



ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

ΚΑΙ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΑΣΚΗΣΗ 4. ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Δρ. Κ. Μέντρεα
Π. Πανταζοπούλου

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

1.1. Δοκιμή εφελκυσμού

Η δοκιμή του εφελκυσμού είναι η συνηθέστερη μηχανική δοκιμή. Συνίσταται στην υποβολή δοκιμίου, του προς χαρακτηρισμό υλικού, σε εφελκυστική καταπόνηση κατά τη διάρκεια της οποίας καταγράφεται η προκαλούμενη επιμήκυνση Δl .

Εφελκυσμός ονομάζεται η καταπόνηση δοκιμίου, όταν οι εφαρμοζόμενες δυνάμεις F , που είναι ίσες και αντίθετες, ενεργούν κατά μήκος του άξονα του δοκιμίου, τείνουν δε να αυξήσουν το μήκος του. **Θλίψη** ονομάζεται η αντίθετη του εφελκυσμού καταπόνηση, δηλαδή όταν οι ίσες και αντίθετες δυνάμεις F τείνουν να ελαττώσουν το μήκος του δοκιμίου.

Το μηχανήμα εφελκυσμού είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε, να προκαλεί την επιμήκυνση του υλικού με έναν σταθερό ρυθμό, να μετράει το φορτίο που εφαρμόζεται στο υλικό, καθώς επίσης και τις προκαλούμενες επιμηκύνσεις (με τη βοήθεια του επιμηκυνσιόμετρου). Η δοκιμασία εφελκυσμού διαρκεί μικρό χρόνο και είναι καταστρεπτική, εφόσον το υλικό παραμορφώνεται μόνιμα και σπάει. Το εφαρμοζόμενο φορτίο και η αντίστοιχη επιμήκυνση καταγράφονται και σχεδιάζεται η λεγόμενη καμπύλη τάσης εφελκυσμού-παραμόρφωσης.

Τα δοκίμια εφελκυσμού είναι συνήθως ράβδοι κυκλικής διατομής ή ελάσματα τυποποιημένων διαστάσεων. Η επιμήκυνση μετράται στο κεντρικό τμήμα του δοκιμίου που έχει σταθερή διατομή, ανάμεσα σε δύο χαραγές αναφοράς, που καθορίζουν το ωφέλιμο μήκος του δοκιμίου. Τα άκρα του δοκιμίου, με τα οποία θα συγκρατηθεί στις αρπάγες της μηχανής εφελκυσμού, έχουν ισχυρότερη διατομή.

Τα τυποποιημένα χαρακτηριστικά των κυλινδρικών δοκιμίων εφελκυσμού κυκλικής διαμέτρου φαίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τυποποίηση διαστάσεων κυλινδρικών δοκιμίων εφελκυσμού

Ευρώπη	$l_0=10 \cdot d_0$ ή $l_0=5 \cdot d_0$
Η.Π.Α.	$l_0=4 \cdot d_0$ με ή $l_0=2$ in ή $l_0=1/2$ in
Αγγλία	$l_0=3,54 \cdot d_0$ με ή $l_0=2$ in ή $l_0=0,564$ in

Το απαιτούμενο φορτίο που παράγει μια ορισμένη επιμήκυνση καταγράφεται καθώς το δοκίμιο εφελκύεται με σταθερό ρυθμό. Προκύπτει έτσι η καμπύλη τάσης - παραμόρφωσης, που δίνεται στο σχήμα 1. Η μηχανική τάση, f σε MPa (N/mm^2), ορίζεται ως:

$$f = \frac{F}{A} \quad (1)$$

όπου F (σε kN) είναι η δύναμη εφελκυσμού και A (σε mm^2) η αρχική διατομή του δοκιμίου.

Η παραμόρφωση είναι η αύξηση του μήκους του δοκιμίου ανά μονάδα μήκους δοκιμής. Η μηχανική παραμόρφωση, ε , ή ειδική επιμήκυνση ($\varepsilon\%$), ορίζεται ως:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

όπου l το μήκος του δοκιμίου για δεδομένο φορτίο και l_0 το αρχικό (μηδενική τάση) μήκος του δοκιμίου. Η καμπύλη του σχήματος, υποδιαιρείται σε δύο διακεκριμένες περιοχές:

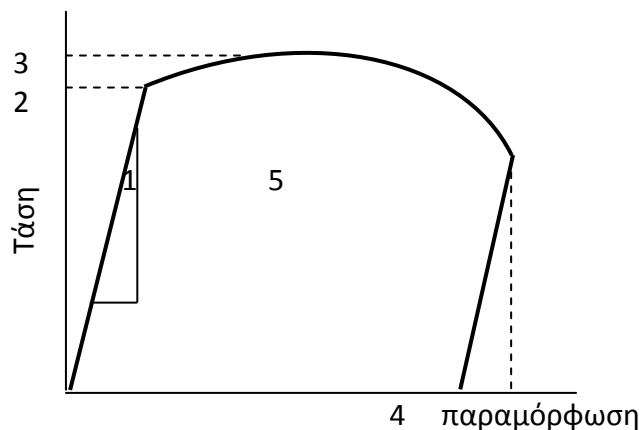
- (1) Ελαστικής παραμόρφωσης και
- (2) Πλαστικής παραμόρφωσης.

Ελαστική χαρακτηρίζεται η προσωρινή παραμόρφωση που αναιρείται τελείως όταν πάψει να υπάρχει η αιτία (το φορτίο) που την προκάλεσε, το δε δοκίμιο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Η ελαστική περιοχή της καμπύλης του σχήματος είναι το αρχικό γραμμικό της τμήμα. **Πλαστική** είναι η μόνιμη παραμόρφωση που παραμένει και μετά την άρση της αιτίας που την προκάλεσε. Η πλαστική περιοχή είναι το μη γραμμικό τμήμα της καμπύλης και αρχίζει μόλις η ολική τάση υπερβεί το **όριο ελαστικότητας**.

Το σχήμα 1 συνοψίζει τις βασικές μηχανικές ιδιότητες που προσδιορίζονται από ένα πείραμα εφελκυσμού. Η κλίση της καμπύλης τάσης – παραμόρφωσης στην ελαστική περιοχή είναι το **μέτρο ελαστικότητας, E**, ή μέτρο Young. Η γραμμικότητα της καμπύλης τάσης – παραμόρφωσης στην ελαστική περιοχή είναι η γραφική παράσταση του **νόμου του Hooke**:

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (3)$$

όπου E, το μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό ή μέτρο Young.



Σχήμα 1. Οι βασικές μηχανικές ιδιότητες που προσδιορίζονται από ένα πείραμα εφελκυσμού. 1. μέτρο ελαστικότητας, 2. όριο διαρροής, 3. αντοχή σε εφελκυσμό, 4. πλαστιμότητα, 5. συνεκτικότητα.

Το μέτρο ελαστικότητας E εκφράζει την ακαμψία του υλικού, δηλαδή την αντίσταση σε ελαστική παραμόρφωση. Το όριο διαρροής, όπως και το E, έχει μεγάλη πρακτική σημασία. Εκφράζει την αντίσταση του υλικού σε μόνιμη παραμόρφωση και δείχνει την ευκολία με την οποία ένα μέταλλο μπορεί να μορφοποιηθεί. Ένας άλλος όρος πρακτικού ενδιαφέροντος είναι η **εναπομένουσα τάση**, που ορίζεται ως η τάση που παραμένει στο υλικό μετά την απομάκρυνση όλων των εφαρμοζόμενων φορτίων. Αυτό συμβαίνει συνήθως μετά από διάφορες θερμομηχανικές κατεργασίες.

Η μηχανική τάση συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι ενός μεγίστου, που ονομάζεται **αντοχή σε εφελκυσμό**. Μετά την αντοχή σε εφελκυσμό, το δοκίμιο αρχίζει να δημιουργεί «λαιμό», που ορίζεται ως ο εντοπισμός της παραμόρφωσης σε μια μικρή περιοχή του δοκιμίου και η μηχανική τάση στο διάγραμμα του σχήματος μειώνεται. Αυτή η μείωση της τάσης συμβαίνει διότι η μηχανική τάση και η παραμόρφωση ορίζονται σε σχέση με τις αρχικές διαστάσεις του δοκιμίου. Η τάση συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι τη θραύση του δοκιμίου.

