

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ  
ΓΙΑ ΤΟΝ  
ΧΑΛΥΒΑ**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### 3.1.1 Γενικά

Το Κεφάλαιο αυτό συμπληρώνεται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ.) και τις διατάξεις περί χαλύβων των προτύπων ΕΛΟΤ 959 και 971.

Στον Κανονισμό αυτό τα πρότυπα, οι εγκριτικές αποφάσεις ή τα πιστοποιητικά συμμόρφωσης αναφέρονται ως «πιστοποιητικά». Οι χρησιμοποιούμενοι χάλυβες πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με τα ανάλογα πιστοποιητικά.

βλ. ΕΛΟΤ 959

βλ. ΕΛΟΤ 971

### 3.1.2 Διατομή υπολογισμών

Για τις ονομαστικές διαμέτρους που θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά προτίμηση, βλέπε παρ. 17.2.1.

### 3.1.3 Χαρακτηριστική αντοχή

Χάλυβες που έχουν υποστεί ολική ή μερική ψυχρή κατεργασία με όλκηση (συρματοποίηση) ενδέχεται να έχουν  $f_{yk}$  σε θλίψη μικρότερη από ό,τι σε εφελκυσμό:

$$|f_{ykc}| < f_{ykt} \dots\dots\dots (\Sigma 3.1)$$

### 3.1 ΧΑΛΥΒΑΣ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

#### 3.1.1 Γενικά

Τα μηχανικά και τεχνολογικά χαρακτηριστικά των χαλύβων που χρησιμοποιούνται στο οπλισμένο σκυρόδεμα καθορίζονται από πρότυπα και/ή εγκριτικές αποφάσεις ή πιστοποιητικά συμμόρφωσης.

Οι χάλυβες που καλύπτονται από τον Κανονισμό αυτόν μπορούν να διακριθούν ως εξής:

- α) σύμφωνα με τη μέθοδο της παραγωγής. Οι ακολουθούμενες μέθοδοι παραγωγής είναι:
  - θερμή έλαση, δίχως καμιά περαιτέρω επεξεργασία
  - θερμή έλαση, η οποία ακολουθείται από μία άμεση εν σειρά θερμική κατεργασία
  - ψυχρή κατεργασία με στρέψη ή με όλκηση (συρματοποίηση) του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση
- β) σύμφωνα με τη μορφή της επιφάνειας σε:
  - λείες κυλινδρικές ράβδους ή σύρματα (και συγκολλητά δομικά πλέγματα)
  - ράβδους ή σύρματα υψηλής συνάφειας (και συγκολλητά δομικά πλέγματα), με νευρώσεις (νευροχάλυβες)
- γ) σύμφωνα με τη συγκολλησιμότητα σε:
  - χάλυβες συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις
  - χάλυβες συγκολλησίμους

#### 3.1.2 Διατομή υπολογισμών

Οι υπολογισμοί πρέπει να βασίζονται στην ονομαστική διατομή που καθορίζεται από την ονομαστική διάμετρο.

#### 3.1.3 Χαρακτηριστική αντοχή

Χαρακτηριστική αντοχή  $f_{yk}$ , θεωρείται εκείνη η τιμή του ορίου διαρροής  $f_y$  ή του συμβατικού ορίου διαρροής  $f_{0.2}$  (που αντιστοιχεί σε παραμένουσα παραμόρφωση 0.2%) κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου. Εάν ο παραγωγός χάλυβα εγγυάται μία ελάχιστη τιμή για το  $f_y$  ή  $f_{0.2}$  η τιμή αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως χαρακτηριστική.

Σε αυτές τις περιπτώσεις η τιμή του  $f_{yk}$  πρέπει να καθορίζεται στα πιστοποιητικά του υπόψη χάλυβα.

Οι υψηλής πλαστιμότητας χάλυβες που τοποθετούνται στις κρίσιμες περιοχές δομικών στοιχείων, με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, πρέπει να ικανοποιούν και τις πρόσθετες απαιτήσεις του πίνακα Σ 3.1.

