιχεί σε παραμόρφωση 0.2%, καθώς στο καταστατικόνόμο τάσεων-παραμορφώσεων σ-ε των κραμάτων αλουμινίου δεν εμφανίζεται το χαρακτηριστικό πλατό, που εμφανίζεται στον χάλυβα.)
- ** Αντιστοιχεί στην οριακή αντοχή θραύσης του κράματος.
- *** Αντιστοιχεί στην επί τοις εκατό μήκυνση σε ένα πρότυπο δοκίμιο μήκους ίσο με $5.65 \sqrt{S_0}$, όπου S_0 είναι η αρχική επιφάνεια διατομής του δοκιμίου.

3.2.2 Κατάταξη διατομών και καθορισμός κλάσης

Όλες οι διατομές, ελατές ή συγκολλητές μπορεί να θεωρηθούν ότι συνίστανται από πλακοειδή στοιχεία. Λόγω του γεγονότος ότι τα πάχη αυτών των πλακοειδών στοιχείων σε σχέση με το πλάτος τους είναι μικρά, είναι δυνατόν, όταν υφίστανται θλιπτικά φορτία να υποστούν τοπικό λυγισμό. Η εμφάνιση τοπικού λυγισμού δεν επιτρέπει στη διατομή να αναπτύξει πλήρως την πλαστική της αντοχή (ανάπτυξη πλαστικής άρθρωσης). Επίσης φαινόμενα στρέβλωσης στην περίπτωση, που οι διατομές δεν αντιστηρίζονται πλευρικά, μπορούν να επηρεάσουν την στροφική ικανότητα της διατομής. Η στροφική ικανότητα των διατομών καθορίζει και το είδος της ανάλυσης, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση των φορέων (πλαστική ή ελαστική). Επίσης καθορίζει και τη μέθοδο υπολογισμού των χαρακτηριστικών της αντοχής της διατομής (ελαστική, πλαστική ροπή αντίστασης, ενεργός διατομή, κτλ.) Πολύ βασική σύλληψη στο σχεδιασμό των χαλύβδινων κατασκευών αλλά και των κατασκευών από αλουμίνιο, που υιοθετήθηκε και από τον Ευρωκώδικα 9, ήταν η κατάταξη των διατομών σε τέσσερις **κατηγορίες ή κλάσεις**, ανάλογα με την στροφική τους ικανότητα, οι οποίες είναι οι εξής:

- Κατηγορία 1 πλαστικές διατομές
Οι διατομές που βρίσκονται στην 1^η κλάση χαρακτηρίζονται από την ικανότητα να εμφανίζουν πλαστικές αρθρώσεις με μεγάλη στροφική ικανότητα και επιτρέπουν πλαστική ανάλυση.
- Κατηγορία 2 σύμπηκτες διατομές
Οι διατομές της κλάσης 2 μπορούν να αναπτύξουν τη μέγιστη καμπτική τους ικανότητα αλλά έχουν περιορισμένη στροφική ικανότητα και επομένως είναι κατάλληλες για πλαστική ανάλυση.
- Κατηγορία 3 ημισύμπηκτες διατομές
Οι διατομές της κλάσης 3 μπορούν να εμφανίσουν τη ροπή, που αντιστοιχεί στη κατάσταση της πρώτης διαρροής (της ακρότατης ίνας) αλλά λόγω φαινομένων τοπικού λυγισμού εμποδίζεται η ανάπτυξη πλαστικής ροπής αντοχής και δεν μπορεί να γίνει ανακατανομή των ροπών.
- Κατηγορία 4 λυγρές διατομές
Οι διατομές της κλάσης 4 τέλος δεν μπορούν να αναπτύξουν τη ροπή, που αντιστοιχεί στην κατάσταση της πρώτης διαρροής λόγω του πρώιμου λυγισμού των θλιβομένων στοιχείων της διατομής και έτσι εμφανίζεται η αστοχία μέσα στην ελαστική περιοχή.

Για την κατηγοριοποίηση της διατομής με βάση τη λυγηρότητα σημασία έχει εάν το στοιχείο που εξετάζεται είναι **εσωτερικό** ή **προεξέχον**. Εσωτερικό είναι ένα στοιχείο, που καταλήγει σε ένα άλλο εγκάρσιο στοιχείο (π.χ. ο κορμός διατομής διπλού T ή το πέλμα ορθογωνικής διατομής). Προεξέχον είναι το τμήμα που στηρίζεται κατά μήκος της μίας ακμής τους, ενώ είναι ελεύθερο κατά μήκος της άλλης ακμής (π.χ. το πέλμα διατομής διπλού T).

Για τον καθορισμό της κατηγορίας της διατομής, βασικό κριτήριο είναι η **λυγηρότητα β** του κάθε στοιχείου της διατομής, ο οποίος λαμβάνει τις ακόλουθες τιμές:

Για επίπεδα προεξέχοντα τμήματα ή εσωτερικά στοιχεία με σταθερή τάση

$$\beta = b/t$$

Για εσωτερικά στοιχεία με μεταβαλλόμενη τάση και ουδέτερο άξονα στο κέντρο βάρους

$$\beta = 0.40b/t$$

Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις με μεταβαλλόμενη τάση

$$\beta = gb/t$$

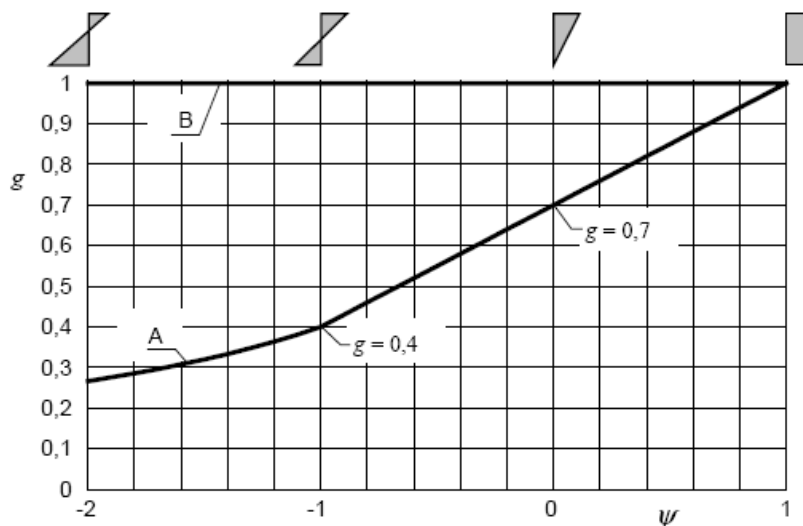
όπου:

b το πλάτος του στοιχείου

t το πάχος του στοιχείου.

g συντελεστής που δίνεται συναρτήσει του ψ , ο οποίος είναι ο λόγος των τάσεων στα ακμές του εξεταζόμενου στοιχείου σε σχέση με τη μέγιστη θλιπτική τάση. Έτσι:

$$g = 0.70 + 0.30\psi \text{ για } (1 > \psi > -1) \text{ και } g = 0.80/(1-\psi) \text{ για } (\psi \leq -1)$$



Σχήμα 1: Τιμές του g για επίπεδα εσωτερικά στοιχεία υπό μεταβαλλόμενη τάση

Εάν διαφορετικά στοιχεία της διατομής κατατάσσονται σε διαφορετικές κατηγορίες, τότε η διατομή κατατάσσεται στην υψηλότερη κατηγορία (περισσότερο δυσμενή) κατηγορία. Σύμφωνα με το συντελεστή λυγηρότητας β γίνεται η ακόλουθη κατάταξη:

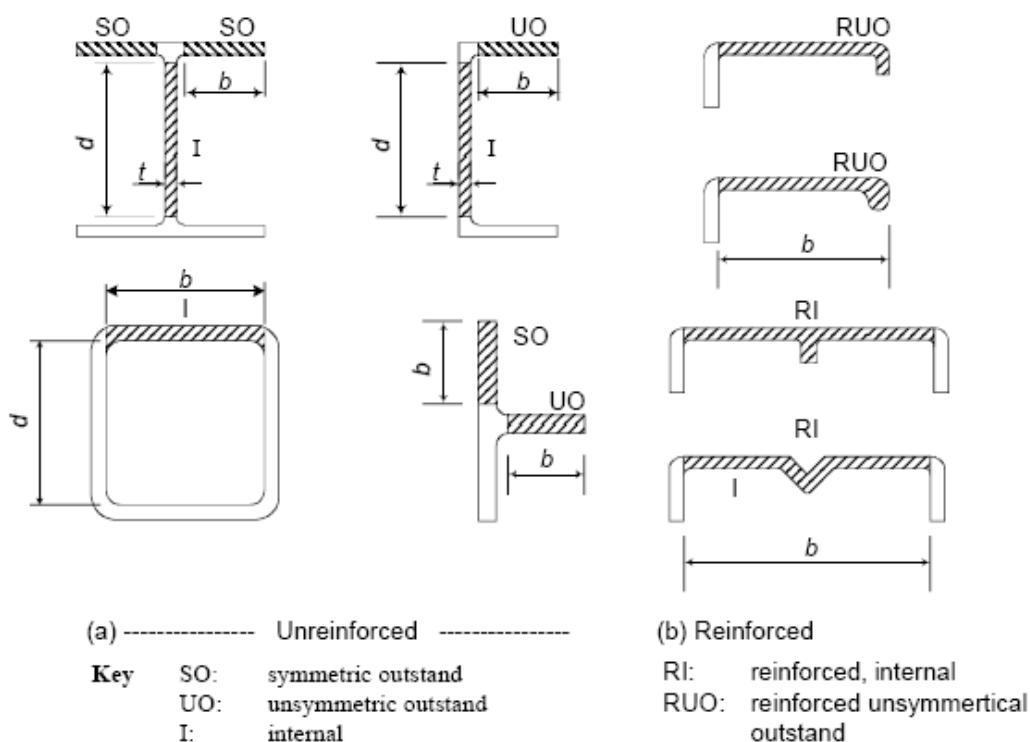
- $\beta \leq \beta_1$: κλάση 1
- $\beta_1 < \beta \leq \beta_2$: κλάση 2
- $\beta_2 < \beta \leq \beta_3$: κλάση 3
- $\beta_3 < \beta$: κλάση 4

Τα όρια για τους συντελεστές λυγηρότητας δίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Όρια για τους συντελεστές λυγηρότητας

Στοιχεία	Θερμικά κατεργασμένα, χωρίς συγκολλήσεις			Θερμικά κατεργασμένα, με συγκολλήσεις ή μη θερμικά κατεργασμένα, χωρίς συγκολλήσεις			Μη θερμικά κατεργασμένα, με συγκολλήσεις		
	β_1 / ϵ	β_2 / ϵ	β_3 / ϵ	β_1 / ϵ	β_2 / ϵ	β_3 / ϵ	β_1 / ϵ	β_2 / ϵ	β_3 / ϵ
Εξωτερικά	3	4,5	6	2,5	4	5	2	3	4
Εσωτερικά	11	16	22	9	13	18	7	11	15

Όπου $\epsilon = \sqrt{250 / f_o}$. (Το f_o σε N/mm^2)



Σχήμα 2 Προσδιορισμός b και t για τον υπολογισμό των λυγηροτήτων

3.2.3 Υπολογισμός δομικών στοιχείων σε θλίψη

Σύμφωνα με το EN 1999-1-1 η αντοχή σε θλιπτικό φορτίο για διατομές κλάσης 1 ισούται με:

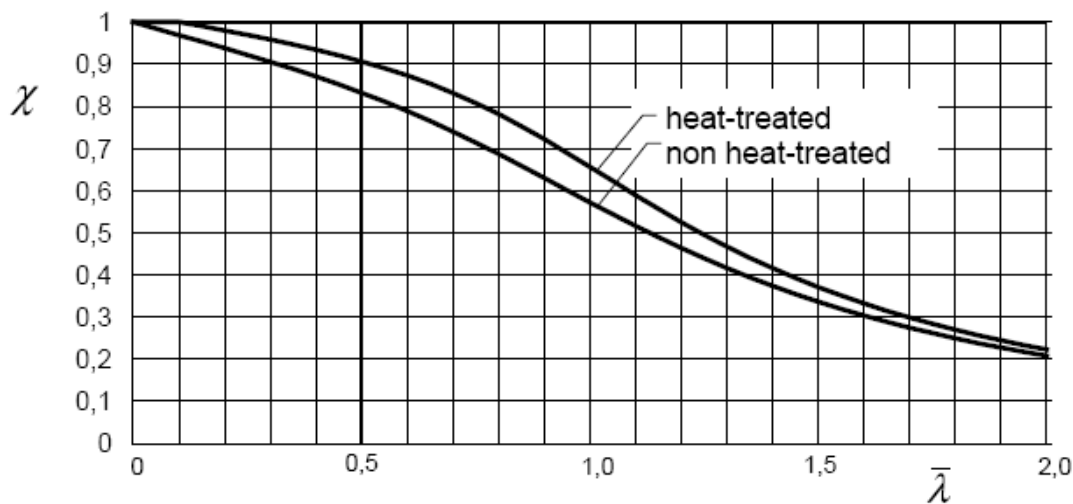
$$N_{b,Rd} = k \chi \frac{A_{eff} f_o}{\gamma_{M1}}$$

- k είναι συντελεστής, στον οποίο λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της συγκόλλησης. Στην περίπτωση μας ισούται με 1.
- χ μειωτικός συντελεστής για το λυγισμό, ο οποίος λαμβάνεται από το ανάλογο με την ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda}$ (Σχήμα 3)
- A_{eff} ενεργός διατομή ίση με την A για διατομές κλάση 1,2,3.
- f_o το συμβατικό όριο διαρροής για 0.2% μόνιμη παραμόρφωση

Η ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda}$ δίνεται από τον τύπο:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_o}{N_{cr}}}, \text{ όπου } N_{cr} \text{ το κρίσιμο φορτίο, που δίνεται από τη σχέση:}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_{\sigma}^2}$$



Σχήμα 3: Υπολογισμός συντελεστή χ

3.2.4 Υπολογισμός δομικών στοιχείων σε κάμψη

Η τιμή σχεδιασμού για την κάμψη περί ενός κύριου άξονα της διατομής M_{Rd} είναι η μικρότερη των τιμών $M_{u,Rd}$ και $M_{c,Rd}$, όπου

$$M_{u,Rd} = a W_{net} f_u / \gamma_{M2} \text{ για τη διατομή χωρίς οπές}$$

$$M_{c,Rd} = a W_{el,y} f_o / \gamma_{M1} \text{ για κάθε διατομή}$$

όπου:

- a συντελεστής σχήματος της διατομής, που δίνεται στον Πίνακα 3
- W_{el} η ελαστική ροπή αντίστασης της διατομής στον αντίστοιχο άξονα
- W_{net} η ροπή αντίστασης της διατομής λαμβάνοντας υπόψη τις οπές λόγω κοχλίωσης και της απομείωσης της μηχανικής αντοχής λόγω της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης.

Πίνακας 3:Υπολογισμός συντελεστή α

Κατηγορία διατομής	Χωρίς συγκολλήσεις	Με μακριές συγκολλήσεις
1	W_{pl}/W_{el}^*	$W_{pl, haz}/W_{el}^*$
2	W_{pl}/W_{el}	$W_{pl, haz}/W_{el}$
3	$\alpha_{3,u}$	$\alpha_{3,w}$
4	W_{eff}/W_{el}	$W_{eff,HAZ}/W_{el}$

*επιλογή προς τη μεριά της ασφάλειας. Πιο ακριβής υπολογισμός μπορεί να γίνει βάσει του Παραρτήματος Ε του EC9-Μέρος 1.

