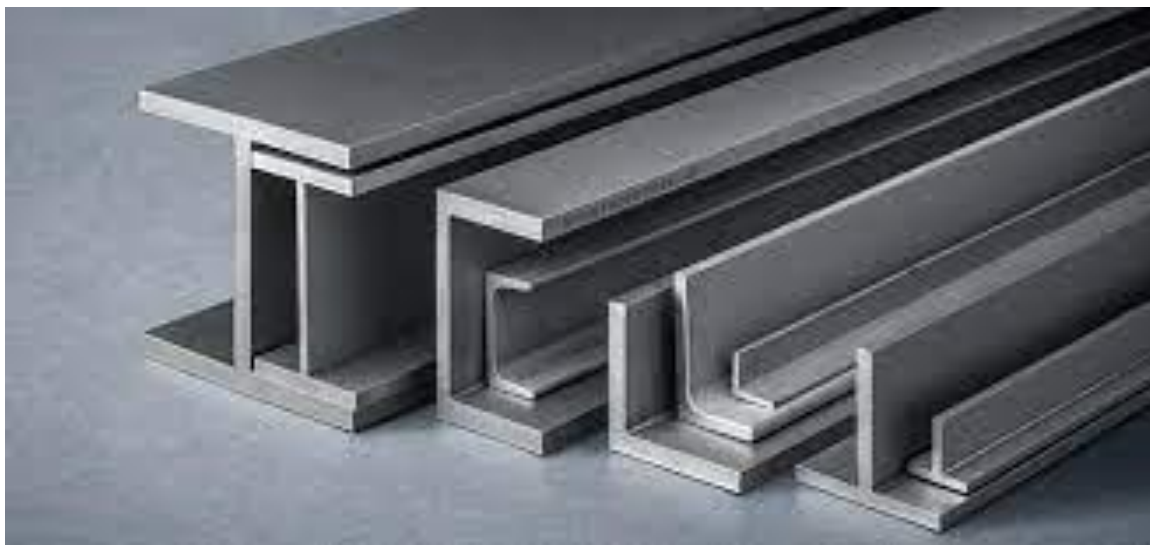




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



**ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΜΕΛΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΝΕΑ ΈΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3**



Διπλωματική Εργασία
Δημήτριος Περιστέρης

EMK ΔΕ 2022 22

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



**ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΜΕΛΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΝΕΑ ΈΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3**



Διπλωματική Εργασία
Δημήτριος Περιστέρης

EMK ΔΕ 2022 22

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

Copyright © Δημήτριος Περιστερης, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Dimitrios Peristeris, 2022
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Δημήτριος Περιστερής 2022

Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2022 22

Θεωρητικό Υπόβαθρο και Παραδείγματα Διαστασιολόγησης Ανοξειδωτων Χαλύβδινων Μελών
και Συνδέσεων με τη Νέα Έκδοση του Ευρωκώδικα 3
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Dimitrios Peristeris 2022

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2022 22

Theory Background and Dimensioning Examples of Stainless Steel Members and Connections
with the New Edition of Eurocode 3
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χάρη Γαντέ για την εμπιστοσύνη του πάνω σε αυτό το θέμα, μιας και είναι αρκετά πρωτότυπο. Επίσης, θέλω να τον ευχαριστήσω για τον άπλετο χρόνο που μου πρόσφερε χωρίς ίχνος πίεσης, προσφέροντας μου το απαραίτητο υλικό, ενώ παράλληλα με προέτρεψε και μου άφησε την ελευθερία να αναζητήσω μόνος μου τις κατάλληλες πηγές ώστε να κατανοήσω πλήρως το θέμα. Ακόμη, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου αλλά και τους φίλους μου οι οποίοι με στήριξαν τόσο στη συγγραφή της διπλωματικής μου εργασίας όσο και σε ολόκληρη την διάρκεια των σπουδών μου δείχνοντας συνεχώς πλήρη κατανόηση.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2022 22

Θεωρητικό Υπόβαθρο και Παραδείγματα Διαστασιολόγησης Ανοξειδωτων Χαλύβδινων Μελών και Συνδέσεων με τη Νέα Έκδοση του Ευρωκώδικα 3

Δημήτριος Περιστερές

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές Καθηγητής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο χάλυβας είναι ένα από τα αρχαιότερα υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος. Η ειδοποιός διαφορά ενός κοινού ή ανθρακούχου χάλυβα και ενός ανοξειδωτού χάλυβα είναι η αυξημένη αντοχή σε διάβρωση, καθώς και η παρουσία χρωμίου. Οι ανοξειδωτοι χάλυβες μπορεί να είναι πέντε ειδών όπως αναλύονται στο εισαγωγικό κεφάλαιο. Υπάρχουν δυο διαδεδομένοι τρόποι κατασκευής διατομών είτε υπό ψυχρή είτε υπό θερμή κατεργασία με την χρήση κατάλληλων μηχανών καμπύλωσης. Όμως, η διαθεσιμότητα διατομών στην ελληνική αγορά περιορίζεται μόνο σε κοίλες τετραγωνικές και ορθογωνικές διατομές.

Κατά την πορεία της διπλωματικής γίνεται λεπτομερής σύγκριση μεταξύ των κανονισμών που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση - Ευρωκώδικες σχετικά με τους ανθρακούχους χάλυβες και των διατάξεων που αφορούν συγκεκριμένα τα κράματα ανοξειδωτων χαλύβων. Η σύγκριση αυτή βοηθάει στην σφαιρικότερη κατανόηση αυτού του ανοξειδωτού χάλυβα, μιας και δεν είναι ακόμη διαδεδομένες οι εφαρμογές του. Όμως, σημαντικό κομμάτι της παρούσας εργασίας είναι η παράθεση και η επεξήγηση των ειδών διάβρωσης που μπορεί να παρουσιαστούν σε ένα δομικό μέλος από ανοξειδωτο χάλυβα. Τα κύρια είδη διαβρώσεων είναι 8 και μπορεί να παρουσιάζονται είτε από φορτία, είτε από την παρουσία συγκεκριμένων ενώσεων στο περιβάλλον της κατασκευής ή ακόμη και από την παρουσία ύδατος.

Στη συνέχεια αναλύεται η μέθοδος σχεδιασμού και ελέγχων των κοχλιώσεων, οι αντοχές των κοχλιών ανάλογα με το είδος ανοξειδωτού χάλυβα, ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να ελεγχθεί μια συγκόλληση και τέλος η συμπεριφορά ενός κόμβου σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση και φαινόμενα κόπωσης σύμφωνα και με πειραματικά δεδομένα.

Τελικός στόχος της εργασίας είναι να παρουσιάσει τη χρησιμότητα του ανοξειδωτού χάλυβα στις κατασκευές καθώς και την ευκολία με την οποία μπορεί να διαστασιολογηθεί ένας φορέας από ανοξειδωτο χάλυβα. Για αυτόν τον σκοπό έγινε αναγωγή αριθμητικών παραδειγμάτων του μαθήματος των Σιδηρών Κατασκευών I και II σε δεδομένα ανοξειδωτων χαλύβων και έπειτα επίλυσή τους. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι διατάξεις και οι έλεγχοι οι οποίοι απαιτούνται είναι παρόμοιοι με αυτούς των κοινών κατασκευαστικών χαλύβων, οι ανοξειδωτοι χάλυβες είναι μια εναλλακτική η οποία θα μπορούσε να ληφθεί υπόψιν στις μελλοντικές κατασκευές.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES



DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2022 22

Theory Background and Dimensioning Examples of Stainless Steel Members and Connections with the New Edition of Eurocode 3

Dimitrios Peristeris

Supervisor: Charis Gantes Professor

ABSTRACT

Steel is one of the oldest materials used by man. The main difference between carbon steels and stainless steels is the high corrosion resistance, as well as the presence of chromium. There are five types of stainless steels as discussed in the first chapter. There are two common ways of manufacturing cross-sections either under cold or under hot working with the use of appropriate bending machines. However, the availability of cross-sections in the Greek market is limited only to hollow square and rectangular cross-sections.

In this thesis, a detailed comparison is made between the provisions established by the European Union - Eurocodes regarding carbon steels and the provisions specifically related to stainless steel alloys. This comparison improves the comprehension of stainless steel, since its applications are not yet widespread. However, an important part of this paper is listing and explaining the types of corrosion that can occur in a stainless steel structural member. There are 8 main types of corrosion and can be induced either by loads, or by the appearance of specific chemical reactions in the environment or even by the presence of water.

Then, the method of design and checks of connections, the strengths of the bolts according to the type of stainless steel, the way in which a welded connection can be checked and finally the behavior of a joint under repeated loading and fatigue according to experimental data are analyzed.

This thesis aims to demonstrate the utility of stainless steel in construction as well as the ease with which a stainless steel structure can be dimensioned. For this purpose, numerical examples from the course called "Steel Structures I" and "Steel Structures II" were adapted to stainless steel data and then solved. We therefore conclude that, taking into account that the provisions and checks required are similar to those of common structural steels, stainless steels are an alternative that could be considered in future constructions.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Δομικός χάλυβας.....	1
1.2	Ανοξειδωτος χάλυβας.....	1
2	ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	5
2.1	Εισαγωγή	5
2.2	Μέθοδοι Κατασκευής Διατομών	5
2.2.1	Press-Braking.....	5
2.2.2	Roll-Forming	6
2.3	Γεωμετρία Διατομών και Διαθέσιμες Διατομές στην Ελληνική Αγορά	7
3	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ EN1993-1-1 ΚΑΙ EN1993-1-4.....	11
3.1	Αντοχές υλικών και κατηγοριοποίηση	12
3.2	Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών.....	17
3.2.1	Συνδεδετικά μέρη	17
3.2.2	Ανθεκτικότητα	18
3.3	Δομική ανάλυση και ατέλειες	18
3.3.1	Γενικά.....	18
3.3.2	Μέθοδοι ανάλυσης για μη γραμμικό υλικό	23
3.4	Σχεδιασμός και κατηγοριοποίηση διατομής	28
3.4.1	Κατηγοριοποίηση διατομής	28
3.4.2	Οριακή κατάσταση αστοχίας	36
3.4.3	Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας	49
4	ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ	53
4.1	Διάβρωση.....	53
4.1.1	Ομοιόμορφη Διάβρωση.....	53
4.1.2	Διάβρωση λόγω Στίλβωσης	54
4.1.3	Διάβρωση λόγω Ρηγμάτωσης	54
4.1.4	Διάβρωση διάτρησης	55
4.1.5	Διάβρωση λόγω ροής υγρού	56
4.1.6	Διάβρωση ανάμεσα στους Κόκκους.....	56
4.1.7	Διάβρωση λόγω Καταπόνησης.....	57
4.1.8	Γαλβανική Διάβρωση	58
4.2	Σχεδιασμός σε διαβρωτικό περιβάλλον	59
5	ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΠΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ.....	63
5.3	Συνδέσεις.....	63
5.3.1	Κοχλιωτές.....	63

5.3.2 Συγκολλητές	68
5.4 Κόπωση	68
6 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ.....	75
6.1 Εφελκυσμένο μέλος	75
6.1.1 Φορτία και Συνδυασμοί Φορτίσεων	76
6.1.2 Εφελκυστική δύναμη ελκυστήρα	76
6.1.3 Εύρεση κατάλληλης διατομής.....	77
6.1.4 Κοχλιώσεις.....	77
6.2 Θλιβόμενο μέλος	80
6.2.1 Στατική λειτουργία	81
6.2.2 Κατηγορία διατομής.....	81
6.2.3 Υπολογισμός Δυσκαμφιών.....	81
6.2.4 Υπολογισμός λυγηρότητας εντός του επιπέδου του πλαισίου ΑΒΓΔ	83
6.2.5 Υπολογισμός λυγηρότητας εκτός του επιπέδου του πλαισίου ΑΒΓΔ	84
6.2.6 Μειωτικός Συντελεστής χ	85
6.2.7 Αντοχή θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό	85
6.2.8 Μέγιστο φορτίο σχεδιασμού.....	85
6.3 Μέλος υπό κάμψη	85
6.3.1 Συνδυασμοί Φορτίσεων	87
6.3.2 Επιλογή διατομής τεγίδας.....	88
6.3.3 Έλεγχος απομείωσης ροπής αντοχής.....	89
6.3.4 Έλεγχος σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας	89
6.3.5 Υπολογισμός Βελών	90
6.4 Έλεγχος σύνδεσης κοντού προβόλου	91
6.4.1 Δυσμενέστερη θέση του φορτίου	92
6.4.2 Έλεγχος της κοχλίωσης.....	92
6.5 Έλεγχος επάρκειας κοχλίωσης.....	94
6.5.1 Φορτία	95
6.5.2 Συνδυασμοί φορτίσεων	95
6.5.3 Διαμόρφωση σύνδεσης με απλούς κοχλίες τύπου D	96
6.5.4 Διαστασιολόγηση κοχλίωσης με κοχλίες ανθεκτικούς σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας (ΤΥΠΟΥ Ε)	98
6.6 Έλεγχος συγκόλλησης.....	99
6.6.1 Εντατικά μεγέθη.....	99
6.6.2 Ροπές αδράνειας της συγκόλλησης	100
6.6.3 Έλεγχος συγκολλήσεων	100
7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Δομικός χάλυβας

Ο χάλυβας είναι ένα κράμα, ή αλλιώς χημικό μείγμα, σιδήρου με άνθρακα σε ποσοστό έως 2.11% κατά μάζα. Είναι από τα πιο διαδεδομένα βιομηχανικά υλικά και η ιστορία του χρονολογείται ήδη από την 2^η χιλιετία π.Χ. Ο χάλυβας χρησιμοποιείται ήδη ως δομικό στοιχείο, για τους οπλισμούς κτιρίων με βασικό υλικό το σκυρόδεμα, ενώ τις τελευταίες δεκαετίες ευρύτατη είναι η χρήση του ως βασικό δομικό υλικό για την κατασκευή φερόντων οργανισμών που θα αποτελούνται μόνο (ή κυρίως) από χάλυβα. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η τελειοποίηση βιομηχανικών μεθόδων παραγωγής προϊόντων και διατομών από χάλυβα, είναι τα αίτια εξέλιξης του συγκεκριμένου είδους κατασκευών. Χαρακτηριστικό πλεονέκτημα των κατασκευών από δομικό χάλυβα σε σχέση με τις συμβατικές από οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι η ταχύτητα δόμησης, η οποία είναι συγκριτικά μικρότερη, αν αναλογιστούμε πως ο χάλυβας δεν απαιτεί χρόνο για την σκλήρυνσή του και την ανάπτυξη των αντοχών του, όπως το σκυρόδεμα.

Όμως, η συνεχής αύξηση στη χρήση του δομικού χάλυβα σε όλο και περισσότερα είδη κατασκευών, δημιουργεί προβλήματα, μιας και παρουσιάζονται μειονεκτήματα που δεν είχαν αρχικά συνεκτιμηθεί. Ένα από αυτά είναι η διάβρωση του, κυρίως λόγω του ατμοσφαιρικού αέρα και του περιβάλλοντος νερού, με τη μορφή βροχής, υδρατμών ή θαλασσινού. Οι καταστάσεις αυτές, δημιουργούν την ανάγκη για βελτίωση του υλικού που θα έρθει μέσω των κατάλληλων προσμίξεων. Μια από αυτές τις βελτιώσεις είναι και η εφεύρεση του ανοξειδωτού χάλυβα.

1.2 Ανοξειδωτος χάλυβας

Ο ανοξειδωτος χάλυβας είναι το όνομα που δίνεται σε μια οικογένεια ανθεκτικών στη διάβρωση χαλύβων που περιέχουν τουλάχιστον 10,5% χρώμιο. Η χρήση ανοξειδωτού χάλυβα έχει γίνει ευρέως διαδεδομένη τα τελευταία χρόνια σε πολλούς τομείς της μηχανικής. Ο ανοξειδωτος χάλυβας είναι ένα κράμα σιδήρου, άνθρακα και χρωμίου. Η ύπαρξη χρωμίου είναι αυτή που τον διαφοροποιεί από τον κοινό δομικό χάλυβα που χρησιμοποιείται ευρέως στις κατασκευές. Ορισμένα κράματα ανοξειδωτού χάλυβα μπορεί να περιέχουν νικέλιο, τιτάνιο, μαγγάνιο κ.α. προσμίξεις οι οποίες προσδίδουν διαφορετικές ιδιότητες στο υλικό. Κύριο χαρακτηριστικό του και διαφοροποίηση του από τον χάλυβα που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα, είναι η καλύτερη συμπεριφορά του σε διαβρωτικά περιβάλλοντα.

Ο πρώτος ανοξειδωτος χάλυβας παράχθηκε τον προηγούμενο αιώνα, εν αντιθέσει με τους υπόλοιπους χάλυβες. Ο Harry Brearley εφηύρε τον πρώτο ανοξειδωτο χάλυβα το 1913, αναμειγνύοντας 12.8% χρωμίου σε σίδηρο, και παρήγαγε ένα μέταλλο ανθεκτικό σε διάβρωση. Το βασικό κίνητρό του ήταν η αντιμετώπιση της διάβρωσης και της σκωρίας σε όπλα του Βρετανικού στρατού. Οι βελτιώσεις του υλικού συνεχίστηκαν μέσα στον 20^ο αιώνα. Οι πρώτες εφαρμογές ανοξειδωτού χάλυβα ήταν για ιατρικά εργαλεία και δεξαμενές. Το 1925, ανοξειδωτος χάλυβας χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή δεξαμενών όπου θα αποθήκευαν νιτρικό οξύ, και έτσι διαπιστώθηκε η σπουδαία ιδιότητα αυτού του μετάλλου, δηλαδή, η ικανοποιητική φέρουσα ικανότητά του ακόμα και σε διαβρωτικά περιβάλλοντα. Η σημερινή χρήση του είναι ευρεία, στον κατασκευαστικό, οικιακό αλλά και ιατρικό τομέα, μιας και είναι ένα υλικό που ανακυκλώνεται πλήρως αλλά και έχει μεγάλο κύκλο ζωής, λόγω της αντοχής σε διάβρωση. Έτσι, μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και υπάρχει εξέλιξη στον τομέα της βιωσιμότητας ενός έργου. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από ανοξειδωτους χάλυβες, με διαφορετικές ιδιότητες όσον αφορά τα επίπεδα αντίστασης στη διάβρωση και τις αντοχές. Ανάλογα με τις προσμίξεις του κάθε

κράματος και τη μεταλλουργική τους δομή ο ανοξειδωτος χάλυβας μπορεί να ανήκει σε μια από τις παρακάτω κατηγορίες:

1. **Ωστενιτικοί:** Είναι το πιο κοινό είδος ανοξειδωτου χάλυβα και το πιο μεγάλο σε αριθμό κλάσεων. Έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε Νικέλιο (8-11%). Έχει καλή πλαστιμότητα, ενώ συγκολλάται, χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα, με τις συμβατικές μεθόδους συγκόλλησης. Σημαντική είναι η διατήρηση της αντοχής τους σε χαμηλές θερμοκρασίες, γεγονός που μεγαλώνει το εύρος δυνατοτήτων χρήσης του συγκεκριμένου είδους. Επιπλέον δεν είναι μαγνητικοί. Όσον αφορά το κόστος, η παρουσία του Νικελίου κάνει το είδος αυτό αντιοικονομικό. Βασικός Ωστενιτικός χάλυβας είναι το κράμα που περιέχει Χρώμιο σε ποσοστό 18% και Νικέλιο σε ποσοστό 8% και ονομάζεται Ανοξειδωτος Χάλυβας 18/8.
2. **Φερριτικοί:** Έχουν πολύ μικρή περιεκτικότητα σε Νικέλιο, με τον Φερρίτη να υπερέχει. Η ύπαρξη του Φερρίτη κάνει αυτό το κράμα μαγνητικό. Επίσης, παρατηρείται μικρότερη παραμόρφωση τόσο σε υψηλές θερμοκρασίες όσο και σε μεγάλη καταπόνηση, ενώ το όριο διαρροής τους είναι υψηλότερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την όχι τόσο καλή πλαστιμότητα τους. Η συγκόλληση τους δεν είναι τόσο εύκολη όσο στους ωστενιτικούς, ωστόσο είναι δυνατή η βελτίωση της με προσθήκη Νιοβίου ή Τιτανίου, και παρουσιάζουν επαρκή συμπεριφορά σε διάβρωση από ρωγμές καταπόνησης (stress corrosion cracking). Σαφώς οικονομικότερο είδος σε σχέση με τους Ωστενιτικούς χάλυβες μιας και δεν χρησιμοποιείται Νικέλιο.
3. **Μαρτενσιτικοί:** Σχηματίζονται με την κατάλληλη χημική κατεργασία από τους Φερριτικούς, μέσω της βαφής, και είναι πιο μαλακοί σε σχέση με τους Ωστενιτικούς. Έχουν υψηλότερες αντοχές από τους Φερριτικούς και είναι μαγνητικοί. Ορισμένες κλάσεις έχουν επιπλέον Άζωτο, για περαιτέρω βελτίωση της αντοχής. Χαρακτηριστικό τους πως δεν χρησιμοποιούνται για συγκολλήσεις, αλλά η χρήση μικρής ποσότητας Νικελίου και η αφαίρεση Άνθρακα μπορούν να ξεπεράσουν αυτό το εμπόδιο επαρκώς.
4. **Διπλοί:** Μικτή μικροδομή, με κόκκους Ωστενιτικών και Φερριτικών Χαλύβων σε περίπου ίσα ποσοστά έπειτα από θερμική κατεργασία. Η ιδιαιτερότητα αυτή, συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των προαναφερθέντων με το όριο διαρροής να είναι διπλάσιο σε σχέση με τους Ωστενιτικούς και καλύτερη συμπεριφορά σε διάβρωση σε περιβάλλοντα με έντονη της παρουσία ύδατος και σε διάβρωση λόγω καταπόνησης. Το Χρώμιο βρίσκεται σε ποσοστά (20.1%-25.4%), ενώ η ποσότητα του Νικελίου κατά μάζα είναι πολύ μικρότερη (1.4%-7%), γεγονός που το κάνει σχετικά οικονομικό είδος. Μολυβδένιο και Άζωτο προστίθενται σε μικρά ποσοστά για την βελτίωση της μικροδομής και τη διατήρηση της ισορροπίας της. Η συγκόλληση αυτού τους δεν είναι τόσο απλή όσο στους Ωστενιτικούς, όμως είναι ευκολότερη από τους Φερριτικούς.
5. **Σκληρυμένοι:** Προσφέρουν τις μεγαλύτερες δυνατές αντοχές, με την κατάλληλη θερμική διεργασία, όμως δεν ενδείκνυνται για χρήση σε συγκόλληση μελών.

Τα χημικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του κάθε κράματος, είναι αυτά που προσδίδουν τις διαφορετικές ιδιότητες σε κάθε ποιότητα ανοξειδωτου χάλυβα. Πέραν όμως αυτών, ο τρόπος κατεργασίας κάθε κλάσης και οι κακοτεχνίες καθορίζουν τα τελικά χαρακτηριστικά των κατηγοριών ανοξειδωτου χάλυβα. Η επιλογή της κατηγορίας ανοξειδωτου χάλυβα που θα χρησιμοποιηθεί είναι σχετική με το περιβάλλον εφαρμογής έτσι ώστε να αποφεύγεται η αναίτια χρήση υψηλού κράματος αλλά και να μην υπάρξει αύξηση του κόστους. Βασική προϋπόθεση ώστε ένας χάλυβας να θεωρείται ανοξειδωτος, είναι η ελάχιστη περιεκτικότητα του κράματος σε Χρώμιο (Cr) που ανέρχεται σε 10.5% κατά μάζα. Το ποσοστό αυτό είναι που προσδίδει στο υλικό την επιπλέον αντοχή του έναντι διαβρώσεως, ειδοποιός διαφορά σε σχέση με τους κοινούς ανθρακούχους χάλυβες. Περιεκτικότητα Χρωμίου στο κράμα μεγαλύτερη από 17%, κάνει τον χάλυβα πρακτικά άτρωτο σε όλα τα περιβάλλοντα διάβρωσης.

Η αντοχή σε διάβρωση προσδίδεται από την παθητικοποίηση του υλικού με ένα επιφανειακό στρώμα τριοξειδίου του Χρωμίου (Cr_2O_3). Το στρώμα αυτό έχει υψηλή αντοχή σε χημική προσβολή, συνήθως αυτό-επισκευάζεται, εάν όμως αρχίσει να καταστρέφεται, απαιτείται έγκαιρη παρέμβαση ώστε να μην παρουσιαστεί τελικά το φαινόμενο της διάβρωσης.

Γενικά, τα χημικά συστατικά που απαρτίζουν ένα κράμα χάλυβα μπορούν να χωριστούν με βάση την επίδρασή τους, ως σταθεροποιητές Φερρίτη ή ως σταθεροποιητές Ωστενίτη. Αυτό, ουσιαστικά, σημαίνει πως προάγουν τη δημιουργία Φερρίτη ή Ωστενίτη στη μικροδομή του υλικού. Τα επιπλέον χρωστικά στους ανοξειδωτους χάλυβες είναι:

- Το Νικέλιο (Ni) είναι αυτό που δημιουργεί την Ωστενιτική μικροδομή, ενώ κατά τα άλλα βελτιώνει την πλαστιμότητα και την ανθεκτικότητα του υλικού. Βελτιώνει, ακόμα, τη συμπεριφορά των Μαρτενσιτικών Χάλυβων στις συγκολλήσεις, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.
- Το Μολυβδένιο (Mo), αυξάνει αισθητά την αντοχή τόσο σε ομοιόμορφη διάβρωση όσο και σε τοπικά φαινόμενα. Η ύπαρξη του συγκεκριμένου χημικού στοιχείου αυξάνει τις αντοχές που θα παρουσιάσει το υλικό σε αυξημένες θερμοκρασίες.
- Ο Χαλκός (Co) βοηθάει στην αντιδιαβρωτική συμπεριφορά σε ορισμένα όξινα περιβάλλοντα καθώς και αποτελεί βελτιωτική πρόσμιξη για τους Ωστενιτικούς χάλυβες. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διευκολύνει την μορφοποίηση (προφανώς διατομών?).
- Το Μαγγάνιο (Mn) βελτιώνει την ολκιμότητα εν θερμώ, δηλαδή τη συμπεριφορά ενός δοκιμίου και τη μεταβολή της επιφάνειας του κατά το πείραμα εφελκυσμού σε αυξημένες θερμοκρασίες έως τη θραύση του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το Άζωτο σε Διπλούς και Ωστενιτικούς Χάλυβες αλλά και μπορεί να αντικαταστήσει ένα ποσοστό του Νικελίου στην Ωστενιτική μικροδομή.
- Το Πυρίτιο (Si) αυξάνει την αντοχή και την αντίσταση του υλικού σε οξειδωση.
- Ο Άνθρακας (C) ανεβάζει αισθητά την αντοχή του υλικού, και οι πλέον μειωμένες περιεκτικότητες του απομακρύνουν το ενδεχόμενο διάβρωσης ανάμεσα στους κόκκους. Είναι γνωστό πως ο Άνθρακας ενισχύει την Ωστενιτική μικροδομή του Χάλυβα, ενώ η ύπαρξή του σε Φερριτικούς και Μαρτενσιτικούς μπορεί να μειώσει τη σκληρότητα και τις αντοχές σε διάβρωση.
- Το Άζωτο (N) επίσης είναι ένας παράγοντας μόρφωσης Ωστενιτικής μικροδομής που σε συνδυασμό με το Μολυβδένιο μπορούν να αυξήσουν την αντοχή του χάλυβα και να περιορίσουν αισθητά τα φαινόμενα τοπικής διάβρωσης μέλους. Στους Μαρτενσιτικούς χάλυβες υπάρχει παρόμοια βελτίωση με μείωση της στιβαρότητας. Στον αντίποδα, το Άζωτο ή ο συνδυασμός του με το Μολυβδένιο, δεν επιδρούν θετικά στους χάλυβες με Φερριτικά χαρακτηριστικά, μιας και μειώνεται η στιβαρότητα αλλά και η αντοχή σε διάβρωση του υλικού.
- Το Τιτάνιο (Ti) ενισχύει τις μηχανικές ιδιότητες των Ωστενιτικών χάλυβων σε υψηλές θερμοκρασίες και η παρουσία του επίσης αποτρέπει την παρουσία διάβρωσης ανάμεσα στους κόκκους. Για τους Φερριτικούς χάλυβες, πέραν από την βελτίωση έναντι διάβρωσης, η μορφοποίηση των διατομών γίνεται με μεγαλύτερη ευχέρεια, καθώς και η τελική σκληρότητα του υλικού αποδεικνύεται μεγαλύτερη.

- Με τον ίδιο τρόπο και το Νιόβιο (Nb) ενθαρρύνει την δημιουργία Φερριτικής δομής στο υλικό, αλλά και δρα θετικά στους Ωστενιτικούς όπως ακριβώς και το Τιτάνιο. Στους Μαρτενσιτικούς αυξάνει τη σκληρότητα καθώς και την αντοχή έπειτα από θέρμανση του υλικού.
- Το Αλουμίνιο (Al) αποτρέπει την οξειδωση ένα προστεθεί σε ικανοποιητική ποσότητα καθώς και δημιουργεί τους διαμεταλλικούς δεσμούς που αυξάνουν την αντοχή σε χάλυβες που έχουν δημιουργηθεί με τη μέθοδο σκλήρυνσης καθίζησης.
- Το Κοβάλτιο (Co) ενισχύει και αυτό τους Μαρτενσιτικούς χάλυβες.
- Το Βανάδιο (V) χρησιμοποιείται μόνο σε σκληρυμένους ανοξειδωτους χάλυβες.
- Τέλος, το Θείο (S) συνήθως προστίθεται ώστε να διευκολύνει την μηχανική κατεργασία του υλικού και μικρές ποσότητες του μπορούν να βελτιώσουν την συγκολλησιμότητα.

Η διαφοροποίηση της χημικής σύνθεσης και η θερμική επεξεργασία που μπορεί να υφίσταται το κάθε κράμα, δίνει μια μεγάλη ποικιλία ποιοτήτων ανοξειδωτου χάλυβα, με διαφορετικές αντοχές και όρια διαρροής, καθώς και διαφορετική συμπεριφορά σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες.

2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

2.1 Εισαγωγή

Ο ανοξείδωτος χάλυβας διαφέρει αρκετά ως προς τον κοινό χάλυβα που χρησιμοποιείται στην κατασκευή, τουλάχιστον όσον αφορά την μηχανική του συμπεριφορά. Πέραν από τη διαφορά των διαγραμμάτων τάσεων-παραμορφώσεων για τα δύο υλικά, μπορούμε να παρατηρήσουμε πως γενικά οι ανοξείδωτοι χάλυβες έχουν μεγαλύτερη ολκιμότητα από τους ανθρακούχους. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί με βεβαιότητα, καθώς, φαίνεται πως κατά την αστοχία και θραύση του υλικού, η επιμήκυνση τους δείγματος ανοξείδωτου χάλυβα είναι μεγαλύτερη κατά ένα ποσοστό 40-60% σε σχέση με τον ανθρακούχο χάλυβα.

Ως προϊόντα ανοξείδωτου χάλυβα μπορούμε να ξεχωρίσουμε τις πλάκες και τα φύλλα, τις ράβδους, τις κοίλες διατομές αλλά και δομικά στοιχεία ψυχρής και θερμής έλασης. Πιο συγκεκριμένα, τα δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στην δόμηση από ανοξείδωτο χάλυβα, είναι συνήθως ψυχρής έλασης μιας και είναι πιο γρήγορη και εύκολη η εύρεση και η δημιουργία τους, απαιτείται μικρότερη επένδυση για μικρές κατασκευές, ενώ παρουσιάζουν μεγάλη αποδοτικότητα, τόσο από την άποψη του υλικού όσο και ως δομικά στοιχεία. Πιο σπάνια θα συναντήσουμε διατομές ψυχρής έλασης ή συγκολλητές διατομές παρόλο που ο Ευρωκώδικας προβλέπει τον σχεδιασμό μιας κατασκευής και με τέτοιου είδους διατομές.

Οι διατομές ψυχρής έλασης μπορούν να σχηματιστούν με δύο γνωστούς βιομηχανικούς τρόπους από ευθεία φύλλα ανοξείδωτου χάλυβα: με το press-braking (στα ελληνικά στράντζα) ή με roll-forming (στα ελληνικά μορφοποίηση κυλίνδρου), με το πρώτο να περιορίζεται σε πιο απλά σχήματα διατομών και σε χαμηλή παραγωγή, συνήθως στη δημιουργία πρωτοτύπων, ενώ η δεύτερη διαδικασία χρησιμοποιείται για μεγαλύτερες ποσότητες παραγωγής. Περισσότερες λεπτομέρειες για την κάθε διαδικασία δίνονται στην επόμενη παράγραφο. Μέσω της διαμόρφωσης των διατομών, η αντοχή του υλικού υπό την ψυχρή έλαση μπορεί να αυξηθεί αισθητά. Οι αυξήσεις της αντοχής μπορεί να ξεκινούν, ακόμη, από την παραγωγή του φύλλου ανοξείδωτου χάλυβα, πριν δηλαδή από την διαμόρφωση της διατομής, ή και κατά την διαμόρφωση του τελικού σχήματος της διατομής. Οι προσαυξημένες αντοχές του υλικού από τον τρόπο κατεργασίας του, σε κατάσταση πριν την τελική διαμόρφωση του σχήματος της διατομής, συνήθως λαμβάνονται υπόψιν κατά τον σχεδιασμό. Κάτι τέτοιο όμως, δεν ισχύει για τις αυξημένες αντοχές που παρουσιάζονται όταν η διατομή έχει πάρει το τελικό της σχήμα, διότι δεν υπάρχουν εργαλεία και ορισμένη μέθοδος η οποία θα υπολογίζει την κατανομή αυτών των βελτιώσεων έπειτα από συγκεκριμένες διαδικασίες που ακολουθούνται.

2.2 Μέθοδοι Κατασκευής Διατομών

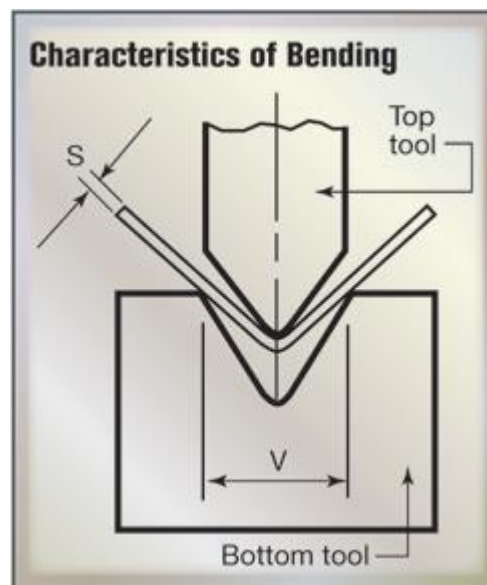
2.2.1 Press-Braking

Το Press braking, ή μέθοδος στράντζα, είναι μια διαδικασία διαμόρφωσης του μετάλλου που ευθυγραμμίζει ένα μεταλλικό φύλλο κατά μήκος ενός άξονα. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μια μηχανική πρέσα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2-1, όπου το φύλλο τοποθετείται εντός δυο εξαρτημάτων, αυτού που χρησιμοποιείται για την διάτρηση «runch» και τη μήτρα «die» που δημιουργεί το τελικό σχήμα της διατομής.

Μέσα από την διαδικασία του στραντζαρίσματος, μπορεί να παραχθεί πληθώρα σχημάτων όπως φύλλα επικάλυψης με ορθογωνικό σχήμα, με σχήμα V στο αυλάκι, ανοιχτές διατομές και άλλες. Η διαδικασία αυτή εξασφαλίζει αρκετή ακρίβεια στην κάμψη των μεταλλικών μερών της διατομής.

Κάποια είδη στραντζαρίσματος που είναι γνωστά:

- Μηχανικό στραντζάρισμα
- Πεπιεσμένο στραντζάρισμα: Χρησιμοποιεί την πίεση του αέρα ώστε να μετακινήσει ένα έμβολο.
- Υδραυλικό στραντζάρισμα: Χρησιμοποιεί υδραυλικό λάδι και αντλία για ως πηγή ενέργειας.
- Σερβοηλεκτρικό στραντζάρισμα: Χρησιμοποιεί σερβοκινητήρα ώστε το έμβολο να κινηθεί στην κατακόρυφη διεύθυνση.



Εικόνα 2-1: Μηχανική πρέσα

2.2.2 Roll-Forming

Η κυλινδρική μορφοποίηση «Roll forming» είναι μια από τους πιο διαδεδομένες μεθόδους μορφοποίησης και σχηματισμού μετάλλων στον κόσμο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την διαμόρφωση ενός μεταλλικού φύλλου, μέσα από ευθείες, παράλληλες γραμμές κάμψης με πολλαπλούς κυλίνδρους που εξασφαλίζουν πως το πάχος του φύλλου θα παραμείνει σταθερό σε θερμοκρασία δωματίου. Η κυλινδρική μορφοποίηση είναι μια μορφή κάμψης μετάλλου που περιλαμβάνει την συνεχή έλαση του μεταλλικού φύλλου σε μακριές λωρίδες ώστε να δημιουργηθεί η επιθυμητή διατομή. Το φύλλο αυτό διαπερνά έναν αριθμό κυλίνδρων οι οποίοι συνήθως είναι σταθεροί και αναρτημένοι από δύο σημεία.

Κάθε ζεύγος κυλίνδρων εκτελεί ένα μέρος τους διαδικασίας κάμψης-έλασης του μεταλλικού φύλλου έως ότου επιτευχθεί η γεωμετρία που απαιτείται. Η διαδικασία αυτή της έλασης είναι σχετικά εύκολη και μέσω τους μπορούν να δημιουργηθούν ακόμη και περίπλοκες γεωμετρίες με συχνά μικρότερο κόστος από την μέθοδο του στραντζαρίσματος.

Κάποιοι τύπου κυλινδρικής μορφοποίησης είναι:

Με μηχανές απλής λειτουργίας: Οι κύλινδροι βρίσκονται σε συγκεκριμένη σταθερή θέση και είναι δυνατή η παραγωγή μόνο μιας διατομής.

Με τυποποιημένες μηχανές έλασης: Οι στηρίξεις των κυλίνδρων είναι εξωτερικές και εύκολα προσβάσιμες από τους χειριστές. Η άτρακτος μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα.

Παράλληλες μηχανές: Υποστηρίζουν πολλά προφίλ διατομών με διάφορα εργαλεία.

Μηχανές δύο κεφαλών: Περιλαμβάνουν δύο διαφορετικά ζεύγη κυλίνδρων και περίβλημα.

Μηχανές αλληλεπολίσθησης: Διαθέτουν περιβλήματα διατομών και ατράκτους με κοινούς κύλινδρους τοποθετημένους επάνω τους.



Εικόνα 2-2: Μηχανή απλής λειτουργίας



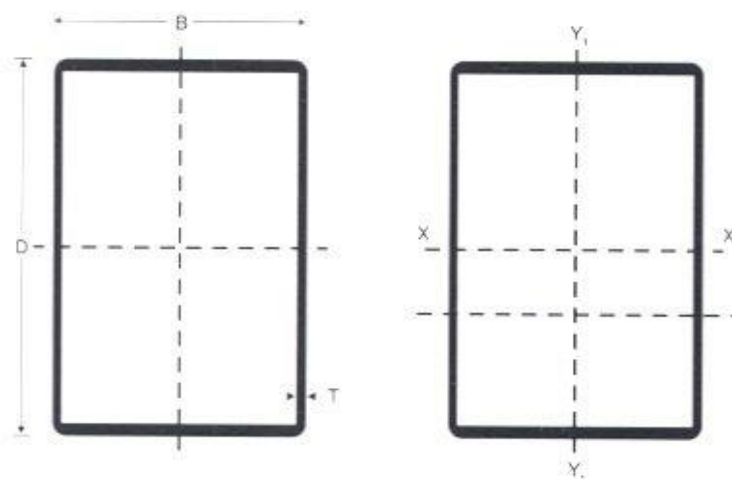
Εικόνα 2-3: Τυποποιημένη μηχανή έλασης

2.3 Γεωμετρία Διατομών και Διαθέσιμες Διατομές στην Ελληνική Αγορά

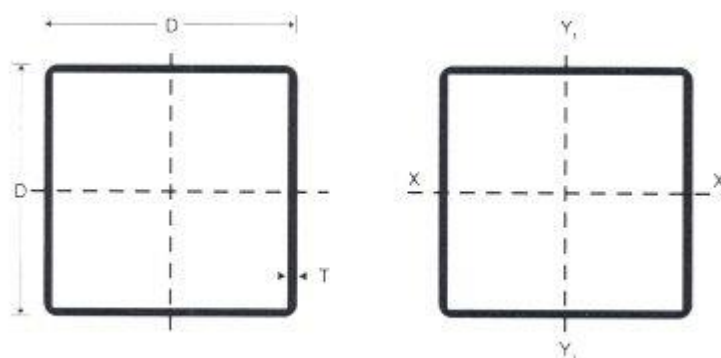
Η μηχανική διαδικασία μορφοποίησης μιας διατομής ψυχρής έλασης με μικρό πάχος, απαιτεί ένα μεγάλο μέρος ψυχρής εργασίας στην διατομή και έτσι παρουσιάζονται σημαντικές αλλαγές στην στατική συμπεριφορά και στην αντοχή της. Η ψυχρή διεργασία που πραγματοποιείται

χαρακτηρίζεται από ορισμένες συνυπάρχουσες τάσεις, των ήδη αναπτυχθέντων αλλά ακόμη και σε πλαστικές παραμορφώσεις, με τις τελευταίες να αποδίδονται στην κράτυνση του ανοξείδωτου χάλυβα λόγω αυτής της ψυχρής κατεργασίας.

