ΡΑΦ

ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Εκδ. 4.xx

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ & ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ

ΣΥΜΜΕΙΚΤΑ ΚΤΗΡΙΑ

ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΟΙΚΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

www.tol.com.gr

Μάιος 2016



ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΟΙΚΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
Καρτερού 60, 71201 Ηράκλειο - Τηλ.: 2810.332684
www.tol.com.gr info@tol.com.gr

Copyright © 2008-2016

Απαγορεύεται οποιαδήποτε μερική ή ολική ανατύπωση, αναδημοσίευση, φωτοτύπηση ή αναπαραγωγή με άλλο τρόπο ολόκληρου του παρόντος ή μέρους του, χωρίς την σύμφωνη γνώμη και την γραπτή άδεια του εκδότη.

Το περιεχόμενο του κειμένου, αντιστοιχεί στην τελική έκδοση του προϊόντος λογισμικού που συνοδεύει, όποτε αυτό είναι δυνατό. Το περιεχόμενο του τεύχους αυτού είναι δυνατό να αλλάξει από τον εκδότη χωρίς προειδοποίηση. Ο εκδότης δεν φέρει καμία ευθύνη για την πληρότητα ή και την ορθότητα του κειμένου και δεν φέρει καμία ευθύνη για τυχόν ζημία ή απώλεια οποιουδήποτε είδους που οφείλεται στο περιεχόμενο αυτού του τεύχους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή 6
2. Κανονισμοί – Μονάδες Μέτρησης 7
2.1 Μονάδες μέτρησης 7
3. Σύμμεικτες πλάκες. 8
3.1 Χαλυβδόφυλλα 8
3.2 Οριακή κατάσταση αντοχής συμμείκτων πλακών. 10
3.2.1 Ελεγχος κάμψης. 10
3.2.1.1 Θετικές ροπές κάμψης. 10
3.2.1.1 Αρνητικές ροπές κάμψης. 11
3.2.2 Ελεγχος διαμήκους διάτμησης συμμείκτων πλακών. 12
3.3 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας συμμείκτων πλακών. 12
3.3.1 Ελεγχος ρηγμάτωσης. 12
3.3.2 Ελεγχος παραμορφώσεων. 13
4. Σύμμεικτες δοκοί. 14
4.1 Γενικές παραδοχές συμμείκτων δοκών. 14
4.2 Οριακή κατάσταση αντοχής συμμείκτων δοκών 14
4.2.1 Συνεργαζόμενο πλάτος συμμείκτων πλακοδοκών 14
4.2.1.1 Συνεργαζόμενο πλάτος σύμφωνα με ΕΚ 4.1 14
4.2.1.2 Συνεργαζόμενο πλάτος σύμφωνα με ΕΚ 8.1 14
4.2.1.3 Η εφαρμογή συνεργαζόμενου πλάτους των πλακοδοκών στο ΡΑΦ. 17
4.2.2 Καμπτική αντοχή σε θετική ροπή. 17
4.2.2.1 Ουδέτερος άξονας εντός της πλάκας σκυροδέματος 17
4.2.2.2 Ουδέτερος άξονας εντός του πέλματος της σιδηροδοκού : 19
4.2.2.3 Ουδέτερος άξονας εντός του κορμού της σιδηροδοκού 19
4.2.3 Καμπτική αντοχή σε αρνητική ροπή. 21
4.2.3.1 Ο ουδέτερος άξονας στον κορμό της σιδηροδοκού. 21
4.2.3.1 Ο ουδέτερος άξονας στο πέλμα της σιδηροδοκού 22
4.3 Εγκάρσια διατμητική αντοχή συμμείκτων δοκών 22
4.4 Έλεγχος διαμήκους διάτμησης. 23
4.4.1 Αντοχή μεμονομένου ήλου κεφαλής. 23
4.4.2 Διαμήκης διατμητική σύνδεση. 23
4.4.2.1 Βαθμός διατμητικής σύνδεσης. 23
4.4.2.2 Καμπτική αντοχή δοκού μερικής διατμητικής σύνδεσης. 23
4.5 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας συμμείκτων δοκών 25
4.5.1 Γενικές παραδοχές : 25
4.5.2 Δυσκαμψία συμμείκτων δοκών : 25

4.5.3 Ελεγχος ρηγματώσεων : 26
4.5.3.1 Επιρροή ρηγματώσεων στην ανάλυση 26
4.5.3.2 Περιορισμός των ρηγματώσεων στις στηρίξεις 26
5. Σύμμεικτα υποστυλώματα. 27
5.1 Γενικά. 27
5.2 Πλεονεκτήματα συμμείκτων υποστυλωμάτων. 28
5.3 Περιορισμοί διατομών συμμείκτων υποστυλωμάτων. 28
5.3.1 Υδιότητες υλικών. 28
5.3.2 Περιορισμός του λόγου συνεισφοράς του δομικού χάλυβα δ. 28
5.3.3 Περιορισμοί διαστάσεων διατομών λόγω τοπικού λυγισμού 28
5.4 Οριακή κατάσταση αντοχής συμμείκτων υποστυλωμάτων. 29
5.4.1 Αντοχή σε αξονική φόρτιση. 29
5.4.2 Καμπτικός λυγισμός σύμμεικτων υποστυλωμάτων. 30
5.4.2.1 Κρίσιμο αξονικό φορτίο. 30
5.4.3 Σχετική λυγηρότητα 30
5.4.4 Καμπίλες λυγισμού. 31
5.4.5 Αυξητικός συντελεστής θεωρίας ΙΙ τάξης. 33
5.4.6 ¨Έλεγχος επάρκειας έναντι λυγισμού σε μονοαξονική κάμψη. 33
5.4.7 Έλεγχος επάρκειας έναντι λυγισμού σε διαξονική κάμψη. 34
5.5 Διατμητική αντοχή σύμμεικτων υποστυλωμάτων. 35
5.6 Δυσκαμψία συμμείκτων υποστυλωμάτων 35
6. Οδηγός χρήσης υπομονάδας 36
6.1 Γενικά. 36
6.2 Εισαγωγή συμμείκτων κατακόρυφων μελών. 36
6.2.1 Εισαγωγή συμμείκτων υποστυλωμάτων. 36
6.2.1.1 Δημιουργία συμμείκτων διατομών υποστυλωμάτων. 36
6.2.1.2 Εισαγωγή ήλων διαμήκους διάτμησης υποστυλωμάτων. 37
6.2.2 Εισαγωγή συμμείκτων τοιχωμάτων. 38
6.2.2.2 Εισαγωγή ήλων διαμήκους διάτμησης σε τοιχώματα. 39
6.2.2.3 Τοποθέτηση τοιχωμάτων στην κάτοψη του κτηρίου. 39
6.2.3 Εισαγωγή σύμμεικτων δοκών. 39
6.2.3.1 Εισαγωγή σύμμεικτης διατομής σιδηροδοκού. 40
6.2.3.2 Μετατροπή τοποθετημένων σιδηροδοκών σε σύμμεικτες. 41
6.2.3.3 Εισαγωγή ήλων διαμήκους διάτμησης δοκών. 42
6.3 Εισαγωγή σύμμεικτων πλακών. 42
6.4 Συντελεστές απομείωσης δυσκαμψιών : 44
6.5 Επιλογή υπολογισμού συνεργαζόμενου πλάτους 44

7. Βιβλιογραφία. 46

1. Εισαγωγή

Τα σύμμεικτα κτήρια είναι μια υπομονάδα του προγράμματος ΡΑΦ αντικείμενο της οποίας είναι, η προσομοίωση και οι έλεγχοι επάρκειας κτηρίων από μέλη σύμμεικτης δράσης, δηλαδή από διατομές δομικού χάλυβα σε συνεργασία με οπλισμένο σκυρόδεμα.
Η υπομονάδα αυτή βασίζεται στις προδιαγραφές του του Ευρωκώδικα 4 (ΕΚ4) – ΕΝ 1994 σε συνδυασμό με τις προδιαγραφές των Ευρωκωδίκων 2,3,και 8 – ΕΝ 1992,1993,1998.

Η αντισεισμική ανάλυση των μεταλλικών κτηρίων γίνεται είτε με την μέθοδο των οριζοντίων φορτίσεων του ΕΚ 8.1 είτε με την δυναμική φασματική μέθοδο.
Η ανάλυση μπορεί να γίνει με την παραδοχή ύπαρξης ή μη, διαφραγματικών λειτουργιών στο μελετώμενο κτήριο. Σε περίπτωση ύπαρξης διαφράγματος, η αντισεισμική ανάλυση ακολουθεί τις προδιαγραφές των τεσσάρων έκκεντρα τοποθετημένων θέσεων μάζας ή θέσεων εφαρμογής οριζοντίων δυνάμεων, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ΕΚ 8.1 § 4.3.2 (επίσης βλ. §. 9.2.2 του Εγχειριδίου Θεωρητικής Τεκμηρίωσης του ΡΑΦ).
Στην περίπτωση που το μελετώμενο κτήριο δεν έχει καμία διαφραγματική λειτουργία, οι μάζες από τα μόνιμα και μεταβλητά φορτία του κτηρίου τοποθετούνται, αναλογικά με τις φορτίσεις, στους κόμβους των πλαισίων.

2. Κανονισμοί – Μονάδες Μέτρησης

Κανονισμοί

Καλύπτονται πλήρως οι διατάξεις των Κανονισμών:

(α) ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 0: για τους συνδυασμούς δράσεων.

(β) ΕΥΡΟΚΩΔΙΚΑΣ 1: για τις τιμές των φορτίων των κτιρίων.

(γ) ΕΥΡΟΚΩΔΙΚΑΣ 2: για τις προδιαγραφές του οπλισμένου σκυροδέματος.

(δ) ΕΥΡΟΚΩΔΙΚΑΣ 3: για τις προδιαγραφές των μεταλλικών μελών και συνδέσεων.

(ε) ΕΥΡΟΚΩΔΙΚΑΣ 4: για τις προδιαγραφές των συμμείκτων μελών.

(στ) ΕΥΡΟΚΩΔΙΚΑΣ 8: για τις προδιαγραφές αντισεισμικού σχεδιασμού.

2.1 Μονάδες μέτρησης

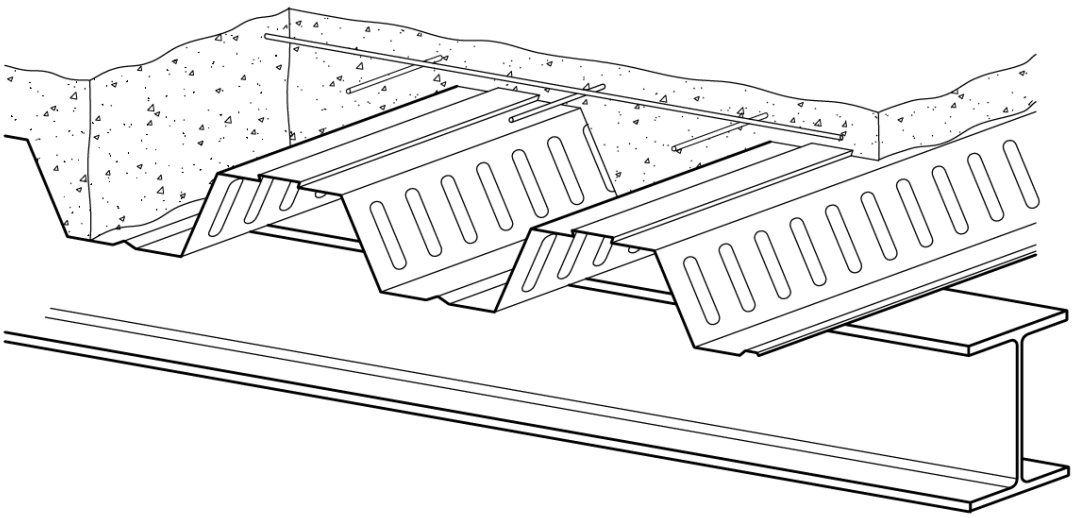
Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται στηρίζονται στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.):

Δυνάμεις	kN
Ροπές	kNm
Μετατοπίσεις	m
Στροφές	rad
Μήκη δομικών στοιχείων	m
Γωνίες αξόνων στοιχειών	μοίρες
Θερμοκρασία	^{o}C
Μάζες	t
Κατανεμημένα φορτία ραβδωτών στοιχείων	kN/m
Κατανεμημένα φορτία επιφανειακών στοιχείων	kN/m^2
Τάσεις και Αντοχές	kN/m^2
Ειδικά ή φαινόμενα βάρη	kN/m^3
Δείκτης εδάφους	kN/m^3

3. Σύμμεικτες πλάκες.

Οι σύμμεικτες πλάκες αποτελούνται από χαλυβδόφυλλα ψυχρής έλασης και επιτόπου έγχυτο σκυρόδεμα.
Οι σύμμεικτες πλάκες πλεονεκτούν έναντι των συνήθων ολόσωμων πλακών διότι :

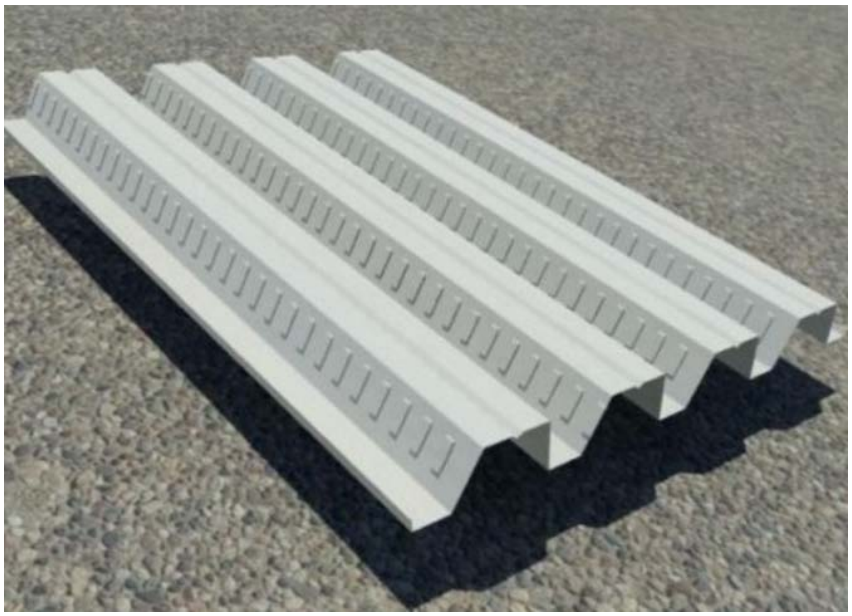
- Αποφεύγεται η χρήση ξυλοτύπων.
- Αυξάνεται η ταχύτητα κατασκευής.
- Επιτυγχάνονται μεγαλύτερα ανοίγματα πλακών.
- Ελαφρύτερο ίδιο βάρος έναντι αντίστοιχων ολόσωμων πλακών.



Εικόνα 1 – Σύμμεικτη πλάκα.

3.1 Χαλυβδόφυλλα .

Τα χαλυβδόφυλλα εξυπηρετούν τον σκοπό της όπλισης της πλάκας έναντι θετικών ροπών αλλά και χρησιμεύουν σαν τύπος για το έγχυτο σκυρόδεμα.
Τα χαλυβδόφυλλα αποτελούνται από γαλβανισμένο χάλυβα τραπεζοειδούς σχήματος.
Το πάχος τους κυμαίνεται από 0.75 έως 1.25 mm
Στις πλευρές των τραπεζοειδών φύλλων υπάρχουν νευρώσεις με την μορφή εγκοπών με σκοπό την εξασφάλιση της απαιτούμενης αντοχής έναντι διαμήκους διάτμησης κατά την σύμμεικτη λειτουργία των πλακών.

