

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ  
ΓΙΑ  
ΤΗΝ  
ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

#### 4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Το Κεφάλαιο αυτό δεν καλύπτει άλλους τρόπους επιβολής προέντασης εκτός από την τάνυση των τενόντων. Δυνάμεις προέντασης που επιβάλλονται με άλλους τρόπους πρέπει να θεωρούνται ως δράσεις (μόνιμες ή μεταβλητές).

Γενικά ο Κανονισμός αυτός, για προένταση μετά από την σκλήρυνση του σκυροδέματος, καλύπτει μόνο την περίπτωση τενόντων οι οποίοι βρίσκονται μέσα σε σωλήνες, τοποθετούνται μέσα στην διατομή των στοιχείων και συνδέονται με το σκυρόδεμα μέσω τσιμεντενέσεων.

Για την χρησιμοποίηση τενόντων χωρίς συνάφεια βλέπε παρ. 4.5.2 και παρ. 10.5.

Γενικώς, η προένταση χρησιμοποιείται σε φορείς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας (βλ. παρ. 6.1.3). Γι αυτό άλλωστε και οι απαιτήσεις της παρ. 3.1.3 για χάλυβες οπλισμένου σκυροδέματος είναι διαφορετικές από εκείνες της παρ. 3.2.3 για χάλυβες προέντασης.

#### 4.2 ΑΡΧΙΚΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ

Αυτές οι οριακές τιμές ισχύουν για συνηθισμένες περιπτώσεις.

Αυτές οι αυξημένες τιμές μεγίστων αρχικών τάσεων πρέπει να εξετάζονται σε συνάρτηση και με άλλους παράγοντες, όπως:

- δυνατότητα αύξησης της τάσης σε περίπτωση μεγάλων απωλειών τριβής, ώστε να είναι δυνατή η επιβολή της προγραμματισμένης δύναμης προέντασης,
- δυνατότητα ή αδυναμία αντικατάστασης ενός τένοντα που βλάφτηκε κατά την προένταση,
- πιθανές επιπτώσεις της θραύσης τένοντα, ειδικώς πιθανότητα τραυματισμών,

#### 4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

- *Προένταση μετά από την σκλήρυνση του σκυροδέματος (Προένταση):* Οι τένοντες (σύρματα, ράβδοι ή συρματόσχοινα, καλώδια) τοποθετούνται μέσα σε σωλήνες και αγκυρώνονται κατάλληλα στα άκρα τους. Οι συνθήκες εφαρμογής συστημάτων αυτής της μεθόδου προέντασης καθορίζονται από τα πιστοποιητικά των συστημάτων προεντάσεως.
- *Προένταση πριν από την έγχυση του σκυροδέματος (Προεντεταμένη κλίση, προτανυόμενοι τένοντες):* Οι τένοντες (σύρματα ή συρματόσχοινα) βρίσκονται σε άμεση επαφή με το σκυρόδεμα και αγκυρώνονται μέσω συνάφειας.

4

#### 4.2 ΑΡΧΙΚΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ

Η αρχική τάση του τένοντα, μετά την απομάκρυνση των γρούλων και αφού λειτουργήσουν οι αγκυρώσεις, δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την μικρότερη από τις επόμενες δύο τιμές:

$$\sigma_{p0} = 0.65 \cdot f_{ptk} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\sigma_{p0} = 0.75 \cdot f_{p0.1k} \dots\dots\dots (4.2)$$

Η ελάχιστη απαιτούμενη αντοχή σκυροδέματος κατά την στιγμή της προέντασης, ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος υποχώρησης των σωμάτων αγκύρωσης, δίδεται στα πιστοποιητικά των διαφόρων συστημάτων προέντασης.

Εφόσον υπάρχει ολίσθηση των τενόντων στις θέσεις αγκυρώσεώς τους και μέσα στο μήκος επιρροής της ολίσθησης, οι μέγιστες τάσεις στον γρούλο μπορούν να ληφθούν κατά την στιγμή της προέντασης ίσες με:

$$\sigma_{p0,max} = 0.70 \cdot f_{ptk} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$\sigma_{p0,max} = 0.80 \cdot f_{p0.1k} \dots\dots\dots (4.4)$$

- μέθοδος προέντασης (μετά την σκλήρυνση ή πριν την έγχυση του σκυροδέματος),
- εφαρμοζόμενος βαθμός προέντασης,
- τύπος του τένοντα και ποιότητα του χάλυβα,
- χρόνος που μεσολαβεί μέχρι την εφαρμογή τσιμεντένεσης.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να δίνεται προσοχή στις ανεπιθύμητες συνέπειες της υπέρβασης του ορίου αναλογίας του χάλυβα κατά την στιγμή της προέντασης (π.χ. τάσεις σε θέσεις καμπυλώσεως των τενόντων).