Σημειώνεται πως, δεν υπάρχουν συγκεκριμένα μεγέθη διατομών και τυποποίηση στην ελληνική αγορά, με τις διατομές να φτιάχνονται κατά παραγγελία, παρόλο που υπάρχουν ευρωπαϊκά πρότυπα τα οποία ταυτίζονται με αυτά των διατομών από κοινό ανθρακούχο χάλυβα. Όμως, ορισμένες εταιρείες στην χώρα μας παράγουν τυποποιημένες κοίλες διατομές όπως φαίνεται και στον πίνακα 2-1.



(α)



(β)

Εικόνα 2-4: Κοίλες ορθογωνικές (α) και τετραγωνικές (β) διατομές από ανοξείδωτο χάλυβα

Πίνακας 2-1: Διαθέσιμες διατομές στην Ελληνική αγορά

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΠΑΧΟΣ (mm)										
	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12,5	16	20

	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (Kg/m)											
30X30	1,68	2,03	2,36									
40X40	2,31	2,82	3,3									
50X50	2,93	3,6	4,25	5,45	6,56							
60X60	3,56	4,39	5,19	6,71	8,13							
70X70	4,19	5,17	6,13	7,97	9,7	11,3						
80X80	4,82	5,96	7,07	9,22	11,27	13,2	16,4					
100X100			8,96	11,7	14,4	17	21,4					
120X120			10,8	14,2	17,5	20,7	26,4					
140X140				16,8	20,7	24,5	31,4					
150X150				18	22,3	26,4	33,9					
180X180				21,8	27	32,1	41,5	50,7	60,5			
200X200					30,1	35,8	46,5	57	68,3			
220X220					33,2	39,6	51,5	63,2	76,2			
250X250						45,2	59,1	72,7	88			
260X260						47,1	61,6	75,8	91,9			
280X280						50,8	66,6	82,0	99,73	124,0		
300X300						54,7	71,6	88,4	108	134		
320X320						58,4	76,65	94,6	115,4			
350X350						64,0	84,2	104	127	159	193,76	
400X400							96,75	120	147	184	225,16	
500X500								151,16	186,08	234,56	287,96	
40X20	1,68	2,03	2,36									
50X30	2,31	2,82	3,3									
60X40	2,93	3,6	4,25	5,45	6,56							
70X30	2,93	3,6	4,25	5,45	6,56							
70X50	3,56	4,39	5,19	6,71	8,13							
80X40	3,56	4,39	5,19	6,71	8,13							
80X60	4,19	5,17	6,13	7,97	9,7							
100X40	4,19	5,17	6,13	7,97	9,7							
100X50	4,47	5,56	6,6	8,59	10,5							
100X60		5,96	7,07	9,22	11,3	13,2						
100X80			8,01	10,5	12,8	15,1						

120X40			7,07	9,22	11,3							
120X60			8,01	10,5	12,8	15,1	18,9					
120X80			8,96	11,7	14,4	17	21,4					
120X100			9,9	13	16	18,9	23,9					
140X60			8,96	11,7	14,4							
140X80			9,9	13	16	18,9	23,9					
140X100			10,8	14,2	17,5	20,7	26,4					
140X120				15,5	19,12	22,6 3	28,92					
150X50			8,96	11,7	14,4							
150X70			9,9	13	16	18,9						
150X100				14,9	18,3	21,7	22,7					
160X60			9,9	13	16	18,9						
160X80			10,8	14,2	17,5	20,7	26,4					
160X100				15,5	19,12	22,6 3	28,92					
160X120				16,8	20,7	24,5	31,4					
160X140				18	22,3	26,4	33,9					
180X60				14,2	17,5	20,7						
180X80				15,5	19,12	22,6 3						
180X100				16,8	20,7	24,5	31,4					
180X120				18	22,3	26,4	33,9					
200X100				18	22,3	26,4	33,9					
220X140				21,8	27	32,1	41,5	50,7	60,5			
250X150					30,1	35,8	46,5	57	68,3			
260X180					33,2	39,6	51,5	63,2	76,2			
300X150						40,5	52,8	64,8	78,1			
300X200						45,2	59,1	72,5	88			
320X200						47,1	61,6	75,8	91,9			
360X200						50,8 9	66,6	82,0 7	99,73			
400X150						49,9 5	65,35	80,5 1	97,77			
400X200							71,6	88,4	108	134		
500X200							84,2	104	127	159	193,76	
500X300							96,75	120	147	184	225,16	
600X400										234,5 4	287,86	

3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ EN1993-1-1 ΚΑΙ EN1993-1-4

Η διαστασιολόγηση μελών από ανοξείδωτο χάλυβα υπακούει και αυτή στους γενικούς κανόνες του EN1990, όπως ακριβώς και οι κοινοί ανθρακικοί χάλυβες.

Πίνακας 3-1: Αντοχές και κατηγορίες διάβρωσης για τους συνήθεις χάλυβες (EN1993-1-4 5.1.1)

Κατηγορία Αντοχής Διάβρωσης	Κατηγορία Αντοχής			
	SC210		SC450	
	$f_y \left(\frac{N}{mm^2}\right)$	$f_u \left(\frac{N}{mm^2}\right)$	$f_y \left(\frac{N}{mm^2}\right)$	$f_u \left(\frac{N}{mm^2}\right)$
	210	500	450	650
I	1.4003 ^a (F)			
II	1.4301 (A)		1.4482 (D)	
	1.4307 (A)			
III	1.4401 (A)		1.4162 (D)	
	1.4404 (A)		1.4362 ^b (D)	
	1.4435 (A)		1.4062 (D)	
	1.4571 (A)			
IV			1.4462 (D)	
			1.4662 (D)	
V			1.4410 (D)	
			1.4501 (D)	

Σημ. 1: F=Φερριτικός, A=Ωστενιτικός και D=Διπλός Ανοξείδωτος χάλυβας
 Σημ. 2: Οι πιο κοινοί ωστενιτικοί χάλυβες είναι οι 1.4301/1.4307 και 1.4401/1.4404
 Σημ. 3: Οι αντοχές αναφέρονται σε φύλλα, πλάκες και λωρίδες, καθώς και προϊόντα αυτών. Οι αντοχές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε κοίλες διατομές ψυχρής έλασης όπου δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι βελτιώσεις λόγω κατεργασίας.
 Σημ. 4: Για ράβδους και διατομές θερμής έλασης ανοιχτές και σωληνοειδείς χωρίς ραφές, ισχύει $f_y = 180 \frac{N}{mm^2}$ για κατηγορία αντοχής SC210 και για κατηγορία SC450 λαμβάνεται από τον EN10088.
 Σημ. 5: Ο πίνακας () του Κεφαλαίου 4 δίνει μεγαλύτερο εύρος κατηγοριών Ανοξείδωτου Χάλυβα, ανάλογα με την αντοχή σε διάβρωση και την κατάταξή τους.

^a $f_y = 250 - 280 \frac{N}{mm^2}$ για 1.4003 ανάλογα με τη μορφή του τελικού προϊόντος και $f_u = 450 \frac{N}{mm^2}$. Για ράβδους χρησιμοποιείται μόνο η οριακή αντοχή f_u .
^b $f_y = 400 \frac{N}{mm^2}$

3.1 Αντοχές υλικών και κατηγοριοποίηση

Ο έλεγχος και η διαστασιολόγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο εάν το υλικό έχει τις ιδιότητες ενός από αυτά που βρίσκονται στον πίνακα 3-1, όπου δίνονται οι αντοχές σε σχέση με την κατηγορία αντοχής σε διάβρωση του υλικού.

Πίνακας 3-2: Αντοχές χαλύβων υπό ψυχρή έλαση (EN1993-1-4 5.1.2.2)

Κατάσταση Ψυχρής Έλασης	$f_y \left(\frac{N}{mm^2} \right)^a$			$f_u \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
	Κατηγορία	Εφελκυσμός	Θλίψη	
CP350	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571	350	315	600
CP500	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571	470	350	650
	1.4318	430		

^a Ο EN10088 δίνει ως ελάχιστες αντοχές στο σημείο 0.2% του εφελκυσμού κατά την εγκάρσια διεύθυνση ως $350 \frac{N}{mm^2}$ και $500 \frac{N}{mm^2}$ για CP350 και CP500, αντίστοιχα. Τα μειωμένα όρια διαρροής που δίνονται εδώ λαμβάνουν υπόψιν την ανισοτροπία του υλικού λόγω της ψυχρής κατεργασίας. Η αντοχή f_u δεν μεταβάλλεται.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες πρέπει να καλύπτουν συγκεκριμένα κριτήρια πλαστιμότητας όπως αυτά αναφέρονται στον EN1993-1-4. Δηλαδή, θα πρέπει ο λόγος $\frac{f_u}{f_y}$ να είναι μεγαλύτερος ή ίσος από 1.10, επιπλέον η επιμήκυνση αστοχίας που δίνεται από την σχέση $5.65\sqrt{A_0}$ (όπου A_0 είναι η επιφάνεια της διατομής του μέλους) πρέπει να είναι μικρότερη από 15% του μήκους του μέλους και τέλος πρέπει η τελική παραμόρφωση αστοχίας να είναι τουλάχιστον 15 φορές μεγαλύτερη από την παραμόρφωση διαρροής του υλικού.

Συγκεκριμένα, για τους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες, δίνονται συγκεκριμένες αντοχές σε περίπτωση που το υλικό υποβληθεί σε ψυχρή κατεργασία:

Όμως, ο Ευρωκώδικας δίνει ως δεδομένη μια οριακή τάση διαρροής για ποσοστό 0.2% της πλαστικής παραμόρφωσης του υλικού, άρα συνεπάγεται πως, το υλικό πρέπει να ικανοποιεί τα παραπάνω κριτήρια όσον αφορά την αντοχή και όχι την τάση διαρροής.

Σημαντική παρατήρηση είναι ότι υπάρχουν και άλλοι είδους αντοχές εκτός από f_y και f_u , δηλαδή διαρροής και αστοχίας αντίστοιχα, ανάλογα με το σημείο που ελέγχεται, παραδείγματος χάριν ενισχυμένη αντοχή για γωνιακή περιοχή. Επίσης, διαφορετικές παραμορφώσεις διαρροής αλλά και αστοχίας ανάλογα με το κράμα του ανοξείδωτου χάλυβα (ωστενιτικός, φερριτικός κτλ).

Βέβαια, πέραν από τους πίνακες που καθορίζουν την κατηγορία του χάλυβα, υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού μιας μέσης αντοχής υλικού όπου έχει υποβληθεί σε ψυχρή έλαση από τις Εξ. (3-1), (3-2).

$$f_{ya} = \frac{(f_{yc}A_c + f_{yf}(A - A_c))}{A} \quad (3-1)$$

Για διατομές που έχουν λαξευτεί υπό πίεση ή ορθογωνικές κοίλες υπό ψυχρή κατεργασία

$$f_{ya} = f_{yCHS} \quad (3-2)$$

Για κοίλες κυκλικές διατομές υπό ψυχρή έλαση

Όπου:

A είναι το συνολικό εμβαδόν της διατομής

A_c είναι το εμβαδόν των γωνιών της διατομής που δίνεται από τις εξ. (3-3) και (3-4):

$$A_c = (n_c \pi \cdot \frac{t}{4})(2r + t) \quad (3-3)$$

Για διατομές υπό πίεση

$$A_c = \left(n_c \pi \cdot \frac{t}{4}\right)(2r + t) + 4n_c t^2 \quad (3-4)$$

Για κοίλες ορθογωνικές διατομές με ψυχρή έλαση

Με:

n_c τον αριθμό των ορθών γωνιών στη διατομή

r την εσωτερική ακτίνα καμπυλότητας, λαμβάνεται $2t$ αν δεν είναι γνωστή

f_{yc} είναι το προσαυξημένο όριο διαρροής σε γωνιακή περιοχή, που υπολογίζεται από την εξ. (3-5):

$$f_{yc} = 0.85 f_y \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{p0.2}} + 1\right)^{n_p} \quad (3-5)$$

$$\text{με } f_y \leq f_{yc} \leq f_u$$

f_{yf} είναι το προσαυξημένο όριο διαρροής σε ευθύ τμήμα κοίλης ορθογωνικής διατομής που έχει υποστεί ψυχρή έλαση, που δίνεται από την εξ. (3-6):

$$f_{yf} = 0.85 f_y \left(\frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_{p0.2}} + 1\right)^{n_p} \quad (3-6)$$

$$\text{με } f_y \leq f_{yf} \leq f_u$$

f_y η αντοχή σε διαρροή του υλικού

f_{yCHS} είναι το όριο διαρροής κοίλης κυκλικής διατομής υπό ψυχρή έλαση, που υπολογίζεται από:

$$f_{yCHS} = 0.85 f_y \left(\frac{\varepsilon_{CHS}}{\varepsilon_{p0.2}} + 1\right)^{n_p} \quad (3-7)$$

$$\text{με } f_y \leq f_{yCHS} \leq f_u$$

Και επιπλέον:

$$n_p = \frac{\ln\left(\frac{f_y}{f_u}\right)}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{p0.2}}{\varepsilon_u}\right)} \quad (3-8)$$

$$\varepsilon_{p0.2} = 0.002 + \frac{f_y}{E} \quad (3-9)$$

E το μέτρο ελαστικότητας

f_u η οριακή τάση αστοχίας του υλικού

ε_c η παραμόρφωση στις γωνίες της διατομής κατά την μόρφωσή της με:

$$\varepsilon_c = \frac{t}{2(2r + t)} \quad (3-10)$$

ε_f η παραμόρφωση στα ευθεία τμήματα κατά την μόρφωση της διατομής με:

$$\varepsilon_f = \left[\frac{t}{900} \right] + \left[\frac{\pi t}{2(b + h - 2t)} \right] \quad (3-11)$$

ε_{CHS} η παραμόρφωση σε μια κοίλη κυκλική διατομή κατά την μόρφωσή της με:

$$\varepsilon_{CHS} = \frac{t}{2(d - t)} \quad (3-12)$$

ε_u είναι η παραμόρφωση αστοχίας, που προέρχεται από την αντίστοιχη τάση αστοχίας f_u , την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε προσεγγιστικά με τις εξ. (3-13) και (3-14):

a) Για ωστενιτικούς και διπλούς χάλυβες

$$\varepsilon_u = 1 - \frac{f_y}{f_u} \text{ με } \varepsilon_u \leq \varepsilon_f \quad (3-13)$$

b) Για φερριτικούς χάλυβες

$$\varepsilon_u = 1 - \frac{f_y}{f_u} \text{ με } \varepsilon_u \leq \varepsilon_f \quad (3-14)$$

όπου

ε_f είναι η παραμόρφωση θραύσης σύμφωνα με τα πρότυπα του υλικού

και η τάση f_{ua} δίνεται από τις εξ. (3-15) και (3-16):

a) Για ωστενιτικούς και διπλούς χάλυβες

$$f_{ua} = \frac{f_{ya}}{0.20 + \frac{185f_{ya}}{E}} \quad (3-15)$$

b) Για φερριτικούς χάλυβες

$$f_{ua} = \frac{f_{ya}}{0.46 + \frac{145f_{ya}}{E}} \quad (3-16)$$

Αντίθετα, για τους κοινούς κατασκευαστικούς χάλυβες, τα όρια είναι πιο ευδιάκριτα και σαφώς καθορισμένα, όπως διαφαίνεται στον πίνακα 3.2.

Πίνακας 3-3: Όρια διαρροής και αντοχές για ανθρακούχους χάλυβες (EN1993-1-1 3.2.3)

Πρότυπο και Κατηγορία Μετάλλου	Ονομαστικό πάχος στοιχείου t [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 < t \leq 80$ mm	
	f_y ($\frac{N}{mm^2}$)	f_u ($\frac{N}{mm^2}$)	f_y ($\frac{N}{mm^2}$)	f_u ($\frac{N}{mm^2}$)
EN10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	490	335	470
S450	440	550	410	550
EN10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	490	335	490
EN10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
EN10210-1				
S235 H	235	360	215	340
S275 H	275	430	255	410
S355 H	355	510	335	490
S275 NH/NLH	275	390	255	370
S355 NH/NLH	355	490	335	470
S420 NH/NLH	420	540	390	520
S460 NH/NLH	460	560	430	550
EN10219-1				
S235 H	235	360		

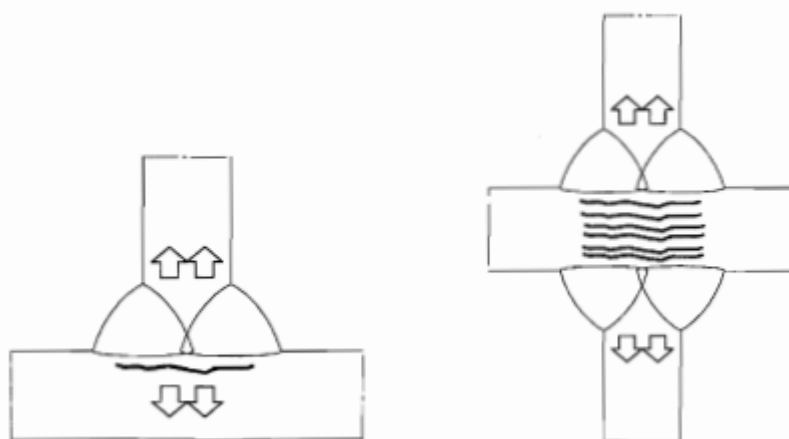
S275 H	275	430		
S355 H	355	510		
S275 NH/NLH	275	370		
S355 NH/NLH	355	470		
S460 NH/NLH	460	550		
S275 MH/MLH	275	360		
S355 MH/MLH	355	470		
S420 MH/MLH	420	500		
S460 MH/MLH	460	530		

Κοινό χαρακτηριστικό μεταξύ ανοξειδωτων και ανθρακικών χαλύβων είναι πως, υπάρχουν διαφορετικές κατηγορίες αντοχής και όχι μόνο μια.

Όσον αφορά τους ανοξειδωτους χάλυβες υπάρχουν περιορισμοί στο πάχος των διατομών, αναλόγως με την κατηγορία έκθεσης και την αντίστοιχη θερμοκρασία του περιβάλλοντος στο οποίο εκτίθενται, ώστε να ελέγχεται η ανθεκτικότητα σε θραύση. Όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες που εξαρτώνται από το πάχος του ελάσματος, οι ωστενιτικοί και οι διπλοί ανοξειδωτοι χάλυβες δεν επηρεάζονται ουσιαστικά, μιας και είναι αδύνατον να παρουσιάσουν ρωγμές στις συγκολλήσεις. Οι φερριτικοί χάλυβες ενδέχεται να επηρεαστούν εάν το πάχος ελάσματος είναι μεγαλύτερο από 20mm και χρησιμοποιείται σε συγκολλήσεις σχήματος ταυ, σταυροειδείς ή γωνιακές, και πρέπει να ακολουθούνται συγκεκριμένες οδηγίες όσον αφορά τη συγκόλληση, όπως δίνονται στον EN1993-1-10. Πρέπει να σημειωθεί, πως εφόσον έχει γίνει σωστός σχεδιασμός και κατασκευή του κόμβου αλλά και της συγκόλλησης όπως στην εικόνα 3-1, τότε δεν θα παρουσιαστεί πρόβλημα στον φορέα λόγω του πάχους του υλικού που χρησιμοποιείται.

Κατ' αντιστοιχία, για τους κοινούς ανθρακούχους χάλυβες, στον EN1993-1-1 αναφέρεται πως η επιλογή υλικού και ιδιοτήτων γίνεται με βάση το EN10164 και EN1993-1-10 αντίστοιχα, όπου γίνεται έλεγχος με μια παράμετρο Z , σχετική με τις ρωγμές στις συγκολλήσεις, που εξαρτάται από το πάχος συγκόλλησης, το είδος της, το πάχος του ελάσματος και την ύπαρξη ή όχι προθέρμανσης. Εάν η απαιτούμενη τιμή της παραμέτρου Z , Z_{Ed} , είναι μικρότερη από την διατιθέμενη, Z_{Rd} , στο υλικό, τότε δεν υπάρχει κίνδυνος ρωγμών εντός των συγκολλήσεων, και άρα το πάχος του υλικού δεν επηρεάζει την απόκρισή του.

Ο έλεγχος για τέτοιου είδους ρωγμές στις συγκολλήσεις ελασμάτων γίνεται με την χρήση υπερήχων.



Εικόνα 3-1: Σωστή κατασκευή κόμβου και συγκόλλησης

3.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών

Για τον συντελεστής του υλικού, οι κοινοί χάλυβες έχουν ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τους ανοξείδωτους όπως δείχνει ο συγκριτικός πίνακας 3-3.

Πίνακας 3-4: Σύγκριση μηχανικών χαρακτηριστικών κοινού και ανοξείδωτου χάλυβα

Κοινοί Χάλυβες	Ανοξείδωτοι Χάλυβες
$E=210000 \text{ kPa}$	$E=200000 \text{ kPa}$
$G=81000 \text{ kPa}$	$G=77000 \text{ kPa}$
$\nu=0.3$	$\nu=0.3$
$\alpha_T=12 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$\alpha_T=16 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (A), $13 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (D), $10 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (F)

3.2.1 Συνδυετικά μέρη

Οι κοχλίες σε κατασκευές από ανοξείδωτο χάλυβα, είναι και αυτοί από το ίδιο υλικό και υπακούν σε συγκεκριμένα πρότυπα ISO. Η αντοχή των κοχλιών σε διάβρωση πρέπει να είναι ίση ή και μεγαλύτερη από την αντοχή του υλικού που συνδέεται. Οι τάσεις αντοχής των ανοξείδωτων κοχλιών εξαρτώνται και αυτοί από το κράμα που έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή τους. Οι παράμετροι των κοχλιών που σχετίζονται με την σύσφιξη και τον τρόπο χρήσης τους (προεντεταμένος ή μη), καθορίζονται με βάση συγκεκριμένες διαδικασίες πιστοποίησης πριν την διάθεση και χρήση τους. Περισσότερες λεπτομέρειες για τους ανοξείδωτους κοχλίες αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Σχετικά με τις συνδέσεις σε κατασκευές από κοινό κατασκευαστικό χάλυβα, αναλυτικές οδηγίες δίνονται στο μέρος 8 του EN1993-1. Πιο συγκεκριμένα, το μέρος αυτό παρέχει λεπτομέρειες όσον αφορά τα μέρη ενός δομικού κόμβου και τη συμβολή τους στην αντοχή του, τα είδη κοχλίωσης και τους ανάλογους ελέγχους επάρκειας, αλλά και τις συγκολλήσεις.

Οι συγκολλήσεις σε ανοξείδωτους χάλυβες γίνονται, επίσης, σύμφωνα με τις διατάξεις του EN1993-1-8 με την προϋπόθεση όμως, πως τα ηλεκτρόδια της συγκόλλησης θα προσφέρουν ικανοποιητική και επαρκή αντοχή σε διάβρωση, σύμφωνα και με το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η διαδικασία και βρίσκεται η κατασκευή.

3.2.2 Ανθεκτικότητα

Η ανθεκτικότητα είναι ένα από τα βασικά ζητήματα που κάνουν τους ανοξειδωτους χάλυβες να ξεχωρίζουν από τους κοινούς ανθρακούχους, καθώς υπερέχουν όσον αφορά την αντοχή τους σε περιβάλλοντα όπου η εμφάνιση φαινομένων διάβρωσης είναι προφανής. Για αυτόν τον λόγο κατά τον σχεδιασμό φορέων από ανοξειδωτο χάλυβα, η πρόληψη κατά της διάβρωσης αποτελεί ένα ξεχωριστό και ανεξάρτητο τμήμα των ελέγχων. Ο σχεδιασμός, με την επιλογή υλικών και διατομών, για την πρόληψη της διάβρωσης, αναλύεται εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο, με βάση το Παράρτημα Α του EN1993-1-8.

Για την ανθεκτικότητα των μελών από κοινούς ανθρακούχους χάλυβες στον EN1993-1-1 σημειώνεται πως, τα μέλη που είναι επιρρεπή σε διάβρωση θα πρέπει να τοποθετηθούν έτσι, ώστε να είναι εύκολη η επιθεώρησή τους, η επιδιόρθωση ή η ανακατασκευή. Οι οδηγίες για τον τρόπο προστασίας και αύξησης της ανθεκτικότητας αυτών των μελών δίνεται στον EN1990. Σε περίπτωση που τα στοιχεία δεν μπορούν να επιθεωρηθούν, τότε υπάρχει ένα καθορισμένο όριο διάβρωσης. Η αντιδιαβρωτική προστασία στους χάλυβες δεν είναι απαραίτητη όταν η σχετική υγρασία εσωτερικά δεν υπερβαίνει το 80%. Τέλος, στο τμήμα της ανθεκτικότητας αναφέρεται πως σε κτιριακές κατασκευές δεν είναι απαραίτητος ο έλεγχος σε κόπωση, εκτός κάποιων συγκεκριμένων περιπτώσεων.

3.3 Δομική ανάλυση και ατέλειες

3.3.1 Γενικά

Γενικά η ανάλυση των φορέων και ο σχεδιασμός για τον ανοξειδωτο χάλυβα γίνεται με τον EN1993-1-1, με όμοιο τρόπο δηλαδή με τους κοινούς χάλυβες, με ορισμένες αλλαγές. Η ανάλυση των κατασκευών γίνεται σε υπολογιστικά μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί καταλλήλως για συγκεκριμένες οριακές καταστάσεις.

Ο EN1993-1-4 αρχικά λαμβάνει υπόψιν τις ατέλειες που παρουσιάζονται στα μέλη, και πρέπει ο μηχανικός να θεωρήσει στην ανάλυσή του πρώτου προχωρήσει στον σχεδιασμό και την επιλογή διατομών.

Σε περίπτωση ελαστικής ανάλυσης της κατασκευής, τότε οι ατέλειες, e_0 , λαμβάνονται υπόψιν με βάση τον EN1993-1-1. Για φαινόμενα δευτέρας τάξεως κατά την πλαστική ανάλυση τότε για τα μέλη ανοξειδωτου χάλυβα που παρουσιάζουν λυγισμό ισχύει:

$$e_0 = \frac{aL}{150} \quad (3-17)$$

Όπου:

L το μήκος του μέλους

a ο συντελεστής ατελειών που δίνεται από τον πίνακα 3-5

Πίνακας 3-5: Τιμές σταθερών α και $\bar{\lambda}_0$ για καμπτικό λυγισμό (EN1993-1-4 8.3.2.1)

Είδος Μέλους	Άξονας Λυγισμού	Ωστενιτικός		Διπλός		Φερριτικός	
		α	$\bar{\lambda}_0$	α	$\bar{\lambda}_0$	α	$\bar{\lambda}_0$
Συγκολλητές I-διατομές θερμής έλασης	Κύριος	0.60	0.2	0.49	0.3	0.49	0.2
	Δευτερεύω ν	0.76	0.2	0.60	0.3	0.76	0.2
Κοίλες ορθογωνικές διατομές ψυχρής έλασης	Οποιοσ/τε	0.49	0.3	0.49	0.3	0.49	0.2
Κοίλες κυκλικές/ελλειπτικές διατομές ψυχρής έλασης	Οποιοσ/τε	0.49	0.2	0.49	0.3	0.49	0.2
Κοίλες ορθογωνικές διατομές με θερμό τελείωμα	Οποιοσ/τε	0.49	0.2	0.49	0.2	0.34	0.2
Κοίλες κυκλικές/ελλειπτικές διατομές με θερμό τελείωμα	Οποιοσ/τε	0.49	0.2	0.49	0.2	0.34	0.2
Συγκολλητές κιβωτοειδείς διατομές	Οποιοσ/τε	0.49	0.2	0.49	0.2	0.49	0.2
Διατομές ανοιχτού καναλιού με εσωτερικά ή εξωτερικά χείλη ψυχρής έλασης	Οποιοσ/τε	0.49	0.2	0.49	0.2	0.49	0.2
Άλλες ανοικτές διατομές	Οποιοσ/τε	0.76	0.2	0.76	0.2	0,76	0.2

Για Ωστενιτικές I-διατομές συγκόλλησης με λείζερ, ο συντελεστής α θεωρείται 0.60 για λυγισμό περί του ασθενή άξονα.

Επίσης, κατά την ανάλυση (είτε ελαστική είτε πλαστική) το μέγεθος της πλαστικής άρθρωσης που δημιουργείται, μπορεί να υπολογιστεί όπως παρακάτω:

$$e_{0,m} = \frac{\alpha_{\eta,m}(\bar{\lambda}_m - \bar{\lambda}_0)M_{Rk,m}}{N_{Rk,m}} \quad (3-18)$$

Όπου:

m είναι ο αύξον αριθμός της διατομής στην οποία βρισκόμαστε

$$\bar{\lambda}_m = \sqrt{\frac{N_{Rk,m}}{N_{cr,m}}} \quad \text{η σχετική λυγνρότητα του μέλους} \quad (3-19)$$

υπολογισμένη στην κρίσιμη διατομή

$$N_{cr,m} = a_{cr} \cdot N_{Ed,m} \quad \text{η κρίσιμη αξονική δύναμη της διατομής } m \text{ και} \quad (3-20)$$

του μέλους

a_{cr} ο ελάχιστος συντελεστής προσαύξησης της αξονικής δύναμης για σύγκλιση στο ελαστικό κρίσιμο φορτίο λυγισμού

$a_{\eta,m}$ συντελεστής ατελειών ανάλογα με την καμπύλη λυγισμού του μέλους

$\bar{\lambda}_0$ οριακή σχετική λυγηρότητα όπου λαμβάνεται από τον παραπάνω πίνακα

$M_{Rk,m}$ χαρακτηριστική ροπή αντοχής της διατομής m

$N_{Rk,m}$ χαρακτηριστική αξονική αντοχή της διατομής m

Το μέρος 1 του EN1993 αναφέρει, επίσης, πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανάλυση δευτέρας τάξεως, και υπολογισμός των αντίστοιχων νέων εντατικών μεγεθών, εάν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Αυτό, σημαίνει πως θα πρέπει αρχικά να υπολογίζονται οι ατέλειες και οι μεταβολές στη γεωμετρία του φορέα. Η ανάλυση πρώτης τάξης για τα μέλη από κοινό χάλυβα γίνεται όταν τηρούνται ορισμένα όρια. Αυτά είναι:

$$a_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad \text{Για Ελαστική Ανάλυση} \quad (3-21)$$

$$a_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \quad \text{Για Πλαστική Ανάλυση} \quad (3-22)$$

Όπου:

a_{cr} ο συντελεστής προσαύξησης δράσεων σε περίπτωση ανάλυσης δευτέρας τάξεως

F_{Ed} το φορτίο σχεδιασμού της κατασκευής

F_{cr} το κρίσιμο ελαστικό φορτίο υπολογισμένο με τις αρχικές ελαστικές δυσκαμψίες

Σε κατασκευές όπου το παραπάνω κριτήριο δεν μπορεί να εφαρμοστεί, και σε κατασκευές που υπάρχει περίπτωση να αστοχήσουν λόγω ταλάντωσης, ο συντελεστής προσαύξησης των δράσεων υπολογίζεται όπως στην εξ. (3-23):

$$a_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad (3-23)$$

Με:

H_{Ed} η συνολική οριζόντια δύναμη σχεδιασμού

V_{Ed} η συνολική κατακόρυφη δύναμη σχεδιασμού του πλαισίου

$\delta_{H,Ed}$ η οριζόντια μετακίνηση στην κορυφή ενός ορόφου, σε σχέση με την βάση του, όταν το πλαίσιο φορτίζεται με οριζόντια φορτία (π.χ. ανέμου) ή/και μοναδιαία φορτία που εφαρμόζονται στην κορυφή κάθε ορόφου

h το ύψος ορόφου

Τονίζεται πως, και στους ανθρακούχους χάλυβες η σταθερότητα της κατασκευής εξασφαλίζεται όταν κατά την ανάλυση έχουν ληφθεί υπόψιν τόσο οι παραμορφώσεις των πλαισίων όσο και οι ατέλειες τους, ώστε να προχωρήσουμε σε ανάλυση δευτέρας τάξεως. Ο EN1993-1-1 εμπεριέχει τις κατάλληλες διατάξεις, για τους κοινούς χάλυβες, όπως ακριβώς και ο EN1993-1-8 για τους ανοξείδωτους, που λαμβάνει υπόψιν την απόκλιση από την κατακόρυφο του κτιρίου, την έλλειψη ευθύτητας των μελών και των μεγάλων εκκεντροτήτων και δημιουργεί σχέσεις με βάση

την δυσμενέστερη κατάσταση που είναι η ύπαρξη καμπτικού και στρεπτοκαμπτικού λυγισμού εντός και εκτός επιπέδου ενός πλαισίου.

Οι ατέλειες στους ανθρακούχους χάλυβες λαμβάνονται ως εξής:

a) Αρχικές καθολικές ατέλειες λόγω ταλάντωσης:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot a_h \cdot a_m \quad (3-24)$$

όπου: φ_0 μια βασική τιμή $\varphi_0 = 1/200$

a_h συντελεστής απομείωσης συναρτήσει του ύψους:

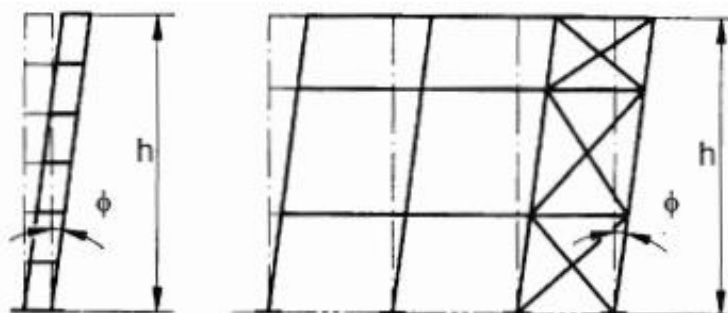
$$a_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ με } \frac{2}{3} \leq a_h \leq 1 \quad (3-25)$$

h το συνολικό ύψος κατασκευής

a_m συντελεστής απομείωσης ανάλογα με τον αριθμό υποστυλωμάτων σε σειρά:

$$a_m = \sqrt{0.5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)} \quad (3-26)$$

m ο αριθμός των υποστυλωμάτων σε σειρά λαμβάνοντας υπόψιν μόνο τα υποστυλώματα όπου η αξονική τους δύναμη N_{Ed} είναι πάνω από το 50% της αντίστοιχης μέσης τιμής για τα υποστυλώματα του κατακόρυφου πλαισίου



Εικόνα 3-2: Ισοδύναμες ατέλειες λόγω ταλάντωσης (EN1993-1-1 5.3.2)

b) Σχετικές ατέλειες για τον καμπτικό λυγισμό:

$$e_0/L \quad (3-27)$$

όπου

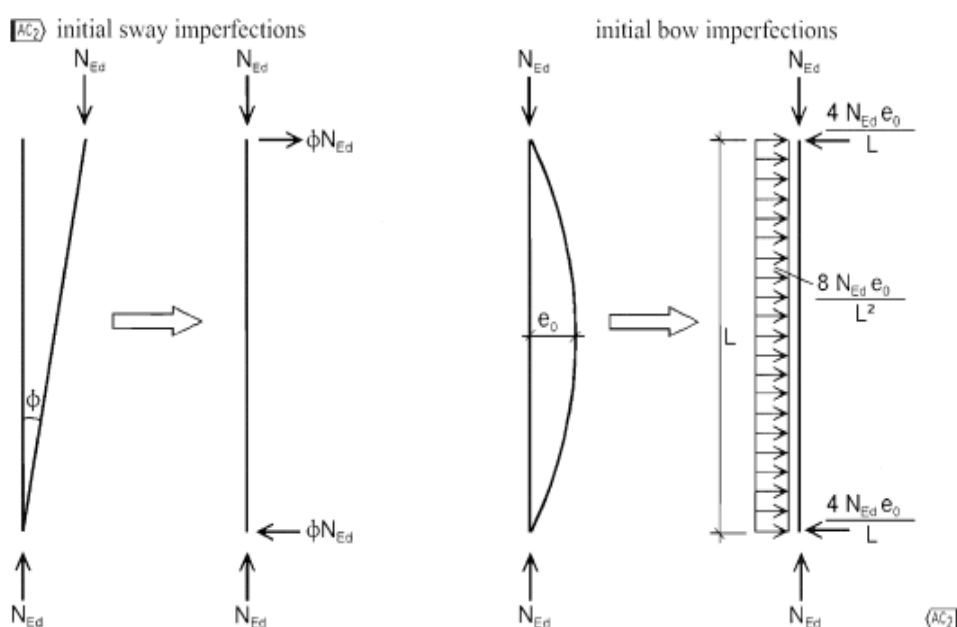
L το μήκος του μέλους

Με τις τιμές του λόγου να δίνονται παρακάτω από τον πίνακα 3-5 ανάλογα με την καμπύλη λυγισμού του μέλους.

Πίνακας 3-6: Τιμές τοπικών ατελειών ανάλογα με την καμπύλη λυγισμού (EN1993-1-1 5.3.2)

Καμπύλη Λυγισμού σύμφωνα με τον Πίνακα 6.2	Ελαστική Ανάλυση	Πλαστική Ανάλυση
	e_0/L	e_0/L
a_0	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

Τα αποτελέσματα των δύο παραπάνω περιπτώσεων μπορούν να ληφθούν ισοδύναμα με τη χρήση ενός φορτίου στο μέλος όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 3-3:



Εικόνα 3-3: Αντικατάσταση των ατελειών με ισοδύναμες φορτίσεις (EN1993-1-1 5.3.2)

Σε πλαίσια με συνδέσμους δυσκαμψίας, όπου οι σύνδεσμοι καλούνται να παρέχουν σταθερότητα σε θλιβόμενα μέλη (υποστυλώματα) αλλά και σε καμπτόμενα (δοκούς), οι ατέλειες θεωρούνται ως γεωμετρικές οντότητες (άλλη λέξη), όπως ακριβώς και στον EN1993-1-8:

$$e_0 = \frac{aL}{500} \quad (3-28)$$

Όπου:

L το άνοιγμα του πλαισίου

$$a_m = \sqrt{0.5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \quad (3-29)$$

με m τον αριθμό των μελών όπου περιορίζονται

3.3.2 Μέθοδοι ανάλυσης για μη γραμμικό υλικό

Τα εσωτερικά μεγέθη μπορούν να υπολογιστούν με δυο μεθόδους, είτε μιλάμε για ανοξειδωτους είτε για ανθρακούχους χάλυβες. Αυτές είναι η ελαστική καθολική ανάλυση και η πλαστική καθολική ανάλυση.

