

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ Η/Υ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ Η ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ.

**ΣΤΡΙΑΠΓΚΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΦΑΛΗΡΕΑ ΑΓΓΕΛΙΚΗ**

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια ποσοτικού προσδιορισμού της ενίσχυσης υφιστάμενων δοκών ορθογωνικής διατομής σε κάμψη, με πρόσθετη στρώση σκυροδέματος με ηλεκτροσυγκόλληση παλαιών και νέων ράβδων οπλισμού ή με ινοπλισμένα πολυμερή. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε πρόγραμμα σε γλώσσα Visual Basic. Ο χρήστης επιλέγει μια από τις δύο προτεινόμενες μεθόδους καμπτικής ενίσχυσης και το πρόγραμμα υπολογίζει τα απαραίτητα στοιχεία για την εφαρμογή της επιλεγμένης μεθόδου. Η μελέτη γίνεται σε τρεις χαρακτηριστικές διατομές της δοκού, στις στηρίξεις και στο άνοιγμα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Κατα την είσοδο στο πρόγραμμα ο χρήστης καλείται να εισάγει το μήκος ανοίγματος της δοκού, τις ποιότητες του σκυροδέματος και του χάλυβα και τις ροπές σχεδιασμού στις τρεις κρίσιμες διατομές, ενώ αυτόματα σχεδιάζεται το διάγραμμα καμπτικών ροπών. Έπειτα οδηγείται σε νέα καρτέλα, όπου δίνει τα γεωμετρικά στοιχεία της δοκού και τους οπλισμούς κάθε διατομής.

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΠΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ

Το πρόγραμμα εκτελεί δοκιμές μεταβάλλοντας τις παραμορφώσεις του χάλυβα και του σκυροδέματος σε τέτοιες τιμές ώστε να βρίσκονται στα όρια του ΕΚΟΣ 2000 δηλαδή $\epsilon_c = -0.35\%$ και $\epsilon_{s1} = 2\%$. Με γνωστές παραμορφώσεις υπολογίζονται οι εσωτερικές δυνάμεις της διατομής, του σκυροδέματος στην θλιβόμενη ζώνη και των δυνάμεων του χάλυβα.

Όταν οι παραμορφώσεις βρεθούν σε τέτοιες τιμές ώστε το αλγεβρικό άθροισμα των εσωτερικών δυνάμεων να είναι μηδέν, τότε η μεταβολή των παραμορφώσεων σταματάει και με τις συγκεκριμένες δυνάμεις υπολογίζετε η ροπή αντοχής της διατομής.

Η διαδικασία δίνεται βηματικά παρακάτω.

Βήμα 1

Εισαγωγή των δεδομένων από τον χρήστη. Περιγραφή γεωμετρίας διατομής, διάταξη υφιστάμενου οπλισμού (εικόνα 1).

Βήμα 2

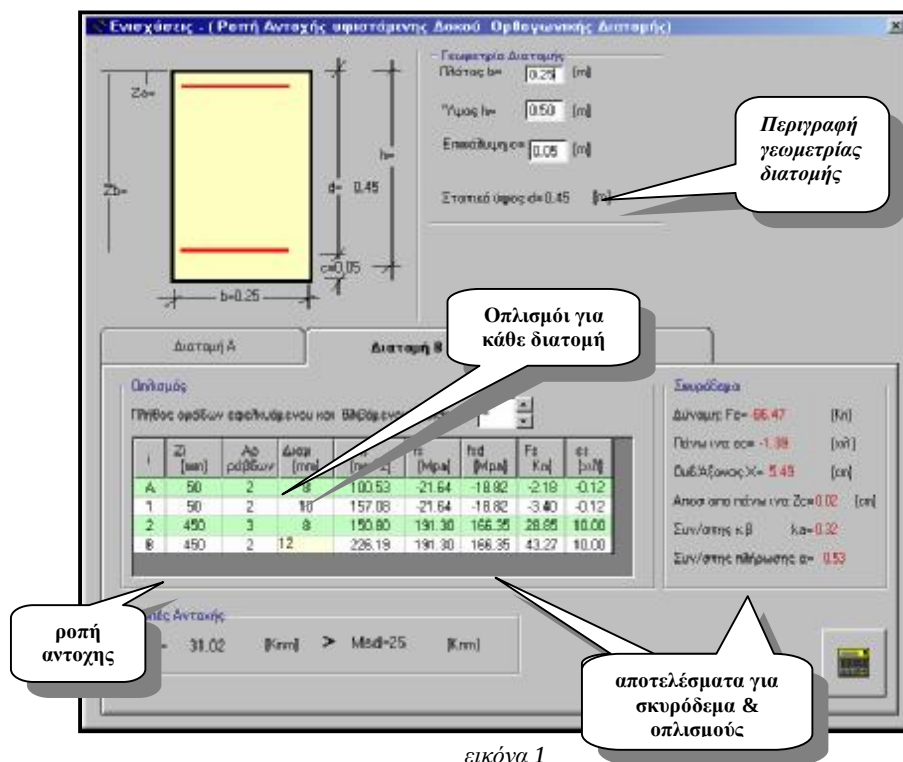
Επιλέγεται $\epsilon_c = -0.35\%$ και $\epsilon_{s1} = 1\%$

