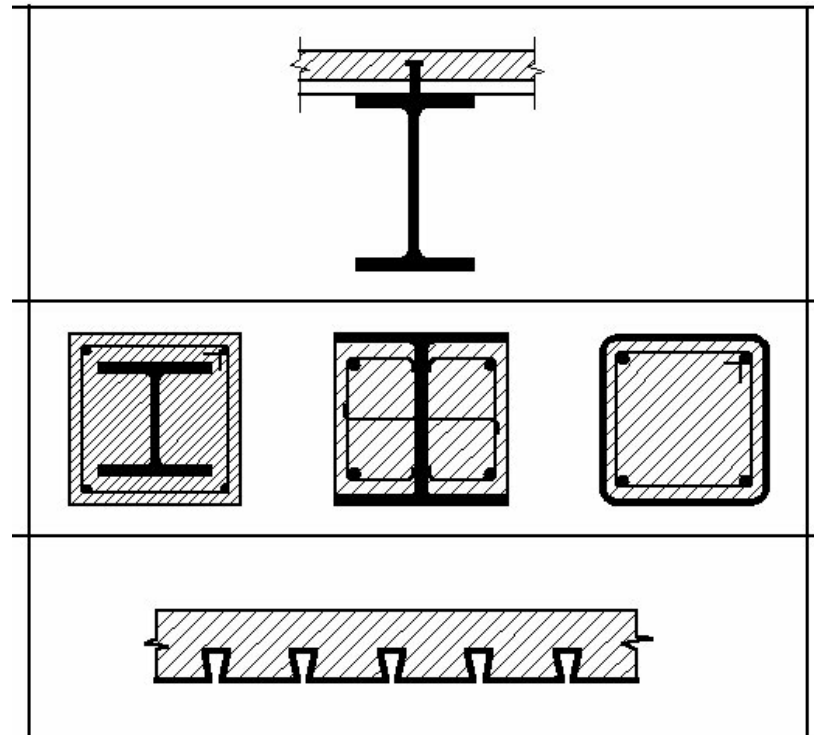


ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ

Άρης Αβδελάς, Καθηγητής
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Τα δομικά συστήματα στις σύμμικτες κτιριακές κατασκευές, αποτελούνται από δομικά στοιχεία σκυροδέματος που συνεργάζονται με δομικά στοιχεία από χάλυβα. Οι ανάγκες αντοχής, ακαμψίας και ευστάθειας της κατασκευής εξασφαλίζονται μέσα από την ενιαία λειτουργία τους. Τα σύμμικτα δομικά στοιχεία μπορούν να είναι:

- Σύμμικτες δοκοί ή δικτυώματα
- Εγκιβωτισμένα ή γεμισμένα με σκυρόδεμα σύμμικτα υποστυλώματα
- Σύμμικτες πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα ενισχυμένες με χαλυβδόφυλλα μορφής





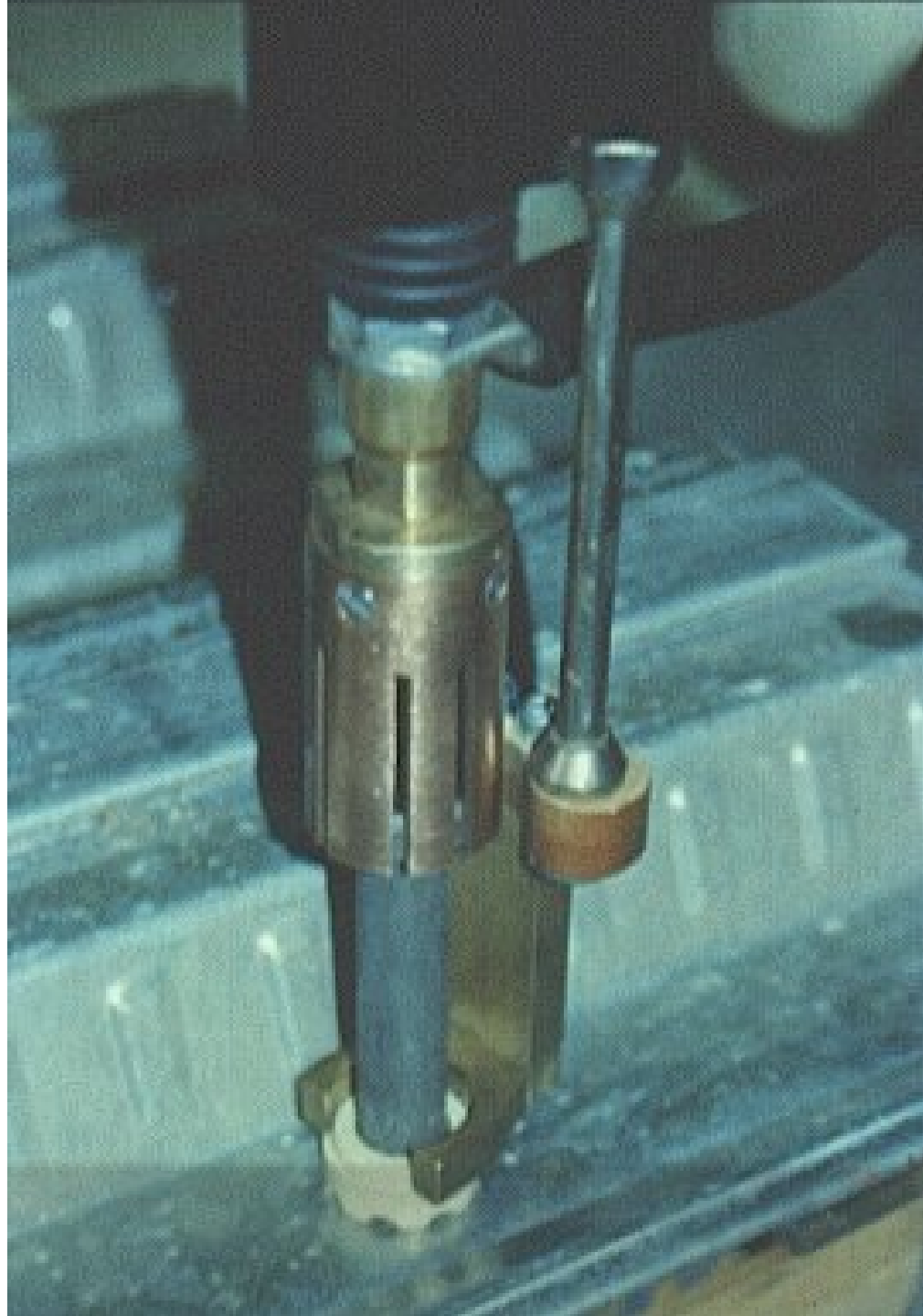


Flußmittel (Al)

Keramikring







Με τις μορφές αυτές, τα σύμμικτα δομικά στοιχεία χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια σαν μεμονωμένα στοιχεία στις μεταλλικές κτιριακές κατασκευές.

Η λειτουργία τους σαν συμμίκτων βασίζεται στην αξιοποίηση της παρουσίας του οπλισμένου σκυροδέματος για την παραλαβή των κατακόρυφων φορτίων.

- Πολλές φορές η συνεισφορά των συμμίκτων δομικών στοιχείων στην παραλαβή των οριζόντιων φορτίων ανέμου και σεισμού, ως στοιχείων ενός συνολικού δομικού συστήματος, αγνοείται.
- Η ανάπτυξη μιας συνολικής προσέγγισης όπου δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα και δομικά στοιχεία από δομικό χάλυβα χρησιμοποιούνται σαν συνεργαζόμενα στοιχεία μιας κατασκευής, είναι σχετικά νέα.

Είναι προφανές ότι η ανάπτυξη νέων τέτοιων συστημάτων προσφέρει μεγάλες δυνατότητες.

Πλαισιακά Συστήματα για την Παραλαβή Οριζόντιων Φορτίων

Η παρουσία τους είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του κτιρίου

Πρέπει να μπορούν να παραλάβουν τις παραμορφώσεις τις σχετικές με:

- Την απόκλιση από την ευθυγραμμία και την κατακορυφότητα των δομικών στοιχείων
- Την παραμόρφωση τη σχετική με τις οριζόντιες δυνάμεις.

Για κατασκευές μικρού και μεσαίου ύψους, η ανάλυση και ο σχεδιασμός αφορούν γενικά τον έλεγχο της δυνατότητας του συστήματος παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων να παραλάβει οριζόντιες δυνάμεις. Γενικά διακρίνουμε τρία βασικά είδη στοιχείων που παραλαμβάνουν οριζόντια φορτία:

- Πλαίσια που μπορούν να παραλάβουν ροπές
- Πλαίσια πλευρικά δύσκαμπτα
- Τοιχεία

Τα στοιχεία αυτά τοποθετούνται σε κατακόρυφα επίπεδα και συνήθως τοποθετούνται στην περίμετρο, στο εσωτερικό και στον πυρήνα της κατασκευής. Οι περισσότερες από τις κτιριακές κατασκευές περιλαμβάνουν αρκετά από τα παραπάνω στοιχεία.

Οι πρώτοι δύο τύποι* εφαρμόζονται στις σύμμικτες κατασκευές και θα εξετασθούν στα επόμενα.