3.3.2.1 Ελαστική Ανάλυση

Όπως αναφέρει ο EN1993-1-4 η ελαστική ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε κατασκευή όπου σχεδόν όλα τα μέλη της έχουν σχεδόν ελαστική απόκριση σε όλες τις συνθήκες φόρτισης και σε κατασκευές όπου η απώλεια στιβαρότητας είναι πολύ μικρή έως αμελητέα. Εάν η παρακάτω συνθήκη ικανοποιείται:

$$\frac{E_s}{E} > 0.2$$

Με E_s το τέμνον μέτρο ελαστικότητας για συγκεκριμένες τάσεις σ όπου δίνεται από την εξ. (3-30):

$$E_s = \frac{E}{1 + \frac{0.002E}{\sigma} \left(\frac{\sigma}{f_y}\right)^n} \quad (3-30)$$

E το μέτρο ελαστικότητας

σ η μέγιστη τάση από ελαστική ανάλυση πρώτης τάξεως σε μια διατομή οποιουδήποτε μέλους της κατασκευής

f_y η τάση διαρροής

n εκθέτης για κράτυνση, που δίνεται από τον πίνακα 3-6 ανάλογα με το κράμα

Πίνακας 3-7: Τιμές του συντελεστή n (EN1993-1-4 9.2)

Κατηγορία Ανοξειδωτου Χάλυβα	Συντελεστής n
Φερριτικός	14
Ωστενιτικός	7
Διπλός	8

Η ελαστική ανάλυση για τον EN1993-1-1 πραγματοποιείται όταν η συμπεριφορά του υλικού σε καταπόνηση είναι αμιγώς γραμμική, χωρίς δηλαδή την εμφάνιση σημείου διαρροής. Τα εσωτερικά μεγέθη, δυνάμεις και ροπές, υπολογίζονται σύμφωνα με την ελαστική ανάλυση ακόμη και αν οι αντοχές των διατομών είναι πλαστικές, αλλά και για διατομές όπου οι αντοχές τους είναι περιορισμένες λόγω τοπικού λυγισμού.

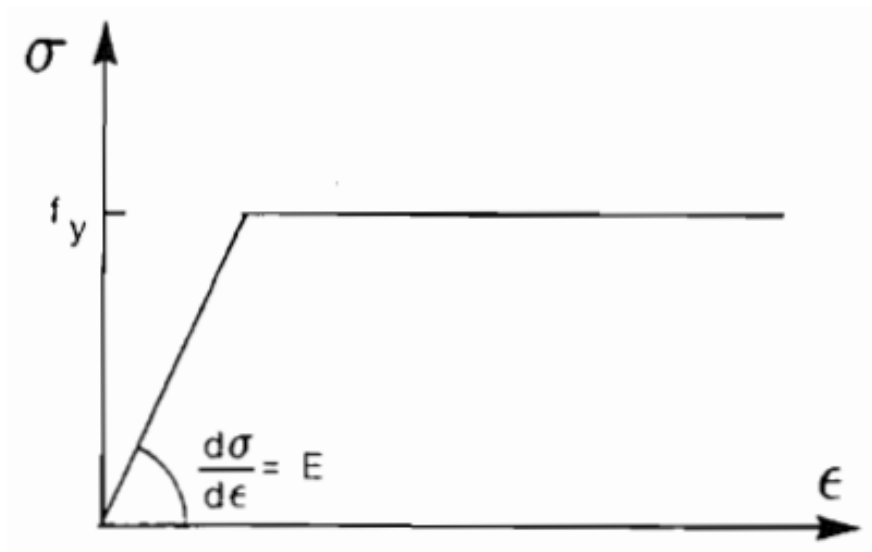
3.3.2.2 Πλαστική Ανάλυση

Κατά την πλαστική καθολική ανάλυση γνωρίζουμε πως το διάγραμμα φορτίου-παραμόρφωσης δεν είναι πλήρως γραμμικό. Κατά τον νόμο του Hooke οι τάσεις περιορίζονται από ένα όριο,

που ονομάζεται όριο διαρροής f_y και έπειτα από την τιμή αυτού το υλικό αποκτά πλαστικές-μόνιμες παραμορφώσεις υπό σταθερές τάσεις. Κατά την αποφόρτιση και την μείωση των τάσεων μετά το πέρας του ορίου διαρροής το διάγραμμα ακολουθεί μια παράλληλη προς τον νόμο του Hooke διαδρομή, χωρίς όμως να ταυτίζεται με το αρχικό γραμμικό σκέλος.

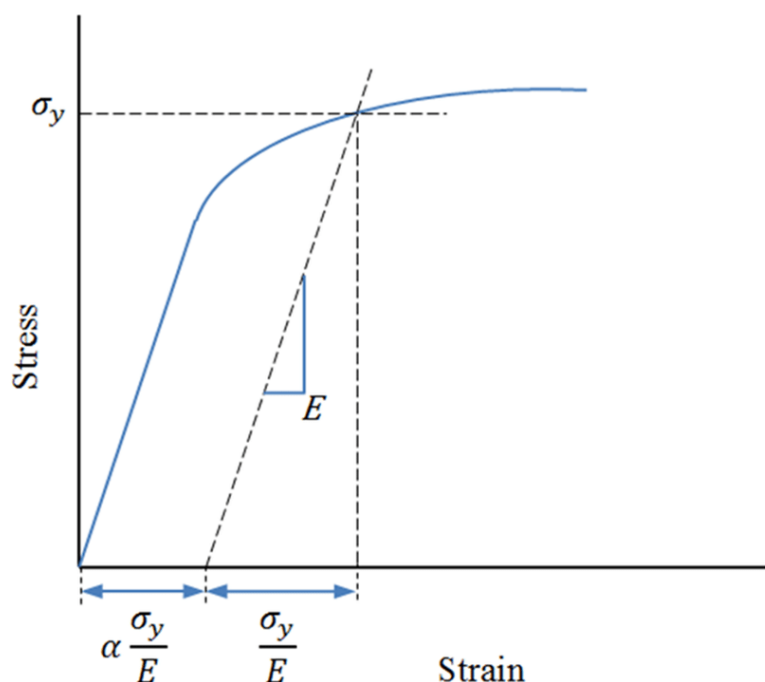
Σχετικά την πλαστική καθολική ανάλυση ο EN1993-1-4 για τους ανοξείδωτους χάλυβες λαμβάνει υπόψιν τη μη γραμμικότητα του υλικού με τρεις μεθόδους. Αυτές είναι:

1. Μέθοδος πλαστικής άρθρωσης, όπου η μη γραμμικότητα του υλικού συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένα σημεία του φορέα
2. Μέθοδος πλαστικής ζώνης με μοντέλο δι-γραμμικού ελαστικού-απόλυτα πλαστικού υλικού (εικ. 3-4).



Εικόνα 3-4: Διγραμμικό ελαστικό-απόλυτα πλαστικό μοντέλο (EN1993-1-1 5.4.3)

3. Μέθοδος πλαστικής ζώνης με χρήση όμως του διαγράμματος Ramberg-Osgood (εικ. 3-5) για την συμπεριφορά του υλικού της κατασκευής, με μερική πλαστικοποίηση, σταδιακή μείωση της στιβαρότητας και κράτυνση των μελών σε πλαστικές περιοχές.



Εικόνα 3-5: Διάγραμμα Ramberg-Osgood

Ο EN1993-1-1 αναφέρει πως η πλαστική ανάλυση μπορεί να μοντελοποιηθεί με τρεις μεθόδους, οι οποίες μοιάζουν αρκετά με αυτές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τους ανοξειδωτους χάλυβες:

1. Ελαστοπλαστική ανάλυση με πλαστικοποιημένες διατομές ή και κόμβους
2. Μη γραμμική πλαστική ανάλυση όπου σχηματίζεται μια πλαστική ζώνη σε μέλος
3. Άκαμπτη πλαστική ανάλυση όπου δεν παρεμβάλλονται καθόλου ελαστικές περιοχές εντός του μέλους.

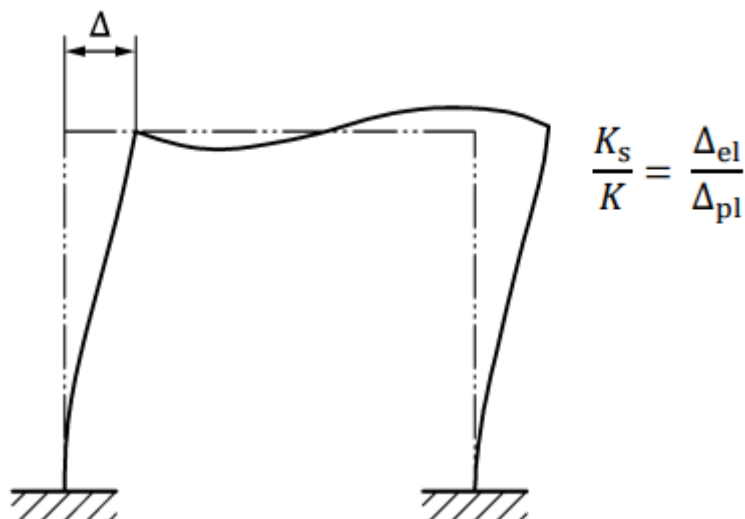
Η πλαστική ανάλυση σαφώς χρησιμοποιείται όπου υπάρχει δυνατότητα στροφής καθώς και ανακατανομής των ροπών κάμψεως με διατήρηση της σταθερότητας του φορέα εντός του επιπέδου του. Το διγραμμικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων που παρατέθηκε παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευκολία και στους ανθρακούχους χάλυβες. Για τους ανοξειδωτους χάλυβες υπάρχει ένα συγκεκριμένο κριτήριο κατά το οποίο είναι δυνατόν να υπολογιστούν τα εσωτερικά μεγέθη ενός μέλους μόνο με την ανάλυση πρώτης τάξεως:

$$a_{cr,sw,mod} \geq 10$$

Όπου

$$a_{cr,sw,mod} = \frac{K_s}{K} \gamma a_{cr,sw} \quad \text{συντελεστής προσαύξησης φορτίων που θα λάβει υπόψιν την επιρροή της πλαστιμότητας στην στιβαρότητα έναντι ταλαντώσεων για το πλαίσιο} \quad (3-31)$$

$\frac{K_s}{K}$ ο λόγος της εφαπτομενικής δυσκαμψίας σύμφωνα με τα φορτία σχεδιασμού της κατασκευής, προς την αρχική δυσκαμψία επηρεασμένη από την πλαστιμότητα με Δ_{el} και Δ_{pl} οι ελαστικές και οι πλαστικές μετακινήσεις του συγκεκριμένου (κρίσιμου) ορόφου



Εικόνα 3-6: Υπολογισμός του λόγου $\frac{K_s}{K}$ (EN1993-1-4 7.4.3.1)

Y συντελεστής περαιτέρω απώλειας δυσκαμψίας λόγω φαινομένων δευτέρας τάξεως, όπως δίνεται από τον παρακάτω πίνακα ανάλογα με το κράμα ανοξείδωτου χάλυβα

Πίνακας 3-8: Συντελεστής Y ανάλογα με το κράμα ανοξείδωτου χάλυβα (EN1993-1-4 7.4.3.1)

Ανοξείδωτος Χάλυβας	Για μονώροφα πλαίσια ροής	Για άλλα πλαίσια
Ωστενιτικός	0.80	0.55
Διπλός	0.85	0.60
Φερριτικός	0.90	0.65

$a_{cr,sw}$ υπολογίζεται από την εξίσωση (3-32) όπως δόθηκε παραπάνω

$$a_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad (3-32)$$

Το παραπάνω κριτήριο χρησιμοποιείται και στη μέθοδο πλαστικής άρθρωσης καθώς μέσω αυτού εκτιμάται και επαληθεύεται η σταθερότητα του φορέα. Σημειώνεται πως η μέθοδος πλαστικής άρθρωσης χρησιμοποιείται για κράματα ωστενιτικού και διπλού ανοξείδωτου χάλυβα και μόνο.

Για τη μέθοδο πλαστική περιοχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί το διγραμμικό ελαστικό απολύτως πλαστικό διάγραμμα όπως έχει παρατεθεί παραπάνω ή διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων με

κράτυση. Επιπλέον, το κριτήριο της προσαύξησης των φορτίων που αναφέρθηκε παραπάνω πρέπει να ικανοποιείται και εδώ ώστε να επαληθεύεται η δομική σταθερότητα της κατασκευής. Η αντοχή των διατομών επαληθεύεται με συγκεκριμένα όρια, τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω, ή με έλεγχο τάσεων. Έαν ικανοποιούνται συγκεκριμένα όρια τάσεων τότε, είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί μια άλλη μέθοδος η οποία ονομάζεται μέθοδος συνεχούς αντοχής (CSM) χωρίς να απαιτείται η κατηγοριοποίηση της διατομής. Όμοιες απαιτήσεις υπάρχουν και για την πλαστική ζώνη με τη χρήση του μη γραμμικού διαγράμματος Ramberg-Osgood με τα όρια που πρέπει να ικανοποιούνται να αναφέρονται παρακάτω.

Πρέπει:

$$\frac{F_d}{F_{Rd}} \leq 1.0$$

όπου:

$$F_{Rd} = F_{Rk}/\gamma_{M1} \quad (3-33)$$

F_{Rk} η χαρακτηριστική αντοχή που υπολογίζεται από την μέθοδο της πλαστικής ζώνης ή από τη μέθοδο συνεχούς αντοχής, όποια είναι μικρότερη

Η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση στο επίπεδο που ασκείται το φορτίο σχεδιασμού θα πρέπει να ικανοποιεί την ανίσωση:

$$\frac{\varepsilon_{Ed}}{\varepsilon_{CSM}} \leq 1.0$$

όπου

ε_{CSM} είναι το όριο παραμόρφωσης της μεθόδου CSM που δίνεται από μια εκ των δυο εξισώσεων (3-34), (3-35)

$$\frac{\varepsilon_{CSM}}{\varepsilon_y} = \begin{cases} \frac{0.25}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{3.6}} \leq \min\left(\Omega, \frac{C_1 \varepsilon_u}{\varepsilon_y}\right) \text{ για } \bar{\lambda}_{p,cs} \leq 0.68 \\ \left(1 - \frac{0.222}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{1.050}}\right) \frac{1}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{1.050}} \text{ για } 0.68 < \bar{\lambda}_{p,cs} \leq 1.00 \end{cases} \quad (3-34)$$

όταν χρησιμοποιείται το διγραμμικό ελαστικό-πλήρως πλαστικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, και

$$\frac{\varepsilon_{CSM}}{\varepsilon_y} = \begin{cases} \frac{0.25}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{3.6}} + \frac{0.002}{\varepsilon_y} \text{ για } \bar{\lambda}_{p,cs} \leq 0.68 \\ \left(1 - \frac{0.222}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{1.050}}\right) \frac{1}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{1.050}} + \frac{0.002(\sigma + f_y)^n}{\varepsilon_y} \text{ για } 0.68 < \bar{\lambda}_{p,cs} \leq 1.00 \end{cases} \quad (3-35)$$

όταν χρησιμοποιείται το διάγραμμα Ramberg-Osgood.

Ισχύει:

$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E}$ ελαστικό όριο παραμορφώσεων

$\bar{\lambda}_{p,cs} = \sqrt{f_y/\sigma_{cr,cs}}$ η λυγηρότητα της διατομής

$\sigma_{cr,cs}$ η ελαστική τάση τοπικού λυγισμού για την πλήρη διατομή

σ η μέγιστη θλιπτική τάση

C_1 συντελεστής υλικού (δίνεται στο παράρτημα)

Ω παράμετρος που δείχνει το μέγιστο επιτρεπτό όριο πλαστική παραμόρφωσης της κατασκευής
 n ο συντελεστής κράτυνσης

Η αλληλεπίδραση μεταξύ κάμψης και τέμνουσας πρέπει να υπολογίζεται με το κριτήριο:

$$\frac{\varepsilon_{Ed}}{\rho_{CSM} \varepsilon_{CSM}} \leq 1.0$$

όπου

$$\rho_{CSM} = \begin{cases} 1 & \text{για } V_{Ed} \leq 0.5V_{Pl,RD} \\ \frac{0.5}{0.5 + \rho} & \text{για } V_{Ed} > 0.5V_{Pl,RD} \end{cases} \quad (3-36)$$

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{Pl,RD}} - 1 \right)^2 \quad (3-37)$$

V_{Ed} η τέμνουσα σχεδιασμού

$V_{Pl,RD}$ η πλαστική αντοχή τέμνουσας της διατομής

3.4 Σχεδιασμός και κατηγοριοποίηση διατομής

3.4.1 Κατηγοριοποίηση διατομής

Μια μεταλλική διατομή αποτελεί μια σύνθεση διάφορων επιμέρους μεμονωμένων λεπτών μελών. Το μικρό πάχος αυτών των συνθετικών μερών της διατομής μπορεί πολλές φορές να οδηγήσει σε φαινόμενα τοπικού λυγισμού υπό θλιπτικές τάσεις. Για να αποφευχθεί αυτό το γεγονός πρέπει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής να ικανοποιούν συγκεκριμένα όρια, και να μην τα ξεπερνούν. Είναι σημαντικό, αυτά τα όρια να μπορούν να λάβουν υπόψιν το είδος της ανάλυσης που πραγματοποιείται στον φορέα, είτε αυτή είναι πλαστική είτε ελαστική, οπότε και θα υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις για τα εντατικά μεγέθη, τις παραμορφώσεις και κατ' επέκταση για την γεωμετρία της διατομής η οποία χρησιμοποιείται. Όπως αναφέρει ο EN1993-1-1 η χρησιμότητα της κατηγοριοποίησης μιας διατομής είναι ώστε ο μηχανικός να έχει γνώση της δυνατότητας στροφής και αντοχής ενός μια διατομής και πόσο αυτές περιορίζονται από την παρουσία του τοπικού λυγισμού.

Τόσο για τους ανοξείδωτους χάλυβες, όσο και για τους κοινούς ανθρακούχους χάλυβες υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες στις οποίες μπορεί να ανήκει μια διατομή. Οι τέσσερις κατηγορίες ορίζονται ως εξής:

- Κατηγορία 1: Μπορούν να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση και έχουν μεγάλη επάρκεια στροφής χωρίς την μείωση της αντοχής τους.
- Κατηγορία 2: Αναπτύσσουν την πλαστική ροπή αντοχής τους, όμως λόγω τοπικού λυγισμού έχουν περιορισμένη δυνατότητα στροφής που δεν ικανοποιεί απαραίτητα τον πλαστικό σχεδιασμό.
- Κατηγορία 3: Μπορεί να φτάσει τα όρια διαρροής, όχι όμως τις πλαστικές αντοχές λόγω του έντονου τοπικού λυγισμού.
- Κατηγορία 4: Είναι η κατηγορία διατομών στην οποία εμπίπτουν όλες όσες ξεπερνούν τα γεωμετρικά όρια των τριών προηγούμενων. Οι διατομές αυτές αντιμετωπίζουν τοπικό λυγισμό χωρίς να προσεγγίσουν το όριο διαρροής.

Τα όρια που δίνει ο EN1993-1-4 για τις κατηγορίες των διατομών είναι τα παρακάτω:

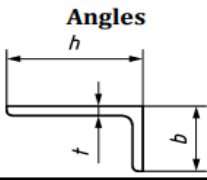
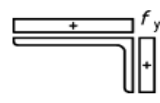
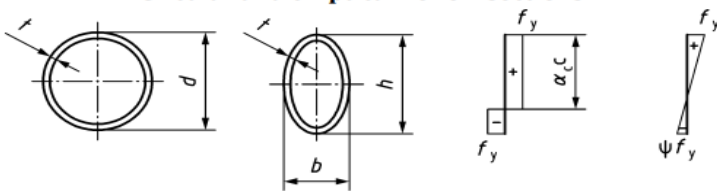
Internal compression parts				
Key : 1 Axis of bending				
Stress distribution in parts (compression positive)	section type			
Class 1	All	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	when $\alpha_c > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha_c - 1}$ when $\alpha_c \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha_c}$
Class 2	All	$c/t \leq 76\epsilon$	$c/t \leq 35\epsilon$	when $\alpha_c > 0,5$: $c/t \leq \frac{420\epsilon}{13\alpha_c - 1}$ when $\alpha_c \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{38\epsilon}{\alpha_c}$
Stress distribution in parts (compression positive)	section type			
Class 3	welded	$c/t \leq 87\epsilon$	$c/t \leq 35,4\epsilon$	when $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{35,4\epsilon}{0,71 + 0,296\psi + 0,006\psi^2}$ when $\psi \leq -1^a$: $c/t \leq 43,5\epsilon(1 - \psi)$
	other	$c/t \leq 99\epsilon$	$c/t \leq 37\epsilon$	when $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{37\epsilon}{0,678 + 0,318\psi + 0,012\psi^2}$ when $\psi \leq -1^a$: $c/t \leq 49\epsilon(1 - \psi)$

^a $\psi \leq -1$ η θλιπτική τάση $\sigma_{com,Ed} = f_y$ εφαρμόζεται όπου η εφελκυστική παραμόρφωση είναι $\epsilon_t > \frac{f_y}{E}$

Πίνακας 3-9: Κατάταξη εσωτερικών τμημάτων διατομής ανοξείδωτου χάλυβα (EN1993-1-4 7.5)

Outstand flanges				
Stress distribution in parts (compression positive)	section type			
Class 1	All	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha_c}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha_c \sqrt{\alpha_c}}$
Class 2	All	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha_c}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha_c \sqrt{\alpha_c}}$
Stress distribution in parts (compression positive)	section type			
Class 3	welded	$c/t \leq 11,5\epsilon$	$c/t \leq 17\epsilon \sqrt{k_\sigma}$	
	other	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21,0\epsilon \sqrt{k_\sigma}$ For k_σ see EN 1993-1-5	

Πίνακας 3-10: Κατάταξη προεξέχοντων τμημάτων/πελμάτων διατομής ανοξείδωτου χάλυβα (EN1993-1-4 7.5)

<p>Angles</p> <p>For outstand flanges, see Table 7.3 also</p>  <p>Does not apply to angles in continuous contact with other components</p>			
Stress distribution across section (compression positive)			
Class 3	$\frac{h}{t} \leq 15\epsilon$ and $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\epsilon$		
<p>Circular and elliptical hollow sections</p> 			
	Section in compression	Section in bending	Compression and bending
Class 1	$d_e/t \leq 50\epsilon^2$	$d_e/t \leq 50\epsilon^2$	$d_e/t \leq 50\epsilon^2$
Class 2	$d_e/t \leq 70\epsilon^2$	$d_e/t \leq 70\epsilon^2$	$d_e/t \leq 70\epsilon^2$
Class 3	$d_e/t \leq 90\epsilon^2$ NOTE: For $d_e/t > 90\epsilon^2$ see 8.2.2(6).	$d_e/t \leq 280\epsilon^2$ NOTE: For $d_e/t > 280\epsilon^2$ see EN 1993-1-6.	$d_e/t \leq \frac{5040\epsilon^2}{19\psi + 37}$

Πίνακας 3-11: Κατάταξη γωνιακών διατομών και κοίλων κυκλικών και ελλειπτικών διατομών ανοξειδωτου χάλυβα (EN1993-1-4 7.5)

Για τετραγωνικές κοίλες διατομές, ανοιχτές ή I και H με ίσα πέλματα ο συντελεστής a_c από τον οποίο εξαρτάται το ύψος στους θλιβόμενης ζώνης στους, υπολογίζεται στους παρακάτω:

Εάν $N_{Ed} \geq ct_w n f_y$ ΤΟΤΕ $a_c = 1.0$,
 Εάν $N_{Ed} \leq -ct_w n f_y$ ΤΟΤΕ $a_c = 0$,

Ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση:

$$a_c = 0.5 \left(1 + \frac{N_{Ed}}{ct_w n f_y} \right) \tag{3-37}$$

Με την N_{Ed} να είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού, θετική για θλίψη και αρνητική για εφελκυσμό και $n = 1$ για ανοιχτές διατομές, διατομές I ή H και $n = 2$ για τετραγωνικές κοίλες διατομές.

Για στους κυκλικές/ελλειπτικές διατομές η ισοδύναμη διάμετρος d_e υπολογίζεται:

Για κυκλικές κοίλες διατομές: $d_e = d$

Για κοίλες ελλειπτικές διατομές, σε θλίψη:

$$d_e = d_{e,c} = h \left[1 + \left(1 - 2.3 \left(\frac{t}{h} \right)^{0.6} \right) \left(\frac{h}{b} - 1 \right) \right] \tag{3-38}$$

ή πιο συντηρητικά

$$d_e = d_{e,c} = \frac{h^2}{b} \quad (3-39)$$

Σε κάμψη περί του ισχυρού άξονα:

Για $\frac{h}{b} \leq 1.36$:

$$d_e = d_{e,b,y} = \frac{b^2}{h} \quad (3-40)$$

για $\frac{h}{b} \geq 1.36$

$$d_e = d_{e,b,y} = 0.4 \frac{h^2}{b} \quad (3-41)$$

Σε κάμψη περί του ασθενή άξονα ή κάμψη και θλίψη περί του ασθενή άξονα:

$$d_e = d_{e,b,z} = \frac{h^2}{b} \quad (3-42)$$

Τα αντίστοιχα όρια κατάταξης διατομών που δίνονται για στους ανθρακούχους χάλυβες στον EN1993-1-1 φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα ^(α)						
				Άξονας κάμψης		
				Άξονας Κάμψης		
Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 72 \cdot \epsilon$	$c/t \leq 28 \cdot \epsilon$	όταν $a > 0,5$: $c/t \leq \frac{126 \cdot \epsilon}{5,5 \cdot a - 1}$ όταν $a \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36 \cdot \epsilon}{a}$			
2	$c/t \leq 83 \cdot \epsilon$	$c/t \leq 34 \cdot \epsilon$	όταν $a > 0,5$: $c/t \leq \frac{188 \cdot \epsilon}{6,53 \cdot a - 1}$ όταν $a \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5 \cdot \epsilon}{a}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 121 \cdot \epsilon$	$c/t \leq 38 \cdot \epsilon$	$\psi > -1$: $c/t \leq \frac{38 \cdot \epsilon}{0,608 + 0,343 \cdot \psi + 0,049 \cdot \psi^2}$ $\psi \leq -1^{(β)}$: $c/t \leq 60,5 \cdot \epsilon \cdot (1 - \psi)$			
$\epsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

^a Για κοίλες ορθογωνικές διατομές λαμβάνεται: $c = b - 3t$ ή $c = h - 3t$, ανάλογα τον άξονα κάμψης

^b $\psi \leq -1$ η θλιπτική τάση $\sigma_{com,Ed} = f_y$ εφαρμόζεται όπου η εφελκυστική παραμόρφωση είναι $\epsilon_t > \frac{f_y}{E}$

Πίνακας 3-12: Κατάταξη εσωτερικών τμημάτων διατομής κοινού χάλυβα (EN1993-1-1 5.5)

Προεξέχοντα πέλματα						
		Ελατές διατομές		Συγκολλητές διατομές		
Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη				
		Άκρο σε θλίψη		Άκρο σε εφελκυσμό		
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 9 \cdot \epsilon$	$c/t \leq \frac{9 \cdot \epsilon}{a}$	$c/t \leq \frac{9 \cdot \epsilon}{a \cdot \sqrt{a}}$	$c/t \leq \frac{9 \cdot \epsilon}{a \cdot \sqrt{a}}$	$c/t \leq \frac{9 \cdot \epsilon}{a \cdot \sqrt{a}}$	
2	$c/t \leq 10 \cdot \epsilon$	$c/t \leq \frac{10 \cdot \epsilon}{a}$	$c/t \leq \frac{10 \cdot \epsilon}{a}$	$c/t \leq \frac{10 \cdot \epsilon}{a \cdot \sqrt{a}}$	$c/t \leq \frac{10 \cdot \epsilon}{a \cdot \sqrt{a}}$	
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 14 \cdot \epsilon$	$c/t \leq 21 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_0}$ Για k_0 βλέπε EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Πίνακας 3-13: Κατάταξη προεξέχοντων τμημάτων/πελμάτων διατομής κοινού χάλυβα (EN1993-1-1 5.5)

Γωνιακά	
Αναφορά επίσης στα "Προεξέχοντα πέλματα" (βλέπε Πίν. 5.2β)	<p>Δεν ισχύει για γωνιακά σε συνεχή επαφή με άλλα στοιχεία</p>
Κατηγορία	Διατομή σε θλίψη
Κατανομή τάσεων στη διατομή (θλίψη θετική)	
3	$h/t \leq 15 \cdot \epsilon$ και $\frac{b+h}{2 \cdot t} \leq 11,5 \cdot \epsilon$

Πίνακας 3-14: Κατάταξη γωνιακών διατομών κοινού χάλυβα (EN1993-1-1 5.5)

Κοίλες κυκλικές και ελλειπτικές διατομές						
Κατηγορία	Διατομή σε θλίψη	Διατομή σε κάμψη	Διατομή σε κάμψη και θλίψη			
1	$d_e / t \leq 50 \cdot \epsilon^2$	$d_e / t \leq 50 \cdot \epsilon^2$	$d_e / t \leq 50 \cdot \epsilon^2$			
2	$d_e / t \leq 70 \cdot \epsilon^2$	$d_e / t \leq 70 \cdot \epsilon^2$	$d_e / t \leq 70 \cdot \epsilon^2$			
3	$d_e / t \leq 90 \cdot \epsilon^2$	$d_e / t \leq 140 \cdot \epsilon^2$	$d_e / t \leq 2520 \cdot \epsilon^2 / (5 \cdot \psi + 23)$			
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: Για διατομές κατηγορίας 4 βλέπε EN 1993-1-6.						
Για κυκλικές διατομές λαμβάνεται $d_e = d$.						
Για ελλειπτικές διατομές ισχύουν ειδικές διατάξεις. Για θλίψη, συντηρητικά λαμβάνεται $d_e = h^2/b$.						
$\epsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ϵ^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Πίνακας 3-15: Κατάταξη κοίλων κυκλικών και ελλειπτικών διατομών κοινού χάλυβα (EN1993-1-1 5.5)

Συγκριτικά:

Για τα τμήματα του κορμού της διατομής που υπόκεινται σε κάμψη δεν υπάρχει διαφορά για το όριο κατάταξης του κορμού σε κατηγορία 1. Στην κατάταξη του κορμού στην κατηγορία 2 η διαφορά είναι πως το όριο για τους ανοξειδωτους χάλυβες είναι $\frac{c}{t} \leq 76\epsilon$ έναντι $\frac{c}{t} \leq 83\epsilon$ των κοινών χαλύβων. Στην κατάταξη για την κατηγορία 3 είναι $\frac{c}{t} \leq 87\epsilon$ για συγκολλητές διατομές ανοξειδωτου χάλυβα και $\frac{c}{t} \leq 99\epsilon$ για άλλη περίπτωση, και για διατομές κοινού χάλυβα είναι $\frac{c}{t} \leq 121\epsilon$. Όταν ο κορμός υπόκειται σε θλίψη βλέπουμε πως για τις διατομές ανοξειδωτου χάλυβα πως το όριο είναι $\frac{c}{t} \leq 33\epsilon$ ενώ για τους ανθρακούχους χάλυβες είναι $\frac{c}{t} \leq 28\epsilon$ για την κατηγορία 1. Για την κατηγορία 2 οι ανοξειδωτοι χάλυβες έχουν όριο κατάταξης $\frac{c}{t} \leq 35\epsilon$ και οι ανθρακικοί χάλυβες $\frac{c}{t} \leq 34\epsilon$. Στην κατηγορία 3 τα όρια είναι είναι $\frac{c}{t} \leq 35,4\epsilon$ για συγκολλητές διατομές ανοξειδωτου χάλυβα και $\frac{c}{t} \leq 37\epsilon$ για άλλη περίπτωση, και για διατομές κοινού χάλυβα είναι $\frac{c}{t} \leq 38\epsilon$. Τέλος, όταν ο κορμός υπόκειται σε κάμψη και θλίψη τα όρια καθορίζονται ανάλογα με την τιμή του a_c (ή a για τους χάλυβες του EN1993-1-1). Στην κατηγορία 1 όταν $a_c > 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{396\epsilon}{13a_c - 1}$ και όταν $a_c \leq 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{36\epsilon}{a_c}$ για τους ανοξειδωτους χάλυβες και όσον αφορά τους ανθρακούχους χάλυβες όταν $a > 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{126\epsilon}{5,5a - 1}$ και όταν $a \leq 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{36\epsilon}{a}$, ίδιο δηλαδή με τους ανοξειδωτους χάλυβες. Στην κατηγορία 2 όταν $a_c > 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{420\epsilon}{13a_c - 1}$ και όταν $a_c \leq 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{38\epsilon}{a_c}$ για τους ανοξειδωτους χάλυβες και όσον αφορά τους ανθρακούχους χάλυβες όταν $a > 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{188\epsilon}{6,53a - 1}$ και όταν $a \leq 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{41,5\epsilon}{a}$. Κλείνοντας, για την κατηγορία 3 η κατάταξη και τα όρια εξαρτώνται από την τιμή του συντελεστή ψ . Όσον αφορά τους ανοξειδωτους χάλυβες όταν $\psi > -1$: $\frac{c}{t} \leq \frac{35,4\epsilon}{0,71 + 0,296\psi + 0,006\psi^2}$ και όταν $\psi \leq -1$: $\frac{c}{t} \leq 43,5\epsilon(1 - \psi)$ για συγκολλητή διατομή και όταν $\psi > -1$: $\frac{c}{t} \leq \frac{37\epsilon}{0,678 + 0,318\psi + 0,012\psi^2}$ και όταν $\psi \leq -1$: $\frac{c}{t} \leq 49\epsilon(1 - \psi)$ για οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, για τους ανοξειδωτους χάλυβες και όσον αφορά τους ανθρακούχους χάλυβες όταν $\psi > -1$: $\frac{c}{t} \leq \frac{38\epsilon}{0,608 + 0,343\psi + 0,049\psi^2}$ και όταν $\psi \leq -1$:

$$\frac{c}{t} \leq 49\varepsilon(1 - \psi).$$

Για τα πέλματα της διατομής που υπόκεινται σε κάμψη δεν υπάρχει διαφορά για το όριο κατάταξης του κορμού σε κατηγορίες 1 και 2. Η διαφορές που υπάρχουν σχετίζονται μόνο με την κατάταξη των πελμάτων στην κατηγορία 3. Για τους ανοξειδωτους χάλυβες υπάρχει κατηγοριοποίηση σε συγκολλητές και άλλες διατομές όπου τα όρια είναι $\frac{c}{t} \leq 11.5\varepsilon$ και $\frac{c}{t} \leq 14\varepsilon$ αντίστοιχα για άκρα που υπόκεινται σε θλίψη, καθώς και $\frac{c}{t} \leq 17\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$, $\frac{c}{t} \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ με το k_σ να υπολογίζεται από τον EN1993-1-5 για κάμψη και θλίψη. Οι κοινοί χάλυβες, στον αντίποδα, έχουν όρια $\frac{c}{t} \leq 11.5\varepsilon$ για πέλματα σε θλίψη και $\frac{c}{t} \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ με το k_σ να υπολογίζεται από τον EN1993-1-5 για κάμψη και θλίψη.

Τέλος, παρατηρούμε ότι για ανοιχτές γωνιακές διατομές, αλλά και για κοίλες κυκλικές ή ελλειπτικές δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές στα όρια κατάταξης, παραμόνο κατά την κατάταξη των κοίλων κυκλικών και ελλειπτικών διατομών σε κατηγορία 3 υπό κάμψη/ κάμψη και θλίψη. Εκεί, ενώ τα όρια κατάταξης για διατομές ανοξειδωτου χάλυβα από τον EN1993-1-4 είναι $\frac{d_e}{t} \leq 280\varepsilon^2$ και $\frac{d_e}{t} \leq \frac{5040\varepsilon^2}{19\psi+37}$ αντίστοιχα για κάμψη και συνδυασμό κάμψης/θλίψης, τα όρια του EN1993-1-1 είναι $\frac{d_e}{t} \leq 140\varepsilon^2$ και $\frac{d_e}{t} \leq \frac{2520\varepsilon^2}{5\psi+23}$.

3.4.2 Οριακή κατάσταση αστοχίας

3.4.2.1 Γενικά

Κατά τον σχεδιασμό και την διαστασιολόγηση μελών και διατομών από ανοξειδωτο χάλυβα ή από ανθρακούχο χάλυβα, χρησιμοποιούνται επιμέρους συντελεστές για διαφορετικά είδη αντοχών. Πιο συγκεκριμένα:

- αντοχή διατομών (όποιας κατηγορίας): γ_{M0}
- αντοχή μελών έναντι αστάθειας, κατά τον έλεγχο μελών: γ_{M1}
- αντοχή των διατομών σε θραύση: γ_{M2}
- αντίσταση συγκολλήσεων και κοχλιώσεων: γ_{M2}
- αντίσταση ολίσθησης: γ_{M3} και $\gamma_{M3,ser}$ για λειτουργικότητα

Για τις οριακές καταστάσεις σχεδιασμού κάποιοι από τους συντελεστές απομείωσης των αντοχών διαφοροποιούνται. Οι συντελεστές γ_{M0} και γ_{M1} για τον ανοξειδωτο χάλυβα είναι ίσοι με 1.10 ενώ οι αντίστοιχοι για τον κοινό ανθρακούχο χάλυβα είναι 1.00. Οι υπόλοιποι συντελεστές δεν διαφοροποιούνται.

Κατά την επιλογή της κατάλληλης διατομής και τον υπολογισμό των αντοχών της, οφείλουμε να λάβουμε υπόψιν την απομείωση των αντοχών για τις διατομές κατηγορίας 4 λόγω των φαινομένων τοπικού λυγισμού. Ο EN1993-1-4 προβλέπει την απομείωση αυτή μέσω υπολογισμού ενός ενεργού πλάτους και κατ' επέκταση μια ενεργής επιφάνειας της διατομής. Η απομείωση λαμβάνεται υπόψιν από έναν συντελεστή απομείωσης ρ που διαφοροποιείται ανάλογα με το μέλος της διατομής που θλίβεται, κορμός ή πέλματα, και ανάλογα με το αν η διατομή είναι συγκολλητή ή όχι. Ο συντελεστής υπολογίζεται ως εξής:

Για συγκολλητές διατομές:

Για τον κορμό:

$$\rho = 1.0 \text{ για } \bar{\lambda}_p \leq 0.328 + \sqrt{0.100 - 0.003\psi} \quad (3-43)$$

$$\rho = \frac{0.655\bar{\lambda}_p - 0.003(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1.0 \quad (3-44)$$

$$\text{για } \bar{\lambda}_p > 0.328 + \sqrt{0.100 - 0.003\psi}$$

Για τα πέλματα:

$$\rho = 1 \text{ για } \bar{\lambda}_p \leq 0.639 \quad (3-45)$$

$$\rho = \frac{0.655\bar{\lambda}_p - 0.01}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1.0 \text{ για } \bar{\lambda}_p > 0.639 \quad (3-46)$$

Για άλλες διατομές:

Για τον κορμό:

$$\rho = 1 \text{ για } \bar{\lambda}_p \leq 0.386 + \sqrt{0.089 - 0.02\psi} \quad (3-47)$$

$$\rho = \frac{0.772\bar{\lambda}_p - 0.02(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1.0 \quad (3-48)$$

$$\text{για } \bar{\lambda}_p > 0.386 + \sqrt{0.089 - 0.02\psi}$$

Για τα πέλματα:

$$\rho = 1.0 \text{ για } \bar{\lambda}_p \leq 0.748 \quad (3-49)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1 \text{ για } \bar{\lambda}_p > 0.748 \quad (3-50)$$

Όπου $\bar{\lambda}_p$ είναι η λυγηρότητα του μέλους από την εξίσωση (3-51)

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,p}}} = \frac{\bar{b}}{t} \quad (3-51)$$

ψ είναι ο λόγος των τάσεων από EN1993-1-5

\bar{b} το κατάλληλο πλάτος που θα ληφθεί από τους πίνακες κατάταξης διατομών

k_σ συντελεστής λυγισμού από τον EN1993-1-5

t το πάχος μέλους

$\sigma_{cr,p}$ η κρίσιμη ελαστική τάση λυγισμού μέλους

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Για κυκλικές και ελλειπτικές κοίλες διατομές που κατατάσσονται στην κατηγορία 4, υπολογίζεται μια ενεργός διατομή μέσω τις εξ. 3-52:

$$A_{net} = A \sqrt{\frac{90\varepsilon^2}{d_e/t}} \text{ για } \frac{d_e}{t} \leq 250\varepsilon^2 \quad (3-52)$$

3.4.2.2 ΕΛΕΓΧΟΙ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Οι έλεγχοι διατομής σε θλίψη, κάμψη, εφελκυσμό, δεν διαφέρουν μεταξύ τους, παρά μόνο όσον αφορά τους συντελεστές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για τον υπολογισμό της αντοχής και τον έλεγχο μιας διατομής από ανοξείδωτο χάλυβα, χρησιμοποιούνται οι έλεγχοι που γίνονται και για τις διατομές από ανθρακούχο χάλυβα στον EN1993-1-1 και συγκεκριμένα στις παραγράφους 8.2.1, 8.2.3, 8.2.4, 8.2.5, 8.2.6, 8.2.7, 8.2.8, 8.2.9 αλλά και EN1993-1-3, EN1993-1-5.