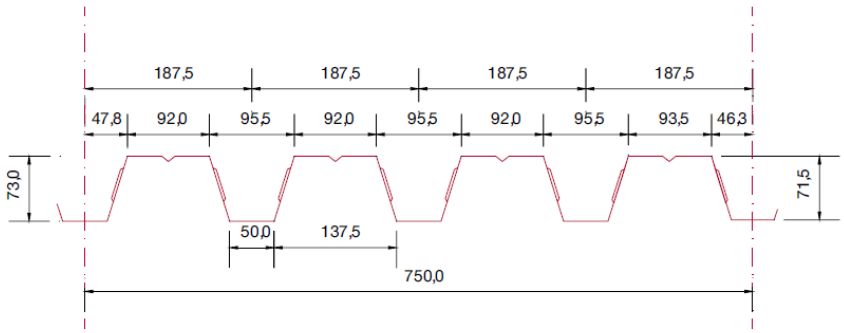


Εικόνα 2 – Χαλυβδόφυλλο με νευρώσεις διατμητικής σύνδεσης.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χαλυβδόφυλλου τύπου SYMDECK 73 που είναι διαθέσιμο στην ελληνική αγορά έχουν ως παρακάτω (ανά μέτρο μήκους) :

Πάχος	**t (mm)**	**0,75**	**0,80**	**1,00**	**1,25**
Βάρος	G (kg/m²)	9,81	10,47	13,08	16,36
Επιφάνεια	A (cm²/m)	12,76	13,533	16,96	21,31
Ροπή αδράνειας	L_y (cm⁴/m)	110,01	117,33	147,22	184,43
Ροπή αντίστασης	W_y (cm³/m)	27,57	29,48	36,99	42,23

Πιν. 1 – Γεωμετρικά μεγέθη SYMDECK 73



Εικόνα 3 – Διαστάσεις SYMDECK 73

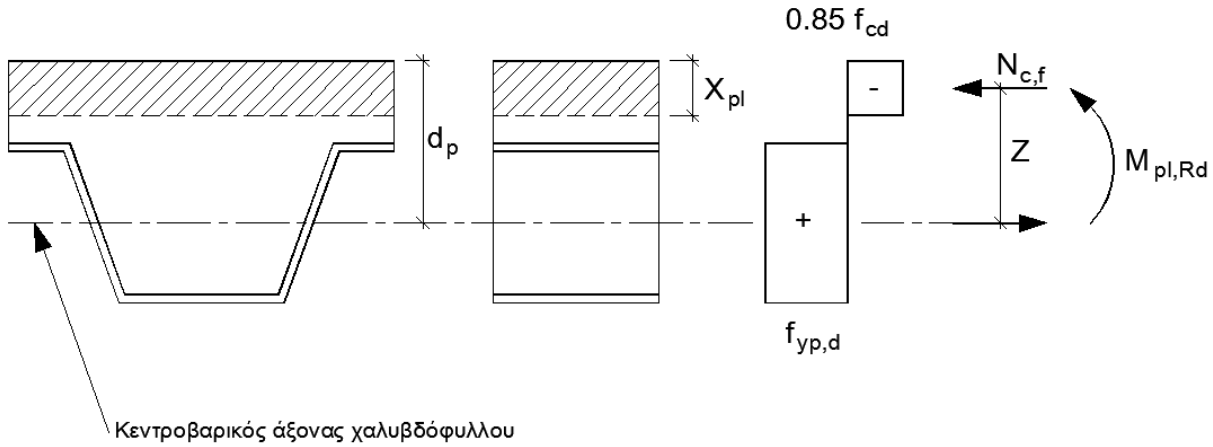
3.2 Οριακή κατάσταση αντοχής συμμείκτων πλακών.

3.2.1 Ελεγχος κάμψης.

Ο έλεγχος καμπτικής αντοχής των συμμείκτων πλακών διαχωρίζεται μεταξύ ελέγχου θετικών και ελέγχου αρνητικών ροπών κάμψης.

3.2.1.1 Θετικές ροπές κάμψης.

3.2.1.1.1 Ουδέτερος άξονας εντός της πλάκας.



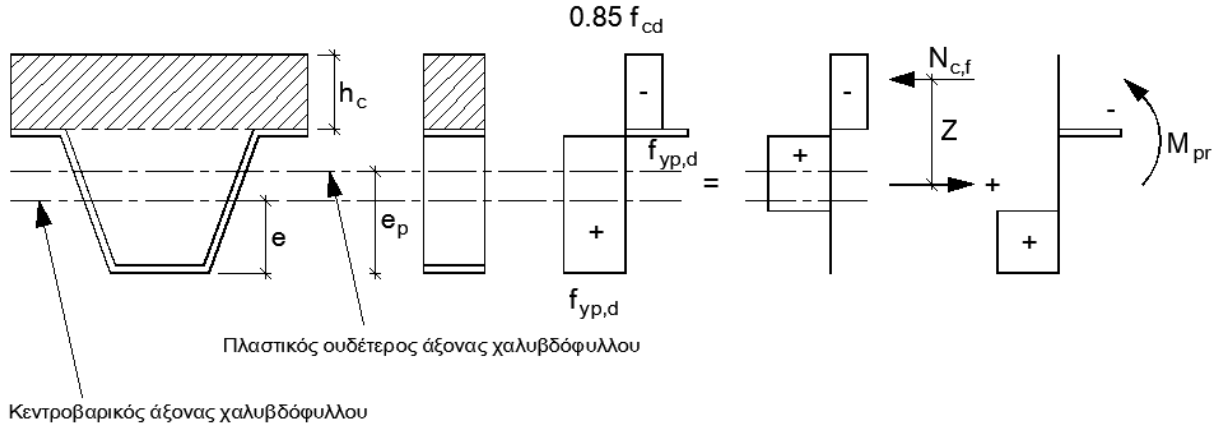
Σχήμα 1 – Κάμψη σύμμεικτης πλάκας με ουδέτερο άξονα εντός της πλάκας.

Σύμφωνα με τον ΕΚ4.1.1 παρ. 9.7.1 :

$$M_{Rd} = N_p\left(dp - \frac{x_{pl}}{2}\right) \quad \text{και} \quad x_{pl} = \frac{N_p}{0{,}85b\frac{f_{ck}}{\gamma_c}}$$

3.2.1.1.1 Ουδέτερος άξονας εντός του χαλυβδόφυλλου.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1.1 § 9.4.1 οι σχέσεις που διέπουν την καμπτική αντοχή είναι :



Σχήμα 2 - Κάμψη σύμμεικτης πλάκας με ουδέτερο άξονα εντός του χαλυβδόφυλλου.

$$\mathbf{N_{c,f} = 0,85\, f_{cd} b\, h_c}$$

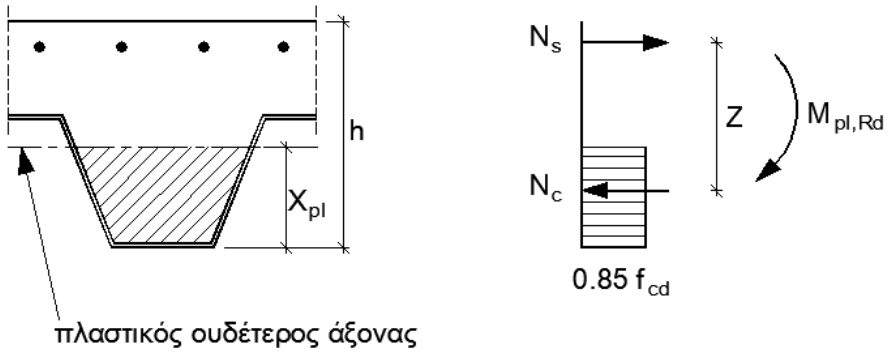
$$M_{pr} = 1{,}25 M_{pa}\left[1 - \frac{N_{cf}}{A_{pe} f_{yp,d}}\right]$$

$$z = h - 0{,}5 h_c - e_p + \left(e_p - e\right)\frac{N_{cf}}{A_{pe} f_{yp,d}}$$

$$M_{Rd} = N_{c,f} z + M_{pr}$$

3.2.1.1 Αρνητικές ροπές κάμψης.

Ο έλεγχος επάρκειας για τις αρνητικές ροπές κάμψης, γίνεται θεωρώντας μια ολόσωμη διατομή οπλισμένου σκυροδέματος, αγνοώντας την ύπαρξη του χαλυβδόφυλλου.



Σχήμα 3 – Κάμψη σύμμεικτης πλάκας με αρνητική ροπή.

$$X_{p1} = \frac{A_s \ f_{sd}}{0{,}85 b_c \ f_{cd}}$$

$$M_{p1,Rd} = A_s f_{sd} z$$

3.2.2 Ελεγχος διαμήκους διάτμησης συμμείκτων πλακών.

Εφόσον τα χρησιμοποιούμενα χαλυβδόφυλλα διαθέτουν πλευρικές διατμητικές εγκοπές, ο έλεγχος της διαμήκους διάτμησης στο ΡΑΦ γίνεται με την μέθοδο των συντελεστών m-k σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 9.7.3

Η διαμήκης διατμητική αντίσταση $\mathbf{V_{i,Rd}}$ δίνεται ώς :

$$V_{I.Rd} = \frac{b d_p}{\gamma_{vs}} \left[\frac{m A_p}{b L_s} + k\right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$ (ΕΚ 4.1 εξ.(9.7)) :

Όπου :
b , dp : σε mm
A_p : η ονομαστική επιφάνεια του χαλυβδόφυλλου σε mm^2
m,k : πειραματικοί - εμπειρικοί συντελεστές που δίνονται από τον κατασκευαστή των χαλυβδόφυλων.
(π.χ. για το Χαλυβδόφυλλο SYMDECK 73 m=90.83 MN/m^2 και k=0.0144 MN/m^2)

γ_{vs} : μερικός συντελεστής ασφάλειας (γ_{vs} = 1.25)
L_s : το διατμητικό άνοιγμα σε mm τον ΕΚ 4.1 § 9.7.3 (5)

3.3 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας συμμείκτων πλακών.

3.3.1 Ελεγχος ρηγμάτωσης.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 9.8.1(2) για την αποφυγή ρηγματώσεων στην επιφάνεια των πλακών , πρέπει να τοποθετείται ελάχιστος οπλισμός πάνω από τις νευρώσεις των χαλυβδόφυλλων ίσος με :

- 0.2 % της της διατομής σκυροδέματος πάνω από τις νευρώσεις για πλάκες χωρίς προσωρινή υποστήριξη,
- 0.4 % της της διατομής σκυροδέματος πάνω από τις νευρώσεις για πλάκες με προσωρινή υποστήριξη,

3.3.2 Ελεγχος παραμορφώσεων.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 9.8.2 (3) ο έλεγχος των παραμορφώσεων καλύπτεται αν ο λόγος λυγηρότητας της πλάκς L_o/d_p ικανοποιεί τις σχέσεις 7.16 του ΕΚ 2.1 § 7.4.2 (2) και πίνακας 7.4.

4. Σύμμεικτες δοκοί.

4.1 Γενικές παραδοχές συμμείκτων δοκών.

Στο ΡΑΦ αντιμετωπίζονται σύμμεικτες δοκοί με δομικό χάλυβα θερμής έλασης μόνο.
Η καμπτική αντοχή των δοκών υπολογίζεται με την παραδοχή της πλήρους πλαστικοποίησης της διατομής.
Στην καμπτική αντοχή, το σκυρόδεμα εντός των νευρώσεων των συμμείκτων πλακών, δεν λαμβάνεται υπόψη.
Η θλιπτική ή η εφελκυστική αντοχή του χαλυβδόφυλλου των συμμείκτων πλακών , δεν λαμβάνεται υπόψη.
Για την εξασφάλιση της διαμήκους διάτμησης, λαμβάνονται μόνο διατμητικοί ήλοι κεφαλής αυτόματης συγκόλλησης, σύμφωνα με τον EN 14555.
Ο υπολογισμός των αντοχών, γίνεται με την παραδοχή των υποστηριζόμενων δοκών κατά την φάση της σκυροδέτησης.

4.2 Οριακή κατάσταση αντοχής συμμείκτων δοκών.

4.2.1 Συνεργαζόμενο πλάτος συμμείκτων πλακοδοκών.

4.2.1.1 Συνεργαζόμενο πλάτος σύμφωνα με ΕΚ 4.1

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 5.4.1.2 το συνεργαζόμενο πλάτος ανοίγματος στις σύμμεικτες πλακοδοκούς είναι :

$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{ΕΚ 4.1 εξ. 5.4}$$

Όπου :

b_0 η απόσταση των ήλων στο άνω πέλμα της σιδηροδοκού

b_{ei} το συνεργαζόμενο πλάτος της πλάκας εκατέρωθεν της σιδηροδοκού, ίσο προς $L_c/8$ με L_c το μήκος της δοκού μεταξύ του μηδενισμού των ροπών.

4.2.1.2 Συνεργαζόμενο πλάτος σύμφωνα με ΕΚ 8.1

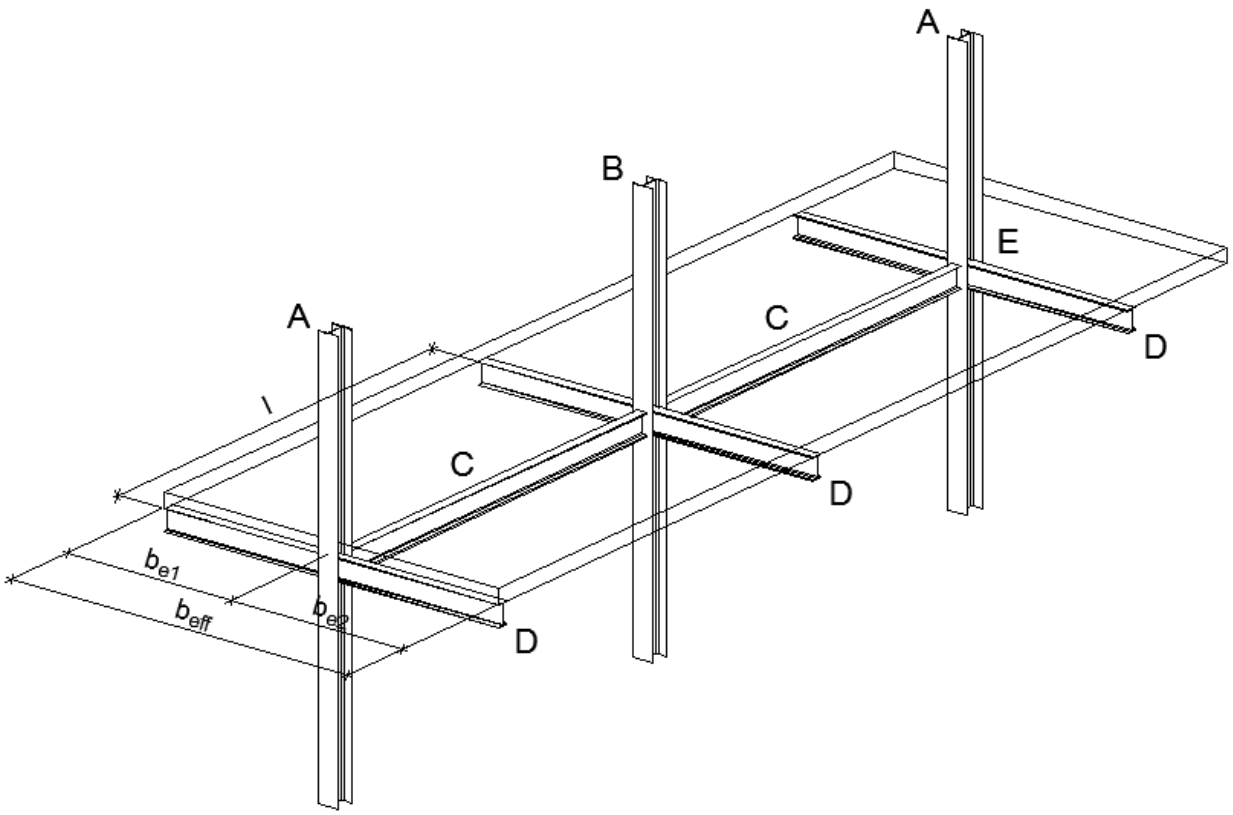
Ο ΕΚ 8.1 § 7.6.3 έχει διαφορετικές προδιαγραφές για το συνεργαζόμενο πλάτος που χρησιμοποιείται για την ανάλυση και διαφορετικές για το συνεργαζόμενο πλάτος των ροπών αντοχής.