Μια άλλη σημαντική μηχανική ιδιότητα που προσδιορίζεται με τη δοκιμασία του

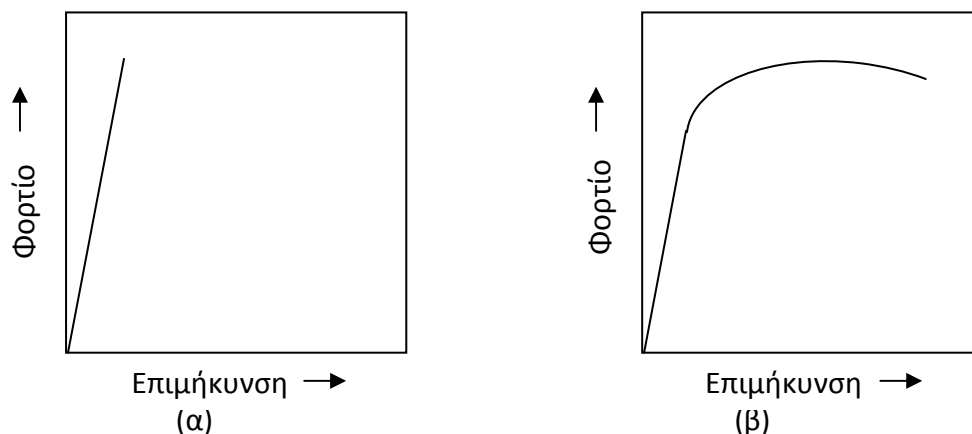
εφελκυσμού είναι η **πλαστιμότητα**, που εκφράζει το μέγεθος της πλαστικής παραμόρφωσης που μπορεί να υποστεί ένα υλικό χωρίς να θραυστεί. Η πλαστιμότητα εκφράζεται είτε ως επί τοις εκατό επιμήκυνση κατά τη θραύση ή επί τοις εκατό μείωση της διατομής κατά τη θραύση. Ο συνδυασμός πλαστιμότητας και αντοχής περιγράφεται από τον όρο **συνεκτικότητα ή δυσθραυστότητα**, η οποία προσδιορίζεται από την δοκιμή εφελκυσμού, ως το εμβαδόν της επιφάνειας κάτω από την καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης μέχρι το σημείο θραύσης. Η δυσθραυστότητα αποτελεί μέρος της απαιτούμενης ενέργειας ανά μονάδα όγκου για τη θραύση του υλικού και εκφράζει την ικανότητα του υλικού να απορροφά ενέργεια μέχρι τη θραύση.

1.2. Καμπύλες εφελκυσμού

Η καταγραφή της καμπύλης $F = f(\Delta l)$ ή $\sigma = f(\epsilon)$ είναι χαρακτηριστική κάθε μεταλλικού υλικού. Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται δύο είδη καμπυλών εφελκυσμού που αντιστοιχούν στα δύο κύρια είδη δυνατής συμπεριφοράς των υλικών σε εφελκυσμό:

Στην περίπτωση που το υλικό συμπεριφέρεται ως **ψαθυρό**, δεν υπάρχει πλαστική περιοχή, διότι η θραύση επέρχεται πριν την παραμόρφωση (σχήμα 2α). Παρατηρείται στον φαιό χυτοσίδηρο, σε χάλυβες μετά από βαφή και χωρίς ανόπτηση κ.λ.π.

Στην περίπτωση που το υλικό συμπεριφέρεται ως **όλκιμο**, η μόνιμη παραμόρφωση που πραγματοποιείται συνοδεύεται συνήθως από σκλήρυνση του υλικού (σχήμα 2β). Η συμπεριφορά αυτή χαρακτηρίζει την πλειονότητα μετάλλων και κραμάτων.



Σχήμα 2. Χαρακτηριστική συμπεριφορά σε εφελκυσμό: (α) συμπεριφορά ψαθυρού υλικού, (β) συμπεριφορά όλκιμου υλικού.

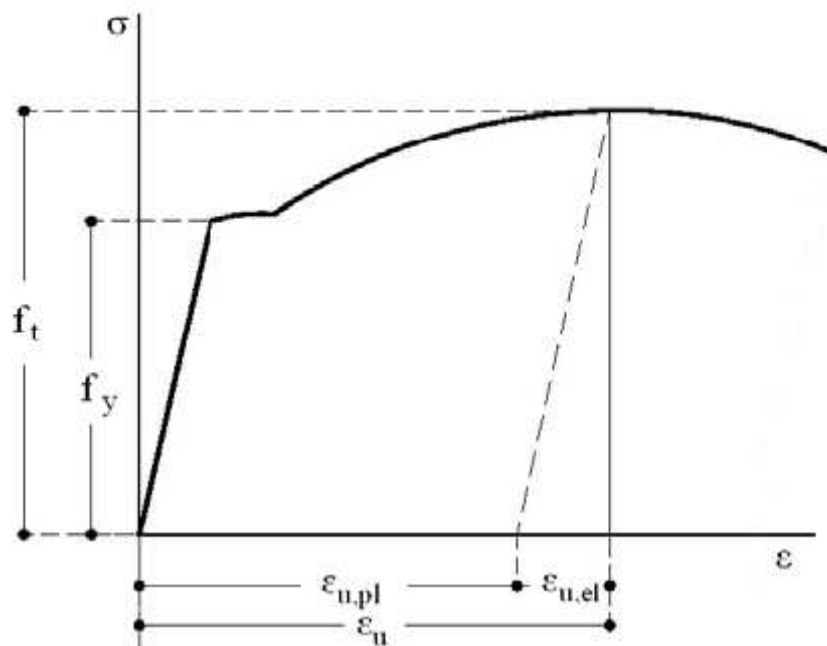
Το **όριο διαρροής** είναι συνήθως η μέγιστη τάση που επιτρέπεται να παραλάβει μια κατασκευή, διότι πέρα από αυτό υπάρχει μόνιμη παραμόρφωση. Για ασφάλεια χρησιμοποιείται ο λεγόμενος Συντελεστής Ασφαλείας, ο οποίος είναι πάντοτε μεγαλύτερος της μονάδας, ώστε να υποβαθμίσει το όριο διαρροής κατά συγκεκριμένο ποσοστό, ανάλογα με την κάθε περίπτωση. Κατά αυτό το τρόπο ελαττώνεται η πιθανότητα αστοχίας υλικού σε περίπτωση καταπόνησης που θα ξεπεράσει τη μέγιστη επιτρεπτή λόγω βλάβης, λάθους ή ατυχήματος.

Το όριο διαρροής δεν πρέπει να συγχέεται με το όριο καταστροφικής αστοχίας ενός υλικού. Ορισμένες φορές η υπέρβαση του ορίου διαρροής, τοπικά σε κάποιες θέσεις μιας κατασκευής, μπορεί να είναι αποδεκτή/επιτρεπτή. Πρέπει όμως να εξασφαλίζεται η

ασφάλεια, ευστάθεια και λειτουργικότητα ολόκληρης της κατασκευής ως προς το μέγιστο φορτίο σχεδιασμού (π.χ. σεισμική φόρτιση).

Το όριο διαρροής εξαρτάται από τη φύση του υλικού και παίρνει διάφορες τιμές, από πολύ μικρές για κάποια πλαστικά, έως πολύ μεγάλες για υλικά όπως το τιτάνιο και διάφορα κράματα χάλυβα. Δεν έχουν όλα τα υλικά όριο διαρροής, παρά μόνο τα σχετικά όλκιμα, όπως τα μέταλλα, τα κράματα και τα πολυμερή. Τα ψαθυρά υλικά, όπως τα κεραμικά και τα μεγάλης σκληρότητας κράματα είναι δυνατόν να παρουσιάζουν ταχεία διάδοση ρωγμών και ψαθυρή αστοχία με θραύση αμέσως μόλις η τάση ξεπεράσει την ελαστική περιοχή.

Στο σχήμα 3α δίνεται ένα τυπικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων σε εφελκυσμό, για χάλυβες σπλισμού σκυροδέματος με διακριτό όριο διαρροής. Τέτοιο διάγραμμα παρουσιάζουν συνήθως οι χάλυβες κατηγορίας B500C.



Σχήμα 3α. Τυπικό διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για χάλυβα με διακριτό όριο διαρροής.