- * Πλαίσια που μπορούν να παραλάβουν ροπές
- * Πλαίσια πλευρικά δύσκαμπτα

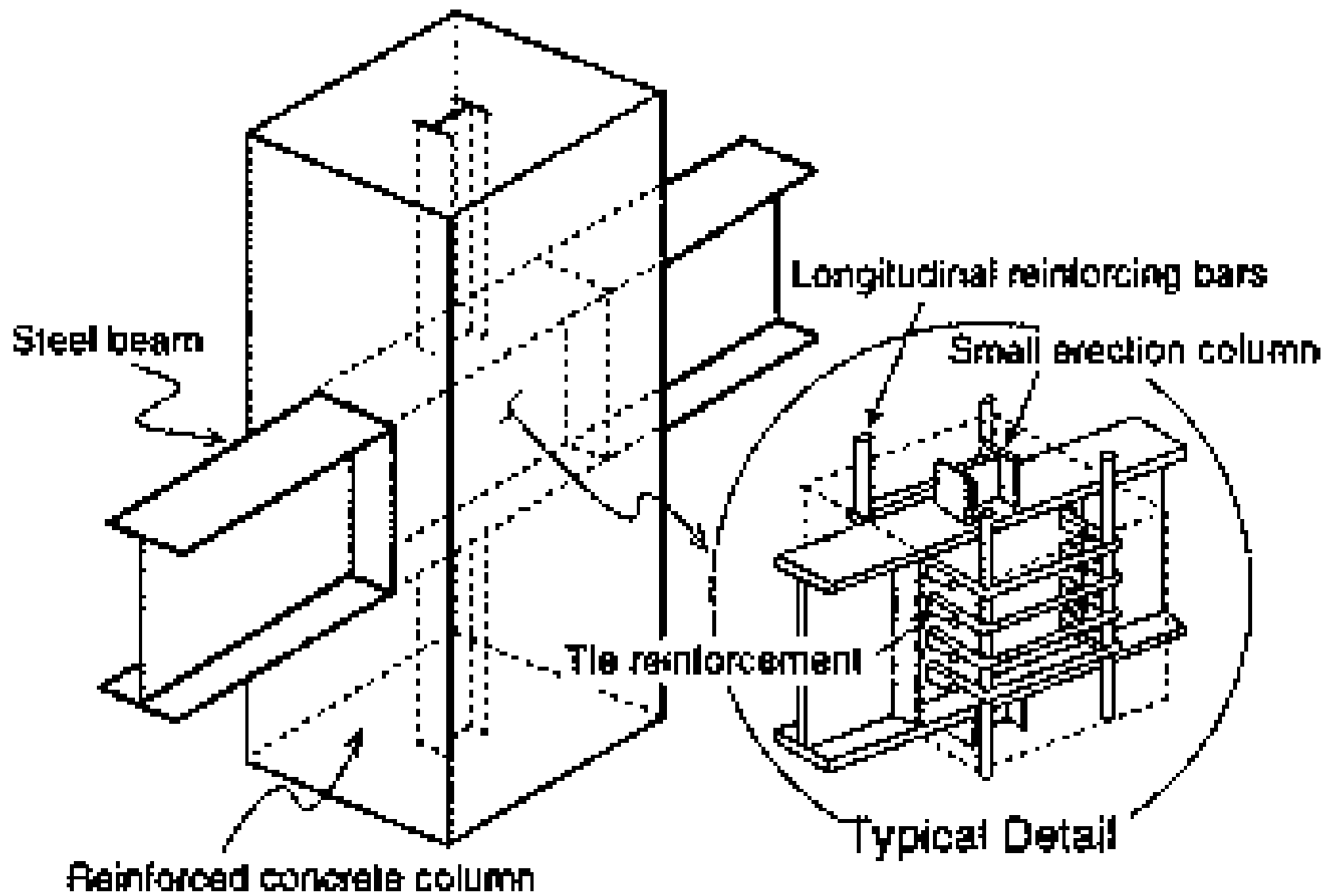
Σύμμικτα πλαίσια που μπορούν να παραλάβουν ροπές

Τα σύμμικτα πλαίσια είναι δυνατόν να αποτελούνται από:

- Χαλύβδινες δοκούς άκαμπτα συνδεδεμένες σε υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα



- Δοκούς οπλισμένου σκυροδέματος άκαμπτα συνδεδεμένες σε υποστυλώματα από χάλυβα.
- Δοκούς ή υποστυλώματα ή και τα δύο, που ως μεμονωμένα στοιχεία, είναι σύμμικτες κατασκευές από σκυρόδεμα και χάλυβα.





Α. ΑΒΔΕΛΛΑΣ

Αν το πλαίσιακό σύστημα είναι από χάλυβα, οι δοκοί στον άξονα των στύλων λειτουργούν ως τμήμα ενός συνεχούς πλαισίου, έτσι παραλαμβάνονται και οι αρνητικές ροπές λόγω μονίμων αλλά και οριζοντίων φορτίων.

Μια πιο απλή μορφή καμπτικών πλαισίων είναι αυτή όπου απλές σύμμικτες δοκοί (μη εγκιβωτισμένες) συνδυάζονται με οπλισμό στην περιοχή των αρνητικών ροπών. Σε όλο το μήκος των δοκών θα πρέπει να υπάρχουν σύνδεσμοι διάτμησης, για την ανάπτυξη αντοχής τόσο στις θετικές όσο και στις αρνητικές ροπές των δοκών.

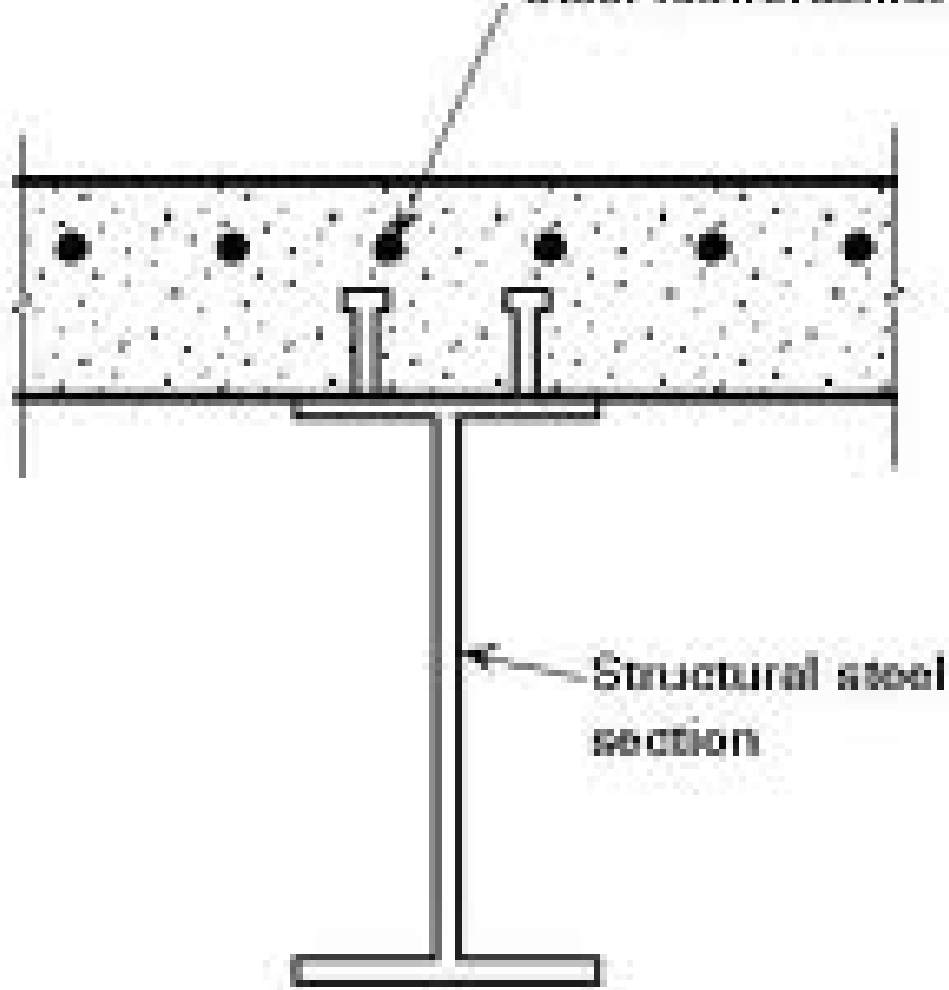
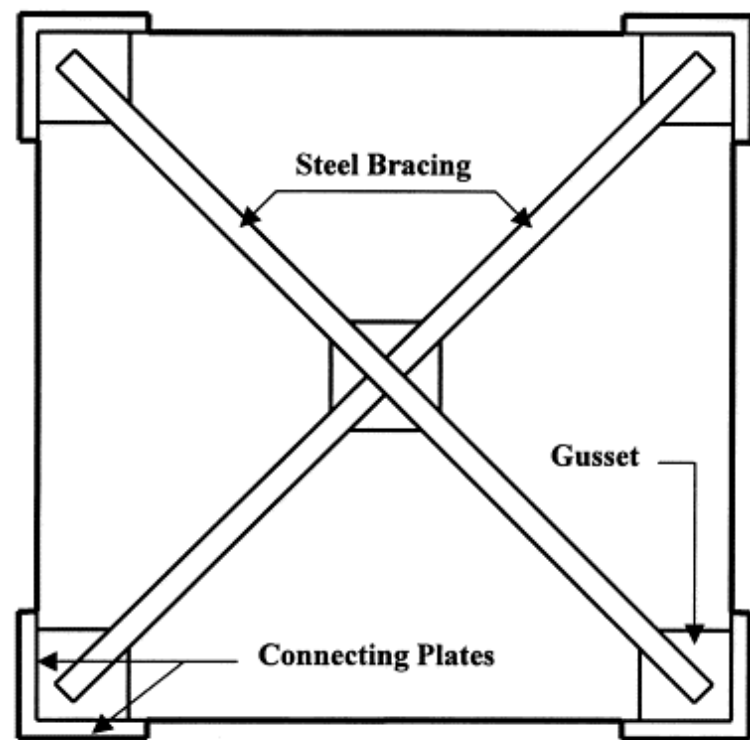


Figure 1 cross-section of composite beam at an internal support

Σύμμικτα πλαίσια πλευρικά δύσκαμπτα

- Διαγώνιοι σύνδεσμοι από χάλυβα τοποθετούνται σε πλαίσια από χάλυβα ή σκυρόδεμα. Πολύ πιο σπάνια, διαγώνιοι σύνδεσμοι από σκυρόδεμα τοποθετούνται σε πλαίσια από χάλυβα.
- Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως στοιχεία του πλαισίου **σύμμικτα** γραμμικά στοιχεία από χάλυβα και σκυρόδεμα.





