

ESDEP OE 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.1 : Σύμμικτες Κατασκευές – Γενικά

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να γίνει μια εισαγωγή στις σύμμικτες κατασκευές χάλυβα / σκυροδέματος, να εξηγηθεί η σύμμικτη δράση των δυο διαφορετικών υλικών και να δειχθεί πως χρησιμοποιούνται τα δομικά μέλη, ιδιαίτερα στην κατασκευή κτιρίων.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 7.2 : Ταξινόμηση διατομών

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Όλες οι διαλέξεις της ομάδας 10.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Τα δυο συμπληρωματικά υλικά, δομικός χάλυβας και οπλισμένο σκυρόδεμα, εισάγονται και δείχνεται πως η σύμμικτη δράση επιτυγχάνεται στην περίπτωση των σύμμικτων πλακών, δοκων και υποστυλωμάτων. Η χρήση της σύμμικτης κατασκευής για κτίρια και γέφυρες δείχνεται σε πολλά τυπικά παραδείγματα, τα κυριότερα πλεονεκτήματα της παρουσιάζονται επίσης με μια σύγκριση με την χρήση κατασκευών χωριστά από σκυρόδεμα και χάλυβα. Δίνεται προσοχή στο αποτέλεσμα αυτής της μορφής της κατασκευής σε άλλα πιο γενικά προβλήματα όπως : βαθμός αντίστασης σε φωτιά, ταχύτητα κατασκευής, ευκαμψία και τελική εμφάνιση.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο πιο σημαντικός και πιο συχνά εμφανιζόμενος συνδυασμός δομικών υλικών είναι αυτός του χάλυβα και του σκυροδέματος, με εφαρμογές σε πολυώροφα κτίρια γραφείων και εργοστάσια, όπως επίσης και σε γέφυρες. Αυτά τα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικτά δομικά συστήματα, για παράδειγμα πυρήνες από σκυρόδεμα εγκλεισμένοι σε χαλύβδινους σωλήνες, όπως επίσης και σύμμεικτες κατασκευές όπου τα μέλη αποτελούνται από χάλυβα και σκυρόδεμα που ενεργούν με σύμμεικτο τρόπο.

Αυτά τα ουσιαστικά διαφορετικά υλικά είναι τελείως συμβατά και συμπληρωματικά το ένα με το άλλο, έχουν σχεδόν την ίδια θερμική διαστολή, έχουν ένα ιδανικό συνδυασμό αντοχών με την αποτελεσματικότητα του σκυροδέματος σε θλίψη και του χάλυβα σε εφελκυσμό, το σκυρόδεμα δίνει προστασία από διάβρωση και θερμομόνωση στον χάλυβα σε υψηλή θερμοκρασία και επιπρόσθετα μπορεί να περιορίσει τις λιγυρές χαλύβδινες διατομές από τοπικό ή στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

Σε πολυώροφα κτίρια, ο χάλυβας χρησιμοποιείται συνήθως μαζί με το σκυρόδεμα. Για παράδειγμα χαλύβδινες δοκοί με πλάκες από σκυρόδεμα. Το ίδιο εφαρμόζεται σε οδικές γέφυρες, όπου τα καταστρώματα από σκυρόδεμα συνήθως προτιμούνται. Το όριο στο οποίο τα συστατικά Τμήματα του κτιρίου θα πρέπει να είναι μόνο από χάλυβα, ή από σύμμεικτη κατασκευή εξαρτάται από τις περιστάσεις. Είναι γεγονός, παρόλα αυτά ότι αυξάνονται οι μηχανικοί που σχεδιάζουν σύμμεικτα και μικτά συστήματα κτιρίων από δομικό χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα για να παράγουν πιο αποτελεσματικές κατασκευές συγκρινόμενες με κατασκευές που αποτελούνται από μόνο ένα από τα υλικά. Οι δύο πρώτες διαφάνειες δίνουν μια εντύπωση του πώς και του ορίου που μια σύμμεικτη κατασκευή χρησιμοποιείται για πολυώροφα κτίρια. Η διαφάνεια 1 δείχνει μια κατασκευή για εμπορικό κτίριο στο Λονδίνο. Η διαφάνεια 2 δείχνει ένα εργοστάσιο για αυτοκινητοβιομηχανία στην Γερμανία.

Θα πρέπει να προστεθεί ότι ο συνδυασμός πυρήνων από σκυρόδεμα, χαλύβδινου πλαισίου και σύμμεικτης κατασκευής δαπέδων έχει γίνει η τυπική μέθοδος κατασκευής για πολυώροφα εμπορικά κτίρια σε πολλές χώρες. Αρκετή πρόοδος υπάρχει, για παράδειγμα στην Ιαπωνία, όπου το πλαίσιο από δομικό χάλυβα / οπλισμένο σκυρόδεμα είναι το τυπικό σύστημα για ψηλά κτίρια. Ο κύριος λόγος για αυτή την προτίμηση είναι ότι οι διατομές και τα μέλη που φαίνονται στη διαφάνεια 3 είναι καλύτερα για να ανθίστανται σε επαναλαμβανόμενες σεισμικές φορτίσεις, πράγμα το οποίο απαιτεί μεγάλη αντίσταση και ολκιμότητα.

Το κτίριο με σιδηρά και σύμμεικτα στοιχεία γνώρισε μια αναγέννηση κατά τη δεκαετία του 1980, έχοντας σαν αποτέλεσμα μια αφθονία ιδεών κατασκευής και δομικών λεπτομερειών.

Απλά σύμμεικτα στοιχεία, όπως μεμονωμένοι δοκοί, υποστυλώματα και πλάκες (Σχήμα 1) ενώ είναι υψηλής αντοχής και ποιότητας, είναι επίσης σε πολλές περιπτώσεις ακριβά. Αυτή η περίπτωση ισχύει ιδιαίτερα για κτίρια με μικρές αποστάσεις υποστυλωμάτων, ανοίγματα δοκών δαπέδου κάτω από 9 μέτρα και μικρές φορτίσεις. Από την άλλη η σύμμεικτη κατασκευή δαπέδου είναι υψηλά ανταγωνιστική αν τα ανοίγματα αυξηθούν σε 12, 15 ή ακόμα και σε 20 μέτρα. Υπάρχει, φυσικά, μια απαίτηση για μεγαλύτερα ελεύθερα υποστυλωμάτων ανοίγματα σε κτίρια για να

διευκολύνεται ο ελεύθερος σχεδιασμός ή να δίνεται μεγαλύτερη ευκαμψία στο σχεδιασμό του γραφείου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.

Μια περαιτέρω σημαντική θεώρηση είναι ότι η χρήση προτύπων διατομών, μεταλλικών προφίλ επικάλυψης και/ή προκατασκευασμένων σύμμεικτων μελών επιταχύνει την ανέγερση. Για μέγιστη αποτελεσματικότητα και οικονομία οι συνδέσεις θα πρέπει να είναι φθηνές στην κατασκευή και άμεσες για επιτόπου ανέγερση.

