

Α. Τ. Ε. Ι. ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΒΑΡΕΩΣ ΤΥΠΟΥ**



Ονοματεπώνυμο Σπουδαστών :

- Αχλαδιανάκης Ιωάννης
- Δρογγίτης Διονύσιος

Εποπτεύων Καθηγητής : Μαυροθανάσης Φ.

Πάτρα 2006

Περιεχόμενα :

Εισαγωγή	σελ. 1
Κεφάλαιο 1. Γενικά για υλικά	σελ.8
Κεφάλαιο 2. Μέσα συνδέσεως	σελ. 16
Κεφάλαιο 3. Στηρίξεις δοκών	σελ. 66
Κεφάλαιο 4. Ενώσεις δοκών	σελ. 111
Κεφάλαιο 5. Καταπόνηση δοκών σε κάμψη	σελ. 133
Κεφάλαιο 6. Δικτυώματα με ράβδους	σελ. 157
Κεφάλαιο 7. Πυροπροστασία μεταλλικών κατασκευών	σελ. 181
Κεφάλαιο 8. Εφαρμογή Instant	σελ. 191

Εισαγωγή

Πλεονεκτήματα της μεταλλικής κατασκευής

Με τη σημερινή διαμόρφωση του δομικού χάλυβα, η κομψότητα, η τέχνη και η λειτουργία, μπορούν να ενωθούν με σχεδόν απεριόριστους τρόπους. Η κατασκευή χάλυβα προσφέρει τις νέες λύσεις και ευκαιρίες, οι οποίες επιτρέπουν στους αρχιτέκτονες να διευρύνουν τη φαντασία τους και πραγματικά να δημιουργήσουν μερικές από τις πιο προκλητικές κατασκευές που έχουν σχεδιάσει στα μυαλά τους. Αυτό που μέχρι τώρα ήταν μια αδύνατη σκέψη τώρα είναι πραγματικότητα.

Αυτό το κεφάλαιο εξηγεί τα πλεονεκτήματα των μεταλλικών κατασκευών και επίσης τα ζητήματα που πρέπει να συμπεριληφθούν από τον πελάτη, τον εξειδικευμένο στο αντικείμενο και τον σχεδιαστή προκειμένου να ληφθεί η βέλτιστη λύση, όπως συνοπτικά, η διαδικασία σχεδίου και κατασκευής, και οι παράγοντες που επηρεάζουν τις τιμές και τους απαιτούμενους χρόνους.

Στα βασικά οφέλη των μεταλλικών κατασκευών περιλαμβάνονται:

- χαμηλότερο κόστος
- σταθερότητα
- ανθεκτικότητα στο χρόνο
- ευελιξία σχεδιασμού
- προσαρμοστικότητα
- ανακυκλωσιμότητα

Αυτά και άλλα οφέλη συνεχίζουν να κάνουν το χάλυβα το υλικό επιλογής για τον σκελετό κατασκευής ενός κτιρίου.

Ο δομικός χάλυβας έχει εισαγάγει μια νέα εποχή. Σήμερα παρέχει όχι μόνο δύναμη στα κτήρια, αλλά και ομορφιά και εντυπωσιασμό, επιτεύγματα που είναι δύσκολο ή πάρα πολύ δαπανηρό να παραχθούν με άλλα υλικά. Η προηγμένη τεχνολογία επεξεργασίας χάλυβα έχει διαθέσει συναρπαστικές

αρχιτεκτονικές ευκαιρίες, που επιτρέπουν στους αρχιτέκτονες να επεκτείνουν τις καλλιτεχνικές εκφράσεις τους και να σχεδιάσουν θεαματικές κατασκευές με χάλυβα.

Η καμπύλη και η κάμψη είναι τώρα δυνατές με τρόπους που ποτέ πριν δεν θεωρήθηκαν πιθανοί. Ανάλογα με το μέγεθος και την ακτίνα της επιθυμητής καμπύλης, οι ακτίνες μπορούν να καμφθούν μέχρι 360 βαθμούς (μέτρο της καμπυλότητας π.χ. μιας σιδηροδρομικής γραμμής ή ενός αυτοκινητοδρόμου, ίσο με τη γωνία που αντιστοιχεί σε μία χορδή 100 ft).

Καμπύλες που χρησιμοποιούν χαλύβδινα δοκάρια κάμπτονται σε κανονικές ακτίνες ή τετμημένες καμπύλες ή συνδυασμός και των δύο μπορεί να δημιουργήσουν τα μέλη που ακολουθούν το περίγραμμα των αψίδων ή των θόλων.

Ακρίβεια

Η σημερινή επεξεργασία ακριβείας, επιτρέπει στα κομμάτια χάλυβα να συνδυάζονται με πρωτοφανείς τρόπους. Τα ειδικά τμήματα χάλυβα, οι ασυνήθιστες γωνίες και η λεπτομέρεια είναι τώρα οικονομικώς εφικτά χάρη στα προγράμματα CAD με την κοπή την διάτρηση και την συγκόλληση να ελέγχονται από υπολογιστή.

Η καλλιτεχνική ελευθερία των αρχιτεκτόνων ενισχύεται περαιτέρω από την ποικιλία των μορφών χάλυβα που μπορεί να κατεργαστούν για να εκτελέσουν ειδικές λειτουργίες. Ανεξάρτητα από τη μορφή του, ο δομικός χάλυβας μπορεί να αντέξει τα απαραίτητα φορτία χρησιμοποιώντας ένα ελάχιστο ποσό υλικού. Και, καθώς οι μορφές οικοδόμησης αλλάζουν, οι μεταλλικές κατασκευές ξανασχεδιάζονται εύκολα με την προσθήκη νέων αρχιτεκτονικών επεξεργασιών.

Είναι σημαντική η μείωση του ύψους οικοδόμησης στο να ελέγχονται οι δαπάνες. Η αφαίρεση μισού μέτρου από κάθε πάτωμα μειώνει αισθητά τις δαπάνες του χάλυβα και άλλων οικοδομικών υλικών. Αν τώρα ελέγξουμε και

τους λόγους της ενέργειας - αποδοτικότητας θα καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι ελαχιστοποιώντας το ύψος μεταξύ των πατωμάτων πετυχαίνουμε ελαχιστοποίηση των δαπανών θέρμανσης και ψύξης.

Ένας τρόπος για την ελαχιστοποίηση του ύψους οικοδόμησης είναι να ενσωματωθούν τα δοκάρια των πατωμάτων στους εσωτερικούς τοίχους ή τα χωρίσματα. Λαμβάνοντας το σχεδιάγραμμα των πατωμάτων υπόψη απαιτεί προσεκτικό προγραμματισμό αλλά οδηγεί σε ένα αποδοτικό σχέδιο.

Σε μερικές περιπτώσεις, είναι δυνατό να περιοριστεί το βάθος των δοκαριών με την επιλογή ενός μεγέθους μελών που είναι πιο ρηχό, αν και βαρύτερα, όμως προσφέρει την ίδια απαραίτητη αντοχή. Στο παρελθόν, αυτό δεν ήταν οικονομικό, αλλά με τις σημερινές χαμηλότερες δαπάνες παραγωγής δομικού χάλυβα, έχει γίνει μια καλή λύση.

"Slimflor" (λεπτά πατώματα) και ασυμμετρικά δοκάρια παρέχουν τις συναρπαστικές νέες εναλλακτικές λύσεις. Αυτά τα δύο προωθούν την ευκαιρία να περιοριστεί το βάθος του πατώματος στο βύθισμα του δοκαριού και το πάχος της συγκεκριμένης κάλυψης πέρα από το δάπεδο.

Σωληνώσεις και αγωγοί μπορούν να περάσουν μέσω ανοιγμάτων των δοκαριών αντί της τοποθέτησής τους σε ένα χωριστό στρώμα επάνω από ή κάτω από κάθε πάτωμα. Αυτό βοηθά πολύ στο να μειωθεί το γενικό ύψος της κατασκευής, και κατά επέκταση την εξοικονόμηση υλικής και λειτουργικής δαπάνης.

Το λογισμικό ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι διαθέσιμο προς βοήθεια για ότι οι μηχανικοί θελήσουν, όπως πόσο μεγάλα θα είναι τα ανοίγματα, που θα τοποθετηθούν και αν πρέπει ή όχι να ενισχυθούν.

Δύναμη

Η πολύ καλή αναλογία αντοχής – βάρους, επιτρέπει στις μεταλλικές κατασκευές να εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις τόσο γραφικά και οικονομικά όσο κανένα άλλο οικοδομικό υλικό. Στα κτήρια ενιαίων ορόφων οι

δοκοί κύλισης μπορούν να παρέχουν σαφή ανοίγματα δοκών, πάνω από 50 μέτρα, και παράλληλα, χρησιμοποιώντας δεσίματα ή οικοδομικό δικτυωτό πλέγματα, αυτό το άνοιγμα μπορεί διευρυνθεί σε περισσότερα από 150 μέτρα.

Η ικανότητα του χάλυβα για μεγάλα ανοίγματα μεταξύ των υποστηριγμάτων, επιτρέπει επίσης τη δημιουργία μεγάλων τομέων ανεμπόδιστου χώρου στα πολυόροφα κτήρια. Ενώ, μέσου ανοίγματος συστήματα χάλυβα παρέχουν χαρακτηριστικά τις χαμηλότερες δαπάνες κατασκευής για το δομικό πλαίσιο, πολλοί πελάτες τώρα απαιτούν την αυξανόμενη ευελιξία όπου μόνο ο χάλυβας μπορεί να παρέχει με διαστήματα στηλών 15 μέτρων και περισσότερο.

Λιγότερες στήλες καθιστούν ευκολότερη την υποδιαίρεση και την προσαρμογή του διαστήματος μεταξύ γραφείων για τους τρέχοντες και μελλοντικούς μισθωτές. Ο ανοιχτός χώρος είναι επίσης ελκυστικότερος στους θεωρητικούς αγοραστές και διατάζει μια επιθυμητή τιμή σε μια ανταγωνιστική αγορά.

Κατά το σχεδιασμό ενός κτηρίου στις ακραίες ζώνες αέρα ή σεισμικής δραστηριότητας, πρώτη φροντίδα είναι η προστασία των ανθρώπων που ζουν και εργάζονται στην κατασκευή. Η δεύτερη ανησυχία είναι η συντήρηση των περιεχομένων του κτηρίου, όπως τα ακριβά συγκροτήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών ή τα αναντικατάστατα έγγραφα. Η τελευταία, αλλά σημαντική, ανησυχία είναι η κατάσταση και η επιδιορθωσιμότητα του κτηρίου.

Ο χάλυβας είναι το υλικό επιλογής για το σχεδιασμό, επειδή είναι εγγενώς όλκιμος και εύκαμπτος. Λυγίζει φυσικά κάτω από τα ακραία φορτία παρά συντρίβεται ή θρυμματίζεται. Επιπλέον, οι δομές χάλυβα έχουν αποθέματα δύναμης. Πολλές συνδέσεις δοκών - στηλών σε ένα κτήριο έχουν ως σκοπό να υποστηρίξουν τα κατακόρυφα φορτία ή τα φορτία βαρύτητας μόνο. Αλλά έχουν επίσης την ικανότητα να αντισταθούν στα πλευρικά φορτία που προκαλούνται από τον αέρα και τους σεισμούς. Στην ολότητά τους, αυτές οι

συνδέσεις παρέχουν ιδιαίτερα αποθέματα αντοχής πέρα από εκείνα που εξετάζονται συνήθως στο κατασκευαστικό σχέδιο.

Ευελιξία

Οι ιδιοκτήτες κτιρίων συχνά βρίσκονται αντιμέτωποι με την πρόκληση της τροποποίησης ενός υπάρχοντος χώρου για να ικανοποιήσουν τις μεταβαλλόμενες ανάγκες, ίσως προσθέτοντας μια νέα σκάλα, έναν ανελκυστήρα ή ακόμα και αυξάνοντας ή χαμηλώνοντας μια οροφή.

Ο χάλυβας είναι το μόνο υλικό που επιτρέπει στη δύναμη μιας δομής να αυξηθεί οικονομικά αφού χτιστεί.

Οι δοκοί μπορούν να ενισχυθούν εύκολα, να συμπληρωθούν με πρόσθετο πλαίσιο ή ακόμα και να επανατοποθετηθούν για να υποστηρίξουν τα αλλαγμένα φορτία. Ακόμη και οι συνδέσεις μπορούν να ενισχυθούν.

Αυτές οι στρατηγικές μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στα βιομηχανικά κτήρια, όπου αυξανόμενα φορτία μπορούν να δημιουργηθούν από τις αλλαγές στη διαδικασία κατασκευής ή την εγκατάσταση νέου εξοπλισμού που απαιτεί υποστήριξη από την υπερυψωμένη διαμόρφωση.

Επιπλέον, οι τοίχοι μπορούν να επανατοποθετηθούν για να προσαρμοστούν στα νέα εσωτερικά σχέδια που βασίζονται στα νέα χωροταξικά δεδομένα που προκύπτουν. Αυτό είναι δυνατό, επειδή οι εσωτερικοί και εξωτερικοί τοίχοι των κτιρίων με χαλύβδινο σκελετό δεν φέρουν φορτία.

Ανθεκτικότητα

Ο χάλυβας είναι ένα ανθεκτικό δομικό υλικό. Η κυβερνητική στρατηγική για την ανθεκτικότητα στον κατασκευαστικό τομέα, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, για μακροπρόθεσμη επιτυχία, η κατασκευή πρέπει να είναι κοινωνικά και περιβαλλοντικά ικανή καθώς επίσης και οικονομικά βιώσιμη. Αυτό απαιτεί τη συνετή χρήση των φυσικών πόρων, αποφεύγοντας τη ρύπανση, που μειώνει τα απόβλητα, το ενεργειακό σχέδιο, την αποτελεσματική διαχείριση, την υγεία του

προσωπικού, την ασφάλεια και την ευημερία, τις υψηλές κοινωνικές σχέσεις, την ποιότητα του προγράμματος, την παράδοση, την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα.

Αν και η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση είναι απαραίτητες για την ελαχιστοποίηση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας και την περιβαλλοντική επίδραση της παραγωγής του χάλυβα, τα οφέλη της ανθεκτικότητας μπορούν να ενισχυθούν από καλό σχεδιασμό. Τα τρέχοντα πρότυπα σχεδίασης και οι κώδικες συμπεριφοράς συνδέονται για την βέλτιστη χρήση των υλικών. Οι κατασκευές ευρείας έκτασης προωθούν την προσαρμογή και την επαναχρησιμοποίηση. Η υιοθέτηση του ηλεκτρονικού σχεδιασμού και της νέας τεχνολογίας επεξεργασίας έχει βελτιώσει την παραγωγικότητα, τα μειωμένα απόβλητα και την ενισχυμένη ανταγωνιστικότητα. Έχει βοηθήσει επίσης, την βελτίωση των παράπλευρων κατασκευών για καλύτερη ποιότητα και λιγότερες ατέλειες.

Ταχύτητα

Η ταχύτητα με την οποία ένα κτήριο χτίζεται είναι κρίσιμη. Η γρηγορότερη παράδοση σημαίνει ότι ένας ιδιοκτήτης γραφείων μπορεί να αρχίσει την ενοικίαση των χώρων πιο σύντομα, ένας ιδιοκτήτης εργοστασίων μπορεί να αρχίσει την παραγωγή γρηγορότερα και ένας ιδιοκτήτης καταστημάτων μπορεί να αρχίσει τις πωλήσεις πιο γρήγορα.

Η γρήγορη κατασκευή μειώνει επίσης τις δαπάνες χρηματοδότησης και τις δαπάνες για τις διοικητικές υπηρεσίες κατασκευής.

Επειδή ο δομικός χάλυβας είναι ελαφρύτερος από άλλα κατασκευαστικά υλικά, χρειάζεται μικρότερη και απλούστερη θεμελίωση. Αυτό μειώνει και το κόστος και το χρόνο της κατασκευής.

Ο χάλυβας που πλαισιώνει το σχέδιο απλών δοκών, επιτρέπει στην οικοδόμηση να προχωρήσει γρήγορα από την έναρξη κιόλας της ανέγερσης. Μόλις είναι έτοιμα, η θεμελίωση και τα πατώματα χάλυβα, άλλα τμήματα της

οικοδόμησης μπορούν να αρχίσουν χρησιμοποιώντας τη πλατφόρμα ως επιφάνεια εργασίας. Είναι κοινό για τους ηλεκτρολόγους και άλλους τεχνικούς να έχουν αρχίσει για τα καλά την εργασία τους προτού να τοποθετηθεί η τσιμεντένια πλάκα. Επιπλέον, ο κατάλληλα σταθεροποιημένος χάλυβας μπορεί να φορτωθεί αμέσως, επιτρέποντας στην εργασία να προχωρήσει στο επόμενο επίπεδο χωρίς καθυστέρηση.

Παραγωγικότητα

Η βιομηχανία έχει κάνει δραματικές βελτιώσεις στην τεχνολογία, την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα, που την βοηθούν να διατηρήσει τις ισχυρές εξαγωγές του χαλυβουργείου και των σχετικών προϊόντων και υπηρεσιών. Περίπου 10% της Βρετανικής ετήσιας παραγωγής χαλυβουργίας, εξάγεται παγκοσμίως και οι βρετανικές επιχειρήσεις συνεχίζουν να κερδίζουν σημαντικές διαταγές ενάντια στον υπερπόντιο ανταγωνισμό, με μεγάλες συμβάσεις στην Ιαπωνία, το Χόνγκ Κόνγκ, τη Μέση Ανατολή, την Αφρική, τη Νότια Αμερική και την Ευρώπη.

Στη βρετανική αγορά, 80% όλης της μη-εσωτερικής κατασκευής πλαισίων, είναι χάλυβας. Τα προηγούμενα 20 έτη είδαμε τη βιομηχανία να κερδίζει το 95% του συνόλου της κατασκευής μονοόροφων πλαισίων και το 70% όλης της πολυόροφης κατασκευής.

Όντας συνολικά επαναχρησιμοποιήσιμος, ο χάλυβας είναι το τελευταίο φιλικό προς το περιβάλλον προϊόν. Οι σημερινές δομές χάλυβα, σχεδόν βεβαίως, θα επαναχρησιμοποιηθούν στα κτήρια του αύριο.

Κεφάλαιο 1

Γενικά για υλικά

Τα κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται, κατά κόρον, στις μεταλλικές κατασκευές, είναι ο σίδηρος και ο χάλυβας.

Ο καθαρός σίδηρος, είναι λευκό μέταλλο, τήκεται στους 1530 °C και βράζει στους 2450 °C. Έχει ειδικό βάρος 7,785 και είναι καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Παρατήρηση, όμως, αποτελεί, το ότι χάνει την μαγνητική του ικανότητα, πέραν των 700 °C. Περεταίρω, ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του είναι $1,149 \cdot 10^{-5}$ (Για $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Ως χάλυβα χαρακτηρίζουμε κάθε κράμα σιδήρου και άνθρακα, που είναι ελατό και η περιεκτικότητά του σε άνθρακα δεν ξεπερνά το 1,7 %.

Είδη Χάλυβα

Οι χάλυβες από χημικής απόψεως, διακρίνονται σε

- a. Ανθρακούχους
- b. ειδικούς.

Σε σχέση με το πεδίο εφαρμογής του, ο χάλυβας, διακρίνεται σε

- i. ρευστοπαγή, όπου είναι ο χάλυβας που λαμβάνεται σε κατάσταση τήξης
- ii. σε πολτοπαγή, ο οποίος λαμβάνεται σε πλαστική κατάσταση.

Ως δομικός χάλυβας, χρησιμοποιείται συνήθως, ο ρευστοπαγής, ενώ ο πολτοπαγής μόνο σε δευτερεύουσες κατασκευές.

Ο ρευστοπαγής χάλυβας συμβολίζεται με St. Με GS συμβολίζεται ο χυτοχάλυβας. Δεξιά του συμβόλου τοποθετείται ένας αριθμός, ο οποίος είναι αντιπροσωπευτικός της ελάχιστης αντοχής χάλυβα σε εφελκυσμό, που εκφράζεται σε Kg / mm^2 . Επίσης, δεξιά του αριθμού, που συμβολίζει την ελάχιστη αντοχή σε εφελκυσμό, τοποθετείται ένας αριθμός που κυμαίνεται από

1 έως 3 και είναι χαρακτηριστικός της ευαισθησίας του χάλυβα σε σκλήρυνση και ευθραυστότητα.

Ο αριθμός 1 δηλώνει υλικό γενικής χρήσης, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις.

Ο αριθμός 2 δηλώνει υλικό υψηλών απαιτήσεων.

Ο αριθμός 3, τέλος, δηλώνει υλικό ειδικών απαιτήσεων, κατάλληλο για όλες τις περιπτώσεις κοπώσεως.

Μηχανικές ιδιότητες

Ο χάλυβας αντλεί τις μηχανικές ιδιότητές του από έναν συνδυασμό χημικής σύνθεσης, μηχανικής εργασίας και θερμικής επεξεργασίας.

Η δύναμη του χάλυβα μπορεί να αυξηθεί από την προσθήκη κραμάτων όπως ο άνθρακας, το μαγγάνιο, το νιόβιο και το βανάδιο είτε κατά τη διάρκεια του τρυπήματος, είτε της δευτεροβάθμιας χαλυβουργίας. Εντούτοις, αυτές οι προσθήκες κραμάτων μπορούν να έχουν επιπτώσεις σε άλλες ιδιότητες (π.χ. ολκιμότητα, ανθεκτικότητα και ιδιότητα συγκόλλησης). Η ελαχιστοποίηση των επιπέδων θείου μπορεί να ενισχύσει την ολκιμότητα, και η ανθεκτικότητα μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη νικελίου. Η χημική σύνθεση για κάθε προδιαγραφή χάλυβα είναι επομένως προσεκτικά ισορροπημένη για να εξασφαλίσει τις κατάλληλες ιδιότητες που επιτυγχάνονται για την τελική εφαρμογή του υλικού.

Η μηχανική κατεργασία πραγματοποιείται δεδομένου ότι ο χάλυβας ελασματοποιείται ή διαμορφώνεται. Όσο περισσότερο κυλινδρώνεται ο χάλυβας, κατά την διάρκεια της ελασματοποίησης του, τόσο ισχυρότερος γίνεται. Αυτή η επίδραση είναι προφανής στα υλικά πρότυπα, τα οποία τείνουν να διευκρινίσουν τη μείωση των επιπέδων δύναμης παραγωγής με το αυξανόμενο υλικό πάχος. Εντούτοις, αν και η έλαση αυξάνει τη δύναμη, μειώνει επίσης την ολκιμότητα. Η επίδραση της θερμικής επεξεργασίας εξηγείται καλύτερα σε σχέση με τις διάφορα διαδρομές διαδικασίας παραγωγής ή τα

καθεστώτα έλασης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή χάλυβα, με κυριότερους τύπους τους :

- Ελασματοποιημένος χάλυβας
- Ομαλοποιημένος χάλυβας
- Ομαλοποιημένος - Ελασματοποιημένος χάλυβας
- Ελασματοποιημένος. Θερμομηχανικά, χάλυβας (TMR)
- Βαμμένος και συγκεκραμένος χάλυβας (Q&T)

Ο χάλυβας ψύχεται καθώς ελασματοποιείται, με μια χαρακτηριστική τελική θερμοκρασία έλασης γύρω στους 750 °C. Όταν ο χάλυβας αφήνεται, στην συνέχεια να δροσίσει με φυσικό τρόπο και καμία περαιτέρω θερμική επεξεργασία δεν πραγματοποιείται, τότε αυτό καλείται "όπως-ελατό" υλικό.

Η ομαλοποίηση πραγματοποιείται όταν αναθερμαίνεται το "όπως-ελατό" υλικό μέχρι περίπου τους 900 °C, και παραμένει σε αυτή την θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρόνο, πριν του επιτραπεί να δροσίσει φυσικά. Αυτή η διαδικασία καθαρίζει τη σύσταση και βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες, συγκεκριμένα την σκληρότητα. Καθιστά τις ιδιότητες πιο ομοιόμορφες, και αφαιρεί τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της έλασης.

Η ομαλοποίηση – ελασματοποίηση, είναι μια διαδικασία όπου η θερμοκρασία είναι επάνω από 900 °C αφότου ολοκληρωθεί η έλαση. Αυτό έχει μια παρόμοια επίδραση στις ιδιότητες όπως η ομαλοποίηση, αλλά εξαλείφει την πρόσθετη διαδικασία επαναθέρμανσης του υλικού. Οι ομαλοποιημένοι και ομαλοποιημένοι - ελατοί χάλυβες έχουν έναν προσδιορισμό "N".

Θερμομηχανικά ο ελατός χάλυβας χρησιμοποιεί τη χημεία για να επιτρέψει μια χαμηλότερη θερμοκρασία ολοκλήρωσης της έλασης, γύρω στους 700 °C. Μεγαλύτερη δύναμη απαιτείται για να ελασματοποιηθεί ο χάλυβας σε αυτές τις χαμηλότερες θερμοκρασίες, και οι ιδιότητες διατηρούνται εκτός αν

θερμανθεί εκ νέου επάνω από τους 650 °C. Ο θερμομηχανικά ελασματοποιημένος χάλυβας έχει έναν προσδιορισμό "M".

Η διαδικασία για τον βαμμένο και συγκεκριμένο χάλυβα αρχίζει με ένα ομαλοποιημένο υλικό στους 900C. Δροσίζεται γρήγορα ή "εμβαπτίζεται" για να παράγει το χάλυβα με την υψηλή δύναμη και σκληρότητα, αλλά τη χαμηλή ανθεκτικότητα. Η ανθεκτικότητα αποκαθίσταται με θέρμανση εκ νέου στους 600 °C, τη διατήρηση της θερμοκρασίας για έναν συγκεκριμένο χρόνο, και έπειτα στην παραμονή του ώστε να δροσίσει φυσικά ("Βαφή"). Οι βαμμένοι και συγκεκριμένοι χάλυβες έχουν έναν προσδιορισμό "Q".

Πρότυπα

Όλος ο χάλυβας που χρησιμοποιείται για δομικούς λόγους στα κτήρια πρέπει να κατασκευάζεται σύμφωνα με ένα ευρωπαϊκό πρότυπο (EN). Αυτά τα πρότυπα εκδίδονται στο Ηνωμένο Βασίλειο από την BSI, με μια σύντομη Εθνική εισαγωγή (που περιστασιακά κάνει τις δευτερεύουσες τροποποιήσεις στα πρότυπα), και αντέχουν συνεπώς τον EN προσδιορισμό των BS πριν από τον αριθμό αναφοράς. Τα κύρια ευρωπαϊκά υλικά πρότυπα για τους οικοδομικούς χάλυβες είναι:

- BS EN 10025. Τα ευρωπαϊκά χαλύβδινα δομικά προϊόντα BS EN 10210. Δομική κοίλη διατομή με ολοκλήρωση θερμής κατεργασίας.
- BS EN 10219. Δομική κοίλη διατομή κρύας μορφοποίησης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το BS EN 10025 εκδόθηκε αρχικά το 1993 αλλά μια τροποποιημένη έκδοση του 2003 περιλαμβάνει και τα πρότυπα για τα προϊόντα σε ολόκληρο το εύρος των δομικών χαλύβων, συμπεριλαμβανομένης της άριστης σύστασης, της υψηλής αντοχής (TMR, Q&T) και τους βαθμούς αντίστασης στον καιρό που προηγούμενα απαριθμούνται στο BS EN 10113,

10137 και 10155. Τα BS EN 10210 και 10219 τροποποιούνται για να συμβαδίσουν τις γενικές απαιτήσεις τους με το τροποποιημένο BS EN 10025.

Ιδιότητες

Οι ιδιότητες του χάλυβα που είναι ιδιαίτερα σημαντικές για έναν σχεδιαστή είναι :

- απόδοση αντοχής
- ανθεκτικότητα
- ολκιμότητα
- ιδιότητα συγκόλλησης

Απόδοση αντοχής

Η απόδοση αντοχής είναι η πιο κοινή ιδιότητα που ο σχεδιαστής θα πρέπει να χρησιμοποιήσει δεδομένου ότι είναι η βάση που χρησιμοποιείται για τους περισσότερους από τους κανόνες που δίνονται στους κώδικες σχεδίου. Το επίτευγμα της κατάλληλης απόδοσης αντοχής, διατηρώντας ταυτόχρονα άλλες βασικές ιδιότητες, είναι η κατευθυντήρια δύναμη πίσω από την ανάπτυξη των σύγχρονων διαδικασιών χαλυβουργίας και ελασματοποίησης.

Στα ευρωπαϊκά πρότυπα για τους δομικούς χάλυβες, ο πρωταρχικός σχεδιασμός αφορά την δύναμη αντοχής, π.χ. S275, που σημαίνει ότι ο χάλυβας είναι ένας δομικός χάλυβας με μια ονομαστική δύναμη αντοχής 275 N/mm². Ο αριθμός που αναφέρεται στον σχεδιασμό είναι η τιμή της αντοχής για υλικό μέχρι 16mm παχύ. Οι σχεδιαστές πρέπει να έχουν υπόψη, ότι η αντοχή μειώνει με το αυξανόμενο πάχος του ελάσματος ή επιμέρους τμημάτων. Η παράγραφος 3 του BS 5950-1: 2000 δηλώνει ότι η σχεδιασμένη δύναμη PY θα πρέπει να ληφθεί ίση με τη δύναμη αντοχής αλλά όχι μεγαλύτερη από U/1.2 όπου Ys και είναι αντίστοιχα η ελάχιστη δύναμη αντοχής ReH και η ελάχιστη εφελκυστική δύναμη Rm. Για τους κοινούς βαθμούς χάλυβα που χρησιμοποιούνται στην

πράξη του βρετανικού σχεδιασμού, οι λαμβανόμενες δυνάμεις παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Ανθεκτικότητα

Είναι στη φύση όλων των υλικών να περιέχουν μερικές ατέλειες. Στο χάλυβα αυτές οι ατέλειες λαμβάνουν τη μορφή πολύ μικρών ρωγμών. Εάν ο χάλυβας είναι ανεπαρκώς σκληρός, η "ρωγή" μπορεί να διαδοθεί γρήγορα, χωρίς πλαστική παραμόρφωση και να καταλήξει σε ένα "εύθραυστο σπάσιμο". Η ανθεκτικότητα του χάλυβα και η δυνατότητά του να αντισταθεί στο εύθραυστο σπάσιμο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν στο στάδιο των προδιαγραφών.

Ένα κατάλληλο μέτρο της ανθεκτικότητας είναι η Charpy – εντομή, σε σχήμα V δοκιμή αντίκτυπου. Αυτή η δοκιμή μετρά την ενέργεια αντίκτυπου που απαιτείται για να σπάσει ένα μικρό χαραγμένο δείγμα, σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, από ένα ενιαίο χτύπημα αντίκτυπου, από ένα εκκρεμές. Στα υλικά πρότυπα, οι δοκιμές διευκρινίζονται χαρακτηριστικά ώστε να επιτύχουν μια ελάχιστη ενεργειακή αξία των 27 J.

Το άρθρο 2.4.4 του BS 5950-1: 2000, περιγράφει τις απαιτήσεις για να αποφευχθεί το εύθραυστο σπάσιμο με τη χρησιμοποίηση χάλυβα με επαρκή ανθεκτικότητα εγκοπών, που λαμβάνει υπόψη:

- την ελάχιστη θερμοκρασία
- το πάχος του υλικού
- το βαθμό του χάλυβα
- τον τύπο της λεπτομέρειας
- το επίπεδο πίεσης
- το επίπεδο πίεσης ή το ποσοστό πίεσης

Ολκιμότητα

Η ολκιμότητα είναι ένα μέτρο του βαθμού στον οποίο ένα υλικό μπορεί να παραμορφωθεί ή να επιμηκύνει, μεταξύ της αρχής της παραγωγής και του ενδεχόμενου σπασίματος υπό εφελκυστική φόρτιση. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο όρος ολκιμότητα χρησιμοποιείται χωριστά όταν αξιολογείται η ανθεκτικότητα χρησιμοποιώντας τη v-notch Charpy δοκιμή αντίκτυπου, ή αλλιώς τη μέτρηση της "ολκιμότητας εγκοπών".

Ο σχεδιαστής στηρίζεται στην ολκιμότητα για διάφορες πτυχές του σχεδίου, συμπεριλαμβανομένης της ανακατανομής της πίεσης στο τελευταίο όριο αντοχής, για έλεγχο πολλαπλού σχεδίου, το μειωμένο κίνδυνος διάδοσης ρωγμών καταπόνησης και στη διαδικασία επεξεργασίας για τη συγκόλληση, την κάμψη και την ευθυγράμμιση. Η ολκιμότητα τείνει να μειώνει με την αυξανόμενη δύναμη παραγωγής αλλά αυτή η επίδραση δεν είναι αρκετά σημαντική ώστε να έχει επιπτώσεις στο σχεδιασμό της πλειοψηφίας των κτηρίων.

Τα πρότυπα για τα προϊόντα χάλυβα θέτουν τις απαιτήσεις για την ολκιμότητα από την άποψη της επιμήκυνσης των προτύπων - μεγέθους δειγμάτων δοκιμής, που για τους δομικούς χάλυβες πρέπει να επιμηκύνουν κατά 20% του απαραμόρφωτου μήκους τους. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η πίεση παραγωγής τίθεται χαρακτηριστικά στο 0,2% της αποδεδειγμένης αντοχής, μπορεί να φανεί ότι η ύστατη πίεση του δείγματος δοκιμής είναι περίπου 100 φορές η πίεση παραγωγής.

Τα όρια του ελαστικού σχεδιασμού περιορίζουν την πίεση κάτωθι της παραγωγή εκεί όπου το πλαστικό σχέδιο εκμεταλλεύεται την ιδιαίτερη πρόσθετη ολκιμότητα του χάλυβα πριν από το σπάσιμο. Εντούτοις, αν και ο χάλυβας χαρακτηρίζεται για την ολκιμότητα του και την ανοχή σε σημαντική διαστρέβλωσή του, οι σχεδιαστές δεν πρέπει να περιμένουν, ένα τυπικό δομικό μέλος, να ανέχεται πίεση 20% πέρα από ολόκληρο το μετρημένο μήκος του πριν από το σπάσιμο, καθώς οι γεωμετρικοί και περιοριστικοί όροι, διαφέρουν από

το τυποποιημένο δείγμα δοκιμής. Εάν, όπως στις σεισμικές περιοχές, υπάρχει ανάγκη να παρασχεθεί η ολκιμότητα σε συγκεκριμένες περιοχές της κατασκευής, τότε οι συγκεκριμένες περιπτώσεις μπορεί να πρέπει να αξιολογηθούν είτε με τη φυσική εξέταση είτε χρησιμοποιώντας πεπερασμένη διαμόρφωση στοιχείων.

Ιδιότητα συγκόλλησης

Όλοι οι δομικοί χάλυβες είναι ουσιαστικά συγκολλησιμοι. Εντούτοις, η ένωση περιλαμβάνει τοπική θέρμανση του υλικού, το οποίο ψύχεται στη συνέχεια. Η ψύξη μπορεί να είναι αρκετά γρήγορη επειδή το υλικό προσφέρει μεγάλη απαγωγή θερμότητας και η συγκόλληση (και η θερμότητα που παράγεται) είναι συνήθως σχετικά μικρές. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη σκλήρυνση της "πληγείσας από τη θερμότητα ζώνης" περιοχής (HAZ) και στη μείωση της ανθεκτικότητας, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του υλικού, τόσο μεγαλύτερη η μείωση της ανθεκτικότητας.

Η ευαισθησία της ευθραυστότητας εξαρτάται επίσης από τα αναμεμυγμένα στοιχεία - κυρίως, αλλά όχι αποκλειστικά, στην περιεκτικότητα σε άνθρακα. Αυτή η ευαισθησία μπορεί να εκφραστεί ως "Ισοδύναμη Αξία Άνθρακα" (CEV), και τα πρότυπα δίνουν μια έκφραση για τον καθορισμό αυτής της αξίας.

Η πιο πρόσφατη έκδοση του EN 10025 των BS θέτει τα υποχρεωτικά όρια για τις τιμές του CEV για όλα τα προϊόντα δομικού χάλυβα, και είναι ένας απλός στόχος για εκείνους που ελέγχουν τη συγκόλληση για να εξασφαλίσει ότι οι προδιαγραφές διαδικασίας συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται είναι κατάλληλες για τον κατάλληλο βαθμό χάλυβα και το CEV.

Κεφάλαιο 2

Μέσα Συνδέσεως

Γενικά

Τα επί μέρους τεμάχια εξ' ελατών δοκών ή και χαλυβδοφύλλων, συνδέονται μεταξύ τους, ώστε να αποτελέσουν έναν ενιαίο φορέα, τον φέροντα οργανισμό του κτιρίου. Οι συνδέσεις γίνονται κατά διαφόρους τρόπους και είναι δυνατόν γενικώς να διακριθούν σε λυόμενες και μη λυόμενες συνδέσεις. Μη λυόμενες είναι οι συνδέσεις, οι όποιες πραγματοποιούνται μέσω ήλων και μέσω συγκολλήσεων. Λυόμενες, εξάλλου, είναι οι συνδέσεις που πραγματοποιούνται μέσω κοχλιών, βλήτρων ή και σφηνών. Η εξασφάλιση μάλιστα των περικοχλίων (παξιμαδιών) στις κοχλιώσεις, καθιστά πολλές φορές την σύνδεση αυτή μη λυόμενη. Μέσω των συνδέσεων επιτυγχάνεται βασικώς (και αυτός είναι άλλωστε ο σκοπός τους) η μεταβίβαση δυνάμεων ή ροπών από ένα τεμάχιο στο άλλο, περαιτέρω δε, η διατήρηση σταθερής μορφής του φορέα, πλην βεβαίως των αναπόφευκτων μικροπαραμορφώσεων, που οφείλονται στην εντός των ορίων ελαστικότητας αναμενομένης μεταβολής των διαστάσεων μιας συγκεκριμένης ράβδου από την σε αυτή επιβαλλομένης φορτίσεως. Η επικόλληση μέσω κόλλας, δύο χαλύβδινων τεμαχίων, δεν έχει καμιά σχέση με τις συγκολλήσεις, και είναι επί τού παρόντος αδύνατη.

ΗΛΩΣΕΙΣ

Η ήλωση αποτελεί τρόπο συνδέσεως δύο ή περισσότερων σιδερένιων τεμαχίων, μέσω ήλων, οι όποιοι διέρχονται από οπές που έχουν προανοιχθεί και αντιστοιχούν ακριβώς, σε όλα τα προς ήλωση τεμάχια και οι όποιοι ήλοι στη συνέχεια, με την βοήθεια καταλλήλων μέσων, σχηματίζουν κεφαλή και από την πλευρά της τελευταίας επιφανείας, από την οποία και εξέρχονται, με τρόπο τέτοιο ώστε τα προς σύνδεση τεμάχια, να μπορούν να μεταβιβάσουν δυνάμεις το ένα στο άλλο.

Παρά τα πολλά μειονεκτήματα του τρόπου αυτού συνδέσεως (εξασθένηση των διατομών, πρόσθετα τεμάχια, όπως αρμοκαλύμματα κ.λ.π.) η ήλωση βρίσκει και σήμερα αρκετή εφαρμογή, παρόλη την διάδοση νεότερων μεθόδων συνδέσεως, όπως η συγκόλληση ή οι προεντεταμένοι κοχλίες κ.λ.π.

Ο ΗΛΟΣ

Χρησιμοποιούνται δύο κυρίως ειδών ήλοι, των οποίων η διάκριση αφορά την μορφή της έτοιμης κεφαλής, (ενώ η άλλη μορφώνεται κατά την ήλωση). Έτσι οι ήλοι διακρίνονται:

- a. Σε ήλους πλήρους κεφαλής (Σχήμα 2.1, DIN 124 φύλλο 1)
- b. Σε ήλους ημιβυθισμένης κεφαλής (Σχήμα 2.2, DIN 302 φύλλο 1)

Εξάλλου η διάμετρος του ήλου μετρείται 5 mm κάτω της κεφαλής (σχήμα 2.3), οι δε οπές της ηλώσεως είναι κατά 1 mm μεγαλύτερης διαμέτρου, από την διάμετρο του κορμού του ήλου (σχήματα 2.1 και 2.2). Ο απομένον κενός κυλινδρικός δακτύλιος καλύπτεται κατά την ήλωση, όπου κατά την σύνθλιψη του ήλου για την διαμόρφωση της άλλης κεφαλής, ο κορμός διογκώνεται και καλύπτει αυτόν.

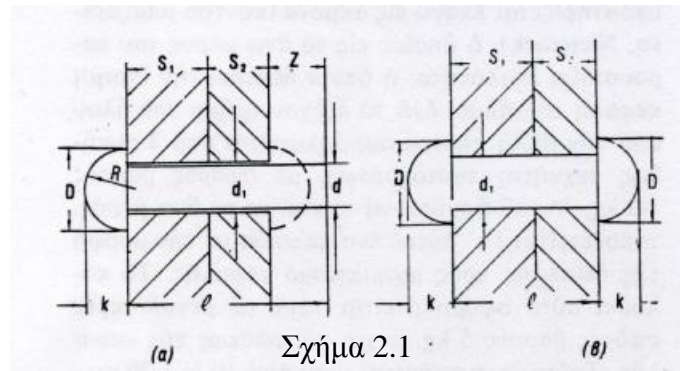
Ο κορμός εξάλλου του ήλου, μέχρι μήκους 50 mm, δύναται να είναι κωνικός. Ο κατωτέρω πίνακας 2.1 παρέχει τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ήλων με πλήρη και με ημιβυθισμένη κεφαλή.

ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΗΛΩΝ

Καταρχήν η ποιότητα του χάλυβα κατασκευής ήλων είναι πάντοτε ανάλογη προς την ποιότητα του χάλυβα των προς ένωση τεμαχίων.

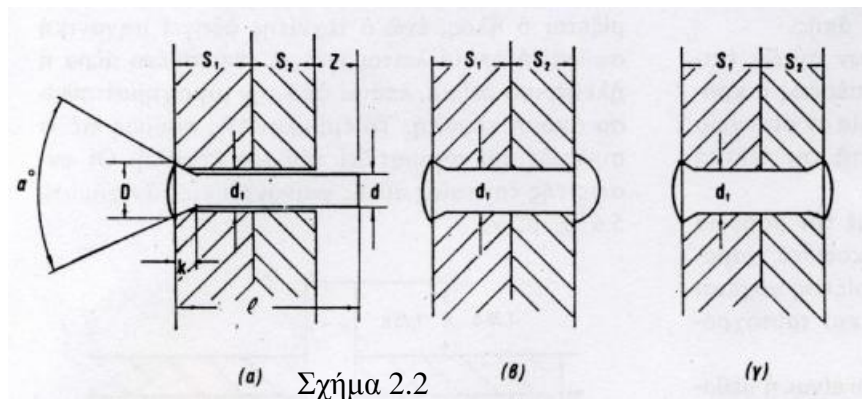
Η αντιστοιχία των ποιοτήτων είναι η εξής:

- a. Για σύνδεση τεμαχίων από χάλυβα St33 ή St37, ο χάλυβας της κατασκευής των ήλων είναι St34.
- b. Για σύνδεση τεμαχίων από χάλυβα St52, ο χάλυβας της κατασκευής των ήλων είναι ο St44.



Σχήμα 2.1

(διαστάσεις ήλου προ και μετά την ήλωση των τεμαχίων με πάχη S_1 και S_2 και πλήρη έτοιμη κεφαλή)



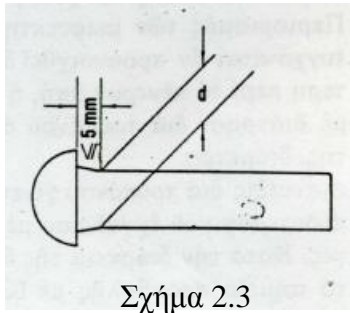
Σχήμα 2.2

(Διαστάσεις ήλου προ και μετά την ήλωση, με ημιβυθισμένη κεφαλή)

Ο συμβολισμός των ποιοτήτων των χαλύβων για ήλους προέρχεται από την μέθοδο παρασκευής του χάλυβα. Έτσι ο χάλυβας St34 παραγόμενος κατά την μέθοδο Thomas (εν θερμώ έλαση) συμβολίζεται ως Tu St34. Ο χάλυβας St44 παράγεται κατά την μέθοδο Siemens - Martin και συμβολίζεται ως MR St44.

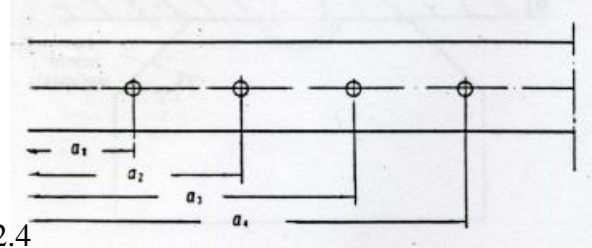
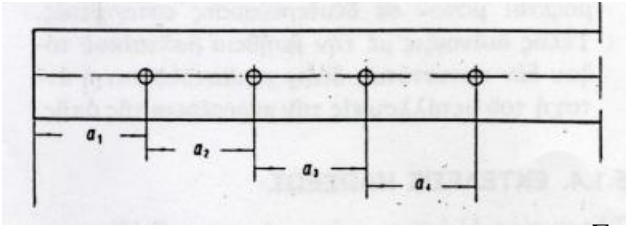
Έτσι π.χ. ο πλήρης χαρακτηρισμός ήλων διαμέτρου (προ της ηλώσεως) $d = 18\text{mm}$ και μήκους $l = 32\text{mm}$ αλλά και συγκεκριμένης ποιότητας, ως και μορφής κεφαλής, (π.χ. πλήρους κεφαλής) θα λάβει την μορφή:

Ήλος πλήρους κεφαλής 18x32 DIN 124 MR St44 ή Ήλος ημιβυθισμένης κεφαλής 18x32 DIN302 Tu St34.



Σχήμα 2.3

(Θέση μετρήσεως διαμέτρου ήλου)



Σχήμα 2.4

(Λανθασμένος τρόπος μέτρησης)
απόστασης)

(Σωστός τρόπος μέτρησης της

ΧΑΡΑΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΟΠΩΝ

Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην ακριβή μεταφορά από το σχέδιο εκτελέσεως στο έλασμα, των θέσεων των ήλων. Θα χαραχθούν καταρχήν οι άξονες ηλώσεων και θα προσδιορισθούν τα κέντρα των ήλων. Οι μετρήσεις των αποστάσεων των κέντρων δεν θα γίνονται αθροιστικά από ήλο σε ήλο, αλλά από την ίδια αφετηρία, προς αποφυγή λαθών στην εκτίμηση του τέλους και της αρχής της επόμενης μετρήσεως (σχήμα 2.4).

Πρέπει εξάλλου να γίνεται πάντοτε έλεγχος της χαραξέως, π.χ. μέσω μετρήσεως κατά την αντίθετη φορά, πριν από την οριστική επισήμανση του κέντρου των οπών.

Τέλος πρέπει να γίνει και η χάραξη της περιφέρειάς της οπής. Αυτό διευκολύνει την ακριβή διάνοιξη της οπής.

Για την διάνοιξη των οπών εφαρμόζονται δύο τρόποι. Μέσω πίεσεως ή μέσω διατρήσεως.

- a. Μέσω πίεσεως, η διάνοιξη γίνεται μέσω ειδικού στυγέως (ζουμπά), ο όποιος με την βοήθεια σφύρας ή πιεστηρίου ωθείται να

εισχωρήσει στο μέταλλο. Αν η οπή έχει μεγάλη διάμετρο, χρησιμοποιούνται διάφορα μεγέθη, βαθμιαία, στυγέων, οι οποίοι ευρύνουν διαδοχικά την οπή, έως της επιτεύξεως της τελικής της διαμέτρου. Πάντως η μέθοδος αυτή παρουσιάζει πολλά και σημαντικά μειονεκτήματα όπως π.χ.

- i. Δεν επιτυγχάνεται πλήρης σύμπτωση των οπών, διότι δεν είναι δυνατόν η οπή να διανοιχθεί ταυτόχρονα σε όλα τα τεμάχια, τα οποία θα ηλωθούν.
- ii. Δεν επιτυγχάνεται πλήρης επαφή των τεμαχίων, λόγω της διογκώσεως κατά την διάτρηση, παρά την φροντίδα και την προσπάθεια, εκ των υστέρων προς πλήρη εξομάλυνση.
- iii. Η πίεση καταστρέφει την σύσταση του υλικού κοντά στα χείλη της οπής.

Περιορισμός των μειονεκτημάτων αυτών επιτυγχάνεται αν προανοιχθεί μέσω πίεςεως, μικρότερη στο κέντρο οπή, η οποία στη συνέχεια με διάτρηση με τρυπάνι, αποκτά την τελική της διάμετρο.

- b. Διάνοιξη με τρυπάνι γίνεται με την βοήθεια περιστροφικού εργαλείου με ελικοειδείς χαραγές. Κατά την διάρκεια της διανοίξεως ψύχεται το σημείο προσβολής με νερό και ταυτόχρονα λιπαίνεται.

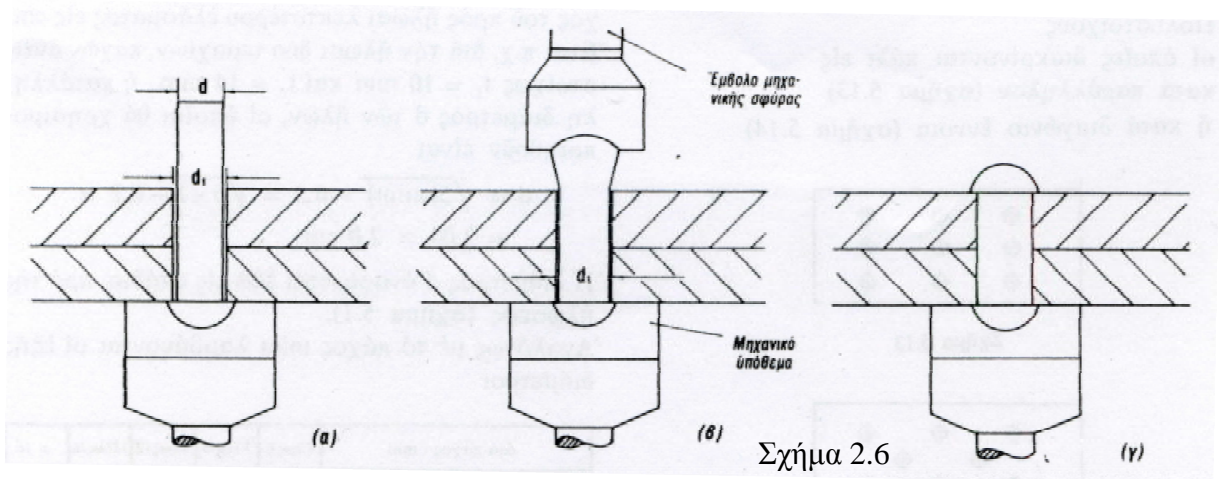
Γενικά, η διάνοιξη με τρυπάνι είναι η μέθοδος η οποία εφαρμόζεται, ενώ η δια πίεςεως, λόγω των σοβαρών μειονεκτημάτων της, εφαρμόζεται μόνον σε δευτερεύουσες κατασκευές. Τέλος, διάνοιξη με την βοήθεια βολταϊκού τόξου δεν συνιστάται, διότι καταστρέφεται η αντοχή του μετάλλου στην περιφέρεια της οπής.

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΗΛΩΣΕΩΣ

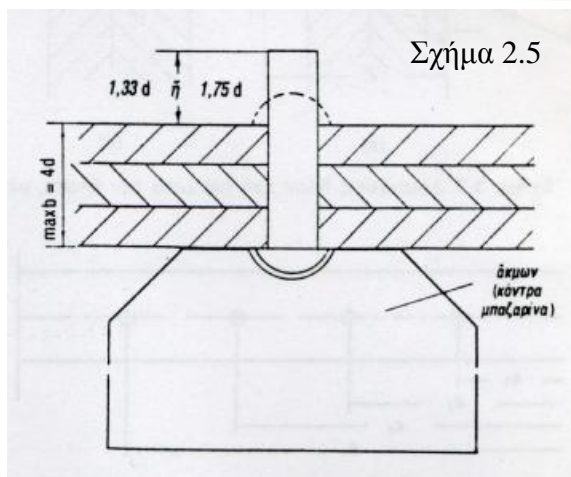
Της κυρίας ηλώσεως πρέπει να προηγηθεί έλεγχος τής συμπτώσεως των οπών.

Η ήλωση γίνεται κατά κανόνα εν θερμώ. Μόνο για ήλους διαμέτρου $d < 10\text{mm}$ η ήλωση εκτελείται εν ψυχρώ. Ο ήλος πρέπει να πυρακτωθεί μέχρι του ανοικτού ερυθρού χρώματος (θερμοκρασία περί τους 900°C). Η πυράκτωση αυτή γίνεται σε ειδικούς κλιβάνους, που λειτουργούν με άνθρακα, φωταέριο ή ηλεκτρικό ρεύμα. Απλούστερο γίνεται σε ανοικτές μικρές καμίνους, όπου οι καιόμενοι άνθρακες αναμιγνύονται με τους ήλους. Η ήλωση γίνεται είτε με τα χέρια, είτε με ειδικά μηχανήματα. Με τα χέρια η ήλωση εκτελείται όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5. Ο ήλος εισέρχεται στην οπή και υποστηρίζεται επάνω σε άκμονα (κόντρα μπαζαρίνα, Nietstock), ο οποίος στο επάνω μέρος του παρουσιάζει κοιλότητα, η οποία δέχεται την έτοιμη κεφαλή του ήλου, ενώ το προεξέχον τμήμα του ήλου από την άλλη πλευρά σφυρηλατείται από 2 συνήθως τεχνητές ταυτόχρονα, με σφυριά βάρους 1-2 Kg. Αφού αρχίσει να πλαταίνει το επάνω μέρος, τοποθετείται επί αυτού ένα καλούπι με την μορφή τής δεύτερης προς σχηματισμό κεφαλής. Το καλούπι αυτό σφυρηλατείται τώρα με μεγαλύτερα σφυριά βάρους 5 Kg, μέχρι διαμορφώσεως της κεφαλής. Αυτό επιτυγχάνεται μετά από 10 έως 20 κτυπήματα.

Η μηχανική ήλωση (σχήμα 2.6) εκτελείται ως εξής. Με μηχανικό υπόθεμα υποστηρίζεται ο ήλος, ενώ ο τεχνίτης οδηγεί μηχανική σφύρα, η οποία λειτουργεί με πεπιεσμένο αέρα ή ηλεκτρικό ρεύμα, επάνω από την μη σχηματισθείσα, ακόμη, κεφαλή. Το έμβολο τής σφύρας πιέζει συνεχώς και σχηματίζει την νέα κεφαλή. Οι φάσεις της εργασίας αυτής φαίνονται στα σχήματα 2.6 α, β και γ.



Σχήμα 2.6



Σχήμα 2.5

(ήλωση με το χέρι)

Οι μηχανικές αυτές σφύρες είναι φορητές ή μόνιμες, ανάλογα της χρήσης τους.

Μετά την ήλωση ελέγχεται η ποιότητα της, με κρούση ελαφρού σφυριού επί της ηλώσεως. Ο τρόπος αναπηδήσεως ακόμη και ο ήχος της κρούσεως είναι για τον πεπειραμένο τεχνίτη ενδεικτικός της καλής ή μη, ποιότητας της ηλώσεως.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΩΣΕΩΝ

Είδη ήλων

Οι ήλοι διακρίνονται ως εξής:

- Δυναμικούς, δηλαδή ήλους, οι οποίοι αναλαμβάνουν και μεταφέρουν δυνάμεις.
- Συνεκτικούς, δηλαδή ήλους, οι όποιοι έχουν σκοπό να συνδέσουν μόνο ελάσματα μεταξύ των, χωρίς την μεταφορά δυνάμεων.

Είδη ηλώσεων

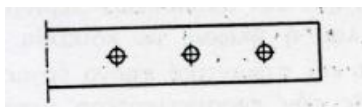
Οι ηλώσεις διακρίνονται

- Σε μονότμητους
- Σε δίτμητους
- Σε πολύτμητους

Διατάξεις ηλώσεων

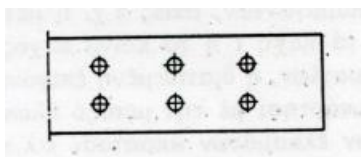
Οι ηλώσεις διακρίνονται εξάλλου σε

- Μονοστοίχους (σχήμα 2.7)

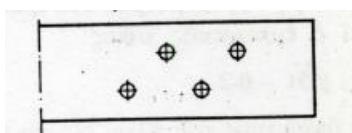


- Διστοίχους οι οποίοι διακρίνονται σε

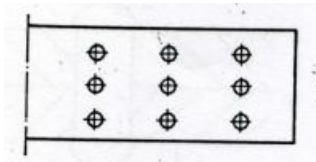
- Παράλληλους (σχήμα 2.8)



- Κατά την διαγώνιο (σχήμα 2.9)

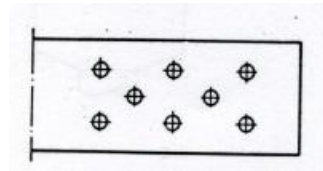


- c. Πολυστοιίχους, οι οποίες διακρίνονται πάλι κατά παράλληλο (σχήμα 2.10) ή κατά διαγώνιο έννοια (σχήμα 2.11).



Σχήμα 2.10

και



Σχήμα 2.11

ΕΚΛΟΓΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΗΛΩΝ

Καταρχήν θα επιδιωχθεί να γίνει χρήση μιας μόνο διαμέτρου για όλες τις ηλώσεις. Αυτό βέβαια, δεν είναι δυνατό πάντα. Γι' αυτό θα επιδιωχθεί, εν πάση περιπτώσει, ο περιορισμός της ποικιλίας διαμέτρων στο ελάχιστο. Αυτό έχει οικονομικά κίνητρα, όπως είναι:

- Ο περιορισμός των υπολοίπων ήλων κάθε διαμέτρου, τα όποια προμηθευόμαστε για την περίπτωση καταστροφής, απώλειας κ.λ.π., μερικών. Θα υπάρξει συνεπώς κοινό υπόλοιπο, και κατ' ακολουθία περιορισμένο.
- Εξάλλου η ήλωση με ποικιλία διαμέτρων προσθέτει και σημαντικό χρόνο εργασίας, που οφείλεται στην προσεκτικότερη μεταφορά των ηλώσεων (από απόψεως διαμέτρων) από το σχέδιο στην πράξη.

Η κατάληξη σε δύο μόνο διαμέτρους η μία δεν λύνει όμως και το πρόβλημα της εκλογής της καταλλήλου διαμέτρου, το οποίο είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως π.χ. η μεταφερομένη δύναμη, τα πάχη t ή το κοινό πάχος των προς ήλωση τεμαχίων, η διατιθεμένη επιφάνεια ηλώσεως σε συνάρτηση με την μεταξύ ήλων, ως ήλων και άκρων ελασμάτων απόσταση κ.λ.π.. Εν πάση περιπτώσει, επειδή είναι φανερό ότι οι παραπάνω παράγοντες αλληλοσυνδέονται, είναι δυνατόν για την εκλογή της διαμέτρου του ήλου να χρησιμοποιηθεί ο εμπειρικός τύπος

$$d \cong \sqrt{5t} - 0.2$$

όπου d η διάμετρος του ήλου σε cm και t το πάχος του προς ήλωση λεπτότερου ελάσματος σε cm. Έτσι, π.χ. για την ήλωση δύο τεμαχίων, παχών αντιστοίχως $t_1 = 10\text{mm}$ και $t_2 = 14\text{mm}$, η κατάλληλη διάμετρος d των ήλων, οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν είναι

$$d = \sqrt{5(\min t)} - 0.2 = \sqrt{5 \times 1} - 0.2 = 2.04 \cong 2.0\text{cm}$$

Η διάμετρος d αναφέρεται εδώ ως στάδιο, προ της ηλώσεως (σχήμα 2.1).

Αναλόγως με το πάχος $\min t$, λαμβάνονται οι εξής διάμετροι.

Διά πάχος t mm	4 έως 6	7 έως 8	9 έως 12	13 έως 16	> 16
Διάμετρος d πρό της ήλώσεως εις mm	12	16	20	24	27

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΜΗΚΗ ΗΛΩΝ

Αν l και d αντιστοίχως, το μήκος και η διάμετρος (προ της ηλώσεως) του ήλου, b το συνολικό πάχος των προς ήλωση ελασμάτων, λαμβάνεται :

Για μηχανική ήλωση $l = b + 1,33 d$

Για ήλωση με το χέρι $l = b + 1,75 d$

Τα πρόσθετα μήκη $1,33d$ και $1,75d$ απαιτούνται για την μόρφωση κεφαλής από την άλλη πλευρά.

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΠΑΧΟΥΣ b

Ο κυλινδρικός δακτύλιος μεταξύ οπής και κορμού ήλου, ο οποίος απομένει κενός προ της κρούσεως. κατά την μόρφωση της άλλης κεφαλής, πληρούται από την διόγκωση, την οποία υφίσταται ο ήλος κατά την κρούση. Προφανώς η πλήρης κάλυψη του ανωτέρω κενού είναι και εγγύηση της καλής ηλώσεως.

Εξάλλου, όσο μεγαλύτερο μήκος έχει ο ήλος, εξαρτώμενο από το συνολικό πάχος των ελασμάτων, τόσο δυσκολότερα εξασφαλίζεται η παραπάνω κάλυψη τού κενού.

Άρα, πέρα ενός ορίου μήκους και, κατ' επέκταση, ενός συνολικού πάχους ελασμάτων η ήλωση δεν θα είναι καλή.

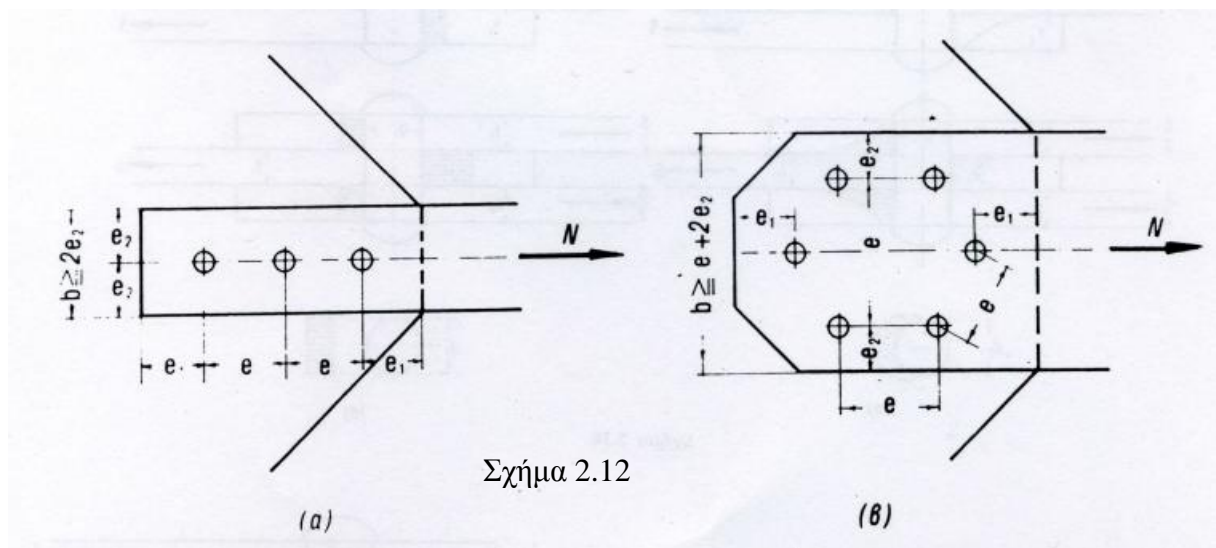
Συνεπώς προκύπτει ένας περιορισμός του συνολικού πάχους b και μάλιστα προβλέπεται :

Για μικρούς ήλους ($d \leq 14$ mm), πλήρους κεφαλής $b \leq 4d$

Για μέσους ήλους ($16 \leq d \leq 22$ mm), πλήρους κεφαλής $b \leq 4.5d$

Για μεγάλους ήλους ($24 \leq d \leq 36$ mm), πλήρους κεφαλής $b \leq 5d$.

Για μεγαλύτερα πάχη b , πρέπει αντί ήλων να γίνεται χρήση ειδικών κωνικών (με κλίση 1 : 100) βλήτρων. Υπό ειδικές προϋποθέσεις ηλώσεως και με χρήση ειδικών μηχανημάτων ή θερμάνσεως των ήλων σε ορισμένη θερμοκρασία, επιτρέπεται να ηλωθούν τεμάχια συνολικού πάχους μέχρι $b =$



6,5d.

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΗΛΩΝ

Για την ορθή ήλωση θα πρέπει να τηρούνται ορισμένες αποστάσεις των ήλων, τόσο μεταξύ τους, όσο και από τα άκρα των προς ήλωση τεμαχίων. Οι αποστάσεις αυτές και οι ελάχιστες ή μέγιστες τιμές αυτών φαίνονται στο σχήμα 2.12 (α, β) και στον πίνακα 2.2.

ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ ΗΛΩΝ

Ο τρόπος ενεργείας μιας συνδέσεως μέσω ήλων παρουσιάζει σημαντική ασάφεια. Οι πιθανές τάσεις και διανομές τους, για μονότμητη και δίτμητη ήλωση, φαίνονται στο σχήμα 2.13α, ενώ στο σχήμα 2.13β φαίνεται η παραδοχή της ομοιόμορφης κατανομής των τάσεων, η οποία γίνεται δεκτή προς απλοποίηση των υπολογισμών. Εξάλλου ο πίνακας 2.3 παρέχει για τις διάφορες περιπτώσεις καταπονήσεων και ποιότητας χάλυβα, τις επιτρεπόμενες τάσεις ήλων όπως επίσης κοχλιών κ.λ.π..

Οι κυριότερες καταπονήσεις των ήλων είναι:

a. Διάτμηση

Στην μονότμητη ήλωση μία διατομή F του ήλου παραλαμβάνει την δύναμη S (σχήμα 2.15) Είναι

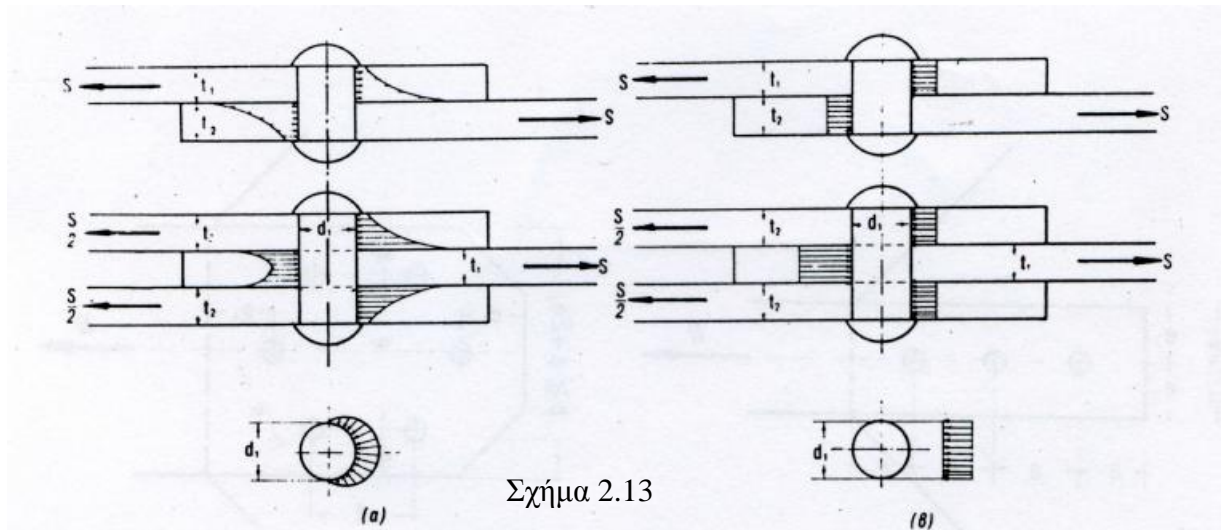
$$F = \frac{p \cdot d^2}{4}$$

και συνεπώς η τάση διατμήσεως είναι

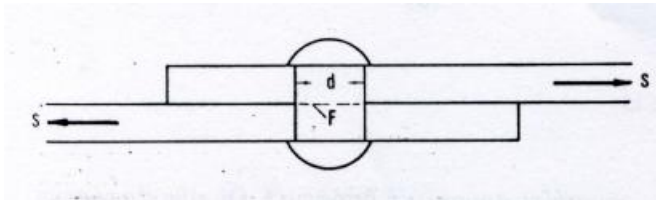
$$t = \frac{S}{F} = \frac{S}{\frac{p \cdot d^2}{4}}$$

Στην δίτμητη ήλωση δύο διατομές F (σχήμα 2.14) του ήλου παραλαμβάνουν την S , είναι συνεπώς

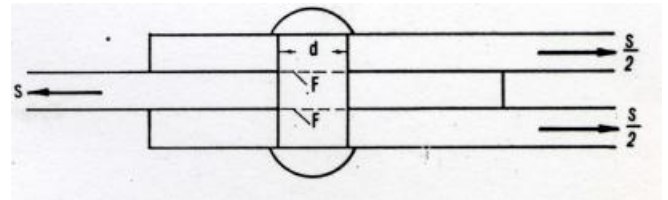
$$t = \frac{S}{2F} = \frac{S}{2 \cdot \frac{p \cdot d^2}{4}} = \frac{S}{\frac{p \cdot d^2}{2}}$$



Σχήμα 2.13



Σχήμα 2.15



Σχήμα 2.14

Αν N_t' , N_t'' είναι αντιστοίχως οι μέγιστες δυνάμεις, τις οποίες μπορούν να αναλάβουν μία μονότμητη και μια δίτμητη ήλωση, θα είναι, αν $\tau_{\text{επιτρ}}$ η επιτρεπόμενη τάση διάτμησης και n ο αριθμός των ήλων

$$N_t' = \frac{p \cdot d^2}{4} \cdot t_{\text{επιτρ}}$$

$$n = \frac{4S}{p \cdot d^2 \cdot t_{\text{επιτρ}}}$$

$$t_{\text{pragm}} = \frac{4S}{p \cdot d^2 \cdot n}$$

$$N_t'' = \frac{p \cdot d^2}{4} \cdot t_{\text{επιτρ}}$$

$$n = \frac{2S}{p \cdot d^2 \cdot t_{\text{επιτρ}}}$$

$$t_{\text{pragm}} = \frac{2S}{p \cdot d^2 \cdot n}$$

b. Σύνθλιψη της άντυγος.

Για τον υπολογισμό σε σύνθλιψη της άντυγος των οπών, λαμβάνεται υπ' όψιν η ελάχιστη εκ των συνθλιβομένων επιφανειών. Αν t το πάχος του

ελάσματος και N_1 η υπό ενός ήλου μέγιστη παραλαμβανομένη δύναμη σε σύνθλιψη της άντυγος των οπών, τότε

$$N_1 = d \cdot t \cdot S_{lepitr} \qquad n = \frac{S}{d \cdot t \cdot S_{lepitr}}$$

$$S_{l_{pragn}} = \frac{S}{d \cdot t \cdot n}$$

ε. Εφελκυσμός ήλου.

Πρέπει κατά κανόνα να αποφεύγεται η καταπόνηση των ήλων σε εφελκυσμό.

Όπου όμως δεν μπορεί να αποφευχθεί, τότε οι ήλοι υπολογίζονται σε εφελκυσμό όπως παρακάτω.

Ονομάζουμε :

S_z την όλη δύναμη εφελκυσμού

N_z την υπό ενός ήλου παραλαμβανομένη δύναμη εφελκυσμού

σ_z την τάση εφελκυσμού του κορμού του ήλου,

έχουμε

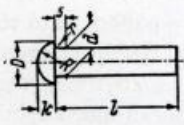
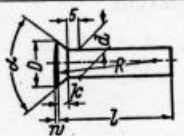
$$N_z = \frac{p \cdot d^2}{4} \cdot S_{z_{epitr}} \qquad n = \frac{4S_z}{p \cdot d^2 \cdot S_{z_{epitr}}}$$

$$S_{z_{pragn}} = \frac{4S_z}{p \cdot d^2 \cdot n}$$

Εξάλλου ο πίνακας 2.4 παρέχει τις τιμές των N_t' , N_t'' , N_1 και N_z αναλόγως της διαμέτρου των ήλων, για χάλυβα St34 και φορτίσεις H και HZ.

