

Εγκιβωτισμένες σιδηροδοκοί τραπεζοειδούς μορφής σε σκυρόδεμα – Σχεδιασμός, ανάλυση, κατασκευή Hollow steel profiles integrated in concrete Design, analysis and construction

Άρης ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΣ¹, Simo PELTONEN²

Λέξεις κλειδιά: εγκιβωτισμένες σιδηροδοκοί, σύμμικτες κατασκευές, Deltabeam

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Στο παρόν άρθρο παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο στοιχεία για τη διαστασιολόγηση και κατασκευή εγκιβωτισμένων σε σκυρόδεμα σιδηροδοκών τραπεζοειδούς διατομής, γνωστές και ως Deltabeams. Αρχικά πραγματοποιείται περιγραφή και αποτίμηση των πλεονεκτημάτων εφαρμογής των συγκεκριμένων δοκών τόσο σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, όσο και δομικό χάλυβα. Στη συνέχεια περιγράφεται ο στατικός υπολογισμός για οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας και αστοχίας με λεπτομερείς αναφορές στους Ευρωκώδικες 2, 4 και τη βιβλιογραφία. Στο τέλος της εργασίας συζητώνται οι λόγοι για την επιλογή της δοκού στη νέα επέκταση του αεροδρομίου της Φρανκφούρτης και δίνονται συστάσεις για παρόμοιες εφαρμογές στην Ελλάδα.

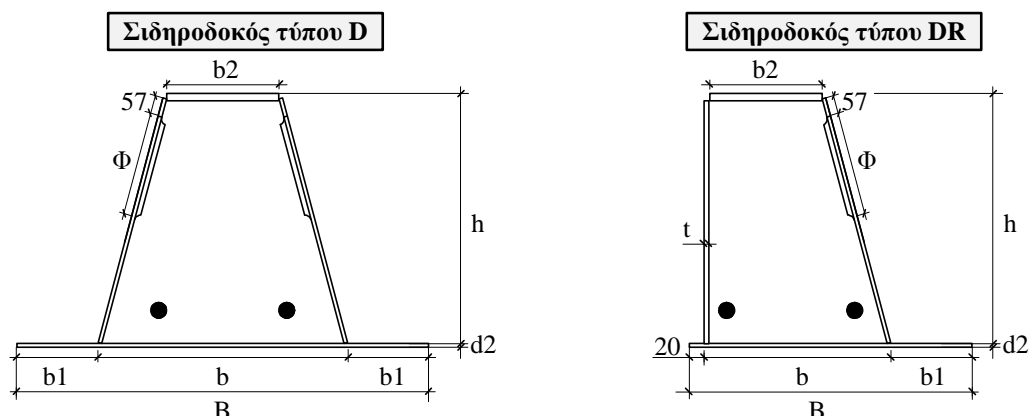
ABSTRACT: The present article describes the dimensioning and the construction procedure of hollow steel profiles integrated in concrete, also known as Deltabeams. The advantages of using this kind of beams in steel and concrete structures are presented and the calculations for ultimate and serviceability limit states are performed. Conclusions from the application of the Deltabeams to the Frankfurt air rail project are discussed and suggestions for similar applications in Greece are given.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία είκοσι χρόνια ο εγκιβωτισμός σιδηροδοκών τραπεζοειδούς μορφής σε σκυρόδεμα αποτελεί συνήθη κατασκευαστική πρακτική σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες. Με τον τρόπο αυτόν δημιουργούνται επίπεδες οροφές (slim floors), επιτυγχάνοντας έτσι άριστο αρχιτεκτονικό αποτέλεσμα, μεγάλη εξοικονόμηση χώρου και σημαντική μείωση υλικών. Οι δοκοί είναι γνωστές με την ονομασία Deltabeams και μια σύντομη περιγραφή τους παρουσιάζεται στο **Σχήμα 1**.

¹ Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Διδάκτωρ Πανεπιστημίου Ruhr-Uni Bochum,
email: iliop78@otenet.gr

² Πολιτικός Μηχανικός M.Sc., Peikko Group, Φινλανδία, email: simo.peltonen@peikko.com



Τυπικές διαστάσεις ενδιάμεσης δοκού D (mm)

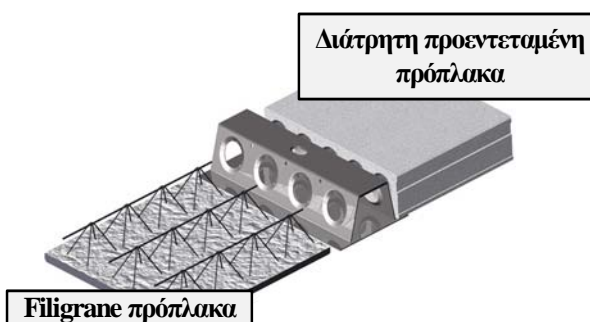
	b1	b	B	d2	h	t	Φ	b2
min	97.5	200	395	5	200	6	80	100
max	130	600	860	25	500	12	150	330

Τυπικές διαστάσεις ακραίας δοκού DR (mm)

	b1	b	B	d2	h	t	Φ	b2
min	100	215	335	5	200	6	80	148
max	130	350	500	25	500	12	150	210