Βήμα 3

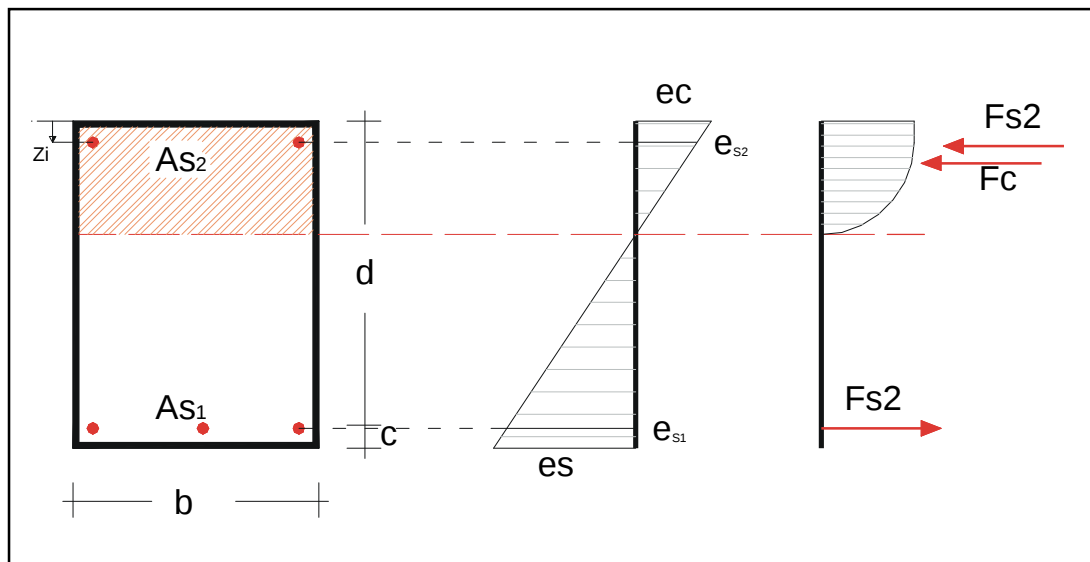
Υπολογίζεται ο ουδέτερος άξονας της διατομής από την σχέση:

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_{s1}} \times d$$

όπου d: στατικό ύψος διατομής



εικόνα 1



Σχήμα 1 Εντατική κατάσταση διατομής

Βήμα 4

Υπολογίζεται η δύναμη του σκυροδέματος

$$F_c = a \times 0.85 \times \frac{f_{ck}}{1.50} \times X \times b$$

όπου a συντελεστής πληρότητας

$$\alpha = 1000\varepsilon_c \left(0.5 - \frac{1000}{12} \varepsilon_c \right) \text{ για } \varepsilon_c \leq 0.002$$