$\epsilon_{u,pl}$: πλαστική παραμένουσα παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο

ϵ_u : συνολική παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο

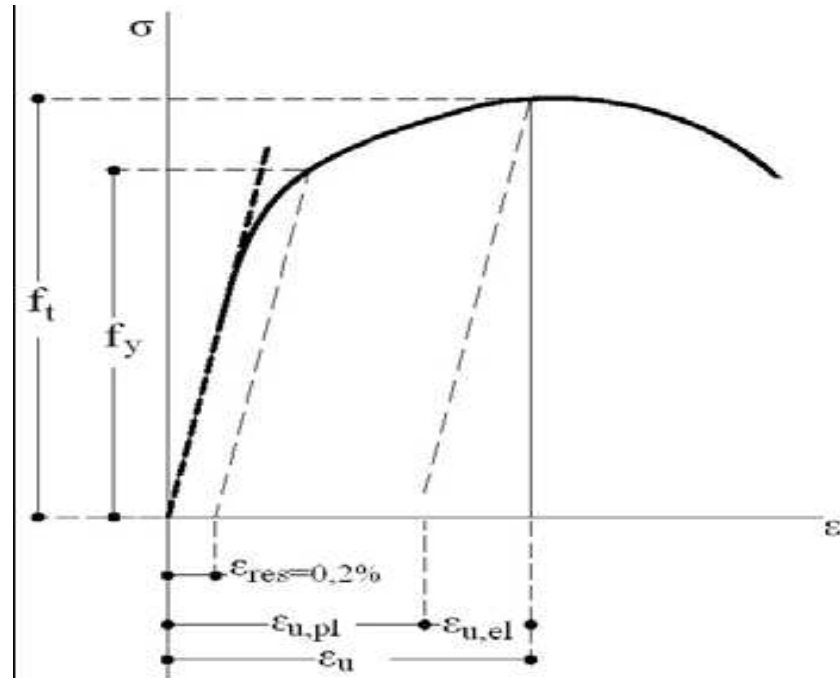
$\epsilon_{u,el}$: ελαστική παραμόρφωση αντιστοιχούσα στο μέγιστο φορτίο

Η συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο, ϵ_u , διαφέρει από την ανηγμένη παραμόρφωση μετά τη θραύση, ϵ_5 . Συγκεκριμένα, η μέτρηση της ϵ_u γίνεται μακριά από την περιοχή θραύσης και από τις αρπάγες, ενώ η μέτρηση της ϵ_5 γινόταν εκατέρωθεν της θραύσης επί συνολικού μήκους $5d$. Στο ίδιο δοκίμιο η τιμή της ϵ_5 είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη της τιμής της ϵ_u .

Στην περίπτωση που είναι αδύνατο να καθοριστεί με ακρίβεια το όριο διαρροής, διότι η μετάβαση από την ελαστική στην πλαστική περιοχή πραγματοποιείται προοδευτικά, έχει οριστεί, συμβατικά, το όριο διαρροής να αντιστοιχεί στην καταπόνηση που επιφέρει μόνιμη παραμόρφωση 0,2%. Η τιμή $f_{0,2\%}$ λαμβάνεται ως τομή, μιας ευθείας παράλληλης προς την ευθεία της ελαστικής περιοχής ή της εφαπτομένης στην αρχή της καμπύλης f - ϵ για

παραμόρφωση 0,2%, και της καμπύλης εφελκυσμού.

Η ανυπαρξία διακριτού ορίου διαρροής (βλ. και σχήμα 3β) μπορεί να οφείλεται συνήθως στην κατεργασία (π.χ. ψυχρή διαμόρφωση, προβλήματα κατά τη θερμική κατεργασία) ή σε ιδιαιτερότητες της χημικής σύστασης κ.α.



Σχήμα 3β. Προσδιορισμός ορίου διαρροής για χάλυβα με μη διακριτό όριο διαρροής

Τέλος, πολλές φορές σε διάφορα κράματα ή σε διάφορους τύπους χαλύβων παρατηρείται διαφορετικής μορφής καμπύλη $\sigma=f(\epsilon)$, στη γειτονιά του σημείου διαρροής, δηλαδή κατά το πέρασμα από την ελαστική στην πλαστική περιοχή, παρουσιάζεται μια ασυνέχεια του σημείου διαρροής και εμφανίζεται ένα ανώτερο και ένα κατώτερο σημείο διαρροής. Το φαινόμενο αυτό πολλές φορές οφείλεται στην ύπαρξη διαταραχών στις διαχωριστικές επιφάνειες των κόκκων.

Γενικά, τα κράματα είναι ανθεκτικότερα, αλλά λιγότερο όλκιμα από τα καθαρά μέταλλα. Η θερμοκρασία, οι προσμίξεις, η προηγούμενη κατεργασία του υλικού, η ταχύτητα φόρτισης του υλικού και το μέγεθος των κόκκων επηρεάζουν με τον ίδιο τρόπο κράματα και μέταλλα. Το όριο διαρροής και η μέγιστη τάση σε εφελκυσμό αυξάνονται σημαντικά στις χαμηλές θερμοκρασίες και ελαττώνονται αυξανόμενης της θερμοκρασίας. Επίσης, γενικά, το μέτρο ελαστικότητας ελαττώνεται αυξανόμενης της θερμοκρασίας, εφόσον η δομή του υλικού δεν αλλάζει.

2. Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος (ΚΤΧ 2008) (ΦΕΚ 1416/Β/17-07-2008 και ΦΕΚ 2113/Β/13-10-2008)

Ο Κανονισμός αυτός προδιαγράφει τις ελάχιστες γενικές και ειδικές απαιτήσεις τις οποίες πρέπει να ικανοποιούν οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος. Στον Κανονισμό γίνονται παραπομπές στα παρακάτω Πρότυπα και κανονιστικά κείμενα:

- ΕΛΟΤ EN 10080 (2005): Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος - Συγκολλησιμοι χάλυβες – Γενικές απαιτήσεις
- ΕΛΟΤ 1421-2 (2007): Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος - Συγκολλησιμοι χάλυβες - Μέρος 2: Τεχνική κατηγορία B500A
- ΕΛΟΤ 1421-3 (2007): Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος - Συγκολλησιμοι χάλυβες - Μέρος 3: Τεχνική κατηγορία B500C
- ΕΛΟΤ 656 (1981): Συμβολισμοί για χρήση στις μελέτες τεχνικών έργων
- ΕΛΟΤ EN 10020 (2000): Ορισμός και ταξινόμηση κατηγοριών χάλυβα
- ΕΛΟΤ EN 10025 (2005): Προϊόντα θερμής έλασης για χάλυβες κατασκευών - Μέρος 2: Τεχνικοί όροι παράδοσης για μη κεκραμένους χάλυβες κατασκευών
- ΕΛΟΤ EN ISO 15630-1 (2003): Χάλυβες για την όπλιση και την προένταση σκυροδέματος - Μέθοδοι δοκιμών - Μέρος 1: Ράβδοι και σύρματα οπλισμού
- ΕΛΟΤ EN ISO 15630-2 (2003): Χάλυβες για την όπλιση και την προένταση σκυροδέματος – Μέθοδοι δοκιμών - Μέρος 2: Ηλεκτροσυγκολλημένα πλέγματα
- EN ISO 17660-1 (2006): Welding - Welding of reinforcing steel, Part 1: Load-bearing welded joints
- EN ISO 17660-2 (2006): Welding - Welding of reinforcing steel, Part 2: Non load-bearing welded joints
- ΕΛΟΤ EN ISO 13916 (1997): Συγκολλήσεις - Καθοδήγηση για τη μέτρηση της θερμοκρασίας προθέρμανσης, της θερμοκρασίας μεταξύ στρώσεων και της θερμοκρασίας διατήρησης της προθέρμανσης
- EN 1990: Βάσεις σχεδιασμού (Ευρωκώδικας 0)
- EN 1992-1-1 (2005): Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα - Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για κτίρια (Ευρωκώδικας 2)
- EN 1992-1-2 (2005): Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα - Μέρος 1-2: Γενικοί Κανόνες: Δομοστατικός σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς (Ευρωκώδικας 2)
- EN 1993-1-10 (2005): Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα - Μέρος 1-10: Αντοχή σε ψαθυρή θραύση και ιδιότητες κατά την έννοια του πάχους (Ευρωκώδικας 3)
- EN 1998-1 (2005): Αντισεισμικός Σχεδιασμός – Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια (Ευρωκώδικας 8)
- Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ)
- Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ)
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ)
- ISO 3898 (1997): Βάσεις υπολογισμού κατασκευών- Συμβολισμοί - Γενικά Σύμβολα
- ISO 1000 (1992): Μονάδες SI
- DIN 488 (09/1984): Reinforcing steel
- DIN 50905- Part3 (1987): Corrosion of metals; corrosion testing; corrosion characteristics under non-uniform and localized corrosion attack without mechanical stress.