Πίνακας Σ 3.1: Πρόσθετες ιδιότητες χαλύβων για οπλισμένο σκυρόδεμα.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			
Χαρακτηριστικές τιμές σε ποσοστημόριο 90%		ΜΕ ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ		ΧΩΡΙΣ ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ	
		ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΛΟΙΠΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ	ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
I	Ομοιόμορφη $\epsilon_{uk}$	$\geq 7\%$	Χάλυβας	Χάλυβας	Χάλυβας
II	$(f_t / f_y)_k$	$\geq 1.1$			
III		$\leq 1.35$	H	H	H (ή N)
IV	$(f_{y,act} / f_{y,nom})_k$	$\leq 1.3$			

Οι απαιτήσεις (I) και (II) εξασφαλίζουν μεγαλύτερα μήκη και στροφές πλαστικών αρθρώσεων και μεγαλύτερη αντοχή μετά την αποφλοίωση, και κατά συνέπεια μεγαλύτερη τοπική (και γενική) πλαστιμότητα των στοιχείων (και των φορέων).

Οι απαιτήσεις (III) και (IV) εξασφαλίζουν αξιόπιστο και οικονομικό έλεγχο / περιορισμό των κατά τα άλλα επιθυμητών και επιδιωκόμενων μετελαστικών παραμορφώσεων και μηχανισμών.

Τα πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και 971 ορίζουν τις εξής κατηγορίες χάλυβα:

S220, S400, S500, S400s, S500s

όπου οι αριθμοί αντιστοιχούν στην χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής μετρούμενη σε MPa.

Οι τρεις πρώτες κατηγορίες περιλαμβάνουν χάλυβες συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 959, ενώ οι υπόλοιπες δύο περιλαμβάνουν τους συγκολλησίμους χάλυβες σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 971.

Η ποιότητα S220 περιλαμβάνει λείες ράβδους θερμής εξέλασης, ενώ οι ποιότητες S400, S400s, S500 και S500s περιλαμβάνουν ράβδους και σύρματα υψηλής συνάφειας συνήθως (νευροχάλυβες).

Οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στο οπλισμένο σκυρόδεμα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

Χάλυβες υψηλής πλαστιμότητας (H), όταν:

$$\varepsilon_{uk} > 5.0\% \dots\dots\dots (3.1\alpha)$$

και

$$\left(f_t / f_y\right)_k > 1.08 \dots\dots\dots (3.1\beta)$$

Χάλυβες συνήθους πλαστιμότητας (N), όταν:

$$\varepsilon_{uk} > 2.5\% \dots\dots\dots (3.2\alpha)$$

και

$$\left(f_t / f_y\right)_k > 1.05 \dots\dots\dots (3.2\beta)$$

όπου:

$\varepsilon_{uk}$  χαρακτηριστική τιμή της ανηγμένης παραμόρφωσης υπό το μέγιστο φορτίο, που ειδικώς για αυτήν την παράμετρο εκτιμάται με πιθανότητα υπέρβασης 10% αντί της συνήθους 5%,

$f_{tk}$  χαρακτηριστική τιμή της εφελκυστικής αντοχής.

Η μελέτη πρέπει να βασίζεται σε κατηγορία χάλυβα που αντιστοιχεί σε καθορισμένη τιμή χαρακτηριστικής αντοχής  $f_{yk}$ .