και

$$\alpha = 1 - \frac{2}{3000\varepsilon_c} \text{ για } 0.002 \leq \varepsilon_c \leq 0.0035$$

b: Πλάτος θλιβόμενης ζώνης

x: Απόσταση ουδέτερου άξονα από ανώτερη θλιβόμενη ίνα

Βήμα 5

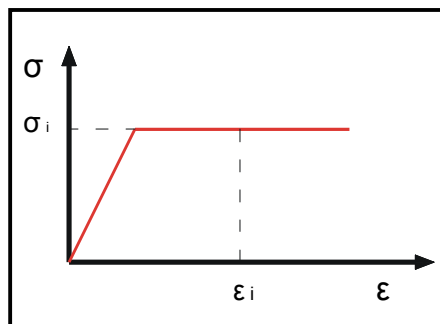
Υπολογίζονται οι δυνάμεις των οπλισμών:

Οι παραμορφώσεις δίνονται από την σχέση:

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_c + \left[\frac{\varepsilon_s - \varepsilon_c}{d} \right] \times z_i$$

όπου: z_i είναι η απόσταση των οπλισμών από την πάνω ίνα (βλέπε σχήμα 1)

Στη συνέχεια από το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων του χάλυβα (Σχήμα 2), με γνωστές τις παραμορφώσεις και με τη βοήθεια του διαγράμματος τάσεων παραμορφώσεων προσδιορίζονται οι τάσεις.



Σχήμα 2 Διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων χάλυβα

Οι δυνάμεις υπολογίζονται από την σχέση:

$$F_{s_i} = A s_i \times \sigma_{si}$$

Βήμα 6

Εξετάζεται η ισορροπία της διατομής. Θα πρέπει:

$$F = F_c + \sum F_{s_i} = 0$$

(Οι αξονικές δυνάμεις θεωρούνται αμελητέες, $N_{sd}=0$)

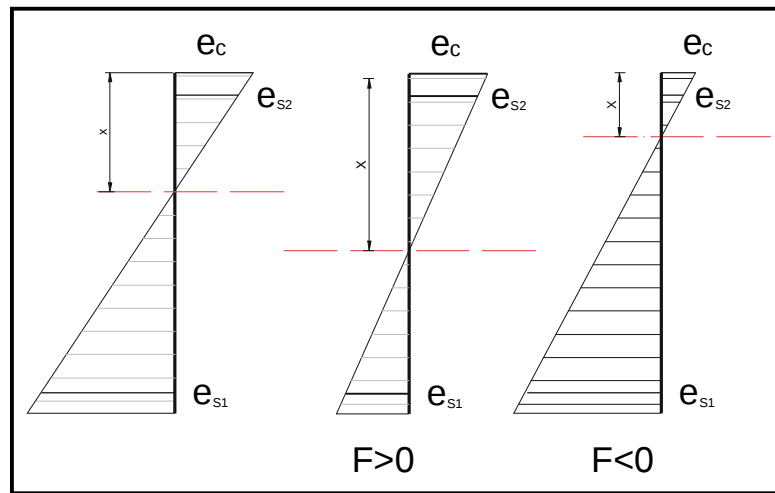
Βήμα 7

Σε αυτό το βήμα, λαμβάνεται η απόφαση ποιά παραμόρφωση θα μεταβληθεί ή αν θα σταματήσουν οι δοκιμές (Σχήμα 3):

-αν $F > 0$ τότε για να μειωθεί και να γίνει μηδέν θα πρέπει να αυξηθούν οι θλιπτικές δυνάμεις, δηλαδή να μειωθούν οι παραμορφώσεις του χάλυβα (Σχήμα 3), επιστροφή στο Βήμα 2.

-αν $F < 0$ τότε αντίστοιχα αυξάνονται οι παραμορφώσεις του χάλυβα έτσι ώστε να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις, επιστροφή στο Βήμα 2.

-αν $F=0$ τότε σταματάει η διαδικασία των δοκιμών και πάμε στο Βήμα 8.



Σχήμα 3 Μεταβολή των παραμορφώσεων

Βήμα 8

Γνωρίζοντας πλέον τις δυνάμεις και τις αποστάσεις από την πάνω ίνα της δοκού υπολογίζεται η ροπή αντοχής της διατομής M_{Rd} .