2.1. Σύμβολα

Τα σύμβολα του Κ.Τ.Χ. 2008 ακολουθούν τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 656 και ISO 3898.

Πίνακας 2. Τα κυριότερα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στη δοκιμή εφελκυσμού

Σύμβολο	Σημασία
A	Ονομαστική διατομή
A _{act}	Πραγματική διατομή
X _k	Χαρακτηριστική τιμή του μεγέθους X
d (ή Φ)	Ονομαστική διάμετρος
ε _u	Συνολική ανηγμένη παραμόρφωση (επιμήκυνση) στο μέγιστο φορτίο
ε ₅	Ανηγμένη παραμόρφωση μετά τη θραύση, μετρούμενη σε μήκος 5d στην περιοχή θραύσης (κατά τα καταργηθέντα Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971)
E	Μέτρο ελαστικότητας
f _t	Εφελκυστική αντοχή χάλυβα
f _y	Όριο διαρροής χάλυβα
f _{0,2}	Συμβατικό όριο διαρροής για παραμένουσα παραμόρφωση ε _{res} =0,2%
f _{y,act}	Πραγματικό όριο διαρροής χάλυβα
f _{y,nom}	Ονομαστικό όριο διαρροής χάλυβα
T	Θερμοκρασία

Πίνακας 3. Αντιστοιχία συμβόλων του Κανονισμού με εκείνα του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 10080

Περιγραφή	Κ.Τ.Χ. 2008	ΕΛΟΤ EN 10080
Όριο διαρροής χάλυβα	f _y	R _e
Συμβατικό όριο διαρροής για παραμένουσα παραμόρφωση 0,2%	f _{0,2}	R _{p0,2}
Εφελκυστική αντοχή χάλυβα	f _t	R _m
Συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο	ε _u	A _{gt}

2.2. Ορισμοί

Σίδηρος (καθαρός): Ως καθαρός σίδηρος χαρακτηρίζεται συνήθως κράμα με περιεκτικότητα σε άνθρακα και λοιπά κραματικά στοιχεία μικρότερη από 0,05%.

Χάλυβας: Κράμα σιδήρου-άνθρακα (Fe-C) με περιεκτικότητα σε άνθρακα έως 2% και προσθήκες άλλων στοιχείων.

Χάλυβας οπλισμού: Χάλυβας με κυκλική ή πρακτικά κυκλική διατομή, για τον οπλισμό του σκυροδέματος.

Χάλυβας οπλισμού με νευρώσεις: Χάλυβας οπλισμού με δύο τουλάχιστον σειρές πλάγιων ανάγλυφων νευρώσεων, ομοιόμορφα κατανεμημένων κατά μήκος.

Λείος χάλυβας οπλισμού: Χάλυβας οπλισμού με πρακτικά λεία επιφάνεια.

Χάλυβας οπλισμού με έγγλυφες αυλακώσεις: Χάλυβας οπλισμού με καθορισμένες αυλακώσεις, ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά μήκος.

Μορφοσίδηρος (δομικός χάλυβας - structural steel): Χάλυβας κατασκευών σε διάφορες μορφές διατομής.

Ολκή (drawing): Ψυχρή κατεργασία μιας ράβδου από χάλυβα η οποία ελκόμενη διέρχεται μέσα από κατάλληλη μήτρα, με αποτέλεσμα τη μείωση της διατομής και συνακόλουθη αύξηση της αντοχής.

Έλαση (rolling): Διαδικασία διαμόρφωσης εν θερμώ ή εν ψυχρώ ενός μεταλλικού αντικειμένου με τη χρήση αντίρροπα περιστρεφόμενων κυλίνδρων.

Παρτίδα ελέγχου: Ποσότητα χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος της ίδιας διατομής, προερχόμενη από την ίδια χύτευση, σε ευθύγραμμες ράβδους ή κουλούρες, που έχει παραχθεί από την ίδια μονάδα παραγωγής και προσφέρεται για εξέταση οποιαδήποτε στιγμή

Ονομαστικές διάμετροι: Τυποποιημένες διάμετροι χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος τις οποίες δέχεται ο παρών Κανονισμός.

Ονομαστική διατομή: Το εμβαδόν πλήρους κυκλικής διατομής, διαμέτρου ίσης με την ονομαστική.

Πραγματική διατομή: Το εμβαδόν της επιφάνειας υποθετικής κυκλικής διατομής μιας ράβδου ίσου μήκους και ίσου βάρους με το δεδομένο δοκίμιο. Η πραγματική διατομή υπολογίζεται από τμήμα ράβδου μήκους l και μάζας m , και από την πυκνότητα, d , του χάλυβα σύμφωνα με τη σχέση: $A_{act}=127,4m/l$

όπου: A_{act} η πραγματική διατομή σε mm^2 , m η μάζα σε g , l το μήκος σε mm .

Η πραγματική διάμετρος υπολογίζεται από την πραγματική διατομή.

Ονομαστική μάζα ανά μέτρο μήκους: Η μάζα ανά μέτρο μήκους, η οποία υπολογίζεται από την ονομαστική διατομή και την πυκνότητα του χάλυβα (η οποία λαμβάνεται ίση με $7850kg/m^3$).

Χαρακτηριστική τιμή μεγέθους: Η τιμή του μεγέθους πάνω ή κάτω από την οποία αναμένεται να βρεθεί ποσοστό p όλων των τιμών σε έναν υποθετικό έλεγχο με άπειρα δοκίμια. Στο πλαίσιο του παρόντος Κανονισμού, ως χαρακτηριστική τιμή ορίζεται η τιμή πάνω από την οποία υπάρχει πιθανότητα "α" να βρεθεί ποσοστό p των τιμών.

Ελάχιστη τιμή: Η τιμή κάτω από την οποία δεν πρέπει να βρεθεί καμία τιμή δοκιμής.

Μέγιστη τιμή: Η τιμή πάνω από την οποία δεν πρέπει να βρεθεί καμία τιμή δοκιμής.

Συμβατικό όριο διαρροής: Η τάση που αντιστοιχεί σε παραμένουσα παραμόρφωση, μετά την αποφόρτιση, ίση με $\epsilon_{res}=0,2\%$.

Εφελκυστική αντοχή: Η τάση που αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο.

Ολκιμότητα: Στο πλαίσιο του Κανονισμού, ο όρος χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη σχέση των πλαστικών παραμορφώσεων ως προς τις ελαστικές παραμορφώσεις μιας ράβδου χάλυβα οπλισμού που δοκιμάζεται σε εφελκυσμό. Συνήθως εκφράζεται με τον λόγο της ανηγμένης παραμόρφωσης στο μέγιστο φορτίο προς την ανηγμένη παραμόρφωση διαρροής.

Πλαστιμότητα: Η ικανότητα ενός φορέα ή μιας διατομής ή μιας κρίσιμης περιοχής στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα να αποκρίνεται με μεγάλες μετελαστικές παραμορφώσεις, χωρίς σημαντική μείωση της φέρουσας ικανότητας.

Η ολκιμότητα είναι ιδιότητα του υλικού, ενώ η πλαστιμότητα είναι ιδιότητα μιας διατομής ή μιας κρίσιμης περιοχής ή ενός δομικού στοιχείου ή ολόκληρου δομήματος από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η ολκιμότητα του χάλυβα είναι μια από τις προϋποθέσεις για να

αποκτήσει πλαστιμότητα ένα στοιχείο από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Θερμοκρασία μετάπτωσης (transition temperature): Η θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται σημαντική μεταβολή στα χαρακτηριστικά θραύσης ενός υλικού, με κυριότερη μεταβολή τη μετατροπή του τρόπου θραύσης από όλκιμο σε ψαθυρό.