Σχήμα 1. Τυπικές διαστάσεις της μεταλλικής δοκού Deltabeam

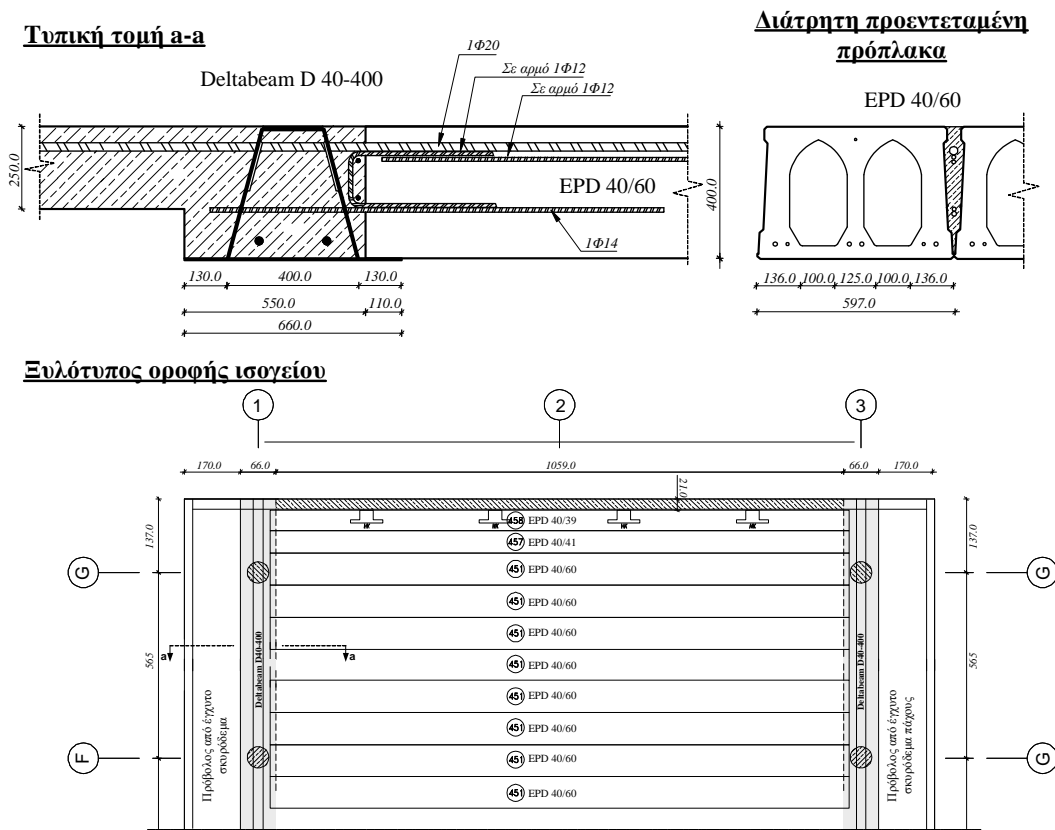
Όπως παρατηρεί κανείς, οι σιδηροδοκοί έχουν διευρυμένο το κάτω πέλμα προς διευκόλυνση έδρασης προκατασκευασμένων στοιχείων, βλ. Σχήμα 2. Οι κορμοί είναι διάτρητοι με οπές ανά 300 mm, απαραίτητες για την πλήρωση του εσωτερικού μέρους της δοκού με σκυρόδεμα και τη διέλευση εγκάρσιων οπλισμών. Η συνήθης ποιότητα δομικού χάλυβα είναι S355J2+N σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 3. Σε ειδικές περιπτώσεις ανάληψης ισχυρών φορτίσεων χάλυβες υπερυψηλής αντοχής S420 και S460 δύνανται να χρησιμοποιηθούν.



Σχήμα 2. Συνεργασία Deltabeam με πρόπλακες

Η διατομή του Deltabeam είναι κατάλληλα σχεδιασμένη, ώστε να μπορεί να αναλάβει χωρίς υποστήριξη τα φορτία των προκατασκευασμένων στοιχείων και του νωπού σκυροδέματος κατά τη φάση κατασκευής. Η κλειστή της μορφή της δίνει παράλληλα τη δυνατότητα ταυτόχρονης παραλαβής στρεπτικών εντάσεων, ιδιαίτερα επιθυμητό σε περιπτώσεις ακραίων δοκών.

Μετά το στήσιμο και τη σκυροδέτηση μορφώνεται μια σύμμικτη δοκός ιδιαίτερα υψηλής δυσκαμψίας και αντοχής, κατάλληλη για την κάλυψη εντυπωσιακά μεγάλων φανωμάτων. Στο **Σχήμα 3** παρουσιάζεται ενδεικτικά μια τέτοια περίπτωση σε χώρο καταστημάτων στο Düsseldorf της Γερμανίας. Η δοκός εδράζεται σε υποστυλώματα από σκυρόδεμα δημιουργώντας έτσι συνεχή δοκό ανοιγμάτων 5.65m. Από την μια πλευρά της δοκού τοποθετούνται διάτρητες προεντεταμένες πρόπλακες 597x400 με μήκος 10.81m, ενώ από την άλλη σκυροδετείται πρόβολος πάχους 250mm. Η φάση κατασκευής πραγματοποιείται με ικριώματα μόνο για την πλευρά του προβόλου, αφήνοντας ελεύθερο ολόκληρο τον εσωτερικό χώρο για την απρόσκοπτη συνέχιση των εργασιών.



