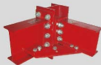


Συνδέσεις Μεταλλικών Κατασκευών

στα πλαίσια των Ευρωκωδίκων 3 & 9



Επιμέλεια Έκδοσης
Χ. Κ. Μηνιωτόπουλος

ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Επιμέλεια έκδοσης: Χ. Κ. Μπανιωτόπουλος

ISBN 960-431-892-6

Εκδόσεις ΖΗΤΗ

18ο χλμ. Θεσσαλονίκης-Περαίας

Τ.Θ. 4171 – Τ.Κ. 570 19 Περαία – Θεσσαλονίκη

Τηλ.: +30 23920 72222 – Τ.Ο: +30 23920 72229

e-mail: info@ziti.gr

Πρόγραμμα Συνεχιζόμενης Εκπαίδευσης στις Δομικές Συνδέσεις CESTRUCO

No CZ/00/B/F/PP-134049

Πρόγραμμα Λεονάρντο ντα Βίντσι της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Το παρόν πρόγραμμα εκπονήθηκε με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Το περιεχόμενο του προγράμματος αυτού δεν αντικατοπτρίζει απαραίτητως

τις θέσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή της Εθνικής Αντιπροσωπείας,

ούτε θέτει θέμα οιασδήποτε ευθύνης από πλευράς τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	Εισαγωγή	7
2	Κοχλιώσεις	13
Q&A2.1	Απώλεια της προέντασης κοχλιών	16
Q&A2.2	Φέρουσα ικανότητα συνδέσεων ολίσθησης	16
Q&A2.3	Αντίσταση σε διάτμηση προεντεταμένων κοχλιών υπό εφελκυσμό	17
Q&A2.4	Μέγιστες επιτρεπόμενες αποστάσεις κοχλιών μεταξύ τους και από τα άκρα του ελάσματος	18
Q&A2.5	Κριτήρια παραμόρφωσης για την αντίσταση σε σύνθλιψη άντυγας απλών κοχλιών	19
Q&A2.6	Αποστάσεις από τα άκρα	20
Q&A2.7	Αντίσταση σε σύνθλιψη άντυγας ομάδας κοχλιών	21
Q&A2.8	Αντίσταση σε σύνθλιψη άντυγας σε επιμήκεις οπές	22
Q&A2.9	Μέθοδος σχεδιασμού εφαρμοσμένων κοχλιών	23
Q&A2.10	Συνδυασμός εφελκυσμού και διάτμησης	24
Q&A2.11	Αντίσταση συνδέσεων κοχλιών υψηλής αντοχής	25
3	Συγκολλήσεις	27
Q&A3.1	Σύνδεση δύο γωνιακών μέσω κομβοελάσματος	30
Q&A3.2	Ενεργό πλάτος συγκολλητής σύνδεσης δοκού-υποστυλώματος	31
Q&A3.3	Ακτίνα συγκόλλησης εξωραφής σε συνδέσεις κοιλοδοκών	32
Q&A3.4	Προσομοίωση αντίστασης εξωραφών	33
Q&A3.5	Σχεδιασμός εσωραφών μερικής διείσδυσης	34
Q&A3.6	Σχεδιασμός συγκόλλησης για πλήρη αντοχή των συνδεόμενων μελών	35
4	Προσομοίωση της δομικής συμπεριφοράς	37
Q&A4.1	Προκαταρκτικός σχεδιασμός συνδέσεων	38
Q&A4.2	Εφαρμογή της Ελαστικής Θεωρίας στην καθολική ανάλυση κατασκευών	40
Q&A4.3	Κριτήρια ταξινόμησης των εδράσεων υποστυλωμάτων	42
Q&A4.4	Σχεδιασμός συνδέσεων που φορτίζονται με μικρές δυνάμεις	44
Q&A4.5	Προσομοίωση της εκκεντρότητας κόμβου στο σχεδιασμό πλαισίων	45

5	Απλές συνδέσεις	47
Q&A5.1	Αντίσταση κοχλιών σε σύνθλιψη άντυνας λαμβάνοντας υπόψη τις ανοχές	57
Q&A5.2	Σύνδεση γωνιακού μέσω ενός ή δύο κοχλιών	57
Q&A5.3	Στροφική ικανότητα	59
Q&A5.4	Ασφάλεια φέρουσας κατασκευής	59
6	Συνδέσεις παραλαβής ροπών	63
Q&A6.1	Συντελεστής τροποποίησης δυσκαμψίας η για συνδέσεις μέσω ακραίων πλακών	69
Q&A6.2	Ενεργό μήκος βραχέως T με στοιχεία δυσκαμψίας	70
Q&A6.3	Σχεδιασμός συνδέσεων μεταφοράς ροπής σε πλαίσια	72
Q&A6.4	Διαγώνια και μορφής K στοιχεία δυσκαμψίας	73
Q&A6.5	Δημιουργία γραμμών διαρροής σε ακραίες πλάκες σύνδεσης για τέσσερις κοχλίες ανά σειρά	73
Q&A6.6	Κατανομή δυνάμεων σε ακραίες πλάκες μεγάλου πάχους	74
Q&A6.7	Κατανομή των διατμητικών δυνάμεων σε κοχλιωτές συνδέσεις	75
Q&A6.8	Δυνάμεις μοχλού σε βραχεία T σε σχεδιασμό κόπωσης	76
Q&A6.9	Κόμβοι υπό καμπτική ροπή και αξονική δύναμη	77
7	Βάσεις υποστυλωμάτων	83
Q&A7.1	Ελαστική αντίσταση βάσης υποστυλώματος	84
Q&A7.2	Αντίσταση βάσης υποστυλώματος με χαμηλή ποιότητα κονιάματος	86
Q&A7.3	Σύγκριση του υπολογισμού της αντοχής σκυροδέματος σύμφωνα με τον EC2 και τον EC3	87
Q&A7.4	Συγκέντρωση τάσεων κάτω από βάση υποστυλώματος	89
Q&A7.5	Ενεργό μήκος βάσης πλάκας βραχέως T	91
Q&A7.6	Βάσεις υποστυλωμάτων με κοχλίες εκτός του πλάτους των πελμάτων	93
Q&A7.7	Συντελεστής ολίσθησης μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος	96
Q&A7.8	Μεταφορά των διατμητικών δυνάμεων μέσω αγκυρίων	96
Q&A7.9	Μεταφορά των διατμητικών δυνάμεων μέσω τριβής και αγκυρίων	98
Q&A7.10	Κανόνες αγκύρωσης αγκυρίων	99
8	Αντισεισμικός σχεδιασμός	103
Q&A8.1	Σχεδιασμός συνδέσεων που υπόκεινται σε δυναμικές φορτίσεις	109
Q&A8.2	Επιρροή μη συμμετρικής φόρτισης	110
Q&A8.3	Επιρροή του ρυθμού μεταβολής της φόρτισης	110
Q&A8.4	Τεχνολογία συγκόλλησης	111

Q&A8.5	Χρήση των κοχλιών υψηλής αντοχής σε κόμβους αντισεισμικών κατασκευών	112
Q&A8.6	Συμπεριφορά του κορμού υποστυλώματος	112
9	Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς	115
Q&A9.1	Αντίσταση κοχλιών σε υψηλές θερμοκρασίες.....	115
Q&A9.2	Αντίσταση συγκόλλησης σε υψηλές θερμοκρασίες	117
Q&A9.3	Κατανομή της θερμοκρασίας εντός της ένωσης σε συνάρτηση με τον χρόνο	117
Q&A9.4	Η μέθοδος των συστατικών για υψηλές θερμοκρασίες.....	121
10	Συνδέσεις κοιλοδοκών	125
Q&A10.1	Κόμβοι κυκλικών κοιλοδοκών	128
Q&A10.2	Κόμβοι ορθογωνικών κοιλοδοκών	131
Q&A10.3	Κόμβοι μεταξύ μελών κοίλων και ανοιχτών διατομών	134
Q&A10.4	Διαγράμματα σχεδιασμού.....	136
Q&A10.5	Τυφλά συστήματα κοχλιώσεων.....	138
Q&A10.6	Κόμβοι κοιλοδοκών με χάλυβα υψηλής αντοχής	141
Q&A10.7	Σχεδιασμός υπεράκτιων κατασκευών.....	142
11	Συνδέσεις εν ψυχρώ εξηλασμένων μελών	143
Q&A11.1	Αυξημένη αντοχή διαρροής σε εν ψυχρώ εξηλασμένες διατομές.....	151
Q&A11.2	Ικανότητα παραμόρφωσης των συνδέσεων διάτμησης.....	152
Q&A11.3	Βίδες σε πάνελς τύπου σάντουιτς.....	152
Q&A11.4	Αντίσταση σε σύνθλιψη άντυγας λεπτών πλακών	153
12	Συνδέσεις αλουμινίου	155
Q&A12.1	Αντίσταση εξωραφών	156
Q&A12.2	Ενεργό πλάτος και ακτίνα συγκόλλησης εξωραφών.....	157
Q&A12.3	Εσωραφές σε συνδέσεις αλουμινίου	159
Q&A12.4	Θερμικά επηρεασμένες ζώνες (Θ.Ε.Ζ.)	160
13	Περιπτώσεις σχεδιασμού	165
	Συμβολισμοί.....	173
	Βιβλιογραφία	181

Ως γνωστόν, οι συνδέσεις των μεταλλικών κατασκευών προσδιορίζουν αφενός την ποιότητα του σχεδιασμού, της τεχνολογίας, των συνθηκών βιομηχανικής παραγωγής και της *in situ* δόμησης και αφετέρου τον λόγο της απαιτούμενης προς τη διατιθέμενη ασφάλεια. Ακολουθώντας την τεχνολογική ανάπτυξη των μεταλλικών κατασκευών, με την πάροδο του χρόνου οι συνδέσεις εξελίχθηκαν από αρχικά ηλωτές, αργότερα σε συγκολλητές και σε επί τόπου κοχλιωτές συνδέσεις. Όσον αφορά στους παραδοσιακούς κοχλίες, η διαφοροποίησή τους ήταν εξίσου σημαντική: από υλικό κοχλιών συνήθους ποιότητας (4.5, 4.6, 5.6) σε υλικό υψηλής αντοχής (8.8, 10.9, 12.9) και από σχεδίαση και σημείωση των οπών με το χέρι πριν από το κόψιμο και τη διάτρηση, σε παραγωγή με τη βοήθεια τεχνολογικά προηγμένων μηχανών NC απ' ευθείας συνδεδεμένων με το λογισμικό σχεδιασμού, κοπή με τεχνολογία λέιζερ και τεχνολογία συνδέσεων με πριτσίνια ή κοχλίες μερικής διάτρησης για τυφλές κοχλιώσεις. Επιπρόσθετα, η ποιότητα των συγκολλήσεων διασφαλίζεται σήμερα λόγω της υψηλής ποιότητας των υλικών που επιτυγχάνεται με τη συνεχή χύτευση και τη χρήση αυτόματων μηχανών συγκόλλησης. Συγκριτικά με τις δομικές συνδέσεις μελών από άλλα υλικά, η μεγάλη αυτοματοποίηση της παραγωγής χαλύβδινων προϊόντων έχει δημιουργήσει ένα περιβάλλον υψηλής προτυποποίησης. **Οι σωστές συνδέσεις στις μεταλλικές κατασκευές, οδηγούν σε υψηλό αισθητικό αποτέλεσμα και επάρκεια ασφάλειας σ' αυτές.**

Ο καθορισμός προτύπων για τα τελικά προϊόντα συμβάλλει στη δημιουργία μιας ευρύτερης και πιο ανταγωνιστικής αγοράς. Σήμερα τα πρότυπα σχεδιασμού, σε πλήρη αντιστοιχία με τα πρότυπα των προϊόντων, μετατρέπονται από προκαταρκτικά πρότυπα (*pre-standards*) σε πρότυπα (*standards*). Το μέγεθος της σπουδαιότητας των δομικών συνδέσεων στο σχεδιασμό των χαλύβδινων κατασκευών αποδεικνύεται από το γεγονός της ανάπτυξης ειδικού τμήματος στα πρότυπα σχεδιασμού κατασκευών που αφορά στις ενώσεις (*prEN 1993-1-8: Σχεδιασμός συνδέσεων*).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας συνδέσεων των μελών από χάλυβα απαιτούσε την εμβάθυνση της γνώσης στο αντικείμενο αυτό. Κατά την διάρκεια της προετοιμασίας των αρχικών προσχεδίων του Ευρωκώδικα 3 [Snijder 6.01 και 6.05, 1988] συγκεντρώθηκαν οι πιο προηγμένες ευρωπαϊκές τεχνικές συνδέσεων, καθώς επίσης και οι πλέον εξειδικευμένες θεωρητικές γνώσεις των ειδικών. Στα πλαίσια αυτά, τα προσομοιώματα σχεδιασμού εξετάστηκαν και συγκρίθηκαν με όλα τα διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα. Η αφθονία των πληροφοριών, η εφαρμογή της μεθόδου των οριακών καταστάσεων και ο μεγάλος αριθμός πειραματικών δεδομένων είναι κυρίως τα στοιχεία που βοήθησαν στην ακριβέστερη εξέταση των μοντέλων. Σήμερα, η περιγραφή της συμπεριφοράς των συνδέσεων περιλαμβάνει πλέον την αρχική δυσκαμψία και την ικανότητα παραμόρφωσης, ενώ τα παραδοσιακά μοντέλα αναφέρονταν μόνο στην αντίσταση των συνδέσεων. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα για την ανάλυση της συμπεριφοράς των συνδέσεων