Πολλοί ειδικοί πιστεύουν ότι η περαιτέρω ανάπτυξη σιδηρών κτιρίων εξαρτάται κυρίως από την χρήση της σύμμεικτης κατασκευής. Ατυχώς αυτά τα δύο σημαντικά υλικά, χάλυβας και σκυρόδεμα, προωθούνται από δύο διαφορετικές βιομηχανίες. Αφού αυτές οι βιομηχανίες είναι σε άμεσο ανταγωνισμό η μια με την άλλη, είναι μερικές φορές δύσκολο να προωθηθεί η καλύτερη χρήση των δύο υλικών.

Το Σχήμα 2 δείχνει 3 παραδείγματα της χρήσης σύμμεικτης κατασκευής δαπέδου συνδυάζοντας χαλύβδινες δοκούς και πλάκες από σκυρόδεμα, σε κτίρια: το Σχήμα 2 δείχνει ένα τυπικό κτίριο γραφείων με γραφεία και στις δυο πλευρές του διαδρόμου, οι τοίχοι των οποίων ορίζονται από τις θέσεις των εσωτερικών υποστυλωμάτων, το Σχήμα 21 δείχνει ένα μεγάλο άνοιγμα, σε κατασκευή ελεύθερη υποστυλωμάτων, η οποία επιτρέπει μεγάλο ποσοστό ευκαμψίας, η Κατασκευή στο Σχήμα 2 έχει ένα μειωμένο αριθμό υποστυλωμάτων, με κύριες και δευτερεύουσες δοκούς.

2. ΣΥΜΜΕΙΚΤΗ ΔΡΑΣΗ ΣΕ ΔΟΚΟΥΣ

Οι σύμμεικτες δοκοί, που υπόκεινται κυρίως σε κάμψη, αποτελούνται από χαλύβδινη διατομή που δρα σύμμεικτα με ένα (ή δύο) πέλαμα οπλισμένου σκυροδέματος. Τα δύο υλικά συνδέονται μέσω διατμητικών συνδέσμων. Στην Ευρωπαϊκή πρακτική επιτυγχάνεται η σύνδεση αυτή μέσω ήλων κεφαλής, ημιαυτόματα συγκολλημένων στο χαλύβδινο πέλαμα, βλέπε Διαφάνεια 4.

Το Σχήμα 3 δείχνει αρκετές σύμμεικτες διατομές δοκών στις οποίες το νωπό σκυρόδεμα έχει εγχυθεί επιτόπου σε ξυλότυπο. Για αμφιέριστες δοκούς, οι θετικές ροπές κάμψης, λόγω των κατακόρυφων φορτίων, δημιουργούν εφελκυστικές δυνάμεις στην χαλύβδινη διατομή και θλίψη στο σκυροδετημένο κατάστρωμα κάνοντας έτσι καλύτερη την χρήση κάθε υλικού. Ως εκ τούτου, τα σύμμικτα δοκάρια, ακόμα και για μικρές διατομές, έχουν υψηλή ακαμψία και μπορούν να φέρουν βαριά φορτία σε μακριά ανοίγματα.

Αν είναι ελεύθερη η ολίσθηση στην διεπιφάνεια μεταξύ της χαλύβδινης διατομής και της πλάκας από σκυρόδεμα, κάθε συστατικό δρα ανεξάρτητα όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Αν η ολίσθηση στην διεπιφάνεια περιορίζεται, η πλάκα και το χαλύβδινο μέλος θα δρουν μαζί σαν μια συμπαγής μονάδα. Αυτό το αποτέλεσμα της αύξησης σε αντίσταση θα εξαρτάται από το όριο στο οποίο προβλέπεται η ολίσθηση. Θα πρέπει να τονισθεί ότι το Σχήμα 4 αναφέρεται στην χρήση διατμητικών ήλων κεφαλής. Ο βαθμός της αλληλεπίδρασης εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό της διατμητικής σύνδεσης που χρησιμοποιείται.

Οι ακόλουθοι ορισμοί χρησιμοποιούνται για να κάνουν σαφείς τις διαφορές μεταξύ ιδιοτήτων αντίστασης(αντοχής) και ακαμψίας:

- Λαμβάνοντας υπ' όψιν την αντίσταση, διάκριση γίνεται μεταξύ πλήρους και μερικής διατμητικής σύνδεσης. Η σύνδεση θεωρείται πλήρης αν η αντίσταση της σύμμεικτης δοκού καθορίζεται από την καμπτική αντίσταση, όχι την οριζόντια διατμητική αντίσταση.
- Πλήρης ή ατελής αλληλεπίδραση μεταξύ της πλάκας από σκυρόδεμα και της χαλύβδινης διατομής έχει σαν αποτέλεσμα μια περισσότερο ή λιγότερο άκαμπτη δοκό. Τέτοια ατελής αλληλεπίδραση προκύπτει όταν χρησιμοποιούνται εύκαμπτοι σύνδεσμοι όπως ήλοι κεφαλής και η ολίσθηση (σχετική μετακίνηση) εμφανίζεται στην διεπιφάνεια χάλυβα- σκυροδέματος.
- Η χρήση της σύμμεικτης δράσης έχει ορισμένα πλεονεκτήματα. Ιδιαίτερα, μια σύμμεικτη δοκός έχει μεγαλύτερη ακαμψία και συνήθως υψηλότερη αντοχή φορτίου από το μη σύμμεικτο τμήμα της, βλέπε Σχήμα 5. Συμπερασματικά, απαιτείται μια μικρότερη χαλύβδινη διατομή. Το αποτέλεσμα είναι οικονομία υλικού και ύψους κατασκευής. Σε αντιδιαστολή το δεύτερο οδηγεί σε μικρότερα ύψη ορόφων σε κτίρια και χαμηλότερες επιχωματώσεις για γέφυρες.

3. ΣΥΜΜΕΙΚΤΑ ΜΕΛΗ

3.1 Σύμμεικτες Δοκοί

Το Σχήμα 3 δείχνει την χρήση διαφορετικών μορφών και τύπων χαλύβδινων δοκών (πρότυπες ή συγκολλητές διατομές) μαζί με επιτόπου σκυρόδεμα.

Αντί μιας επιτόπου σκυροδετημένης πλάκας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μονάδες από προκατασκευασμένα δάπεδα σκυροδέματος, βλέπε Σχήμα 6. Απαιτείται προσεκτική μελέτη της λεπτομέρειας και εκτέλεση για να εξασφαλίσουν επαρκή εγκιβωτισμό των συνδέσμων. Το Σχήμα 6 δείχνει ένα σύστημα που χρησιμοποιεί μεγάλα προκατασκευασμένα στοιχεία καταστρώματος με διαμήκεις αρμούς. Τα κενά μεταξύ των μονάδων θα πληρωθούν με ασβεστοκονίαμα στην τελική κατασκευή, δίνοντας σύμμικτη δράση με τις δοκούς. Τέτοια δομικά συστήματα παρουσιάστηκαν κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1960. Στην Γερμανία περισσότεροι από 100 χώροι στάθμευσης, πανεπιστήμια, σχολεία και κτίρια γραφείων (βλέπε Διαφάνεια 5) κατασκευάστηκαν με αυτό τον τρόπο. Η χρήση προκατασκευασμένων μονάδων καταστρώματος μειώνει τις επιτόπου εργασίες και αποφεύγονται οι υγρές κατασκευές. Οι μονάδες αυτές σκυροδετούνται σε χαλύβδινους τύπους για να διασφαλίζεται υψηλή ποιότητα και μικρές (αυστηρή) ανοχές.