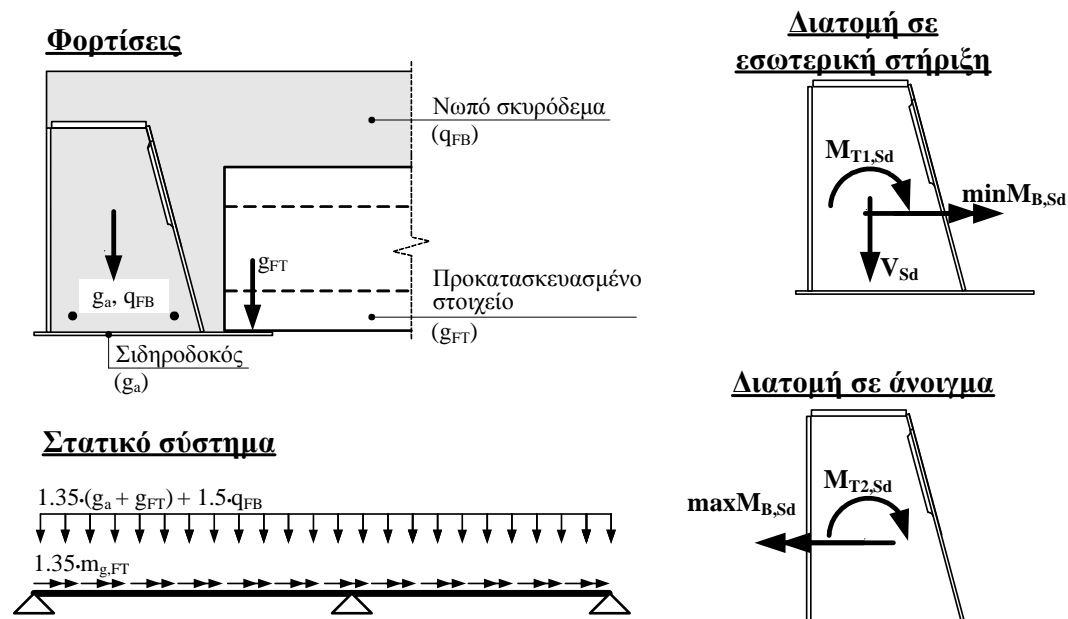
Σχήμα 3. Εφαρμογή δοκού Deltabeam σε χώρο καταστημάτων

Η δοκός Deltabeam συνδέεται τόσο με υποστυλώματα από σκυρόδεμα όσο και από δομικό χάλυβα. Γενικώς, η πραγματοποίηση διάφορων μορφών συνδέσεων (αρθρώσεις – πακτώσεις) και με ποικίλα συνδετικά μέσα (μεταλλικοί τάκοι, ντίζες, μετωπικές λεπίδες κ.α.) είναι εφικτή.

ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΕ ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας μιας εγκιβωτισμένης σε σκυρόδεμα σιδηροδοκού θα πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ της φάσης κατασκευής και της οριστικής φάσης. Κατά τη φάση κατασκευής τα ίδια βάρη της δοκού, των προκατασκευασμένων στοιχείων και του νωπού σκυροδέματος αναλαμβάνονται πλήρως από τη σιδηρά διατομή. Μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος τα συνολικά φορτία και με τους κατάλληλους συντελεστές ασφαλείας αναλαμβάνονται από τη σύμμικτη διατομή.

Η έδραση των προκατασκευασμένων στοιχείων στα Deltabeams είναι δυνατόν να προκαλέσει ταυτόχρονη συνύπαρξη κάμψης και στρέψης. Ιδιαίτερα σε ακριανές δοκούς η αλληλεπίδραση των δύο αυτών φαινομένων δύναται να είναι ιδιαίτερα ισχυρή, βλ. Σχήμα 4. Το ίδιο βάρος των προκατασκευασμένων στοιχείων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με βάση την κατάλληλη εκκεντρότητα, ώστε να εφαρμόζονται στο στατικό σύστημα τα αντίστοιχα στρεπτικά φορτία. Το νωπό σκυρόδεμα θεωρείται ως κινητό φορτίο και στο συνδυασμό για οριακή κατάσταση αστοχίας πολλαπλασιάζεται με συντελεστή ασφαλείας 1.5.



Σχήμα 4. Ακραία δοκός Deltabeam σε φάση κατασκευής

Μετά τη στατική ανάλυση και τον αριθμητικό υπολογισμό των εντατικών μεγεθών υπολογίζεται η αντοχή της μεταλλικής δοκού σε κάμψη, διάτμηση και στρέψη βάσει των διατάξεων του Ευρωκώδικα 3. Γενικά, λόγω της κλειστής της διατομής η δοκός Deltabeam αναπτύσσει υψηλή στρεπτική αντοχή, χωρίς να προβληματίζει για την ανάπτυξη φαινομένων αστάθειας ή στρέβλωσης.

Στην περίπτωση που η δοκός δεν θεωρηθεί επαρκής μπορεί να υποστηριχθεί μέσω προσωρινής στήριξης. Μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος η στήριξη αφαιρείται και το τελικό στατικό σύστημα παίρνει διαφορετική μορφή. Αν η δοκός εγκιβωτίζεται σε συμπαγή πλάκα από έγχυτο σκυρόδεμα με συνεχή υποστήριξη κατά τη σκυροδέτηση, τότε είναι προφανές ότι κατά τη φάση κατασκευής δεν απαιτείται απολύτως κανένας έλεγχος.