Για την ανάλυση προδιαγράφει τα ακόλουθα :

b_e	Εγκάρσιο στοιχείο	b_e για I (ΕΛΑΣΤΙΚΗ)
Στο εσωτερικό υποστύλωμα	Παρόν ή απόν	Για αρνητικό M : 0,05 *l* Για θετικό M : 0,0375 *l*
Στο εξωτερικό υποστύλωμα	Παρόν	
Στο εξωτερικό υποστύλωμα	Απόν, ή οπλισμοί χωρίς αγκύρωση	Για αρνητικό M : 0 Για θετικό M : 0,025 *l*

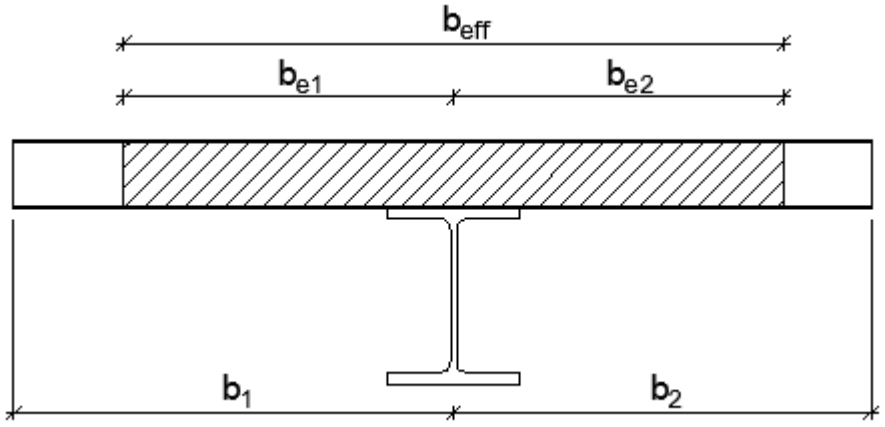
Για τον υπολογισμό των ροπών αντοχών :

Πρόσημο καμπτικών ροπών M	Τοποθεσία	Εγκάρσιο στοιχείο	b_e για M_{Rd} (ΠΛΑΣΤΙΚΗ)
Αρνητικό M	Εσωτερικό υποστυλώματος	Αντισεισμικοί οπλισμοί	0,1 *l*
Αρνητικό M	Εξωτερικό υποστυλώματος	Όλες οι διατάξεις με τους οπλισμούς αγκυρωμένους σε δοκό πρόσοψης ή ακραία λωρίδα σκυροδέματος σε πρόβολο	0,1 *l*
Αρνητικό M	Εξωτερικό υποστυλώματος	Όλες οι διατάξεις με οπλισμούς χωρίς αγκύρωση σε δοκό της πρόσοψης ή σε πρόβολο ακραίας λωρίδας σκυροδέματος σε πρόβολο	0,0
Θετικό M	Εσωτερικό υποστυλώματος	Αντισεισμικοί οπλισμοί	0,075 *l*
Θετικό M	Εξωτερικό υποστύλωμα	Εγκάρσια δοκός από χάλυβα με διατμητικούς συνδέσμους. Πλάκα από σκυρόδεμα μέχρι την εξωτερική πρόσοψη του υποστυλώματος διατομής H με τον ισχυρό άξονα προσανατολισμένο όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7.5 ή και πέραν αυτής (ακραία λωρίδα σκυροδέματος σε πρόβολο). Αντισεισμικοί οπλισμοί	0,075 *l*
Θετικό M	Εξωτερικό υποστύλωμα	Καμία εγκάρσια δοκός ή εγκάρσια δοκός από χάλυβα χωρίς διατμητικούς συνδέσμους. Πλάκα από σκυρόδεμα μέχρι την εξωτερική πρόσοψη του υποστυλώματος διατομής H με τον ισχυρό άξονα προσανατολισμένο όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7.5, ή πέραν αυτής (ακραία λωρίδα	$b_b/2 + 0,7\ h_c/2$



Σχήμα 4 – Συνεργαζόμενο πλάτος σύμμεικτων πλακοδοκών σύμφωνα με ΕΚ 8.1

Το μήκος αναφοράς στον ΕΚ 8.1 σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα ισούται με το αξονικό μήκος του κάθε ανοίγματος.



Σχήμα 5 – Ορισμός συνεργαζόμενου πλάτους κατά ΕΚ 8.1

Το δε πλάτος beff της πλακοδοκού λαμβάνεται ως :
$B_{eff} = b_{e1} + b_{e2}$ με αποστάσεις των b_{e1} , b_{e2} από το μέσο του κορμού της σιδηροδοκού.

4.2.1.3 Η εφαρμογή συνεργαζόμενου πλάτους των πλακοδοκών στο ΡΑΦ.

Στο ΡΑΦ προσφέρεται η δυνατότητα επιλογής του συνεργαζόμενου πλάτους για την ανάλυση και για τον υπολογισμό των ροπών αντοχών σύμφωνα είτε με τον Ε.Κ. 4.1 είτε με τον Ε.Κ. 8.1

Σύμφωνα με τον Ε.Κ. 4.1 εφαρμόζεται η σχέση 5.4 αυτού του κανονισμού (βλ. § 4.2.1.1. παρόντος)

Με την επιλογή του ΕΚ 8.1 έχομε τα ακόλουθα :
Για την ανάλυση λαμβάνεται ενιαία τιμή για το συνεργαζόμενο πλάτος ενιαίο συνεργαζόμενο πλάτος κατά μήκος της δοκού :
b_e = 0.0375 . l

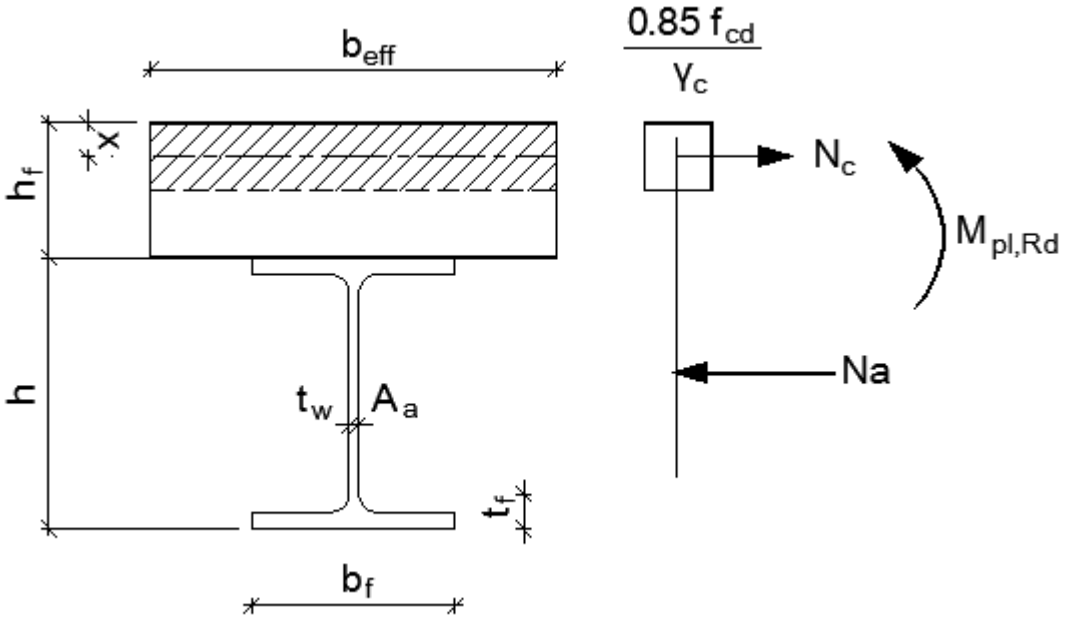
Για τον υπολογισμό της πλαστικής ροπής αντοχής επίσης λαμβάνεται ενιαίο συνεργαζόμενο πλάτος κατά μήκος της δοκού :
b_e = 0.075 . l
όπου l η αξονική απόσταση μεταξύ των υποστυλωμάτων.

Σε κάθε περίπτωση το συνεργαζόμενο πλάτος των πλακοδοκών μπορεί να διορθώνεται και από τον χρήστη για κάθε άνοιγμα δοκού διαφορετικό.

4.2.2 Καμπτική αντοχή σε θετική ροπή.

1. Ως προς την θέση του ουδέτερου άξονα διακρίνουμε τρείς περιπτώσεις :

4.2.2.1 Ουδέτερος άξονας εντός της πλάκας σκυροδέματος



Σχήμα 6 – Κάμψη σύμμεικτης πλακοδοκού με ουδέτερο άξονα εντός της πλάκας.

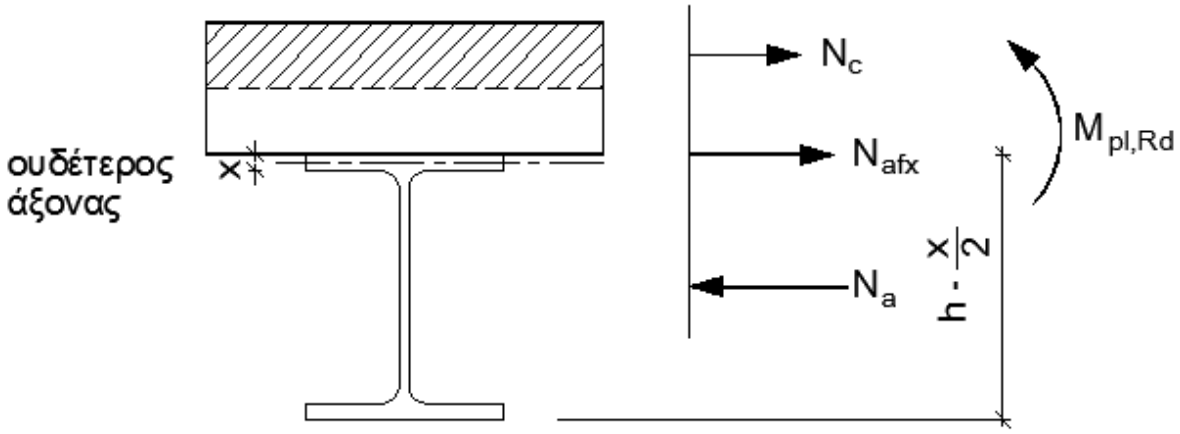
$$N_c = \frac{0{,}85 f_{ck}}{\gamma_c} b_{eff}(h_f - h_p)$$

$$N_a = A_a \frac{f_y}{\gamma_a}$$

$$x = \frac{N_a}{\frac{0{,}85 f_{ck}}{\gamma_c} b_{eff}}$$

$$M_{pl,Rd} = N_a \left[\frac{h}{2} + h_f - \frac{x}{2}\right]$$

4.2.2.2 Ουδέτερος άξονας εντός του πέλματος της σιδηροδοκού :



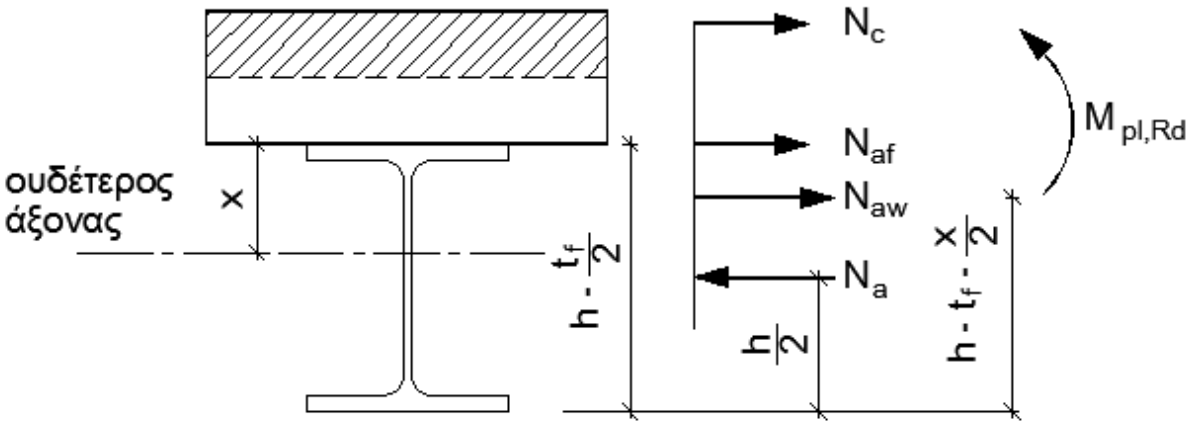
Σχήμα 7 – Κάμψη σύμμεικτης πλακοδοκού με ουδέτερο άξονα εντός του πέλματος της σιδηροδοκού.

$$N_{afx} = xb\frac{f_y}{\gamma_a}$$

$$x = \frac{N_{ac}}{2b\frac{f_y}{\gamma_a}}$$

$$M_{pl,Rd} = N_c\left(h + \frac{h_p + h_f}{2}\right) + 2N_{afx}\left(h - \frac{x}{2}\right) - N_a\frac{h}{2}$$

4.2.2.3 Ουδέτερος άξονας εντός του κορμού της σιδηροδοκού



Σχήμα 8 - Κάμψη σύμμεικτης πλακοδοκού με ουδέτερο άξονα εντός του κορμού της σιδηροδοκού.

$$N_{ac} = N_a - N_c$$

$$N_{af} = b_{ftf}\frac{f_y}{\gamma_a}$$

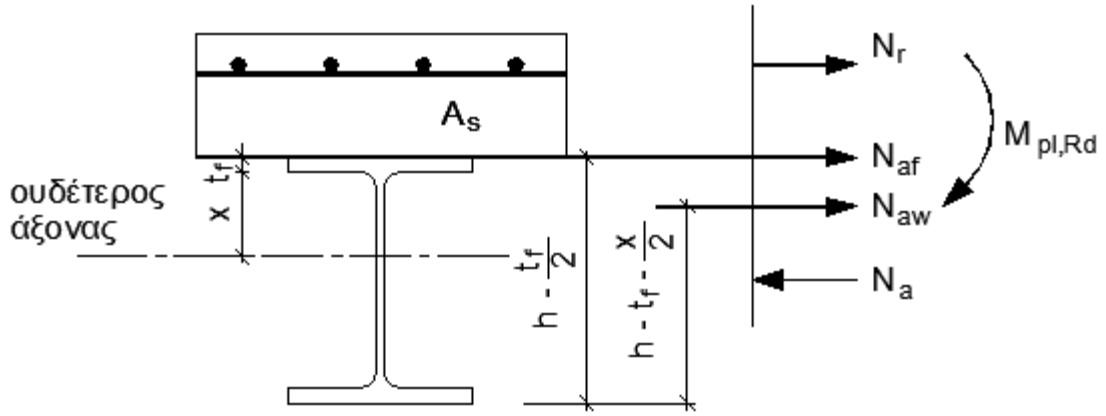
$$x = \frac{N_{ac} - N_{af}}{2t_w\frac{f_y}{\gamma_\alpha}}$$

$$N_{aw} = xt_w\frac{f_y}{\gamma_a}$$

$$M_{pl,Rd} = N_c\left(h + \frac{h_p + h_s}{2}\right) + 2N_{af}\left(h - \frac{t_f}{2}\right) + 2N_{aw}\left(h - t_f - \frac{x}{2}\right) - N_a\frac{h}{2}$$

4.2.3 Καμπτική αντοχή σε αρνητική ροπή.