Το Σχήμα 6b δείχνει λεπτά προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα, υποστηριζόμενα από τα πέλματα χαλύβδινης δοκού. Αυτά τα στοιχεία ενεργούν σαν μόνιμος τύπος όταν γίνεται η επιτόπου σκυροδέτηση. Οι εγκάρσιες αποστάσεις μεταξύ των ήλων και της άκρης του προκατασκευασμένου στοιχείου σκυροδέματος μπορεί να είναι μικρές παρόλα αυτά, κάνοντας δύσκολη την επαρκή συγκράτηση των συνδέσμων. Ο κύριος λόγος για την χρήση αυτών των λεπτών πλακοειδών στοιχείων (συνήθως 4-5εκ. πάχους) είναι ότι είναι ευκόλοχρηστοι, και σχεδόν το ίδιο βολικοί όπως μια μεταλλική επικάλυψη. Το Σχήμα 6b δείχνει επίσης μια μερικώς εγκιβωτισμένη σύμμικτη δοκό, τα κενά της οποίας πληρούνται με σκυρόδεμα. Αυτός ο τύπος της σύμμικτης διατομής χρησιμοποιείται συχνά σήμερα σε περιοχές της Ευρώπης, έτσι ώστε να αυξηθεί η πυραντίσταση χωρίς πρόσθετα μέτρα. Το κάτω χαλύβδινο πέλμα παραμένει απροστάτευτο.

Η συνηθισμένη πρακτική όμως, στην περίπτωση εμπορικών και βιομηχανικών κτιρίων (βλέπε Διαφάνεια 6), είναι να κατασκευάζονται τα δάπεδα χρησιμοποιώντας μεταλλική επικάλυψη η οποία συγχωνεύει επιπρόσθετα ανάγλυφα ή οδοντώσεις για να παρέχει σύμμικτη δράση. Αυτός είναι ένας πολύ οικονομικός τρόπος να επιταχυνθεί η κατασκευή, και είναι ένα σημαντικό Τμήμα της μοντέρνας δομικής ανάλυσης. Το κατάστρωμα φέρει τα φορτία πριν και κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης και αργότερα δρα σύμμικτα με το επιτόπου σκυρόδεμα. Συνήθως χρησιμοποιούνται χαλύβδινα τραπεζοειδή ελάσματα του εμπορίου, βλέπε Σχήματα 7 και 15.

Οι σύμμικτες δοκοί δεν χρειάζονται καθόλου καλούπωμα. Αυτό οι πλεονέκτημα εξετάζεται στην επόμενη παράγραφο μαζί με δύο μεθόδους κατασκευής, χωρίς και με προσωρινή στήριξη.

3.1.1 Κατασκευή με προσωρινή στήριξη

Η αποτελεσματικότητα στην απόδοση της κατασκευής θα είναι μέγιστη αν είναι δυνατόν να διασφαλισθεί ότι η πλάκα του σκυροδέματος και οι χαλύβδινο μέλος δρουν σύμμικτα σε όλους τους χρόνους. Για αυτό τον σκοπό, όλα τα φορτία, συμπεριλαμβανομένου και του νεκρού βάρους, πρέπει να ανθίστανται από την σύμμικτη διατομή. Αυτή η απαίτηση μ να εκπληρωθεί υποστηρίζοντας την δοκό μέχρι να σκληρυνθεί το σκυρόδεμα. Ο αριθμός των προσωρινών στηρίξεων δεν χρειάζεται να είναι μεγάλος προσωρινή στήριξη στο τέταρτο του ανοίγματος και στην μέση του είναι γενικά επαρκής. Οι “προσωρινές στηρίξεις” παραμένουν στην θέση τους μέχρι να αναπτύξει η πλάκα σκυροδέματος ικανοποιητική αντίσταση.

Διαφορετικές μέθοδοι κατασκευής οδηγούν σε διαφορετικές καταστάσεις τάσεων, διανομές δυνάμεων και παραμορφώσεις υπό συνθήκες λειτουργίας. παρόλα αυτά, οι σύμμικτες δοκοί που υπερφορτίζονται μέχρι την αστοχία αστοχούν στην ίδια ροπή κάμψης (υποθέτοντας αποφυγή τοπικής αστάθειας) ανεξάρτητα αν έχει χρησιμοποιηθεί προσωρινή στήριξη ή μη. Η καμπτική τους αντίσταση μπορεί εύκολα να υπολογισθεί μέσω ορθογωνικών τμημάτων τάσης όπως φαίνεται παρακάτω.

3.1.2 Αντίσταση της διατομής

Μια τυπική μορφή σύμμικτης κατασκευής αποτελείται από πλάκα συνδεδεμένη με μια σειρά από παραλληλα χαλύβδινα μέλη. Το δομικό σύστημα είναι ως εκ τούτου ουσιαστικά μια σειρά από συνδεδεμένες πλακοδοκούς με πλατιά λεπτά πέλματα από σκυρόδεμα όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Σε τέτοιο σύστημα, το πλάτος του πέλματος μπορεί να μην είναι πλήρως ενεργό σε αντίσταση εκ θλίψης λόγω της διάτμησης. Αυτό το φαινόμενο, που λαμβάνεται υπ’ όψιν από τη γνωστή προσέγγιση του “συνεργαζόμενου πλάτους” εξηγείται αργότερα.

Δεν χρειάζεται συνήθως να ληφθεί υπ’ όψιν τοπικός λυγισμός στην χαλύβδινη διατομή σε αμφιέριστες σύμμικτες δοκούς, μιας και το θλιβόμενο πέλμα συνδέεται με την πλάκα σκυροδέματος με διατμητικούς συνδέσμους, και το ύψος του κορμού που υπόκειται σε θλίψη είναι συνήθως μικρό. Στην περίπτωση μερικής αλληλεπίδρασης, το ύψος του θλιβόμενου μέρους του κορμού είναι συνήθως μεγαλύτερο. Σε αυτή την περίπτωση, παραμένει τουλάχιστον θεωρητικά η πιθανότητα να εμφανισθεί τοπικός λυγισμός στον κορμό της υψίκορμης δοκού ή στην επέκταση του πέλματος πέρα από τους διατμητικούς συνδέσμους.