- W_{pl} η πλαστική ροπή αντίστασης της διατομής
- W_{eff} η ροπή αντίστασης της ενεργού διατομής (λαμβάνει υπόψη μειωμένο πάχος στοιχείου για τις διατομές κλάσης 4)
- $W_{pl, haz}$ η πλαστική ροπή αντίστασης της διατομής για διατομές με συγκολλήσεις (λαμβάνει υπόψη μειωμένο πάχος στοιχείου για την επίδραση της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης από τη συγκόλληση)
- $W_{eff,HAZ}$ η πλαστική ροπή αντίστασης της ενεργού διατομής για διατομές της κλάσης 4 με συγκολλήσεις (λαμβάνει υπόψη μειωμένο πάχος στοιχείου για την επίδραση της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης από τη συγκόλληση και την απαίτηση της κλάση-όποια είναι η μικρότερη)
- $\alpha_{3,u}$ συντελεστής, που μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 1. Στον EC9-Μέρος 1 δίνονται στοιχεία για τον ακριβή υπολογισμό του.
- $\alpha_{3,w}$ συντελεστής, που μπορεί να λαμβάνεται ίσος με $W_{pl, haz}/W_{pl}$. Στον EC9-Μέρος 1 δίνονται στοιχεία για τον ακριβή υπολογισμό του.

3.3 Στοιχεία από τον Ευρωκώδικα 9-Μέρος 2- Σχεδιασμός σε κατάσταση πυρκαγιάς

Στον EN 1999-1-2 περιγράφονται οι αρχές, απαιτήσεις και οι κανόνες για το σχεδιασμό κατασκευών από αλουμίνιο έναντι πυρκαγιάς λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις για ασφάλεια και τη διαδικασία σχεδιασμού.

Απαιτήσεις για ασφάλεια

Ο γενικός στόχος της πυροπροστασίας είναι ο περιορισμός του κινδύνου, σε περίπτωση πυρκαγιάς για τα πρόσωπα και την κοινωνία, τη γειτονική ιδιοκτησία και, όπου απαιτείται, για το περιβάλλον ή για τα άμεσα εκτεθειμένα αγαθά.

Σύμφωνα με την οδηγία 89/106/EEC για τον περιορισμό του κινδύνου από πυρκαγιά, οι εργασίες κατασκευής πρέπει να σχεδιάζονται και να εκτελούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς:

- Να εξασφαλίζεται για μια προκαθορισμένη χρονική περίοδο η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής.
- Να περιορίζονται η πρόκληση και διάδοση φωτιάς και καπνού μέσα στο έργο.
- Να περιορίζεται η μετάδοση της πυρκαγιάς σε γειτονικές κατασκευές.
- Οι κάτοικοι να μπορούν να εγκαταλείψουν το έργο ή να μπορούν να διασωθούν με άλλα μέσα.

- Να λαμβάνεται υπόψη η ασφάλεια των ομάδων διάσωσης.

Οι απαιτήσεις αυτές μπορούν ικανοποιηθούν με διάφορους τρόπους και στρατηγικές ασφάλειας από τα κράτη μέλη που συμμετέχουν στο πρόγραμμα των Ευρωκωδίκων, όπως συμβατικά σενάρια πυρκαγιάς (ονομαστικές πυρκαγιές) ή "φυσικά" (παραμετρικά) σενάρια πυρκαγιάς, περιλαμβανομένων παθητικών και/ή ενεργητικών μέτρων πυροπροστασίας.

Τα μέρη των Δομικών Ευρωκωδίκων τα σχετικά με την πυρκαγιά, πραγματεύονται ειδικές θεωρήσεις παθητικής πυροπροστασίας όσο αφορά το σχεδιασμό των κατασκευών και τμημάτων τους για την επίτευξη επαρκούς φέρουσας αντοχής και του κατάλληλου περιορισμού της μετάδοσης της πυρκαγιάς.

Οι απαιτούμενες λειτουργίες και στάθμες επίδοσης μπορούν να καθοριστούν είτε με βάση εκτίμησης της πυραντίστασης, για την ονομαστική (πρότυπη) πυρκαγιά που γενικά δίνεται από τους εθνικούς κανονισμούς πυρασφάλειας, είτε με αναφορά στην τεχνολογία πυρασφαλείας για την εκτίμηση παθητικών και ενεργητικών μέσων.

Οι αριθμητικές τιμές για τους επί μέρους συντελεστές και άλλα στοιχεία αξιοπιστίας επελέγησαν με την προϋπόθεση ότι εξασφαλίζεται ένα κατάλληλο επίπεδο εκτέλεσης της εργασίας και διαχείρισης του ελέγχου ποιότητας και δίνονται ως προτεινόμενες παρέχοντας ένα αποδεκτό επίπεδο αξιοπιστίας..

Διαδικασία σχεδιασμού

Μία πλήρης αναλυτική διαδικασία για το δομικό σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς λαμβάνει υπόψη τη συμπεριφορά του δομικού συστήματος σε υψηλές θερμοκρασίες, το ενδεχόμενο έκθεσης σε θερμότητα και τις ευεργετικές επιρροές των ενεργητικών και παθητικών συστημάτων πυροπροστασίας, σε συνδυασμό με τις αβεβαιότητες που συνδέονται με αυτά τα τρία χαρακτηριστικά καθώς και τη σπουδαιότητα της κατασκευής (συνέπειες της αστοχίας).

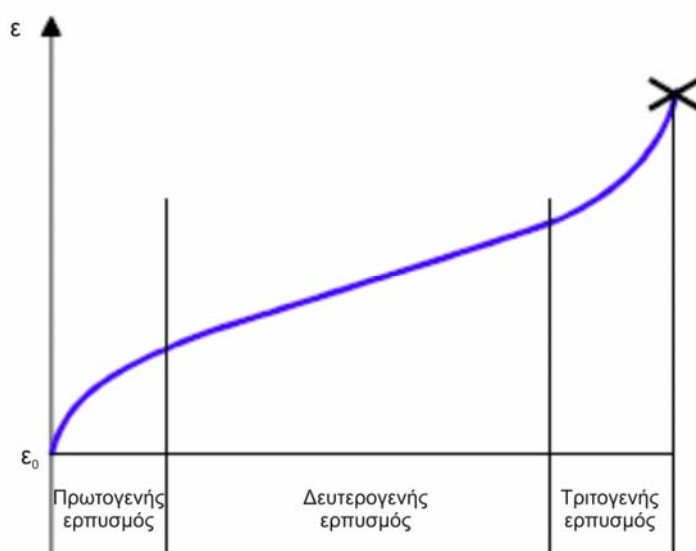
3.3.1 Βασικά στοιχεία για τον υπολογισμό

Ο Ευρωκώδικας 9-Μέρος 2 είναι ο μόνος κανονισμός που αφορά στον υπολογισμό κατασκευών από αλουμίνιο για την τυχηματική δράση της έκθεσης κατασκευής σε πυρκαγιά. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τη συμπεριφορά κατασκευών από αλουμίνιο, τόσο μονωμένων, όσο και αμόνωντων σε υψηλές θερμοκρασίες δεν υπάρχουν επαρκή διαθέσιμα στοιχεία στη βιβλιογραφία. Στην περίπτωση δε της χρήση πυροπροστατευτικών υλικών η έλλειψη αυτή είναι ακόμα πιο ουσιώδης καθώς στοιχεία για την επίδραση αυτών των υλικών στην συμπεριφορά των δομικών στοιχείων μέχρι και σήμερα υπάρχουν μόνο για την περίπτωση του χάλυβα. Υποτίθεται πάντως ότι τα υλικά εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά και στην περίπτωση του αλουμινίου.

Για τον έλεγχο μιας κατασκευής από αλουμίνιο σημαντικό ρόλο παίζει ο καθορισμός της θερμοκρασίας του δομικού στοιχείου. Βάσει αυτής υπολογίζεται το ποσοστό μείωσης της μηχανικής αντοχής του υλικού και γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι. Με την προσέγγιση αυτή δεν χρειάζεται η πραγματοποίηση πειραμάτων σε κατάσταση πυρκαγιάς υπό καθεστώς φόρτισης. Οι μέθοδοι ελέγχου αφορούν τόσο σε στοιχεία μη προστατευμένα, όσο και σε στοιχεία μονωμένα με υλικά πυροπροστασίας.

Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι κατά τη μελέτη των κατασκευών από αλουμίνιο σε υψηλές θερμοκρασίες γενικά πρέπει να ληφθεί υπόψη ο χρονοεξαρτώμενος **ερπυσμός**, που επηρεάζει σημαντικά τη μηχανική συμπεριφορά του στοιχείου. Για την μελέτη του ερπυσμού σημαντικό ρόλο παίζει η καμπύλη ερπυσμού. (Σχήμα 4 **Error! Reference source not found.**). Στην καμπύλη αυτή δεικνύεται η σχέση παραμόρφωσης και χρόνου μέχρι την θραύση. Τρία στάδια ερπυσμού μπορούν να παρατηρηθούν:

- Ο πρωτογενής ερπυσμός (primary creep)
Μειούμενος creep rate.
- Ο δευτερογενής ερπυσμός (secondary ή steady state creep)
Σταθερός creep rate.
- Ο τριτογενής ερπυσμός (tertiary creep)
Τελικό στάδιο, πριν τη θραύση, με αυξανόμενο creep rate.



Σχήμα 4: Καμπύλη ερπυσμού

Από πειραματικά αποτελέσματα προέκυψε ότι ο χρονοεξαρτώμενος ερπυσμός δεν είναι σημαντικός για θερμοκρασίες χαμηλότερες των 180-200°C. Σύμφωνα δε με τον EC9 Μέρος 2, ο ερπυσμός μπορεί να αγνοηθεί για θερμοκρασίες κάτω των 170°C.

Για το σχεδιασμό κατασκευών από αλουμίνιο, που εκτίθενται σε πυρκαγιά το πρώτο βασικό στοιχείο είναι ο υπολογισμός της θερμοκρασίας του μετάλλου. Ακολουθώς υπολογίζεται η αντίστοιχη μείωση της αντοχής του στοιχείου από αλουμίνιο, η οποία τελικά χρησιμοποιείται για τους απαιτούμενους ελέγχους από τον κανονισμό.

3.3.2 Υπολογισμός θερμοκρασίας του μετάλλου

Στην αγορά κυκλοφορούν διάφορα προγράμματα υπολογισμού θερμοκρασιών σε στοιχεία που υποβάλλονται σε πυρκαγιά. Δεν υπάρχουν όμως εξειδικευμένα προγράμματα υπολογισμού δομικών στοιχείων από αλουμίνιο, ενώ σε κανένα πρόγραμμα δεν συνυπολογίζεται η επίδραση του χρονοεξαρτώμενου ερπυσμού στη συμπεριφορά της κατασκευής.

Ο υπολογισμός της θερμοκρασία του μετάλλου εξαρτάται από το συντελεστή διατομής A_m/V , ο οποίος εξαρτάται από τη μορφή της διατομής και το πάχος

και το είδος της πυρομόνωσης εάν υπάρχει αλλά και την ικανότητα ακτινοβολίας της επιφάνειας ϵ_r για τη χρονική διάρκεια, που απαιτείται η πυραντίσταση.

3.3.2.1 Αμόνωτα στοιχεία

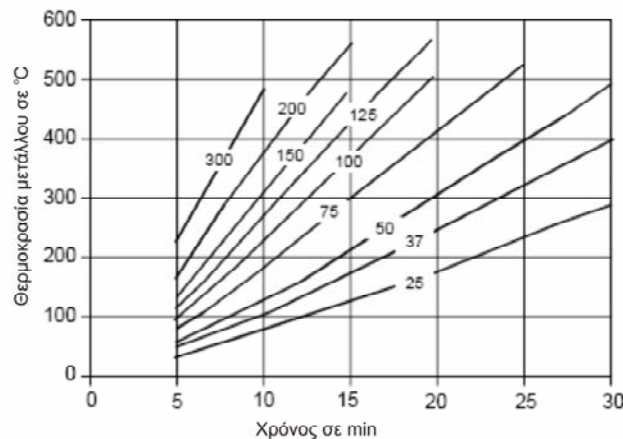
Για αμόνωτα στοιχεία οι τιμές του συντελεστή διατομής A_m/V για τις διάφορες διατομές δίνεται στον Πίνακα 4.

Όσο αφορά στην ικανότητα ακτινοβολίας ϵ_r , γενικά η επιφάνεια των στοιχείων από κράματα αλουμινίου έχει μικρή ακτινοβολία καθώς το μεγαλύτερο τμήμα της θερμικής ενέργειας από ακτινοβολία ανακλάται από την επιφάνεια του αλουμινίου. Βαμμένες επιφάνειες ή επιφάνειες με άλλες επικαλύψεις έχουν ακόμα μεγαλύτερη ικανότητα ακτινοβολίας. Σύμφωνα με έναν αρκετά ακριβή κανόνα για πρακτικές εφαρμογές για τον υπολογισμό της ικανότητας ακτινοβολίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ακόλουθα:

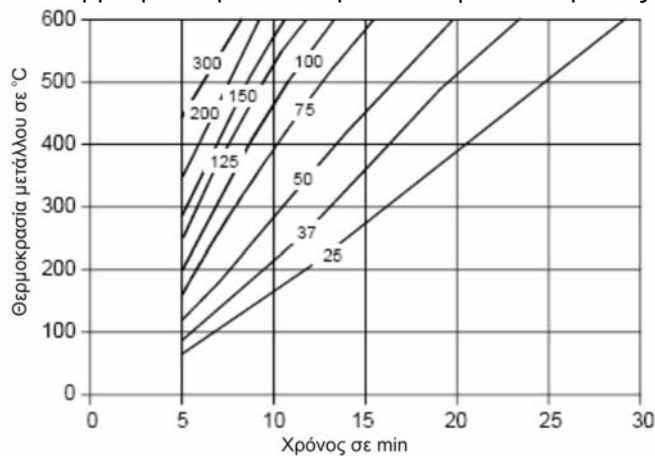
$\epsilon_r=0.2$ για εξωτερικές επιφάνειες, που εκτίθενται σε φλόγα μέσω των ανοιγμάτων και δεν καλύπτονται από στρώμα αιθάλης κατά την έκθεση στην πυρκαγιά

$\epsilon_r=0.7$ Για όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις

Έτσι η θερμοκρασία του μετάλλου υπολογίζεται από τα ακόλουθα σχήματα:

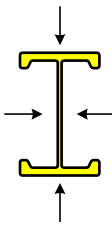
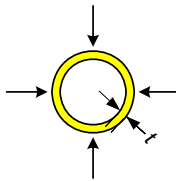
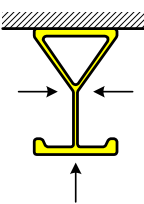
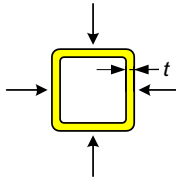
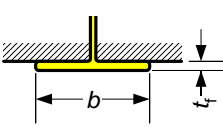
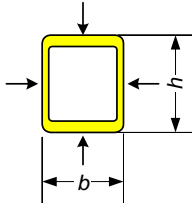
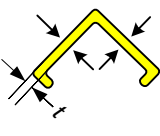
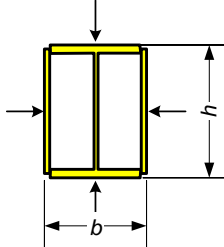
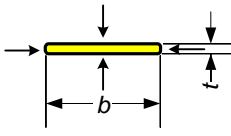
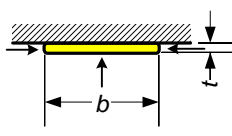