4.2.3.1 Ο ουδέτερος άξονας στον κορμό της σιδηροδοκού.



Σχήμα 9 – Κάμψη αρνητικής ροπής. Ουδέτερος άξονας εντός του κορμού της σιδηροδοκού.

$$N_a = A_a \frac{f_y}{\gamma_a}$$

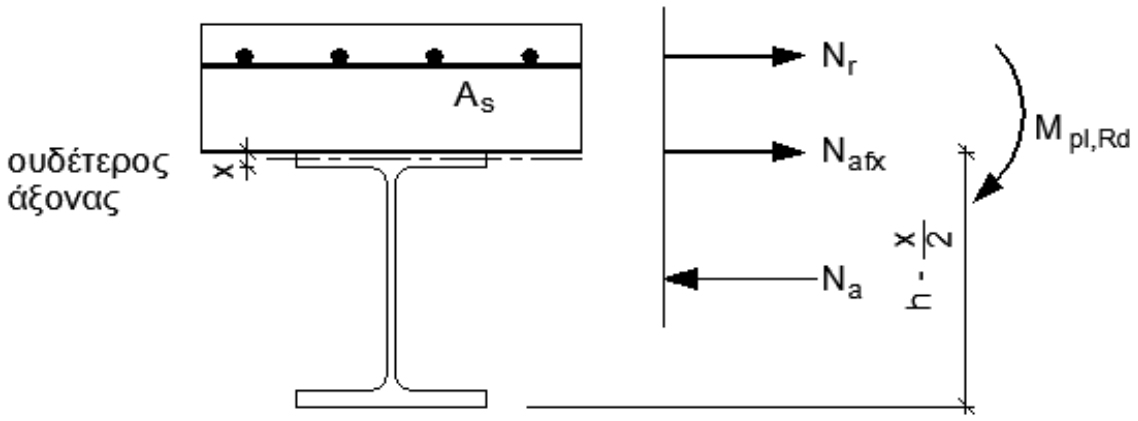
$$N_{af} = b_{ftf} \frac{f_y}{\gamma_a}$$

$$x = \frac{N_a - N_r - 2N_{af}}{2t_w \frac{f_y}{\gamma_\alpha}}$$

$$N_{aw} = x t_w \frac{f_y}{\gamma_a}$$

$$M_{pl,Rd} = N_r(h + h_s - c) + N_{af}\left(h - \frac{t_f}{2}\right) + N_{aw}\left(h - t_f - \frac{x}{2}\right) - N_a \frac{h}{2}$$

4.2.3.1 Ο ουδέτερος άξονας στο πέλμα της σιδηροδοκού.



Σχήμα 10 – Κάμψη αρνητικής ροπής. Ουδέτερος άξονας εντός του πέλαμτος της σιδηροδοκού.

$$x = \frac{N_a - N_r}{2b\frac{f_y}{\gamma_\alpha}}$$

$$N_{afx} = xb_f\frac{f_y}{\gamma_a}$$

$$M_{pl,Rd} = N_r(h + h_f - c) + N_{afx}\left(h - \frac{x}{2}\right) - N_a\frac{h}{2}$$

4.3 Εγκάρσια διατμητική αντοχή συμμείκτων δοκών .

Η εγκάρσια διατμητική αντοχή των συμμείκτων δοκών χωρίς ή με μερικό εγκιβωτισμό του κορμού, θεωρείται ότι παραλαμβάνεται εξολοκλήρου από τον κορμό της σιδηροδοκού.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 3.1 § 6.2.6(2) :

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_a}\cdot A_v = 0.58\, f_y A_v$$

Όπου A_v η διατμητική επιφάνεια της σιδηροδοκού.

4.4 Έλεγχος διαμήκους διάτμησης.

4.4.1 Αντοχή μεμονομένου ήλου κεφαλής.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 6.6.3.1 η διατμητική αντοχή σχεδιασμού των ήλων κεφαλής P_{Rd} δίνεται από τις σχέσεις :

$$P_{Rd} = \frac{0{,}8 f_u \pi d^2/4}{\gamma_v} \quad \text{.....(ΕΚ 4.1 εξ. 6.18)}$$

ή

$$P_{Rd} = \frac{0{,}29 a d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_v} \quad \text{..... (ΕΚ 4.1 εξ. 6.19)}$$

Καθοριστικό είναι το μικρότερο εκ των δύο.

Όπου :

$a = 0{,}2\left[\frac{h_{sc}}{d} + 1\right]$ αν $3 \le h_{sc}/d \le 4$

$a = 1$ αν $h_{sc}/d > 4$

γ_v : μερικός συντελεστής ασφάλειας (1.25)

d : διάμετρος ήλου

f_u : όριο θραύσης χάλυβα ήλων

h_{sc} : ύψος ήλων

4.4.2 Διαμήκης διατμητική σύνδεση.

4.4.2.1 Βαθμός διατμητικής σύνδεσης.

Εάν n ο αριθμός των υπαρχόντων ήλων και n_f ο απαιτούμενος αριθμός ήλων για πλήρη διατμητική διαμήκη σύνδεση ο λόγος $\eta = n / n_f$ ονομάζεται βαθμός διατμητικής σύνδεσης.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 6.6.1.2 ο βαθμός διατμητικής σύνδεσης η πρέπει να βρίσκεται εντός των εξής ορίων :

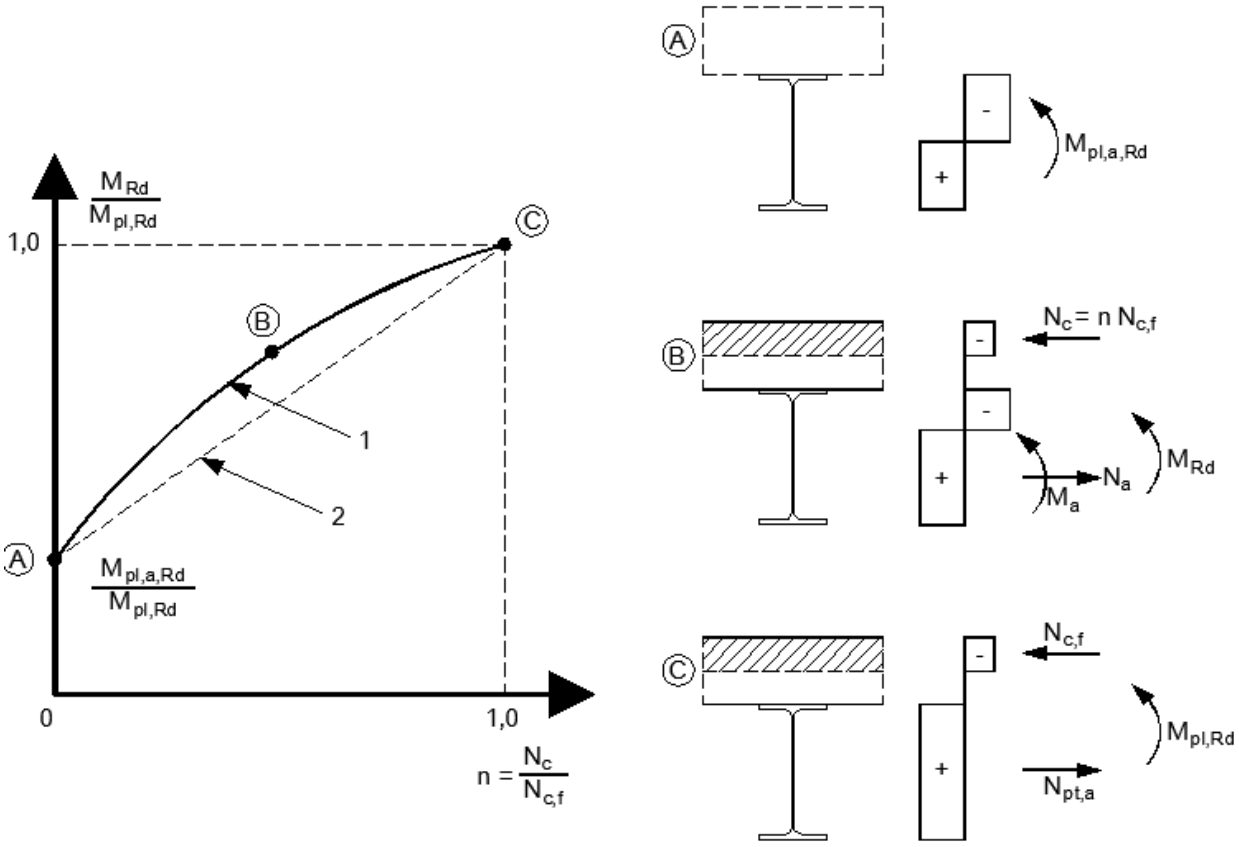
Αν $L_e \le 25m$ τότε : $\eta \ge 1 - \frac{355}{f_y}(0{,}75 - 0{,}03 L_e) \ge 0{,}4$

Αν $L_e \ge 25m$ τότε : $\eta \ge 1{,}0$

Όπου L_e το μήκος μηδενισμού των ροπών στην δοκό.

4.4.2.2 Καμπτική αντοχή δοκού μερικής διατμητικής σύνδεσης.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 6.2.1.3 η καμπτική ροπή αντοχής των συμμείκτων δοκών επηρεάζεται άμεσα από τον βαθμό διατμητικής σύνδεσης.



Σχήμα 11 – Ροπή αντοχής πλακοδοκού σε σχέση με τον βαθμό διατμητικής σύνδεσης.

Αν M_{Rd} η ροπή αντοχής μιας σύμμεικτης δοκού με μερική διαμήκη διατμητική σύνδεση, $M_{PL,RD}$ η ροπή αντοχής της ίδιας δοκού με πλήρη διαμήκη διατμητική σύνδεση και εάν N_c η δύναμη της θλιβόμενης ζώνης για βαθμό διατμητικής σύνδεσης η , το σημείο 'A' του παραπάνω διαγράμματος παριστάνει την αντοχή της πλακοδοκού χωρίς σύμμεικτη δράση, το σημείο 'B' με μερική σύμμεικτη δράση και το ΄C΄ με πλήρη σύμμεικτη δράση, δηλαδή βαθμός διατμητικής σύνδεσης η=1.0 – βλ. ΕΚ 4.1 σχ. 6.5

Στο παραπάνω σχήμα η καμπύλη '1' είναι η ακριβής σχέση, ενώ η '2' η γραμμική απλοποίηση της.

Αυτή εκφράζεται ως :

$$M_{Rd} = M_{a,pl,Rd} + \eta\,(M_{pl,Rd} - M_{a,pl,Rd}) \quad \text{..... ΕΚ 4.1 εξ. 6.1}$$

Όπου :

M_{Rd} : Η τελική ροπή αντοχής της σύμμεικτης δοκού

$M_{pl.Rd}$: Η ροπή αντοχής της σύμμεικτης δοκού με η=1.0

$M_{apl.Rd:}$: Η ροπή αντοχής της σιδηροδοκού

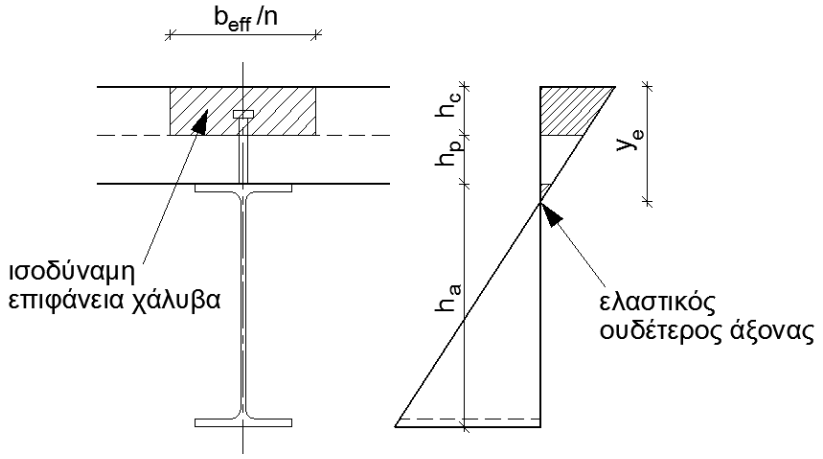
4.5 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας συμμείκτων δοκών.

4.5.1 Γενικές παραδοχές :

Η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας στις σύμμεικτες δοκούς αναφέρεται στον έλεγχο παραμόρφωσης των δοκών και στον έλεγχο ρηγμάτωσης τους.

Η θεώρηση της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας ότι αφορά την παραμόρφωση, βασίζεται στην θεώρηση της ελαστικής ανάλυσης των δοκών.
Σαν όριο ελαστικής παραμόρφωσης δ των συμμείκτων δοκών θεωρείται το L/200 όπου L, το άνοιγμα της υπό εξέταση δοκού.

4.5.2 Δυσκαμψία συμμείκτων δοκών :



Σχήμα 12 – Διατομή πλακοδοκού με ισοδύναμη μεταλλική επιφάνεια πλάκας.

Ο υπολογισμός της ελαστικής παραμόρφωσης των δοκών βασίζεται στην δυσκαμψία που προκύπτει θεωρώντας την δεύτερη ροπή επιφάνειας της αρηγμάτωτης σύμμεικτης διατομής, αναγόμενη το σύνολο της διατομής σε ένα ομοιογενές υλικό (χάλυβας) σύμφωνα με τον τύπο :

$$I_e = \frac{A_a\left(h_c + h_p + h\right)^2}{4(1 + nr)} + \frac{b_{eff}h_c^3}{12n} + I_{ay}$$

Όπου :
n : ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας δομικού χάλυβα προς σκυρόδεμα. Λαμβάνεται n=7
r : ο λόγος της διατομής της σιδηροδοκού σε σχέση με την θλιβόμενη πλάκα σκυροδέματος.
I_{ay} : η δεύτερη ροπή επιφάνειας της σιδηροδοκού.

4.5.3 Ελεγχος ρηγματώσεων :

4.5.3.1 Επιρροή ρηγματώσεων στην ανάλυση .

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 5.4.2.3 (3) η μείωση της δυσκαμψίας των συνεχών δοκών μπορεί να προσομοιωθεί στην ελαστική ανάλυση, μέσω μερικής ανακατανομής των ροπών στήριξης των δοκών κατά ποσοστό -15%.
Προϋπόθεση αυτού είναι, τα γειτονικά ανοίγματα των συνεχών δοκών να μην έχουν λόγο μικρότερο από 0.6.