Οι διαστάσεις των περισσότερων χαλύβδινων δοκών σε κτίρια είναι τέτοιες που μπορεί να εφαρμοσθεί πλαστική ανάλυση στην διατομή της σύμμικτης δοκού. Ο υπολογισμός της οριακής ροπής αντίστασης είναι τότε μια εφαρμογή του ορθογώνιου διαγράμματος Τμήματος τάσης με την προϋπόθεση ότι οι χαλύβδινες διατομές ανήκουν στην Κατηγορία 1 ή 2.

3.1.3 Συνεχείς δοκοί και πλάκες

Πολλές σύμμικτες δοκοί σε κτίρια είναι - από την άπο του στατικού υπολογισμού - συνεχείς δοκοί επί απλών στηρίξεων. Οι πλάκες από σκυρόδεμα είναι συνήθως συνεχείς μιας και σκυροδετήθηκαν χωρίς αρμούς. Οι συνεχείς δοκοί σε σύγκριση με αμφιέρειστες, έχουν ως εκ τούτου τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- μεγαλύτερη αντίσταση λόγω της ανακατανομής ροπών κάμψης
- μεγαλύτερη ακαμψία
- μικρότερη χαλύβδινη διατομή να ανθίσταται στην ίδια φόρτιση.

Απο την άλλη πλευρά, η συνέχεια μπορεί να δυσκολεύει τον σχεδιασμό, ιδιαίτερα όσον αφορά τον στρεπτοκαμπτικό και τοπικό λυγισμό σε περιοχές αρνητικής ροπής. Ο τοπικός λυγισμός του χάλυβα μπορεί να μειώσει την καμπτική αντίσταση της διατομής υπό την πλαστική ροπή, εκτός και αν πληρούνται συγκεκριμένοι περιορισμοί των λόγων πλάτους/πάχους των στοιχείων που δημιουργούν την διατομή πληρούνται. Βασισμένες σε αυτούς τους λόγους οι χαλύβδινες διατομές είναι ταξινομημένες σε Κατηγορίες από 1 μέχρι 4 : οι διατομές της Κατηγορίας 1 επιτρέπουν πλαστική ανάλυση, με χρήση επανακατανομής ροπών, η οποία δίδει πολύ οικονομικό σχεδιασμό, οι διατομές της Κατηγορίας 2 επιτρέπουν πλαστικό υπολογισμό της ροπής αντίστασης αλλά δεν επιτρέπουν την επανακατανομή. Οι εν θερμώ ελατές διατομές ανήκουν στις Κατηγορίες 1 ή 2 στις περισσότερες περιπτώσεις και όταν χρησιμοποιούνται ο τοπικός λυγισμός δεν είναι πρόβλημα.

Πρέπει να προβλέπεται ικανοποιητικός οπλισμός διανομής στην πλάκα από σκυρόδεμα πάνω από εσωτερικές στηρίξεις όπου δεν υπάρχουν αρμοί. Αν οι οπλισμοί έχουν ικανοποιητική ολκιμότητα θα αυξήσουν την καμπτική αντίσταση σημαντικά στις περιοχές αρνητικών ροπών.

3.2 Διατμητική Σύνδεση

Μηχανικοί σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται για να αναπτύξουν την σύμμικτη δράση μεταξύ των χαλύβδινων δοκών και του σκυροδέματος. Αυτή η σύνδεση παρέχεται κυρίως για να αντισταθεί στην διαμήκη διάτμηση, και αναφέρεται σαν «διατμητική σύνδεση».

Το Σχήμα 8 δείχνει πολλούς τύπους διατμητικών συνδέσμων. Αυτά πρέπει να πληρούν έναν αριθμό απαιτήσεων, όπως:

- πρέπει να μεταφέρουν άμεση διάτμηση στην βάση τους.
- πρέπει να δημιουργούν έναν εύκαμπτο σύνδεσμο μέσα στο σκυρόδεμα.
- πρέπει να είναι οικονομικοί στην κατασκευή και την τοποθέτηση.

Στις βιομηχανικές χώρες ο πιο διαδεδομένος σύνδεσμος είναι ο ήλος κεφαλής. Μπορεί συγκολληθεί ημιαυτόματα (βλέπε Διαφάνεια 4) στο άνω πέλμα είτε άμεσα στο τόπο κατασκευής του είτε μέσω λεπτού γαλβανισμένου φύλλου χάλυβα επιτόπου (βλέπε Σχήμα 8.

Οι σύνδεσμοι με εκφυροκρότηση (πριτσίνια) όπως φαίνεται στο Σχήμα 81, έχουν εφαρμοσθεί εναλλακτικά, σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται μεταλλικό δάπεδο και δεν είναι διαθέσιμη επαρκής ηλεκτρική ισχύς. Αυτοί οι σύνδεσμοι έχουν τον πλεονέκτημα ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τροποποιημένα επαναοπλισμένα πιστόλια” αντί του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται για τις δύσκολες συγκολλήσεις δια μέσου του δαπέδου.

Στην περίπτωση προκατασκευασμένων μονάδων πλακών σκυροδέματος έχουν χρησιμοποιηθεί μερικές φορές υψηλής αντοχής κοχλίες για σύνδεση με τις δοκούς, βλέπε Σχήμα 8. Αυτός ο τύπος σύνδεσης έχει χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, σε προσωρινούς χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων γιατί η σύνδεση μπορεί να απομακρυνθεί (παρόλο που τέτοιοι χώροι στάθμευσης είναι για μόνιμη χρήση σήμερα).

Η συμπεριφορά και αντίσταση των ήλων κεφαλής και άλλων συνδέσμων εξετάζεται μέσω δοκιμών διάτμησης και εξόλκωσης. Αυτές οι δοκιμές παρέχουν καμπύλες ολίσθησης όπως φαίνεται στο Σχήμα 9 για ήλους κεφαλής. Η συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακαμψία σε χαμηλή φόρτιση (κάτω από συνθήκες λειτουργίας) και μεγάλε παραμορφώσεις για υψηλές φορτίσεις μέχρι αστοχίας. Αυτή η όλκιμη συμπεριφορά επιτρέπει την επανακατανομή της διατμητικής δύναμης στην διεπιφάνεια χάλυβα- σκυροδέματος και συνεπώς την μερική διατμητική σύνδεση. πρόσθετα, οι ήλοι κεφαλής μπορούν να τοποθετούνται ομοιόμορφα κατά μήκος της δοκού μεταξύ των κρίσιμων διατομών.

Οι σύμμικτες δοκοί είναι συχνά σχεδιασμένες με την υπόθεση ότι η μη στηριζόμενη χαλύβδινη δοκός φέρει το βάρος του δομικού χάλυβα και το υγρό σκυρόδεμα συν τα φορτία κατασκευής. Μπορεί, ως εκ τούτου, να αποφασισθεί για λόγους οικονομίας να παρεχθούν μόνο σύνδεσμοι ικανοί να αναπτύξουν αρκετή σύμμικτη δράση για να φέρουν τα φορτία που εφαρμόζονται έπειτα. Αυτή η προσέγγιση έχει σαν αποτέλεσμα αρκετά λιγότερους συνδέσμους από αυτούς που χρειάζονται για να φθάσουμε την μέγιστη καμπτική αντίσταση της σύμμικτης δοκού. Η χρήση αυτής της τμηματικής διατμητικής σύνδεσης έχει ως αποτέλεσμα μείωση της αντίστασης και της ευκαμψίας.