Όμως, στον EN1993-1-4 κατά τον έλεγχο κάμψης η σχέση υπολογισμού της αντοχής έναντι κάμψης χρησιμοποιεί το όριο f_{ya} έναντι του κοινού ορίου διατομής f_y , για διατομές υπό ψυχρή έλαση. Στο θέμα της διάτμησης, ο EN1993-1-4 επιλέγει τη μικρότερη από τις αντοχές που δίνονται στο EN1993-1-1 και EN1993-1-5. Η δεύτερη λαμβάνει υπόψιν την ξεχωριστή συμβολή των μελών μιας διατομής καθώς και την λυγηρότητα του κορμού θεσπίζοντας έναν συντελεστή απομείωσης της αντοχής χ_w . Σημαντική λεπτομέρεια του EN1993-1-4 είναι πως όταν ο κορμός μιας διατομής που δεν είναι ενισχυμένος έχει λόγο $\frac{h_w}{t} \geq \frac{56.2\varepsilon}{\eta}$ (με h_w το ύψος του κορμού, $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$, $\eta = 1.20$) ή λόγο $\frac{h_w}{t} \geq \frac{24.3\varepsilon}{\eta} \sqrt{k_\tau}$ (με k_τ από τον EN1993-1-5) τότε θα πρέπει να ελέγχεται και για λυγισμό λόγω διάτμησης. Ο συντελεστής χ_w βρίσκεται μέσω του πίνακα 3-15:

Πίνακας 3-16: Μειωτικός συντελεστής χ_w λόγω λυγισμού κορμού από διάτμηση (EN1993-1-4 8.2.5)

	Πλαίσια χωρίς άκαμπτη ενίσχυση στο πέρας της γεωμετρίας των δοκών	Άλλη περίπτωση (μεσαία πλαίσια ή ακραία με άκαμπτη ενίσχυση)
$\bar{\lambda}_w \leq 0.65/\eta$	η	η
$0.65/\eta < \bar{\lambda}_w < 0.65$	$0.65/\bar{\lambda}_w$	$\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 0.65$	$1.19/(0.54 + \bar{\lambda}_w)$	$1.56/(0.91 + \bar{\lambda}_w)$

Η αντίστοιχη αντοχή διατομών από ανοξείδωτους χάλυβες για δράσεις εγκάρσιων δυνάμεων υπολογίζεται με βάση τις διατάξεις του EN1993-1-5 και την εξίσωση 8.2, χρησιμοποιώντας όμως τους ανάλογους συντελεστές a_{F0} και $\bar{\lambda}_{F0}$ που δίνονται από τον πίνακα 3-16 με βάση του είδος του κράματος.

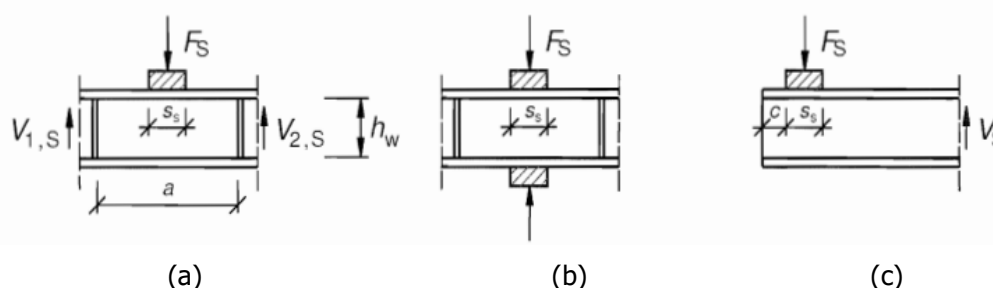
Πίνακας 3-17: Συντελεστές a_{F0} και $\bar{\lambda}_{F0}$ για την αντοχή διατομής σε εγκάρσιες δυνάμεις (EN1993-1-4 8.2.6)

Τύπος Φορτίο υ	Ωστενιτικός και Διπλός Ανοξειδωτός Χάλυβας		Φερριτικός Ανοξειδωτός Χάλυβας	
	a_{F0}	$\bar{\lambda}_{F0}$	a_{F0}	$\bar{\lambda}_{F0}$
Τύπος (a)	0.60	0.60	0.30	0.65
Τύπος (b)				
Τύπος (c)	0.75	0.50	0.75	0.50

Όπου οι τύποι φόρτισης δίνονται από τον EN1993-1-5 παράγραφος 8.1(2) ως εξής:

- Μέσω των πελμάτων και η διάτμηση να βρίσκει αντίσταση στον κορμό
- Μέσω ενός πέλματος και του κορμού να περνά στο απέναντι πέλμα
- Μέσω ενός πέλματος κοντά σε εύκαμπτο άκρο

Και φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 3-7: Τύποι φόρτισης (a), (b), (c) (EN1993-1-4 8.2.6)

Οι εγκάρσιες ενισχύσεις κορμού και οι έλεγχοι τους ακολουθούν και αυτοί τις διατάξεις του EN1993-1-5, μόνο που σε έλεγχο λυγισμού πέραν από την διατομή της ενίσχυσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και ένα επιπλέον μήκος της τάξεως $11.5\epsilon t_w$ σε κάθε πλευρά της ενίσχυσης. Στα άκρα του μέλους το πλάτος που συνεισφέρει στην δυσκαμψία είναι το $11.5\epsilon t_w$ ή το πλάτος της ενίσχυσης, όποιο είναι μικρότερο.

3.4.2.3 Έλεγχος Μέλους

Οι διατάξεις του παραρτήματος EN1993-1-1 για τον έλεγχο και διαστασιολόγηση μέλους σε καμπτικό ή στρεπτοκαμπτικό λυγισμό είναι επαρκείς, όμως πρέπει να τροποποιηθούν οι συντελεστές καταλλήλως ώστε να είναι εφαρμόσιμες για τον ανοξειδωτο χάλυβα. Οι λυγηρότητες, οι συντελεστές λυγισμού και ατελειών καθώς και οι καμπύλες λυγισμού είναι ξεχωριστές ανάλογα με το κράμα του χάλυβα (Ωστενιτικός, Φερριτικός, Διπλός), αλλά και ανάλογα με τον τρόπο διεργασίας-παραγωγής της διατομής, ήτοι με ψυχρή έλαση, κατεργασία εν θερμώ κ.α. Όπως ακριβώς στον EN1993-1-1 έτσι και στον EN1993-1-4 για τον συντελεστή λυγισμού μέλους ισχύει σύμφωνα με την εξ. (3-53) πως:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{αλλά } \chi \leq 1.0 \quad (3-53)$$

όπου

$$\Phi = 0.5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) \quad (3-54)$$

α είναι συντελεστής ατελειών και

$\bar{\lambda}_0$ η οριακή ανηγμένη λυγηρότητα, που δίνονται από πίνακα παραπάνω

Η ανηγμένη λυγηρότητα δίνεται:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr}}}$$

όπου

N_{cr} η κρίσιμη ελαστική δύναμη της σχετικής μορφής λυγισμού ανάλογα με τις ιδιότητες της διατομής:

$$N_{cr} = N_{cr,y} \quad \text{για ελαστικό καμπτικό λυγισμό περί του ισχυρού άξονα, δίνει } \bar{\lambda}_y$$

$$N_{cr} = N_{cr,z} \quad \text{για ελαστικό καμπτικό λυγισμό περί του ασθενή άξονα, δίνει } \bar{\lambda}_z$$

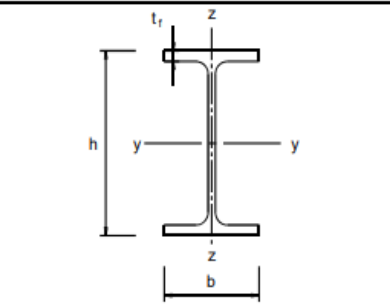
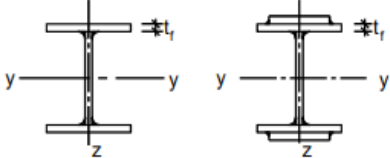
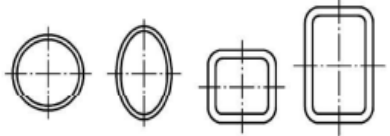
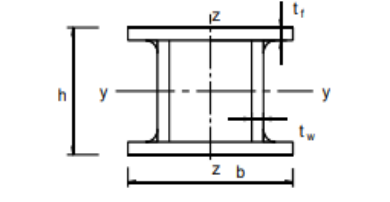
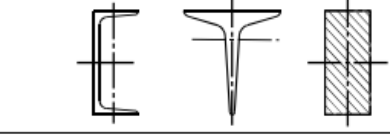
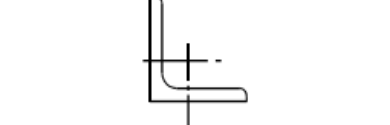
$$N_{cr} = N_{cr,T} \quad \text{για στρεπτικό λυγισμό, δίνει } \bar{\lambda}_T$$

$$N_{cr} = N_{cr,TF} \quad \text{για ελαστικό στρεπτοκαμπτικό λυγισμό περί του άξονα } \gamma\text{-}\gamma, \text{ δίνει } \bar{\lambda}_{TF}$$

N_{Rk} η χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη

Σημειώνεται πως εάν $\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0$ τότε αγνοούνται τα φαινόμενα του λυγισμού και οι έλεγχοι στους οποίου περιοριζόμαστε είναι αυτοί σε επίπεδο διατομής.

Ο συντελεστής ατελειών α διαφοροποιείται στον EN1993-1-1 αφού εξαρτάται από τον τύπο καμπύλης λυγισμού που ακολουθεί η κάθε διατομή. Η καμπύλη λυγισμού που ακολουθεί η κάθε διατομή επιλέγεται με βάση τα κριτήρια του παρακάτω πίνακα:

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού	
			S235 S275 S355 S420	S460 έως και S700
 Ελατές διατομές	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	a
			z-z	b
	$h/b \leq 1,2$	$t_f > 40 \text{ mm}$ $t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b
			z-z	c
	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b	
		z-z	c	
	$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y	d	
		z-z	d	
 Συγκολλητές I-διατομές	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	b	
		z-z	c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y	c	
		z-z	d	
 Κοίλες Διατομές	Εν θερμώ έλαση	Κάθε	a	
	Ψυχρή έλαση	Κάθε	c	
 Συγκολλητές κιβωτιοειδείς διατομές	Γενικά (εκτός των κατωτέρω)	Κάθε	b	
	Μεγάλα πάχη ραφής: $a > 0,5 \cdot t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Κάθε	c	
 U-, T- και συμπαγείς διατομές		Κάθε	c	
 L-διατομές	Ελατές	Κάθε	b	
	Συγκολλητές	Κάθε	c	

Πίνακας 3-18: Καμπύλες λυγισμού ανάλογα με το είδος διατομής για κοινό χάλυβα (EN1993-1-1 6.3.1)

Και αναλόγως με την καμπύλη λυγισμού ο συντελεστής ατελειών είναι:

Πίνακας 3-19: Συντελεστής ατελειών α (EN1993-1-1 6.3.1)

Καμπύλη λυγισμού	a ₀	a	b	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

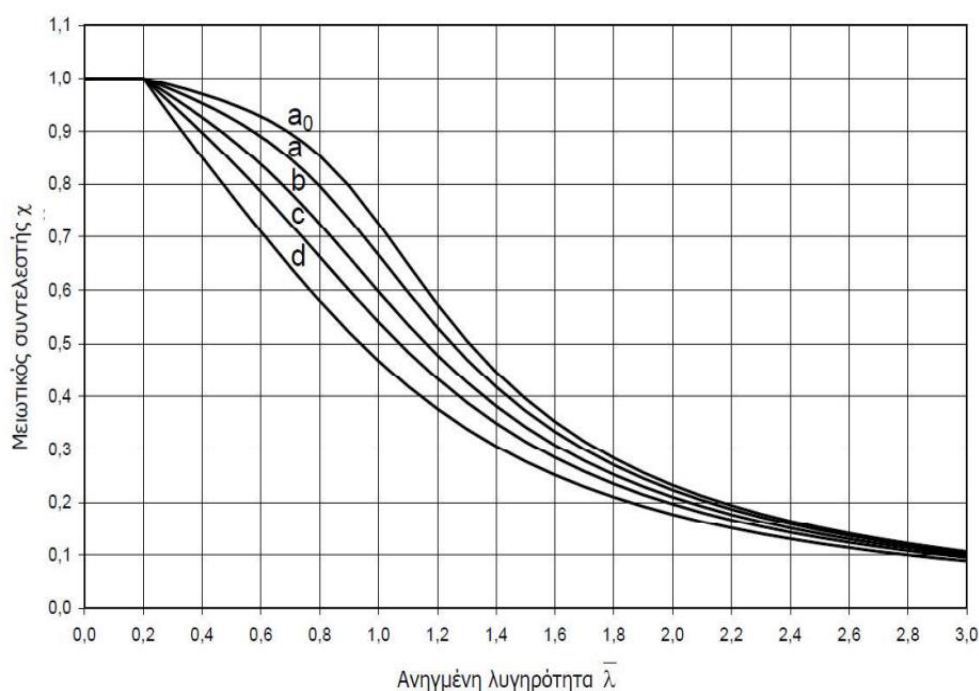
Για τον υπολογισμό της ανηγμένης λυγηρότητας ισχύει:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{για κατηγορίες 1, 2, 3} \quad (3-55)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{\sqrt{A_{eff}/A}}{\lambda_1} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4} \quad (3-56)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2} \quad \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9\varepsilon \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad i = \sqrt{I/A}$$

Και με την γραφική μέθοδο ο συντελεστής λυγισμού υπολογίζεται από το παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 3.8: Διάγραμμα υπολογισμού μειωτικού συντελεστή χ (EN1993-1-1 6.3.1)

ΣΤΡΕΠΤΟΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΛΥΓΙΣΜΟΣ-ΠΛΕΥΡΙΚΟΣ

Κατά τον στρεπτοκαμπτικό λυγισμό το μέλος χάνει την ευστάθειά του λόγω αξονικού φορτίου με ταυτόχρονη δράση στρεπτικών και καμπτικών δυνάμεων. Όλες οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως για τον καμπτικό λυγισμό χρησιμοποιούνται και σε αυτήν την περίπτωση. Με την κατάλληλη ονομασία των μεταβλητών, χ_T είναι ο συντελεστής στρεπτικού λυγισμού και χ_{LT} ο συντελεστής στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Επιπλέον, οι ανηγμένες λυγηρότητες $\bar{\lambda}$ αντικαθίστανται με $\bar{\lambda}_T$ και $\bar{\lambda}_{LT}$ αντίστοιχα.

Η εξίσωση υπολογισμού του συντελεστή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού στο παράρτημα EN1993-1-4 δεν διαφέρει πολύ από το EN1993-1-1, μόνο που στο πρώτο υπάρχει ένας επιπλέον συντελεστής όπου εισάγει στον υπολογισμό και την κατανομή των καμπτικών ροπών μεταξύ δυο στηρίξεων του μέλους

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} \quad (3-57)$$

$$\bar{\lambda}_0 = 0.2$$

$a = 0.34$ για διατομές ψυχρής έλασης και κοίλες (συγκολλητές και μη)

$= 0.76$ για συγκολλητές ανοιχτές διατομές ή διατομές που δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα από δοκιμές

όπου:

M_{cr} η ελαστική κρίσιμη ροπή για πλευρικό στρεπτικό λυγισμό

M_{Rk} η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής σε κάμψη

Σε αμφιέρειστα μέλη με διατομές I ή H ο συντελεστής μείωσης του πλευρικού λυγισμού είναι κατά την εξ. (3-58):

$$\chi_{LT} = \frac{f_M}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - f_M \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{αλλά } \chi_{LT} \leq 1.0 \quad (3-58)$$

όπου:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + f_M \left(\left(\frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\bar{\lambda}_z} \right)^2 a_{LT} (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \right] \quad (3-59)$$









a_{LT} ο συντελεστής ατελειών όπως λαμβάνεται από πίνακα παρακάτω

$\bar{\lambda}_z$ η αντίστοιχη ανηγμένη λυγηρότητα για καμπτικό λυγισμό περί του ασθενή άξονα με μήκος λυγισμού $L_{cr,z}$ που καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ δυο πλευρικών εξασφαλίσεων

f_M ο συντελεστής που λαμβάνει υπόψιν του την επιρροή της κατανομής της ροπής κάμψης μεταξύ των εξασφαλίσεων. Συντηρητικά λαμβάνεται ως 1.0 σε περίπτωση που δεν μπορεί να υπολογιστεί από τα διαγράμματα των πινάκων 8.6 του EN1993-1-1.

$$f_M = 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[1 - 2.0 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2 \right] \leq 1.0 \quad (3-60)$$

Πίνακας 3-20: Διορθωτικός συντελεστής k_c για ελατές και ισοδύναμες συγκολλητές διατομές (EN1993-1-1 6.3.2.2)

Κατανομή Ροπής	k_c
 $\psi = 1$	1.0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1.33 - 0.33\psi}$
	0.94
	0.90
	0.91
	0.86
	0.77
	0.82

Στον ανοξείδωτο χάλυβα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο συντελεστής ατελειών α_{LT} δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από τα ελαστικές ροπές αντίστασης διατομής, αλλά και προφανώς από το είδος του κράματος που χρησιμοποιείται σύμφωνα με τον πίνακα.

Πίνακας 3-21: Συντελεστής ατελειών α_{LT} στρεπτοκαμπτικό λυγισμό (EN1993-1-4 8.3.3.1)

Κατηγορία Χάλυβα	Συντελεστής Ατελειών α_{LT}
Ωστενιτικός	$0.31 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$ αλλά $\alpha_{LT} \leq 1.10$
Διπλός	$0.23 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$ αλλά $\alpha_{LT} \leq 0.76$
Φερριτικός	$0.27 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$ αλλά $\alpha_{LT} \leq 0.76$

Συγκριτικά, ο EN1993-1-1 για τα μέλη από ανθρακούχο χάλυβα έχει ελαφρώς διαφοροποιημένες εξισώσεις:

$$\chi_{LT} = \frac{f_M}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - f_M \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{αλλά } \chi_{LT} \leq \left\{ 1.0; \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \right\} \quad (3-61)$$

όπου:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + a_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.4) + 0.75 \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (3-62)$$

και ο συντελεστής ατελειών a_{LT} λαμβάνεται ανάλογα με την καμπύλη λυγισμού που προκύπτει από τον πίνακα 3-21

Πίνακας 3-21: Καμπύλες λυγισμού ανάλογα με τον λόγο των διαστάσεων διατομής (EN1993-1-1 6.2.3.2)

Διατομή	Όρια	Καμπύλη Λυγισμού
Ελατές διατομές I	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Συγκολλητές διατομές I	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Άλλες διατομές	-	d

Ενώ για να ληφθεί και εδώ υπόψιν η κατανομή της ροπής ανάμεσα στις στηρίξεις ο χ_{LT} απομειώνεται ως εξής:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \leq 1.0$$

όπου ο συντελεστής f υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο με τον συντελεστή f_M των ανοξειδωτων χαλύβων

ΑΝΤΟΧΗ ΜΕΛΟΥΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΘΛΙΨΗ

Ο έλεγχος μέλους υπό την ταυτόχρονη δράση κάμψης και θλιπτικής δύναμης γίνεται με τη χρήση των εξ. (3-63) και (3-64) κατά τον EN1993-1-1 παράγραφος 8.3.3 τόσο για μέλη από ανθρακούχους χάλυβες όσο και για μέλη από ανοξειδωτους χάλυβες:

$$\frac{N_{Ed}}{x_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0 \quad (3-63)$$

$$\frac{N_{Ed}}{x_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0 \quad (3-64)$$

Οι συντελεστές k_{yy} , k_{zz} , k_{zy} για τον έλεγχο του μέλους σταθερής διατομής σε συνδυασμένη κάμψη και θλίψη, σαφώς υπολογίζονται με παρόμοιο τρόπο όπως στους κοινούς δομικούς χάλυβες. Όμως, υπάρχουν διαφοροποιήσεις στους συντελεστές της κάθε φόρμουλας, ενώ παράλληλα είναι διαφορετικά τα όρια της λυγηρότητας. Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί πως οι συντελεστές είναι διαφορετικοί για κάθε είδους διατομής αλλά και διαφοροποιούνται αναλόγως εάν μιλάμε για ωστενιτικό, φερριτικό ή διπλό ανοξειδωτο χάλυβα. Οι πίνακες 3-22 και 3-23 δίνουν ακριβώς τον τρόπο υπολογισμού τους.

Πίνακας 3-22: Συντελεστές k_{yy} , k_{yz} (EN1993-1-4 8.3)

Austenitic	Duplex	Ferritic
I-sections		
For $\bar{\lambda}_y < 1,0$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_y - 0,35)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_y - 0,30)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,60(\bar{\lambda}_y - 0,35)n_y]$
For $\bar{\lambda}_y \geq 1,0$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,625n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 2,00n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,52n_y)$
$k_{yz} = k_{zz}$ (for k_{zz} see Table 8.6)		
Rectangular hollow sections and welded box sections		
For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_y - 0,30)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,4$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,50(\bar{\lambda}_y - 0,40)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,6$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,30(\bar{\lambda}_y - 0,45)n_y]$
For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 2,00n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,4$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,5n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,6$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,495n_y)$
$k_{yz} = k_{zz}$ (for k_{zz} see Table 8.6)		
Circular hollow sections		
For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_y - 0,30)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_y - 0,38)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,90(\bar{\lambda}_y - 0,39)n_y]$
For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 2,50n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,84n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,805n_y)$
$k_{yz} = k_{yy}$		

Πίνακας 3-23: Συντελεστές k_{zz} , k_{zy} (EN1993-1-4 8.3)

Austenitic	Duplex	Ferritic
I-sections		
For $\bar{\lambda}_z < 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,2\bar{\lambda}_z n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	For $\bar{\lambda}_z < 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,2\bar{\lambda}_z n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	For $\bar{\lambda}_z < 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,2\bar{\lambda}_z n_z}{C_{mLT} - 0,4}$
For $\bar{\lambda}_z \geq 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,16n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	For $\bar{\lambda}_z \geq 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,16n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	For $\bar{\lambda}_z \geq 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,16n_z}{C_{mLT} - 0,4}$
For $\bar{\lambda}_z < 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,80(\bar{\lambda}_z - 0,50)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,70(\bar{\lambda}_z - 0,50)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,5$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,20(\bar{\lambda}_z - 0,50)n_z]$
For $\bar{\lambda}_z \geq 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,96n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,89n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,5$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,20n_z)$
Rectangular hollow sections and welded box sections		
$k_{zy} = k_{yy} \text{ (for } k_{yy} \text{ see Table 8.5)}$		
For $\bar{\lambda}_z < 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_z - 0,30)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,4$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 1,50(\bar{\lambda}_z - 0,40)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,6$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 1,30(\bar{\lambda}_z - 0,45)n_z]$
For $\bar{\lambda}_z \geq 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,00n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,4$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,50n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,6$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,495n_z)$
Circular hollow sections		
$k_{zz} = k_{zy} = k_{yy} \text{ (for } k_{yy} \text{ see Table 8.5)}$		
Cold-formed and hot rolled channels		
For $\bar{\lambda}_z < 0,9$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 5,00(\bar{\lambda}_z - 0,20)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_z - 0,40)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_z - 0,40)n_z]$
For $\bar{\lambda}_z \geq 0,9$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 3,50n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,25n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,25n_z)$

Ενώ από τον EN1993-1-1 οι αντίστοιχοι πίνακες 3-24, 3-25, 3-26 δίνουν τους συντελεστές ως εξής:


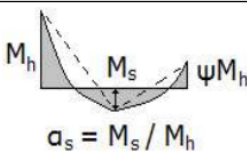
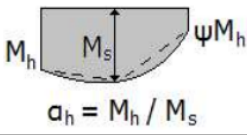
Πίνακας 3-24: Συντελεστές k_{yy} (EN1993-1-1 8.3.3)

Πλαστικές ιδιότητες διατομής Κατηγορία 1, 2 ή 3 (με ελαστοπλαστικό W_{ep})	Ελαστικές ιδιότητες διατομής Κατηγορία 3 (με W_{el}) ή 4
Για $\bar{\lambda}_y < 1,0$: $k_{yy} = C_{my} \cdot [1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot n_y]$	Για $\bar{\lambda}_y < 1,0$: $k_{yy} = C_{my} \cdot [1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot n_y]$
Για $\bar{\lambda}_y \geq 1,0$: $k_{yy} = C_{my} \cdot [1 + 0,8 \cdot n_y]$	Για $\bar{\lambda}_y \geq 1,0$: $k_{yy} = C_{my} \cdot [1 + 0,6 \cdot n_y]$
$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz}$ (βλ. Πίν. 8.8)	$k_{yz} = k_{zz}$ (βλ. Πίν. 8.8)

Πίνακας 3-25: Συντελεστές k_{zy}, k_{zz} (EN1993-1-1 8.3.3)

Συντελεστές αλληλεπίδρασης	Τύπος διατομών	Πλαστικές ιδιότητες διατομής Κατηγορία 1, 2 ή 3 (με ελαστοπλαστικό W_{ep})	Ελαστικές ιδιότητες διατομής Κατηγορία 3 (με W_{el}) ή 4
	μη ευπαθείς έναντι ΣΚΛ	$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$ (βλ. Πίν. 8.7)	$k_{zy} = 0,8 \cdot k_{yy}$ (βλ. Πίν. 8.7)
k_{zy}	ευπαθείς έναντι ΣΚΛ	Για $\bar{\lambda}_z < 1,0$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot n_z}{C_{mLT} - 0,25}$ Αλλά: $k_{zy} \leq 0,6 + \bar{\lambda}_z$ για $\bar{\lambda}_z < 0,4$ Για $\bar{\lambda}_z \geq 1,0$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot n_z}{C_{mLT} - 0,25}$	Για $\bar{\lambda}_z < 1,0$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot n_z}{C_{mLT} - 0,25}$ Για $\bar{\lambda}_z \geq 1,0$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,05 \cdot n_z}{C_{mLT} - 0,25}$
k_{zz}	διατομές I	Για $\bar{\lambda}_z < 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} \cdot [1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot n_z]$ Για $\bar{\lambda}_z \geq 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} \cdot (1 + 1,4 \cdot n_z)$	Για $\bar{\lambda}_z < 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} \cdot (1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot n_z)$
	κοίλες κυκλικές, ορθογωνικές ή ελλειπτικές διατομές	Για $\bar{\lambda}_z < 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} \cdot [1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot n_z]$ Για $\bar{\lambda}_z \geq 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} \cdot (1 + 0,8 \cdot n_z)$	Για $\bar{\lambda}_z \geq 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} \cdot (1 + 0,6 \cdot n_z)$

Πίνακας 3-26: Συντελεστές ισοδύναμης ροής C_m (EN1993-1-1 8.3.3)

Διάγραμμα ροής	Περιοχή		C_{my} και C_{mz} και C_{mLT}	
			Ομοιόμορφο φορτίο	Συγκεντρωμένο φορτίο
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$	
 $a_s = M_s / M_h$	$0 \leq a_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8 \cdot a_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8 \cdot a_s \geq 0,4$
	$-1 \leq a_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8 \cdot a_s \geq 0,4$	$-0,8 \cdot a_s \geq 0,4$
$-1 \leq \psi < 0$		$0,1 \cdot (1 - \psi) - 0,8 \cdot a_s \geq 0,4$	$-0,2 \cdot \psi - 0,8 \cdot a_s \geq 0,4$	
 $a_h = M_h / M_s$	$0 \leq a_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \cdot a_h$	$0,90 + 0,10 \cdot a_h$
	$-1 \leq a_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \cdot a_h$	$0,90 + 0,10 \cdot a_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05 \cdot a_h \cdot (1 + 2 \cdot \psi)$	$0,90 - 0,10 \cdot a_h \cdot (1 + 2 \cdot \psi)$
Για μέλη με λυγισμό από μετάθεση ο συντελεστής ισοδύναμης ομοιόμορφης ροής πρέπει να λαμβάνεται $C_{my} = 0,9$ ή $C_{mz} = 0,9$ αντίστοιχα.				
Τα C_{my} , C_{mz} και C_{mLT} πρέπει να λαμβάνονται σύμφωνα με το διάγραμμα ροών μεταξύ των αντίστοιχων πλευρικά στηριζόμενων σημείων ως εξής:				
συντελεστής ροής	άξονας κάμψης	σημεία εξασφαλιζόμενα κατά τη διεύθυνση		
C_{my}	γ-γ	z-z		
C_{mz}	z-z	γ-γ		
C_{mLT}	γ-γ	γ-γ		

Παρατηρούμε πως ο τρόπος υπολογισμού και οι εξισώσεις δεν διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους όσον αφορά τον υπολογισμό του συντελεστή k_{yy} παραμόνο σε κάποιους επιμέρους συντελεστές εντός της εξίσωσης αλλά και στα όρια λυγερότητας που υπάρχουν. Όμως, η κατηγοριοποίηση των εξισώσεων είναι διαφορετική, μιας και κατά τον EN1993-1-4 οι k_{yy} υπολογίζονται με βάση το κράμα, τη γεωμετρία αλλά και τον τρόπο κατεργασίας της διατομής, ενώ στον EN1993-1-1 η κατάταξη αρκείται μόνο στην κατηγοριοποίηση της διατομής σε μια εκ των τεσσάρων κατηγοριών. Όμοια παρατήρηση εξάγεται και για τους υπόλοιπους συντελεστές $k_{yz} = k_{zy}$ και k_{zz} . Επίσης, πρέπει να σημειωθεί πως:

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}, \quad n_z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}}$$

Τόσο για τις απαιτήσεις υπολογισμών του EN1993-1-4 όσο και του EN1993-1-1. Επίσης, οι συντελεστές C_{my} , C_{mz} , C_{mLT} υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο για κοινούς και ανοξειδωτους χάλυβες από τον πίνακα 8.9 του EN1993-1-1 που παρατέθηκε παραπάνω.

3.4.3 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Κατά την Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας πρέπει να εξασφαλίζεται η φυσιολογική λειτουργία του κτιρίου κατά την χρήση εντός φυσιολογικών πλαισίων, η άνεση των ανθρώπων καθώς και η ικανοποιητική εμφάνιση της κατασκευής (αποφυγή εκτεταμένων βελών κ.α.).

Για τον ανοξειδωτο χάλυβα, τα βέλη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας το εφραπτομενικό μέτρο δυσκαμψίας E_s που προκύπτει από τα επιμέρους μέτρα του πλέον θλιβόμενου και εφελκυσμένου

πέλματος της διατομής. Το μέτρο δυσκαμψίας αυτό, αλλάζει κατά μήκος του στοιχείου που ελέγχεται, οπότε λαμβάνουμε υπόψιν τη μικρότερη τιμή του.

$$E_{s,ser} = \frac{E_{s,1} + E_{s,2}}{2} \quad (3-65)$$

όπου

$E_{s,1}$ το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί στην τάση σ_1 της πλέον εφελκυσμένης ίνας

$E_{s,2}$ το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί στην τάση σ_2 της πλέον θλιβόμενης ίνας

Οι παραπάνω τιμές μπορούν να εκτιμηθούν χρησιμοποιώντας τις τάσεις σχεδιασμού σε λειτουργικότητα $\sigma_{i,Ed,ser}$.

$$E_{s,i} = \frac{E}{1 + \frac{0.002E}{\sigma_{i,Ed,ser}} \left(\frac{\sigma_{i,Ed,ser}}{f_y} \right)^n} \quad (3-66)$$

με $i = 1, 2$ και την τιμή του n από τον πίνακα 3-27 που ακολουθεί

Πίνακας 3-27: Συντελεστές n (EN1993-1-4 9.2)

Κατηγορία Χάλυβα	Συντελεστής n
Φερριτικός	14
Ωστενιτικός	7
Διπλός	8

Στο μέρος του Ευρωκώδικα EN1993-1-4 δεν δίνονται οριακές τιμές για τα βέλη ενός μέλους, όπως αντίστοιχα δίνονται στο EN1993-1-1 για μέλη ανθρακούχου χάλυβα. Επιπλέον, υπάρχει ένας μαθηματικός συντελεστής που λαμβάνεται υπόψιν για τον υπολογισμό των βελών, που σχετίζεται με το είδος του κράματος ανοξείδωτου χάλυβα όπου χρησιμοποιείται για το συγκεκριμένο μέλος και τη διατομή του. Για τους ανθρακούχους χάλυβες ο EN1993-1-1 δίνει οριακές τιμές οριζόντιων και κατακόρυφων παραμορφώσεων ανάλογα με το είδος του κτιρίου αλλά και το είδος του οριζόντιου μέλους.

Πίνακας 3-28: Όρια βελών (EN1993-1-1 πίνακας 4.1)

	Όρια	
	δ_{max}	δ_2
Στέγες (γενικά)	L/200	L/250
Στέγες που συχνά φέρουν προσωπικό άλλο από αυτό για συντήρηση	L/250	L/300
Πατώματα (γενικά)	L/250	L/300
Πατώματα και στέγες που υποστηρίζουν γύψινα ή άλλα ψαθυρά τελειώματα ή μη εύκαμπτα χωρίσματα	L/250	L/350
Πατώματα που υποστηρίζουν υποστυλώματα (εκτός εάν το βέλος κάμψης έχει ληφθεί υπ' όψη στην καθολική ανάλυση για τον προσδιορισμό της έσχατης οριακής κατάστασης)	L/400	L/500
Όπου το δ_{max} μπορεί να βλάψει την εμφάνιση του κτιρίου	L/250	

όπου

δ_{max} μέγιστη παραμόρφωση, λαμβάνοντας υπόψιν το αρχικό αρνητικό βέλος

δ_2 παραμόρφωση λόγω μεταβλητών δράσεων

4 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ

4.1 Διάβρωση

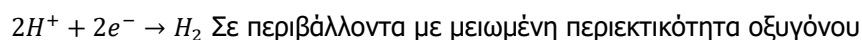
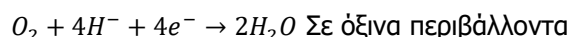
Ως διάβρωση ορίζουμε την σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητας ενός μετάλλου εξαιτίας συνεχών χημικών ή και ηλεκτροχημικών διεργασιών και αντιδράσεων του υλικού με το περιβάλλον. Η διάβρωση ενός υλικού, όταν είναι εκτεταμένη, έχει συνήθως καταστρεπτικά αποτελέσματα και μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε αχρήστευσή του. Τα περισσότερα μέταλλα υπόκεινται στο φαινόμενο της διάβρωσης λόγω της δράσης του ατμοσφαιρικού αέρα, του νερού της βροχής ή όξινου περιβάλλοντος. Η αυξημένη περιεκτικότητα του ανοξειδωτού χάλυβα σε χρώμιο, οδηγεί στην παθητικοποίησή του με τη δημιουργία μιας στρώσης οξειδίου του χρωμίου, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Μέσα από την διαδικασία της παθητικοποίησης, το χρώμιο στην επιφάνεια του υλικού οξειδώνεται, αυξάνοντας την αντοχή σε διάβρωση. Η αυτοεπισκευαζόμενη αυτή στρώση, ουσιαστικά, λειτουργεί ως μια μεμβράνη προστασίας για το υλικό παραγόμενη από την αντίδραση με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Το πάχος της είναι περίπου 1-3nm και όσο βρίσκεται προσκολλημένη στο μέταλλο, κάθε αντίδραση που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη διάβρωση του σταματάει. Όλοι οι τύποι διάβρωσης που μπορούν να προσβάλλουν τους ανοξειδωτους χάλυβες έχουν ως προϋπόθεση πως αυτή η μεμβράνη έχει καταστραφεί πλήρως ή μερικώς σε μια επιφάνεια του μετάλλου. Αυτό μπορεί να συμβεί σε ιδιαίτερα όξινα ή αλκαλικά περιβάλλοντα, όπου το αποτέλεσμα είναι ο ανοξειδωτος χάλυβας να διαβρωθεί όπως ακριβώς ένας κοινός ανθρακούχος δομικός χάλυβας.

Με τη διάτρηση αυτής της προστατευτικής μεμβράνης αρχίζει η διαδικασία της διάβρωσης του μετάλλου, μιας ηλεκτροχημικής διαδικασίας που απαιτεί ηλεκτρολύτη για να πραγματοποιηθεί. Ο ηλεκτρολύτης αυτός, είναι συνήθως το νερό των πόρων. Στην περιοχή της διάτρησης λαμβάνει χώρα η παρακάτω αντίδραση:



Η αντίδραση αυτή ονομάζεται άνοδος, και έχει ως παράγωγο την σκουριά, ή όποιο άλλο αποτέλεσμα μπορεί να έχει η διάβρωση ενός μετάλλου.

Στη συνέχεια, κατά την κάθοδο των ηλεκτρονίων παρουσιάζονται οι εξής αντιδράσεις:



Οι παραπάνω αντιδράσεις χαρακτηρίζονται ως υγρή διάβρωση. Στόχος του σχεδιασμού και της προστασίας έναντι σε διάβρωση είναι να αποτραπούν οι παραπάνω αντιδράσεις.

Η υγρή διάβρωση που παρατηρείται σε μέλη από ανοξειδωτο χάλυβα μπορεί να παρουσιάζεται με τους εξής τύπους:

4.1.1 Ομοιόμορφη Διάβρωση

Η ομοιόμορφη ή γενικευμένη διάβρωση είναι ο πιο συνήθης τύπος υγρής διάβρωσης, όμως όχι και ο πιο επικίνδυνος, αφού τα αποτελέσματά του είναι εύκολα προβλέψιμα και αντιληπτά με γυμνό μάτι και μπορούν εύκολα να επισκευασθούν. Παρουσιάζεται όταν η ταινία τριοξειδίου του χρωμίου διαρραγεί κάτω από περιβαλλοντικές συνθήκες που δεν επιτρέπουν την αυτοεπισκευή της. Οι συνθήκες αυτές προϋποθέτουν περιβάλλον αρκετά όξινο ή θερμό βασικό. Όταν συμβαίνει, έχει ως αποτέλεσμα να χάνεται μεγάλη επιφάνεια μετάλλου. Εκφράζεται ποσοτικά με έναν λόγο της μάζας του μετάλλου όπου χάνεται προς την επιφάνεια του ή προς μια μονάδα του χρόνου και γενικά εάν ο λόγος αυτός είναι μικρότερος από 0.1mm/έτος τότε η

διάβρωση δεν θεωρείται ότι επηρεάζει την ζωή και τη λειτουργικότητα του υλικού και ο ανοξειδωτος χάλυβας θεωρείται ανθεκτικός.

Πίνακας 4-1: Ενώσεις που προκαλούν ομοιόμορφη διάβρωση στους ανοξειδωτους χάλυβες

Ανόργανα Οξέα	Οργανικά Οξέα	Αλκαλικά Διαλύματα
Θειικό Οξύ (H_2SO_4)	Μεθανικό Οξύ ($HCOOH$)	Υδροξείδιο του Νατρίου ($NaOH$)
Φωσφορικό Οξύ (H_3PO_4)	Τρυγικό Οξύ	
Υδροχλωρικό Οξύ (HCl)	Αιθανικό Οξύ (CO_3COOH)	
Νιτρικό Οξύ (HNO_3)	Γαλακτικό Οξύ	

Ως γενικός κανόνας ισχύει πως, όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση του διαλύματος αλλά και η θερμοκρασία του, τόσο πιο γρήγορα παρουσιάζονται τα προβλήματα διάβρωσης. Η ομοιόμορφη διάβρωση μπορεί να καταστήσει άχρηστη μια πιο εκτεταμένη επιφάνεια μετάλλου μιας και η εκτιθέμενη επιφάνεια είναι εξ αρχής μεγαλύτερη.

4.1.2 Διάβρωση λόγω Στίλβωσης

Η διάβρωση λόγω στίλβωσης στα κράματα ανοξειδωτου χάλυβα είναι ουσιαστικά η απώλεια υλικού λόγω τριβής και μπορεί να παρουσιαστεί λόγω της ύπαρξης αιωρούμενων σωματιδίων σε υγρό που βρίσκεται σε επαφή με το μέταλλο. Αυτό συνήθως συμβαίνει σε ποταμούς ή σε παράκτιες περιοχές. Η επαφή με τέτοιου είδους σωματίδια μπορεί να αποφευχθεί με ειδικά φίλτρα, αν και η χρήση τους σε πολλές περιοχές και περιπτώσεις είναι πρακτικά αδύνατη.