#### 4.3.1 Γενικά

Όπου δεν δίνονται ειδικοί κανόνες, η προένταση επιβάλλεται σε χρόνο που καθορίζεται από τις ακόλουθες συνθήκες:

- συνθήκες παραμορφώσεων του στοιχείου,
- ασφάλεια σχετιζόμενη με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος,
- ασφάλεια σχετιζόμενη με τοπικές εντάσεις,
- ασφάλεια των αγκυρώσεων των τενόντων.

Η απλοποίηση του υπολογισμού των απωλειών μέσω της χρήσης μέσων τιμών για την δύναμη προέντασης, προϋποθέτει ότι ο υπολογισμός των απωλειών θα είναι λεπτομερής.

#### 4.3.2 Απώλειες πριν από την προένταση του σκυροδέματος (Προεντεταμένη κλίνη)

Συνήθως οι απώλειες προέντασης εκφράζονται ως τάσεις και όχι ως δυνάμεις.

Στο Σχήμα Σ 4.1 δίνεται η σειρά με την οποία εμφανίζονται οι διάφορες απώλειες α) στην περίπτωση προέντασης πριν από την έγχυση του σκυροδέματος και χωρίς θερμική κατεργασία με ατμό και β) στην περίπτωση επιβολής της προέντασης μετά από την σκλήρυνση του σκυροδέματος.

### 4.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

#### 4.3.1 Γενικά

Για δεδομένη ηλικία του σκυροδέματος, οι απώλειες προέντασης σε μία διατομή (σε σχέση με τη μέγιστη τάση στο γρύλο προέντασης), ισούται με το άθροισμα:

- των απωλειών πριν από την προένταση του σκυροδέματος (παρ. 4.3.2),
- των μειώσεων (παρ. 4.3.3) και
- των χρόνιων απωλειών (παρ. 4.3.4).

Η εκτίμηση των απωλειών βασίζεται γενικά στη χρησιμοποίηση μέσω των τιμών των βασικών δεδομένων.

#### 4.3.2 Απώλειες πριν από την προένταση του σκυροδέματος (Προεντεταμένη κλίνη)

Οι παρακάτω απώλειες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς:

- απώλειες λόγω τριβής στις διαμορφώσεις των καμπυλών (στην περίπτωση καμπύλων τενόντων), καθώς και στις απώλειες λόγω ολίσθησης στις αγκυρώσεις της προεντεταμένης κλίνης,
- απώλειες λόγω χαλάρωσης του χάλυβα των τενόντων (που θεωρούνται ότι είναι εκτεθειμένοι) κατά τη χρονική περίοδο μεταξύ έντασης των τενόντων και εφαρμογής της προέντασης στο σκυρόδεμα.

**4.3.3.1 Μειώσεις λόγω ελαστικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος**

Βλέπε Σχ. 4.1α και β.

Αυτή η μείωση μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά μέσω των ακόλουθων σχέσεων:

- Στην περίπτωση προτάνουσης:

$$\Delta\sigma_{p02}(x) = \frac{E_s}{E_{c,j}} \sigma_c(x) \dots\dots\dots (\Sigma 4.1)$$

- Στην περίπτωση προέντασης:

$$\Delta\sigma_{p02}(x) = \frac{1}{2} \frac{E_s}{E_{c,j}} \sigma_c(x) \dots\dots\dots (\Sigma 4.2)$$

όπου:

- $E_s$  μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα προέντασης,
- $E_{c,j}$  μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος κατά την στιγμή εφαρμογής των φορτίων (λαμβάνονται υπόψη η δύναμη προέντασης και τα μόνιμα φορτία),
- $\sigma_c(x)$  θλιπτική τάση του σκυροδέματος σε διατομή x στην στάθμη του κέντρου βάρους των τενόντων λόγω μονίμων φορτίων και προέντασης. Η  $\sigma_c(x)$  αναφέρεται στην ομογενή ιδεατή διατομή.

**4.3.3.2 Μειώσεις λόγω τριβής (Προένταση)**

Η τριβή μεταξύ τένοντα και σωλήνα κατά τη προένταση προκαλείται από την καμπυλότητα των τενόντων, καθώς και από τις παρασιτικές αποκλίσεις ακόμα και σε ευθυγραμμία.

Από τις εξισώσεις (4.3) και (4.4) προκύπτει ότι:

$$\sigma_{p0,max}(x = 0) = \min \{0.70f_{ptk}, 0.80f_{p0,1k}\}$$

Οι τιμές του συντελεστή τριβής δεν εξαρτώνται μόνο από την επιφάνεια του τένοντα και την εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα αλλά και από την μορφή της χάραξης και από την υδατοστεγανότητα των σωλήνων (παρ. 20.5).

Εάν

$$\mu(\alpha + k \cdot x) \leq 0.20 \dots\dots\dots (\Sigma 4.3)$$

επιτρέπεται να υποτεθεί ότι:

### 4.3.3 Μειώσεις

#### 4.3.3.1 Μειώσεις λόγω ελαστικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος

Πρέπει να ληφθεί υπόψη η μείωση προέντασης λόγω βράχυνσης του σκυροδέματος η οποία προκύπτει:

- στην περίπτωση προτάνυσης ως αποτέλεσμα της δράσης των τενόντων όταν ελευθερώνονται από τις αγκυρώσεις τους,
- στην περίπτωση προέντασης ως αποτέλεσμα του προγράμματος τάνυσης των τενόντων.