2.3. Διάκριση χαλύβων

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος διακρίνονται ως εξής:

A. Σύμφωνα με τη μέθοδο παραγωγής, σε:

- Θερμής έλασης, χωρίς καμία άλλη περαιτέρω θερμική ή θερμομηχανική κατεργασία οποιασδήποτε μορφής (χάλυβες ΘΕ-Χ)

- Θερμής έλασης, που ακολουθείται από μία άμεση εν σειρά διαδικασία θερμικής κατεργασίας (χάλυβες ΘΕ-Θ)

- Ψυχρής κατεργασίας, με ολκή ή έλαση του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση (χάλυβες ΨΚ-Ο) ή με στρέψη του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση (χάλυβες ΨΚ-Σ) ή με συνδυασμό των παραπάνω.

B. Σύμφωνα με τη μορφή της επιφάνειας της ράβδου σε:

- Λείους χάλυβες κυκλικής διατομής
- Χάλυβες με ανάγλυφες νευρώσεις, υψηλής συνάφειας
- Χάλυβες με κοιλότητες (έγγλυφες αυλακώσεις).

Γ. Σύμφωνα με την ολκιμότητα, σε:

- Χάλυβες χαμηλής ολκιμότητας
- Χάλυβες μέσης ολκιμότητας
- Χάλυβες υψηλής ολκιμότητας

Δ. Σύμφωνα με τη συγκολλησιμότητα, σε:

- Χάλυβες συγκολλησίσιμους
- Χάλυβες μη συγκολλησίσιμους ή συγκολλησίσιμους υπό προϋποθέσεις.

E. Σύμφωνα με την αντοχή τους σε διάβρωση, σε:

- Κοινούς χάλυβες, που είναι κράματα σιδήρου με άνθρακα (Fe-C) και με άλλα στοιχεία σε μικρές περιεκτικότητες

- Ανοξειδωτους χάλυβες, που είναι κράματα σιδήρου με ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρώμιο (Cr) 12%. Οι χάλυβες αυτοί είναι ανθεκτικοί σε διάβρωση. Η αντοχή τους σε διαβρωτικό περιβάλλον είναι μεγαλύτερη αν περιέχουν και άλλα κραματικά στοιχεία όπως νικέλιο (Ni), μολυβδένιο (Mo), τιτάνιο (Ti) κ.λπ.

2.4. Τεχνικές κατηγορίες ποιότητας χαλύβων

Οι χάλυβες που αποτελούν αντικείμενο του Κανονισμού είναι συγκολλησίσιμοι, διακρίνονται δε στις εξής τεχνικές κατηγορίες:

- B500A κατά ΕΛΟΤ 1421-2
- B500C κατά ΕΛΟΤ 1421-3.

Και για τις δύο αυτές κατηγορίες χαλύβων, η ονομαστική (χαρακτηριστική) τιμή του ορίου διαρροής $f_{y, nom}$ είναι 500MPa.

2.5. Μορφές χαλύβων

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος παραδίδονται στις παρακάτω μορφές:

- Ευθύγραμμες ράβδοι
- Κουλούρες
- Ευθυγραμμισμένα προϊόντα
- Πλέγματα

2.6. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά - Ονομαστικά μεγέθη

Στον πίνακα 4, για κάθε ονομαστική διάμετρο, δίνονται επίσης το πεδίο εφαρμογής καθώς και η ονομαστική διατομή, η ονομαστική μάζα και οι ανοχές ως προς την ονομαστική μάζα (κατά τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3).

Πίνακας 4. Ονομαστικές διαμέτρες, ονομαστικές διατομές, ονομαστική μάζα και ανοχές ως προς την ονομαστική μάζα - Πεδίο εφαρμογής

Ονομ. διάμετρος (mm)	Πεδίο εφαρμογής					Ονομ. διατομή (mm ²)	Ονομ. μάζα/ μέτρο (kg/m)	Ανοχές μάζας/ μέτρο (%)
	Ράβδοι	Κουλούρες και ευθυγραμμισμένα προϊόντα		Ηλεκτροσυγκολλημένα πλέγματα και δικτυώματα				
		B500C	B500A	B500C	B500A			
5,0		✓		✓		19,6	0,154	±6
5,5		✓		✓		23,8	0,187	±6
6,0	✓	✓	✓	✓	✓	28,3	0,222	±6
6,5		✓		✓		33,2	0,260	±6
7,0		✓		✓		38,5	0,302	±6
7,5		✓		✓		44,2	0,347	±6
8,0	✓	✓	✓	✓	✓	50,3	0,395	±6
10,0	✓		✓		✓	78,5	0,617	±4,5
12,0	✓		✓		✓	113	0,888	±4,5
14,0	✓		✓		✓	154	1,21	±4,5
16,0	✓		✓		✓	201	1,58	±4,5
18,0	✓					254	2,00	±4,5
20,0	✓					314	2,47	±4,5
22,0	✓					380	2,98	±4,5
25,0	✓					491	3,85	±4,5
28,0	✓					616	4,83	±4,5
32,0	✓					804	6,31	±4,5
40,0	✓					1257	9,86	±4,5

2.7. Χημικά Χαρακτηριστικά

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος είναι χάλυβες ελαφρά κραματωμένοι ή μη κραματωμένοι. Η διαδικασία παραγωγής (μεταλλουργική μέθοδος) και ο τύπος της αποξείδωσης του χάλυβα επαφίενται στην κρίση του παραγωγού. Οι ακόλουθοι περιορισμοί για τη χημική σύσταση εξασφαλίζουν τη συγκολλησιμότητα και την ανθεκτικότητα στον χρόνο των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.

Συγκολλησιμότητα είναι η ικανότητα ενός μετάλλου να συγκολλάται υπό προδιαγεγραμμένες συνθήκες, έτσι ώστε η προκύπτουσα σύνδεση να ικανοποιεί τις απαιτήσεις σχεδιασμού.

Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080, οι χάλυβες θεωρούνται συγκολλησιμοι όταν οι

περιεκτικότητες σε άνθρακα (C), θείο (S), φωσφόρο (P), άζωτο (N), χαλκό (Cu), καθώς και η ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα, C_{eq} , δεν υπερβαίνουν τις αντίστοιχες τιμές που δίνονται στον Πίνακα 5.

Η ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα, C_{eq} , υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15,$$

όπου τα σύμβολα των χημικών στοιχείων δείχνουν την επί τοις εκατό περιεκτικότητα κατά βάρος (% κ.β.), όπως προσδιορίζεται από τη χημική ανάλυση.

Πίνακας 5. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για τη χημική σύσταση (περιεκτικότητα % κ.β.) κατά ΕΛΟΤ EN 10080

	Άνθρακας C ⁽²⁾	Θείο S	Φωσφόρος P	Άζωτο N ⁽¹⁾	Χαλκός Cu	Ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα C_{eq} ⁽²⁾
Ανάλυση ρευστού χάλυβα κατά τη χύτευση	0,22	0,050	0,050	0,012	0,80	0,50
Ανάλυση τελικού προϊόντος	0,24	0,055	0,055	0,014	0,85	0,52

(1) Υψηλότερες τιμές σε άζωτο επιτρέπονται εάν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες στοιχείων που το δεσμεύουν.

(2) Επιτρέπεται η υπέρβαση των μέγιστων τιμών για τον άνθρακα κατά 0,03% κ.β., με την προϋπόθεση ότι μειώνονται αντίστοιχα οι ισοδύναμες τιμές σε άνθρακα κατά 0,02% κ.β.

2.8. Επίδραση των κραματικών στοιχείων στα χαρακτηριστικά των Χ.Ο.Σ.

Άνθρακας (C). Στους Χ.Ο.Σ., ο άνθρακας είναι από τα βασικότερα κραματικά στοιχεία καθώς επηρεάζει σημαντικά την αντοχή και τη συγκολλησιμότητα τους. Αύξηση της περιεκτικότητας σε C οδηγεί σε αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής αλλά παράλληλα σε αναπόφευκτη μείωση της ολκιμότητας και της συγκολλησιμότητας. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε C αυξάνει την εμβαιπτότητα (ικανότητα σκλήρυνσης με μαρτενσιτικό μετασχηματισμό - hardenability) του χάλυβα που σχετίζεται με το βάθος βαφής των χαλύβων. Η τελευταία ιδιότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική στους Χ.Ο.Σ. αφού είναι συνυφασμένη με συγκεκριμένη θερμομηχανική μεταλλοτεχνική επεξεργασία (θερμή έλαση με άμεση θερμική κατεργασία), η οποία ακολουθείται κατά την παραγωγή της πλειονότητας των Χ.Ο.Σ. σήμερα στην Ευρώπη (Tempcore, Thermex κ.λπ.). Στην πράξη, περιεκτικότητα σε C μεταξύ 0,18-0,24% στο τελικό προϊόν αποτελεί έναν συμβιβασμό μεταξύ των παραπάνω αντικρουόμενων ιδιοτήτων και εξασφαλίζει υψηλή αντοχή, ικανοποιητική επιμήκυνση και καλή συγκολλησιμότητα.