### 3.1.4 Οπλισμοί υψηλής συνάφειας (νευροχάλυβες)

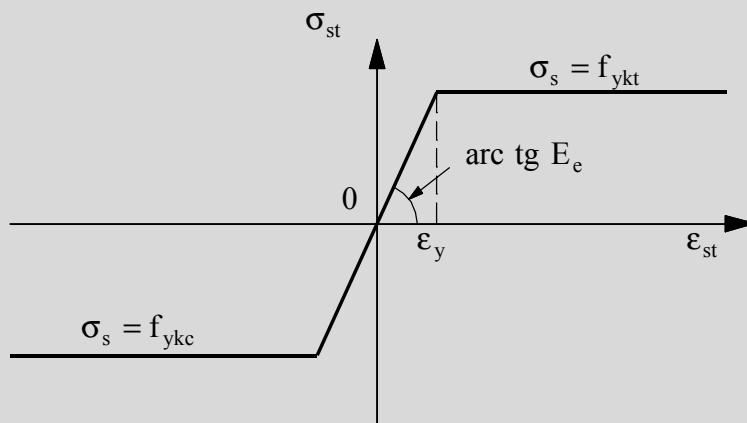
Οι οπλισμοί υψηλής συνάφειας πρέπει όσον αφορά τις νευρώσεις να πληρούν τις συνθήκες και απαιτήσεις των σχετικών προτύπων.

### 3.1.5 Συγκολλητά δομικά πλέγματα

Οι χάλυβες S500 και S500s, μορφής λείας ή με νευρώσεις, χρησιμοποιούνται και για την παραγωγή δομικών πλεγμάτων.

#### 3.1.6.1 Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων

Σε περίπτωση έλλειψης ακριβέστερων στοιχείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους χάλυβες θερμής έλασης ή τους χάλυβες ψυχρής κατεργασίας με όλκηση το ακόλουθο διγραμμικό διάγραμμα:



Σχήμα Σ 3.1: Απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων

Σε περίπτωση έλλειψης ακριβέστερων στοιχείων, μπορεί για τους χάλυβες ψυχρής κατεργασίας με στρέψη να χρησιμοποιηθεί ένα απλοποιημένο διγραμμικό διάγραμμα (βλ. Σχήμα Σ 6.1.β2).

### 3.1.7 Συγκολλησιμότητα

Βλ. και Κ.Τ.Χ. καθώς και ΕΛΟΤ 959 και 971.

### 3.1.5 Συγκολλητά δομικά πλέγματα

Όταν η παρουσία εγκάρσιων συγκολλημένων ράβδων λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό του μήκους αγκυρώσεως (παρ. 17.6.1), τότε κάθε συγκόλληση πρέπει να μπορεί να αναλάβει τέμνουσα δύναμη ίση με  $0.30f_{yk} A_s$ , όπου  $A_s$  είναι η διατομή της μεγαλύτερης από τις ράβδους που συγκολλούνται.

### 3.1.6 Παραμορφώσεις

#### 3.1.6.1 Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων

Τα πραγματικά διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων μπορούν να αντικατασταθούν με διγραμμικά ή τριγραμμικά διαγράμματα, διαλεγμένα έτσι ώστε η απλοποίηση αυτή να δίνει προσεγγίσεις υπέρ της ασφάλειας.

#### 3.1.6.2 Μέτρο ελαστικότητας $E_s$

Για όλους τους χάλυβες οπλισμένου σκυροδέματος το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να ληφθεί ίσο με 200 GPa.

#### 3.1.6.3 Συντελεστής θερμικής διαστολής

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του χάλυβα μπορεί να λαμβάνεται ίσος με  $10 \cdot 10^{-6}$  ανά °C.

### 3.1.7 Συγκολλησιμότητα

Βλέπε παρ. 19.3.2.

## 3.2 ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

### 3.2.1 Γενικά

Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των χαλύβων προέντασης καθορίζονται από πιστοποιητικά.

### 3.2.3 Χαρακτηριστική αντοχή

Π.χ. S1500/1770 υποδηλώνει χάλυβα προέντασης με  $f_{p0,1k} = 1500$  MPa και

$f_{ptk} = 1770$  MPa.



Οι χάλυβες προέντασης που καλύπτονται από τον Κανονισμό αυτό είναι δυνατόν να περιγραφούν ως ακολούθως:

- α) Σύμφωνα με την κατεργασία:
- α.1) θερμή κατεργασία
- χάλυβες ειδικής κατεργασίας,
  - χάλυβες σκληρυμένοι με βαφή,
- α.2) μηχανική κατεργασία
- χάλυβες ψυχρής κατεργασίας με διέλκυση ή εξέλαση
  - χάλυβες ψυχρής κατεργασίας με συστροφή ή έλξη.