4

#### 4.3.3.2 Μειώσεις λόγω τριβής (Προένταση)

Η τάση του τένοντα,  $\sigma_{p0}(x)$ , σε μια διατομή που βρίσκεται σε απόσταση  $x$  από την ενεργό αγκύρωση είναι μειωμένη σε σχέση με την τάση  $\sigma_{p0,max}(x=0)$ , στη θέση της αγκύρωσης, κατά τις μειώσεις λόγω τριβής. Η τάση στην θέση  $x$  μπορεί να υπολογισθεί μέσω της ακόλουθης σχέσης:

$$\sigma_{p0}(x) = \sigma_{p0,max}(x=0) \cdot \exp(-\mu(\alpha + k \cdot x)) \dots\dots\dots (4.5)$$

όπου:

- $\mu$  συντελεστής τριβής μεταξύ τένοντα και σωλήνα,
- $\alpha$  άθροισμα των απολύτων τιμών των γωνιακών εκτροπών του τένοντα από τη θέση 0 μέχρι την θέση  $x$ , μετρούμενων σε ακτίνια (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η διεύθυνση ή το πρόσημό τους),
- $k$  αθέλητη γωνιακή εκτροπή (ακτίνια ανά μονάδα μήκους) από την ακριβή χάραξη των τενόντων.

$$\sigma_{p0}(x) = \sigma_{p0,max}(x=0) \cdot (1 - \mu(\alpha + k \cdot x)) \dots\dots\dots (\Sigma 4.4)$$

και

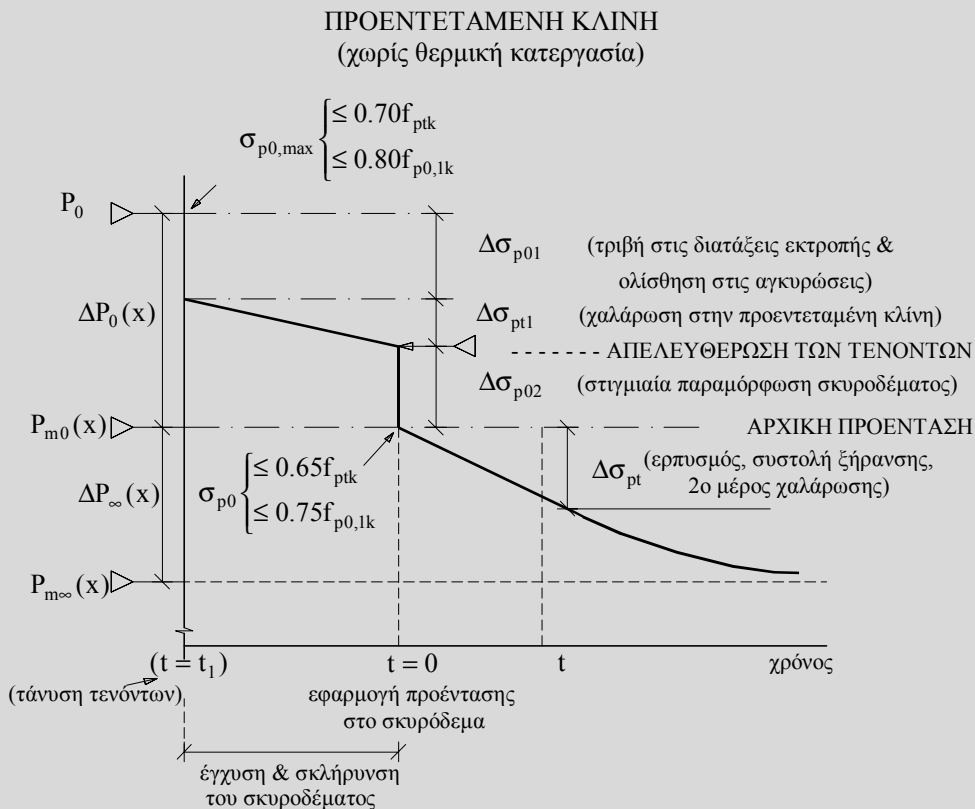
$$\Delta\sigma_{p0}(x) = \sigma_{p0,max}(x=0) \cdot \mu(\alpha + k \cdot x) \dots\dots\dots (\Sigma 4.5)$$

Σε περίπτωση έλλειψης ακριβέστερων τιμών, επιτρέπεται να γίνουν δεκτές ως αντιπροσωπευτικές οι εξής τιμές για τένοντες χωρίς λιπαντικά, με ακτίνα καμπυλότητας μεγαλύτερη από 6m:

- μ=0.50 για τένοντες σε άμεση επαφή με το σκυρόδεμα
- μ=0.30 για μη λεία σύρματα που βρίσκονται μέσα σε μεταλλικούς σωλήνες, καθώς και για ράβδους
- μ=0.25 για λεία κυκλικά σύρματα μέσα σε μεταλλικούς σωλήνες
- μ=0.20 για δέσμες παράλληλων συρμάτων ή καλώδια μέσα σε μεταλλικούς σωλήνες.