Πίνακας 2.1

Κυριότερα χαρακτηριστικά τών ήλων με πλήρη καί με ήμβυθισμένη κεφαλή

Πλήρους κεφαλής ήλοι κατά DIN 124 Φ.1				Παράδειγμα διά τήν περιγραφή ενός πλήρους κεφαλής ήλου, διαμέτρου $d = 16$ mm, μήκους $\ell = 30$ mm από TUst 34									
Διαστάσεις εις mm		Πλήρους κεφαλής ήλος 16 x 30 DIN 124 TUSt 34											
Ήλος \varnothing	d	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36
Διάμετρος κεφαλής	D	16	19	22	25	28	32	36	40	43	48	53	58
Ύψος κεφαλής	k	6,5	7,5	9	10	11,5	13	14	16	17	19	21	23
Άκτις καμπυλότητος	$R \approx$	8	9,5	11	13	14,5	16,5	18,5	20,5	22	24,5	27	30
Άκτις συναρμογής	r	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	1	1	1,2	1,2	1,6	1,6	2
Τελική διάμετρος διά ύπολογισμόν ..		11	13	15	17	19	21	23	25	28	31	34	37
Ήλοι ήμβυθισμένης κεφαλής κατά DIN 302 φύλ. 1				Παράδειγμα διά τήν περιγραφή ενός ήλου με ήμβυθισμένη κεφαλή διαμέτρου $d = 16$ mm μήκους $\ell = 30$ mm από MUst 34									
Διαστάσεις εις mm		Ήλος ήμβυθισμένης κεφαλής 16 x 30 DIN 302 MUst 34											
Ήλος πρό τής ήλώσεως \varnothing	d	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36
Γωνία βυθίσματος	a	75°				60°				45°			
Διάμετρος κεφαλής	$D \approx$	14,5	18	21,5	26	30	31,5	34,5	38	42	42,5	46,5	51
Ύψος κεφαλής	k	3	4	5	6,5	8	10	11	12	13,5	15	16,5	18
Βέλος τόξου	w	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Άκτις καμπυλότητος	$R \approx$	27	41	58	85	113	124,5	75,5	91	111	114	136	164
Τελική διάμετρος διά ύπολογισμόν ..		11	13	15	17	19	21	23	25	28	31	34	37

Πίνακας 2.2

Δυναμικοί ήλοι	Απόστασις μεταξύ των	e	$\geq 3d$	$\leq 8d$ ή $\leq 15t$
	Απόστασις από άκρο ελάσματος	\parallel διεύθυνσι δυνάμεως e_1 \perp διεύθυνσι δυνάμεως e_2	$\geq 2d$ $\geq 1,5d$	$\leq 3d$ ή $\leq 6t$
Συνεκτικοί ήλοι	Απόστασις μεταξύ των	Θλιβόμενες ράβδοι έφελκόμενες ράβδοι	$e \geq 3d$	$\leq 8d$ ή $\leq 15t$ $12d$ ή $25t$
	Αποστάσεις e_1 και e_2 από τὰ άκρα			ώς εις τούς δυναμικούς

Πίνακας 2.3

Επιτρεπόμεναι τάσεις διά τὰ μέσα συνδέσεως εις kg/cm ² κατά DIN 1050																			
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	p	q	r	s	
Είδος τάσεως	Ήλοι (DIN 124 DIN 302)				Έφηρμοσμ. κοχλίας (DIN 7968)				Συνήθεις κοχλίας	Κοχλίας και βλήτρα άγκυρώσεως				Ίσχύουσα διάμετρος					
	USt 36-1 διά ⁽³⁾ St 37 και (St 33)	RSt 44-2 διά ⁽³⁾ St 52	4D ⁽²⁾ διά St 37 και (St 33)	5D ⁽²⁾ διά St 52	(DIN 7990) 4D ⁽²⁾	4D ⁽²⁾ ή St 37 (όχι St 33)	5Δ ⁽²⁾ ή St 52	Ήλοι	Έφηρ. Κοχλίας	Συνήθεις κοχλίας και άγκυρώσεως									
Περίπτωσης φορτίσεως																			
	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ			
1	Διάτμησις $\tau_{ελ}$	1400	1600	2100	2400	1400	1600	2100	2400	1120	1260	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Σύνθλιψις τής άντηγος των όπών $\sigma_{f,πιρ}$	2800 (2200)	3200 (2500)	4200	4800	2800 (2200)	3200 (2500)	4200	4800	2400	2700	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Έφελκυσμός $\sigma_{ελ}$	480 ⁽¹⁾	540 ⁽¹⁾	720 ⁽¹⁾	810 ⁽¹⁾	1120	1120	1500	1500	1120	1120	1120	1120	1500	1500	—	—	—	—

(1) Εάν κατασκευαστικός δέν είναι δυνατόν ν' άποφευχθί ό ύπολογισμός των ήλων εις τόν έφελκυσμόν τού κορμού.
(2) Στοιχεία άντοχής των κοχλιών συμφώνως προς τό DIN 267.
(3) Στοιχεία άντοχής των χαλύβων ήλων συμφώνως προς τό DIN 17111.

ΚΡΙΣΙΜΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗ

Ο ακριβής προσδιορισμός της κατανομής των τάσεων σε ράβδο, η οποία φέρει πολλές οπές δεν είναι δυνατός ούτε θεωρητικά από τη βάση της θεωρίας τής ελαστικότητας, ούτε πειραματικά. Από κατασκευαστικής, όμως, απόψεως ενδιαφέρει κυρίως το εξής θέμα :

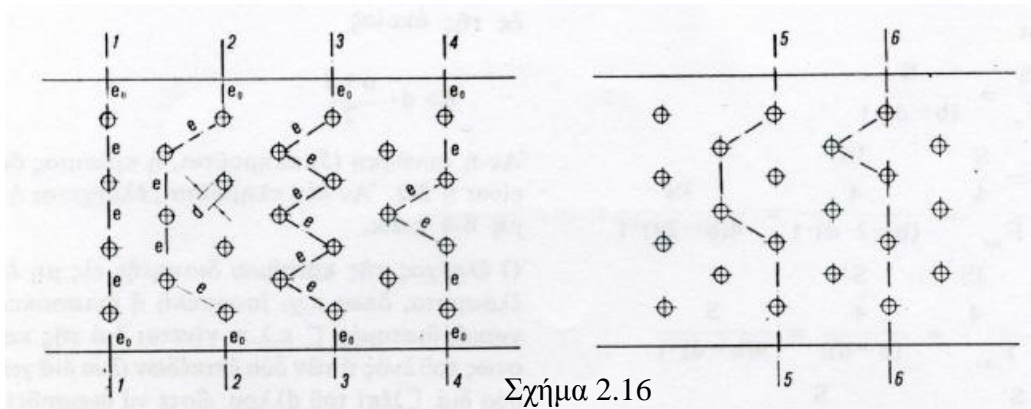
«Ποιες πρέπει να είναι οι αποστάσεις και οι θέσεις των οπών, ώστε η ικανότητα της ράβδου προς μεταφορά δυνάμεως να παραμένει κατά το δυνατόν μεγαλύτερη».

Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να ελέγχεται κάθε διάτρητη από οπές ήλων διατομή, κάθε χρήσιμος διατομή δηλαδή, ώστε να αναζητείται σε κάθε τέτοια διατομή η $\sigma_{πραγμ}$ ως ο λόγος της ενεργούς δυνάμεως S στην διατομή προς το μειωμένο εμβαδόν F_n της διατομής, δηλαδή

$$S_{πραγμ} = \frac{S_{διατομηV}}{F_n}$$

Εδώ θα κάνουμε τις εξής δύο παρατηρήσεις :

- Ότι η ενεργούσα δύναμη σε κάθε διατομή διαφέρει από την δύναμη μιας άλλης, λόγω παραλαβής μέρους της από τους ήλους της προηγούμενης διατομής.
- Ότι η εξασθένηση αφορά προφανώς εφελκόμενες ράβδους, ενώ στις θλιβόμενες ο κορμός του ήλου αναπληρώνει το τμήμα του ελάσματος το οποίο λείπει.



Στις εφελκόμενες ράβδους με διστοίχους, τριστοίχους κ.λ.π. ηλώσεις ή κοχλιώσεις, κατά παράλληλη ή διαγώνια έννοια, υφίστανται πολλοί συνδυασμοί μορφώσεως διατομών με διάφορα ποσοστά της αρχικής εφελκυστικής δύναμης σε κάθε μία.

Οι διατομές που φαίνονται στο σχήμα 2.16 διαφέρουν μεν από απόψεως εμβαδού, αλλά διαφέρουν και από απόψεως ανάληψης δυνάμεων.

Αν επί της διατομής 2-2 ενεργεί εφελκυστική δύναμη S_2 και επί της 3-3 εφελκυστική δύναμη S_3 , τότε οι πραγματοποιούμενες τάσεις επί των δύο διατομών είναι

$$s_2 = \frac{S_2}{F_{n_2}} \qquad s_3 = \frac{S_3}{F_{n_1}}$$

Εξ' όλων των πραγματοποιούμενων τάσεων $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ κ.λ.π., μία είναι η μεγαλύτερη. Ονομάζουμε κρίσιμη διατομή την διατομή, η οποία παρουσιάζει την μεγαλύτερη τάση.

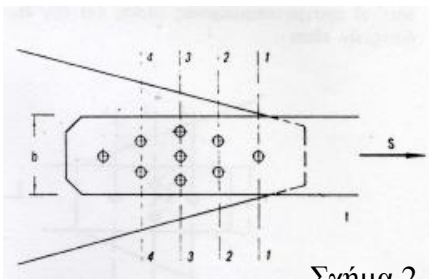
Κρίσιμη διατομή κομβοελάσματος

Για το κομβοέλασμα του σχήματος 2.21 η κρίσιμη διατομή φαίνεται εκ πρώτης όψεως ότι είναι η 1-1 και αυτό διότι όλη η δύναμη S έχει μεταφερθεί από το έλασμα στο κομβοέλασμα, αριστερά της διατομής 1-1.

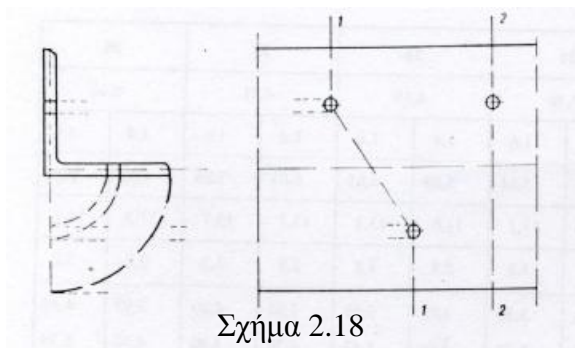
Είναι δε για το κομβοέλασμα στην διατομή 1-1

$$s_1 = \frac{S}{(b_1 - d)t_1}$$

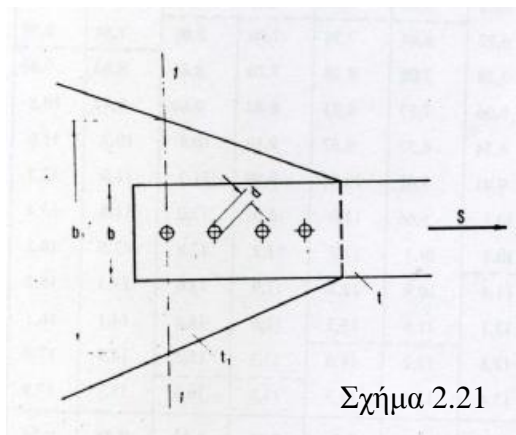
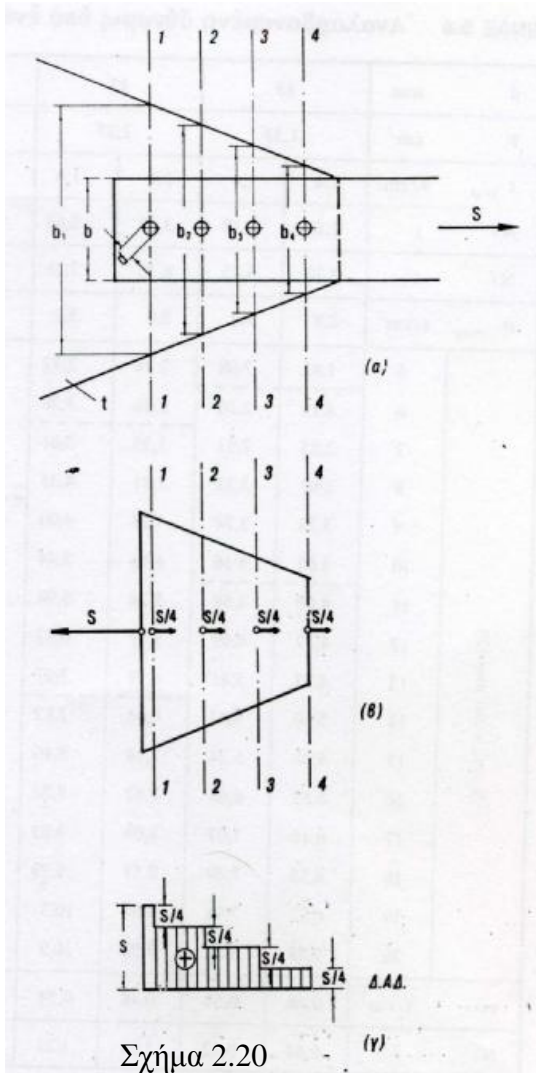
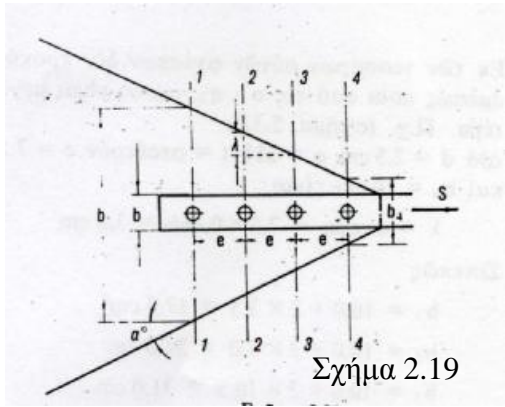
Στο σχήμα 2.20β όμως φαίνεται η δράση της S επί του κάθε ήλου ως και η αντίδραση S αριστερά της διατομής 1-1 του τμήματος του κομβοελάσματος. Στο σχήμα 2.20γ φαίνεται το διάγραμμα των αξονικών δυνάμεων επί του κομβοελάσματος.



Σχήμα 2.17



Σχήμα 2.18

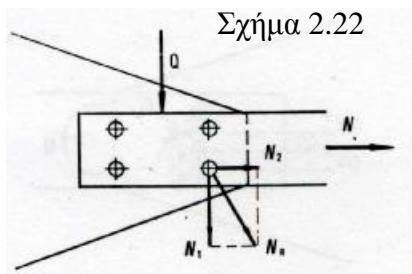


Πίνακας 2.4 'Αναλαμβανομένη δύναμη υπό ενός ήλου

d	mm	13		17		21		23		25		28		
F	cm ²	1,33		2,27		3,46		4,15		4,31		6,16		
$\tau_{\text{αποτ}}$	t/cm ²	1,4	1,6	1,4	1,6	1,4	1,6	1,4	1,6	1,4	1,6	1,4	1,8	
N ₁	t	1,86	2,12	3,18	3,63	4,85	5,54	5,82	6,65	6,87	7,85	8,62	9,85	
N ₂	t	3,72	4,25	6,36	7,26	9,70	11,1	11,6	13,3	13,7	15,7	17,2	19,7	
$\sigma_{\text{αποτ}}$	t/cm ²	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	
N ₁ και N ₂ πολλαπλασιασμοί	5	1,82	2,08	2,38	2,72	2,94	3,36	3,22	3,68	3,50	4,00	3,92	4,48	
	6	2,18	2,50	2,86	3,26	3,53	4,03	3,86	4,42	4,20	4,80	4,70	5,38	
	7	2,55	2,91	3,33	3,81	4,12	4,70	4,51	5,15	4,90	5,60	5,49	6,27	
	8	2,91	3,33	3,81	4,35	4,70	5,38	5,15	5,89	5,60	6,40	6,27	7,17	
	9	3,28	3,74	4,28	4,90	5,29	6,05	5,80	6,62	6,30	7,20	7,06	8,06	
	10	3,64	4,16	4,76	5,44	5,88	6,72	6,44	7,36	7,00	8,00	7,84	8,96	
	11	4,00	4,58	5,24	5,98	6,47	7,39	7,08	8,10	7,70	8,80	8,62	9,86	
	12	4,37	4,99	5,71	6,53	7,06	8,06	7,73	8,83	8,40	9,60	9,41	10,8	
	13	4,73	5,41	6,19	7,07	7,64	8,74	8,37	9,57	9,10	10,4	10,2	11,6	
	14	5,10	5,82	6,66	7,62	8,23	9,41	9,02	10,3	9,80	11,2	11,0	12,5	
	15	5,46	6,24	7,14	8,16	8,82	10,1	9,66	11,0	10,5	12,0	11,8	13,4	
	16	5,82	6,66	7,62	8,70	9,41	10,8	10,3	11,8	11,2	12,8	12,5	14,3	
	17	6,19	7,07	8,09	9,25	10,0	11,4	10,9	12,5	11,9	13,6	13,3	15,2	
	18	6,55	7,49	8,57	9,79	10,6	12,1	11,6	13,2	12,6	14,4	14,1	16,1	
	19	6,82	7,90	9,04	10,3	11,2	12,8	12,2	14,0	13,3	15,2	14,9	17,0	
	20	7,28	8,32	9,52	10,9	11,8	13,4	12,9	14,7	14,0	16,0	15,7	17,9	
	$\sigma_{\text{αποτ}}$	t/cm ²	0,48	0,54	0,48	0,54	0,48	0,54	0,48	0,54	0,48	0,54	0,48	0,54
	N ₂	t	0,64	0,72	1,09	1,23	1,66	1,87	1,99	2,24	2,36	2,66	2,96	3,32

ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΗΛΩΝ ΑΠΟ ΡΟΠΕΣ, ΑΞΟΝΙΚΕΣ, ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΑΥΤΩΝ

1. Καταπόνηση από δυνάμεις N και Q



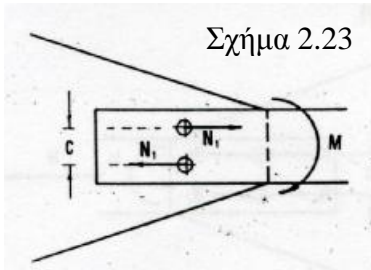
Για n αριθμό ήλων

$$N_1 = \frac{Q}{n}$$

$$N_2 = \frac{N}{n}$$

$$N_R = \sqrt{N_1^2 + N_2^2} \leq \begin{matrix} N'_t \text{ ή } N''_t \\ N_t \end{matrix}$$

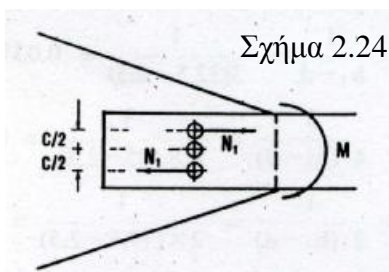
2. Καταπόνηση από ροπή M



Η ροπή αναλύεται στο ζεύγος $N_1 * C$ και είναι

$$N_1 = \frac{M}{C}$$

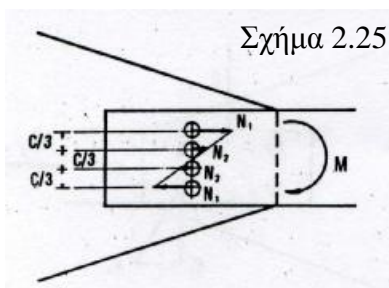
3. Καταπόνηση από ροπή M



Ο μεσαίος ήλος δεν παραλαμβάνει ροπή και συνεπώς η περίπτωση αυτή συμπίπτει με την περίπτωση (2) όπου

$$N_1 = \frac{M}{C}$$

4. Καταπόνηση από ροπή M

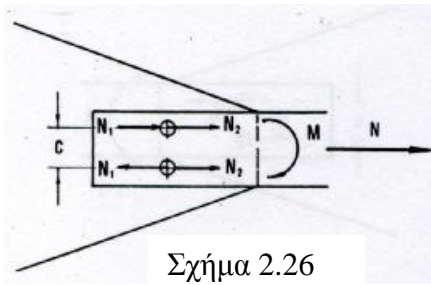


Θεωρείται ότι η ροπή κατανέμεται γραμμικά και ισχύει

$$N_1 = 0.9 \frac{M}{C}$$

$$N_2 = 0.3 \frac{M}{C}$$

5. Καταπόνηση σε εφελκυσμό και ροπή



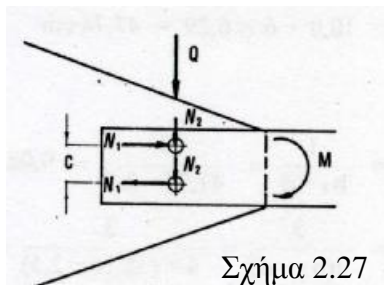
Σχήμα 2.26

Εξαιτίας της ροπής είναι $N_1 = \frac{M}{C}$

Εξαιτίας της N είναι $N_2 = \frac{N}{2}$

Άρα $N_R = N_1 + N_2 \leq \begin{matrix} N'_t \text{ ή } N''_t \\ N_l \end{matrix}$

6. Καταπόνηση από ροπή και τέμνουσα δύναμη



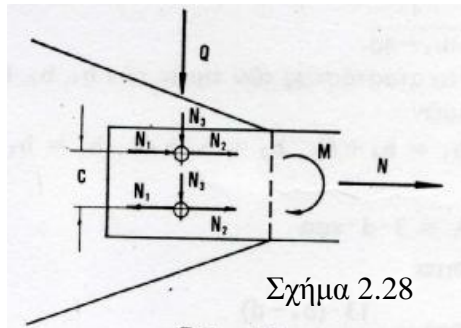
Σχήμα 2.27

Εξαιτίας της ροπής είναι $N_1 = \frac{M}{C}$

Εξαιτίας της τέμνουσας είναι $N_2 = \frac{Q}{2}$

Άρα $N_R = \sqrt{(N_1 + N_2)^2} \leq \begin{matrix} N'_t \text{ ή } N''_t \\ N_l \end{matrix}$

7. Καταπόνηση σε εφελκυσμό (γενικά ορθής δύναμης N), ροπή και τέμνουσας δύναμης Q



Εξαιτίας της ροπής είναι $N_1 = \frac{M}{C}$

Εξαιτίας της N είναι $N_2 = \frac{N}{n} = \frac{N}{2}$

Εξαιτίας της Q είναι $N_3 = \frac{Q}{n} = \frac{Q}{2}$

Άρα $N_R = \sqrt{(N_1 + N_2)^2 + N_3^2} \leq \begin{matrix} N_t' \text{ ή } N_t'' \\ N_t \end{matrix}$

8. Καταπόνηση ήλων σε εφελκυσμό

Λόγω της A αναπτύσσεται μία ροπή $M = \alpha * A$

Θεωρητικά, πρέπει να δεχθούμε ότι και ο ήλος 4 παραλαμβάνει ροπή, διότι το γωνιακό τείνει να στραφεί γύρω από το σημείο K (σχήμα), στο οποίο αναπτύσσεται μάλιστα και η μέγιστη θλιπτική δύναμη $D = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4$.

Κατά τα πειράματα όμως του Steinhardt, αποδείχτηκε ότι η D δεν ενεργεί στο K αλλά περίπου στο $h/4$ από το K (σχήμα).

Ο ήλος 4 δεν παραλαμβάνει συνεπώς ροπή. Για τους άλλους είναι, αν αντιστοίχως δέχονται εφελκυστικές δυνάμεις Z_1, Z_2, Z_3

$$\frac{Z_1}{h_1} = \frac{Z_2}{h_2} = \frac{Z_3}{h_3} \quad \text{ή} \quad (1)$$

$$\frac{Z_1 \cdot h_1}{h_1^2} = \frac{Z_2 \cdot h_2}{h_2^2} = \frac{Z_3 \cdot h_3}{h_3^2} \quad (2)$$

αλλά

$$M = Z_1 \cdot h_1 + Z_2 \cdot h_2 + Z_3 \cdot h_3 \quad (3)$$

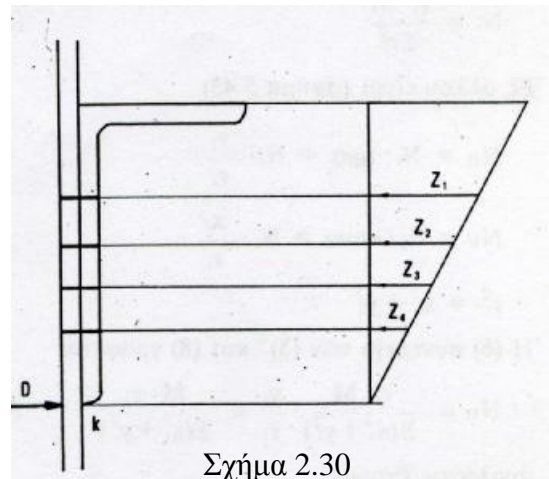
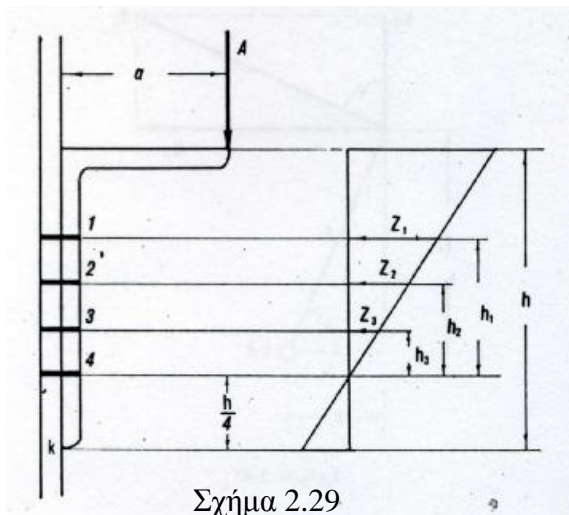
Οπότε η (2) λόγω της (3) γίνεται

$$\frac{Z_1 \cdot h_1}{h_1^2} = \frac{Z_2 \cdot h_2}{h_2^2} = \frac{Z_3 \cdot h_3}{h_3^2} = \frac{M}{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2} \quad (4)$$

και συνεπώς $Z_1 = \frac{M \cdot h_1}{\Sigma h_1^2}, Z_2 = \frac{M \cdot h_2}{\Sigma h_1^2}, Z_3 = \frac{M \cdot h_3}{\Sigma h_1^2}$

Περαιτέρω οι ήλοι καταπονούνται σε διάτμηση και σύνθλιψη της άντυγος με δύναμη στον καθένα, ίση με A/n , αν n ο αριθμός των ήλων.

Τέλος, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.39, η θέση του ήλου 4, τυχαία βρίσκεται στο ύψος $h/4$.



9. Γενικός υπολογισμός ηλώσεως διά της μεθόδου της πολικής ροπής.

Στην παράγραφο των καταπονήσεων θεωρήσαμε ότι η καταπόνηση κάθε ήλου αυξάνει γραμμικώς (συνεπεία της ροπής M), αναλογικά της αποστάσεως του ήλου από την ουδέτερη γραμμή. Η υπόθεση αυτή είναι απλοποιημένη και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για υψηλές δοκούς και συνεπώς μεγάλες κατακόρυφες αποστάσεις y των ήλων ή σειρές ήλων από την ουδέτερη γραμμή.

Ακριβέστερη υπόθεση είναι ότι το μέγεθος της καταπονήσεως κάθε ήλου είναι ανάλογο της αποστάσεως κάθε ήλου από το κέντρο βάρους της ομάδας των ήλων, δεδομένου ότι οι ήλοι ηλώνουν *έλασμα καμπτόμενο* και μάλιστα στρεφόμενο κατά την κάμψη αυτή περί το Κ.Β. της ομάδας των ήλων.

Η υπόθεση αυτή δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα για δοκούς μικρού ύψους.

Περαιτέρω ας θεωρήσουμε την ήλωση του σχήματος 2.31, στην οποία οι ήλοι καταπονούνται από δυνάμεις Q , N και ροπής M . Είναι φανερό ότι από τους 9 ήλους, περισσότερο καταπονείται ένας εκ των 1, 2, 3, 4.

Εάν φέρουμε από το Κ.Β. K τις ακτίνες r_1, r_2, \dots , οι αναλαμβανόμενες δυνάμεις κάθε ήλου που είναι συνεπεία της ροπής M , είναι ανάλογοι των r_1, r_2, \dots (εφόσον βρισκόμαστε, από απόψεως παραμορφώσεων, ακόμα στην ελαστική περιοχή) και διευθύνονται κάθετα προς τις ακτίνες (σχήμα 2.32).

$$\text{Είναι συνεπώς} \quad \frac{N_1}{r_1} = \frac{N_2}{r_2} = \dots = \frac{N_n}{r_n} \quad (1)$$

$$\frac{N_1 \cdot r_1}{r_1^2} = \frac{N_2 \cdot r_2}{r_2^2} = \dots = \frac{N_n \cdot r_n}{r_n^2} = \frac{\sum N_i \cdot r_i}{\sum r_i^2} \quad (2)$$

$$\text{Από την οποία προκύπτει} \quad N_1 = \frac{r_1 \cdot \sum N_i \cdot r_i}{\sum r_i^2} \quad (3)$$

$$\text{Εξάλλου είναι} \quad M = N_1 \cdot r_1 + N_2 \cdot r_2 + \dots + N_n \cdot r_n \quad (4)$$

$$\text{Η (3) λόγω της (4) γράφεται} \quad N_1 = \frac{r_1 \cdot M}{\sum r_i^2} \quad (5)$$

$$\text{Και γενικώς} \quad N_i = \frac{r_i \cdot M}{\sum r_i^2} \quad (5)'$$

Εξάλλου είναι (σχήμα 2.33) $N_H = N_i \cdot hma = N_i \cdot \frac{y_i}{r_i}$ (6)

$$N_n = N_i \cdot suna = N_i \cdot \frac{x_i}{r_i} \quad (7)$$

$$r_i^2 = x_i^2 + y_i^2 \quad (8)$$

Η (6) συνέπεια της (5) και (8) γράφεται $N_H = \frac{r_i \cdot M}{\Sigma(x_i^2 + y_i^2)} \cdot \frac{y_i}{r_i} = \frac{M \cdot y_i}{\Sigma(x_i^2 + y_i^2)}$ (6)'

Αναλόγως έχουμε $N_v = \frac{M \cdot x_i}{\Sigma(x_i^2 + y_i^2)}$ (7)'

Κατά την παράγραφο (7) των καταπονήσεων, σε κάθε ήλο, πέραν των γνωστών τιμών των N_H και N_v , επενεργούν και δυνάμεις, συνεπεία των Q και N .

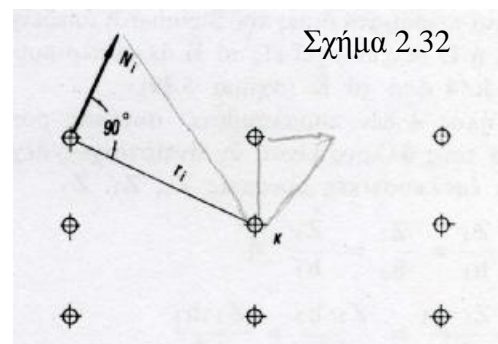
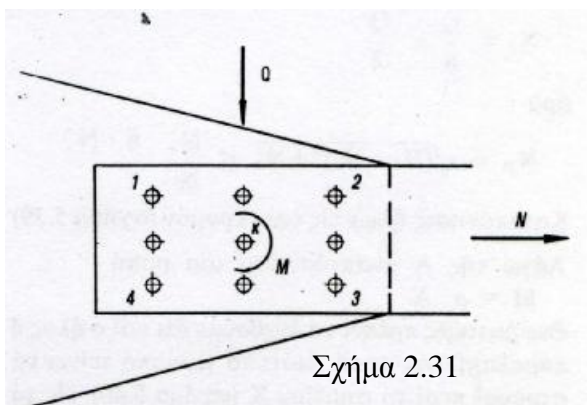
Αν n , ο αριθμός των ήλων, λόγω της N είναι για κάθε ήλο $N_N = \frac{N}{n}$

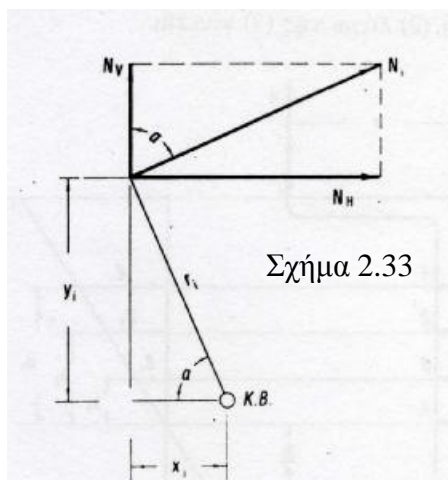
και εξ αιτίας της Q $N_Q = \frac{Q}{n}$

Η συνισταμένη συνεπώς δύναμη N_R , η οποία ενεργεί σε κάθε ήλο, έχει τιμή (σχήμα 2.34).

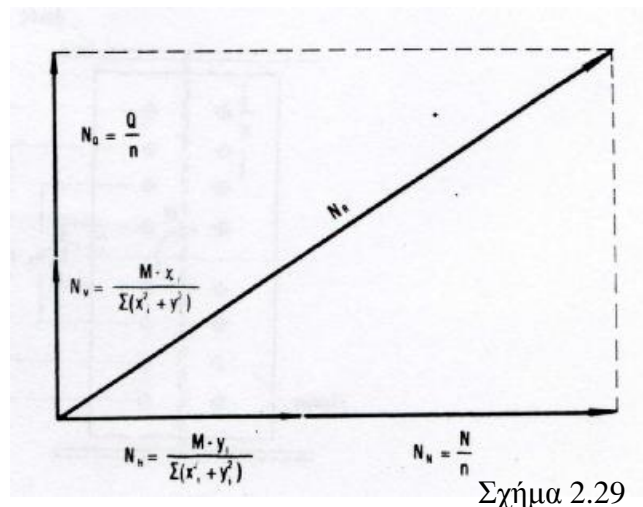
$$N_R = \sqrt{(N_H + N_N)^2 + (N_v + N_Q)^2} \leq \begin{matrix} N'_i \text{ ή } N''_i \\ N_i \end{matrix}$$

Οι τιμές των N_H , N_N , N_v , N_Q εισέρχονται προφανώς με το εκάστοτε αλγεβρικό τους πρόσημο.





Σχήμα 2.33

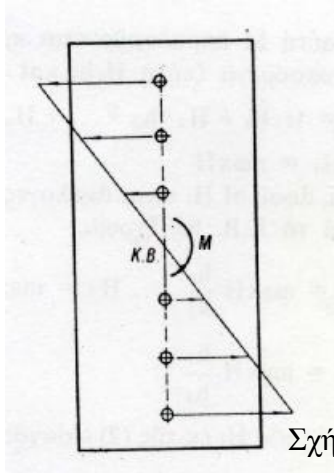


Σχήμα 2.29

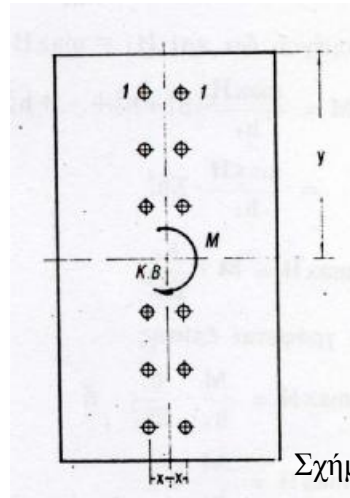
10. Απλοποιημένη παραδοχή καταπόνησεως ήλων υψίκορμων ελατών ή συνθέτων δοκών από ροπή.

Η προηγούμενη παράγραφος δίνει ακριβή αποτελέσματα, όπως ελέγχθηκε εκεί.

Για την περίπτωση όμως υψίκορμων δοκών, η επιρροή της οριζόντιας αποστάσεως χ είναι πολύ μικρή και μπορεί να παραλειφθεί και να θεωρηθεί ότι η καταπόνηση του κάθε ήλου είναι ανάλογη της κατακόρυφου αποστάσεως του από το Κ.Β. της ηλώσεως. Ακόμη ακριβέστερα αποτελέσματα έχουμε όταν η ήλωση πραγματοποιείται σε μία κατακόρυφη στήλη (σχήμα 5.45) όπου είναι $\chi_i = 0$ και συνεπώς τα αποτελέσματα συμπίπτουν με αυτά της παραγράφου. Στο σχήμα 2.36, οι ήλοι «1» της πρώτης σειράς παραλαμβάνουν μεν δύναμη ανάλογη προς την απόσταση y από το Κ.Β., αλλά παραλαμβάνουν και δύναμη ανάλογη προς την απόσταση χ από το Κ.Β.. Επειδή όμως για τους ήλους «1» το y είναι κατά πολύ μεγαλύτερο του χ , μπορούμε κατά προσέγγιση να παραλείψουμε την επιρροή του χ και να δεχθούμε ότι η καταπόνηση των περισσότερων καταπονούμενων ήλων «1» είναι ανάλογη της κατακόρυφης αποστάσεως y από το Κ.Β. της ηλώσεως.



Σχήμα 2.35

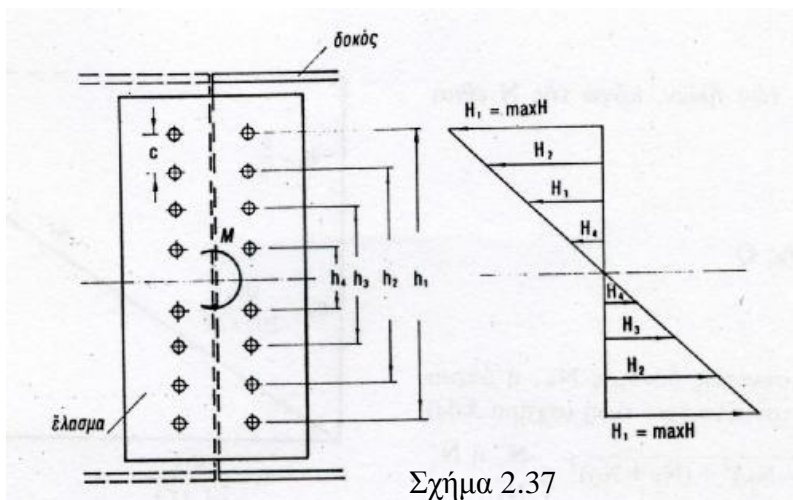


Σχήμα 2.36

Ας φανταστούμε το άκρο δοκού που φαίνεται στο σχήμα 2.37, το οποίο συνδέεται με έλασμα, από το οποίο μεταβιβάζεται στην δοκό, ροπή M . Ομοίως μπορούμε να φανταστούμε ότι το έλασμα έχει σκοπό την επιμήκυνση της δοκού, όπως φαίνεται από το αριστερό μέρος αυτής, εκ του οποίου μεταβιβάζεται στο δεξιό ροπή M . Η ροπή αυτή M παραλαμβάνεται προφανώς από τα αναπτυσσόμενα ζεύγη $H_i h_i$ και είναι

$$M = H_1 h_1 + H_2 \cdot h_2 + \dots + H_n \cdot h_n \quad (1)$$

Όπου $H_i = \max H$.



Σχήμα 2.37

Εξάλλου, αφού οι H_i είναι ανάλογες των αποστάσεων από το Κ.Β., θα έχουμε

$$\left\{ \begin{array}{l} H_n = \max H \frac{h_n}{h_1} \dots H_3 = \max H \frac{h_3}{h_1} \\ H_2 = \max H \frac{h_2}{h_1} \end{array} \right\} \quad (2)$$

Αν οι τιμές των H_i της (2) εισαχθούν στην (1) έχουμε

$$M = H_1 \cdot h_1 + \max H \cdot \frac{h_2^2}{h_1} + \dots + \max H \cdot \frac{h_n^2}{h_1}$$

ή δεδομένου ότι και $H_i = \max H$

$$M = \frac{\max H}{h_1} (h_1^2 + h_2^2 + \dots + h_n^2) = \frac{\max H}{h_1} \cdot \Sigma h_i^2 \quad (3) \quad \text{ή}$$

$$\max H = M \cdot \frac{h_1}{\Sigma h_i^2} \quad (4)$$

Η (4) γράφεται επίσης $\max H = \frac{M}{h_1} \cdot \frac{h_1^2}{\Sigma h_i^2}$ ή

$$\max H = \frac{M}{h_1} \cdot f \quad (5)$$

Για ίσες (κατακόρυφες) αποστάσεις c των ήλων, η τιμή $f = \frac{h_1^2}{\Sigma h_i^2}$

μπορεί να υπολογισθεί, διότι είναι

$$f = \frac{h_1^2}{\Sigma h_i^2} = \frac{(n-1)^2 \cdot c^2}{(n-1)^2 \cdot c^2 + (n-3)^2 \cdot c^2 + (n-5)^2 \cdot c^2 + \dots} = \frac{6(n-1)}{n(n+1)}$$

ΚΟΧΛΙΩΣΕΙΣ

Γενικά στις σιδηροκατασκευές οι συνδέσεις γίνονται μέσω ηλώσεων. Κοχλιώσεις γίνονται σε ειδικές περιπτώσεις, κυριότερες των όποιων είναι :

1. Παραλαβή μεγάλων τάσεων εφελκυσμού του κορμού.
2. Σύνδεση τεμαχίων, στα οποία πρέπει να αποφεύγονται οι κρούσεις κατά την ήλωση, όπως π.χ. κατά την σύνδεση χυτοσιδήρων τεμαχίων.
3. Η περίπτωση προσωρινής συναρμολόγησης, δηλαδή όταν επιδιώκεται η δυνατότητα ταχείας και άνευ φθοράς αποσυναρμολόγησης.
4. Για μεγάλο πάχος (συνολικό) των προς ήλωση τεμαχίων η

διόγκωση του κορμού του ήλου προς πλήρωση της οπής είναι δύσκολη. Για αυτό οι Γερμανικοί κανονισμοί σιδηροδρόμων καθορίζουν το μέγιστο συνολικό πάχος b των ελασμάτων, ανάλογα με την χρησιμοποιημένη διάμετρο d , από την σχέση

$$b = 0,2 * d^2$$

5. Η περίπτωση, κατά την οποία, λόγω έλλειψης χώρου, δεν είναι δυνατή η εργασία της ηλώσεως.
6. Όταν η περιβάλλουσα, του χώρου ήλωσης, ατμόσφαιρα περιέχει, ενδεχομένως, εκρηκτικά αέρια.

ΕΙΔΗ ΚΟΧΛΙΩΝ

Οι κοχλίες διακρίνονται σε

- a. Κανονικούς
- b. Προεντεταμένους

Κανονικοί κοχλίες

Οι κανονικοί κοχλίες διακρίνονται στους








- a. Συνήθεις
- b. Εφαρμοσμένους

Συνήθεις κοχλίες

Χαρακτηριστικό των συνήθων κοχλιών είναι ότι η διάμετρος τους είναι κατά 1mm μικρότερη της οπής. Η διαφορά αυτή επιτρέπει, όπως η σύνδεση παρουσιάζει, μία κινητικότητα, η οποία τελικά εξουδετερώνεται από την τριβή, η οποία αναπτύσσεται στις επιφάνειες επαφής των μεταλλικών στοιχείων της συνδέσεως.

Πίνακας 2.5

Τιμές του $f = \frac{h_1^2}{\Sigma h^2}$

Αριθμός ήλων εις την πρώτη σπειρά ήλωσης n	Μονότοιχος ήλωσης	Δίτοιχος ήλωσης		Τρίτοιχος ήλωσης		Τετράτοιχος ήλωσης	
							
	$f_1 = \frac{6(n-1)}{n(n+1)}$	$f_2 = \frac{6(n-1)}{n(2n-1)}$	$f_2 = \frac{f_1}{2}$	$f_3 = \frac{2(n-1)}{n^2}$	$f_3 = \frac{f_1}{3}$	$f_4 = \frac{3(n-1)}{n(2n-1)}$	$f_4 = \frac{f_1}{4}$
2	1,000	1,000	0,500	0,500	0,333	0,500	0,250
3	1,000	0,800	0,500	0,444	0,333	0,400	0,250
4	0,900	0,643	0,450	0,375	0,300	0,322	0,225
5	0,800	0,533	0,400	0,320	0,267	0,267	0,200
6	0,714	0,455	0,357	0,278	0,238	0,227	0,179
7	0,643	0,396	0,322	0,245	0,214	0,198	0,161
8	0,583	0,350	0,292	0,219	0,194	0,175	0,146
9	0,533	0,314	0,267	0,198	0,178	0,157	0,133
10	0,491	0,284	0,246	0,180	0,164	0,142	0,123
11	0,455	0,260	0,228	0,165	0,152	0,130	0,114
12	0,423	0,239	0,212	0,153	0,141	0,120	0,106
13	0,396	0,222	0,198	0,142	0,132	0,111	0,099
14	0,371	0,206	0,186	0,133	0,124	0,103	0,093
15	0,350	0,193	0,175	0,124	0,117	0,097	0,088
16	0,331	0,181	0,166	0,117	0,110	0,091	0,083
17	0,314	0,171	0,157	0,111	0,105	0,086	0,079
18	0,298	0,162	0,149	0,105	0,099	0,081	0,075
19	0,284	0,153	0,142	0,100	0,095	0,077	0,071
20	0,271	0,146	0,136	0,095	0,090	0,073	0,068

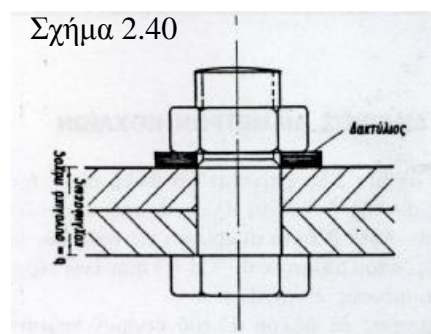
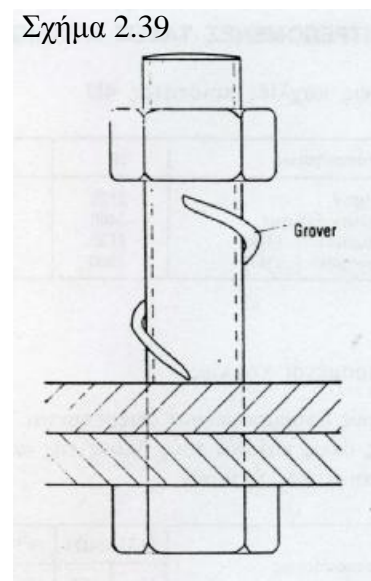
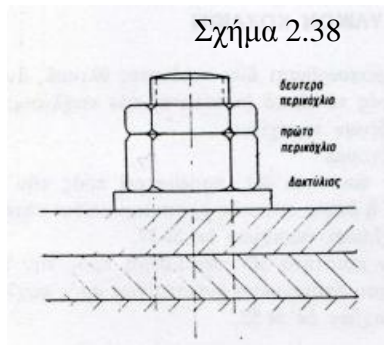
Όταν η σύνδεση υποβάλλεται σε κραδασμούς, είναι δυνατή η χαλάρωση της, εξαιτίας της δημιουργίας ελαστικών παραμορφώσεων κατά την επαφή των σπειρωμάτων. Προς αποφυγή της χαλαρώσεως αυτής επιδιώκεται η ακινητοποίηση του περικοχλίου με τη χρήση δευτέρου περικοχλίου (κόντρα παξιμάδι ή κοντραβίδι), το οποίο βιδώνεται εξωτερικά του πρώτου (σχήμα 2.38). Μάλιστα σε συνδέσεις, δεχόμενες σημαντικούς κραδασμούς τοποθετούνται μεταξύ περικοχλίου και ελάσματος ειδικοί σύνδεσμοι ελατηρίων (ροδέλα Grover) με σκοπό την απορρόφηση της ενεργείας των κραδασμών, ώστε τελικά, να αποφεύγεται η χαλάρωση της συνδέσεως από τους κραδασμούς (σχήμα 2.39).

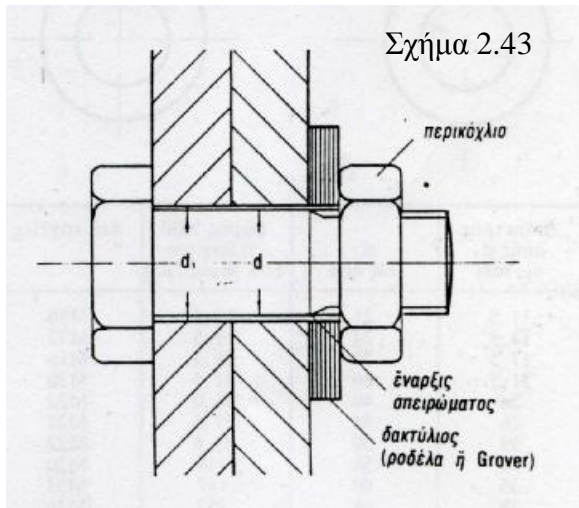
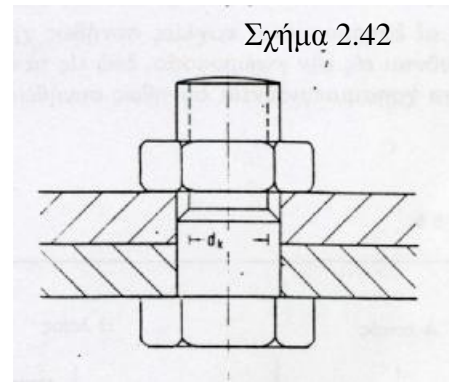
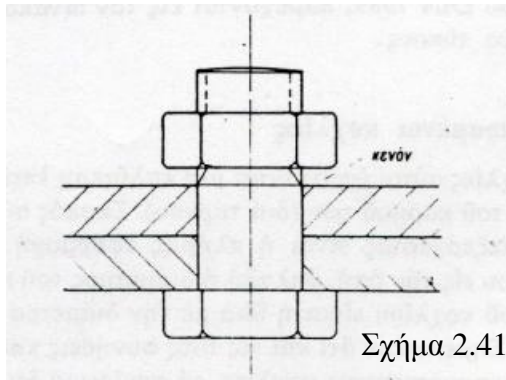
Τέλος, κατά την κοχλίωση, πρέπει ολόκληρο το σπείρωμα των κοχλιών να βρίσκεται εκτός του συνολικού πάχους των προς σύνδεση ελασμάτων, ώστε κατά την μεταφορά μέσω του κορμού, των διατμητικών δυνάμεων, στην

ανάληψη των τελευταίων, να μετέχει η επιφάνεια του κορμού και όχι του πυρήνα.

Για αυτό το σκοπό (σχήμα 2.40), παρεμβάλλεται μεταξύ περικοχλίου και ελάσματος, δακτύλιος, ώστε το περικόχλιο να κοχλιούται όλο επί του κορμού. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή μη χρήσεως δακτυλίου, ή η σύσφιξη δεν είναι τέλεια (σχήμα 2.41). ή σε περίπτωση καλής συσφίξεως και μικρού επομένως κοχλίου, η ανάληψη των διατμητικών δυνάμεων γίνεται από την επιφάνεια του πυρήνα (σχήμα 2.42).

Οι δακτύλιοι αυτοί κατασκευάζονται από ρευστοπαγή χάλυβα, τα δε λοιπά στοιχεία αυτών, ορίζονται από το DIN 7989, και παρέχονται στον πίνακα 2.6 για δύο τύπους.





Εφαρμοσμένοι κοχλίες

Οι κοχλίες αυτοί υφίστανται μία καλύτερη επεξεργασία του κορμού τους (μέσω τόννου). Σκοπός αυτής της επεξεργασίας είναι η πλήρης εφαρμογή του κοχλία στην οπή, δηλαδή η διάμετρος του κορμού του κοχλία είναι η ίδια με την διάμετρο της οπής. Να σημειωθεί ότι και στους συνήθεις και στους εφαρμοσμένους κοχλίες, το σπείρωμα δεν βρίσκεται στο φέρον μέρος (κορμό) του κοχλία (σχήμα 2.43), αλλά αρχίζει μετά ή λίγο πριν από την έξοδο του κοχλία από τα ελάσματα. Εκεί απαιτείται άλλωστε, για να κοχλιωθεί με το περικόχλιο, το οποίο είναι ελικωμένο εσωτερικά.

Τέλος, οι εφαρμοσμένοι κοχλίες συνήθως χρησιμοποιούνται στην γεφυροποιία, ενώ στα δομικά έργα χρησιμοποιούνται συνήθως συνήθεις κοχλίες.

Πίνακας 2.6

Διάμετρος ὄπης d_1 εἰς mm	d_2 εἰς mm	Βάρος 1000 τεμαχίων (εἰδ. βάρος 7,85)	Διά κοχλίες
11,5	21	15,2	M10
13,5	24	19,5	M12
17,5	30	29,3	M16
21,5	36	41,5	M20
24	40	51,0	M22
26	44	61,5	M24
29	50	81,6	M27
32	56	104	M30
35	60	117	M33
38	68	157	M36

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Η ιδιότητα των μετάλλων να είναι σύντηκτα επιτρέπει ώστε, όταν δύο μεταλλικά τεμάχια θερμανθούν πέρα από την θερμοκρασία τήξεως τους και μεταβληθούν σε υγρή (πολωδή) μάζα, να συγκολλούνται μεταξύ τους.

Στη συνέχεια, όταν επανέλθουν στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος, να συμπεριφέρονται ως ένα σώμα.

ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Οι συγκολλήσεις πραγματοποιούνται με τους εξής τρόπους :

1. Μέσω σφυρηλατήσεως (παλαιά μέθοδος).

Τα δύο προς συγκόλληση τεμάχια ερυθροπυρώνονται πρώτα, και στη συνέχεια φέρονται σε επαφή και σφυρηλατούνται μέχρι να κρυώσουν και να μεταβληθούν έτσι, σε ένα ενιαίο σώμα. Το είδος αυτό της συγκολλήσεως δεν

είναι απαλλαγμένο σφαλμάτων και γι' αυτό δεν χρησιμοποιείται στα δομικά έργα.

2. Με τη χρησιμοποίηση εύτηκτων κραμάτων.

Τα προς συγκόλληση τεμάχια δεν ερυθροπυρώνονται, αλλά φέρονται σε επαφή και στη συνέχεια ενώνονται μεταξύ τους με την βοήθεια ενός εύτηκτου κράματος. Οι συγκολλήσεις αυτές είναι φανερό ότι δεν πρέπει να εκτίθενται κατά την λειτουργία του φορέως σε υψηλές θερμοκρασίες. Περαιτέρω γίνονται μόνον εκεί, όπου τα προς μεταβίβαση φορτία είναι πολύ μικρά.

3. Μέσω συντήξεως των ιδίων των τεμαχίων, τα οποία πρόκειται να συγκολληθούν (αυτογενής συγκόλληση).

Η μέθοδος αυτή διακρίνεται, αναλόγως του τρόπου παραγωγής της απαιτούμενης θερμότητας, σε :

- a. **Οξυγονοκόλληση**
- b. **Ηλεκτροκόλληση**
- c. **Αυτογενή συγκόλληση με την βοήθεια οξειδίου του αλουμινίου (Θερμίτης).**

a. Οξυγονοκόλληση

Χρησιμοποιείται ασετιλίνη ή υδρογόνο, τα οποία παρουσία του οξυγόνου καίγονται, παραγόμενης φλόγας. Η θερμοκρασία της φλόγας (2800 έως 3000 °C) επιδρά επί του χάλυβα και τον μετατρέπει σε λεπτόρρευστο υγρό. Κοντά στην φλόγα φέρεται μία ράβδος ειδική (από το ίδιο υλικό), η οποία ομοίως λιώνει στο άκρο της και γεμίζει τα κενά των άκρων των προς ένωση τεμαχίων.

Προσοχή πρέπει να δοθεί, ώστε η φλόγα να είναι ουδέτερη, δηλαδή να περιέχει τόσο οξυγόνο, όσο απαιτείται για την καύση της ασετιλίνης ή του υδρογόνου. Αν υπάρχει περίσσεια οξυγόνου, αντιμετωπίζεται ο κίνδυνος αλλαγής της χημικής σύστασης του μετάλλου κοντά στην ένωση.

Εξάλλου η μεγάλη θερμοκρασία έχει ως επακόλουθο την μεγάλη παραμόρφωση των προς ένωση τεμαχίων στο σημείο τουλάχιστον της

συγκολλήσεως, έτσι ώστε η μέθοδος να αποφεύγεται, ειδικώς δε στις λεπτοκατασκευές.

b. **Ηλεκτροσυγκόλληση**

Είναι η κυριότερη και σπουδαιότερη μέθοδος στις δομικές κατασκευές.

Με την βοήθεια ενός ηλεκτρικού τόξου μεταξύ της ράβδου συγκολλήσεως (ηλεκτροδίου) και των προς συγκόλληση τεμαχίων, τα τεμάχια θερμαίνονται τοπικά (στο σημείο της συγκολλήσεως) μέχρι της θερμοκρασίας περίπου των 4000 °C και λιώνουν στα άκρα τους. Συγχρόνως λιώνει και το ηλεκτρόδιο, έτσι ώστε το τελευταίο στάζει, ενώνεται με τα λιωμένα άκρα των προς ένωση τεμαχίων και γεμίζει τον αρμό. Κατ' αυτό τον τρόπο μπορούν να γίνουν και συγκολλήσεις με διεύθυνση αντίθετη της βαρύτητας (πάνω από το κεφάλι).

Το ηλεκτρικό τόξο προκαλεί σπινθήρες και, προ πάντων, εκθαμβωτική λάμψη. Για το λόγο αυτό, ο τεχνίτης ηλεκτροσυγκολλητής πρέπει να προφυλάσσεται.

c. **Αυτογενής συγκόλληση.**

Με χημική μέθοδο παράγεται καθαρός σίδηρος σε υγρή κατάσταση. Αυτός χύνεται στην θέση της συγκολλήσεως και προκαλεί λιώσιμο και των προς συγκόλληση τεμαχίων. Έτσι, επέρχεται αυτογενής συγκόλληση, όταν η θερμοκρασία επανέλθει στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η μέθοδος αυτή είναι η καλύτερη, αλλά και η ακριβότερη. Χρησιμοποιείται εκεί όπου η συγκόλληση πρόκειται να εκτεθεί σε μεγάλες καταπονήσεις, όπως π.χ. στην συγκόλληση σιδηροτροχιών σιδηροδρόμων.

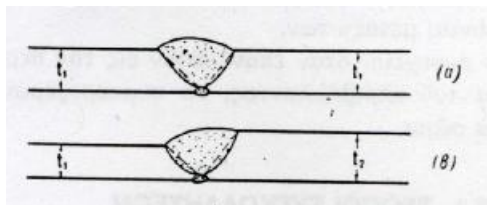
ΜΟΡΦΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Ανεξαρτήτως του τρόπου (μεθόδου) συγκολλήσεως, οι συγκολλήσεις διακρίνονται σε δύο κατηγορίες.

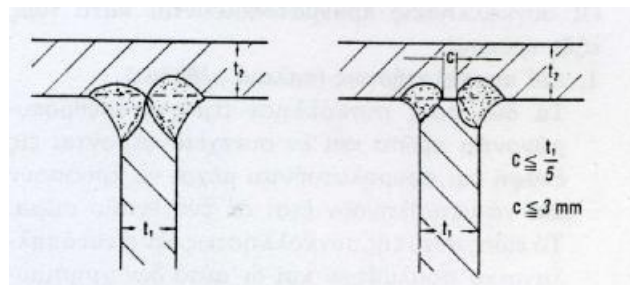
- a. Τις διαμπερείς συγκολλήσεις ή εσωραφές.
- b. Τις επιφανειακές συγκολλήσεις ή εξωραφές.

a. **Εσωραφές**

Εφαρμόζονται συνήθως στην επιμήκυνση δύο ισοπαχών ή ανισοπαχών τεμαχίων, ευρισκομένων στο ίδιο ή περίπου ίδιο επίπεδο (σχήμα 2.44 α, β) όπως επίσης και κατά την ένωση υπό γωνιά, ορθή, τεμαχίων κατά το σχήμα 2.45, ή διάφορη της ορθής π.χ. κατά το σχήμα 2.52. Οι εσωραφές διακρίνονται στις εξής μορφές.



Σχήμα 2.44



Σχήμα 2.45

Η ραφή *I* εκτελείται χωρίς επεξεργασία των προς συγκόλληση επιφανειών, είναι δυνατόν δε, να εφαρμόζεται μόνον σε πάχη ελασμάτων $t \leq 5$ mm. Υπό προϋποθέσεις δε (εφαρμογή μεθόδου CO₂) είναι δυνατόν να εφαρμόζεται και για πάχη μέχρι 10 mm, ($t_1 \leq 10$ mm).

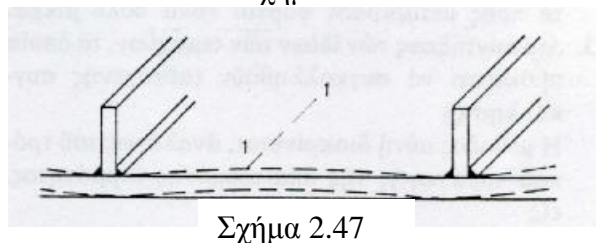
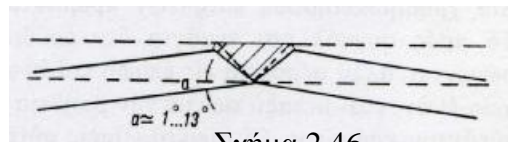
Η ραφή *V* για $t > 15$ mm καθίσταται αντοικονομική, διότι απαιτεί πολύ υλικό συγκολλήσεως (ηλεκτρόδια) μέχρι το γέμισμα του αρμού. Περαιτέρω απαιτεί και αρκετό χρόνο εργασίας.

Η ραφή *Y* διαθέτει έναν αρμό μορφής *V* μέχρι βάρους ίσου προς τα 2/3 του πάχους του ελάσματος, το οποίο είναι δυνατόν να φθάσει τα 20 mm, ($t \leq 20$ mm).

Η ραφή *U* με απότομες επιφάνειες (σχεδόν ορθές) συγκολλήσεως εφαρμόζεται όταν η συγκόλληση δεν είναι δυνατόν να εκτελεστεί από την άλλη πλευρά και μέχρι της ελάχιστης, μεταξύ των ελασμάτων, αποστάσεως. Για την

πραγματοποίηση της συγκολλήσεως απαιτείται να τοποθετηθεί ένα υπόθεμα από την μη προσπελάσιμη πλευρά.

Η ραφή X απαιτεί για μεγαλύτερα πάχη (16-40 mm) λιγότερα ηλεκτρόδια ως υλικό πληρώσεως και αυτό φαίνεται από την μορφή του αρμού συγκολλήσεως. Η συγκόλληση πραγματοποιείται εναλλάξ και από τις δύο όψεις. Λόγω της συμμετρικής συγκολλήσεως αυξάνει συμμετρικά και η θερμοκρασία από τις δύο όψεις, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η παραμόρφωση από την κάμψη του ελάσματος στο σημείο της συγκολλήσεως, κάτι το οποίο δεν αποφεύγεται τελείως ή με δυσκολία στην ραφή V, όπως φαίνεται στα σχήματα 2.46 και 2.47.



Η ραφή U εκτελείται από την μία πλευρά χωρίς να χάνει το πλεονέκτημα της ραφής X, δηλαδή της μη παραμορφώσεως του ελάσματος εξαιτίας της ανομοιόμορφης θερμοκρασίας. Η συγκόλληση στην ρίζα πραγματοποιείται εκ των υστέρων.

Πίνακας 2.7

Τιμές εις mm

ΡΑΦΕΣ	ΡΑΦΗ Ι	ΡΑΦΗ V	ΡΑΦΗ Υ	ΡΑΦΗ ∟	ΡΑΦΗ Χ	ΡΑΦΗ U
Μορφή άρμου κατά DIN 8551 Bl. 1						
Συμβολισμός						
πάχος t ελάσματος εις mm	≤ 5	3...20	8...20	> 10	16...40	> 16

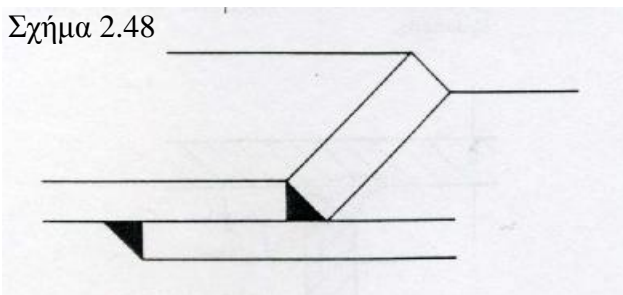
Ο πίνακας 2.7 δίνει τις μορφές του αρμού, τον συμβολισμό ως και το κατάλληλο πάχος για την εφαρμογή καθεμίας από τις προαναφερθείς εσωραφές.

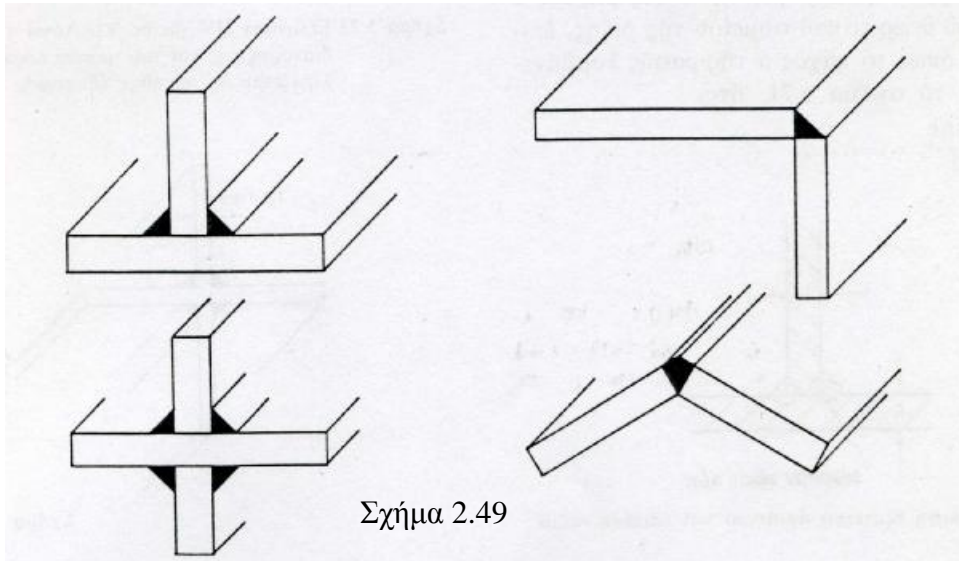
Ως πάχος a της εσωραφής θεωρείται το πάχος των συνδεόμενων ελασμάτων, εάν είναι ισοπαχής. Αλλιώς το πάχος του λεπτότερου ελάσματος, δηλαδή $a = t_{\min}$.

b. Εξωραφές

Γίνονται είτε όταν τα ελάσματα συγκολλούνται το ένα επί του άλλου (σχήμα 2.48), είτε όταν συγκολλούνται υπό γωνία (σχήμα 2.49)

Σχήμα 2.48



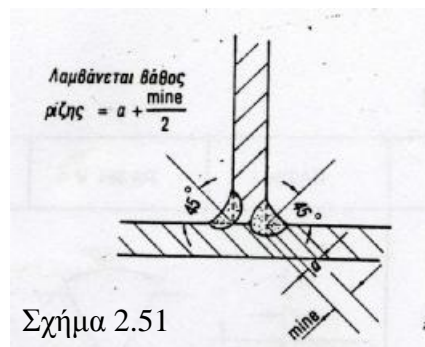
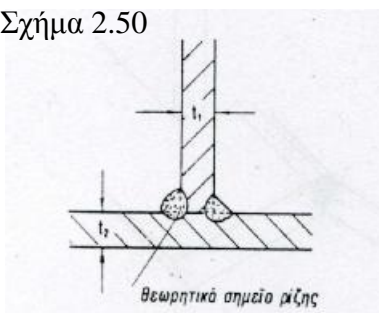


Σχήμα 2.49

Οι εξωραφές κατά το DIN 1912 διακρίνονται σε επίπεδες, κυρτές και κοίλες. Οι επίπεδες, για αυτήν τους την ικανότητα αναλήψεως φορτίων, απαιτούν τα λιγότερα ηλεκτρόδια και αποτελούν σχεδόν τον κανόνα εξωραφών. Οι κοίλες εξωραφές παρουσιάζουν δυσκολία στην διαμόρφωση τους, παρουσιάζουν όμως την καλύτερη καύση και λόγω αυτής, την καλύτερη σύνδεση με το δομικό στοιχείο το οποίο ενώνουν και περαιτέρω, καλύτερη μεταβίβαση δυνάμεων.

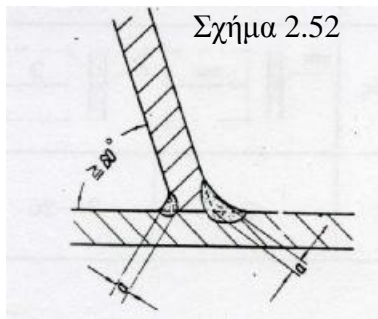
Οι ευκολότερες να κατασκευαστούν είναι οι κυρτές εξωραφές. Τα σχήματα 2.50 ως 2.53 είναι κατατοπιστικά των διαφόρων εξωραφών.

Σχήμα 2.50

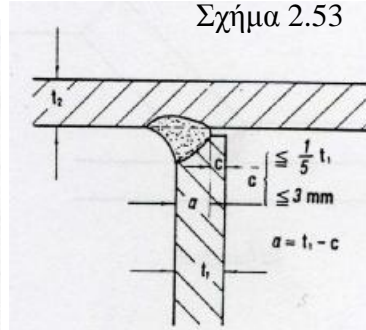


Σχήμα 2.51

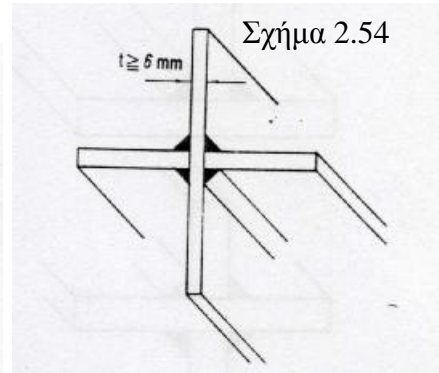
Αν, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.52, η εξωραφή παρουσιάζει γωνία $< 60^\circ$, δεν είναι δυνατόν, η συγκόλληση, να πραγματοποιηθεί μέχρι την ρίζα καεί δεν επιτρέπεται η εξωραφή να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς.



Σχήμα 2.52



Σχήμα 2.53



Σχήμα 2.54

Εξάλλου, εξωραφές εκατέρωθεν του ελάσματος (σχήμα 2.54) επιτρέπονται μόνο για πάχος t ελάσματος άνω των 6 mm. Περαιτέρω διάκριση των εξωραφών είναι αυτή του σχήματος 2.55.

Ως πάχος a στις εξωραφές, λαμβάνεται το ύψος του εγγεγραμμένου ισοσκελούς τριγώνου (σχήμα 2.56).

Γενικά, συνιστάται το πάχος a , εξαιτίας τεχνικών λόγων της συγκολλήσεως, να ικανοποιεί τον κάτωθι εμπειρικό τύπο.

$$0.7 \cdot t_{\min} > a \geq \sqrt{t_{\max}^{(mm)}} - 0.5 \geq 3mm$$

Αν εξάλλου εξασφαλίζεται (αναλόγως της μεθόδου συγκολλήσεως) μια έγκαιρη βάθους e πέρα του θεωρητικού σημείου της ρίζας, επιτρέπεται το πάχος a της ραφής να λαμβάνεται, όπως στο σχήμα 2.51, που είναι

$$a + \frac{\min e}{2}$$

Ενώ για εξωραφή HV (σχήμα 2.53), λαμβάνεται

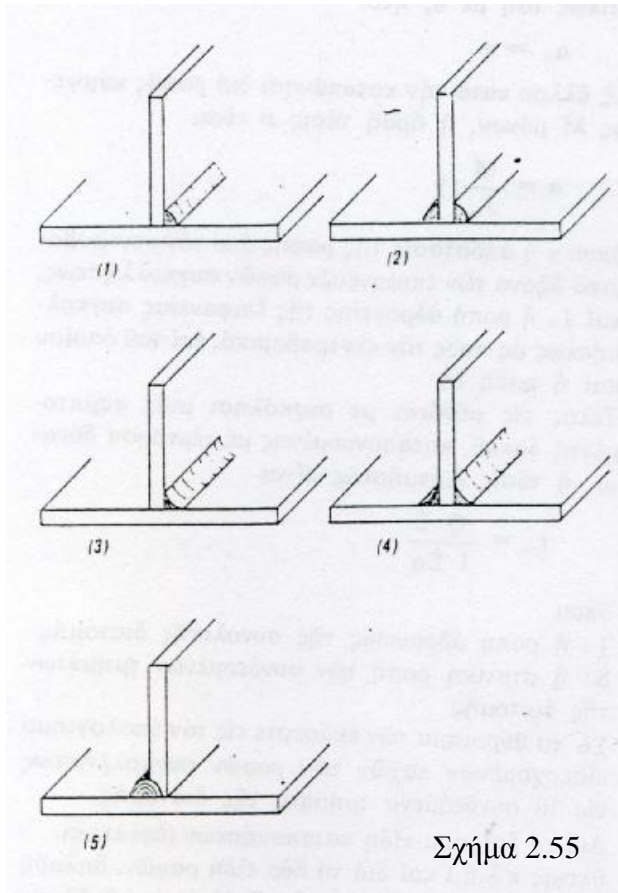
$$a = t_1 - e$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΡΑΦΩΝ

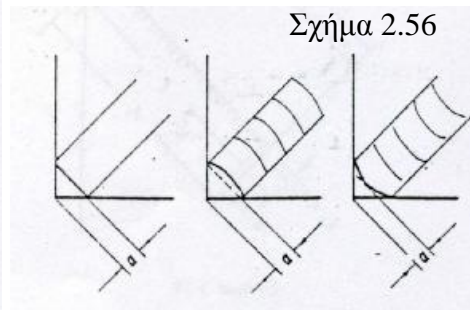
a. Εσωραφές

Η επιφάνεια F της διατομής της ραφής ισούται με το εμβαδόν της διατομής του ελάσματος. Επειδή και για την συγκόλληση και για τα ελάσματα ισχύουν οι ίδιες επιτρεπόμενες τάσεις, ο υπολογισμός της αντοχής του

ελάσματος και της ραφής συμπίπτουν. Σε περίπτωση συγκολλησεως άνισων παχών ελασμάτων, θα ληφθεί προφανώς το εμβαδόν της διατομής του μικρότερου πάχους ελάσματος.



Σχήμα 2.55



Σχήμα 2.56

b. Εξωραφές

Το μήκος l κάθε εξωραφής πρέπει να ικανοποιεί την σχέση $15a \leq l \leq 100a$.