4.5.3.2 Περιορισμός των ρηγματώσεων στις στηρίξεις.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 7.4.2 απαιτείται ένας ελάχιστος οπλισμός στήριξης των δοκών A_s σύμφωνα με την σχέση :

$$As = k_s \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct/\sigma s} \text{.....ΕΚ 4.1 εξ. 7.1}$$

Όπου :

$f_{ct,eff}$: Η μέση τιμή εφελκυστικής αντοχής του χάλυβα σύμφωνα με τον ΕΚ 2.1 § 7.3.2(1)

k : συντελεστής απομείωσης λόγω ανομοιόμορφων τάσεων = 0.8

k_s : συντελεστής απομείωσης λόγω ρηγματώσεων πλάκας και ολίσθησης = 0.9

k_c : συντελεστής απομείωσης που λαμβάνει υπόψη την κατανομή τάσεων πριν την ρηγμάτωση.

$$k_c = \frac{1}{1+h_c/(2z_o)} + 0{,}3 \leq 1{,}0 \text{ .....ΕΚ 4.1 εξ. 7.1}$$

Όπου :

h_c : Το καθαρό πάχος της πλάκας

z_0 : Η απόσταση μεταξύ Κ.Β. πλάκας και σιδηροδοκού

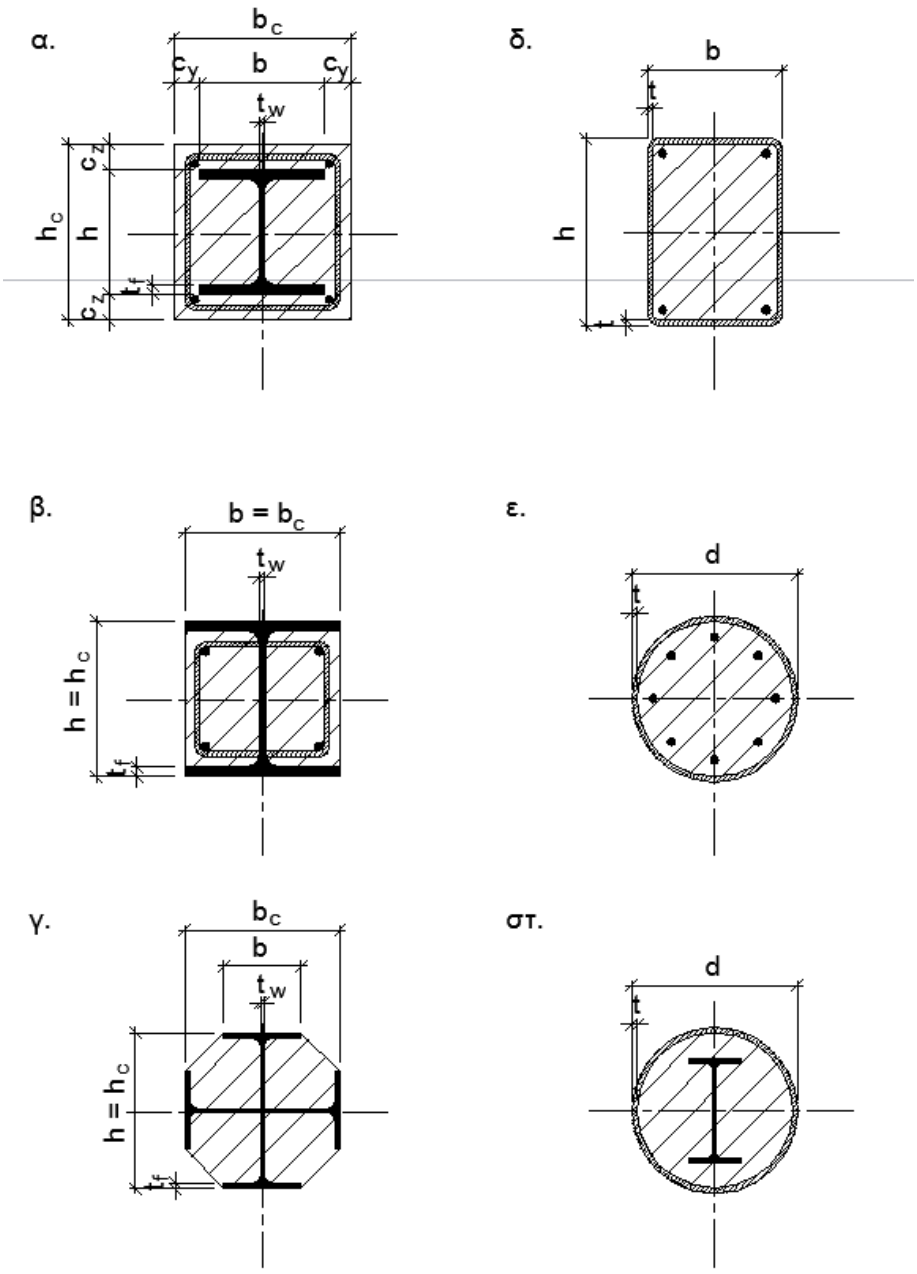
σ_s : Η μέγιατη επιτρεπόμενη τάση οπλισμού σύμφωνα με τον Ε.Κ. 4.1 πιν. 7.1

A_{ct} : Η επιφάνεια εφελκυσμού πρίν την ρηγμάτωση.

5. Σύμμεικτα υποστυλώματα.

5.1 Γενικά.

Τα σύμμεικτα υποστυλώματα αποτελούνται είτε από σιδηροδοκούς μερικού ή πλήρους εγκιβωτισμού, είτε από κοιλοδοκούς πληρωμένες με σκυρόδεμα.



Σχήμα 13 –Διατομές συμμείκτων υποστυλωμάτων.

5.2 Πλεονεκτήματα συμμείκτων υποστυλωμάτων.

- Αυξημένη αντοχή με δεδομένες γεωμετρικές διαστάσεις, σε σχέση με τόσο τα υποστυλώματα Ο.Σ. όσο και τα μεταλλικά υποστυλώματα.
- Αυξημένη δυσκαμψία με συνέπεια μεγαλύτερη επιτρεπόμενη λυγηρότητα.
- Εξαιρετική πλαστιμότητα με συνέπεια αυξημένη καταλληλόλητα σε αντισεισμικά κτήρια.
- Βελτιωμένη πυραντοχή.

5.3 Περιορισμοί διατομών συμμείκτων υποστυλωμάτων.

5.3.1 Υδιότητες υλικών.

Σύμφωνα με το ΕΚ 4.1 § 6.7.1.(2) στα σύμμεικτα υποστυλώματα το χρησιμοποιούμενο σκυρόδεμα πρέπει να είναι μεταξύ των ποιοτήτων C20/25 έως C50/60.
Η ποιότητα του δομικού χάλυβα δε, μεταξύ S235 και S460.

5.3.2 Περιορισμός του λόγου συνεισφοράς του δομικού χάλυβα δ.

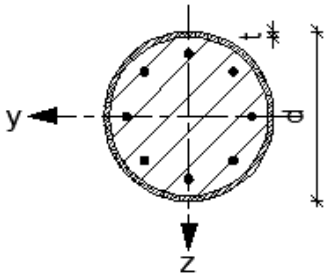
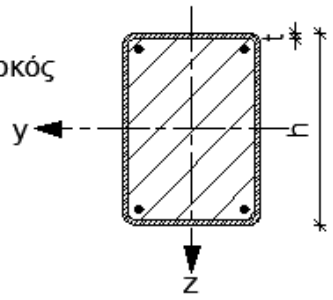
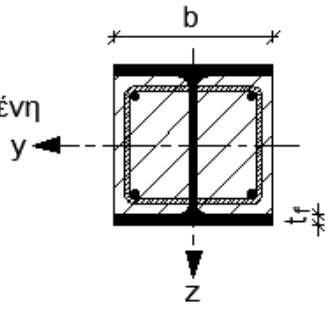
Ο λόγος συνεισφοράς του δομικού χάλυβα δ πρέπει να κυμαίνεται :
$0.2 \leq \delta \leq 0.9$ ……..ΕΚ 4.1 εξ. 6.27
Όπου :

$$\delta = \frac{A_a f_{yd}}{N_{pl,Rd}} \text{ ... ... ΕΚ 4.1 εξ. 6.38}$$

Με $N_{pl,Rd}$ η πλαστική αντοχή θλίψης του σύμμεικτου υποστυλώματος.(ΕΚ 4.1 εξ. 6.30,6.33)

5.3.3 Περιορισμοί διαστάσεων διατομών λόγω τοπικού λυγισμού.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 6.7.1(9) ο έλεγχος επιρροής των φαινομένων τοπικού λυγισμού σε σύμμεικτες διατομές δομικού χάλυβα μπορεί να παραλείπεται σε πλήρως εγκιβωτισμένες διατομές.
Για μερικώς εγκιβωτισμένες διατομές καθώς και για κοιλοδοκούς ή σωλήνες πληρωμένες με σκυρόδεμα ισχύουν οι περιορισμοί του παρακάτω πίνακα :

Διατομές	Max (d/t), max (h/t) και max (b/t)
κυκλική κοιλοδοκός 	$\max (d/t) = 90\frac{235}{f_y}$
ορθογωνική κοιλοδοκός 	$\max(h/t) = 52\sqrt{\frac{235}{f_y}}$
μερικώς εγκιβωτισμένη διατομή 	$\max(b/t_f) = 44\sqrt{\frac{235}{f_y}}$

Πιν. 2 – Μέγιστες τιμές πάχους ελασμάτων σύμμεικτων υποστυλωμάτων.

5.4 Οριακή κατάσταση αντοχής συμμείκτων υποστυλωμάτων.

5.4.1 Αντοχή σε αξονική φόρτιση.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 η αξονική αντοχή ενός σύμμεικτου υποστυλώματος δίνεται από :

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + 0{,}85 A_c f_{cd} + A_s f_{sd}$$ .....ΕΚ 4.1 εξ 6.30

Όπου :

A_a, A_c και A_s είναι οι επιφάνειες της σιδηροδοκού, του σκυροδέματος και των ράβδων οπλισμού αντίστοιχα.

f_{yd}, f_{cd} και f_{sd} είναι η αντοχή σχεδιασμού του δομικού χάλυβα, του σκυροδέματος και του χάλυβα οπλισμού αντίστοιχα, που δίνονται από :

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_a};\ f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c};\ f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s}$$

f_y, f_{ck} και f_{sk} είναι η χαρακτηριστική αντοχή του δομικού χάλυβα, του σκυροδέματος και του χάλυβα οπλισμού αντίστοιχα.

γ_a, γ_c και γ_s είναι οι συντελεστές ασφάλειας του δομικού χάλυβα, του σκυροδέματος και του χάλυβα οπλισμού αντίστοιχα.

a_e είναι ο συντελεστής αντοχής σκυροδέματος, ο οποίος ισούται 1.0 για πλήρωση κοιλοδοκών ορθογώνικές ή τετράγωνες και 0.85 για πλήρεις ή μερικώς εγκιβωτισμένες διατομές I ή H.

5.4.2 Καμπτικός λυγισμός σύμμεικτων υποστυλωμάτων.

5.4.2.1 Κρίσιμο αξονικό φορτίο.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{l^2}$$

Όπου :

l είναι το μήκος λυγισμού του υποστυλώματος.

$(EI)_{eff}$ είναι η χαρακτηριστική τιμή της καμπτικής δυσκαμψίας ενός σύμμεικτου υποστυλώματος και λαμβάνεται ως συνδυασμός των δυσκαμψιών των επιμέρους διατομών.

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + 0{,}6\, E_{cm}\, I_c + E_s I_s$$

I_a, I_c και I_s είναι οι δεύτερες ροπές επιφάνειας της σιδηροδοκού, του σκυροδέματος (μη ρηγματωμένο) και του οπλισμού.

E_a και E_s είναι τα μέτρα ελαστικότητας της διατομής χάλυβα και του χάλυβα οπλισμού αντίστοιχα.

E_{cm} Επιβατικό μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος.

5.4.3 Σχετική λυγηρότητα.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 6.7.3.3

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}}$$

όπου

$N_{pl,Rk}$: είναι η χαρακτηριστική τιμή της πλαστικής αντοχής .

N_{cr} : είναι το κρίσιμο αξονικό φορτίο.

5.4.4 Καμπίλες λυγισμού.

Για τους κύριους άξονες ενός υποστυλώματος πρέπει να ισχύει :

$N_{Ed} \leq \chi \, . \, N_{pl,Rd}$ .....Ek 4.1 εξ. 6.44

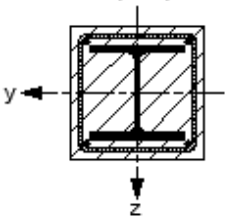
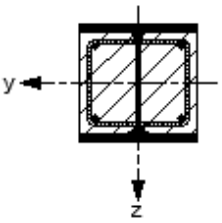
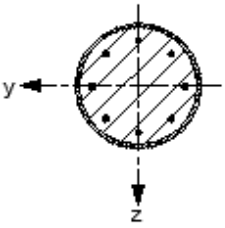
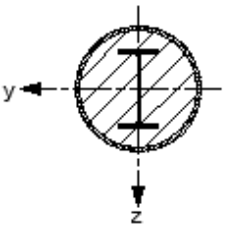
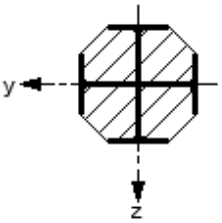
Για το χ υιοθετούνται οι καμπύλες λυγισμού του ΕΚ 3.1

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

όπου :

$$\emptyset = 0.5\left[1 + \alpha\langle\bar{\lambda} - 0.2\rangle + \bar{\lambda}^2\right]$$

Ο συντελεστής ‘α’ λαμβάνει τιμές 0.21, 0.34 και 0.49 για τις καμπύλες λυγισμού a,b,c αντίστοιχα. Οι καμπύλες λυγισμού προκύπτουν από το είδος του σύμμεικτου υποστυλώματος σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα του ΕΚ 4.1 πιν.6,5 :

Διατομές	Οριa	Άξονας λυγισμού	Καμπύλη λυγισμού	Ατέλειες μέλους
Διατομή εγκιβωτισμένη σε σκυρόδεμα 		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
Διατομή μερικώς εγκιβωτισμένη σε σκυρόδεμα 		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
Κυκλικές και ορθογώνιες χαλύβδινες κοιλοδοκοί 	$\rho_s \leq 3\%$	any	a	L/300
	$3\% < \rho_s \leq 6\%$	any	b	L/200
Κυκλική χαλύβδινη κοιλοδοκός με πρόσθετη διατομή I 		y-y	b	L/200
		z-z	b	L/200
Διασταυρούμενη διατομή μερικώς εγκιβωτισμένη. 		any	b	L/200

Πιν. 3 – Καμπύλες λυγισμού και αθέλητες εκκεντρότητες σύμμεικτων υποστυλωμάτων.

5.4.5 Αυξητικός συντελεστής θεωρίας ΙΙ τάξης.

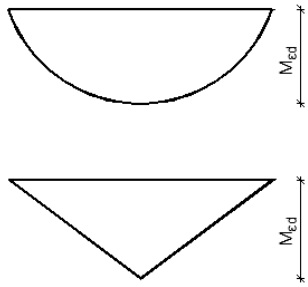
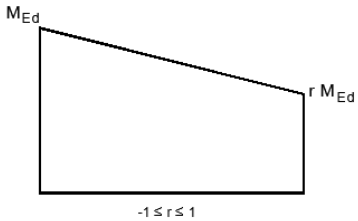
Σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 6.7.3.4 (5) κατά μήκος ενός σύμμεικτου υποστυλώματος η επιρροή των φαινομένων ΙΙ τάξης λαμβάνεται υπόψη αν η μέγιστη καμπτική ροπή του υποστυλώματος πολλαπλασιαστεί με τον συντελεστή 'k', όπου :

$$k = \frac{\beta}{1 - N_{Ed} / N_{er,eff}}, \quad \geq 1{,}0$$

όπου :

$N_{er,eff}$ είναι το κρίσιμο φορτίο λυγισμού

β είναι ο ισοδύναμος συντελεστής που δίνεται στον παρακάτω πίνακα :

Κατανομή ροπής	Συντελεστές ροπής β	Σχόλια
	Ροπές πρώτης τάξης απο ατέλειες μελών ή από πλευρικό φορτίο : β=1,0	M_{Ed} είναι η μέγιστη ροπή εντός του μήκους του υποστυλώματος αγνοώντας δεύτερης τάξης επιπτώσεις.
	Ροπές άκρων : β=0,66 + 0,44r αλλά β≥0,44	M_{Ed} και r M_{Ed} είναι οι ροπές άκρων πρώτης τάξης ή δεύτερης τάξηςκαθολικής ανάλυσης.

