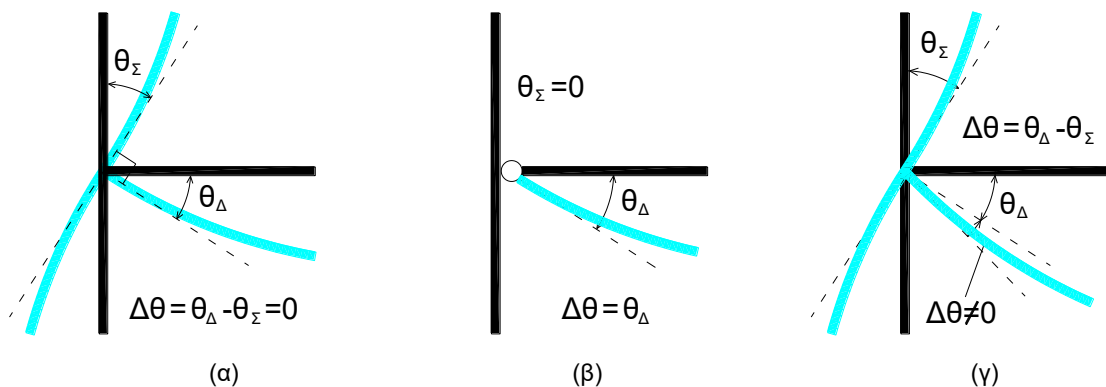


ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΡΑΦ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ

Οι ημιάκαμπτες συνδέσεις

Γενικά

Ως ημιάκαμπτες ορίζονται οι συνδέσεις με συμπεριφορά η οποία μπορεί να θεωρηθεί πως είναι ενδιάμεση μεταξύ της συμπεριφοράς των πλήρως άκαμπτων και των απλών (αρθρωτών) συνδέσεων. Πλήρως άκαμπτες συνδέσεις είναι οι συνδέσεις οι οποίες επιτρέπουν την πλήρη μεταφορά τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψης, και θεωρούνται επαρκώς अपαραμόρφωτες έτσι ώστε να διατηρούν τις σχετικές αρχικές – κατασκευαστικές γωνίες μεταξύ των δομικών στοιχείων που συνδέουν, και μετά την παραμόρφωση του φορέα από την επιβολή των εξωτερικών δράσεων (Σχήμα 5.16α). Στον αντίποδα, οι απλές συνδέσεις μεταφέρουν μόνον τέμνουσες δυνάμεις συμπεριφερόμενες ως απλές αρθρώσεις (Σχήμα 5.16β). Αντίθετα από τους δύο «οριακούς» τύπους συνδέσεων, οι ημιάκαμπτες συνδέσεις επιτρέπουν την πλήρη μεταφορά των τεμνουσών δυνάμεων αλλά παράλληλα δεν είναι επαρκώς απαραμόρφωτες έτσι ώστε να απαγορεύουν την σχετική στροφή μεταξύ των δομικών στοιχείων που συνδέουν (Σχήμα 5.16γ). Ο όρος ημιάκαμπτη σύνδεση αναφέρεται στην ανάλυση και στο σχεδιασμό των μεταλλικών ή των σύμμεικτων κατασκευών (έχει εισαχθεί και στον ΕΚ3), καθώς σε αντίθεση με την περίπτωση των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος όπου η μόρφωση και ο υπολογισμός των κόμβων των δομικών στοιχείων γίνεται με στόχο την επίτευξη της μονολιθικότητας, στην περίπτωση των μεταλλικών κατασκευών η μονολιθική μόρφωση των κόμβων δεν είναι εύκολα εφικτή.



Σχήμα 5.16 Κατάταξη των συνδέσεων με βάση τον βαθμό παραμορφωσιμότητάς τους: (α) απολύτως στερεά σύνδεση, (β) απλή – αρθρωτή σύνδεση, (γ) ημιάκαμπτη σύνδεση.