είναι η *μέθοδος των συστατικών* (component method) που αποτελεί εφαρμογή παλαιότερων μεθόδων της επιστήμης του Μηχανικού. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής βασίζεται στην εργασία του Zoetemeijer [Zoetemeijer, 1983] που επέφερε σημαντική βελτίωση στα αποτελέσματα, ενσωματώνοντας πέρα από τα κρίσιμα σημεία, όλα τα συστατικά στοιχεία της σύνδεσης. Το ευρωπαϊκό δίκτυο των εθνικών προγραμμάτων (COST) προχώρησε στην ενδεδειγμένη διερεύνηση της γνώσης του συγκεκριμένου επιστημονικού πεδίου. Στα πλαίσια του προγράμματος COST C1 «Ημιάκαμπτη συμπεριφορά των δομικών συνδέσεων σε έργα Πολιτικού Μηχανικού» πραγματοποιήθηκε πρόοδος όσον αφορά στην ανάπτυξη μεθόδων σχεδιασμού των συνδέσεων με γωνιακά [Jaspart, 1997], στις σύνθετες συνδέσεις [Anderson, 1998, Huber, 1999] και στις εδράσεις των υποστυλωμάτων [Wald, 1998]. Τα θέματα της μελέτης των συνδέσεων σε σεισμικές περιοχές αποτέλεσαν αντικείμενο ερευνητικής ενασχόλησης στα πλαίσια του προγράμματος Copernicus «Αξιοπιστία των συνδέσεων ροπής σε μεταλλικά πλαίσια σε σεισμικές περιοχές» (RECOS). Εξάλλου, σημαντικά βήματα όσον αφορά στη γνώση και στην επίδραση στην οικονομία των δομικών συνδέσεων, αντικατοπτρίζονται στα δύο Παραρτήματα του Ευρωκώδικα 3 σχετικά με τις συνδέσεις (A1- Παράρτημα K: Συνδέσεις σε κοιλοδοκούς και A2-Παράρτημα J: Δομικές συνδέσεις). Αυτά τα δύο Παραρτήματα μαζί με το Κεφάλαιο 6 του προκαταρκτικού προτύπου ENV 1993-1-1 συγχωνεύτηκαν σε συγκεντρωτικούς κανόνες για τον σχεδιασμό συνδέσεων (prEN1993-1-8), όπου συμπεριλήφθηκαν και οι νέοι κανόνες που ζητήθηκαν από την βιομηχανία. Οι τύποι των συνδέσεων που ήδη καλύπτονταν από τους παλιούς κανονισμούς επεκτάθηκαν σε περιπτώσεις όπως είναι η έδραση στύλων μέσω χαλύβδινης πλάκας και υιοθετήθηκαν νέοι κανόνες για την αλληλεπίδραση ροπών-ορθών δυνάμεων στις συνδέσεις, για την αντοχή αντίστασης για τις οπές ελλειψοειδούς μορφής, για τις συγκολλητές συνδέσεις ορθογωνικών κοιλοδοκών και για τα όρια λειτουργικότητας των ήλων.

Η πρώτη εξειδικευμένη εκπαιδευτική προσπάθεια όσον αφορά στις δομικές συνδέσεις παρουσιάστηκε από τον Owen [Owen, 1988]. Στις μέρες μας, η εκπαίδευση στον τομέα της συμπεριφοράς και της μελέτης του δομικού χάλυβα βασίζεται στη συλλογή των πληροφοριών και γνώσεων από το Ευρωπαϊκό Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα Σχεδιασμού Χάλυβα (ESDEP). Κάτω από αυτό το πλαίσιο δημιουργήθηκαν και αναπτύχθηκαν τα τελευταία ευρωπαϊκά εκπαιδευτικά έργα στο πρόγραμμα Leonardo WIVISS (πιλοτικά μαθήματα σε CD), στο Steel Call (εικονικής πραγματικότητας γραφείο σχεδιασμού (virtual steel designer office)) και SSEDTA (βασικά μαθήματα σε PowerPoint για μεταλλικά και σύνθετα στοιχεία), εμπλουτισμένα βέβαια με καινούριες εκπαιδευτικές μεθόδους και περισσότερες γνώσεις όσον αφορά στην τεχνολογία, στη μελέτη και στη θεωρία των δομικών συνδέσεων.

Η Τεχνική Επιτροπή 10 της Ευρωπαϊκής Σύμβασης για τις Χαλύβδινες Κατασκευές (ECCS TC10) υποστήριζε την ενίσχυση διάχυσης κάθε εμπειρίας καλής πρακτικής από την έναρξη της διαδικασίας υλοποίησης των Ευρωκωδίκων στη δεκαετία του '80. Οι πρόσφατες εργασίες της επικεντρώθηκαν στις απαιτούμενες από τη βιομηχανία χάλυβα βελτιώσεις των κανόνων σχεδιασμού κατά την περίοδο μετάβασης από τα προκαταρκτικά πρότυπα ENV (pre-standard ENV) στα οριστικά κείμενα των προτύπων EN (standard EN). Στα πλαίσια αυτά, αποφασίστηκε και δημιουργήθηκε η εκπαιδευτική δράση CZ/PP-134049 «Συνεχιζόμενη Κατάρτιση στις Χαλύβδινες Συνδέσεις» (CESTRUCO) του Ευρωπαϊκού προγράμματος Leonardo, το υπόβαθρο της οποίας καθορίστηκε από τους κκ. Marc Braham (Astron, Λουξεμβούργο), Jan Stark (TU Delft, Ολλανδία) και Jouko Kouhi

(VTT, Φινλανδία). Η δράση αυτή συνέβαλε στην εξέλιξη του Ευρωκώδικα δίνοντας απαντήσεις σε ερωτήματα που προκύπτουν στην πράξη, παρουσιάζοντας το υπόβαθρό του (δοκιμές και προσομοιώσεις) και εντοπίζοντας τις βέλτιστες λύσεις σε πρακτικά ζητήματα. Οι κ.κ. František Wald (CTU, Πράγα, Δημοκρατία της Τσεχίας) και Martin Steenhuis (Eindhoven, Ολλανδία) ορίστηκαν ως συντονιστές του έργου. Η δράση ξεκίνησε το 2001 με την καταγραφή των προβλημάτων που προέκυπταν στην πράξη. Συνολικά κατεγράφησαν 362 ερωτήματα απ' όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες. Το παρόν εγχειρίδιο είναι μια μικρή προσπάθεια που προσπαθεί να δώσει απαντήσεις σε ορισμένα ερωτήματα από εκείνα που θεωρήθηκαν ως θεμελιώδη. Η τελική συνεισφορά της δράσης κατά το έτος 2003 θα είναι η δημιουργία μιας εύκολα προσβάσιμης στο διαδίκτυο σειράς συνεχιζόμενης κατάρτισης σε ζητήματα μεταλλικών δομικών συνδέσεων.

Η ομάδα υλοποίησης του έργου αποτελείται από τους εξής εταίρους: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Building with Steel-Rotterdam, Building Research Establishment Ltd-London, Czech Constructional Steelwork Association-Ostrava, Czech Technical University in Prague, EXCON a.s.-Prague, Lulea University of Technology, KREKON Design office-Eindhoven, VTT Building Technology-Helsinki (μέχρι το 2001), Politechnica University of Timisoara και University of Coimbra.

Στην παραγωγή του υλικού του παρόντος βιβλίου συνεισέφεραν:

- ο καθηγητής X.K. Μπανιωτόπουλος (τα κεφάλαια Συγκολλήσεις και Συνδέσεις Αλουμινίου),
- ο καθηγητής F.S.K. Bijlaard,
- ο Ir. R. Block (επιφορτισμένος με τον εσωτερικό έλεγχο),
- ο κ. J. Brekelmans,
- ο καθηγητής L.S. da Silva (το κεφάλαιο του Σχεδιασμού έναντι Πυρκαγιάς),
- ο καθηγητής D. Dubina (το κεφάλαιο του Αντισεισμικού Σχεδιασμού),
- η κα M. Eliasova,
- ο κ. H.G.A. Evers (το κεφάλαιο Παραδείγματα Σχεδιασμού),
- ο Dr. D. Grecea (τα κεφάλαια Συνδέσεις Κοιλοδοκών και Συνδέσεις Εν Ψυχρώ Εξηλασμένων Διατομών),
- ο Ir. A.M. Gresnigt (το κεφάλαιο Συνδέσεις Μεταφοράς Ροπής),
- ο Dr. V. Janata (επιφορτισμένος με τον εσωτερικό έλεγχο),
- ο καθηγητής B. Johansson,
- ο κ. T. Leino,
- ο κ. T. Lennon,
- ο κ. T. Merinsky (επιφορτισμένος με τον εσωτερικό έλεγχο),
- ο Dr. D.B. Moore (το κεφάλαιο Απλές Συνδέσεις),
- η κα A. Santiago,
- ο κ. R.L. Shipholt,
- ο Dr. Z. Sokol (το κεφάλαιο Δομική Προσομοίωση)
- ο Ir. C.M. Steenhuis,
- ο κ. M. Veljkovic (το κεφάλαιο Κοχλιώσεις), και
- ο καθηγητής F. Wald (το Εισαγωγικό Κεφάλαιο και το κεφάλαιο Βάσεις Υποστυλωμάτων).

Το υλικό ελέγχθηκε από τους εξωτερικούς κριτές:

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| – τον καθηγητή D. Beg, | – τον Dr. J.-P. Jaspert, |
| – τον Dr. G. Huber, | – τον κ. J. Kouhi, |
| – τον κ. A.J. Rathbone, | – τον Dr. F. Turcic, |
| – τον κ. N.F. Yeomans, | – τον Dr. K. Weynand, |
| – τον κ. M. Braham και | – τον καθηγητή F. Mazzolani. |

Ο επιμελητής της Ελληνικής έκδοσης θα ήθελε να εκφράσει τις θερμές του ευχαριστίες σε όλους τους συνεργάτες του και ιδιαίτερα, στον Διπλωματούχο Πολιτικό Μηχανικό κ. Ευάγγελο Ευθυμίου για την πολύτιμη βοήθειά του και τις κριτικές παρατηρήσεις του καθ' όλη τη διάρκεια της προετοιμασίας του παρόντος βιβλίου.



*Το βιβλίο αυτό αφιερώνεται στον **Martin Steenhuis**
ο οποίος δούλεψε μαζί με τους συγγραφείς της εργασίας αυτής
για πολλά χρόνια στον τομέα των Δομικών Συνδέσεων
–όπως και στα πλαίσια του παρόντος έργου–
και ο οποίος έφυγε τραγικά από τη ζωή
το καλοκαίρι του 2001.*

Εισαγωγή

Οι συνδέσεις χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των εσωτερικών δυνάμεων από το ένα δομικό στοιχείο στο άλλο. Παρόλο που τόσο οι συγκολλητές, όσο και οι *κοχλιωτές συνδέσεις* χρησιμοποιούνται ευρέως στις κατασκευές χάλυβα, οι τελευταίες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα ευρύτατα λόγω της απλότητας παραγωγής τους, της εύκολης εφαρμογής τους και της δυνατότητας μικροδιορθώσεων κατά τη διαδικασία ανέγερσης των έργων. Οι διάφοροι τύποι κοχλιώσεων περιλαμβάνουν κοχλιωτές πλάκες συνεχείας, ακραίες πλάκες σύνδεσης και γωνιακά που συνθέτουν τις αντίστοιχες κοχλιώσεις μέσω μηχανικής σύσφιξης των κοχλιών.

Η απόκριση μιας *κοχλιωτής σύνδεσης* είναι συνήθως σύνθετη. Η κατανομή των τάσεων στην σύνδεση, καθώς και οι δυνάμεις στους κοχλίες εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η δυσκαμψία των κοχλιών και των συνδεόμενων χαλύβδινων στοιχείων (πλακών, γωνιακών κτλ.), με αποτέλεσμα μια ακριβής θεωρητική μελέτη να μην είναι εύκολα δυνατή.