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε διατομή. Οι ροπές αντοχής συγκρίνονται με τις αντίστοιχες ροπές σχεδιασμού και το πρόγραμμα επιστρέφει στην αρχική καρτέλα, όπου οι διατομές χρωματίζονται:

με πράσινο όταν $M_{sd} \leq M_{Rd}$, οπότε δε χρειάζονται ενίσχυση

με κόκκινο όταν $M_{sd} > M_{Rd}$, οπότε χρειάζονται ενίσχυση

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Ο χρήστης αφού επιλέξει τρόπο ενίσχυσης, οδηγείται σε νέα καρτέλα, όπου εισάγει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υλικών ενίσχυσης. Πατώντας το κουμπί σύνθεση το πρόγραμμα εκτελεί μια σειρά πράξεων και μετά από συγκρίσεις δείχνει στο χρήστη μια καρτέλα, στην οποία αναγράφονται ο υπάρχον οπλισμός, ο πρόσθετος και ανάλογα με τη μέθοδο τα απαραίτητα στοιχεία για την τοποθέτησή του.

3.1 ΚΑΜΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΠΑΛΑΙΩΝ ΚΑΙ ΝΕΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ ΠΑΡΕΜΒΛΗΜΑΤΩΝ

♦ Γίνεται η παραδοχή ότι θα ενισχυθεί το ένα μόνο πέλμα της δοκού. Επομένως το στατικό ύψος ισούνται:

$$d = d^0 + \frac{\Phi 12}{2}$$

όπου d^0 το στατικό ύψος της υφιστάμενης δοκού και $\Phi 12$ η ελάχιστη (σύμφωνα με τους κανονισμούς) διάμετρος ράβδου οπλισμού.

♦ Έχοντας τη ροπή σχεδιασμού, υπολογίζεται το μ_{sd} και συγκρίνεται με το μ_{sdlim}^* , προκειμένου να ελεγχθεί αν απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός η όχι.

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}}$$

(όπου f_{cd} το σκυρόδεμα που θλίβεται)

- $\mu_{sd} < \mu_{sdlim}^*$ δεν απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός

- $\mu_{sd} > \mu_{sdlim}^*$ απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός

Υπολογίζεται ο οπλισμός που απαιτείται με τη νέα ποιότητα χάλυβα.

-Όταν δεν απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός
μηχανικό ποσοστό εφελκόμενου χάλυβα:

$$\omega_1 = \frac{1}{1.2} (1 - \sqrt{1 - 2.4 m_{sd}})$$

γεωμετρικό ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού:

$$\rho = \omega_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

εμβαδό εφελκόμενου οπλισμού:

$$A_{s1} = \rho bd$$

-Όταν απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός

ελάχιστο γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού:

$$\rho_{lim} = 0.827 [1 - \sqrt{1 - 2.42 m_{lim}}]$$

γεωμετρικό ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού:

$$\rho = \rho_{lim} + \frac{m_{sd} - m_{sdlim}^*}{1 - \frac{d_2}{d}}$$

εμβαδό εφελκόμενου οπλισμού:

$$A_{s1} = \rho \frac{f_{cd}}{f_{yd}} bd$$

γεωμετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού:

$$\rho' = \frac{m_{sd} - m_{sdlim}^*}{1 - \frac{0.04}{d}}$$

εμβαδό θλιβόμενου οπλισμού:

$$A_{s2} = \rho' \frac{f_{cd}}{f_{yd}} bd$$

Ο υπάρχον οπλισμός ανάγεται στη νέα ποιότητα χάλυβα, για να είναι συγκρίσιμος με τον υφιστάμενο.

Υπολογίζονται οι κατασκευαστικά ελάχιστοι οπλισμοί.

$$A_{smin} = \max(\rho_{min} bd, 2\Phi 12)$$

$$\text{όπου } \rho_{min} = 0.5 \frac{f_{ctm}}{f_{yd}}$$

Συγκρίνονται οι ανηγμένοι υφιστάμενοι οπλισμοί με τους απαιτούμενους και λαμβάνοντας υπόψη τους κατασκευαστικούς περιορισμούς λόγω θέσης της διατομής, προσδιορίζονται οι πρόσθετοι οπλισμοί σε κάθε διατομή.