Οι κατεργασίες αυτές μπορούν να συμπληρωθούν με γήρανση και σταθεροποίηση.

- β) Σύμφωνα με τον τύπο:
- σύρματα και ράβδοι,
  - συρματόσχοινα ή καλώδια,
- γ) Σύμφωνα με τη μορφή:
- σύρματα ή ράβδοι λείες και κυκλικές (τα σύρματα μπορούν να είναι ίσια ή πλεγμένα),
  - σύρματα ή ράβδοι με νευρώσεις κυκλικές ή μη κυκλικές.

### 3.2.2 Διατομή υπολογισμού

Οι υπολογισμοί πρέπει να βασίζονται στην ονομαστική διατομή, η οποία για τα σύρματα ή τις ράβδους καθορίζεται από την ονομαστική τους διάμετρο, ενώ για τα συρματόσχοινα ή τα καλώδια από τις ονομαστικές διατομές των συρμάτων ή των ράβδων που τα συνθέτουν.

### 3.2.3 Χαρακτηριστική αντοχή

Ο ορισμός της χαρακτηριστικής αντοχής δίνεται στην παρ. 3.1.3.

Η τιμή  $f_{0.2}$  μπορεί να αντικατασταθεί από την τιμή  $f_{0.1}$  (που αντιστοιχεί σε παραμένουσα παραμόρφωση 0.1%).

Κανονικά η κατηγορία ενός χάλυβα προέντασης πρέπει να προδιαγράφεται με βάση το χαρακτηριστικό όριο διαρροής ( $f_{p0.2k}$  ή  $f_{p0.1k}$ ) και την χαρακτηριστική του εφελκυστική αντοχή  $f_{ptk}$ .

Για την εφελκυστική αντοχή  $f_{ptk}$ , που προσδιορίζεται από τις δοκιμές εφελκυσμού, πρέπει να ισχύουν οι σχέσεις:

### 3.2.4 Χαρακτηριστικά συνάφειας

Οι συνθήκες εφαρμογής σχετίζονται ειδικότερα με:

- την αρχική τάση των τενόντων,
- τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος κατά την στιγμή της προέντασης,
- την θέση και την επικάλυψη των τενόντων και
- την εντατική κατάσταση του σκυροδέματος.

Όταν τα πιστοποιητικά δεν δίνουν τιμές για τον λόγο του μήκους αγκύρωσης προς την ονομαστική διάμετρο του τένοντα, επιτρέπονται τιμές μεταξύ των παρακάτω ορίων:

- 100 μέχρι 140 για σύρματα που δεν είναι λεία
- 45 μέχρι 90 για συρματόσχοινα 7 συρμάτων.

Οι τιμές αυτές έχουν υπολογισθεί με την παραδοχή ότι η προένταση εφαρμόζεται στο υπόψη στοιχείο με σταδιακή απελευθέρωση των άκρων των τενόντων. Εάν η προένταση επιτυγχάνεται με κοπή των άκρων των τενόντων που προεξέχουν, οι τιμές αυτές πρέπει να αυξηθούν κατά 25%.

#### 3.2.6.1 Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων

Σε περίπτωση έλλειψης ακριβέστερων στοιχείων ή σε φάση προμελέτης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το ακόλουθο διγραμμικό διάγραμμα:

$$f_{ptk} \geq 1.10 \cdot f_{0.2k} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$f_{ptk} \geq 1.05 \cdot f_{0.2,obs} \dots\dots\dots (3.4)$$

όπου  $f_{0.2,obs}$  είναι το όριο διαρροής όπως προκύπτει από αυτές τις δοκιμές.