Ο σχεδιασμός μιας κοχλιωτής σύνδεσης είναι συνήθως ημι-εμπειρικός και βασίζεται σε έναν συνδυασμό πειραματικών αποτελεσμάτων, εμπειρίας, επαγγελματικών συνηθειών και πρακτικής. Στην παράγραφο 3.6.1(4) του prEN1993-1-8: 2002 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σχεδιασμού, σύμφωνα με το οποίο η διατμητική αντίσταση των κοχλιών M12 και M14 πρέπει να υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη σχέση για τον υπολογισμό της διατμητικής φέρουσας ικανότητας των ισχυρότερων κοχλιών με ένα συντελεστή 0,85.

Βασικά χαρακτηριστικά των κοχλιών

Οι κατηγορίες κοχλιών που χρησιμοποιούνται συνήθως στις χαλύβδινες κατασκευές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1. Όλες αυτές οι κατηγορίες κοχλιών χρησιμοποιούνται συχνά για συνδέσεις που μεταφέρουν στατικές ροπές και δυνάμεις. Για κοχλιώσεις που υπόκεινται σε κόπωση, χρησιμοποιούνται κοχλίες υψηλής αντοχής όπως π.χ. 8.8 και 10.9, λόγω της μεγάλης αντοχής τους και των μικρών παραμορφώσεών τους. Οι βασικές μηχανικές ιδιότητες των κοχλιών κατηγορίας 4.6, 5.6, 6.8, 8.8 και 10.9 παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

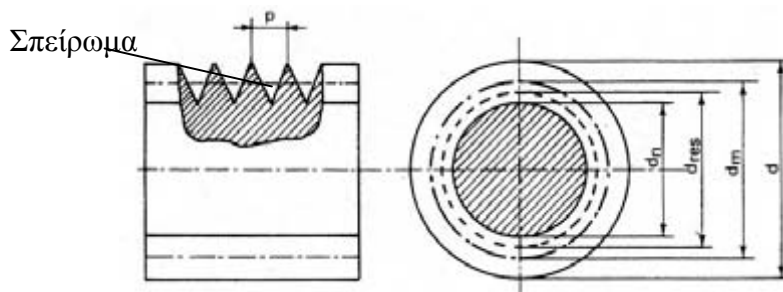
Πίνακας 2.1 Βασικές μηχανικές ιδιότητες κοχλιών

Κατηγορία κοχλία	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{yb} MPa	240	300	480	640	900
f_{ub} MPa	400	500	600	800	1000
Υλικό	Χάλυβας χαμηλής ή μέσης ποιότητας			Κράμα χάλυβα μέσης ποιότητας	

Η ασθενέστερη διατομή κάθε κοχλία είναι το ελικοειδές τμήμα που ονομάζεται *σπείρωμα*. Η αντοχή του κοχλία συνήθως υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την *εφελκυσμένη περιοχή* του (που ονομάζεται και *περιοχή αντίστασης*) που καθορίζεται από τη μέση διάμετρο του πυρήνα του κοχλία (όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1):

$$d_{res} = \frac{d_n + d_m}{2} \quad (2.1)$$

Τα μεγέθη των κοχλιών καθορίζονται από την ονομαστική τους *διάμετρο*, το *μήκος κορμού* (κάτω από την κεφαλή τους) και το *συνολικό μήκος* τους.

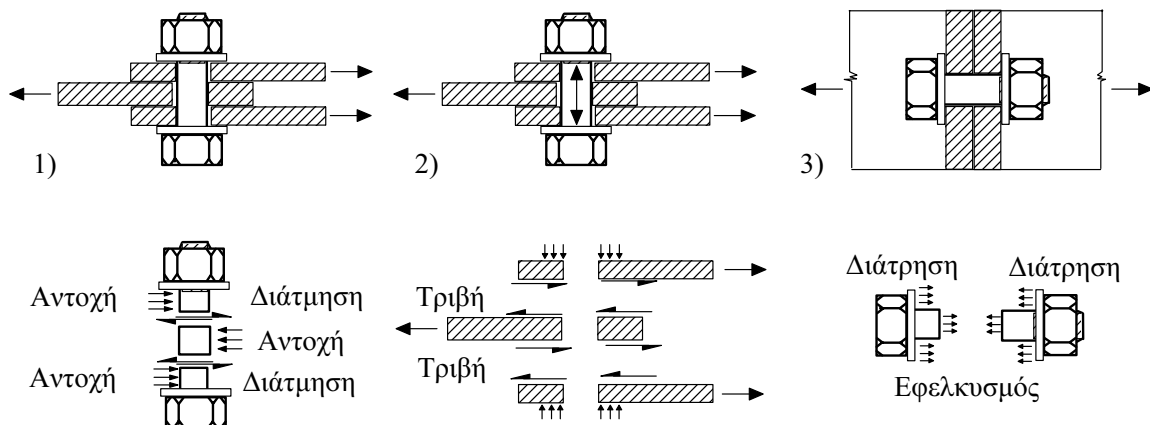


Σχήμα 2.1 Διατομή κοχλία και η περιοχή αντίστασης [Ballio, Mazzolani, 1983]

Συμπεριφορά κοχλία στη σύνδεση

Η οριακή αντοχή των κοχλιωτών συνδέσεων υπολογίζεται με βάση τις απλοποιητικές παραδοχές σχετικά με την ανακατανομή των εσωτερικών δυνάμεων που βασίζονται σε πειραματικά αποτελέσματα. Θεωρώντας ότι η ροή των δυνάμεων γίνεται μέσω των κόμβων, προκύπτει ότι οι κοχλίες συμπεριφέρονται:

- 1) ως *απλοί φέροντες κοχλίες*, όπου η μετακίνηση των συνδεόμενων ελασμάτων περιορίζεται από τον κορμό των κοχλιών,
- 2) ως *προεντεταμένοι κοχλίες υψηλής αντοχής*, όπου τα συνδεόμενα ελάσματα συνδέονται μέσω κοχλιών που βρίσκονται υπό εφελκυσμό που έχει προέλθει από σύσφιξη (προένταση), ή
- 3) ως *κοχλίες υπό εφελκυσμό*.



Σχήμα 2.2 Συνιστώσες της δύναμης σε απλούς φέροντες κοχλίες και προεντεταμένους κοχλίες [Trahair et al., 2001]

Οι εσωτερικές δυνάμεις (διάτμηση, εφελκυσμός και δυνάμεις επαφής στην άντυγα) μπορούν να μεταφερθούν είτε μέσω απλών κοχλιών, είτε μέσω τριβής των συνδεόμενων ελασμάτων στην περίπτωση προεντεταμένων κοχλιώσεων τριβής. Οι δυνάμεις αυτές παρουσιάζονται αντίστοιχα στο Σχήμα 2.2. Επιπλέον, υπάρχει πλήθος κοχλιωτών συνδέσεων που υπόκεινται σε συνδυασμό διατμητικής και εφελκυστικής δύναμης.

Απλοί κοχλίες

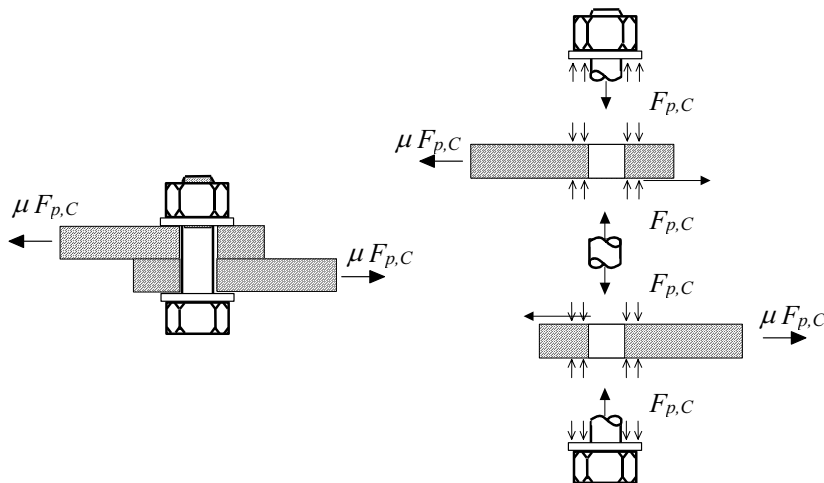
Οι κοχλίες που υπόκεινται σε στατικές φορτίσεις πρέπει να είναι κοχλιωμένοι με μηχανικό τρόπο. Η σύσφιξη τους επιτυγχάνεται από τον τεχνίτη συνήθως με δυναμόκλειδο. Έτσι προκύπτει μικρή δύναμη τριβής μεταξύ των συνδεόμενων ελασμάτων που επαρκεί για τη μεταφορά μικρών φορτίων χωρίς να προκύπτει ολίσθηση. Αύξηση του εφαρμοζόμενου φορτίου οδηγεί σε υπέρβαση της τριβής, οπότε προκύπτει μόνιμη ολίσθηση λόγω της ύπαρξης ανοχών στις οπές των κοχλιών. Η ολίσθηση σταματά μόλις ο κορμός του κοχλία έλθει σε επαφή με τα τοιχώματα της οπής του ελάσματος. Σε περίπτωση που το φορτίο αυξηθεί ακόμη περισσότερο, η σύνδεση αποκρίνεται ελαστικά μέχρις ότου αρχίσει η πλαστική παραμόρφωση είτε στον κορμό του κοχλία, είτε στο έλασμα. Υπάρχει πιθανότητα η πλαστική παραμόρφωση να αρχίσει ταυτόχρονα στον κοχλία και στο έλασμα. Η σύνδεση μπορεί κατά περίπτωση να αστοχήσει με έναν από τους εξής τρόπους:

- Λόγω διατμητικής αστοχίας του κοχλία,
- Λόγω αστοχίας από σύνθλιψη άντυνας,
- Λόγω αστοχίας ελάσματος σε ομάδα κοχλιών λόγω διάτμησης.

Οι τιμές σχεδιασμού της αντίστασης σε διάτμηση και σε σύνθλιψη άντυνας δίδονται στον Πίνακα 3.4, ενώ για την τελευταία περίπτωση δίδονται στην παράγραφο 3.10.2 του prEN1993-1-8: 2002. Η αντίσταση σε σύνθλιψη άντυνας βασίζεται σε δύο πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας: είτε διαρροή λόγω διάτμησης συνδυασμένη με εφελκυστική αστοχία, είτε διατμητική αστοχία με διαρροή λόγω εφελκυσμού [Aalberg, Larsen, 2000]. Ο τύπος κατάρρευσης εξαρτάται από τις διαστάσεις της σύνδεσης και τη σχετική αντοχή των υλικών των κοχλιών και των συνδεόμενων ελασμάτων.

Συνδέσεις ολίσθησης

Στην περίπτωση αντιστρεπτής φοράς επαναλαμβανόμενων φορτίσεων, απαιτείται η χρήση κοχλιών υψηλής αντοχής και η σύσφιξη τους τουλάχιστον στο 70% της οριακής εφελκυστικής αντοχής τους. Με την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, το φορτίο μεταφέρεται δια της σύνδεσης κυρίως μέσω τριβής στα συνδεόμενα ελάσματα και λιγότερο μέσω διάτμησης των μέσων σύνδεσης. Υπάρχουν 3 κατηγορίες τέτοιων συνδέσεων και συγκεκριμένα οι B, C και E, (βλ. παράγραφο 3.4.1 του prEN1993-1-8: 2002). Η αντοχή τους είναι συνάρτηση του συντελεστή ολίσθησης των περιοχών που βρίσκονται σε επαφή, μ , και της δύναμης σύνδεσης, $F_{p,C}$, που αντιστοιχεί στους κοχλίες υψηλής αντοχής. Στην παράγραφο 3.5 του prEN1993-1-8: 2002 δίδεται ένας αριθμός κλάσεων επιφανειών τριβής όπου ο συντελεστής μ κυμαίνεται από 0,2 έως 0,5. Φυσικά, σε πολλές περιπτώσεις ο συντελεστής αυτός μπορεί να καθορισθεί μέσω πειραμάτων. Σχετικά με την απαίτηση χρήσης ροδέλας και άλλες λεπτομέρειες, βλ. παράγραφο 8.5(4) [ENV 1090-1].