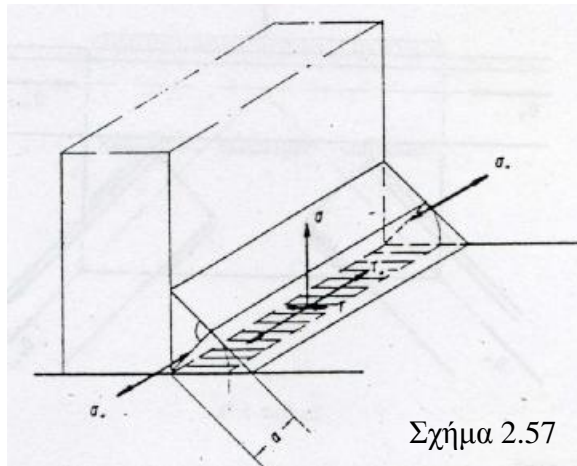
Κατά τον υπολογισμό των εσωραφών και εξωραφών, των καταπονούμενων μέσω αξονικής (εφελκυστικής ή θλιπτικής) ή διατμητικής δυνάμεως, πρέπει να γίνει ο έλεγχος

$$\left. \begin{array}{l} s_{pragm} \\ t_{pragm} \\ t_{ii} \end{array} \right\} = \frac{P}{F_w} = \frac{P}{\Sigma(a \cdot l)} \leq \left\{ \begin{array}{l} s_{epitr} \\ t_{epitr} \end{array} \right.$$

όπου:

τ_n η διατμητική τάση, η παράλληλη προς την διεύθυνση του μήκους της ραφής.

τ η διατμητική τάση, η κάθετη προς την διεύθυνση του μήκους της ραφής.



Στις εξωραφές, οι τάσεις αυτές αναφέρονται στην ιδεατή, κατά μήκος της ραφής επιφάνεια του σχήματος 2.57. Η κάθετη τάση σ_n , κατά την έννοια του μήκους της ραφής δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς. Να σημειωθεί ότι η συνύπαρξη (ταυτόχρονη ανάπτυξη) των τ_n και τ είναι δυνατή. Ως παράδειγμα ας λάβουμε τον κόμβο του σχήματος 5.78 του άνω πέλματος ενός ζευκτού. Η συνεχιζόμενη οριζόντια ράβδος $O_n - O_{n+1}$ συγκολλάται επί του κομβοελάσματος με 4 εξωραφές. Μια από πάνω και τρεις από κάτω από το \perp . Έστω F_w το συνολικό εμβαδόν των 4 εξωραφών. Οι 4 αυτές εξωραφές καταπονούνται κατά την έννοια του μήκους τους, από δύναμη $S = O_n - O_{n+1}$. Συνεπώς επί των 4 εξωραφών, υφίσταται διατμητική τάση τ_n , παράλληλη προς

την διεύθυνση των ραφών, και είναι

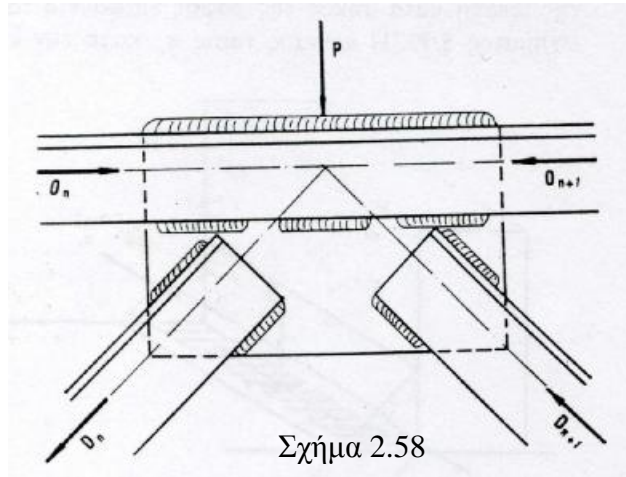
$$t_{ii} = \frac{O_n - O_{n+1}}{F_w}$$

Ταυτόχρονα όμως, οι 4 αυτές εξωραφές καταπονούνται και από τάση διάτμησης τ εξαιτίας του επικόμβιου φορτίου P (το φορτίο P εφαρμοζόμενο επί της ράβδου $O_n - O_{n+1}$, θα μεταφερθεί στο κομβοέλασμα). Η τάση αυτή είναι τώρα κάθετη προς την διεύθυνση του μήκους των 4 εξωραφών, είναι δηλαδή

τάση διατμήσεως τ και ισούται με

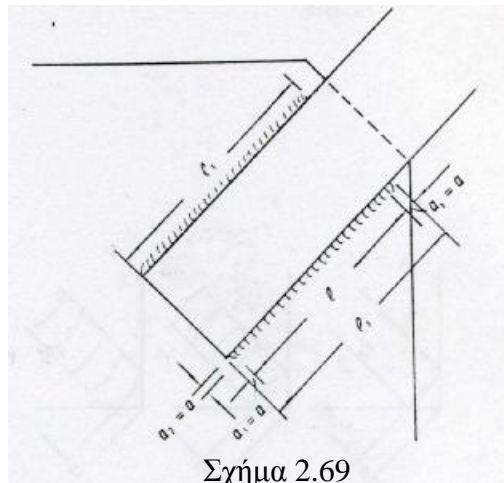
$$t = \frac{P}{F_w}$$

Κατ' αυτό τον τρόπο το φορτίο P όπως και οι τάσεις O_n και O_{n+1} των ράβδων μεταβιβάστηκαν στο κομβοέλασμα. Κατά τον ίδιο τρόπο, μέσω των ειδικών των συγκολλήσεων, μεταβιβάζονται στο κομβοέλασμα (ή αντίστροφα) οί τάσεις D_n και D_{n+1} των λοξών ράβδων.



Σχήμα 2.58

Ως μήκος εξάλλου 1, λαμβάνεται το μειωμένο (σχήμα 2.69) κατά δύο φορές πάχος της ραφής, γνωστό ως ενεργό μήκος συγκολλήσεως.



Σχήμα 2.69

Η πλευρά συγκολλήσεως a_1 λαμβάνεται προσεγγιστικά ίση με a .

Εξάλλου κατά την καταπόνηση διά ροπής κάμψεως M μόνο, η ορθή τάση

σ είναι
$$s = \frac{M}{J_w} \cdot y$$

όπου y η απόσταση της ραφής από τον κεντροβαρικό άξονα των επιφανειών ραφών συγκολλήσεως, και J_w η ροπή αδρανείας της επιφάνειας συγκολλήσεως ως προς τον κεντροβαρικό, επί του οποίου και η ροπή M .

Τέλος σε σύνδεση με συγκόλληση μιας καμπτόμενης δοκού, καταπονούμενης με τέμνουσα δύναμη, η τάση διάτμησης είναι

$$t_{ii} = \frac{Q \cdot \Sigma}{J \cdot \Sigma a}$$

όπου

J : η ροπή αδράνειας της συνολικής διατομής

S : η στατική ροπή των συνδεόμενων τμημάτων της διατομής

Σa : το άθροισμα των εκάστοτε, στον υπολογισμό, εισερχομένων παχών των ραφών συγκολλήσεως στα συνδεόμενα τμήματα της διατομής.

Για τα διάφορα είδη καταπονήσεων (εφελκυσμό, θλίψη κ.λ.π.) και για τα δύο είδη ραφών, δηλαδή εσωραφές και εξωραφές, για St37 και St52 και για φορτίσεις από κύρια (H) φορτία ή κύρια και πρόσθετα (HZ), ο πίνακας 2.8 παρέχει τις επιτρεπόμενες τάσεις κατά DIN 4100 από το Δεκέμβριο του 1968.

Πίνακας 2.8 'Επιτρεπόμενες τάσεις εις kg/cm^2 διά ραφές συγκολλήσεως

1	2	3	4	5 6 7 8			
				Είδος χάλυβος			
				St 37		St 52	
				H	H2	H ₁	H2
3	Εσωραφή ραφή-K (μειωτική ποιότη, σχήμα 7)	Όλες οι ποιότητες ραφών	Θλίψις και καμπτική θλίψις	1600	1800	2400	2700
4	Ραφή-K (συνήθης ποιότη, σχήμα 6) ραφή-HV (έξαιρετική ποιότη, σχήμα 7)	Διαπιστώσις μη υπέρβιας ρωγμών και ελαττωμάτων συνδέσεως και ρίζας.	Έφελκυσμός και καμπτικός έφελκυσμός, έγκρισως προς την οριζιακή ραφή	1600	1800	2400	2700
5		Μη διαπιστουμένη ποιότης ραφής		1350	1500	1700	1900
6	Ραφή HV (συνήθης ποιότης, σχήμα 4)	Όλες οι ποιότητες ραφών	Θλίψις και καμπτική θλίψις, Έφελκυσμός και καμπτικός έφελκυσμός Τάσις συγκρίσεως	1350	1500	1700	1900
7	Όλα τα είδη ραφών		Διάτμησις	1350	1500	1700	1900

Τάση συγκρίσεως

Αν στις εξωραφές ενεργούν ταυτοχρόνως τάσεις σ και τ πρέπει να ελεγχθεί η τάση συγκρίσεως, που παρέχεται από την σχέση

$$s_v = \sqrt{s^2 + t^2 + t_{ii}^2}$$

Η τάση συγκρίσεως s_v επιβάλλεται να ελέγχεται στην συνεπίπεδη σύνδεση κομβοελασμάτων και πελμάτων δικτυωτών φορέων όπως και σε άκαμπτες συνδέσεις δοκών. Εν προκειμένω, στην σχέση $s_v = \sqrt{s^2 + t^2 + t_{ii}^2}$ θα τίθενται η $\max\sigma$ και η αντίστοιχη σε αυτήν τιμή τ , ή η $\max\tau$ και η αντίστοιχη σε αυτή τιμή σ .

Η s_v εξάλλου δεν επιβάλλεται να ελέγχεται στις εσωραφές, ραφές HV ή K και όταν οι τάσεις σ και τ δεν υπερβαίνουν τις οριακές τιμές, που δίνονται στον πίνακα 2.9. Πίνακας 2.9

Όριακές τιμές τάσεων εις Kg/cm²

Τάσις	Είδος χάλυβος	
	St 37	St 52
σ και $\sqrt{\tau^2 + \tau_{ii}^2}$ εκάστη χωριστά	950	1200
$\sigma + \sqrt{\tau^2 + \tau_{ii}^2}$	1350	1700

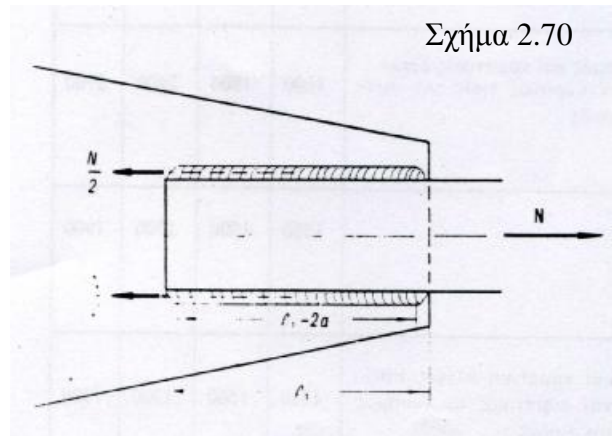
Παρακάτω θα μελετηθούν διάφορες περιπτώσεις φορτίσεως και ο αντίστοιχος έλεγχος τάσεως, σύμφωνα με τα παραπάνω.

Περίπτωση 1^η

Συγκόλληση ελάσματος επί κομβοελάσματος και μεταβίβαση δύναμης N, παράλληλης προς την διεύθυνση του μήκους της συγκολλήσεως, κατά το σχήμα.

Η αναπτυσσόμενη διατμητική τάση είναι

$$\begin{aligned} t_{pragm} &= \frac{N}{\Sigma(al)} = \frac{N}{2F_{pragm}} = \\ &= \frac{N}{2(l_1 - 2a) \cdot a} \leq t_{epitr} \end{aligned}$$



Σχήμα 2.70

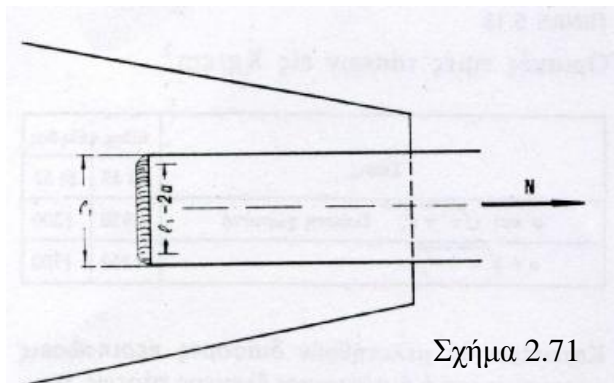
Περίπτωση 2^η

Συγκόλληση ελάσματος επί κομβοελάσματος και μεταβίβαση δύναμης N κάθετης προς την διεύθυνση του μήκους της συγκολλήσεως, κατά το σχήμα 2.71.

Η αναπτυσσόμενη ορθή τάση είναι

$$s_{pragm} = \frac{N}{\Sigma(a \cdot l)} = \frac{N}{F_{pragm}} =$$

$$= \frac{N}{(l_1 - 2a) \cdot a} \leq s_{epitr}$$



Σχήμα 2.71

Περίπτωση 3^η

Συγκόλληση ελάσματος επί κομβοελάσματος με δύο πλευρικές εξωραφές και μεταβίβαση ροπής M κατά το σχήμα 2.72.

Η ροπή M ισοδυναμεί με ζεύγος αντιθέτων δυνάμεων N , οι οποίες δυνάμεις εφαρμόζονται στα Κ. Β των συγκολλήσεων, με μοχλοβραχίονα

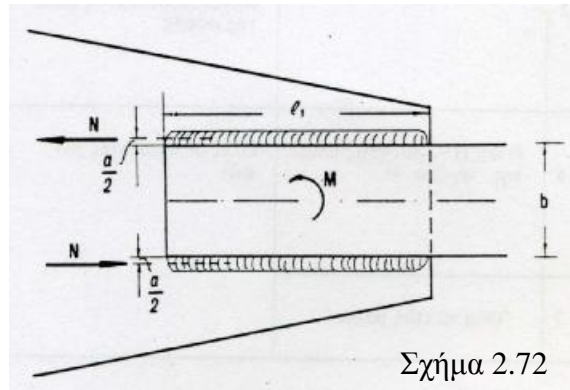
$$b + \frac{a}{2} + \frac{a}{2} = b + a$$

είναι δε $M = N \cdot (b + a)$

άρα η πραγματοποιούμενη διατμητική τάση τ είναι

$$t_{pragm} = \frac{N}{\Sigma(al)} = \frac{N}{(l_1 - 2a) \cdot a} =$$

$$= \frac{M}{(b+a)(l_1 - 2a) \cdot a} \leq t_{epitr}$$



Περίπτωση 4^η

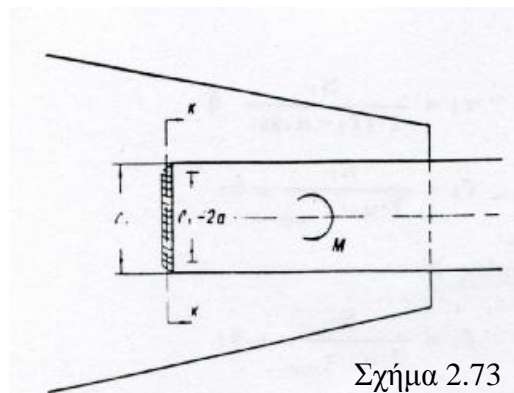
Συγκόλληση ελάσματος επί κομβοελάσματος με μετωπική ραφή και μεταβίβαση ροπής M κατά το σχήμα 2.73.

Επειδή το πάχος της συγκολλήσεως είναι πάλι a , το εμβαδόν της συγκολλήσεως κατά την τομή κ-κ είναι $\Sigma(al) = a(l_1 - 2a)$

Επίσης η ροπή αντιστάσεως W_p της ίδιας ραφής είναι $W_p = \frac{a \cdot (l_1 - 2a)^2}{6}$

και συνεπώς η ορθή τάση επί αυτής της διατομής είναι

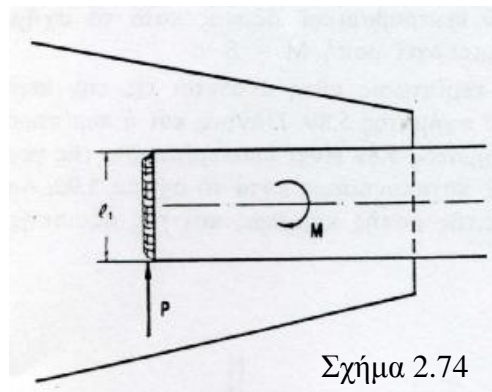
$$s_{pragm} = \frac{M}{W_p} = \frac{6M}{a(l_1 - 2a)^2} < s_{epitr}$$



Περίπτωση 5^η

Ταυτόχρονη μεταβίβαση στην συγκόλληση, ροπής M και δυνάμεως P , παράλληλης προς τον άξονα της μετωπικής ραφής, κατά το σχήμα 2.74.

Προφανώς, αναπτύσσονται ορθές και διατμητικές τάσεις. Στην περίπτωση αυτήν επιβάλλεται ο έλεγχος της τάσεως συγκρίσεως $s_n = \sqrt{s^2 + t_{ii}^2}$



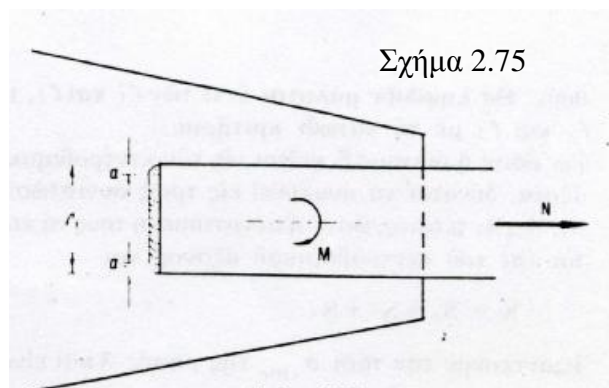
Περίπτωση 6^η

Όπως στην περίπτωση 5, αλλά με δύναμη N κάθετη προς τον άξονα της μετωπικής ραφής, κατά το σχήμα 2.75.

$$s_{pragm} = \frac{M}{W_p} + \frac{N}{\Sigma(a \cdot l)} = \frac{M}{W_p} + \frac{N}{F} \leq s_{epitr}$$

ή

$$s_{pragm} = \frac{M}{\frac{a(l_1 - 2a)^2}{6}} + \frac{N}{a(l_1 - 2a)} =$$
$$= \frac{6 \cdot M}{a(l_1 - 2a)^2} + \frac{N}{a(l_1 - 2a)}$$



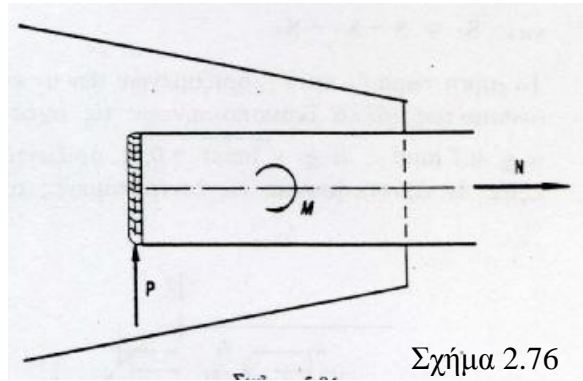
Περίπτωση 7^η

Μεταβίβαση στην συγκόλληση, ταυτόχρονα M , N και Q .

Είναι
$$s_{pragn} = \frac{M}{W_p} + \frac{N}{\Sigma(a \cdot l)} = \frac{M}{W} + \frac{N}{F} \leq s_{epitr}$$

Και
$$t = \frac{P}{\Sigma(a \cdot l)} = \frac{P}{F} \leq t_{epitr}$$

Ελέγχεται εδώ η τάση συγκρίσεως
$$s_n = \sqrt{s^2 + t_{ii}^2}$$



Σχήμα 2.76

Κεφάλαιο 3

ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΔΟΚΩΝ

Η στήριξη μιας δοκού μπορεί να γίνει κατά διαφόρους τρόπους, οι κυριότεροι και οι πλέον συνήθεις είναι:

Στήριξη δοκού επί δοκού κατά το σχήμα 3.1

Στήριξη δοκού επί προεξοχής κατά το σχήμα 3.2

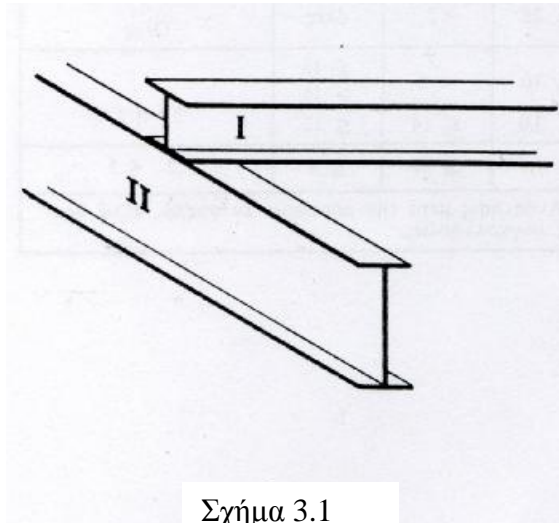
Στήριξη δοκού επί ελάσματος κατά το σχήμα 3.3

Στήριξη δοκού επί στύλου μέσω γωνιακών κατά το σχήμα 3.4

Στήριξη δοκού επί δοκού κατά το σχήμα 3.5

Στήριξη δοκού επί τοιχοποιίας κατά το σχήμα 3.6

Η περίπτωση 1 είναι η πιο απλή. Η δράση της δοκού I μεταβιβάζεται αυτομάτως στην δοκό II και το μόνο το οποίο απαιτείται είναι η σύνδεση των δύο δοκών για την αποφυγή μετακινήσεως. Η σύνδεση γίνεται, είτε με την βοήθεια κοχλιών κατά το σχήμα 3.7, είτε γωνιακών, κατά το σχήμα 3.8.

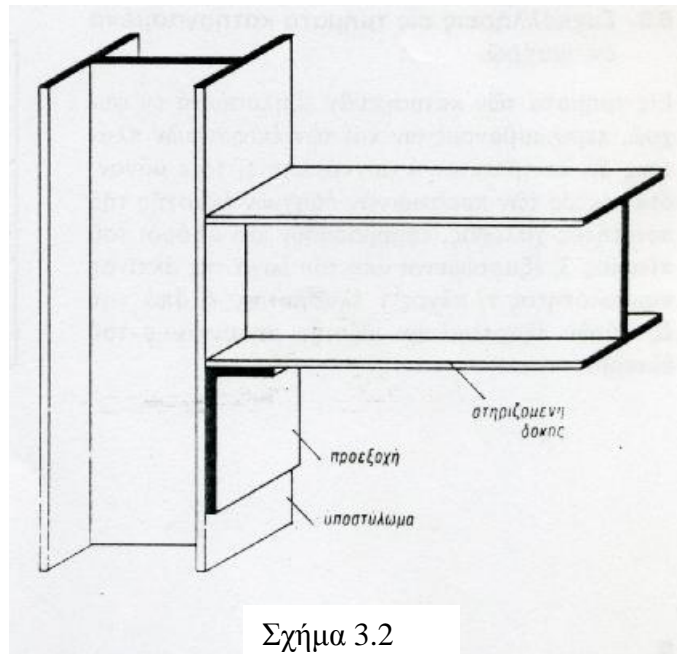


Σχήμα 3.1

ΣΤΗΡΙΞΗ ΔΟΚΟΥ ΕΠΙ ΠΡΟΕΞΟΧΗΣ

(κατά το σχήμα 3.2)

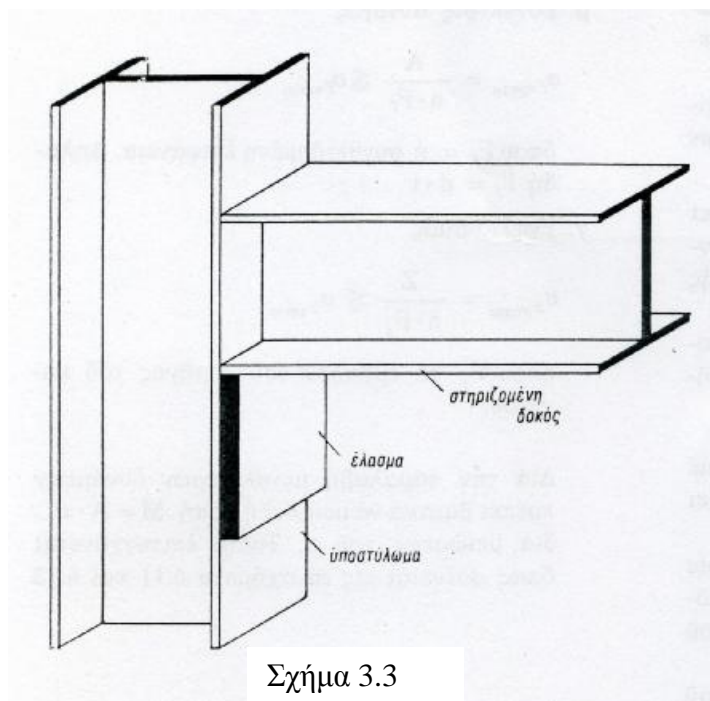
Η στήριξη αυτή γίνεται με ήλωση, κοχλίωση και συγκόλληση.



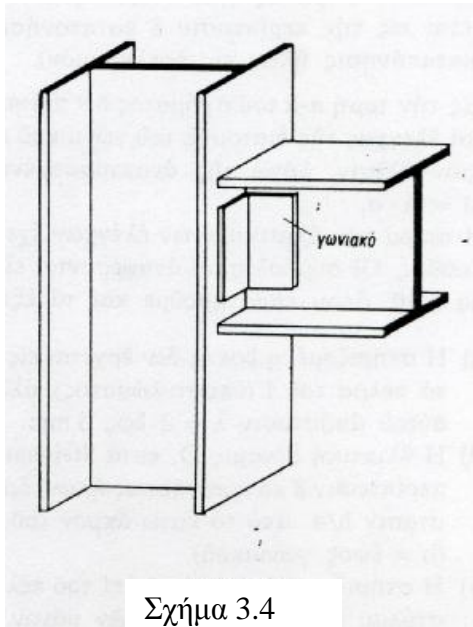
Σχήμα 3.2

ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΗΛΩΣΗ Ή ΚΟΧΛΙΩΣΗ

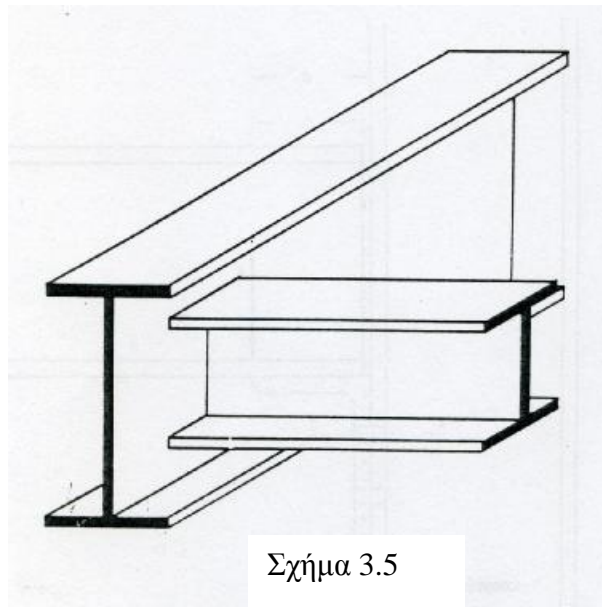
Στην περίπτωση αυτή η δοκός στηρίζεται επί στύλου, (αποτελούμενου π.χ. από ένα I ή IPB), με την βοήθεια ενός προβόλου, ο οποίος αποτελείται από ένα γωνιακό (σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.3

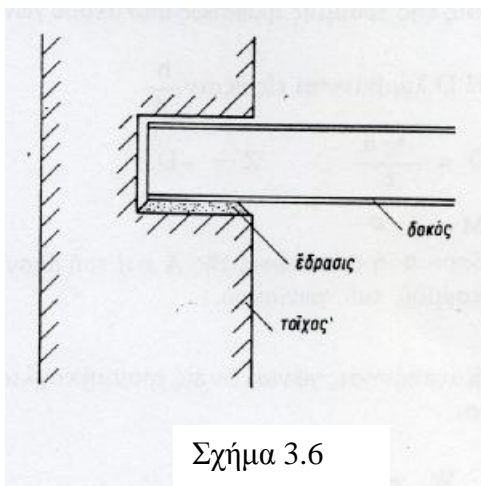


Σχήμα 3.4

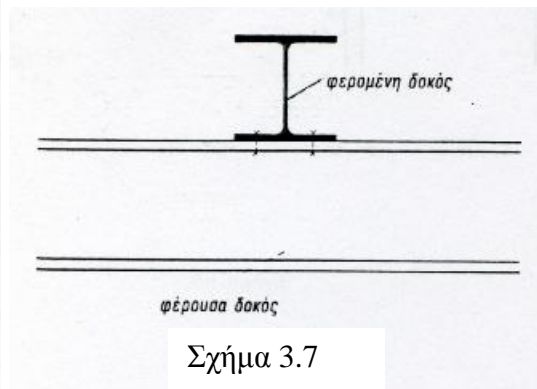


Σχήμα 3.5

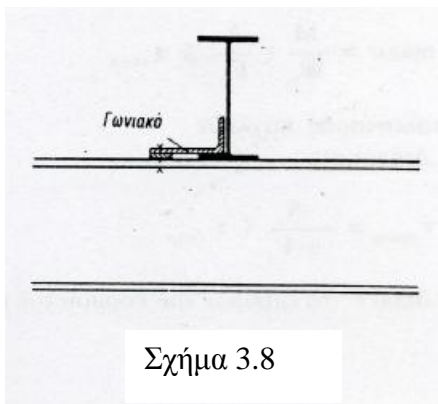
Η στήριξη πάντως δοκού επί προβόλου - γωνιακού είναι δυνατή μόνο για μικρές μεταφερόμενες δυνάμεις (αντιδράσεις). Εξ αιτίας της κάμψεως της δοκού, η αντίδραση πρέπει να θεωρηθεί ότι αναπτύσσεται στην προσθίαν άκρη (την δυσμενέστερη) του γωνιακού.



Σχήμα 3.6

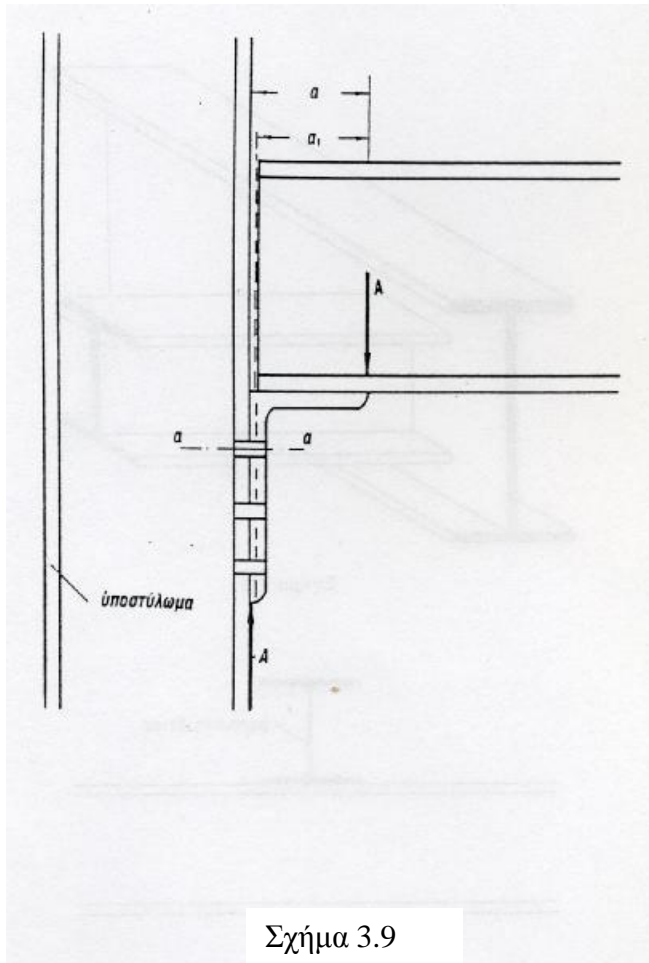


Σχήμα 3.7



Σχήμα 3.8

Εξ άλλου ο τρόπος καταπονήσεως των ήλων φαίνεται στην περίπτωση 8 καταπονήσεως ήλων (καταπόνηση ήλων σε εφελκυσμό).



Σχήμα 3.9

Στην τομή α-α του σχήματος 3.9 πρέπει να γίνει και έλεγχος της διατομής του γωνιακού σε έκκεντρο θλίψη, λόγω της αναπτυσσόμενης ροπής $M = A \cdot a_1$.

Η σειρά των απαιτούμενων ελέγχων έχει ως ακολούθως. Οι συμβολισμοί αναφέρονται στο σχήμα 3.10, όπου παρατηρούμε και τα εξής :

α) Η στηριζόμενη δοκός δεν έρχεται σε επαφή με το πέλμα του I (υποστυλώματος), αλλά απέχει αυτού απόσταση $\lambda = 2$ έως 5 mm.

β) Η θλιπτική δύναμη D, κατά Steinhardt (βλέπε περίπτωση καταπονήσεως ήλων) δρα από απόσταση $h/4$ από το κάτω άκρο του γωνιακού. (h = ύψος γωνιακού).

γ) Η στήριξη του γωνιακού επί του πέλματος του στύλου έγινε για 2 κοχλίες μόνο ($n = 2$).

δ) Η απόσταση w_1 συνιστάται να είναι η απόσταση της γραμμής ηλώσεως από άκρου γωνιακού.

1. Η D λαμβάνεται από τη θέση $\frac{h}{4}$

$$2. D = \frac{A \cdot a}{e} \quad Z = -D$$

$$3. M = A \cdot c$$

Όπου c η απόσταση της A και του άξονα του κορμού του γωνιακού.

4. Καταπόνηση γωνιακών σε γραμμή κοχλιώσεως. Είναι

$$W_n = \frac{(l - 2 \cdot d) \cdot t^2}{6}$$

$$F_n = (l - 2 \cdot d) \cdot t$$

$$\text{Και } \max S = \frac{M}{W_n} + \frac{A}{F_n} \leq S_{epitr}$$

5. Υπολογισμός κοχλιών

a. Διάτμηση $t_{pragn} = \frac{A}{n \cdot F_s} < t_{epitr}$

όπου F το εμβαδό του κορμού του κοχλίου.

b. Σύνθλιψη άντυγος

$$S_{l_{pragn}} = \frac{A}{n \cdot F_l} \leq S_{l_{epitr}}$$

όπου $F_l = \eta$ συνθλιβομένη επιφάνεια. Δηλαδή $F_l = d \cdot t$

c. Εφελκυσμός

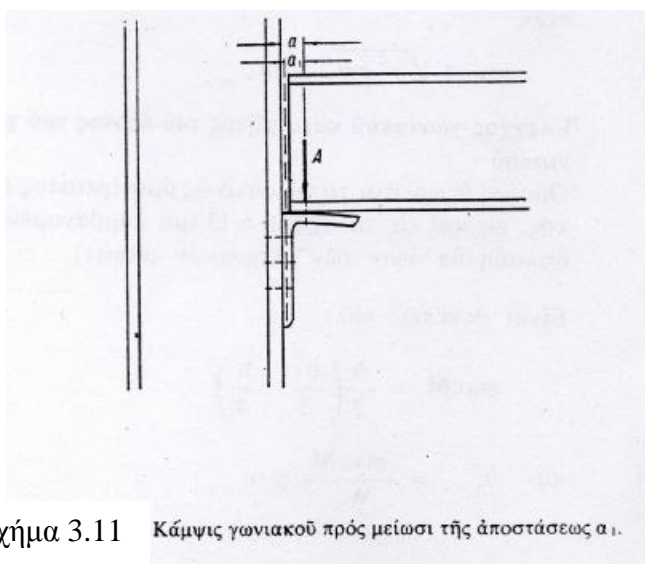
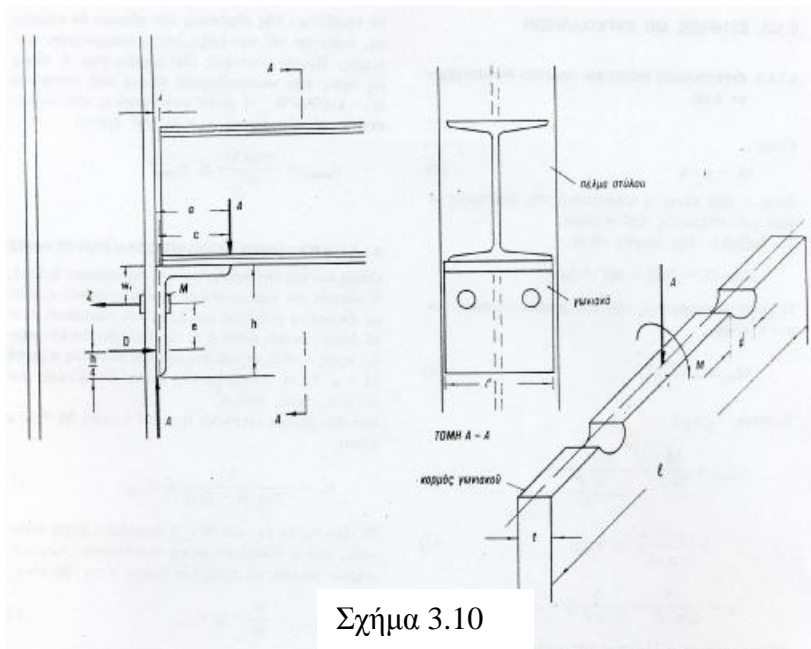
$$s_{z_{\text{pragm}}} = \frac{Z}{n \cdot F_k} \leq s_{z_{\text{epitr}}}$$

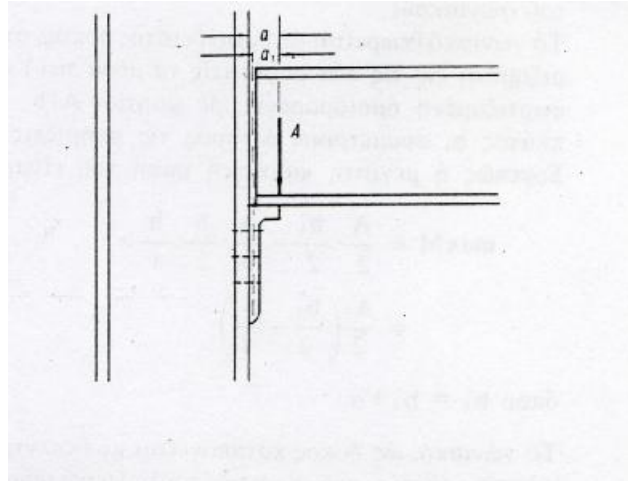
όπου F_k το εμβαδόν του πυρήνος του κοχλιού.

Δια την παραλαβή μεγαλύτερων δυνάμεων πρέπει βασικά να μειωθεί η ροπή

$M = A \cdot \alpha_1$ με μείωση του α . Αυτό επιτυγχάνεται όπως φαίνεται στα σχήματα

3.11 και 3.12





Σχήμα 3.12 Έλ' Αποκοπή σκέλους γωνιακού πρὸς μείωση τῆς ἀποστάσεως a_1 .

ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΟΝΟ ΔΙΑ ΠΛΑΓΙΩΝ ΡΑΦΩΝ (Σχήμα 3.13)

Εἶναι

$$M = c \cdot A$$

ὅπου c ἐδὼ εἶναι ἡ ἀπόσταση τῆς δυνάμεως A ἀπὸ τοῦ πέλματος τοῦ στύλου.

Το ἐμβαδὸν τῆς ραφῆς εἶναι

$$\Sigma(a \cdot l) = 2a(L - 2a) = 2a \cdot l$$

Ἡ ροπή ἀντιστάσεως τῶν δύο ραφῶν ὡς πρὸς τὸν $\chi - \chi$ εἶναι

$$W_w = 2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6}$$

Συνεπῶς ἔχουμε

$$\begin{aligned} S_{pragn} &= \frac{M}{W_w} = \frac{c \cdot A}{2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6}} = \\ &= \frac{3 \cdot c \cdot A}{a \cdot l^2} \leq S_{epitr} \end{aligned}$$

$$t_{ii} = \frac{A}{\Sigma(a \cdot l)} = \frac{A}{2 \cdot a \cdot l} \leq t_{epitr}$$

Τέλος γίνεται ο έλεγχος της τάσεως συγκρίσεως

$$s_v = \sqrt{s^2 + t_{ii}^2} \leq s_{v_{epitr}}$$

Έλεγχος του γωνιακού (κατά μήκος του άξονα του γωνιακού)

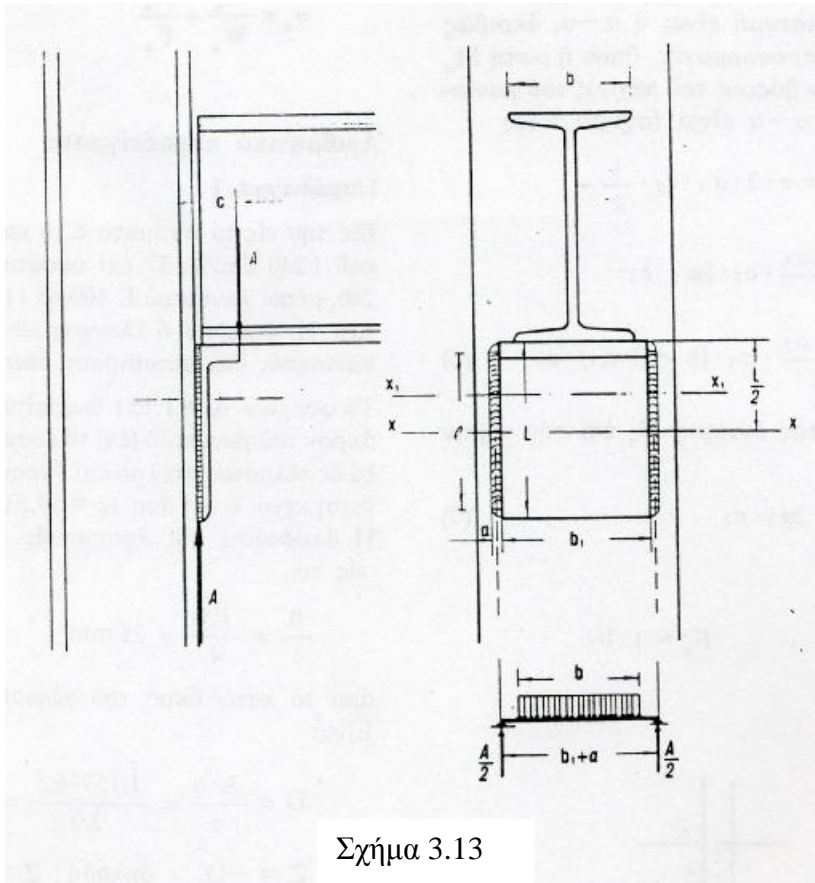
Το γωνιακό θεωρείται ως αμφιέριστος δοκός, στηριζομένη στις δύο ραφές (εις τα μέσα των) και φορτιζόμενη ομοιόμορφα, με φορτίο A/b σε πλάτος b , συμμετρικά ως προς τις στηρίξεις. Συνεπώς η μέγιστη καμπτική ροπή του είναι:

$$\max M = \frac{A}{2} \cdot \frac{b'_1}{2} - \frac{A}{b} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{b}{4} = \frac{A}{2} \left(\frac{b'_1}{2} - \frac{b}{4} \right)$$

$$\text{όπου } b'_1 = b_1 + a$$

Το γωνιακό, ως δοκός καταπονείται με έκκεντρη φόρτιση (εκτός του κορμού του). Περαιτέρω η διατομή του δεν έχει άξονα συμμετρίας. Συνεπώς το πρόβλημα της ευρέσεως των τάσεων εκ κάμψεως, ανάγεται στην λοξή κάμψη ασύμμετρου διατομής. Προσεγγιστικά εδώ λαμβάνεται η τάση ως προς τον κεντροβαρικό άξονα του γωνιακού ($\chi_1 - \chi_1$). Αν W_{χ_1} η ροπή αντιστάσεως του γωνιακού κατά τον άξονα $\chi_1 - \chi_1$, θα πρέπει

$$s_{pragn} = \frac{\max M}{W_{\chi_1}} \leq s_{epitr}$$



Σχήμα 3.13

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕ ΜΕΤΩΠΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΕΣ ΡΑΦΕΣ

Όπως και στην προηγούμενη παράγραφο, δυνάμεθα να περιορίσουμε την απόσταση c , είτε με αποκοπή του ενός σκέλους του γωνιακού, είτε με κάμψη αυτού, ώστε η A να θεωρηθεί ότι πλησιάζει προς το πέλμα του στύλου και συνεπώς η ροπή $M = c \cdot A$ να περιορίζεται. Τούτο δε ειδικά για μεγάλες τιμές του A .

Επί των ραφών ενεργούν η A και η ροπή $M = A \cdot c$

Είναι

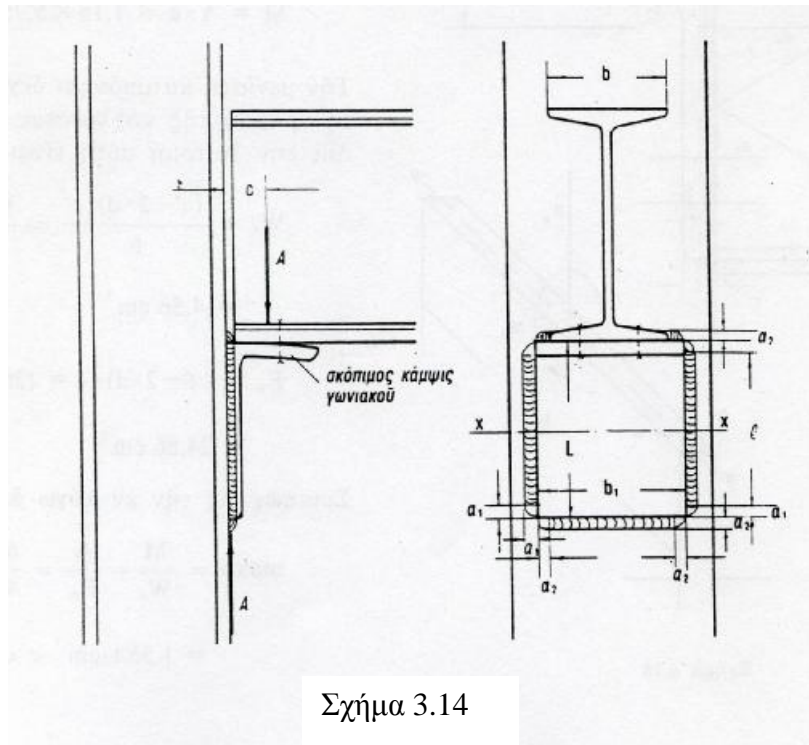
$$t_{ii} = \frac{A}{2 \cdot a_1 (L - 2a_1)} \leq t_{epitr}$$

Εξ άλλου, αν J_{Wx} και W_{Wx} η συνολική ροπή αδρανείας και η συνολική ροπή αντιστάσεως των τεσσάρων ραφών, ως προς τον άξονα $\chi - \chi$, θα είναι :

$$S_{pragm} = \frac{M}{W_{w_x}} \leq S_{epitr}$$

Επειδή τέλος οι ραφές του γωνιακού καταπονούνται ταυτοχρόνως σε διάτμηση και κάμψη, απαιτείται να γίνει έλεγχος και της τάσεως συγκρίσεως

$$s_v = \sqrt{t_{ii}^2 + s^2} \leq S_{n_{epitr}}$$



Σχήμα 3.14

Έλεγχος γωνιακού κατά μήκος του άξονα του γωνιακού

Ομοίως θεωρείται το γωνιακό ως αμφιέρειστος δοκός, όπως και στο σχήμα 3.13 (μη λαμβανομένων δηλαδή υπ'όψιν των μετωπικών ραφών)

Είναι συνεπώς πάλι

$$\max M = \frac{A}{2} \left(\frac{b'_1}{2} - \frac{b}{4} \right)$$

$$S_{pragm} = \frac{\max M}{W} \leq S_{epitr}$$

Έλεγχος γωνιακού καθέτως προς τον άξονα $\chi - \chi$

Η δυσμενέστερη διατομή είναι η $\alpha - \alpha$, ακριβώς μετά την καμπύλη προσαρμογής, όπου η ροπή M ως προς το κέντρο βάρους του πάχους του γωνιακού στην τομή $\alpha - \alpha$ είναι (σχήμα 3.15)

$$M_a = A \cdot c_1 + t \cdot 2 \cdot a_1 \cdot c_2 \cdot \frac{t}{2} - \\ - \frac{s_3 + s_4}{2} \cdot c_2 \cdot 2a_1 \cdot c_3 - \\ - \frac{s_1 + s_2}{2} \cdot a_2 \cdot (b_1 - 2 \cdot a_1) \cdot c_4$$

Εξ άλλου, η κάθετος δύναμη N_a επί της τομής $\alpha - \alpha$ είναι

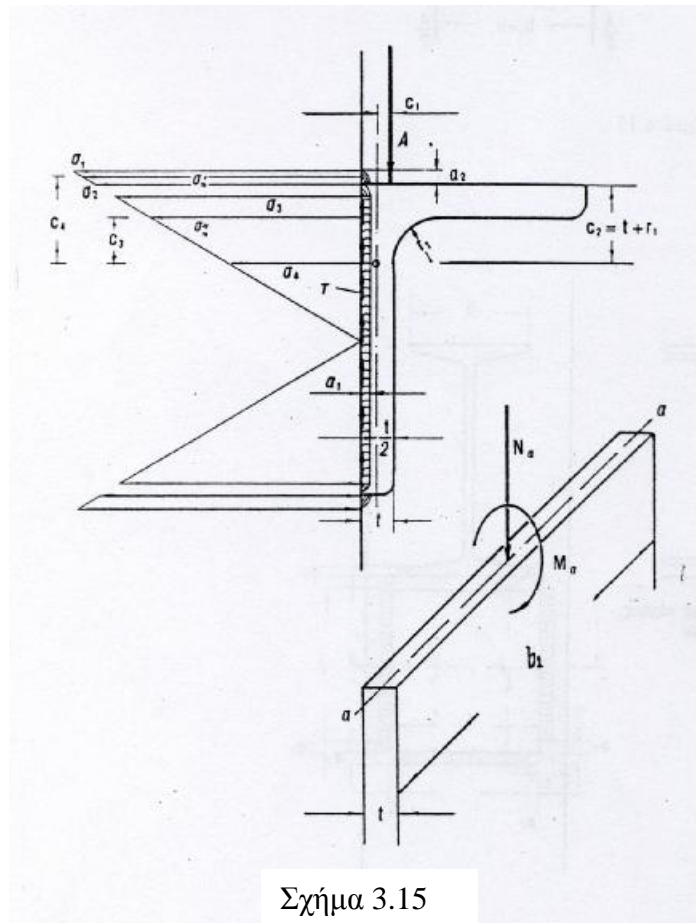
$$N_a = A - t \cdot 2a_1 \cdot c_2$$

Είναι δε

$$W_a = \frac{b_1 \cdot t^2}{6} \quad , \quad F_a = t \cdot b_1$$

και συνεπώς

$$s_a = \frac{M_a}{W_a} + \frac{N_a}{F_a}$$

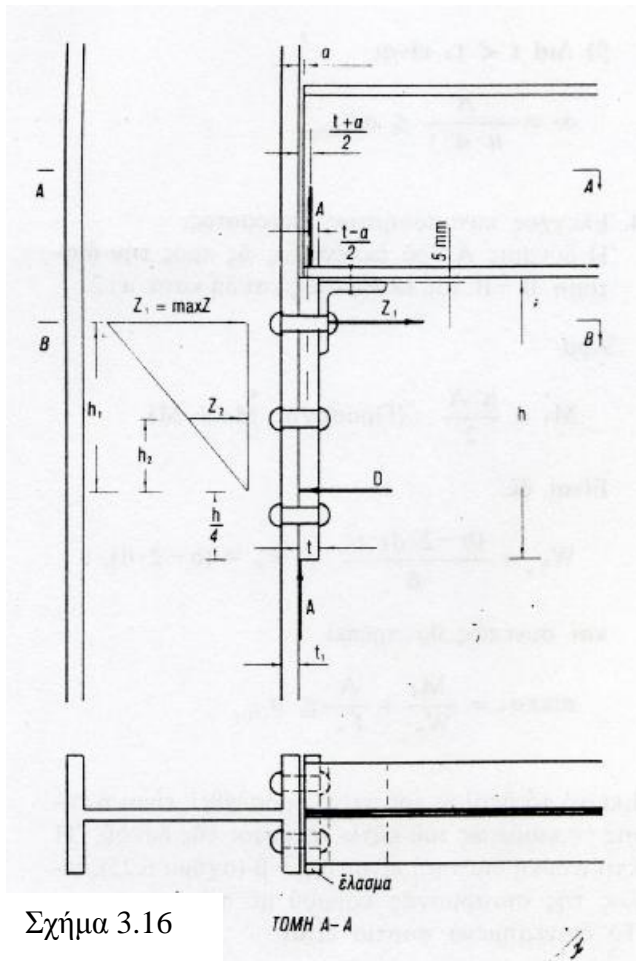


Σχήμα 3.15

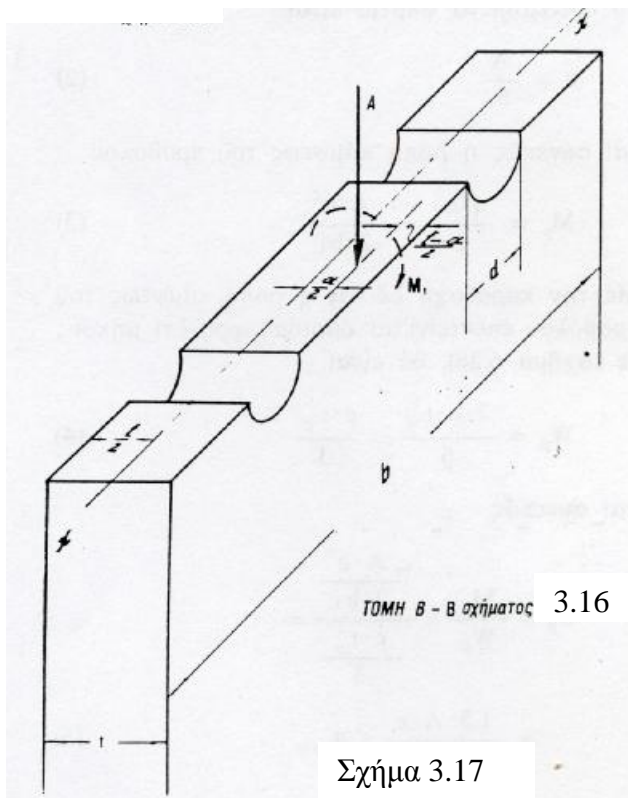
ΣΤΗΡΙΞΗ ΔΟΚΟΥ ΕΠΙ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ

ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΗΛΩΣΗ Ή ΚΟΧΛΙΩΣΗ

Η στήριξη δοκού επί προβόλου από έλασμα (σχήμα 3.3) είναι κατάλληλη για την μεταφορά μεγαλύτερων δυνάμεων. Η δοκός εδράζεται αμέσως στην άνω έδρα (σόκορο) του ελάσματος. Προς αποφυγή μετακινήσεως της δοκού, ηλούται επί του ελάσματος ένα γωνιακό, το όποιο στην συνέχεια ηλούται και με το κάτω πέλμα της στηριζόμενης δοκού. Για να μη φορτισθεί η εμπρόσθια ακμή του γωνιακού, όπως και για να στρέφεται ελεύθερα η στηριζόμενη δοκός, αφήνετε μεταξύ γωνιακού και της κάτω επιφανείας του κάτω πέλματος της στηριζόμενης δοκού χώρος 2 έως 5 mm. Το σχήμα 3.16 είναι λεπτομερειακό του σχήματος 3.3 και φαίνεται σε αυτό το σημείο όπου δρα η δύναμη A.



Σχήμα 3.16



Σχήμα 3.17

Ομοίως, στην διατομή B - B πρέπει να γίνει έλεγχος σε έκκεντρη θλίψη, διότι επί της διατομής αυτής δρουν, αφ' ενός η Α, αφετέρου η ροπή

$$M_1 = A \cdot \frac{a}{2}$$

Η επιτρεπόμενη εξ άλλου πίεση p , μεταξύ του πέλματος της στηριζομένης δοκού και της άνω έδρας (σόκορου) του ελάσματος, εμβαδού $b_1 \cdot (t-a)$ λαμβάνεται γενικώς $2,4 \text{ t/cm}^2$, δηλαδή

$$P = \frac{A}{b_1 \cdot (t-a)} \leq 2,4 \text{ t/cm}^2 \quad (1)$$

όπου b_1 το πλάτος του πέλματος της στηριζόμενης δοκού.

Η σειρά των απαιτούμενων ελέγχων κατά τα ανωτέρω εκτεθέντα και με την βοήθεια των σχημάτων 3.16 και 3.17 είναι :

1. Έλεγχος διατμήσεως ήλων (ή κοχλιών).

$$t_{pragm} = \frac{A}{n \cdot F} \leq t_{epitr}$$

2. Έλεγχος εφελκυσμού ήλων

$$M = A \cdot \frac{t+a}{2}$$

$$Z_1 = \max Z = M \cdot \frac{h_1}{\sum h_i^2}$$

$$s_z = \frac{\max Z}{n_1 \cdot F} \leq s_{z_{epitr}}$$

3. Έλεγχος συνθλίψεως άντυγος.

α) Για $t_1 < t$ είναι

$$s_l = \frac{A}{n \cdot d \cdot t_1} \leq s_{l_{\text{epitr}}}$$

β) Για $t < t_1$ είναι

$$s_l = \frac{A}{n \cdot d \cdot t} \leq s_{l_{\text{επιπρ}}}$$

4. Έλεγχος καταπόνησεως ελάσματος.

Η δύναμη A δρα εκκέντρως ως προς την διατομή $B - B$ του ελάσματος και κατά $a/2$.

Άρα

$$M_1 = \frac{a \cdot A}{2} \quad (\text{Προσοχή : } M_1 \neq M)$$

Είναι

$$W_{n_x} = \frac{(b - 2 \cdot d) \cdot t^2}{6} \cdot F_n = (b - 2 \cdot d) \cdot t$$

Και συνεπώς θα πρέπει

$$\max s_c = \frac{M_1}{W_{n_x}} + \frac{A}{F_n} \leq s_{\text{epitr}}$$

Εκείνο το οποίο πρέπει να προσεχθεί, είναι η τάση εκ κάμψεως του κάτω πέλματος της δοκού. Η επικίνδυνη διατομή είναι η $\beta - \beta$, τέλος της συναρμογής κορμού με πέλμα. Το διανεμημένο φορτίο είναι

$$q = \frac{A}{b_1} \quad (2)$$

και συνεπώς η ροπή κάμψεως του προβόλου

$$M_b = \frac{q \cdot c^2}{2} = \frac{A \cdot c^2}{2 \cdot b_1} \quad (3)$$

Με την παραδοχή ότι η ροπή κάμψεως του προβόλου επεκτείνεται ομοιόμορφα επί μήκους $2c$, θα είναι

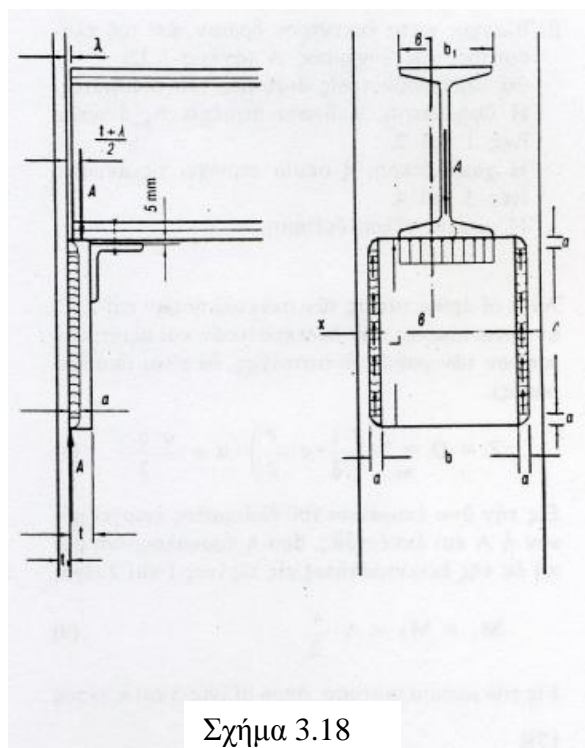
$$W_b = \frac{2 \cdot c \cdot t_b^2}{6} = \frac{c \cdot t_b^2}{3} \quad (4)$$

Και συνεπώς

$$s_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{\frac{A \cdot c^2}{2 \cdot b_1}}{\frac{c \cdot t_b^2}{3}} = \frac{1,5 \cdot A \cdot c}{b_1 \cdot t_b^2} \leq S_{epitr} \quad (5)$$

ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Η συγκόλληση γίνεται με δύο πλευρικές εξωραφές κατά το σχήμα 3.18.



Σχήμα 3.18

Από το σχήμα 3.18 εξ άλλου φαίνεται ότι υφίστανται τα περισσότερα εκ των χαρακτηριστικών της δια ηλώσεως ή κοχλιώσεως στηρίξεως. Η βασική διαφορά έγκειται στην συγκόλληση του ελάσματος επί του στύλου.

Η συγκόλληση θα ελεγχθεί λόγω της καταπονήσεως της εκ της Α και της αναπτυσσόμενης ροπής

$$M = A \cdot \frac{t \cdot l}{2}$$

Η συνολική ροπή αντιστάσεως W_{w_x} των δύο ραφών ως προς τον άξονα $\chi - \chi$ είναι :

$$W_{w_x} = 2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6} = \frac{a \cdot l^2}{3}$$

Συνεπώς

$$s_{pragn} = \frac{M}{W_{w_x}} = \frac{A \cdot \frac{t+l}{2}}{\frac{a \cdot l^2}{3}} = 1.5 \cdot \frac{A \cdot (t+l)}{a \cdot l^2} \leq s_{epitr}$$

Εξάλλου είναι

$$t_{ii} = \frac{A}{\Sigma(a \cdot l)} = \frac{A}{2 \cdot a \cdot l} \leq t_{epitr}$$

Ενδεχομένως θα απαιτηθεί και ο έλεγχος της τάσεως συγκρίσεως

$$s_n = \sqrt{t_{ii}^2 + s^2} \leq s_{n_{epitr}} \quad (4)$$

Στην συνέχεια γίνεται έλεγχος του ελάσματος.

α. Πρώτον, κατά μήκος του άξονος του.

Θα θεωρηθεί πάλι ως αμφιέριστος δοκός με διανεμημένο φορτίο.

Θα είναι

$$\max M = \frac{A}{2} \cdot \frac{b+2}{2} - \frac{A}{2} \cdot \frac{b_1}{4}$$

Η ροπή αντιστάσεως του ελάσματος (χωρίς να ληφθεί υπόψη το βοηθητικό γωνιακό)

$$W = \frac{t \cdot L^2}{6}$$

Συνεπώς το έλασμα καταπονείται (στις άνω ακραίες θλιβόμενες και ακραίες κάτω εφελκυόμενες ίνες) με τάση

$$s_{pragn} = \pm \frac{M}{W} \leq s_{epitr}$$

β. Έλεγχος κατά έκκεντρη δράση, επί του ελάσματος, της δύναμης A (σχήμα 3.19).

Θα ελεγχθούν τρεις διατομές του ελάσματος.

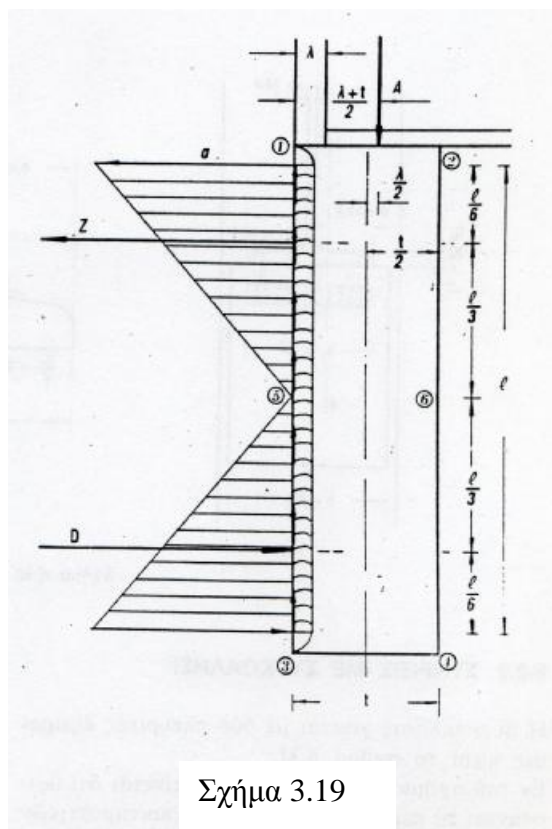
Η υψηλότερη, η οποία περιέχει τις ακραίες ίνες 1 και 2.

Η χαμηλότερη, η οποία περιέχει τις ακραίες ίνες 3 και 4.

Η μεσαία τέλος διατομή.

Αν σ οι ορθές τάσεις των συγκολλήσεων και Z, D οι συνιστάμενες των εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων των ραφών αντιστοίχως, θα είναι (διά δύο ραφές).

$$Z = D = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot s \cdot \frac{l}{2} \right) \cdot a = \frac{s \cdot a \cdot l}{2}$$



Σχήμα 3.19

Στην άνω επιφάνεια του ελάσματος ενεργεί μόνο η A και εκκέντρως, άρα η προκαλούμενη ροπή εκ της εκκεντρότητας στις ίνες 1 και 2 είναι

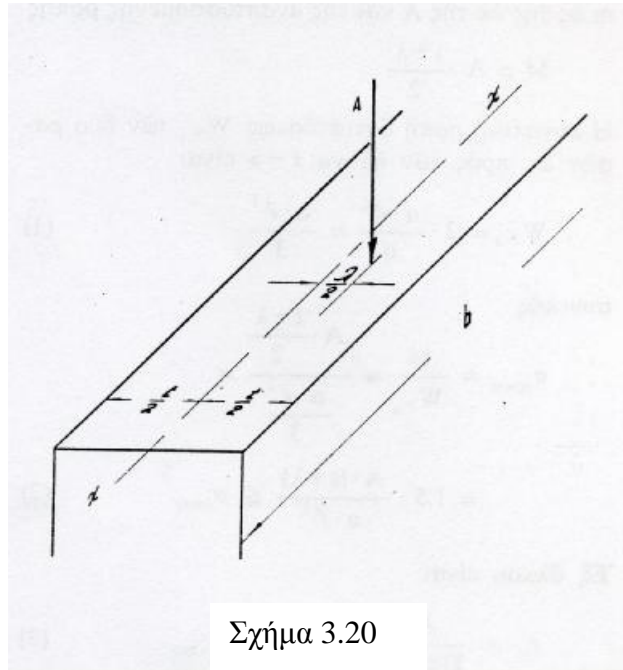
$$M_1 = M_2 = A \cdot \frac{l}{2}$$

Στην μεσαία διατομή, όπου οι ίνες 5 και 6. εκτός της εκκέντρου δράσεως της A δρουν και οι εξής δυνάμεις

α) τάσεις τ_{tt} έχουσες συνισταμένη $A/2$

β) Η συνισταμένη Z των εφελκυστικών τάσεων. Συνεπώς η ροπή $M_5 = M_6$ θα είναι

$$M_5 = M_6 = A \cdot \frac{l}{2} + \frac{A}{2} \cdot \frac{t}{2} - Z \frac{l}{3}$$



Σχήμα 3.20

Τέλος στην κατωτέρα διατομή, όπου και οι ίνες 3 και 4, προκύπτει κατά τα ανωτέρω ευκόλως, ότι έχουμε

$$M_3 = M_4 = A \cdot \frac{l}{2} + A \cdot \frac{t}{2} + D \cdot \frac{l}{6} - Z \frac{5l}{6}$$

Είναι όμως προφανές ότι $M_3 = M_4 = 0$ διότι στο επίπεδο των κατωτάτων ινών δεν δρα καμία δύναμη.

Συνεπώς θα έχουμε, αν

$$W_x = \frac{b \cdot t^2}{6} \text{ και } F = b \cdot t$$

η ροπή αντιστάσεως και το εμβαδό αντιστοίχως του ελάσματος, ότι

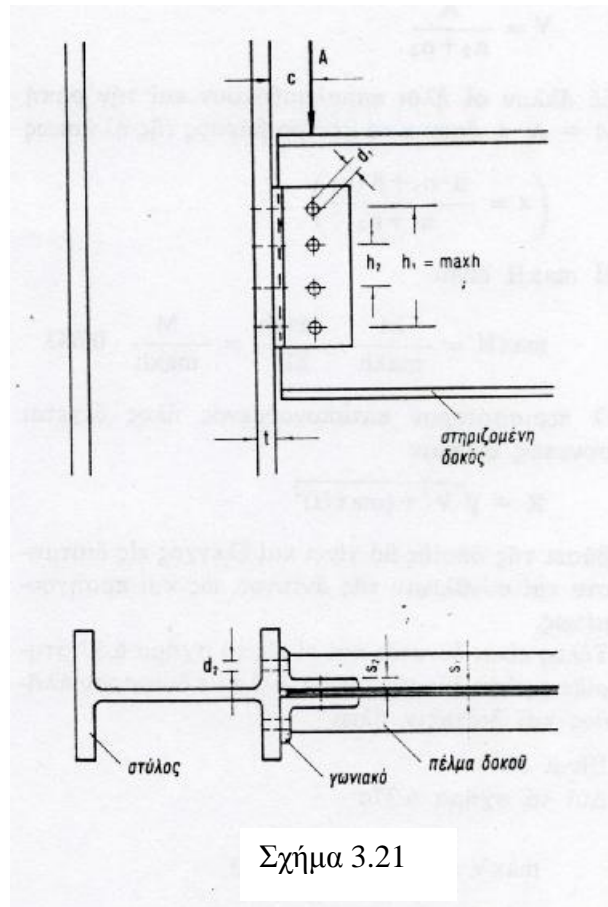
$$s_1 = + \frac{M_1}{W_x} - \frac{A}{F}$$

$$s_2 = - \frac{M_2}{W} - \frac{A}{F}$$

Τελικώς θα γίνει και ο έλεγχος αντοχής του κάτω πέλματος της δοκού, σύμφωνα με τα αναφερθέντα.

ΣΤΗΡΙΞΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΓΩΝΙΑΚΩΝ

Η στήριξη της δοκού μπορεί να γίνει με την βοήθεια δύο γωνιακών, τα οποία ηλώνται επί του πέλματος του υποστυλώματος και επί του κορμού της δοκού, κατά το σχήμα 3.21.



Ο έλεγχος της αντοχής της στηρίξεως ακολουθεί την εξής σειρά,

α. Έλεγχος συνδέσεως γωνιακών με κορμό δοκού.

Για n_1 ήλους (δίτημητους) επί του κορμού της δοκού, διαμέτρου d_1 , κάθε ήλος αναλαμβάνει κατακόρυφη δύναμη

$$V = \frac{A}{n_1}$$

Εξ άλλου οι ήλοι (ή κοχλίες) καταπονούνται από ροπή

$$M = A \cdot c$$

Εξ αιτίας της ροπής αυτής, οι ακραίοι ήλοι καταπονούνται δυσμενέστερα από τους ενδιάμεσους, από μια οριζόντια δύναμη

$$\max H = M \cdot \frac{h_1}{\sum h_i^2}$$

Συνεπώς ο εξώτατος ήλος καταπονείται με δύναμη

$$R = \sqrt{V^2 + (\max H)^2}$$

Ο έλεγχος σε διάτμηση και σύνθλιψη της άντυγος δίνει συνεπώς για $m=2$ (δίτμητη ήλωση)

$$t_{pragm} = \frac{R}{m \cdot \frac{p \cdot d_1^2}{4}} \leq t_{epitr}$$

και

$$s_{l_{pragm}} = \frac{R}{S_1 \cdot d_1} \leq s_{l_{epitr}}$$

β. Έλεγχος συνδέσεως γωνιακών με πέλμα στύλου. Για πλήθος n_2 μονοτμήτων ήλων (ή.κοχλίων) διαμέτρου d_2 είναι

ΣΧΕΣΕΙΣ

$$t_{pragm} = \frac{A}{n_2 \cdot \frac{p \cdot d}{4}} \leq t_{epitr}$$

$$S_{l_{\text{pragm}}} = \frac{A}{n_2 \cdot t \cdot d_2} \leq S_{l_{\text{epitr}}} \quad \text{για} \quad t < s_2$$

$$S_{l_{\text{pragm}}} = \frac{A}{n_2 \cdot s_2 \cdot d_2} \leq S_{l_{\text{epitr}}} \quad \text{για} \quad t > s_2$$

Τέλος πρέπει να γίνει και έλεγχος εφελκυσμού των ήλων ή κοχλιών επί του πέλματος του στύλου

$$S_{z_{\text{pragm}}} = \frac{\max Z}{F} \leq S_{z_{\text{epitr}}}$$

Στην περίπτωση μη επάρκειας (κατά μία σειρά) των ήλων συνδέσεως γωνιακών με κορμό δοκού, τοποθετείται και δεύτερη σειρά ήλων. Ας είναι δε n_1 και n_2 το πλήθος των ήλων της πρώτης και δεύτερης σειράς αντίστοιχα. Για κάθε ήλο η κατακόρυφη παραλαμβανόμενη δύναμη είναι

$$V = \frac{A}{n_2 + n_1}$$

Εξ άλλου οι ήλοι παραλαμβάνουν και την ροπή $M=A \cdot \chi$ όπου χ το κέντρο βάρους της ηλώσεως

$$\left(x = \frac{a \cdot n_1 + b \cdot n_2}{n_1 + n_2} \right)$$

Η $\max H$ είναι

$$\max H = \frac{M}{\max h} \cdot \frac{\max h}{\sum h_i^2} = \frac{M}{\max h} \cdot 0,643$$

Ο περισσότερο καταπονούμενος ήλος δέχεται συνεπώς δύναμη

$$R = \sqrt{V^2 + (\max H)^2}$$

βάσει της οποίας θα γίνει και έλεγχος σε διάτμηση και σύνθλιψη της άντυγος, όπως και προηγουμένως.