Η διασπορά κυμαίνεται μεταξύ -10% και +20%.

Οι τιμές που δίνονται παραπάνω μπορούν να πολλαπλασιαστούν επί 0.90 για τένοντες με ελαφρά λίπανση, π.χ. με διαλυτό έλαιο.



Σχήμα Σ 4.1α: Μειώσεις και απώλειες προέντασης σε δεδομένη διατομή (προένταση πριν από την έκχυση του σκυροδέματος)

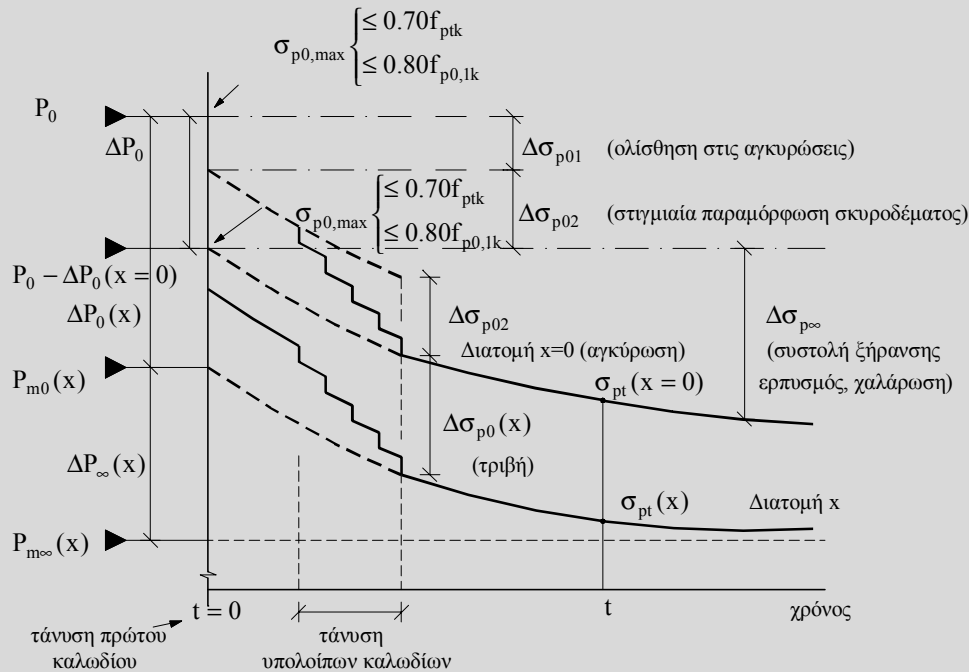


Στα πιστοποιητικά των διαφόρων συστημάτων προέντασης δίνονται τιμές για το  $\mu$  και το  $k$ .

4

Λίπανση επιτρέπεται μόνο με λιπαντικά για τα οποία υπάρχει εγκριτική απόφαση, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος βλάβης του αλκαλικού περιβάλλοντος των τενόντων.

ΠΡΟΕΝΤΑΣΗ  
(για κάθε καλώδιο)



Σχήμα 4.1β: Μειώσεις και απώλειες προέντασης σε δεδομένη διατομή (προένταση μετά από την σκλήρυνση του σκυροδέματος)

Δεν επιτρέπονται ακτίνες καμπυλότητας μικρότερες από 3m.

Ο συντελεστής k εξαρτάται βασικώς από την ακρίβεια με την οποία επιτυγχάνεται στην πράξη το θεωρητικό σχήμα της χάραξης των τενόντων. Η ακρίβεια επιτυγχάνεται ευκολότερα αν ο σωλήνας είναι άκαμπτος και η χάραξη απλή.

Γενικά, μπορεί να υποτεθεί  $k=0.01m^{-1}$  αφού ληφθεί υπόψη η διάμετρος του σωλήνα, η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων του σωλήνα και η ποιότητα της εργασίας.

#### 4.3.3.3 Μειώσεις λόγω ολίσθησης στις αγκυρώσεις (Προένταση)

Οι τιμές που θα ληφθούν υπόψη ορίζονται στα πιστοποιητικά των συστημάτων προέντασης.

#### 4.3.3.4 Άλλες μειώσεις

Οι μειώσεις λόγω θερμικής κατεργασίας με ατμό πρέπει να υπολογίζονται μαζί με τις άλλες μειώσεις.

#### **4.3.3.3 Μειώσεις λόγω ολίσθησης στις αγκυρώσεις (Προένταση)**

Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ολίσθηση του τένοντα κατά τη στιγμή της σφήνωσης, καθώς και η παραμόρφωση της αγκύρωσης.

#### **4.3.3.4 Άλλες μειώσεις**

Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και όλα τα άλλα πιθανά αίτια μειώσεων που οφείλονται στην μέθοδο ή στον εξοπλισμό της προέντασης.