Σχήμα 2.3 Κοχλίας υψηλής αντοχής σε κοχλιοτή σύνδεση τριβής
[Kuzmanovic, Willems, 1983]

Η εφελκυστική δύναμη που εισάγεται στον κοχλία υψηλής αντοχής κατά την σύσφιξη μπορεί να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας έναν από τους εξής τρόπους:

- 1) Τη μέθοδο ελέγχου της στρεπτικής ροπής (που βασίζεται στον έλεγχο της εφαρμοζόμενης ροπής στρέψης),
- 2) Τη μέθοδο στροφής της κεφαλής του κοχλία (μια συγκεκριμένη γωνία στροφής εφαρμόζεται πέραν του σημείου απλής σύσφιξης του κοχλία),
- 3) Τη μέθοδο δείκτη άμεσου εφελκυσμού,
- 4) Τη συνδυασμένη μέθοδο (που βασίζεται στον συνδυασμό των δύο πρώτων μεθόδων).

Q&A 2.1 Απώλεια της προέντασης κοχλίων

Πρόσφατα πειράματα στη Γαλλία έδειξαν ότι όταν χρησιμοποιούνται τυπικές προστατευτικές βαφές, μεταξύ του 2^{ου} και 3^{ου} μήνα υπάρχει η πιθανότητα σημαντικής μείωσης της προέντασης του κοχλία της τάξης του 25% έως 45%. Πώς είναι δυνατόν να ενσωματωθεί αυτό το φαινόμενο στο σχεδιασμό συνδέσεων με προεντεταμένους κοχλίες;

Επειδή οι τυπικές προστατευτικές βαφές μειώνουν το συντελεστή ολίσθησης μεταξύ των συνδεόμενων ελασμάτων, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδέσεις απαγορευμένης ολίσθησης διότι οι βαφές αυτές θα μπορούσαν να μειώσουν σημαντικά τη φέρουσα ικανότητα της σύνδεσης. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικές βαφές τριβής.

Q&A 2.2 Φέρουσα ικανότητα συνδέσεων ολίσθησης

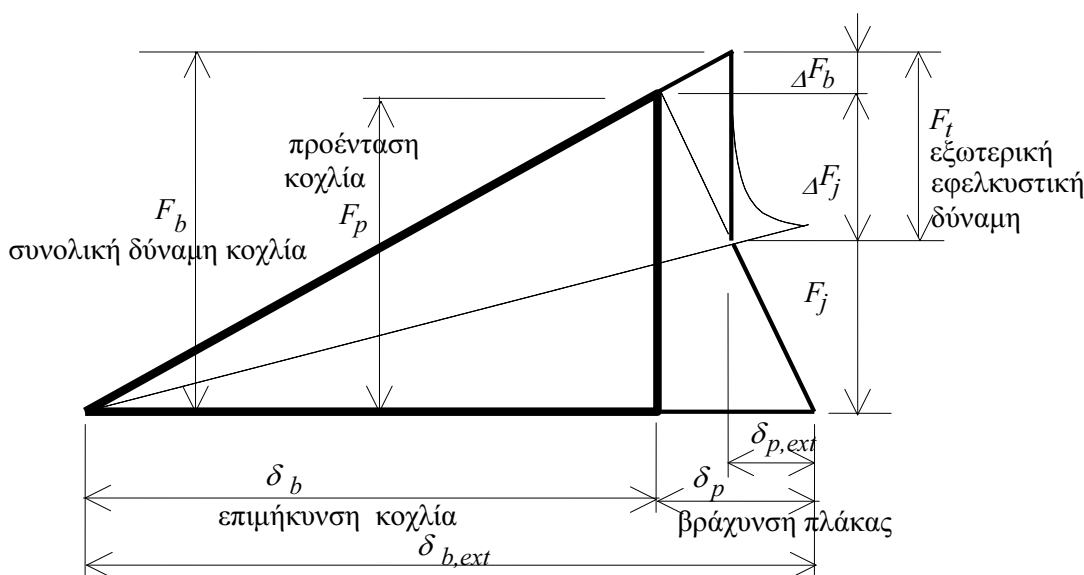
Για ποιό λόγο οι συνδέσεις απαγορευμένης ολίσθησης κατηγορίας C πρέπει να ελέγχονται σε σύνθλιψη άντυνας για οριακή φόρτιση, βλ. παράγραφο 3.4.1(4), όταν δεν επιτρέπεται ολίσθηση στη σύνδεση σε Ο.Κ.Α.;

Σ'αυτόν τον τύπο συνδέσεων υπάρχει πιθανότητα κάποιοι κοχλίες να διεισδύσουν στα συνδεόμενα ελάσματα ως αποτέλεσμα της συναρμολόγησής τους κατά τη διάρκεια της ανέγερσης της κατασκευής, δηλαδή αντί τα κέντρα οπών και κοχλίων να ταυτίζονται, οι κοχλίες να ευρίσκονται στη μια πλευρά των οπών σε επαφή με τα τοιχώματα των οπών. Επομένως, προκειμένου να εξασφαλιστεί απόλυτη ασφάλεια, οι κοχλίες πρέπει να ελέγχονται σε αστοχία άντυγας για την οριακή φόρτιση.

Q&A 2.3 Αντίσταση σε διάτμηση προεντεταμένων κοχλίων υπό εφελκυσμό

Σύμφωνα με την παράγραφο 3.9.2 η δύναμη προέντασης $F_{p,Cd}$ δεν ελαττώνεται από τη συνολική εφελκυστική δύναμη F_t που εφαρμόζεται εξωτερικά όταν υπάρχει συνδυασμός εφελκυσμού και διάτμησης για κοχλίες τριβής. Ποιός είναι ο λόγος;

Εξαιτίας της προέντασης των κοχλίων, τα συνδεόμενα ελάσματα και οι κοχλίες παραμορφώνονται. Η συμπεριφορά αυτή παριστάνεται γραφικά στο Σχήμα 2.4. Η επιμήκυνση του κοχλία δ_b αντιστοιχεί σε προένταση κοχλία F_p και σμίκρυνση ελάσματος δ_p . Με την εφαρμογή εξωτερικής δύναμης F_t , η συνολική δύναμη κοχλία είναι F_b που αντιστοιχεί σε επιμήκυνση $\delta_{b,ext}$.



Σχήμα 2.4 Διάγραμμα εσωτερικών δυνάμεων σε σύνδεση με προεντεταμένους κοχλίες υπό εφελκυστική δύναμη [Bickford, 1995]

Η εξωτερική εφελκυστική δύναμη παραλαμβάνεται εν μέρει από πρόσθετες δυνάμεις στον κοχλία ΔF_b , και εν μέρει από μείωση της δύναμης που η σύνδεση ασκεί στον κοχλία ΔF_j . Η αύξηση της δύναμης κοχλία είναι ΔF_b και η μείωση της συνδετηρίας δύναμης ΔF_p που αντιστοιχεί στην παραμόρφωση της σύνδεσης $\delta_{p,ext}$. Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την επίδραση της ευκαμψίας της καμπτόμενης πλάκας όπου εμφανίζονται φαινόμενα μοχλού. Με την εφαρμογή της εφελκυστικής δύναμης στον κόμβο, ένα τμήμα της

δύναμης προέντασης παραμένει, λόγω της παραμόρφωσης των πλακών, βλ. Σχήμα 2.4. Ο λόγος δυσκαμψίας μεταξύ του εφελκυόμενου κοχλίου και των θλιβόμενων πλακών (περίπου 1 προς 4) οδηγεί σε μια δύναμη επαφής μεταξύ των πλακών, τουλάχιστον ίση προς:

$$F_c = F_p - 0,8 F_t, \quad (2.2)$$

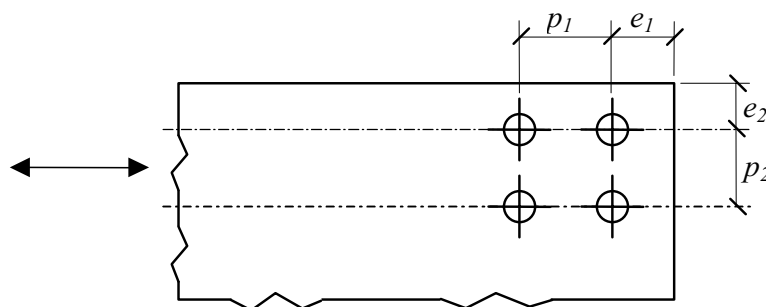
όπου η δύναμη F_t εφαρμόζεται υπό συνήθεις συνθήκες. Η ισχύς του συντελεστή 0,8 βασίζεται στην παραδοχή ενός κυλίνδρου υπό θλίψη με συγκεκριμένη διατομή, ενώ η διερεύνηση με τη βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων δείχνει ότι δημιουργείται ένα είδος θλιβόμενου «βαρελιού» όπου ο συντελεστής είναι συνάρτηση του πάχους και πιθανώς της ποιότητας του κοχλίου, του χάλυβα και του αριθμού των ελασμάτων.

Q&A 2.4 Μέγιστες επιτρεπόμενες αποστάσεις κοχλιών μεταξύ τους και από τα άκρα του ελάσματος

Ποιό είναι το θεωρητικό υπόβαθρο βάσει του οποίου καθορίζονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες αποστάσεις p_1 και p_2 σε 14 t ή 200 mm που δίδονται στον Πίνακα 3.3 του prEN1993-1-8;

Τα όρια για τα p_1 and p_2 δίδονται ανεξαρτήτως κλιματικών συνθηκών ή άλλων διαβρωτικών παραγόντων για τις συνδέσεις. Επίσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πιθανά φαινόμενα τοπικού λυγισμού και πολύ επιμήκους σύνδεσης. Η αντίσταση σε τοπικό λυγισμό μεταξύ των στοιχείων σύνδεσης πρέπει να υπολογίζεται βάσει του Πίνακα 3.3, σημείωση 2. Εφόσον η σύνδεση είναι πολύ επιμήκης, οι παραμορφώσεις στο υλικό οδηγούν σε ασύμμετρη κατανομή δυνάμεων. Η επίδραση αυτή λαμβάνεται υπόψιν στον κανόνα 3.8 όπου η διατμητική αντίσταση πρέπει να μειώνεται ανάλογα με το μήκος της σύνδεσης.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι δεν υπάρχουν μέγιστες επιτρεπόμενες αποστάσεις άκρων e_1 και e_2 για τη σύνδεση που δεν είναι εκτεθειμένη σε διαβρωτικό περιβάλλον.

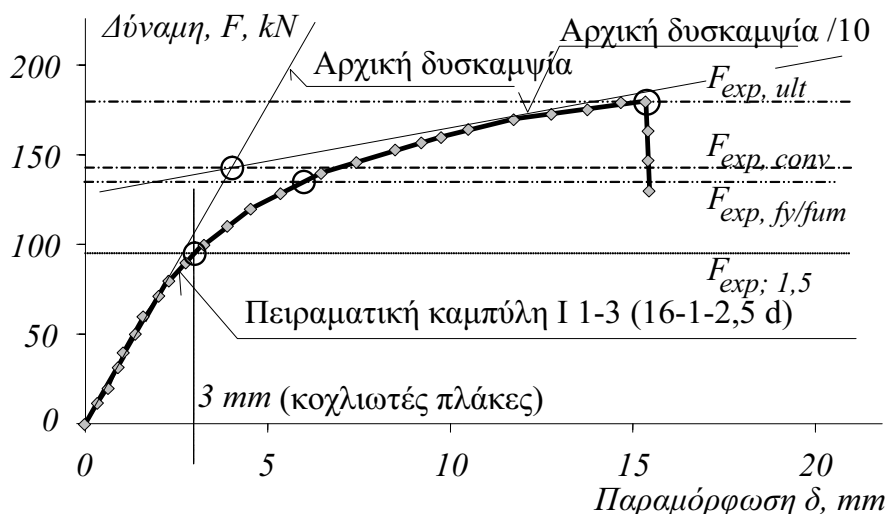


Σχήμα 2.5 Σύμβολα αποστάσεων σε μέσα σύνδεσης

Q&A 2.5 Κριτήρια παραμόρφωσης για την αντίσταση σε σύνθλιψη άντυνας απλών κοχλιών

Ο σχεδιασμός σε σύνθλιψη άντυνας στοχεύει περισσότερο στην αποφυγή μεγάλων παραμορφώσεων στην οπή, παρά στην αποφυγή πραγματικής αστοχίας της σύνδεσης. Η σύγκριση της σχέσης σχεδιασμού για σύνθλιψη άντυνας με πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαιώνει αυτό ακριβώς το σημείο. Μπορείτε να δώσετε το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τα κριτήρια παραμόρφωσης που υιοθετήθηκαν για την παραγωγή της μαθηματικής σχέσης;