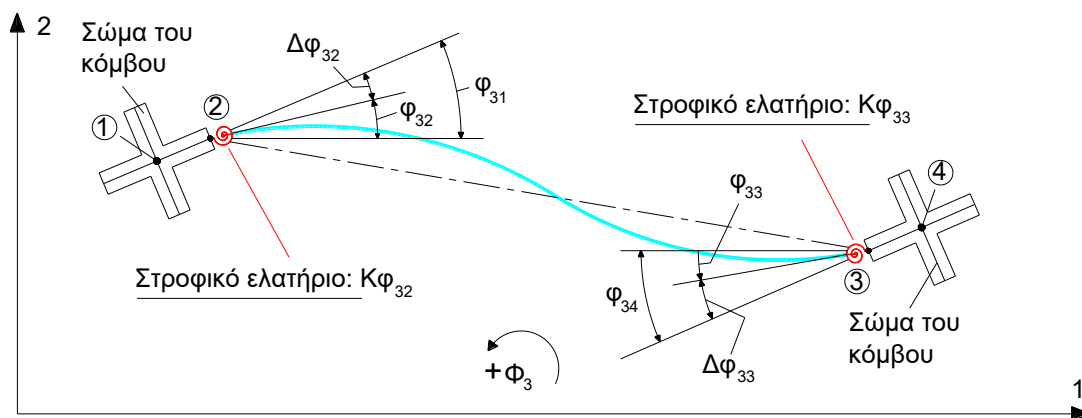
Όμως και σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος (Ο/Σ), υπάρχουν περιπτώσεις όπου η προσομοίωση κάποιων δομικών στοιχείων απαιτεί την χρήση πεπερασμένων στοιχείων με ημιάκαμπτες συνδέσεις. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η προσομοίωση κάποιων κρυφοδοκών οι οποίες είναι ενσωματωμένες σε πλάκες. Οι δοκοί αυτές εισάγονται στο υπολογιστικό προσομοίωμα ως δοκοί με άκρα τα οποία δεν μπορούν να θεωρηθούν ούτε ως πλήρως στερεά, ούτε όμως και ως αρθρωτά συνδεδεμένα. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η προσομοίωση που γίνεται από το ΡΑΦ για την λειτουργία των τοιχωμάτων υπογείου, ως πλακών υπό την επίδραση των ωθήσεων των γαιών. Και στην περίπτωση αυτή, οι συνδέσεις των τοιχωμάτων αυτών με τις πλάκες των υπογείων ορόφων θα πρέπει να θεωρηθούν ως ημιάκαμπτες

(βλ. [24], και παράγραφο 8.6.4.). Μία ακόμα όμως πολύ σημαντική εφαρμογή των ημιάκαμπτων συνδέσεων σε κτίρια Ο/Σ, εντοπίζεται στην περίπτωση που θα απαιτηθεί ανακατανομή ροπών στις στηρίξεις δοκών λόγω ρηγμάτωσης. Η διαδικασία ανακατανομής προβλέπεται από τον ΕΚ2 (παράγραφος 5.5) [26], και μπορεί να υλοποιηθεί πολύ εύκολα με την χρήση ημιάκαμπτων συνδέσεων.

Ο πιο συνήθης και πρακτικός τρόπος προσομοίωσης προσεγγίζει την συμπεριφορά των ημιάκαμπτων συνδέσεων μέσω διακριτών στροφικών ελατηρίων τα οποία τοποθετούνται στους κόμβους των μοντέλων προσομοίωσης. Η μέθοδος αυτή πέραν της απλότητας, έχει και το πλεονέκτημα της συμβατότητας με τις μεθόδους της κλασσικής μητρικής ανάλυσης των ραβδωτών φορέων, και προτείνεται και από σύγχρονους κανονισμούς μεταλλικών κατασκευών (π.χ. ΕΚ3 [27]) οι οποίοι δίνουν οδηγίες για την εφαρμογή της.

Η συμπεριφορά των ημιάκαμπτων συνδέσεων όταν αυτές προσομοιώνονται με τη απλοποιημένη μέθοδο των διακριτών στροφικών ελατηρίων, περιγράφεται από διαγράμματα ροπών (M) – στροφών (θ) τα οποία σχεδιάζονται με βάση πειραματικά δεδομένα και είναι γενικώς μη γραμμικά. Ωστόσο για χαμηλά επίπεδα φόρτισης είναι δυνατή η θεώρηση γραμμικής σχέσης ροπών – στροφών, και η ταυτόχρονη θεώρηση μίας σταθερής τιμής για την στροφική αντίσταση των ελατηρίων (σταθερά των ελατηρίων). Η τιμή αυτή αντιστοιχεί συνήθως στην εφαπτομένη της γωνίας που σχηματίζει η καμπύλη $M - \theta$ στην αρχή των αξόνων του διαγράμματος (εφαπτομενική τιμή).

Η ύπαρξη των στροφικών ελατηρίων στο άκρο ενός στοιχείου προκαλεί τοπικό άλμα στροφών στο σημείο αυτό. Έτσι σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, υφίσταται διαφοροποίηση των στροφών στα σημεία 1, 2 και 3, 4 αντίστοιχα.



Σχήμα 5.17 Επίδραση των στροφικών ελατηρίων στις στροφές των άκρων του στοιχείου για κάμψη εντός του τοπικού επιπέδου 1-2.