Σχήμα 5: Θερμοκρασία μετάλλου για ικανότητα ακτινοβολίας $\epsilon_r=0.2$



Σχήμα 6: Θερμοκρασία μετάλλου για ικανότητα ακτινοβολίας $\epsilon_r=0.7$

Πίνακας 4 Συντελεστής διατομής A_m/V για μη προστατευμένα μέλη από δομικό αλουμίνιο όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος της συγκεντρωμένης μάζας

<p>Ανοικτή διατομή εκτεθειμένη σε πυρκαγιά από όλες τις πλευρές:</p>  $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{περίμετρος}}{\text{εμβαδόν διατομής}}$	<p>Σωληνωτή διατομή εκτεθειμένη σε πυρκαγιά από όλες τις πλευρές:</p>  $\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$
<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 ενιαίου πάχους) εκτεθειμένη σε πυρκαγιά από όλες τις πλευρές:</p>  <p>Εάν $t \ll b$: $\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$</p>
<p>Διατομή διπλού T με πέλμα εκτεθειμένο από τρεις πλευρές:</p>  $\frac{A_m}{V} = \frac{b + 2t_f}{bt_f}$ <p>Εάν $t_f \ll b$: $\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t_f}$</p>	<p>Κιβωτιοειδής διατομή εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από όλες τις πλευρές:</p>  $\frac{A_m}{V} = \frac{2b + h}{\text{εμβαδόν διατομής}}$
<p>Διατομή γωνιακού (η οποιοδήποτε σχήματος ανοικτή διατομή ενιαίου πάχους) εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από όλες τις πλευρές:</p>  $\frac{A_m}{V} = \frac{2}{t}$	<p>Διατομή διπλού T με κιβωτιοειδή ενίσχυση, εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από όλες τις πλευρές:</p>  $\frac{A_m}{V} = \frac{2b + h}{\text{εμβαδόν διατομής}}$
<p>Επίπεδο έλασμα εκτεθειμένο στην πυρκαγιά από όλες τις πλευρές:</p>  $\frac{A_m}{V} = \frac{2b + 2t}{bt}$ <p>Εάν $t \ll b$: $\frac{A_m}{V} = \frac{2}{t}$</p>	<p>Εκτεθειμένο έλασμα εκτεθειμένο στην πυρκαγιά από τρεις πλευρές:</p>  $\frac{A_m}{V} = \frac{b + 2t}{bt}$ <p>Εάν $t \ll b$: $\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$</p>

3.3.2.2 Πυρομονωμένα στοιχεία

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας μετάλλου σε πυρομονωμένα στοιχεία πρέπει να υπολογιστεί τόσο ο συντελεστής διατομής, ο οποίος προσδιορίζεται από τον Πίνακα 5, όσο και το ισοδύναμο πάχος μόνωσης ανάλογα με το είδος του πυροπροστατευτικού υλικού και το πραγματικό πάχος του. Οι κατασκευάστριες εταιρείες πυροπροστατευτικών υλικών παρέχουν τις

καμπύλες θερμοκρασίας μετάλλου συναρτήσει του συντελεστή διατομής, και της ικανότητα ακτινοβολίας ϵ_r για διάφορους χρόνους πυραντίστασης.

Πίνακας 5 Συντελεστής διατομής A_p/V για μέλη από αλουμίνιο μονωμένα με υλικά προστασίας έναντι πυρκαγιάς, όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος της συγκεντρωμένης μάζας

Σχήμα	Περιγραφή	Συντελεστή διατομής (A_p/V)
	Διατομή περιβλημένη από υλικό ενιαίου πάχους, εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από όλες τις πλευρές.	$\frac{\text{περίμετρος αλουμινίου}}{\text{εμβαδόν διατομής αλουμινίου}}$
	Διατομή με ορθογωνικό περίβλημα ενιαίου πάχους, εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από τέσσερις πλευρές.	$\frac{2(b+h)}{\text{εμβαδόν διατομής αλουμινίου}}$
	Διατομή περιβλημένη από υλικό ενιαίου πάχους, εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από τρεις πλευρές.	$\frac{\text{περίμετρος αλουμινίου} - b}{\text{εμβαδόν διατομής αλουμινίου}}$
	Διατομή με ορθογωνικό περίβλημα ενιαίου πάχους, εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από τρεις πλευρές.	$\frac{2h+b}{\text{εμβαδόν διατομής αλουμινίου}}$

Υπολογισμός ισοδύναμου πάχους μόνωσης

Στην περίπτωση των μονωμένων δομικών στοιχείων υπολογίζεται το ισοδύναμο πάχος της μόνωσης από την ακόλουθη σχέση:

$$t_{eq} = C \cdot t$$

όπου:

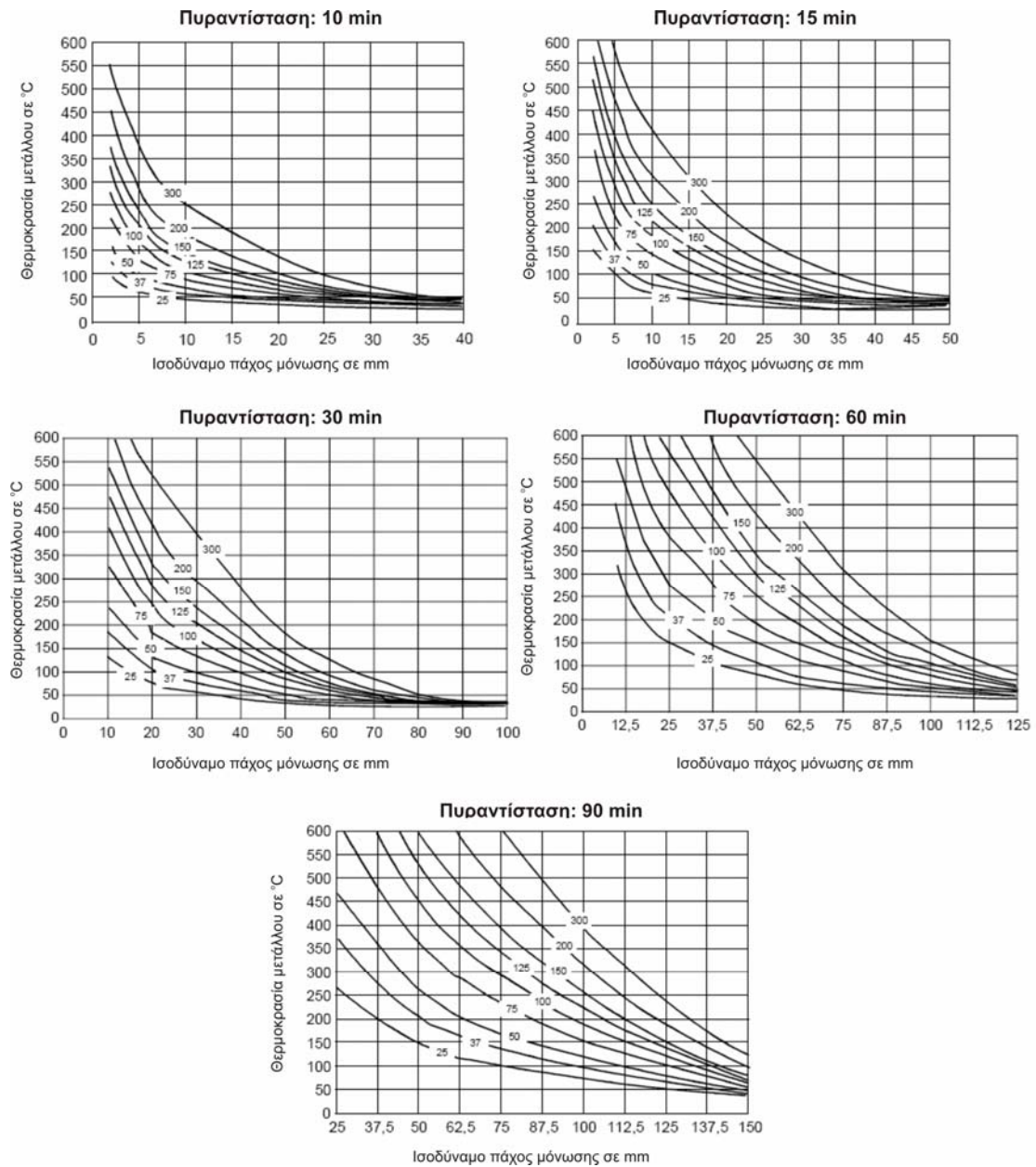
C συντελεστής διόρθωσης για το πάχος, που δίνεται από τον Πίνακα 6 με το είδος του υλικού της μόνωσης

t το πάχος του μονωτικού υλικού

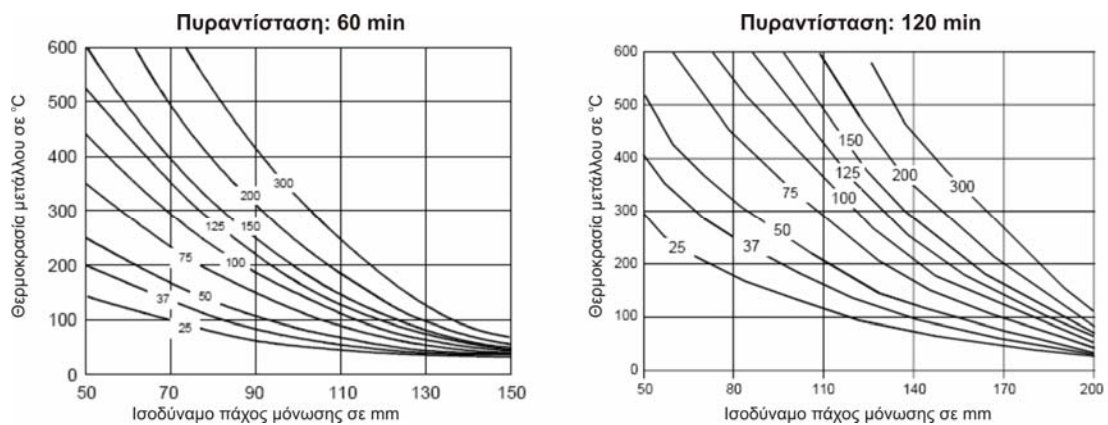
Πίνακας 6: Συντελεστής διόρθωσης για το πάχος της μόνωσης

Μονωτικό υλικό	Πυκνότητα kg/ m³	Συντελεστής διόρθωσης για το πάχος της μόνωσης
Ορυκτόμαλλο εύκαμπτο	30 - 40	0,45
Ορυκτόμαλλο εύκαμπτο	100 -120	1,00
Ορυκτόμαλλο και πλάκες	150 -170	1,15
Πλάκες από ορυκτόμαλλο	280 -320	1,50
Εύκαμπτα ινώδη κεραμικά υλικά	120 -150	1,30
Πλάκες από ινώδη κεραμικά υλικά	240 -300	1,40
Ασβεστόπλακες με πυριτούχα σύνθεση	400 -900	1/625 Fi / V + 0,8
Πλάκες βερμικουλίτη	400 -900	1/625 Fi / V + 0,8
Γυψοσανίδες	700 -1000	1/160 Fi / V + 0,5

Εν συνεχεία, βάσει του ισοδύναμου πάχους μόνωσης και του συντελεστή διατομή, υπολογίζεται η θερμοκρασία του μετάλλου για χρονική διάρκεια πυραντίστασης, που επιβάλλεται για την περίπτωση από τον κανονισμό. Οι καμπύλες υπολογισμού της θερμοκρασίας του μετάλλου δίνονται στο Σχήμα 7 για την πρότυπη πυρκαγιά και στο Σχήμα 8 για την πυρκαγιά υδρογονανθράκων.



Σχήμα 7: Καμπύλες υπολογισμού θερμοκρασίας μετάλλου για πρότυπη πυρκαγιά (κυταρίνης)



Σχήμα 8: Καμπύλες υπολογισμού θερμοκρασίας μετάλλου για πυρκαγιά υδρογονανθράκων

3.3.3 Μέθοδοι ελέγχου

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε πυρκαγιά επιτρέπεται να εφαρμόζονται οι ακόλουθες μέθοδοι σχεδιασμού:

- Απλοποιημένα υπολογιστικά προσομοιώματα (μοντέλα)
Τα απλά υπολογιστικά μοντέλα είναι απλοποιημένες μέθοδοι σχεδιασμού για μεμονωμένα μέλη, οι οποίες βασίζονται σε συντηρητικές παραδοχές.
- Προχωρημένα υπολογιστικά προσομοιώματα (μοντέλα)
Τα προχωρημένα υπολογιστικά μοντέλα είναι μέθοδοι σχεδιασμού κατά τις οποίες οι αρχές της μηχανικής εφαρμόζονται κατά ρεαλιστικό τρόπο σε ειδικές εφαρμογές. Στις προχωρημένες υπολογιστικές μεθόδους πρέπει να περιέχονται υπολογιστικά μοντέλα για τον προσδιορισμό της αύξησης και κατανομής της θερμοκρασίας μέσα στα δομικά μέλη (**μοντέλο θερμικής απόκρισης**) αλλά και της μηχανικής συμπεριφοράς της κατασκευής ή κάθε τμήματος της (**μοντέλο μηχανικής απόκρισης**).
- Πειράματα.

Ως εναλλακτική περίπτωση του σχεδιασμού με υπολογιστικές μεθόδους, ο σχεδιασμός σε κατάσταση πυρκαγιάς μπορεί να βασίζεται στα αποτελέσματα δοκιμών υπό συνθήκες πυρκαγιάς ή σε συνδυασμό δοκιμών και υπολογισμών. Ακολουθώντας θα δοθούν ορισμένα στοιχεία και παραδείγματα εφαρμογής των απλών υπολογιστικών προσομοιωμάτων

3.3.3.1 Απλά υπολογιστικά μοντέλα

Η φέρουσα ικανότητα μιας κατασκευής από αλουμίνιο ή ενός δομικού μέλους, μπορεί να υποτεθεί ότι διατηρείται μετά από χρονικό διάστημα t από την έναρξη δεδομένης πυρκαγιάς εάν ισχύει η ακόλουθη σχέση:

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

όπου:

$E_{fi,d}$ το αποτέλεσμα των δράσεων για την κατάσταση πυρκαγιάς, το οποίο προσδιορίζεται σύμφωνα με το EN 1991-1-2, (οι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές μπορούν να είναι $M_{fi,Ed}$, $N_{fi,Ed}$, $V_{fi,Ed}$, οι οποίες λαμβάνονται μεμονωμένα ή σε συνδυασμό)

$R_{fi,d,t}$ η αντοχή σχεδιασμού μιας κατασκευής από αλουμίνιο ή ενός δομικού μέλους για την κατάσταση πυρκαγιάς μετά χρόνο t από την έναρξή της (Οι τιμές των $M_{fi,t,Rd}$, $M_{b,fi,t,Rd}$, $N_{fi,t,Rd}$, $N_{b,fi,t,Rd}$, $V_{fi,t}$ μπορούν να λαμβάνονται μεμονωμένα ή σε συνδυασμό)

Η αντοχή σχεδιασμού $R_{fi,d,t}$ προσδιορίζεται για τη κατανομή των θερμοκρασιών τη χρονική στιγμή t τροποποιώντας την αντοχή σχεδιασμού για τις συνήθεις συνθήκες (θερμοκρασία περιβάλλοντος), η οποία προσδιορίζεται στο EN1999-1-1, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων αλουμινίου σε υψηλές θερμοκρασίες.