Κατασκευαστικές διατάξεις για δοκούς με απαιτήσεις αντισεισμικότητας.

-Παρειά:

πάνω: $As_{\text{τοποθετούμενο}} = \max(As_{\text{απαιτούμενου}}, As_{\min})$

κάτω: $As_{\text{τοποθετούμενο}} = \max(As_{\text{απαιτούμενου}}, As_{\min}, \frac{As^{\text{πάνω}}_{\text{τοποθετούμενα}}}{2})$

-Ανοιγμα:

κάτω: $As_{\text{τοποθετούμενο}} = \max(As_{\text{απαιτούμενου}}, As_{\min})$

πάνω: $As_{\text{τοποθετούμενο}} = \max(As_{\text{απαιτούμενου}}, As_{\min}, \frac{As^{\text{πάνω}}_{\text{στήριξης}}}{2})$

Γίνεται η παραδοχή ότι τα πρόσθετα σίδερα θα τοποθετηθούν σε όλο το μήκος της δοκού. Για κάθε πέλμα επιλέγεται ο μέγιστος πρόσθετος οπλισμός και με βάση τον ελάχιστο αριθμό των υφιστάμενων ράβδων για κάθε πέλμα, υπολογίζεται η διάμετρος των ράβδων που θα τοποθετηθούν.

Η συγκόλληση παλαιών και νέων ράβδων οπλισμού γίνεται με παρεμβλήματα, διαμέτρου ίσης με τη μέγιστη διάμετρο των υφιστάμενων ράβδων. Το μήκος συγκόλλησης ισούται με το 5-πλασιο της ελάχιστης από τις διαμέτρους των παλαιών και νέων ράβδων.

Στην ενισχυμένη δοκό υπολογίζεται η ροπή αντοχής κάθε διατομής και συγκρίνεται με τη ροπή σχεδιασμού.

3.2 Καμπτική ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή.

♦ Αρχικά ο χρήστης δίνει το μέτρο ελαστικότητας (E_f), το πάχος (t_f) και το πλάτος (b_f) του σύνθετου υλικού ενίσχυσης. Σύμφωνα με τις κατασκευαστικές διατάξεις η ελάχιστη απόσταση υφάσματος από τη γωνία της διατομής πρέπει να είναι τουλάχιστο ίση με το πάχος επικάλυψης του διαμήκους οπλισμού [Τριανταφύλλου 2003]. Το πρόγραμμα λαμβάνοντας υπόψη του τον περιορισμό, πραγματοποιεί τον παρακάτω έλεγχο:

$$b_f < b_w - 2c$$

Σε περίπτωση που δεν ικανοποιείται η παραπάνω συνθήκη εμφανίζεται μήνυμα ειδοποίησης, που προτρέπει το χρήστη να αλλάξει το b_f .

♦ Υπολογίζεται η αρχική παραμόρφωση στη θέση επικόλλησης του οπλισμού ενίσχυσης, βάση του συμβιβαστού των παραμορφώσεων.

$$\epsilon_o = \frac{\epsilon_{co}}{\chi_o} h - \epsilon_{co}$$

όπου:

ϵ_{co} η παραμόρφωση του σκυροδέματος στην ακραία θλιβόμενη ίνα. Γίνεται η παραδοχή ότι $\epsilon_{co} = \epsilon_c$.

χ_o το ύψος της θλιβόμενης ζώνης.

♦ Γίνεται η υπόθεση ότι αστοχούν τα σύνθετα υλικά πριν το σκυρόδεμα. Η παραμόρφωση τους ϵ_f θεωρείται ίση με 0,008.