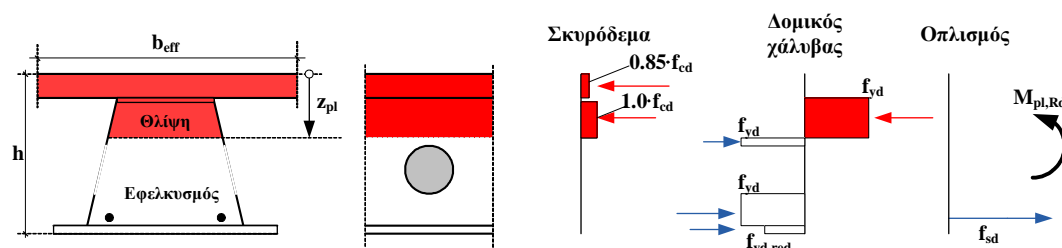
ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΦΑΣΗ

Η σύμμικτη διατομή πρέπει να ελεγχθεί για τα φορτία οριακής κατάστασης αστοχίας βάσει των διατάξεων του Ευρωκώδικα 4. Επειδή ο συγκεκριμένος κανονισμός δεν καλύπτει πλήρως όλα τα θέματα υπολογισμού εγκιβωτισμένων σιδηροδοκών σε σκυρόδεμα αναφορά γίνεται και στις Γερμανικές οδηγίες (Z-26.2-49) για την εφαρμογή των δοκών Deltabeams σε κτιριακά έργα.

Αντοχή σε κάμψη

Στις σύμμικτες δοκούς και κατά συνέπεια στα Deltabeams η φέρουσα ικανότητα σε κάμψη υπολογίζεται με βάση την παραδοχή πλήρους πλαστικοποίησης της διατομής. Αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι ενώ το κάτω εφελκυσμένο πέγμα εισέρχεται στην περιοχή της κράτυνσης, το σκυρόδεμα παρουσιάζει αρκετά μικρές ανηγμένες παραμορφώσεις. Η φέρουσα ικανότητα που έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά ότι αναπτύσσεται είναι πρακτικά ίση με την πλαστική ροπή αντοχής.

Ο υπολογισμός της πλαστικής ροπής αντοχής $M_{pl,Rd}$ είναι απλός κι έχει να κάνει με τον εντοπισμό του πλαστικού ουδέτερου άξονα z_{pl} από την την ισορροπία των εσωτερικών δυνάμεων, βλ. **Σχήμα 5**.



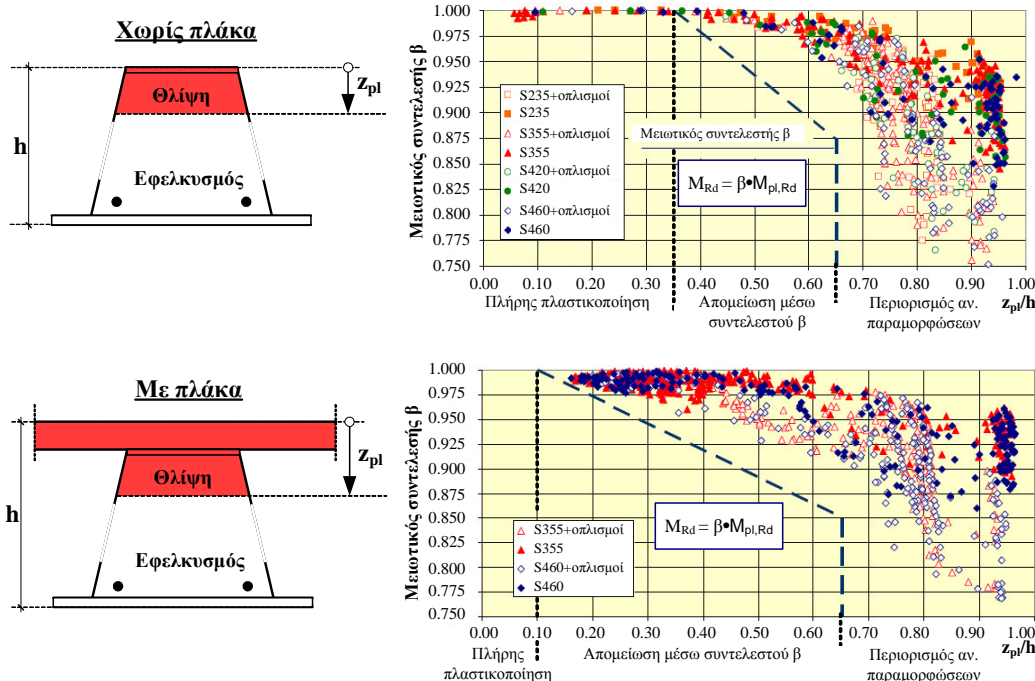
Σχήμα 5. Υπολογισμός πλαστικής ροπής αντοχής

Παρατηρεί κανείς ότι το σκυρόδεμα μεταξύ των κορμών επιτρέπεται να ληφθεί υπόψη χωρίς απομείωση του μέτρου θλιπτικής αντοχής. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη συνθηκών τριαξονικής θλίψης στο εσωτερικό της σιδηράς διατομής, βλ.