**4.3.4 Χρόνιες απώλειες λόγω ερπυσμού και συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος και χαλάρωσης του χάλυβα**

Η ακριβής λύση του προβλήματος είναι αρκετά περίπλοκη. Δεδομένου ότι η ποσοτική έκφραση όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν το πρόβλημα είναι δυσχερής, γίνονται δεκτές προσεγγιστικές λύσεις.

Μια προσεγγιστική τιμή για τις τελικές χρόνιες απώλειες σε μία διατομή  $x$  μπορεί να εκτιμηθεί από την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$\Delta\sigma_{p\infty} = \Delta\sigma_{p,s+c,\infty} + \Delta\sigma_{p,rel,\infty} \left( 1 - 2 \cdot \frac{\Delta\sigma_{p,s+c,\infty}}{\sigma_{p0}} \right) \dots\dots\dots (\Sigma 4.6)$$

$$\Delta\sigma_{p,s+c,\infty} = E_s (\epsilon_{c\infty} + \epsilon_{s\infty}) \dots\dots\dots (\Sigma 4.7)$$

όπου:

$\epsilon_{c\infty}$  βράχυνση σκυροδέματος λόγω ερπυσμού (μετρούμενη από την χρονική στιγμή  $t_0$ , όπου  $t_0$  είναι ο χρόνος επιβολής της προέντασης). Η  $\epsilon_{c\infty}$  υπολογίζεται μέσω της σχέσης Σ 2.4 στην οποία εισάγεται η τελική τάση του σκυροδέματος στη στάθμη του κέντρου βάρους των τενόντων. Αυτή η τάση οφείλεται στην προένταση, στις μόνιμες δράσεις, καθώς και στον μακροχρόνιο συνδυασμό των μεταβλητών δράσεων (βλ. παρ. 6.4.2).

$\epsilon_{s\infty}$  βράχυνση σκυροδέματος λόγω ανεμπόδιστης συστολής ξήρανσης (από ηλικία  $t_0$ ), στην ίδια στάθμη όπου ορίζεται και η  $\epsilon_{s\infty}$ ,

$\Delta\sigma_{p,rel,\infty}$  καθαρή χαλάρωση του χάλυβα υπό την τάση ίση με την αρχική τάση  $\sigma_{p0}$ .

Ο παραπάνω τύπος δεν ισχύει για την εκτίμηση των απωλειών σε ενδιάμεσες φάσεις της κατασκευής.

Επίσης δεν διαφοροποιεί σαφώς τις συνέπειες των διαφόρων φαινομένων και γιαυτό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση των επιρροών τους.

**4.4.1 Υπολογισμός απωλειών προέντασης**

Σε μερικές περιπτώσεις (π.χ. σταδιακή κατασκευή και προένταση) μπορεί να χρειάζονται οι τιμές της προέντασης σε ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα. Τότε οι απώλειες σε χρόνο  $t$  που συμβολίζονται με  $\Delta P_t(X)$ , υπολογίζονται και προστίθενται στις στιγμιαίες απώλειες  $\Delta P_0(X)$ .

#### 4.3.4 Χρόνιες απώλειες λόγω ερπυσμού και συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος και χαλάρωσης του χάλυβα

Ο υπολογισμός των χρόνιων απωλειών λόγω ερπυσμού και συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος και χαλάρωσης του χάλυβα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την αλληλεξάρτηση των φαινομένων.

**4**

### 4.4 ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

#### 4.4.1 Υπολογισμός απωλειών προέντασης

Για τις περισσότερες περιπτώσεις αρκεί ο υπολογισμός των τιμών της προέντασης σε δύο χρονικές περιόδους:

- τη στιγμή της εφαρμογής της προέντασης στο σκυρόδεμα ( $t=0$ ),
- μετά από μεγάλη χρονική περίοδο ( $t=\infty$ ).

#### 4.4.2 Τιμές της προέντασης εισαγόμενες στους υπολογισμούς

Ο συμβολισμός  $P_0$  είναι απλοποιημένος συμβολισμός του  $P_{t=0}(x=0)$ .

Όταν εφαρμόζεται η εξίσωση (4.6) προκύπτουν οι ακόλουθες αντιπροσωπευτικές τιμές (αρχική και τελική):

για  $t=0$

$$P_{m0}(x) = P_0 - \Delta P_0(x) \dots\dots\dots (\Sigma 4.8)$$

για  $t=\infty$

$$P_{m\infty}(x) = P_0 - (\Delta P_0(x) + \Delta P(x)) \dots\dots\dots (\Sigma 4.9)$$

#### 4.5. ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Οι «ισοστατικές» επιρροές αναφέρονται στα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται σε μια διατομή λόγω της εκκεντρότητας ή/και της κλίσης της δύναμης προέντασης ως προς τον κεντροβαρικό άξονα του στοιχείου (αυτεντατική κατάσταση).