3.3.3.2 Συμβατικό όριο διαρροής σε υψηλές θερμοκρασίες

Όσο αφορά στις μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων αλουμινίου σε υψηλές θερμοκρασίες, για έκθεση σε θερμικά φορτία μεγαλύτερη των 2 ωρών, το συμβατικό όριο διαρροής 0.2 % σε υψηλές θερμοκρασίες προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$f_{o,\theta} = k_{o,\theta} \cdot f_o$$

όπου:

- $f_{o,\theta}$ είναι το συμβατικό όριο διαρροής 0,2 σε υψηλή θερμοκρασία
 f_o είναι το συμβατικό όριο διαρροής 0,2 σε θερμοκρασία δωματίου σύμφωνα με το EN 1999-1-1.
 $k_{o,\theta}$ συντελεστής μείωσης αντοχής για τη θερμοκρασία θ

Η μεταβολή του συμβατικού ορίου διαρροής των διαφόρων κραμάτων αλουμινίου για τις διάφορες θερμοκρασίες δίνεται στον Πίνακα 7 σύμφωνα με το συντελεστή μείωσης $k_{o,\theta}$.

Πίνακας 7: Λόγοι $k_{o,\theta}$ του συμβατικού ορίου διαρροής 0,2% για τα κράματα αλουμινίου σε συνήθη θερμοκρασία και σε υψηλή θερμοκρασία για έκθεση στην πυρκαγιά έως 2 ώρες

Κράμα	Κατεργασία	Θερμοκρασία κραμάτων αλουμινίου °C							
		20	100	150	200	250	300	350	550
EN AW-3004	H34	1,00	1,00	0,98	0,57	0,31	0,19	0,13	0
EN AW-5005	O	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,58	0,39	0
EN AW-5005	H14 ¹⁾	1,00	0,93	0,87	0,66	0,37	0,19	0,10	0
EN AW-5052	H34 ²⁾	1,00	1,00	0,92	0,52	0,29	0,20	0,12	0
EN AW-5083	O	1,00	1,00	0,98	0,90	0,75	0,40	0,22	0
EN AW-5083	H12 ³⁾	1,00	1,00	0,80	0,60	0,31	0,16	0,10	0
EN AW-5454	O	1,00	1,00	0,96	0,88	0,50	0,32	0,21	0
EN AW-5454	H34	1,00	1,00	0,85	0,58	0,34	0,24	0,15	0
EN AW-6061	T6	1,00	0,95	0,91	0,79	0,55	0,31	0,10	0
EN AW-6063	T5	1,00	0,92	0,87	0,76	0,49	0,29	0,14	0
EN AW-6063	T6 ⁴⁾	1,00	0,91	0,84	0,71	0,38	0,19	0,09	0
EN AW-6082	T4 ⁵⁾	1,00	1,00	0,84	0,77	0,77	0,34	0,19	0
EN AW-6082	T6	1,00	0,90	0,79	0,65	0,38	0,20	0,11	0

1) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για την κατεργασία H24/H34/H12/H32
 2) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για την κατεργασία H12/H22/H32
 3) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για την κατεργασία H22/H32
 4) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για το κράμα EN AW-6060 T6 and T66
 5) Οι τιμές δεν περιλαμβάνουν την αύξηση της αντοχής λόγω της γήρανσης. Συνιστάται να αγνοούνται τέτοιου είδους επιδράσεις.

3.3.3.3 Έλεγχοι δομικών στοιχείων σε κατάσταση πυρκαγιάς

Οι σχέσεις που αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους ισχύουν όταν η θερμοκρασία του αλουμινίου θ_a τη χρονική στιγμή t σε όλες τις διατομές δεν υπερβαίνει τους 170 °C. Επίσης οι κατηγορίες διατομών είναι ίδιες με αυτές του Μέρους 1 του Ευρωκώδικα 9.

Εφελκυσόμενα μέλη

Η αντοχή σχεδιασμού $N_{fi,t,Rd}$ ενός εφελκυσόμενου μέλους τη χρονική στιγμή t με **ανομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας** επί της διατομής προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum A_i k_{o,\theta,i} f_o / \gamma_{M,fi}$$

όπου:

- A_i είναι ένα στοιχειώδες εμβαδόν της καθαρής διατομής με θερμοκρασία θ_i , συμπεριλαμβάνοντας μείωση του εμβαδού, εφόσον απαιτείται, προκειμένου να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο των θερμικά επηρεασμένων ζωνών. Η μείωση βασίζεται στη θεώρηση μειωμένου πάχους $\rho_{o,HAZ} \cdot t$ για τη διατομή
- $k_{o,\theta,i}$ είναι ο μειωτικός συντελεστής για το ενεργό συμβατικό όριο διαρροής 0,2 % σε θερμοκρασία θ_i , όπου θ_i είναι η θερμοκρασία της στοιχειώδους επιφάνειας A_i .

Η αντοχή σχεδιασμού $N_{fi,\theta,Rd}$ ενός εφελκυσόμενου μέλους τη χρονική στιγμή t με **ομοιόμορφη θερμοκρασία** θ_{al} προσδιορίζεται από:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{o,\theta} N_{Rd} (\gamma_{Mx} / \gamma_{M,fi})$$

όπου:

- N_{Rd} είναι η αντοχή σχεδιασμού για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία σύμφωνα με το EN 1999-1-1. Η αντοχή σχεδιασμού N_{Rd} μπορεί να είναι είτε η $N_{o,Rd}$ είτε η $N_{u,Rd}$.
- γ_{Mx} είναι συντελεστής για το υλικό σύμφωνα με το EN 1999-1-1. Ο συντελεστής γ_{M1} χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την αντοχή σχεδιασμού $N_{o,Rd}$ και ο συντελεστής γ_{M2} χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την αντοχή σχεδιασμού $N_{u,Rd}$

Η αντοχή σχεδιασμού $N_{fi,\theta,Rd}$ υπολογίζεται για το συνδυασμό των N_{Rd} και γ_{Mx} από τον οποίο προκύπτει η μικρότερη φέρουσα ικανότητα.

Δοκοί

Ανομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας

Η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη $M_{fi,t,Rd}$ μιας διατομής **κατηγορίας 1 ή 2** με ανομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας στη διατομή, τη χρονική στιγμή t προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum A_i z_i k_{o,\theta,i} f_o / \gamma_{M,fi}$$

όπου:

- z_i είναι η απόσταση του κέντρου βάρους ενός στοιχειώδους εμβαδού A_i , από τον πλαστικό ουδέτερο άξονα.

$k_{o,\theta,i}$ είναι ο συντελεστής μείωσης του συμβατικού ορίου διαρροής για τη θερμοκρασία θ

Η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη $M_{fi,t,Rd}$ μιας διατομής **κατηγορίας 3 ή 4** με ανομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας τη χρονική στιγμή t προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{o,\theta,max} M_{Rd} (\gamma_{Mx}/\gamma_{M,fi})$$

όπου:

$k_{o,\theta,max}$ είναι ο λόγος του συμβατικού ορίου διαρροής 0.2 % για τα κράματα αλουμινίου προς την αντίστοιχη αντοχή για τη θερμοκρασία θ_{al} , ίση με την μέγιστη αναπτυσσόμενη θερμοκρασία $\theta_{al,max}$ της διατομής τη χρονική στιγμή t

M_{Rd} είναι η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία για διατομές της κατηγορίας 3 ή 4 σύμφωνα με το EN 1999-1-1. Η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη M_{Rd} μπορεί να είναι είτε η $M_{c,Rd}$ είτε η $M_{u,Rd}$

γ_{Mx} είναι ο συντελεστής για το υλικό σύμφωνα με το EN 1999-1-1. Ο συντελεστής γ_{M1} χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την τιμή $M_{c,Rd}$ και ο συντελεστής γ_{M2} χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη τιμή $M_{u,Rd}$

Σημειώνεται επίσης ότι η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη $M_{fi,t,Rd}$ υπολογίζεται για το συνδυασμό των M_{Rd} και γ_{Mx} από τον οποίο προκύπτει η μικρότερη φέρουσα ικανότητα.

Ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας

Η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη για τις διατομές κατηγορίας 1, 2, 3 ή 4 με ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας, τη χρονική στιγμή t προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{o,\theta} M_{Rd} (\gamma_{Mx}/\gamma_{M,fi})$$

Όπου:

M_{Rd} είναι η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη μιας διατομής για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία. Η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη M_{Rd} μπορεί να είναι είτε η $M_{c,Rd}$ είτε η $M_{u,Rd}$

γ_{Mx} είναι ο συντελεστής για το υλικό σύμφωνα με το EN 1999-1-1. Ο συντελεστής γ_{M1} χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη τιμή $M_{c,Rd}$ και ο συντελεστής γ_{M2} χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη τιμή $M_{u,Rd}$

Σημειώνεται επίσης ότι η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη $M_{fi,t,Rd}$ υπολογίζεται για το συνδυασμό των M_{Rd} και γ_{Mx} από τον οποίο προκύπτει η μικρότερη φέρουσα ικανότητα.

Για δοκούς που υπόκεινται σε **πλευρικό λυγισμό**, η ροπή αντοχής σχεδιασμού σε πλευρικό λυγισμό $M_{b,fi,t,Rd}$, ενός πλευρικά μη αντιστηριζόμενου μέλους, κατά τη χρονική στιγμή t , προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$M_{b,fi,t,Rd} = k_{o,\theta,max} M_{b,Rd} (\gamma_{M1}/\gamma_{M,fi})$$

όπου:

$M_{b,Rd}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού έναντι πλευρικού λυγισμού κατά το σχεδιασμό για τη συνήθη θερμοκρασία σύμφωνα με το EN 1999-1-1.

Υποστυλώματα

Η αντοχή σχεδιασμού έναντι λυγισμού $N_{b,fi,t,Rd}$ ενός θλιβομένου μέλους την χρονική στιγμή t προσδιορίζεται από:

$$N_{b,fi,t,Rd} = k_{o,\theta,max} N_{b,Rd} (\gamma_{M1}/1,2 \gamma_{M,fi})$$

όπου:

$N_{b,Rd}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού έναντι λυγισμού κατά το σχεδιασμό για τη συνήθη θερμοκρασία σύμφωνα με το EN 1999-1-1.

1,2 είναι ένας μειωτικός συντελεστής της αντοχής σχεδιασμού λόγω του θερμοκρασιακά χρονοεξαρτώμενου ερπυσμού των κραμάτων αλουμινίου.

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων **λυγηροτήτων και του μήκους λυγισμού I_{fi} των θλιβόμενων στοιχείων**, εφαρμόζονται οι αρχές που αναφέρονται στον EN 1999-1-1.

Κεφάλαιο 4

Πυροπροστατευτικά υλικά και μέτρα σχεδιασμού για πυρασφάλεια

4.1 Απαίτηση πυραντίστασης βιομηχανικών κτιρίων

Σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 3 του Π.Δ. 71/88 για τα φέροντα δομικά στοιχεία σε περίπτωση πυρκαγιάς ο φέρων οργανισμός των κτιρίων πρέπει να είναι ικανός να φέρει φορτία για τα οποία προορίζεται, για ένα χρονικό διάστημα που καθορίζεται από το δείκτη πυραντίστασης στις ειδικές διατάξεις για κάθε χρήση κτιρίου. Η απαίτηση αυτή εφαρμόζεται τόσο στο σύνολο του φέροντος οργανισμού, όσο και στα επιμέρους δομικά στοιχεία που το απαρτίζουν.

Ανάλογα με τη χρήση, το Π.Δ 71/1988 καθορίζει τους ελάχιστους απαραίτητους δείκτες πυραντίστασης. Στον Πίνακα 1 δίνονται οι απαραίτητοι δείκτες πυραντίστασης για τα βιομηχανικά κτίρια και αποθήκες.

Πίνακας 1 Ελάχιστοι επιτρεπόμενοι δείκτες πυραντίστασης για βιομηχανικά κτίρια και αποθήκες σύμφωνα με το Άρθρο 11 του Π.Δ. 71/1988

ΕΛΑΧΙΣΤΟΙ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΥΡΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ				
Κατηγορία κτιρίου	Μονόροφα	Πολυόροφα	Υπόγεια	Εγκατάσταση* καταιονητήρων (συντελεστής)
Βιομηχανίες				
Z ₁	χωρίς απαίτηση	60 λεπτά	120 λεπτά	0,5
Z ₂	60 λεπτά	90 λεπτά	120 λεπτά	0,6
Z ₃	60 λεπτά	120 λεπτά	180 λεπτά	0,7
Αποθήκες				
Z ₁	60 λεπτά	90 λεπτά	120 λεπτά	0,5
Z ₂	120 λεπτά	180 λεπτά	180 λεπτά	0,5
Z ₃	180 λεπτά	240 λεπτά	240 λεπτά	0,5

4.2 Βασικά στοιχεία πυροπροστασίας

Με τον όρο πυροπροστασία κτιρίων εννοούμε το σύνολο των μέτρων που προβλέπονται κατά την μελέτη και κατασκευή ενός κτιρίου και αποβλέπουν αφενός στην πρόληψη του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς στο κτίριο και αφετέρου στην αντιμετώπιση της πυρκαγιάς σε περίπτωση που αυτή εκδηλωθεί.

Επομένως για τη βελτίωση της συμπεριφορά των κτιρίων έναντι πυρκαγιάς αφορά τόσο το σχεδιασμό, όσο και τη σωστή επιλογή υλικών.

Οι πιο κοινές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της πυραντίστασης στις κατασκευές είναι πυροπροστατευτική μόνωση, η ενσωμάτωση των μεταλλικών φερόντων στοιχείων σε άλλα δομικά στοιχεία της κατασκευής (δάπεδα ή τοίχους), η χρήση σύμμεικτων κατασκευών, η ψύξη με νερό, κτλ.

4.3 Πυροπροστατευτική μόνωση

4.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Συχνά για την πυροπροστασία των μεταλλικών στοιχείων χρησιμοποιούνται υλικά, τα οποία διατάσσονται σε επαφή και περιβάλλουν το μεταλλικό στοιχείο. Τα υλικά αυτά πρέπει να διαθέτουν κατάλληλο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ώστε να μπορούν να επιβραδύνουν τη μετάδοση θερμότητας

στο προστατευόμενο χαλύβδινο στοιχείο. Επίσης θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς τα μονωτικά υλικά θα παραμείνουν στη θέση τους και θα προστατέψουν αποτελεσματικά την κατασκευή. Η παρεχόμενη προστασία εξαρτάται τόσο από την ποιότητα των υλικών κατασκευής όσο και από την ποιότητα κατασκευής.

Βάση για τη σύνθεση των προστατευτικών αυτών μέσων αποτελούν υλικά όπως οι ορυκτές ίνες, η γύψος, ο βερμικουλιτής, το τσιμέντο, το ασβέστιο, ο ορυκτοβάμβακας, ο περλίτης κτλ.