Μαγγάνιο (Mn). Η κραμάτωση των χαλύβων με άνθρακα έχει ορισμένους περιορισμούς, επειδή με την αύξηση του ποσοστού του μειώνεται η συγκολλησιμότητα. Η επίδραση του μαγγανίου στη συγκολλησιμότητα είναι περίπου 5 με 6 φορές μικρότερη σε σχέση με τον άνθρακα (σύμφωνα και με τον υπολογισμό της τιμής του ισοδυναμού άνθρακα). Κατά συνέπεια η προσθήκη Mn αποτελεί έναν ιδιαίτερα ευέλικτο τρόπο ρύθμισης των μηχανικών ιδιοτήτων των Χ.Ο.Σ. (αύξηση της περιεκτικότητας από 0,1-1% μπορεί να έχει θετική επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες μέχρι 15%). Επίσης, το Mn είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο διότι δεσμεύει το ελεύθερο θείο (MnS), μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο δημιουργίας θειούχου σιδήρου (FeS) ο οποίος προκαλεί ψαθυροποίηση του χάλυβα κατά τη θέρμανση περί τους 900°C.

Πυρίτιο (Si). Το πυρίτιο και το μαγγάνιο υπάρχουν σχεδόν σε όλους τους χάλυβες, επειδή περιέχονται στα μεταλλεύματα από τα οποία εξάγεται ο σίδηρος. Επί πλέον, το πυρίτιο προέρχεται τόσο από τη διαδικασία κάθαρσης (αποξειδωσης) του τήγματος, όσο και από τις

πυρίμαχες επενδύσεις που χρησιμοποιούνται στους κλιβάνους τήξης, στους οποίους εισάγεται στο τήγμα κατά τη διαδικασία παραγωγής του χάλυβα. Κραμάτωση με πυρίτιο οδηγεί σε σκλήρυνση του χάλυβα, δίχως να επηρεάζεται σημαντικά η εμβαισιότητα και κατά συνέπεια και η συγκολλησιμότητα των χαλύβων. Αύξηση της περιεκτικότητας κατά ποσοστό 1% συνεπάγεται αύξηση της αντοχής κατά περίπου 100MPa, ενώ αντίστοιχη είναι και η αύξηση του ορίου διαρροής.

Φωσφόρος (P). Ο φωσφόρος αποτελεί κατά κανόνα επιβλαβή ακαθαρσία για τους χάλυβες. Ο P συνδέεται με ψαθυροποίηση και μικροδιαφορισμό κατά τη στερεοποίηση του χάλυβα. Ως εκ τούτου, κατά τη μεταλλουργική διαδικασία παραγωγής, καταβάλλεται προσπάθεια, τα επίπεδα περιεκτικότητας για χάλυβες κατασκευών να διατηρούνται σε ποσοστά χαμηλότερα του 0,03%-0,05%. Για τους Χ.Ο.Σ., περιεκτικότητες μέχρι 0,055% είναι αποδεκτές.

Θείο (S). Η παρουσία θείου είναι ιδιαίτερα επιβλαβής στους χάλυβες επειδή αυξάνει την ευθραυστότητα. Προέρχεται κυρίως από τις πρώτες ύλες (scrap κ.λπ.), και ελέγχεται κατά την παραγωγική διαδικασία. Περιεκτικότητες 0,025%-0,030% είναι αποδεκτές για τους ειδικούς χάλυβες, ενώ για τους Χ.Ο.Σ. αποδεκτά ποσοστά είναι μέχρι 0,055%. Η παρουσία Mn είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη διότι δεσμεύει το ελεύθερο θείο (MnS), μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο ψαθυροποίησης των χαλύβων.

Άζωτο (N). Ο ρόλος του αζώτου είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Παρ' ότι συναντάται σε χαμηλές περιεκτικότητες στους Χ.Ο.Σ., θεωρείται γενικά ως ανεπιθύμητη πρόσμιξη. Η παρουσία αζώτου πέραν ενός ορίου είναι βλαπτική επειδή μειώνει την ολκιμότητα και ευνοεί την ευθραυστότητα επαναφοράς (ευθραυστότητα στο κυανούν). Επιπροσθέτως, είναι ενδεχόμενο να προκαλέσει πέραν της ευθραυστότητας και φαινόμενα γήρανσης στους χάλυβες που έχουν υποστεί εν ψυχρώ κατεργασία/καταπόνηση. Για τους Χ.Ο.Σ. σε παλαιότερες τυποποιήσεις (π.χ. DIN 488), είχε καθορισθεί ανώτερο όριο περιεκτικότητας 0,01% (ανάλυση χυτηρίου) και σε περίπτωση που η περιεκτικότητα σε φωσφόρο ήταν χαμηλότερη του 0,05% επιτρεπόταν η περιεκτικότητα σε άζωτο να φτάσει μέχρι το 0,012%. Στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 ορίζονται μέγιστες περιεκτικότητες 0,012% (ανάλυση χυτηρίου) και 0,014% (ανάλυση προϊόντος), και αναφέρεται σε υποσημείωση ότι είναι επιτρεπτές και μεγαλύτερες περιεκτικότητες εάν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες στοιχείων που δεσμεύουν το άζωτο, χωρίς όμως να γίνεται περαιτέρω διευκρίνιση για τις "ποσότητες" και το "είδος" αυτών των κραματικών στοιχείων.

Χαλκός (Cu). Στους Χ.Ο.Σ. ο χαλκός προέρχεται κατά κανόνα από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται. Παρά το γεγονός ότι, ακόμη και σε ελάχιστα ποσοστά, ο Cu, αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε οξείδωση κατά την έκθεσή του στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και δεν επηρεάζει σημαντικά τη συγκολλησιμότητα, σχετίζεται άμεσα με τη θερμή ρηγμάτωση των κοινών χαλύβων. Ο χαλκός, ως ευγενέστερο του σιδήρου μέταλλο, δεν μπορεί να απομακρυνθεί από το τήγμα, με αποτέλεσμα να παρατηρείται συσσώρευσή του και αύξηση της περιεκτικότητάς του στους χάλυβες που παράγονται από τήξη παλαιοσιδήρου (scrap). Αυτό δεν παρατηρείται κατά την παραγωγή του χάλυβα μέσω χυτοσιδήρου, στην οποία χρησιμοποιούνται σιδηρομεταλλεύματα. Ο μόνος τρόπος ελέγχου της περιεκτικότητας του Cu στους Χ.Ο.Σ. (οι οποίοι ως επί το πλείστον παράγονται μέσω ηλεκτρικών καμίνων) είναι με κατάλληλη επιλογή της πρώτης ύλης, δηλ. της ποιότητας του παλαιοσιδήρου ή με αντικατάσταση ποσοστού του παλαιοσιδήρου με DRI (Direct Reduced Iron δηλ. υψηλής καθαρότητας σίδηρος).

Βανάδιο (V). Το βανάδιο έχει χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή Χ.Ο.Σ., αφού και σε μικρές αναλογίες στο προϊόν (μικροκραμάτωση) επιτρέπει την απόκτηση των μηχανικών

χαρακτηριστικών που προδιαγράφονται για την κατηγορία B500C (και παλαιότερα του S500s) δίχως να απαιτείται περαιτέρω θερμική κατεργασία. Το V είναι ισχυρό καρβιδιογόνο στοιχείο (ενώνεται με τον άνθρακα, τον οποίο δεσμεύει για σχηματισμό καρβιδίων). Ακόμη και σε μικρές περιεκτικότητες αυξάνει την αντοχή σε εφελκυσμό και το όριο διαρροής στη θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά και σε υψηλότερες, εμποδίζοντας την αύξηση του μεγέθους του κόκκου στη μικρογραφική μορφή του χάλυβα, σε καθορισμένες συνθήκες έλασής του. Σε συνδυασμό με προσθήκες Cr και W, χρησιμοποιείται στην παραγωγή ειδικών χαλύβων θερμών κατεργασιών και ταχυχαλύβων (εργαλείων).