### 3.2.4 Χαρακτηριστικά συνάφειας

Το μήκος αγκύρωσης  $\ell_{bp}$  που απαιτείται για να εξασφαλισθεί η μεταβίβαση της δύναμης προέντασης στο σκυρόδεμα μετά την απελευθέρωση των άκρων των τενόντων (προεντεταμένη κλίνη, προτανυόμενοι τένοντες, βλ. παρ. 4.1), πρέπει να προσδιορίζεται είτε βάσει των τιμών που περιλαμβάνονται στα πιστοποιητικά του χάλυβα προέντασης προσαρμοσμένων, εάν χρειάζεται, στις συνθήκες εφαρμογής, είτε μέσω δοκιμών που να εξομοιώνουν τις συνθήκες εφαρμογής.

Κατά τον έλεγχο οριακών καταστάσεων ρηγμάτωσης, οι προεντεταμένοι τένοντες μπορούν να θεωρηθούν ως σπλισμοί υψηλής συνάφειας υπό την προϋπόθεση ότι πληρούν τα κριτήρια της παρ. 3.1.4.

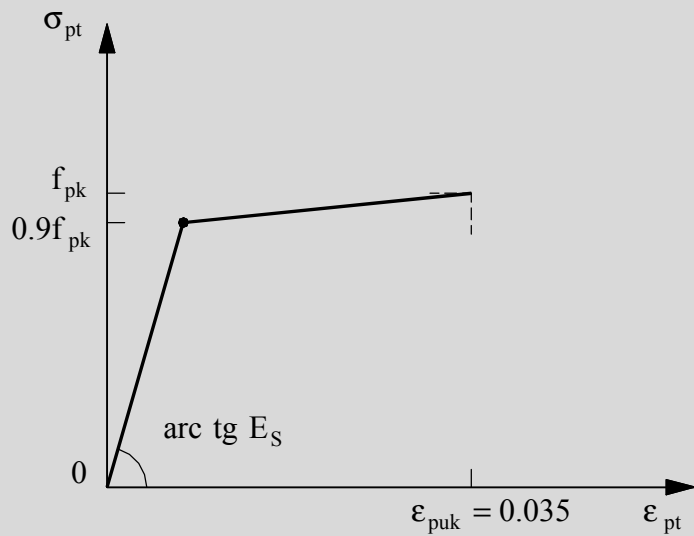
### 3.2.5 Διατάξεις αγκυρώσεων

Τα πιστοποιητικά των χαλύβων προέντασης δίνουν στοιχεία σχετικά με τις διατάξεις αγκυρώσεων. Εάν οι παραδοχές της μελέτης ή οι συνθήκες εφαρμογής διαφέρουν από εκείνες που προβλέπονται στα πιστοποιητικά, είναι απαραίτητο να γίνονται συμπληρωματικοί έλεγχοι.

### 3.2.6 Παραμορφώσεις

#### 3.2.6.1 Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων

Τα διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων λαμβάνονται από τα σχετικά πιστοποιητικά των χαλύβων.



Σχήμα Σ 3.2: Απλοποιημένο διάγραμμα σ-ε για χάλυβες προέντασης

Στην περίπτωση συρματόσχοινων υπό σχετικά χαμηλή τάση, η σχέση εφελκυστικής δύναμης και επιμήκυνσης δεν εξαρτάται μόνον από το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα.

Η επιρροή των διαφόρων προσθέτων παραμορφώσεων που συνοδεύουν την επιμήκυνση κατά τη στιγμή της επιβολής της προέντασης μπορεί να είναι σημαντική και πρέπει να λαμβάνεται κατάλληλα υπόψη.

### 3.2.6.4 Χαλάρωση

Η χαλάρωση εκτιμάται για τις ακόλουθες τιμές αρχικής προέντασης:

$$\sigma_{p0} = 0.60 f_{ptk}, 0.70 f_{ptk}, 0.80 f_{ptk}$$

(Για ενδιάμεσες τιμές μπορεί να γίνει γραμμική παρεμβολή).

Κατάλληλες τιμές θεωρούνται εκείνες που περιλαμβάνονται στον παρακάτω Πίνακα, οι οποίες ισχύουν για διάρκεια επιβολής της τάσεως ίση με 1000 ώρες.