Προκειμένου τα πυροπροστατευτικά υλικά να χαρακτηριστούν ασφαλή και αξιόπιστα, θα πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις, οι οποίες σε κάθε περίπτωση οφείλουν να πιστοποιούνται από εργαστηριακές δοκιμές σε πιστοποιημένα ινστιτούτα. Ακολούθως αναφέρονται τα πιο σημαντικά από αυτά χαρακτηριστικά:

- Να παρέχουν απαιτούμενη θερμική μόνωση όταν υποβάλλονται σε πρότυπες δοκιμές.
- Να παρέχουν άριστες μηχανικές ιδιότητες και ανθεκτικότητα στις καιρικές συνθήκες.
- Να μην παράγουν καπνό ή άλλα τοξικά αέρια, όταν υποβάλλονται σε υψηλές θερμοκρασίες.

Κατά την επιλογή του κατάλληλου υλικού ή τρόπου πυροπροστασίας θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη το ελάχιστο δυνατό κόστος εφαρμογής και συντήρησης, η επίτευξη άψογης εξωτερικής επιφάνειας, όταν αυτό απαιτείται, η χρήση υλικών άοσμων και φιλικών προς το περιβάλλον.

Η προστασία, που εφαρμόζεται σε όλη την εκτεθειμένη επιφάνεια του χάλυβα, εξαρτάται από το πάχος της προστατευτικής στρώσης, την πυκνότητα και τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού αλλά και τον τρόπο κάλυψης των επιφανειών του δομικού στοιχείου. Οι περισσότερες εταιρείες παρέχουν τα απαραίτητα διαγράμματα που καθορίζουν το απαιτούμενο πάχος στρώσης του υλικού σε συνδυασμό με το προβλεπόμενο βαθμό προστασίας του δομικού στοιχείου και τη θερμοκρασία της επιφάνειας του. Επίσης το πάχος της πυροπροστατευτικής στρώσης εξαρτάται και από τις διαστάσεις του στοιχείου που προστατεύεται.

Είναι προφανές, ότι ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας σε μικρού πάχους δομικά στοιχεία είναι μεγαλύτερες από ότι σε αντίστοιχα στοιχεία μεγαλύτερου πάχους. Θεωρείται ότι ο ρυθμός ανάπτυξης της θερμότητας εξαρτάται από το **συντελεστή διατομής H_p/A_p** , όπου H_p η περίμετρος του στοιχείου του εκτεθειμένου στη φλόγα και A_p το εμβαδό της διατομής. Ένα στοιχείο με μικρό συντελεστή διατομής H_p/A_p θερμαίνεται σε μικρότερο ρυθμό και χρειάζεται μικρότερη αντιπυρική μόνωση ενός στοιχείου από το ίδιο υλικό και μεγάλο συντελεστή διατομής H_p/A_p .



Σχήμα 1 Επίδραση λόγου H_p/A στη συμπεριφορά δομικών στοιχείων σε κατάσταση πυρκαγιάς

Τα υλικά πυροπροστασίας μεταλλικών κατασκευών διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Στις ειδικές πυράντοχες πλάκες επένδυσης των μεταλλικών στοιχείων.
- Στις ειδικές πυράντοχες βαφές, επιχρίσματα κτλ.

Και στις δυο περιπτώσεις τα υλικά αυτά πρέπει να είναι πιστοποιημένα σύμφωνα με διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα (DIN 4102, BS 476, ASTM 119) και να χαρακτηρίζονται άκαυστα.

4.3.2 Πυράντοχες πλάκες επένδυσης

Οι πυρανασχετικές πλάκες κατασκευάζονται με βάση τη γύψο, τον περλίτη, τις ορυκτές ίνες υψηλής συμπίεσης ή ασβεστοπυριτικές ενώσεις. Οι σανίδες από ασβεστικά οξείδια του πυριτίου είναι συνήθως πιο ακριβές από τις γύψινες σανίδες, διότι κατασκευάζονται μόνο σε λίγες χώρες. Οι γύψινες πλάκες έχουν πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες και όταν θερμαίνονται η συμπεριφορά τους βελτιώνεται, καθώς το νερό που περιέχουν στο εσωτερικό τους παγιδευμένο, την ώρα της πυρκαγιάς εξατμίζεται. Η αντοχή τους όμως μειώνεται μετά τη πυρκαγιά και πρέπει να αντικατασταθούν.



Σχήμα 2 Πλάκες από ορυκτόμαλλο χρησιμοποιούνται για την προστασία τόσο γραμμικών όσο και επιφανειακών δομικών στοιχείων προσφέροντας άριστη επιφάνεια

Η **τοποθέτηση** των πυρανασχετικών πλακών είναι γενικά αρκετά εύκολη και γρήγορη διαδικασία για γραμμικά στοιχεία και δημιουργεί μια αισθητικά αποδεκτή όψη (για αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται για τη κάλυψη υποστυλωμάτων και όχι δοκών, καθώς αυτά παραμένουν συχνά ορατά στα κτίρια), παρουσιάζει όμως δυσκολίες εφαρμογής σε σύνθετες λεπτομέρειες του μεταλλικού φορέα όπως π.χ σε κόμβους δικτυωμάτων και πλαισίων. Η δυνατότητα προκατασκευής που προσφέρουν επίσης εξασφαλίζει επίσης μεγαλύτερη ταχύτητα εφαρμογής.

Τοποθετούνται με μηχανική στερέωση ή επικόλληση από μεταλλικά δομικά στοιχεία, τα οποία περιβάλλουν δημιουργώντας ένα φράγμα έναντι των υψηλών θερμοκρασιών. Η αποτελεσματικότητα των πλακών έναντι πυρκαγιάς εξαρτάται εκτός των άλλων, από την πυράντοχη σφράγιση των αρμών μεταξύ των φύλλων. Στην περίπτωση που το δομικό στοιχείο προστατεύεται με

πλήρες περίβλημα συνιστάται η μία έδρα του περιβλήματος να συνδέεται με κοχλιώσεις ώστε να παρέχεται η δυνατότητα πρόσβασης στο εσωτερικό του περιβλήματος. Με βάση γεωμετρικά στοιχεία που αφορούν στη διατομή του μεταλλικού στοιχείου και στον επιθυμητό χρόνο πυραντίστασης ανά περίπτωση, υπολογίζεται από πίνακες που δίνονται από τον κατασκευαστή, το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος της πλάκας, με την οποία πρέπει να επενδυθεί το συγκεκριμένο μεταλλικό στοιχείο.

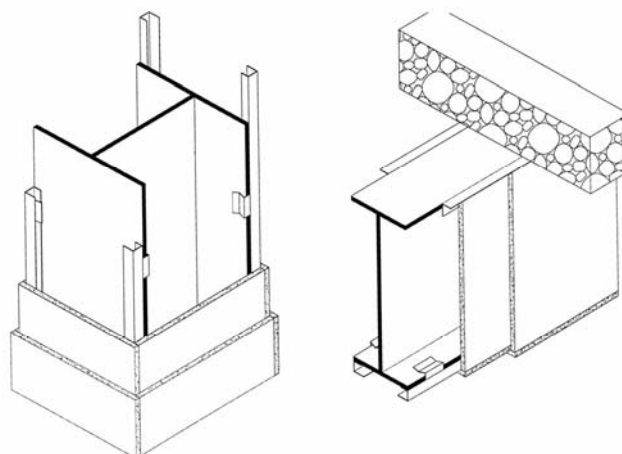


Σχήμα 3 Πυροπροστατευτικές πλάκες για την προστασία κόμβου μεταλλικών στοιχείων

Οι **χρόνοι πυραντίστασης** που μπορούν να επιτευχθούν με αυτή τη μέθοδο προστασίας είναι μισή ώρα έως και 4 ώρες ανάλογα με το πάχος της πυρανασχετικής πλάκας.

Μειονέκτημα τους είναι ότι έχουν μεγαλύτερο κόστος και ότι η τοποθέτησή τους απαιτεί περισσότερο χρόνο, όταν πραγματοποιείται στο εργοτάξιο, από ότι τα προϊόντα που εφαρμόζονται με ψεκασμό.

Υπάρχουν δε πλάκες, οι οποίες στην ορατή εξωτερική τους επιφάνεια έχουν



Κατακόρυφα δομικά στοιχεία

Οριζόντια δομικά στοιχεία

Σχήμα 4: Τοποθέτηση πυροπροστατευτικών πλάκων με ειδικά ελάσματα στερέωσης στη διατομή

ενσωματωμένο φύλλο χάλυβα, το οποίο τις προστατεύει από την υγρασία και τις μηχανικές καταπονήσεις, παρέχει όμως και καλαίσθητη επιφάνεια. Το φύλλο αυτό μπορεί να είναι βαμμένο σε διάφορα χρώματα κατά παραγγελία ή με πλαστικό ανάγλυφο χρώμα.

Η **συντήρηση και ο καθαρισμός** των επιφανειών των πλακών γίνεται με απλά μέσα χωρίς τρίψιμο. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή.

4.3.3 Πυροπροστατευτικές επιστρώσεις (χρώματα πυροπροστασίας)

Τα χρώματα πυροπροστασίας διακρίνονται σε δύο είδη, ανάλογα με τον τρόπο δράσεως:

- Χρώματα επιβραδυντικά φλόγας.
Πρόκειται για χρώματα τα οποία με κάποιον τρόπο ελκύουν κατά την καύση αέρια, τα οποία αραιώνουν ή απομονώνουν το οξυγόνο και παρεμποδίζουν τη μετάδοση της φλόγας, κυρίως κατά την επιφάνεια ή και ευνοούν το σχηματισμό άνθρακα και άλλων αδρανών υλικών και τελικά με κάποιους από τους μηχανισμούς που περιγράφηκαν πιο πάνω, επιβραδύνουν την καύση.
- Χρώματα επιβραδυντικά φωτιάς με διόγκωση, τα οποία με τη θέρμανση διογκώνονται, δημιουργώντας ένα πολυκυτταρικό στρώμα, το οποίο είναι θερμομονωτικό. Έτσι οι κατασκευές προστατεύονται από την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας ώστε να κρατήσουν τις μηχανικές τους ιδιότητες για κάποιο καθορισμένο χρονικό διάστημα. Τα διογκούμενα υλικά, ενώ σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας παρέχουν διακοσμητική εμφάνιση των τελειωμάτων (εξωτερική διακοσμητική στρώση) με την επίδραση θερμοκρασιών από 100° C μέχρι 200° C μετατρέπονται σε αφρό πάχους 30-40 mm αυξάνοντας το πάχος τους έως και 50 φορές και εξασφαλίζοντας ικανοποιητική θερμοπροστασία των δομικών στοιχείων και αύξηση του ασφαλούς χρόνου έκθεσης του δομικού στοιχείου έναντι πυρκαγιάς.
Η διακοσμητική στρώση, που προστατεύει την πυροπροστατευτική, θερμοδιογκούμενη στρώση δίνει στις μεταλλικές επιφάνειες άριστο αισθητικό αποτέλεσμα, στιλπνό ή ημίστιλπνο τελείωμα σε ποικιλία χρωμάτων, ενώ η υφή της βαμμένης επιφάνειας μπορεί να ποικίλει από λεία έως υφή φλούδας πορτοκαλιού, ανάλογα με το τρόπο εφαρμογής του συστήματος βαφής. Εξάλλου, περισσότερες εφαρμογές λεπτών στρώσεων βαφής δημιουργούν πιο λείες επιφάνειες. Εκτός από τις μεταλλικές κατασκευές, με τα χρώματα αυτά προστατεύονται και άλλα δομικά υλικά όπως τοίχοι, πόρτες, διαχωριστικά χώρου και άλλα.

Η **εφαρμογή** των υλικών αυτών μπορεί να γίνει είτε με πινέλο, είτε με ψεκασμό.

4.3.3.1 Εφαρμογή με πινέλο

Αρχικά θα πρέπει να σημειωθεί ότι συνήθως οι διάφοροι τύποι βαφών για πυροπροστασία δεν καλύπτουν τις ατέλειες που είναι πιθανόν να υπάρχουν στις επιφάνειες, επομένως η ποιότητα των βαμμένων επιφανειών εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την αρχική ποιότητα των μεταλλικών επιφανειών. Οι

επιφάνειες που πρόκειται να βαφούν θα πρέπει να είναι καθαρές από σκόνες, ρύπους, λιπαρά υλικά ή άλλα ξένα σώματα. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται πριν την εφαρμογή του συστήματος βαφής, οι επιφάνειες να περνιούνται με το ειδικό αστάρι μεταλλικών επιφανειών. Εφαρμόζονται όπως οι βαφές με πινέλο ή πιστόλι σε πάχος που κυμαίνεται από 0,5 μέχρι 4 mm. Η υφή της βαμμένης επιφάνειας μπορεί να ποικίλει από λεία έως σαγρέ, ανάλογα με το τρόπο εφαρμογής του συστήματος βαφής. Η βαφή μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε πριν τη συναρμολόγηση της μεταλλικής κατασκευής είτε στην αρχική κατάσταση, προτιμότερο όμως είναι να γίνεται πριν από την συναρμολόγηση, καθώς έτσι επιτυγχάνεται τελειότερο αποτέλεσμα.

Η επιτυχής εφαρμογή όλων των ειδών των επιστρώσεων πραγματοποιείται κάτω από ορισμένες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας, που ορίζονται από τον κατασκευαστή. Στην περίπτωση που οι κλιματικές συνθήκες είναι αντίξοες, οι επιθυμητές συνθήκες περιβάλλοντος είναι δυνατό να επιτευχθούν με ηλεκτρική θέρμανση και αφύγρανση του χώρου εφαρμογής συνιστάται δε, για την εφαρμογή της κάθε επιλεγόμενης μεθόδου να εφαρμόζονται οι τεχνικές οδηγίες των εταιριών κατασκευής.

Αποτελούν συνήθη μέθοδο προστασίας μεταλλικών δομικών στοιχείων, καθώς δεν προκαλείται αλλοίωση της μορφής ή της εξωτερικής τους όψης, πέραν ίσως από κάποιο κιτρίνισμα με τη πάροδο των χρόνων, όταν η επίστρωση έχει λευκό χρώμα. Ανάλογα με το δομικό στοιχείο και με το πάχος εφαρμογής του συστήματος βαφής, το δεύτερο μπορεί να καθυστερήσει έως και 3 ώρες τη μετάδοση της φλόγας στις μεταλλικές επιφάνειες.

Μειονέκτημα τους είναι ότι το κόστος τους είναι γενικά μεγαλύτερο από αυτό των συστημάτων σανίδων και των προϊόντων με ψεκασμό, ενώ πολλές από τις διογκούμενες βαφές δεν είναι κατάλληλες για χρήση σε εξωτερικούς χώρους.

Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι όλα τα συστήματα βαφής/επίστρωσης θα πρέπει να μην περιέχουν ή αναδίδουν τοξικές ουσίες και να είναι υλικά φιλικά προς τους χρήστες και προς το περιβάλλον.