RC Frame

Η ευκαμψία του πλαισίου περιλαμβάνει την παραμόρφωση:

– των δοκών

– των στύλων

– των διαγώνιων συνδέσμων που είναι τμήμα του πλαισίου.

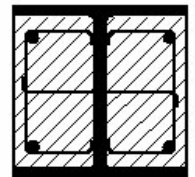
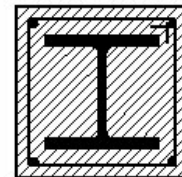
Ο εγκιβωτισμός των χαλύβδινων στύλων ή/και των χαλύβδινων δοκών σε σκυρόδεμα μπορεί να μειώσει την παραμόρφωση του πλαισίου.

Στην περίπτωση που οι χαλύβδινες δοκοί συνεργάζονται σύμμικτα με την πλάκα, η μειωμένη παραμόρφωση της δοκού θα μειώσει και την παραμόρφωση του πλαισίου.

Σύμμικτα υποστυλώματα

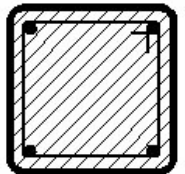
- Διατομές δομικού χάλυβα εγκιβωτισμένες σε σκυρόδεμα

Οι πλέον συνηθισμένες. Το σκυρόδεμα συχνά θεωρείται ότι προσφέρει μόνο προστασία από φωτιά και διάβρωση. Όμως αν προστεθούν συνδετήρες και διαμήκης οπλισμός, η αύξηση της αντοχής της σύμμικτης πλέον διατομής βοηθά στην παραλαβή των φορτίων.

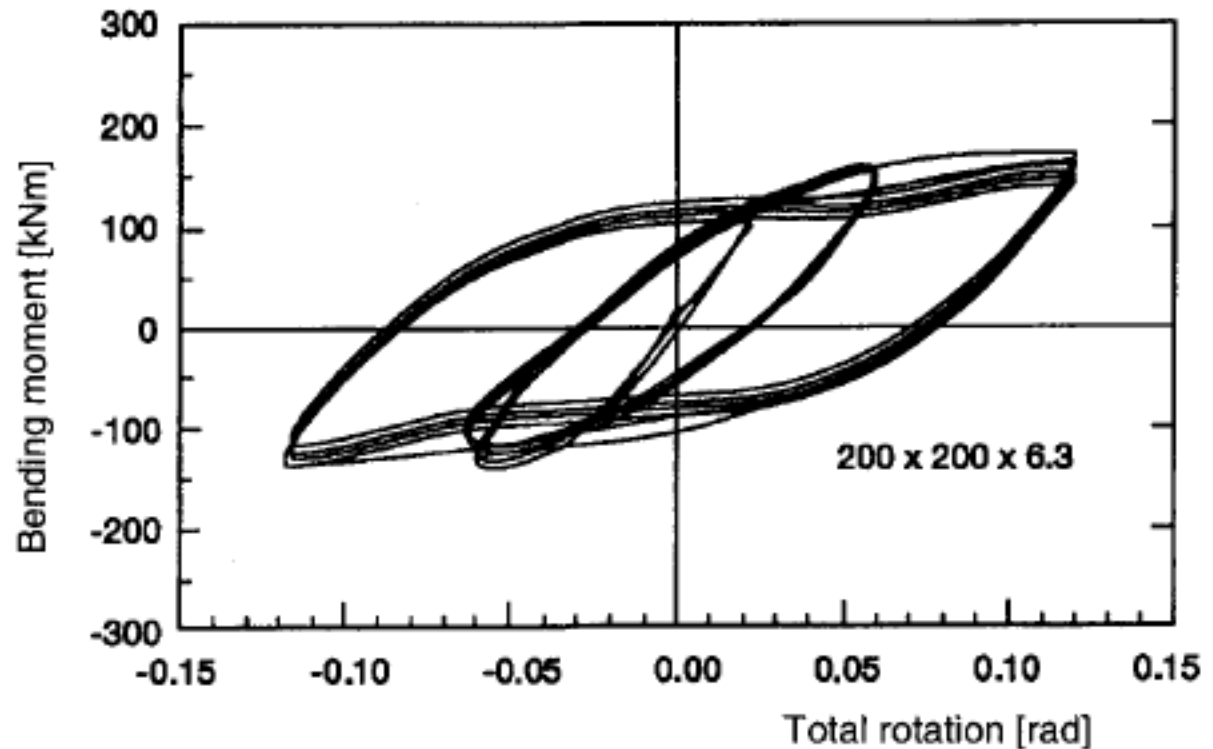


•Κοιλοδοκοί από χάλυβα γεμισμένες με σκυρόδεμα

Δημοφιλής μορφή διατομών. Το εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα αυξάνει την ικανότητα του υποστυλώματος να παραλαμβάνει αξονικά φορτία. Η αύξηση αυτή είναι ακόμη μεγαλύτερη αν προστεθούν στο εσωτερικό και ράβδοι οπλισμού. Έτσι υποστυλώματα μικρών διαστάσεων μπορούν να παραλάβουν μεγάλα φορτία. Στο σεισμό του 1995 στο Hyogo (Ιαπωνία) τέτοιας μορφής στύλοι έδειξαν εξαιρετική συμπεριφορά.



Πειράματα τόσο με μονότονα αυξανόμενη φόρτιση όσο και με κυκλική έδειξαν ότι οι γεμισμένες με σκυρόδεμα κοιλοδοκοί έχουν εξαιρετική πλαστιμότητα και πολύ καλή συμπεριφορά όσον αφορά την απόσβεση ενέργειας



Θα πρέπει όμως πάντα να τηρούμε τον κανόνα
"Ισχυρά υποστυλώματα - ασθενείς δοκοί"

Συνδέσεις Δοκού - Στύλου Ι

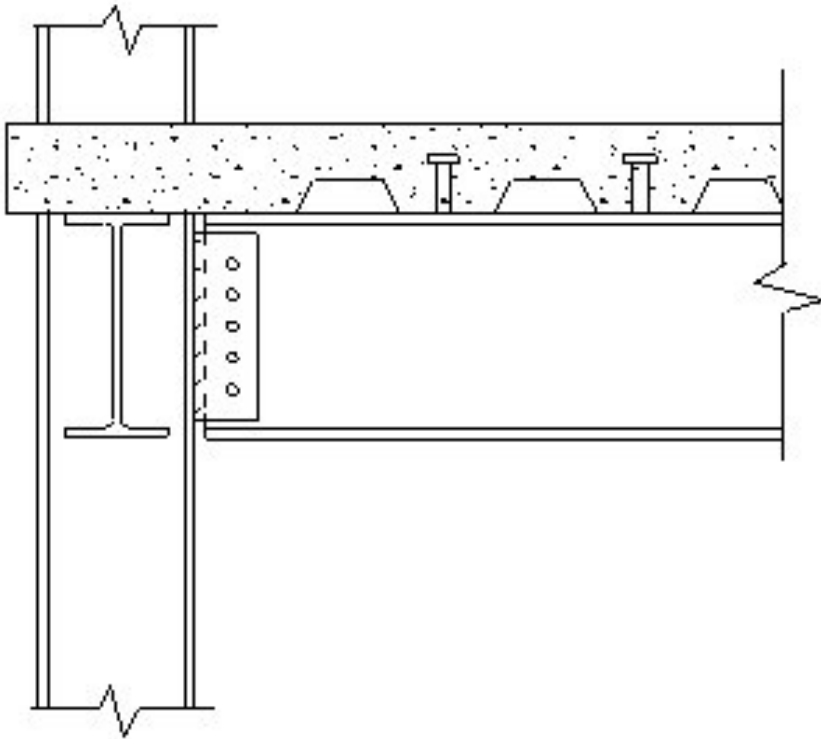
- Παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην συνολική ευστάθεια οποιουδήποτε πλαισίου.
- Πρέπει να είναι **απλές**, όσο το δυνατόν περισσότερο μέρος της δουλειάς να γίνεται στο εργοστάσιο, ελαχιστοποιώντας έτσι τη δουλειά στο εργοτάξιο.
- Γίνονται συνήθως με κοχλίες. Σε άκαμπτα πλαίσια, θα πρέπει να γίνονται με κοχλίες τριβής υψηλής αντοχής ή εναλλακτικά με συγκολλήσεις.

Συνδέσεις Δοκού - Στύλου II

Γενικά, έχουν αναπτυχθεί με βάση τις αντίστοιχες συνδέσεις των πλαισιακών κατασκευών από χάλυβα και ο σχεδιασμός τους γίνεται με τη χρήση παρόμοιων διαδικασιών.