Τέλος είναι δυνατές και στηρίξεις μέσω δύο γωνιακών, αλλά με διαφορετικό πλήθος και διάταξη ήλων

Είναι δε

$$\max V = \frac{A \cdot k}{e} \quad H = 0$$

$$V = \frac{A}{2}, \max H = M \cdot \frac{h_1}{h_1^2} = \frac{M}{h_1}$$

$$\max R = \sqrt{V^2 + (\max H)^2}$$

$$V = \frac{A}{3} \quad \max H = \frac{M}{h_1}$$

$$\max R = \sqrt{V^2 + (\max H)^2}$$

ΣΤΗΡΙΞΗ ΔΟΚΟΥ ΕΠΙ ΔΟΚΟΥ - ΣΥΝΔΕΣΗ ΔΟΚΩΝ

Διακρίνονται δύο κατηγορίες

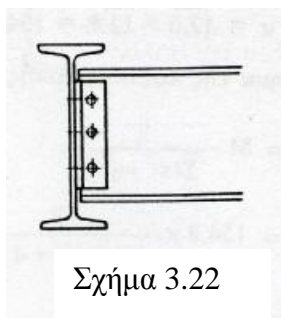
α. Απλή σύνδεση. Δυο δοκοί συνδέονται κατ'ορθήν γωνία. Η μία, η μεγαλύτερη, η οποία δέχεται τα φορτία της μικρότερης καλείται πρωτεύουσα ή κυρία δοκός.

Η μεταβιβάζουσα το φορτίο της στην πρωτεύουσα καλείται δευτερεύουσα δοκός. Η δευτερεύουσα μεταβιβάζει μόνον αντίδραση και όχι ροπή, δηλαδή η δευτερεύουσα δρα ως αμφιέριστος. Η σύνδεση αυτή καλείται απλή σύνδεση δοκών.

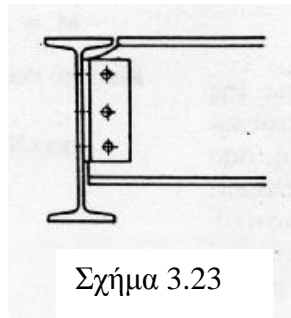
β. Μερική πάκτωση. Στην κατηγορία αυτή συνδέσεων, εκτός της μεταβίβασης φορτίου, μεταβιβάζεται και ροπή.

ΑΠΛΗ ΣΥΝΔΕΣΗ

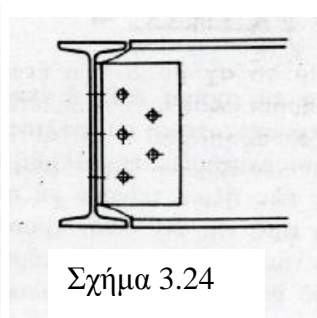
Η μόρφωση της σύνδεσης εξαρτάται από το κατά πόσον η στηριζόμενη έχει το αυτό ύψος η μικρότερο από την στηρίζουσα. Για μικρότερο ύψος η σύνδεση γίνεται (όπως και στην περίπτωση του αυτού ύψους) με την βοήθεια δυο γωνιακών (σχήμα 3.22). Για το αυτό ύψος ή ελάχιστα μικρότερο, γίνεται αποκοπή του άνω και κάτω, ή μόνο του ενός πέλματος (σχήματα 3.23 και 3.24).



Σχήμα 3.22



Σχήμα 3.23



Σχήμα 3.24

Υπολογισμός συνδέσεως

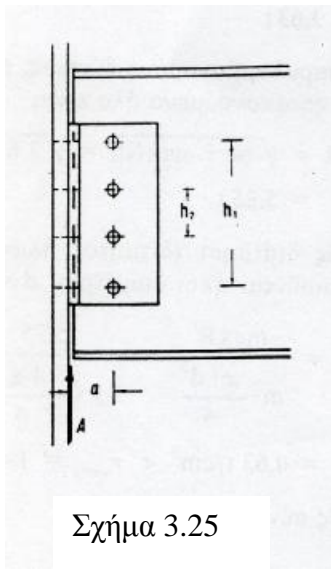
Η μεγαλύτερη καταπόνηση των ήλων (ή κοχλιών) προέρχεται από αντίδραση. Πρέπει συνεπώς

$$N_{pragn} = \frac{A}{n} \leq N_{epitr} \quad (1)$$

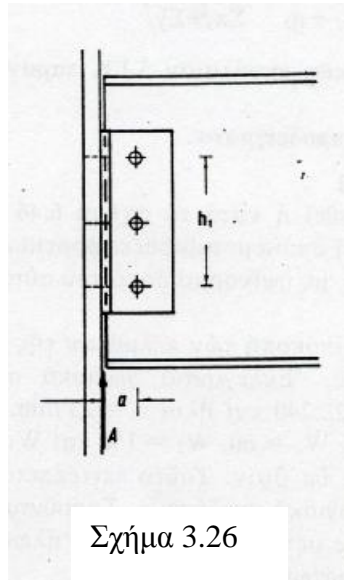
όπου n ο αριθμός των ήλων ή κοχλιών των γωνιακών προς τον κορμό της κυρίας δοκού και N_{epitr} η υπό ενός ήλου (ή κοχλίου), αναλαμβανομένη δύναμη σε διάτμηση ή σύνθλιψη της άντυγας. Οι ήλοι συνδέσεως του γωνιακού με τον κορμό της δευτερεύουσας δοκού καταπονούνται, αφενός μεν από την αντίδραση A , αφέτερου δε από ροπή M , η οποία προκύπτει λόγω της εκκεντρότητας a της συνδέσεως (σχήμα 3.25)

Είναι για

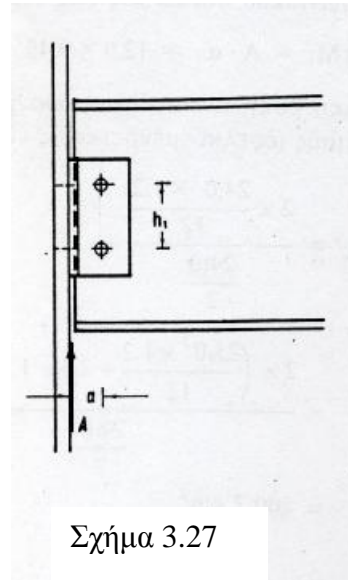
$$M = a \cdot A \quad (2)$$



Σχήμα 3.25



Σχήμα 3.26



Σχήμα 3.27

Λόγω της A κάθε ήλος από τους n παραλαμβάνει δύναμη

$$N_v = \frac{A}{n} \quad (3)$$

Λόγω της M εξάλλου, ο δυσμενέστερα καταπονούμενος ήλος παραλαμβάνει και δύναμη

$$\max N_H = M \frac{h_1}{h_1^2 + h_2^2} \quad (4)$$

Συνεπώς η τελικώς παραλαμβανομένη δύναμη από τον δυσμενέστερα καταπονούμενο ήλο είναι

$$\max R = \sqrt{N_v^2 + \max N_H^2} \leq N_{epitr}$$

Για το σχήμα 3.26 είναι

$$N_v = \frac{A}{3} \quad \text{και}$$

$$\max N_H = M \cdot \frac{h_1}{h_1^2} = \frac{M}{h_1}$$

Για το σχήμα 3.27 είναι

$$N_V = \frac{A}{2}$$

$$\max N_H = M \cdot \frac{h_1}{h_1^2} = \frac{M}{h_1}$$

$$\max R = \sqrt{N_V^2 + \max N_H^2}$$

Για το σχήμα 3.28 είναι, αν n_1 και n_2 αντίστοιχα το πλήθος των ήλων της πρώτης και δεύτερης σειράς

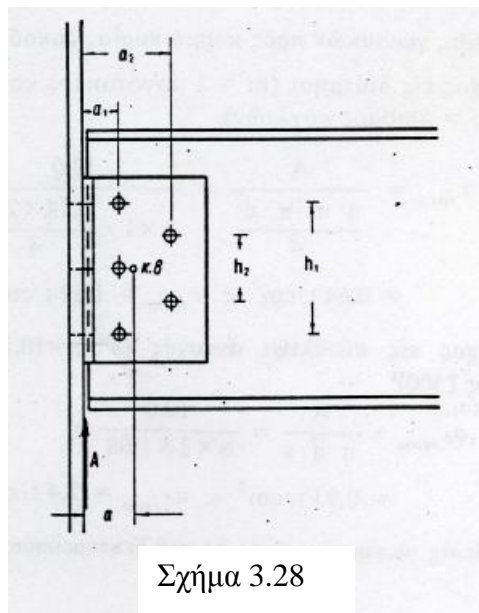
$$a = \frac{n_1 \cdot a_1 + n_2 \cdot a_2}{n_1 + n_2}$$

$$M = a \cdot A$$

$$N_V = \frac{A}{n_1 + n_2} = \frac{A}{5}$$

$$\max N_H = M \cdot \frac{h_1}{h_1^2 + h_2^2}$$

$$\max R = \sqrt{N_V^2 + \max N_H^2}$$



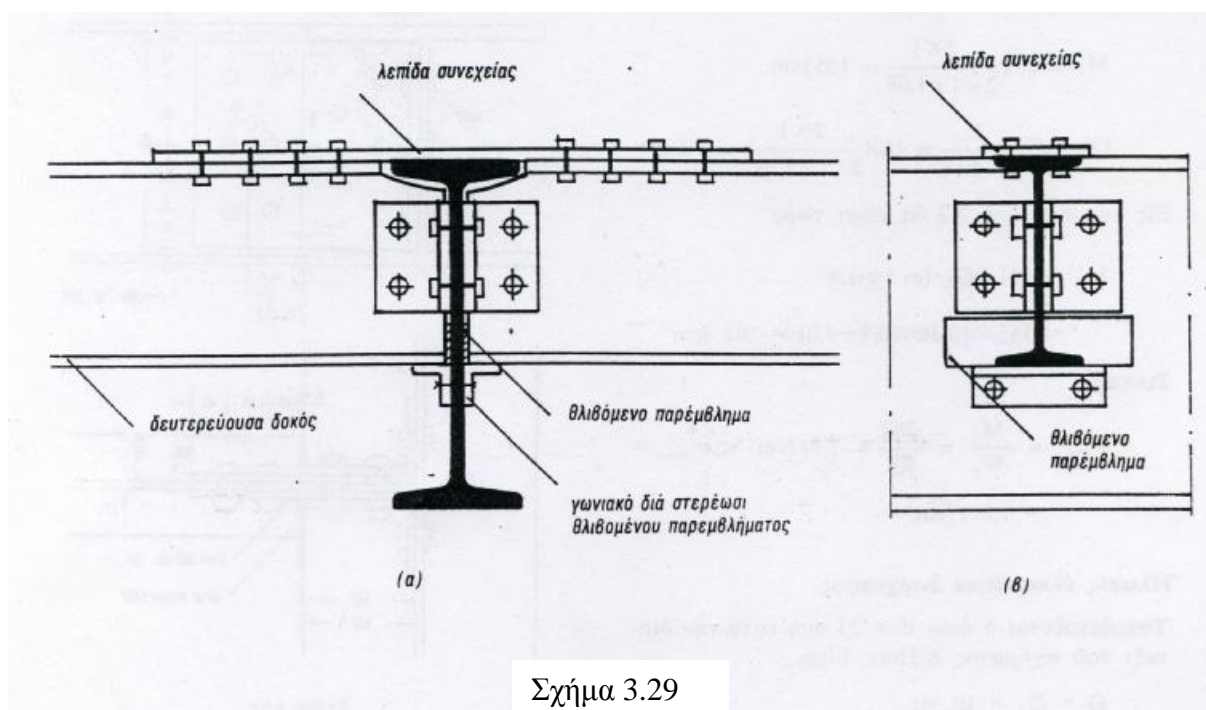
Προφανώς, για το σχήμα 3.28 η έκφραση της $\max N_H$ είναι προσεγγιστική και μάλιστα κατά τόσο περισσότερο πλησιάζει την αληθή τιμή, όσο οι δύο σειρές των ήλων τείνουν να συμπέσουν. Ομοίως και η τιμή της N_V είναι προσεγγιστική. Η πραγματική τιμή των N_H και N_V βρίσκεται με εφαρμογή του θεωρήματος της πολικής ροπής, και είναι

$$\max N_H = M \frac{y}{\sum c_i^2 + \sum y_i^2} \cdot M$$

$$N_V = \frac{A}{n_2 + n_2} + \frac{x}{\sum c_i^2 + \sum y_i^2} \cdot M$$

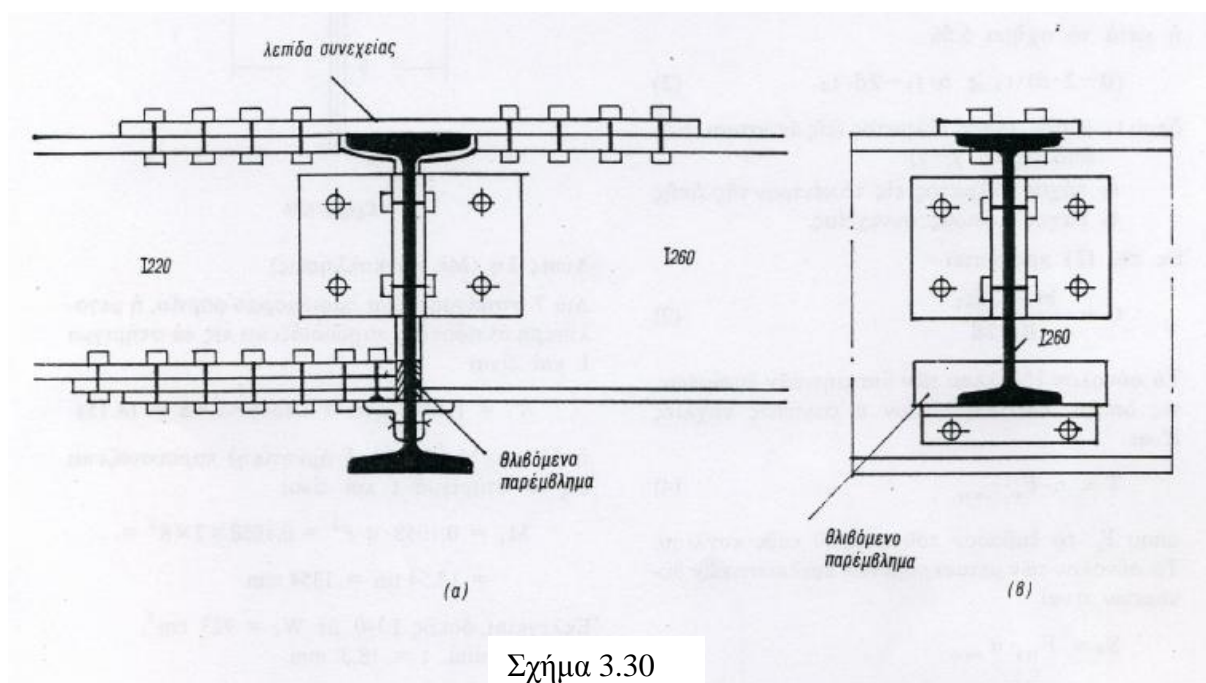
ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΜΕΡΙΚΗ ΠΑΚΤΩΣΗ

Κατά την σύνδεση αυτή, έκτος των κατακόρυφων δυνάμεων (δράσεων δοκών επί κυρίων δοκών), παραλαμβάνονται εφελκυστικές δυνάμεις S_0 στο άνω πέλμα, ως και θλιπτικές S_u στο κάτω. Για την ανάληψη των εφελκυστικών δυνάμεων στο άνω πέλμα, επιδιώκεται η στο αυτό ύψος τοποθέτηση των άνω πελμάτων κυρίας και δευτερεύουσας δοκού (σχήματα 3.29,3.30). Περαιτέρω οι εφελκυστικές δυνάμεις του άνω πέλματος παραλαμβάνονται από λεπίδα συνεχείας, η οποία κοχλιώνεται στα άνω πέλματα των εκατέρωθεν της κυρίας δοκού δευτερευουσών δοκών. Οι λεπίδες συνεχείας πρέπει να έχουν ωφέλιμη διατομή (εμβαδόν) τουλάχιστον ίση με την ωφέλιμη διατομή του εφελκυσμένου πέλματος της δοκού. Εξ άλλου οι θλιπτικές δυνάμεις του κάτω πέλματος μεταφέρονται δια απευθείας επαφής του θλιβομένου πέλματος με τον κορμό της κυρίας δοκού ή μέσω θλιβομένου παρεμβλήματος (σχήμα 3.29 β).

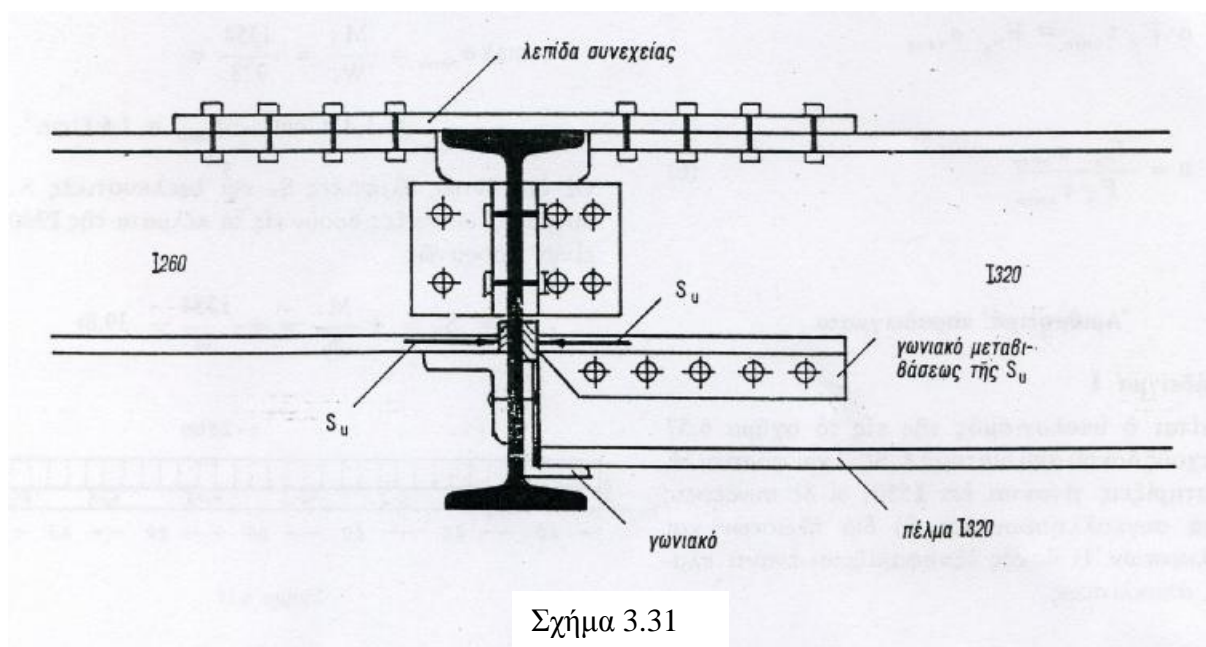


Σχήμα 3.29

Στην περίπτωση συνδέσεως στην κυρία δοκό, ανισοϋψών δοκών εκατέρωθεν, όπως π.χ. στο σχήμα 3.30, όπου επί της κυρίας δοκού συνδέονται από την μία πλευρά ένα I220 και από την άλλη ένα I260, η μεταβίβαση της θλιπτικής δύναμης της μικρότερης δοκού I220 γίνεται μέσω της ηλώσεως λεπίδων, συνολικού πάχους τόσου, ώστε να αντιστοιχούν το κάτω μέρος της τελευταίας λεπίδας με το κάτω μέρος του θλιβομένου πέλματος της I260. Η λύση αυτή ενδείκνυται για διαφορές υψών των I μέχρι 40 mm (όπως εδώ με τα I220 και I260). Για μεγαλύτερες των 50mm διαφορές των υψών των εκατέρωθεν δοκών είναι προτιμότερα ή λύση του σχήματος 3.31, όπου η θλιπτική δύναμη S_u μεταφέρεται στο ψηλότερο ευρισκόμενο πέλμα (της I260) μέσω 2 γωνιακών.



Σχήμα 3.30



Σχήμα 3.31

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΡΙΚΗΣ ΠΑΚΤΩΣΕΩΣ

Επειδή οι λεπίδες συνεχείας πρέπει να έχουν ωφέλιμη διατομή $F_{nλ}$ τουλάχιστον ίση με την ωφέλιμη διατομή $F_{nπ}$ του εφελκυσμένου πέλατος, θα είναι

$$F_{nλ} \geq F_{nπ}$$

$$(B - 2 \cdot d) \cdot t_3 \geq b \cdot t_1 - 2d \cdot t_2$$

όπου t_1 μέσο πάχος πέλματος (σε απόσταση $b/4$ από άξονα y-y)

t_2 πάχος πέλματος στο κέντρο της οπής

t_3 πάχος λεπίδας συνεχείας.

Προκύπτει :

$$t_3 = \frac{bt_1 - 2dt_2}{B - 2d}$$

Το σύνολο εξ άλλου των διατμητικών δυνάμεων, τις οποίες παραλαμβάνουν n συνήθεις κοχλίες είναι

$$T = n \cdot F_x \cdot t_{epitr}$$

όπου F_k το εμβαδό του κορμού κάθε κοχλιού. Το σύνολο των μεταφερομένων εφελκυστικών δυνάμεων είναι

$$S_o = F_{n_x} \cdot S_{epitr}$$

Επειδή όμως $T = S_o$ θα είναι

$$n \cdot F_x \cdot t_{epitr}$$

ή

$$n = \frac{F_{n_p} \cdot S_{epitr}}{F_x \cdot t_{epitr}}$$

ΣΤΗΡΙΞΗ ΔΟΚΟΥ ΕΠΙ ΣΤΥΛΟΥ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΜΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Η δοκός μεταβιβάζει επί του στύλου δύναμη A και ροπή M . Η συγκόλληση γίνεται με τέσσερις εξωραφές, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.32.

Η επιφάνεια των δύο ραφών επί του κορμού είναι

$$F_w = 2l \cdot a_2$$

Η ροπή αδρανείας όλων των επιφανειών των ραφών, ως προς τον $\chi - \chi$ είναι:

$$J_{w_x} = 2 \times \frac{a_2 \cdot l^3}{12} + 2 \cdot a_1 (b - 2a) \cdot \left(\frac{h + a_1}{2} \right)^2 + 2 \cdot \frac{(b - 2a) \cdot a_1^3}{12}$$

Η ροπή αντιστάσεως είναι

$$W_{w_x} = \frac{J_{w_x}}{\left(\frac{h}{2} + a_1\right)}$$

α. Έλεγχος των ραφών σε διάτμηση.

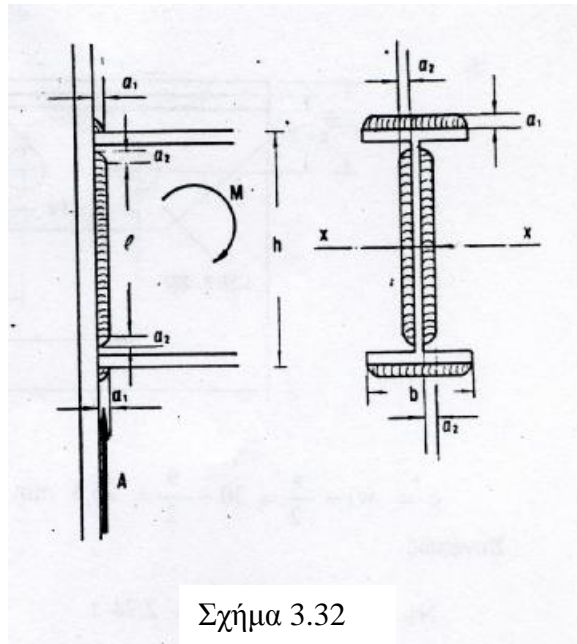
$$t_{ii} = \frac{A}{F_w} \leq t_{epitr}$$

β. Έλεγχος των ραφών σε ορθή τάση.

$$s_{pragm} = \frac{M}{W_{w_x}} \leq s_{epitr}$$

Εφ' όσον απαιτηθεί θα γίνει και ο έλεγχος της τάσεως συγκρίσεως σ_v

$$s_{n_{pragm}} = \sqrt{t_{ii}^2 + s_{pragm}^2} \leq s_{n_{epitr}}$$

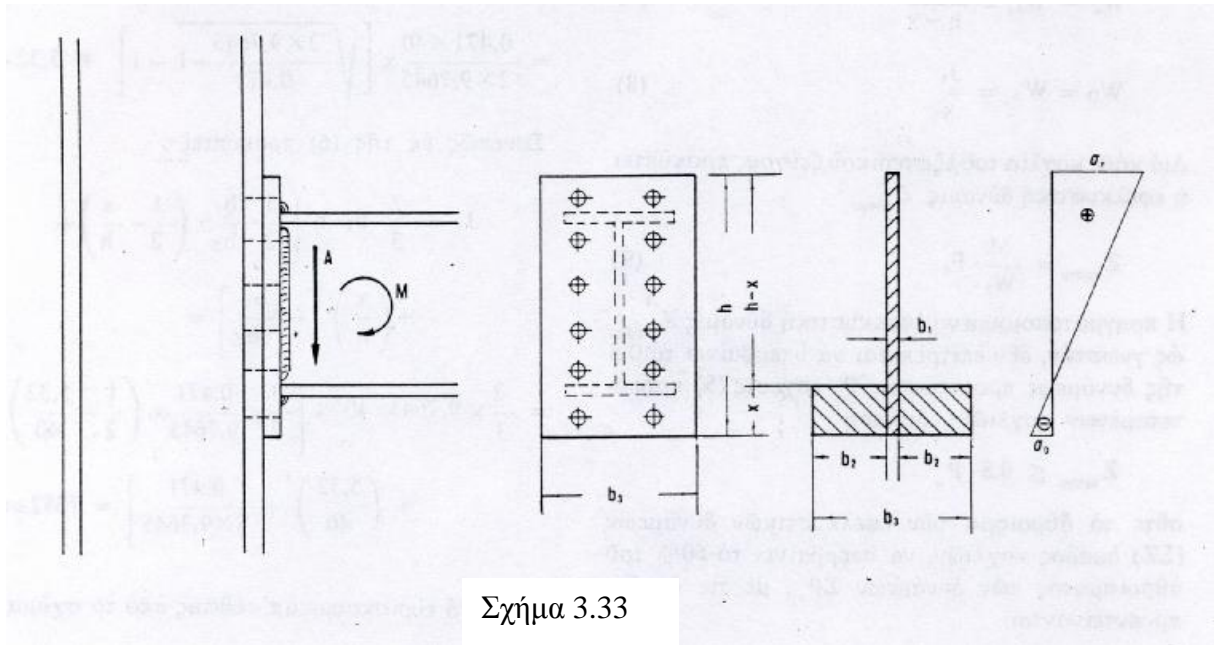


Σχήμα 3.32

ΣΤΗΡΙΞΗ ΔΟΚΟΥ ΕΠΙ ΣΤΥΛΟΥ ΜΕΣΩ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

Μία μεταλλική πλάκα συγκολλάται στην κεφαλή (σόκορο) της προς στήριξη δοκού, κατά τα προλεχθέντα σε προηγούμενη παράγραφο.

Στη συνέχεια η πλάκα κοχλιώνεται επί του πέλματος του στύλου δια προεντεταμένων κοχλιών. Γίνεται η εξής παραδοχή. Επί της εφελκυσμένης περιοχής, τις εφελκυστικές δυνάμεις, τις παραλαμβάνουν μόνο οι προεντεταμένοι κοχλίες, ενώ επί της θλιβομένης, τις θλιπτικές τις μεταφέρει η επιφάνεια της πλάκας στο πέλαμα του στύλου.



Σχήμα 3.33

Έστω τώρα ότι F_s συμβολίζει την επιφάνεια τάσεως, μέσω της οποίας κάθε προεντεταμένος κοχλίας μεταβιβάζει την υπ αυτού δυναμένη να μεταβιβασθεί δύναμη. Οι επιφάνειες αυτές παρέχονται από τον πίνακα. Έστω n το πλήθος των κοχλιών. Άρα η όλη μεταβιβαζόμενη δύναμη, μεταβιβάζεται από επιφάνεια

$$n \cdot F_s$$

Η ισοδύναμος επιφάνεια αυτής, υπό μορφή ορθογωνίου παραλληλογράμμου, ύψους H (όσον και της μεταλλικής πλάκας) έχει πλάτος b_1 (σχήμα 3.33)

$$b_1 = \frac{n \cdot F_s}{h}$$

Διάμετρος κοιλίου d σε mm	M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27
Επιφάνεια F _s σε cm ²	0.843	1.57	2.45	3.03	3.53	4.59

Η θέση της ουδέτερης γραμμής βρίσκεται από την παραδοχή διανομής των τάσεων κατά Navier (ισορροπία των στατικών ροπών των επιφανειών εφελκυσμού και θλίψεως). Θα είναι

$$x(2b_2 + b_1) \cdot \frac{x}{2} = b_1 \frac{(h-x)^2}{2}$$

$$x^2 \cdot \frac{2b_2}{2} + \frac{x^2 \cdot b_1}{2} = \frac{b_1 \cdot h^2}{2} + \frac{b_1 \cdot x^2}{2} - b_1 \cdot h \cdot x$$

$$b_2 \cdot x^2 + b_1 \cdot h \cdot x - \frac{b_1 \cdot h^2}{2} = 0$$

Η λύση της εξίσωσης αυτής δίνει

$$x = \frac{-2b_1 \cdot h \pm \sqrt{4 \cdot b_1^2 \cdot h^2 + 8 \cdot b_2 \cdot b_1 \cdot h^2}}{4b_2}$$

απορριπτόμενης της αρνητικής ρίζας, προκύπτει μετά τις πράξεις

$$x \frac{b_1 \cdot h}{2b_2} \cdot \left[\sqrt{\frac{2b_2}{b_1} + 1} - 1 \right]$$

Με βάση την ανωτέρω έκφραση του x προκύπτει για την ροπή αδράνειας

$$J_x = \frac{2}{3} b_2 \cdot h^3 \left[\frac{3}{2} \cdot \frac{b_1}{b_2} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{h} \right)^2 + \left(\frac{x}{h} \right)^3 + \frac{b_1}{8b_2} \right]$$

και για τις ροπές αντιστάσεως

$$W_z = W_{x_o} = \frac{J_x}{h-x}$$

$$W_D = W_{x_o} = \frac{J_x}{X}$$

Για κάθε κοχλία του εξωτερικού ζεύγους προκύπτει η εφελκυστική δύναμη

$$Z_{\text{pragm}} = \frac{M}{W_z} \cdot F_s$$

Η πραγματοποιούμενη εφελκυστική δύναμη $Z_{\text{πραγμ}}$ ως γνωστό, δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει τα 0.8 της δύναμης προεντάσεως P_u (σχέση προεντεταμένων κοχλιών), δηλαδή

$$Z_{\text{πραγμ}} \leq 0,8 \cdot P_u$$

ούτε το άθροισμα των εφελκυστικών δυνάμεων (ΣZ) ομάδας κοχλιών, να υπερβαίνει το 60% του αθροίσματος των δυνάμεων ΣP_u , με τις όποιες προεντείνονται.

Τέλος πρέπει να γίνει ο έλεγχος της απευθείας συγκολλήσεως της δοκού επί της πλάκας.

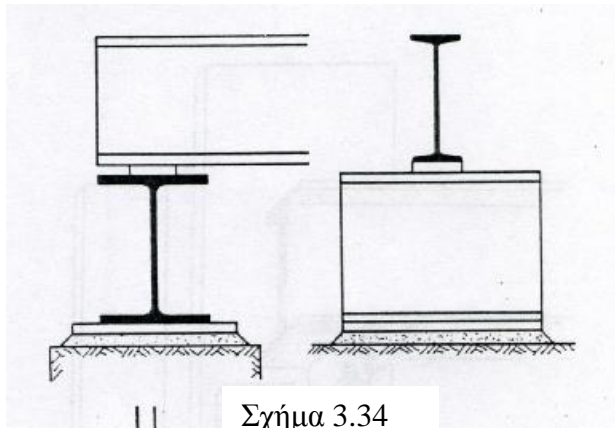
ΣΤΗΡΙΞΗ ΔΟΚΟΥ ΕΠΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΪΑΣ

Επειδή η τοιχοποιία δύναται να δεχθεί πολύ περιορισμένη πίεση, είναι φυσικό ότι η απευθείας, η άμεσος έδραση, της δοκού επί αυτής μπορεί να γίνει, μόνο για μικρά μεταφερόμενα φορτία. Για μεγαλύτερα φορτία λαμβάνονται ειδικά μέτρα όπως π.χ. α) τοποθέτηση μεταλλικής πλάκας μεγαλύτερης επιφανείας από την επιφάνεια του εδραζομένου πέλματος της δοκού, β) αύξηση τοπικά της επιτρεπόμενης τάσεως θλίψεως της τοιχοποιίας για την χρήση της στο σημείο αυτό περισσότερο ανθεκτικών λίθων, ή σκυροδέματος κ.λ.π.

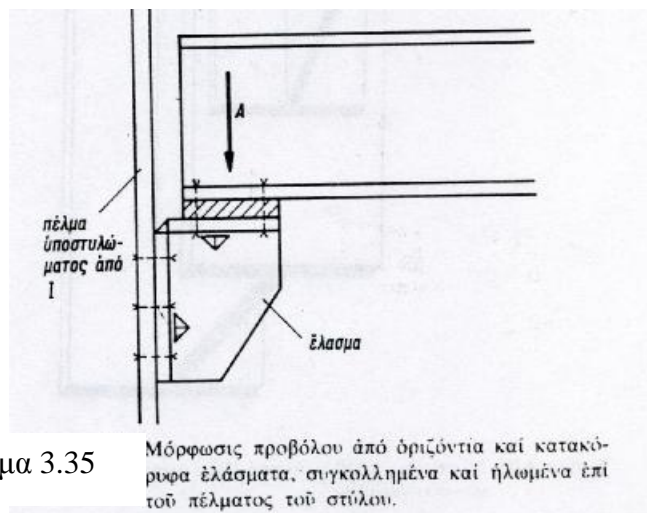
ΣΤΗΡΙΞΗ ΔΟΚΟΥ ΕΠΙ ΠΡΟΒΟΛΟΥ

Σε προηγούμενους παραγράφους μελετήθηκε η στήριξη δοκών επί προεξοχών, αποτελούμενων, είτε από ένα γωνιακό, είτε από ένα έλασμα. Χαρακτηριστικό και των δύο περιπτώσεων είναι τα μάλλον περιορισμένα μεταβιβαζόμενα φορτία A και ο μικρού μήκους μοχλοβραχίον α , γενικότερα οι μικρές αναπτυσσόμενες ροπές $M = \alpha \cdot A$. Σε περιπτώσεις μεγάλων σχετικά φορτίων A και γενικότερα μεγάλης αναπτυσσόμενης ροπής $M = \alpha \cdot A$, οι στις

προηγούμενες παραγράφους προεξοχές κρίνονται ανεπαρκείς και αντί αυτών μορφώνεται πρόβολος, με την βοήθεια οριζοντίων και κατακόρυφων λεπίδων ή και με χρήση αποτεμνομένων τεμαχίων διπλού ή απλού ταυ συνήθως από υπόλοιπα (ρετάλια) κατά τα σχήματα 3.35, 3.36, 3.37, 3.38, 3.39.



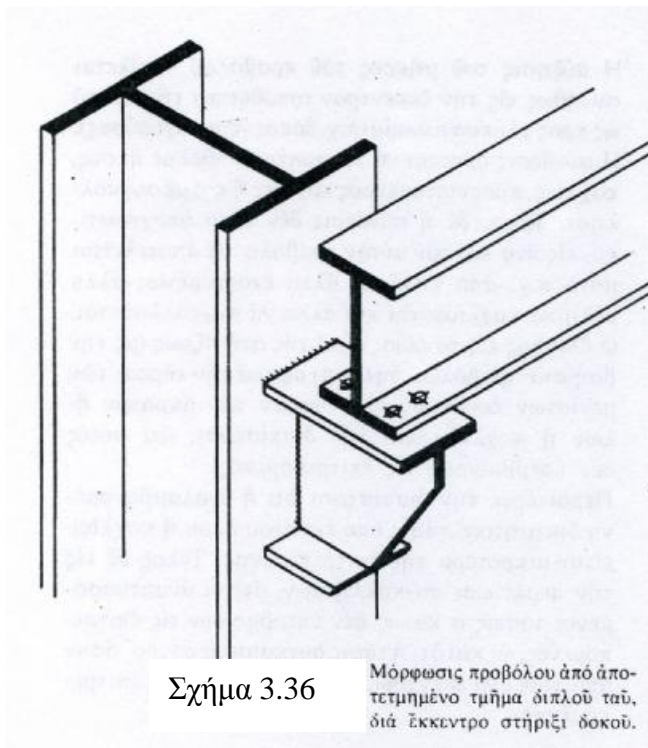
Σχήμα 3.34

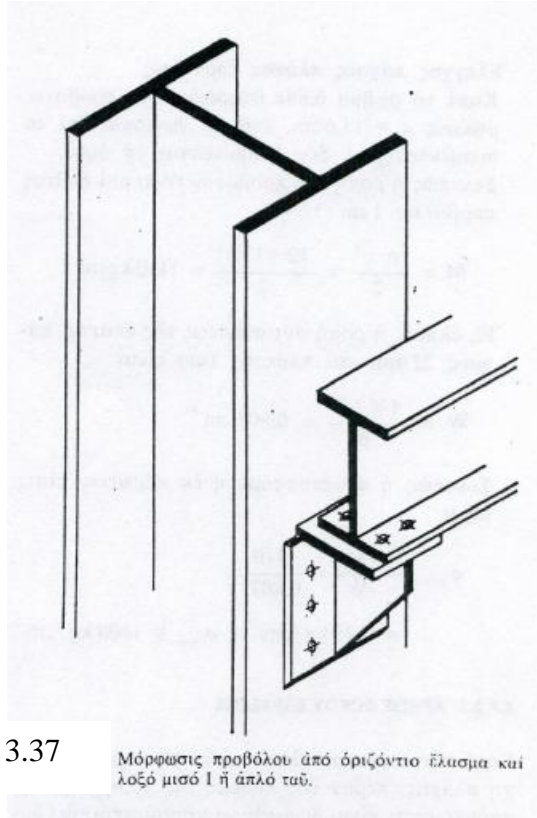


Σχήμα 3.35

Η αύξηση του μήκους του προβόλου οφείλεται συνήθως στην έκκεντρη τοποθέτηση της δοκού ως προς το υποστύλωμα (π.χ. δοκός γερανογέφυρας). Η σύνδεση μπορεί να πραγματοποιηθεί με ήλους, κοχλίες, προεντεταμένους κοχλίες ή και με συγκόλληση. Τέλος, η σύνδεση δεν είναι υποχρεωτικό, σε ένα και τον αυτό πρόβολο, να αποτελείται μόνο π.χ. από κοχλίες, αλλά ενδεχομένως άλλα μέλη να κοχλιούνται και άλλα να συγκολλούνται. Ο έλεγχος στο είδος αυτό της στηρίξεως (με την βοήθεια προβόλων δηλαδή) αφορά την εύρεση των

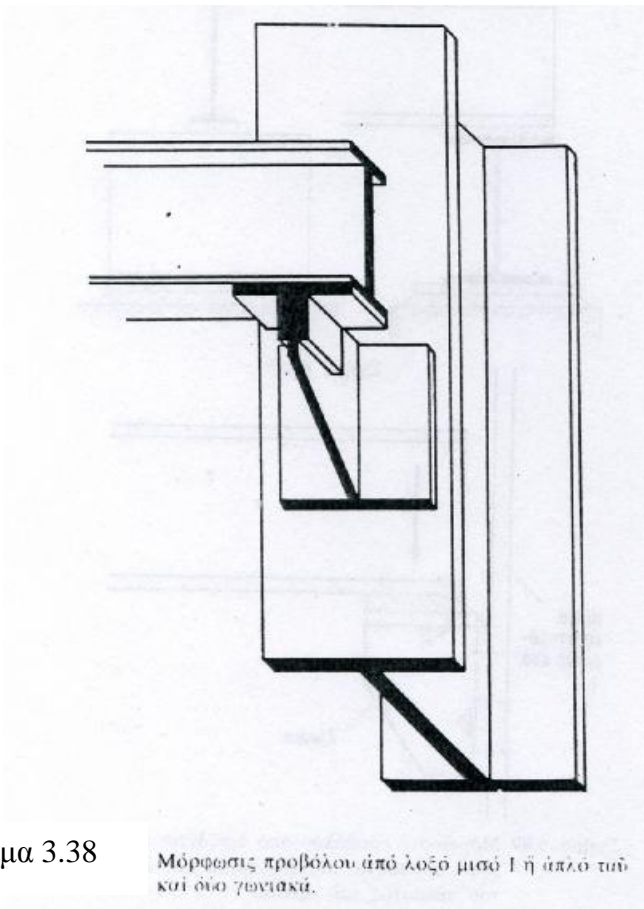
μέγιστων εφελκυστικών τάσεων των ακραίων ήλων ή κοχλιών και την διαπίστωση, ότι αυτές δεν υπερβαίνουν τις επιτρεπόμενες. Περαιτέρω, την διαπίστωση ότι η αναλαμβανομένη διατμητική τάση σε κάθε ήλο ή κοχλία είναι μικρότερη της επιτρεπόμενης. Τέλος στην περίπτωση συγκολλήσεων, ότι οι αναπτυσσόμενες τάσεις σ και τ_u δεν υπερβαίνουν τις επιτρεπόμενες, όπως και ότι η τάση συγκρίσεως σ_v , εφόσον απαιτηθεί να ελεγχθεί, είναι μικρότερη της επιτρεπόμενης.





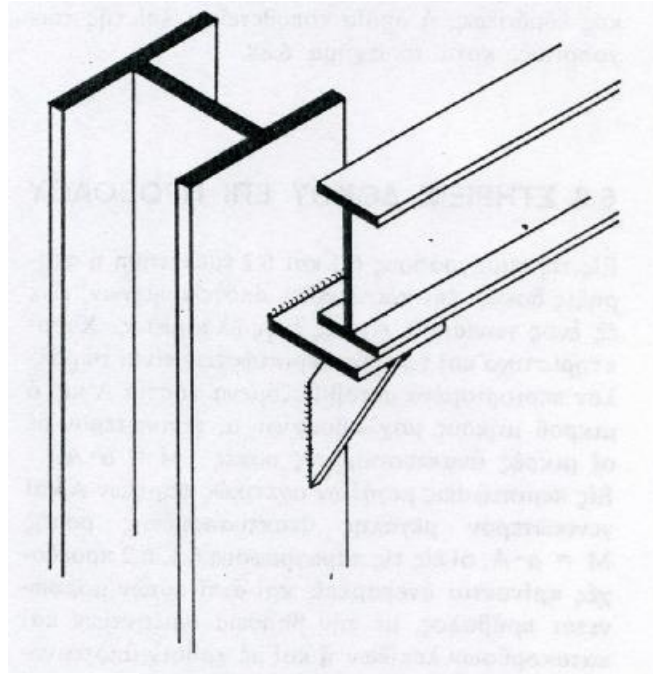
Σχήμα 3.37

Μόρφωσις προβόλου από οριζόντιο έλιωσμα και λοξό μισό I ή απλό ταύ.



Σχήμα 3.38

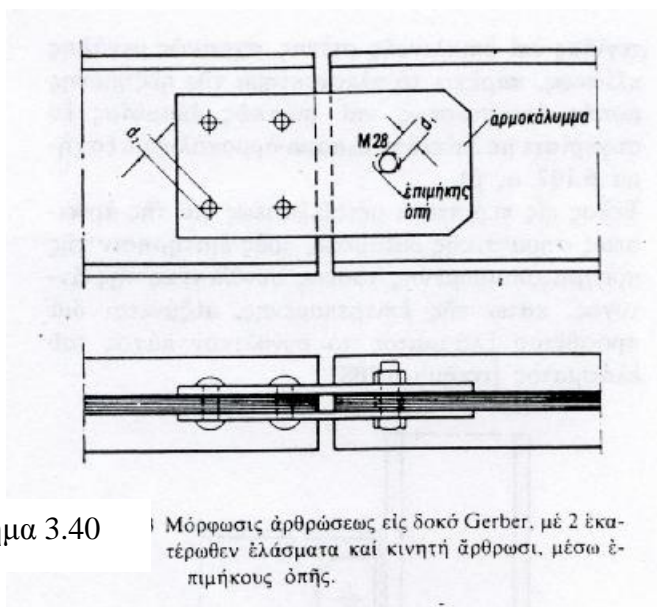
Μόρφωσις προβόλου από λοξό μισό I ή απλό ταύ και δύο γωνιακά.



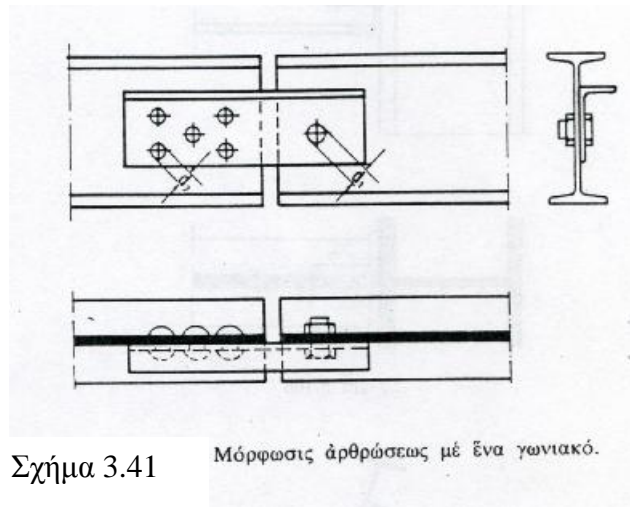
Σχήμα 3.39 Μόρφωση προβόλου από ένα οριζόντιο και ένα κατακόρυφο έλασμα. Είς το κατακόρυφο έγινε και εξοικονόμησις ύλικού.

ΣΤΗΡΙΞΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΑΡΘΡΩΣΗ

Η στήριξη αυτή αφορά ως επί το πλείστον τις ενδιάμεσες, αιωρούμενες δοκούς, μιας συνεχούς αρθρωτής δοκού, μιας δοκού δηλαδή Gerber, (σχήματα 3.40 και 3.41).



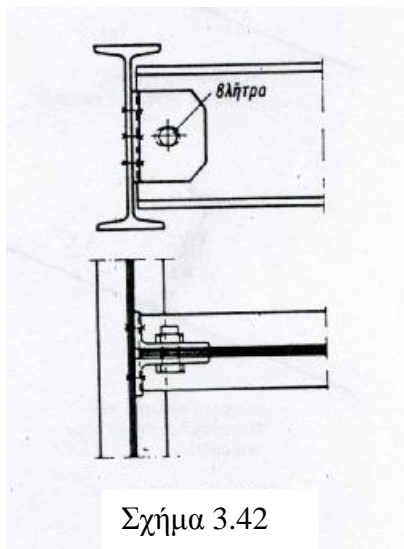
Σχήμα 3.40 Μόρφωση άρθρώσεως εις δοκό Gerber, με 2 εκατέρωθεν έλάσματα και κινητή άρθρωσι, μέσω έπιμήκους όπης.



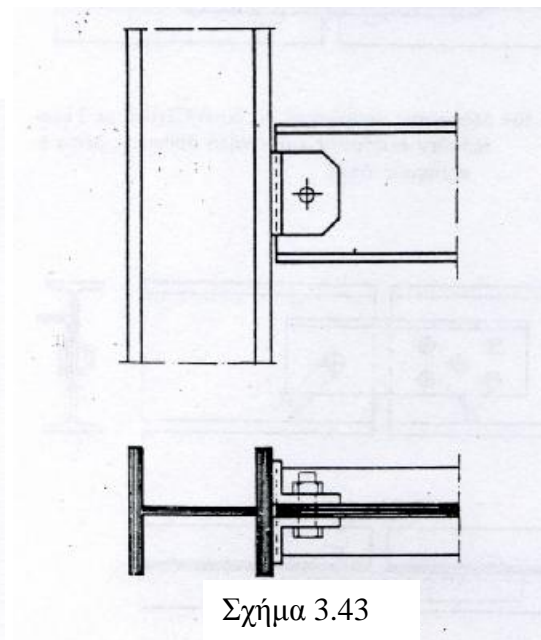
Σχήμα 3.41

Μόρφωσις άρθρώσεως με ένα γωνιακό.

Επίσης είναι δυνατή η μόρφωση αρθρώσεως ώστε να στηρίζεται δοκός σε άλλη ή σε στύλο, (σχήματα 3.42 και 3.43). Η με άρθρωση στήριξη επιτυγχάνεται με την βοήθεια ενός ή δύο παραλλήλων αρμοκαλυμμάτων ή ενός ή δύο γωνιακών, τα όποια ηλούνται, κοχλιούνται ή συγκολλούνται επί του σταθερού τμήματος ενώ επί του ετέρου, του στηριζόμενου αρθρούνται, δια της τοποθετήσεως ενός μόνο κοχλίου ή ειδικού βλήτρου.



Σχήμα 3.42



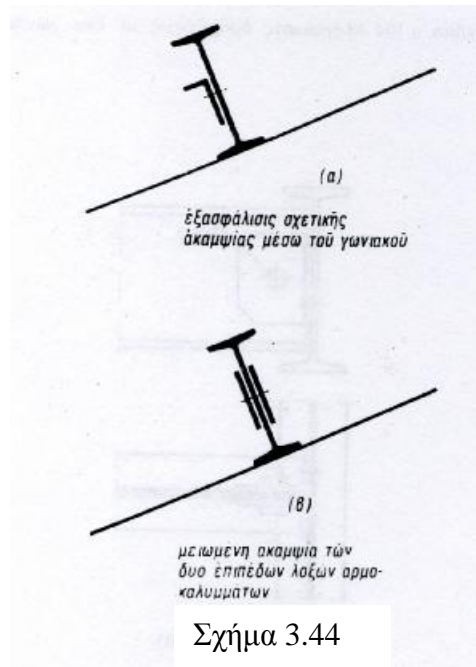
Σχήμα 3.43

Η άρθρωση μπορεί να μορφωθεί κινητή ή σταθερή. Κινητή υπό την έννοια ότι μπορεί η στήριξη να πραγματοποιεί μικροκινήσεις κατά την διεύθυνση του άξονα της δοκού, οφειλόμενες π.χ. σε θερμοδιαστολές. Γιαυτό η οπή επί του κορμού της στηριζόμενης κατασκευάζεται επιμήκης (σχήμα 3.40).

Σταθερά μορφώνεται υπό την έννοια ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί στροφή μόνο ως προς το κέντρο της οπής και όχι οριζόντιες μετακινήσεις.

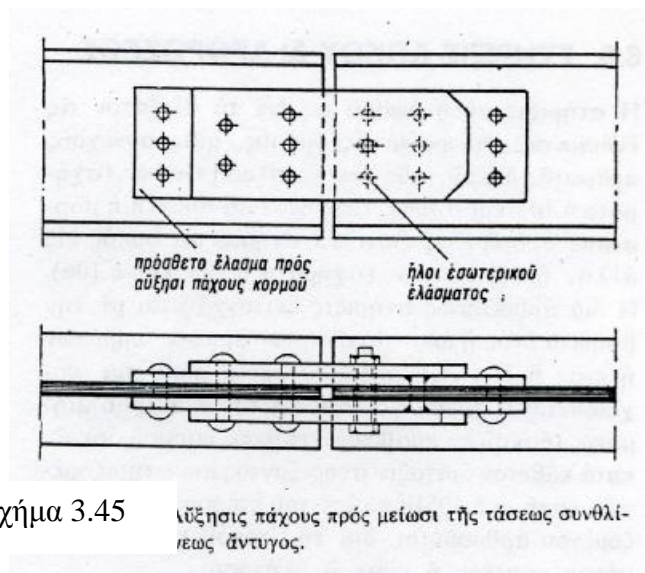
Για μικρά ανοίγματα, δοκών Gerber, χρησιμοποιούμενων ως τεγίδων, επειδή η αύξηση Δl λόγω διαφοράς θερμοκρασίας είναι πολύ μικρή, είναι δυνατόν να μη κατασκευασθεί επιμήκης οπή, άλλα η μετακίνηση να εξυπηρετείται από την διαφορά διαμέτρου οπής και βλήτρου. Εξ άλλου, από κατασκευαστικής απόψεως είναι πολύ πιο εύκολη η συναρμολόγηση αρθρώσεως με ένα γωνιακό, σε σύγκριση με αυτή με τα δύο αρμοκαλύμματα. Αυτό για τον ακόλουθο λόγο. Η εργασία της ηλώσεως ή συγκολλήσεως γίνεται στο εργοστάσιο και απομένει μόνο επί τόπου του έργου να γίνει η συναρμολόγηση της αρθρώσεως, δηλαδή η αντιστοίχιση των οπών του κορμού και των αρμοκαλυμμάτων, ή του γωνιακού. Αλλά στην περίπτωση των αρμοκαλυμμάτων πρέπει να εισέλθει πρώτα ο κορμός της στηριζομένης δοκού εντός αυτών και στη συνέχεια να περάσει το βλήτρο. Η εργασία αυτή είναι πάρα πολύ δύσκολη, γίνεται σχεδόν εύκολη στην περίπτωση του γωνιακού.

Η χρήση γωνιακού, περαιτέρω, εκτός της απλοποίησης της συναρμολόγησης, στην περίπτωση χρησιμοποίησης της δοκού Gerber ως λοξής τεγίδος επί επικλινούς στέγης, σχετικώς μεγάλης κλίσεως, παρέχει το πλεονέκτημα της αυξημένης ροπής αντιστάσεως και συνεπώς ακαμψίας σε σύγκριση με επίπεδο έλασμα-αρμοκάλυμμα (σχήμα 3.44 α, β)



Σχήμα 3.44

Τέλος στην περίπτωση μεταβιβάσεως δια της αρθρώσεως σημαντικής δυνάμεως, προς διατήρηση της πραγματοποιούμενης τάσεως συνθλίψεως της άντυγος, κάτω της επιτρεπόμενης, αυξάνεται δια προσθέτου ελάσματος το συνολικό πάχος του ελάσματος (σχήμα 3.45)



Σχήμα 3.45

Αύξησης πάχους προς μείωση της τάσεως συνθλίψεως άντυγος.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΘΡΩΣΕΩΣ

Ο υπολογισμός διακρίνεται σε τρία μέρη.

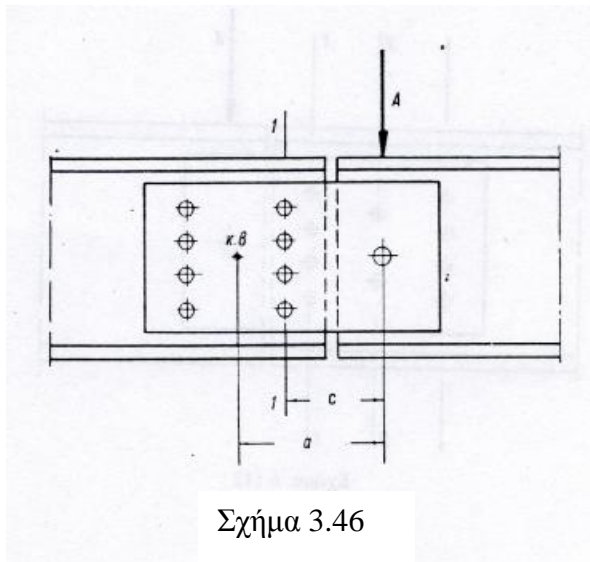
α. Υπολογισμός αυτής της αρθρώσεως, κατά τον οποίο γίνεται έλεγχος μόνο σε σύνθλιψη της άντυγος, δηλαδή

$$s_{l_{\text{pragn}}} = \frac{A}{d \cdot s} \leq s_{l_{\text{epitr}}}$$

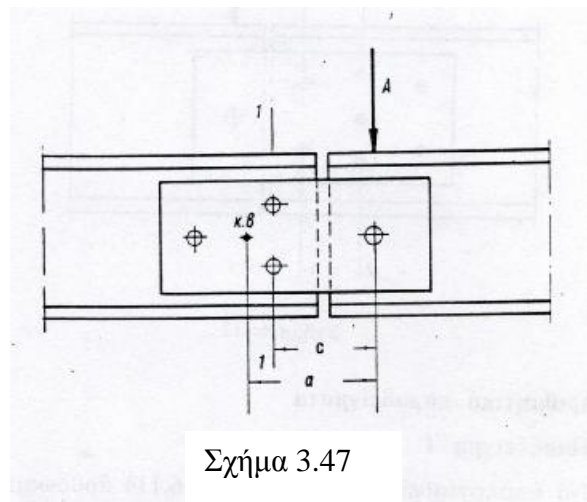
όπου d η διάμετρος του βλήτρου

s το πάχος του κορμού του I (δοκού)

β. Υπολογισμός αρμοκαλυμμάτων, κατά τον οποίον αναζητείται η κρίσιμος διατομή και ελέγχεται η ορθή τάση του ελάσματος στην διατομή αυτή, εξ αιτίας της αναπτυσσόμενης ροπής $M = A \cdot c$ (σχήματα 3.46,3.47).



Σχήμα 3.46



Σχήμα 3.47

Η κρίσιμη διατομή είναι εκείνη, για την οποία η ορθή τάση είναι η μέγιστη. Αυτό συμβαίνει στην διατομή 1 - 1 των σχημάτων 3.46, 3.47, 3.48 και 3.50 ενώ στο σχήμα 3.49 υπάρχει πιθανότητα, ενώ είναι

$$M_2 < M_1$$

και

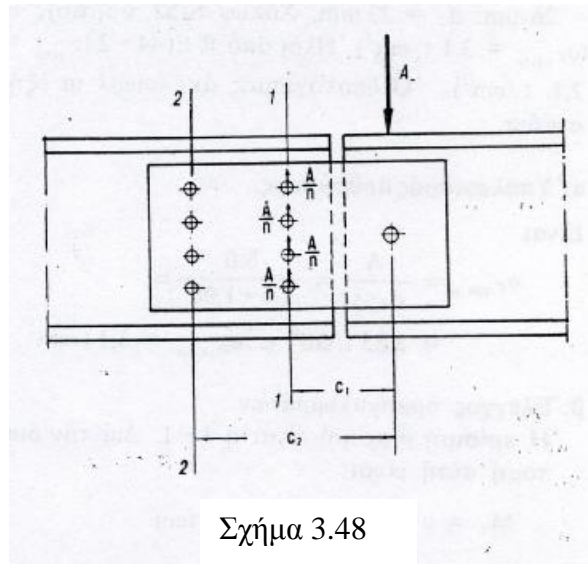
$$W_{n_2} < W_{n_1}$$

να προκύψει

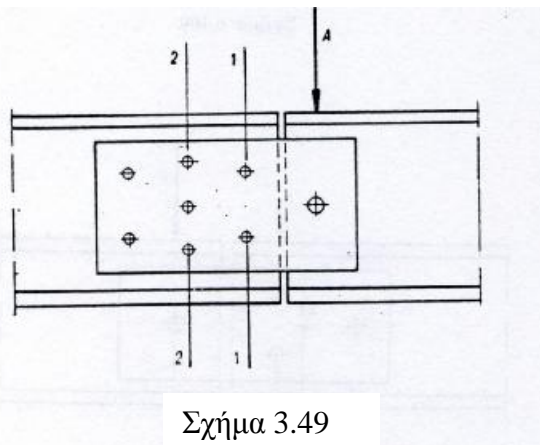
$$s_2 = \frac{M_2}{W_{n_2}} > s_1 = \frac{M_1}{W_{n_1}}$$

γ. Υπολογισμός της ηλώσεως. Η ήλωση παραλαμβάνει αφενός τη δύναμη A , αφετέρου την ροπή $M = A \cdot a$ όπου a η απόσταση του άξονα του βλήτρου από το κέντρο βάρους της ηλώσεως. Κατά το θεώρημα της πολικής ροπής, οι εξώτατοι ήλοι δέχονται εκ της ροπής την μέγιστη καταπόνηση. Ένας από

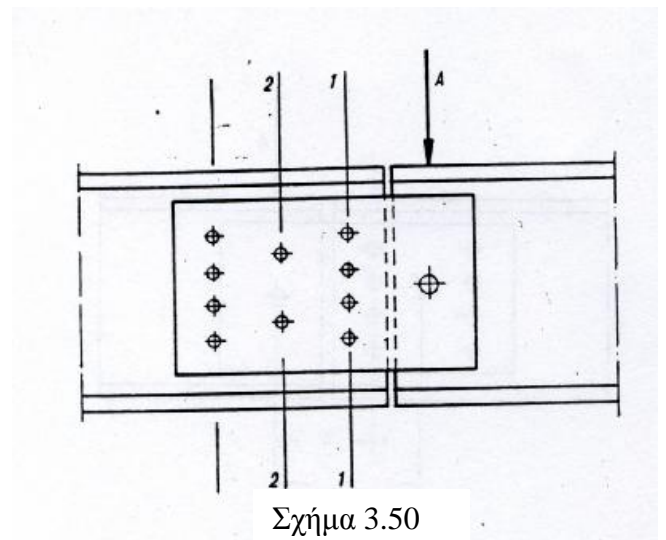
αυτούς σε συνδυασμό με το υπαυτού αναλαμβανόμενο και εκ της A μέρος, υφίσταται την μέγιστη καταπόνηση R από όλους τους ήλους.



Σχήμα 3.48



Σχήμα 3.49



Σχήμα 3.50

Με βάση την R γίνεται στη συνέχεια έλεγχος

-Σε διάτμηση από τη σχέση

$$t_{pragm} = \frac{R}{m \cdot \frac{p \cdot d}{4}} \leq t_{epitr}$$

-Σε θλίψη της άντυγος από τη σχέση

$$S_{l_{\text{πραγμ}}} = \frac{R}{s \cdot d} \leq S_{l_{\text{επιτρ}}}$$

Για βλήτρα αρθρώσεων κατά DIN 1050 ορίζονται ως επιτρεπόμενες τάσεις σε σύνθλιψη άντυγος οι στον πίνακα 3.1 παρεχόμενες.

Πίνακας 3.1

Έπιτρεπόμενες τάσεις εις σύνθλιψη άντυγος εις kg/cm²

Είδος καταπονήσεως	St37		St52	
	H	HZ	H	HZ
Σύνθλιψις άντυγος εις κοχλίες (βλήτρα) άρθρώσεων	2100	2400	3100	3500

Τέλος, στην περίπτωση όπου δεν ορίζεται εκ των προτέρων η διάμετρος του βλήτρου, τότε η τελευταία προκύπτει εκ του ελέγχου πάντα σε σύνθλιψη της άντυγος από τη σχέση

$$d_{\text{απαιτ}} = \frac{A}{t \cdot S_{l_{\text{επιτρ}}}} \quad (\text{βλήτρου})$$

όπου t το πάχος του λεπτότερου ελάσματος

Κεφάλαιο 4

ΕΝΩΣΕΙΣ ΔΟΚΩΝ

Γενικά

Η μέγιστη απόσταση ενώσεως, η οποία εξαρτάται από τα υπάρχοντα μέγιστα μήκη, από την εκάστοτε δυνατότητα μεταφοράς κ.λ.π., δεν υπερβαίνει τα 12m. Συνηθέστερη μάλιστα απόσταση είναι 6m ως 8m. Η ένωση, γενικά, μιας δοκού πραγματοποιείται δια της συνδέσεως των αντιστοίχων κορμών και πελμάτων με την βοήθεια κατάλληλων αρμοκαλυμμάτων.

Ως μέσα συνδέσεως χρησιμοποιούνται συνήθως οι ηλώσεις ή και οι συγκολλήσεις. Η ένωση μπορεί να πραγματοποιηθεί με κριτήρια τις εξής δύο απαιτήσεις :

a. Να γίνει πλήρης αποκατάσταση της διατομής. Στην περίπτωση αυτή τα αρμοκαλύμματα, ως και τα μέσα συνδέσεως (ήλοι, κοχλίες ή συγκολλήσεις) πρέπει να υπολογίζονται για τις μέγιστες καταπονήσεις (σε εφελκυσμό, θλίψη, κάμψη, διάτμηση, στρέψη κ.λ.π.) τις οποίες μπορεί η διατομή της δοκού να παραλάβει, αν δεν υπήρχε διακοπή.

Η απαίτηση αυτή είναι υποχρεωτική στους υπερστατικούς φορείς, όπου η επίλυση αυτών γίνεται με βάση σταθερά διατομή F και σταθερή ροπή αδράνειας, στο σύνολο ή σε τμήμα του φορέως.

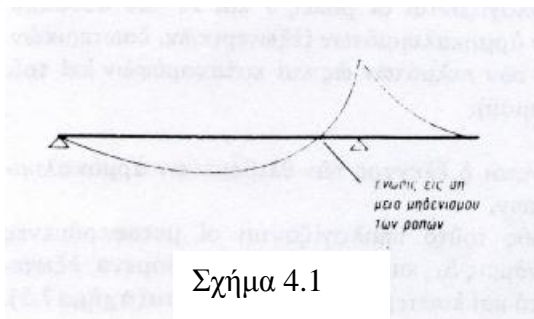
b. Να μη γίνει πλήρης αποκατάσταση της διατομής.

Στις θέσεις της ενώσεως δεν είναι υποχρεωτική η πλήρης αποκατάσταση της διατομής (υπό την έννοια η οποία δόθηκε στην α περίπτωση) ειδικά στους στατικά ορισμένους φορείς.

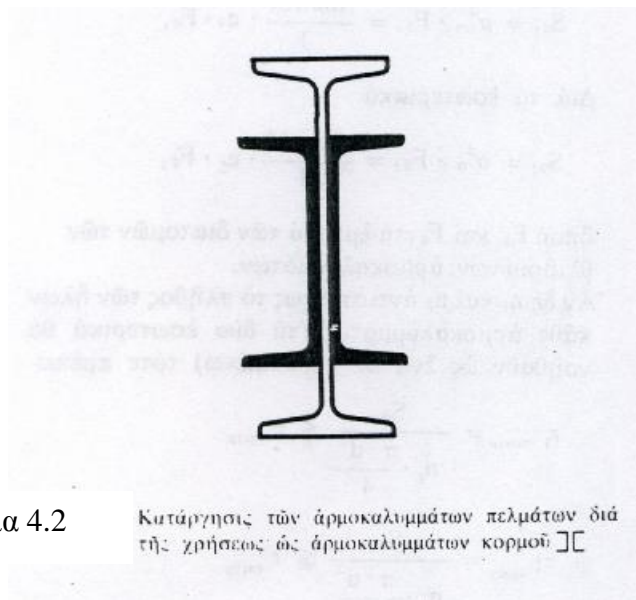
Στην προκειμένη περίπτωση τα αρμοκαλύμματα και τα μέσα συνδέσεως στην ένωση, μπορούν να υπολογίζονται βάσει της πραγματικής αναπτυσσόμενης ροπής κάμψεως ή τέμνουσας δύναμης, αυτής δηλαδή η οποία

προκύπτει στην θέση ενώσεως κατά τον στατικό υπολογισμό και όχι για τις μέγιστες καταπονήσεις όπως στην παράγραφο α.

Πάντως και για στατικά ορισμένους φορείς, δεν είναι ορθό και σκόπιμο να μειώνεται η αντοχή της ενώσεως πέραν ενός ορισμένου ορίου. Για παράδειγμα για ένωση σε σημείο μηδενισμού ή μικρότερων τιμών της ροπής κάμψεως, δεν πρέπει να παραλειφθούν τα αρμοκαλύμματα πελμάτων (σχήμα 4.1). Μια τέτοια παράλειψη των αρμοκαλυμμάτων των πελμάτων και πάντοτε υπό την προϋπόθεση μικρών προς ανάληψη ροπών, μπορεί να γίνει, αν αντί απλών, εκ λεπίδων, αρμοκαλυμμάτων κορμού, χρησιμοποιηθούν διατομές π.χ. ΙΙ (σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.1



Σχήμα 4.2

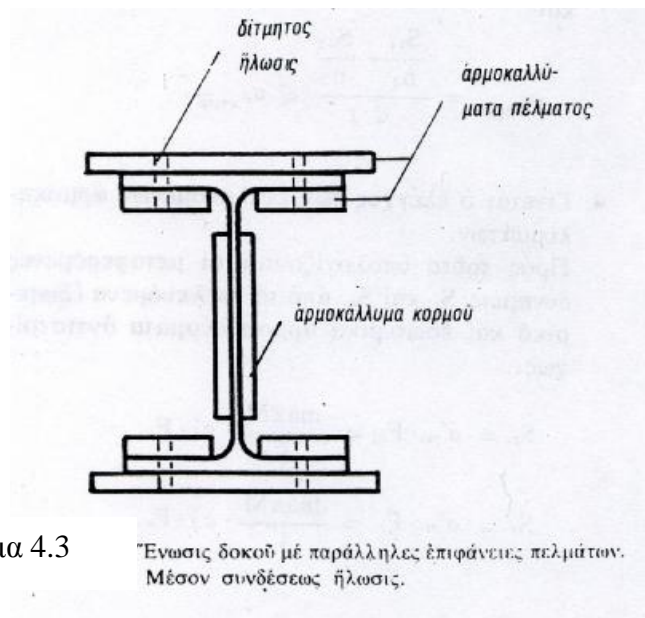
Κατάργησις τῶν ἀρμοκαλυμμάτων πελμάτων διά τῆς χρήσεως ὡς ἀρμοκαλυμμάτων κορμοῦ ΙΙ

Γενικῶς ο υπολογισμὸς συνιστάται να γίνεται, για τις μισές, μέγιστες δυνατές καταπονήσεις (π.χ. για $\max M/2$, $\max Q/2$, $\max N/2$), στην θέση της ένωσης, ἔστω κι αν αυτό είναι υπερβολικό.

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

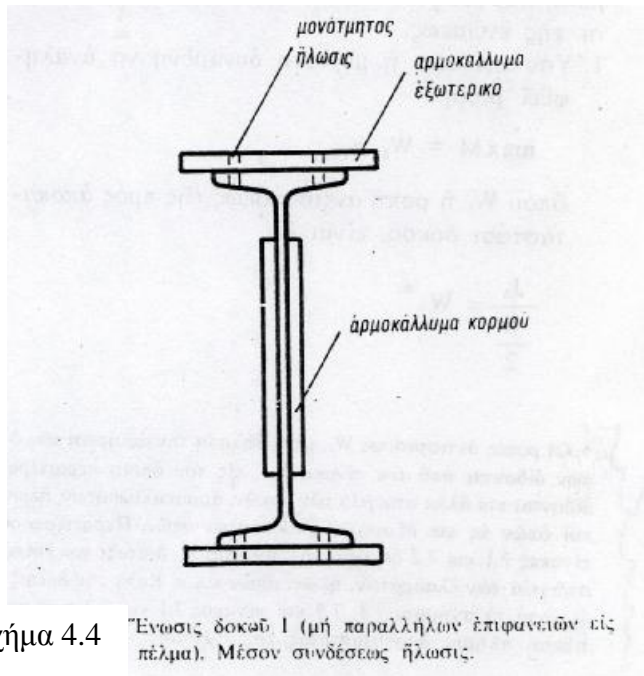
Τα αρμοκαλύμματα πελμάτων και κορμού διατάσσονται συμμετρικά ως προς την ένωση.

Εξάλλου οι διατομές των αρμοκαλυμμάτων πρέπει να είναι ανάλογες προς την διατομή της δοκού. Σε διατομές δοκών με παράλληλα (ισόφαρδα) πέλματα (σχήμα 4.3) τα αρμοκαλύμματα των πελμάτων συνιστάται να είναι διπλά αν απαιτείται (μέσα και έξω δηλαδή από κάθε πέλμα).



Η λύση αυτή είναι οικονομικότερη από την εκλογή μόνο εξωτερικών αρμοκαλυμμάτων μεγαλύτερου πάχους, διότι η ήλωση τώρα είναι δίτημη. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μικρότερος αριθμός ήλων και λιγότερη εργασία για διάνοιξη λιγότερων οπών. Συνεπώς δεδομένης της προεργασίας για τη διάνοιξη των οπών απαιτείται αρκετά περιορισμένος χρόνος. Σε δοκούς I αναγκαστικά χρησιμοποιούνται μόνο εξωτερικά αρμοκαλύμματα (σχήμα 4.4)

Το πλάτος των αρμοκαλυμμάτων των πελμάτων εξάλλου λαμβάνεται κατά 20mm έως 50mm συνήθως, μεγαλύτερο του πλάτους του πέλματος της δοκού. Το πλάτος των αρμοκαλυμμάτων των πελμάτων είναι συνάρτηση της απαιτούμενης διατομής, την οποία πρέπει αυτό να έχει.



Σχήμα 4.4 Ένωση δοκού I (μή παραλλήλων επιφανειών εις πέλιμα). Μέσον συνδέσεως ηλώσις.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΩΣΕΩΣ

Ο υπολογισμός πρέπει να γίνει κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η ένωση να μπορεί να παραλάβει την ροπή κάμψεως και την τέμνουσα δύναμη Q , οι οποίες αναπτύσσονται στην θέση της ενώσεως.

Γενικά πάντως, η τέμνουσα παραλαμβάνεται μόνο από τα αρμοκαλύμματα του κορμού, ενώ η ροπή κάμψεως από τα αρμοκαλύμματα κορμού και πελμάτων.

Έστω τώρα M_K , το μέρος της ροπής, το οποίο αναλαμβάνεται από τα αρμοκαλύμματα του κορμού. Έστω J_K η ροπή αδράνειας των αρμοκαλυμμάτων του κορμού ως προς τον $x - x$ άξονα και J_n η μειωμένη ροπή αδράνειας του συνόλου των αρμοκαλυμμάτων. Είναι

$$M_K = M \cdot \frac{J_K}{J_n} \quad (1)$$

Όπου το M ορίζεται αναλόγως με τις περιπτώσεις α και β . Δηλαδή στην περίπτωση όπου απαιτείται να γίνει πλήρης αποκατάσταση της διατομής, η M θεωρείται ως η ροπή που είναι δυνατόν να παραλειφθεί από την δοκό, ενώ σε περίπτωση όπου δεν απαιτείται πλήρης αποκατάσταση, ως M νοείται η από το διάγραμμα ροπών κάμψεως ροπή στην θέση της ενώσεως.