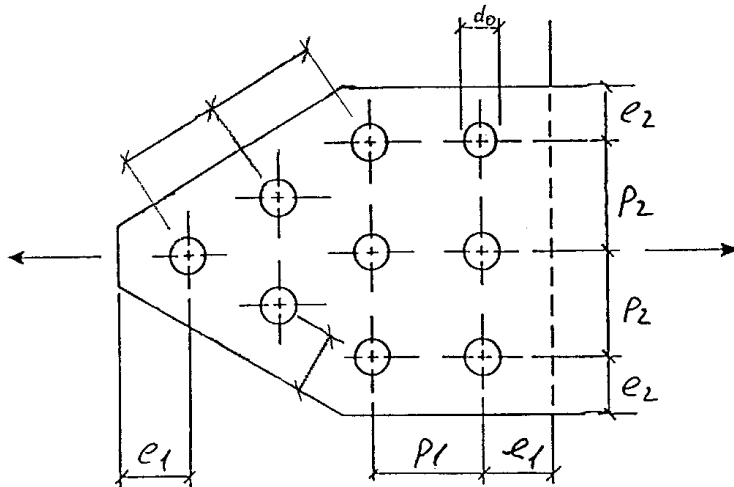
Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο των περισσότερων κανονισμών, η αντίσταση $F_{exp;1,5}$ περιορίζεται σε μια παραμόρφωση ίση προς $1,5 \text{ mm}$, βλ. [Owens, Cheal, 1989]. Η αντίσταση μελών όπως προέκυψε από πειράματα αστοχίας $F_{exp;fy/fum}$ ευρίσκεται με την ελάττωση της αντίστασης της μηχανικής αντοχής f_{um} στα επίπεδα της τάσης διαρροής f_y . Η διαδικασία εφαρμόζεται μέσω της σχέσης $F_{exp;fy/fum} = 0,9 F_{exp;ult} f_y / f_{um}$ εφόσον συμβαίνει ψαθυρή αστοχία [Snijder et al., 1988a]. Το ελαστικό όριο αντίστασης $F_{exp;conv}$ καθορίζει την αντίσταση ως τομή της ευθείας γραμμής που αντιστοιχεί στην αρχική δυσκαμψία και μιάς ευθείας με κλίση ίση με τη δυσκαμψία διαιρεμένη με το 10, που είναι σχεδιασμένη ως εφαπτομένη στο μη γραμμικό τμήμα της καμπύλης του πειράματος, βλ. Σχήμα 2.6 [Piraprez, 2000]. Η συνήθης αντίσταση εξαρτάται περισσότερο από τη δυσκαμψία του κόμβου παρά από τον τύπο αστοχίας. Το Παράρτημα D του prEN 1990: 2001 χρησιμοποιήθηκε για ελάσματα συνέχειας με επιμήκεις οπές προκειμένου να εκτιμηθεί το μοντέλο προσομοίωσης της αντίστασης, βλ. [Wald et al., 2002b].



Σχήμα 2.6 Όρια αντίστασης κόμβου, όριο παραμόρφωσης $F_{exp;1,5}$,
 όριο οριακής αντοχής $F_{exp;ult}$, συνήθες όριο $F_{exp;conv}$,
 μειωμένο όριο για λόγο διαρροής $F_{exp;fy/fum}$ τεστ I 1-3 (16-1-2,5d)
 [Piraprez, 2000]

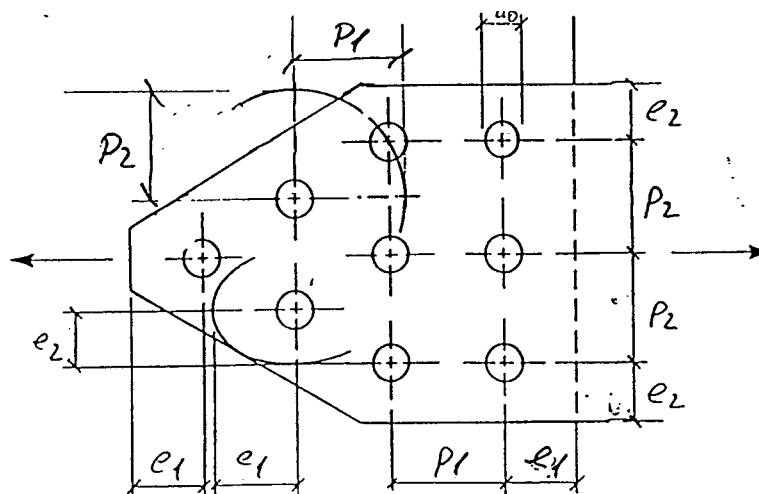
Q&A 2.6 Αποστάσεις από τα άκρα

Ο EC3 δεν περιέχει κανόνες για τις οριακές αποστάσεις των κοχλιών από τα άκρα και τις σειρές κοχλιών, ούτε κατά μήκος της διεύθυνσης της δύναμης, ούτε κάθετα σ' αυτήν, βλ. Σχήμα 2.7. Πώς μπορούν να καθορισθούν οι αποστάσεις αυτές;



Σχήμα 2.7 Αποστάσεις κοχλιών από τα άκρα

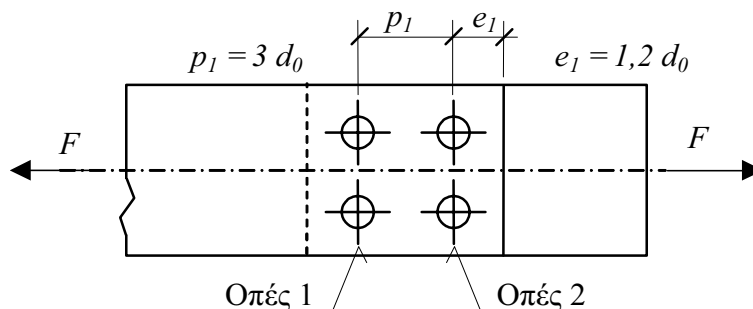
Οι αποστάσεις κοχλιών από τα άκρα e_1 και e_2 και οι αποστάσεις μεταξύ των σειρών κοχλιών p_1 και p_2 μπορούν να καθορισθούν με τον καθορισμό του ημιάξονα της έλλειψης με το άκρο της πλάκας ως εφαπτομένη και του ημιάξονα της έλλειψης που έχει ως κέντρο τη μιά οπή και διέρχεται από την άλλη οπή αντίστοιχα, βλ. Σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8 Καθορισμός αποστάσεων κοχλιών από τα άκρα του ελάσματος

Q&A 2.7 Αντίσταση σε σύνθλιψη άντυγας ομάδας κοχλιών

Είναι δυνατόν οι αντιστάσεις σε σύνθλιψη άντυγας των κοχλιών να προστεθούν ή όχι; Απαιτείται διευκρίνιση, βλ. Σχήμα 2.9 στο ακόλουθο παράδειγμα :



Σχήμα 2.9 Μη συμμετρική σύνδεση

Για τις οπές 2:

$$\alpha = \frac{e_1}{3 d_0} = \frac{1,2 d_0}{3 d_0} = 0,4$$

Για τις οπές 1:

$$\alpha = \frac{p_1}{3 d_0} - 0,25 = \frac{3 d_0}{3 d_0} - 0,25 = 1 - 0,25 = 0,75$$

Μέθοδος 1

Η συνολική αντίσταση βασίζεται σε απευθείας άθροιση:

$$F_{b.Rd} = \left(\sum \alpha \right) \frac{2,5 d t f_u}{\gamma_{Mb}} = (2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,75) \cdot \frac{2,5 d t f_u}{\gamma_{Mb}} = 2,3 \cdot \frac{2,5 d t f_u}{\gamma_{Mb}}.$$

Μέθοδος 2

Η συνολική αντίσταση βασίζεται στην ελάχιστη από τις ανεξάρτητες αντιστάσεις:

$$F_{b.Rd} = \left(\sum \alpha \right) \frac{2,5 d t f_u}{\gamma_{Mb}} = (2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,40) \cdot \frac{2,5 d t f_u}{\gamma_{Mb}} = 1,6 \cdot \frac{2,5 d t f_u}{\gamma_{Mb}}.$$

Εάν χρησιμοποιηθεί η Μέθοδος 1, τότε η παραμόρφωση στις οπές 2 μπορεί να είναι πολύ μεγάλη στην Ο.Κ.Λ. εφόσον όλα τα φορτία είναι μόνιμα.

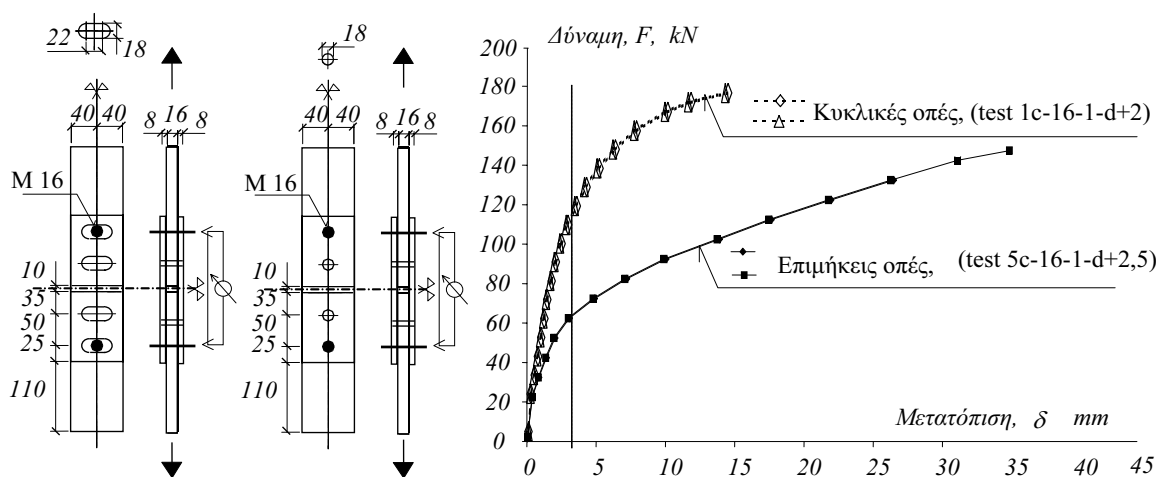
Μπορεί γενικά να θεωρηθεί ως επιτυχής ο σχεδιασμός, εάν προταθεί συμμετρική σύνδεση, ώστε να αποφευχθεί η μη αναγκαία πλαστική ανακατανομή των εσωτερικών δυνάμεων. Η εφαρμογή της μεθόδου άθροισης των αντιστάσεων των ανεξάρτητων κοχλιών εξαρτάται από τις απαιτήσεις λειτουργικότητας και όχι μόνον από τις απαιτήσεις αστοχίας. Εάν υπάρχει απαίτηση περιορισμού των παραμορφώσεων, τότε επιβάλλεται πρόσθετος έλεγχος λειτουργικότητας. Στην παράγραφο 3.7, prEN 1993-1-8: 2002 παρέ-

χονται οδηγίες σχετικά με τον τρόπο υπολογισμού της αντίστασης της ομάδας κοχλίων. Όσον αφορά τις μη συμμετρικές συνδέσεις, τα φαινόμενα εργοσκήλυνσης στις πλάκες μπορούν να λαμβάνονται υπόψη εφόσον διατηρείται η σχέση $F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{b,Rd}$.

Q&A 2.8 Αντίσταση σε σύνθλιψη άντυγας σε επιμήκεις οπές

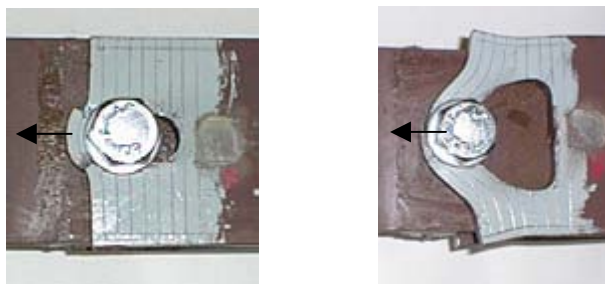
Η σημείωση 1 του Πίνακα 3.4 επιβάλλει τη μείωση της αντίστασης σε σύνθλιψη άντυγας για επιμήκεις οπές στο 60% της αντίστασης κανονικών οπών όταν η δύναμη είναι κάθετη στη μεγάλη διάσταση της οπής. Υπάρχουν σχετικά πειραματικά αποτελέσματα;

Οι ονομαστικές ανοχές για κοχλίες σε επιμήκεις οπές δίδονται στο ENV 1090-1, παράγραφο 8. Ο μειωτικός συντελεστής της αντίστασης που εφαρμόζεται στο prEN 1993-1-8: 2002 βασίζεται σε πρόσφατα πειράματα [Wald et al., 2002], [Piraprez, 2000], [Tizani, 1999]. Ουσιαστικά, απαιτείται μικρότερη αντίσταση σχεδιασμού λόγω της μικρότερης δυσκαμψίας.