Η μερική διατμητική σύνδεση μπορεί να αποφευχθεί αν μια πλάκα κατασκευασθεί με μεταλλική επικάλυψη. Ο αριθμός των διατμητικών συνδέσμων που εφαρμόζονται στην χαλύβδινη δοκό μπορεί τότε να περιορισθεί με τον περιορισμό να είναι δυνατή η τοποθέτησή τους μόνο στα κανάλια του προφίλ του χαλυβδόφυλλου.

3.3 Σύνδεση Δοκού - Υποστύλωματος

Υψηλά ανεπτυγμένες τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδεθούν δομικά μέλη από χάλυβα. Η οικονομία απαιτεί, παρόλα αυτά, για τους κόμβους να κατασκευάζονται και να τοποθετούνται επιτόπου. Μελέτες έχουν δείξει ότι η

αποτελεσματικότητα του κόστους των σύμμικτων κατασκευών μπορεί να βελτιωθεί, αν ο ενεργός βαθμός συνέχειας που παρέχεται από ονομαστικά αρθρωτούς αρμούς ληφθεί υπόψη στον σχεδιασμό.

Σε σύμμικτες κατασκευές χάλυβα-σκυροδέματος, παρόλα αυτά, σημαντική πρόσθετη ακαμψία και αντίσταση μπορεί να παρεχθεί απλώς με την τοποθέτηση συνεχών ράβδων ενίσχυσης στην πλάκα στην περιοχή των υποστυλωμάτων, μιας και ο μοναδικός παράγων που επηρεάζει την συμπεριφορά των κόμβων είναι η δράση της πλάκας.

Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να ενισχυθεί με μια ειδική ακολουθία κατασκευής και σκυροδέτησης, ως εξής : κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης η χαλύβδινη διατομή δρα σαν αμφιέριστη δοκός. Η δοκός θα πρέπει να είναι συνδεδεμένη με το χαλύβδινο υποστύλωμα μέσω των διπλών γωνιακών κορμού ή στηρίξεων πελμάτων με ή χωρίς γωνιακά κορμού. Μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος (υποθέτοντας ότι είναι χωρίς αρμούς όπως φαίνεται στο Σχήμα 10 θεωρείται ως συνεχής δοκός που υποστηρίζει τα πρόσθετα εφαρμοζόμενα φορτία. Ακολουθώντας αυτήν την διαδικασία κατασκευής, η απαιτούμενη ανακατανομή της καμπτικής ροπής δεν είναι μεγάλη και η πλαστική στροφή μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Πρόσθετα ο μελετητής μπορεί να πάρει την απόφαση αν μπορεί ή όχι να χρησιμοποιήσει ανοχές μεταξύ του χαλύβδινου θλιβόμενου πέλματος και του υποστυλώματος κυρίως εξαρτώμενη από την πλαστική ροπή του άκρου του κόμβου.

Το Σχήμα 10 συγκρίνει απλούς, ακάμπτους και ημιάκαμπτους σύμμικτους κόμβους: Η λεπτομέρεια κατασκευής χωρίς ανοχές, που φαίνεται στο Σχήμα 10c, είναι συνεπής με το αυξανόμενο ενδιαφέρον σε εύκαμπτα συνδεδεμένα (ημι-άκαμπτα) χαλύβδινα πλαίσια με απλές κατασκευαστικές λεπτομέρειες τα οποία επιταχύνουν την κατασκευή. προτείνεται ότι θα πρέπει να πληρούνται τα ακόλουθα κριτήρια συμπεριφοράς:

- οι αρμοί θα πρέπει να συμπεριφέρονται περισσότερο σαν άρθρωση πριν την σκυροδέτηση
- οι αρμοί θα πρέπει να είναι άκαμπτοι και να συμπεριφέρονται ελαστικά μέχρι μια προκαθορισμένη τιμή ροπής.
- οι αρμοί θα πρέπει να έχουν ικανότητα αντίστασης στην κυριαρχώσα πλαστική ροπή με επαρκή πλαστυή στροφή.

Οι συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος σε ψηλά κτίρια απαιτούν κατά κάποιο τρόπο διαφορετικές λύσεις. Μέχρι πρόσφατα τέτοια δομικά συστήματα είχαν μόνο απλούς διατμητικούς συνδέσμους μεταξύ δομικού χάλυβα και στοιχείων ωπλισμένου σκυροδέματος. παρόλα αυτά, μικτές κατασκευές θα πρέπει επίσης να θεωρούνται αυτές στις οποίες πρώτα κατασκευάζονται πλαίσια από ελαφρά χαλύβδινα υποστυλώματα και υψίκορμες δοκούς. Τα χαλύβδινα υποστυλώματα εγκιβωτίζονται έπειτα σε ωπλισμένο σκυρόδεμα.

3.4 Σύμμικτα Υποστυλώματα

Τρεις διαφορετικοί τύποι συμμίκτων υποστυλωμάτων είναι κυρίως σε χρήση, βλέπε Σχήμα 11:

- χαλύβδινα υποστυλώματα εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα (a)
- χαλύβδινοι σωλήνες πληρωμένοι με σκυρόδεμα (c και b)
- υποστυλώματα από πρότυπες διατομές μερικώς εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα (b)

Στον υπολογισμό της αντοχής τέτοιων υποστυλωμάτων, υποτίθεται πλήρης σύμμικτη αλληλεπίδραση χωρίς καμιά ολίσθηση στην διεπιφάνεια χάλυβα- σκυροδέματος. Αυστηρά μιλώντας όλες οι γεωμετρικές και φυσικές μη γραμμικότητες των διαφορετικών υλικών πρέπει να ληφθούν υπόψη. Είναι μόνο εφικτό, παρόλα αυτά, να εκπληρωθούν αυτές οι απαιτήσεις με την χρήση αριθμητικών μεθόδων ανάλυσης και λογισμικού. Η υποτιθέμενη πλήρης αλληλεπίδραση επιτρέπει τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των διατομών, και των λόγων ακαμψίας και λυγηρότητας, για όλη την μη ομοιογενή διατομή. Αυτή η πληροφορία είναι απαραίτητη για να προσδιορισθεί η φέρουσα ικανότητα, συμπεριλαμβανομένης της λυγηρότητας ή των επιρροών Ρ-Δ. Ο Ευρωκώδικας 4 δίνει απλοποιημένες μεθόδους σχεδιασμού για πρακτική χρήση. Αντί για πιο ακριβείς καμπύλες λυγισμού, ο Ευρωκώδικας 4 υιοθέτησε τις Ευρωπαϊκές καμπύλες λυγισμού, Β και οι οποίες προσδιορίστηκαν αρχικά μόνο για χαλύβδινες διατομές.