Νιόβιο(Nb), Ταντάλιο (Ta). Όπως το βανάδιο, έτσι και το νιόβιο και το ταντάλιο μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως κραματικά στοιχεία αύξησης της αντοχής των Χ.Ο.Σ., διατηρώντας την ολκιμότητα σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Τα στοιχεία αυτά συναντώνται συνήθως ως προσθήκες σταθεροποίησης στους ανοξειδωτους χάλυβες.

Νικέλιο (Ni), Χρώμιο (Cr), Μολυβδαίνιο (Mo). Τα στοιχεία αυτά είναι κατ' εξοχήν κραματικά για ειδικούς χάλυβες (χρωμονικελιούχοι, μολυβδαινούχοι κ.λπ.). Οι περιεκτικότητες 18% Cr, 8% Ni είναι τυπικές αναλογίες των πλέον διαδεδομένων ποιοτήτων ανοξειδωτων χαλύβων (18/8). Στους Χ.Ο.Σ. συναντώνται συνήθως ως προσμίξεις από την πρώτη ύλη (scrap). Σε αναλογίες άνω του 0,5% (ιδίως για τα Cr και Mo) σε συνδυασμό με την περιεκτικότητα σε άνθρακα, είναι ενδεχόμενο να επηρεάσουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά των χαλύβων (υπεραντοχή, ευθραυστότητα κατά τη διαδικασία παραγωγής κ.λπ.). Τα στοιχεία αυτά, λόγω και του κόστους τους, δεν εμφανίζονται σε μεγάλες αναλογίες στις συνθέσεις των Χ.Ο.Σ. και έτσι δεν δημιουργούνται προβλήματα στο τελικό προϊόν. Ενδεχόμενη παρουσία τους σε αυξημένα ποσοστά γίνεται αμέσως αντιληπτή κατά την παραγωγική διαδικασία (έλαση) και το πρόβλημα αντιμετωπίζεται πριν παραχθούν τελικά προϊόντα.

2.9. Ιδιότητες σε εφελκυσμό

Τα υποχρεωτικά όρια των μηχανικών χαρακτηριστικών σε εφελκυσμό των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος δίνονται στον Πίνακα 6. Για το όριο διαρροής f_y , οι αναφερόμενες στον Πίνακα 6 τιμές είναι χαρακτηριστικές, ποσοστημορίου 95%. Για τη συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο, ϵ_u , για τον λόγο f_t/f_y και για τον λόγο $f_{y,act}/f_{y,nom}$ οι αναφερόμενες στον Πίνακα 6 τιμές είναι χαρακτηριστικές, ποσοστημορίου 90%. Οι τιμές των f_y και f_t υπολογίζονται με βάση την ονομαστική διατομή. Όταν δεν υπάρχει διακριτό όριο διαρροής, θα προσδιορίζεται το συμβατικό όριο διαρροής $f_{0,2}$.

Πίνακας 6. Όρια μηχανικών ιδιοτήτων χαλύβων σε εφελκυσμό κατά ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 (Χαρακτηριστικές τιμές, X_k)

Ιδιότητα	Τεχνική κατηγορία ποιότητας	
	B500A	B500C
Όριο διαρροής, f_y (MPa)	≥500	≥500
Λόγος της πραγματικής προς την ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής, $f_{y,act}/f_{y,nom}$	–	≤1,25
Λόγος της εφελκυστικής αντοχής προς το όριο διαρροής, f_t/f_y	≥1,05 (≥1,03 για $d < 6\text{mm}$)	≥1,15 ≤1,35
Συνολική ανηγμένη παραμόρφωση (επιμήκυνση) στο μέγιστο φορτίο ϵ_u (%)	≥2,5 (≥2 για $d < 6\text{mm}$)	≥ 7,5

2.10. Έλεγχος ιδιοτήτων σε εφελκυσμό

Ελέγχονται τρία δοκίμια, μήκους περίπου 0,70m, τα οποία λαμβάνονται από τρία διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας. Τα δοκίμια πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της παραγράφου 2.9.

Αν και τα τρία αποτελέσματα των δοκιμών ικανοποιούν τις τιμές του Πίνακα 6, τότε η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του παρόντος Κανονισμού. Αν έστω και ένα δοκίμιο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις, λαμβάνονται δέκα επί πλέον δοκίμια από διαφορετικά δείγματα της ίδιας παρτίδας, για τα οποία θα πρέπει να ισχύει το ένα από τα δύο παρακάτω κριτήρια (Α ή Β):

Α. Κάθε μεμονωμένη τιμή θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις που καθορίζονται στον Πίνακα 6

ή Β. Θα ικανοποιούνται ταυτόχρονα οι απαιτήσεις των παρακάτω εδαφίων Ι και ΙΙ.

Ι) Για την μέση τιμή, m , των δέκα δοκιμών:

α) Όταν η ιδιότητα έχει κατώτερο όριο, θα πρέπει να ισχύει:

$$m \geq x_k + a$$

όπου x_k η χαρακτηριστική τιμή (βλ. Πίνακα 6) και $a=10$ MPa για το f_y , και 0 για τα f_t/f_y και ϵ_u

β) Όταν η ιδιότητα έχει ανώτερο όριο, θα πρέπει να ισχύει:

$$m \leq x_k - a$$

όπου x_k η χαρακτηριστική τιμή (βλ. Πίνακα 6) και $a=0,02$ για το $f_{y,act}/f_{y,nom}$ και 0 για το f_t/f_y

ΙΙ) Κάθε μεμονωμένη τιμή θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις που καθορίζονται στους Πίνακες 7 και 8.

Στην αντίθετη περίπτωση η παρτίδα απορρίπτεται.

Πίνακας 7. Ελάχιστες τιμές των ιδιοτήτων σε εφελκυσμό μεμονωμένου δοκιμίου για την κατηγορία χαλύβων B500A κατά ΕΛΟΤ 1421-2

Ιδιότητα	Απόλυτο ελάχιστο
f_y (MPa)	485
f_t/f_y	1,03 ^α
ϵ_u (%)	2 ^β
^α $f_t/f_y \geq 1,02$ για $d < 6$ mm ^β $\epsilon_u \geq 1,5$ % για $d < 6$ mm	

Πίνακας 8. Ελάχιστες και μέγιστες τιμές των ιδιοτήτων σε εφελκυσμό μεμονωμένου δοκιμίου για την κατηγορία χαλύβων B500C κατά ΕΛΟΤ 1421-3

Ιδιότητα	Απόλυτο ελάχιστο	Απόλυτο μέγιστο
f_y (MPa)	485	-
$f_{t,act}/f_{y,nom}$	-	1,27
f_t/f_y	1,13	1,37
ϵ_u (%)	7	-

3. Πειραματικό μέρος

Δίνεται δοκίμιο χάλυβα σπλισμού σκυροδέματος με νευρώσεις B500C ολικού αρχικού μήκους L και βάρους m . Πριν τη δοκιμή εφελκυσμού, το δοκίμιο χαράσσεται ανά $0,5\text{cm}$ σε όλο το μήκος του. Το δοκίμιο υποβάλλεται σε εφελκυσμό μέχρι θραύσης του. Από τον εφελκυσμό προκύπτει το διάγραμμα των παραμορφώσεων (επιμηκύνσεων, ΔL) συναρτήσει των ασκούμενων δυνάμεων (F). Τα δύο τμήματα του σπλισμού, μαζί με το διάγραμμα, μελετώνται στο εργαστήριο. Κατασκευάζονται οι πίνακες δεδομένων και μετρήσεων και γίνονται οι σχετικοί υπολογισμοί. Ερευνάται κατά πόσον ο σπλισμός συμμορφώνεται με τα κριτήρια του KTX 2008.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σύμβολο(μονάδα)	Σημασία	Τιμή
m (g)	μάζα	
L (mm)	αρχικό ολικό μήκος (πριν τον εφελκυσμό)	
L_o (mm)	αρχικό καταπονούμενο μήκος	
ρ (kg/m ³)	πυκνότητα	$\rho_\chi = 7850 \text{ kg/m}^3$
$F_{0,2}$ (kN)	δύναμη στο συμβατικό όριο διαρροής	
F_y (kN)	δύναμη στο όριο διαρροής	
F_t (kN)	μέγιστη εφελκυστική δύναμη	
E (GPa)	μέτρο ελαστικότητας	$E_{\chi,20\text{oC}} = 200 \text{ GPa}$