Πιν. 4 – Συντελεστής β για το προσδιορισμό ροπών ΙΙ τάξης.

5.4.6 ¨Έλεγχος επάρκειας έναντι λυγισμού σε μονοαξονική κάμψη.

Σύμφωνα με τον Εκ 4.1 § 6.7.3.6 ο έλεγχος επάρκειας έναντι λυγισμού για μονοαξονική κάμψη ικανοποιείται όταν :

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,N,Rd}} = \frac{M_{Ed}}{\mu_d M_{pl,Rd}} \leq \alpha_M \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ΕΚ 4.1 εξ 6.45}$$

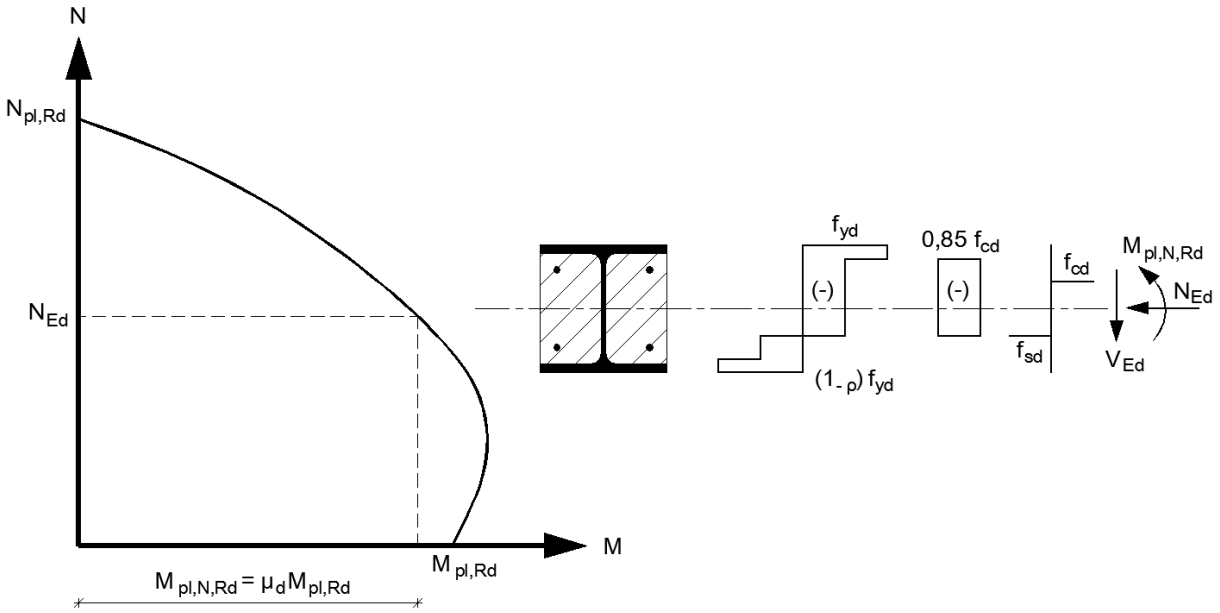
όπου :

M_{Ed} είναι η μεγαλύτερη από τις ροπές κάμψης εντός του εύκαμπτου μήκους του υποστυλώματος, υπολογίζεται σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 6.7.3.4, συμπεριλαμβανομένων ατελειών και αποτελέσματα θεωρίας δεύτερης τάξης.

$M_{pl,N,Rd}$ είναι η ροπή αντοχής λαμβάνοντας υπόψη την ορθή δύναμη N_{Ed},

$M_{pl,Rd}$ είναι η ροπή αντοχής χωρίς να ληφθεί υπόψη η ορθή δύναμη N_{Ed}

Η τιμή του μ_d προκύπτει από το παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 14 – Προσδιορισμός του συντελεστή 'μ' .

5.4.7 Έλεγχος επάρκειας έναντι λυγισμού σε διαξονική κάμψη.

Για συνδυασμένη διαξονική κάμψη με ορθή δύναμη, πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις :

$$\frac{M_{y,Ed}}{\mu_{dy} M_{pl,y,Rd}} \leq \alpha_{M,y} \qquad \frac{M_{z,Ed}}{\mu_{dz} M_{pl,z,Rd}} \leq \alpha_{M,z} \quad \text{.....EK 4.1 εξ.6.46}$$

και :

$$\frac{M_{y,Ed}}{\mu_{dy} M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{\mu_{dz} M_{pl,z,Rd}} \leq 1{,}0 \quad \text{.....EK 4.1 εξ.6.47}$$

όπου:

$M_{pl,y,Rd}$ και $M_{pl,z,Rd}$ είναι οι πλαστικές ροπές αντοχής του σχετικού επιπέδου κάμψης.

$M_{y,Ed}$ και $M_{z,Ed}$ είναι οι ροπές σχεδιασμού, συμπεριλαμβανομένων της επίδρασης φαινομένων II τάξης και ατελειών, σύμφωνα με ΕΚ 4.1 § 6.7.3.4.

μ_{dy} και μ_{dz} ορίζονται στον ΕΚ 4.1 § 6.7.3.6.

$\alpha_M = \alpha_{M,y}$ και $\alpha_M = \alpha_{M,z}$ δίδονται στον ΕΚ 4.1 § 6.7.3.6(1).

5.5 Διατμητική αντοχή σύμμεικτων υποστυλωμάτων.

Γενικώς η διατμητική δράση μπορεί, από την πλευρά της ασφάλειας, να θεωρηθεί ότι παραλαμβάνεται εξολοκλήρου από την σιδηροδοκό σύμφωνα με τον ΕΚ 4.1 § 6.7.3.2 (3).

Σύμφωνα με τον Εκ 4.1 § 6.2.2.4 εφόσον V_{Ed}< 0.5. $V_{a,Rd}$ δεν επηρεάζεται η καμπτική αντοχή των υποστυλωμάτων.

Αν V_{Ed}> 0.5. $V_{a,Rd}$ τότε για διατομές κατηγορίας 1 ή 2 η οριακή αντοχή σε κάμψη ελαττώνεται, μειώνοντας την αντοχή σχεδιασμού του δομικού χάλυβα κατά (1-ρ).f_{yd} , όπου :

$$\rho = (2V_{Ed}/V_{Rd} - 1)^2$$ ..... ΕΚ 4.1 εξ. 6.5

VEd : η διατμητική δράση
VRd : η διατμητική αντοχή σύμφωνα με τον ΕΚ 3.1 § 6.2.6.

5.6 Δυσκαμψία συμμείκτων υποστυλωμάτων.

Σύμφωνα με τον ΕΚ 8.1 § 7.7.2 (4) η δυσκαμψία των συμμείκτων υποστυλωμάτων δίνεται από την σχέση :

$$(EI)_c = 0.9\,(\,EI_a + r\,E_{cm}\,I_c + E\,I_s\,)$$ ..... ΕΚ 8.1 εξ 7.14

Όπου :
Ε και E_{cm} : μέτρα ελαστικότητάς δομικού χάλυβα και σκυροδέματος.
r : ο συντελεστής μείωσης της ρηγματωμένης διατομής του σκυροδέματος (r=0.5)
I_a, I_c, I_s : Οι ροπές αδράνειας της χαλύβδινης διατομής, της διατομής σκυροδέματος και των οπλισμών αντιστοίχως.

6. Οδηγός χρήσης υπομονάδας .

6.1 Γενικά.

Η εισαγωγή δεδομένων για τα σύμμεικτα κτήρια ακολουθεί την αντίστοιχη διαδικασία με την εισαγωγή δεδομένων για τα κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα.
Και εδώ η ακολουθία εισαγωγής παραμένει, εισαγωγή κατακόρυφων στοιχείων, (υποστυλώματα ή τοιχώματα) εισαγωγή δοκών και εισαγωγή πλακών.

☼ Συμβουλή

Κατά την εισαγωγή ενός κτηρίου, το είδος των μελών του, στο ΡΑΦ, μπορεί να είναι διαφορετικών ειδών. Π.χ. υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα ή υποστυλώματα μεταλλικά και οι δοκοί σύμμεικτες. Μπορεί επίσης π.χ. μέρος των υποστυλωμάτων να είναι μεταλλικά, μέρος αυτών σύμμεικτα και ορισμένες οι δοκοί σύμμεικτες. Το ίδιο και οι πλάκες, μπορούν να συνδυασθούν π.χ. σύμμεικτες πλάκες με ολόσωμες πλάκες προβόλους ή ακόμα και με δοκιδωτές.

6.2 Εισαγωγή συμμείκτων κατακόρυφων μελών.

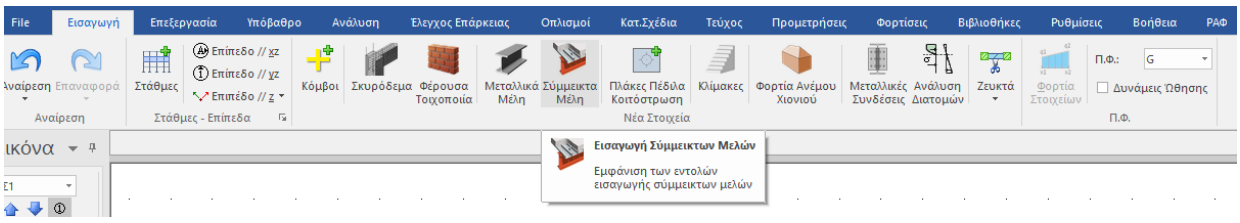
Τα κατακόρυφα σύμμεικτα μέλη μπορούν να είναι σύμμεικτα υποστυλώματα ή σύμμεικτα τοιχώματα.

6.2.1 Εισαγωγή συμμείκτων υποστυλωμάτων.

Το ΡΑΦ υποστηρίζει μερικώς εγκιβωτισμένα ή πλήρως εγκιβωτισμένα σύμμεικτα υποστυλώματα ορθογωνικής ή κυκλικής διατομής.

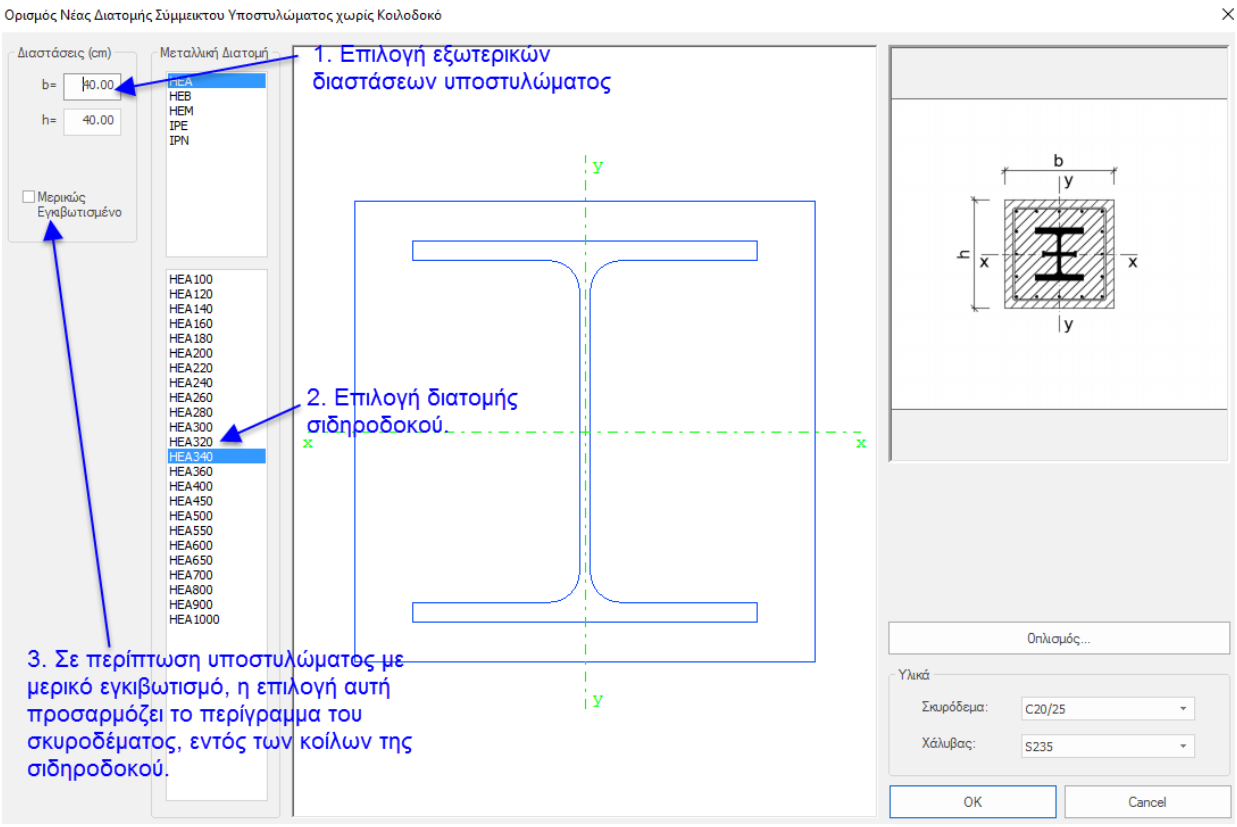
6.2.1.1 Δημιουργία συμμείκτων διατομών υποστυλωμάτων.

Από το φύλλο εισαγωγή επιλέγομε .εισαγωγή συμμείκτων μελών.



Εικόνα 4 – Φύλλο 'Συμμείκτων μελών'

Από την δεξιά πινακίδα επιλέγομε σύμμεικτα υποστυλώματα → Νέα (διατομή)
Ανοίγει ο διάλογος ορισμού νέας διατομής σύμμεικτου υποστυλώματος.



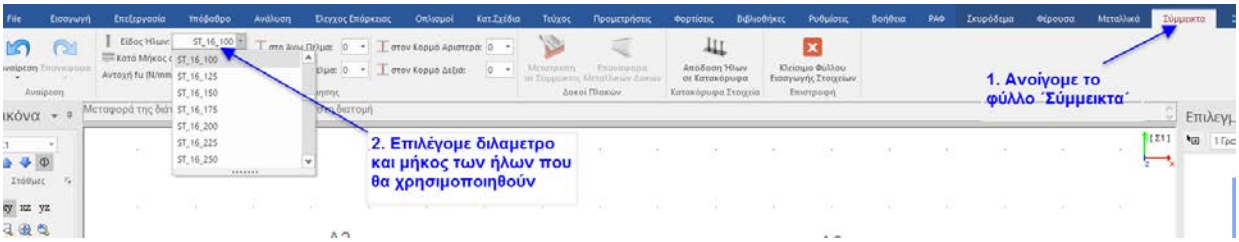
Εικόνα 5 – Διάλογος εισαγωγής διατομής σύμμεικτου υποστυλώματος.

1. Επιλέγομε τις εξωτερικές διαστάσεις του ορθογώνιου υποστυλώματος. Τα κιλα
2. Επιλέγομε τον τύπο της μεταλλικής διατομής και το μέγεθος της.
3. Επιλέγομε τα χρησιμοποιούμενα υλικά (αν διαφέρουν από τα αρχικά)

Η τοποθέτηση του σύμμεικτου υποστυλώματος στην στάθμη του τρέχοντος ορόφου είναι ακριβώς ανάλογη της τοποθέτησης υποστυλώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα.