4.3.3.2 Εφαρμογή με ψεκασμό

Τα εκτοξευόμενα υλικά μπορεί να είναι προϊόντα διογκωμένου περλίτη, γύψου ή ορυκτών ινών

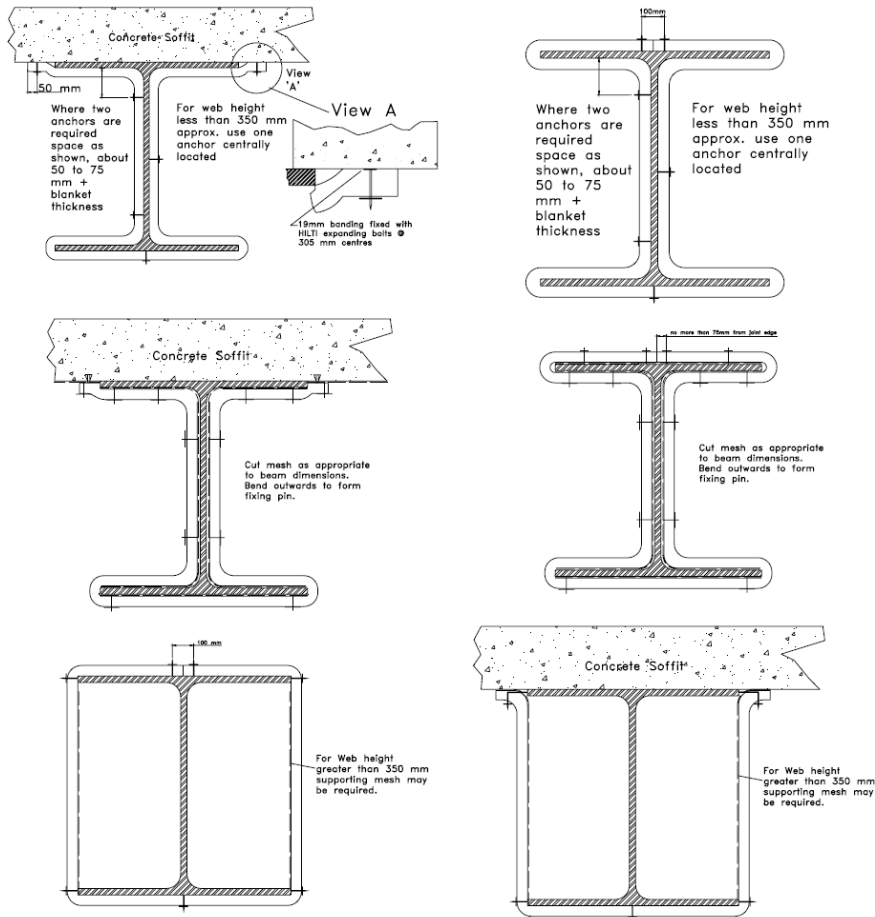


Σχήμα 5 Το εκτοξευόμενο αυτό υλικό με βάση το τσιμέντο εφαρμόζεται με τη βοήθεια πλέγματος που στερεώνεται στη μεταλλική διατομή. Σημαντικά πλεονεκτήματα αυτού του υλικού η εφαρμογή τους σε ένα στρώμα, γρήγορη εφαρμογή λόγω της καλής πρόσφυσης του υλικού και μείωση των απορριμμάτων. Επίσης προσφέρει άριστη εξωτερική επιφάνεια, η οποία μπορεί να βαφεί.

σε συνδυασμό με κάποιο συνδετικό υλικό (σκυρόδεμα ή γύψο). Εφαρμόζονται με εκτόξευση σε μία ή περισσότερες στρώσεις, ανάλογα με την απαιτούμενη προστασία της επιφάνειας. Αποτελούν δε την πιο οικονομική λύση για την πυροπροστασία μεταλλικών κατασκευών.

Το συνολικό **πάχος** του υλικού υπολογίζεται βάση των οδηγιών του κατασκευαστή και ανάλογα με αυτό ο παρεχόμενος δείκτης πυραντίστασης είναι της τάξης των 30 min και σε μερικές περιπτώσεις της τάξης των 60 min ενώ αναφέρονται υλικά που παρέχουν προστασία μέχρι και 4 ώρες.

Η βαφή με ειδικό ψεκαστικό εξοπλισμό και διατηρεί εμφανή τη μορφή της μεταλλικής διατομής, όταν αυτό απαιτείται. Η εφαρμογή τους είναι ιδιαίτερα εύκολη, ακόμη και στα σημεία δύσκολων λεπτομερειών (π.χ κόμβους), δεν παρέχει όμως αρκετά καλή όψη και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται συνήθως για σημεία και στοιχεία όχι ορατά στη δημόσια θέα (συνήθως δοκούς που καλύπτονται σε ψευδοροφές). Τα περισσότερα υλικά που εφαρμόζονται με ψεκασμό είναι αρκετά μαλακά, οπότε πρέπει να προστατεύονται έναντι φθοράς και κρούσεων. Επίσης λόγω του γεγονότος ότι



Σχήμα 6: Διάφοροι τρόποι εφαρμογής εύκαμπτων πυροπροστατευτικών υλικών (πυροκουβέρτες)

εφαρμόζονται υγρά, η εφαρμογή τους κατά τους χειμερινούς μήνες θα πρέπει να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο (π.χ θέρμανση), ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία πάγου, που καταστρέφει τις πυρανασχετικές ιδιότητες του υλικού. Η πρόσφυση τους στα στοιχεία από αλουμίνιο σε κατάσταση πυρκαγιάς θα πρέπει να αποδεικνύεται με πειραματικά αποτελέσματα.

4.3.4 Άλλες μέθοδοι πυροπροστασίας

4.3.4.1 Πυροκουβέρτες

Πυραντίσταση επίσης σε μεταλλικά στοιχεία από αλουμίνιο προσφέρουν και ειδικά εύκαμπτα υλικά (πυροκουβέρτες), τα οποία καλύπτουν τα δομικά στοιχεία. Η εφαρμογή τους γενικά είναι εύκολη, χρησιμοποιούνται όμως μόνο σε στοιχεία, που δεν είναι ορατά, λόγω της άσχημης όψης, που προσδίδουν στην κατασκευή.

4.3.4.2 Ψύξη με νερό (αρδευόμενες κατασκευές)

Οι αρδευόμενες κατασκευές εφαρμόζονται σε δομικά στοιχεία κλειστής διατομής (σωλήνες, κοιλοδοκούς), τα οποία γεμίζονται με νερό με η χωρίς δυνατότητα κυκλοφορίας μεταξύ των διάφορων στοιχείων. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται η διαρκής ψύξη των δομικών στοιχείων. Η κυκλοφορία προϋποθέτει την κατάλληλη σύνδεση των σωληνώσεων και την εγκατάσταση μηχανισμού ανακυκλοφορίας και δοχείου διαστολής.

Όταν δεν προβλέπεται κυκλοφορία του νερού, τα δομικά στοιχεία αντιμετωπίζονται μεμονωμένα. Στην περίπτωση αυτή η θερμοκρασία του νερού υπερβαίνει τους 110°C - 130°C με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του χάλυβα να κυμαίνεται μεταξύ 200°C - 300°C ανεξάρτητα από τη φύση, τη θέση και την εξέλιξη της φωτιάς.

Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται τόσο σε δοκούς, όσο και σε υποστυλώματα, απαιτείται όμως για τη κατασκευή και τη συντήρησή τους υψηλό κόστος. Λόγω άλλωστε του υψηλού κόστους και πολυπλοκότητας του συστήματος δεν έχει ευρεία εφαρμογή σε συνήθεις κατασκευές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το σύστημα αυτό εφαρμόστηκε στο Bush Lane House στο Λονδίνο το 1976 και στο κέντρο George Pompidou (1972-1977) στο Παρίσι.

4.3.4.3 Προστασία από φλόγες

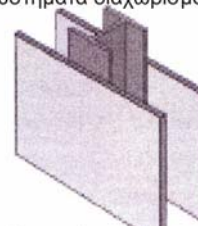
Τα μεταλλικά δομικά στοιχεία των όψεων των κτιρίων στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι άμεσα εκτεθειμένα σε πυρκαγιά, κινδυνεύουν όμως από φλόγες και ακτινοβολία που εξέρχονται από τα ανοίγματα. Η απομάκρυνση τους από το τοίχο της όψης και από τα ανοίγματα είναι δυνατό να εξασφαλίσει ικανοποιητική προστασία τους από την επίδραση της πυρκαγιάς.

4.3.4.4 Ενσωμάτωση σε άλλα δομικά στοιχεία

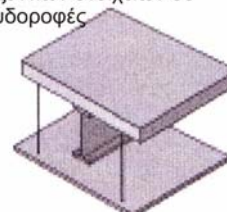
Η μείωση της εκτεθειμένης μεταλλικής επιφάνειας οδηγεί σε σημαντική προστασία έναντι πυρός της κατασκευής, χωρίς σημαντική αύξηση του κόστους της.

Στην περίπτωση ειδικότερα των σύμμεικτων κατασκευών, η πλάκα σκυροδέματος, την οποία στηρίζει η δοκός δρα ως πυροπροστατευτικό στοιχείο για την υποκείμενη δοκό και αυξάνει το χρόνο ασφαλούς έκθεσης της κατασκευής στην πυρκαγιά. Η απομάκρυνση των

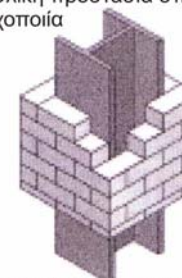
Α. Ενσωμάτωση κατακόρυφων στοιχείων σε συστήματα διαχωρισμού



Β. Ενσωμάτωση οριζόντιων στοιχείων σε ψευδοροφές



Γ. Ολική προστασία στην τοιχοποιία



Δ. Μερική προστασία στην τοιχοποιία



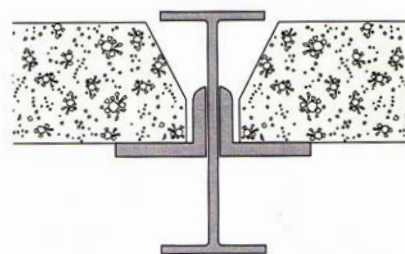
Σχήμα 7 Προστασία με ενσωμάτωση σε άλλα δομικά στοιχεία

μεταλλικών στοιχείων από τη φωτιά με την παρεμβολή ψευδοροφών ή ελαφρών χωρισμάτων αποτελεί επίσης μια αποτελεσματική και οικονομική μέθοδο προστασία τους, όταν η λύση αυτή δεν αποκλείεται από επιλογές αισθητικής ή λειτουργικότητας. Μπορεί δε να συνδυαστεί με λύσεις ακουστικής και θερμικής άνεσης των χώρων. Ιδιαίτερα προσοχή απαιτείται για τη κατάλληλη επιλογή των υλικών και τη σφράγιση των αρμών μεταξύ των στοιχείων του φράγματος καθώς και μεταξύ αυτού και των άλλων δομικών στοιχείων ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα διείσδυσης υπέρθερμων αερίων. Τα ακόλουθα μέτρα αφορούν στην επίτευξη πυροπροστασίας χωρίς τη χρήση πυρανασχετικών υλικών.

4.3.4.5 Εγκιβωτισμός σε σκυρόδεμα

Μια από τις παραδοσιακές μεθόδους προστασίας έναντι της φωτιάς είναι ο εγκιβωτισμός των μεταλλικών διατομών σε χυτό σκυρόδεμα, το οποίο πρέπει να φέρει χαλαρό διαμήκη σπλισμό.

Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι και η παρεχόμενη προστασία της κατασκευής και έναντι διάβρωσης. Το απαιτούμενο πάχος σκυροδέματος υπολογίζεται βάσει κανονισμών, ενώ ο σπλισμός που τοποθετείται μπορεί να υπολογιστεί, ούτως ώστε, είτε μόνο να προσφέρει στη συγκράτηση του σκυροδέματος στη



μεταλλική διατομή είτε να ενισχύει συγχρόνως και τη φέρουσα ικανότητα του μέλους στο οποίο εφαρμόζεται. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά διαδομένη στην Ιαπωνία, δεν τυχαίνει όμως ευρείας διάδοσης λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής, του υψηλού χρόνου εφαρμογής και της σημαντικής αύξησης του όγκου των φερόντων στοιχείων της κατασκευής.

Σχήμα 8: Μερική ενσωμάτωση διατομής αλουμινίου στην πλάκα σκυροδέματος

4.3.4.6 Πλήρωση με σκυρόδεμα

Για να βελτιωθεί η επίδοση των κοίλων διατομών στη πυρκαγιά μπορεί να γίνει η πλήρωση τους με σκυρόδεμα. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι αποφεύγεται η ογκώδης εξωτερική προστασία και ότι η επιφάνεια του μεταλλικού στοιχείου μπορεί να βαφεί με τους συνήθεις τρόπους και υλικά. Το σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως δεξαμενή θερμότητας για να μειώσει την αύξηση της θερμοκρασίας του μεταλλικού στοιχείου είτε ως φέρων στοιχείο της κατασκευής που μπορεί να συγκρατεί τα διαρκώς αυξανόμενα φορτία, καθώς η θερμοκρασία του μεταλλικού στοιχείου αυξάνεται και αυτό χάνει σταδιακά τη φέρουσα ικανότητα του.



Το σκυρόδεμα πλήρωσης μπορεί να είναι απλό σκυρόδεμα ή ενισχυμένο σκυρόδεμα με συμβατικό σπλισμό ή ινοπλισμένο.

Σχήμα 9: Πλήρωση με σκυρόδεμα

Οι κοίλες διατομές παρέχουν την περίσφιξη στο σκυρόδεμα και σε κανονικές συνθήκες, ευεργετικό στοιχείο ειδικά σε κατάσταση σεισμού.

Για την αποφυγή έκρηξης του κοίλου μέρους κατά τη διάρκεια της θέρμανσης λόγω της υπερβολικής πίεσης του ατμού, είναι απαραίτητο να κατασκευάζονται οπές εξαερισμού.

Επίσης η πλήρωση με σκυρόδεμα μπορεί να εφαρμοστεί και στη περίπτωση των διατομών διπλού T με πλήρωση των δύο κενών εκατέρωθεν του κορμού ανάμεσα στα πέλματα της διατομής. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να τοποθετηθεί οπλισμός ο οποίος να στερεώνεται στο κορμό και όχι στα πέλματα.

Κεφάλαιο 5

Παραδείγματα εφαρμογής σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 9-Μέρος 2

5.1 Υποστύλωμα χωρίς πυροπροστατευτική μόνωση

Το υποστύλωμα βρίσκεται έξω από το κτίριο αλλά μπορεί να εκτεθεί στην πυρκαγιά από τα ανοίγματα των παραθύρων. Η διατομή του υποστυλώματος είναι τετραγωνική κοιλοδοκός, προϊόν διέλασης RHS 250x10 και η **απαιτούμενη πυραντίσταση 10 λεπτά**. Το μήκος του υποστυλώματος είναι 8000mm και θεωρείται αρθρωτό και στα δύο άκρα του. Το υλικό κατασκευής είναι κράμα αλουμινίου EN AW 6082 T6 ($f_{02}=260\text{MPa}$).



Τα φορτία της κατασκευής είναι:

Μόνιμο φορτίο: 150kN

Κινητό φορτίο: 300kN

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής

$$A = 250^2 - 230^2 = 9600\text{mm}^2$$

$$I_y = I_z = 250^4 - 230^4 = 92.3 \times 10^6\text{mm}^4$$

Μηχανικά χαρακτηριστικά

Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος σύμφωνα με τον πίνακα 3.2b του EN 1999-1-1, το συμβατικό όριο διαρροής f_0 για το κράμα EN6082 T6 είναι $f_{02}=260\text{MPa}$ και το κράμα είναι κλάση A σε λυγισμό. Το μέτρο ελαστικότητας του αλουμινίου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι $E=70000\text{N/mm}^2$.