Οι «υπερστατικές» επιρροές αναφέρονται στην συμπληρωματική (παρασιτική) εντατική κατάσταση που αναπτύσσεται στους υπερστατικούς φορείς λόγω πρόσθετων εξωτερικών αντιδράσεων. Αυτές οι πρόσθετες αντιδράσεις προκαλούνται από την προένταση και οφείλονται στην ανάγκη συμβιβαστού των παραμορφώσεων προς τις συνθήκες στήριξης.

Κατά τον υπολογισμό των τιμών της προέντασης στη διατομή  $x$  λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες απώλειες:

Για  $t=0$ : Οι μειώσεις (παρ. 4.3.3) στις οποίες, στην περίπτωση προεντεταμένης κλίνης, προστίθενται και οι απώλειες πριν από την προένταση του σκυροδέματος (παρ. 4.3.2) το άθροισμα των απωλειών αυτών συμβολίζεται με  $\Delta P_0(x)$ .

Για  $t=\infty$ : Οι προηγούμενες απώλειες  $\Delta P_0(x)$  αυξημένες κατά τις χρόνιες απώλειες  $\Delta P_\infty(x)$  (παρ. 4.3.4).

4

#### 4.4.2 Τιμές της προέντασης εισαγόμενες στους υπολογισμούς

Για τις συνηθέστερες περιπτώσεις αρκεί να ληφθεί υπόψη μόνο μια αντιπροσωπευτική τιμή προέντασης. Η τιμή αυτή ισούται με την μέση τιμή σε χρόνο  $t$  για την υπόψη διατομή  $x$ :

$$P_{mt}(x) = P_0 - (\Delta P_0(x) + \Delta P_t(x)) \dots\dots\dots (4.6)$$

όπου:

$P_0$  αρχική προένταση κατά την στιγμή  $t=0$  εφαρμοζόμενη στο άκρο ( $x=0$ ),

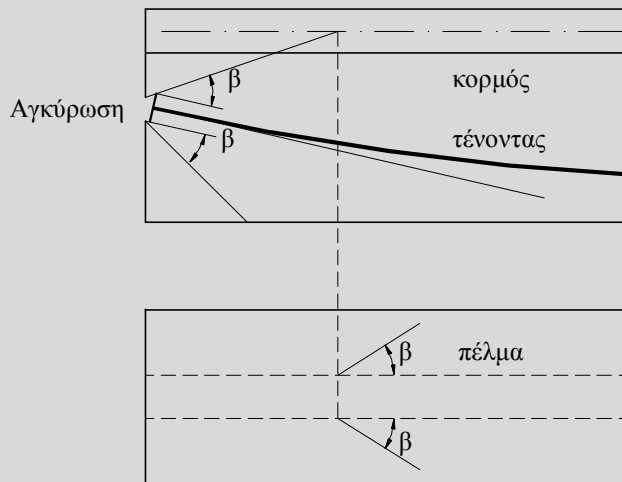
$\Delta P_t(x)$  χρόνιες απώλειες σε χρόνο  $t$  στη διατομή  $x$ .

#### 4.5 ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Η προένταση γενικά προκαλεί:

- α) τοπικά φαινόμενα στην περιοχή των αγκυρώσεων και στα σημεία όπου οι τένοντες αλλάζουν διεύθυνση,
- β) «ισοστατικές» επιρροές σε ισοστατικούς φορείς,
- γ) «ισοστατικές» και «υπερστατικές» επιρροές σε υπερστατικούς φορείς.

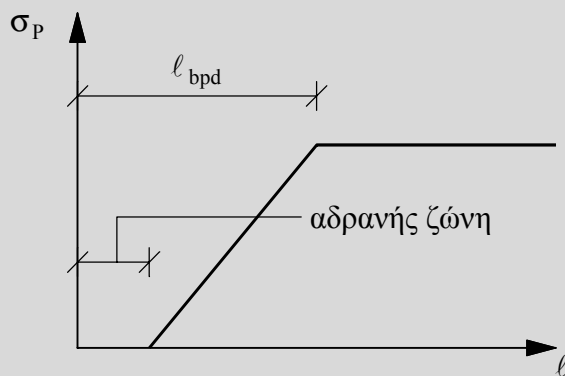
4.5.1 Διανομή της δύναμης προέντασης



Σχήμα Σ 4.2: Διανομή της προέντασης σε πλακοδοκούς

Η τιμή  $0.80\ell_{bp}$  μπορεί να είναι δυσμενής στην περίπτωση ελέγχου του άνω άκρου του στοιχείου. Κατά μήκος του  $\ell_{bpd}$  μπορούν να διακριθούν δύο ζώνες:

- α) Η αδρανής ζώνη, κοντά στο άκρο του στοιχείου. Η ζώνη αυτή έχει μήκος:
  - 5 $\emptyset$  αν η προένταση επιβάλλεται με βαθμιαία απελευθέρωση των άκρων των τενόντων ( $\emptyset$ : η διάμετρος του τένοντα).
  - 10 $\emptyset$  αν η προένταση επιβάλλεται απότομα (κοπή).
- β) Η πέραν της αδρανούς ζώνη, όπου η τάση του τένοντα μεταβάλλεται γραμμικά από μηδέν μέχρι την τιμή σχεδιασμού της (Σχ. Σ 4.3).