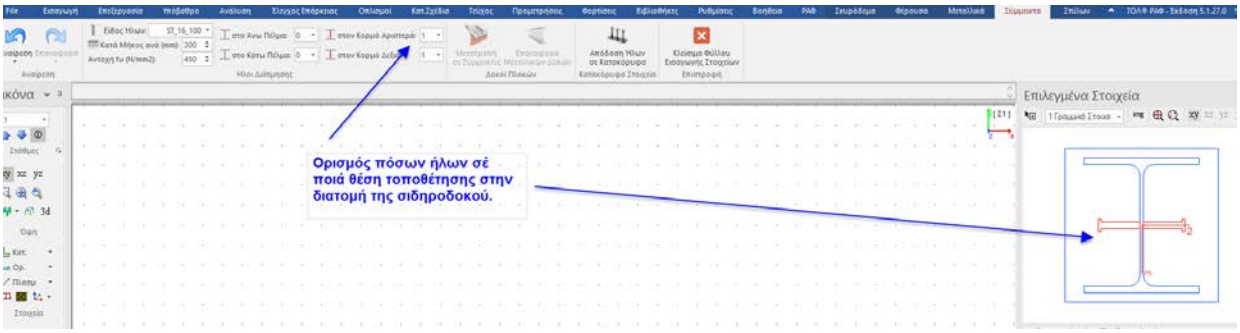
6.2.1.2 Εισαγωγή ήλων διαμήκους διάτμησης υποστυλωμάτων.

Από το φύλλο ΄Σύμμεικτα’ επιλέγομε τον τύπο των ήλων που θα χρησιμοποιηθούν.(διάμετρος, μήκος)



Εικόνα 6 – Επιλογή ήλων διάτμησης.

Στην συνέχεια επιλέγομε σε ποια πλευρά της σιδηροδοκού Η θα τοποθετηθούν οι ήλοι.



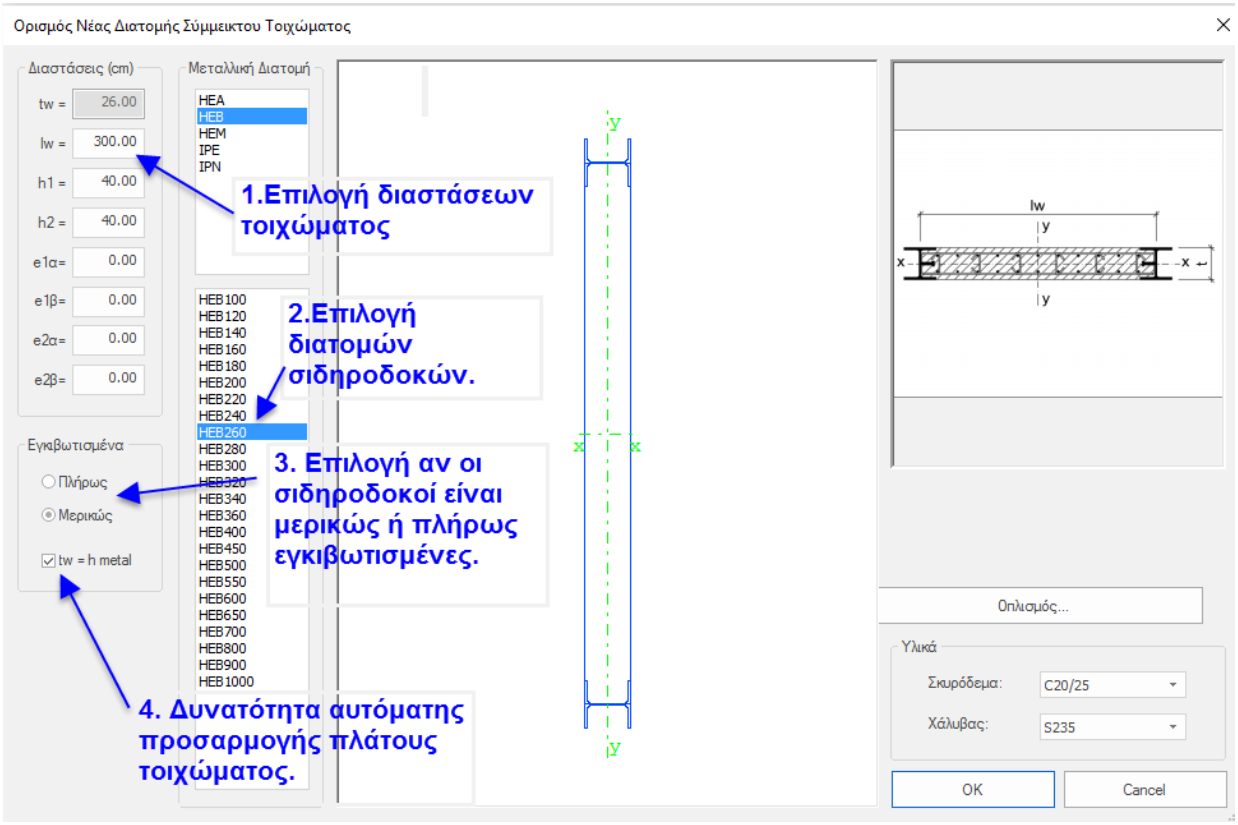
Εικόνα 7 – Τοποθέτηση ήλων διάτμησης στις πλευρές μιας διατομής Η.

6.2.2 Εισαγωγή συμμείκτων τοιχωμάτων.

Από την δεξιά πινακίδα επιλέγομε σύμμεικτα Τοιχώματα → Νέα (διατομή)
Ανοίγει ο διάλογος ορισμού νέας διατομής σύμμεικτου τοιχώματος.

6.2.2.1.1 Εισαγωγή διατομής σύμμεικτου τοιχώματος.

Για τον ορισμό της διατομής σύμμεικτου τοιχώματος ορίζομε καταρχήν τις γεωμετρικές διαστάσεις του τοιχώματος.



Εικόνα 8 – Διάλογος εισαγωγής διατομής σύμμεικτου υποστυλώματος.

Επιλέγομε στην συνέχεια την διατομή των ακραίων σιδηροδοκών.
Επιλέγομε επίσης αν οι ακραίοι σιδηροδοκοί είναι πλήρως ή μερικώς εγκιβωτισμένοι.
Σε περίπτωση μερικού εγκιβωτισμού έχουμε την δυνατότητα αυτόματης προσαρμογής του πλάτους του τοιχώματος σε αυτό των σιδηροδοκών.

6.2.2.2 Εισαγωγή ήλων διαμήκους διάτμησης σε τοιχώματα.

Η διαδικασία είναι ακριβώς ανάλογη με την τοποθέτηση διατμητικών ήλων στα υποστυλώματα.

6.2.2.3 Τοποθέτηση τοιχωμάτων στην κάτοψη του κτηρίου.

Η τοποθέτηση των τοιχωμάτων στην κάτοψη ενός κτηρίου είναι πλήρως ανάλογη αυτής της τοποθέτησης τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος.

6.2.3 Εισαγωγή σύμμεικτων δοκών.

Η εισαγωγή σύμμεικτων δοκών μπορεί να γίνει με δύο τρόπους.

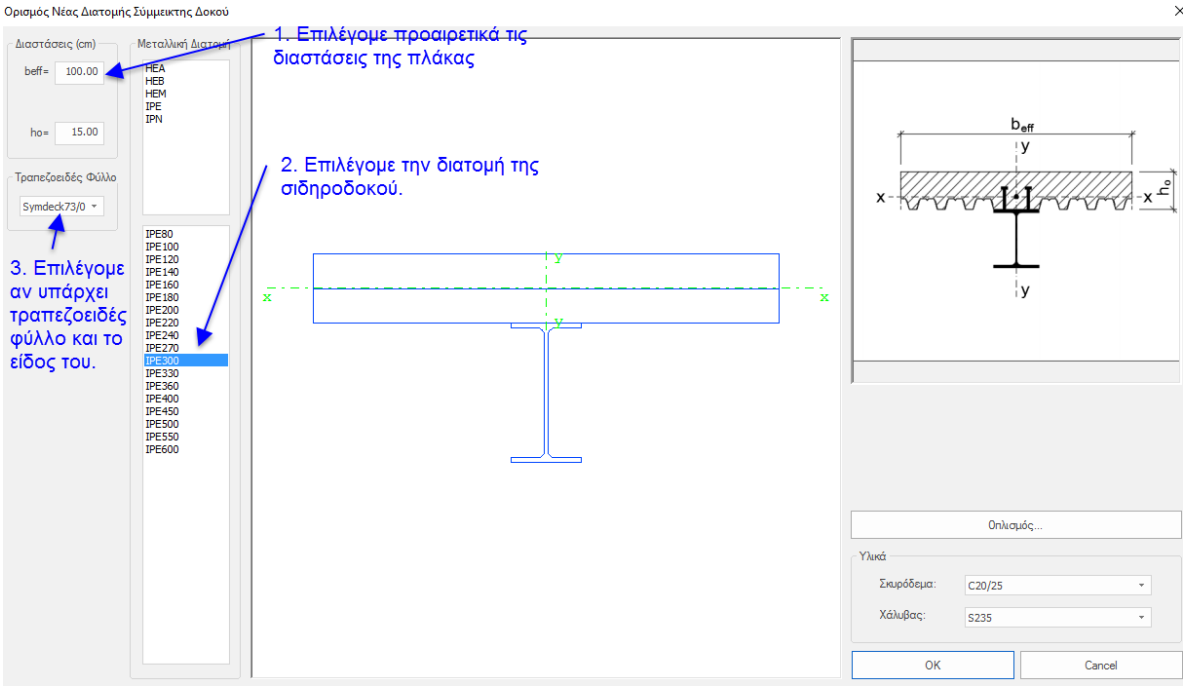
1. Με τον κλασσικό τρόπο της δημιουργίας πρώτα της σύμμεικτης διατομής και μετά η τοποθέτηση της δοκού με την προηγουμένως ορισμένη σύμμεικτη διατομή. ,
2. Με την τοποθέτηση σιδηροδοκών στην κάτοψη και μετά την τοποθέτηση της πλάκας επί αυτών, δυνατότητα αυτόματης μετατροπής των σιδηροδοκών σε σύμμεικτες δοκούς.

6.2.3.1 Εισαγωγή σύμμεικτης διατομής σιδηροδοκού.

Υπάρχει η δυνατότητα ορισμού συμμείκτων δοκών χωρίς εγκιβωτισμό και συμμείκτων δοκών με μερικό εγκιβωτισμό.

6.2.3.1.1 Εισαγωγή διατομών συμμείκτων δοκών χωρίς εγκιβωτισμό.

Από την δεξιά πινακίδα επιλέγομε σύμμεικτες Δοκούς → Νέα (διατομή)
Ανοίγει ο διάλογος ορισμού νέας διατομής σύμμεικτης δοκού.

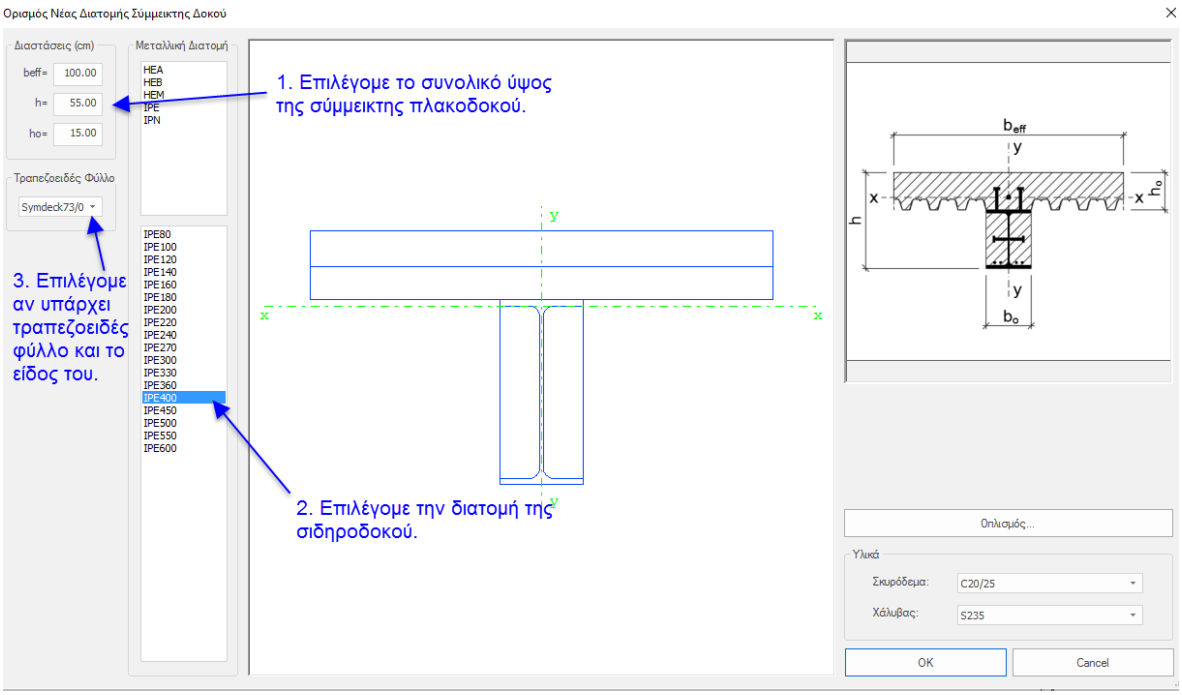


Εικόνα 9 – Διάλογος εισαγωγής σύμμεικτης διατομής δοκού χωρίς εγκιβωτισμό.

Οι διαστάσεις της πλάκας είναι προαιρετικές, καθότι μετά την τοποθέτηση των πλακών επί των σιδηροδοκών, οι σύμμεικτες δοκοί αποκτούν αυτόματα πάχος και συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας που τους αναλογεί. Τραπεζοειδές

6.2.3.1.2 Εισαγωγή διατομών συμμείκτων δοκών με μερικό εγκιβωτισμό.

Από την δεξιά πινακίδα επιλέγομε Σύμμεικτες Δοκοί Εγκιβωτισμένες → Νέα (διατομή)
Ανοίγει ο διάλογος ορισμού νέας διατομής σύμμεικτης εγκιβωτισμένης δοκού.



Εικόνα 10 - Διάλογος εισαγωγής σύμμεικτης διατομής δοκού με μερικό εγκιβωτισμό.