Η πλήρης αλληλεπίδραση πρέπει να διασφαλίζεται μέσω μηχανικών συνδέσεων. Οι συνδέσεις θα πρέπει να παρέχονται τουλάχιστον στα άκρα του υποστυλώματος και εκεί που δρουν τα φορτία ή οι δυνάμεις. Θα πρέπει να κατανέμονται πάνω από όλη την διατομή. Τέτοιοι σύνδεσμοι μπορεί να είναι ήλοι κεφαλής, πλάκες κορυφής ή βάσης, κατάλληλα αγκύρια, διατμητικοί ήλοι ή άλλα δομικά μέσα.

Τα εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα υποστυλώματα έχουν το πλεονέκτημα ότι πληρούν τις απαιτήσεις πυραντοχής χωρίς καμιά άλλη προστασία. πρόσθετα, μπορούν εύκολα να ενισχυθούν με ράβδους οπλισμού στο σκυρόδεμα επικάλυψης. Δεν παρουσιάζουν, παρόλα αυτά, μια κατασκευαστικά προσβάσιμη χαλύβδινη επιφάνεια για μελλοντικές στηρίξεις και ελκυστική επιφανειακή μεταχείριση. Στην περίπτωση προκατασκευασμένων εγκιβωτισμένων υποστυλωμάτων οι χαλύβδινες διατομές έχουν κατασκευαστεί σε εργοτάξιο και περιλαμβάνουν όλες τις συγκολλήσεις, πλάκες σύνδεσης και άλλα χρήσιμα προσαρτήματα. Αυτά τα χαλύβδινα υποστυλώματα (Τα μακρύτερα είναι μήκους μέχρι 30 μέτρων) μπορούν τότε να μεταφερθούν σε άλλο εργοτάξιο, όπου γίνεται και η σκυροδέτηση. Μετά την σκυροδέτηση των υποστυλωμάτων μπορούν να μεταφερθούν στο εργοτάξιο.

Οι με σκυρόδεμα πληρούμενοι σωλήνες χρησιμοποιούνται επίσης. Οι σωλήνες πληρούνται συνήθως με σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, με ελάχιστη αντοχή κύβου 45 μέχρι 55 N/mm² αυτές οι αντοχές, παρόλα αυτά, είναι αρκετά μακριά από αυτές που αναπτύχθηκαν πρόσφατα στην Βόρεια Αμερική.

Αν οι δυνάμεις στήριξης από τις δοκούς του δαπέδου μεταφέρονται μέσω κατακόρυφων πλακών σύνδεσης, αυτές οι πλάκες περνούν μέσα από τους σωλήνες και συγκολλούνται και στις δύο πλευρές. Αυτή η συγκόλληση εξασφαλίζει ότι και τα δύο μέρη, και ο χαλύβδινος σωλήνας και το σκυρόδεμα, φορτίζονται άμεσα χωρίς μεγάλη ολίσθηση στην διεπιφάνεια σκυροδέματος - χάλυβα. Για να εκπληρωθεί ο απαιτούμενος βαθμός πυραντίστασης το σκυρόδεμα θα πρέπει να ωπλισθεί διαμήκως. Είναι αδύνατο, παρόλα αυτά, να εξαντλήσουμε την πλήρη αντοχή του υποστυλώματος σε πολλές περιπτώσεις.

3.5 Μερικώς Εγκιβωτισμένες Χαλύβδινες Διατομές

Μερικώς εγκιβωτισμένες χαλύβδινες διατομές, για δοκούς και υποστυλώματα, είναι μια ενδιαφέρουσα εξέλιξη κατά τα 10 τελευταία χρόνια. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό τέτοιας μερικώς εγκιβωτισμένης διατομής είναι η εγγενής υψηλή πυραντίσταση. Η πυραντίσταση οφείλεται στο γεγονός ότι το σκυρόδεμα προστατεύει τα εσωτερικά χαλύβδινα μέρη - τον δομικό χάλυβα και τις ράβδους οπλισμού από το να υπερθεμανθούν γρήγορα. Το Σχήμα 12 δείχνει δύο μερικώς εγκιβωτισμένες δοκούς (στην δεξιά πλευρά) συγκρινόμενες με την συμβατική πυραντίσταση μέσω σανίδων. Η διαφάνεια 7 δείχνει μια τυπική σύμμικτη κατασκευή πατώματος, όπου χρησιμοποιούνται μερικώς εγκιβωτισμένες διατομές. Δεν χρειάζεται περαιτέρω πυροπροστασία για δοκούς και πλάκες.

Τα τμήματα του σκυροδέματος κατασκευάζονται σε εργοτάξιο ή επι τόπου πριν την ανέγερση. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει ταχεία κατασκευή με προκατασκευασμένα σύμμικτα μέλη. Το σκυρόδεμα μεταξύ των πελμάτων πρέπει να ενισχύεται από διαμήκεις ράβδους και συνδετήρες, και θα πρέπει να αγκυρώνεται στον κορμό με ήλους, συγκολλητές ράβδους ή ράβδους μέσω οπών.

Επιπροσθέτως της πυραντίστασης, αποφεύγονται η ρυτίδωση και ο τοπικός λιγισμός του χαλύβδινου κορμού ενώ η αντίσταση της χαλύβδινης δοκού έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού είναι σημαντικά αυξημένη. Αυτές οι δοκοί έχουν μεγαλύτερη ακαμψία υπό κάμψη και κάθετη διάτμηση η οποία έχει σαν αποτέλεσμα μείωση του τελικού βέλους. Φαίνονται πολύ συμπαγείς, όπως μπορούμε να δούμε από το Σχήμα 13, και χαρακτηρίζονται από το ελεύθερο κάτω πέλμα, στο οποίο αγωγοί, ή άλλα στοιχεία λειτουργίας μπορούν να κολληθούν ή να βιδωθούν.

3.6 Σύμμικτες πλάκες

Σε δάπεδα, η χρήση ολόσωμων πλακών σκυροδέματος αντικαθίσταται όλο και περισσότερο από την μεταλλική κοιτόστρωση, βλέπε Σχήμα 14. Σύγχρονα χαλυβδόφυλλα με πρόσθετες οδοντώσεις ή αυλακώσεις συμπεριφέρονται και σαν μόνιμο καλούπι Κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης και σαν οπλισμός εφελκυσμού μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος. Σε αυτό το τελικό στάδιο η σύμμικτη πλάκα αποτελείται από ένα προφίλ χαλυβδόφυλλου και μια επικάλυψη από σκυρόδεμα συνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο που οι οριζόντιες διατμητικές δυνάμεις μπορούν να αναληφθούν από την διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος. Ολίσθηση (σχετικές

μετακινήσεις) στην διεπιφάνεια θα πρέπει να εμποδισθεί ολοκληρωτικά ή μερικά, όπως επίσης και ο κάθετος διαχωρισμός του χαλυβδόφυλλου από το σκυρόδεμα.