4.1.3 Διάβρωση λόγω Ρηγμάτωσης

Η διάβρωση λόγω ρηγμάτωσης είναι ένα τοπικό φαινόμενο που πραγματοποιείται μόνο με την παρουσία υγρού διαλύματος που περιέχει χλωριούχα. Τέτοιες συνθήκες παρουσιάζονται σε παραθαλάσσιες κατασκευές, όπου είναι εμφανής η παρουσία του αλμυρού νερού. Τα υγρά αυτά πρέπει να περνούν από ρωγμές οι οποίες έχουν το επαρκές εύρος (μερικές δεκάδες microns), ενώ πιο σπάνια από κενά που έχουν άνοιγμα μερικών χιλιοστών. Αυτό, διότι, πρέπει να δημιουργούνται συνθήκες στασιμότητας του υγρού, και όχι ροής, ώστε να μπορεί να λάβει χώρα ο μηχανισμός της διάβρωσης. Το είδος της επίθεσης (να βρω άλλη λέξη) σχετίζεται με τη διαφοροποίηση των συνθηκών εντός της σχισμής του μετάλλου και τον όγκο του υγρού που τη διαπερνά. Συνήθως, ο κίνδυνος αυτού του τύπου διάβρωσης μειώνεται όταν η ταχύτητα ροής του υγρού είναι μεγαλύτερος από 1.5 m/s μιας και δεν υπάρχει ο επαρκής χρόνος για τη δημιουργία ιζημάτων άρα και την δημιουργία συνθηκών στασιμότητας που απαιτεί ο διαβρωτικός μηχανισμός για να λειτουργήσει. Οι ρωγμές είναι συνήθεις σε κάθε είδος κατασκευής γι' αυτό και θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην προστασία του ανοξειδωτου χάλυβα.

Η διάβρωση λόγω της ρηγμάτωσης μπορεί να συνοψιστεί σε τέσσερις φάσεις, στις οποίες σημαντικό ρόλο έχει ένα κρίσιμο δυναμικό, μια κρίσιμη θερμοκρασία και ο χρόνος έναρξης-επαγωγής της αντίδρασης. Με αυτούς τους όρους μπορεί να περιγραφεί πλήρως η κατάσταση της ρωγμής στην οποία αρχίζει η αντίδραση της διάβρωσης.

- i. Κατανάλωση οξυγόνου εντός της ρωγμής

- ii. Αύξηση των ιόντων H^+ και Cl^-
- iii. Σταθεροποίηση της συγκέντρωσης των H^+ σε μια συγκεκριμένη κρίσιμη τιμή
- iv. Διάδοση

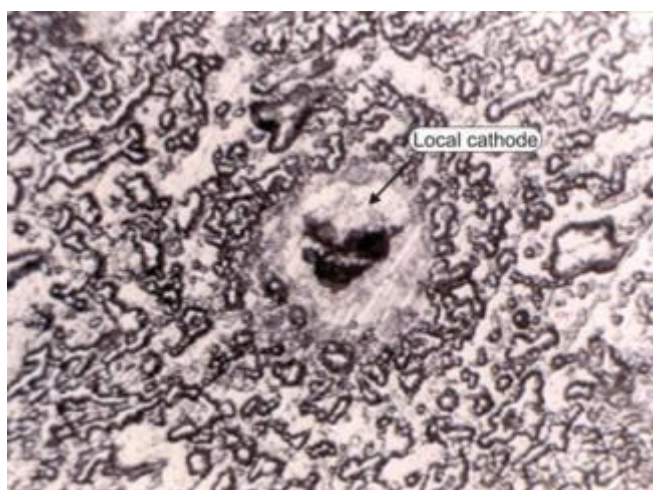
Αυτός ο τύπος διάβρωσης και οι φάσεις στις οποίες συμβαίνει έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τη διάβρωση σκάμματος.

4.1.4 Διάβρωση διάτρησης

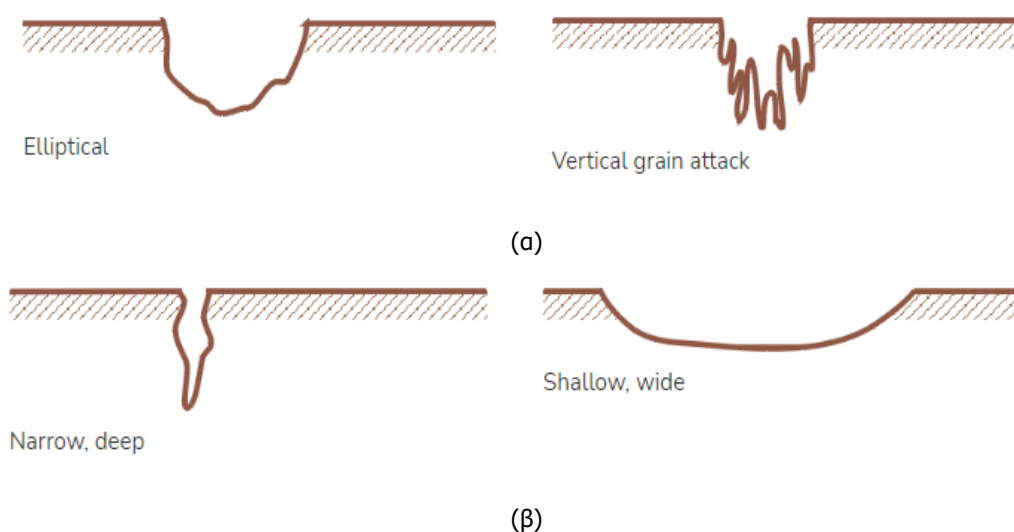
Ο συγκεκριμένος τύπος υγρής διάβρωσης επηρεάζεται από τις εναποθέσεις στην επιφάνεια του υλικού και γενικότερα από τις συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια του υλικού και έχει τοπικό χαρακτήρα. Τυπικά συμπτώματα είναι εμφάνιση μικρών λάκκων κηλίδων ή κοιλοτήτων στην επιφάνεια του ανοξειδωτού χάλυβα. Ο μηχανισμός του έχει παρόμοια λειτουργία με την διάβρωση λόγω ρηγματώσεων με την διαφορά πως μπορεί να εκδηλωθεί με την ύπαρξη ουδέτερων διαλυμάτων ή όξινων διαλυμάτων που περιέχουν αλογονίδια, όπως το Cl^- που βρίσκεται στο θαλασσινό νερό. Η διάτρηση και οι κοιλοότητες μπορεί να οφείλονται σε οξύτητα του περιβάλλοντος ή σε χαμηλές συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου, που κάνουν ασταθή την προστατευτική μεμβράνη τριοξειδίου του χρωμίου ή σε παρουσία χλωρίου, όπως σε ένα παραθαλάσσιο περιβάλλον. Επίσης, η κακή εφαρμογή προστατευτικής επιστρώσης είναι ένας από τους παράγοντες που δημιουργούν αυτού του είδους την βλάβη. Για την αντιμετώπιση αυτού του είδους διάβρωσης χρησιμοποιούνται στο κράμα αυξημένα ποσοστά Αζώτου, Χρωμίου και Μολυβδενίου.

Η διάβρωση με διάτρηση μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω του συντελεστή διάτρησης που είναι ο λόγος του βάθους της μεγαλύτερης (σε βάθος) κοιλότητας προς τη μέση διεύθυνση όπως υπολογίζεται από την απώλεια βάρους του υλικού.

Εκτός από τα χημικά αποτελέσματα, αυτός ο τύπος διάβρωσης μπορεί να αυξήσει τις τάσεις τοπικά, και να έχει ως συνέπεια την δημιουργία φαινομένων κοπώσεως ή και διάβρωσης λόγω καταπόνησης του υλικού.



Εικόνα 4-1: Διάβρωση διάτρησης



Εικόνα 4-2: Γεωμετρία διάτρησης (α) ελλειπτική και κατακόρυφη «κοκκώδης» (β) βαθιά και ρηχή

4.1.5 Διάβρωση λόγω ροής υγρού

Της ο τύπος παρουσιάζεται λόγω γρήγορης και τυρβώδους ροής της ρευστού στην επιφάνεια του υλικού. Της ο τύπος διάβρωσης έχει ως αποτέλεσμα την επιφανειακή βλάβη του μετάλλου κυρίως λόγω της ηλεκτροχημικής αντίδρασης μεταξύ του ρευστού και της μεταλλικής επιφάνειας του κράματος. Της φορές, οι συνέπειες της τυρβώδους ροής της ρευστού σχετίζονται με την διάρρηξη και την τελική καταστροφή της παθητικής ταινίας προστασίας των ανοξείδωτων χαλύβων, γεγονός που κάνει το μέταλλο ευαίσθητο και σε άλλα είδη διάβρωσης, και έχει ως αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση του ρυθμού διάβρωσης.



Εικόνα 4-3: Γεωμετρία διάβρωσης στην επιφάνεια του μετάλλου κατά τη ροή υγρού

4.1.6 Διάβρωση ανάμεσα στους Κόκκους

Διάβρωση τοπικού χαρακτήρα που κυρίως προσβάλλει την περιοχή γύρω από τους κόκκους του κράματος του μετάλλου ή περιοχές κοντά σε αυτούς, αφήνοντας το εσωτερικό τους πρακτικά άθικτο. Σε θερμοκρασίες μεταξύ 550-850°C, δηλαδή κατά την διαδικασία της θερμικής επεξεργασίας ή της συγκόλλησης του μετάλλου, το μέταλλο ευαίσθητοποιείται και έτσι υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας καθιζήματος από καρβίδια του χρωμίου. Εάν η κρίσιμη θερμοκρασία παραμείνει για ένα επαρκές χρονικό εύρος τότε παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης του χρωμίου, αφού μεγάλο ποσοστό του προχωρά σε ενώσεις με άνθρακα, δημιουργώντας καρβίδια που μειώνουν τις αντοχές σε διάβρωση.

Αντίθετα με τους προηγουμένως αναφερθέντες τύπους διάβρωσης, τα αποτελέσματα της διακοκκώδους διάβρωσης δεν μπορούν να είναι ορατά με γυμνό μάτι. Οι απώλειες μέσω αυτής της διάβρωσης δεν μεταφράζονται σε απώλεια ποσότητας μετάλλου, αλλά σε

αποσταθεροποίηση των μελών από ανοξειδωτο χάλυβα που συνεπάγεται μείωση της αντοχής τους και της πλαστιμότητάς τους.

Στους Ωστενιτικούς χάλυβες, δημιουργείται μια περιοχή εξάντλησης της ποσότητας του χρωμίου γύρω από τους κόκκους του μετάλλου. Η ζώνη αυτή οδηγεί σε μια κατάσταση που ονομάζεται ευαισθητοποίηση και έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την καθίζηση καρβιδίων του χρωμίου. Η μείωση της συγκέντρωσης του χρωμίου στο κράμα έχει ως αποτέλεσμα ορισμένες φορές να μην ξεπερνά το ελάχιστο όριο ώστε το μέταλλο να μπορεί να θεωρηθεί ανοξειδωτος χάλυβας. Η αποτροπή αυτού του γεγονότος μπορεί να γίνει αντικαθιστώντας ένα ποσοστό χρωμίου με άλλα χρωστικά όπως τιτάνιο και νιόβιο, τα οποία ενώνονται με τον άνθρακα και μειώνουν την συγκέντρωσή του. Έτσι, πέφτει ο ρυθμός παραγωγής καρβιδίων και η ποσότητα του χρωμίου μεταβάλλεται δυσκολότερα.

Οι Φερριτικοί και οι Διπλοί ανοξειδωτοι χάλυβες είναι και αυτοί ευαίσθητοι λόγω εξάντλησης του χρωμίου στις περιοχές κοντά στους κόκκους, όμως ο μηχανισμός ευαισθητοποίησής τους είναι διαφορετικός. Αυτό συμβαίνει, διότι ο μηχανισμός των Φερριτικών χαλύβων ξεκινά να λειτουργεί (να βρω άλλη λέξη) σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 925°C, ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης του χρωμίου είναι μεγαλύτερος σε σχέση με του Ωστενιτικούς, όμως σε θερμοκρασίες περί των 650°C δεν υφίσταται πλέον ζήτημα ευαισθητοποίησης. Οι Διπλοί χάλυβες είναι πολύ λιγότερο ευαίσθητοι μιας και η περιεκτικότητά τους σε άνθρακα είναι μικρότερη από 0.03% κατά βάρος. Η δημιουργία καθιζήματος στην επιφάνεια του μετάλλου, στην συγκεκριμένη περίπτωση, επηρεάζει περισσότερο τις ιδιότητες του κράματος παρά τη διάβρωση του υλικού αυτή καθ'αυτή. Εάν υπάρχει επαρκής ποσότητα άνθρακα, οι Διπλοί χάλυβες δεν είναι τόσο επιρρεπείς σε δικοκκώδη διάβρωση, ανάμεσα στους κόκκους ωστενιτικού και φερριτικού υλικού, γιατί το πρώτο μπορεί εύκολα να αναπληρωθεί.

Είναι σημαντικό να ξεχωρίσουμε τη Διακοκκώδη Διάβρωση από τη διάβρωση λόγω καταπόνησης. Η δεύτερη απαιτεί την ύπαρξη τάσεων, ανακυκλιζόμενων ή μη, που δρουν σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον.

4.1.7 Διάβρωση λόγω Καταπόνησης

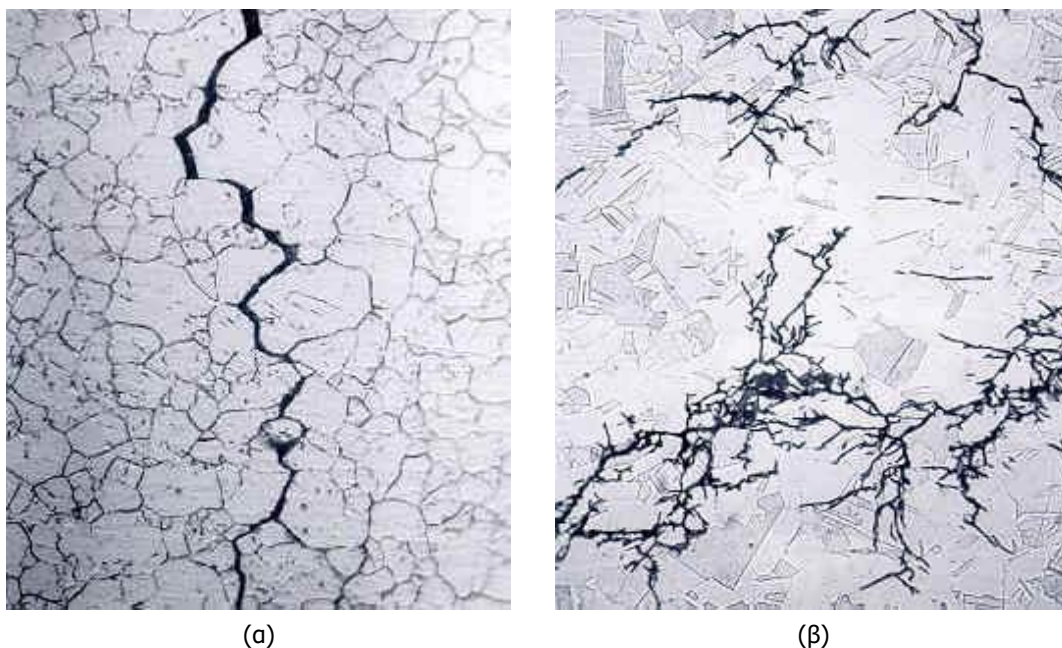
Η διάβρωση λόγω καταπόνησης είναι ένας τύπος διάβρωσης που χαρακτηρίζεται από ρωγμές που διαπερνούν τους κόκκους του υλικού, ή από ρωγμές που σχηματίζονται γύρω από τα όρια των κόκκων του. Η καταπόνηση μπορεί να οφείλεται είτε σε αμέσως εφαρμοζόμενες τάσεις είτε σε παραμένουσες τάσεις του υλικού. Σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει αιφνίδια αστοχία του υλικού.

Για να υπάρξει τέτοιου είδους διάβρωση θα πρέπει να συνδυαστούν οι παρακάτω τρεις παράγοντες:

- Εφελκυστική τάση στο υλικό
- Ένα διαβρωτικό μέσο, κυρίως με παρουσία χλωρίου ή υδρόθειου, με το πρώτο να είναι σε θερμοκρασία των 60°C
- Χρήση υλικού επιρρεπούς σε τέτοιου είδους διάβρωση.

Οι ρωγμές που παρουσιάζονται έχουν συνήθως ψαθυρή εμφάνιση, και συνήθως δεν μπορούν να εντοπιστούν εύκολα, πράγμα που κάνει την διάβρωση αυτή ιδιαίτερα καταστροφική για το υλικό, αφού δεν μπορεί να προβλεφθεί εύκολα η ζημιά ώστε να αποκατασταθεί. Η αστοχία μπορεί να είναι αιφνίδια, όμως, δεν υπάρχει μεγάλη απώλεια ποσότητας υλικού. Συνήθως, εάν το περιβάλλον έχει συγκέντρωση χλωρίου, πριν την εμφάνιση διάβρωσης λόγω καταπόνησης, και την ύπαρξη ρηγματώσεων στο υλικό, κάνουν την εμφάνισή τους κοιλότητες που έχουν ως αποτέλεσμα τη διάβρωση του υλικού λόγω διάτρησης. Οι κοιλότητες αυτές έχουν ως

αποτέλεσμα την αύξηση των τάσεων, τοπικά, άρα εκκινούν τη ρηγμάτωση και τη διαδικασία διάβρωσης λόγω της καταπόνησης.



Εικόνα 4-4: (α)-(β) Διάβρωση λόγω καταπόνησης

4.1.8 Γαλβανική Διάβρωση

Η γαλβανική διάβρωση ή αλλιώς διμεταλλική διάβρωση είναι μια ηλεκτροχημική διαδικασία και ένας τύπος διάβρωσης που παρουσιάζεται όταν ηλεκτροσυγκολληθούν δυο ανόμοια μέταλλα μεταξύ τους, με την προϋπόθεση ύπαρξης διαβρωτικού περιβάλλοντος. Το υλικό που είναι λιγότερο ευγενές είναι αυτό που θα διαβρωθεί. Για να μπορέσει να παρουσιαστεί αυτός ο τύπος διάβρωσης πρέπει το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται τα υλικά, και πιο συγκεκριμένα του διάλυμα, να έχει υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, παραδείγματος χάριν νερό ή έδαφος. Δυο ανοξείδωτοι χάλυβες παρόμοιας ποιότητας, δεν παρουσιάζουν κίνδυνο όσον αφορά την γαλβανική διάβρωση. Σε σύγκριση με την ομοιόμορφη διάβρωση, η γαλβανική είναι πιο σύνθετη μιας και λαμβάνει υπόψιν γεωμετρικούς παράγοντες πέραν από τους περιβαλλοντικούς και παράγοντες που σχετίζονται με το υλικό. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δυο μετάλλων είναι αυτή που προκαλεί τη διαδικασία της διάβρωσης σε ένα από τα δύο.

Διάβρωση τέτοιου είδους μπορεί να παρουσιαστεί όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαπερνά τα δυο διαφορετικά μέταλλα και αυτά βρίσκονται βυθισμένα σε νερό. Απαραίτητη είναι και η παρουσία οξυγόνου μιας και μιλάμε για μια διαδικασία οξείδωσης. Με την κατάλληλη μόνωση ώστε τα δυο διαφορετικά μέταλλα να μην έρχονται σε επαφή, ο γαλβανισμός και κατ'επέκτασιν η διάβρωση μπορούν να αποτραπούν. Είναι σημαντικό για να αποφύγουμε την γαλβανική διάβρωση, να μην χρησιμοποιούμε παρεμβύσματα (τσιμούχες) από γραφίτη.



Εικόνα 4-5: Γαλβανική Διάβρωση περί μίας οπής

4.2 Σχεδιασμός σε διαβρωτικό περιβάλλον

Η προστασία και ο σχεδιασμός έναντι διάβρωσης πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ένα ξεχωριστό και ανεξάρτητο τμήμα του σχεδιασμού, από την επιλογή των μελών μέχρι και τον έλεγχο των κόμβων.

Βασική προϋπόθεση του σχεδιασμού είναι η διατήρηση της στατικής λειτουργίας του φορέα. Ορισμένες φορές μπορεί να παρουσιαστούν οπτικά αποτελέσματα της διάβρωσης στον φορέα, που μπορεί μεν να είναι αντιαισθητικά, όμως δεν επηρεάζουν την ακεραιότητά του. Η χρήση του ανοξειδωτού χάλυβα σε συνεργασία με σκυρόδεμα πρέπει να είναι περιορισμένη μιας και το τελευταίο έχει $pH > 9$, συνθήκη απαγορευτική, καθώς και με ορισμένα ήδη ξυλείας με $pH < 4$. Ο σχεδιασμός γίνεται ανάλογα με το επίπεδο έκθεσης του υλικού, και λαμβάνουν υπόψιν παράγοντες όπως η απόσταση από την ακτή, η έκθεση σε χλωριόντα και η επαφή με τα όμβρια ύδατα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου ο υπό σχεδιασμό φορέας βρίσκεται σε παράκτια περιοχή, η επιλογή υλικού είναι αρκετά δύσκολη, όμως γίνεται πάντα με γνώμονα την δυσμενέστερη κατάσταση περιβάλλοντος, άρα και διάβρωσης στο κράμα, πράγμα που κάνει τον σχεδιασμό σε αρκετές περιπτώσεις να είναι συντηρητικός. Ο EN1993-1-4 έχει προβλέψει την απαίτηση για ορθή επιλογή υλικού, και την περιλαμβάνει στις διατάξεις του. Σημειώνεται πως, η επιλογή υλικού δεν λαμβάνει υπόψιν τον βαθμό διαθεσιμότητας των υλικών, τυχόν τροποποιήσεις και «τελειώματα» τη επιφάνειας για αρχιτεκτονικούς και υγειονομικούς λόγους, ή τις μεθόδους σύνδεσης των μελών.

Αρχικές προϋποθέσεις για την σωστή εκτέλεση της διαδικασίας επιλογής υλικού είναι:

- Το περιβάλλον να είναι περίπου ουδέτερο (pH 4 έως 10).
- Τα δομικά μέρη δεν εκτίθεται αμέσως σε ροή υλικών έπειτα από χημική διεργασία.
- Το περιβάλλον εργασίας δεν είναι μονίμως ή περιστασιακά βυθισμένο σε θαλασσινό νερό.

Σε περίπτωση που ικανοποιούνται τα κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου κράματος ανοξειδωτού χάλυβα, τότε δεν είναι αναγκαία κάποια περαιτέρω ενέργεια για την αύξηση της ανθεκτικότητας των μελών και των ενισχύσεων. Η διαδικασία επιλογής περιλαμβάνει τον υπολογισμό του συντελεστή αντοχής σε διάβρωση για το περιβάλλον και μέσω αυτού τον υπολογισμό της κατηγορίας αντίστασης σε διάβρωση.

Ο συντελεστής αντοχής σε διάβρωση (CRF) ποικίλλει ανάλογα με το περιβάλλον έκθεσης και υπολογίζεται με την εξ. 4-1:

$$CRF = F_1 + F_2 + F_3 \quad (4-1)$$

όπου

F_1 ο κίνδυνος έκθεσης σε χλωρίδια από αλμυρό νερό ή άλατα για λιώσιμο πάγου

F_2 ο κίνδυνος έκθεσης σε διοξείδιο του θείου. Οι φερριτικοί χάλυβες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε διοξείδιο του θείου.

F_3 κατάσταση καθαρισμού ή έκθεση σε καθαρισμό μέσω βροχής

Τονίζεται πως η διαδικασία αυτή ακολουθείται για εξωτερικά περιβάλλοντα, ενώ για ένα εσωτερικό περιβάλλον ο συντελεστής ισούται με 1.00. Διαφορετικά μέρη της ίδιας κατασκευής μπορεί να εκτίθενται σε άλλου είδους περιβάλλοντα οπότε θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν διαφορετικές κατηγορίες έκθεσης. Οι συντελεστές F_1 , F_2 , F_3 υπολογίζονται σύμφωνα με τον πίνακα 4-2:

Πίνακας 4-2: Υπολογισμός του συντελεστή αντίστασης διάβρωσης (CRF) (EN1993-1-4 A.4)

Κίνδυνος έκθεσης σε χλωρίδια από αλμυρό νερό ή αντιπαγωτικά άλατα, F_1		
1	Εσωτερικά ελεγχόμενο περιβάλλον	
0	Χαμηλός κίνδυνος έκθεσης	$M > 10 \text{ km}$ ή $S > 0.1 \text{ km}$
-3	Μεσαίος κίνδυνος έκθεσης	$1 \text{ km} < M \leq 10 \text{ km}$ ή $0.01 \text{ km} < S \leq 0.1 \text{ km}$
-7	Υψηλός κίνδυνος έκθεσης	$0.25 \text{ km} < M \leq 1 \text{ km}$ ή $S \leq 0.01 \text{ km}$
-10	Πολύ υψηλός κίνδυνος έκθεσης	Οδικές σήραγγες όπου τα αντιπαγωτικά άλατα χρησιμοποιούνται ή όπου τα οχήματα μπορεί να μεταφέρουν τέτοια άλατα
-10	Πολύ υψηλός κίνδυνος έκθεσης	$M \leq 0.25 \text{ km}^a$ Γερμανικές ακτές στη Βόρεια Θάλασσα και όλες οι ακτές στη Βαλτική
-15	Πολύ υψηλός κίνδυνος έκθεσης	$M \leq 0.25 \text{ km}^a$ Οι ακτογραμμή της Πορτογαλίας, Ισπανίας και Γαλλίας στον Ατλαντικό. Το κανάλι της Αγγλίας και η ακτογραμμή του ΗΒ, της Γαλλίας, του Βελγίου, της Ολλανδίας και της Νότιας Σουηδίας στη Βόρεια Θάλασσα. Όλες οι άλλες παράκτιες περιοχές του ΗΒ, της Νορβηγίας, της Δανίας και της Ιρλανδίας. Οι ακτές της Μεσογείου
Κίνδυνος έκθεσης σε θειικό οξύ, F_2		
0	Χαμηλός κίνδυνος έκθεσης	Μέση συγκέντρωση αερίων $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
-5	Μεσαίος κίνδυνος έκθεσης	Μέση συγκέντρωση αερίων $10 - 90 \mu\text{g}/\text{m}^3$
-10	Υψηλός κίνδυνος έκθεσης	Μέση συγκέντρωση αερίων $90 - 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Κατάσταση καθαρισμού ή έκθεσης σε καθαρισμό από βροχή, F_3		
0	Πλήρης έκθεση σε πλύσιμο από την βροχή	
-2	Συγκεκριμένες συνθήκες καθαρισμού	
-7	Κανένας καθαρισμός από βροχή ή άλλες συνθήκες	

Σημειώνεται πως, M είναι η απόσταση από την θάλασσα και S η απόσταση από οδούς και αντιπαγωτικά άλατα. Η απόσταση $M < 0.25 \text{ km}$ λαμβάνει υπόψιν πως η κατασκευή δεν προστατεύεται από τις γύρω της, ενώ εάν συμβαίνει αυτό έστω και μερικώς τότε χρησιμοποιείται ανοξειδωτος χάλυβας που αντιστοιχεί σε μια κατηγορία κάτω. Ακόμη, εάν $F_1 + F_2 \geq 0$, τότε $F_3 = 0$.

Ο συντελεστής F_1 εξαρτάται από την συγκεκριμένη θέση του έργου στην Ευρωπαϊκή ήπειρο καθώς και την απόστασή του από την ακτογραμμή. Εξάγεται από πειραματικά αποτελέσματα καθώς και από δεδομένα που έχουν ληφθεί από παράπλευρες κατασκευές, ενώ λόγω της ποικιλομορφίας της ηπείρου μπορεί ορισμένες φορές να είναι συντηρητικός. Για να μπορέσουμε να αποφύγουμε τα αντιοικονομικά αποτελέσματα λόγω τους συντηρητικού αποτελέσματος του συγκεκριμένου συντελεστή αξιολογείται λεπτομερώς ο χώρος ώστε να υπάρξει μείωση κατά μια κατηγορία, λαμβάνοντας υπόψιν τις τελικές εναποθέσεις χλωριόντων, την απόσταση από την ανοιχτή θάλασσα, την κύρια κατεύθυνση του ανέμου και των κυμάτων.

Η κατηγορία αντίστασης σε διάβρωση του ανοξειδωτου χάλυβα (CRC), σύμφωνα με τον συντελεστή αντίστασης περιβάλλοντος (CRF) δίνεται από τον παρακάτω πίνακα 4-3:

Πίνακας 4-3: Αντιστοιχία συντελεστή αντίστασης διάβρωσης με κατηγορία αντοχής (EN1993-1-4 A.4)

Συντελεστής Αντίστασης Διάβρωσης (CRF)	Κατηγορία Αντοχής σε Διάβρωση (CRC)
$CRF = 1$	I
$0 \geq CRF > -7$	II
$-7 \geq CRF > -15$	III
$-15 \geq CRF > -20$	IV
$CRF < -20$	V

Και τελικά ο ανοξειδωτος χάλυβας που χρησιμοποιείται βρίσκεται από τον παρακάτω, σύμφωνα με την κατηγορία CRC:

Πίνακας 4-4: Κράματα ανοξειδωτου χάλυβα ανάλογα με την κατηγορία αντοχής (EN1993-1-4 A.4)

Κατηγορία Αντοχής σε Διάβρωση (CRC)				
I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4462	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4539	1.4547
	1.4541	1.4571	1.4662	1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4162		
	1.4482	1.4362		
	1.4621	1.4062		
	1.4622	1.4578		
	1.4509			
	1.4521			
	1.4420			

Σε περιβάλλοντα που βρίσκονται κοντά σε εσωτερικές πισίνες, με έντονη δηλαδή την παρουσία του χλωρίου σε όλες τις μορφές του, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες κατηγορίες ανοξειδωτού χάλυβα όπως δίνονται παρακάτω:

Πίνακας 4-5: Κατηγορίες χάλυβα για περιβάλλον με εσωτερική πισίνα (EN1993-1-4 A.4)

Μέρη κοχλίωσης σε ατμόσφαιρα πισίνας	Κατηγορία Αντοχής σε Διάβρωση (CRC)
Φέροντα μέλη που καθαρίζονται τακτικά	CRC III ή CRC IV
Φέροντα μέλη που δεν καθαρίζονται τακτικά	CRC V (Εξαιρούνται 1.4410, 1.4501 και 1.4507)
Όλοι οι κοχλίες, τα περικόχλια και τα σπειρώματα	CRC V (Εξαιρούνται 1.4410, 1.4501 και 1.4507)

5 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΠΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ

5.3 Συνδέσεις

Οι συνδέσεις είναι ένα ζωτικό σημείο για τις κατασκευές από χάλυβα είτε αυτός είναι κοινός-ανθρακούχος είτε είναι ανοξείδωτος. Στα πλαίσια ελέγχου και σχεδιασμού των συνδέσεων πρέπει ο μηχανικός να λάβει υπόψιν του πως είναι ένα κρίσιμο μέρος της κατασκευής για την εμφάνιση φαινομένων διάβρωσης, είτε μιλάμε για κοχλιωτές είτε για συγκολλητές συνδέσεις. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι κοχλίες και τα περικόχλια με τα οποία συνδέονται μέλη από ανοξείδωτους χάλυβες, πρέπει και αυτά να είναι από ανοξείδωτο χάλυβα καθώς και να υπακούν σε συγκεκριμένα πρότυπα ISO. Οι αντοχές κοχλιών με βάση το κράμα τους δίνονται στον EN1993-1-4 μέσα από τον πίνακα 5-1.

Πίνακας 5-1: Κατηγορίες κοχλιών από ανοξείδωτο χάλυβα και οι αντίστοιχες αντοχές (EN1993-1-4 5.2.1)

Κατηγορία υλικού	Κατηγορία αντοχής σύμφωνα με EN ISO 3506	Αντοχή διαρροής f_{yb} N/mm^2	Οριακή αντοχή σε εφελκυσμό f_{ub} N/mm^2
Ωστενιτικός	50	210	500
Ωστενιτικός και διπλός	70	450	700
Ωστενιτικός και διπλός	80	600	800
Ωστενιτικός και διπλός	100	800	1000

Γενικά, οι ωστενιτικοί χάλυβες υπερέχουν σε σχέση με τους υπόλοιπους ανοξείδωτους χάλυβες αλλά και τους κοινούς ανθρακούχους χάλυβες, όσον αφορά την δυνατότητα ανακατανομής της καταπόνησης και της δημιουργίας διαδρόμων τάσης. Μια καλή πρακτική κατά τον σχεδιασμό συνδέσεων σε ανοξείδωτους χάλυβες είναι η προσπάθεια μείωσης των ροπών στους κόμβους, που μπορεί να επιτευχθεί από μείωση των εκκεντροτήτων.

5.3.1 Κοχλιωτές

Οι κοχλιωτές συνδέσεις αποτελούν ένα από τα πιο ευαίσθητα σημεία σε μια κατασκευή από ανοξείδωτο χάλυβα. Αυτό, μπορεί να εξηγηθεί διότι στις περιοχές όπου διανοίγονται οπές για κοχλίες, δημιουργούνται λεπτές ρωγμές οι οποίες συμβάλλουν στην γρηγορότερη ανάπτυξη διάβρωσης. Επομένως χρειάζονται ειδικές τεχνικές και απαιτήσεις για την δημιουργία κοχλιωτών συνδέσεων που θα είναι επαρκείς τόσο σε φορτία που καταπονούν τον κόμβο, όσο και σε διάβρωση, που η παρουσία της είναι ανεπιθύμητη. Σημειώνεται πως ο λόγος που πρέπει να χρησιμοποιούνται κοχλίες και περικόχλια από ανοξείδωτο χάλυβα κατά τις συνδέσεις είναι, διότι έτσι αποτρέπεται η γαλβανική διάβρωση. Ακόμη, έχει αποδειχθεί πως οι συνδέσεις από ανοξείδωτο χάλυβα αποκρίνονται διαφορετικά σε παραμορφώσεις από τον κοινό ανθρακούχο χάλυβα, καθώς παρουσιάζουν έντονη κράτυνση.

Υπάρχουν απλές αλλά και προεντεταμένες κοχλιώσεις για τις συνδέσεις μελών ανοξείδωτου χάλυβα. Οι προεντεταμένες συνδέσεις είναι απαραίτητες για τον περιορισμό των παραμορφώσεων εντός συγκεκριμένων ορίων, ιδίως σε κατασκευές όπως ανεμογεννήτριες ή

γέφυρες, που υπόκεινται σε τυχηματική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Η προένταση των κοχλιών πρέπει να παραμένει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια ζωής του έργου και να είναι προκαθορισμένη με βάση την δύναμη που ασκείται στον κοχλία κατά την τάνυση καθώς και τον συντελεστή τραχύτητας της επιφάνειας σχετικά με τις κοχλιωτές συνδέσεις ανθεκτικές σε ολίσθηση.

Κατά τον EN1993-1-4 η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας ελάσματος υπολογίζεται όπως ακριβώς και στον EN1993-1-1 με την εξ. (5-1):

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u dt}{\gamma_{M2}} \quad (5-1)$$

όπου:

a_b είναι ο συντελεστής άντυγας για την παράλληλη διεύθυνση με το φορτίο που δίνεται από τους πίνακες 5-2, 5-3

k_1 είναι ο συντελεστής άντυγας για την κάθετη διεύθυνση με το φορτίο που δίνεται από τους πίνακες 5-2, 5-3

d η διάμετρος του κοχλία

d_0 η διάμετρος της οπής στο έλασμα

e_1 η απόσταση από το κέντρο της οπής για έναν κοχλία έως την άκρη ενός ελάσματος, παράλληλα με την διεύθυνση του φορτίου που ασκείται

e_2 η απόσταση από το κέντρο της οπής για έναν κοχλία έως την άκρη ενός ελάσματος, κάθετα με την διεύθυνση του φορτίου που ασκείται

p_1 η απόσταση μεταξύ των κέντρων δύο κοχλιών, παράλληλα με την διεύθυνση του φορτίου που ασκείται

p_2 η απόσταση μεταξύ των κέντρων δύο κοχλιών, κάθετα με την διεύθυνση του φορτίου που ασκείται

t είναι το πάχος του ελάσματος

f_u είναι η μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό των συνδεδεμένων ελασμάτων

Για ελάσματα με πάχος $t > 4 \text{ mm}$ οι συντελεστές a_b και k_1 σύμφωνα με τον πίνακα 5-2

Πίνακας 5-2: Συντελεστές a_b και k_1 για ελάσματα με πάχος $t > 4 \text{ mm}$ (EN1993-1-4 10.1)

	Συντελεστής a_b	Συντελεστής k_1
Κριτήριο Αντοχής	$\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5e_1}{6d_0}\right\}$ <p>Για ακραίους κοχλίες:</p> <p>Για εσωτερικούς:</p> $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5p_1}{12d_0}\right\}$	$k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{if } \min\left\{\frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0}\right\} > 1,5 \\ 0,8 & \text{if } \min\left\{\frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0}\right\} \leq 1,5 \end{cases}$ <p>Για ακραίους κοχλίες:</p> <p>Για εσωτερικούς:</p> $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{if } \left(\frac{p_2}{2d_0}\right) > 1,5 \\ 0,8 & \text{if } \left(\frac{p_2}{2d_0}\right) \leq 1,5 \end{cases}$
Κριτήριο Παραμόρφωσης	<p>Για ακραίους κοχλίες:</p> $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5e_1}{6d_0}\right\}$ <p>Για εσωτερικούς:</p> $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5p_1}{8d_0}\right\}$	<p>Για εσωτερικούς και ακραίους κοχλίες:</p> $k_1 = 0,5$

Για ελάσματα με πάχος $t \leq 4 \text{ mm}$ ισχύει ο πίνακας 5-3

Πίνακας 5-3: Συντελεστές a_b και k_1 για ελάσματα με πάχος $t \leq 4 \text{ mm}$ (EN1993-1-4 10.1)

	Συντελεστής a_b	Συντελεστής k_1
Κριτήριο Αντοχής	Εσωτερικό έλασμα σε σύνδεση δύο επιπέδων διάτμησης	
	<p>Για ακραίους κοχλίες:</p> $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5e_1}{6d_0}\right\}$ <p>Για εσωτερικούς:</p> $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5p_1}{12d_0}\right\}$	<p>Για ακραίους κοχλίες:</p> $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{if } \min\left\{\frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0}\right\} > 1,5 \\ 0,8 & \text{if } \min\left\{\frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0}\right\} \leq 1,5 \end{cases}$ <p>Για εσωτερικούς:</p> $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{if } \left(\frac{p_2}{2d_0}\right) > 1,5 \\ 0,8 & \text{if } \left(\frac{p_2}{2d_0}\right) \leq 1,5 \end{cases}$
	Ένα επίπεδο διάτμησης ή εξωτερικό έλασμα σε δύο επιπέδων διάτμησης	

	Για ακραίους κοχλίες: $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5e_1}{4d_0}\right\}$ Για εσωτερικούς: $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5p_1}{8d_0}\right\}$	Για εσωτερικούς και ακραίους κοχλίες: $k_1 = 0,64$
Κριτήριο Παραμόρφωσης	Συνδέσεις ενός και δύο επιπέδων διάτμησης	
	Για ακραίους κοχλίες: $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5e_1}{4d_0}\right\}$ Για εσωτερικούς: $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5p_1}{8d_0}\right\}$	Για εσωτερικούς και ακραίους κοχλίες: $k_1 = 0,5$

Η διατμητική αντοχή ενός κοχλία υπολογίζεται από την παρακάτω εξ. (5-2):

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (5-2)$$

όπου

A το εμβαδόν διατομής του κοχλία ανάλογα με το εάν το επίπεδο διατμητικής αστοχίας διαπερνά την καθαρή επιφάνεια του κοχλία ή όχι

f_{ub} είναι η μέγιστη τάση αντοχής σε εφελκυσμό του κοχλία

α δίνεται από τον πίνακα 5-4 παρακάτω και λαμβάνεται ανάλογα με το εάν το επίπεδο διατμητικής αστοχίας διαπερνά την καθαρή επιφάνεια του κοχλία ή όχι

Πίνακας 5-4: Συντελεστής α ανάλογα με την κατηγορία κοχλιών και το είδος ανοξειδωτου χάλυβα (EN1993-1-4 10.1)

Κατηγορία αντοχής	Ωστενιτικός	Διπλός
50	0.8	-
70	0.7	0.8
80	0.7	0.7
100	0.6	0.6

Η αντοχή σε εφελκυσμό του κοχλία μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (5-3)$$

όπου

$k_2 = 0.63$ για κοχλίες κωνικής κεφαλής, αλλιώς $k_2 = 1.00$

A_s η περιοχή της διατομής του κοχλία που εφελκύεται

Οι κοχλίες οι οποίοι υποβάλλονται σε σύνθετη καταπόνηση με διάτμηση και εφελκυσμό πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια τα οποία δίνονται μέσω δυο ανισώσεων:

Εάν το σπείρωμα του κοχλία είναι εντός του επιπέδου διάτμησης:

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}}\right)^{1.7} \leq 1.0 \text{ αλλά } \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1.0$$

Εάν το σπείρωμα του κοχλία είναι εκτός του επιπέδου διάτμησης:

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^{1.7} + \left(\frac{F_{t,Ed}}{1.25F_{t,Rd}}\right)^{1.7} \leq 1.0 \text{ αλλά } \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1.0$$

Η αντοχή έναντι ολίσθησης για προεντεταμένη κοχλίωση υπολογίζεται ως εξής:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,S} \quad (5-4)$$

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,S} \quad (5-5)$$

όπου

k_s δίνεται στον EN1993-1-8

n είναι ο αριθμός των ελασμάτων σε επαφή

μ είναι ο συντελεστής ολίσθησης που λαμβάνεται είτε από πειράματα σε συγκεκριμένα δείγματα

ή είναι σχετικά σύμφωνα με τον πίνακα 5-5

Πίνακας 5-5: Συντελεστής ολίσθησης μ (EN1993-1-4 10.2)

Κατάσταση επιφάνειας ^α		Κατηγορία	Συντελεστής Τριβής μ
Τελείωμα Επιφάνειας	Rz ^β [μm]		
Επιφάνειες ανοξειδωτου χάλυβα με αμμοβολή	≥ 55	SSA	0.50
	≥ 45	SSB	0.40
Επιφάνειες έπειτα από εκτόξευση μέσων ανοξειδωτου χάλυβα	≥ 35	SSC	0.20
Ελατές διατομές	≥ 25	SSD	0.15

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1 Η πιθανή απώλεια της δύναμης προέντασης από την αρχική της τιμή λαμβάνεται υπόψιν στον συντελεστή τριβής.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2 Απαιτείται προσοχή κατά την αμμοβολή και την εκτόξευση υλικών από ανοξειδωτο χάλυβα ώστε να μην παρουσιαστούν επιβλαβείς συνέπειες για την αντοχή σε διάβρωση.