♦ Μεταβάλλοντας την τιμή (x) του ύψους της θλιβόμενης ζώνης, με επαναληπτική διαδικασία προσδιορίζεται η τιμή της παραμόρφωσης (ϵ_c) του σκυροδέματος, η τάση (σ_{s2})

♦ του χάλυβα στο θλιβόμενο πέλμα, το εμβαδό (A_f) της διατομής του εξωτερικού οπλισμού (FRP) και η ροπή αντοχής (M_{Rd}) της ενισχυμένης διατομής. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η ροπή αντοχής της ενισχυμένης δοκού να γίνει ίση ή μεγαλύτερη με τη ροπή σχεδιασμού στην υπόψη διατομή.

$$\varepsilon_c = \frac{x(0.008 + e_o)}{h - x} [0.0035$$

$$\sigma_{s2} = \varepsilon_c \frac{x - d_2}{x} E_s [f_{yd}$$

$$A_f = \frac{a 0,85 f_{cd} b x + A_{s2} \sigma_{s2} - A_{s1} f_{yd}}{0.008 E_f}$$

$$M_{Rd} = A_{s1} f_{yd} (d - kx) + A_f E_f 0.008 (h - kx) + A_{s2} \sigma_{s2} (kx - d_2)$$

Όπου:

-α ο συντελεστής πληρότητας, ο οποίος εξαρτάται από τη μέγιστη θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα.

$$\alpha = 1000 \varepsilon_c (0,5 - \frac{1000}{12} \varepsilon_c) \text{ για } \varepsilon_c [0.002$$

$$\alpha = 1 - \frac{2}{3000 \varepsilon_c} \text{ για } 0.002 [\varepsilon_c [0.0035$$

-k συντελεστής θέσης, ο οποίος εξαρτάται από τη μέγιστη θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα.

$$k = \frac{8 - 1000 \varepsilon_c}{4(6 - 1000 \varepsilon_c)} \text{ για } \varepsilon_c [0.002$$

$$k = \frac{1000 \varepsilon_c (3000 \varepsilon_c - 4) + 2}{2000 \varepsilon_c (3000 \varepsilon_c - 2)} \text{ για } 0.002 [\varepsilon_c [0.0035$$

Προσδιορίζεται ο αριθμός των στρώσεων της εξωτερικής ενίσχυσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι μπορούν να τοποθετηθούν μέχρι 5 στρώσεις υφάσματος [Τριανταφύλλου 2003].

$$n = \frac{A_f}{b_f t_f} [5$$

Επειδή το n είναι ακέραιος αριθμός, το πρόγραμμα το στρογγυλοποιεί στον αμέσως επόμενο ακέραιο, με αποτέλεσμα να αυξηθεί το τοποθετούμενο A_f , σε A'_f . Για το λόγω αυτό υπολογίζεται νέα ροπή αντοχής της ενισχυμένης διατομής. Στην τελική καρτέλα παρουσιάζονται το A_f και το A'_f , ενώ δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να αλλάξει το b_f , μέχρι να μικρύνει τη διαφορά $A_f - A'_f$. Η χρησιμοποίηση περισσότερου από το απαιτούμενο υλικό ενίσχυσης, είναι αντιοικονομική.

3.2.1 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ FRP

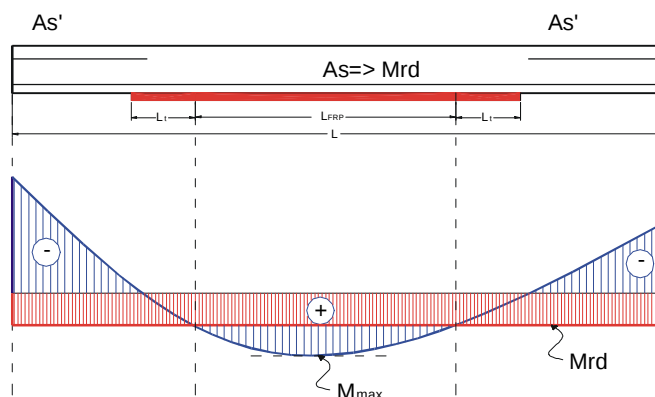
Ο οπλισμός ενίσχυσης τοποθετείται σε τόσο μήκος δοκού έως ότου η ροπή αντοχής της κρίσιμης διατομής (προ ενίσχυσης), τμήσει το διάγραμμα καμπτικών ροπών σχεδιασμού. Στο μήκος αυτό προστίθεται το μήκος αγκύρωσης l_b , το οποίο λαμβάνεται ίσο με το μέγιστο μήκος αγκύρωσης.