Σύμμικτες συνδέσεις δοκού σε χαλύβδινο υποστύλωμα I

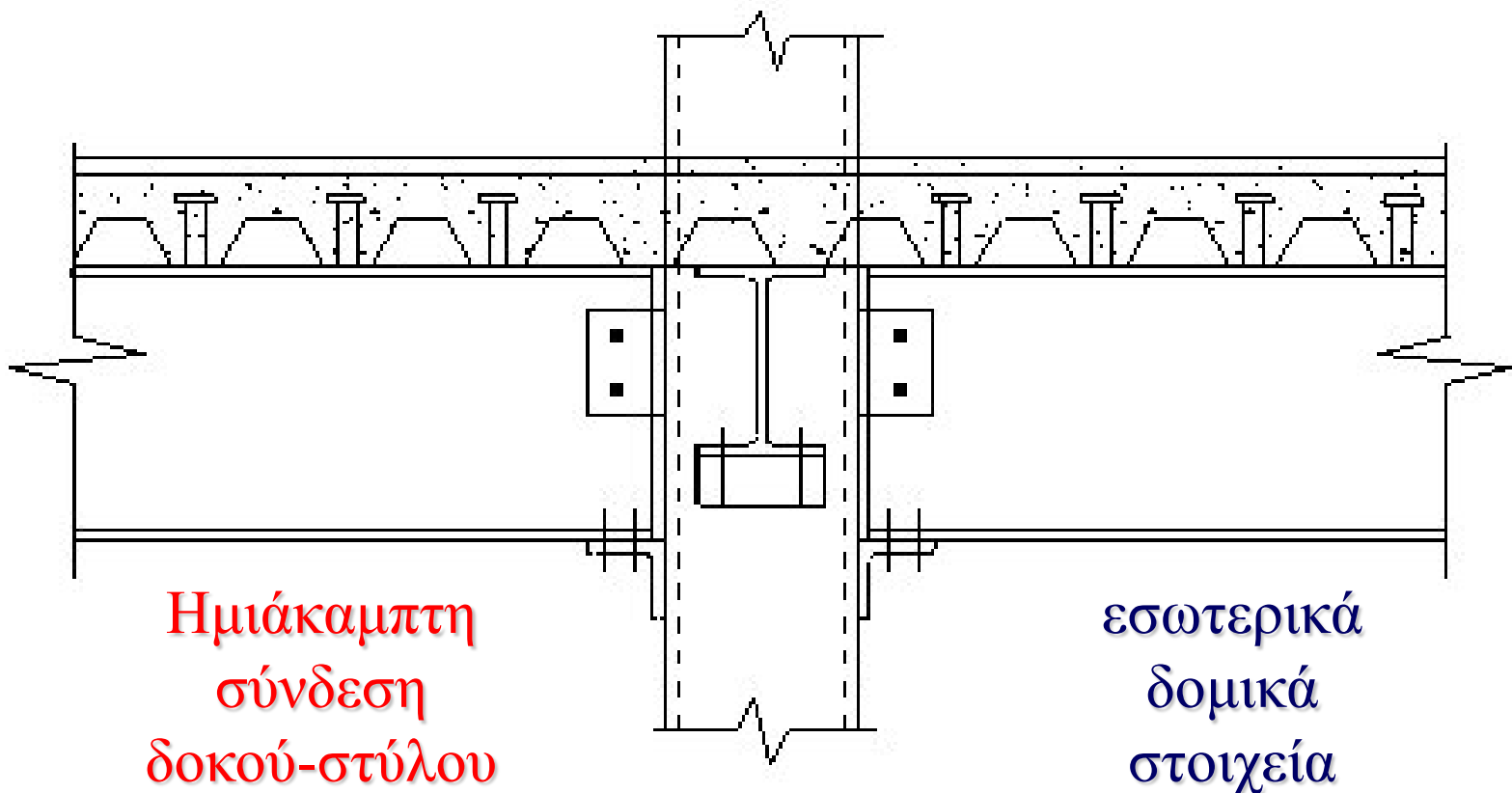
- Βασικό πρόβλημα: Να εκτιμηθεί η συμπεριφορά και η συμβολή της πλάκας σε ένα κόμβο που δέχεται κυρίως οριζόντια φορτία.
- Μόνο κατακόρυφα φορτία \Rightarrow θετικές ροπές στο μέσο και αρνητικές στα άκρα των δοκών \Rightarrow σύμμικτη λειτουργία μόνο στην περιοχή των θετικών ροπών.



Σύμμικτες συνδέσεις δοκού σε χαλύβδινο υποστύλωμα II

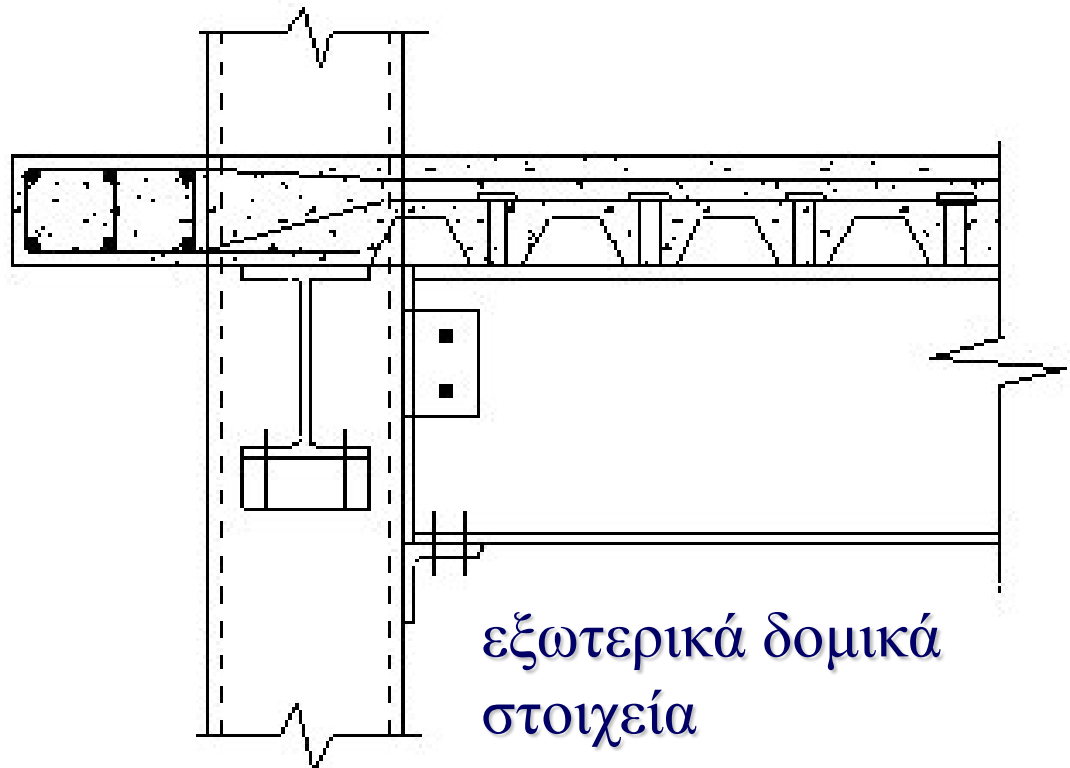
- Και οριζόντια φορτία \Rightarrow η συνολική ροπή κάμψης της δοκού από την πλευρά της οριζόντιας δύναμης μπορεί να αλλάξει πρόσημο \Rightarrow η συμπεριφορά της δοκού μπορεί να αλλάξει.
- Όταν μια τέτοια θετική ροπή αναπτύσσεται στον κόμβο, η θλίψη στο από σκυρόδεμα τμήμα της σύμμικτης δοκού μεταφέρεται εν μέρει από τη δύναμη στην επιφάνεια του στύλου και εν μέρει από τη στρέψη των εγκάρσιων δοκών.

Πειράματα σε ημιάκαμπτους κόμβους έδειξαν ότι η μορφή που δίνεται στο σχήμα έχει μία καλή καμπτική αντοχή και πολύ μεγαλύτερη ικανότητα στροφής από άκαμπτους κόμβους. Ο κόμβος αυτός διαφέρει από τους συμβατικούς ημιάκαμπτους κόμβους σε πολλά. Ο συνεχής διαμήκης οπλισμός της πλάκας τοποθετείται κοντά στο υποστύλωμα.



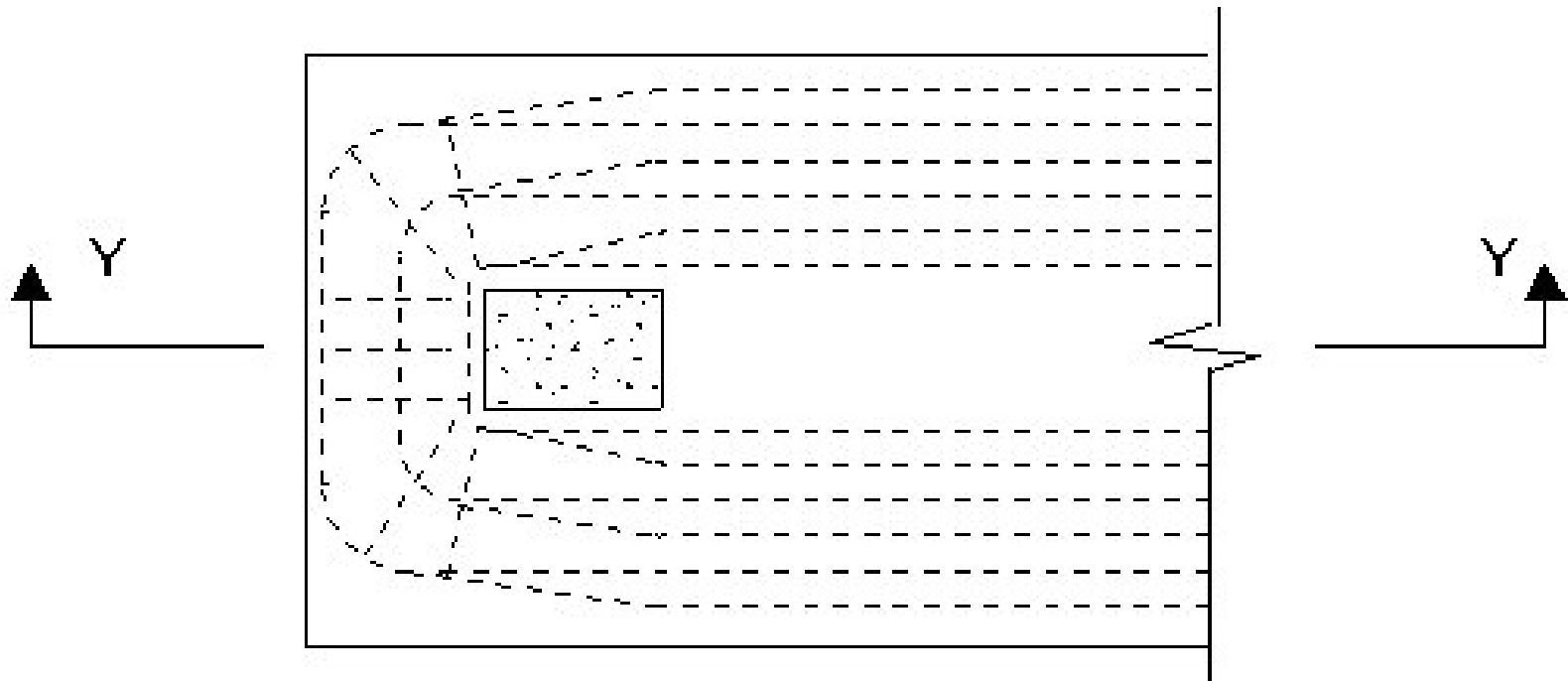
Κοχλίες τριβής υψηλής αντοχής χρησιμοποιούνται για την παραλαβή της διαμήκουσ θλίψης. Επειδή θα πρέπει ο κόμβος να σχεδιασθεί έτσι ώστε να μην υπάρξει ολίσθηση στη φάση λειτουργίας, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιούνται κοχλίες υψηλής αντοχής θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν λεπίδες συνεχείας.