Shäfer, M. (2007). Αντιθέτως, το όριο διαρροής του χάλυβα για το κάτω εφελκόμενο πέλμα πρέπει να ληφθεί απομειωμένο λόγω της αλληλεπίδρασης με την εγκάρσια κάμψη των προεξέχοντων τμημάτων από την έδραση των προκατασκευασμένων στοιχείων, βλ. Γερμανικές οδηγίες (Z-26.2-49).

Όπως προαναφέρθηκε ο υπολογισμός της πλαστικής ροπής αντοχής βασίζεται στη δυνατότητα της διατομής να υπεισέλθει σε κατάσταση πλήρους πλαστικοποίησης. Διατομές στις οποίες η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα είναι αρκετά χαμηλή, δηλ. με μεγάλη θλιβόμενη ζώνη, αστοχούν για επίπεδα φόρτισης μικρότερα από αυτά της πλαστικής ροπής αντοχής. Αυτό εξηγείται από την πρώιμη αστοχία του σκυροδέματος λόγω εισαγωγής υπέρμετρης θλίψης.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται πειραματικές καμπύλες αντοχής για δοκούς με και χωρίς πλάκα σκυροδέματος. Η εξάρτηση της φέρουσας ικανότητας από τη θέση του ουδέτερου άξονα γίνεται εύκολα αντιληπτή. Σε Deltabeams χωρίς πλάκα σκυροδέματος και με $z_{pl} / h \geq 0.35$ η πλαστική ροπή αντοχής $M_{pl,Rd}$ πρέπει να απομειωθεί μέσω του συντελεστή β . Για $z_{pl} / h \geq 0.65$ η θλιβόμενη ζώνη καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της διατομής και η δοκός συμπεριφέρεται ουσιαστικά σαν 'υποστύλωμα'. Η ροπή αντοχής πρέπει πια να υπολογισθεί μέσω περιορισμού των ανηγμένων παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα με επαναληπτική διαδικασία. Δυσμενέστερες τιμές για τον μειωτικό συντελεστή β ισχύουν για την περίπτωση ύπαρξης πλάκας.



Σχήμα 6. Μειωτικός συντελεστής β για δοκούς Deltabeams με και χωρίς πλάκα από σκυρόδεμα

Η αρνητική ροπή αντοχής επιτρέπεται να υπολογισθεί μέσω της παραδοχής πλήρους πλαστικοποίησης στην περίπτωση που τα θλιβόμενα μέρη της σιδηράς διατομής δεν αστοχούν λόγω εμφάνισης τοπικού λυγισμού. Απομείωση της καμπτικής φέρουσας ικανότητας λόγω δυσμενούς θέσης του ουδέτερου άξονα δεν προβλέπεται.

Αντοχή σε διάτμηση

Η διατμητική αντοχή της σύμμικτης διατομής υπολογίζεται από την μόρφωση ενός ιδεατού δικτυώματος στην αντοχή του οποίου συνεισφέρουν τόσο το σκυρόδεμα, όσο και ο δομικός χάλυβας, βλ. **Σχήμα 7**.

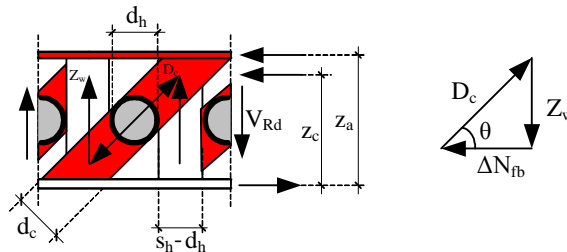
Στοιχεία του δικτυώματος αποτελούν οι θλιπτήρες σκυροδέματος D_c , οι ορθοστάτες από χάλυβα μεταξύ των οπών Z_w και τα πέλαμα της σιδηράς διατομής. Η συνολική αντοχή V_{Rd} δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$V_{Rd} = V_{Rd,a} + V_{Rd,c} \quad (1)$$

όπου

$V_{Rd,a}$: Η διατμητική αντοχή του μεταλλικού μέρους σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 3

$V_{Rd,c}$: Διατμητική αντοχή που υπολογίζεται μέσω δικτυώματος



Σχήμα 7. Δικτύωμα ανάληψης διατμητικής έντασης

Η $V_{Rd,c}$ υπολογίζεται ως η ελάχιστη τιμή της αντοχής του μεταλλικού ορθοστάτη $V_{Rd,dy}$ ή του θλιπτήρα σκυροδέματος $V_{Rd,\theta}$, δηλ.:

$$V_{Rd,c} = \min(V_{Rd,\theta}, V_{Rd,dy}) \quad (2)$$

Η αντοχή του μεταλλικού ορθοστάτη $V_{Rd,dy}$ αντιπροσωπεύεται από την πλαστική αξονική της δύναμης Z_w στο Σχήμα 7 και είναι ίση με:

$$V_{Rd,dy} = 2 \cdot (s_h - d_h) \cdot t_w \cdot f_{yd} \quad (3)$$

Η οριακή δύναμη που μπορεί να αναπτύξει ο θλιπτήρας δίνεται από την Εξ.(4):

$$V_{Rd,\theta} = 0.5 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \sin 2\theta \quad (4)$$