Σχήμα Σ 4.3: Αγκύρωση προτανυόμενου τένοντα



#### 4.5.1 Διανομή της δύναμης προέντασης

α) Προένταση μετά από την σκλήρυνση του σκυροδέματος

Σε περίπτωση ενός στοιχείου με μεγάλο πλάτος, γίνεται η παραδοχή ότι η δύναμη προέντασης διανέμεται πέραν της αγκύρωσης υπό γωνία  $2\beta$ , όπου  $\tan(\beta) = 2/3$  ( $\beta \cong 34^\circ$ ).

Σε περίπτωση πλακοδοκού γίνεται η παραδοχή ότι η δύναμη προέντασης διανέμεται:

- πάνω στο μέσο επίπεδο του κορμού, εντός γωνίας  $2\beta$  ξεκινώντας από την αγκύρωση,
- στο μέσο επίπεδο του άνω πέλματος, υπό γωνία  $\beta$  εκατέρωθεν του κορμού, από το σημείο όπου η διανομή στον κορμό φθάνει στο πέλμα.

β) Προένταση πριν από την έγχυση του σκυροδέματος

Η εφελκυστική τάση σε έναν προτανυόμενο τένοντα υποτίθεται ότι λαμβάνει την τιμή σχεδιασμού της σε απόσταση  $\ell_{bpd}$  από το άκρο.

Η απόσταση αυτή ισούται με  $0.80 \cdot \ell_{bp}$  ή με  $1.20 \cdot \ell_{bp}$ , ανάλογα με το ποια από αυτές τις δύο τιμές είναι δυσμενέστερη για το υπό εξέταση εντατικό μέγεθος ( $\ell_{bp}$  είναι το μήκος αγκύρωσης, όπως ορίστηκε στην παρ. 3.2.4).

Ως μήκος ανάπτυξης της προέντασης ορίζεται η απόσταση μεταξύ του άκρου του τένοντα και μίας διατομής πέραν της οποίας η διανομή των ορθών τάσεων λόγω προέντασης θεωρείται γραμμική, σε όλο το ύψος της διατομής.

Για ορθογωνική διατομή με ευθύγραμμους τένοντες στο κάτω μέρος της διατομής, μπορεί να θεωρηθεί ότι το μήκος ανάπτυξης της προέντασης είναι:

$$\ell_{p,ef} = \sqrt{(0.80 \ell_{bpd})^2 + h^2} > \ell_{bpd}$$

όπου  $h$  είναι το ύψος της διατομής.

Σημειώνεται ότι κατά τον έλεγχο της αγκύρωσης πρέπει να ληφθεί υπόψη το μέγεθος του μήκους μεταθέσεως του διαγράμματος ροπών

#### 4.5.2 Τένοντες χωρίς συνάφεια

Βλέπε επίσης παρ. 10.5.

Για τον υπολογισμό των ορθών τάσεων και κατά τον έλεγχο έναντι τέμνουσας σε ένα στοιχείο το οποίο προεντίνεται μετά από την σκλήρυνση του σκυροδέματος πρέπει οι τάσεις που αναπτύσσονται πριν από τη σύνδεση των τενόντων με το σκυρόδεμα, να υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη τις καθαρές διατομές (παρ. 7.2.3).

#### 4.5.3 Τένοντες με συνάφεια

Στην παράγραφο αυτή δίνονται οδηγίες για την επιλογή του κατά περίπτωση κατάλληλου συντελεστή ασφαλείας.

Οι χρησιμοποιούμενοι όροι «ισοστατικές» και «υπερστατικές» επιρροές λόγω προέντασης επεξηγούνται στην αρχή της παρ. 4.5.

Όταν η μήκυνση του τένοντα υπερβαίνει την τιμή  $\varepsilon_{p0.1d}$  η ολική τάση του δεν εξαρτάται πρακτικώς, από την τελική δύναμη προέντασης (όπως αυτή υπολογίζεται στην παρ. 4.4.2). Σε αυτή την περίπτωση, ο τένοντας συμπεριφέρεται όπως και ο μη προεντεταμένος οπλισμός σε διατομές οπλισμένου σκυροδέματος και, επομένως, συμβάλλει στην αντοχή της διατομής. Για αυτόν τον λόγο, η συμβολή του πρέπει να διαιρεθεί με τον κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας υλικού  $\gamma_m$ .

Όταν η επιμήκυνση του τένοντα δεν υπερβαίνει την τιμή  $\varepsilon_{p0.1d}$  η ολική τάση του μπορεί να υπολογιστεί ως άθροισμα των παρακάτω δύο όρων:

- της μόνιμης εφελκυστικής τάσης (μετά από την πραγματοποίηση των απωλειών). Αυτή η τάση υπολογίζεται σύμφωνα με την παρ. 4.4.2, πρέπει δε να πολλαπλασιασθεί με συντελεστή  $\gamma_p$ ,

κάμψεως (παρ. 11.2.4). Για πλακοδοκούς μπορεί να υιοθετηθεί ο κανόνας διανομής προέντασης που εφαρμόζεται στην περίπτωση προέντασης μετά από την σκλήρυνση του σκυροδέματος.