Τομή Y-Y



εξωτερικά δομικά
στοιχεία

Οι κοχλίες που συνδέουν τα γωνιακά στο πέλμα του στύλου θα πρέπει να παραλαμβάνουν το σύνολο της κατακόρυφης διάτμησης. Η σύμμικτη δοκός σχεδιάζεται σαν συνεχής (απλή πλαστική θεωρία). Η οριζόντια δύναμη μεταφέρεται από την πλάκα στη χαλύβδινη δοκό με τη βοήθεια συνδέσμων διάτμησης.



Κάτοψη οπλισμών

Οι **ημιάκαμπτες συνδέσεις** έχουν συνοπτικά τα εξής χαρακτηριστικά:

- Οικονομική κατασκευή και εύκολη συναρμολόγηση στο έργο.
- Δυνατότητα να συμπεριφέρονται σαν αρθρώσεις κατά την σύνδεση με τα πατώματα.
- Άκαμπτες μέχρι μία προδιαγεγραμμένη τιμή της ροπής.
- Δυνατότητα στροφής για την προδιαγεγραμμένη τιμή της ροπής.
- Δυνατότητα μεταφοράς διάτμησης στο στύλο ενώ γίνεται αυτή η στροφή.

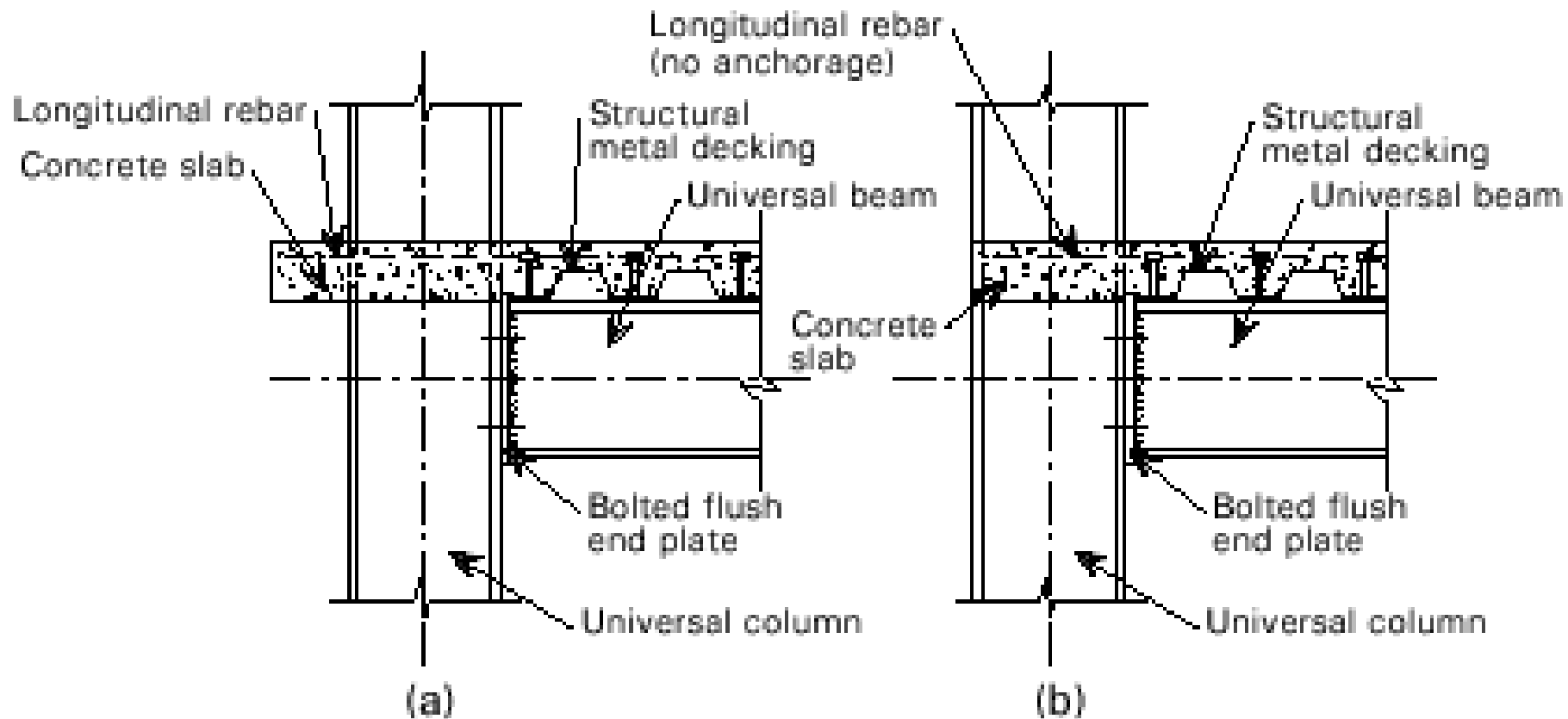


Figure 3.3 *External connection details (a) Composite (b) Effectively Non-composite*

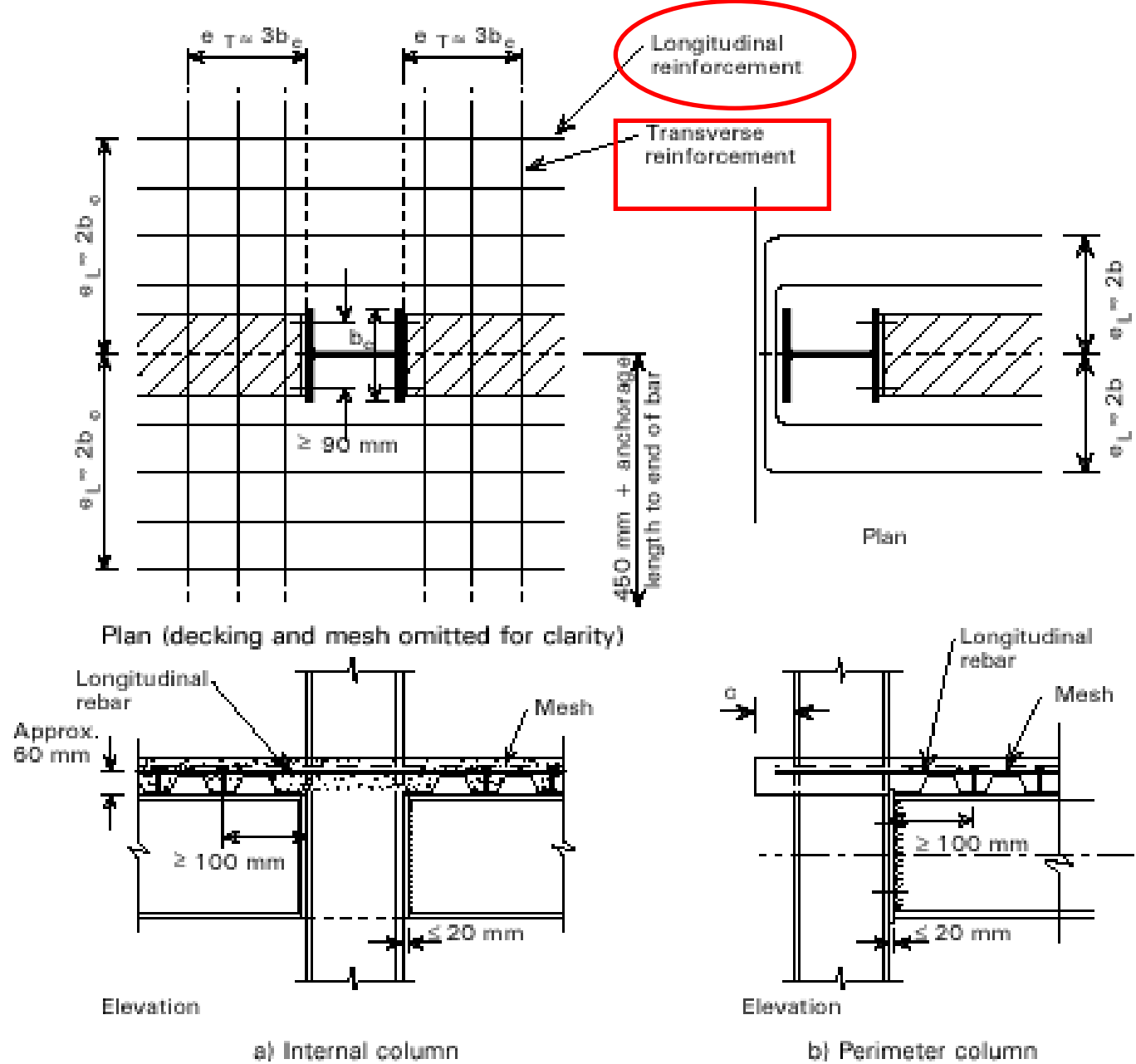


Figure B.1 Geometrical detailing rules - beam-to-column composite connections

Οδηγίες Όπλισης I

- Οι **διαμήκεις οπλισμοί** κατανέμονται ομοιόμορφα εκατέρωθεν του στύλου με τον πιο κοντινό σε απόσταση περίπου 20 mm από το άκρο του του στύλου για να υπάρχει επαρκής επικάλυψη
- Παίρνονται υπόψη οι ράβδοι που βρίσκονται σε απόσταση $e_L \approx 2b_c$ από τον άξονα του στύλου. b_c είναι το πλάτος του πέλματος του στύλου
- Παρατήρηση: το e_L είναι ουσιαστικά συνάρτηση του πλάτους του στύλου και όχι του ανοίγματος της δοκού