Στην συνέχεια θα αναπτυχθούν οι υπολογισμοί για τις παρακάτω δύο περιπτώσεις

- a. Υπολογισμός βάσει της μέγιστης δυναμένης να αναληφθεί ροπή.
- b. Υπολογισμός βάσει της υπάρχουσας ροπής.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΩΣΗΣ ΜΕ ΗΛΩΣΗ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΥΝΑΜΕΝΗΣ ΝΑ ΑΝΑΛΗΦΘΕΙ ΡΟΠΗ.

Η διαδικασία των υπολογισμών για την ένωση δοκού με παράλληλα πέλματα, π.χ. IPB ή IPE για τη μέγιστη δυναμένη να αναληφθεί ροπή κάμψεως και τέμνουσα δύναμη Q στη θέση της ένωσης.

1. Υπολογίζεται η μέγιστη δυναμένη να αναληφθεί ροπή

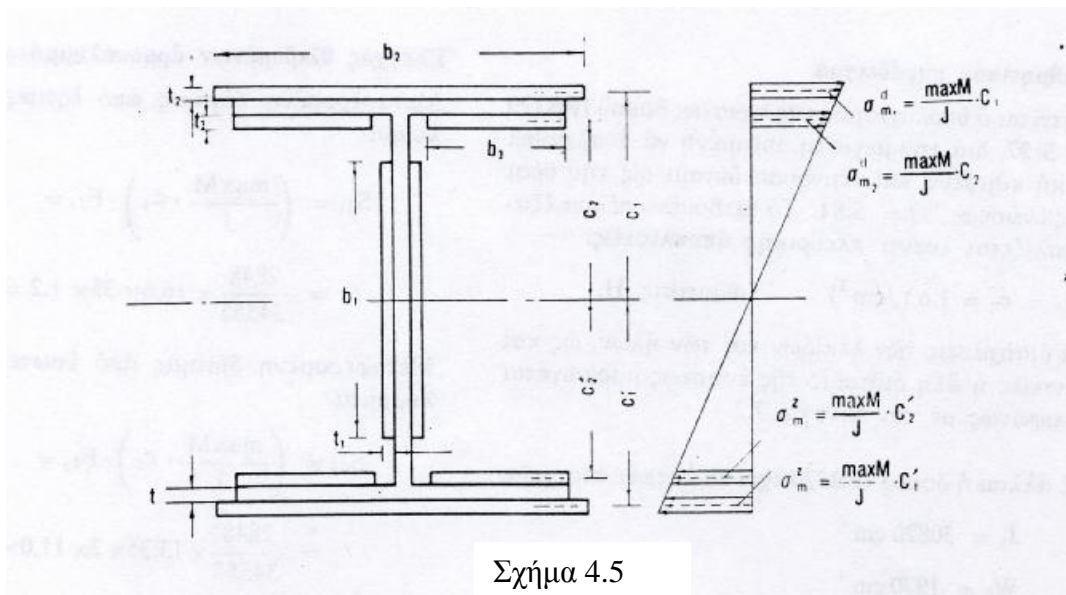
$$\max M = W_z \cdot S_{epitr}$$

Όπου W_z η ροπή αντιστάσεως της προς αποκατάσταση δοκού είναι :

$$\frac{J_n}{\frac{h}{2}} = W_z^*$$

2. Υπολογίζονται οι ροπές J και J_n του συνόλου των αρμοκαλυμμάτων (εξωτερικών και εσωτερικών επί των πελμάτων και κατακόρυφων επί του κορμού).
3. Γίνεται ο έλεγχος των θλιβόμενων αρμοκαλυμμάτων.

Για αυτό υπολογίζονται οι μεταφερόμενες δυνάμεις S_{d1} και S_{d2} από τα θλιβόμενα εξωτερικά και εσωτερικά αρμοκαλύμματα (σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5

Είναι :

Για το εξωτερικό

$$S_{d_1} = S^d m_1 \cdot F_{d_1} = \frac{\max M}{J} \cdot c_1 \cdot F_{d_1}$$

Για τα εσωτερικά

$$S_{d_2} = S^d m_2 \cdot F_{d_2} = \frac{\max M}{J} \cdot c_2 \cdot F_{d_2}$$

Όπου F_{d1} και F_{d2} τα εμβαδά των διατομών των θλιβόμενων αρμοκαλυμμάτων.

Αν δε n_1 και n_2 αντίστοιχα, το πλήθος των ήλων κάθε αρμοκαλύμματος (τα δύο εσωτερικά θα υπολογισθούν ως ένα) τότε πρέπει :

$$T_{1pragn} = \frac{S_{d_1}}{n_1 \cdot \frac{p \cdot d^2}{4}} \leq t_{epitr}$$

$$T_{2pragn} = \frac{S_{d_2}}{n_2 \cdot \frac{p \cdot d^2}{4}} \leq t_{epitr}$$

Και

$$S_{lpragn} = \frac{\frac{S_{d_1}}{n_1} + \frac{S_{d_2}}{n_2}}{d \cdot t} \leq S_{lepitr}$$

4. Γίνεται ο έλεγχος των εφελκόμενων αρμοκαλυμμάτων.

Για αυτό υπολογίζονται οι μεταφερόμενες δυνάμεις S_{z_1} και S_{z_2} από τα εφελκόμενα εξωτερικό και εσωτερικά αρμοκαλύμματα αντιστοίχως

$$S_{z_1} = S^z m_1 \cdot F_{z_1} = \frac{\max M}{J_n} \cdot c'_1 \cdot F_{z_1}$$

$$S_{z_2} = S^z m_2 \cdot F_{z_2} = \frac{\max M}{J_n} \cdot c'_2 \cdot F_{z_2}$$

Στην συνέχεια γίνονται οι έλεγχοι σε διάτμηση και σύνθλιψη της άντυγας όπως παραπάνω.

5. Γίνεται ο έλεγχος των αρμοκαλυμμάτων του κορμού.

Για τον έλεγχο υπολογίζεται η παραλαμβανόμενη από τα αρμοκαλύμματα του κορμού ροπή M_K , ποσοστό της $\max M$, ανάλογο του λόγου

$$\frac{J_{\text{κορμού}}}{J_n}$$

Δηλαδή,

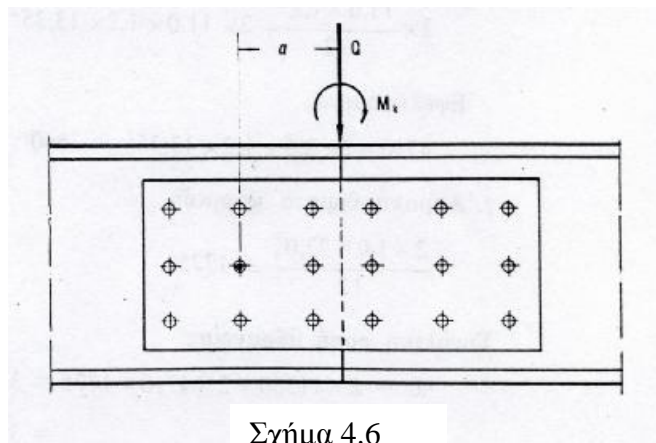
$$M_K = \max M \cdot \frac{J_{\text{κορμού}}}{J_n}$$

Με βάση την ροπή αυτή γίνεται έλεγχος καταρχήν της αντοχής των δύο αρμοκαλυμμάτων είναι

$$\max S = \frac{M_K}{W_n}$$

Όπου W_n εδώ είναι η ροπή αντιστάσεως των αρμοκαλυμμάτων του κορμού, μετά την αφαίρεση των οπών. Συνήθως δεν αφαιρούνται οι οπές, διότι η αφαίρεση των οπών επηρεάζει πολύ λίγο την τελική τιμή της W . Ακολουθεί ο έλεγχος της ήλωσης.

Εδώ παρατηρούμε ότι η ροπή M_k εφαρμόζεται στον αρμό της ένωσης, όπως άλλωστε και η τέμνουσα Q . Στο κέντρο βάρους της ήλωσης όμως (σχήμα 4.6) η τιμή της ροπής έχει μεταβληθεί κατά την πρόσθετη ροπή λόγω τέμνουσας.



Σχήμα 4.6

Η νέα τιμή της M_k είναι τώρα

$$M'_k = M_k \pm a \cdot Q$$

Στη σχέση αυτή το πρόσημο θα εξαρτηθεί από την φορά της Q .

Π.χ. στο σχήμα 4.6 είναι

$$M'_k = M_k + a \cdot Q$$

Η ήλωση τώρα έχει να αντέξει την ροπή και την $M'_k = M_k \pm a \cdot Q$ τέμνουσα Q .

Η περαιτέρω πορεία είναι πλέον γνωστή. Προσδιορίζεται η μέγιστη δύναμη καταπόνησης των ήλων, σύμφωνα με τη θεωρία της πολικής ροπής και γίνεται έλεγχος σε διάτμηση και σύνθλιψη της άντυγας.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΡΟΠΗΣ

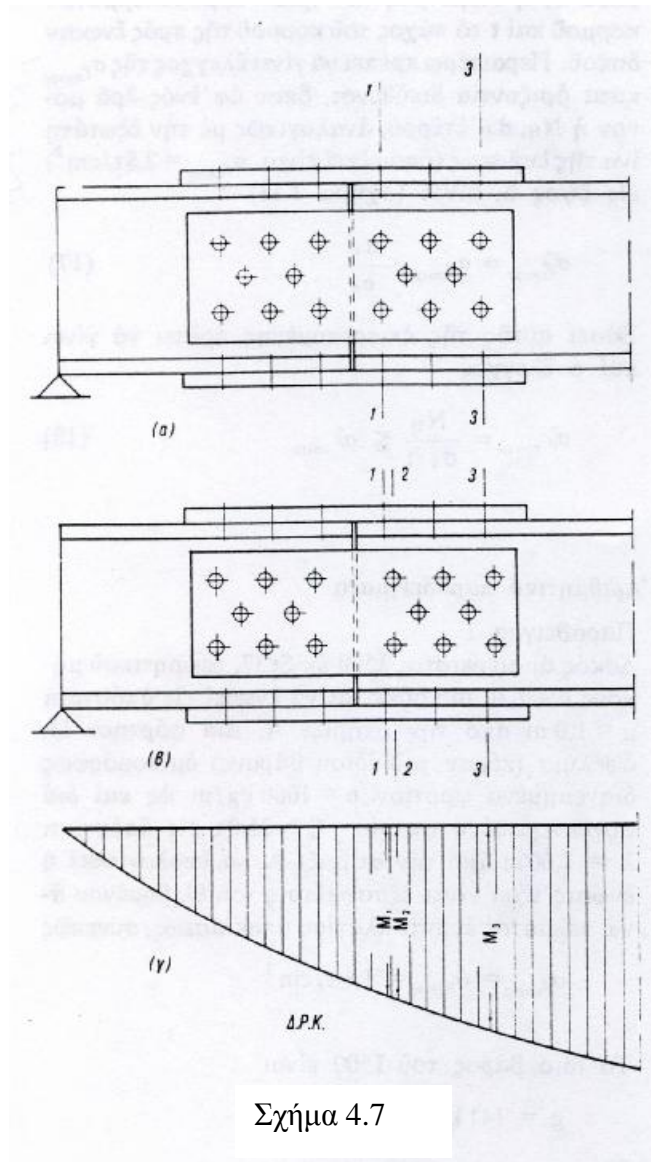
Η υπάρχουσα ροπή εφαρμόζεται στον αρμό της ένωσης. Όμως η πιο επικίνδυνη διατομή των αρμοκαλυμμάτων πελμάτων και κορμού βρίσκεται στην πρώτη δεξιά ή αριστερά του αρμού γραμμή ήλων και μάλιστα εκεί όπου η αντίστοιχη ροπή κάμψεως είναι μέγιστη.

Αυτό δικαιολογείται (δηλαδή ότι είναι η πρώτη γραμμή και όχι π.χ. η τελευταία) από το γεγονός ότι, όσο προχωρούμε από τον αρμό προς τα άκρα των αρμοκαλυμμάτων, η καταπόνηση των αρμοκαλυμμάτων από την ροπή κάμψεως, ελαττώνεται, εξαιτίας της μεταβιβάσεως της δύναμης, μέσω των ήλων, στα δύο προς ένωση τμήματα της δοκού. Διαφορετική εξάλλου είναι η θέση της επικίνδυνης διατομής για την ίδια την δοκό, αναλόγως των θέσεων των γραμμών ήλωσης των αρμοκαλυμμάτων πελμάτων και αρμοκαλυμμάτων κορμού.

Π.χ. για την διάταξη της ήλωσης του σχήματος 4.10 (α), η κρίσιμη διατομή για τα αρμοκαλύμματα πελμάτων και κορμού είναι η 1 - 1, διότι συμπίπτουν οι γραμμές ηλώσεως πελμάτων και κορμού.

Αντίθετα για τη διάταξη του σχήματος 4.10 (β) (όπου διαφέρουν οι θέσεις των γραμμών ηλώσεως), η κρίσιμη διατομή για τα αρμοκαλύμματα πέλματος είναι η 1 - 1, ενώ για τα αρμοκαλύμματα κορμού η 2 - 2.

Για την κρίσιμη διατομή θα λαμβάνεται υπόψη και η αντίστοιχη υπάρχουσα ροπή από το Δ.Ρ.Κ. (σχήμα 4.7.(γ)). Η κρίσιμη διατομή εξάλλου για την ίδια την δοκό, είναι προφανώς η 3 - 3, όπου είναι η τελευταία σύμπτωση γραμμών ήλωσης κορμού και πελμάτων και συνεπώς η πιο αδυνατισμένη διατομή, συγχρόνως η ροπή M_3 είναι μεγαλύτερη της M_1 (στην θέση 1 - 1), όπου πάλι υπάρχει σύμπτωση γραμμών.



Σχήμα 4.7

Η πορεία που θα ακολουθήσουμε για τον υπολογισμό της ένωσης είναι :

1. Γίνεται η εκλογή των αρμοκαλυμμάτων, το πλήθος και η διάμετρος των ήλων. Συνήθως βασισμένοι στους πίνακες 4.1 ή 4.2.
2. Αναζητείται η θέση της κρίσιμης διατομής $i - i$ για την δοκό εντός της περιοχής της ενώσεως (δηλαδή σε κάποια εξασθενημένη διατομή) και επίσης αναζητείται η ροπή κάμψης M_1 στην θέση αυτή. Ελέγχονται και οι τάσεις της δοκού

$$s_{d_{pragn}} = \frac{M_i}{W_d} \leq s_{d_{epitr}}$$

Και

$$S_{z_{pragn}} = \frac{M_i}{W_z} \leq S_{z_{epitr}}$$

Ενδέχεται όμως η πραγματοποιούμενη τάση $\sigma'_{dπραγμ}$ στην θέση της $\max M$, η οποία θέση είναι εκτός περιοχής ηλώσεως, και στην οποία η διατομή της δοκού είναι πλήρης, να είναι

$$S'_{d_{pragn}} = \frac{\max M}{W_d} < S_{d_{pragn}}$$

Και συνεπώς η κρίσιμη διατομή να είναι στη θέση της $\max M$.

Άρα θα γίνει και ο έλεγχος

$$S'_{d_{pragn}} = \frac{\max M}{W_d} < S_{d_{epitr}}$$

3. Γίνεται ο έλεγχος των αρμοκαλυμμάτων.

Υπολογίζονται οι ροπές αδράνειας και ροπές αντιστάσεως του συνόλου των αρμοκαλυμμάτων, οι J, J_n, W_d, W_z .

Αναζητείται η κοινή ή μη κρίσιμος διατομή π.χ. η 1 – 1 για τα αρμοκαλύμματα πελμάτων και κορμού, η αντίστοιχη ροπή κάμψεως M_1 για την θέση αυτή και γίνεται ο έλεγχος των μέγιστων αναπτυσσόμενων τάσεων στα αρμοκαλύμματα, από τις σχέσεις

$$S_{d_{pragn}} = \frac{M_1}{W_d} \leq S_{d_{epitr}}$$

$$S_{z_{pragn}} = \frac{M_1}{W_z} \leq S_{z_{epitr}}$$

Στην περίπτωση μη συμπτώσεως των κρίσιμων διατομών αρμοκαλυμμάτων πελμάτων και κορμού ο έλεγχος των μέγιστων τάσεων των αρμοκαλυμμάτων κορμού θα γίνει βάσει των σχέσεων

$$S_{d_{pragn}} = \frac{M_2}{J_2} \cdot \frac{b_1}{2} \leq S_{d_{epitr}}$$

$$S_{z_{pragn}} = \frac{M_2}{J_n} \cdot \frac{b_1}{2} \leq S_{z_{epitr}}$$

Όπου J_2 και J_n οι αντίστοιχες ροπές αδράνειας της διατομής 2 – 2 (κρίσιμης διατομής για τα αρμοκαλύμματα κορμού) και b_1 το ύψος του αρμοκαλύμματος.

4. Γίνονται οι υπολογισμοί ηλώσεων.

I. Υπολογισμός ήλων αρμοκαλυμμάτων πελμάτων.

A. Θλιβόμενου πέλματος.

Η μεταφερόμενη δύναμη από το εξωτερικό αρμοκάλυμμα είναι :

$$S_d = \frac{M_1 \cdot c_1}{J} \cdot F_d$$

Για την δύναμη αυτή ελέγχονται τώρα

$$t_{pragn} = \frac{S_d}{n \cdot \frac{\rho \cdot d_2^2}{4}} \leq t_{epitr}$$

$$S_{f_{pragn}} = \frac{S_d}{n \cdot d_2 \cdot t_2} \leq S_{f_{epitr}}$$

n : το πλήθος των ήλων

d_2 : διάμετρος ήλων αρμοκαλυμμάτων πελμάτων

c_1 : απόσταση άξονα $\chi - \chi$ από μέσο πάχους εξωτερικού αρμοκαλύμματος.

F_d : επιφάνεια διατομής εξωτερικού αρμοκαλύμματος

t_2 : πάχος αρμοκαλύμματος

Β. εφελκυσμένου πέλματος.

Η μεταφερόμενη δύναμη από το εξωτερικό αρμοκάλυμμα είναι

$$S_z = \frac{M_1 \cdot c_1'}{J_n} \cdot F_z$$

Για την δύναμη αυτή είναι

$$t_{pragm} = \frac{S_z}{n \cdot \frac{p \cdot d_2^2}{4}} \leq t_{epitr}$$

$$s_{l_{pragm}} = \frac{S_z}{n \cdot d_2 \cdot t_2} \leq s_{l_{epitr}}$$

Π. Υπολογισμός ήλων αρμοκαλυμμάτων κορμού. Βρίσκεται η αναλογούσα στο κορμό ροπή M_k . Είναι

$$M_k = M_i \cdot \frac{J_k}{J_n}$$

Όπου :

M_i η ροπή στην κρίσιμο διατομή για τα αρμοκαλύμματα κορμού (π.χ. η 1 – 1 ή η 2 – 2, οπότε $M_i = M_1$ ή $M_i = M_2$)

J_k η ροπή αδράνειας των αρμοκαλυμμάτων του κορμού

J_n η ροπή αδράνειας όλων των αρμοκαλυμμάτων στην εν λόγω εξασθενημένη διατομή $i - i$.

Ο υπολογισμός θα γίνει βάσει της θεωρίας της πολικής ροπής και συνεπώς θα αναζητηθεί η ροπή κάμψεως, M_k' , η οποία δρα στο κέντρο βάρους S της ηλώσεως. Είναι :

$$M_k' = M_k + a \cdot Q_i$$

Όπου Q_i η τιμή της διατμητικής δύναμης στην διατομή $i - i$. Βάσει της ροπής αυτής βρίσκονται οι

$$N_H = M'_k \cdot \frac{y}{\Sigma c^2 + \Sigma y^2}$$

$$N'_v = M'_k \cdot \frac{c}{\Sigma c^2 + \Sigma y^2}$$

$$N''_w = \frac{Q_i}{n}$$

Όπου n το πλήθος των ήλων της ηλώσεως. Είναι

$$\max M = \sqrt{N_H^2 + (N'_v + N''_v)^2}$$

Για αυτή τη δίτμητη ήλωση ($m = 2$) πρέπει

$$t_{pragm} = \frac{\max R}{m \cdot \frac{p \cdot d_1^2}{4}} \leq t_{epitr}$$

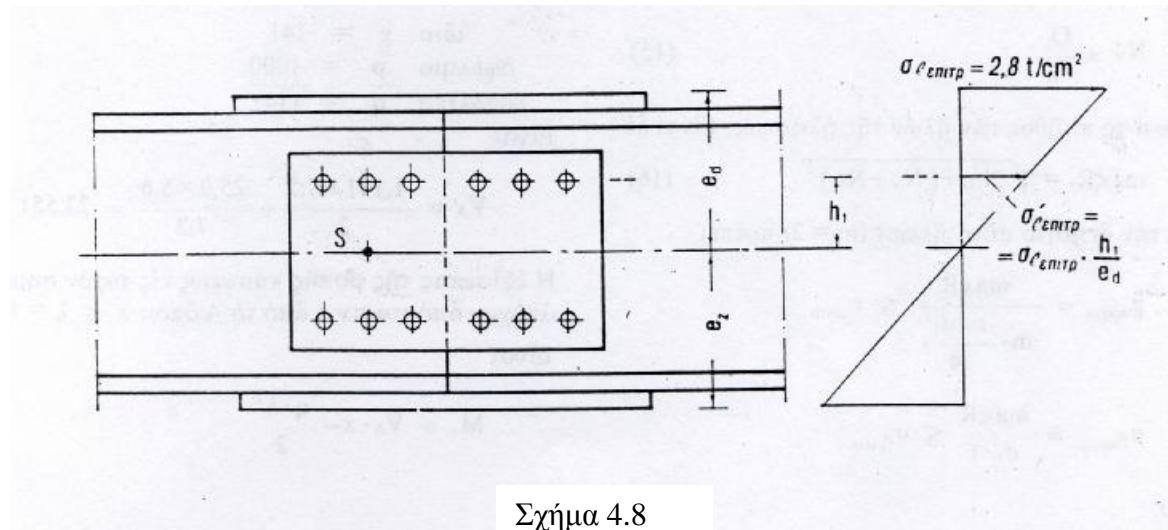
$$s_{l_{pragm}} = \frac{\max R}{d_1 \cdot t} \leq s_{l_{epitr}}$$

Όπου d_1 η διάμετρος των ήλων αρμοκαλυμμάτων κορμού και t το πάχος του κορμού της προς ένωση δοκού. Περαιτέρω πρέπει να γίνει έλεγχος της $\sigma_{\text{πραγμ}}$ κατά οριζόντια διεύθυνση, όπου ισχύει

$$s'_{l_{epitr}} = s_{l_{epitr}} \cdot \frac{h_1}{e_d}$$

Βάσει αυτής της επιτρεπόμενης πρέπει να γίνει και ο έλεγχος

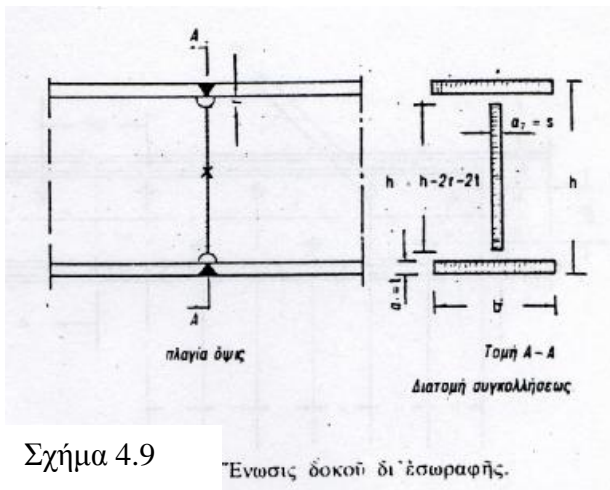
$$s'_{l_{pragm}} = \frac{N_H}{d_1 \cdot t} \leq s'_{l_{epitr}}$$



Σχήμα 4.8

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΩΣΕΩΣ ΜΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Η ένωση δοκών με συγκόλληση μπορεί να γίνει είτε με εσωραφή (σχήμα 4.9) είτε με λεπίδες συγκολλημένες με εξωραφές (σχήμα 4.10), είτε τέλος και σπανιότερο με εσωραφή αλλά όμως ενισχυμένη με εξωραφή (σχήμα 4.11).

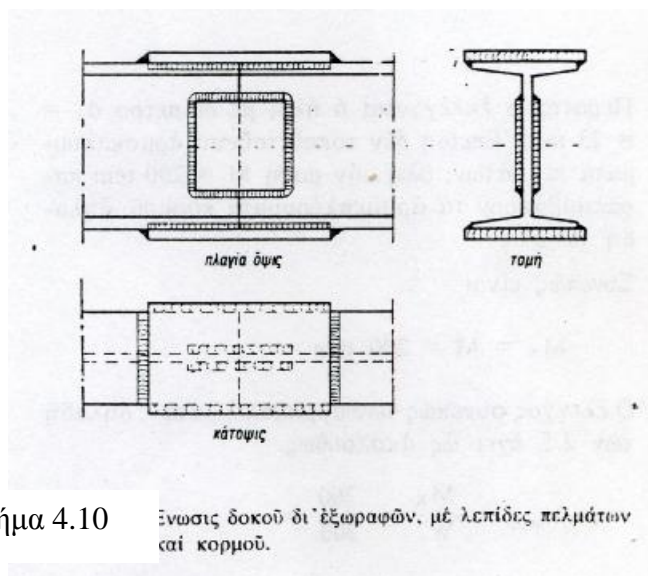


Σχήμα 4.9

Ένωση δοκού δι' εσωραφής.

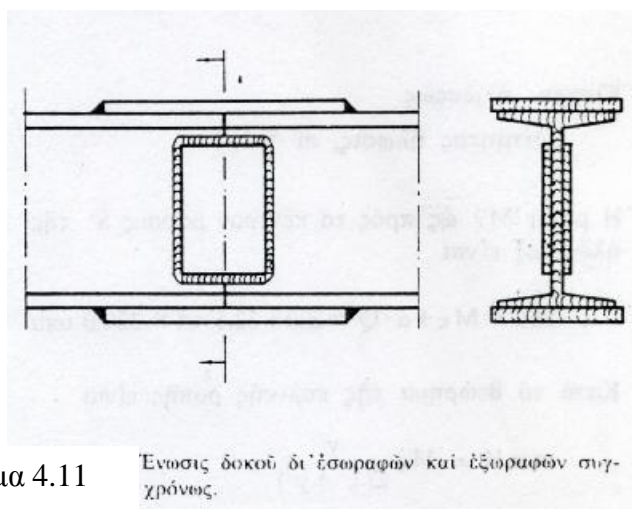
Οι επιτρεπόμενες τάσεις λαμβάνονται από τον πίνακα 2 των γερμανικών κανονισμών DIN 4100 από το Δεκέμβριο του 1968.

Για τις επιτρεπόμενες τάσεις στις εσωραφές πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η παράγραφος 5-4 του αυτού DIN η οποία σε συνδυασμό με την παράγραφο κεφαλαίου 3 προϋποθέτει αυστηρό έλεγχο της ποιότητας της εσωραφής και ειδικής ποιότητας χάλυβες, ώστε να ισχύουν οι επιτρεπόμενες τάσεις του πίνακα.



Σχήμα 4.10 Ένωση δοκού δι' εξωραφών, με λεπίδες πελμάτων και κορμού.

Λόγω του λόγου αυτού, επειδή είτε δεν τηρούνται οι απαιτήσεις των ανωτέρω παραγράφων, οπότε οι επιτρεπόμενες τάσεις του πίνακα λαμβάνονται μειωμένες, είτε διότι οι επιτρεπόμενες τάσεις του πίνακα είναι μικρότερες των επιτρεπόμενων για τον χάλυβα από τον οποίο αποτελείται η προς ένωση δοκός, δεν υφίσταται στις περιπτώσεις αυτές να γίνει πλήρης αποκατάσταση της διατομής με εσωραφή.



Σχήμα 4.11 Ένωση δοκού δι' εσωραφών και εξωραφών συγχρόνως.

Πλήρης αποκατάσταση της διατομής μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένωση των πελμάτων και του κορμού με την βοήθεια λεπίδων, συγκολλημένων με εξωραφές. Οι λεπίδες αυτές είναι οι ίδιες με τα αρμοκαλύμματα, που χρησιμοποιούνται κατά την ένωση με ήλωση.

Το πλάτος των αρμοκαλυμμάτων των πελμάτων είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο του πλάτους του πέλματος της προς συγκόλληση δοκού, κατά 1 έως 2 cm, ώστε να μπορεί επί του απομένοντος τμήματος να γίνει η εξωραφή.

Ο υπολογισμός της ενώσεως θα γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε η ένωση να μπορεί να παραλάβει τη ροπή κάμψεως M , την τέμνουσα Q , όπως και την τυχόν υπάρχουσα αξονική δύναμη N στην θέση της ενώσεως.

Αν αναζητείται πλήρης αποκατάσταση της διατομής, τότε ως M νοείται η μέγιστη δυνατή, να αναληφθεί ροπή από την διατομή της δοκού, αλλιώς ως M νοείται η ροπή που προκύπτει από το Δ.Ρ.Κ. στην θέση της ενώσεως.

Πάντως, όπως και να θεωρηθεί η M , αυτή όπως και η αξονική δύναμη N , θεωρούνται ότι παραλαμβάνονται από τις λεπίδες πελμάτων και κορμού για ένωση με εξωραφές και από την ολική επιφάνεια ραφής σε περίπτωση εσωραφής, ενώ η τέμνουσα δύναμη Q παραλαμβάνεται μόνο από τις λεπίδες κορμού σε περίπτωση εξωραφής, και της εσωραφής κορμού, σε περίπτωση εσωραφής.

Αν

M_λ η ροπή η αναλαμβανόμενη υπό των λεπίδων πέλματος

N_λ η ορθή δύναμη η αναλαμβανόμενη υπό των λεπίδων πέλματος

F_λ και F_κ τα εμβαδά λεπίδων πελμάτων και κορμού αντιστοίχως.

J_λ και J_κ οι ροπές αδράνειας λεπίδων πελμάτων και κορμού αντιστοίχως

$J = J_\lambda + J_\kappa$ η ολική ροπή λεπίδων πελμάτων και κορμού

$F = F_\lambda + F_\kappa$ το ολικό εμβαδόν λεπίδων πελμάτων και κορμού

Τότε :

$$M_l = M \cdot \frac{J_l}{J}, M_k = M \cdot \frac{J_k}{J} \quad (1),(2)$$

$$N_l = N \cdot \frac{F_l}{F}, N_k = N \cdot \frac{F_k}{F} \quad (2),(3)$$

Οι απαιτούμενοι έλεγχοι τότε έχουν ως ακολούθως.

1. Ένωση μέσω εσωραφής.

2. Γίνεται πρώτα ο έλεγχος της δοκού.

Αν M η ροπή στην ένωση από το Δ.Ρ.Κ. ή η μέγιστη ροπή που μπορεί να παραληφθεί από την διατομή και W_x η ροπή αντιστάσεως της διατομής, θα πρέπει

$$s_{pragm} = \frac{M}{W_x} \leq s_{epitr}^{calubov} \quad (5)$$

2. Γίνεται ο έλεγχος της συγκολλήσεως.

Έστω πάλι M η ροπή. Υπολογίζεται η ολική ροπή αδράνειας των εσωραφών.

$$J_w = \frac{b}{12} \cdot [h^3 - (h - 2 \cdot t)^3] + \frac{s \cdot h_1^3}{12} \quad (6)$$

Και η αντίστοιχη ροπή αντιστάσεως

$$W_w = \frac{J_w}{\frac{h}{2}} \quad (7)$$

Οπότε πρέπει

$$s_{wpragm} = \frac{M}{W_w} \leq s_{wepitr} \quad (8)$$

$$t_{ii} = \frac{Q}{h_1 \cdot s} \leq t_{epitr} \quad (9)$$

Όπου Q η διατμητική δύναμη στην θέση της ενώσεως.

2. Ένωση δια εξωραφών (σχήματα 4.12 και 4.13).

a. Γίνεται έλεγχος της διατομής όπως παραπάνω.

b. Γίνεται έλεγχος αντοχής αρμοκαλυμάτων. Αν M η ροπή κάμψεως όπως παραπάνω και W η ροπή αντιστάσεως του συνόλου των αρμοκαλυμάτων, τότε πρέπει

$$S_{pragm} = \frac{M}{W} \leq S_{epitr} \quad (10)$$

c. Γίνεται ο έλεγχος των συγκολλήσεων

- Γίνεται ο έλεγχος των ραφών πελμάτων. Η μεταφερόμενη δύναμη στα αρμοκαλύματα πελμάτων είναι

$$S_d = S_z = b_2 \cdot t_2 \cdot S_m \quad (11)$$

όπου S_m η μέση τάση, που δίνεται από την σχέση

$$S_m = \max S \frac{h + t_2}{h + 2 \cdot t_2} \quad (12)$$

Παρακάτω βρίσκεται το ολικό εμβαδό F_w των ραφών του κορμού κάθε πέλματος.

$$F_w = 2 \cdot \left(\frac{l_2}{2} a_2 \right) \cdot a_2 + (b - 2 \cdot a_2) \cdot a_2$$

και ελέγχεται η διατμητική τάση

Πρέπει

$$t_{ii} = \frac{S_d}{F_w} \leq t_{epitr} \quad (13)$$

Περαιτέρω η $\sigma_{πραγμ}$ που βρέθηκε από την σχέση (10) υφίσταται σε ύψος $h / 2 + t_2$ από τον άξονα $\chi - \chi$. Βρίσκεται η $\sigma'_{πραγμ}$ η οποία υφίσταται σε ύψος $h / 2$ και η οποία αποτελεί την ορθή τάση στη μετωπική ραφή, στο ύψος της ευρεθείσας τ_{ii} κατά την σχέση (13)

Είναι

$$s_w = s'_{pragm} = s_{pragm} \cdot \frac{\frac{h}{2}}{\frac{h}{2} + t_2} \quad (14)$$

Θα πρέπει συνεπώς

$$s_w \leq s_{w_{epitr}} \quad (15)$$

Τέλος, εφόσον μία τουλάχιστον εκ των τ_{ii} και s_w υπερβαίνει την οριακή τάση που δίδεται από τον πίνακα, πρέπει να ελεγχθεί και η τάση συγκρίσεως

$$s_n = \sqrt{s_w^2 + t_{ii}^2 + t^2} \leq s_{n_{epitr}} \quad (16)$$

Ομοίως πρέπει κατά τον πίνακα 5.13 πάλι

$$s_w + \sqrt{t^2 + t_{ii}^2} \leq 1.35 \text{ t/cm}^2 \text{ ή } 1.7 \text{ t/cm}^2 \quad (17)$$

Αντίστοιχα για ποιότητες χάλυβα St37 ή St52. Αν δεν ικανοποιείται η (17) τότε ελέγχεται η τάση συγκρίσεως.

- Γίνεται έλεγχος ραφών κορμού.

Η αναλογούσα ροπή M_k στον κορμό είναι

$$M_k = M \cdot \frac{J_{κορμό}}{J_{ολικό}} \quad (18)$$

Όπου M η ροπή κάμψεως στην ένωση.

Έστω e η απόσταση του κέντρου βάρους S των ραφών από την γραμμή της ένωσης. Η ροπή κάμψεως M'_k ως προς το σημείο S είναι αυξημένη κατά την ποσότητα $e \cdot Q$, όπου Q η διατμητική δύναμη στην ένωση.

Άρα είναι

$$M'_k = M_k + e \cdot Q \quad (19)$$

Βρίσκονται στη συνέχεια οι ροπές αδράνειας J_N και J_y ως προς τους κύριους άξονες, τους διερχομένους δια του S . Τέλος βρίσκεται η πολική ροπή J_p , για την οποία είναι

$$J_p = J_N + J_y \quad (20)$$

Σύμφωνα με το θεώρημα της πολικής ροπής είναι

$$s_H = M'_k \cdot \frac{y}{J_p} \quad (21)$$

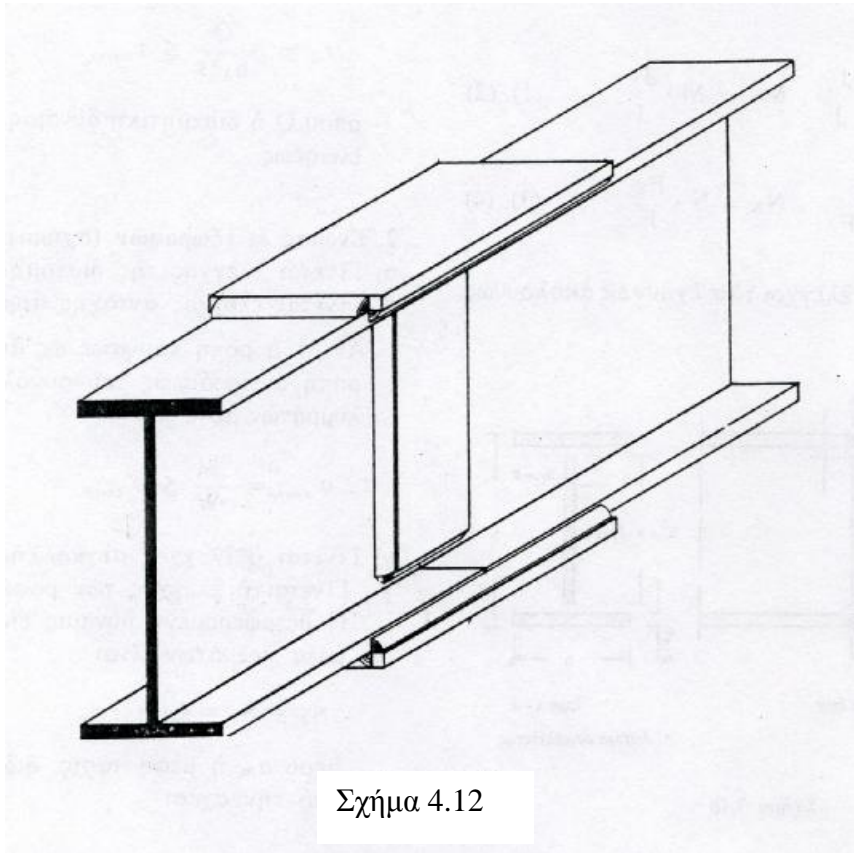
$$s_n = M'_k \cdot \frac{c}{J_p} + \frac{Q}{F_w} \quad (22)$$

Και

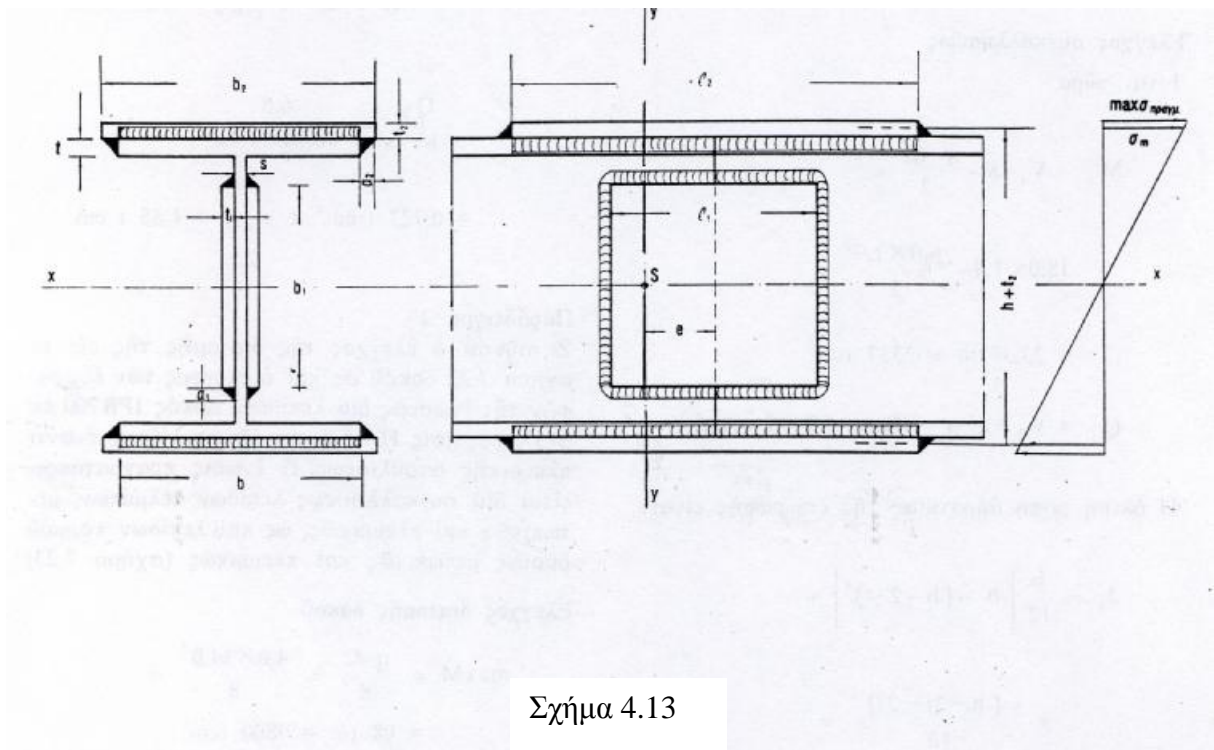
$$\max s = \sqrt{s_H^2 + s_n^2} \quad (23)$$

Πρέπει και

$$\max s \leq s_{\text{wepitr}}$$



Σχήμα 4.12



Σχήμα 4.13

Κεφάλαιο 5

ΚΑΤΑΠΙΟΝΗΣΗ ΕΛΑΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Ο κεντροβαρικός κατακόρυφος άξονας $y - y$ της διατομής είναι και άξονας συμμετρίας.

Υπό την προϋπόθεση ότι όλες οι εξωτερικές δυνάμεις ενεργούν κάθετα προς τον κατά μήκος άξονα της δοκού, η ορθή τάση σε οποιοδήποτε σημείο της διατομής, που απέχει y από τον άξονα $\chi - \chi$ της διατομής, θα είναι

$$s = \frac{M}{J} \cdot y$$

Στις ακραίες ίνες, με αποστάσεις από τον άξονα $\chi - \chi$ e_d για τις θλιβόμενες ίνες και e_z για τις εφελκόμενες, θα παρουσιάζεται η μέγιστη θλιπτική η εφελκυστική τάση, αντίστοιχα, και θα είναι

$$\max s_d = \frac{M}{J} \cdot e_d = \frac{M}{\frac{J}{e_d}} = \frac{M}{W_d}$$

$$\max s_z = \frac{M}{W_z}$$

όπου M η ροπή κάμψεως και J η ροπή αδράνειας της διατομής.

Στην εξίσωση (2), αν η δοκός είναι εξασθενημένη, λόγω οπών προς ήλωση στο εφελκόμενο τμήμα, τότε

$$W_z = \frac{J - \Delta J}{e_z}$$

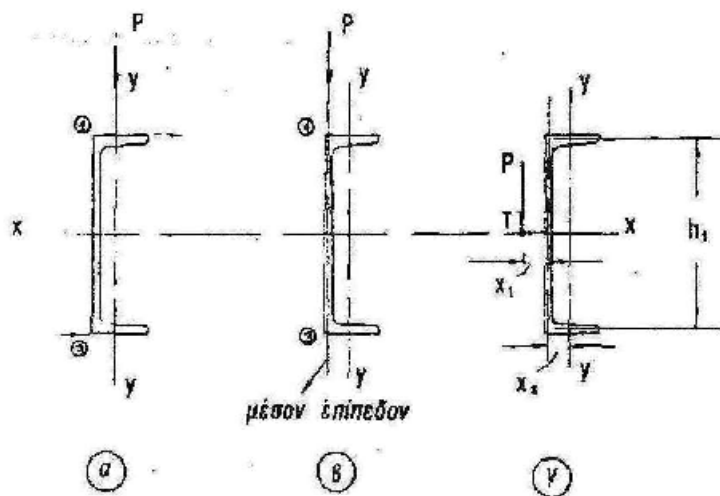
Ο κεντροβαρικός κατακόρυφος άξονας $y - y$ της διατομής δεν είναι άξονας συμμετρίας.

Π.χ. για διατομές Z δεν ισχύουν οι σχέσεις (1) και (2) της παραγράφου. Ακόμη και όταν το επίπεδο φορτίσεως συμπίπτει με τον κεντροβαρικό (αλλά άσυμμετρο) άξονα κατά το σχήμα 5.1 (α)

Για κατακόρυφο φόρτιση προκαλούνται τότε πρόσθετες τάσεις στρέψεως (κάμψης του εφελκόμενου κάτω πέλματος προς τον κορμό της διατομής και κάμψης του θλιβομένου άνω πέλματος προς τα αριστερά κατά το σχήμα 5.1(α)) Η ασύμμετρη διανομή των τάσεων από κάμψη επί των πελμάτων του [έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της $\max \sigma$. Πειραματικές μετρήσεις σε ένα [300 έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

α. Αν το επίπεδο φορτίσεως συμπίπτει με τον κατακόρυφο κεντροβαρικό άξονα $y - y$, τότε στην ακραία ίνα 1 αυξάνει η θλιπτική τάσης κατά 90%, ενώ στην ακραία εφελκυστική 3 αυξάνει η εφελκυστική κατά 67%.

β. Αν το επίπεδο φορτίσεως συμπίπτει με το μέσο επίπεδο του κορμού (σχήμα 5.1 (β)) τότε η αύξηση στην ίνα 1 είναι 53 % ενώ στην 3 είναι 36%



Σχήμα 5.1

Επομένως αν απαιτείται να διαμορφωθεί δοκός από ένα μόνο [(πράγμα το όποιο πρέπει να αποφεύγεται) θα πρέπει το επίπεδο φορτίσεως να συμπίπτει με το κεντροβαρικό επίπεδο του κορμού. Διπλή διατομή][ή [] ως δοκός, αποτελεί συμμετρική δοκό, για την οποία ισχύουν οι σχέσεις (1) και (2).

Στην περίπτωση χρησιμοποίησεως μεμονωμένων δοκών διατομής [, συνιστάται, για μία κατά προσέγγιση εκτίμηση των πραγματικών τάσεων, να εισάγονται στον υπολογισμό όχι οι υπό των πινάκων τιμές των W , αλλά οι κατά h % μειωμένες, όπου h το ύψος της διατομής σε cm.

Τέλος αν το επίπεδο φορτίσεως βρεθεί στο κέντρο διατομής τ , σε απόσταση χ_1 δηλαδή από το μέσο επίπεδο του κορμού (σχήμα 5.1 (γ)) τότε ισχύουν πάλι οι (1) και (2) της παραγράφου.

ΛΟΞΗ ΚΑΜΨΗ

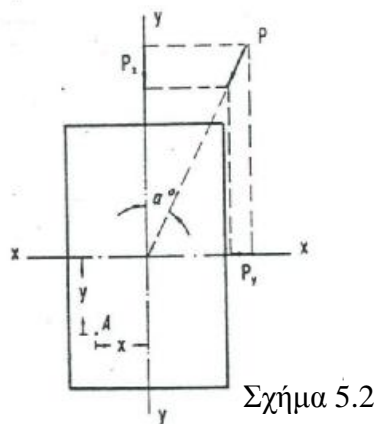
ΛΟΞΗ ΚΑΜΨΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Αν το επίπεδο φορτίσεως (καμπτικό επίπεδο) δεν βρίσκεται σε κανένα από τα δύο επίπεδα συμμετρίας, αλλά διέρχεται μόνο από τον κεντροβαρικό άξονα της δοκού (τομή των δύο επιπέδων συμμετρίας), τότε παρουσιάζεται η λοξή κάμψη. Η ροπή κάμψης (ή οι προκαλούσες αυτήν δυνάμεις) αναλύονται κατά τις διευθύνσεις των κυρίων αξόνων σε M_x και M_y (σχήμα 5.2) κατά τις σχέσεις

$$M_x = M \cdot \sin \alpha \quad M_y = M \cdot \cos \alpha$$

$$P_x = P \cdot \sin \alpha \quad P_y = P \cdot \cos \alpha$$

Κατά αυτόν τον τρόπο η λοξή κάμψη αναλύεται σε διπλή κάμψη.



Οι ροπές M_x και M_y προκαλούν αντίστοιχα τις τάσεις

$$s_x = \pm \frac{M_x}{W_x} \quad s_y = \pm \frac{M_y}{W_y}$$

Η επαλληλία των τάσεων αυτών προκαλεί διάφορες τάσεις στις 4 γωνίες του ορθογωνίου σχήματος 5.2, οι οποίες παρέχονται από την σχέση

$$\max s = s_c + s_y = \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y}$$

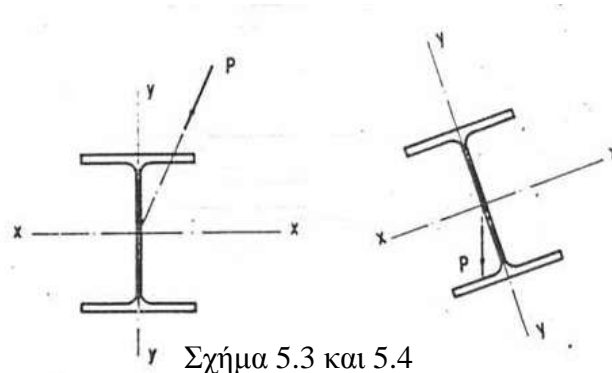
Η τάση σε τυχαίο σημείο είναι εξάλλου

$$s = \pm \frac{M_x}{J_x} \cdot y \pm \frac{M_y}{J_y} \cdot x$$

Και για το συγκεκριμένο σημείο Α τού σχήματος 5.2

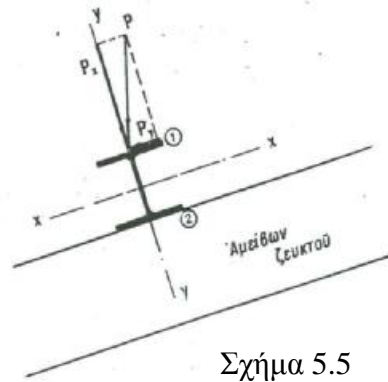
$$s_A = + \frac{M_x}{J_x} \cdot y + \frac{M_y}{J_y} \cdot x$$

Σε διατομές διπλής συμμετρίας π.χ. I η σχέση έχει εφαρμογή, όταν η δύναμη P, η προκαλούσα την ροπή M ή τις συνιστώσες αυτής M_x , M_y , διέρχεται δια του κεντροβαρικού (κατά μήκος) άξονα της δοκού (σχήμα 5.3). Τούτο συμβαίνει π.χ. σε λοξές δοκούς υπό την επενέργεια του ίδιου τους βάρους (σχήμα 5.4).



Σχήμα 5.3 και 5.4

Στην περίπτωση όμως δοκίδων (τεγίδων) στέγης, οι οποίες τοποθετούνται λοξά, οι οποίες ακολουθούν την κλίση του αμείβοντος του ζευκτού, επί του οποίου στηρίζονται, είναι λάθος να θεωρηθεί ότι η P διέρχεται δια του κεντροβαρικού άξονα. Η αληθής εφαρμογή της P και των συνιστωσών P_x και P_y φαίνεται στο σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5

Σημειωτέο ότι η P προέρχεται από τα κατακόρυφα φορτία επί της επικαλύψεως της στέγης. Στο σχήμα 5.5 αναπτύσσεται μία έκκεντρη φόρτιση, η οποία προκαλεί μία πρόσθετη ροπή στρέψεως τώρα, η οποία πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν.

Προς απλοποίηση του υπολογισμού επιτρέπεται να μην ληφθεί υπόψιν η ροπή στρέψεως, αλλά κατά τον υπολογισμό των τάσεων να ληφθεί αντί της W_y η $W_y/2$

Η μέγιστη τάση παρουσιάζεται στο σημείο 1 και είναι:

$$s_1 = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{\frac{1}{2} \cdot W_y}$$

Στο σημείων (2) εξ άλλου η τάση είναι

$$s_2 = \frac{M_x}{W_x}$$

ΕΚΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΠΛΗ ΚΑΜΨΗ

Η διατομή, η οποία θα εκλεγεί, πρέπει προφανώς να ικανοποιεί την σχέση

$$s_{pragm} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq s_{epitr}$$

Επειδή όμως στην σχέση (1) περιέχονται δύο άγνωστοι, οι W_x , και W_y , αναζητείται μία δεύτερη σχέση αυτών. Θέτουμε

$$\frac{W_x}{W_y} = C$$

και συνεπώς η (1) γράφεται

$$\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{\frac{W_x}{C}} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{C \cdot M_y}{W_x}$$

$$\text{ή } \frac{M_x + C \cdot M_y}{W_x} \leq S_{epitr}$$

$$\text{ή τέλος } W_x \geq \frac{M_x + C \cdot M_y}{S_{epitr}}$$

Οι τιμές του C τοποθετούνται προσεγγιστικά. Βρίσκεται η W_x , εκλέγεται έλασμα και στη συνέχεια, επειδή το C επιλέχθηκε αυθαίρετα, γίνεται έλεγχος των τάσεων.

Πάντως οι τιμές του C είναι για τις διάφορες διατομές προσεγγιστικά.

α. Υψίκορμα I $8 \leq C \leq 10$

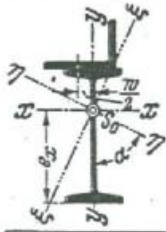
β. Πλατύπελμα IPB $C \approx 3$

ΛΟΞΗ ΚΑΜΨΗ ΑΣΥΜΜΕΤΡΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Η περίπτωση της λοξής κάμψεως σε διατομή χωρίς άξονα συμμετρίας, και μία τέτοια διατομή προκύπτει όταν ράβδοι με άξονες συμμετρίας ή μη, ενωθούν σε μία διατομή, αντιμετωπίζεται με την επιστροφή στους άξονες συμμετρίας ή κεντροβαρικούς των μεμονωμένων ράβδων, από τις οποίες προκύπτει η σύνθετη, ασύμμετρη διατομή και της εύρεσης με την βοήθεια των στοιχείων κάθε ράβδου, των στοιχείων της συνθέτου διατομής.

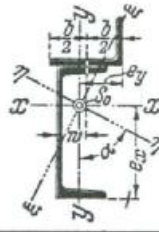
Πίνακας 5.1

Στατικά μεγέθη ενός I ή C εις συνδιασμό με γωνιακό (άκραιο τεγίς)



Διάταξι I Οι κεντροβαρικοί άξονες των επί μέρους διατομών κείνται επί του άξονος $y-y$ της ενιαίας διατομής

κατά DIN 1029

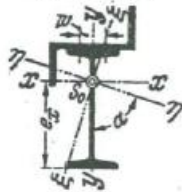


Διάταξι II Η άξονική απόστασις των όπών W του C συμπίπτει με τό μέσον του μήκουσ b του σκέλουσ τους ως κοινός άξων όπών

κατά DIN 1029

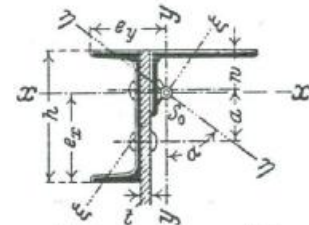
Διατομαί		F	e_x	J_x	J_y	J_{xy}	εφα	J_z	J_η	(max)		Διατομαί		F	e_x	e_y	J_x	J_y	J_{xy}	εφα	J_z	J_η	(max)								
I		cm ²	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴		cm ⁴	cm ⁴	I		cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴		cm ⁴	cm ⁴	I		cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴		cm ⁴	cm ⁴
140	100 x 50 8	29,8	10,1	1 059	151		34,028	150	1 060	140	100 x 50 8	31,9	9,93	5,61	1 111	252	216	4,214	201	1 162	140	100 x 50 8	31,9	9,93	5,61	1 111	252	216	4,214	201	1 162
160		34,3	11,1	1 592	171		53,296	171	1 592	160		35,5	11,0	5,67	1 593	275	245	5,559	231	1 637											
180		39,4	12,0	2 305	197	26,7	79,035	197	2 305	180		39,5	12,0	6,06	2 206	329	315	6,123	278	2 257											
200		45,0	12,8	3 201	233		110,89	233	3 201	200		43,7	12,9	6,10	2 979	362	347	7,667	317	3 024											
140	100 x 65 9	32,5	10,8	1 210	176		22,022	174	1 212	140	100 x 65 9	34,6	10,5	5,34	1 269	302	294	3,570	220	1 351	140	100 x 65 9	34,6	10,5	5,34	1 269	302	294	3,570	220	1 351
160		37,0	11,7	1 786	196	47,0	33,861	195	1 787	160		38,2	11,6	5,42	1 792	326	333	4,619	254	1 864											
180		42,1	12,6	2 552	222		49,817	221	2 553	180		42,2	12,6	5,81	2 453	388	422	5,090	305	2 536											
200		47,7	13,5	3 526	258		68,983	257	3 527	200		46,4	13,6	5,87	3 280	422	466	6,292	348	3 354											
180	130 x 65 8	43,0	12,6	2 548	344		35,800	342	2 550	180	130 x 65 8	43,1	12,6	7,17	2 450	536	470	4,305	427	2 559	180	130 x 65 8	43,1	12,6	7,17	2 450	536	470	4,305	427	2 559
200		48,6	13,5	3 530	380	61,5	51,303	379	3 531	200		47,3	13,6	7,24	3 284	570	521	5,396	474	3 380											
220		54,7	14,4	4 778	425		70,885	425	4 778	220		52,5	14,6	7,62	4 381	659	634	6,036	554	4 486											
240		61,2	15,3	6 328	484		94,960	483	6 329	240		57,4	15,5	7,66	5 634	708	688	7,297	614	5 728											
180	120 x 80 10	47,0	13,4	2 888	357		21,281	308	2 937	180	120 x 80 10	47,1	13,4	5,97	2 810	595	613	3,871	441	2 964	180	120 x 80 10	47,1	13,4	5,97	2 810	595	613	3,871	441	2 964
200		52,6	14,3	3 973	393	96,0	35,066	358	4 008	200		51,3	14,4	6,08	3 720	630	678	4,766	488	3 862											
220		58,7	15,2	5 317	438		56,472	412	5 343	220		56,5	15,4	6,51	4 908	729	823	5,272	568	5 069											
240		65,2	16,1	6 974	497		92,386	477	6 940	240		61,4	16,3	6,59	6 259	780	895	6,285	637	6 402											

Συνέχεια πίνακος 5.1



Διάταξι III Συνδιασμός I και C. Οι κεντροβαρικοί άξονες των επί μέρους διατομών κείνται επί του κοινού κεντροβαρικού άξονος $y-y$ (της ενιαίας διατομής)

I κατά DIN 1025 Φύλ. 1, C κατά DIN 1027



Σχήμα πίνακος 4.2

Διατομαί		F	e_x	J_x	J_y	J_{xy}	εφα	J_z	J_η	(max)		Διατομαί		F	e_x	J_x	J_y	J_{xy}	εφα	J_z	J_η	(max)							
I		cm ²	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴		cm ⁴	cm ⁴	I		cm ²	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴		cm ⁴	cm ⁴	I		cm ²	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴		cm ⁴	cm ⁴
120	100	28,7	9,20	688	244	97,2	4,778	224	708	180	140	50,8	13,2	2 709	757	239	8,287	729	2 737	200	160	55,4	13,7	2 891	1 134	358	5,104	1 064	2 961
	120	32,4	9,57	756	424	158	2,501	361	819		160	66,6	14,5	3 270	2 380	674	1,859	2 017	3 633										
	140	37,1	9,95	835	698	239	1,327	518	1 015		140	56,4	14,2	3 759	793	239	12,497	774	3 778										
	160	41,7	10,2	926	1 075	358	0,813	635	1 366		160	61,0	14,7	3 992	1 170	358	8,010	1 125	4 037										
140	200	52,9	10,8	1 124	2 321	674	0,449	821	2 624	200	200	72,2	15,6	4 477	2 416	674	3,356	2 215	4 678	220	160	67,1	15,7	5 389	1 215	358	11,740	1 185	5 419
	100	32,8	10,2	1 080	257	97,2	8,584	246	1 091		160	78,3	16,7	6 005	2 461	674	5,441	2 337	6 129										
	120	36,5	10,7	1 172	437	158	4,858	405	1 204		140	73,6	16,6	7 120	1 274	358	16,389	1 252	7 142										
	140	41,2	11,1	1 278	711	239	2,738	624	1 365		200	84,8	17,7	7 894	2 520	674	8,092	2 437	7 977										
160	160	45,8	11,5	1 390	1 088	358	1,507	851	1 627	240	160	80,9	17,6	9 223	1 341	358	22,069	1 325	9 239	260	160	92,1	18,7	10 186	2 587	674	11 360	2 528	10 245
	200	57,0	12,1	1 629	2 334	674	0,605	1 221	2 742		160	84,8	17,7	7 894	2 520	674	8,092	2 437	7 977										
	120	41,0	11,7	1 747	457	158	8,284	438	1 766		160	80,9	17,6	9 223	1 341	358	22,069	1 325	9 239										
	140	45,7	12,2	1 889	731	239	5,044	684	1 936		200	92,1	18,7	10 186	2 587	674	11 360	2 528	10 245										

Πίνακας 5.2

Στατικά μεγέθη διά συνδυασμό] και Γ (άκραία ταίρια)

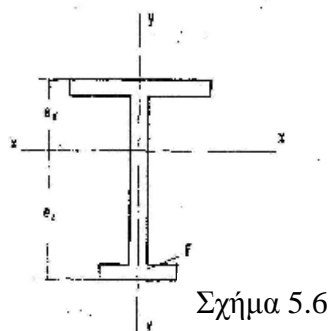
Διατομή		F cm ²	όμοιες κεντροβαρικές αξόνων εις cm					Ροπή αδράνειας εις cm ⁴					Γνώμενα αδράνειας εις cm ⁴						
] Γ [=] mm	mm		e διά r εις mm					J _x διά r εις mm					J _y διά r εις mm						
			0	8	10	12	15	0	8	10	12	15	0	8	10	12	15		
120 140	100×65 7	28.2 31.6	7.78 8.95	5.82 6.92	6.14 6.30	6.22 6.37	6.29 6.44	6.41 6.55	538 861	314 355	370 417	386 434	402 452	427 479	185 236	209 268	215 275	221 283	230 295
120 140	100×65 9	31.2 34.6	8.01 9.22	6.14 6.31	6.50 6.66	6.59 6.74	6.69 6.82	6.82 6.95	561 897	371 419	437 492	455 512	474 533	503 565	215 277	242 313	249 322	256 311	266 348
140 160	130×75 8	36.3 39.9	9.34 10.5	6.93 7.13	7.28 7.45	7.36 7.53	7.45 7.61	7.58 7.73	929 1379	672 729	765 830	790 857	816 885	856 928	372 456	410 505	419 517	429 529	441 547
140 160	150×75 9	39.9 43.5	9.65 10.9	7.69 7.85	8.08 8.21	8.17 8.30	8.27 8.39	8.42 8.52	977 1448	1010 1086	1129 1215	1161 1250	1193 1285	1243 1340	488 600	531 655	542 669	553 683	569 703
160 180 200	120×80 8	39.5 43.5 47.7	10.4 11.5 12.6	6.88 7.13 7.39	7.20 7.41 7.65	7.28 7.49 7.71	7.36 7.56 7.78	7.47 7.66 7.88	1360 1942 2683	614 670 731	706 768 835	730 795 864	756 822 893	795 864 938	407 488 576	453 545 644	464 559 661	476 574 678	493 595 704
160 180 200 220 240 260	120×80 10	43.1 47.1 51.3 55.5 59.7	10.7 11.9 13.0 14.1 15.2	7.21 7.45 7.70 7.94 8.18	7.57 7.77 8.00 8.24 8.48	7.66 7.85 8.07 8.30 8.53	7.74 7.93 8.14 8.36 8.59	7.88 8.06 8.26 8.47 8.68	1412 2016 2786 3689	714 777 846 917	819 891 967 1041	847 921 1000 1075	877 953 1033 1110	922 1002 1086 1163	467 563 668 781	518 628 746 874	531 644 765 899	544 660 784 918	561 684 813 947
200 220 240 260	130×90 10	53.4 58.6 63.5 68.5	13.1 14.2 15.3 16.3	7.94 8.14 8.40 8.63	8.25 8.42 8.67 8.87	8.33 8.50 8.73 8.93	8.41 8.57 8.80 8.99	8.53 8.68 8.90 9.08	2834 3884 5101 6689	991 1090 1181 1299	1125 1235 1334 1462	1161 1274 1375 1506	1198 1314 1417 1551	1256 1376 1483 1620	748 883 1017 1170	828 978 1128 1297	848 1002 1155 1329	868 1026 1183 1361	898 1062 1225 1409
180 200 220 240 260	150×100 10	52.2 56.4 61.6 66.5 72.5	12.1 13.3 14.4 15.5 16.6	8.20 8.41 8.59 8.83 9.03	8.57 8.76 8.90 9.12 9.30	8.66 8.84 8.98 9.19 9.36	8.75 8.93 9.06 9.26 9.43	8.89 9.06 9.18 9.37 9.53	2123 2919 3990 5235 6850	1252 1342 1457 1561 1696	1400 1500 1629 1744 1891	1440 1543 1675 1793 1943	1480 1587 1723 1843 1996	1543 1654 1796 1920 2078	784 915 1077 1239 1425	854 999 1151 1358 1562	871 1021 1204 1388 1596	889 1042 1230 1418 1631	915 1073 1270 1462 1682

Διατομή		F cm ²	εφα διά r εις mm					Ροπή αδράνειας εις cm ⁴									
] Γ [=] mm	mm		e διά r εις mm					J _x διά r εις mm					J _y (= max J _x) εις mm				
			0	8	10	12	15	0	8	10	12	15	0	8	10	12	15
120 140	100×65 7	28.2 31.6	1,774 2,538	1,480 2,127	1,414 2,043	1,354 1,956	1,270 1,839	210 262	229 291	234 300	239 308	246 319	642 954	679 987	690 995	701 1005	719 1021
120 140	100×65 9	31.2 34.6	1,821 2,183	1,288 1,838	1,235 1,763	1,184 1,691	1,115 1,591	231 292	249 322	253 330	258 337	265 348	701 1024	749 1067	763 1079	777 1093	799 1114
140 160	130×75 8	36.3 39.9	1,403 1,941	1,220 1,682	1,180 1,625	1,140 1,571	1,086 1,494	407 499	429 530	435 539	440 549	448 562	1,194 1,619	1,263 1,679	1,284 1,697	1,305 1,715	1,327 1,745
140 160	150×75 9	39.9 43.5	0,967 1,346	0,867 1,194	0,845 1,159	0,824 1,127	0,793 1,080	505 640	517 666	519 673	522 679	526 689	1,482 1,894	1,589 1,997	1,619 2,025	1,648 2,054	1,694 2,099
160 180 200	120×80 8	39.5 43.5 47.7	2,273 2,946 3,662	1,955 2,547 3,184	1,888 2,459 3,077	1,726 2,372 2,976	1,819 2,255 2,832	435 504 574	474 554 633	484 568 649	494 580 665	510 600 690	1,539 2,108 2,840	1,592 2,156 2,885	1,606 2,169 2,898	1,622 2,183 2,911	1,645 2,206 2,931
160 180 200	120×80 10	43.1 47.1 51.3	1,996 2,587 3,216	1,725 2,238 2,796	1,665 2,165 2,705	1,606 2,089 2,618	1,526 1,986 2,492	480 560 638	519 611 701	528 624 717	539 637 734	553 658 760	1,646 2,233 2,994	1,712 2,296 3,052	1,731 2,313 3,069	1,750 2,332 3,085	1,781 2,360 3,112
180 200 220 240 260	130×90 10	49.2 53.4 58.6 63.5 69.5	2,250 2,819 3,454 4,098 4,815	1,965 2,469 3,038 3,616 4,264	1,900 2,391 2,945 3,511 4,141	1,840 2,317 2,855 3,408 4,023	1,753 2,210 2,728 3,260 3,857	637 726 834 933 1,056	687 790 914 1,023 1,158	700 807 934 1,046 1,185	713 823 955 1,070 1,213	733 850 987 1,107 1,255	2,336 3,099 3,940 4,849 5,932	2,410 3,169 4,005 4,912 6,093	2,431 3,188 4,024 4,935 6,118	2,455 3,209 4,043 4,958 6,142	2,486 3,240 4,073 4,988 6,173
180 200 220 240 260	150×100 10	52.2 56.4 61.6 66.5 72.5	1,701 2,182 2,700 3,271 3,874	1,509 1,937 2,456 2,918 3,450	1,457 1,879 2,356 2,832 3,351	1,425 1,826 2,280 2,754 3,279	1,341 1,750 2,178 2,645 3,154	787 918 1,064 1,228 1,408	832 986 1,148 1,278 1,439	846 1,000 1,165 1,303 1,470	853 1,016 1,178 1,328 1,499	873 1,040 1,213 1,368 1,545	2,588 3,343 4,183 5,114 6,218	2,691 3,432 4,271 5,202 6,301	2,718 3,462 4,301 5,232 6,347	2,750 3,490 4,335 5,265 6,380	2,793 3,533 4,373 5,308 6,413

ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΙΔΗΡΩΝ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΚΑΘΕΤΟ ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΙΔΗΡΩΝ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Αν η κάθετη δύναμη N ενεργεί στον κεντροβαρικό άξονα της δοκού, η τάση εφελκυσμού είναι η ίδια σε κάθε σημείο της διατομής.

Στην περίπτωση όπου η N ενεργεί έκκεντρα (δηλαδή ο άξονας ενέργειας της δεν συμπίπτει με τον κεντροβαρικό της δοκού) και σε απόσταση a (από τον κεντροβαρικό), μεταφέρεται η δύναμη N στον κεντροβαρικό και η εκ της μεταφοράς αυτής αναπτυσσόμενη ροπή $M_a=N \cdot a$ προστίθεται αλγεβρικός στην κάθετο προς τον κεντροβαρικό άξονα ενεργούσα φόρτιση. Οι επί μέρους τάσεις είναι τώρα για το σχήμα 5.6



$$s = + \frac{N}{F}$$

Εξαιτίας της εφελκυστικής δυνάμεως N , και

$$s'_d = - \frac{M}{W_d}$$

$$s'_z = + \frac{M}{W_z}$$

εξαιτίας της εξωτερικής ροπής M .

Κατά την αρχή της επαλληλίας είναι συνεπώς

$$s_d = + \frac{N}{F} - \frac{M}{W_d}$$

$$s_z = + \frac{N}{F} + \frac{M}{W_z}$$

Εφόσον στην διατομή υπάρχουν οπές για τους ήλους στο εφελκόμενο τμήμα, θα είναι:

$$s_d = +\frac{N}{F - \Delta F} - \frac{M}{W_d}$$

$$s_z = +\frac{N}{F - \Delta F} + \frac{M}{J - \Delta J} \cdot e_z$$

Σε περίπτωση διπλής κάμψης και ταυτοχρόνου εφελκυσμού η μέγιστη τάση θα είναι

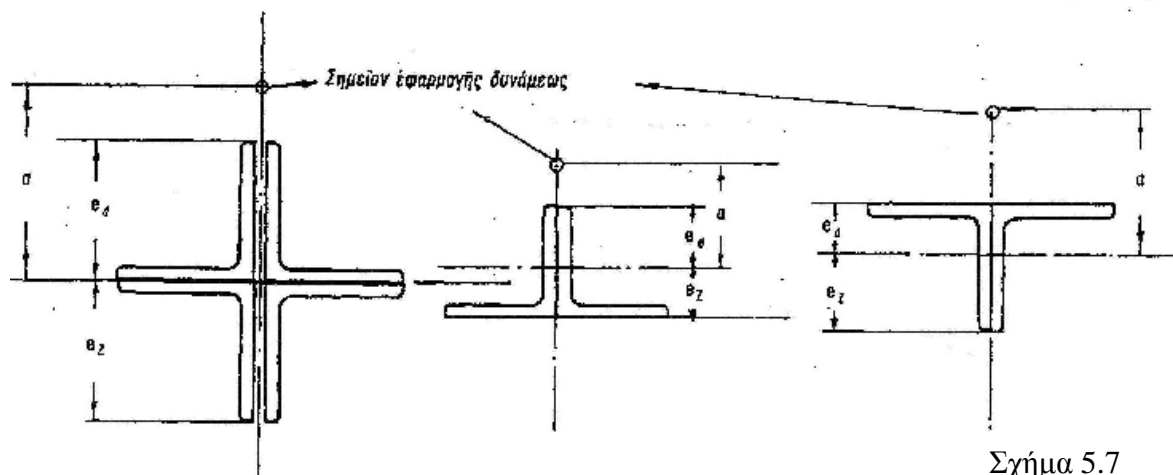
$$\max s = +\frac{N}{F} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y}$$

και εφόσον υπάρχουν οπές ήλων στο εφελκόμενο μέρος θα είναι:

$$\max s = +\frac{N}{F - \Delta F} + \frac{M}{J_x - \Delta J_x} \cdot e_z + \frac{M_y}{W_y}$$

ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΙΔΗΡΩΝ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΘΛΙΨΗ

Στην περίπτωση αυτή, είτε οι ροπές προέρχονται από εκ προϋποθέσεως έκκεντρη φόρτιση (σχήμα 5.7), είτε από φόρτιση της δοκού (συνήθεις ροπές κάμψεως), πρέπει οι τάσεις θλίψεως και εφελκυσμού να ικανοποιούν τις παρακάτω σχέσεις.