όπου:

$$z = z_a \cdot \left[1 - \frac{A_{c,pl} \cdot f_{cd}}{A_{fu} \cdot f_{yd}} \cdot \left(1 - \frac{z_c}{z_a} \right) \right] \quad (5)$$

z_a : η απόσταση μεταξύ των κέντρων βάρους του άνω και κάτω πέλματος της σιδηράς διατομής

z_c : η απόσταση της συνισταμένης θλιπτικής δύναμης στο σκυρόδεμα από το κάτω πέλμα, βλ. Σχήμα 7

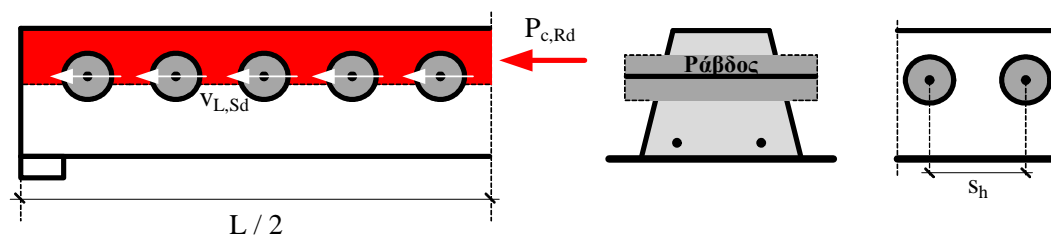
θ : η γωνιά κλίσης του θλιπτήρα, η οποία απλοποιητικά επιτρέπεται να λαμβάνεται ίση με 45°

$A_{c,pl}$: η επιφάνεια της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος

b_w : ενεργό πλάτος θλιπτήρα, εξαρτώμενο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μεταλλικής διατομής και την ποιότητα του σκυροδέματος, βλ. Γερμανικές οδηγίες Z-26.2-49.

Διατμητική κάλυψη

Για την συνεργασία μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα δεν απαιτείται πρόσθετη διάταξη διατμητικών συνδέσμων, όπως π.χ. ήλοι κεφαλής. Η συνάφεια εξασφαλίζεται μέσω των ράβδων σκυροδέματος, οι οποίες διαπερνούν τις οπές της σιδηράς διατομής, βλ. Σχήμα 8.



Σχήμα 8. Αναπτυσσόμενη διατμητική ροή

Μεταξύ των δύο υλικών υφίσταται διατμητική ροή $v_{L,Sd}$ ίση με την οριακή δύναμη που αναπτύσσεται στο σκυρόδεμα διαιρεμένη με το ημιμήκος της δοκού, δηλ:

$$v_{L,Sd} = \frac{P_{c,Rd}}{L/2} \quad (6)$$

Η $v_{L,Sd}$ πρέπει να είναι μικρότερη της οριακής διατμητικής ροής v_{Rd1} των ράβδων δηλ.:

$$v_{Rd1} = \frac{V_{Rd1}}{S_h} \geq v_{L,Sd} \quad (7)$$

Η V_{Rd1} υπολογίζεται εύκολα μέσω του ΕΚΩΣ ή του Ευρωκώδικα 2. Τονίζεται ότι οι οπλισμοί που διέρχονται των οπών επιτρέπεται να διατάσσονται σε απόσταση πολλαπλάσια της s_h .

ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

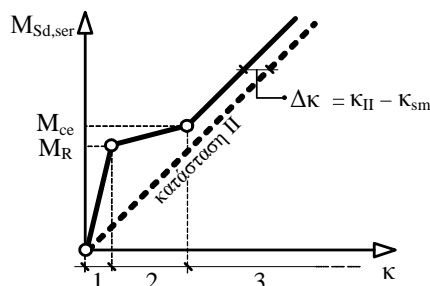
Ο έλεγχος για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας περιορίζεται βασικά στον περιορισμό των παραμορφώσεων. Ο περιορισμός της ρηγμάτωσης επιτρέπεται να αμεληθεί μιας και οι εφελκόμενες ίνες καλύπτονται από το κάτω πέλμα της σιδηροδοκού και κατά συνέπεια οι όποιες αναπτυσσόμενες ρωγμές δεν είναι πλέον ορατές.

Βασικό ρόλο στον υπολογισμό των παραμορφώσεων παίζει η ρηγμάτωση, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από τη δρώσα ροπή που αναπτύσσεται στην εκάστοτε διατομή. Διατομές στις οποίες η δρώσα ροπή $M_{Sd,ser}$ δεν ξεπερνά τη ροπή ρηγμάτωσης M_R επιτρέπεται στον υπολογισμό της δυσκαμψίας να λαμβάνεται υπόψη και η εφελκόμενη ζώνη του σκυροδέματος. Αντίθετα, σε ρηγματωμένες περιοχές η δυσκαμψία εκτιμάται μέσω γραμμικής παρεμβολής μεταξύ της αρηγμάτωσης κατάστασης I και της κατάστασης πλήρους ρηγμάτωσης II. Στη συνέχεια και μέσω αριθμητικής ολοκλήρωσης των καμπυλοτήτων υπολογίζονται οι βυθίσεις.

Όταν το σκυρόδεμα παραμένει αρηγμάτωτο, τότε η δυσκαμψία υπολογίζεται μέσω μετατροπής του σκυροδέματος σε επιφάνεια χάλυβα ισοδύναμων αδρανειακών χαρακτηριστικών, βλ. περιοχή 1 στο **Σχήμα 9**.