α Η κατηγοριοποίηση άλλου είδους επιφάνειας βασίζεται σε δοκίμια που εξετάζονται με βάση την διαδικασία του EN1090-2, Παράρτημα G

β Rz είναι η τραχύτητα της επιφάνειας σύμφωνα με EN ISO 21920-2

5.3.2 Συγκολλητές

Η αντοχή μιας συγκολλητής σύνδεσης μπορεί να υπολογιστεί με δύο τρόπους σύμφωνα με τον EN1993-1-4.

Η βασική μέθοδος ελέγχει την επαρκεί των τάσεων σε μια εξωραφή με βάση την παρακάτω ανίσωση:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \text{και} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0.9f_u}{\gamma_{M2}} \quad (5-6)$$

όπου

f_u είναι η εφελκυστική αντοχή του ασθενέστερου ελάσματος

β_w συντελεστής συσχέτισης

= 0.9 για εξωραφές σε κόμβους ωστενιτικού ανοξειδωτού χάλυβα

= 1.0 για εξωραφές σε κόμβους διπλού ή φερριτικού ανοξειδωτού χάλυβα

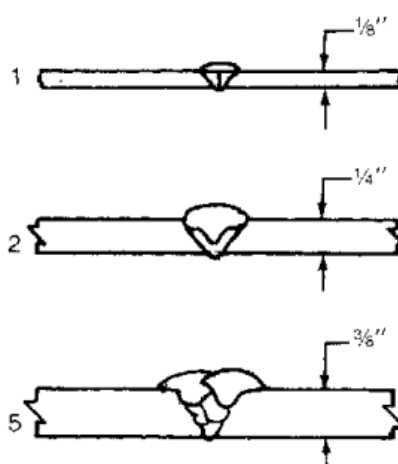
= 1.0 για εξωραφές σε κόμβους ωστενιτικού με διπλό ή φερριτικό ανοξειδωτο χάλυβα, διπλό με φερριτικό ανοξειδωτο χάλυβα ή ανοξειδωτο χάλυβα με ανθρακούχο χάλυβα

Εναλλακτικά, η απλοποιημένη μέθοδος ελέγχου των εξωραφών, όπου πρέπει υ συνισταμένη όλων των δυνάμεων ανά μονάδα μήκους είναι μικρότερη από την αντίστοιχη αντοχή της εξωραφής:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a$$

όπου $f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}}$ η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση της συγκόλλησης

Typical Weld Appearance

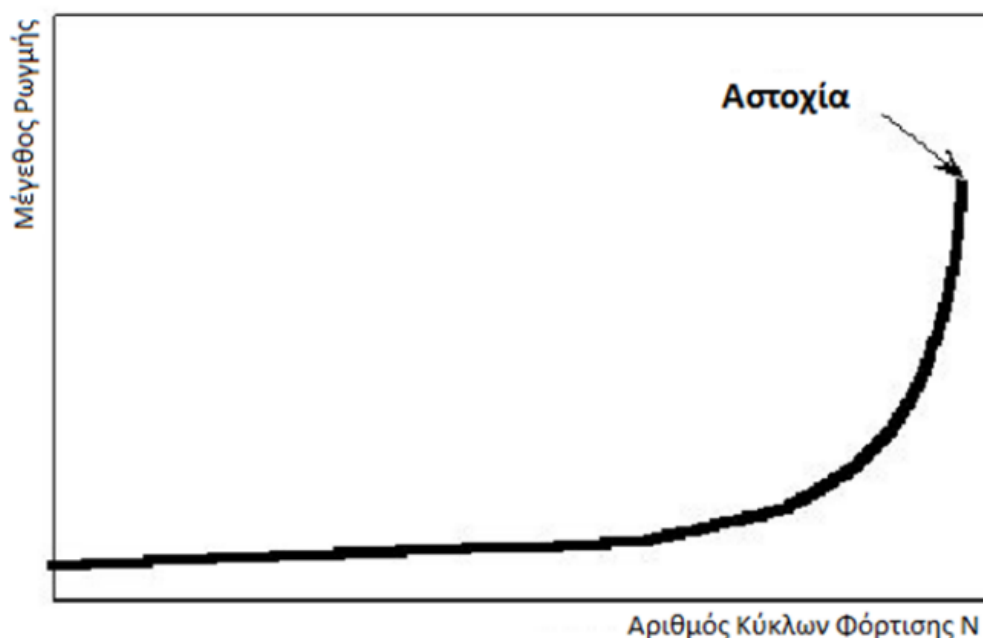


Εικόνα 5-1: Τυπική όψη μιας συγκόλλησης

5.4 Κόπωση

Η κόπωση είναι ένα φαινόμενο που παρουσιάζεται σε κατασκευές από ανοξειδωτο χάλυβα λόγω των επαναλαμβανόμενων κύκλων φόρτισης. Κατά τον μηχανισμό αυτόν παρουσιάζονται ρωγμές

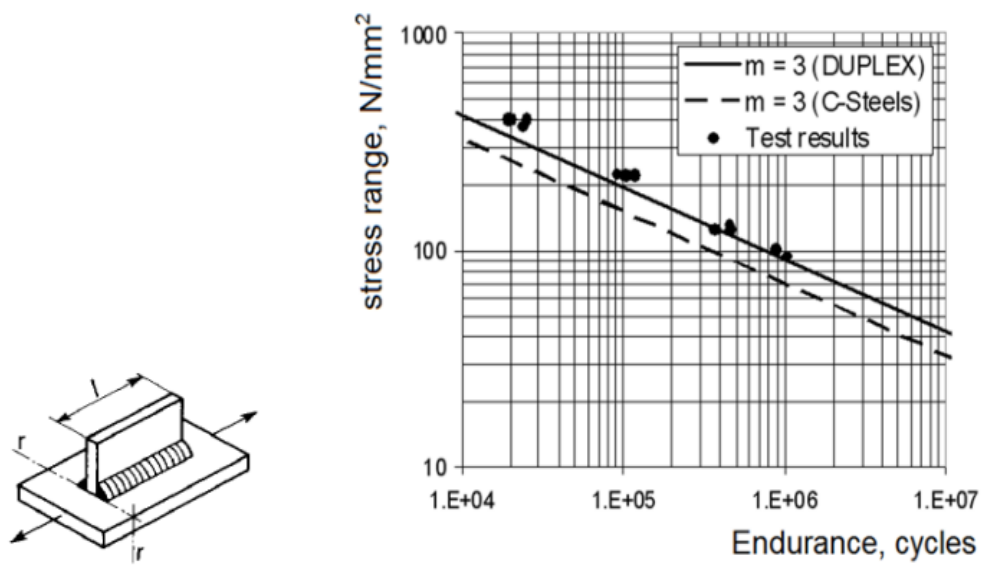
στην κατασκευή υπό την επίδραση μεταβαλλόμενων τάσεων. Η κόπωση χαρακτηρίζεται ως ένα φαινόμενο το οποίο παρουσιάζεται τοπικά σε σημεία όπου υπάρχουν οπές για κοχλίες ή απότομη αλλαγή της γεωμετρίας της διατομής, δηλαδή είναι δεδομένη η συγκέντρωση τάσεων. Στο σχήμα φαίνεται ένα τυπικό-ποιοτικό διάγραμμα συνάρτησης του μεγέθους της ρωγμής με τον αριθμό των κύκλων φόρτισης (N).



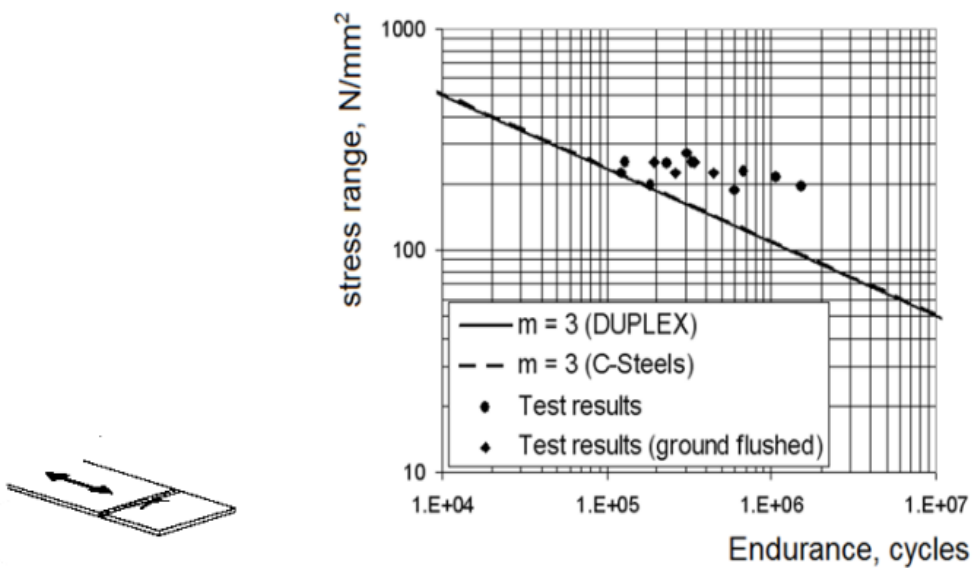
Εικόνα 5-2: Ποιοτικό διάγραμμα μεγέθους ρωγμής – αριθμού κύκλων φόρτισης N μέχρι την αστοχία (Βάγιας, 2012)

Η συμπεριφορά ενός κόμβου σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση, άρα και σε φαινόμενα κόπωσης, εξαρτάται αρκετά από την γεωμετρία του κόμβου. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως η αντοχή σε κόπωση μειώνεται όταν υπάρχει διαβρωτικό περιβάλλον. Οι διατάξεις του EN1993-1-1 μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία για ωστενιτικούς και διπλούς ανοξείδωτους χάλυβες, όχι όμως για φερριτικούς.

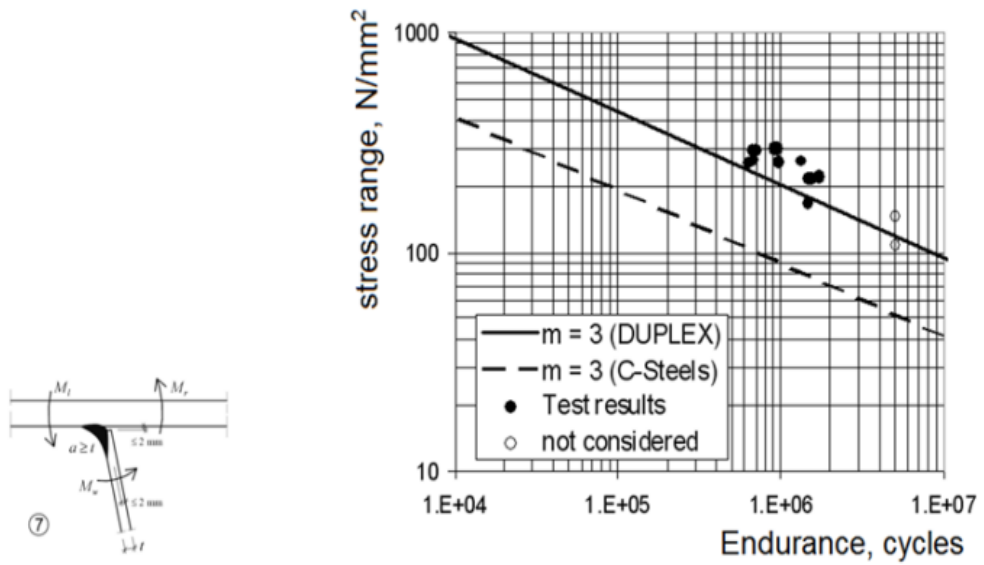
Η αντοχή κόπωσης κόμβου ακολουθεί μια συγκεκριμένη καμπύλη φορτίου-κύκλων φόρτισης, η οποία είναι διαφορετική για κάθε κατηγορία λεπτομέρειας. Η κάθε κατηγορία λεπτομέρειας, με μέτρο N/mm^2 , αντιπροσωπεύει το εύρος τάσεων που αντιστοιχεί σε μια αντοχή κόπωσης για 2.000.000 κύκλους επαναλήψεων. Οι κατηγορίες λεπτομερειών υπολογίστηκαν με βάση τα αποτελέσματα πειραμάτων τα οποία φαίνονται στις εικόνες 5-3 έως 5-10. Τα πειράματα έγιναν σε ανοξείδωτο χάλυβα 1.4462.



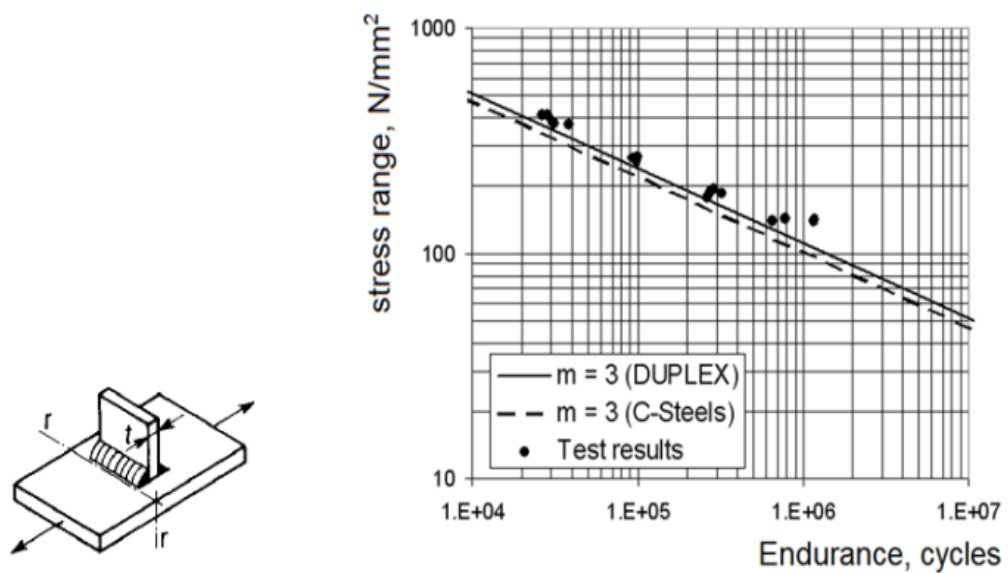
Εικόνα 5-3: Πειραματικά δεδομένα για συγκόλληση κατά μήκος ενίσχυσης



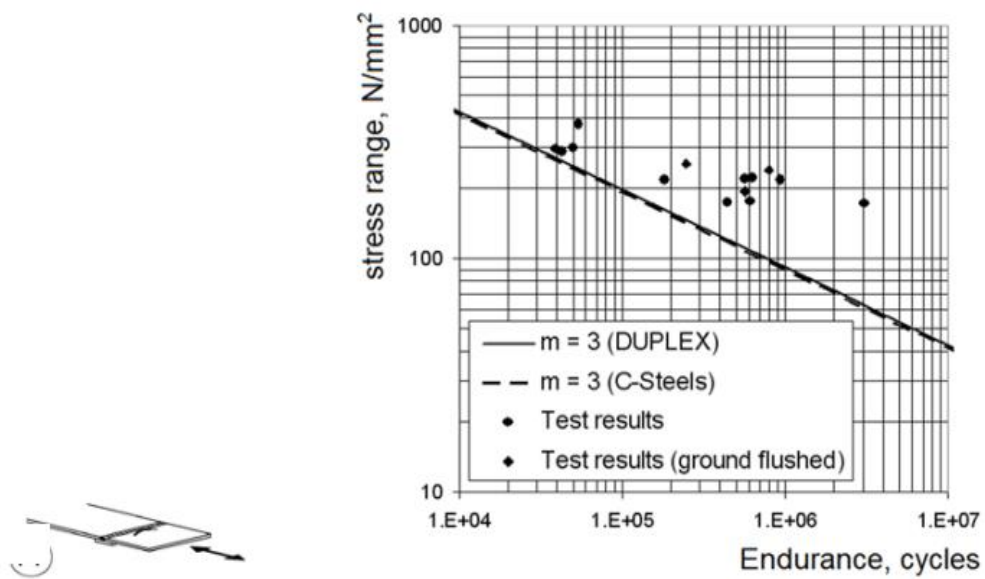
Εικόνα 5-4: Πειραματικά δεδομένα για εγκάρσια συγκόλληση για σύνδεση χαλυβδόφυλλων



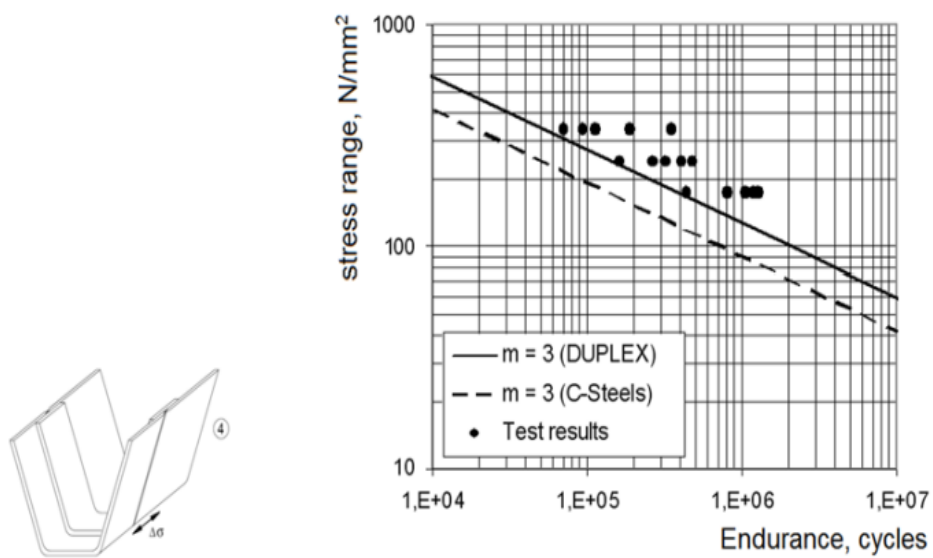
Εικόνα 5-5: Πειραματικά δεδομένα για συγκόλληση μετά κορμού και πελμάτων



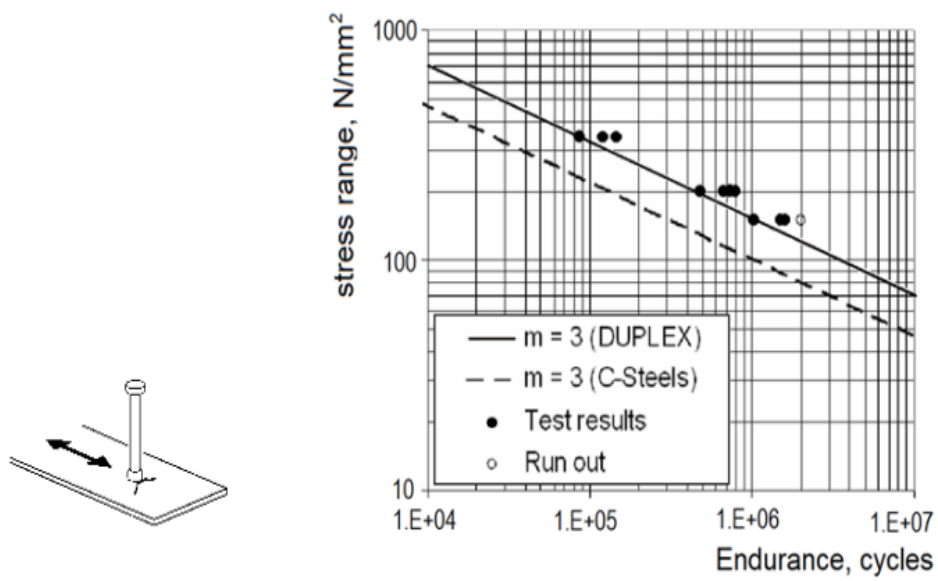
Εικόνα 5-6: Πειραματικά δεδομένα για εγκάρσιες ενισχύσεις



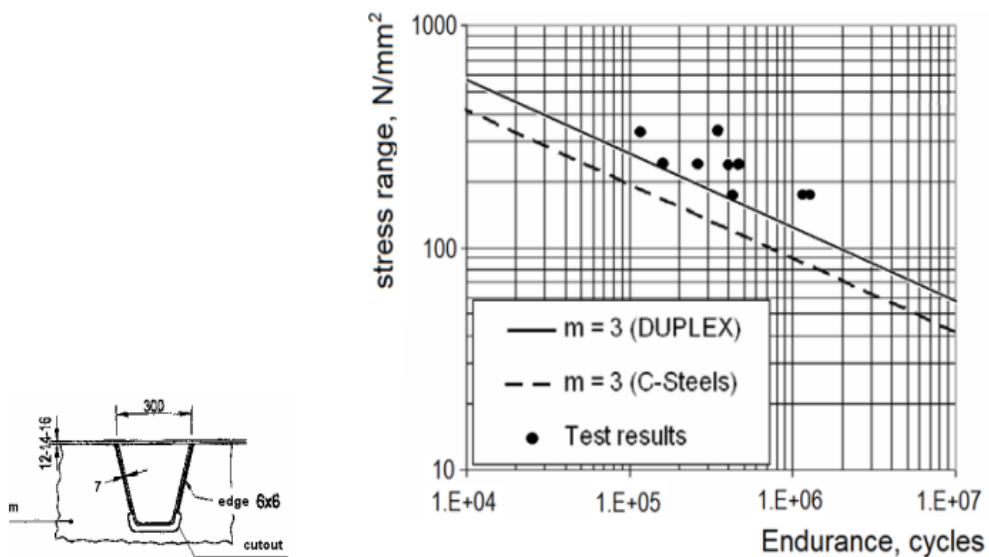
Εικόνα 5-7: Πειραματικά δεδομένα για εγκάρσια συγκόλληση με τοπική ενίσχυση σε σύνδεση χαλυβδόφυλλων



Εικόνα 5-8: Πειραματικά δεδομένα για συγκόλληση κορμών με τοπική ενίσχυση



Εικόνα 5-9: Πειραματικά δεδομένα για διατμητικό ήλο συγκολλημένο



Εικόνα 5-10: Πειραματικά δεδομένα για συγκόλληση κορμού με εγκάρσιο δοκάρι

6 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

6.1 Εφελκούμενο μέλος

(Το αριθμητικό παράδειγμα βασίζεται στην Άσκηση 1 του μαθήματος «Σιδηρές Κατασκευές Ι».)

Στο παράδειγμα που ακολουθεί η κάλυψη βιομηχανικού χώρου γίνεται από μεταλλική κατασκευή από ανοξείδωτο χάλυβα 1.4301 με κύριους φορείς δίστυλα δίρριχτα πλαίσια με ελκυστήρα ΑΒΓΔΕ, τοποθετημένα ανά 6,00m. Η κατασκευή υπόκειται σε κατακόρυφα φορτία που προέρχονται από μόνιμα φορτία $g=0,60\text{kN/m}^2$ και από χιόνι $s=1,30\text{kN/m}^2$. Στα άκρα (σημεία Β και Δ) ο ελκυστήρας συνδέεται με τον κόμβο του πλαισίου μέσω βοηθητικού ελάσματος και κοχλιών. Η συνέχεια του ελκυστήρα ΒΔ, αποκαθίσταται σε ενδιάμεση θέση επίσης μέσω βοηθητικού ελάσματος και κοχλιών. Το σπείρωμα των κοχλιών βρίσκεται εκτός του επιπέδου διατομής. Οι κοχλιωτές συνδέσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με κοχλίες ανοξείδωτου χάλυβα όπως ορίζονται από EN1993-1-4 παρ. 5.2.1 πίνακας 5.5.

Ζητούνται:

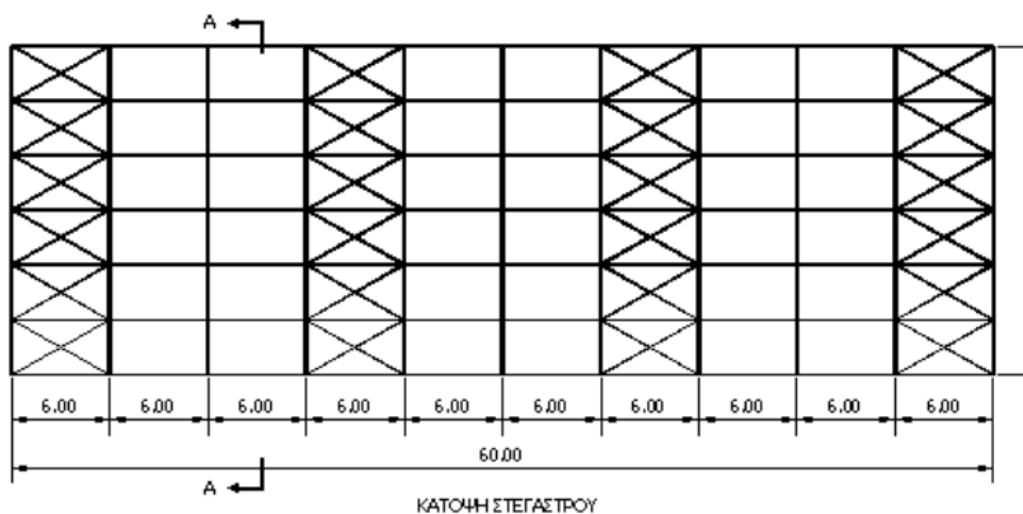
Η επιλογή της κατάλληλης διατομής ανοξείδωτου χάλυβα για τον ελκυστήρα.

Ο υπολογισμός αριθμού κοχλιών για την αποκατάσταση σύνδεσης.

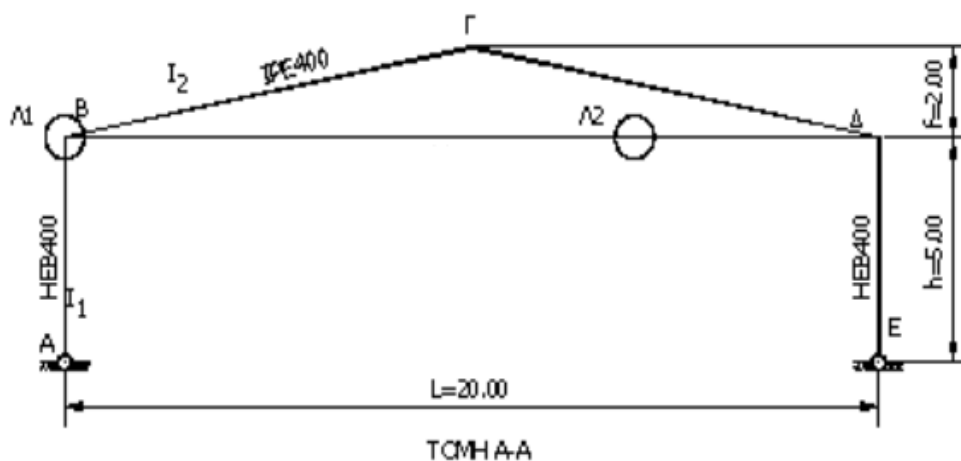
Ο έλεγχος επάρκειας της λεπίδας σύνδεσης στη θέση αποκατάστασης συνέχειας.

Το υλικό που έχει επιλεγεί είναι ο Ωστενιτικός Χάλυβας ψυχρής κατεργασίας 1.4301 με όρια διαρροής $f_y = 350\text{ N/mm}^2$ για εφελκυσμό, $f_y = 315\text{ N/mm}^2$ και αντοχή $f_u = 600\text{ N/mm}^2$

Οι διατάξεις του EN1993-1-4 προβλέπουν ίδια διαδικασία επιλογής διατομών όπως και στον EN1993-1-1.

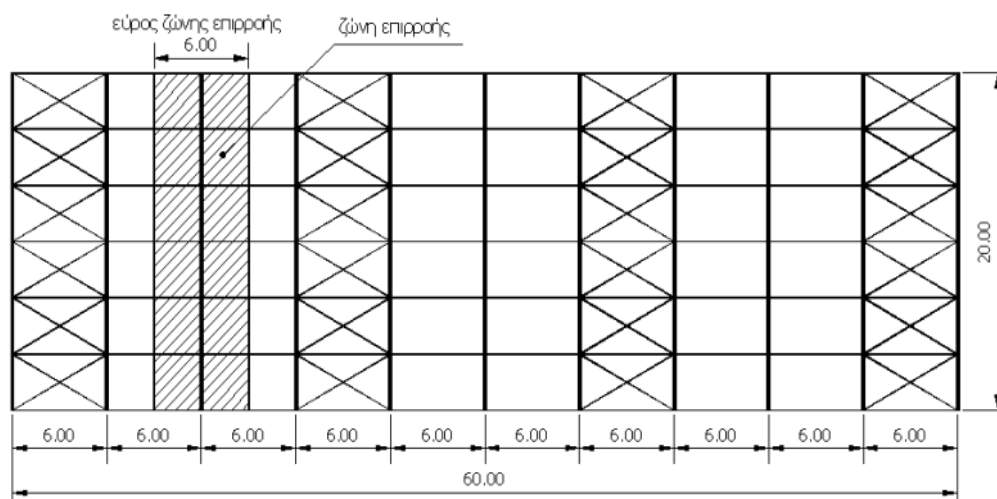


Εικόνα 6-1: Κάτοψη στεγάστρου



Εικόνα 6-2: Τομή στεγάστρου

6.1.1 Φορτία και Συνδυασμοί Φορτίσεων



Εικόνα 6-3: Ζώνη επιρροής του ζυγώματος

Η κατανομή των φορτίων ανά πλαίσιο θα είναι:

$$g = 0.60 \frac{kN}{m^2} \cdot 6.00 m = 3.6 \frac{kN}{m}$$

$$s = 1.3 \frac{kN}{m^2} \cdot 6.00 m = 7.8 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Φορτίο σχεδιασμού: } 1.35g + 1.50s = 1.35 \cdot 3.6 \frac{kN}{m} + 1.50 \cdot 7.8 \frac{kN}{m} = 16.56 kN/m$$

6.1.2 Εφελκυστική δύναμη ελκυστήρα

Από τον βοηθητικό αριθμητικό που δίνεται στην εκφώνηση προκύπτει πως η εφελκυστική δύναμη του μέλους είναι $Z = 401.8 kN$ (οι διατομές των υπολοίπων μελών έχουν διατηρηθεί ίδιες) με την βοήθεια του τύπου: $Z = \frac{qL^2}{12} \cdot \frac{10hk+6h-f}{fh(4k+3)}$ όπου $k = \frac{l_2 h}{l_1 l}$.

6.1.3 Εύρεση κατάλληλης διατομής

Πρέπει:

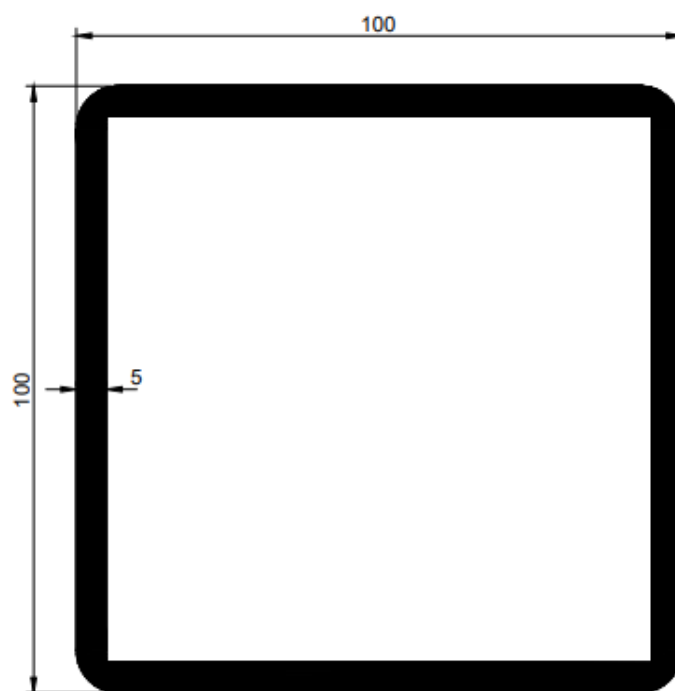
$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed} \Rightarrow A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \geq 401.8 \text{ kN} \Rightarrow A \cdot \frac{35}{1.10} \geq 401.8 \text{ kN} \Rightarrow A \geq 12.63 \text{ cm}^2$$

Άρα, από τους πίνακες του κεφαλαίου 2:

Επιλέγεται κοίλη τετραγωνική διατομή SHS 100x100x5 με $A = 18.57 \text{ cm}^2$

Άρα η αντοχή της διατομής σε εφελκυσμό είναι:

$$N_{t,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 18.57 \text{ cm}^2 \cdot \frac{35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1.10} = 649.95 \text{ kN}$$



Εικόνα 6-4: Διατομή SHS 100x100x5

6.1.4 Κοχλιώσεις

Όσον αφορά επίσης κοχλίες επιλέγονται Ωστενιτικοί κοχλίες M16 κατηγορίας 70 κατά EN1503506 με $f_{yb} = 450 \text{ MPa}$ και $f_{ub} = 700 \text{ MPa}$.

Αντοχή σε διάτμηση:

Ο έλεγχος γίνεται μέσω του τύπου $F_V = n \cdot m \cdot \frac{a \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$

Με:

- τον συντελεστή $a = 0.7$ από τον πίνακα 10.3 του EN1993-1-4 για κοχλίες κατηγορίας 70.
- $n = 2$ από τα επίπεδα διάτμησης επίσης κοχλίωσης
- $f_{ub} = 700 \text{ MPa}$
- $A = 1.6^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 2.01 \text{ cm}^2$ η διατομή του κάθε κοχλία δεδομένου ότι το σπείρωμα τα επίπεδα διάτμησης
- $\gamma_{M2} = 1.25$

Από τα παραπάνω προκύπτει ο απαιτούμενος αριθμός m των κοχλίων για την αποκατάσταση επίσης συνέχειας του ελκυστήρα.

Πρέπει:

$$F_V = n \cdot m \cdot \frac{a \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \geq F_{Ed} = 401.8 \text{ kN} \Rightarrow 2 \cdot m \cdot \frac{0.7 \cdot 70 \cdot 2.01 \text{ kN}}{1.25 \text{ cm}^2} \cdot \text{cm}^2 \geq 401.8 \text{ kN}$$

Από την παραπάνω ανίσωση προκύπτει πως: $m \geq 2.55$ κοχλίες άρα επιλέγεται $m = 4$ κοχλίες για τη σύνδεση αποκατάστασης συνέχειας.

Επομένως:

$$F_V = n \cdot m \cdot \frac{a \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 4 \cdot \frac{0.7 \cdot 70 \cdot 2.01 \text{ kN}}{1.25 \text{ cm}^2} \cdot \text{cm}^2 = 630.34 \text{ kN} \geq F_{Ed} = 401.8 \text{ kN}$$

Οι κοχλίες επαρκούν σε διάτμηση.

Επιλογή αποστάσεων:

Οι αποστάσεις των κοχλιώσεων επιλέγονται με τον ίδιο τρόπο επίσης και επίσης κοινούς κατασκευαστικούς χάλυβες, δηλαδή μέσα από τον πίνακα 3.3 του EN1993-1-8.

Ελάχιστες Αποστάσεις:

- $e_1 \geq 1.2d_0 = 21.6 \text{ mm}$ όπου $d_0 = 16 + 2 = 18 \text{ mm}$
- $p_1 \geq 2.2d_0 = 39.6 \text{ mm}$
- $e_2 \geq 1.5d_0 = 27 \text{ mm}$
- $p_2 \geq 2.4d_0 = 43.2 \text{ mm}$

Μέγιστες Αποστάσεις:

- $e_1 < 4 \cdot t + 60 = 4 \cdot 5 + 60 = 60 \text{ mm}$, όπου $t = 5 \text{ mm}$ το πάχος λεπτότερου ελάσματος στην σύνδεση
- $p_1 < \min(14 \cdot t; 200) = \min(14 \cdot 5; 200) = 70 \text{ mm}$
- $e_2 < \min(14 \cdot t; 200) = \min(14 \cdot 5; 200) = 70 \text{ mm}$
- $p_2 < \min(14 \cdot t; 200) = \min(14 \cdot 5; 200) = 70 \text{ mm}$

Άρα επιλέγονται οι αποστάσεις:

$$e_1 = 30 \text{ mm}, e_2 = 28 \text{ mm}, p_1 = 70 \text{ mm}, p_2 = 60 \text{ mm}$$

Έλεγχος σε Σύνθλιψη Άντυγας Οπών:

Υπολογίζονται οι συντελεστές a_b και k_1 σύμφωνα με τον EN1993-1-4 πιν. 10.1 για πάχος ελάσματος $t > 4 \text{ mm}$.