$$l_b = l_{bmax} = \sqrt{\frac{E_f t_f}{2 f_{ctm}}}$$

όπου:

E_f το μέτρο ελαστικότητας του FRP

t_f το πάχος του φύλλου ενίσχυσης



Σχήμα 4 Προσδιορισμός απαιτούμενου μήκους FRP

Σύμφωνα με τις κατασκευαστικές διατάξεις στις περιοχές των στηρίξεων οι οπλισμοί θα πρέπει να έχουν μήκος επικόλλησης της τάξης του 1m στη θλιβόμενη περιοχή [Τριανταφυλλου 2003].

4. Σχόλια – παρατηρήσεις

ῤ Αρχικά γίνεται η υπόθεση ότι θα ενισχυθεί το ένα μόνο πέλμα της δοκού. Επομένως το στατικό ύψος ισούται:

$$d = d^0 + \Phi 12$$

όπου d^0 το στατικό ύψος της υφιστάμενης δοκού και $\Phi 12$ η ελάχιστη (σύμφωνα με τους κανονισμούς) διάμετρος ράβδου οπλισμού.

Οι τελικές ροπές αντοχής, για τον έλεγχο, υπολογίζονται με το τελικό στατικό ύψος

$$d = d^0 + \Phi 12 \text{ αν ενισχυθεί το ένα μόνο πέλμα}$$

$$d = d^0 + \Phi 12 + \Phi 12 \text{ αν ενισχυθούν και τα δύο πέλματα}$$

ῤ Ενώ από την αρχική σύγκριση ροπής αντοχής και ροπής σχεδιασμού μπορεί να προκύψει ότι δεν απαιτείται ενίσχυση μιας διατομής, τελικά να χρειάζεται, γιατί ο υπάρχον οπλισμός είναι μικρότερος από αυτόν που υπαγορεύουν οι κατασκευαστικές διατάξεις.

ῤ Έγινε η παραδοχή ότι οι προς συγκόλληση ράβδοι τοποθετούνται κατά μήκος της διατομής, ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα αγκύρωσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι ροπές αντοχής των ενισχυμένων κρίσιμων διατομών να είναι πολύ μεγαλύτερες από τις ροπές σχεδιασμού. Θα έπρεπε για κάθε κρίσιμη διατομή να υπολογιστούν τα πρόσθετα σίδερα και να τοποθετηθούν σε τόσο μήκος όσο να καλύψουν τη ροπή σχεδιασμού συν το μήκος αγκύρωσης.

ῤ Λόγω υπερδιαστασιολόγησης της δοκού, αυξάνεται ο συντελεστής ικανοτικής μεγέθυνσης (α_{CD}) του κόμβου, με συνέπεια την υπερδιαστασιολόγηση του υποστυλώματος.

ῤ Δεν προσδιορίζεται μήκος αγκύρωσης στους κόμβους.

Βιβλιογραφία

1. Ενισχύσεις/ Επισκευές Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Σ. Η. Δρίτσος, Πάτρα, 2003.
2. Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος (μέρος Ι). Μ. Ν. Φαρδή, Πάτρα, 2001.
3. Προηγμένες Τεχνολογίες Υλικών & Κατασκευών. Αθ. Χ. Τριανταφύλλου, Πάτρα, 2003.
4. Εφαρμογές Οπλισμένου Σκυροδέματος (τόμος Α). Α. Κωνσταντινίδη, Αθήνα, 1994.
5. Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα. Γ. Γ. Πενέλης, Α. Ι. Κάππος, Θεσσαλονίκη, 1999.
6. Οπλισμένο Σκυρόδεμα (τόμος). Θ. Α. Γεωργόπουλος, Πάτρα, 2002.
7. Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Αθήνα, 2000.
8. Visual Basic 5.0. Δ. Ποσειδών, Αθήνα, 1998.