Σχήμα 2.10 Σύγκριση τυπικών διαγραμμάτων δύναμης-μετατόπισης από πειράματα σε επιμήκεις και κυκλικές οπές [Wald et al., 2002a]

Είναι εμφανές στο Σχήμα 2.10 ότι μια κοχλιωτή σύνδεση με επιμήκη οπή κάθετη στην εφαρμοζόμενη δύναμη παρουσιάζει μικρότερη δυσκαμψία και μεγαλύτερη παραμορφωσιμότητα σε σύγκριση με τις κυκλικές οπές.



α) αστοχία λόγω διάτμησης β) αστοχία λόγω κάμψης
Σχήμα 2.11 Αστοχία επιμήκων οπών [Wald et al., 2002b]

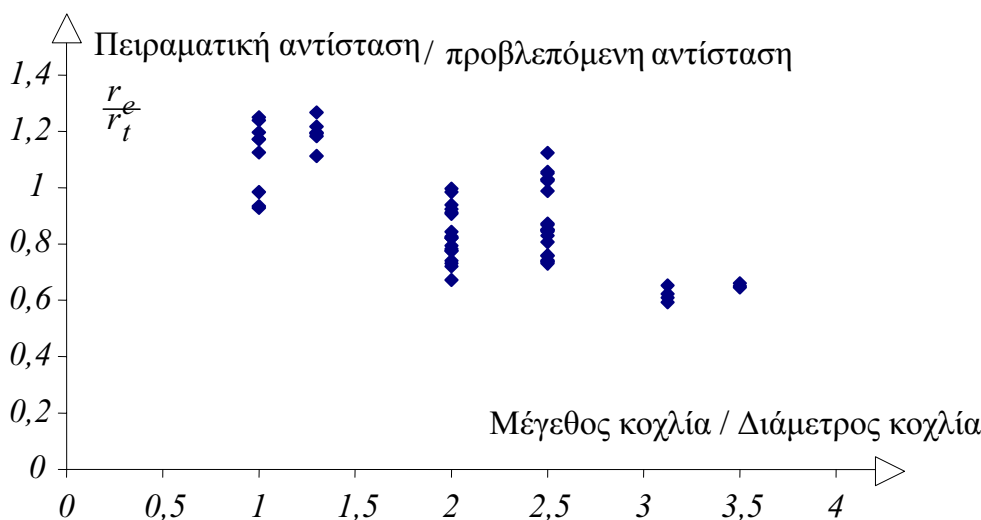
Η αντίσταση σε σύνθλιψη άντυγας υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$F_{b.Rd} = \beta_R \frac{2,5\alpha f_u dt}{\gamma_{M2}}, \quad (2.3)$$

όπου α είναι το ελάχιστο από τους εξής όρους:

$$\frac{e_1}{3 d_o}, \quad \frac{p_1}{3 d_o} - \frac{1}{4}, \quad \frac{f_{ub}}{f_u} \quad \text{ή} \quad 1,0. \quad (2.4)$$

Ο μειωτικός συντελεστής β_R που πρέπει να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς το επίμηκες της οπής, καθορίστηκε με την εφαρμογή μιας τυποποιημένης διαδικασίας καθορισμού του μερικού συντελεστή ασφαλείας από τα πειραματικά αποτελέσματα, βλ. [Wald et al., 2002b]. Η επίδραση του μήκους της οπής στην αστοχία του ελάσματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.12, όπου έχουν συμπεριληφθεί τα αποτελέσματα από 70 σχετικά πειράματα.



Σχήμα 2.12 Συγκριτικά πειραματικά και αναλυτικά αποτελέσματα

Q&A 2.9 Μέθοδος σχεδιασμού εφαρμοσμένων κοχλιών

Σχετικά με τη μέθοδο σχεδιασμού για εφαρμοσμένους κοχλίες, μπορείτε να δώσετε επεξηγήσεις και οδηγίες για τα εξής θέματα: ανοχές για τη διάμετρο των οπών, αντίσταση σε σύνθλιψη άντυγας, τρόπο υλοποίησης και περιορισμούς.

Συνήθως οι ανοχές είναι h12/H13 [EN ISO 898-1], γεγονός που οδηγεί σε ανοχή περίπου 0,3 mm. Η αντίσταση μπορεί να ληφθεί ίδια όπως στους κοχλίες με ανοχή στις οπές. Η υλοποίηση της σύνδεσης ακολουθεί την κανονική διαδικασία εφόσον οι οπές έχουν προετοιμαστεί στο εργοστάσιο. Εναλλακτικά, μπορεί η τελική εργασία στις οπές να γίνει επιτόπου σε συνδυασμό με την κατασκευή ολόκληρης της σύνδεσης. Επίσης, το σπείρωμα δεν επιτρέπεται να βρίσκεται στην περιοχή σύνθλιψης άντυγας.

Q&A 2.10 Συνδυασμός εφελκυσμού και διάτμησης

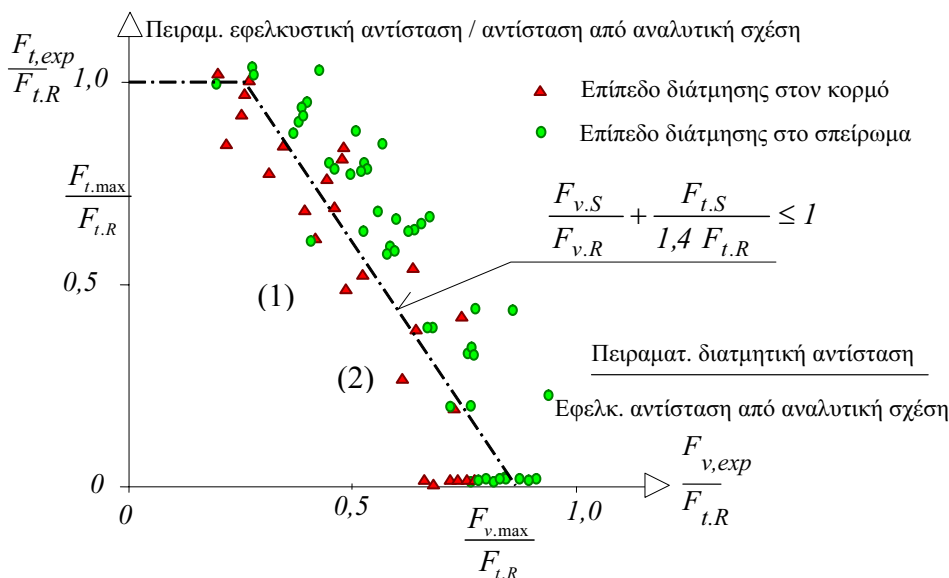
Σύμφωνα με την παράγραφο 6.5.5(5), ένας κοχλίας που φορτίζεται με εφελκυστική δύναμη ίση με την εφελκυστική αντίσταση σχεδιασμού $F_{t,Rd}$ μπορεί να παραλάβει επιπλέον μια διατμητική δύναμη $F_{v,Sd} = 0,286 F_{v,Rd}$. Ποιό είναι το θεωρητικό υπόβαθρο αυτής της σχέσης; Δεν θα ήταν πιο λογική η εφαρμογή της παρακάτω σχέσης;

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (2.5)$$

Διάφορες πειραματικές παρατηρήσεις έδειξαν ότι οι κοχλίες υπό πλήρη διατμητική φόρτιση έχουν σημαντική φέρουσα ικανότητα σε εφελκυσμό. Η εφελκυστική αντίσταση περιορίζεται από τη θραύση του σπειρώματος, ενώ η αλληλεπίδραση μεταξύ διάτμησης και εφελκυσμού θεωρείται ότι γίνεται στον κορμό. Μια εναλλακτική σχέση αλληλεπίδρασης θεωρεί τους επιμέρους όρους υψωμένους στο τετράγωνο και την εφελκυστική αντίσταση του κορμού στον παρονομαστή, βλ. [Owens, Cheal, 1989]. Σύμφωνα με το Σχήμα 2.13, η μεταβολή του λόγου διατμητικής αντίστασης ως προς την εφελκυστική είναι ίση με 0,63-0,68 εάν το επίπεδο διάτμησης τέμνει το σπείρωμα και ίση με 0,75-0,89 εάν το επίπεδο διάτμησης είναι ο κορμός του κοχλίας.

Η σχέση αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιείται στο prEN 1993-1-8: 2002 είναι η εξής:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (2.6)$$



Σχήμα 2.13 Διαγράμματα αλληλεπίδρασης [Owens, Cheal, 1989]
βάσει των απαιτήσεων του prEN1993-1-8 2002

Q&A 2.11 Αντίσταση συνδέσεων κοχλιών υψηλής αντοχής

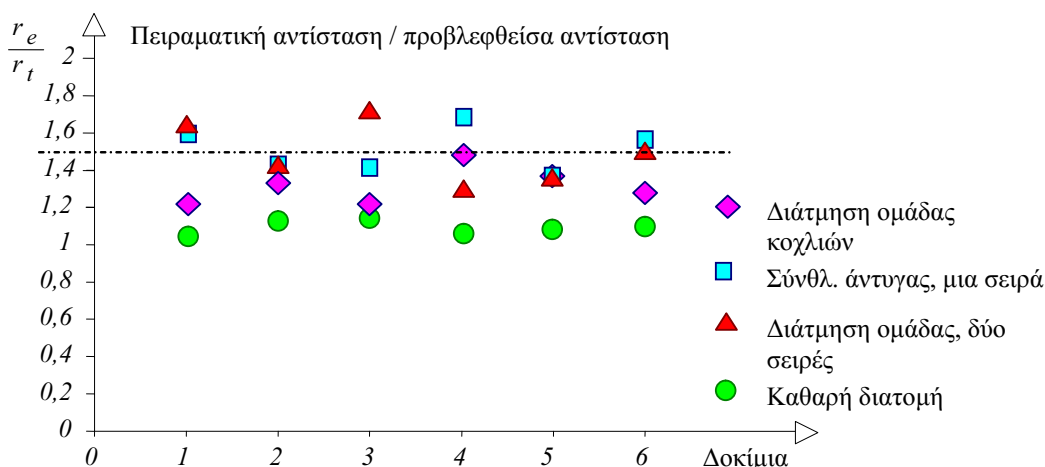
Είναι δυνατόν να γίνει σχεδιασμός σύνδεσης με κοχλίες υψηλής αντοχής με ονομαστική τάση διαρροής 640 MPa χρησιμοποιώντας τις απαιτήσεις του prEN1993-1-8: 2002;

Ο κανονισμός prEN 1993-1-8: 2002 ισχύει για χάλυβες μέχρι ποιότητας S460 και επομένως, η προτεινόμενη μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χάλυβες υψηλότερης ποιότητας. Πειραματικά δεδομένα έχουν δοθεί από τους [Kouhi, Kortesmaa, 1990], όπου τα ελάσματα ήταν ποιότητας ονομαστικής αντοχής διαρροής 640 MPa και οριακής αντοχής 700 MPa. Οι κοχλίες ήταν ποιότητας 10.9. Παρατηρήθηκαν οι ακόλουθοι τρόποι αστοχίας: αντίσταση σε σύνθλιψη άντυνας, διατμητική αστοχία σε ομάδα κοχλιών και αστοχία καθαρής διατομής σε 18, 6 και 6 πειράματα αντίστοιχα.

Όλα τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών συγκρίθηκαν με τα μοντέλα σχεδιασμού του prEN1993-1-8: 2002 και όλα τα αποτελέσματα βρέθηκαν να είναι στην ασφαλή πλευρά, βλ. Σχήμα 2.14.

Σημείωση:

- Οι αναλυτικές σχέσεις για αντίσταση σε σύνθλιψη άντυνας και αντίσταση καθαρής διατομής που χρησιμοποιήθηκαν στην προαναφερόμενη εργασία δίδουν ίδια αποτελέσματα, όπως και ο prEN1993-1-8: 2002.
- Η αναλυτική σχέση για τη διατμητική αστοχία ομάδας κοχλιών του prEN1993-1-8: 2002 αποδεικνύεται συντηρητική σε σχέση με την προαναφερόμενη δημοσίευση.
- Η αντίσταση σε σύνθλιψη άντυνας της συνολικής σύνδεσης που υπολογίζεται με άθροιση των αντιστάσεων όλων των κοχλιών παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.14. Η παραμόρφωση που υπολογίστηκε στα πειράματα σε Ο.Κ.Α. είχε το μέγεθος της διαμέτρου των οπών. Χρησιμοποιώντας την αντίσταση σε σύνθλιψη άντυνας του ασθενέστερου κοχλία, οδηγούμαστε σε ασφαλέστερα αποτελέσματα.
- Εκτελέστηκαν δύο ομάδες πειραμάτων προκειμένου να μελετηθεί η αντίσταση σε σύνθλιψη άντυνας. Η μία ομάδα από 6 δοκίμια είχε μια σειρά κοχλιών και η δεύτερη είχε δύο σειρές κοχλιών, βλ. Σχήμα 2.14.