Προσδιορισμός κλάσης διατομής

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{250}{f_0}} = \sqrt{\frac{250}{260}} = 0.98$$

$$\beta = 0.4 \frac{b}{t} = 0.4 \frac{230}{10} = 9.2$$

$\beta/\varepsilon = 9.2/0.98 = 9.39 < \beta_1/\varepsilon = 11$, οπότε η διατομή είναι κλάσης 1 (Πίνακας 6.2 του EN 1999-1-1).

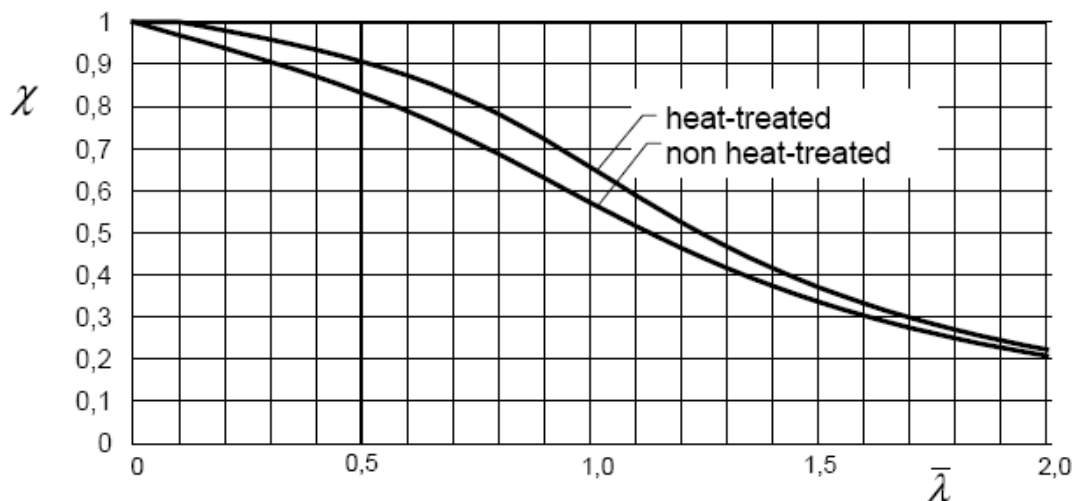
Υπολογισμός σε λυγισμό

Σύμφωνα με το EN 1999-1-1 η αντοχή σε θλιπτικό φορτίο για διατομές κλάσης 1 ισούται με:

$$N_{b,Rd} = k\chi \frac{A_{eff} f_0}{\gamma_{M1}}$$

k είναι συντελεστής, στον οποίο λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της συγκόλλησης. Στην περίπτωση μας ισούται με 1.

χ μειωτικός συντελεστής για το λυγισμό, ο οποίος λαμβάνεται από το Σχήμα 1 ανάλογα με την ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda}$
 A_{eff} ενεργός διατομή ίση με την A για διατομές κλάσης 1,2,3.
 f_o το συμβατικό όριο διαρροής για 0.2% μόνιμη παραμόρφωση



Σχήμα 1 Υπολογισμός συντελεστή χ

Η ανηγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda}$ δίνεται από τον τύπο:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_o}{N_{cr}}}, \text{ όπου } N_{cr} \text{ το κρίσιμο φορτίο, που δίνεται από τη σχέση:}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_o^2}$$

Το ισοδύναμο μήκος λυγισμού για αμφιαρθρωτό υποστύλωμα είναι $l_o=8000\text{mm}$, οπότε:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_o^2} = \frac{\pi^2 \cdot 70000 \cdot 92.3 \times 10^6}{8000^2} = 996.37 \text{ kN, οπότε:}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_o}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9600 \cdot 260}{996.37 \cdot 10^3}} = 1.58, \text{ οπότε από Σχήμα 1 και για υλικό}$$

χωρίς συγκολλήσεις προκύπτει $\chi=0.33$, οπότε η αντοχή σε καμπτικό λυγισμό του στοιχείου είναι ίση με:

$$N_{b,Rd} = k \chi \frac{A_{eff} f_o}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot 0.33 \frac{9600 \cdot 260}{1.1} = 748,8 \text{ kN}$$

Η ορθή δύναμη σχεδιασμού είναι ίση με:

$$N_{Ed} = 1.35 \cdot 150 + 1.50 \cdot 300 = 677.5 \text{ kN}$$

Υπολογισμός αντοχής σε θλιπτικό φορτίο σε κατάσταση πυρκαγιάς
 Η αντοχή σχεδιασμού έναντι λυγισμού $N_{b,fi,t,Rd}$ ενός θλιβομένου μέλους την χρονική στιγμή t προσδιορίζεται από:

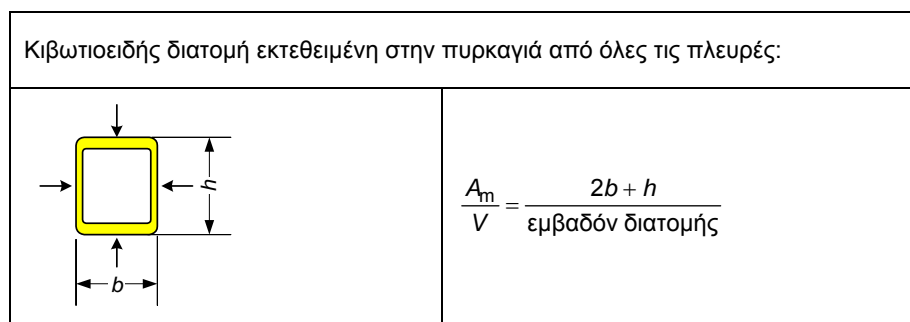
$$N_{b,fi,t,Rd} = k_{o,\theta,max} N_{b,Rd} (\gamma_{M1}/1,2 \gamma_{M,fi})$$

όπου:

$N_{b,Rd}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού έναντι λυγισμού κατά το σχεδιασμό για τη συνήθη θερμοκρασία σύμφωνα με το EN 1999-1-1

1,2 είναι ένας μειωτικός συντελεστής της αντοχής σχεδιασμού λόγω του θερμοκρασιακά εξαρτώμενου ερπυσμού των κραμάτων αλουμινίου

Ο συντελεστής διατομής A_m/V σε m^{-1} για μη προστατευμένα μέλη από δομικό αλουμίνιο όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος της συγκεντρωμένης μάζας από τον Πίνακα 3 του prEN 1999-1-2:2006 δίνεται στο ακόλουθο σχήμα για τη συγκεκριμένη διατομή:



Σχήμα 2: Υπολογισμός συντελεστή διατομής σε m^{-1}

Οπότε σύμφωνα με το Σχήμα 2, προκύπτει ότι:

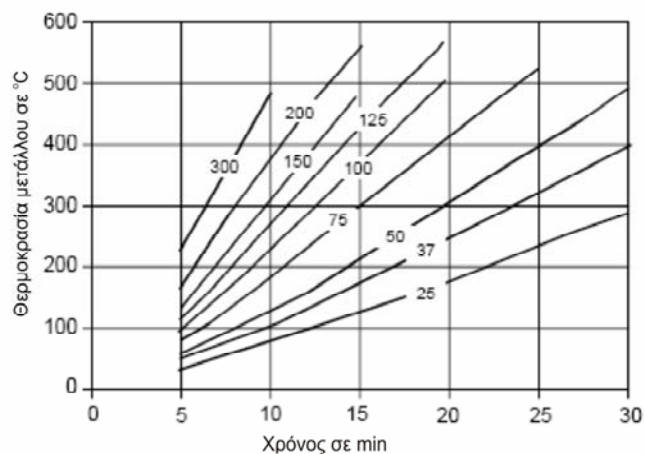
$$\frac{A_m}{V} = \frac{2b + h}{\text{εμβαδόν διατομής}} = \frac{2 \cdot 0.25 + 0.25}{0.25^2 - 0.23^2} = 78.13 m^{-1}$$

A. Περίπτωση

Η τιμή της ικανότητας ακτινοβολίας e_r για την περίπτωση υποστυλώματος, που είναι εκτεθειμένο στην πυρκαγιά μέσω των ανοιγμάτων είναι ίση με 0.2, οπότε λαμβάνουμε υπόψη τις τιμές από το Σχήμα 3.

Θερμοκρασία: 10 λεπτά

$$\frac{A_m}{V} = 78.13 m^{-1}$$



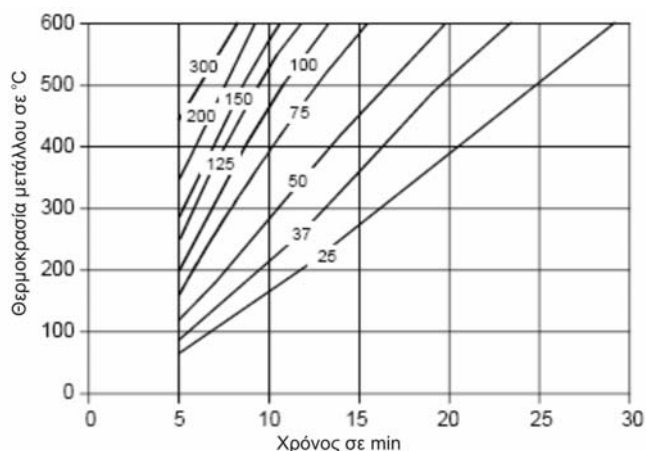
Σχήμα 3: Καμπύλες υπολογισμού θερμοκρασίας υλικού για $e_r=0.2$

$\epsilon_r=0.2$, οπότε η θερμοκρασία του υλικού σε βαθμούς Κελσίου προκύπτει ίση με 190°C .

Β. Περίπτωση

Εάν ο υαλοπίνακας αστοχήσει, τότε η ικανότητας ακτινοβολίας γίνεται $\epsilon_r=0.7$, οπότε σύμφωνα με το Σχήμα 4, η θερμοκρασία του υλικού σε βαθμούς Κελσίου προκύπτει ίση με 410°C .

Από τον Πίνακα 1^α του prEN 1999-1-2:2006 και για το κράμα 6082 T6 με γραμμική παρεμβολή προκύπτουν οι τιμές του συντελεστή $k_{o,\theta}$



Σχήμα 4: Καμπύλες υπολογισμού θερμοκρασίας υλικού για $\epsilon_r=0.7$

- θερμοκρασία 190°C : $k_{o,\theta} = 0.79 - \frac{0.79 - 0.65}{50} 40 = 0.68$
- θερμοκρασία 410°C : $k_{o,\theta} = 0.11 - \frac{0.11 - 0}{200} 60 = 0.08$
-

Πίνακας 1: Λόγοι $k_{o,\theta}$ του συμβατικού ορίου διαρροής 0,2% για τα κράματα αλουμινίου σε συνθήκη θερμοκρασία και σε υψηλή θερμοκρασία για έκθεση στην πυρκαγιά έως 2 ώρες

Κράμα	Κατεργασία	Θερμοκρασία κραμάτων αλουμινίου $^\circ\text{C}$							
		20	100	150	200	250	300	350	550
EN AW-3004	H34	1,00	1,00	0,98	0,57	0,31	0,19	0,13	0
EN AW-5005	O	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,58	0,39	0
EN AW-5005	H14 ¹⁾	1,00	0,93	0,87	0,66	0,37	0,19	0,10	0
EN AW-5052	H34 ²⁾	1,00	1,00	0,92	0,52	0,29	0,20	0,12	0
EN AW-5083	O	1,00	1,00	0,98	0,90	0,75	0,40	0,22	0
EN AW-5083	H12 ³⁾	1,00	1,00	0,80	0,60	0,31	0,16	0,10	0
EN AW-5454	O	1,00	1,00	0,96	0,88	0,50	0,32	0,21	0
EN AW-5454	H34	1,00	1,00	0,85	0,58	0,34	0,24	0,15	0
EN AW-6061	T6	1,00	0,95	0,91	0,79	0,55	0,31	0,10	0
EN AW-6063	T5	1,00	0,92	0,87	0,76	0,49	0,29	0,14	0
EN AW-6063	T6 ⁴⁾	1,00	0,91	0,84	0,71	0,38	0,19	0,09	0
EN AW-6082	T4 ⁵⁾	1,00	1,00	0,84	0,77	0,77	0,34	0,19	0
EN AW-6082	T6	1,00	0,90	0,79	0,65	0,38	0,20	0,11	0

1) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για την κατεργασία H24/H34/H12/H32
 2) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για την κατεργασία H12/H22/H32
 3) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για την κατεργασία H22/H32
 4) Οι τιμές ισχύουν επίσης και για το κράμα EN AW-6060 T6 and T66
 5) Οι τιμές δεν περιλαμβάνουν την αύξηση της αντοχής λόγω της γήρανσης. Συνιστάται να αγνοούνται τέτοιου είδους επιδράσεις.

Επομένως η αντοχή σχεδιασμού σε λυγισμό για έκθεση σε πυρκαγιά για χρονικό διάστημα ίσο με 60 λεπτά είναι ίση με:

- Για θερμοκρασία 190°C: $=N_{b, fi, 10, Rd} = 0.68 \cdot 748.8 \frac{1.10}{1.2 \cdot 1} = 466.8 \text{ kN}$
- Για θερμοκρασία 410°C: $=N_{b, fi, 10, Rd} = 0.08 \cdot 748.8 \frac{1.10}{1.2 \cdot 1} = 54.9 \text{ kN}$

Η ορθή δύναμη σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς είναι ίση με:

$N_{Ed} = 1.00 \cdot 150 + 1.00 \cdot 300 = 450 \text{ kN}$ (σε κατάσταση πυρκαγιάς οι συντελεστές γ_M για το μόνιμο και κινητό φορτίο είναι ίσοι με 1-μειωμένα φορτία σε κατάσταση πυρκαγιάς).

Επομένως εάν το υποστυλώμα δεν περιβάλλεται από φλόγες ($\epsilon_r=0.2$) μπορεί να αντέξει το θλιπτικό φορτίο σχεδιασμού για 10 λεπτά, ενώ εάν περιβάλλεται από φλόγες ($\epsilon_r=0.7$), το υποστυλώμα θα πρέπει να μονωθεί έναντι πυρκαγιάς, προκειμένου να αντέξει για 10 λεπτά το φορτίο σχεδιασμού.

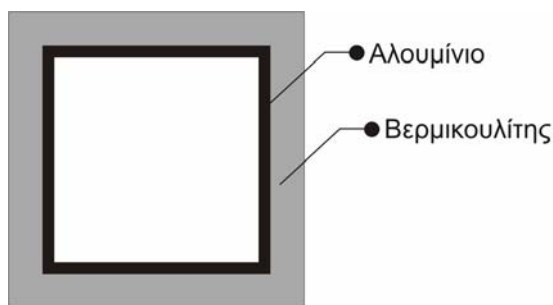
Η θερμοκρασία του υποστυλώματος μπορεί να υπολογιστεί και βάσει της μεθόδου, που περιγράφεται στο Παράρτημα C του EN 1999-1-2. Η μέθοδος αυτή θα δώσει πιο μικρές τιμές για τη θερμοκρασία, επομένως τα αποτελέσματα, που έχουμε είναι προς τη μεριά της ασφάλειας.

5.2 Υποστύλωμα μονωμένο με πλάκες βερμικουλίτη πάχους 70mm

Η απαιτούμενη πυραντίσταση για το μονωμένο δομικό στοιχείο θεωρείται ίση με **60 λεπτά**.