Πίνακας Σ 3.2: Μέγιστες τιμές χαλάρωσης σε 1000 ώρες

$\sigma_{p0} / f_{ptk}$	0.60	0.70	0.80
Χάλυβες προέντασης χωρίς ειδική μέριμνα έναντι χαλάρωσης, κλάσεως 1	4.00%	8.00%	12.00%
Χάλυβες προέντασης χαμηλής χαλάρωσης, κλάσεως 2	1.50%	3.00%	6.00%

### 3.2.6.2 Μέτρο ελαστικότητας $E_s$

Για όλους τους χάλυβες προέντασης το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να ληφθεί ίσο με 200 GPa.

### 3.2.6.3 Συντελεστής θερμικής διαστολής

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής των χάλυβων προέντασης λαμβάνεται ίσος με  $10 \cdot 10^{-6}$  ανά °C.

### 3.2.6.4 Χαλάρωση

Οι τιμές της χαλάρωσης που θα ληφθούν υπόψη για τον υπολογισμό της τελικής δύναμης προεντάσεως μπορούν να προσδιορισθούν:

- βάσει των δεδομένων που περιέχονται στα πιστοποιητικά, ή
- από αποτελέσματα αξιόπιστων δοκιμών χαλάρωσης, ή
- όταν κρίνεται ότι τα διατιθέμενα στοιχεία δεν είναι αξιόπιστα ή επαρκή (π.χ. τιμές βασιζόμενες σε δοκιμές μικρής διάρκειας), τότε μπορούν να ληφθούν υπόψη κατάλληλες τιμές της χαλάρωσης, οι οποίες δίνονται στην διεθνή βιβλιογραφία για τις συνήθεις περιπτώσεις.

Η τελική χαλάρωση μπορεί να θεωρηθεί ότι πραγματοποιείται μετά από  $0.50 \cdot 10^6$  ώρες επιβολής της τάσης. Αν δεν γίνουν δοκιμές, η μείωση δεδομένης τάσης λόγω χαλάρωσης μετά από περίοδο  $t > 1000$  ώρες μπορεί να εκτιμηθεί εάν είναι γνωστή η απώλεια  $\Delta\sigma_{p,rel,1000}$  μέσω της ακόλουθης σχέσης:

$$\frac{\Delta\sigma_{p,rel,t}}{\Delta\sigma_{p,rel,1000}} = \left( \frac{t}{1000} \right)^\beta \dots\dots\dots (\Sigma 3.2)$$

όπου:

$\beta$  συντελεστής, ανάλογα με τον τύπο του χάλυβα και την τιμή της αρχικής τάσης προεντάσεως. Όταν δεν διατίθενται ακριβέστερα στοιχεία για την επιρροή του τύπου του χάλυβα, το  $\beta$  μπορεί να ληφθεί ίσο με:

$\beta \cong 0.12$  για κλάση 1

$\beta \cong 0.19$  για κλάση 2.

Για περιόδους μικρότερες από 1000 ώρες, η ισχύς της εξίσωσης ( $\Sigma 3.2$ ) πρέπει να ελεγχθεί. Γενικώς, για 100 ώρες η χαλάρωση είναι  $\cong 70\%$ , ενώ για 500 ώρες η χαλάρωση είναι  $\cong 90\%$  αυτής που αντιστοιχεί σε 1000 ώρες.

### 3.2.7 Ολκιμότητα

Η απαίτηση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι ικανοποιείται, εάν στο διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων η περιοχή πλαστικών παραμορφώσεων είναι τριπλάσια της περιοχής ελαστικών παραμορφώσεων. Η παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο πρέπει να είναι τουλάχιστον 3.50%.

### **3.2.7 Ολκιμότητα**

Οι χρησιμοποιούμενοι χάλυβες προέντασης πρέπει να έχουν επαρκή ολκιμότητα ώστε να είναι δυνατή η ανακατανομή εντάσεως.