α. Για διατομές ράβδων, των οποίων το Κ.Β βρίσκεται σε ίση απόσταση από την ακμή εφελκυσμού στην κάμψη και την ακμή θλίψεως στην κάμψη ($e_z = e_d$), η των οποίων το Κ.Β βρίσκεται πλησιέστερα προς την ακμή εφελκυσμού στην κάμψη ($e_z < e_d$)

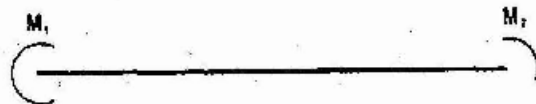
$$w \frac{N}{F} + 0.9 \frac{M}{W_d} \leq S_{epitr}$$

β. Για διατομές ράβδων, των οποίων το Κ.Β. βρίσκεται πιο κοντά προ την ακμή θλίψεως στην κάμψη εν σχέσει με την ακμή εφελκυσμού στην κάμψη ($e_z > e_d$) πρέπει να πληρούνται και οι δύο συνθήκες

$$w \cdot \frac{N}{F} + 0.9 \frac{M}{W_d} \leq S_{epitr}$$

$$w \cdot \frac{N}{F} + \frac{300 + 2I}{1000} \cdot \frac{M}{W_z} \leq S_{epitr}$$

Στους τύπους αθροίζονται οι απόλυτες τιμές των επί μέρους τάσεων (ιδεατών τάσεων).

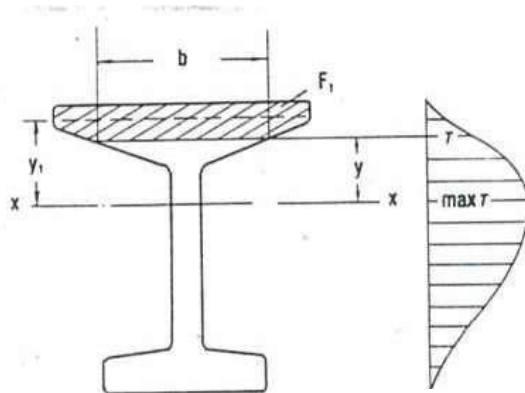


Σχήμα 5.8

ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΙΔΗΡΩΝ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Σε μία κάθετο προς τον άξονα της ράβδου διατομή εξετάσθηκαν οι ορθές τάσεις σ . Στο παρόν κεφάλαιο θα εξετασθούν οι διατμητικές τάσεις τ . Οι αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις τ είναι γενικά μικρές και γιαυτό δέν απαιτείται συνήθως ο υπολογισμός σε διάτμηση. Εξάιρεση αποτελούν όμως δοκοί με μικρό άνοιγμα και μεγάλη φόρτιση. Έτσι σε τέτοιες δοκούς οι διατμητικές δυνάμεις, όπως και οι ορθές, είναι αποφασιστικής σημασίας για την εκλογή της διατομής. Οι διατμητικές δυνάμεις, οι όποιες είναι ανάλογες των εξωτερικών καθέτων προς τον άξονα της δοκού δυνάμεων, κατανέμονται διαφορετικά στην επιφάνεια της διατομής, ανάλογα με την μορφή της τελευταίας.

Στις ακραίες (θλιβόμενες και εφελκυσόμενες) ίνες είναι μηδέν, ενώ στον οριζόντιο κεντροβαρικό άξονα λαμβάνουν την μέγιστη τιμή τους (σχήμα 5.9)



Σχήμα 5.9

Σε τυχαίο σημείο της διατομής η διατμητική τάση υπολογίζεται από την σχέση

$$t = \frac{Q \cdot S_x}{J_x \cdot b}$$

όπου:

Q η διατμητική δύναμη στην εξεταζόμενη διατομή

S_x η στατική ροπή της επιφανείας F_1 ως προς τον $\chi - \chi$ άξονα ($S = F_1 \cdot y_1$)

b Το πάχος της διατομής σε ύψος y από τον άξονα $\chi - \chi$. Η έκφραση προκύπτει από την συνθήκη ισοροπίας απειροστού ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου για $\Sigma \chi = 0$

$$-t_{yx} \cdot dx \cdot b + \int_l^{h/2} \tau \cdot ds \cdot b \cdot dy = 0$$

Όπου $d_x \cdot b$ το εμβαδόν της επιφάνειας αβγδα

$$s = \frac{M}{J} \cdot y$$

$$ds = \frac{dM}{J} \cdot y$$

$$Q = \frac{dM}{dx} \quad \text{και} \quad t_{xy} = t_{yx}$$

Άρα γράφεται

$$-t_{xy} \cdot dx \cdot b + \int_l^{h/2} \frac{dM}{J} \cdot y \cdot b \cdot dy = 0 \quad \text{ή}$$

$$-t_{xy} \cdot dx \cdot b + \frac{dM}{J} \int_l^{h/2} y \cdot b \cdot dy = 0 \quad \text{ή}$$

$$t_{xy} = \frac{\frac{dM}{J} \int_1^{h/2} y \cdot b \cdot dy}{dx \cdot b} = \frac{dM}{dx} \cdot \frac{\int_1^{h/2} y \cdot b \cdot dy}{J \cdot b}$$

Το ολοκλήρωμα όμως $\int_1^{h/2} y \cdot b \cdot dy$ δηλώνει την στατική ροπή S_z της επιφάνειας της διατομής, της περικλειόμενης μεταξύ ακραίας ίνας $h/2$ και ευθείας που απέχει απόσταση λ από τον άξονα Z , ως προς τον άξονα Z . Συνεπώς η (2) γράφεται

$$t_{xy} = \frac{Q \cdot S_z}{Jb}$$

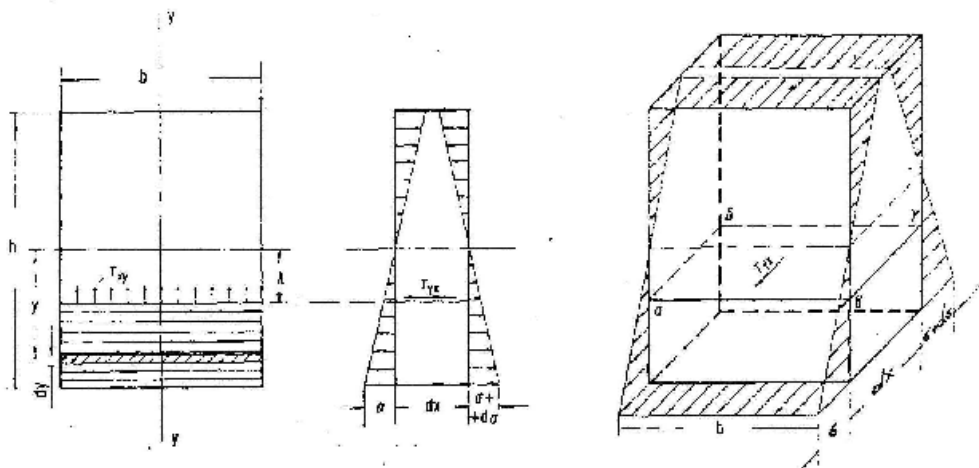
δηλαδή προκύπτει η

Επίσης γράφεται

$$t = \frac{Q}{s_x \cdot b}$$

$$s_x = \frac{J_x}{S_x}$$

όπου s_x η απόσταση των κέντρων βάρους της θλιβόμενης και εφελκυσόμενης επιφάνειας. Δεδομένης συνεπώς μιας από τις δύο, δηλαδή της αποστάσεως s_x ή της στατικής ροπής s_x , βρίσκεται η άλλη.



Σχήμα 5.10

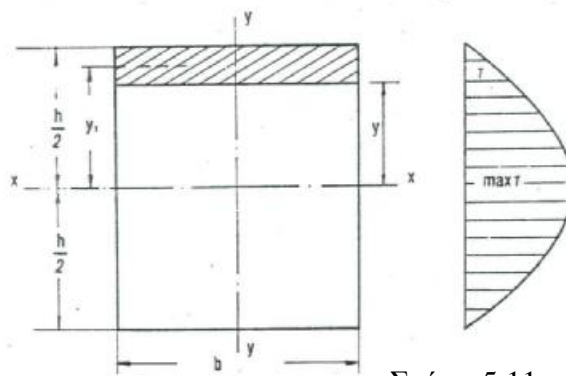
Οι τιμές των S_x και s_x βρίσκονται στους πίνακες. Η S_x εκεί όμως, αφορά την στατική ροπή της μισής διατομής, ενώ το εισαγόμενο στους υπολογισμούς της διατμήσης κατά τη σχέση είναι το S_x^A , το οποίο είναι

$$S_x^A = S_x^{misou} \quad - \text{στατική ροπή κορμού}$$

Το S_x^A παρέχεται πάντως απ' ευθείας από τον πίνακα 5.5. Η εύρεση του S_x^A απ' ευθείας από τον πίνακα 5.5 είναι αναγκαία σε δοκούς με μη παράλληλα πέλματα, όπως π.χ. σε υψίκορμους δοκούς I. διότι εκεί το ύψος h_1 του μισού κορμού και μάλιστα το ύψος αυτού, το περιλαμβανόμενο μεταξύ του άξονα $x-x$ και του σημείου συναρμογής με την καμπύλη, δεν υπολογίζεται από την σχέση

$$h_1 = \frac{h}{2} - t - r$$

όπου t το πάχος του πέλματος και r η ακτίνα συναρμογής, διότι το I δεν είναι σταθερό λόγω της κλίσεως της εσωτερικής επιφανείας του πέλματος και συνεπώς είναι δύσκολη η εκτίμηση του στο σημείο συναρμογής πέλματος και καμπύλης.



Σχήμα 5.11

Σε ορθογωνική διατομή, η διανομή των διατμητικών τάσεων είναι παραβολική (σχήμα 5.11). Η τυχούσα τάση σε θέση ύψους y βρίσκεται από την σχέση (1) :

$$y_1 = y + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} - y \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} + y \right)$$

$$S = \left(\frac{h}{2} - y \right) \cdot b \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} + y \right) = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{2} - y^2 \right) = \frac{b}{2} \left(\frac{\frac{h^2}{4} - y^2}{\frac{h^2}{4}} \right) \cdot \frac{h^2}{4} = \frac{h}{2} \left(1 - \frac{4y^2}{h^2} \right) \cdot \frac{h^2}{4} = \frac{b}{2} \left[1 - \left(\frac{2y}{h} \right)^2 \right] \cdot \frac{h^2}{4}$$

οπότε

$$t = \frac{Q \cdot S}{Jx \cdot b} = \frac{Q \cdot \frac{b}{2} \left[1 - \left(\frac{2y}{h} \right)^2 \right] \cdot \frac{h^2}{4}}{\frac{b \cdot h^3}{12} \cdot b} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{b \cdot h} \left[1 - \left(\frac{2y}{h} \right)^2 \right]$$

Η \max_t προκύπτει από την (2) για $y = 0$

$$\max_t = \frac{3}{2} \frac{Q}{b \cdot h} = 1,5 \frac{Q}{F}$$

ΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ

Για τον υπολογισμό των διατμητικών τάσεων στις διατομές I και II, χρησιμοποιείται στις μεταλλικές κατασκευές η ονομαζόμενη μέση τάση, που δίνεται από τον προσεγγιστικό τύπο

$$t = \frac{Q}{F_{\text{κορμού}}}$$

Ως $F_{\text{κορμού}}$ λαμβάνεται το πραγματικό εμβαδό του κορμού, χωρίς τα τυχόν γωνιακά ή Γ τα επιτιθέμενα προς αύξηση της διατομής. Εξ άλλου εφόσον οι υπολογισμοί αφορούν δομικά έργα και όχι έργα γεφυροποιίας, πρέπει από το $F_{\text{κορμού}}$ να αφαιρείται και το εμβαδό όλων των στην δυσμενέστερη διατομή βρισκόμενων οπών, δηλαδή στην σχέση αντί του $F_{\text{κορμού}}$, πρέπει να τίθεται το $F_{\text{nκορμού}}$

Γενικά αν t το πάχος κάθε πέλματος και s το πάχος του κορμού, θα είναι

$$F_{\text{κορμού}} = s \cdot (h - 2t)$$

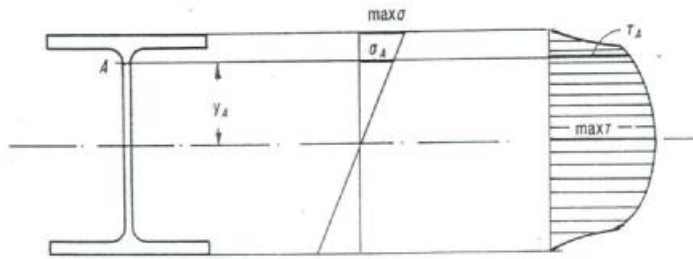
Εάν στον κορμό υπάρχουν οπές θα είναι

$$F_{\text{κορμού}} = (h - 2t) \cdot s - \Delta F$$

ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΤΑΣΗ

Στο σχήμα 5.12 δείχνεται ότι η διατμητική τάση τ , στο σημείο συναρμογής πέλματος και κορμού είναι περίπου ίση με την \max_t .

Ομοίως στην ίδια θέση, η ορθή τάση σ_A πολύ λίγο διαφέρει από την μέγιστη, η οποία παρουσιάζεται στις ακραίες ίνες.



Σχήμα 5.12

Η σύγχρονη ανάπτυξη στο σημείο Α σημαντικών διατμητικών και ορθών τάσεων δημιουργεί διαξονική εντατική κατάσταση. Γιαυτό ο κανονισμός προβλέπει όπως, εφόσον η μέση διατμητική τάση υπερβαίνει το 50% της $\tau_{\text{επιτρ}}$, δηλαδή

$$t \geq 0,5t_{\text{επιτρ}}$$

γίνει έλεγχος της λεγομένης *ισοδυνάμου τάσεως*, η οποία δίνεται από την σχέση

$$s_v = \sqrt{s_4^2 + 3t_4^2}$$

όπου η τ_A , θα υπολογισθεί βάσει της (1), δηλαδή θα είναι

$$t_A = \frac{Q \cdot S}{J_x \cdot b}$$

Η τιμή του s_v πρέπει να είναι μικρότερη των παρακάτω ορίων

$$s \leq \begin{matrix} 0,75 \cdot s_F \\ 0,80 \cdot s_F \end{matrix} \quad \text{το } 0,75 \text{ είναι για φόρτιση H και το } 0,80 \text{ για φόρτιση HZ}$$

Η τιμή του s_F αντιστοιχεί στο όριο διαρροής και είναι

$$\text{Για St37 } \sigma_f = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Για St52 } \sigma_f = 3600 \text{ kg/cm}^2$$

ΒΕΛΟΣ ΚΑΜΨΗΣ

Η διαφορική εξίσωση της ελαστικής γραμμής

$$y'' \cdot E \cdot J = -M$$

Μετά από δύο διαδοχικές ολοκληρώσεις παρέχει, ως γνωστό, το βέλος κάμψης y σε κάθε θέση x του άξονα της δοκού.

Για την περίπτωση π.χ. αμφιέρειστου δοκού με ομοιόμορφα καταναμημένο φορτίο q σ' αυτήν, προκύπτει μετά τις ολοκληρώσεις και τον καθορισμό των σταθερών C_1 και C_2 της ολοκληρώσεως, η έκφραση

$$y = \frac{q}{24 \cdot E \cdot J} (l^3 \cdot x - 2 \cdot l \cdot x^3 + x^4)$$

Επειδή το μέγιστο βέλος θα εμφανισθεί στο μέσο της δοκού, θέτομε $x = l/2$ οπότε μετά τις πράξεις προκύπτει

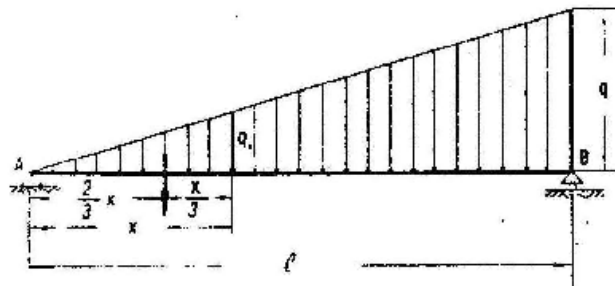
$$\max y = \max f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot J}$$

$$\max f = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q \cdot l^3}{E \cdot J}$$

όπου $Q = q \cdot l$ το ολικό φορτίο στην δοκό.

Για την περίπτωση επίσης αμφιέρειστου με μονόπλευρο τριγωνικό φορτίο (σχήμα 4.28) είναι

$$E \cdot J \cdot y'' = \frac{qx^3}{6l} - \frac{ql}{6}x$$



Σχήμα 5.13

Με διαδοχικές ολοκληρώσεις έχουμε

$$E \cdot J \cdot y' = \frac{qx^3}{6l} - \frac{qlx^2}{12} + C_1$$

$$E \cdot J \cdot y = \frac{qx^5}{120 \cdot l} - \frac{qlx^3}{36} + C_1x + C_2$$

Είναι τώρα

για $\chi = 0 \rightarrow y = 0$ και συνεπώς $C_2 = 0$

για $\chi = 1$ είναι $y = 0$ και γράφεται

$$\frac{Ql^5}{120 \cdot l} - \frac{ql^4}{36} + C_1 \cdot l = 0$$

από όπου

$$C_1 = \frac{7}{360} \cdot ql^3$$

μετά τις πράξεις γράφεται

$$y = \frac{ql^4}{360 \cdot EJ} \left(3 \frac{x^5}{l^5} - 10 \frac{x^3}{l^3} + 7 \frac{x}{l} \right)$$

Για την εύρεση του $\max f = \max y$ τίθεται στην $y' = 0$ οπότε αυτή γράφεται

$$\frac{qx^4}{24l} - \frac{qlx^2}{12} + \frac{7}{360} \cdot ql^3 = 0$$

Από την οποία $\chi = 0,51 \cdot l$

Αν βάλουμε το $\chi = 0,51 \cdot l$ προκύπτει

$$\max y = f = 0,0065 \frac{ql^4}{EJ}$$

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΥΡΕΣΕΩΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΗΣ

Ο ακριβής υπολογισμός του βέλους κάμψεως είναι σχετικά επίπονος και απαιτεί αρκετό χρόνο για τις διάφορες φορτίσεις.

Τα βέλη κάμψεως, εξ αιτίας των στις στηρίξεις των δοκών μικρών πραγματοποιούμενων πακτώσεων, στην πράξη είναι μικρότερα των θεωρητικώς υπολογιζόμενων.

Για αυτό το λόγο επιτρέπεται γενικά η έκφραση.

$$\max f = \frac{5}{384} \cdot Ql^3 \cdot \frac{1}{EJ}$$

για την εύρεση του $\max f$ αμφιέρειστου, με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο, με αρκετή ακρίβεια, χρησιμοποιείται για κάθε άλλο είδος φόρτισης όπου η

τότε φόρτιση θα αντικαθίσταται με ένα τέτοιο ομοιόμορφα καταναμημένο φορτίο Q , το οποίο θα προκαλούσε στην ίδια δοκό την ίδια καταπόνηση. Είναι συνεπώς

$$\max M = \frac{ql^2}{8} = \frac{Ql}{8} \quad \text{και} \quad s_{pragn} = \frac{M}{W} \quad \eta$$

$$W = \frac{M}{s_{pragn}} = \frac{Ql}{8s_{pragn}}$$

$$Q = \frac{8 \cdot W \cdot s_{pragn}}{l}$$

Συνεπώς το κατά προσέγγιση βέλος κάμψης είναι

$$\max f = \frac{5}{384} \cdot \frac{8 \cdot W \cdot s_{pragn}}{l} \cdot l^3 \cdot \frac{1}{EJ}$$

Εξάλλου είναι

$$W = \frac{J}{\frac{h}{2}} = \frac{2J}{h}$$

Και συνεπώς η γίνεται

$$\max f = \frac{5}{384} \cdot \frac{8 \cdot \frac{2l}{h} \cdot s_{pragn} \cdot l^3}{l} \cdot \frac{1}{EJ} = \frac{5}{384} \cdot \frac{8 \cdot 2 \cdot s_{pragn} \cdot l^3}{h \cdot l} \cdot \frac{1}{E}$$

Με h σε cm, l σε m, $\sigma_{\text{πραγμ}}$ σε t/cm^2 και

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 = 0,21t/m^2$$

$$\max f = \frac{l^2 \cdot s_{pragn}}{h} \cdot 0,99$$

Ο συντελεστής $\kappa = 0,99$ μπορεί χωρίς ενδιασμούς να τεθεί ίσος με 1 οπότε γράφεται

$$\max f = \frac{l^2 \cdot s_{pragn}}{h}$$

Σε ασύμμετρες διατομές αντί h τίθεται το διπλάσιο της μέγιστης απόστασης από την ακραία ίνα του κεντροβαρικού άξονα.

Εννοείται ότι για δοκό με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο, η έκφραση δεν είναι αρκετά μόνο προσεγγιστική, άλλα είναι θεωρητικά ακριβής.

Ο παρακάτω πίνακας 5.3 παρέχει για τους διάφορους τρόπους φόρτισης τα μέγιστα βέλη, και κατά την θεωρητική επίλυση και κατά την απλοποιημένη μέθοδο. Περαιτέρω εκτός των αντιδράσεων και μέγιστων ροπών κάμψης παρέχει και τις απαιτούμενες ροπές αδράνειας για επιθυμητά βέλη

$$\frac{l}{200}, \frac{l}{300}, \frac{l}{500}$$

Οι απαιτούμενες ροπές αδράνειας προκύπτουν, όπως φαίνεται παρακάτω, για την περίπτωση συνεχούς κατανεμημένου φορτίου. Είναι

$$\max f = \frac{5}{384} \cdot \frac{Ql^3}{EJ}$$

ή

$$\max f = \frac{5}{48} \cdot \frac{\max M \cdot l^2}{EJ}$$

ή

$$J_{\text{apait}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{\frac{l}{f} \cdot \max Ml}{E}$$

Για $\frac{l}{f} = 300$ είναι π.χ.

$$J_{\text{apait}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{300}{2100000} \cdot \max M \cdot l$$

Θέτοντας M σε tm και l σε m προκύπτει

$$J_{\text{apait}} = 148,8M \cdot l \approx 149Ml$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΔΟΚΟΥ

Ο υπολογισμός των στατικών μεγεθών συνεχούς δοκού μπορεί να γίνει είτε κατά την θεωρία της ελαστικότητας ή υπό προϋποθέσεις κατά την ελαστοπλαστική θεωρία.

1. Υπολογισμός κατά την θεωρία της ελαστικότητας.

Για διάφορα μεταξύ τους ανοίγματα και διάφορες φορτίσεις, ο υπολογισμός των υπεράριθμων στατικών μεγεθών (ροπών, καθέτων δυνάμεων) γίνεται με μία από τις γνωστές μεθόδους της στατικής, τις στηριζόμενες στην θεωρία της ελαστικότητας.

Τα κινητά φορτία θα δρουν εναλλασσόμενα στα ανοίγματα προς επίτευξη δυσμενών φορτίσεων.

2. Υπολογισμός κατά την ελαστοπλαστική θεωρία.

Ο υπολογισμός ακολουθεί τις προδιαγραφές DA St008. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμόζεται με χρησιμοποίηση χάλυβα St37 και St52. Οι χρησιμοποιούμενες διατομές πρέπει να είναι συμμετρικές ως προς το επίπεδο φόρτισης. Συνεπώς αποκλείονται διατομές [, Z και γενικώς ασύμμετρες.

Ο υπολογισμός των συνεχών δοκών δομικών έργων με 2 ή περισσότερα ανοίγματα ίσα ή ίσης φορτίσεως μπορεί να γίνεται βάσει της ανωτέρω ελαστοπλαστικής αντοχής αυτών.

Ομοίως για άνισα ανοίγματα ή άνισες φορτίσεις, εάν το ελάχιστο άνοιγμα ή η ελάχιστη φόρτιση είναι το λιγότερο τα 0,8 των μέγιστων.

Η φόρτιση θεωρείται πλήρης για όλα τα ανοίγματα με μόνιμο και κινητό φορτίο. Προϋπόθεση για τα παραπάνω είναι ότι η διατομή του περισσότερο καταπονούμενου ενδιαμέσου ανοίγματος, συνεχίζεται και στα άλλα ενδιάμεσα ανοίγματα ως και υπέρ τα στηρίγματα. Τα ακραία ανοίγματα μπορεί να έχουν μικρότερη διατομή. Κατά την ελαστοπλαστική θεωρία υποτίθεται ότι εξαντλείται η αντοχή ενός n φορές στατικώς αόριστου ολόσωμου σιδήρου φορέα, ο οποίος υποβάλλεται σε στατική φόρτιση, μόνον όταν μέσω της δημιουργίας *ιδεατών αρθρώσεων διαρροής*, εξισωθούν μεταξύ τους οι μέγιστες ροπές κάμψεως.

Ο υπολογισμός γίνεται δηλαδή βάσει των εξισώσεων ισορροπίας και όχι βάσει των συνθηκών ελαστικότητας.

Π.χ. σε ένα ενδιάμεσο άνοιγμα συνεχούς δοκού με ομοιόμορφη φόρτιση, η ροπή του αμφιέριστου ανοίγματος είναι $ql^2/8$. Η ροπή αυτή κατανέμεται εξίσου σε ροπή στηρίζεως $ql^2/16$ και σε ροπή ανοίγματος $ql^2/16$, ο υπολογισμός των διατομών θα γίνει βάσει αυτής της μέγιστης ροπής. Εάν οι ακραίες τάσεις υπερβούν το όριο διαρροής, δημιουργείται στην περιοχή αυτήν μία πλαστική ζώνη, όπου ισχύει ο νόμος του Navier περί της επιπεδότητας των διατομών, με αρκετή προσέγγιση, αλλά δεν ισχύει ο νόμος του Hooke. Δηλαδή οι μηκύνσεις ε είναι ανάλογες της αποστάσεως από το Κ.Β. της διατομής, οι τάσεις όμως δεν είναι ανάλογες των μηκύνσεων. Οι υπό των κανονισμών δοσμένοι τύποι πάντως, χρησιμεύουν μόνο για τον καθορισμό της διατομής εξ αιτίας των ροπών κάμψεως.

Για άλλους όμως υπολογισμούς, ως π.χ. εύρεση του $\max f$, ή κατά τον υπολογισμό της $\max t$, τα απαιτούμενα στοιχεία (ροπές και Δ.Τ.Δ. κ.λ.π.) θα καθορίζονται βάσει των ροπών, που προκύπτουν βάσει της θεωρίας της ελαστικότητας.

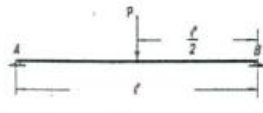
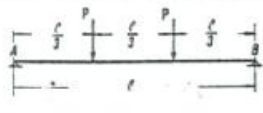
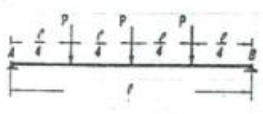
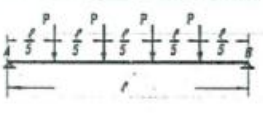
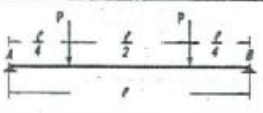
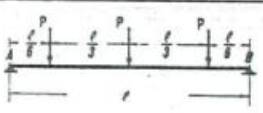
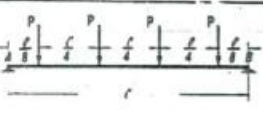
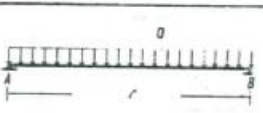
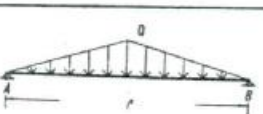
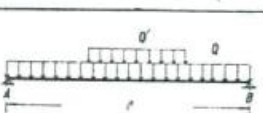
Η χρησιμότητα της ελαστοπλαστικής θεωρίας έγκειται στο ότι προκύπτουν μικρότερες διατομές για την κάμψη, η οποία είναι και αποφασιστικής σημασίας (λόγω των μεγάλων αναπτυσσομένων ροπών κατά την θεωρία της ελαστικότητας) για την εκλογή των διατομών.

ΤΥΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο

Ακραία ανοίγματα $M = \frac{ql^2}{11}$ και μεσαία ανοίγματα $M = \frac{ql^2}{16}$

Πίνακας 5.3

Τύπος φορτίσως	Αντιδράσεις A = B	maxM	max <i>l</i> (είς cm)		Απαιτούμενη ροπή άδρνετας (J είς cm ⁴ , M είς tm, <i>l</i> είς m) διά <i>f</i> , πέρ πομων		
			Θεωρητική ελρεσίς (P και Q είς kg. <i>l</i> είς cm) J είς cm ⁴	Απλοποιημένοι τύποι σ _{πραγμ} είς V/cm ² <i>l</i> είς m h είς cm	<i>l</i> /200	<i>l</i> /300	<i>l</i> /500
	$\frac{P}{2}$	$\frac{P \ell}{4}$	$\frac{P \ell^3}{48 EJ}$	$\frac{\ell^2 \cdot \sigma_{\text{πραγμ}}}{h} \cdot 0,79$	79 M <i>l</i>	119 M <i>l</i>	198 M <i>l</i>
	P	$\frac{P \ell}{3}$	$\frac{23 P \ell^3}{648 \cdot EJ}$	$\frac{\ell^2 \cdot \sigma_{\text{πραγμ}}}{h} \cdot 1,01$	101 M <i>l</i>	152 M <i>l</i>	254 M <i>l</i>
	$\frac{3P}{2}$	$\frac{P \ell}{2}$	$\frac{19 P \ell^3}{384 \cdot EJ}$	$\frac{\ell^2 \cdot \sigma_{\text{πραγμ}}}{h} \cdot 0,94$	94 M <i>l</i>	141 M <i>l</i>	236 M <i>l</i>
	2P	$\frac{3P \ell}{5}$	$\frac{63 P \ell^3}{1000 EJ}$	$\frac{\ell^2 \cdot \sigma_{\text{πραγμ}}}{h} \cdot 1,00$	100 M <i>l</i>	150 M <i>l</i>	250 M <i>l</i>
	P	$\frac{P \ell}{4}$	$\frac{11 P \ell^3}{384 EJ}$	$\frac{\ell^2 \cdot \sigma_{\text{πραγμ}}}{h} \cdot 1,09$	100 M <i>l</i>	164 M <i>l</i>	273 M <i>l</i>
	$\frac{3P}{2}$	$\frac{5P \ell}{12}$	$\frac{53 P \ell^3}{1296 \cdot EJ}$	$\frac{\ell^2 \cdot \sigma_{\text{πραγμ}}}{h} \cdot 0,94$	94 M <i>l</i>	140 M <i>l</i>	234 M <i>l</i>
	2P	$\frac{P \ell}{2}$	$\frac{151 P \ell^3}{3072 \cdot EJ}$	$\frac{\ell^2 \cdot \sigma_{\text{πραγμ}}}{h} \cdot 0,94$	94 M <i>l</i>	140 M <i>l</i>	234 M <i>l</i>
	$\frac{Q}{2}$	$\frac{Q \ell}{8}$	$\frac{5Q \cdot \ell^3}{384 \cdot EJ}$	$\frac{\ell^2 \cdot \sigma_{\text{πραγμ}}}{h} \cdot 0,99$	99 M <i>l</i>	149 M <i>l</i>	248 M <i>l</i>
	$\frac{Q}{2}$	$\frac{Q \ell}{6}$	$\frac{Q \ell^3}{60 EJ}$	$\frac{\ell^2 \cdot \sigma_{\text{πραγμ}}}{h} \cdot 0,95$	95 M <i>l</i>	143 M <i>l</i>	238 M <i>l</i>
	—	—	—	$\frac{\ell^2 \cdot \sigma_{\text{πραγμ}}}{h}$	—	—	—

Πίνακας 5.4

Ροπές κάμψεως καί αντιδράσεις συνεχών δοκῶν ἴσων ἀνοιγμάτων διά ὁμοιομόρφως διανεμημένο φορτίο

Τιμές	Πλήθος στηριγμάτων							Μονάδες
	3	4	5	6	7	8	9	
$T_0 =$	0,3750	0,4000	0,3929	0,3947	0,3942	0,3944	0,3943	$q \ell$
$T_1 =$	1,2500	1,1000	1,1428	1,1317	1,1346	1,1337	1,1340	"
$T_2 =$	—	—	0,9286	0,9736	0,9616	0,9649	0,9640	"
$T_3 =$	—	—	—	—	1,0192	1,0070	1,0103	"
$T_4 =$	—	—	—	—	—	—	0,9948	"
$M_I =$	0,1250	0,1000	0,1071	0,1053	0,1058	0,1056	0,1057	$q \ell^2$
$M_{II} =$	—	—	0,0714	0,0789	0,0769	0,0775	0,0773	"
$M_{III} =$	—	—	—	—	0,0865	0,0845	0,0850	"
$M_{IV} =$	—	—	—	—	—	—	0,0825	"
$\max M_1 =$	0,0703	0,0800	0,0772	0,0779	0,0777	0,0778	0,0777	$q \ell^2$
$\max M_2 =$	—	0,0250	0,0364	0,0332	0,0340	0,0338	0,0339	"
$\max M_3 =$	—	—	—	0,0461	0,0433	0,0440	0,0438	"
$\max M_4 =$	—	—	—	—	—	0,0405	0,0412	"
$x_1 =$	0,3750	0,4000	0,3930	0,3947	0,3942	0,3944	0,3943	ℓ
$x_2 =$	—	0,5000	0,5357	0,5264	0,5327	0,5281	0,5283	"
$x_3 =$	—	—	—	0,5000	0,4904	0,4930	0,4923	"
$x_4 =$	—	—	—	—	—	0,5000	0,5026	"
$\xi_1 =$	0,7500	0,8000	0,7860	0,7894	0,7884	0,7887	0,7887	ℓ
$\xi_2 =$	—	0,2760	0,2659	0,2680	0,2675	0,2680	0,2680	"
$\xi_3 =$	—	0,7240	0,8055	0,7830	0,7899	0,7884	0,7890	"
$\xi_4 =$	—	—	—	0,1964	0,1960	0,1962	0,1960	"
$\xi_5 =$	—	—	—	0,8036	0,7850	0,7897	0,7880	"
$\xi_6 =$	—	—	—	—	—	0,2153	0,2150	"
$\xi_7 =$	—	—	—	—	—	0,7847	0,7900	"

Ἐνθα

T_0, T_1, \dots Ὀλικές ἀντιδράσεις στηρίξεων (δεξιά καί ἀριστερά)

M_I, M_{II}, \dots Ἀρνητικές ροπές ὑπέρ τὰ στηρίγματα

$\max M_1, M_2, \dots$ Μέγιστες ροπές ἀνοιγμάτων

ℓ Θεωρητικό ἀνοιγμα

x_1, x_2, \dots Ἀποστάσεις τῶν ροπῶν $\max M_1, \max M_2, \dots$ ἀπό τὸ ἀμέσως ἀριστερόν στηρίγμα

ξ_1, ξ_2, \dots Οἱ ἀποστάσεις τῶν σταθερῶν σημείων τῆς ἐλαστικῆς γραμμῆς ὑπὸ τὰ στηρίγματα

*Ὡς πρὸς τὸ μέσον τῆς δοκοῦ ὑφίσταται συμμετρία. Τὰ δεδομένα συνεπῶς δίδονται μόνον διά τὸν μισό φορῆα

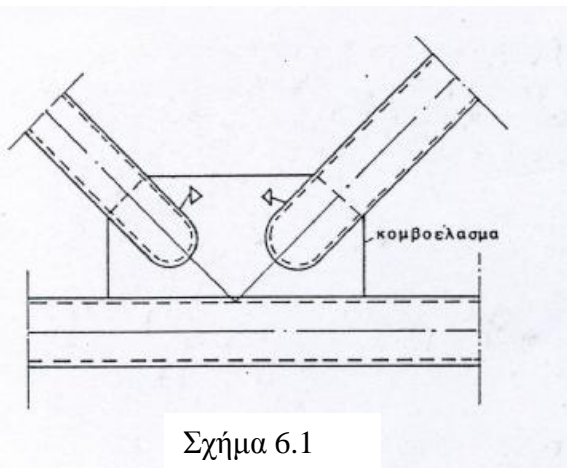
Κεφάλαιο 6

ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΑ ΜΕ ΡΑΒΔΟΥΣ ΑΠΟ ΚΟΙΛΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ

Χαρακτηριστικό των κοίλων διατομών είναι η μεγάλη ακτίνα αδράνειας της διατομής σε σύγκριση με το μικρό εμβαδόν της διατομής και κατ' επέκταση μικρό βάρος των απαιτούμενων ράβδων.

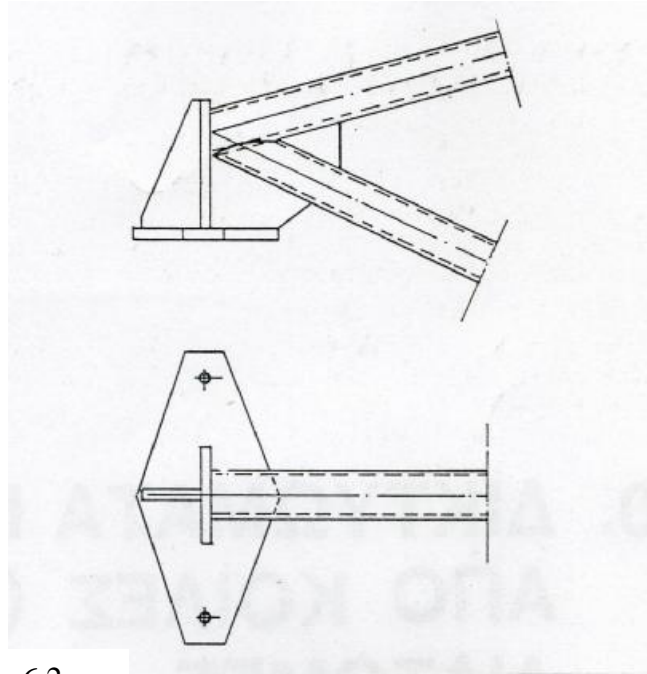
Από απόψεως διατομής υπάρχουν ορθογώνιες (Ο.Κ.Δ.), ως και κυκλικές κοίλες διατομές (Κ.Κ.Δ.). Μεγάλη εφαρμογή βρίσκουν οι κοίλες διατομές στα επίπεδα δικτυώματα, ενώ οι Κ.Κ.Δ. κατά κανόνα στην σύγχρονη κατασκευή τρισδιάστατων δικτυωμάτων (χωροδικτυωμάτων).

Πέραν όμως της βασικής διαφοράς της διατομής της κοίλης ράβδου ως προς την συμπαγή εκ προτύπων ελασμάτων (μεγάλη ακτίνα αδράνειας), υπάρχει και μεγάλη διαφορά στον τρόπο και στον υπολογισμό μορφώσεως των κόμβων ενός δικτυώματος από κοίλες διατομές.



Σχήμα 6.1

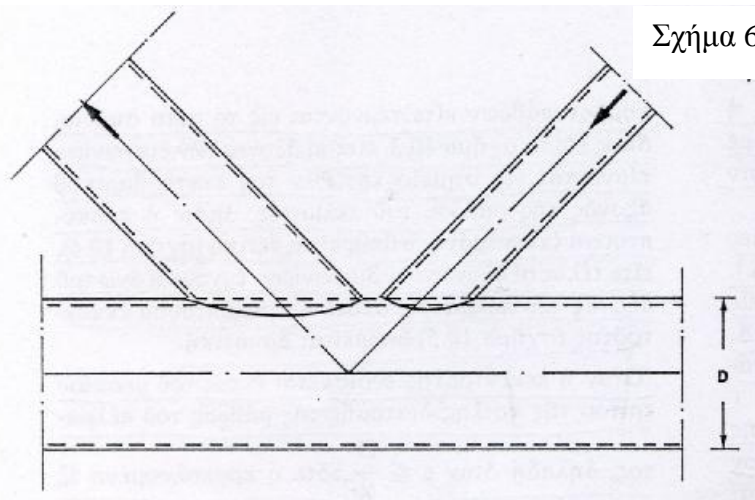
Καταρχήν πρέπει να τονιστεί ότι η σύνδεση των ράβδων πάνω στους κόμβους γίνεται μόνο με ηλεκτροσυγκόλληση, η οποία αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε μετά το 1930, οπότε ήταν πλέον εφικτή η συγκόλληση των κοίλων ράβδων πάνω στα κομβοελάσματα (σχήμα 6.1 και 6.2) ή συχνά εφαρμόζεται συγκόλληση των ράβδων κατευθείαν πάνω στις ράβδους με κοίλη διατομή του πάνω και κάτω πέλματος, (σχήμα 6.3) χωρίς τη μεσολάβηση κομβοελάσματος.



Σχήμα 6.2

Μόρφωση κόμβου έδρασεως δικτυώματος από ράβδους
 με κοίλες διατομές με την βοήθεια κομβοελάσματος

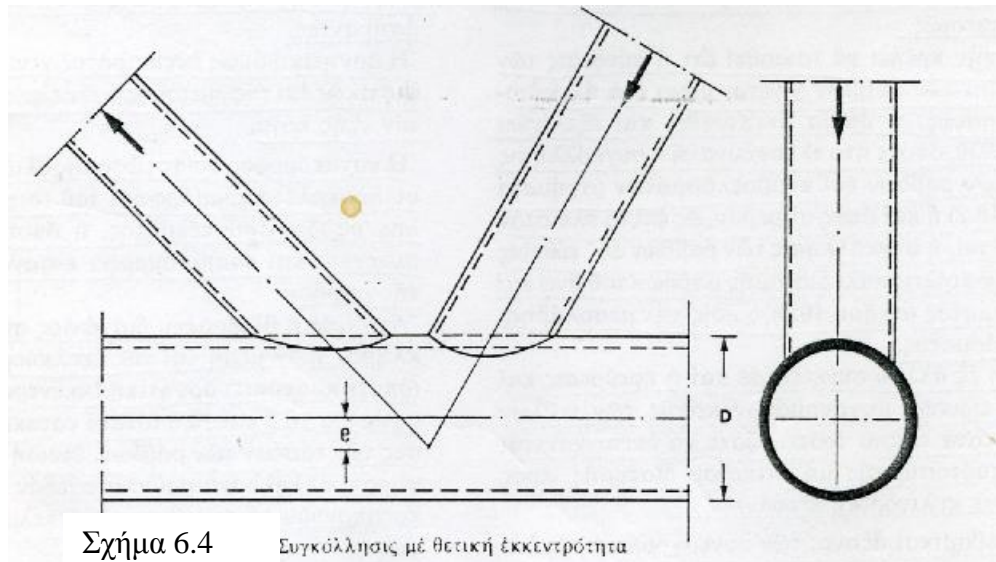
Σε αυτό εξάλλου συντέλεσε και η εφεύρεση και η εξέλιξη ειδικών μηχανημάτων κοπής των κοίλων ράβδων, κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης ταύτιση της μη επιπέδου διατομής, προς οποιαδήποτε κυλινδρική επιφάνεια.



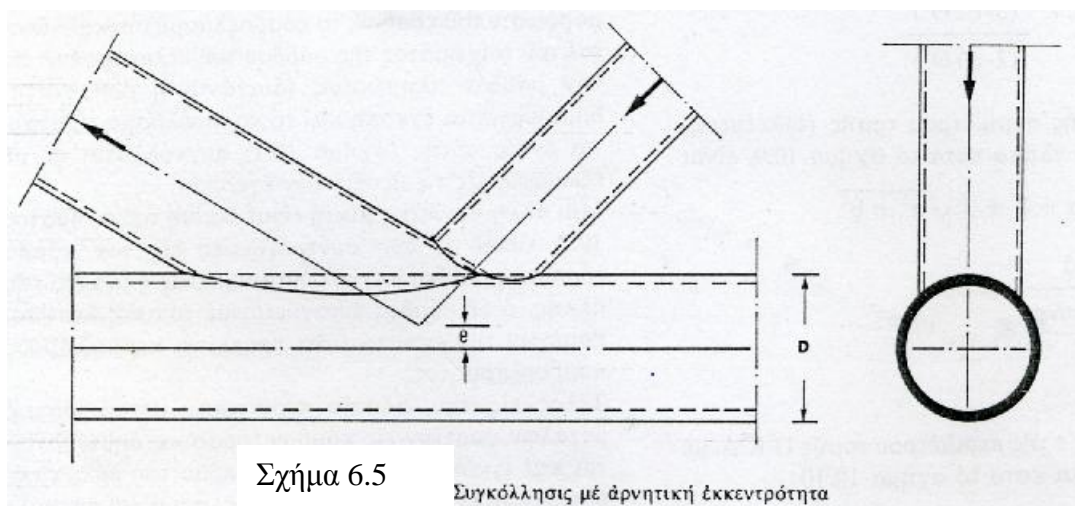
Για την εκκεντρότητα e έχουμε τρεις περιπτώσεις :

- Οι κεντροβαρικοί άξονες των συνερχομένων σε ένα κόμβο ράβδων να τέμνονται στο σημείο αυτό όπως το σχήμα 6.3.

- Οι κεντροβαρικοί άξονες των διαγώνιων να τέμνονται σε σημείο κάτω του κεντροβαρικού άξονα της ράβδου του πέλματος οπότε η προκύπτουσα εκκεντρότητα e θεωρείται θετική (σχήμα 10.4).



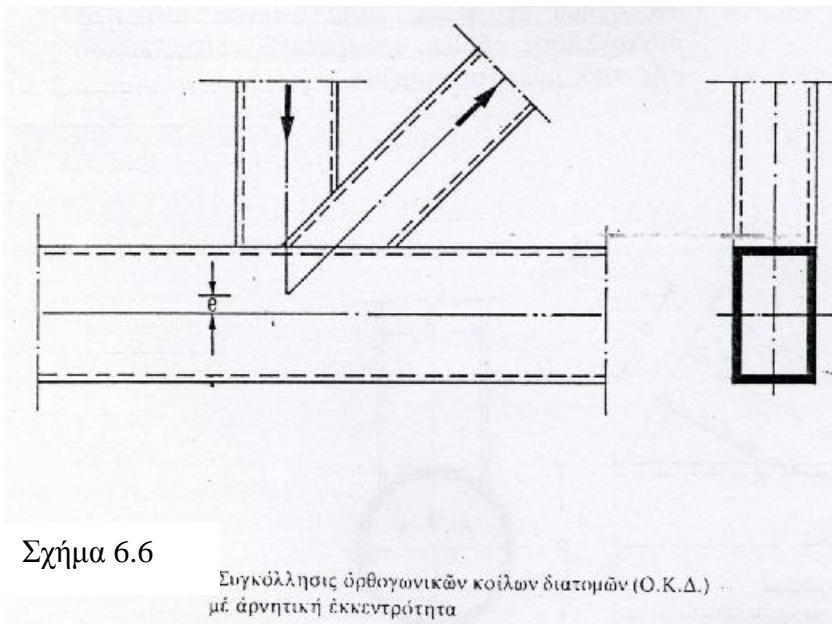
- Οι κεντροβαρικοί άξονες των διαγώνιων να τέμνονται σε σημείο πάνω του κεντροβαρικού άξονα της ράβδου του πέλματος οπότε η προκύπτουσα εκκεντρότητα e να θεωρείται αρνητική (σχήμα 6.5).



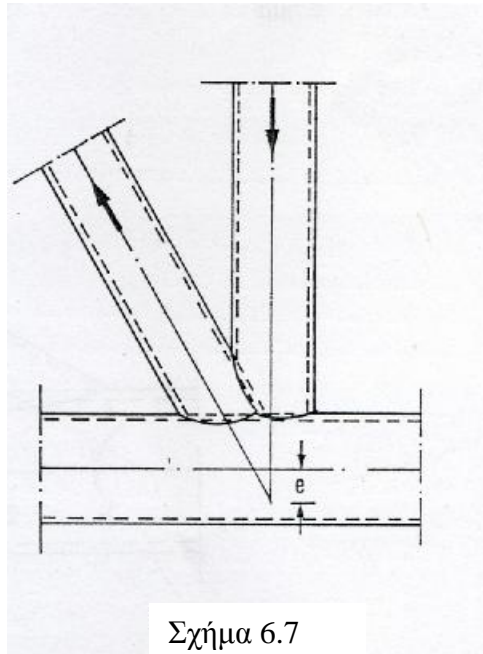
Όταν η εκκεντρότητα βρίσκεται εντός του μεσαίου τρίτου της κοίλης διατομής της ράβδου του πέλματος, δηλαδή όταν $e \leq D / 6$, τότε η καμπτική ροπή της διατομής, που προκαλείται από αυτήν την εκκεντρότητα, προκαλεί μικρές τάσεις, οι οποίες θεωρούνται ασήμαντες.

Η αρνητική εκκεντρότητα δρα ανακουφιστικά στη διατομή του πέλματος και αυτό διότι η κατακόρυφος συνιστώσα της θλιβόμενης διαγώνιου προκαλεί παραμόρφωση του τοιχώματος της κοίλης ράβδου του πέλματος, η οποία δημιουργεί στη συνέχεια ανομοιόμορφη κατανομή των τάσεων της ραφής.

Αν όμως η θλιβόμενη διαγώνιος συγκολληθεί ολόκληρη ή εν μέρει, επί της εφελκυσμένης διαγώνιου (οπότε προκύπτει αρνητική εκκεντρότητα) όπως τα σχήματα 6.5 και 6.6 τότε οι κατακόρυφες συνιστώσες των τάσεων των ράβδων (επειδή έχουν αντίθετη φορά) αλληλοαναιρούνται σχεδόν, άρα δεν καταπονούν τα τοιχώματα του πέλματος κατακόρυφα. Συμπερασματικά, οι μόνες δυνάμεις που καταπονούν το πέλμα είναι οι οριζόντιες συνιστώσες των τάσεων των διαγώνιων ράβδων.



Πάντως είναι δυνατόν (σχήμα 6.7) να δρα ευεργετικά και η θετική εκκεντρότητα. Σε περίπτωση όμως, σημαντικών φορτίων των ράβδων πληρώσεως, καλό είναι να αποφεύγεται η θετική εκκεντρότητα.



Σχήμα 6.7

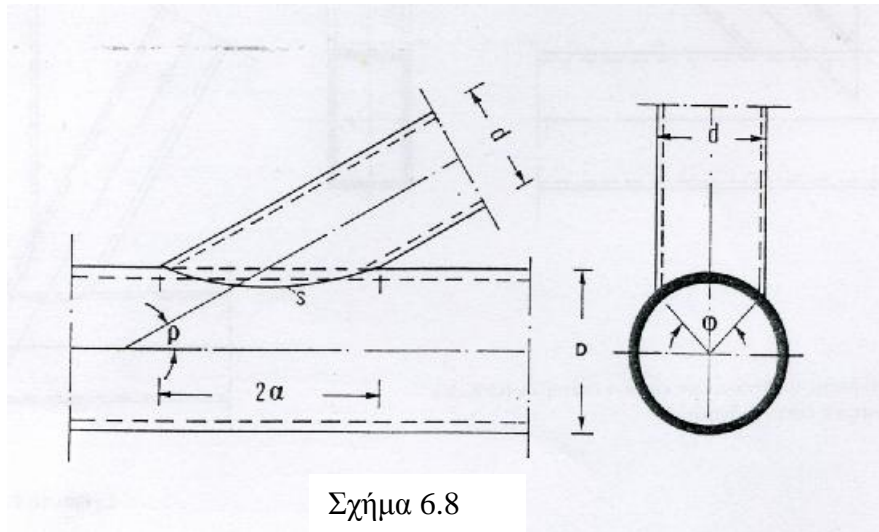
Έχουμε δύο είδη συγκολλήσεων μεταξύ των ράβδων, τις εξωραφές και τις εσωραφές.

Το μειονέκτημα των εξωραφών είναι ότι δεν διασφαλίζουν ομαλή ροή τάσεων και για αυτό πραγματοποιούνται σε περιπτώσεις σχετικά μικρών καταπονήσεων ή όταν για την σύνδεση των ράβδων γίνεται και χρήση κομβοελάσματος. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι είναι οικονομικότερες από τις εσωραφές.

Αντιθέτως για την απευθείας σύνδεση των ράβδων και για μεγάλες καταπονήσεις η χρήση της εσωραφής επιβάλλεται. Ως προς τις επιτρεπόμενες τάσεις συγκολλήσεως, οι Γερμανικοί κανονισμοί (DIN 4115, 4.51) σε περιπτώσεις αμέσου συνδέσεως κοίλων ράβδων, δέχονται ως επιτρεπόμενη τάση ραφής το 0,65 της επιτρεπόμενης τάσης συγκολλήσεως, δηλαδή $\sigma'_{\omega \text{ επιτρ}} = 0,65 \cdot \sigma_{\omega \text{ επιτρ}}$. Ως εμβαδό συγκολλήσεως F_{ω} , προκύπτει το εμβαδό της ελάχιστης δυνατής διατομής. Συνεπώς το εμβαδό της λοξής διατομής κατά την κοπή της κοίλης ράβδου, για προσαρμογή στην αντίστοιχη επιφάνεια της άλλης ράβδου, δεν λαμβάνεται υπόψη.

Αντίθετα, σύμφωνα με τις βρετανικές προδιαγραφές BS449, το μήκος s της ραφής συγκολλήσεως δύο αλληλοτεμνομένων κοίλων διατομών (Κ.Δ.), είτε

αυτές είναι κυκλικές κοίλες διατομές (Κ.Κ.Δ.) είτε ορθογωνικές κοίλες διατομές (Ο.Κ.Δ.), ισούνται με το μήκος της τομής τους. Τώρα, οι επιτρεπόμενες τάσεις στις εξωραφές αυτές, με βάση τους ίδιους κανονισμούς, δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 70% της γενικώς επιτρεπόμενης τάσης.



Σχήμα 6.8

Το μήκος s στο σχήμα 6.8 υπολογίζεται ως

$$s = a + b + 3\sqrt{a^2 + b^2}$$

Όπου $a = \frac{d}{2hmr}$

$$b = \frac{d}{3} * \frac{(3 - d^2/D^2)}{(2 - d^2/D^2)}$$

Για το μήκος s της περιμέτρου τομής (ελλείψεως) Κ.Κ.Δ. με επίπεδη πλάκα κατά το σχήμα 6.9 είναι

$$s = a + b + 3\sqrt{a^2 + b^2}$$

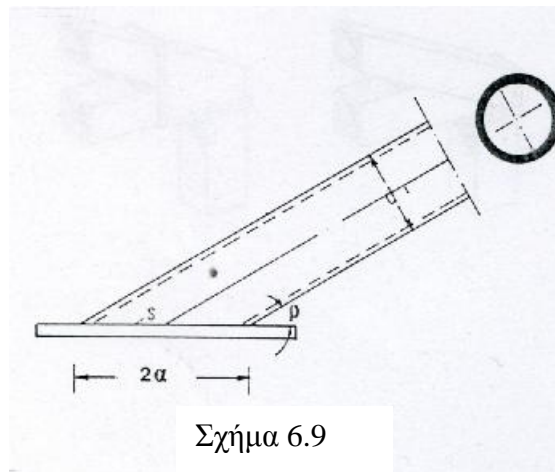
Όπου $a = \frac{d}{2sunr}$

$$b = \frac{d}{2}$$

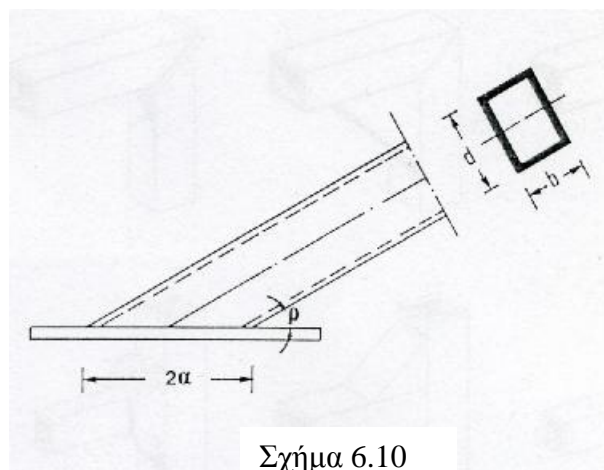
Τέλος το μήκος s της περιμέτρου τομής Ο.Κ.Δ. με επίπεδο πλάκα είναι σύμφωνα με το σχήμα 6.10.

$$S = 4a + 2b$$

Όπου
$$a = \frac{d}{2hmr}$$



Εξάλλου η χρήση κομβοελάσματος γίνεται σε περιπτώσεις όπου οι ράβδοι που θα ενωθούν συντρέχουν στον κόμβο υπό πολύ οξεία γωνία, διότι κατά τους Γερμανικούς κανονισμούς δεν επιτρέπεται άμεση σύνδεση των κοίλων διατομών υπό γωνία μικρότερη των 30° .



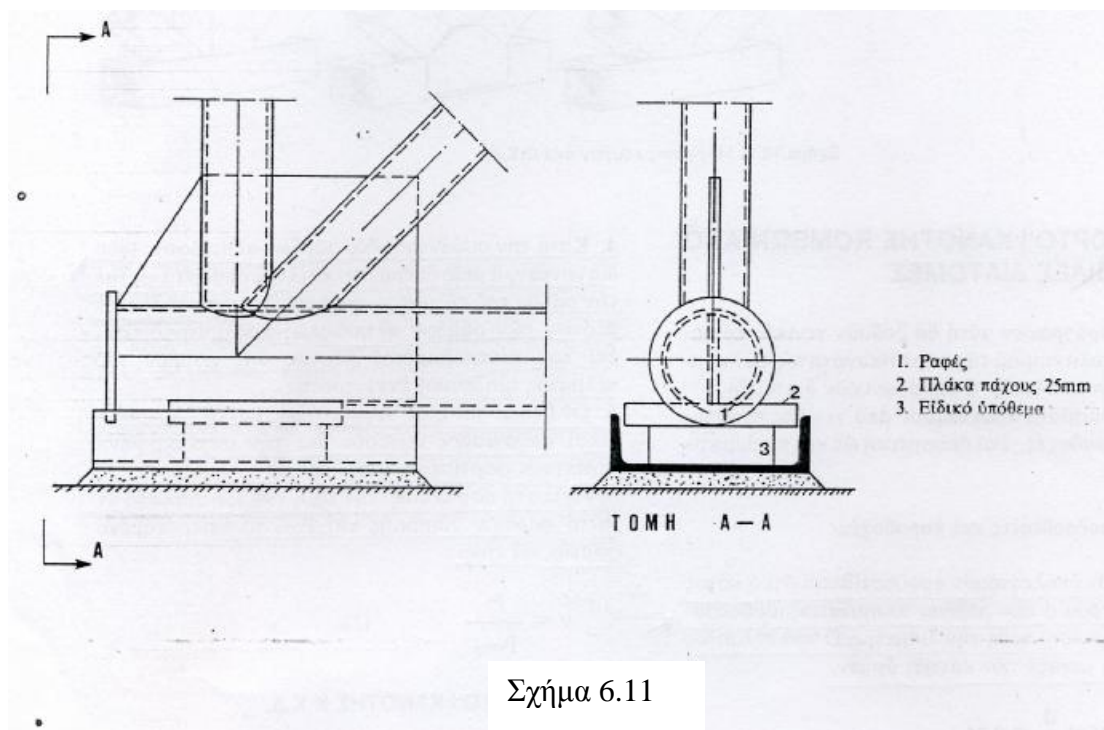
Επίσης χρήση των κομβοελασμάτων γίνεται και σε περιπτώσεις μεταβιβάσεως από μιας ράβδου σε άλλη μεγάλων δυνάμεων, καθέτων προς τον άξονα της κοίλης ράβδου που δέχεται την δύναμη. Αυτές οι δυνάμεις χωρίς την

παρεμβολή κομβοελάσματος (και διανομής συνεπώς της δυνάμεως) θα καταπονούν και θα παραμόρφωναν τοπικά το τοίχωμα της ράβδου.

Για την διαμόρφωση του κόμβου το κομβοέλασμα συγκολλάται πάνω στο τοίχωμα της ράβδου του πέλματος ενώ στη ράβδο πληρώσεως (διαγώνιο ή ορθοστάτη) δημιουργείται εγκοπή και το κομβοέλασμα εισέρχεται εντός αυτής (σχήμα 10.1) συγκολλάται με εξωραφές στις θέσεις των εγκοπών.

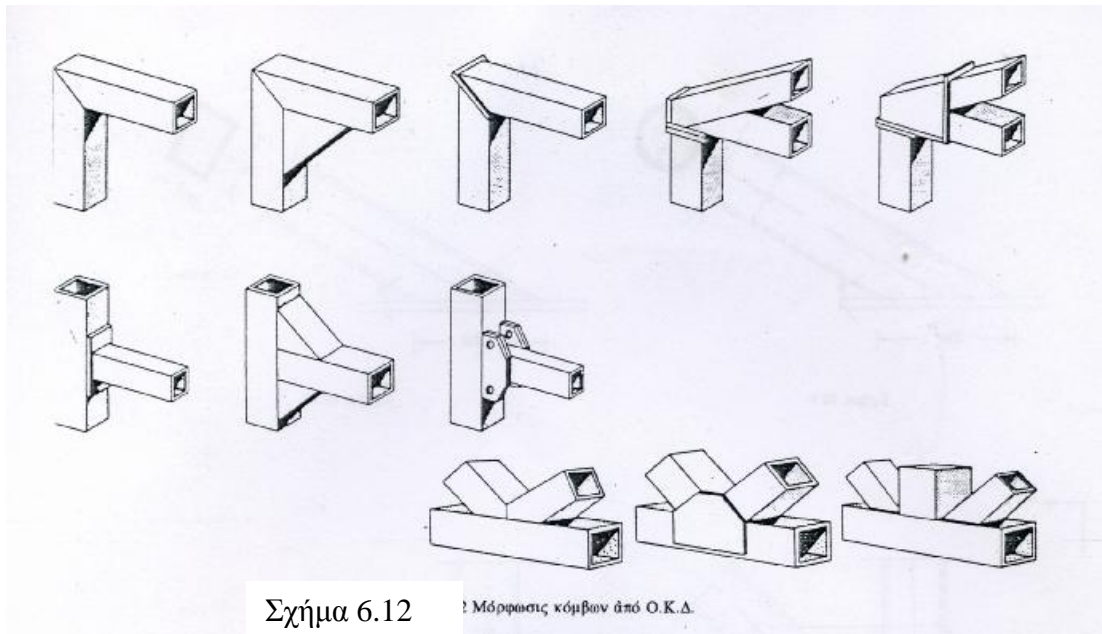
Μια άλλη σύνδεση μικτή είναι εκείνη του σχήματος 6.2 όπου οι δύο συντρέχουσες, στον κόμβο εδράσεως ράβδοι, συγκολλούνται άμεσα η μία επί της άλλης, ο κόμβος ενισχύεται με τοπικές λεπίδες, δίνοντας την εντύπωση ότι πρόκειται για πλήρες κομβοέλασμα.

Τέλος, στην ειδική περίπτωση μεταβιβάσεως μεγάλων φορτίων σε κόμβο εδράσεως δημιουργείται εγκοπή στην κοίλη ράβδο του πέλματος, εισέρχεται σε αυτή το κομβοέλασμα και συγκολλάται πολύ ισχυρά (σχήμα 6.11).



Σχήμα 6.11

Το σχήμα 6.12 δείχνει τη μορφή των κόμβων σε ανάλογες συγκολλήσεις ράβδων ορθογωνικής κοίλης διατομής.



ΦΟΡΤΟΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΟΜΒΩΝ ΑΠΟ ΚΟΙΛΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ

Στην παράγραφο θα δοθούν αυτή γενικές οδηγίες υπολογισμού της φορτοικανότητας των κόμβων κοίλων κυκλικών ή ορθογωνικών διατομών. Τα συμπεράσματα προκύπτουν από γενικές προϋποθέσεις, παραδοχές, από θεωρητική και πειραματική έρευνα.

Γενικές προϋποθέσεις και παραδοχές

1. Κατά τον υπολογισμό προϋποτίθεται ότι ο λόγος της διαμέτρου d των ράβδων πληρώσεως (ορθοστάτη ή διαγώνιου) προς την διάμετρο D του πέλματος βρίσκεται μεταξύ των παρακάτω ορίων.

$$0,25 \leq \frac{d}{D} \leq 0,75$$

Η μορφή των κόμβων είναι T ή Y ή K.

2. Όταν πρόκειται για ορθογωνικές κοίλες διατομές δικτυωμάτων μορφής N ή K, η γωνία κλίσεως των διαγώνιων είναι περίπου 45° .

3. Κατά την εφαρμογή των εξωτερικών φορτίων, στις ράβδους του δικτυώματος, αναπτύσσονται μόνο αξονικές δυνάμεις. Οι αναπτυσσόμενες

ορθές τάσεις που δημιουργούνται από τις ροπές, θεωρούνται αμελητέες, υπό την προϋπόθεση ότι οι ράβδοι έχουν σχετικά μεγάλο μήκος.

4. Κατά την ένωση δύο ράβδων πληρώσεως (δύο διαγώνιων, ή μίας διαγώνιου και ενός ορθοστάτη) με τη ράβδο του πέλματος, η τομή των κεντροβαρικών αξόνων των ράβδων πληρώσεως συμπίπτει πάνω στον κεντροβαρικό άξονα της ράβδου του πέλματος (μηδενική εκκεντρότητα).

5. Οι Γερμανικοί, οι Αγγλικοί και οι Αμερικάνικοι κανονισμοί έχουν για την συγκεκριμένη περίπτωση φορτίσεως, μέχρι του ορίου διαρροής, ως συντελεστή ασφαλείας, την τιμή $n = 1,7$. Δηλαδή αν P_δ το φορτίο διαρροής και $P_{\text{επιτρ}}$ το επιτρεπόμενο φορτίο θα είναι

$$n = \frac{P_d}{P_{\text{επιτρ}}} \quad (1)$$

ΦΟΡΤΟΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΚΟΙΛΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (Κ.Κ.Δ.)

Χαρακτηριστικό μέγεθος της αναπτυσσόμενης μεθόδου είναι ο συντελεστής μ , ο οποίος είναι η μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση στα τοιχώματα της κοίλης διατομής του πέλματος, λόγω μοναδιαίου αξονικού φορτίου το οποίο δρα στον ορθοστάτη.

Αν δηλαδή το αξονικό φορτίο του ορθοστάτη είναι P , τότε η μέγιστη τάση $\max\sigma$ που αναπτύσσεται στα τοιχώματα του πέλματος θα είναι

$$\max\sigma = \mu P \quad (2)$$

Από θεωρητική έρευνα προέκυψε ότι η τιμή του συντελεστή μ είναι :

$$\mu = \frac{0,62D^{0.70}}{t^{1.6} \cdot d^{1.1}} (cm^{-2}) \quad (3)$$

όπου

D η εξωτερική διάμετρος της κοίλης διατομής του πέλματος.

t το πάχος της κοίλης διατομής του πέλματος.

d η εξωτερική διάμετρος της κοίλης διατομής του ορθοστάτη ή διαγώνιων ράβδων.

Όταν πρόκειται για διαγώνια ράβδο, αν ρ η γωνία την οποία σχηματίζει ο κεντροβαρικός της άξονας με τον κεντροβαρικό άξονα του πέλματος (σχήμα 6.8), η σχέση (2) γίνεται

$$\max S = m \cdot P \cdot hm^{1.5} r \quad (4)$$

Η σχέση αυτή είναι γενικότερη και ισχύει προφανώς και για ορθοστάτη, διότι τότε $\rho = 90^\circ$ και $\eta m 1,5 \rho = 1$, οπότε προκύπτει η σχέση (2).

Τώρα, όσον αφορά το φορτίο διαρροής P_δ του ασκούμενου από τον ορθοστάτη ή την διαγώνιο πάνω στο πέλμα είναι

$$P_d = \frac{5.4 S_d}{m \cdot hm^{1.5} r} \quad (5)$$

Όπου σ_δ η τάση διαρροής

Από την (5) και για $\nu = 1.7$ προκύπτει το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο, το οποίο μπορεί να ασκηθεί από ορθοστάτη ή διαγώνιο πάνω στο πέλμα και το οποίο είναι :

$$\max P = \frac{P_d}{1.7} \quad (6)$$

$$\max P = \frac{3.2 \cdot S_d}{m \cdot hm^{1.5} r} \quad (7)$$

Από την (7) προκύπτουν και οι

$$m = \frac{3.2 \cdot S_d}{P \cdot hm^{1.5} r} \quad (8)$$

$$t = \frac{0.74 D^{0.44}}{m^{0.63} \cdot d^{0.70}} \quad (9)$$

Τέλος στοιχεία των Κ.Κ.Δ. βρίσκονται στον πίνακα 6.1

ΦΟΡΤΟΪΚΑΝΟΤΗΤΑ Ο.Κ.Δ. (ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΩΝ ΚΟΙΛΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ)

Ο αναφερόμενος τρόπος υπολογισμού αφορά κόμβους δικτυωμάτων μορφής Ν με γωνία κλίσεως διαγωνίου 45° και αρκετά προσεγγιστικά και κόμβους δικτυωμάτων μορφής Κ. Η εκκεντρότητα δεν είναι υποχρεωτικό να είναι μηδενική.

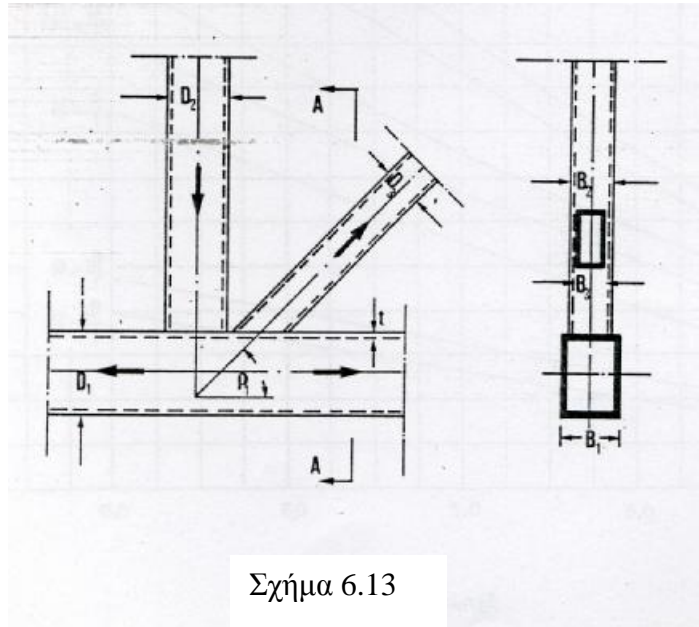
Ο υπολογισμός της οριακής αντοχής των κόμβων αυτών γίνεται με τη βοήθεια του συντελεστή λ , τον οποίο παίρνουμε από νομογράφημα, αφού προσδιοριστούν προηγουμένως οι λόγοι

$$\frac{B_2 + B_3}{2B_1} \quad (1)$$

Και

$$\frac{B_1}{t} \quad (2)$$

Όπου η σημασία των B_1 , B_2 , B_3 και t φαίνεται στο σχήμα 6.13.



Σχήμα 6.13

Με τη βοήθεια του συντελεστή λ , παρεχόμενου από το νομογράφημα σε mm το φορτίο διαρροής υπολογίζεται από τη σχέση

$$P_d = l \cdot \frac{\sigma_y \cdot B_1}{26} \quad (3)$$

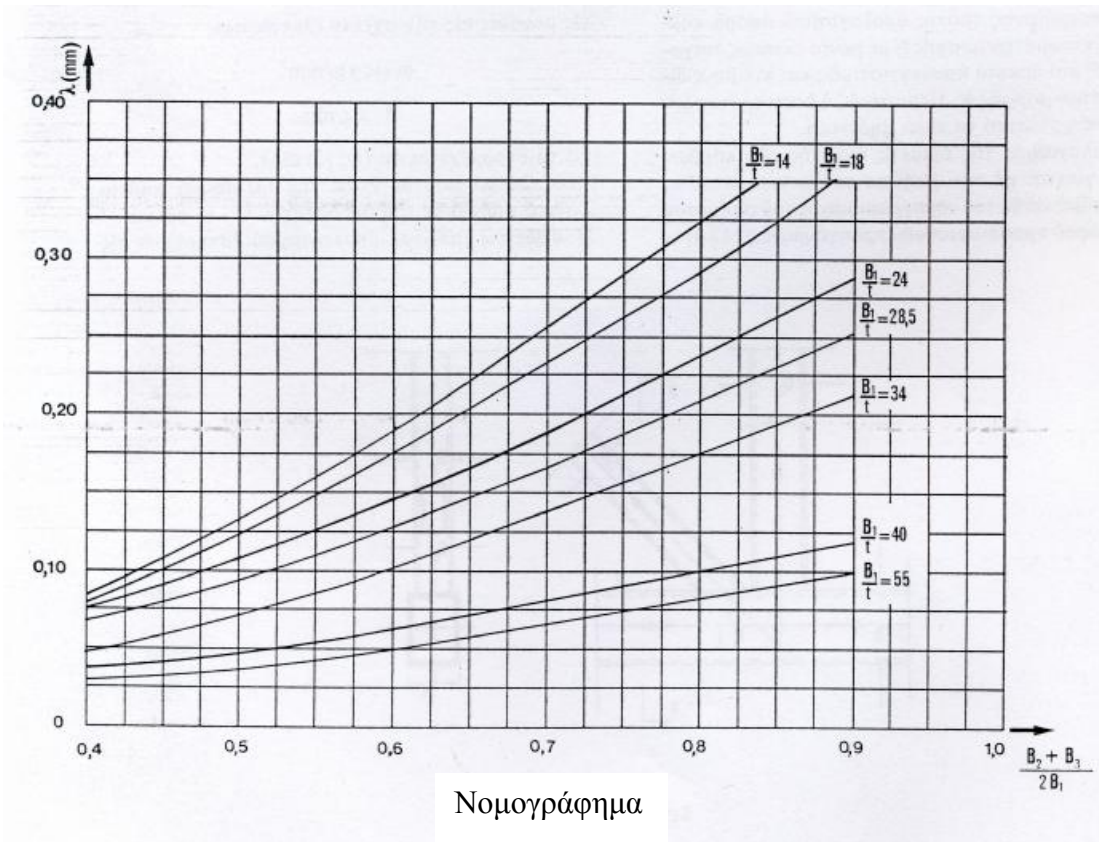
Συνεπώς το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο πάνω στο πέλμα είναι

$$\max P = \frac{P_d}{n} = \frac{P_d}{1.7} \quad (4)$$

Οι μονάδες στη σχέση (3) είναι : σ_y σε kg/mm^2 και B_1 σε mm, ενώ το P_δ παρέχεται από την (3) σε t.