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Σύμβολο (μονάδα)	Σημασία	Τιμή
L' (mm)	τελικό μήκος (μετά τη θραύση)	
A (mm ²)	ονομαστική διατομή	<i>KTX Πιν.3.1</i>
d (mm)	ονομαστική διάμετρος	<i>KTX Πιν.3.1(έλεγχος m/L)</i>

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Σύμβολο(μονάδα)	Σημασία	Τιμή
A_{act} (mm ²)	πραγματική διατομή	$A_{act} = 127,4 \text{ (m/L)}$
m/L (kg/m)	ονομαστική μάζα ανά μέτρο μήκους	
V_o (mm ³)	αρχικός καταπονούμενος όγκος	$V_o = A_{act} \cdot L_o$
$\Delta L_{\pi\lambda}$ (mm)	ολική πλαστική επιμήκυνση	$\Delta L_{\pi\lambda} = L' - L = L_o' - L_o$
$f_{0,2}$ (MPa)	συμβατικό όριο διαρροής για παραμένουσα παραμόρφωση $\epsilon_{res}=0,2\%$	$f_{0,2} = F_{0,2} / A$
$\Delta L_{0,2}^{o\lambda}$ (mm)	ολική επιμήκυνση στο συμβατικό όριο διαρροής	από διάγραμμα για $F_{0,2}$
$\Delta L_{0,2}^{\pi\lambda}$ (mm)	πλαστική επιμήκυνση στο συμβατικό όριο διαρροής	$\Delta L_{0,2}^{\pi\lambda} = 0,2\% \cdot L_o$
$\Delta L_{0,2}^{e\lambda}$ (mm)	ελαστική επιμήκυνση στο συμβατικό όριο διαρροής	$\Delta L_{0,2}^{e\lambda} = \Delta L_{0,2}^{o\lambda} - \Delta L_{0,2}^{\pi\lambda}$
$W_{e\lambda}$ (J)	ελαστικό έργο	από διάγραμμα $W_{e\lambda} = \frac{1}{2} \cdot \Delta L_{0,2}^{e\lambda} \cdot F_{0,2}$
* f_y (MPa)	όριο διαρροής	$f_y = F_y / A$
$f_{y,nom}$ (MPa)	χαρακτηριστική τιμή ορίου διαρροής	<i>KTX Πιν.3.3</i>

	$f_{y,act}$ (MPa)	πραγματικό όριο διαρροής	$f_{y,act} = F_y / A_{act}$
*	$f_{y,act} / f_{y,nom}$	λόγος πραγματικού προς ονομαστικό όριο διαρροής	ΚΤΧ Πιν.3.3
	f_t (MPa)	εφελκυστική αντοχή (=η τάση που αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο)	$f_t = F_t / A$
*	f_t / f_y	λόγος εφελκυστικής αντοχής προς όριο διαρροής	ΚΤΧ Πιν.3.3
	$\Delta L_t^{ολ}$ (mm)	ολική επιμήκυνση στη μέγιστη εφελκυστική δύναμη	από διάγραμμα για F_t
	$\Delta L_t^{ελ}$ (mm)	ελαστική επιμήκυνση στη μέγιστη εφελκυστική δύναμη	από διάγραμμα $W_{ελ} = \frac{1}{2} \cdot \Delta L_t^{ελ} \cdot F_t$
	$\Delta L_t^{πλ}$ (mm)	πλαστική επιμήκυνση στη μέγιστη εφελκυστική δύναμη	$\Delta L_t^{πλ} = \Delta L_t^{ολ} - \Delta L_t^{ελ}$
	ϵ_o (%)	ολική ανηγμένη παραμόρφωση	$\epsilon_o = [(L'-L)/L_o] \cdot 100$
	ϵ_5 (%)	ανηγμένη παραμόρφωση μετά τη θραύση, μετρούμενη σε μήκος 5d στην περιοχή θραύσης	$\epsilon_5 = \Delta l_o / l_o = [(l_o' - l_o) / l_o] \cdot 100$
*	ϵ_u (%)	ολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο	ΚΤΧ Πιν.3.3
	ϵ_u (%) θεωρητικό		$\epsilon_u = (\Delta L_t^{ολ} / L_o) \cdot 100$
	ϵ_u (%) πρακτικό		$\epsilon_u = A_g + (f_t / E) \cdot 100$
	A_g (%)	ανηγμένη επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο	$A_g = [(l_u - l_o) / l_o] \cdot 100$
	l_o (mm)	τμήμα δοκιμίου μήκους 5d (πριν τον εφελκυσμό)	$l_o = 5 \cdot d$
	l_o' (mm)	(το ίδιο) τμήμα δοκιμίου στην περιοχή του λαιμού (μετά τον εφελκυσμό)	
	Δl_o (mm)	επιμήκυνση του τμήματος 5d	$\Delta l_o = l_o' - l_o$
	l_u (mm)	Μήκος τμήματος 5d στην περιοχή ομοιόμορφης πλαστικής παραμόρφωσης (μακριά από το λαιμό)	
	ϵ_{res} (%)	παραμένουσα παραμόρφωση	$\epsilon_{res} = (\Delta L_{0,2}^{πλ} / L_o) \cdot 100$
	$\epsilon_u / \epsilon_{res}$ (%)	λόγος παραμόρφωσης στο μέγιστο φορτίο προς την παραμένουσα παραμόρφωση (ολκιμότητα)	
	$W_{στ}$ (J)	στατικό έργο (μέχρι το σημείο δημιουργίας λαιμού)	από διάγραμμα
	K_s (J/mm ³)	συντελεστής στατικού έργου (δυσθραυστότητα)	$K_s = W_{στ} / V_o$
	$W_{δυν}$ (J)	δυναμικό έργο (από το σημείο δημιουργίας λαιμού έως τη θραύση)	από διάγραμμα
	K_D (J/mm ²)	συντελεστής δυναμικού έργου	$K_D = W_{δυν} / A_u$
	A_u (mm ²)	καταπονούμενη διατομή δυναμικής φόρτισης	$A_u = (A_{act} \cdot L_o) / L_u$
	V_u (mm ³)	καταπονούμενος όγκος στο μέγιστο φορτίο	$V_o = V_u$
	L_u (mm)	ολικό καταπονούμενο μήκος στο μέγιστο φορτίο	$L_u = L_o + \Delta L_u^{πλ}$
	σ (J)	στερεότητα	$\sigma = W_{δυν} + W_{στ}$
	F_{OE} (κN)	δύναμη στο όριο ελαστικότητας	
	f_{OE} (MPa)	όριο ελαστικότητας, η μέγιστη τάση, μέχρι την οποία ένα υλικό συμπεριφέρεται ελαστικά	$f_{OE} = F_{OE} / A$
	F_{OA} (κN)	δύναμη στο όριο αναλογίας	
	f_{OA} (MPa)	όριο αναλογίας, η μέγιστη τάση, μέχρι την οποία ένα υλικό συμπεριφέρεται αναλογικά (σύμφωνα με το ν. Hooke)	$f_{OA} = F_{OA} / A$

4. Βιβλιογραφία

1. Νέος Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος ΚΤΧ 2008 (ΦΕΚ 1416/Β/17-07-2008 και ΦΕΚ 2113/Β/13-10-2008)
2. Γ.Χρυσουλάκης, Δ.Παντελής, Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών, εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα 2003.
3. Α.Βατάλης, Επιστήμη & Τεχνολογία Υλικών, 2^η εκδ, εκδ. Ζήτη, Θεσ/κη 2009.
4. Π.Πετρόπουλου, Μεταλλουργία, εκδ. Ιδρύματος Ευγενίδου, Αθήνα, 1992.
5. Α.Τριανταφύλλου, Δομικά Υλικά, 8^η εκδ, Πάτρα, 2008.