Υπολογισμός ισοδύναμου πάχους μόνωσης

Στην περίπτωση των μονωμένων δομικών στοιχείων υπολογίζεται το ισοδύναμο πάχος της μόνωσης από την ακόλουθη σχέση:



$$t_{eq} = C \cdot t$$

όπου:

C συντελεστής διόρθωσης για το πάχος, που δίνεται από τον πίνακα 2 με το είδος του υλικού της μόνωσης

t το πάχος του μονωτικού υλικού

Πίνακας 2: Συντελεστής διόρθωσης για το πάχος της μόνωσης

Μονωτικό υλικό	Πυκνότητα kg/ m ³	Συντελεστής διόρθωσης για το πάχος της μόνωσης
Ορυκτόμαλλο εύκαμπτο	30 - 40	0,45
Ορυκτόμαλλο εύκαμπτο	100 -120	1,00
Ορυκτόμαλλο και πλάκες	150 -170	1,15
Πλάκες από ορυκτόμαλλο	280 -320	1,50
Εύκαμπτα ινώδη κεραμικά υλικά	120 -150	1,30
Πλάκες από ινώδη κεραμικά υλικά	240 -300	1,40
Ασβεστόπλακες με πυριτούχα σύνθεση	400 -900	1/625 Fi / V + 0,8
Πλάκες βερμικουλίτη	400 -900	1/625 Fi / V + 0,8
Γυψοσανίδες	700 -1000	1/160 Fi / V + 0,5

Υπολογισμός συντελεστή διατομής

Από τον πίνακα 4 του prEN 1999-1-2:2006 και για Διατομή με ορθογωνικό περίβλημα ενιαίου πάχους, εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από τέσσερις πλευρές, προκύπτει ότι:

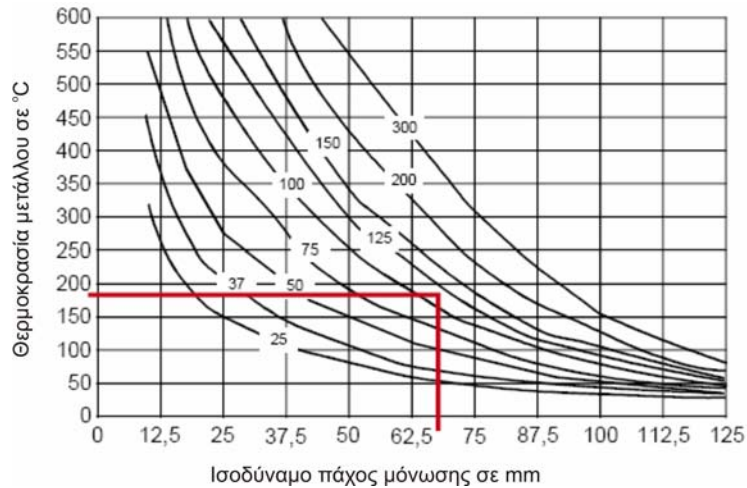
$$A_p / V = \frac{2(b+h)}{\text{εμβαδόν διατομής αλουμινίου}} = \frac{2(0.25+0.25)}{0.25^2 - 0.23^2} = 104.2$$

Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι ο συντελεστής διόρθωσης είναι ίσος με:

$$C = 1/625 \cdot 104.2 + 0.8 = 0.97$$

Οπότε το ισοδύναμο πάχος της μόνωσης είναι ίσο με:

$$t_{eq} = 0.97 \cdot 70 = 68\text{mm}$$



Σχήμα 5: Θερμοκρασία αερίου σε σχέση με το ισοδύναμο πάχος μόνωσης από πλάκες βερμικουλίτη για πυροπροστασία 60 λεπτών

Για ισοδύναμο πάχος μόνωσης 68mm η θερμοκρασία του υποστρώματος είναι ίση με 180°C.

Από τον πίνακα 1 με γραμμική παρεμβολή προκύπτει ότι:

$$k_{o,\theta} = 0.79 - \frac{0.79 - 0.65}{50} 30 = 0.71$$

Η αντοχή σε καμπτικό λυγισμό, όπως έχει δειχθεί προηγουμένως είναι ίση με:

$$N_{b,Rd} = 748,8 \text{ kN}$$

Επομένως η αντοχή σχεδιασμού σε λυγισμό για έκθεση σε πυρκαγιά για χρονικό διάστημα ίσο με 60 λεπτά είναι ίση με:

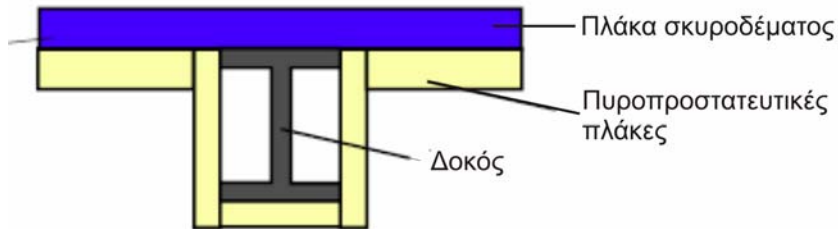
$$N_{b,fi,60,Rd} = 0.71 \cdot 748,8 \cdot \frac{1.10}{1.2 \cdot 1} = 487.3 \text{ kN}$$

Η ορθή δύναμη σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς είναι ίση με:

$$N_{Ed} = 1.00 \cdot 150 + 1,00 \cdot 300 = 450 \text{ kN} > 487.3 \text{ kN} \text{ (σε κατάσταση πυρκαγιάς οι συντελεστές } \gamma_M \text{ για το μόνιμο και κινητό φορτίο είναι ίσοι με 1).}$$

5.3 Μονωμένη δοκός με ορुकτόμαλλο πυκνότητας 120kg/m³

Η διατομή είναι διπλού T διαστάσεων 200x100x15x25. Είναι εκτεθειμένη στις τρεις πλευρές ενώ το άνω πέλμα της εφάπτεται με την πλάκα σκυροδέματος. Το στοιχείο μονώνεται με ορुकτόμαλλο πυκνότητας 120kg/m³. Το άνοιγμα της δοκού είναι 4000mm και το κράμα, που χρησιμοποιείται είναι το 6082 T6.



Η πυραντίσταση, που απαιτείται είναι **90 λεπτά**.

Τα φορτία της κατασκευής είναι:

Μόνιμο φορτίο: 2kN/m

Κινητό φορτίο: 8kN/m

Γεωμετρικά στοιχεία διατομής

$$I_y = 2 \left(\frac{100 \cdot 25^3}{12} + 100 \cdot 25 \cdot (100 - 12.5)^2 \right) + \frac{150^3 \cdot 15}{12} = 42.76 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{el,y} = \frac{42.76 \cdot 10^6}{100} = 0.43 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 2S_y = 2(100 \cdot 25(100 - 12.5) + 75 \cdot 15 \cdot 75/2) = 0.52 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Προσδιορισμός κλάσης διατομής

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{250}{f_o}} = \sqrt{\frac{250}{260}} = 0.98$$

Κορμός

$$\beta = \frac{b}{t} = \frac{150}{15} = 10$$

$\beta/\varepsilon = 10/0.98 = 10.2 < \beta_1/\varepsilon = 11$, οπότε ο κορμός είναι κλάσης 1

Πέλμα

$$\beta = \frac{b}{t} = \frac{42.5}{25} = 1.7$$

$\beta/\epsilon = 1.7/0.98 = 1.73 < \beta_1/\epsilon = 3$, οπότε το πέλμα είναι κλάσης 1

Επομένως η διατομή είναι κλάση 1, οπότε η ροπή αντοχής της διατομής είναι ίση με:

$$M_{c,Rd} = aW_{el,y} f_o / \gamma_{M1}$$

όπου:

$$a = W_{pl,y} / W_{el,y}$$

οπότε:

$$M_{c,Rd} = 0.52 \cdot 106 \cdot 260 / 1.1 = 2.29 \cdot 10^6 \cdot 260 / 1.1 = 122.9 \text{ kNm}$$

Έλεγχος για την οριακή κατάσταση αστοχίας:

$$M_{Ed} = \frac{(1.35 \cdot 2 + 1.50 \cdot 8) 4^2}{8} = 29.8 \text{ kNm} < M_{c,Rd} = 122.9 \text{ kNm}$$

Η ροπή αντοχής είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη ροπή σχεδιασμού, προκειμένου να ικανοποιηθεί ο έλεγχος στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.

Έλεγχος λειτουργικότητας

Το αναπτυσσόμενο βέλος στη δοκό είναι ίσο με:

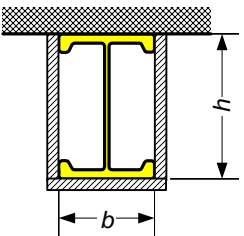
$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_y} = \frac{5}{384} \frac{(2+8)4000^4}{70000 \cdot 42.76 \cdot 10^6} = 11.14 \text{ mm} < \frac{4000}{250} = 16 \text{ mm}$$

Έλεγχος σε κατάσταση πυρκαγιάς

Η ροπή αντοχής σε κατάσταση πυρκαγιάς είναι ίση με:

$$M_{Ed} = \frac{(2+8)4^2}{8} = 20 \text{ kNm}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4 του EN 1999-1-2:2006, μέρος του οποίου δείχνεται στο Σχήμα 6, υπολογίζεται ο συντελεστής διατομής.

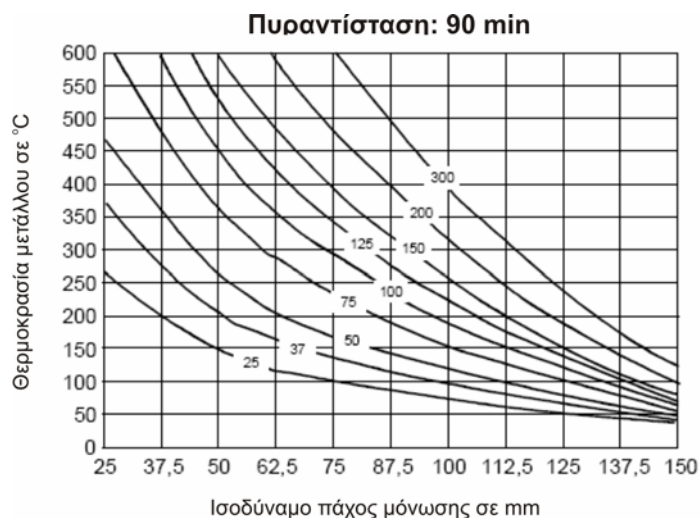
	<p>Διατομή με ορθογωνικό περίβλημα ενιαίου πάχους, εκτεθειμένη στην πυρκαγιά από τρεις πλευρές.</p>	$\frac{2h + b}{\text{εμβαδόν διατομής αλουμινίου}}$
---	---	---

Σχήμα 6: Υπολογισμός συντελεστή διατομής σε m^{-1}

$$\frac{A_m}{V} = \frac{2h + b}{\text{εμβαδόν διατομής}} = \frac{2 \cdot 0.2 + 0.1}{2 \cdot 0.1 \cdot 0.025 + 0.15 \cdot 0.015} = 68.97 m^{-1}$$

Από τον Πίνακα 2, ο συντελεστής διόρθωσης προκύπτει ίσος με 1, οπότε το ισοδύναμο πάχος μόνωσης ισούται με:

$$t_{eq} = 1 \cdot 75 = 75 \text{ mm}$$



Σχήμα 7: Υπολογισμός θερμοκρασίας μετάλλου για έκθεση σε πυρκαγιά για χρονικό διάστημα ίσο με 90 min

Από το Σχήμα 7 και για ισοδύναμο πάχος μόνωσης ίσο με 75mm και συντελεστή διατομής $68.97 m^{-1}$, προκύπτει ότι η θερμοκρασία του μετάλλου είναι ίση με $230^\circ C$.

Από τον πίνακα 1 με γραμμική παρεμβολή προκύπτει ότι:

$$k_{o,\theta} = 0.65 - \frac{0.65 - 0.38}{50} 30 = 0.49$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη για τις διατομές κατηγορίας 1, 2, 3 ή 4 με ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας, τη χρονική στιγμή 90 προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{fi,90,Rd} = k_{o,\theta} M_{Rd} (\gamma_{Mx} / \gamma_{M,fi})$$

όπου:

M_{Rd} είναι η αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη μιας διατομής για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία.

γ_{Mx} είναι ο συντελεστής για το υλικό σύμφωνα με το EN 1999-1-1 (Ο γ_{M1} για την περίπτωση μας)

οπότε:

$$M_{fi,90,Rd} = 0.49 \cdot 122.9 \frac{1.1}{1.0} = 66.24 \text{kNm} > 20 \text{kNm} = M_{Ed}$$

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνόπουλος Γ. Γ., **Μεταλλογνωσία**, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 1988
2. Φ. Γ. Πρεφτίτση, **Μεταλλικά κτίρια**, Κτίριο-Επιλογή στη Δόμηση, 2007
3. **Βασικές έννοιες και χαρακτηριστικά της παραγωγής του αλουμινίου και προϊόντων του**, το <<Αλουμίνιο>>, Δεκέμβριος, 2002
4. Μ.Κ.Κουτεντάκης, Μ.Δ.Ζυγωμαλάς, Χ.Κ.Μπανιωτόπουλος, **Φέρουσες κατασκευές αλουμινίου. Βάσεις σχεδιασμού στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 9**, Επιστημονική έκδοση Κτίριο, Α-Β 2003
5. Conserva Mario, Donzelli Giancarlo, Trippodo Rodolfo, **Aluminium and its applications**, EDIMET, 1992
6. Dwight J., **Aluminium Design and Construction**, E&FN Spon, London and New York
7. Kissel, Randolph, Ferry L. Robert, **Aluminium structures, A guide to their Specifications and Design**, J. Wiley & Sons, INC., USA, 1995
8. Mazzolani, F.M. **Aluminium Alloy Structures**, 2nd edition, E& FN Spon, London, 1995
9. **TALAT, Training in Aluminium Application Technology**

Κανονισμοί

1. **ΕΛΟΤ EN 515**, Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου-Συμβατικός χαρακτηρισμός των καταστάσεων
2. **ΕΛΟΤ EN 755.02**, Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου-Διελασμένοι ράβδοι/δοκοί, σωλήνες και προφίλ: Μηχανικές ιδιότητες
3. **ΕΛΟΤ EN 573.01**, Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου: Χημική σύνθεση και μορφή των κατεργασμένων προϊόντων-Μέρος 1: Σύστημα αριθμητικού συμβολισμού
4. **ΕΛΟΤ EN 573.02**, Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου: Χημική σύνθεση και μορφή των κατεργασμένων προϊόντων-Μέρος 2: Σύστημα αριθμητικού συμβολισμού με βάση τη χημική σύνθεση
5. **ΕΛΟΤ EN 573.03**, Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου: Χημική σύνθεση και μορφή των κατεργασμένων προϊόντων-Μέρος 3: Χημική σύνθεση
6. **Eurocode 9-Part 1.1**: Design of aluminium structures-General structural rules, CEN

7. Eurocode 9-Part 1.2: Design of aluminium structures-Structural Fire Design, CEN

Ιστοσελίδες

www.fireservice.gr

www.firesecurity.gr

www.aec.org

www.aluminium.org

www.rockwool.de

Τεχνικά φυλλάδια εταιρειών

Cafoo, Promat, Thermal Ceramics, Rockwool, Privacy Policy

Περιοδικά

Aluminium Magazine