Μόλις η δρώσα ροπή ξεπεράσει την ροπή ρηγμάτωσης M_R ξεκινάει μια διαδικασία γέννησης ρωγμών (περιοχή 2), η οποία σηματοδοτεί μια απότομη πτώση της δυσκαμψίας της διατομής. Η ροπή ρηγμάτωσης υπολογίζεται από την επόμενη σχέση:

$$M_R = f_{ct} \cdot \frac{I_{i,0}}{z_{cu}} \cdot n_0 \quad (8)$$



Σχήμα 9. Γραμμικοποιημένο διάγραμμα ροπών – καμπυλοτήτων

Στην Εξ.(8) f_{ct} είναι η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, $I_{i,0}$ η ισοδύναμη ροπή αδρανείας της σύμμικτης διατομής, z_{cu} η συντεταγμένη της κατώτερης εφελκυσόμενης ίνας σκυροδέματος και n_0 ο συντελεστής μετατροπής του σκυροδέματος σε χάλυβα.

Στην περιοχή 3 δεν δημιουργούνται πλέον νέες ρωγμές, αλλά οι ήδη υπάρχουσες αυξάνουν το εύρος τους. Όπως, παρατηρεί κανείς η δυσκαμψία της διατομής είναι πρακτικά σταθερή και ίση με τη δυσκαμψία αυτής στην κατάσταση II. Οι καμπυλοότητες, ωστόσο, είναι μειωμένες κατά τον όρο κ_{sm} . Ο όρος αυτός εκφράζει τη συνεισφορά του αρηγμάτωτου σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών (tension stiffening) και εξαρτάται από την ποιότητα του σκυροδέματος και το ποσοστό του εφελκυσμένου οπλισμού, βλ. Roik, K., Bergmann, R., Haensel, J., Hanswille, G. (1999) και Ghali, A., Favre, R. (1986).

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη ο όρος κ_{sm} στους υπολογισμούς των βελών ο Ευρωκώδικας 2 επιτρέπει για τις τελικές τιμές των καμπυλοτήτων την παρεμβολή μεταξύ των καταστάσεων I και II. Προς κατανόηση όλων των παραπάνω προσφέρεται το **Σχήμα 10**.

Ο όρος ζ έχει εκτιμηθεί πειραματικά και υπολογίζεται μέσω της Εξ. (9):

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (\sigma_s / \sigma_R)^2 \quad (9)$$

όπου

$\beta_1 = 1.0$: για χάλυβα με νευρώσεις

$\beta_2 = 1.0$: για μονοτονικές βραχυχρόνιες φορτίσεις

$\beta_2 = 0.5$: για μακροχρόνιες ή επαναλαμβανόμενες φορτίσεις

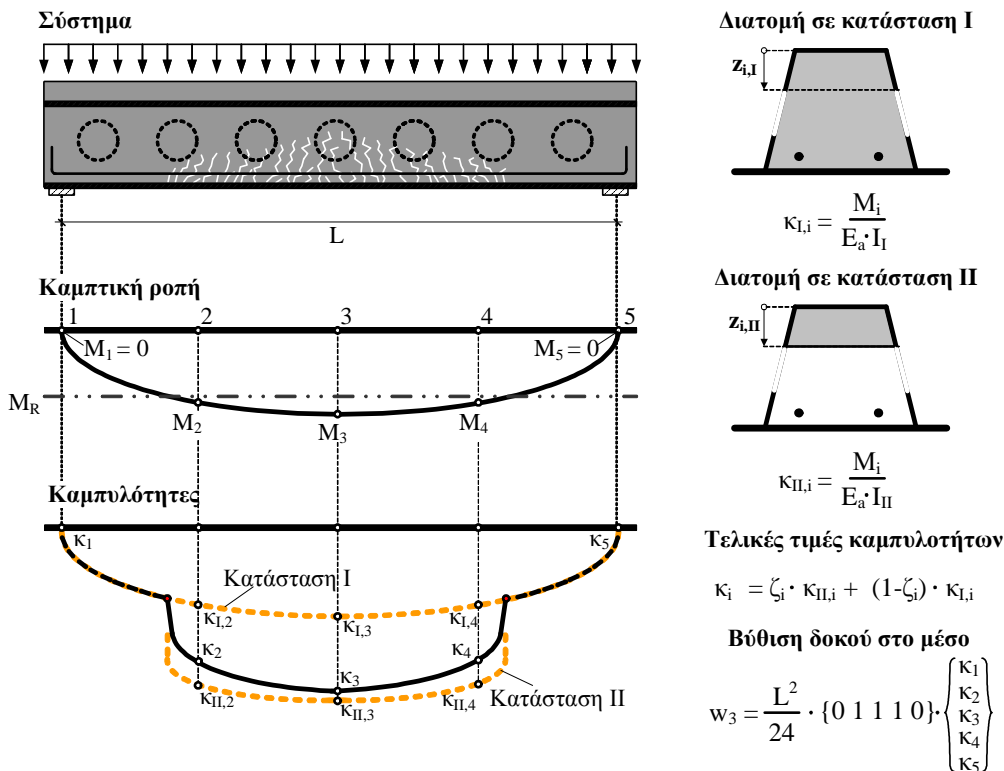
σ_R : Τάση οπλισμού λόγω της M_R πριν την έναρξη της ρηγμάτωσης, βλ. Εξ.(8)

σ_s : Τάση οπλισμού για κατάσταση πλήρους ρηγμάτωσης II

Για τα μόνιμα φορτία η επιρροή του ερπυσμού επιτρέπεται να ληφθεί υπόψη μέσω ενός απομειωμένου μέτρου ελαστικότητας για το σκυρόδεμα σύμφωνα με την επόμενη σχέση:

$$E_{c,\phi} = E_{cm} / (1 + 1.10 \cdot \phi_t) \quad (10)$$

με ϕ_t τον ερπυστικό συντελεστή κατά Ευρωκώδικα 2, εξαρτώμενο από τις διαστάσεις της διατομής σκυροδέματος και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και E_{cm} το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος.