Η απαιτούμενη σύμμικτη δράση μπορεί να επιτευχθεί με διάφορα μέσα, βλέπε Σχήμα 15. Για να επιτρέψει μεγάλη ποικιλία των παρόντων και των πιθανών μελλοντικών προϊόντων της αγοράς ο Ευρωκώδικας 4 επιτρέπει τις ακόλουθες μεθόδους για την επίτευξη του διατμητικού φορτίου:

- a) μηχανική αλληλοεμπλοκή που παρέχεται από παραμορφώσεις στο προφίλ (αυλακώσεις ή οδοντώσεις).
- b) αλληλοεμπλοκή μέσω τριβής για προφίλ μορφοποιημένα σε μια εσοχή
- c) ακραία αγκύρωση που παρέχεται από συγκολλητούς ήλους ή πιρτσινωτούς διατμητικούς συνδέσμους
- d) ακραία αγκύρωση από παραμόρφωση των πλευρών στα άκρα του φύλλου σε συνδυασμό με το b.

1. Η χρήση χαλυβδόφυλλων αδαμφισβήτητα επιταχύνει την κατασκευή. Είναι επίσης συχνά χρησιμοποιούμενο με ελαφρού βάρους σκυρόδεμα να μειώνεται το νεκρό φορτίο λόγω της κατασκευής δαπέδου. Στην Αγγλία, για παράδειγμα, αυτή η χρήση του σκυροδέματος ελαφρού βάρους είναι η κοινή πρακτική για εμπορικά κτίρια.

Οι σύμμικτες πλάκες στηρίζονται από χαλύβδινες δοκούς, οι οποίες φυσιολογικά δρουν σύμμικτα με την πλάκα σκυροδέματος. Η απόσταση των δοκών, και ως εκ τούτου το άνοιγμα της πλάκας, εξαρτάται από την μέθοδο της κατασκευής, ως εξής:

- αν οι αποστάσεις των δοκών είναι περίπου 2,50 μέτρα, τότε η προσωρινή στήριξη είναι αναγκαία κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης της πλάκας. Σε αυτή την περίπτωση το στάδιο κατασκευής καθορίζει τον σχεδιασμό του μεταλλικού φύλλου. Λόγω του μικρού ανοίγματος, οι τάσεις στην σύμμικτη πλάκα στο τελικό στάδιο μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος, είναι πολύ μικρές. Για τέτοια δάπεδα, χρησιμοποιούνται συνήθως τραπεζοειδή χαλύβδινα φύλλα με μερική οριζόντια διατμητική αντίσταση και ολκιμότητα. Έχουν το χαμηλότερο βάρος χάλυβα ανα τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας δαπέδου.
- για άλλους τύπους δαπέδου όπου η πλευρική απόσταση των δοκών είναι πολύ μεγαλύτερη, είναι αναγκαία η ύπαρξη στηριγμάτων που στηρίζουν την μεταλλική πλάκα κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης. Λόγω του μεγαλύτερου ανοίγματος, η τελική σύμμικτη πλάκα εντείνεται πολύ. Ως αποτέλεσμα αυτή η τελική κατάσταση καθορίζει τον σχεδιασμό. Σε αυτή την περίπτωση τα χαλυβδόφυλλα απαιτούν καλή οριζόντια διατμητική αντίσταση χρησιμοποιούνται συχνά προφίλ με εσοχές οδηγώντας σε μεγαλύτερο βάρος χάλυβα ανα τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας δαπέδου.

4. ΣΥΜΜΙΚΤΑ ΔΑΠΕΔΑ

Σύμμικτα δάπεδα είναι ουσιαστικά μια επαλληλία αμφιέριστων δομικών στοιχείων. Οι πλάκες στηρίζονται σε δευτερεύουσες δοκούς ή σε δοκούς δαπέδου, οι οποίες στηρίζονται εγκάρσια στις κύριες δοκούς. Οι τελευταίες στηρίζονται στα υποστυλώματα, βλέπε Σχήμα 16, Διαφάνειες 1 και 2. Ο δρόμος των φορτίων οδηγεί σε ορθογώνιους κανάβους, με μεγάλα ανοίγματα τουλάχιστον σε μια διεύθυνση (μέχρι 12, 15 ή ακόμα και 20 μέτρα). Μέχρι τα 15 μέτρα, χρησιμοποιούνται συνήθως πρότυπες διατομές, ενώ από τα 12 μέτρα και πάνω συγκολλητές δοκοί ή δικτυωτές δοκοί τείνουν να είναι πιο οικονομικές.

Κατά την διάρκεια ζωής της θα πρέπει να αναμένονται αλλαγές χρήσης στην κατασκευή. Ενώ αρκετές από αυτές τις αλλαγές επηρεάζουν τις απαιτήσεις λειτουργικότητας άλλες θα επηρεάσουν πρώτιστα τις θέσεις. Ο καλύτερος τρόπος για να μεγιστοποιηθεί η ευκαμψία της εσωτερικής σχεδίασης είναι να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των υποστυλωμάτων. Το Σχήμα 2 δείχνει τυπικά παραδείγματα τρόπων με τους οποίους κύριες δοκοί μεγαλύτερου ανοίγματος, μπορούν να εξαλείψουν ή να μειώσουν τα εσωτερικά υποστυλώματα. Αυτές οι δοκοί μεγάλου ανοίγματος μπορεί να είναι τόσο υψίκορμες που οι αυλακώσεις μπορούν να τοποθετηθούν μόνο μέσω οπών στους κορμούς των κύριων δοκών, βλέπε Σχήμα 17. Συνήθως χρειάζεται ενίσχυση γύρω από τα ανοίγματα, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν πολύ υψηλές κάθετες διατμητικές δυνάμεις.

Άλλες μέθοδοι συγχώνευσης αυλακώσεων εντός του ύψους της κατασκευής φαίνονται στο Σχήμα 18. Μια πρόσθετη εναλλακτική λύση είναι η πιθανότητα ενίσχυσης των δοκών κοντά στα άκρα τους.

Στην περίπτωση δαπέδων μεγαλύτερου ανοίγματος, ο μελετητής ίσως χρειασθεί να λάβει υπ' όψιν του την ευαισθησία του δαπέδου σε ταλάντωση. Η παράμετρος που συνηθέστερα σχετίζεται με αυτό το αποτέλεσμα είναι η φυσική συχνότητα του δαπέδου. Όσο χαμηλότερη η φυσική συχνότητα, τόσο περισσότερο μπορεί να αποκριθεί δυναμικά η κατασκευή σε ταλάντωση που οφείλεται στην χρήση.