Τέλος το φορτίο P_δ από την (3) αφορά κάθετο αξονικό φορτίο από τον ορθοστάτη πάνω στο πέλμα.

Η παραπάνω μέθοδος υπολογισμού στηρίχθηκε σε συμπεράσματα σειράς πειραμάτων. Χαρακτηριστικό είναι στα πειράματα αυτά ότι η εκκεντρότητα δεν ήταν υποχρεωτικά μηδενική, επίσης ότι οι ράβδοι πληρώσεως δεν ήταν συγκολλημένοι μεταξύ τους, αλλά σε μια ελεύθερη απόσταση, με ελάχιστη τιμή 12,5 mm.



Τέλος οι πίνακες 6.2 έως και 6.5 παρέχουν στοιχεία τετραγωνικών και ορθογωνικών διατομών για τους ανάλογους υπολογισμούς.

Πίνακας 6.1

Κοίλες κυκλικές διατομές (άνευ ραφής κατά DIN 2448 - Ιούνιος 1966)

$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \pi d_m s \quad d_m = \frac{D + d}{2} = d + s$$



$$J = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad W = \frac{2J}{D}$$

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}}$$

D	s ²⁾	G ³⁾	d ⁴⁾	F ⁵⁾	J ⁶⁾	W ⁷⁾	i ⁸⁾	D	s ²⁾	G ³⁾	d ⁴⁾	F ⁵⁾	J ⁶⁾	W ⁷⁾	i ⁸⁾	
mm	mm	ιντσές	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	mm	mm	ιντσές	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	
10,2* [13/32"]	1,6	0,064	0,344	7	0,432	0,041	0,087	25 [-]	2	0,080	1,13	27	1,45	0,963	0,770	0,82
	2	0,080	0,410	6,2	0,515	0,046	0,090		2,3	0,092	1,29	20,4	1,64	1,07	0,854	0,87
	2,3	0,092	0,454	5,6	0,571	0,048	0,095		2,6	0,104	1,44	19,8	1,83	1,16	0,930	0,80
13,5* [17/32"]	2,6	0,104	0,493	5	0,627	0,050	0,098	2,9	0,116	1,58	19,2	2,01	1,25	1,00	0,79	
	1,8	0,072	0,522	9,9	0,662	0,116	0,172	3,2	0,128	1,72	18,6	2,19	1,33	1,06	0,78	
	2	0,080	0,571	9,5	0,723	0,123	0,182	3,6	0,144	1,90	17,8	2,42	1,42	1,14	0,77	
	2,3	0,092	0,639	8,9	0,809	0,132	0,196	4	0,160	2,07	17	2,64	1,51	1,21	0,76	
	2,6	0,104	0,703	8,3	0,890	0,140	0,207	4,5	0,176	2,28	16	2,90	1,60	1,28	0,74	
	2,9	0,116	0,767	7,7	0,966	0,146	0,216	5	0,192	2,47	15	3,14	1,67	1,34	0,73	
16 [5/8"]	3,2	0,128	0,817	7,1	1,04	0,151	0,223	5,6	0,219	2,68	13,8	3,41	1,74	1,39	0,71	
	3,6	0,144	0,883	6,3	1,12	0,155	0,230	6,3	1/4	2,91	12,4	3,70	1,80	1,44	0,70	
	1,8	0,072	0,632	12,4	0,803	0,206	0,257	26,9* [1 1/16"]	2,3	0,092	1,41	22,3	1,78	1,36	1,07	0,87
	2	0,080	0,692	12	0,880	0,220	0,275		2,6	0,104	1,57	21,7	1,98	1,48	1,10	0,86
	2,3	0,092	0,778	11,4	0,990	0,239	0,298		2,9	0,116	1,73	21,1	2,19	1,60	1,19	0,85
	2,6	0,104	0,860	10,8	1,09	0,255	0,319		3,2	0,128	1,89	20,5	2,38	1,70	1,27	0,85
2,9	0,116	0,938	10,2	1,19	0,269	0,336	3,6		0,144	2,09	19,7	2,64	1,83	1,36	0,83	
3,2	0,128	1,01	9,6	1,29	0,280	0,350	4		0,160	2,28	18,9	2,88	1,94	1,45	0,82	
17,2* [1 1/16"]	3,6	0,144	1,10	8,8	1,40	0,292	0,365	4,5	0,176	2,48	17,9	3,17	2,07	1,54	0,81	
	4	0,160	1,18	8	1,51	0,302	0,377	5	0,192	2,70	16,9	3,44	2,17	1,61	0,79	
	1,8	0,072	0,688	13,6	0,877	0,262	0,304	5,6	0,219	2,94	15,7	3,75	2,27	1,69	0,78	
	2	0,080	0,754	13,2	0,955	0,287	0,326	6,3	1/4	3,21	14,3	4,08	2,37	1,76	0,76	
	2,3	0,092	0,850	12,6	1,08	0,306	0,356	7,1	9/32	3,48	12,7	4,42	2,44	1,82	0,74	
	2,6	0,104	0,942	12	1,19	0,328	0,381	30 [1 1/8"]	2,6	0,104	1,77	24,8	2,24	2,12	1,41	0,97
2,9	0,116	1,03	11,4	1,30	0,347	0,403	2,9		0,116	1,96	24,2	2,47	2,29	1,53	0,96	
3,2	0,128	1,11	10,8	1,41	0,363	0,422	3,2		0,128	2,14	23,6	2,69	2,45	1,64	0,95	
3,6	0,144	1,21	10	1,54	0,387	0,442	3,6		0,144	2,37	22,8	2,99	2,65	1,77	0,94	
4	0,160	1,31	9,2	1,66	0,394	0,459	4		0,160	2,59	22	3,27	2,83	1,88	0,93	
4,5	0,176	1,41	8,2	1,80	0,407	0,474	4,5		0,176	2,83	21	3,60	3,02	2,01	0,92	
20 [25/32"]	2	0,080	0,890	16	1,13	0,464	0,464	5	0,192	3,08	20	3,93	3,19	2,13	0,90	
	2,3	0,092	1,01	15,4	1,28	0,509	0,509	5,6	0,219	3,37	18,8	4,29	3,36	2,24	0,89	
	2,6	0,104	1,12	14,8	1,42	0,550	0,550	6,3	1/4	3,70	17,4	4,69	3,53	2,35	0,87	
	2,9	0,116	1,22	14,2	1,56	0,586	0,586	7,1	9/32	4,03	15,8	5,11	3,67	2,45	0,85	
	3,2	0,128	1,33	13,6	1,69	0,617	0,617	8	5/16	4,34	14	5,53	3,79	2,53	0,83	
	3,6	0,144	1,46	12,8	1,85	0,654	0,654	31,8 [1 1/4"]	2,6	0,104	1,88	26,6	2,39	2,56	1,67	1,04
4	0,160	1,58	12	2,07	0,684	0,684	2,9		0,116	2,08	26	2,63	2,78	1,75	1,03	
4,5	0,176	1,71	11	2,19	0,714	0,714	3,2		0,128	2,27	25,4	2,88	2,98	1,87	1,02	
5	0,192	1,85	10	2,36	0,736	0,736	3,6		0,144	2,52	24,6	3,19	3,22	2,03	1,01	
2	0,080	0,962	17,3	1,27	0,577	0,536	4		0,160	2,76	23,8	3,49	3,44	2,17	0,99	
2,3	0,092	1,09	16,7	1,37	0,629	0,590	4,5		0,176	3,02	22,8	3,86	3,69	2,32	0,98	
2,6	0,104	1,21	16,1	1,53	0,687	0,639	5	0,192	3,30	21,8	4,21	3,91	2,46	0,96		
2,9	0,116	1,33	15,5	1,68	0,727	0,683	5,6	0,219	3,60	20,6	4,61	4,14	2,60	0,95		
3,2	0,128	1,44	14,9	1,82	0,768	0,722	6,3	1/4	3,97	19,2	5,05	4,35	2,74	0,93		
3,6	0,144	1,59	14,1	2,00	0,816	0,767	7,1	9/32	4,33	17,6	5,57	4,55	2,86	0,91		
4	0,160	1,72	13,3	2,17	0,857	0,805	8	5/16	4,68	15,8	5,98	4,71	2,96	0,89		
4,5	0,176	1,87	12,3	2,38	0,898	0,843										
5	0,192	2,01	11,3	2,56	0,930	0,874										

* Αυτές οι εξωτερικές διαμέτρους αντιστοιχούν μέχρι 139,7 mm εις τους σωλήνες με έλικωσι της προδιαγραφής 150 R7, από 168,3 mm εις τους σωλήνες με έλικωσι κατά ASA B 2.1. API.

- Υλικόν: Χάλυβ κατά DIN 1629 φύλ. 1 έως φύλ. 4 ή DIN 17175.
- Γενικώς οι άνευ ραφής σωλήνες παράγονται εις τις μεγαλύτερων παχών τοιχωμάτων διατομές.
- Οι τιμές δέν είναι τυποποιημένες. Κατά τόνόπολογισμό αυτών των τιμών έχρησιμοποιοήθησαν μόνο οι διαστάσεις των τυποποιημένων διατομών.

Πίνακας 6.1

D	s ^{*)}		G ^{*)}		d ^{*)}		F ^{*)}		J ^{*)}		W ^{*)}		I ^{*)}			
	mm	mm	kg/m	mm	mm	cm ³	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ³	cm			
33,7* [1 ^{11/32} "]	2,6	0,104	2,01	23,5	2,54	3,09	1,84	1,70	4,5	0,176	5,13	42	6,57	17,9	7,03	1,65
	2,9	0,116	2,22	27,9	2,87	3,36	1,99	1,99	5	0,192	5,67	47	7,23	19,3	7,58	1,64
	3,2	0,128	2,42	27,3	3,07	3,60	2,14	1,08	5,6	0,219	6,24	39,8	7,99	20,9	8,19	1,62
	3,6	0,144	2,69	26,5	3,40	3,91	2,32	1,07	6,3	1/4	6,95	38,4	8,85	22,5	8,84	1,60
	4	0,160	2,95	25,7	3,73	4,19	2,49	1,06	7,1	9/32	7,69	36,8	9,79	24,2	9,49	1,57
	4,5	0,176	3,23	24,7	4,13	4,50	2,67	1,04	8	5/16	8,43	35	10,8	25,8	10,1	1,55
	5	0,192	3,54	23,7	4,51	4,78	2,84	1,03	8,8	11/32	9,10	33,4	11,7	27,1	10,6	1,52
	5,6	0,219	3,87	22,5	4,94	5,07	3,01	1,01	10	-	10,1	31	12,9	28,7	11,2	1,49
	6,3	1/4	4,27	21,1	5,42	5,36	3,18	0,99	11	7/16	10,9	29	13,8	29,7	11,7	1,47
	7,1	9/32	4,67	19,5	5,93	5,62	3,34	0,97	12,5	1/2	11,9	26	15,1	31,0	12,1	1,43
	8	5/16	5,05	17,7	6,46	5,85	3,47	0,95	14,2	9/16	12,9	22,6	16,4	31,9	12,5	1,39
8,8	11/32	5,39	16,1	6,88	6,00	3,56	0,93									
38 [1 ^{3/4} "]	2,6	0,104	2,29	32,8	2,89	4,55	2,40	1,25	2,9	0,116	3,90	57,2	4,93	18,1	6,35	1,92
	2,9	0,116	2,53	32,2	3,20	4,96	2,67	1,25	3,2	0,128	4,28	50,6	5,41	19,6	6,89	1,91
	3,2	0,128	2,77	31,6	3,50	5,34	2,87	1,24	3,6	0,144	4,78	49,8	6,04	21,6	7,59	1,89
	3,6	0,144	3,08	30,8	3,89	5,82	3,06	1,22	4	0,160	5,27	49	6,66	23,5	8,25	1,88
	4	0,160	3,38	30	4,27	6,26	3,29	1,21	4,5	0,176	5,81	48	7,42	25,8	9,04	1,86
	4,5	0,176	3,71	29	4,74	6,76	3,56	1,20	5	0,192	6,41	47	8,17	27,9	9,78	1,85
	5	0,192	4,07	28	5,18	7,22	3,80	1,18	5,6	0,219	7,08	45,8	9,04	30,2	10,6	1,83
	5,6	0,219	4,47	26,8	5,70	7,70	4,05	1,16	6,3	1/4	7,91	44,4	10,0	32,7	11,5	1,81
	6,3	1/4	4,95	25,4	6,27	8,19	4,31	1,14	7,1	9/32	8,77	42,8	11,1	35,3	12,4	1,78
	7,1	9/32	5,43	23,8	6,89	8,66	4,56	1,12	8	5/16	9,65	41	12,3	37,9	13,3	1,76
	8	5/16	5,91	22	7,54	9,09	4,78	1,10	8,8	11/32	10,4	39,4	13,3	40,0	14,0	1,73
8,8	11/32	6,33	20,4	8,07	9,39	4,94	1,08	10	-	11,6	37	14,8	42,6	15,0	1,70	
10	-	6,91	18	8,80	9,72	5,12	1,05	11	7/16	12,5	35	15,9	44,5	15,6	1,67	
									12,5	1/2	13,8	32	17,5	46,7	16,4	1,63
									14,2	9/16	15,0	28,6	19,1	48,5	17,0	1,59
									16	5/8	16,2	25	20,6	49,9	17,5	1,56
42,4* [1 ^{11/16} "]	2,6	0,104	2,57	37,2	3,25	6,46	3,05	1,41	2,9	0,116	4,14	54,5	5,23	21,6	7,16	2,03
	2,9	0,116	2,84	36,6	3,60	7,06	3,33	1,40	3,2	0,128	4,54	53,9	5,74	23,5	7,78	2,02
	3,2	0,128	3,11	36	3,94	7,62	3,59	1,39	3,6	0,144	5,07	53,1	6,41	25,9	8,58	2,01
	3,6	0,144	3,47	35,2	4,39	8,33	3,93	1,38	4	0,160	5,69	52,3	7,07	28,2	9,34	2,00
	4	0,160	3,81	34,4	4,83	8,99	4,24	1,36	4,5	0,176	6,17	51,3	7,89	30,9	10,2	1,98
	4,5	0,176	4,19	33,4	5,36	9,76	4,60	1,35	5	0,192	6,82	50,3	8,69	33,5	11,1	1,96
	5	0,192	4,61	32,4	5,87	10,5	4,93	1,33	5,6	0,219	7,53	49,1	9,62	36,4	12,1	1,94
	5,6	0,219	5,07	31,2	6,47	11,2	5,29	1,32	6,3	1/4	8,42	47,7	10,7	39,5	13,1	1,92
	6,3	1/4	5,62	29,8	7,14	12,0	5,66	1,30	7,1	9/32	9,34	46,1	11,9	42,7	14,2	1,90
	7,1	9/32	6,19	28,2	7,87	12,8	6,02	1,27	8	5/16	10,3	44,3	13,1	46,0	15,3	1,87
	8	5/16	6,76	26,4	8,65	13,5	6,36	1,25	8,8	11/32	11,1	42,7	14,2	48,6	16,1	1,85
8,8	11/32	7,27	24,8	9,29	14,0	6,61	1,23	10	-	12,4	40,3	15,8	52,0	17,2	1,81	
10	-	7,99	22,4	10,2	14,6	6,90	1,20	11	7/16	13,4	38,3	17,0	54,3	18,0	1,79	
11	7/16	8,54	20,4	10,9	15,0	7,08	1,18	12,5	1/2	14,8	35,3	18,8	57,3	19,0	1,75	
									14,2	9/16	16,2	31,9	20,6	59,8	19,8	1,71
									16	5/8	17,4	28,3	22,3	61,8	20,5	1,67
44,5 [1 ^{3/4} "]	2,6	0,104	2,70	39,3	3,42	7,54	3,39	1,48	2,9	0,116	4,36	57,7	5,52	25,4	8,00	2,14
	2,9	0,116	2,99	38,7	3,79	8,24	3,70	1,47	3,2	0,128	4,79	57,1	6,06	27,6	8,70	2,13
	3,2	0,128	3,28	38,1	4,15	8,91	4,00	1,46	3,6	0,144	5,36	56,3	6,77	30,5	9,60	2,12
	3,6	0,144	3,65	37,3	4,63	9,75	4,38	1,45	4	0,160	5,91	55,5	7,48	33,2	10,5	2,11
	4	0,160	4,02	36,5	5,09	10,5	4,74	1,44	4,5	0,176	6,52	54,5	8,34	36,5	11,5	2,09
	4,5	0,176	4,42	35,5	5,65	11,5	5,15	1,42	5	0,192	7,21	53,5	9,19	39,6	12,5	2,08
	5	0,192	4,87	34,5	6,20	12,3	5,53	1,41	5,6	0,219	7,97	52,3	10,2	43,1	13,6	2,06
	5,6	0,219	5,35	33,3	6,84	13,2	5,94	1,39	6,3	1/4	8,91	50,9	11,3	46,9	14,8	2,03
	6,3	1/4	5,95	31,9	7,56	14,2	6,37	1,37	7,1	9/32	9,90	49,3	12,6	50,8	16,0	2,01
	7,1	9/32	6,56	30,3	8,34	15,1	6,79	1,35	8	5/16	10,9	47,5	13,9	54,8	17,3	1,98
	8	5/16	7,17	28,5	9,17	16,0	7,20	1,32	8,8	11/32	11,8	45,9	15,1	58,0	18,3	1,96
8,8	11/32	7,72	26,9	9,87	16,7	7,50	1,30	10	-	13,2	43,5	16,8	62,2	19,6	1,92	
10	-	8,51	24,5	10,8	17,5	7,86	1,27	11	7/16	14,3	41,5	18,1	65,3	20,6	1,90	
11	7/16	9,11	22,5	11,6	18,0	8,09	1,25	12,5	1/2	15,8	38,5	20,0	69,0	21,7	1,86	
12,5	1/2	9,90	19,5	12,6	18,5	8,33	1,21	14,2	9/16	17,3	35,7	22,0	72,4	22,8	1,81	
									16	5/8	18,7	31,5	23,9	75,0	23,6	1,77
48,3* [1 ^{15/16} "]	2,6	0,104	2,95	43,1	3,73	9,78	4,05	1,62	2,9	0,116	4,83	64,2	6,11	34,5	9,85	2,37
	2,9	0,116	3,27	42,5	4,14	10,7	4,43	1,61	3,2	0,128	5,30	63,6	6,72	37,5	10,7	2,36
	3,2	0,128	3,59	41,9	4,53	11,6	4,80	1,60	3,6	0,144	5,93	62,8	7,51	41,5	11,9	2,35
	3,6	0,144	4,06	41,1	5,06	12,7	5,26	1,59	4	0,160	6,55	62	8,29	45,3	13,0	2,34
	4	0,160	4,41	40,3	5,57	13,8	5,70	1,57	4,5	0,176	7,24	61	9,26	49,9	14,3	2,32
	4,5	0,176	4,85	39,3	6,19	15,0	6,21	1,56	5	0,192	8,01	60	10,2	54,2	15,5	2,30
	5	0,192	5,34	38,3	6,80	16,2	6,69	1,54	5,6	0,219	8,85	58,8	11,3	59,2	16,9	2,29
	5,6	0,219	5,89	37,1	7,51	17,4	7,21	1,52	6,3	1/4	9,92	57,4	12,6	64,6	18,4	2,26
	6,3	1/4	6,55	35,7	8,31	18,7	7,76	1,50	7,1	9/32	11,0	55,8	14,0	70,3	20,1	2,24
	7,1	9/32	7,24	34,1	9,19	20,1	8,31	1,48	8	5/16	12,2	54	15,6	76,1	21,7	2,21
	8	5/16	7,93	32,3	10,1	21,4	8,85	1,45	8,8	11/32	13,2	52,4	16,9	80,9	23,1	2,19
8,8	11/32	8,56	30,7	10,9	22,4	9,26	1,43	10	-	14,8	50	18,8	87,2	24,9	2,15	
10	-	9,45	28,3	12,0	23,6	9,76	1,40	11	7/16	16,0	48	20,4	91,8	26,2	2,12	
11	7/16	10,2	26,3	12,9	24,4	10,1	1,37	12,5	1/2	17,8	45	22,6	97,7	27,9	2,08	
12,5	1/2	11,1	23,3	14,7	25,3	10,5	1,34	14,2	9/16	19,6	41,6	24,9	103	29,5	2,04	
									16	5/8	21,2	38	27,1	108	30,7	1,99
									17,5	11/16	22,6	35	28,9	110	31,6	1,96
51 [2"]	2,6	0,104	3,12	45,8	3,95	11,6	4,55	1,71								
	2,9	0,116	3,46	45,2	4,38	12,7	4,99	1,70								
	3,2	0,128	3,79	44,6	4,81	13,8	5,41	1,69								
	3,6	0,144	4,23	43,8	5,36	15,1	5,94	1,68								
	4	0,160	4,66	43	5,91	16,4	6,44	1,67								

Πίνακας 6.1

D	s ³⁾	G ³⁾	d ³⁾	F ³⁾	J ³⁾	W ³⁾	I ³⁾	D	s ³⁾	G ³⁾	d ³⁾	F ³⁾	J ³⁾	W ³⁾	I ³⁾		
mm	mm	kg/m	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	mm	mm	kg/m	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm		
76,1* [3"]	2,9	0,116	5,28	70,3	6,67	44,7	11,8	108 [4 1/4"]	4,5	0,176	11,4	99	14,6	196	36,4	3,66	
	3,2	0,128	5,80	69,7	7,33	48,8	12,8		5	0,192	12,7	98	16,2	215	39,8	3,65	
	3,6	0,144	6,49	68,9	8,20	54,0	14,2		5,6	0,219	14,1	96,8	18,0	237	43,0	3,63	
	4	0,160	7,17	68,1	9,06	59,1	15,5		6,3	1/4	15,8	95,4	20,7	267	48,4	3,60	
	4,5	0,176	7,92	67,1	10,1	65,1	17,1		7,1	9/32	17,7	93,8	22,5	288	53,3	3,58	
	5	0,192	8,77	66,1	11,2	70,9	18,6		8	5/16	19,6	92	25,7	316	58,0	3,55	
	5,6	0,219	9,71	64,9	12,4	77,5	20,4		8,8	11/32	21,4	90,4	27,4	340	63,0	3,52	
	6,3	1/4	10,9	63,5	13,8	84,8	22,3		10	-	24,2	88	30,8	373	69,2	3,48	
	7,1	9/32	12,1	61,9	15,4	92,6	24,3		11	7/16	26,4	86	33,5	399	73,9	3,45	
	8	5/16	13,4	60,7	17,1	101	26,4		12,5	1/2	29,6	83	37,5	435	80,5	3,41	
	8,8	11/32	14,6	58,5	18,6	107	28,2		14,2	9/16	32,9	79,6	41,8	477	87,2	3,35	
	10	-	16,3	56,7	20,8	116	30,5		16	5/8	36,2	76	46,2	504	93,3	3,30	
	11	7/16	17,7	54,7	22,5	123	32,2		17,5	11/16	39,0	73	49,8	528	97,9	3,26	
	12,5	1/2	19,7	51,7	25,0	131	34,5		20	-	43,4	68	55,3	563	104	3,19	
	14,2	9/16	21,7	47,7	27,6	139	36,0		22,2	7/8	47,0	63,6	59,8	588	109	3,13	
	16	5/8	23,7	44,1	30,2	146	38,4		25	1	51,4	58	65,2	612	113	3,06	
	17,5	11/16	25,3	41,1	32,2	151	39,6		114,3* [4 1/2"]	3,6	0,144	9,90	107,7	12,5	192	33,6	3,92
	20	-	27,7	36,1	35,2	156	41,1			4	0,160	11,0	106,3	13,9	211	36,9	3,90
	3,2	0,128	6,31	76,7	7,97	62,8	15,2			4,5	0,176	12,1	105,3	15,5	234	41,0	3,89
	3,6	0,144	7,06	75,3	8,92	69,6	16,9			5	0,192	13,5	104,3	17,2	257	45,0	3,87
4	0,160	7,80	74,5	9,86	76,2	18,5	5,6	0,219		15,0	103,1	19,1	283	49,6	3,85		
4,5	0,176	8,63	73,5	11,0	84,1	20,4	6,3	1/4		16,8	101,7	21,4	313	54,7	3,82		
5	0,192	9,56	72,5	12,2	91,8	22,2	7,1	9/32		18,8	100,1	23,9	345	60,4	3,80		
5,6	0,219	10,6	71,3	13,5	101	24,4	8	5/16		20,9	98,3	26,7	379	66,4	3,77		
6,3	1/4	11,9	69,9	15,1	110	26,7	8,8	11/32		22,8	96,7	29,2	409	71,5	3,74		
7,1	9/32	13,2	68,3	16,8	121	29,2	10	-		25,7	94,3	32,8	450	78,7	3,70		
8	5/16	14,6	66,5	18,7	131	31,9	11	7/16		28,1	92,3	35,7	482	84,3	3,67		
8,8	11/32	15,9	64,9	20,4	140	34,0	12,5	1/2		31,6	89,3	40,0	526	92,0	3,63		
10	-	17,9	62,5	22,8	152	37,0	14,2	9/16		35,1	85,9	44,7	571	99,8	3,57		
11	7/16	19,5	60,5	24,7	162	39,2	16	5/8		38,6	82,3	49,4	613	107	3,52		
12,5	1/2	21,7	57,5	27,5	174	42,1	17,5	11/16		41,7	79,3	53,2	644	113	3,48		
14,2	9/16	24,0	54,7	30,5	185	44,9	20	-		46,5	74,3	59,3	688	120	3,41		
16	5/8	26,2	50,5	33,4	195	47,4	22,2	7/8		50,4	69,9	64,2	727	126	3,35		
17,5	11/16	28,0	47,5	35,7	202	49,1	25	1		55,3	64,3	70,7	754	132	3,28		
20	-	30,8	42,5	39,3	211	51,2	(121) [4 3/4"]	4		0,160	11,5	113	14,7	252	41,6	4,14	
22,2	7/8	33,0	38,7	42,1	217	52,6		4,5		0,176	12,9	112	16,5	280	46,3	4,12	
3,2	0,128	6,81	82,5	8,62	70,2	17,8		5	0,192	14,3	111	18,2	307	50,8	4,11		
3,6	0,144	7,63	81,7	9,65	77,9	19,8		5,6	0,219	15,9	109,8	20,3	339	56,0	4,08		
4	0,160	8,43	80,9	10,7	86,3	21,7		6,3	1/4	17,8	108,4	22,7	374	61,9	4,06		
4,5	0,176	9,33	79,9	11,9	95,1	24,0		7,1	9/32	19,9	106,8	25,4	414	68,4	4,03		
5	0,192	10,3	78,9	13,2	104	26,2		8	5/16	22,3	105	28,4	456	75,3	4,01		
5,6	0,219	11,5	77,7	14,7	112	28,7		8,8	11/32	24,3	103,4	31,0	497	81,2	3,98		
6,3	1/4	12,9	76,3	16,3	120	31,3		10	-	27,4	101	34,9	541	89,5	3,94		
7,1	9/32	14,4	74,7	18,2	128	34,6		11	7/16	29,8	99	38,0	581	96,0	3,91		
8	5/16	15,9	72,9	20,3	138	37,8		12,5	1/2	33,4	96	42,6	635	105	3,86		
8,8	11/32	17,3	71,3	22,1	148	40,4		14,2	9/16	37,4	92,6	47,6	697	114	3,81		
10	-	19,5	68,9	24,8	158	44,1		16	5/8	41,4	89	52,8	744	123	3,76		
11	7/16	21,2	66,9	26,9	168	46,9		17,5	11/16	44,7	86	56,9	784	130	3,71		
12,5	1/2	23,7	63,9	30,0	179	50,6		20	-	49,8	81	63,5	841	139	3,64		
14,2	9/16	26,2	60,5	33,3	191	54,2		22,2	7/8	54,1	76,6	68,9	883	146	3,58		
16	5/8	28,7	56,9	36,6	205	57,4		25	1	59,2	71	75,4	927	153	3,51		
17,5	11/16	30,8	53,9	39,3	219	59,7		127 [5"]	4	0,160	12,2	119	15,5	293	46,7	4,35	
20	-	34,0	48,9	43,3	229	62,7			4,5	0,176	13,5	118	17,3	325	51,2	4,33	
22,2	7/8	36,5	44,5	46,5	237	64,6			5	0,192	15,0	117	19,2	355	56,2	4,32	
3,6	0,144	8,76	94,4	11,1	133	26,2	5,6		0,219	16,7	115,8	21,4	394	62,1	4,30		
4	0,160	9,70	93,6	12,3	146	28,8	6,3		1/4	18,8	114,4	23,9	436	68,7	4,27		
4,5	0,176	10,7	92,6	13,7	162	31,9	7,1		9/32	21,0	112,8	26,7	482	75,9	4,25		
5	0,192	11,9	91,6	15,2	177	34,9	8		5/16	23,4	111	29,9	532	83,7	4,22		
5,6	0,219	13,2	90,4	16,9	195	38,4	8,8		11/32	25,5	109,4	32,7	574	90,4	4,19		
6,3	1/4	14,9	89	18,9	215	42,3	10		-	28,9	107	36,8	634	99,8	4,15		
7,1	9/32	16,6	87,4	21,1	237	46,6	11		7/16	31,6	105	40,1	680	107	4,12		
8	5/16	18,4	85,6	23,5	260	51,1	12,5		1/2	35,5	102	45,0	746	117	4,07		
8,8	11/32	20,1	84	25,7	279	54,9	14,2		9/16	39,6	98,6	50,3	813	128	4,02		
10	-	22,6	81,6	28,8	305	60,1	16		5/8	43,6	95	55,8	877	138	3,97		
11	7/16	24,7	79,6	31,3	326	64,2	17,5		11/16	47,2	92	60,2	925	146	3,92		
12,5	1/2	27,6	76,6	35,0	354	69,7	20		-	52,8	87	67,2	996	157	3,85		
14,2	9/16	30,7	73,2	39,0	382	75,2	22,2		7/8	57,4	82,6	73,7	1048	165	3,79		
16	5/8	33,7	69,6	43,0	408	80,3	25		1	63,2	77	80,7	1104	174	3,71		
17,5	11/16	36,2	66,6	46,2	426	84,0	133 [5 1/4"]		4	0,160	12,8	125	16,2	338	50,8	4,56	
20	-	40,2	61,6	51,3	452	89,0			4,5	0,176	14,2	124	18,2	375	56,5	4,55	
22,2	7/8	43,5	57,2	55,4	471	92,6			5	0,192	15,8	123	20,7	412	62,0	4,53	
3,6	0,144	9,33	100,8	11,8	177	29,8		5,6	0,219	17,6	121,8	22,4	456	68,5	4,51		
4	0,160	10,3	100	13,1	177	32,8		6,3	1/4	19,8	120,4	25,1	504	75,9	4,49		
108 [4 1/4"]	4	0,160	10,3	100	13,1	177		7,1	9/32	22,1	118,8	28,1	558	83,9	4,46		

Πίνακας 6.1

D	s ^{*)}	G ^{*)}	d ^{*)}	F ^{*)}	J ^{*)}	W ^{*)}	i ^{*)}	D	s ^{*)}	G ^{*)}	d ^{*)}	F ^{*)}	J ^{*)}	W ^{*)}	i ^{*)}			
mm	mm	ivt/Sec	kg/m	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	mm	mm	ivt/Sec	kg/m	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm		
244,5* [9 ¹ / ₄ "]	6,3	1/4	37,1	237,9	47,7	3346	274	8,42	355,6* [14 ¹ / ₄ "]	8	5/16	68,3	339,6	87,4	73 200	742	12,3	
	7,1	9/32	41,7	230,3	53,0	3734	305	8,40		8,8	11/32	74,9	358	95,9	74 420	817	12,3	
	8	5/16	46,5	228,5	59,4	4160	340	8,37		10	-	85,2	355,6	100	76 220	912	12,2	
	8,8	11/32	50,9	226,9	65,2	4531	371	8,34		11	7/16	93,9	333,6	119	77 990	995	12,2	
	10	-	57,8	224,5	73,7	5073	415	8,30		12,5	1/2	107	330,6	135	79 850	1120	12,1	
	11	7/16	63,6	222,5	80,7	5512	451	8,26		14,2	9/16	120	327,2	152	22 230	1250	12,1	
	12,5	1/2	72,0	219,5	91,7	6147	503	8,21		16	5/8	133	323,6	171	24 660	1390	12,0	
	14,2	9/16	80,8	216,7	103	6837	559	8,16		17,5	11/16	146	320,6	186	26 630	1500	12,0	
	16	5/8	89,8	212,5	115	7533	616	8,10		20	-	166	315,6	211	29 790	1680	11,9	
	17,5	11/16	97,8	209,5	125	8086	661	8,05		22,2	7/8	183	311,2	233	32 450	1830	11,8	
	20	-	111	204,5	141	8957	733	7,97		25	1	205	305,6	260	35 680	2010	11,7	
	22,2	7/8	122	200,7	155	9673	791	7,90										
	25	1	136	194,5	172	10 520	860	7,81										
267 [10 ¹ / ₄ "]	6,3	1/4	40,6	254,4	51,6	4 389	329	9,22	368 [14 ¹ / ₄ "]	8	5/16	70,8	352	90,5	74 660	797	12,7	
	7,1	9/32	45,6	252,3	58,0	4 898	367	9,19		8,8	11/32	77,7	350,4	99,3	76 030	877	12,7	
	8	5/16	50,9	251	65,7	5 463	409	9,16		10	-	88,3	348	112	78 030	980	12,7	
	8,8	11/32	55,8	249,4	71,4	5 955	446	9,13		11	7/16	97,3	346	123	80 700	1070	12,6	
	10	-	63,4	247	80,7	6 676	500	9,09		12,5	1/2	110	343	140	22 080	1200	12,6	
	11	7/16	69,7	245	88,5	7 267	544	9,06		14,2	9/16	124	339,6	158	24 740	1340	12,5	
	12,5	1/2	79,0	242	99,9	8 111	608	9,01		16	5/8	138	336	177	27 480	1490	12,5	
	14,2	9/16	88,7	238,6	113	9 037	677	8,95		17,5	11/16	151	333	193	29 660	1610	12,4	
	16	5/8	98,6	235	126	9 976	747	8,89		20	-	172	328	219	33 210	1800	12,3	
	17,5	11/16	107	232	137	10 730	803	8,84		22,2	7/8	189	323,6	241	36 200	1970	12,3	
	20	-	122	227	155	11 910	892	8,76		25	1	213	318	269	39 830	2160	12,2	
	22,2	7/8	134	222,6	171	12 890	966	8,69										
	25	1	150	217	190	14 060	1050	8,60										
273* [10 ¹ / ₄ "]	6,3	1/4	41,6	260,4	52,8	4 696	344	9,43	406,4* [16"]	8,8	11/32	85,9	388,8	110	27 730	1070	14,1	
	7,1	9/32	46,7	258,3	59,3	5 245	384	9,40		10	-	97,8	386,4	125	24 480	1200	14,0	
	8	5/16	52,1	257	66,6	5 852	420	9,37		11	7/16	108	384,4	137	26 720	1320	14,0	
	8,8	11/32	57,1	255,4	73,0	6 380	467	9,35		12,5	1/2	122	381,4	155	30 030	1480	13,9	
	10	-	64,9	253	82,6	7 154	524	9,31		14,2	9/16	138	378	175	33 690	1660	13,9	
	11	7/16	71,4	251	90,5	7 783	570	9,27		16	5/8	153	374,4	196	37 450	1840	13,8	
	12,5	1/2	80,9	248	102	8 697	637	9,22		17,5	11/16	168	371,4	214	40 500	1990	13,8	
	14,2	9/16	90,9	244,6	115	9 695	710	9,16		20	-	191	366,4	243	45 430	2240	13,7	
	16	5/8	101	241	129	10 710	784	9,10		22,2	7/8	210	362	268	49 610	2440	13,6	
	17,5	11/16	110	238	140	11 520	844	9,05		25	1	237	356,4	300	54 700	2690	13,5	
	20	-	125	233	159	12 800	938	8,97										
	22,2	7/8	137	228,6	175	13 860	1020	8,90										
	25	1	154	223	195	15 130	1110	8,81										
298,5 [11 ¹ / ₄ "]	7,1	9/32	51,1	284,3	65,0	6 903	463	10,3	419 [16 ¹ / ₄ "]	10	-	101	399	128	26 880	1280	14,5	
	8	5/16	57,1	282,5	73,0	7 708	516	10,3		11	7/16	111	397	141	29 360	1400	14,4	
	8,8	11/32	62,6	280,9	80,7	8 470	563	10,2		12,5	1/2	126	394	160	33 000	1580	14,4	
	10	-	71,1	278,5	90,6	9 441	633	10,2		14,2	9/16	142	390,6	181	37 080	1770	14,3	
	11	7/16	78,3	276,5	99,4	10 280	689	10,2		16	5/8	158	387	203	41 190	1970	14,3	
	12,5	1/2	88,8	273,5	112	11 570	771	10,1		17,5	11/16	173	384	221	44 560	2130	14,2	
	14,2	9/16	99,8	270,7	127	12 850	867	10,1		20	-	197	379	251	50 010	2390	14,1	
	16	5/8	111	266,5	142	14 210	952	10,0		22,2	7/8	217	374,6	277	54 640	2610	14,1	
	17,5	11/16	121	263,5	154	15 370	1030	9,95		25	1	245	369	309	60 290	2880	14,0	
	20	-	137	258,5	175	17 050	1140	9,87										
	22,2	7/8	151	254,7	193	18 570	1240	9,80										
	25	1	170	248,5	215	20 250	1360	9,71										
	(318) [12 ¹ / ₄ "]	7,5	-	57,4	303	73,2	8 822	555		11,0	470 [18 ¹ / ₄ "]	10,5	-	119	449	152	40 030	1700
8,8		5/16	61,2	302	77,9	9 365	589	11,0	12,5	1/2		141	445	180	47 040	2000	16,2	
10		11/32	67,1	300,4	85,5	10 220	643	10,9	14,2	9/16		160	441,6	203	52 860	2250	16,1	
11		-	75,0	298	96,8	11 490	722	10,9	16	5/8		179	438	228	58 870	2570	16,1	
12,5		7/16	83,3	296	105	12 570	787	10,8	17,5	11/16		195	435	249	63 770	2770	16,0	
14,2		1/2	94,2	293	120	14 020	882	10,8	20	-		222	430	283	71 710	3050	15,9	
16		9/16	106	289,6	136	15 670	986	10,8	22,2	7/8		245	425,6	312	78 480	3340	15,9	
17,5		5/8	119	286	152	17 350	1090	10,7	25	1		274	420	350	86 790	3690	15,8	
20		11/16	130	283	165	18 770	1180	10,6										
22,2		-	147	278	187	20 880	1310	10,6										
25		7/8	162	273,6	206	22 690	1430	10,5										
		1	181	268	230	24 870	1560	10,4										
323,9* [12 ¹ / ₄ "]		7,1	9/32	55,6	309,7	70,7	8 869	548	11,2	508* [20"]		11	7/16	135	486	172	53 060	2090
	8	5/16	62,1	307,9	79,4	9 970	612	11,2	12,5		1/2	154	483	195	59 760	2350	17,5	
	8,8	11/32	68,1	306,3	87,1	10 820	668	11,1	14,2		9/16	173	479,6	220	67 200	2650	17,5	
	10	-	77,4	303,9	98,6	12 160	751	11,1	16		5/8	193	476	247	74 970	2950	17,4	
	11	7/16	85,3	301,9	108	13 250	818	11,1	17,5		11/16	211	473	270	81 200	3200	17,4	
	12,5	1/2	96,7	298,9	122	14 850	917	11,0	20		-	241	468	307	91 430	3600	17,3	
	14,2	9/16	109	295,5	138	16 600	1020	11,0	22,2		7/8	266	463,6	339	100 200	3940	17,2	
	16	5/8	121	291,9	155	18 390	1140	10,9	25		1	300	458	379	110 900	4370	17,1	
	17,5	11/16	132	288,9	168	19 830	1220	10,9										
	20	-	150	283,9	191	22 140	1370	10,8										
	22,2	7/8	165	279,5	210	24 070	1490	10,7										
	25	1	186	273,9	235	26 400	1630	10,6										
	521 [20 ¹ / ₄ "]	11,5	-	144	498	184	59 760	2290	18,0		521 [20 ¹ / ₄ "]	11,5	-	144	498	184	59 760	2290
14,2		9/16	177	492,6	226	72 640	2790	17,9	14,2	5/8		199	489	254	81 000	3170	17,9	
16		5/8	199	489	254	81 000	3170	17,9	17,5	11/16		217	486	277	87 830	3370	17,8	
17,5		11/16	217	486	277	87 830	3370	17,8	20	-		247	481	315	98 920	3800	17,7	
20		-	247	481	315	98 920	3800	17,7	22,2	7/8		273	476,6	348	108 400	4160	17,7	
22,2		7/8	273	476,6	348	108 400	4160	17,7	25	1		306	477	390	120 100	4570	17,6	
25		1	306	477	390	120 100	4570	17,6										

Πίνακας 6.2

Διαστάσεις και στατικά μεγέθη τετραγωνικών κοίλων διατομών εκ χάλυβος κατά DIN 59410 (Καταργασία εν θερμώ)

Όνομασία a	Πάχος τοιχώματος s	Εμβαδόν F cm^2	Βάρος G kg/m	Πορτο-πέρας επιφανεία U m^2/m	Στατικές τιμές				
					Για τους άξονες: $x - x = y - y$			Για στρίψιμο	
					J_x cm^4	W_x cm^3	i_x cm	J_t cm^4	W_t cm^3
40	2,9	4,23	3,32	0,155	9,66	4,83	1,51	15,0	7,97
	4,0	5,62	4,41	0,153	12,1	6,05	1,47	19,0	10,3
50	2,9	5,39	4,23	0,195	19,8	7,94	1,92	30,7	12,9
	4,0	7,22	5,67	0,193	25,4	10,1	1,87	39,5	16,9
60	2,9	6,55	5,14	0,235	35,5	11,8	2,33	54,5	18,9
	4,0	8,82	6,93	0,233	45,9	15,3	2,28	71,2	25,1
	5,0	10,8	8,47	0,231	54,1	18,0	2,24	84,5	30,2
70	3,2	8,46	6,64	0,275	62,7	17,9	2,72	96,3	28,5
	4,0	10,4	8,18	0,273	75,3	21,5	2,69	116	34,8
	5,0	12,8	10,0	0,271	89,6	25,6	2,65	139	42,2
80	3,6	10,9	8,55	0,314	106	26,4	3,11	162	42,0
	4,5	13,4	10,5	0,312	127	31,7	3,08	196	51,3
	5,6	16,4	12,9	0,310	151	37,6	3,03	234	61,9
90	3,6	12,3	9,68	0,354	153	34,0	3,52	234	53,7
	4,5	15,2	11,9	0,352	185	41,0	3,48	284	65,8
	5,6	18,6	14,6	0,350	220	49,0	3,44	341	79,7
100	4,0	15,2	12,0	0,393	233	46,6	3,91	357	73,7
	5,0	18,8	14,7	0,391	281	56,3	3,87	433	90,2
	6,3	23,3	18,3	0,389	339	67,8	3,82	525	111
120	4,5	20,5	16,1	0,469	452	75,3	4,70	702	120
	5,6	25,1	19,7	0,467	544	90,6	4,65	852	146
	6,3	28,0	22,0	0,465	598	99,7	4,62	942	163
140	5,6	29,6	23,3	0,547	885	126	5,47	1380	202
	7,1	37,0	29,0	0,543	1080	154	5,40	1690	250
	8,8	45,0	35,3	0,539	1280	182	5,33	2030	302
160	6,3	37,7	29,6	0,618	1460	183	6,23	2330	297
	8,0	47,0	36,9	0,613	1780	222	6,15	2880	368
	10,0	57,4	45,1	0,606	2100	263	6,05	3470	446
180	6,3	42,8	33,6	0,698	2120	236	7,05	3360	379
	8,0	53,4	41,9	0,693	2590	288	6,97	4160	471
	10,0	65,4	51,4	0,686	3090	343	6,87	5040	574
200	6,3	47,8	37,5	0,778	2960	296	7,86	4660	472
	8,0	59,8	46,9	0,773	3620	362	7,78	5780	588
	10,0	73,4	57,6	0,766	4340	434	7,69	7020	718
220	6,3	52,8	41,5	0,858	3980	362	8,68	6250	574
	8,0	66,2	52,0	0,853	4890	445	8,60	7770	717
	10,0	81,4	63,9	0,846	5890	535	8,50	9470	878
260	7,1	70,5	55,4	1,02	7450	573	10,3	11660	907
	8,8	86,4	67,8	1,01	8980	691	10,2	14200	1110
	11,0	106	83,6	1,00	10830	833	10,1	17350	1360
280	8,0	85,4	67,0	1,09	10430	745	11,0	16350	1180
	10,0	105	82,8	1,09	12650	903	11,0	20060	1450
	12,5	130	102	1,08	15220	1090	10,8	24460	1780
320	10,0	121	95,3	1,25	19240	1200	12,6	30300	1920
	12,5	150	118	1,24	23270	1450	12,5	37080	2360
	16,0	188	148	1,23	28430	1780	12,3	46030	2940
360	10,0	137	108	1,41	27790	1540	14,2	43540	2450
	12,5	170	133	1,40	33740	1870	14,1	53430	3010
	16,0	214	168	1,39	41450	2300	13,9	66580	3770
400	12,5	190	149	1,56	46970	2350	15,7	73980	3750
	16,0	239	188	1,55	57950	2900	15,6	92470	4700
	20,0	294	231	1,53	69400	3470	15,4	112400	5750

Πίνακας 6.3

Λιστάσεις και στατικά μεγέθη ὀρθογωνικῶν κοίλων διατομῶν ἐκ χάλυβος κατὰ DIN 59410

Όνομασία α × β	Πάχος S	Έρβολόν F	Βάρος G	Παρά- πλευρος ἐπιφάνεια U	Στατικές τιμές						Διά στρέψι	
					Διά τοῦς ἄξονες			Διά τοῦς ἄξονες			J_z	W_z
					J_x	$x - x$	i_x	J_y	$y - y$	i_y		
cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³			
50 x 30	2,9	4,23	3,32	0,155	13,4	5,36	1,78	5,88	3,92	1,18	12,9	7,39
	4,0	5,62	4,41	0,153	16,9	6,75	1,73	7,25	4,83	1,14	16,2	9,54
60 x 40	2,9	5,39	4,23	0,195	25,0	8,67	2,20	13,7	6,83	1,59	28,0	12,3
	4,0	7,22	5,67	0,193	33,3	11,1	2,15	17,3	8,65	1,55	35,9	16,1
70 x 40	2,9	5,97	4,69	0,215	38,1	10,9	2,53	15,7	7,83	1,62	34,9	14,4
	4,0	8,02	6,30	0,213	49,2	14,1	2,48	19,9	9,95	1,58	44,9	19,0
80 x 40	2,9	6,55	5,14	0,235	53,1	13,3	2,85	17,7	8,83	1,64	42,0	16,6
	4,0	8,82	6,93	0,233	69,0	17,3	2,80	22,5	11,3	1,60	54,2	21,9
	5,0	10,8	8,47	0,231	81,7	20,4	2,75	26,2	13,1	1,56	63,8	26,2
90 x 50	3,2	8,46	6,64	0,275	89,7	19,9	3,26	35,5	14,2	2,05	79,8	26,0
	4,0	10,4	8,18	0,273	108	24,0	3,22	42,3	16,9	2,02	95,9	31,6
	5,0	12,8	10,0	0,271	129	28,7	3,18	49,9	19,9	1,98	114	38,2
100 x 50	3,6	10,2	7,98	0,294	129	25,8	3,56	42,9	17,2	2,05	102	32,2
	4,5	12,5	9,83	0,292	155	31,0	3,52	50,9	20,4	2,02	122	39,1
	5,6	15,3	12,0	0,290	184	36,8	3,47	59,4	23,8	1,97	144	46,9
100 x 60	3,6	10,9	8,55	0,314	146	29,1	3,66	65,2	21,7	2,45	141	39,1
	4,5	13,4	10,5	0,312	176	35,1	3,62	77,9	26,0	2,41	169	47,7
	5,6	16,4	12,9	0,310	209	41,8	3,57	91,8	30,6	2,37	201	57,4
120 x 60	4,0	13,5	10,6	0,350	247	41,1	4,27	82,7	27,6	2,47	199	51,9
	5,0	16,6	13,0	0,348	296	49,3	4,22	98,2	32,7	2,43	239	63,1
	6,3	20,5	16,1	0,345	354	59,0	4,16	116	38,6	2,38	286	76,6
140 x 80	4,0	16,7	13,1	0,430	438	62,5	5,12	183	45,7	3,31	408	82,6
	5,0	20,6	16,2	0,428	529	75,6	5,07	220	55,0	3,27	496	101
	6,3	25,5	20,0	0,425	639	91,3	5,01	263	65,8	3,21	601	124
160 x 90	4,5	21,2	16,6	0,485	715	89,4	5,81	293	65,1	3,72	672	119
	5,6	25,9	20,4	0,481	868	107	5,75	350	77,7	3,67	814	145
	7,1	32,2	25,3	0,476	1030	129	5,67	418	92,9	3,60	991	179
180 x 100	5,6	29,3	23,0	0,541	1240	137	6,50	496	99,1	4,11	1150	184
	7,1	36,4	28,6	0,536	1500	167	6,41	597	119	4,05	1410	227
	8,8	44,2	34,7	0,530	1760	196	6,32	696	139	3,97	1680	272
200 x 120	6,3	37,7	29,6	0,618	2010	201	7,30	910	152	4,91	2030	277
	8,0	47,0	36,9	0,613	2440	244	7,21	1100	183	4,84	2490	342
	10,0	57,4	45,1	0,606	2890	289	7,10	1290	216	4,75	2990	414
220 x 120	6,3	40,2	31,6	0,658	2540	231	7,95	992	165	4,97	2320	305
	8,0	50,2	39,4	0,653	3100	281	7,85	1200	200	4,89	2850	378
	10,0	61,4	48,2	0,646	3680	335	7,74	1410	236	4,80	3420	458
260 x 140	6,3	47,8	37,5	0,778	4260	328	9,44	1630	233	5,85	3800	426
	8,0	59,8	46,9	0,773	5220	402	9,35	1990	284	5,77	4700	530
	10,0	73,4	57,6	0,766	6260	481	9,23	2370	339	5,68	5690	646
260 x 180	6,3	52,8	41,5	0,858	5070	390	9,80	2880	320	7,39	5820	554
	8,0	66,2	52,0	0,853	6240	480	9,71	3540	393	7,31	7220	692
	10,0	81,4	63,9	0,846	7510	578	9,60	4240	472	7,22	8790	846
280 x 180 *)	7,1	62,0	48,7	0,896	6730	481	10,4	3410	376	7,42	7210	669
	8,8	75,9	59,6	0,890	8100	578	10,3	4090	454	7,34	8740	815
	11,0	93,2	73,2	0,882	9720	695	10,2	4890	543	7,24	10620	995
280 x 220 *)	8,0	75,8	59,5	0,973	8650	618	10,7	5970	543	8,88	11180	921
	10,0	93,4	73,3	0,966	10460	747	10,6	7210	656	8,79	13670	1130
	12,5	115	90,1	0,957	12540	896	10,5	8620	784	8,67	16600	1380
320 x 180 *)	8,8	82,9	65,1	0,970	11230	702	11,6	4600	511	7,45	10550	935
	10,0	93,4	73,3	0,966	12510	782	11,6	5110	568	7,40	11800	1050
	12,5	115	90,0	0,957	14990	937	11,4	6090	677	7,29	14280	1280
320 x 220 *)	8,8	89,9	70,6	1,05	12930	808	12,0	7270	661	8,99	14810	1150
	10,0	101	79,6	1,05	14430	902	11,9	8090	736	8,93	16610	1300
	12,5	125	97,9	1,04	17360	1080	11,8	9700	882	8,82	20120	1590
360 x 220 *)	10,0	109	85,9	1,13	19210	1070	13,3	8980	816	9,06	19640	1470
	12,5	135	106	1,12	23170	1290	13,1	10780	980	8,94	23920	1800
	16,0	169	132	1,11	28190	1570	12,9	13030	1180	8,79	29460	2230
400 x 260 *)	11,0	137	108	1,28	30330	1520	14,9	15610	1200	10,7	32930	2130
	14,2	174	137	1,27	37610	1880	14,7	19280	1480	10,5	41300	2680
	17,5	211	166	1,26	44440	2220	14,5	22680	1740	10,4	49350	3230

Πίνακας 6.4

Μήκος πλευρών a	Ανοχή σφάλματος	Πάχος τοιχώματος s	Εμβαδόν cm^2	Βάρος kg/m	Παρέπλευρος επιφάνεια m^2/m	Στατικές τιμές				
						Διά τους άξονες $x-x = y-y$			Διά στρέψη	
						J_x cm^4	W_x cm^3	i_x cm	I_t cm^4	W_t cm^3
160	± 1.2	4	24,6	19,3	0,626	987	123	6,34	1540	194
		5	30,1	23,7	0,618	1189	149	6,27	1901	239
		6,3	37,4	29,3	0,612	1442	180	6,21	2344	296
		8	46,4	36,5	0,605	1741	218	6,12	2887	366
		10	55,7	43,7	0,588	1990	249	5,97	3464	439
180	± 1.3	4	27,8	21,8	0,706	1422	158	7,16	2209	248
		5	34,1	26,8	0,698	1719	191	7,09	2732	305
		6,3	42,4	33,3	0,692	2096	233	7,03	3377	378
		8	52,8	41,5	0,685	2546	283	6,94	4177	470
		10	63,7	50,0	0,668	2945	327	6,79	5051	567
12,5	77,0	60,5	0,655	3406	379	6,65	6010	680		
200	± 1.3	5	38,1	29,9	0,778	2389	239	7,91	3774	379
		6,3	47,5	37,3	0,772	2922	292	7,85	4676	471
		8	59,2	46,5	0,765	3567	357	7,75	5803	586
		10	71,7	56,3	0,748	4162	416	7,61	7055	711
		12,5	87,0	68,3	0,735	4859	486	7,47	8456	858
220	± 1.4	5	42,1	33,1	0,858	3212	292	8,73	5052	461
		6,3	52,5	41,2	0,852	3940	358	8,66	6270	574
		8	65,6	51,5	0,845	4828	439	8,57	7801	716
		10	79,7	62,6	0,828	5675	516	8,43	9524	871
		12,5	97,0	76,2	0,815	6674	607	8,29	11480	1055
250	± 1.5	5	48,1	37,8	0,978	4771	382	9,96	7463	599
		6,3	60,1	47,1	0,972	5873	470	9,89	9282	747
		8	75,2	59,1	0,965	7229	578	9,80	11580	934
		10	91,7	72,0	0,948	8568	685	9,67	14200	1141
		12,5	112	88,0	0,935	10160	813	9,52	17240	1389
260	± 1.5	5	50,1	39,4	1,02	5386	414	10,4	8410	649
		6,3	62,6	49,1	1,01	6635	510	10,3	10470	809
		8	78,4	61,6	1,01	8178	629	10,2	13070	1012
		10	95,7	75,1	0,988	9715	747	10,1	16050	1239
		12,5	117	91,9	0,975	11550	888	9,93	19490	1510
280	± 1.6	6,3	67,6	53,1	1,09	8352	597	11,1	13130	942
		8	84,8	66,6	1,09	10320	737	11,0	16420	1180
		10	104	81,4	1,07	12310	879	10,9	20200	1447
		12,5	127	99,7	1,06	14690	1049	10,8	24700	1768
		6,3	72,7	57,0	1,17	10340	689	11,9	16210	1085
300	± 1.8	8	91,2	71,6	1,17	12800	853	11,8	20290	1361
		10	112	87,7	1,15	15320	1021	11,7	25000	1671
		12,5	137	108	1,14	18350	1223	11,6	30530	2045
		6,3	77,7	61,0	1,25	12630	789	12,8	19730	1238
		320	± 1.8	8	97,6	76,6	1,25	15650	978	12,7
10	120			94,0	1,23	18790	1174	12,5	30520	1911
12,5	147			115	1,22	22570	1411	12,4	37330	2345
6,3	85,3			66,9	1,37	16440	951	14,0	25930	1487
350	± 2.0			8	107	84,2	1,37	20680	1182	13,9
		10	132	103	1,35	24920	1424	13,8	40210	2301
		12,5	162	127	1,34	30040	1717	13,6	49310	2827
		8	123	96,8	1,57	31270	1563	15,9	48910	2455
		400	± 2.5	10	152	119	1,55	37870	1893	15,8
12,5	187			147	1,54	45880	2294	15,7	74500	3733

Πίνακας 6.5

Διαστάσεις και στατικά μεγέθη ορθογωνικών κοίλων διατομών κατά DIN 59411

Μήκη <i>a</i>	Μήκη <i>b</i>	Ανοχή σφάλ- ματος	Ύψος <i>S</i>	Έμβα- δόν	Βάρος kg/m	Παρό- πλευρος επιφάνεια m ² /m	Στατικά μεγέθη							
							Από τους άξονες <i>x - x</i>			<i>y - y</i>			Από στήλη	
							<i>I_x</i> cm ⁴	<i>W_x</i> cm ³	<i>i_x</i> cm	<i>I_y</i> cm ⁴	<i>W_y</i> cm ³	<i>i_y</i> cm	<i>I_t</i> cm ⁴	<i>W_t</i> cm ³
40	20	± 0.3	1,6	1,75	1,38	0,114	3,43	1,72	1,40	1,15	1,15	0,81	2,87	2,25
			2	2,14	1,68	0,113	4,05	2,03	1,38	1,34	1,34	0,79	3,42	2,71
			2,6	2,68	2,10	0,111	4,81	2,40	1,34	1,57	1,57	0,77	4,11	3,32
50	30	± 0.5	1,6	2,39	1,88	0,154	7,96	3,18	1,82	3,60	2,40	1,23	8,02	4,38
			2	2,94	2,31	0,153	9,54	3,81	1,80	4,29	2,86	1,21	9,72	5,34
			2,6	3,72	2,92	0,151	11,6	4,65	1,78	5,22	3,48	1,18	12,0	6,69
			3,2	4,45	3,49	0,149	13,4	5,35	1,73	5,93	3,95	1,15	14,0	7,90
			4	5,35	4,20	0,146	15,3	6,10	1,69	6,69	4,46	1,12	16,2	9,32
60	40	± 0.6	1,6	3,03	2,38	0,194	15,2	5,07	2,24	8,15	4,08	1,64	16,9	7,16
			2	3,74	2,93	0,193	18,4	6,14	2,22	9,83	4,92	1,62	20,7	8,78
			2,6	4,76	3,73	0,191	22,8	7,59	2,19	12,1	6,05	1,59	25,9	11,1
			3,2	5,73	4,50	0,189	26,6	8,87	2,15	14,1	7,03	1,57	30,7	13,3
			4	6,95	5,45	0,186	31,0	10,3	2,11	16,3	8,14	1,53	36,3	15,9
			5	8,14	6,39	0,178	33,4	11,1	2,03	17,6	8,79	1,47	41,5	18,4
80	40	± 0.7	2	4,54	3,56	0,233	37,4	9,34	2,87	12,7	6,36	1,67	30,8	11,8
			2,6	5,80	4,55	0,231	46,6	11,7	2,83	15,7	7,87	1,65	38,8	15,0
			3,2	7,00	5,50	0,229	54,9	13,7	2,80	18,4	9,21	1,62	46,0	18,0
			4	8,55	6,71	0,226	64,8	16,2	2,75	21,5	10,7	1,59	54,8	21,6
			5	10,1	7,96	0,218	71,6	17,9	2,66	23,8	11,9	1,53	63,6	25,4
90	50	± 0.75	2,6	6,84	5,37	0,271	72,6	16,1	3,26	29,2	11,7	2,06	67,5	21,5
			3,2	8,29	6,51	0,269	86,3	19,2	3,23	34,4	13,8	2,04	80,8	25,9
			4	10,2	7,97	0,266	103	22,8	3,18	40,7	16,3	2,00	97,2	31,4
			5	12,1	9,52	0,258	116	25,8	3,09	46,0	18,4	1,93	115	37,4
100	60	± 0.8	2,6	7,88	6,18	0,311	107	21,3	3,68	48,5	16,2	2,48	107	29,0
			3,2	9,57	7,51	0,309	127	25,5	3,65	57,6	19,2	2,45	128	35,1
			4	11,8	9,22	0,306	153	30,5	3,60	68,7	22,9	2,42	156	42,8
			5	14,1	11,1	0,298	175	35,1	3,52	78,9	26,3	2,36	187	51,4
			6,3	17,2	13,5	0,292	203	40,7	3,44	90,9	30,3	2,30	221	61,7
110	70	± 0.8	3,2	10,9	8,51	0,349	179	32,6	4,06	89,2	25,5	2,88	191	45,5
			4	13,4	10,8	0,346	216	39,3	4,02	107	30,6	2,83	233	55,7
			5	16,1	12,7	0,338	251	45,6	3,94	124	35,5	2,77	281	67,4
			6,3	19,7	15,5	0,332	294	53,5	3,86	145	41,4	2,71	337	81,5
120	60	± 0.9	3,2	10,9	8,51	0,349	200	33,3	4,29	67,9	22,7	2,50	165	42,3
			4	13,4	10,5	0,346	241	40,1	4,25	81,3	27,1	2,47	200	51,8
			5	16,1	12,7	0,338	279	46,5	4,15	94,1	31,3	2,41	241	62,4
			6,3	19,7	15,5	0,332	327	54,4	4,07	109	36,4	2,35	287	75,2
120	80	± 0.9	3,2	12,1	9,52	0,389	244	40,6	4,48	130	32,6	3,28	271	57,3
			4	15,0	11,7	0,386	295	49,1	4,44	157	39,3	3,24	330	70,3
			5	18,1	14,2	0,378	345	57,6	4,36	184	46,1	3,18	402	85,4
			6,3	22,3	17,5	0,372	409	68,1	4,28	217	54,3	3,12	485	104
140	80	± 1.0	3,2	13,4	10,5	0,429	354	50,6	5,14	149	37,3	3,34	336	67,1
			4	16,6	13,0	0,426	430	61,4	5,09	180	45,1	3,30	413	82,7
			5	20,1	15,8	0,418	506	72,4	5,01	212	53,1	3,24	500	100
			6,3	24,8	19,4	0,412	603	86,1	4,93	251	62,9	3,19	605	122
150	100	± 1.2	3,2	15,3	12,0	0,489	488	65,1	5,64	262	52,5	4,14	538	90,8
			4	19,0	14,9	0,486	595	79,3	5,60	319	63,7	4,10	661	112
			5	23,1	18,2	0,478	707	94,3	5,52	379	75,7	4,04	810	137
			6,3	28,6	22,4	0,472	848	113	5,45	453	90,5	3,98	988	168
			8	35,2	27,7	0,465	1008	134	5,35	536	107	3,90	1198	206
160	80	± 1.2	3,2	14,7	11,5	0,469	491	61,4	5,78	168	42,1	3,38	403	76,9
			4	18,2	14,3	0,466	598	74,7	5,74	204	50,9	3,35	493	94,6
			5	22,1	17,4	0,458	708	88,5	5,65	241	60,2	3,29	601	115
			6,3	27,3	21,4	0,452	846	106	5,57	286	71,4	3,24	729	141
			8	33,6	26,4	0,445	1001	125	5,46	335	83,7	3,16	875	172

Πίνακας 6.5

Μήκη a	Μήκη b	Ανοχή από- κλίσης ±	Πάχος s	Έμβα- δόν cm ²	Βάρος kg/m	Παρο- πλάτος επιφάνεια m ² /m	Στατικός πίνακας						Διά στρέψι	
							Διά τους άξονες x-x			y-y			I ₁ cm ⁴	W ₁ cm ³
							I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm		
180	100	± 1,3	4	21,4	16,8	0,546	926	103	6,59	374	74,8	4,18	853	135
			5	26,1	20,5	0,538	1107	123	6,51	446	89,3	4,13	1046	165
			6,3	32,3	25,4	0,532	1335	148	6,43	536	107	4,07	1279	203
			8	40,0	31,4	0,525	1598	178	6,32	637	127	3,99	1556	250
			10	47,7	37,5	0,508	1787	199	6,12	714	143	3,87	1828	295
200	100	± 1,3	4	23,0	18,0	0,586	1200	120	7,23	411	82,6	4,23	984	150
			5	28,1	22,1	0,578	1438	144	7,14	492	98,3	4,17	1208	184
			6,3	34,9	27,4	0,572	1739	174	7,06	591	118	4,12	1478	227
			8	43,2	34,0	0,565	2091	209	6,95	705	141	4,04	1801	279
			10	51,7	40,6	0,548	2355	236	6,75	795	159	3,92	2122	331
200	120	± 1,3	4	24,6	19,3	0,626	1353	135	7,42	618	103	5,02	1344	182
			5	30,1	23,7	0,618	1628	163	7,34	742	124	4,96	1656	223
			6,3	37,4	29,3	0,612	1976	198	7,27	898	150	4,90	2035	276
			8	46,4	36,5	0,605	2386	239	7,17	1079	180	4,82	2497	341
			10	55,7	43,7	0,588	2717	272	6,98	1230	205	4,70	2978	407
220	140	± 1,3	4	27,8	21,8	0,706	1893	172	8,26	948	135	5,84	1986	235
			5	34,1	26,8	0,698	2287	208	8,19	1145	164	5,79	2453	289
			6,3	42,4	33,3	0,692	2789	254	8,11	1392	199	5,73	3027	358
			8	52,8	41,5	0,685	3389	308	8,01	1685	241	5,65	3734	444
			10	63,7	50,0	0,668	3910	355	7,83	1945	278	5,53	4497	535
250	150	± 1,5	5	38,1	29,9	0,778	3270	262	9,26	1496	199	6,26	3293	354
			6,3	47,4	37,3	0,772	4001	320	9,18	1825	243	6,20	4071	440
			8	59,2	46,5	0,765	4886	391	9,08	2219	296	6,12	5038	546
			10	71,7	56,3	0,748	5867	455	8,91	2584	345	6,00	6098	661
			12,5	87,0	68,3	0,735	6633	531	8,73	3002	400	5,87	7269	785
260	180	± 1,6	5	42,1	33,1	0,858	4085	314	9,85	2332	259	7,44	4707	445
			6,3	52,5	41,2	0,852	5013	386	9,77	2856	317	7,38	5837	554
			8	65,6	51,5	0,845	6145	473	9,68	3493	388	7,30	7253	690
			10	79,7	62,6	0,828	7214	555	9,51	4102	456	7,17	8837	839
			12,5	97,0	76,2	0,815	8482	653	9,35	4812	535	7,04	10 630	1015
300	200	± 1,8	5	48,1	37,8	0,978	6193	413	11,3	3393	334	8,33	6853	574
			6,3	60,1	47,1	0,972	7624	508	11,3	4104	410	8,27	8515	715
			8	75,2	59,1	0,965	9389	626	11,2	5042	504	8,19	10 610	894
			10	91,7	72,0	0,940	11 110	741	11,0	5969	597	8,07	12 990	1091
			12,5	112	88,0	0,935	13 180	879	10,9	7060	706	7,94	15 710	1327
320	200	± 1,8	6,3	62,6	49,1	1,01	8905	557	11,9	4340	434	8,33	9236	764
			8	78,4	61,6	1,01	10 980	686	11,8	5337	534	8,24	11 630	955
			10	95,7	75,1	0,988	13 020	814	11,7	6330	633	8,13	14 240	1167
			12,5	117	91,9	0,975	15 480	967	11,5	7500	750	8,00	17 240	1420
360	200	± 2,0	6,3	67,6	53,1	1,09	11 850	658	13,2	4813	481	8,44	10 980	862
			8	84,8	66,6	1,09	14 640	813	13,1	5927	593	8,35	13 690	1078
			10	104	81,4	1,07	17 420	967	13,0	7053	705	8,24	16 780	1319
			12,5	127	99,7	1,06	20 780	1154	12,8	8380	838	8,12	20 350	1608
400	200	± 2,5	6,3	72,6	57,0	1,17	15 330	766	14,5	5290	529	8,53	12 660	959
			8	91,2	71,6	1,17	18 970	949	14,4	6520	652	8,45	15 800	1201
			10	112	87,7	1,15	22 650	1132	14,2	7780	778	8,34	19 380	1471
			12,5	137	108	1,14	27 100	1355	14,1	9260	926	8,22	23 520	1795
450	250	± 2,5	6,3	85,3	66,9	1,37	23 610	1049	16,6	9620	769	10,6	21 720	1361
			8	107	84,2	1,37	29 340	1304	16,5	11 920	953	10,5	27 200	1708
			10	132	103	1,35	35 290	1569	16,4	14 330	1150	10,4	33 520	2101
			12,5	162	127	1,34	42 540	1890	16,2	17 220	1380	10,3	40 970	2577
500	300	± 2,5	8	123	96,8	1,57	42 810	1712	18,6	19 620	1308	12,6	42 740	2295
			10	152	119	1,55	51 780	2071	18,5	23 730	1582	12,5	52 840	2831
			12,5	187	147	1,54	62 730	2509	18,3	28 690	1912	12,4	64 860	3483

Κεφάλαιο 7

Η ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

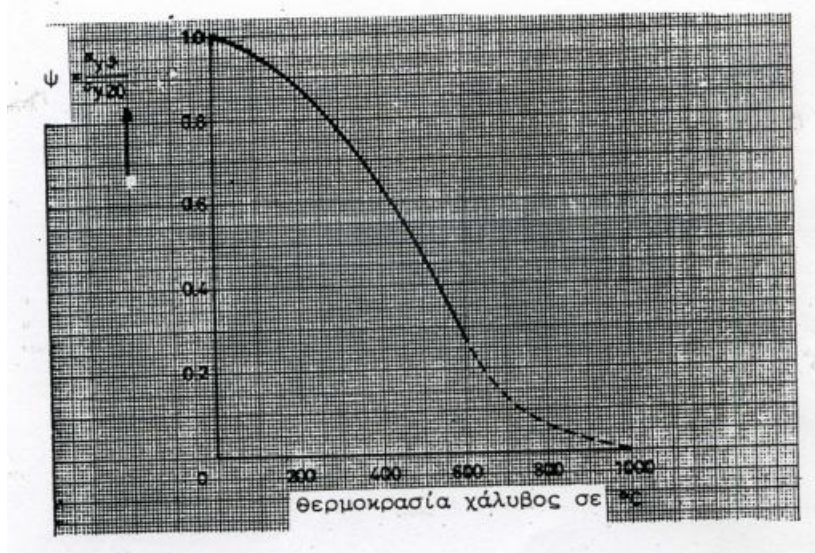
Το κεφάλαιο για την καλύτερη παρουσίαση του χωρίζεται στις παρακάτω ενότητες :

- A) Μεταβολή των ιδιοτήτων του χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας.
- B) Φυσική και προτυποποιημένη φωτιά.
- Γ) Διατιθέμενα προστατευτικά υλικά.
- Δ) Διαδικασία ελέγχου επάρκειας μεταλλικών στοιχείων σε συνθήκες φωτιάς.

A. Μεταβολή των ιδιοτήτων του χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας

Η τάση διαρροής

Η καμπύλη του σχ. 7.1 απεικονίζει τη σχέση μεταξύ του λόγου ψ της τιμής διαρροής του χάλυβα σε θερμοκρασία 20° C και της θερμοκρασίας. Ως τάση διαρροής θεωρείται η, μετά την αποφόρτιση, παραμένουσα παραμόρφωση ίση προς 0,2%.



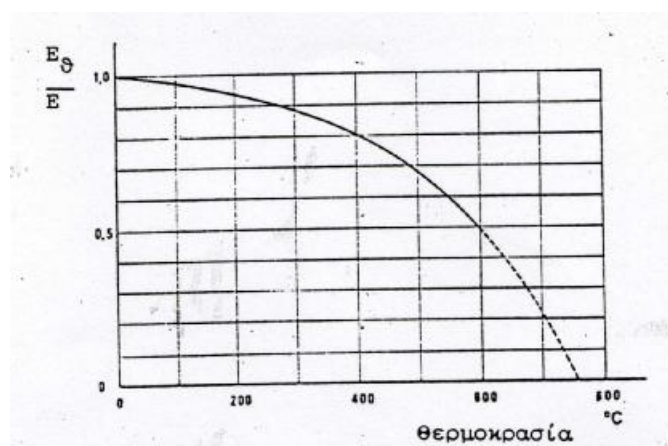
Η διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων διαφόρων εργαστηριακών εργασιών απεικονίζεται στο σχήμα 7.2 όπου έχει σχεδιασθεί επίσης η τελικά επιλεγόμενη καμπύλη του σχ.7.1. Οι πειραματικές μετρήσεις είναι πολύ

ευαίσθητες στην μεταβολή της ταχύτητας φόρτισης των δοκιμίων, ιδιαίτερα στις υψηλές θερμοκρασίες. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η καμπύλη τους σχ7.1 έχει σχεδιαστεί με διακεκομμένη γραμμή για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 600°C.