Οδηγίες Όπλισης II

- Οι **εγκάρσιοι οπλισμοί**, που χρειάζονται για να παραλάβουν τις δυνάμεις στο σκυρόδεμα "πίσω" από τον στύλο στην περίπτωση φόρτισης μη συμμετρικής, θα πρέπει να μην εκτείνονται σε μήκος μεγαλύτερο από το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης όταν αυτοί βρίσκονται έξω από την απόσταση $e_L \approx 2b_c$ από τον άξονα του στύλου. Με τον τρόπο αυτό δεν επηρεάζουν την "ορθογωνική" συμπεριφορά της σύνδεσης

Οδηγίες Όπλισης III

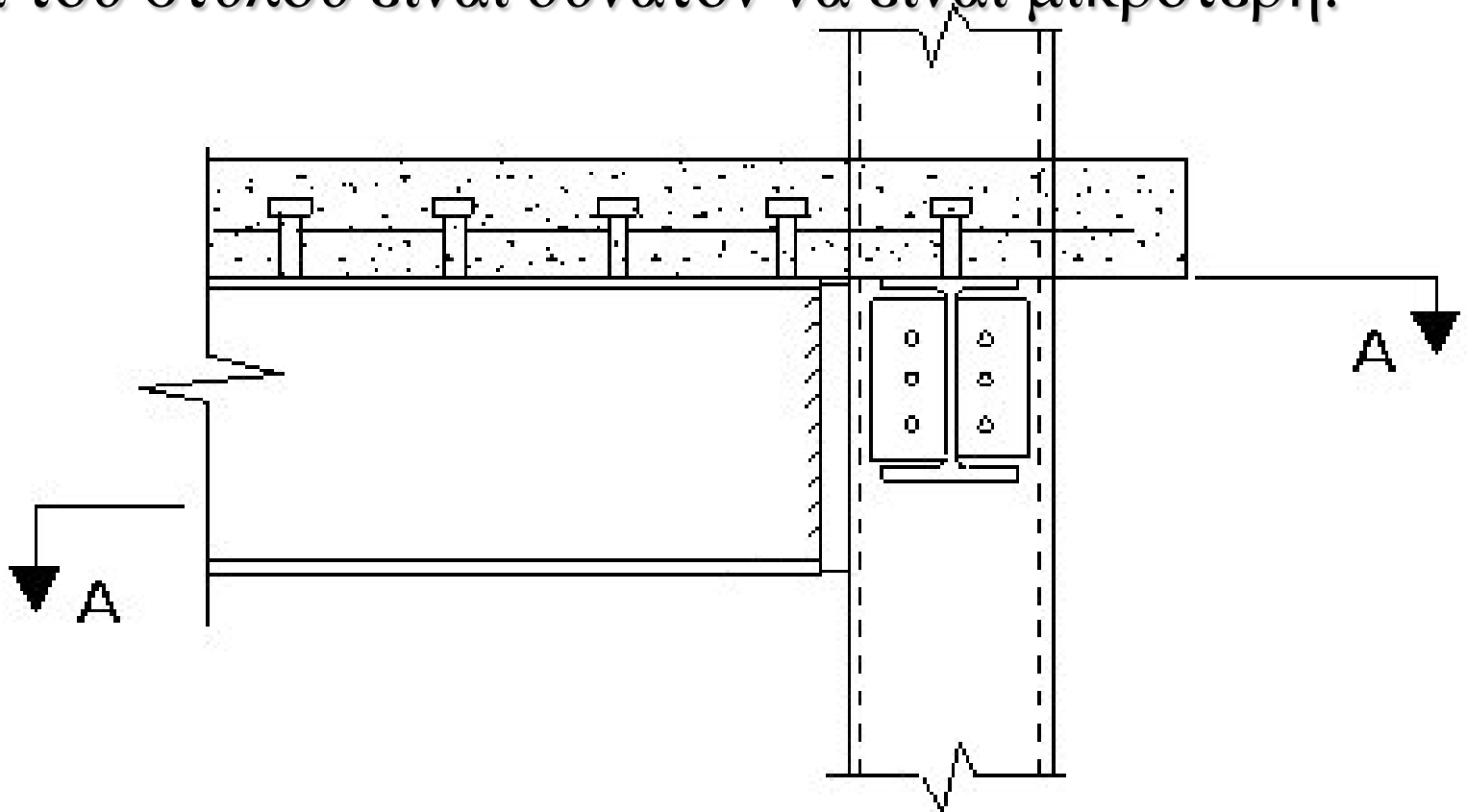
- Οι **εγκάρσιοι οπλισμοί** κατανέμονται επίσης ομοιόμορφα εκατέρωθεν του στύλου με τον πιο κοντινό σε απόσταση περίπου 20 mm
- Παίρνονται υπόψη οι ράβδοι που βρίσκονται σε απόσταση περίπου $e_T \approx 3b_c$ από το πέλμα του στύλου.
- Οι **διαμήκεις οπλισμοί** μπαίνουν σε απόσταση περίπου 20 mm πάνω από το X/Φ για να υπάρχει επαρκής επικάλυψη από σκυρόδεμα. Το αν οι **εγκάρσιοι οπλισμοί** θα μπουν **πάνω** ή **κάτω** από τους διαμήκεις εξαρτάται από το πάχος της πλάκας και τον προσανατολισμό του X/Φ

Οδηγίες Όπλισης IV

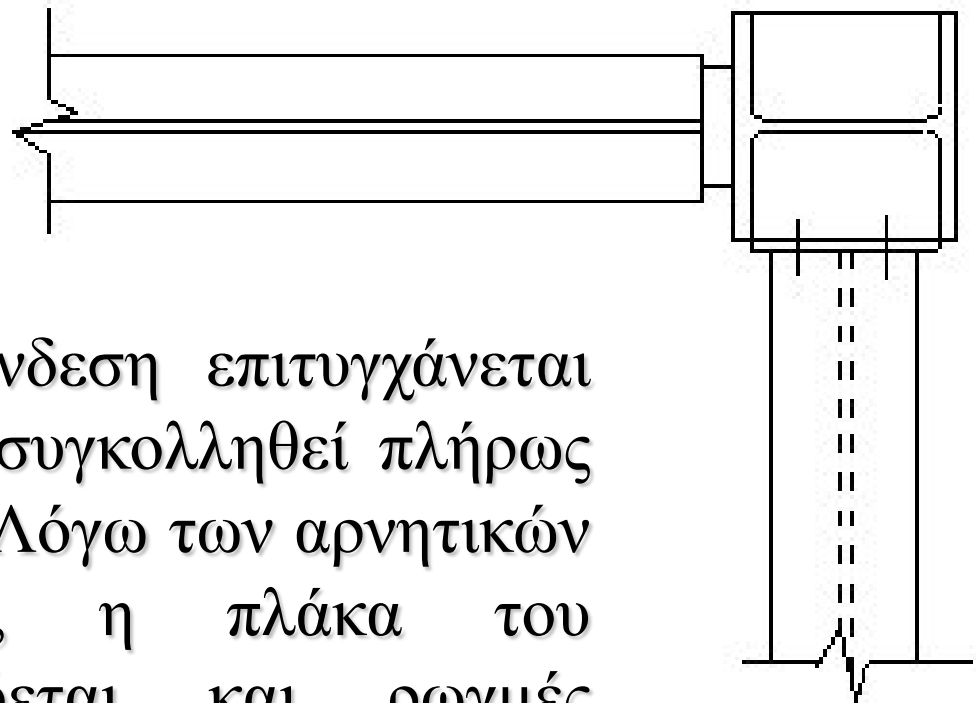
- Ο **πρώτος σύνδεσμος διάτμησης** πρέπει να μπει σε απόσταση τουλάχιστον 100 mm από το πέλμα του στύλου. Αυτό εξασφαλίζει ότι οι ράβδοι του οπλισμού θα καταπονηθούν σε αρκετό μήκος ώστε να έχουμε επαρκή στροφή

Σύμμικτη δοκός σε εγκιβωτισμένο υποστύλωμα

Η συμπεριφορά της μοιάζει να είναι ίδια με αυτή της σύνδεσης σύμμικτης δοκού σε υποστύλωμα από χάλυβα. Όμως, η συγκέντρωση των τάσεων της πλάκας κοντά στα πέλματα του στύλου είναι δυνατόν να είναι μικρότερη.