Σχήμα 10. Σύνοψη μεθόδου υπολογισμού των βυθίσεων

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σιδηροδοκός Deltabeam εγκιβωτίζεται στο σκυρόδεμα προσφέροντας μια σειρά από αισθητικά, κατασκευαστικά και στατικά πλεονεκτήματα. Κύρια χαρακτηριστικά της αποτελούν η δυνατότητα συνεργασίας της με προκατασκευασμένα στοιχεία προς αποφυγή υποστήριξης κατά τη σκυροδέτηση και η υψηλή φέρουσα ικανότητά της έναντι στρέψης. Η σύνδεση της δοκού τόσο με υποστυλωματα από σκυρόδεμα, όσο κι από δομικό χάλυβα είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους όπως μετωπικές λεπίδες, ντίζες και μεταλλικούς τάκους.

Η δοκός συνηθίζεται να συνδυάζεται με διάτρητες προεντεταμένες πρόπλακες προς μείωση του συνολικού ίδιου βάρους ολόκληρης της κατασκευής. Με τον τρόπο αυτόν μεταφέρονται στο έδαφος μειωμένα φορτία και αντιμετωπίζονται αποτελεσματικότερα δυναμικές καταπονήσεις από άνεμο και σεισμό. Αυτός είναι και ο λόγος επιλογής της δοκού σε ένα από τα μεγαλύτερα τεχνικά έργα με εγκιβωτισμένες σιδηροδοκούς στη Γερμανία, την επέκταση του αεροδρομίου της

Φρανκφούρτης. Περισσότερα από 11 km δοκών Deltabeams κατασκευάστηκαν για την κάλυψη επιφάνειας 200 000 m². Πολλά από τα ανοίγματα φτάνουν τα 15 m για ωφέλιμα φορτία που ξεπερνούν τα 7.5 kN/m².

Τα Deltabeams μελετώνται συνδυαστικά μέσω των διατάξεων των Ευρωκωδίκων 2, 3, 4 και των Γερμανικών οδηγιών Z-26.2-49. Για την περίπτωση της Ελλάδας η δοκός προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί με διάτρητες προεντεταμένες πρόπλακες και συμπληρωματική σκυροδέτηση πλάκας ελάχιστου πάχους 7 cm. Με τον τρόπο αυτό μορφώνεται το επιθυμητό διάφραγμα και δημιουργούνται φατνώματα ιδιαίτερα μεγάλων διαστάσεων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά

Hanswille, G., Schäfer, M., “Zur praktischen Ermittlung der Verformungen von Verbundträgern und Flachdeckensystemen unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbundfuge”. Stahlbau 76 (2007), Heft 11, 845-854

Vimmr, V., “Der Deltabeam – Verbundträger. Eine große Chance für Hohldeckenelemente.”. Betonwerk + Fertigteil-Technik 11 (2008), 44-52

Βιβλία

Kindmann, R., Krahwinkel, M., “Stahl- und Verbundkonstruktionen”, B. G. Teubner Stuttgart, Leipzig (1999)

Βάγιας, Ι., “Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος (2^η Έκδοση), 2001

Ghali, A., Favre, R., “Concrete Structures: Stresses and Deformations”, Chapman and Hall, London (1986)

Κεφάλαια σε βιβλία

Kuhlmann, U., Fries, J., Leukart, M., “Bemessung von Flachdecken mit Hutprofilen”, Ernst & Sohn, Stahlbaukalender (2000), Kapitel 3, 464-564

Roik, K., Bergmann, R., Haensel, J., Hanswille, G., “Verbundkonstruktionen. Bemessung auf der Grundlage des Eurocode 4 Teil 1”, Ernst & Sohn, Betonkalender (1999), Teil II

Τεχνικές εκθέσεις

Hegger, J., Suttrop, W., Bülte, S., Günther, M., “Stahlgeschossbau - Deckensysteme”, Bauen mit Stahl, Dokumentation 614, Düsseldorf (2005)

Feldmann, M., Sedlacek, G., Bode, H., “Geschossbau in Stahl. Flachdecken -Systeme”, Bauen mit Stahl, Dokumentation 605, Düsseldorf (1998)

DELTABEAM, Firmenschrift Peikko Deutschland GmbH (2003)

Διδακτορικές διατριβές και διπλωματικές / μεταπτυχιακές εργασίες

Schäfer, M., “Zum Tragverhalten von Flachdecken mit integrierten hohlkastenförmigen Stahlprofilen”, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Bergische Universität, Wuppertal (2007)

Πρότυπα (standards)

Deutsches Institut für Bautechnik, “Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung”, Z-26.2-49, Berlin (2007)

Eurocode 2 (2004), “Design of Concrete Structures. Part 1: General rules and rules for buildings”

Eurocode 4 (2004), “Design of Composite Steel and Concrete Structures. Part 1: General rules and rules for buildings”