Το μέτρο ελαστικότητας

Η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα συναρτήσεται της θερμοκρασίας φαίνεται στο σχ.7.3 όπου στον κατακόρυφο άξονα έχει τεθεί ο λόγος της τιμής του μέτρου ελαστικότητας σε θερμοκρασία θ (αρχική κλίση του διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων στην θερμοκρασία αυτή) προς την τιμή E του μέτρου αυτού (σε συνήθεις θερμοκρασίες). Οι συστάσεις του E.C.C.S. προτείνουν την επόμενη αναλυτική προσέγγιση της πειραματικής καμπύλης του σχ.7.3 :



$$0 \leq J_s \leq 600^\circ\text{C}$$

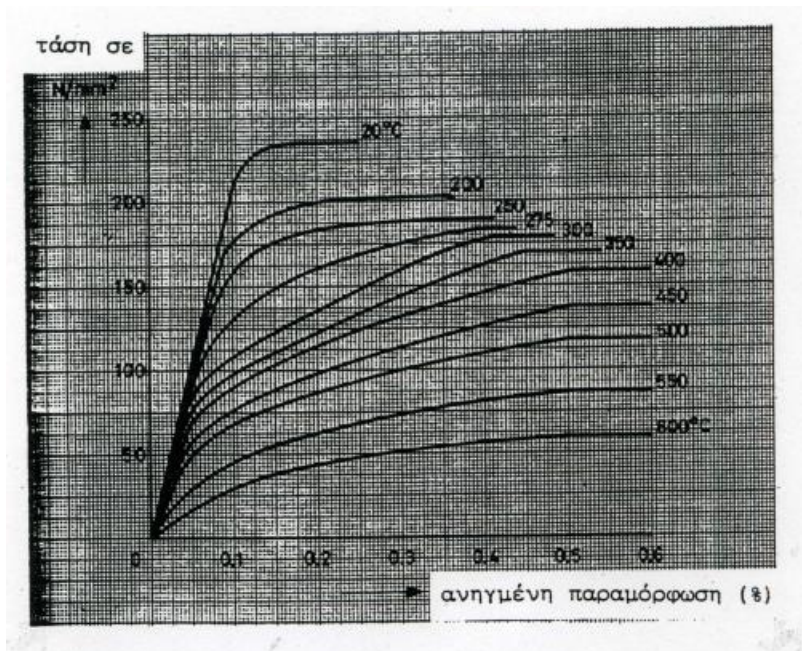
$$E_J = E(-17,2 * 10^{-12} J_s^4 + 11,8 * 10^{-9} J_s^3 - 34,5 * 10^{-7} J_s^2 + 15,9 * 10^{-5} J_s + 1)$$

Μια πιο απλή μαθηματική σχέση που προσεγγίζει την ίδια καμπύλη δίνεται από τις μαθηματικές συστάσεις του γαλλικού Τεχνικού Βιομηχανικού Κέντρου για την Μεταλλική Κατασκευή :

$$\frac{E_J}{E} = 1,0 + \frac{J_s}{2000 \cdot \ln\left(\frac{J_s}{1100}\right)}$$

Ισχύει και για το μέτρο ελαστικότητας η παρατήρηση της προηγούμενης παραγράφου περί εξάρτησης των πειραματικών αποτελεσμάτων από την ταχύτητα φόρτισης των δοκιμίων, ιδιαίτερα στις υψηλές θερμοκρασίες.

Στο σχ.7.4 φαίνονται τα διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων σε διάφορες θερμοκρασίες (από 20 έως 600°C) για δοκίμια από χάλυβα ποιότητας Fe 360.



Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων, σε διάφορες θερμοκρασίες για χάλυβα ποιότητας Fe 360.

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

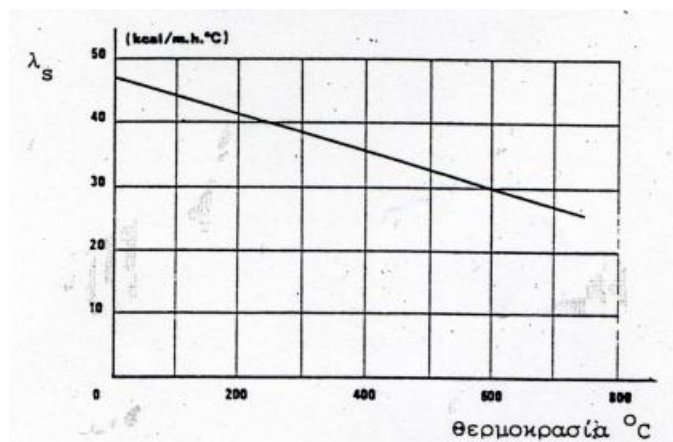
Η μεταβολή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ_s του χάλυβα, σε kcal/m h °C, συναρτήσει της θερμοκρασίας θ_s (σε °C) περιγράφεται με ικανοποιητική προσέγγιση από τη σχέση

$$I_s = -0,0283 \cdot q_s + 47$$
$$(0 \leq J_s < 750^\circ\text{C})$$

Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 750°C ο συντελεστής λ_s παραμένει σταθερός. Η τιμή του λ_s εξάλλου επηρεάζεται σημαντικά από την περιεκτικότητα του χάλυβα, σε άνθρακα.

Γραφικά η παραπάνω σχέση φαίνεται στο σχ.7.5. Για τις εφαρμογές, όταν εξετάζεται η συμπεριφορά του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες, η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας θεωρείται σταθερή και ίση προς

$$I_s = 30 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$$



Σχ7.5. Μεταβολή συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας

Ειδική θερμότητα

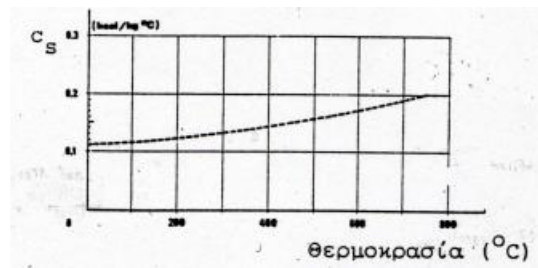
Η μεταβολή της ειδικής θερμότητας, του χάλυβα, σε kcal/kg°C, συναρτήσει της θερμοκρασίας (σε °C) προσεγγίζεται από την σχέση

$$C_s = 9.1 \cdot 10^{-8} J_s^2 + 4.8 \cdot 10^{-5} J_s + 0.113$$

η γραφική παράσταση της οποίας φαίνεται στο σχήμα 7.6. Στις εφαρμογές η τιμή αυτή θεωρείται σταθερή και ίση προς

$$C_s = 0.125 \text{ kcal / kg}^\circ\text{C}$$

$$C_s = 520 \text{ J / kg}^\circ\text{C}$$



Σχήμα 7.6 Μεταβολή της ειδικής θερμότητας του χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας

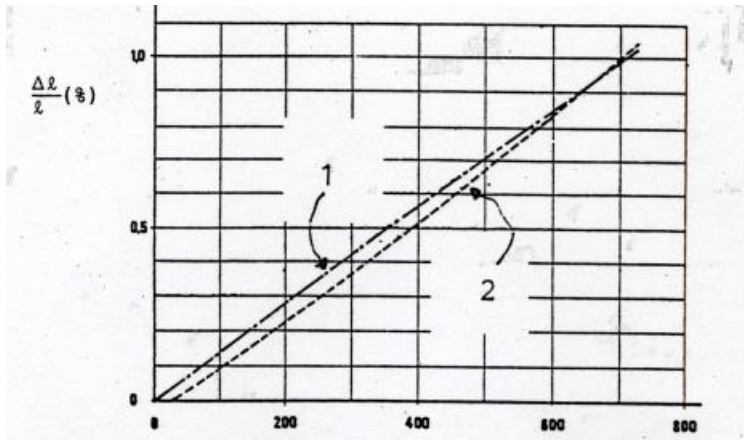
Συντελεστής θερμικής διαστολής

Η μεταβολή του μήκους Δl (σε cm), στοιχείου που έχει μήκος l (σε m), σε θερμοκρασία θ °C όταν η θερμοκρασία ανέλθει σε θ_s βαθμούς (°C) δίδεται κατά προσέγγιση από την σχέση

$$\frac{\Delta l}{l} = 0,4 * 10^{-8} \theta_s^2 + 1,2 * 10^{-5} \theta_s - 3 * 10^{-4}$$

απεικονίζεται δε από την καμπύλη 2 του σχ.7.7. Η καμπύλη αυτή προσεγγίζεται κατά πολύ ικανοποιητικό τρόπο από την ευθεία γραμμή 1 του σχ.7. 7 με εξίσωση

$$\frac{\Delta l}{l} = 1,4 * 10^{-5} \theta_s$$



Σχ.7.7 Μεταβολή συντελεστή θερμικής διαστολής °C χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Πυκνότητα

Η πυκνότητα ρ_s του χάλυβα θεωρούμε ότι παραμένει σταθερή, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία, και ίση προς 7850 kg/m^3 .

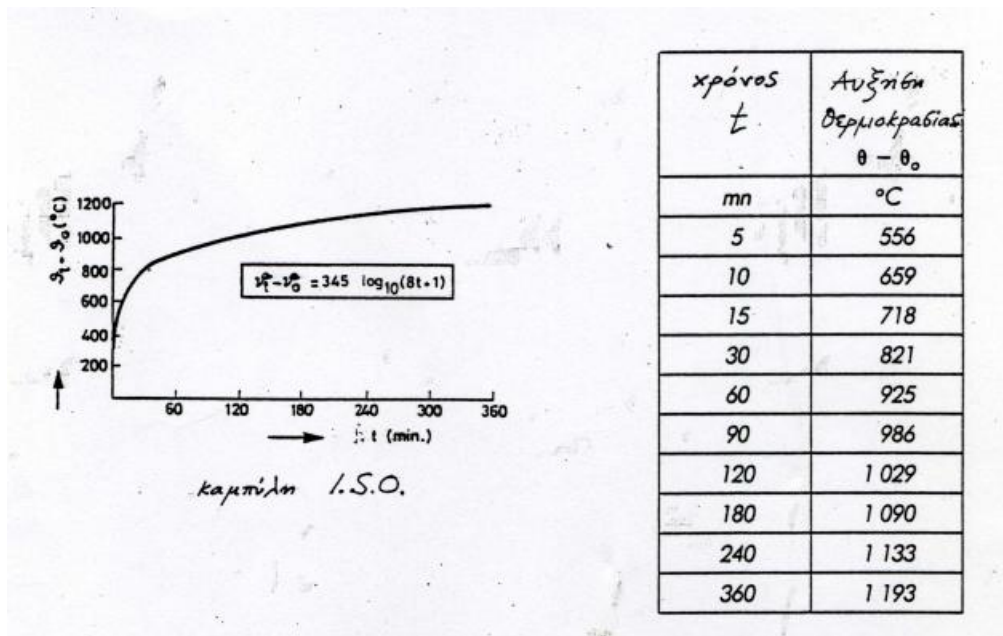
Β. Φυσική και προτυποποιημένη φωτιά

Η μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου, σε χώρο στον οποίο έχει εκδηλωθεί πυρκαγιά, προσεγγίζεται από τον Διεθνή Οργανισμό Προτυποποίησης με την εξίσωση

$$\theta_t - \theta_0 = 345 \log_{10}(\theta t + 1)$$

όπου ο χρόνος t από την αρχή της πυρκαγιάς εισάγεται σε min και θ_t η θερμοκρασία του χώρου την χρονική στιγμή t . Λαμβάνεται συνήθως ως αρχική θερμοκρασία $\theta_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

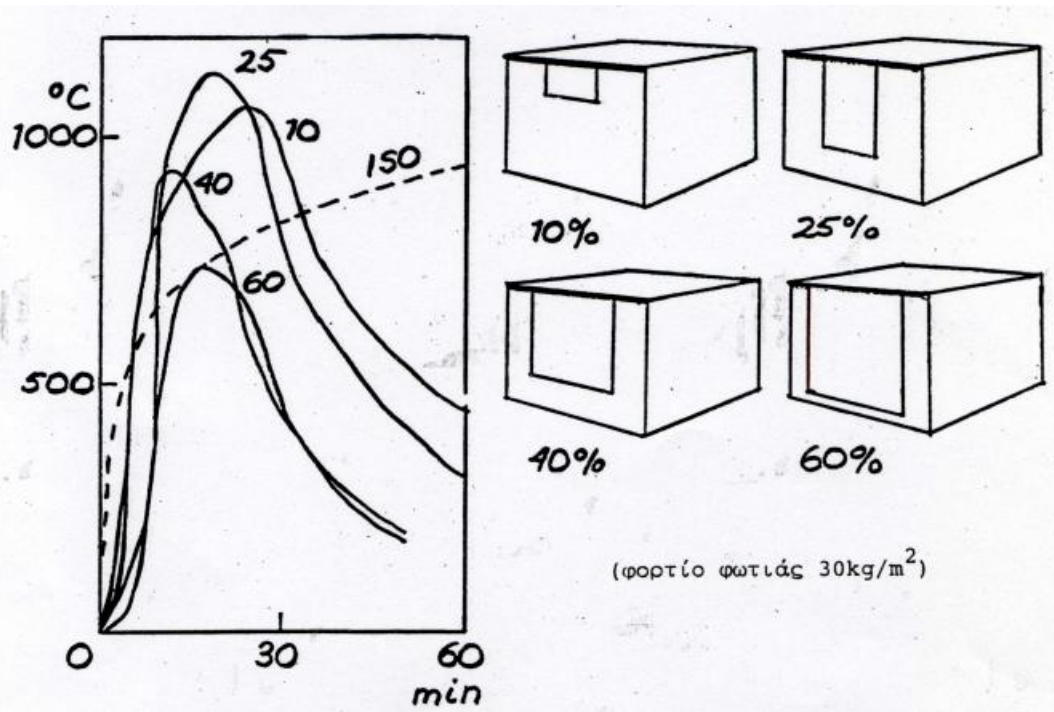
Η γραφική παράσταση της παραπάνω σχέσης φαίνεται στο σχήμα 8. Στον πίνακα του ίδιου σχήματος δίνονται σε χαρακτηριστικές χρονικές στιγμές οι αυξήσεις της θερμοκρασίας.



Σχήμα 7.8 Προτυποποιημένη φωτιά του Διεθνούς Οργανισμού Προτυποποίησης (I. S. O.).

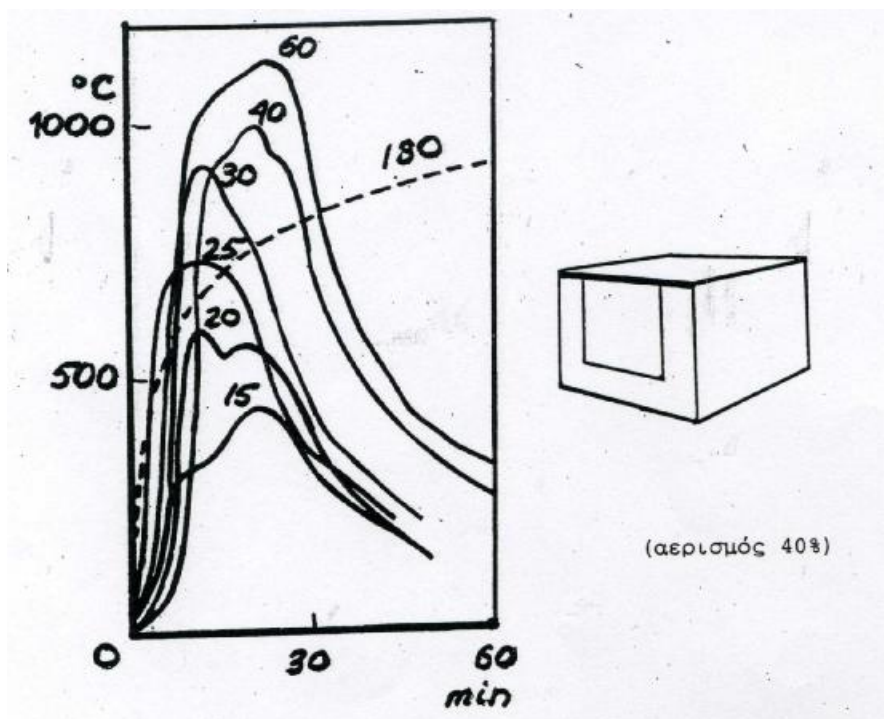
Η άνοδος της θερμοκρασίας επηρεάζεται σημαντικά από τις συνθήκες αερισμού του χώρου στον οποίο εκδηλώθηκε φωτιά καθώς και από την ποσότητα του υλικού που βρίσκεται μέσα στο χώρο αυτό και είναι δυνατό να καεί (φορτίο φωτιάς).

Στο σχήμα 7.9 οι συνθήκες αερισμού εκφράζονται από το ποσοστό της πρόσφυσης του χώρου κατά το οποίο είναι διατεταγμένο άνοιγμα. Για δεδομένη ποσότητα φορτίου φωτιάς (30 Kg/m^2) φαίνονται οι καμπύλες φυσικής φωτιάς για τις διάφορες περιπτώσεις αερισμού και η σύγκριση τους προς την τυποποιημένη καμπύλη. Για μικρό ποσοστό ανοίγματος δυσχεραίνεται η τροφοδοσία με οξυγόνο του χώρου της φωτιάς από το περιβάλλον αλλά και η διαφυγή ποσότητας θερμότητας προς το περιβάλλον. Τα αντίθετα συμβαίνουν σε περίπτωση μεγάλου ποσοστού ανοιγμάτων. Σε νεότερες εργασίες η επίδραση των συνθηκών αερισμού παρακολουθείται κατά ικανοποιητικότερο τρόπο με εισαγωγή της παραμέτρου $A\sqrt{H} / A_t$, όπου A οι επιφάνειες των ανοιγμάτων του χώρου αναφοράς (m^2), H το ύψος των ανοιγμάτων (m) και A_t η ολική εσωτερική επιφάνεια του παραπάνω χώρου (m^2).



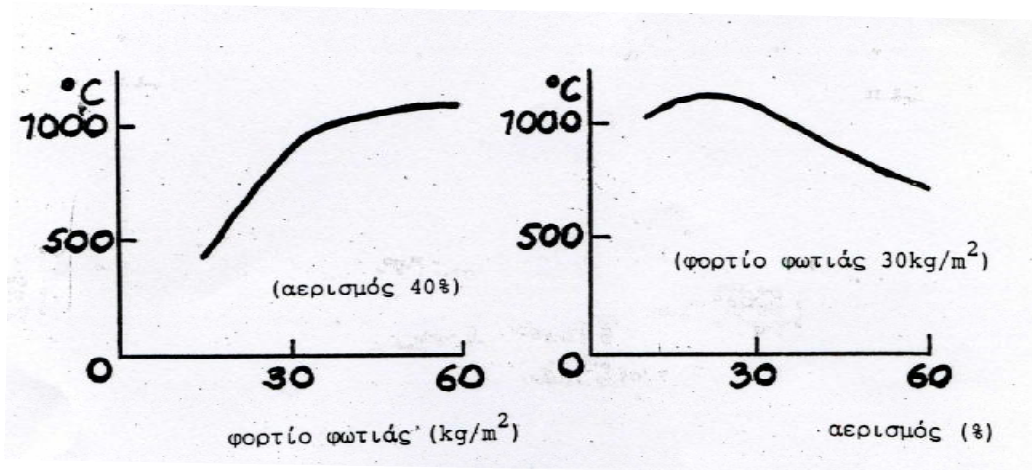
Σχήμα 7.9. Επίδραση των συνθηκών αερισμού στην άνοδο της θερμοκρασίας σε περίπτωση φωτιάς.

Ως φορτίο φωτιάς, εκφραζόμενο σε kg/m^2 κάτοψης, θεωρείται η ποσότητα ξύλου η οποία, από πλευράς εκλυόμενης ποσότητας θερμότητας, είναι ισοδύναμη προς τα υλικά που βρίσκονται αποθεωμένα στην κάτοψη αναφοράς και είναι δυνατόν να καούν.



Στο σχήμα 7.10 φαίνονται οι καμπύλες φυσικής φωτιάς για δεδομένες συνθήκες αερισμού και διάφορα φορτία φωτιάς και η σύγκριση τους με την τυποποιημένη καμπύλη.

Οι επιδράσεις των συνθηκών αερισμού και του φορτίου φωτιάς στην μέγιστη θερμοκρασία της φωτιάς φαίνονται και στο σχήμα 7.11. Κατά τους



υπολογισμούς πάντως οι επιρροές αυτές συνήθως αμελούνται.

Σχήμα 7.11. Μέγιστη θερμοκρασία φωτιάς συναρτήσεϊ του φορτίου φωτιάς και των συνθηκών αερισμού.

Η γαλλική προδιαγραφή δίνει τις παρακάτω τιμές φορτίων φωτιάς για τις διάφορες περιπτώσεις δομικών έργων :

- A. διαμερίσματα 2 δωματίων 40 kg/m²
- B. διαμερίσματα 3 δωματίων 36 kg/m²
- Γ. γραφεία 50 kg/m²
- Δ. σχολεία 20+30 kg/m²
- Ε. νοσοκομεία 35 kg/m²
- ΣΤ. εμπορικός χώρος επίπλων 60 kg/m²

Γ. Διατιθέμενα προστατευτικά υλικά

Τα προστατευτικά υλικά διατάσσονται σε επαφή ή περιβάλλουν το μεταλλικό στοιχείο που επιθυμούμε να προστατεύσουμε και έχουν ως σκοπό να επιβραδύνουν την προσαρμογή του στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος, επομένως και την μείωση της αντοχής του.

Τα προστατευτικά υλικά διατίθενται σε 3 μορφές ως χρώματα, ως κονιάματα και ως πλάκες οι οποίες περιβάλλουν τα μεταλλικά στοιχεία. Βάση της σύνθεσης των διαφόρων προστατευτικών υλικών είναι κυρίως ο αμίαντος, το τσιμέντο, το ασβέστιο, ο γύψος, ο περλίτης και το ελαφρομπετό, μπορεί δε να έχουν αυξημένη ή όχι περιεκτικότητα σε νερό.

Στην αγορά των τεχνολογικά προηγμένων χώρων διατίθεται πολύ μεγάλη ποικιλία προστατευτικών υλικών. Οι κατασκευαστές τους δίνουν τις τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών τους όπως του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, της ειδικής θερμότητας, της πυκνότητας και της περιεκτικότητας σε νερό.

Βασική προϋπόθεση για τα παραπάνω υλικά είναι η διατήρηση των ιδιοτήτων τους σε ψηλές θερμοκρασίες. Με βάση τον εγγυημένο χρόνο διατήρησης των ιδιοτήτων τους κατατάσσονται σε υλικά διαφόρων κατηγοριών. Προϋπόθεση επίσης αποτελεί η μη έκλυση, στις ψηλές θερμοκρασίες, καπνού ή τοξικών αερίων.

Κεφάλαιο 8

Γενικές πληροφορίες για το πρόγραμμα Instant.

Το Instant είναι ένα πρόγραμμα ανάλυσης και διαστασιολόγησης κατά Ευρωκώδικα 3, τρισδιάστατων μεταλλικών κατασκευών, εξοπλισμένο με πλήρες γραφικό περιβάλλον επικοινωνίας.

Απευθύνεται σε όσους ασχολούνται με την ανάλυση και διαστασιολόγηση μεταλλικών κατασκευών, τεχνικά γραφεία και κατασκευαστές.

Καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της μελέτης για ανάλυση (στατική, φασματική και δυναμική) και διαστασιολόγηση οποιασδήποτε μεταλλικής κατασκευής κατασκευάζεται από ραβδωτά στοιχεία , όπως π.χ. βιομηχανικά κτίρια, πυλώνες, ικριώματα, πολυώροφα μεταλλικά, pipe racks, γέφυρες, δικτυώματα, στέγαστρα, σκάλες.

Στην ελληνική αγορά διατίθεται από το 1994. Μέχρι σήμερα, υπάρχουν εκατοντάδες εγκατεστημένα συστήματα με τα οποία οι μελετητές καλύπτουν όλο το φάσμα των μεταλλικών έργων που κατασκευάζονται στην Ελλάδα και το εξωτερικό.

Εξάγεται με εξαιρετική επιτυχία σε χώρες της Ευρώπης (Γαλλία, Βέλγιο, Ρουμανία). Υποστηρίζεται και εξελίσσεται από την Computer Control Systems A.E., τη μοναδική ελληνική εταιρία τεχνικού λογισμικού που παρέχει προϊόντα και υπηρεσίες αποκλειστικά για μεταλλικές κατασκευές. Η C.C.S. είναι επιχείρηση πιστοποιημένη με ISO9001 για «σχεδιασμό/ανάπτυξη, εγκατάσταση, υποστήριξη προϊόντων, ολοκληρωμένων λύσεων πληροφορικής και εκπόνηση μελετών στον τομέα της εφαρμοσμένης μηχανικής».

Χαρακτηριστικά :

Αξιοπιστία και ακρίβεια.

Το INSTANT αντιμετωπίζει με αποτελεσματικό και έξυπνο τρόπο το πρόβλημα ανάλυσης και διαστασιολόγησης όλων των τύπων των μεταλλικών κατασκευών. Όλοι οι έλεγχοι των συνδέσεων και των μελών των μεταλλικών στοιχείων γίνονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Ευρωκώδικα 3. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων έχει ελεγχθεί με βάση τις αρχές του Γαλλικού οργανισμού τυποποίησης AFNOR και με παράλληλη επίλυση χαρακτηριστικών κατασκευών από το πρόγραμμα και από άλλα διεθνώς καταξιωμένα προγράμματα, όπως το ANSYS.

Ευκολία χρήσης.

Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στο σχεδιασμό ενός φιλικού περιβάλλοντος εργασίας (user interface), που έχει σαν αποτέλεσμα την ταχεία και αξιόπιστη εισαγωγή δεδομένων από το χρήστη. Παρέχεται μια πληθώρα επιλογών για την εποπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που παράγονται από το πρόγραμμα.

Αύξηση της παραγωγικότητας.

Οι αλγόριθμοι επίλυσης είναι ταχύτατοι και βελτιστοποιημένοι. Επιπλέον, τα αποτελέσματα παράγονται αυτόματα σε αρχεία μορφής *.DOC, με πλήρεις πίνακες αποτελεσμάτων, σχέδια, διαγράμματα και σελιδοποίηση. Οι δυνατότητες αυτές ελαχιστοποιούν το συνολικό χρόνο που απαιτείται μέχρι την τελική παραγωγή του τεύχους μελέτης.

Εγγυημένη τεχνολογία.

Η ομάδα παραγωγής του INSTANT αποτελείται από έμπειρους μηχανικούς πληροφορικής και πολιτικούς μηχανικούς εξειδικευμένους στον τομέα των μεταλλικών κατασκευών και εγγυάται υψηλού επιπέδου τεχνική

υποστήριξη καθώς και τη διαρκή εξέλιξή του. Το INSTANT διακρίνεται για την εξειδίκευσή του σε ειδικά δομικά στοιχεία των μεταλλικών κατασκευών όπως συνδέσεις.

Αποδεδειγμένη υπεροχή

Το INSTANT αποτελεί την κορυφαία επιλογή στον τομέα της μελέτης των μεταλλικών κατασκευών καθώς έχει χρησιμοποιηθεί σε χιλιάδες μελέτες έργων όλων των τύπων.

Εισαγωγή μοντέλου και ανάλυση :

- Λειτουργία σε περιβάλλον Microsoft Windows 95, 98, NT, και 2000.
- Πλήρες, ενιαίο και φιλικό γραφικό περιβάλλον επικοινωνίας με ελάχιστες απαιτήσεις σε υποδομή Η/Υ.
- Εύκολο στην εκμάθηση και απλό στη χρήση.
- Ταχύτατη εισαγωγή του μοντέλου οποιασδήποτε μεταλλικής κατασκευής.
- Αλλαγή μονάδων μεγεθών σε οποιοδήποτε φάση του προγράμματος.
- Δυνατότητα δημιουργίας βιβλιοθήκης παραμετροποιημένων κατασκευών στις 2 διαστάσεις.
- Ευέλικτα και αποτελεσματικά εργαλεία για τον ορισμό κατασκευών στις 3 διαστάσεις.
- Δυνατότητα δημιουργίας κατασκευών στο χώρο με σύνθεση παραμετροποιημένων 2D κατασκευών.
- Δυνατότητα ομαδοποίησης των ράβδων με σκοπό την μαζική απόδοση ιδιοτήτων.
- Βιβλιοθήκες υλικών.
- Πλήρεις βιβλιοθήκες πρότυπων διατομών IPE, HEA, HEB, HEM, UPN, ισοσκελή και ανισοσκελή, απλά και διπλά γωνιακά, κυκλικές, ορθογωνικές και

τετραγωνικές κοιλοδοκοί, διατομές ψυχρής ελάσεως τύπου Z, C, Σ (ΚΑΛΠΙΝΗΣ-ΣΙΜΟΣ, ΚΟΝΤΙ)

- Συγκολλητές διατομές χρήστη (μορφής I ή H, συμμετρικές & ασύμμετρες).
- Κυψελωτές διατομές (διατομές μορφής I ή H με εξαγωνικές ή κυκλικές οπές στο κορμό),
- Δυνατότητα μελέτης διατομών μορφής I ή H μεταβλητής ροπής αδρανείας.
- Προμέτρηση βάρους ανά διατομή και συνολικό.
- Σταθερές ελατηρίων στις στηρίξεις και στις αρθρώσεις.
- Στατικά φορτία : ίδιο βάρος, κατανεμημένα (ομοιόμορφα, τραπεζοειδή) ή συγκεντρωμένα σε ράβδους, επικόμβια, συγκεντρωμένα, θερμοκρασιακά, μετατοπίσεις στηρίξεων, ίδιο βάρος.

- Αυτόματη παραγωγή μαζών και συνδυασμών φορτίσεων.

Φασματική ανάλυση με φάσματα αποκρίσεων που λαμβάνονται από ΕΑΚ ή από βιβλιοθήκη που έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ο χρήστης.

- Δυνατότητα δημιουργίας συνδυασμών και περιβαλλουσών.
- Ειδικό πρόγραμμα παραγωγής εκτυπώσεων δεδομένων και αποτελεσμάτων (τεύχος μελέτης) και αυτόματη παραγωγή αρχείου *.DOC για Word.
- Πλήρες περιβάλλον γραφικής και αριθμητικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων της ανάλυσης (ιδιομορφές, διαγράμματα εντατικών μεγεθών του φορέα και των μελών).

EC3 - Διαστασιολόγηση μελών :

- Αυτόματη επιλογή των ράβδων της κατασκευής και μετατροπή τους σε μέλη για έλεγχο.

- Γραφική επιλογή των ράβδων της κατασκευής που αποτελούν κατασκευαστικό μέλος.
- Γραφική περιγραφή περιορισμών μετακινήσεων και αυτόματος υπολογισμός μήκους λυγισμού στις δύο διευθύνσεις.
- Δυνατότητα υπολογισμού του μήκους λυγισμού με το συντελεστή «η» (Παράρτημα Ε, EC3).
- Κατάταξη διατομής (καλύπτονται διατομές τάξης 1,2,3,4).
- Έλεγχος σε τοπικό λυγισμό του κορμού λόγω διάτμησης.
- Έλεγχος αντοχής διατομής σε κάμψη, κάμψη και αξονική, τέμνουσα, κάμψη και τέμνουσα, κάμψη, αξονική και τέμνουσα.
- Έλεγχος σε καμπτικό λυγισμό του κατασκευαστικού μέλους.
- Έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό του κατασκευαστικού μέλους.
- Δυνατότητα επιλογής ή επεξεργασίας των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας.
- Αναλυτική και περιληπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά μέλος και φόρτιση, αυτόματη παραγωγή κειμένου σε μορφή Word, με παραπομπές στον Ευρωκώδικα 3.
- Δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας, ανεξάρτητα από μοντέλο (εισαγωγή δεδομένων & έλεγχος μέλους που δεν ανήκει σε κατασκευή του INSTANT).

EC3 - Διαστασιολόγηση συνδέσεων :

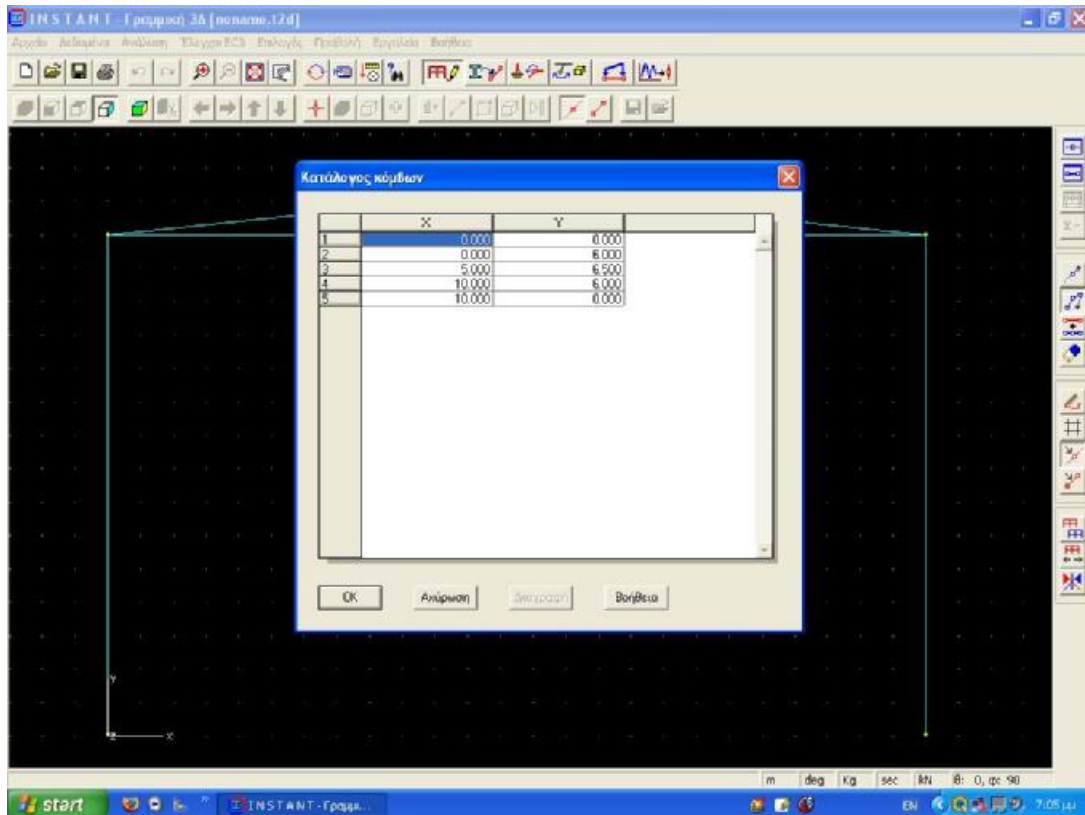
- Γραφική επιλογή των συνδέσεων από το νηματικό μοντέλο της κατασκευής.
- Σχεδιασμός λεπτομερειών της σύνδεσης στην οθόνη υπό κλίμακα. Οι λεπτομέρειες αναπροσαρμόζονται αυτόματα σε περίπτωση αλλαγής των γεωμετρικών δεδομένων των στοιχείων που συνθέτουν τη σύνδεση (διατομές, πλάκες, τοπολογία κοχλιών).

- Έλεγχοι ορθότητας για τη διαμόρφωση των λεπτομερειών στα παράθυρα περιγραφής των συνδέσεων και αναλυτικός πρωταρχικός έλεγχος των γεωμετρικών δεδομένων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.
- Σχηματική παρουσίαση της σύμβασης των προσήμων στα παράθυρα εισαγωγής μελών και εντατικών μεγεθών.
- Δυνατότητα επιλογής ή επεξεργασίας των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας.
- Αναλυτική και περιληπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά σύνδεση και φόρτιση, αυτόματη παραγωγή κειμένου σε μορφή Word, με παραπομπές στον Ευρωκώδικα 3.
- Δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας, ανεξάρτητα από μοντέλο (εισαγωγή δεδομένων & έλεγχος σύνδεσης που δεν ανήκει σε κατασκευή προερχόμενη από το INSTANT).

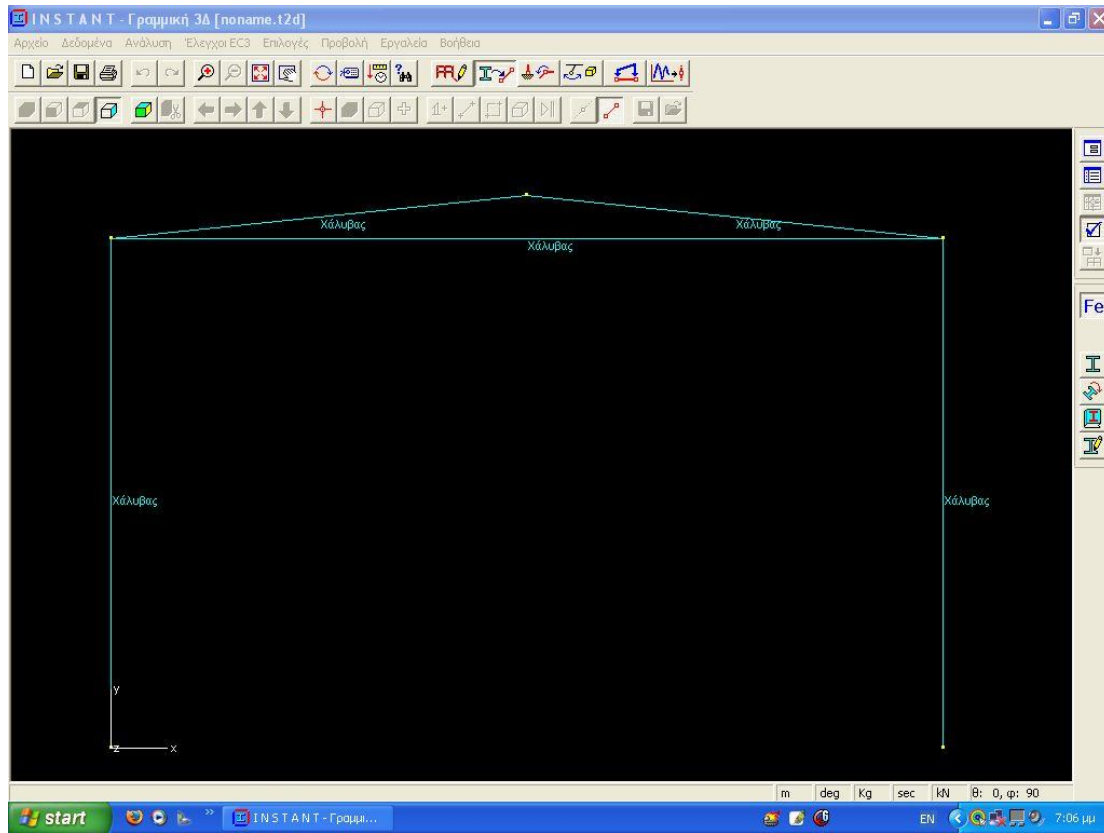
Εφαρμογή του Instant

Για ευκολότερη κατανόηση της εφαρμογής του Instant υποθέτουμε ότι θέλουμε να κατασκευάσουμε μία αποθήκη σε διδιάστατη μορφή, δηλαδή θα μελετήσουμε μόνο την πρόσοψη. Ενδεικτικά οι διαστάσεις της πρόσοψης είναι 10m το πλάτος και 6,5m το ύψος, όπως φαίνονται αναλυτικά και από το πρόγραμμα. Παρακάτω αναφέρεται βήμα - βήμα η διαδικασία σχεδίασης και ελέγχου της κατασκευής μας μέσω του προγράμματος instant.

1. Ανοίγουμε την εφαρμογή instant
Νέο / 2D Σχέδιο
2. Ορίζουμε τις επιθυμητές μονάδες μέτρησης
Επιλογές / μονάδες
3. Ορίζουμε τις διαστάσεις της κατασκευής μας
Πλάγιο μενού / κατάλογος κόμβων / ορίζουμε με απόλυτες συντεταγμένες τους κόμβους δηλαδή τα σημεία στήριξης και σύνδεσης της κατασκευής μας.

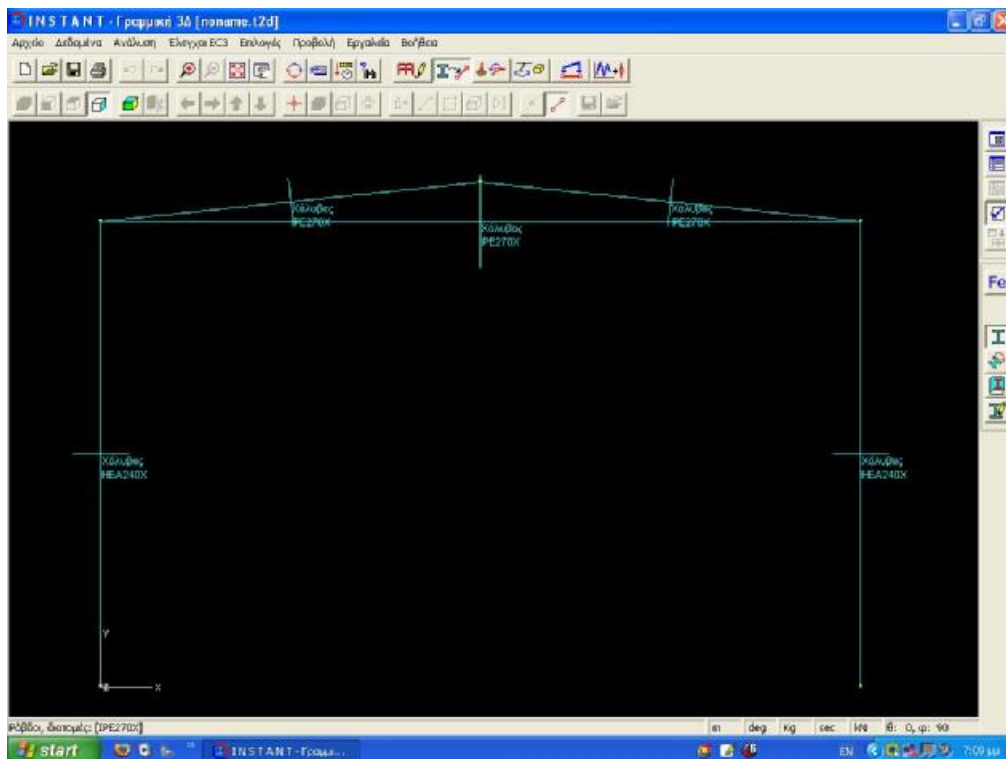
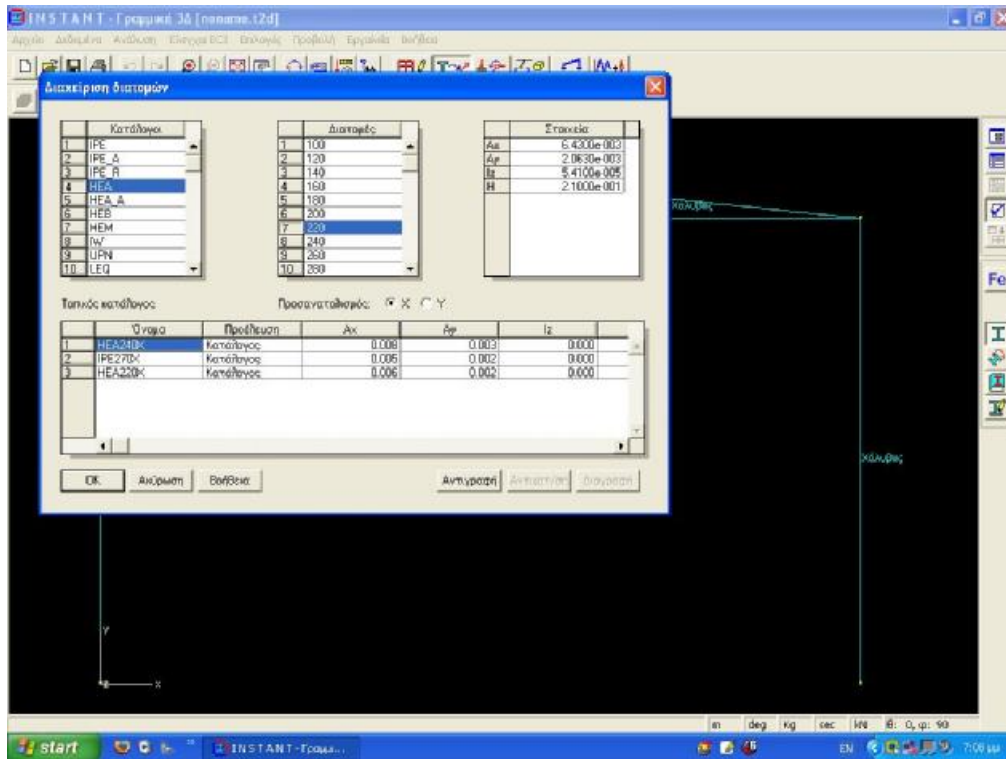


4. Ενώνουμε τους κόμβους
Πλάγιο μενού / επιλογή κόμβων
5. Δηλώνουμε υλικό κατασκευής
Κύριο μενού / υλικά διατομές / πλάγιο μενού / υλικά/ κατάλογος

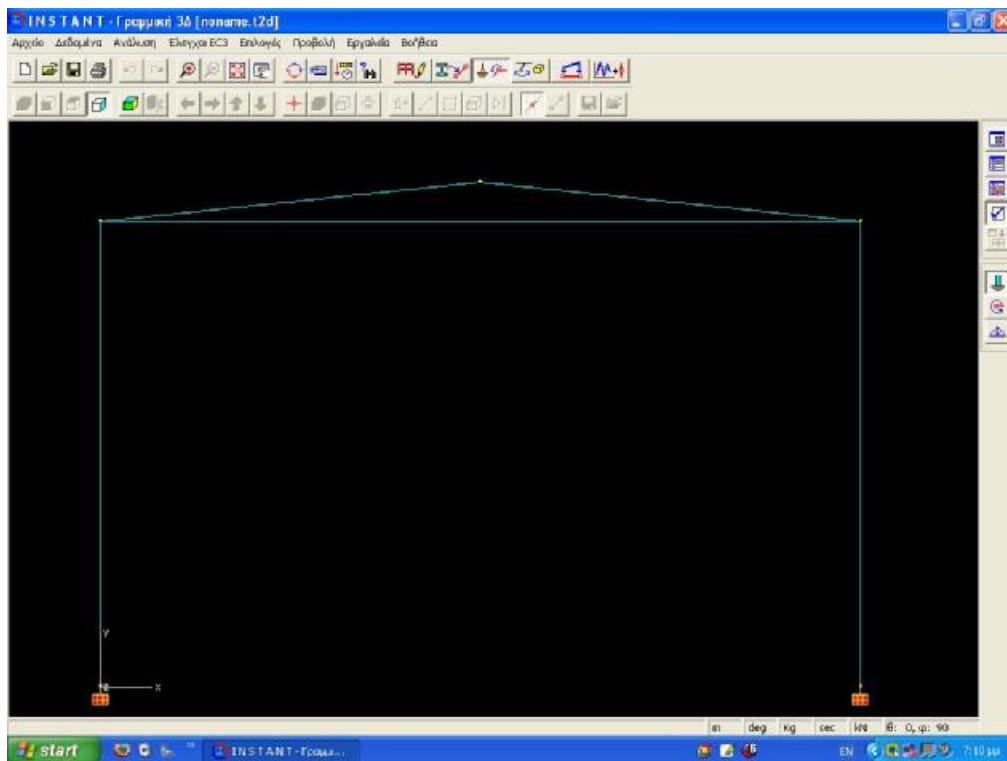
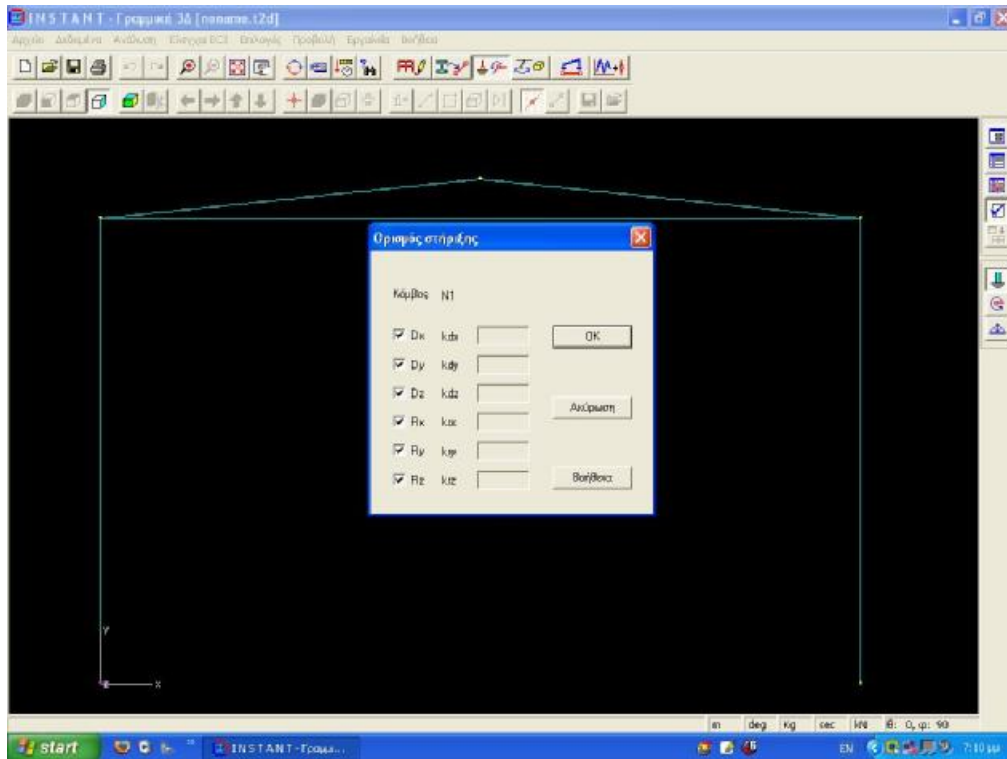


6. Δηλώνουμε διατομές

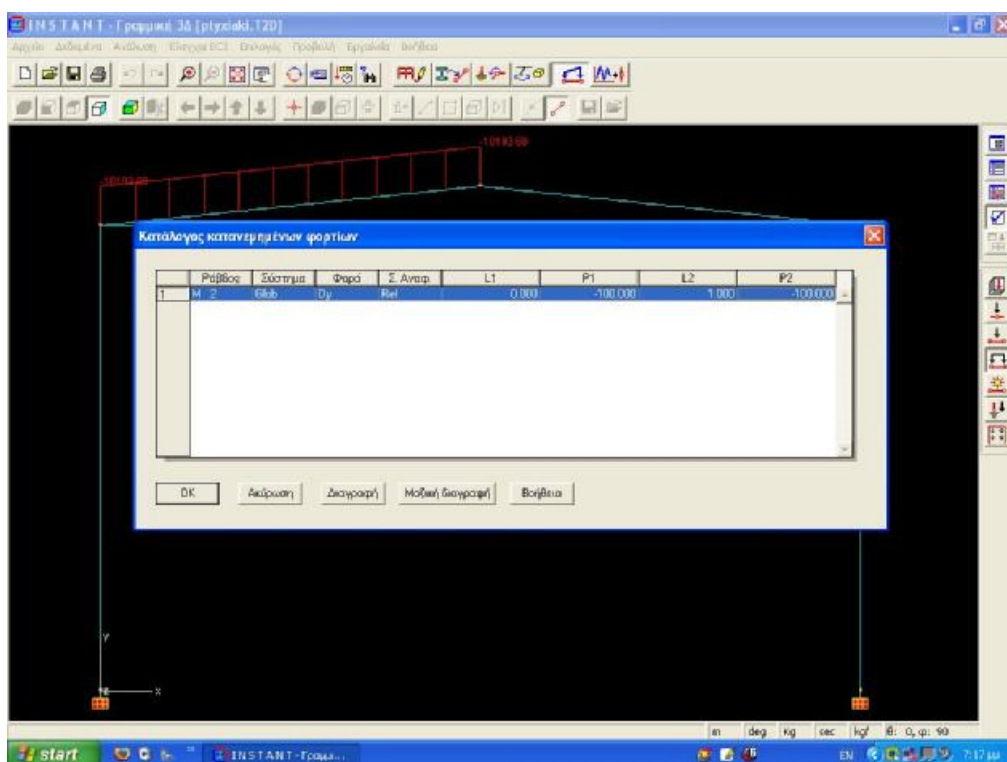
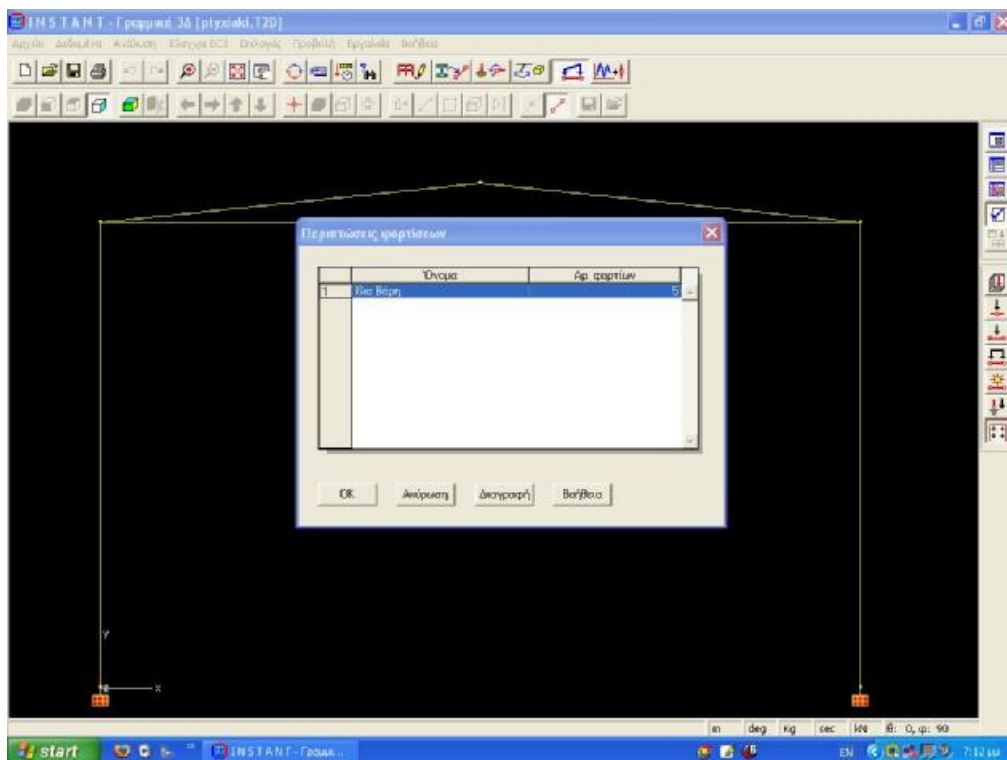
Κύριο μενού υλικά διατομές / πλάγιο μενού / διατομές / κατάλογος



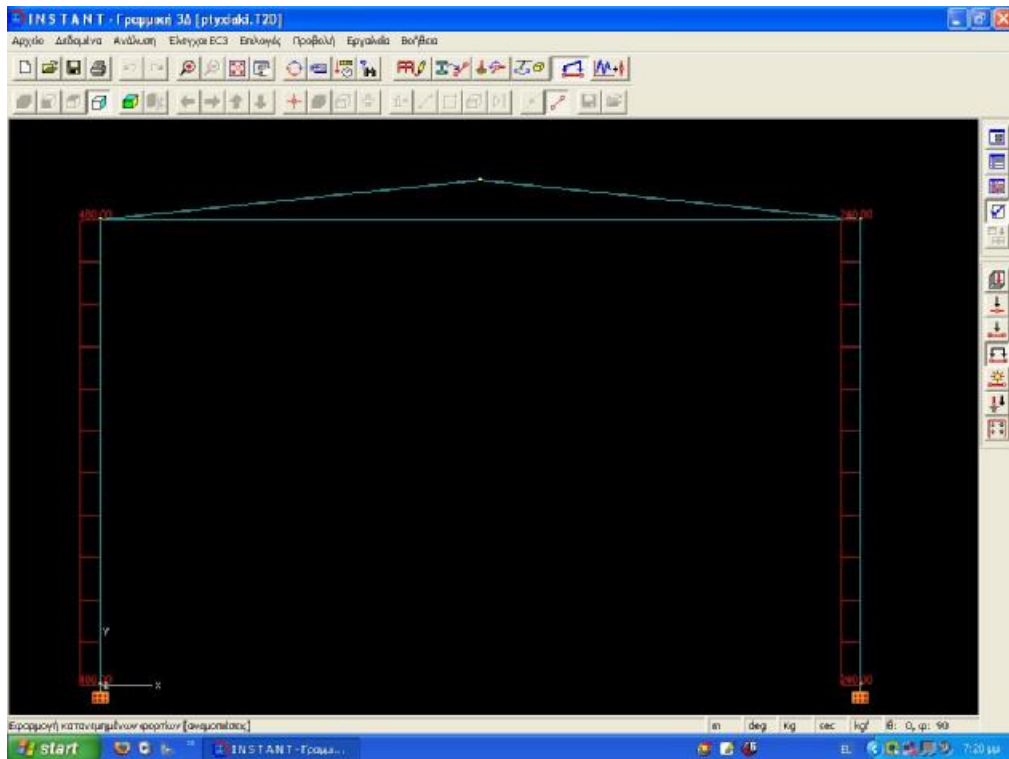
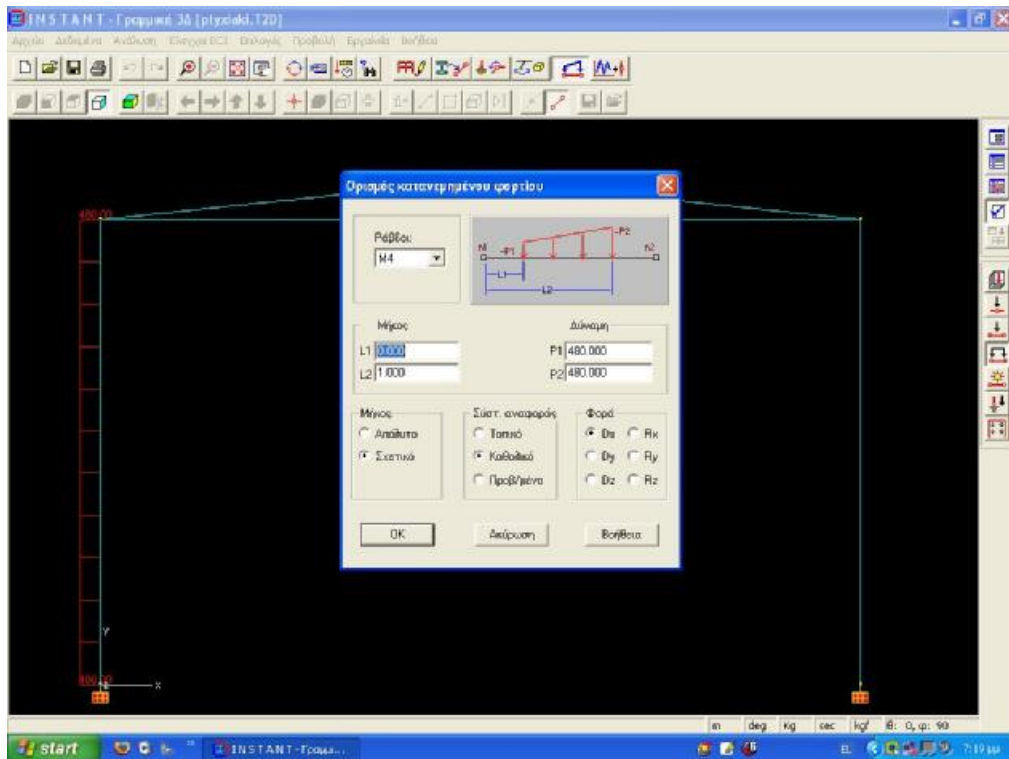
7. Ορίζουμε βαθμούς ελευθερίας (σε όποιο κόμβο δεν ορίσουμε βαθμό ελευθερίας το πρόγραμμα το λαμβάνει σαν συγκόλληση)
 Κύριο μενού / βαθμοί ελευθερίας / επιλέγουμε κόμβους

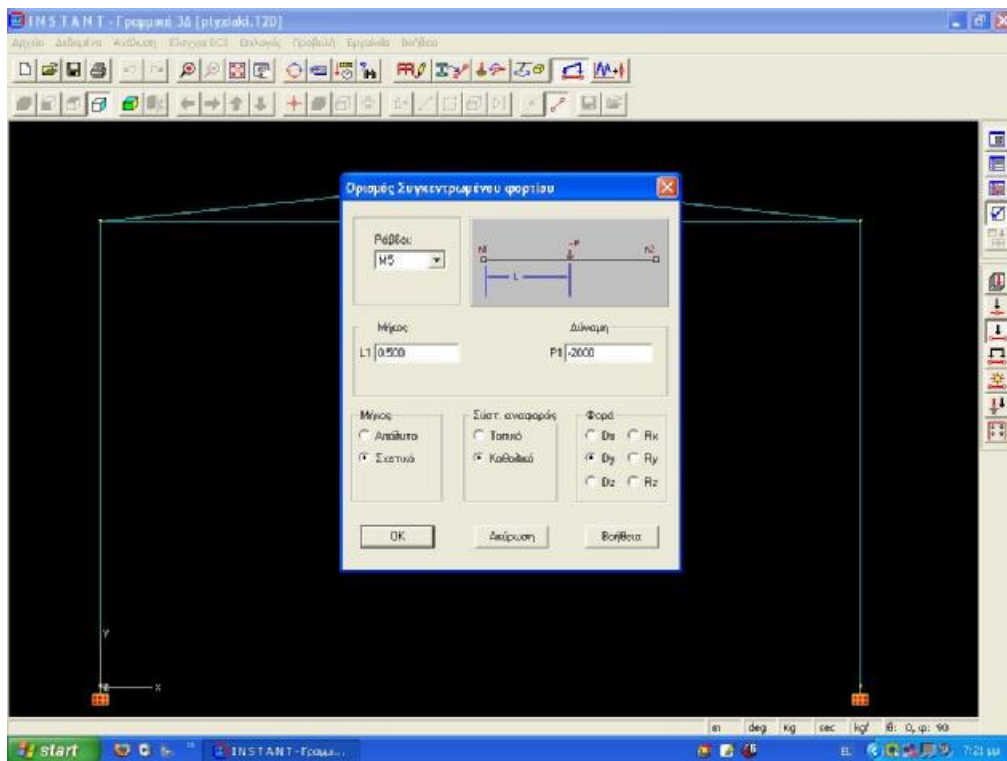
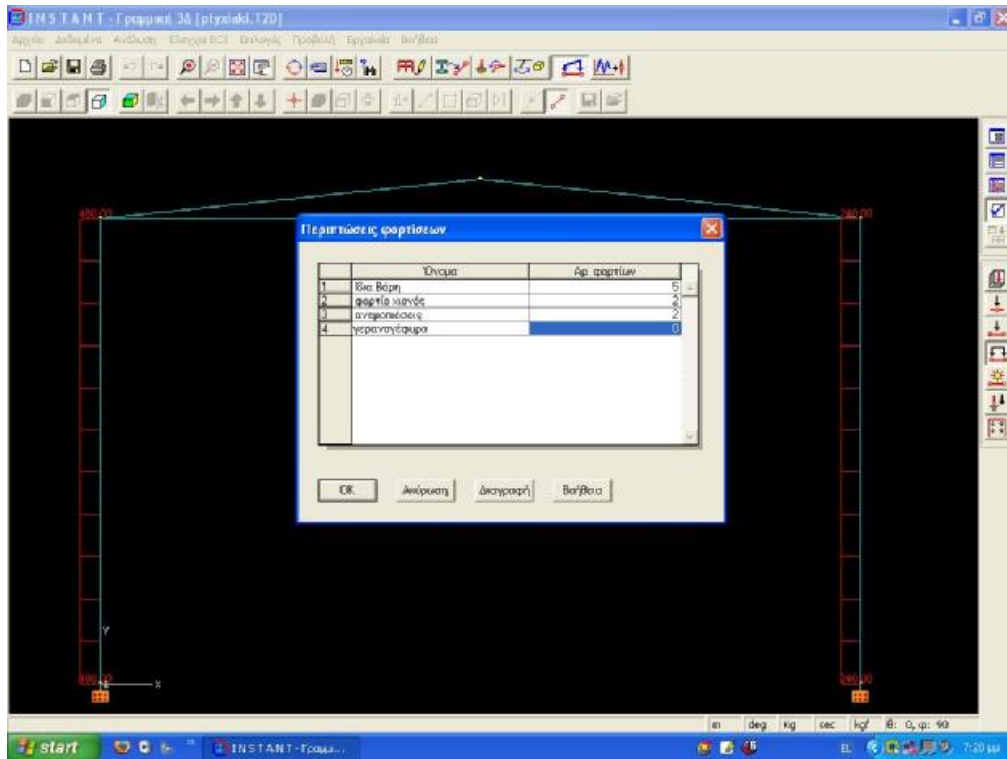


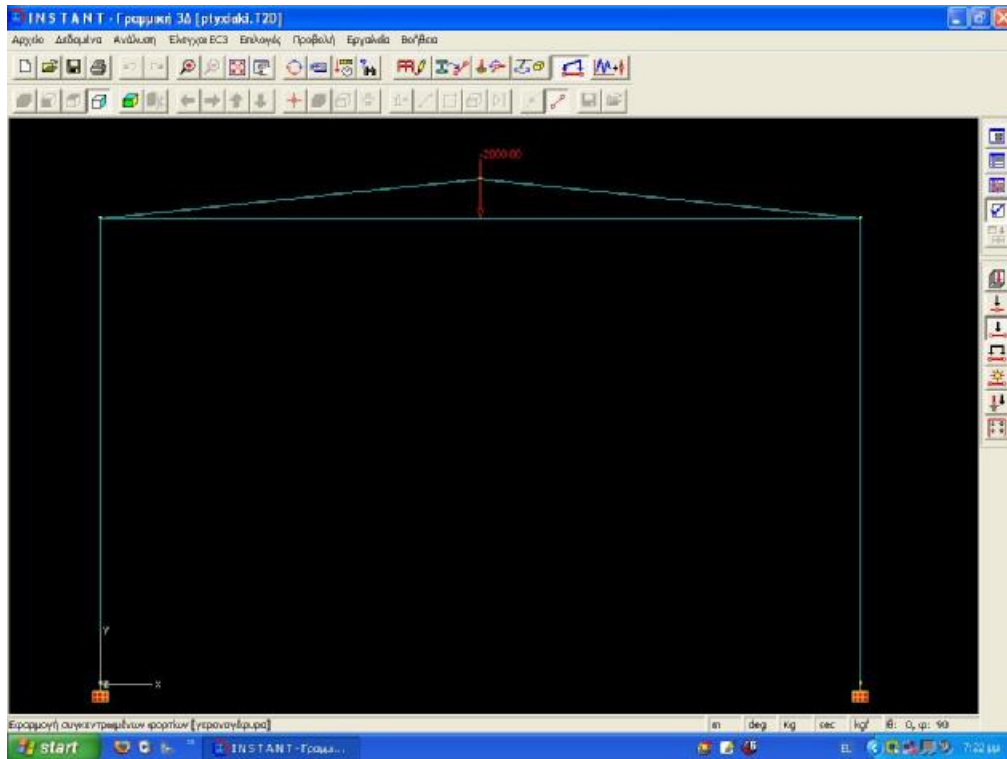
8. Ορίζουμε τα φορτία της κατασκευής μας
 Κύριο μενού / στατικά φορτία / ίδιο βάρος κατασκευής



Τα στατικά φορτία που δηλώσαμε είναι κατανεμημένο φορτίο χιονιού, κατανεμημένο φορτίο ανέμου και ένα συγκεντρωμένο φορτίο μιας υποτιθέμενης γερανογέφυρας.





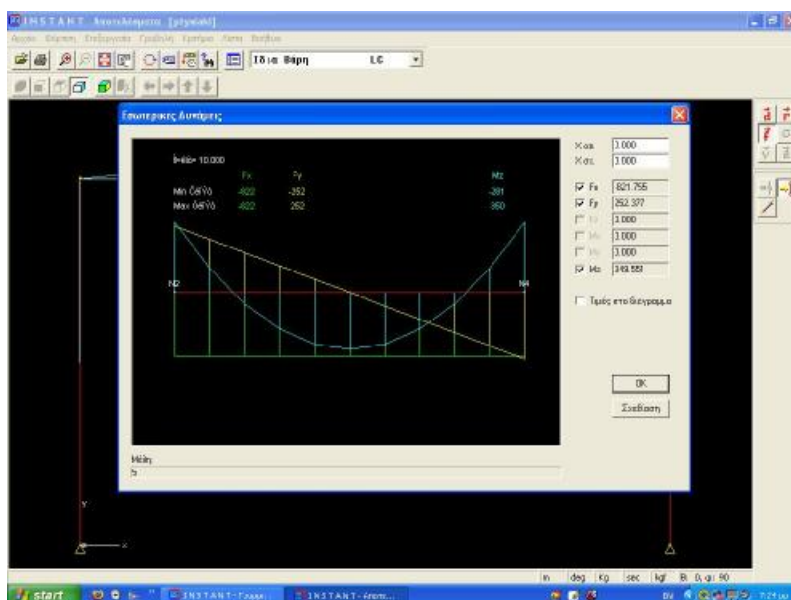


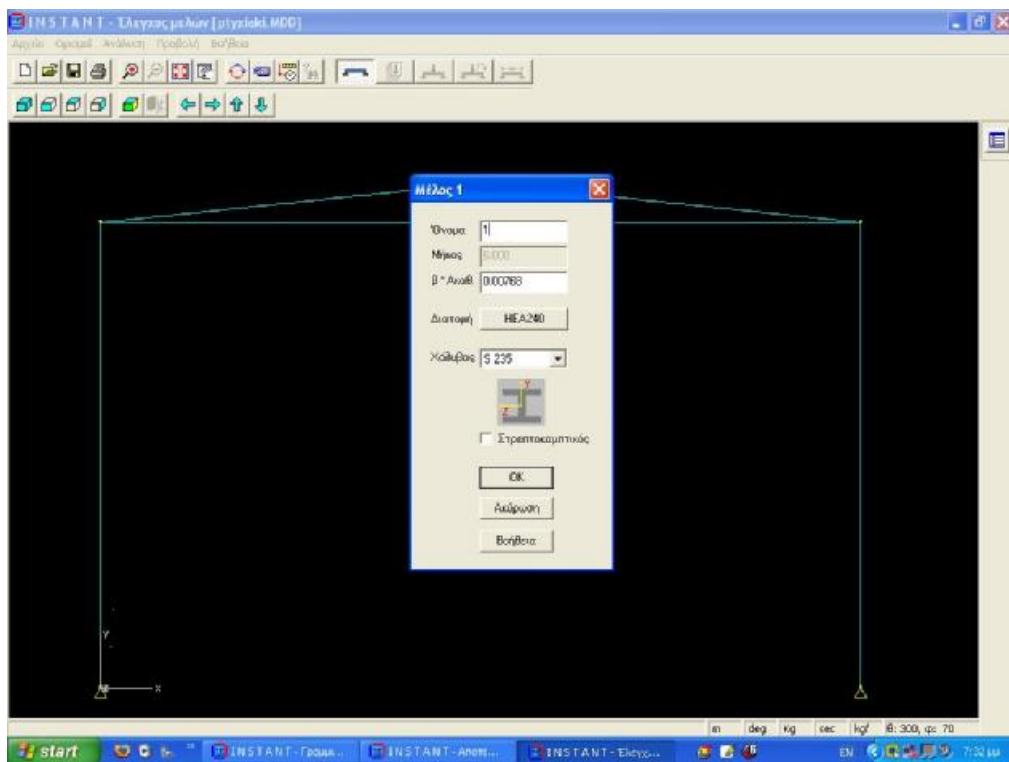
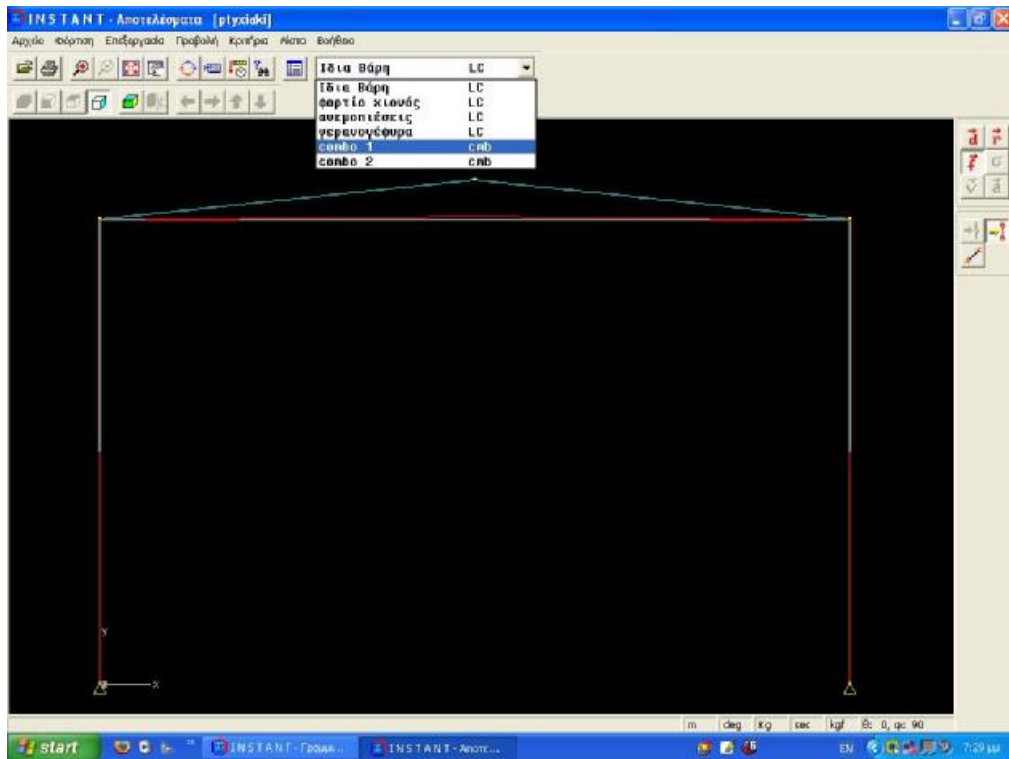
9. Ανάλυση / εξαγωγή δεδομένων επίλυσης / επίλυση / ανάλυση / αποτελέσματα.

10. Επιλέγουμε τις φορτίσεις

Φόρτιση / στατική

11. Στο πλάγιο μενού μπορούμε να επιλέξουμε να μας εμφανίσει μετατοπίσεις, αντιδράσεις και εσωτερικές δυνάμεις με τα οποία εμφανίζονται και τα διαγράμματα N,Q,M κάθε διατομής





Γίνεται ο στατικός έλεγχος της κατασκευής