Για ακραίους κοχλίες:

$$a_b = \min \left\{ 2.5; \frac{5e_1}{6d_0} \right\}$$

Για εσωτερικούς κοχλίες:

$$a_b = \min \left\{ 2.5; \frac{5p_1}{12d_0} \right\}$$

Οπότε:

$$a_b = \min \left\{ 2.5; \frac{5e_1}{6d_0}; \frac{5p_1}{12d_0} \right\} = \min \left\{ 2.5; \frac{5}{6} \cdot \frac{30}{18}; \frac{5}{12} \cdot \frac{70}{18} \right\} = \min \{ 2.5; 1.4; 1.62 \} = 1.4$$

Για τον συντελεστή k_1 ισχύει:

$$k_1 = \begin{cases} 1.0 & \text{εάν } \min \left\{ \frac{e_2}{d_0}; \frac{p_2}{2d_0} \right\} > 1.5 \\ 0.8 & \text{εάν } \min \left\{ \frac{e_2}{d_0}; \frac{p_2}{2d_0} \right\} \leq 1.5 \end{cases} \text{ για ακραίους κοχλίες και}$$

$$k_1 = \begin{cases} 1.0 & \text{εάν } \left\{ \frac{p_2}{2d_0} \right\} > 1.5 \\ 0.8 & \text{εάν } \left\{ \frac{p_2}{2d_0} \right\} \leq 1.5 \end{cases} \text{ για εσωτερικούς κοχλίες}$$

$$\min \left\{ \frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0} \right\} = \min \left\{ \frac{28}{18}, \frac{60}{2 \cdot 18} \right\} = \min \{1.56; 1.67\} = 1.56 \text{ καθώς και } \frac{p_2}{2d_0} = 1.67 > 1.5$$

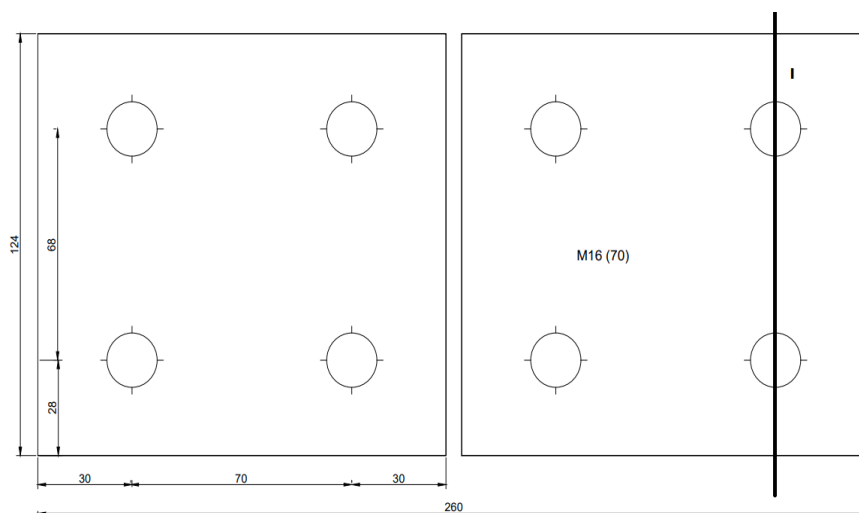
Άρα, $k_1 = 1.0$.

Οπότε η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας:

$$F_{b,Rd} = n \cdot m \cdot \frac{a_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 4 \cdot \frac{1.4 \cdot 1.0 \cdot 60 \frac{kN}{cm^2} \cdot 1.6 cm \cdot 0.5 cm}{1.24} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{b,Rd} = 430.08 kN > F_{Ed} = 401.8 kN$$

Ο έλεγχος επάρκειας σε σύνθλιψη άντυγας για 4 κοχλίες ικανοποιείται. Επίσης, εφόσον $F_{v,Rd} = 630.34 kN > F_{b,Rd} = 430.08 kN$ ικανοποιείται το κριτήριο πλαστιμότητας σύμφωνα με το οποίο καθοριστική πρέπει να είναι η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας των οπών και όχι η αστοχία σε διάτμηση των κοχλιών.



Εικόνα 6-5: Κοχλίωση στο σημείο αποκατάστασης της σύνδεσης και γραμμή θραύσης

Έλεγχος Λεπίδας Σύνδεσης:

Γίνεται αρχική επιλογή λεπίδας ύψους $150 mm$ και πάχους $t = 20 mm$ με βάση τις αποστάσεις e_2, p_2 των κοχλιώσεων.

Πλήρης Διατομή:

$$A = 15 cm \cdot 2 cm = 30 cm^2$$

Καθαρή Διατομή:

$$A_{net} = A - n \cdot d_0 \cdot t = 30 cm^2 - 2 \cdot 1.8 \cdot 2 cm^2 = 22.8 cm^2$$

Αντοχή διατομής σε εφελκυσμό:

$$N_{t,Rd} = \min\{N_{Pl,Rd}; N_{u,Rd}\} = \min\left\{\frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}; 0.9 \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}\right\} = \min\left\{30 \cdot \frac{35}{1.10}; 0.9 \cdot 22.8 \cdot \frac{60}{1.25}\right\}$$

$$= \min\{954.55; 984.96\} = 954.55 \text{ kN} > N_{Ed} = 401.8 \text{ kN}$$

Η λεπίδα επαρκεί σε εφελκυσμό.

Σημείωση: Χρησιμοποιήθηκε το ίδιο κράμα ανοξείδωτου χάλυβα για την λεπίδα σύνδεσης ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση διάβρωσης.

Παρατηρούμε πως $N_{u,Rd} > N_{Pl,Rd}$, πρέπει $\frac{A_{net}}{A} \geq \frac{f_y \cdot \gamma_{M2}}{0.9 \cdot f_u \cdot \gamma_{M0}} = \frac{35 \cdot 1.25}{0.9 \cdot 60 \cdot 1.1} = 0.74$ ώστε να ισχύει το κριτήριο πλαστιμότητας για την λεπίδα σύνδεσης.

Ισχύει:

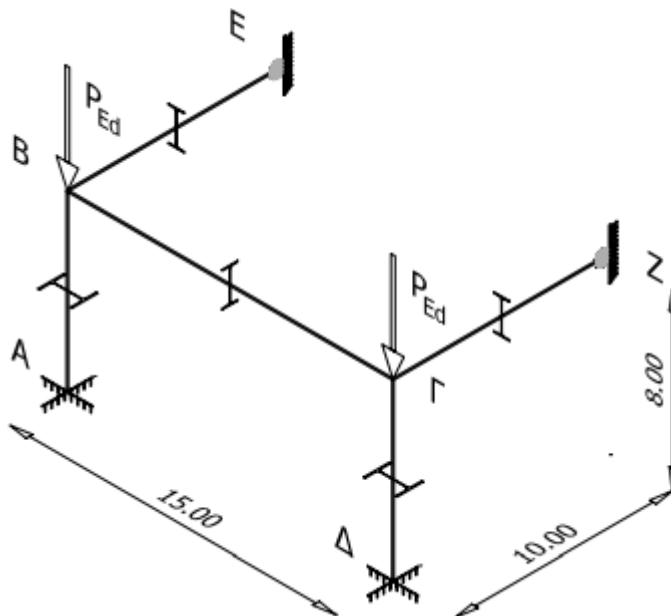
$$\frac{A_{net}}{A} = \frac{30}{22.8} = 0.76 > 0.74 \text{ άρα το κριτήριο ικανοποιείται}$$

6.2 Θλιβόμενο μέλος

(Το αριθμητικό παράδειγμα βασίζεται στην Άσκηση 6 του μαθήματος «Σιδηρές Κατασκευές Ι».)

Στο παράδειγμα που ακολουθεί υπολογίζονται τα μέγιστα φορτία σχεδιασμού P_{Ed} στο πλαίσιο της παρακάτω εικόνας, από ανοξείδωτο χάλυβα 1.4301. Η διατομή των στύλων είναι HEA400 (υπάρχουν ευρωπαϊκά πρότυπα παρόμοια με του κοινού χάλυβα, παρόλο που εκλείπει η διαθεσιμότητα τέτοιων διατομών στην ελληνική αγορά), ενώ η διατομή της δοκού ΒΓ είναι IPE400 και η διατομή των δοκών ΒΕ και ΓΖ είναι IPE350. Οι διατομές είναι θερμής έλασης οπότε η αντοχή του υλικού θα ληφθεί υπόψιν από τον πίνακα 3-1 του κεφαλαίου 3.

Οι διατομές των υποστυλωμάτων και η διατομή της δοκού ΒΓ είναι κατάλληλα προσανατολισμένες, ώστε οι ισχυροί τους άξονες να ενεργοποιούνται για φορτία εντός του επιπέδου του πλαισίου ΑΒΓΔ, ενώ οι διατομές των δοκών ΒΕ και ΓΖ είναι προσανατολισμένες έτσι ώστε ο ισχυρός άξονας να ενεργοποιείται για φορτία εντός των επιπέδων των πλαισίων ΑΒΕ(Η) και ΔΓΖ(Θ), αντίστοιχα.



Εικόνα 6-6: Όψη του πλαισίου

6.2.1 Στατική λειτουργία

Εφόσον τα φορτία είναι κατακόρυφα και ασκούνται στους κόμβους, θα προκαλέσουν καθαρή αξονική θλίψη στα υποστυλώματα, χωρίς να δημιουργήσουν ένταση στις δοκούς. Ο ρόλος των δοκών στη στατική λειτουργία του χωρικού πλαισίου (για αυτά τα φορτία) περιορίζεται στην επιβολή δέσμευσης των στροφών των κόμβων στις κορυφές των υποστυλωμάτων.

6.2.2 Κατηγορία διατομής

Εφόσον οι στύλοι είναι θλιβόμενα μέλη, προκειμένου να γίνει κατάταξη διατομής, εξετάζεται ο κορμός και το πέλμα σε καθαρή θλίψη. Η κατηγορία διατομής δίνεται από τους πίνακες των προτύπων διατομών για καθαρή κάμψη ή για καθαρή θλίψη ανάλογα με την ποιότητα του χάλυβα, αλλά μπορεί να υπολογιστεί και αναλυτικά, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

Κατηγορία κορμού

Με βάση τους πίνακες 3-8, 3-9 του κεφαλαίου 3 γίνεται η κατάταξη των διατομών μέσα από την κατάταξη του κορμού και των πελμάτων. Σύμφωνα με τους πίνακες των προτύπων διατομών το ευθύγραμμο τμήμα του κορμού είναι $d = 298 \text{ mm}$.

Όσον αφορά τον κορμό ισχύει: $\frac{c}{t} = \frac{d}{t_w} = \frac{298}{11} = 27.09 < 34.9 = 33\varepsilon$

όπου $\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = 1.0579$ και $f_y = 210 \text{ N/mm}^2$ το όριο διαρροής για ωστενιτικό ανοξειδωτο χάλυβα 1.4301.

Επομένως, ο κορμός ανήκει στην κατηγορία 1.

Κατηγορία πέλματος

Ισχύει:

$$\frac{c}{t} = \frac{(b - t_w)/2 - r}{t_f} = \frac{(300 - 11)\text{mm}/2 - 27\text{mm}}{19\text{mm}} = 6.18 < 9\varepsilon = 9,52$$

όπου $\varepsilon = 1.0579$

Επομένως και το πέλμα ανήκει στην κατηγορία 1. Άρα, ολόκληρη η διατομή ανήκει στην κατηγορία 1.

6.2.3 Υπολογισμός Δυσκαμψιών

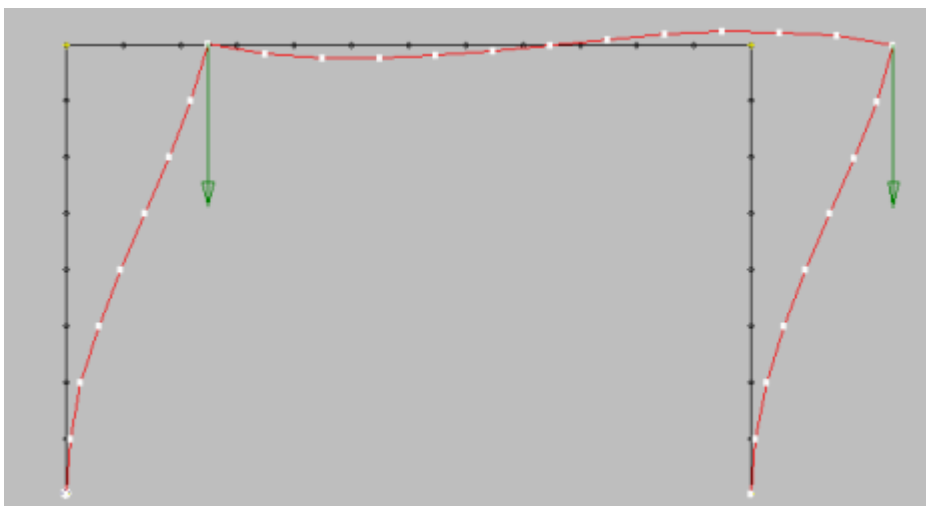
Η δυσκαμψία του υποστυλώματος είναι:

$$K_C = \frac{I_c}{L_c} = \frac{I_y}{L_y} = \frac{45070\text{cm}^3}{800\text{cm}} = 56.33\text{cm}^3$$

Και η δυσκαμψία του ζυγώματος ΒΓ είναι:

$$K_{12} = \frac{a \cdot I_{12}}{L_{12}} = \frac{1.50 \cdot I_{12}}{L_{12}} = \frac{1.50 \cdot 23130\text{cm}^3}{1500\text{cm}} = 23.13\text{cm}^3$$

Με $a = 1.50$ διότι θεωρούμε στροφή όπως στο πλησιέστερο άκρο (διπλή καμπυλότητα) σύμφωνα με την πρώτη κανονική μορφή λυγισμού για μεταθετά πλαίσια που δίνεται στην παρακάτω εικόνα.

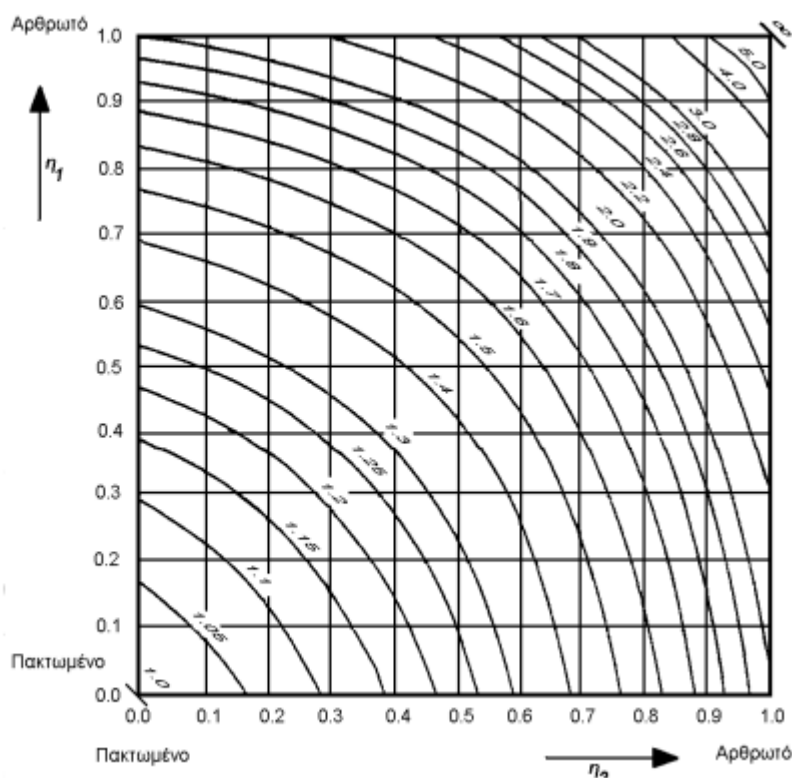


Εικόνα 6-7: 1^η κανονική μορφή λυγισμού

Έτσι, μιας και οι διατάξεις των EN1993-1-1 και EN1993-1-4 ταυτίζονται σε σχέση με τον λυγισμό μέλους και την μεταθετότητα του πλαισίου, μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής κατανομής η_1 ως εξής:

$$\eta_1 = \frac{K_C}{K_C + K_{12}} = \frac{56.33 \text{ cm}^3}{56.33 \text{ cm}^3 + 23.13 \text{ cm}^3} = 0.71$$

Ενώ, γνωρίζουμε πως $\eta_2 = 0$ μπορούμε να εκτιμήσουμε τον συντελεστή ισοδύναμου μήκους λυγισμού από το διάγραμμα (εικ. 6-8):



Εικόνα 6-8: Συντελεστής μήκους λυγισμού για υποστύλωμα με μεταθετά άκρα

Από όπου προκύπτει πως $\beta_y = 1.43$ άρα και το ισοδύναμο μήκος λυγισμού εντός επιπέδου του πλαισίου ΑΒΓΔ θα είναι:

$$L_y = \beta_y \cdot L = 1.43 \cdot 800 \text{ cm} = 1144 \text{ cm}$$

6.2.4 Υπολογισμός λυγηρότητας εντός του επιπέδου του πλαισίου ΑΒΓΔ

Όσον αφορά τον συντελεστή λυγισμού χ αυτός υπολογίζεται από αναλυτικές σχέσεις που δίνονται από τον EN1993-1-4.

Η ανηγμένη λυγηρότητα εντός επιπέδου του πλαισίου έχει ως εξής:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr}}}$$

όπου

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 159 \text{ cm}^2 \cdot 21 \text{ kN/cm}^2 = 3339 \text{ kN} \text{ η χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 45070 \text{ cm}^4}{1144^2} = 6797.9 \text{ kN} \text{ το κρίσιμο φορτίο Euler}$$

Οπότε:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3339}{6797.9}} = 0.7$$

και

$$\Phi = 0.5 \cdot (1 + a(\bar{\lambda}_y - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_y^2)$$

Με $a, \bar{\lambda}_0$ να δίνονται από τον EN1993-1-4 στον πίνακα 3-4 του κεφαλαίου 3 για συγκολλητές Ι-διατομές θερμής έλασης και να ισχύει $a = 0.60, \bar{\lambda}_0 = 0.2$.

Άρα,

$$\Phi = 0.5 \cdot (1 + a(\bar{\lambda}_y - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_y^2) = 0.5 \cdot (1 + 0.6(0.7 - 0.2) + 0.7^2) = 0.5 \cdot 1.79 = 0.895$$

και ο συντελεστής λυγισμού:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0.895\sqrt{0.895^2 - 0.7^2}} = 0.69$$

Έλεγχος υποστυλώματος εκτός του επιπέδου του πλαισίου ΑΒΓΔ

Υπολογισμός Δυσκαμψιών

Η δυσκαμψία του υποστυλώματος είναι:

$$K_C = \frac{I_c}{L_c} = \frac{I_z}{L_z} = \frac{8560 \text{ cm}^3}{800 \text{ cm}} = 10.70 \text{ cm}^3$$

Και η δυσκαμψία των ζυγωμάτων ΒΕ και ΓΖ είναι:

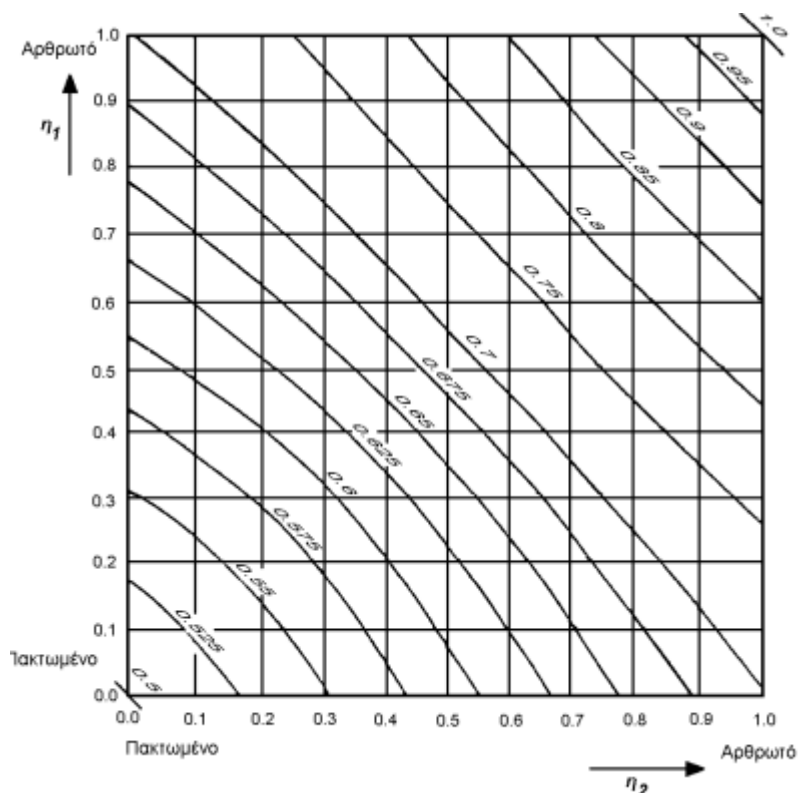
$$K_{12} = \frac{a \cdot I_{12}}{L_{12}} = \frac{0.75 \cdot I_{12}}{L_{12}} = \frac{1.50 \cdot 16270 \text{ cm}^3}{1000 \text{ cm}} = 23.13 \text{ cm}^3$$

Με $a = 0.75$ διότι θεωρήσαμε άρθρωση στο απομακρυσμένο άκρο σύμφωνα με την πρώτη κανονική μορφή λυγισμού για μεταθετά πλαίσια.

Έτσι, μιας και οι διατάξεις των EN1993-1-1 και EN1993-1-4 ταυτίζονται σε σχέση με τον λυγισμό μέλους και την μεταθετότητα του πλαισίου, μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής κατανομής η_1 ως εξής:

$$\eta_1 = \frac{K_C}{K_C + K_{12}} = \frac{10.70 \text{ cm}^3}{10.70 \text{ cm}^3 + 12.20 \text{ cm}^3} = 0.47$$

Ενώ, γνωρίζουμε πως $\eta_2 = 0$ μπορούμε να εκτιμήσουμε τον συντελεστή ισοδύναμου μήκους λυγισμού από το διάγραμμα (εικ. 6-9):



Εικόνα 6-9: Συντελεστή μήκους λυγισμού για υποστύλωμα με αμετάθετα άκρα

Από όπου προκύπτει πως $\beta_z = 0.58$ άρα και το ισοδύναμο μήκος λυγισμού εντός επιπέδου του πλαισίου ΑΒΓΔ θα είναι:

$$L_z = \beta_z \cdot L = 0.58 \cdot 800 \text{ cm} = 464 \text{ cm}$$

6.2.5 Υπολογισμός λυγηρότητας εκτός του επιπέδου του πλαισίου ΑΒΓΔ

Όσον αφορά τον συντελεστή λυγισμού χ αυτός υπολογίζεται από αναλυτικές σχέσεις που δίνονται από τον EN1993-1-4.

Η ανηγμένη λυγηρότητα εντός επιπέδου του πλαισίου έχει ως εξής:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr}}}$$

όπου

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 159 \text{ cm}^2 \cdot 21 \text{ kN/cm}^2 = 3339 \text{ kN} \text{ η χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 8560 \text{ cm}^4}{464^2} = 7848.15 \text{ kN} \text{ το κρίσιμο φορτίο Euler}$$

Οπότε:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3339}{7848.15}} = 0.65$$

και

$$\Phi = 0.5 \cdot (1 + a(\bar{\lambda}_y - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_y^2)$$

Με $\alpha, \bar{\lambda}_0$ να δίνονται από τον EN1993-1-4 στον πίνακα 3-4 του κεφαλαίου 3 για συγκολλητές I-διατομές θερμής έλασης και να ισχύει $\alpha = 0.60, \bar{\lambda}_0 = 0.2$.

Άρα,

$$\Phi = 0.5 \cdot (1 + a(\bar{\lambda}_y - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_y^2) = 0.5 \cdot (1 + 0.6(0.65 - 0.2) + 0.65^2) = 0.5 \cdot 1.6925 = 0.85$$

και ο συντελεστής λυγισμού:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0.85\sqrt{0.85^2 - 0.65^2}} = 0.715$$

6.2.6 Μειωτικός Συντελεστής χ

Ο μειωτικός συντελεστής που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αντοχής του υποστυλώματος σε λυγισμό είναι ο μικρότερος από τους δύο συντελεστές που υπολογίστηκαν, δηλαδή:

$$\chi = \min(0.715; 0.69) = 0.69$$

6.2.7 Αντοχή θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό

Η αντοχή θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό δίνεται ως εξής:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.69 \cdot 159 \text{ cm}^2 \cdot 21 \text{ kN/cm}^2}{1.10} = 2095 \text{ kN}$$

6.2.8 Μέγιστο φορτίο σχεδιασμού

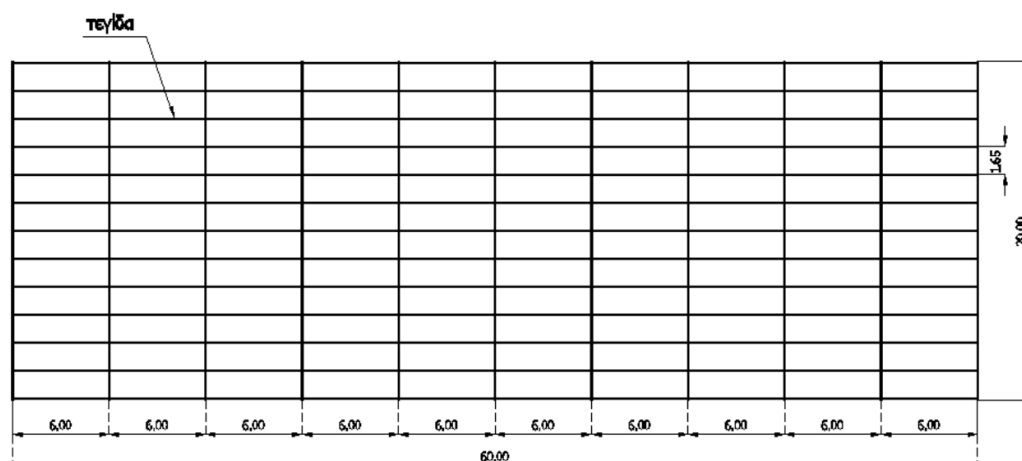
Το μέγιστο φορτίο σχεδιασμού P_{Ed} θα είναι ίσο με την οριακή αντοχή του στύλου σε λυγισμό, δηλαδή:

$$P_{Ed} = N_{b,Rd} = 2095 \text{ kN}$$

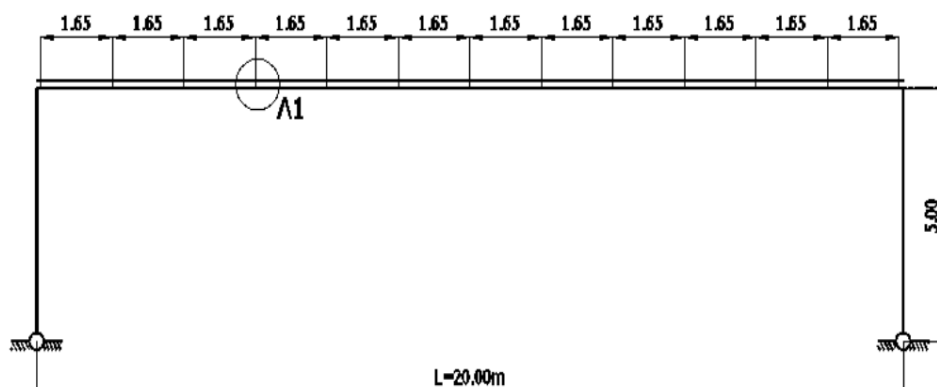
6.3 Μέλος υπό κάμψη

(Το αριθμητικό παράδειγμα βασίζεται στην Άσκηση 6 του μαθήματος «Σιδηρές Κατασκευές Ι».)

Η κάλυψη βιομηχανικού χώρου γίνεται από μεταλλική κατασκευή με κύριους φορείς δίστυλα πλαίσια, τοποθετημένα ανά 6,00m. Κάθετα στο επίπεδο των πλαισίων και επί των ζυγωμάτων, διατάσσονται τεγίδες, σε αποστάσεις μεταξύ τους ίσες με 1,65m. Η κάθε τεγίδα μορφώνεται ως συνεχής δοκός δύο ίσων ανοιγμάτων. Το ζύγωμα είναι οριζόντιο.



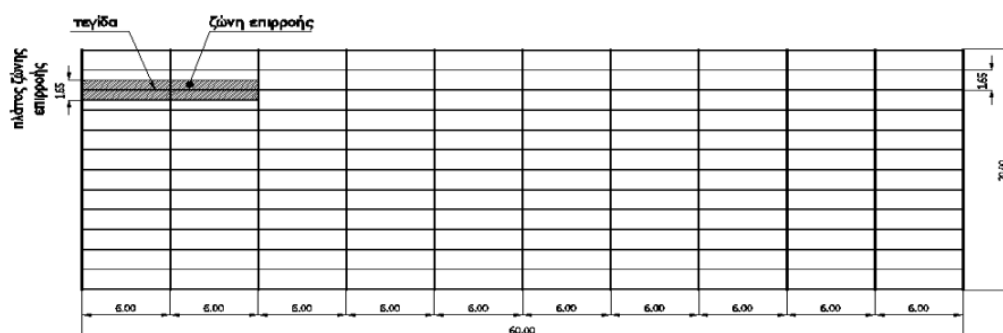
Εικόνα 6-10: Κάτοψη στεγάστρου



Εικόνα 6-11: Τομή πλαισίου

Δίνονται: Ανοξείδωτος ωστενιτικός χάλυβας 1.4301, μόνιμα φορτία $g = 0.20 \frac{kN}{cm^2}$, χιόνι $s = 0.75 \frac{kN}{cm^2}$, υποπίεση ανέμου $w = 0.60 \frac{kN}{cm^2}$

Το ζητούμενο του αριθμητικού παραδείγματος είναι η εύρεση της ελάχιστης απαιτούμενης διατομής τεγίδας για το στέγαστρο και ο έλεγχος της σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) καθώς και λειτουργικότητας (ΟΚΛ).



Εικόνα 6-12: Μήκος επιρροής τεγίδας δυο ανοιγμάτων

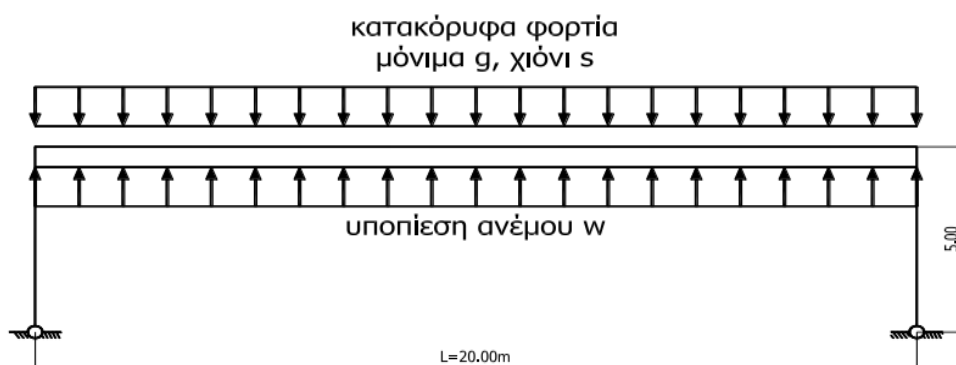
Το μήκος επιρροής της τεγίδας είναι 1.65 m και σύμφωνα με αυτό υπολογίζονται τα κατανεμημένα φορτία της:

$$g = 0.20 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 1.65\text{ m} = 0.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s = 0.75 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 1.65\text{ m} = 1.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$w = -0.60 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 1.65\text{ m} = -0.99 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Τα φορτία κατανέμονται ως εξής όπως την παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 6-13: Φόρτιση πλαισίου

6.3.1 Συνδυασμοί Φορτίσεων

Σημαντικό είναι να βρεθούν οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί φόρτισης της τεγίδας τόσο για την οριακή κατάσταση αστοχίας όσο και για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω (με κύριο το χιόνι):

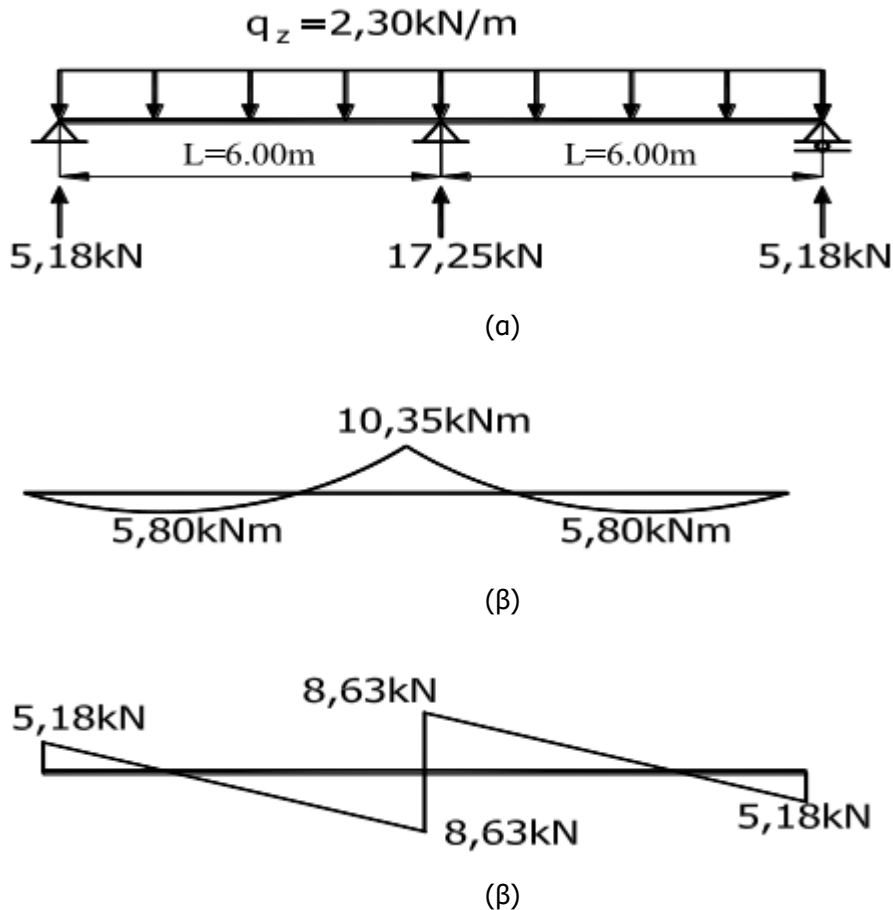
$$\begin{aligned} E_{d,1} &= \gamma_G \cdot g + \gamma_{Q,1} \cdot s + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot w = 1.35 \cdot g + 1.50 \cdot s + 0.00 \cdot 0.60 \cdot w = \\ &= 1.35 \cdot 0.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1.50 \cdot 1.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 2.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία στις τα πάνω (με κύριο τον άνεμο):

$$E_{d,2} = \gamma_G \cdot g + \gamma_{Q,1} \cdot w + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot s = 1.35 \cdot g + 1.50 \cdot s + 0.00 \cdot 0.50 \cdot w =$$

$$= 1.00 \cdot 0.33 \frac{kN}{m} - 1.50 \cdot 0.99 \frac{kN}{m} = -1.16 \frac{kN}{m}$$

Επιλέγεται ο δυσμενής συνδυασμός με φορτία στις τα κάτω, όπου δίνει τα ακόλουθα εντατικά μεγέθη έπειτα από στατική ανάλυση στις φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες 6-14



Εικόνα 6-14: (α) Φόρτιση τεγίδας δυο ανοιγμάτων (β) Διάγραμμα καμπτικών ροπών (γ) Διάγραμμα τενουσσών

Από την στατική επίλυση φαίνεται πως τα μέγιστα εντατικά μεγέθη είναι $M_y = 10.35 \text{ kNm}$ και $V_z = 8.63 \text{ kN}$ για καμπτική ροπή και τέμνουσα αντίστοιχα.

6.3.2 Επιλογή διατομής τεγίδας

Η επιλογή γίνεται μέσω του ελέγχου για κάμψη διατομής, δηλαδή μέσα από την ανίσωση:

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} \Rightarrow M_{Ed} \leq \frac{W_{pl,Rd} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow 1035 \text{ kNcm} \leq \frac{W_{pl} \cdot 31.5 \frac{kN}{cm^2}}{1.10} \Rightarrow W_{pl} \geq 36.14 \text{ cm}^3$$

Από τους πίνακες για την διαθεσιμότητα των διατομών στην ελληνική αγορά επιλέξαμε κοίλη τετραγωνική διατομή SHS 80x80x5 με $W_{pl} = 41.1 \text{ cm}^3$

Κατηγορία Διατομής

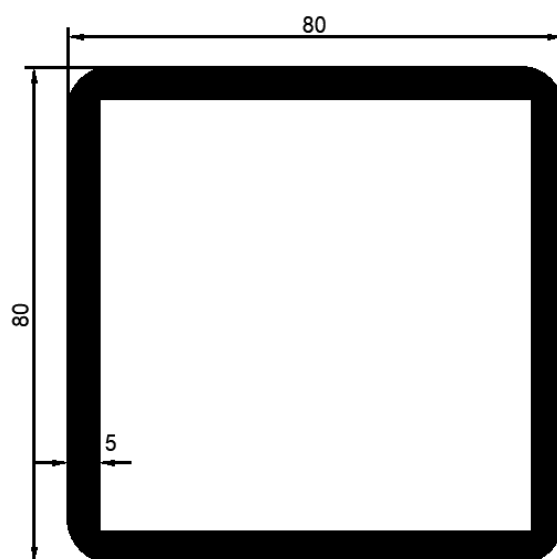
Με βάση τον πίνακα 3-8 του κεφαλαίου 3 γίνεται η κατάταξη των κοίλων ορθογωνικών και τετραγωνικών διατομών.

Ισχύει:

$$\frac{c}{t} = \frac{h-3t}{t} = \frac{80-3 \cdot 5}{5} = 13 < 72\varepsilon = 62.136$$

όπου $\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = 0.863$ και $f_y = 315 \text{ N/mm}^2$ το όριο διαρροής για ωστενικό ανοξειδωτο χάλυβα 1.4301 και διατομές ψυχρής έλασης σύμφωνα με τον πίνακα 3-2 του κεφαλαίου 3.

Επομένως, η διατομή ανήκει στην κατηγορία 1.



Εικόνα 6-15: Διατομή SHS 80x80x5

6.3.3 Έλεγχος απομείωσης ροπής αντοχής

Ελέγχεται εάν πρέπει να απομειωθεί η ροπή αντοχής της διατομής λόγω επιρροής της τέμνουσας. Αυτό θα συμβεί εάν:

$$V_{Ed} > 0.50 \cdot V_{pl,Rd}$$

όπου

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{8 \text{ cm} \cdot 0.5 \text{ cm} \cdot 2 \cdot 31.5 \text{ kN/cm}^2}{1.10} = 132.27 \text{ kN}$$

και $V_{Ed} = 8.63 \text{ kN} < 0.50 \cdot V_{pl,Rd} = 66.13 \text{ kN}$ οπότε δεν απαιτείται απομείωση της καμπτικής αντοχής της διατομής της τεγίδας.

6.3.4 Έλεγχος σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

6.3.4.1 Συνδυασμοί Φορτίσεων

Μόνιμα και κινητά

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω (με κύριο το χιόνι):

$$E_{d,1} = \gamma_G \cdot g + \gamma_{Q,1} \cdot s + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot w = 1.00 \cdot g + 1.00 \cdot s + 0.00 \cdot 0.60 \cdot w =$$

$$= 1.00 \cdot 0.33 \frac{kN}{m} + 1.00 \cdot 1.24 \frac{kN}{m} = 1.57 \frac{kN}{m}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω (με κύριο τον άνεμο):

$$E_{d,2} = \gamma_G \cdot g + \gamma_{Q,1} \cdot w + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot s = 1.00 \cdot g + 1.00 \cdot s + 0.00 \cdot 0.50 \cdot w =$$

$$= 1.00 \cdot 0.33 \frac{kN}{m} - 1.00 \cdot 0.99 \frac{kN}{m} = -0.66 \frac{kN}{m}$$

Επιλέγεται ο δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω ως δυσμενέστερος

Μόνο κινητά

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω (με κύριο το χιόνι):

$$E_{d,1} = \gamma_{Q,1} \cdot s + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot w = 1.00 \cdot s + 0.00 \cdot 0.60 \cdot w = 1.00 \cdot 1.24 \frac{kN}{m} = 1.24 \frac{kN}{m}$$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω (με κύριο τον άνεμο):

$$E_{d,2} = \gamma_{Q,1} \cdot w + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot s = 1.00 \cdot s + 0.00 \cdot 0.50 \cdot w = 1.00 \cdot 0.33 \frac{kN}{m} - 1.00 \cdot 0.99 \frac{kN}{m}$$

$$= -0.99 \frac{kN}{m}$$

6.3.5 Υπολογισμός Βελών

Τα μέγιστα επιτρεπόμενα βέλη υπολογίζονται από τον πίνακα 3-28 του κεφαλαίου 3 και σύμφωνα με τον EN1993-1-1 για στέγες (γενικά) μιας και ο EN1993-1-4 δεν έχει σαφή όρια μέγιστων παραμορφώσεων.