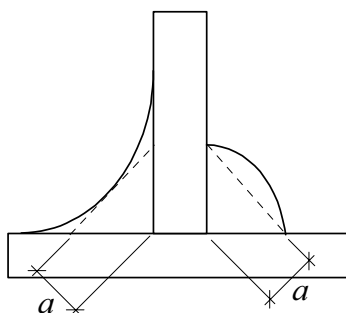
Σχήμα 2.14 Αντίσταση της κοχλιωτής σύνδεσης σε πειράματα [Kouhi, Kortesmaa, 1990].

- Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν ελάσματα πάχους 3 mm , 4 mm , 6 mm και 8 mm . Η μετρηθείσα τάση διαρροής κυμαινόταν από 604 MPa έως 660 MPa για πάχος πλάκας 6 mm και 4 mm αντίστοιχα. Η οριακή αντοχή κυμαινόταν από 711 MPa έως 759 MPa για πάχη ελάσματος 6 mm και 4 mm , αντίστοιχα. Οι μετρηθείσες ιδιότητες αντιστοιχούν στη μέση τιμή από ληφθείσες τιμές 3 δοκιμίων.

3.

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

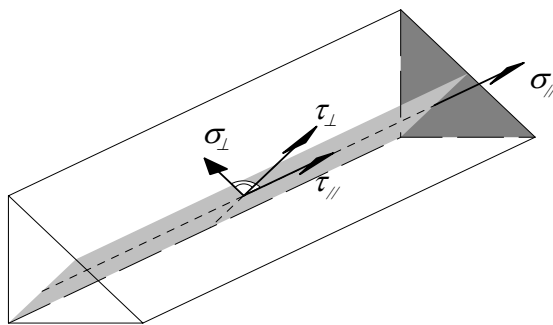
Η πλειοψηφία των συγκολλητών συνδέσεων εκτελείται στο εργοστάσιο. Το βασικό πρόβλημα των συνδέσεων αυτών είναι η πλαστιμότητα του υλικού συγκόλλησης, το οποίο όμως μπορεί να λυθεί με την τήρηση ορισμένων κανόνων. Όσον αφορά στον δομικό χάλυβα, η μέθοδος συγκόλλησης που χρησιμοποιείται είναι αυτή του μεταλλικού τόξου, εκτός από ορισμένες ειδικές περιπτώσεις συγκόλλησης βλήτρων. Κατά την προσέγγιση αυτή, το υλικό συγκόλλησης πρέπει να είναι συμβατό με το μητρικό μέταλλο όσον αφορά στις μηχανικές ιδιότητες. Το πάχος του υλικού πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 mm , ενώ για τα λεπτότοιχα μέλη υπάρχουν ειδικές προδιαγραφές. Οι συγκολλήσεις διακρίνονται σε *εξωραφές*, σε *ραφές με διάκενα*, σε *εσωραφές*, σε *ραφές με οπές ή σχισμές* και σε *ψευδοεσωραφές*. Στον prEN 1993-1-8 παρέχονται προδιαγραφές τόσο για το ενεργό μήκος των εξωραφών, όσο και για την ακτίνα συγκόλλησης a , βλ. Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Ακτίνα συγκόλλησης a

Στα πλαίσια του σχεδιασμού της σύνδεσης, η εσωτερική δύναμη που παραλαμβάνεται από την εξωραφή αναλύεται σε συνιστώσες παράλληλες και εγκάρσιες στο κρίσιμο επίπεδο του λαιμού της συγκόλλησης, βλ. Σχήμα 3.2. Στο κρίσιμο επίπεδο της διατομής του λαιμού της συγκόλλησης γίνεται η παραδοχή ομοιόμορφης κατανομής, που οδηγεί σε ορθές και διατμητικές τάσεις:

- σ_{\perp} η ορθή τάση που είναι κάθετη στο κρίσιμο επίπεδο του λαιμού της συγκόλλησης,
- $\sigma_{//}$ η ορθή τάση που είναι παράλληλη στον άξονα της συγκόλλησης, που μπορεί να αγνοηθεί στον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας της εξωραφής,
- τ_{\perp} η διατμητική τάση (στο κρίσιμο επίπεδο του λαιμού συγκόλλησης) που είναι κάθετη στον άξονα της συγκόλλησης, και
- $\tau_{//}$ η διατμητική τάση (στο κρίσιμο επίπεδο του λαιμού συγκόλλησης) που είναι παράλληλη στον άξονα της συγκόλλησης.



Σχήμα 3.2 Τάσεις στο κρίσιμο επίπεδο της εξωραφής

Η φέρουσα ικανότητα της εξωραφής είναι επαρκής, όταν ικανοποιούνται οι εξής συνθήκες:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp} + \tau_{//})^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}} \quad (3.1)$$

και

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}. \quad (3.2)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης β_w παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 Συντελεστής συσχέτισης β_w

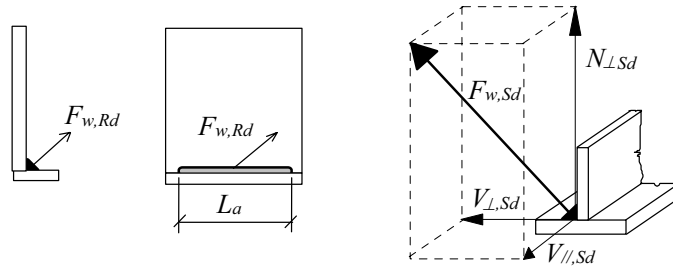
Βαθμός χάλυβα	Τελική αντοχή f_u	Συντελεστής συσχέτισης β_w
Χάλυβας σύμφωνα με EN 10025		
S 235	360 MPa	0,80
S 275	430 MPa	0,85
S 355	510 MPa	0,90
Χάλυβας σύμφωνα με EN 10113		
S 275	390 MPa	0,80
S 355	490 MPa	0,90

Ο prEN 1993-1-8 επιτρέπει με την εφαρμογή απλοποιημένης διαδικασίας τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής της εξωραφής ανά μονάδα μήκους ανεξάρτητα από την κατεύθυνση της εφαρμοζόμενης δύναμης, βλ. Σχήμα 3.3, ως εξής:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{Mw}} \quad (3.3)$$

και της οριακής δύναμης της συγκόλλησης ανά μονάδα μήκους:

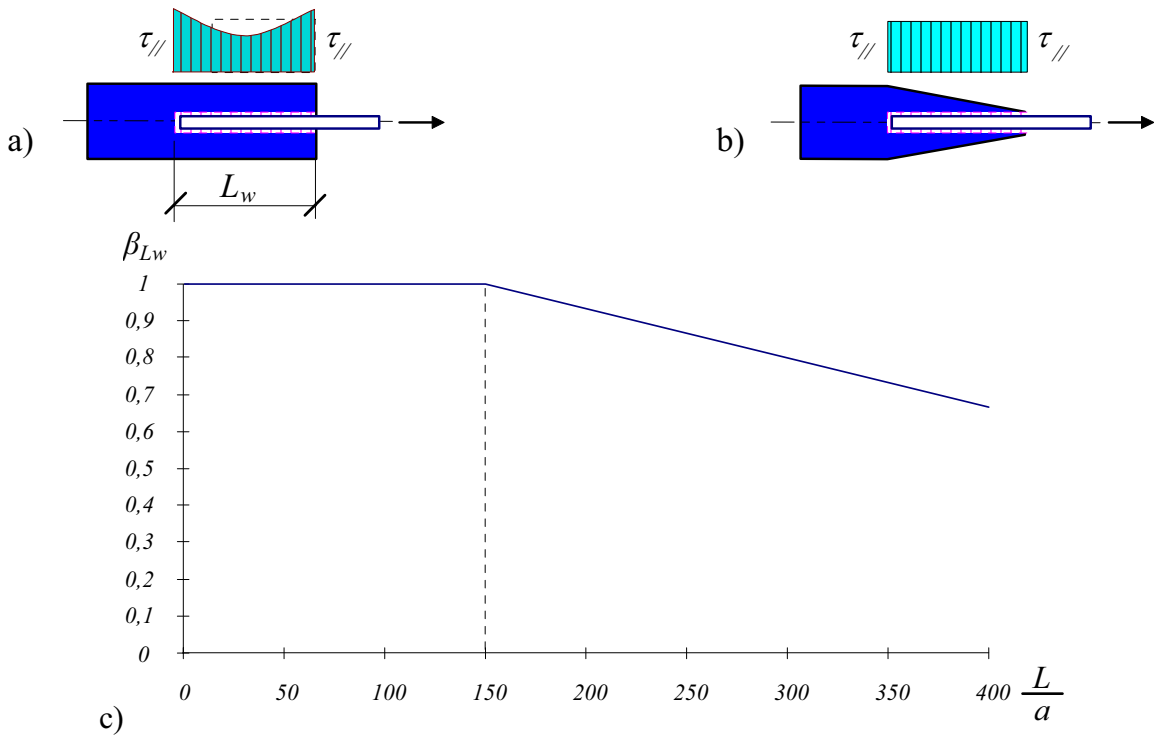
$$F_{w,Rd} = a f_{vw,d} \cdot \quad (3.4)$$



Σχήμα 3.3 Σχεδιασμός εξωραφής ανεξάρτητα από την κατεύθυνση της εφαρμοζόμενης δύναμης

Αναφορικά με τις συγκολλήσεις μεγάλου μήκους, όταν αυτές υπόκεινται σε φόρτιση κατά την διεύθυνση του μήκους του συγκολλούμενου ελάσματος, οι τάσεις στα άκρα της συγκόλλησης είναι μεγαλύτερες από αυτές που αναπτύσσονται στη μέση, βλ. Σχήμα 3.4a. Αυτό είναι αποτέλεσμα των παραμορφώσεων της πλάκας που συγκολλάται. Σε περίπτωση που οι πλάκες είναι κατάλληλα σχεδιασμένες για την παραλαβή των εσωτερικών δυνάμεων, οι τάσεις είναι ομοιόμορφες, βλ. Σχήμα 3.4b. Η υπερφόρτιση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή των άκρων της συγκόλλησης (zip effect). Σε περίπτωση που η συγκόλληση είναι μεγαλύτερη από $150a$, η αντίστασή της πρέπει να μειωθεί μέσω ενός μειωτικού συντελεστή β_{Lw} , βλ. Σχήμα 3.4c:

$$\beta_{Lw} = 1,2 - 0,2 \left(\frac{L}{150a} \right) \quad (3.5)$$



Σχήμα 3.4 Συγκόλληση μεγάλου μήκους, α) ομοιόμορφη κατανομή εσωτερικών τάσεων, β) μη ομοιόμορφη κατανομή εσωτερικών τάσεων, γ) μειωτικός συντελεστή β_{Lw}

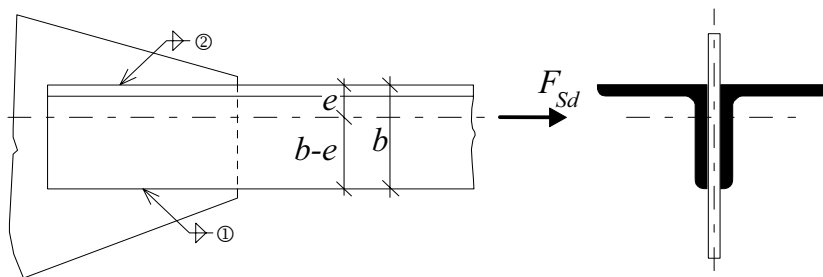
Όσον αφορά στις εσωραφές, η φέρουσα ικανότητα εσωραφών πλήρους διείσδυσης λαμβάνεται ίση με την αντοχή του ασθενέστερου των συνδεόμενων μελών, ενώ η αντίσταση της εσωραφής μερικής διείσδυσης προσδιορίζεται όπως η αντίστοιχη των εξωραφών αυξημένης διείσδυσης. Το βάθος της διείσδυσης καθορίζεται μετά από δοκιμές. Επιπρόσθετα, οι συνδέσεις στις οποίες αναπτύσσονται τάσεις συγκόλλησης κάθετες στο πάχος τους λόγω εμποδιζόμενης παραμόρφωσης πρέπει να αποφεύγονται, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες εμφάνισης πλακοειδούς απόσχισης. Σε περιπτώσεις, όπου τέτοιες συνδέσεις είναι αναπόφευκτες, πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα σχετικά με τη μέθοδο συγκόλλησης, τις ιδιότητες του υλικού και τις λεπτομέρειες της σύνδεσης.

Η κατανομή, τέλος, των εντατικών μεγεθών σε μία συγκολλητή σύνδεση μπορεί να γίνεται είτε πλαστικά, είτε ελαστικά.