#### 4.5.2 Τένοντες χωρίς συνάφεια

Αυτή η περίπτωση μπορεί να αφορά:

προσωρινώς μεν τένοντες οι οποίοι πρόκειται να συνδεθούν με το σκυρόδεμα μέσω τσιμεντενέματος (οι τένοντες υπάγονται σε αυτήν την κατηγορία πριν από την ενεργοποίηση της σύνδεσής τους με το σκυρόδεμα),

μονίμως δε τένοντες για τους οποίους δεν προβλέπεται σύνδεση των τενόντων με το σκυρόδεμα (προένταση χωρίς σύνδεση).

Κατά κανόνα η δύναμη προέντασης που επιβάλλεται μέσω τενόντων χωρίς συνάφεια, θεωρείται τμήμα των δράσεων.

#### 4.5.3 Τένοντες με συνάφεια

Ο τρόπος με τον οποίον επιδρά η προένταση ως τμήμα των δράσεων ή ως μέρος της αντίστασης μίας διατομής μεταβάλλεται με την αύξηση των δράσεων. Αυτό το δεδομένο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον καθορισμό των επί μέρους συντελεστών  $\gamma_p$  ή  $\gamma_m$  αντιστοίχως.

Έτσι,

- 1) Στις ισοστατικές επιρροές, η προένταση λαμβάνεται υπόψη σε μια διατομή ως:
  - α) τμήμα της εσωτερικής αντοχής, όταν η παραμόρφωση των τενόντων είναι μεγαλύτερη από  $\varepsilon_{p0.1d}$  (παραμόρφωση ίση με  $f_{p0.1k} / \gamma_s \cdot E_s$ ). Αυτή η περίπτωση θα πρέπει να εξετάζεται:
    - στους διαμήκεις τένοντες, κατά τον έλεγχο των οριακών καταστάσεων αντοχής έναντι ορθών δράσεων (Κεφ.10) και λυγισμού (Κεφ.14).
    - στον κατακόρυφο προεντεταμένο διατμητικό οπλισμό, κατά τον έλεγχο των οριακών καταστάσεων αντοχής έναντι τεμνουσών δυνάμεων (Κεφ.11) και στρέψης (Κεφ.12).
  - β) τμήμα των εξωτερικών δράσεων, όταν η επιμήκυνση των τενόντων είναι μικρότερη από την  $\varepsilon_{pd}$  (και συνεπώς οι τένοντες βρίσκονται στην ελαστική περιοχή).

- μιας πιθανής αύξησης της εφελκυστικής τάσης η οποία στην πράξη προκύπτει από τις μεταβλητές δράσεις, από τις οποίες έχει αφαιρεθεί το τμήμα που αντιστοιχεί στις μακροχρόνιες τιμές τους.

Αυτή η πρόσθετη τάση θα εισάγεται με τον συντελεστή  $\psi\gamma_p$  που αντιστοιχεί στον υπό εξέταση συνδυασμό.

- 2) Στις υπερστατικές επιρροές, επειδή αυτές επηρεάζονται ελάχιστα από την εξέλιξη της φόρτισης, η προένταση λαμβάνεται πάντοτε ως τμήμα των εξωτερικών δράσεων.

Για την εφαρμογή των παραπάνω διατάξεων, η διαδικασία που πρέπει να υιοθετηθεί δίνεται στον Πίνακα 4.1. Οι απαιτούμενοι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma_f$  και  $\gamma_m$ , καθώς και οι συντελεστές συνδυασμών δράσεων,  $\psi$ , λαμβάνονται σύμφωνα με το Κεφ. 6.

Πίνακας 4.1: Εισαγωγή της προέντασης στους υπολογισμούς

Επιρροές λόγω προέντασης P	Εξεταζόμενη οριακή κατάσταση	Τμήμα των εξωτερικών δράσεων	Τμήμα της αντοχής
Ισοστατικές	Λειτουργικότητα	Πάντοτε	--
	Αστοχία	Όταν $\varepsilon_p < \varepsilon_{p0.1d}$ (*)	Όταν $\varepsilon_p \geq \varepsilon_{p0.1d}$
Υπερστατικές (*)	Λειτουργικότητα και αστοχία	Πάντοτε	--
$\varepsilon_p$	ανηγμένη παραμόρφωση προεντεταμένου τένοντα		
$\varepsilon_{p0.1d}$	ανηγμένη παραμόρφωση που αντιστοιχεί σε τάση $\sigma_p = f_{p0.1k} / \gamma_m$ , $\gamma_m = \gamma_s$		
(*)	μόνο το υπερστατικό τμήμα της έντασης λόγω προέντασης.		