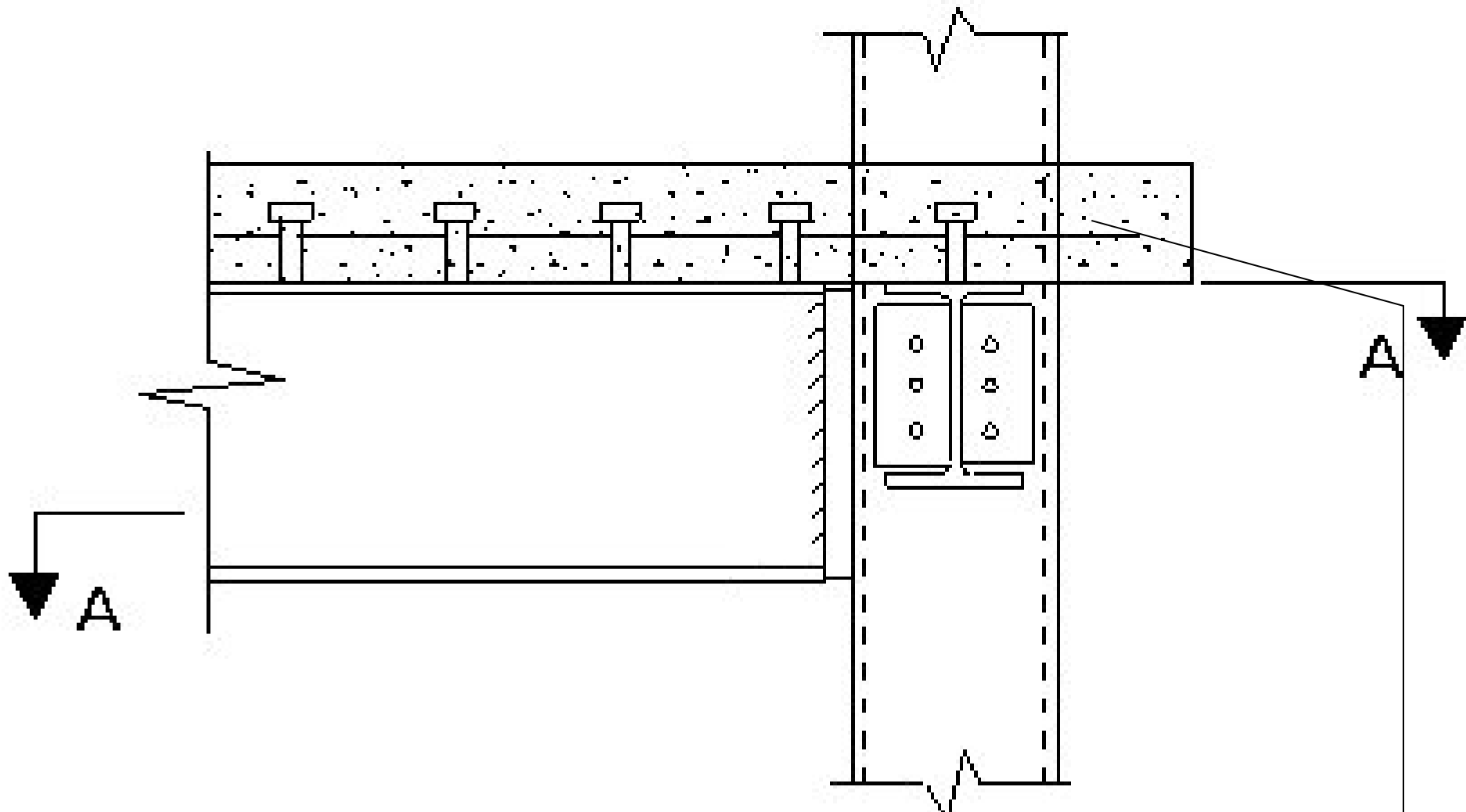


Στη σύνδεση αυτή, οι ελατές διατομές συνδέονται στο χαλύβδινο υποστύλωμα με μετωπικές λεπίδες και συγκολλήσεις.



Μία ικανοποιητική σύνδεση επιτυγχάνεται αν η χαλύβδινη δοκός συγκολληθεί πλήρως στο πέλμα του στύλου. Λόγω των αρνητικών ροπών στις δοκούς, η πλάκα του σκυροδέματος εφελκύεται και ρωγμές εμφανίζονται νωρίς κατά τη διάρκεια της φόρτισης.

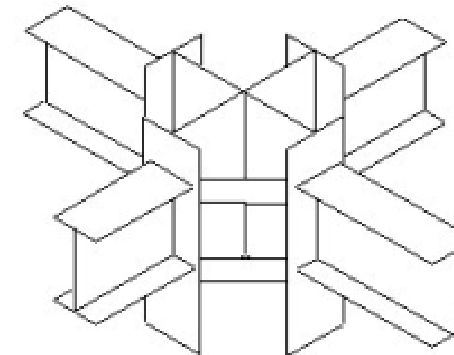
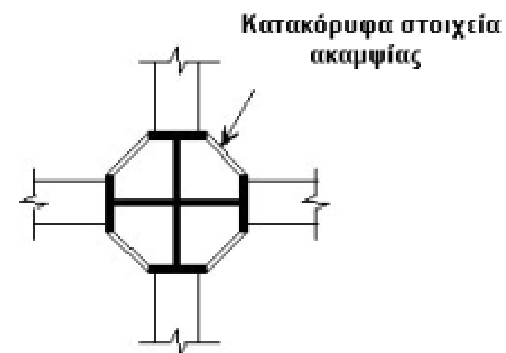
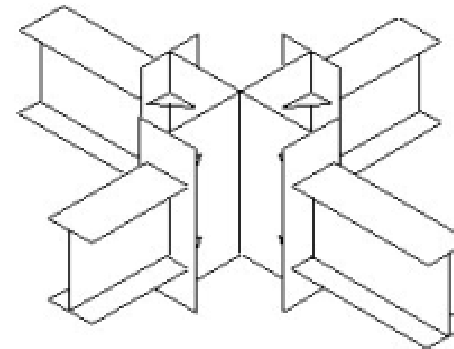
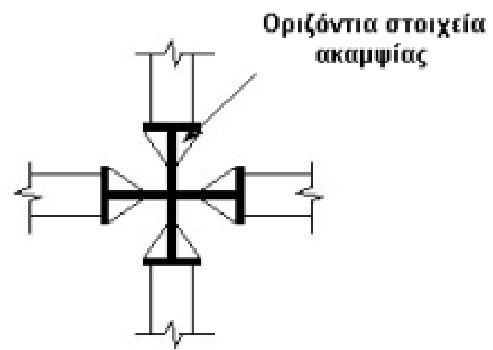
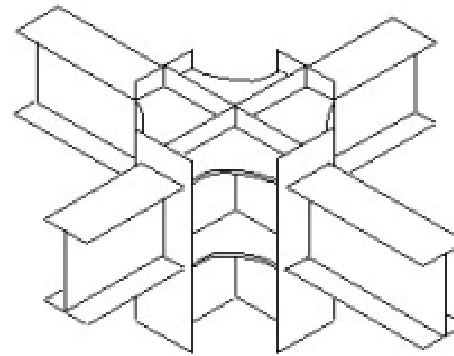
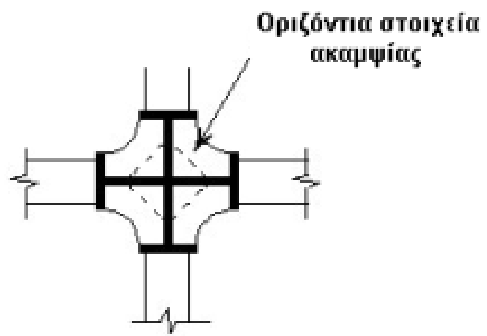
- Ο διαμήκης οπλισμός της πλάκας βοηθά στη σύμμικτη συμπεριφορά για φορτία μεγαλύτερα του φορτίου ρηγματώσης.
- Στα εσωτερικά υποστυλώματα, έχουμε ικανοποιητική σύμμικτη συμπεριφορά στις δοκούς όταν για διαμήκη οπλισμό χρησιμοποιούνται ευθύγραμμες συνεχείς ράβδοι.
- Στα εξωτερικά υποστυλώματα, η πλάκα αστοχεί αν οι ευθύγραμμες ράβδοι διακόπτονται στο άκρο της πλάκας. Αν οι ράβδοι αγκυρωθούν εξωτερικά σε μία ισχυρή διαμήκη ράβδο, προκύπτει ικανοποιητική συμπεριφορά.



Εξωτερική διαμήκης
δοκός

Εγκιβωτισμένες δοκοί σε εγκιβωτισμένα υποστυλώματα

Οι κόμβοι δοκού-υποστυλώματος σε αυτές τις περιπτώσεις είναι άκαμπτοι. Κατασκευάζονται συνήθως με συγκόλληση. Επειδή ο εγκιβωτισμός σε σκυρόδεμα δεν είναι δυνατόν να εμποδίσει τον κίνδυνο τοπικής παραμόρφωσης σε συνδέσεις στην περιοχή των πελμάτων, χρησιμοποιούνται διαφράγματα. Αν τα διαφράγματα αυτά είναι μεγάλα, είναι δυνατόν να εμποδίσουν τη σκυροδέτηση των στύλων, για το λόγο αυτό έχουν προταθεί διάφορες μορφές διαφραγμάτων.



Στις συνήθεις κατασκευές, το μεγαλύτερο ποσοστό της ροπής στη δοκό παραλαμβάνεται από τη χαλύβδινη διατομή και το υπόλοιπο από το οπλισμένο σκυρόδεμα. Στο υποστύλωμα όμως το ποσοστό που παραλαμβάνει η χαλύβδινη διατομή είναι μικρότερο απ' ότι στη δοκό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη διατομή για τη χαλύβδινη δοκό σε σχέση με το υποστύλωμα στο οποίο συνδέεται. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει το πρόβλημα αν οι τάσεις στη χαλύβδινη δοκό μπορούν να παραληφθούν με ασφάλεια από το υποστύλωμα.