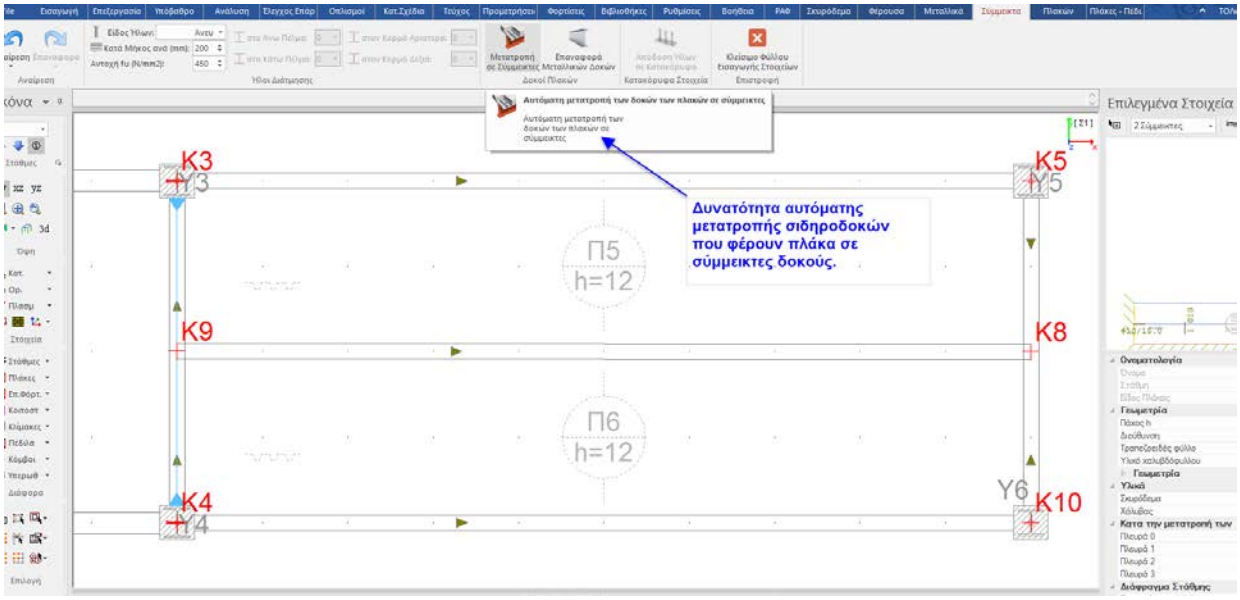
Στην συνέχεια στον κορμό της μερικώς εγκιβωτισμένης δοκού μπορούν να τοποθετηθούν διατάξεις οπλισμού με διαμήκεις ράβδους και συνδετήρες, κατά ανάλογο τρόπο όπως και στις δοκούς οπλισμένου σκυροδέματος.

☼ **Συμβουλή**

Το συνεργαζόμενο πλάτος των συμμείκτων διατομών των δοκών, μετά την τοποθέτηση τους στην κάτοψη, προσαρμόζεται αυτόματα. Το αυτό συμβαίνει και με το πάχος της πλάκας.

6.2.3.2 Μετατροπή τοποθετημένων σιδηροδοκών σε σύμμεικτες.

Η εναλλακτική δυνατότητα δημιουργίας συμμείκτων δοκών είναι η ακόλουθη : Μετά την τοποθέτηση σιδηροδοκών στην κάτοψη και την τοποθέτηση των πλακών που στηρίζονται επι αυτών, οι σιδηροδοκοί αυτές μπορούν αυτόματα να μετατραπούν σε σύμμεικτες δοκούς.



Εικόνα 11 – Αυτόματη μετατροπή τοποθετημένων σιδηροδοκών σε σύμμεικτες δοκούς.

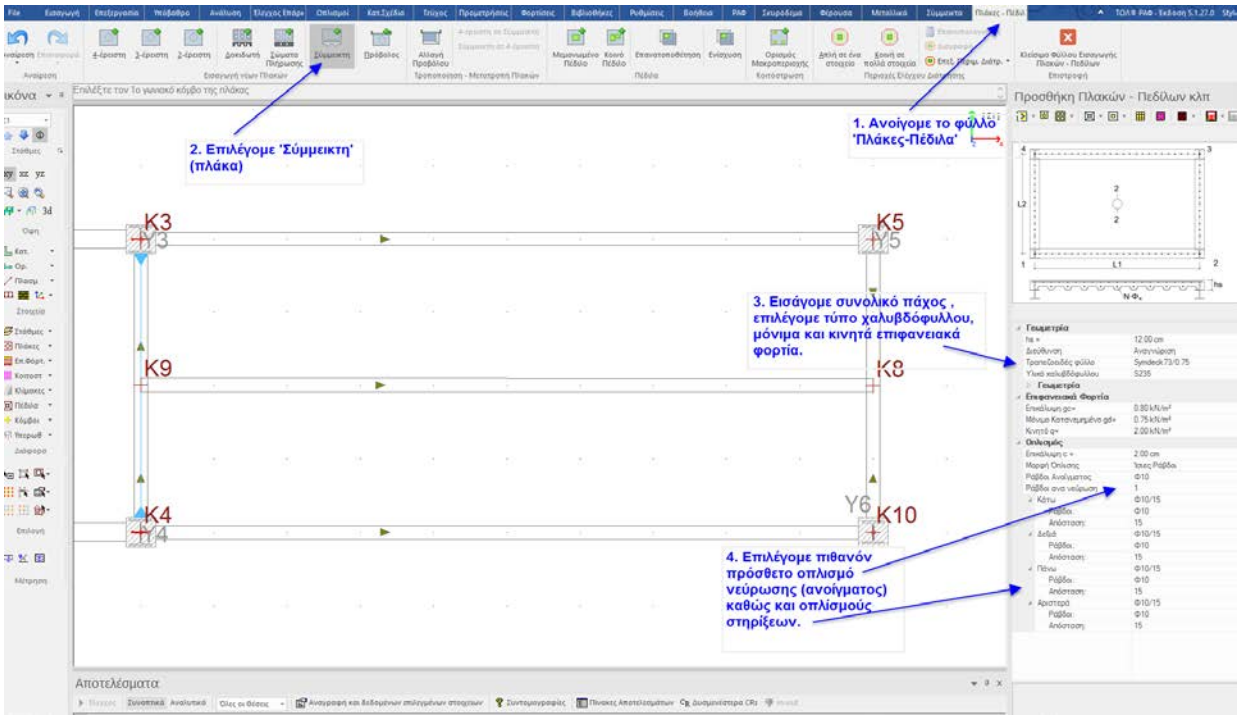
Πρώτα επιλέγομε την πλάκα που στηρίζεται επι των σιδηροδοκών. Με την επιλογή της αυτόματης μετατροπής δημιουργούνται αυτόματα οι διατομές των συμμείκτων δοκών και αυτόματα υπολογίζεται το συνεργαζόμενο πλάτος τους.

6.2.3.3 Εισαγωγή ήλων διαμήκους διάτμησης δοκών.

Η διαδικασία είναι ακριβώς ανάλογη με την τοποθέτηση διατμητικών ήλων στα υποστυλώματα.

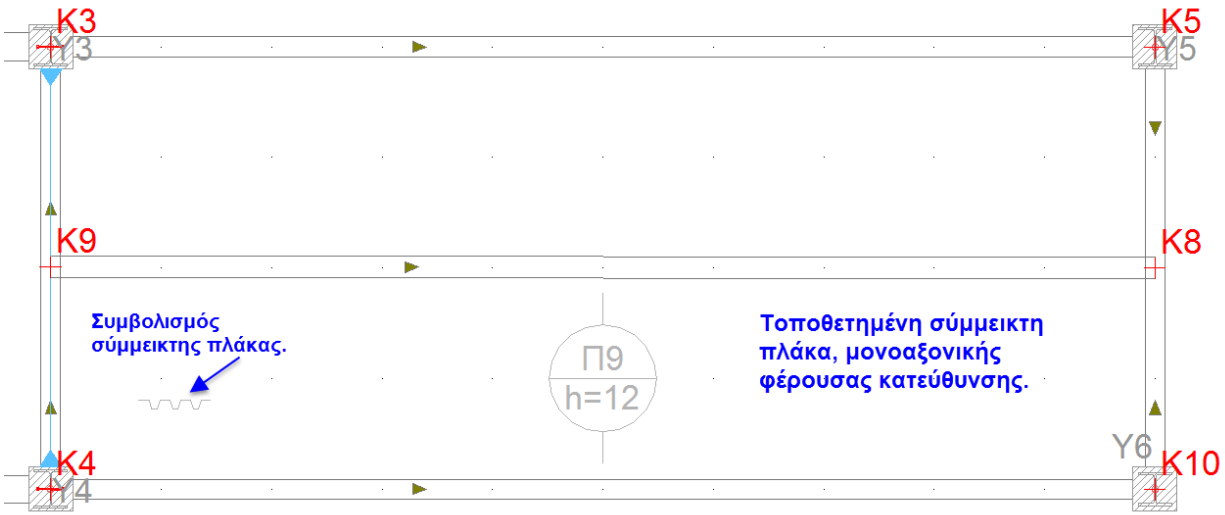
6.3 Εισαγωγή σύμμεικτων πλακών.

Από το φύλλο ¨Πλάκες – Πέδιλα’ εισάγομε τα δεδομένα γεωμετρίας, χαλυβδόφυλλου, φορτίων και οπλισμών της πλάκας. Επιλέγομε τα δεδομένα της πλάκας.



Εικόνα 12 – Διαδικασία τοποθέτησης σύμμεικτης πλάκας.

Στην συνέχεια τοποθετούμε την σύμμεικτη πλάκα όπως και τις ολόσωμες πλάκες, ορίζοντας την ακολουθία των τεσσάρων γωνιακών κόμβων της.

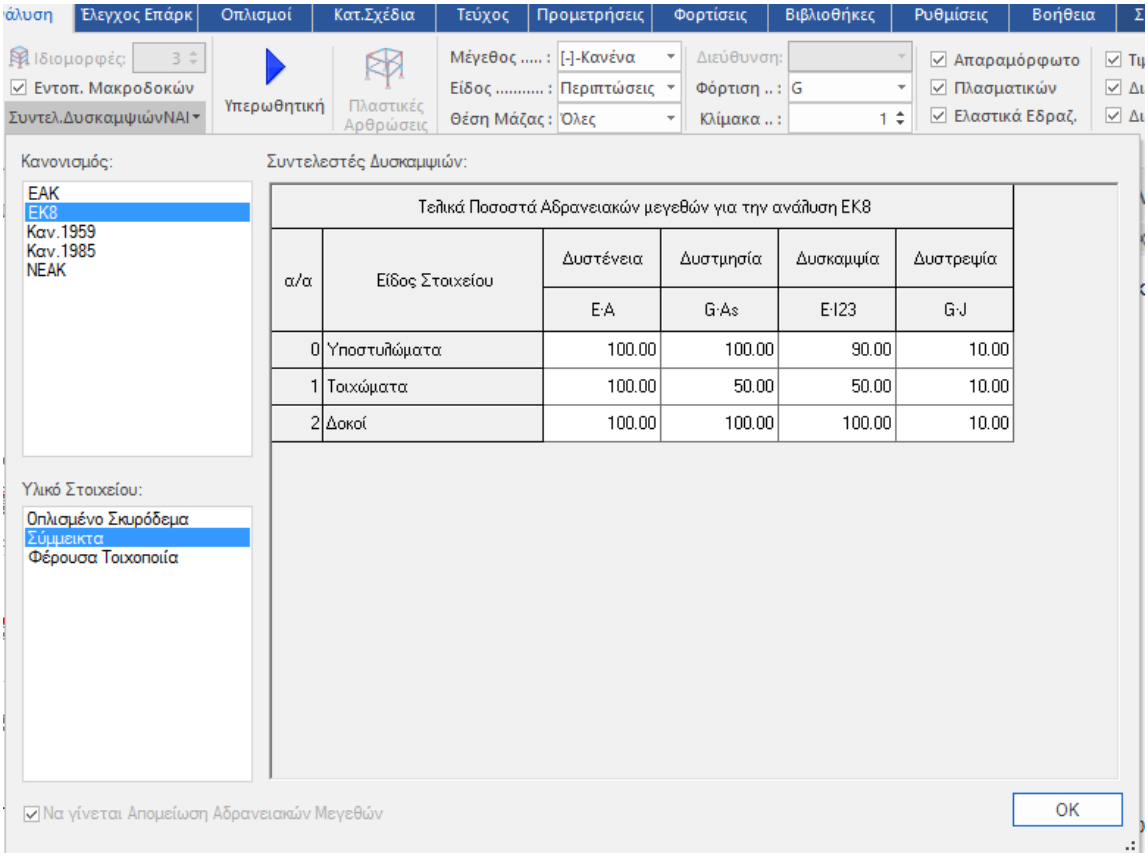


Εικόνα 13 – Σύμμεικτη πλάκα μετά την τοποθέτηση της.

6.4 Συντελεστές απομείωσης δυσκαμψιών :

Από το φύλλο 'Ανάλυση' στο πεδίο Άπομείωση δυσκαμψιών' , ανοίγει ο πίνακας προσδιορισμού της δυστένειας, δυστμησίας, δυσκαμψίας και δυστρεψίας για το δομικό σύστημα 'Σύμμεικτα' και ανά είδος δομικού μέλους.

Οτι αφορά την δυσκαμψία των υποστυλωμάτων και των τοιχωμάτων επιλέγομε 90%



Εικόνα 14 – Επιλογή συντελεστών απομείωσης δυσκαμψιών για την ανάλυση.

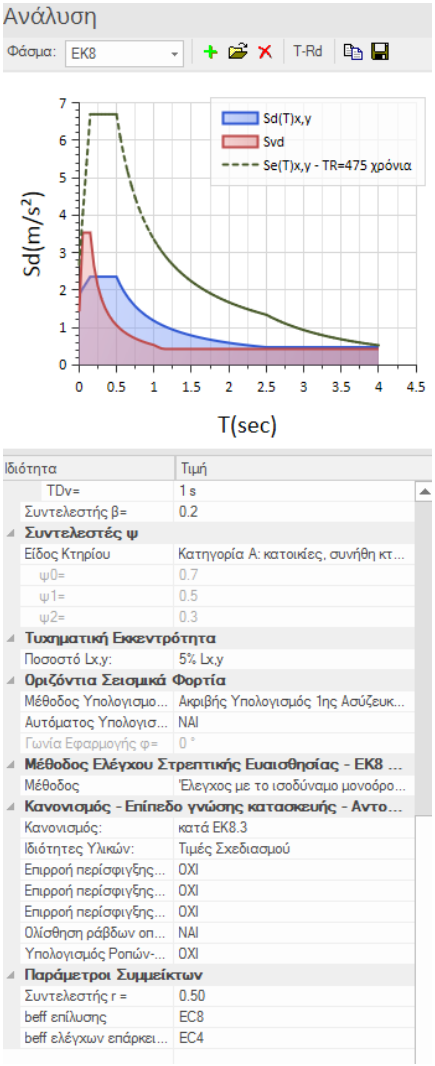
Σε περίπτωση που δεν επιθυμούμε απομείωση δυσκαμψιών, επιλεγομε αντίστοιχα το κλάτω αριστερό πεδίο.

6.5 Επιλογή υπολογισμού συνεργαζόμενου πλάτους.

Στις επιλογές παραμέτρων επίλυσης της δεξιάς πινακίδας, υπάρχουν οι επιλογές των παραμέτρων υπολογισμού για τα σύμμεικτα μέλη.

Ο συντελεστής r είναι ο συντελεστής μείωσης της ρηγματωμένης διατομής του σκυροδέματος (r=0.5) βλ. § 5.6 παρόντος.

΄Στις επιλογές των συνεργαζόμενων πλατών beff ανάλυσης και beff ελέγχων επάρκειας, επιλέγονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές ποιου κανονισμού θα υπολογισθεί το



Εικόνα 15 – Επιλογές παραμέτρων επίλυσης και επάρκειας συμμείκτων μελών.

συνεργαζόμενο πλάτος για την ανάλυση και για τον υπολογισμό των ροπών αντοχής. (βλ. § 4.1.2.1 παρόντος)

7. Βιβλιογραφία.

[1] ΕΛΟΤ ΕΝ 1994.01 Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός σύμμεικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα. - Μέρος 1-1:

[2] ΕΛΟΤ ΕΝ 1998.01 Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών - Μέρος 1

[3] Ιωάννης Βάγιας : Σύμμικτες Κατασκευές – Εκδόσεις Κλειδάριθμος 2001

[4] Helmut Bode : Euro-Verbundbau – Werner Verlag 1998

[5] Lawrence-Purkiss : Structural Design of Steelwork to EN 1993 & EN 1994 – Elsevier 2008



ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΟΙΚΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Καρτερού 60, 71201 Ηράκλειο - Τηλ.: 2810.332684
www.tol.com.gr info@tol.com.gr

Copyright © 2008-2011