Δίνονται:

$$\delta_{max} = \frac{L}{200} = \frac{600}{200} = 3 \text{ cm για συνδυασμό μονίμων και κινητών}$$

$$\delta_2 = \frac{L}{250} = \frac{600}{250} = 2.4 \text{ cm μόνο για κινητά φορτία}$$

6.3.5.1 Συνδυασμός μονίμων και κινητών

$$w = \frac{p_{o\lambda} \cdot L^4}{192.8 \cdot E \cdot I} = \frac{0.0157 \text{ kN/cm} \cdot 600^4 \text{ cm}^4}{192.8 \cdot 20000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 137 \text{ cm}^4} = 3.85 \text{ cm} > 3 \text{ cm}$$

6.3.5.2 Μόνο κινητά

$$w = \frac{q \cdot L^4}{192.8 \cdot E \cdot I} = \frac{0.0124 \text{ kN/cm} \cdot 600^4 \text{ cm}^4}{192.8 \cdot 20000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 137 \text{ cm}^4} = 3.04 \text{ cm} > 2.4 \text{ cm}$$

Συμπεραίνουμε πως, δημιουργείται πρόβλημα κατά την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και δημιουργούνται ανεπιθύμητα βέλη τα οποία δεν επηρεάζουν, μεν, την στατική λειτουργία του κτιρίου, δημιουργούν, δε, ένα αίσθημα δυσφορίας στους χρήστες, εφόσον μιλάμε για βατό δάπεδο. Στην περίπτωση μας, μιας και μιλάμε για στέγαστρο τα βέλη αυτά μπορεί να μην παρατηρηθούν.

6.4 Έλεγχος σύνδεσης κοντού προβόλου

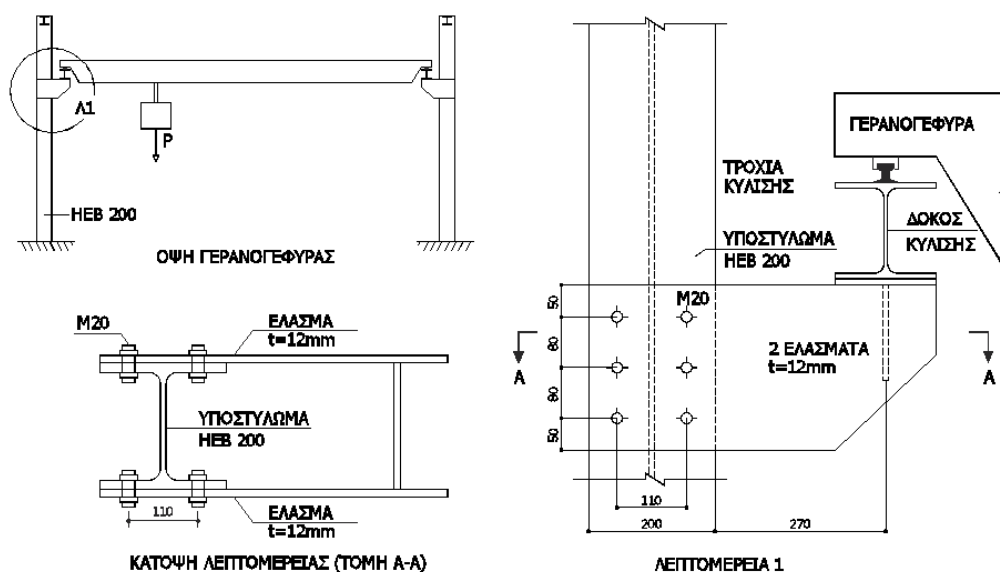
(Το αριθμητικό παράδειγμα βασίζεται στην Άσκηση 2 του μαθήματος «Σιδηρές Κατασκευές ΙΙ».)

Για την εξυπηρέτηση των αναγκών βιοτεχνικού υπαίθριου χώρου επεξεργασίας μαρμάρων κατασκευάζεται γερανογέφυρα (Εικόνα 6-16) η οποία στηρίζεται σε κοντούς προβόλους που διαμορφώνονται επί σειράς περιμετρικών υποστυλωμάτων διατομής HEB 200.

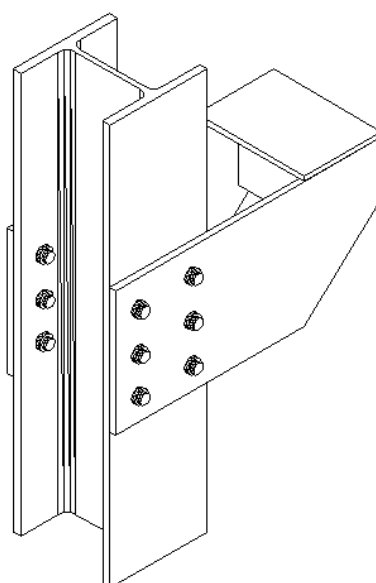
Οι κοντοί πρόβολοι διαμορφώνονται μέσω δύο μεταλλικών ελασμάτων πάχους 12mm τα οποία συνδέονται επί των πελμάτων των υποστυλωμάτων με κοχλίες M20 κατηγορίας 80 όπως φαίνεται στη λεπτομέρεια 1 και στην εικόνα 6-17.

Ζητείται ο έλεγχος της κοχλίωσης ώστε να φέρει φορτίο σχεδιασμού $P_{Ed} = 240 \text{ kN}$

Υλικό: Ανοξείδωτος Ωστενιτικός Χάλυβας 1.4301.



Εικόνα 6-16: Γερανογέφυρα



Εικόνα 6-17: Προοπτικό σύνδεσης

6.4.1 Δυσμενέστερη θέση του φορτίου

Για τον υπολογισμό των κοντών προβόλων της γερανογέφυρας, η δυσμενέστερη θέση του φορτίου είναι η θέση της στήριξης. Η μέγιστη τέμνουσα που αναπτύσσεται στη γερανογέφυρα είναι ίση με το φορτίο σχεδιασμού του προβόλου.

$$\max V_{Ed} = P_{Ed} = 240 \text{ kN}$$

Το φορτίο που καταπονεί κάθε ένα από τα μεταλλικά ελάσματα θα είναι ίσο με:

$$\frac{\max V_{Ed}}{2} = 120 \text{ kN}$$

6.4.2 Έλεγχος της κοχλίωσης

6.4.2.1 Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού

Στο κέντρο βάρους της κοχλίωσης ασκούνται τα εξής εντατικά μεγέθη:

$$\text{Τέμνουσα: } V_{Ed} = 120 \text{ kN}$$

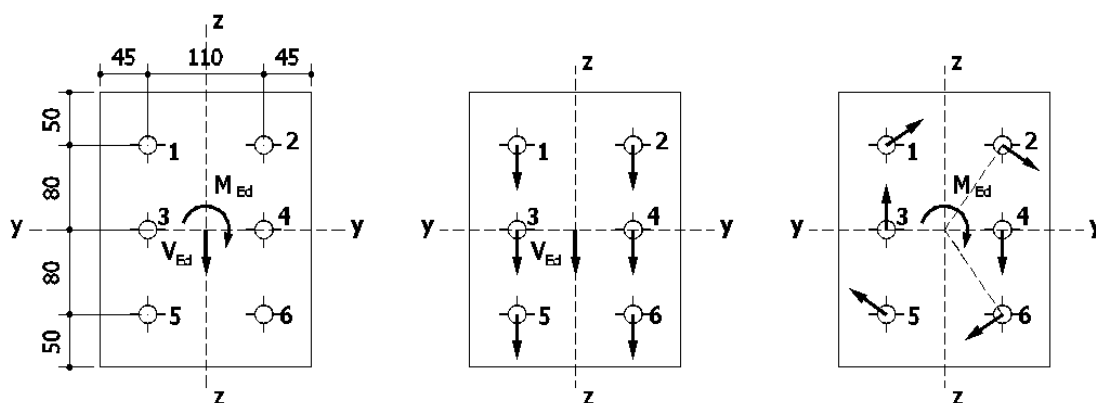
Ροπή στο επίπεδο της κοχλίωσης, στο κέντρο αυτής:

$$M_{Ed} = 120 \text{ kN} \cdot \left(27,0 \text{ cm} + \frac{20 \text{ cm}}{2} \right) = 4440 \text{ kNcm}$$

6.4.2.2 Διατμητική δύναμη δυσμενέστερου κοχλία

Η πολική ροπή αδράνειας της κοχλίωσης ως προς το Κ.Β. της κοχλίωσης είναι:

$$I_p = \sum_i^n (y_i^2 + z_i^2) = 4 \times (8,0 \text{ cm})^2 + 6 \times (5,5 \text{ cm})^2 = 437,5 \text{ cm}^2$$



Εικόνα 6-18: Γεωμετρία κοχλίωσης και κατανομή δυνάμεων στους κοχλίες λόγω τέμνουσας δύναμης και καμπτικής ροπής

Η τέμνουσα δύναμη ισοκατανέμεται στους 6 κοχλίες, ενώ στους κοχλίες 1, 2, 5 και 6, που είναι οι πιο απομακρυσμένοι κοχλίες από το Κ.Β. της κοχλίωσης, αναπτύσσονται οι μέγιστες δυνάμεις λόγω στρεπτικής ροπής με τη φορά που φαίνεται στο Σχήμα 1. Ωστόσο, οι κοχλίες 2 και 6 είναι δυσμενέστεροι επειδή η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης λόγω ροπής έχει την ίδια φορά με την δύναμη λόγω τέμνουσας. Έτσι οι δυνάμεις στο δυσμενέστερο κοχλία είναι:

$$F_{Ed,y} = \frac{M_{Ed}}{I_p} z = \frac{4440 \text{ kNcm}}{437,5 \text{ cm}^2} \times 8,0 \text{ cm} = 81,19 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,z} = \frac{V_{Ed}}{n} + \frac{M_{Ed}}{I_p} y = \frac{120kN}{6} + \frac{4440kNcm}{437,5cm^2} \times 5,5cm = 75,82kN$$

Η συνισταμένη δύναμη στον κοχλία είναι:

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{Ed,y}^2 + F_{Ed,z}^2} = \sqrt{(81,19kN)^2 + (75,82kN)^2} = 111,09kN$$

6.4.2.3 Αντοχή κοχλίων σε διάτμηση

Η αντοχή του ενός κοχλία σε διάτμηση δίνεται ως εξής:

$$F_{v,Rd} = n \frac{\alpha A f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

Θα πρέπει να ισχύει:

$$F_{v,Rd} = 1 \times \frac{0,70 \times \frac{\pi \times (2,0cm)^2}{4} \times 80kN/cm^2}{1,25} = 140,74 kN > F_{v,Ed} = 111,09 kN$$

Επομένως οι κοχλίες επαρκούν έναντι διάτμησης.

6.4.2.4 Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυγας των οπών κατά γ-γ

Για την αντοχή του ελάσματος σε σύνθλιψη άντυγας των οπών υπολογίζονται τα εξής:

$$a_b = \min \left\{ \frac{5e_1}{6d_o}; \frac{5p_1}{12d_o}; 2,5 \right\} = \min \left\{ \frac{5 \cdot 45mm}{6 \cdot 22mm}; \frac{5 \cdot 110mm}{12 \cdot 22}; 2,5 \right\} = \min\{1,7; 2,08; 2,5\} = 1,7$$

Για τον συντελεστή k_1 ισχύει:

$$k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{εάν } \min \left\{ \frac{e_2}{d_o}; \frac{p_2}{2d_o} \right\} > 1,5 \\ 0,8 & \text{εάν } \min \left\{ \frac{e_2}{d_o}; \frac{p_2}{2d_o} \right\} \leq 1,5 \end{cases} \text{ για ακραίους κοχλίες και}$$

$$k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{εάν } \left\{ \frac{p_2}{2d_o} \right\} > 1,5 \\ 0,8 & \text{εάν } \left\{ \frac{p_2}{2d_o} \right\} \leq 1,5 \end{cases} \text{ για εσωτερικούς κοχλίες}$$

$$\min \left\{ \frac{e_2}{d_o}; \frac{p_2}{2d_o} \right\} = \min \left\{ \frac{50}{22}; \frac{80}{2 \cdot 22} \right\} = \min\{2,27; 1,82\} = 1,14 \text{ καθώς και } \frac{p_2}{2d_o} = 1,82 > 1,5$$

Άρα, $k_1 = 1,0$

Η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας είναι:

$$F_{b,Rd,y} = n \cdot \frac{a_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{1,7 \cdot 1,0 \cdot 60 \frac{kN}{cm^2} \cdot 2,2cm \cdot 1,2cm}{1,25} = 215,42 kN > 81,19kN = F_{b,Ed,y}$$

6.4.2.5 Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυγας των οπών κατά z-z

Για την αντοχή του ελάσματος σε σύνθλιψη άντυγας των οπών υπολογίζονται τα εξής:

$$a_b = \min \left\{ \frac{5e_1}{6d_o}; \frac{5p_1}{12d_o}; 2.5 \right\} = \min \left\{ \frac{5 \cdot 50\text{mm}}{6 \cdot 22\text{mm}}; \frac{5 \cdot 80\text{mm}}{12 \cdot 22}; 2.5 \right\} = \min\{1.89; 1.52; 2.5\} = 1.52$$

Για τον συντελεστή k_1 ισχύει:

$$k_1 = \begin{cases} 1.0 & \text{εάν } \min \left\{ \frac{e_2}{d_o}; \frac{p_2}{2d_o} \right\} > 1.5 \\ 0.8 & \text{εάν } \min \left\{ \frac{e_2}{d_o}; \frac{p_2}{2d_o} \right\} \leq 1.5 \end{cases} \text{ για ακραίους κοχλίες και}$$

$$k_1 = \begin{cases} 1.0 & \text{εάν } \left\{ \frac{p_2}{2d_o} \right\} > 1.5 \\ 0.8 & \text{εάν } \left\{ \frac{p_2}{2d_o} \right\} \leq 1.5 \end{cases} \text{ για εσωτερικούς κοχλίες}$$

$$\min \left\{ \frac{e_2}{d_o}; \frac{p_2}{2d_o} \right\} = \min \left\{ \frac{45}{22}; \frac{110}{2 \cdot 22} \right\} = \min\{2.05; 2.5\} = 2.05 \text{ καθώς και } \frac{p_2}{2d_o} = 2.5 > 1.5$$

Άρα, $k_1 = 1.0$

$$F_{b,Rd,z} = n \cdot \frac{a_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mz}} = 1 \cdot \frac{1.52 \cdot 1.0 \cdot 60 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 2.2 \text{cm} \cdot 1.2 \text{cm}}{1.25} = 192.61 \text{ kN} > 75.82 \text{ kM} = F_{b,Ed,z}$$

Επομένως ο έλεγχος σε σύνθλιψη άντυγας επαρκεί.

6.5 Έλεγχος επάρκειας κοχλίωσης

(Το αριθμητικό παράδειγμα βασίζεται στην Άσκηση 3 του μαθήματος «Σιδηρές Κατασκευές ΙΙ».)

Η δοκός AB διατομής HEA180 από ανοξείδωτο χάλυβα 1.4301 (Εικ. 6-19) φέρει κατακόρυφο φορτίο P στον κόμβο B οφειλόμενο κατά 50kN σε μόνιμα φορτία και κατά 100kN σε κινητά.

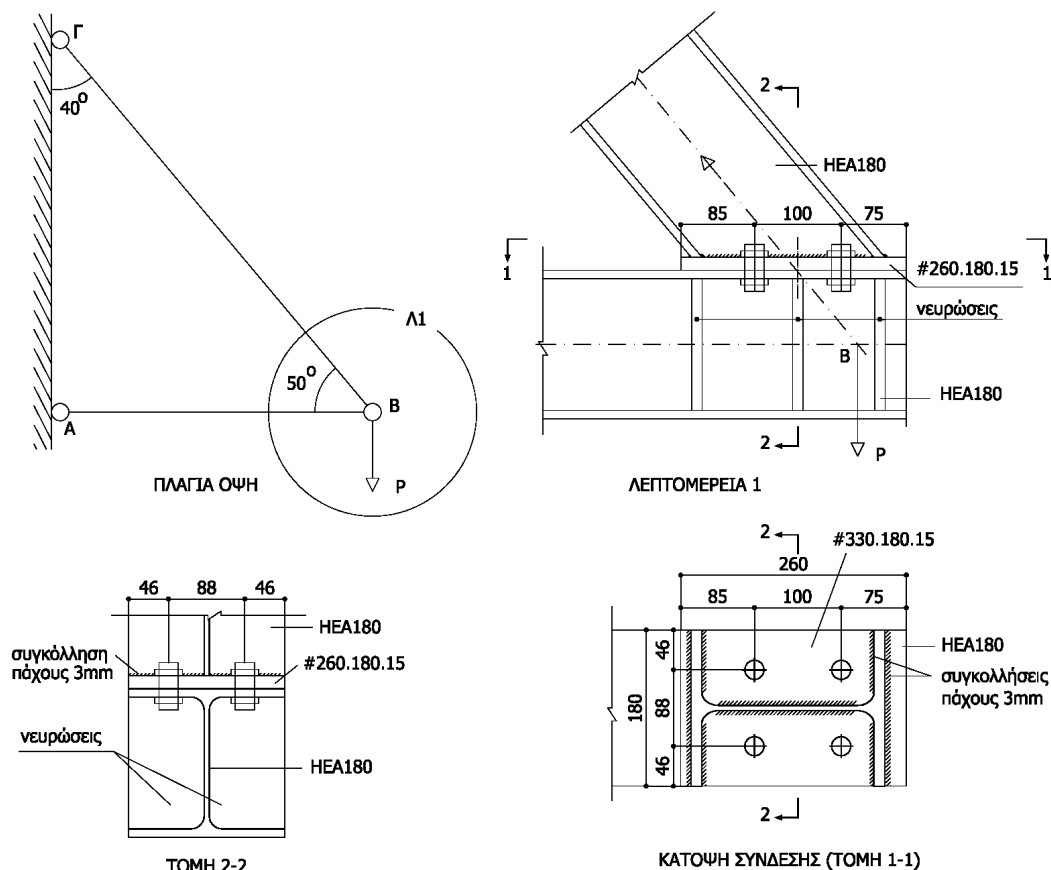
Η δοκός στηρίζεται στον κόμβο A μέσω άρθρωσης ενώ αναρτάται από τον κόμβο B μέσω αναρτήρα ΒΓ ίδιας διατομής και ποιότητας χάλυβα.

Η σύνδεση στον κόμβο B (δοκού και αναρτήρα) γίνεται μέσω μετωπικής πλάκας που συγκολλάται στο άκρο του αναρτήρα και κοχλιώνεται στο άνω πέλμα της δοκού μέσω τεσσάρων κοχλιών M20/80.

Ζητείται να γίνει ο έλεγχος της επάρκειας της κοχλιώσεως για τις περιπτώσεις.

A) Σύνδεση μέσω κοινών κοχλιών (κοχλίωση τύπου D)

B) Σύνδεση μέσω προεντεταμένων κοχλιών ανθεκτικών σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας (κοχλίωση τύπου E). Οι επιφάνειες επαφής θα θεωρηθούν αμμοβολισμένες.



Εικόνα 6-19: Γεωμετρία φορέα και λεπτομέρεια σύνδεσης

6.5.1 Φορτία

Υπολογίζουμε την οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα της αξονικής δύναμης S_{BG} του αναρτήρα (Ράβδος ΒΓ)

Από την ισορροπία κατακόρυφων δυνάμεων ισχύει:

$$S_{BG,y} = P$$

$$S_{BG,x} = \frac{S_{BG,y}}{\tan 50^\circ}$$

όπου $\tan 50^\circ = 1.192$

Μόνιμο φορτίο: 50 kN

Κινητό φορτίο: 100 kN

6.5.2 Συνδυασμοί φορτίσεων

Οριακή κατάσταση αστοχίας:

$$P_{Ed} = 1.35 \cdot 50 \text{ kN} + 1.50 \cdot 100 \text{ kN} = 217.50 \text{ kN}$$

$$S_{BG,y} = P = 217.50 \text{ kN}$$

$$S_{BG,x} = \frac{S_{BG,y}}{\tan 50^\circ} = \frac{217.50 \text{ kN}}{1.192} = 182.47 \text{ kN}$$

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας:

$$P_{Ed} = 1.00 \cdot 50 \text{ kN} + 1.00 \cdot 100 \text{ kN} = 150 \text{ kN}$$

$$S_{BG,y} = P = 150 \text{ kN}$$

$$S_{BG,x} = \frac{S_{BG,y}}{\tan 50^\circ} = \frac{150 \text{ kN}}{1.192} = 125.84 \text{ kN}$$

6.5.3 Διαμόρφωση σύνδεσης με απλούς κοχλίες τύπου D

Επιλέγουμε 4 απλούς κοχλίες (τύπου A), κατηγορίας 80.

Κάθε κοχλίας καταπονείται σε διάτμηση με δύναμη: $\frac{S_{BG,x}}{4} = \frac{182.47 \text{ kN}}{4} = 45.62 \text{ kN}$

και σε εφελκυσμό με δύναμη: $\frac{S_{BG,y}}{4} = \frac{217.50 \text{ kN}}{4} = 54.38 \text{ kN}$.

Αρχικά γίνεται εκτίμηση της απαιτούμενης διαμέτρου των κοχλιών με βάση τους ελέγχους σε απλή διάτμηση και σε απλό εφελκυσμό.

6.5.3.1 Αντοχή κοχλιών σε διάτμηση

Η αντοχή του ενός κοχλία σε διάτμηση δίνεται ως εξής:

$$F_{v,Rd} = n \frac{\alpha_v A f_{ub}}{\gamma_{M2}} \Rightarrow F_{v,Rd} = 1 \times \frac{0,70 \times 3,14 \times 80 \text{ kN/cm}^2}{1,25} = 140.67 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 45,62 \text{ kN}$$

6.5.3.2 Αντοχή κοχλιών σε εφελκυσμό

Η αντοχή του ενός κοχλία σε εφελκυσμό δίνεται ως εξής:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} \Rightarrow F_{t,Rd} = \frac{1.0 \times 2,45 \times 80 \text{ kN/cm}^2}{1,25} = 156.8 \text{ kN} \geq F_{t,Ed} = 54.38 \text{ kN}$$

6.5.3.6 Αντοχή κοχλιών σε συνδυασμό εφελκυσμού και διάτμησης

Όταν οι κοχλίες υπόκεινται σε ταυτόχρονη διάτμηση και εφελκυσμό θα πρέπει να ισχύει, με την θεώρηση πως το σπείρωμα είναι εκτός του επιπέδου διάτμησης:

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^{1.7} + \left(\frac{F_{t,Ed}}{1.25 F_{t,Rd}}\right)^{1.7} \leq 1.0 \Rightarrow \left(\frac{45.62 \text{ kN}}{120.57 \text{ kN}}\right)^{1.7} + \left(\frac{54.38}{1.25 \cdot 141.12 \text{ kN}}\right)^{1.7} = 0.19 + 0.14 = 0.33 <$$

1 (επαρκούν)

$$\text{και } \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = 0.385 \leq 1.0$$

6.5.3.3 Έλεγχος αποστάσεων κοχλιών

Θεωρούμε ότι η κατασκευή βρίσκεται κοντά στη θάλασσα, επομένως το περιβάλλον θεωρείται διαβρωτικό. Οι αποστάσεις των κοχλιώσεων επιλέγονται με τον ίδιο τρόπο επίσης και επίσης κοινούς κατασκευαστικούς χάλυβες, δηλαδή μέσα από τον πίνακα 3.3 του EN1993-1-8.

Ελάχιστες Αποστάσεις:

- $e_1 = 75 \text{ mm} \geq 1.2d_0 = 26.40 \text{ mm}$ όπου $d_0 = 20 + 2 = 22 \text{ mm}$
- $p_1 = 100 \text{ mm} \geq 2.2d_0 = 48.40 \text{ mm}$
- $e_2 = 46 \text{ mm} \geq 1.5d_0 = 33 \text{ mm}$
- $p_2 = 88 \geq 2.4d_0 = 52.80 \text{ mm}$

Μέγιστες Αποστάσεις:

- $e_1 = 85 \text{ mm} < 4 \cdot t + 60 = 4 \cdot 9.5 \text{ mm} + 60 = 98 \text{ mm}$, όπου $t = 9.5 \text{ mm}$ το πάχος λεπτότερου ελάσματος στην σύνδεση
- $p_1 = 100 \text{ mm} < \min(14 \cdot t; 200) = \min(14 \cdot 9.5; 200) = 133 \text{ mm}$
- $e_2 = 46 \text{ mm} < \min(14 \cdot t; 200) = \min(14 \cdot 9.5; 200) = 78 \text{ mm}$

$$\bullet \quad p_2 = 88 \text{ mm} < \min(14 \cdot t; 200) = \min(14 \cdot 9.5; 200) = 133 \text{ mm}$$

Μέγιστη απόσταση για την μετωπική πλάκα:

$$e_1 = 85 \text{ mm} < 4 \cdot t + 60 = 4 \cdot 15 \text{ mm} + 40 = 100 \text{ mm}$$

όπου

t το πάχος του λεπτότερου εξωτερικά συνδεδεμένου μέρους.

6.5.3.4 Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυγας των οπών

Για την αντοχή του ελάσματος σε σύνθλιψη άντυγας των οπών υπολογίζονται τα εξής:

$$a_b = \min\left\{\frac{5e_1}{6d_o}; \frac{5p_1}{12d_o}; 2.5\right\} = \min\left\{\frac{5 \cdot 75\text{mm}}{6 \cdot 22\text{mm}}; \frac{5 \cdot 100\text{mm}}{12 \cdot 22}; 2.5\right\} = \min\{2.84; 1.89; 2.5\} = 1.89$$

Για τον συντελεστή k_1 ισχύει:

$$k_1 = \begin{cases} 1.0 & \text{εάν } \min\left\{\frac{e_2}{d_o}; \frac{p_2}{2d_o}\right\} > 1.5 \\ 0.8 & \text{εάν } \min\left\{\frac{e_2}{d_o}; \frac{p_2}{2d_o}\right\} \leq 1.5 \end{cases} \quad \text{για ακραίους κοχλίες και}$$

$$k_1 = \begin{cases} 1.0 & \text{εάν } \left\{\frac{p_2}{2d_o}\right\} > 1.5 \\ 0.8 & \text{εάν } \left\{\frac{p_2}{2d_o}\right\} \leq 1.5 \end{cases} \quad \text{για εσωτερικούς κοχλίες}$$

$$\min\left\{\frac{e_2}{d_o}; \frac{p_2}{2d_o}\right\} = \min\left\{\frac{46}{22}; \frac{88}{2 \cdot 22}\right\} = \min\{2.09; 2.0\} = 2.0 \text{ καθώς και } \frac{p_2}{2d_o} = 2.0 > 1.5$$

Άρα, $k_1 = 1.0$

Η αντοχή του ελάσματος σε σύνθλιψη άντυγας των οπών δίνεται ως εξής:

$$F_{b,Rd} = n \cdot \frac{a_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{1.89 \cdot 1.0 \cdot 60 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 2.0\text{cm} \cdot 0.95\text{cm}}{1.25} = 172.37 \text{ kN}$$

6.5.3.5 Έλεγχος ελασμάτων σε διάτρηση

Ισχύει:

$$t_p = \min(9.5; 15\text{mm}) = 9.5\text{mm} \text{ το πάχος του λεπτότερου ελάσματος}$$

d_m η διάμετρος της κεφαλής του κοχλία που δίνονται από πίνακες:

$$\text{για κοχλίες M20, είναι } d_m = 0.5 \cdot (34.6\text{mm} + 30\text{mm}) = 32.30\text{mm}$$

Η αντοχή του ελάσματος σε διάτρηση είναι:

$$B_{p,Rd} = \frac{0.60\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \Rightarrow B_{p,Rd} = \frac{0.60 \times \pi \times 32.3\text{cm} \times 0.95\text{cm} \times 60\text{kN/cm}^2}{1.25} = 277.63 \text{ kN} > B_{p,Ed} = 54.38\text{kN}$$

6.5.4 Διαστασιολόγηση κοχλίωσης με κοχλίες ανθεκτικούς σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας (ΤΥΠΟΥ Ε)

6.5.4.1 Έλεγχος σε οριακή κατάσταση αστοχίας

Κάθε κοχλίας καταπονείται σε διάτμηση με δύναμη: $\frac{S_{BG,x}}{4} = \frac{182.47kN}{4} = 45.62 kN$

και σε εφελκυσμό με δύναμη: $\frac{S_{BG,y}}{4} = \frac{217.50kN}{4} = 54.38 kN$.

Η δύναμη προέντασης του κάθε κοχλία θα είναι:

$$F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 80 \frac{kN}{cm^2} \cdot 2.45 cm^2 = 137.20 kN$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση παρουσία εφελκυστικής δύναμης που αντιστοιχεί σε κάθε προεντεταμένο κοχλία λαμβάνεται ίση με:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n_{\mu}}{\gamma_{M3}} (F_{p,c} - 0,8 F_{t,Ed}) \Rightarrow F_{s,Rd} = \frac{1,0 \cdot 1 \cdot 0,5}{1,10} (137,20 kN - 0,8 \times 54,38 kN) = 42,53 kN < 45,62 kN = F_{v,Ed}$$

όπου

$k_z = 1.00$ για κανονικές οπές από τον EN1993-1-8

$\mu = 0.5$ συντελεστής ολίσθησης για επιφάνειες ανοξείδωτου χάλυβα με αμμοβολή από πιν. 5-5

Επιλέγοντας κοχλίες M20 κατηγορίας 100:

$$F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 100 \frac{kN}{cm^2} \cdot 2.45 cm^2 = 171.50 kN$$

Η αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση παρουσία εφελκυστικής δύναμης που αντιστοιχεί σε κάθε προεντεταμένο κοχλία λαμβάνεται ίση με:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n_{\mu}}{\gamma_{M3}} (F_{p,c} - 0,8 F_{t,Ed}) \Rightarrow F_{s,Rd} = \frac{1,0 \cdot 1 \cdot 0,5}{1,10} (171.50 kN - 0,8 \times 54,38 kN) = 58.18 > 45,62 kN = F_{v,Ed}$$

6.5.4.2 Έλεγχος σε σύνθλιψη άντυγας των οπών

Οι παράμετροι και η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας των οπών είναι ίδια με αυτή της προηγούμενης παραγράφου 6.5.4 και ισχύει:

$$F_{b,Rd} = 172.37 kN > F_{b,Ed} = 45,62 kN$$

6.5.4.3 Έλεγχος ελασμάτων σε διάτμηση

Οι παράμετροι και η αντοχή σε διάτμηση είναι ίδια με αυτή της προηγούμενης παραγράφου 6.5.4 και ισχύει:

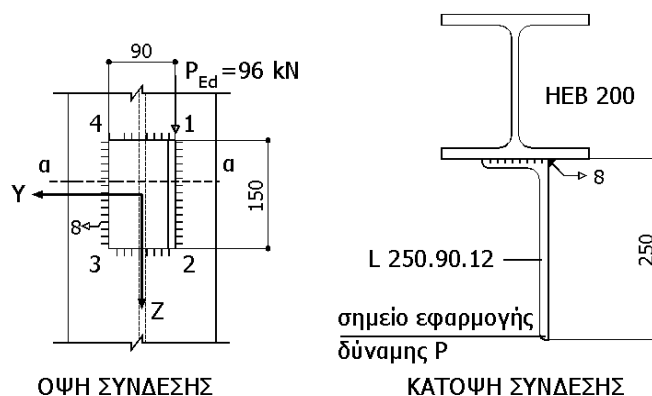
$$B_{p,Rd} = 277.63 kN > B_{p,Ed} = 54.38 kN$$

6.6 Έλεγχος συγκόλλησης

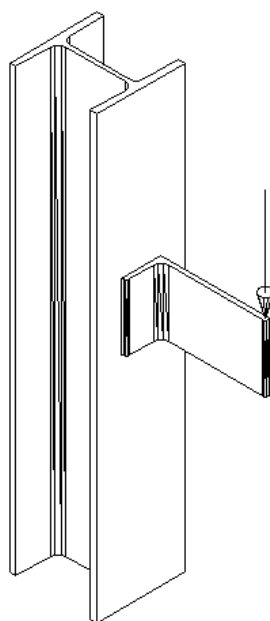
(Το αριθμητικό παράδειγμα βασίζεται στην Άσκηση 4 του μαθήματος «Σιδηρές Κατασκευές Ι».)

Γωνιακό έλασμα διατομής L250.90.12 από ανοξείδωτο ωστενιτικό χάλυβα ποιότητας 1.4301 συγκολλάται στο πέλμα υποστυλώματος διατομής HEB 200 από ανοξείδωτο χάλυβα ποιότητας 1.4301 μέσω περιμετρικής εξωραφής πάχους 8 mm.

Να εξεταστεί αν η συγκόλληση έχει τη δυνατότητα να παραλάβει κατακόρυφη δύναμη σχεδιασμού $P_{Ed} = 96 \text{ kN}$ της οποίας το σημείο εφαρμογής φαίνεται στις εικόνες 6-20 και 6-21.



Εικόνα 6-20: Όψη και κάτοψη σύνδεσης



Εικόνα 6-21: Προοπτικό σύνδεσης

6.6.1 Εντατικά μεγέθη

Τέμνουσα δύναμη: $V_{Ed} = 96 \text{ kN}$

Καμπτική ροπή: $M_{b,Ed} = 96 \text{ kN} \cdot 25 \text{ cm} = 2400 \text{ kNcm}$

Ροπή συνεπίπεδη της κοχλίωσης: $M_{t,Ed} = 96 \text{ kN} \cdot 4.5 \text{ cm} = 432 \text{ kNcm}$

6.6.2 Ροπές αδράνειας της συγκόλλησης

Η ροπή αδράνειας της συγκόλλησης κατά τον άξονα y και z είναι:

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,8\text{cm} \cdot (15\text{cm})^3 + 2 \cdot 9,0\text{cm} \cdot 0,8\text{cm} \cdot (7,5\text{cm})^2 = 1260\text{cm}^4$$

$$I_z = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,8\text{cm} \cdot (9,0\text{cm})^3 + 2 \cdot 15,0\text{cm} \cdot 0,8\text{cm} \cdot (4,5\text{cm})^2 = 583,2\text{cm}^4$$

ενώ η πολική ροπή αδράνειας θα είναι:

$$I_p = I_y + I_z = 1260\text{cm}^4 + 583,2\text{cm}^4 = 1843,2\text{cm}^4$$

6.6.3 Έλεγχος συγκολλήσεων

Η συγκόλληση καταπονείται από ορθές τάσεις λόγω της καμπτικής ροπής $M_{b,Ed}$ και από διατμητικές τάσεις λόγω της τέμνουσας V_{Ed} και της συνεπίπεδης ροπής $M_{t,Ed}$. Τα σημεία 1 και 2 της συγκόλλησης είναι τα περισσότερο καταπονούμενα σημεία και εκεί γίνεται ο έλεγχος αντοχής της συγκόλλησης.

6.6.3.1 Έλεγχος πάχους συγκόλλησης

$$t_{min} = \min(12\text{mm}; 15\text{mm}) = 12\text{mm} = 1,2\text{cm}$$

$$\text{Πάχος συγκόλλησης } a = 8\text{mm} = 0,8\text{cm} < 0,70t_{min} = 0,70 \cdot 1,2\text{cm} = 0,84\text{cm}$$

6.6.3.2 Διατμητική τάση στη συγκόλληση

Οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στη συγκόλληση λόγω στρέψης και διάτμησης είναι ίσες με:

$$\tau_{Ed,y} = \frac{M_{t,Ed}}{I_p} z = \frac{432\text{kNcm}}{1843,2\text{cm}^2} \times 7,5\text{cm} = 1,76 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{Ed,z} = \frac{V_{Ed}}{A_w} + \frac{M_{t,Ed}}{I_p} y = \frac{96\text{kN}}{2 \times 0,8\text{cm} \times 15\text{cm}} + \frac{432\text{kNcm}}{1843,2\text{cm}^2} \times 4,5\text{cm} = 5,05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

6.6.3.4 Ορθή τάση στη συγκόλληση

Η ορθή τάση που οφείλεται στην καμπτική ροπή είναι:

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_{b,Ed}}{I_y} z = \frac{2400\text{kNcm}^2}{1260\text{cm}^4} \cdot 7,5\text{cm} = 14,23 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 43,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

6.6.3.5 Αντοχή συγκολλήσεων

Λαμβάνοντας υπόψη συντελεστή συσχέτισης $\beta_w = 0,9$ για εξωραφές σε κόμβους ωστενιτικού ανοξείδωτου χάλυβα, η συνισταμένη τάση στην συγκόλληση είναι:

$$\sqrt{(\sigma_{\perp})^2 + (\tau_{Ed,y})^2 + (\tau_{Ed,z})^2} = \sqrt{(14,23 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2})^2 + (1,76 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2})^2 + (5,05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2})^2} =$$

$$= 15,25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}} = \frac{60 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} \times 0,9 \times 1,25} = 30,79 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βάγιας Ι. (2003). «Σιδηρές κατασκευές, ανάλυση και διαστασιολόγηση». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2013). «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα με παραδείγματα εφαρμογής», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
3. Διαπρομετάλλ. «Ανοξειδωτοι κοιλοδοκοί». <https://www.diaprometal.gr/index.php/anokseidotoi-xalyves-aisi-304-316/koilodokoi> [17/08/2022]
4. Alleima (2022). "Uniform corrosion (General corrosion)". <https://www.alleima.com/en/technical-center/corrosion/wet-corrosion/general-corrosion/> [13/09/2022]
5. American iron and steel institute, "Welding of stainless steel and other joining methods", Nickel Development Institute.
6. AMPP. "Galvanic corrosion", <https://www.ampp.org/resources/impact/corrosion-basics/group-1/galvanic-corrosion> [13/09/2022]
7. AMPP. "Pitting corrosion", <https://www.ampp.org/resources/impact/corrosion-basics/group-1/pitting-corrosion> [13/09/2022]
8. AMPP. "Stress corrosion cracking". <https://www.ampp.org/resources/impact/corrosion-basics/group-3/stress-corrosion-cracking> [13/09/2022]
9. Arrayago I., Gardner L., Real E. (2015), "Description of stress-strain curves for stainless steel alloys", Materials and design, 87, Elsevier, 540-552.
10. British Standard (2005), "Stainless steels- Part 1: List of Stainless Steels", European committee for standardization, Βρυξέλλες.
11. Chater R., Hutton B., McPhail D., Ryan M., Williams D. (2002), "Why stainless steel corrodes", Nature, 415, Λονδίνο, 770-774. <https://www.nature.com/articles/415770a.pdf>
12. Christoforidis. «Ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες». https://www.christoforidis.gr/gr/austenitic_stainless_steels.php [20/08/2022]
13. Chung K., Quach W., Teng J. (2009), "Residual stresses in press-braked stainless steel sections, II: Press-braking operations", Journal of constructional steel research, 65(8-9), 1816-1826. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0143974X09000935?token=19A07941DCD65C7129456627DE89C24678B18F0734B6206C238DFCDFE4B2C7E2D7AD4B623B2370BE7171F347841B9BE8&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220913162845>
14. Corte R., Kina A., Lima L., Moura V., Tavares S. (2007), "Influence of microstructure on the corrosion resistance of the duplex stainless steel UNS S31803", Materials Characterization, 59, Elsevier, Νιτερόι, 1127-1132. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1044580307003233?token=4D4F606654FD6619ED22DB9B4D9429DB04F8665CBE017BFB24C5B387EC27048B8408963520460DFEFF13EA15DD293919&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220913155342>
15. Gardner L. (2005). "The use of stainless steel in structures." Wiley InterScience, 45-44. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/pse.190?saml_referrer [20/08/2022]
16. GPSS (2018). "The history of Stainless Steel". <https://www.gpss.com/history-of-stainless-steel/> [20/08/2022]

17. Inoxmarket. «Ανοξειδωτοι σωλήνες – τετράγωνοι». <https://www.inoxmarket.gr/tetragwnoi/> [17/08/2022]
18. Kals H., Lutters D., Mentlink R.J, Streppel A.H. (2003), "Determining material properties of sheet metal on a press brake", Journal of materials processing technology, 141(1), 143-154.
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0924013603002747?token=236C1A67BE27E97824B1477981A35AC8E20FBD33A7C5A6C42826D3D3CEE05E33939EF337CA5E6E96C2C995222D09007A&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220913162413>
19. Marlinwire (2020), "Press brake vs. Roll form: 4 factors to choose a fabrication method". <https://www.marlinwire.com/blog/press-braking-vs-roll-forming>
20. Matsuzaki A., Nakazato T., Sakumoto Y. (1996). "High-temperature properties of stainless steel for building structures", Journal of Structural Engineering, 122(4).
21. Outokumpu Oyj (2013), "Handbook of stainless steel", Sandvikens Tryckeri, Αβέστα.
22. The steel construction institute (2018), "Design manual for structural stainless steel.", SCI, Μπέρκσαϊρ.
23. Unified alloys, "Stainless steel grades and families: explained", <https://www.unifiedalloys.com/blog/stainless-grades-families>