Σύμφωνα με πειράματα, **τουλάχιστον 40% έως 50%** της ροπής κάμψης σε ένα στύλο πρέπει να παραλαμβάνεται από τη χαλύβδινη διατομή. Αν η διατομή του χαλύβδινου τμήματος του στύλου είναι πολύ μικρή για να μπορεί να παραλάβει αυτό το ποσοστό της ροπής, **θα πρέπει να γίνει ειδική ενίσχυση**.



Σύμμικτη δοκός σε υποστύλωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα

Το βασικό πρόβλημα σε συνδέσεις αυτής της μορφής είναι να βρεθεί ένας αποτελεσματικός τρόπος αγκύρωσης της χαλύβδινης δοκού στο υποστύλωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Μια σειρά πειραμάτων έδειξαν ότι αυτό μπορεί να γίνει υπό τον όρο να ληφθούν υπ' όψιν οι μεγάλες τάσεις αγκύρωσης.

Οι οριζόντιες δυνάμεις μεταδίδονται στο υποστύλωμα με διάφορο βαθμό επιτυχίας:

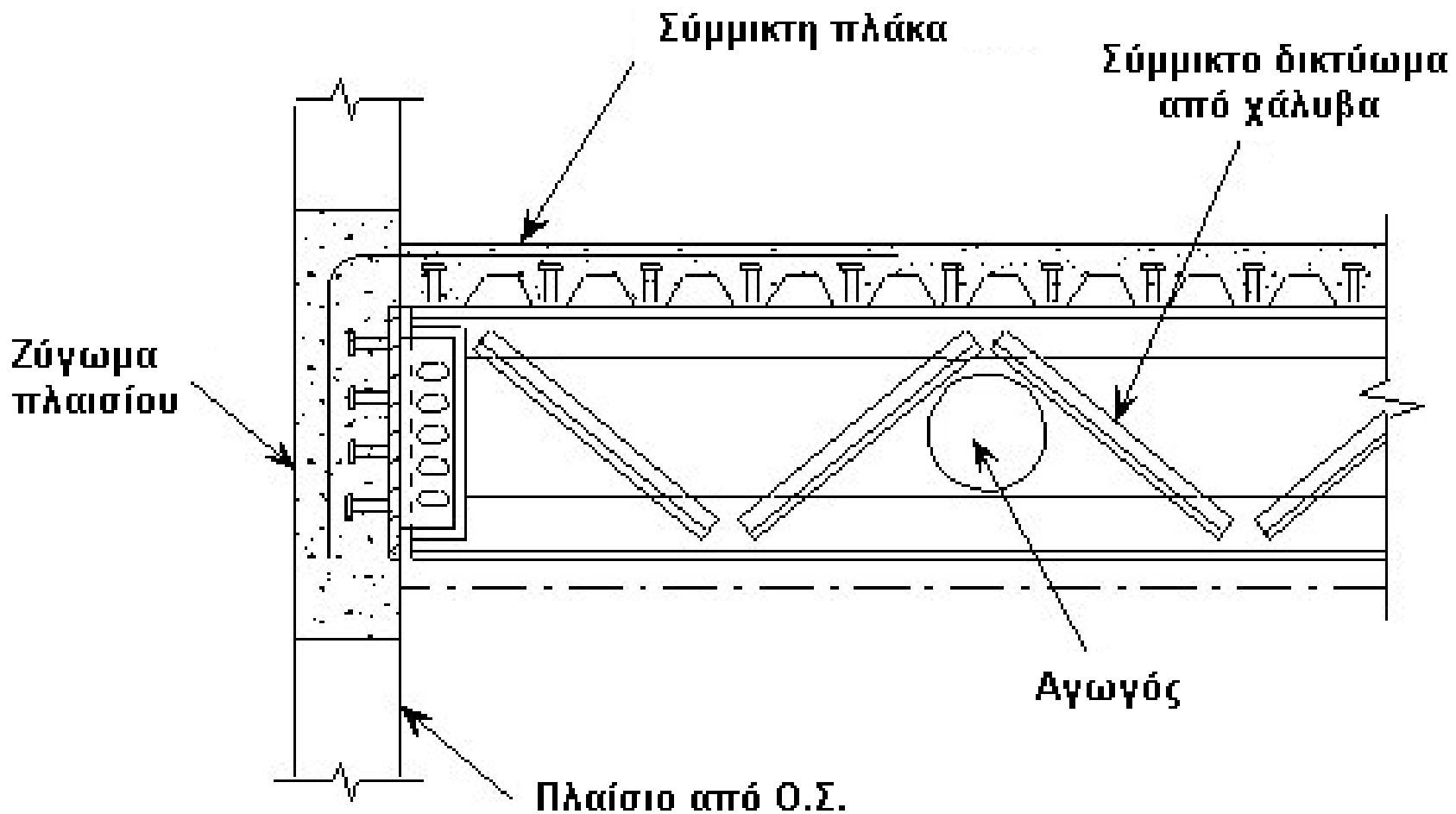
- Μέσω της φυσικής σύνδεσης ανάμεσα στα πέλματα της χαλύβδινης δοκού και στο σκυρόδεμα-με ή χωρίς συνδέσμους διάτμησης
- Μέσω ράβδων αγκύρωσης
- Μέσω τμήματος χαλύβδινης διατομής που ενσωματώνεται στο σκυρόδεμα.

Η κατακόρυφη διατμητική δύναμη, που θεωρείται ότι μεταβιβάζεται μέσω του κορμού της χαλύβδινης δοκού σαν αξονική δύναμη στον στύλο, δεν έδειξε να συμβάλλει σε οποιαδήποτε μορφή αστοχίας.

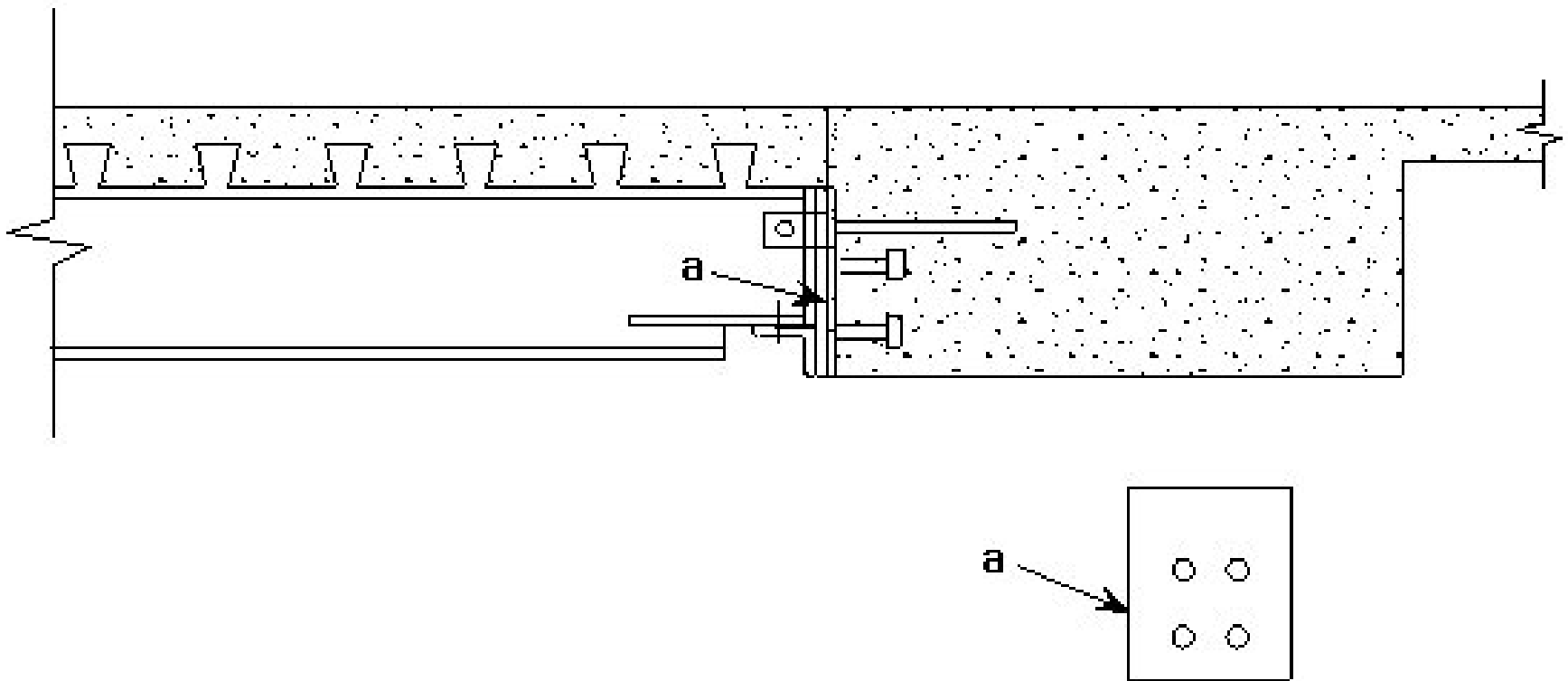
Διατμητικοί σύνδεσμοι μέσα στον κόμβο θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο όταν υπάρχει επαρκές αξονικό φορτίο για να ισορροπήσει τις τάσεις διάσπασης που προκαλούν.

Οριζόντιες ράβδοι αγκύρωσης, αρχικά αφόρτιστες, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδέσεις σε μη διακοπτόμενα υποστυλώματα, ή όταν η ροπή αδράνειας του στύλου είναι μεγάλη σε σχέση με της δοκού.

Το ίδιο ισχύει και για κατακόρυφες ράβδους αγκύρωσης.



Σύνδεση σύμμικτης δοκού με σκυρόδεμα



Σύνδεση σύμμικτης δοκού σε επιφάνεια σκυροδέματος