Q&A 3.1 Σύνδεση δύο γωνιακών μέσω κομβοελάσματος

Σε μια συγκόλληση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εκκεντρότητα κατά τη σύνδεση δύο γωνιακών σε κομβοέλασμα;

Γενικά, οι δυνάμεις και οι ροπές λόγω εκκεντρότητας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό των τάσεων στη συγκόλληση. Στην περίπτωση των ισοσκελών γωνιακών, η κοινή ευρωπαϊκή πρακτική είναι να παραλείπονται οι εκκεντρότητες κατά τον σχεδιασμό των συγκολλήσεων. Όταν όμως συνδέονται ανισοσκελή γωνιακά σε κομβοέλασμα, η εκκεντρότητα λαμβάνεται υπόψη, τόσο στο σχεδιασμό των μελών, όσο και στο σχεδιασμό της συγκόλλησης. Στο παρακάτω παράδειγμα παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού των δυνάμεων της συγκόλλησης, βλ. Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5 Γωνιακά που συνδέονται μέσω κομβοελάσματος

Η συγκόλληση στην κάτω πλευρά, που σημειώνεται ως συγκόλληση ①, φορτίζεται με μία δύναμη F_I ίση με:

$$F_I = \frac{F_{Sd}}{2} \frac{e}{b}, \quad (3.6)$$

που προκαλεί διατμητική τάση παράλληλη στον άξονα της συγκόλλησης τ_{\parallel} :

$$\tau_{1.//} = \frac{F_1}{a_1 L_1} \quad (3.7)$$

Αυτή είναι και η μοναδική τάση στην εξεταζόμενη συγκόλληση.

Η αντίσταση της συγκόλλησης μπορεί να ελεγχθεί με την εξίσωση 3.3, που μπορεί να απλοποιηθεί στην εξής μορφή:

$$\tau_{1.//} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{Mw}}. \quad (3.8)$$

Όσον αφορά στην άνω πλευρά, η δύναμη F_2 που ενεργεί στην συγκόλληση ② είναι ίση με:

$$F_2 = \frac{F_{sd}}{2} \frac{(b-e)}{b} \quad (3.9)$$

και η διατμητική τάση $\tau_{2.//}$:

$$\tau_{2.//} = \frac{F_2}{a_2 L_2} \quad (3.10)$$

Q&A

3.2 Ενεργό πλάτος συγκολλητής σύνδεσης δοκού-υποστυλώματος

Κατά τον σχεδιασμό της συγκολλητής σύνδεσης δοκού-υποστυλώματος, το ενεργό πλάτος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αντοχής του πέλματος του στύλου σε κάμψη. Είναι πιθανό να σχεδιαστεί μια συγκολλητή σύνδεση ενώνοντας το πέλμα της δοκού με το πέλμα του στύλου, χρησιμοποιώντας το πλάτος b_{eff} , αν το ενεργό πλάτος είναι μικρότερο από το πλάτος του πέλματος της δοκού;

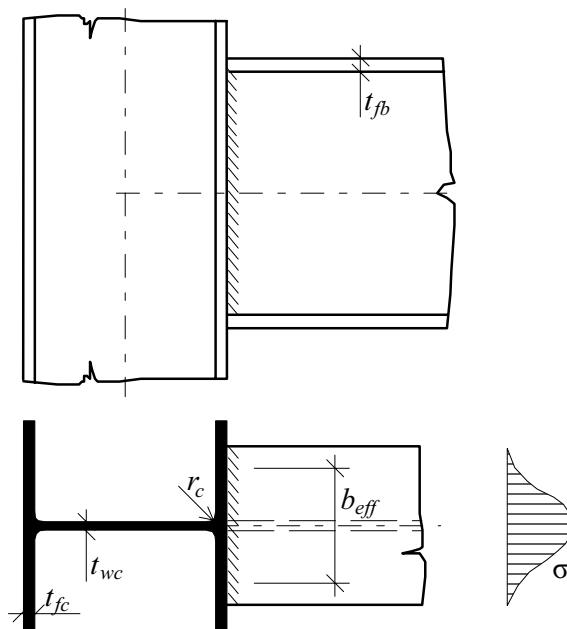
Σύμφωνα με το prEN 1993-1-8, διάταξη 6.2.4.4, όσον αφορά στο μη ενισχυμένο πέλμα υποστυλώματος σε κάμψη, η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού υπολογίζεται ως εξής:

$$F_{t,fc,Rd} = (t_{wc} + 2 s + 7 k t_{fc}) \frac{t_{fb} f_{yb}}{\gamma_{M0}} \quad (3.11)$$

όπου:

$$k = \min \left(\frac{f_{yc} t_{fc}}{f_{yb} t_{fb}}; 1 \right) \quad (3.12)$$

και t_{wc} είναι το πάχος του κορμού του στύλου, t_{fc} είναι το πάχος του πέλματος του υποστυλώματος, t_{fb} είναι το πάχος του πέλματος της δοκού και το s είναι ίσο με την ακτίνα καμπυλότητας r_c για διατομές υποστυλωμάτων θερμής έλασης, βλ. Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 Ενεργό πλάτος πέλματος δοκού συγκολλητής σύνδεσης και κατανομή τάσης στο συνδεόμενο πέλμα

Σύμφωνα με το prEN 1993-1-8, Κεφάλαιο 4.10, το ενεργό πλάτος b_{eff} της εξωραφής που συνδέει το πέλμα δοκού είναι ίσο με:

$$b_{eff} = t_{wc} + 2 s + 7 t_{fc}, \quad (3.13)$$

αλλά περιορίζεται σε:

$$b_{eff} = t_{wc} + 2 s + 7 \left(\frac{t_{fc}^2}{t_{fb}} \right) \left(\frac{f_{yc}}{f_{yb}} \right). \quad (3.14)$$

Αντικαθιστώντας την εξίσωση 3.12 στην έκφραση 3.11 προκύπτει ότι το ενεργό πλάτος για τον υπολογισμό της αντίστασης του πέλματος δοκού σε εφελκυσμό είναι το ίδιο με το ενεργό πλάτος της εξωραφής.

Q&A 3.3 Ακτίνα συγκόλλησης εξωραφής σε συνδέσεις κοιλοδοκών

Οι κανόνες που παρέχονται στο prEN 1993-1-8, Κεφάλαιο 7.3, διασφαλίζουν ότι υπάρχει επαρκής ικανότητα παραμόρφωσης στις συγκολλήσεις, τέτοια ώστε οι συγκολλήσεις να μην αποτελούν το πιο αδύναμο μέρος της σύνδεσης;

Στο prEN 1993-1-8 και ειδικότερα στο Κεφάλαιο 4, παρέχονται οι σχέσεις του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.4 Ελάχιστη ακτίνα συγκόλλησης για εξωραφές σε συνδέσεις κοίλων διατομών

Χάλυβας σύμφωνα με EN 10025		Χάλυβας σύμφωνα με EN 10113
S 235	$\frac{a}{t} \geq 0,84 \alpha$	
S 275	$\frac{a}{t} \geq 0,87 \alpha$	S 275 $\frac{a}{t} \geq 0,91 \alpha$
S 355	$\frac{a}{t} \geq 1,01 \alpha$	S 355 $\frac{a}{t} \geq 1,05 \alpha$

Όταν $\gamma_{Mj} = 1,1$ και $\gamma_{Mw} = 1,25$, τότε $\alpha = 1,0$, αλλιώς $\alpha = \frac{1,1}{\gamma_{Mj}} \frac{\gamma_{Mw}}{1,25}$.

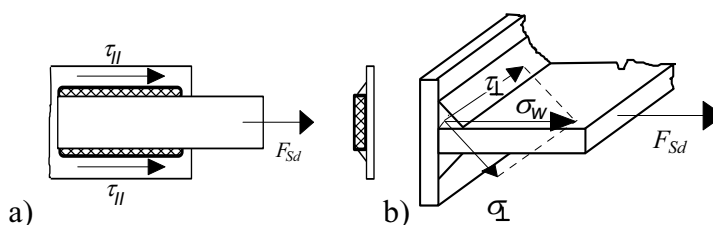
Οι παραπάνω σχέσεις συνδέουν την ακτίνα συγκόλλησης της εξωραφής a με το ελάχιστο πάχος t των συγκολλητών μελών κοιλοδοκών. Όταν ισχύουν οι παραπάνω εξισώσεις, ικανοποιείται το θεμελιώδες κριτήριο της συγκόλλησης μεταξύ κοίλων διατομών. Τότε η αντίσταση σχεδιασμού της συγκόλλησης ανά μονάδα μήκους στην περίμετρο του διαγώνιου μέλους δεν είναι μικρότερη από την αντίσταση σχεδιασμού της διατομής του μέλους αυτού ανά μονάδα μήκους της περιμέτρου. Αυτό το κριτήριο διασφαλίζει ότι υπάρχει επαρκής δυνατότητα παραμόρφωσης στις συγκολλήσεις, γεγονός που επιτρέπει την ανακατανομή των ροπών κάμψης.

Q&A 3.4 Προσομοίωση αντίστασης εξωραφών

Το prEN 1993-1-8 παρέχει δύο μεθόδους για το σχεδιασμό των εξωραφών, την ακριβή μέθοδο και την απλοποιημένη. Ποιές είναι οι διαφορές μεταξύ των δύο αυτών μεθόδων;

Στην περίπτωση που η κατεύθυνση της δύναμης είναι παράλληλη προς τον άξονα της συγκόλλησης, δεν υπάρχει καμία διαφορά, βλ. Σχήμα 3.7, επειδή:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = f_{w.Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{Mw}}.$$



Σχήμα 3.7 Εξωραφή που φορτίζεται α) με δύναμη παράλληλη στον άξονα της συγκόλλησης, β) με δύναμη κάθετη στην συγκόλληση

Όσον αφορά στη συγκόλληση που φορτίζεται κάθετα στο μήκος της, οι διαφορές μεταξύ των δύο προσομοιωμάτων είναι μεγαλύτερες. Οι τάσεις υπολογίζονται ως εξής:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} \quad \text{και} \quad \tau_{//} = 0.$$

Από το επίπεδο προσομοίωμα προκύπτει ότι:

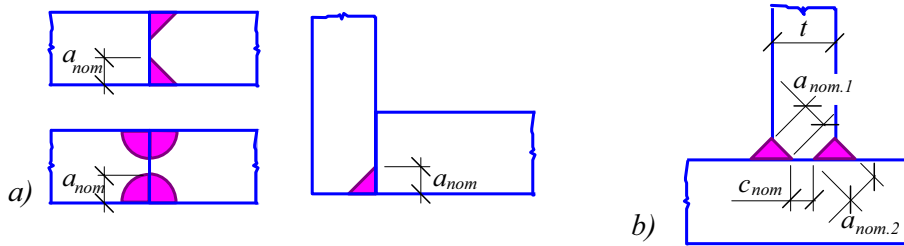
$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_w}{\sqrt{2}}\right)^2 + 3\left(\frac{\sigma_w}{\sqrt{2}}\right)^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}} \quad \text{και} \quad \sigma_w \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw} \sqrt{2}} = f_{w.end.Rd}. \quad (3.15)$$

Η διαφορά είναι ίση με $f_{w.end.Rd} / f_{w.Rd} = \sqrt{3} / \sqrt{2} = 1,22$.

Q&A 3.5 Σχεδιασμός εσωραφών μερικής διείσδυσης

Ποιά μεθοδολογία προτείνεται για τον σχεδιασμό των εσωραφών μερικής διείσδυσης;

Η εσωραφή πλήρους διείσδυσης μπορεί να σχεδιαστεί ως εξωραφή με ένα ενεργό πλάτος μειωμένο κατά 2 mm , ($a = a_{nom} - 2 \text{ mm}$), βλ. Σχήμα 3.8a.



Σχήμα 3.8 Ενεργό πλάτος σε α) εσωραφή μερικής διείσδυσης, b) σύνδεση τύπου T

Οι συνδέσεις τύπου T θεωρούνται πλήρους διείσδυσης όταν:

$$\begin{aligned} a_{nom.1} + a_{nom.2} &\geq t \\ c_{nom} &\leq \frac{t}{5} \\ c_{nom} &\leq 3 \text{ mm}. \end{aligned} \quad (3.16)$$

Στην περίπτωση της μερικής διείσδυσης, βλ. Σχήμα 3.8b, η συγκόλληση σχεδιάζεται όπως μια εξωραφή με ενεργό πλάτος:

$$\begin{aligned} a_{nom.1} + a_{nom.2} &< t \\ a_1 &= a_{nom.1} - 2 \text{ mm} \\ a_2 &= a_{nom.2} - 2 \text{ mm}. \end{aligned} \quad (3.17)$$