Ο υπολογισμός της τιμής του άλματος αυτού, όταν γίνει η παραδοχή της γραμμικώς ελαστικής συμπεριφοράς του στροφικού ελατηρίου, γίνεται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$\Delta\varphi_{3i} = M_{3i} / K\varphi_{3i} \quad (i = 2, 3) \quad (5.6)$$

όπου M_{3i} είναι η τιμή της ροπής κάμψης στο σημείο όπου βρίσκεται το ελατήριο, και $K\varphi_{3i}$ η σταθερά του ελατηρίου. Ο δείκτης 3 δηλώνει ότι η κάμψη υφίσταται εντός του τοπικού επιπέδου 1 – 2 (και επομένως προκαλείται η εμφάνιση ροπών με διάνυσμα παράλληλο με τον τοπικό άξονα 3). Αντίστοιχως, αν υπάρχουν

και ελατήρια που ενεργοποιούνται όταν υφίσταται κάμψη εντός του τοπικού επιπέδου 1 – 3 τότε ισχύει σχέση ανάλογη της (5.6) στην οποία όμως θα πρέπει να τοποθετηθεί δείκτης 2.

Έτσι οι σχέσεις που συνδέουν τις στροφές των κόμβων 1,2 και 3, 4 έχουν την παρακάτω μορφή:

$$\varphi_{32} = \varphi_{31} - \Delta\varphi_{32} = \varphi_{31} - M_{32}/K\varphi_{32} \text{ και } \varphi_{33} = \varphi_{34} - \Delta\varphi_{33} = \varphi_{34} - M_{33}/K\varphi_{33} \quad (5.7)$$

Η εισαγωγή της επιρροής των στροφικών ελατηρίων στα μητρώα δυσκαμψίας και φόρτισης ραβδωτών στοιχείων (Euler ή Timoshenko) μπορεί να γίνει είτε:

- με την εισαγωγή των σχέσεων (5.7) ως συνοριακών συνθηκών στις διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν την κάμψη των στοιχείων αυτών (π.χ. εξισώσεις (5.2α), (5.2β) ή (5.5)), είτε
- με κατάλληλους μητρωϊκούς μετασχηματισμούς των αντίστοιχων μητρώων δυσκαμψίας και φόρτισης ραβδωτών στοιχείων χωρίς στροφικά ελατήρια στα άκρα, όπου και πάλι γίνεται εφαρμογή των σχέσεων (5.7).

Εφαρμογή από το ΡΑΦ

Η εισαγωγή της επιρροής των ημιακάμπτων συνδέσεων στο ραβδόμορφο στοιχείο του ΡΑΦ, γίνεται σε συνδυασμό με την θεώρηση των απολύτως στερεών βραχιόνων στα άκρα του. Και αυτό διότι η τοποθέτηση των στροφικών ελατηρίων στο στοιχείο του ΡΑΦ γίνεται στους εσωτερικούς του κόμβους 2,3 (βλ. σχήμα 5.1), οι οποίοι βρίσκονται στα σημεία όπου το εσωτερικό/εύκαμπτο τμήμα του στοιχείου συνδέεται με τους απολύτως στερεούς βραχίονες. Το στοιχείο του ΡΑΦ διαθέτει στροφικά ελατήρια και για τα δυο τοπικά επίπεδα κάμψης.

Η μέθοδος με την οποία έχει σχηματιστεί το μητρώο δυσκαμψίας στηρίζεται στην θεώρηση αρχικά του μητρώου δυσκαμψίας ενός στοιχείου δοκού (Euler ή Timoshenko) ελαστικώς εδραζόμενου ή όχι, χωρίς στροφικά ελατήρια στα άκρα το οποίο έχει μήκος ίσο με το μήκος του εύκαμπτου τμήματος του στοιχείου. Με την εισαγωγή κατάλληλων «διακοπών» στον κώδικα έχει καταστεί δυνατός ο μετασχηματισμός του μητρώου δυσκαμψίας του στοιχείου του ΡΑΦ με τις ημιάκαμπτες συνδέσεις:

- σε μητρώο δυσκαμψίας αμφίπακτου στοιχείου, ή
- σε μητρώο δυσκαμψίας αμφιαρθρωτού στοιχείου, ή και
- σε μητρώα δυσκαμψίας στοιχείων με συνδυασμούς των δυο παραπάνω οριακών συνοριακών συνθηκών (δηλαδή μονόπακτων στοιχείων με άρθρωση στο αριστερό ή το δεξί άκρο τους).

Με τον όρο «διακόπτης» περιγράφεται μία προγραμματιστική διαδικασία η οποία συνίσταται από την αυτόματη εισαγωγή κατάλληλων τιμών για τις σταθερές των στροφικών ελατηρίων όταν ζητηθεί η εισαγωγή ενός συγκεκριμένου τύπου στοιχείου (π.χ. αμφιπάκτου), χωρίς να χρειαστεί η επέμβαση του χρήστη. Λεπτομέρειες για τους «διακόπτες» αυτούς σε επίπεδο μαθηματικής διατύπωσης δίνονται στην παράγραφο που ακολουθεί.