Για αυτό τον σκοπό τα δάπεδα (ή οι δοκοί) σχεδιάζονται συνήθως ώστε να έχουν φυσική συχνότητα όχι λιγότερη από 3Hz, και στην περίπτωση δαπέδων που μπορεί να υπόκεινται σε ομαδικές ρυθμικές ενέργειες, όχι λιγότερο από 4Hz. Μια εναλλακτική πιο ακριβής προσέγγιση είναι να εκτιμηθεί η επιθυμητή συμπεριφορά ταλάντωσης και, να ληφθεί υπ' όψιν η ανθρώπινη αντίδραση στην ταλάντωση, και από αυτό να καθορισθούν τα κριτήρια αποδοχής.

Συνοψίζοντας σύμμικτα δάπεδα χρησιμοποιούνται για εμπορικά και άλλα πολυώροφα κτίρια, και προσφέρει τα ακόλουθα κύρια πλεονεκτήματα στον μελετητή και στον πελάτη:

- ταχύτητα και απλότητα κατασκευής (μεταλλική επίστρωση, απλοί χαλύβδινοι κόμβοι).

- ελαφρύτερη κατασκευή από ένα παραδοσιακό κτίριο από σκυρόδεμα (δομικός χάλυβας και σκυρόδεμα ελαφρού βάρους, λυγηρά δομικά στοιχεία μικρών διαστάσεων).
- λιγότερη επι τόπου εκτέλεση (μεταλλικά στοιχεία, προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία).
- μικρές (αυστηρές) ανοχές που επιτυγχάνονται με την χρήση χαλύβδινων μελών κατασκευασμένων υπό ελεγχόμενες εργοστασιακές συνθήκες με καθορισμένες διαδικασίες ποιότητας.

Οι σύμμικτες δοκοί σχεδιάζονται με μεθόδους πλαστικού σχεδιασμού και μερικώς με την θεωρία αλληλεπίδρασης, συνδυάζοντας σκυρόδεμα και χάλυβα για μεγαλύτερο αποτέλεσμα. Για να επιτύχουμε το μέγιστο πλεονέκτημα από αυτή την μορφή κατασκευής, ο προγραμματισμός και ο σχεδιασμός θα πρέπει να ολοκληρώνεται από την αρχή. Η ανάμιξη έμπειρων εργοταξιαρχών στα πρώτα στάδια θα βοηθήσει να αποφευχθούν προβλήματα αργότερα. Με αυτή την προσεχτικά σχεδιασμένη προσέγγιση, διαφορετικές ενέργειες όπως ανέγερση χαλύβδινων μελών, η μεταλλική επίστρωση και συγκόλληση ήλων, σκυροδέτηση, πυροπροστασία, επενδύσεις, δημιουργία όψεων, σωληνώσεις και τελειώματα μπορεί να γίνεται σε διαφορετικούς ορόφους συγχρόνως.

5. ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

Μεσαίου ανοίγματος σύμμικτες γέφυρες κατασκευάζονται συνήθως από συγκολλητές, σύνθετες σιδηροδοκούς και με πλατύ κατάστρωμα από σκυρόδεμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 19. Κιβωτοειδείς δοκοί, βλέπε Σχήμα 20, οι οποίες φαίνονται πολύ ελκυστικές αλλά που είναι πιο ακριβές, χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά. Για τα μικρότερα ανοίγματα, από 20 μέχρι 35 μέτρα, οι πρότυπες χαλύβδινες διατομές είναι πιο δημοφιλείς. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πλάκα κοιτόστρωσης από σκυρόδεμα ή να εγκιβωτισθούν σε σκυρόδεμα (άνω πέλμα και κορμού). Η διαφάνεια 8 δίνει μια παράσταση πρότυπων διατομών, η οποία μπορεί να κατασκευαστεί και καμπύλη αν χρειαστεί, η οποία χρησιμοποιείται με αυτό τον τρόπο.

Απο το 1950 έχουν ανεγερθεί πολλές μεγάλου ανοίγματος συνεχείς σύμμικτες γέφυρες αυτοκινητοδρόμου. Κατά την εποχή αμέσως μετά τον Β παγκόσμιο πόλεμο, ο δομικός χάλυβας ήταν πολύ ακριβός, και πλεονέκτημα υπήρξε από την ελαφρά σύμμικτη διατομή για να ελαχιστοποιηθεί το κόστος των υλικών. Οι σημερινές διατομές είναι πιο συμπαγείς και πιο απλές, και δεν έχουν τόσες πολλές δευτερεύουσες δοκούς, ενισχύσεις και νευρώσεις. Αυτή η μορφή κατασκευής μειώνει το κόστος εργατικών στο εργοστάσιο όπως επίσης και στο εργοτάξιο.

Λόγω της ασύμμετρης φύσης της διατομής, η συστολή πήξης του σκυροδέματος πάντα δημιουργεί θλίψη και θετική κάμψη στην χαλύβδινη διατομή που οδηγεί σε μεγαλύτερα βέλη.

Στην κατασκευή με προσωρινή στήριξη η θλίψη στο πέλμα του σκυροδέματος λόγω του ιδίου βάρους της δοκού δημιουργεί παραμορφώσεις ερπυσμού. Το σκυρόδεμα ανακατανέμει την θλίψη. Τάσεις και δυνάμεις ανακατανέμονται τότε από το πέλμα του σκυροδέματος στην χαλύβδινη δοκό που γι' αυτό έχει να φέρει μεγαλύτερο μέρος της φόρτισης. Αυτή η ανακατανομή έχει επίσης σαν αποτέλεσμα αυξανόμενα βέλη.

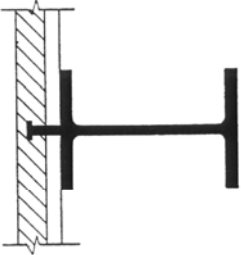
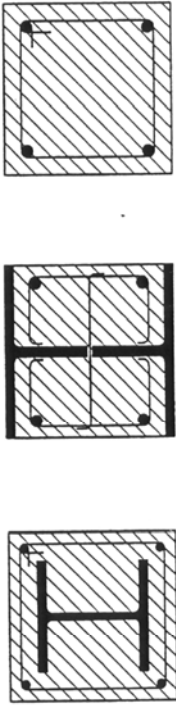

Ένας απλός τρόπος να ληφθούν υπ' όψιν τα αποτελέσματα του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης είναι να μειωθεί η ακαμψία του σκυροδέματος μέσω μιας κατάλληλης μείωσης των συντελεστών "n". Αυτοί οι συντελεστές πεζαρτώνται όχι μόνο από την διάρκεια και τον χρόνο της φόρτισης μετά την σκυροδέτηση, αλλά και από τις ιδιότητες της διατομής και τις συνθήκες περιβάλλοντος. Θα πρέπει να τονισθεί ότι αυτή η διαδικασία δεν εφαρμόζεται σε δοκούς κτιρίων, όπου χρειάζεται μικρότερη ακρίβεια.

Στο τελικό οριακό στάδιο οι ανοιγμένες παραμορφώσεις λόγω φορτίου είναι πολύ μεγαλύτερες από τις παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού και συστολής ξήρανσης, και τελευταίες μπορούν να αγνοηθούν.

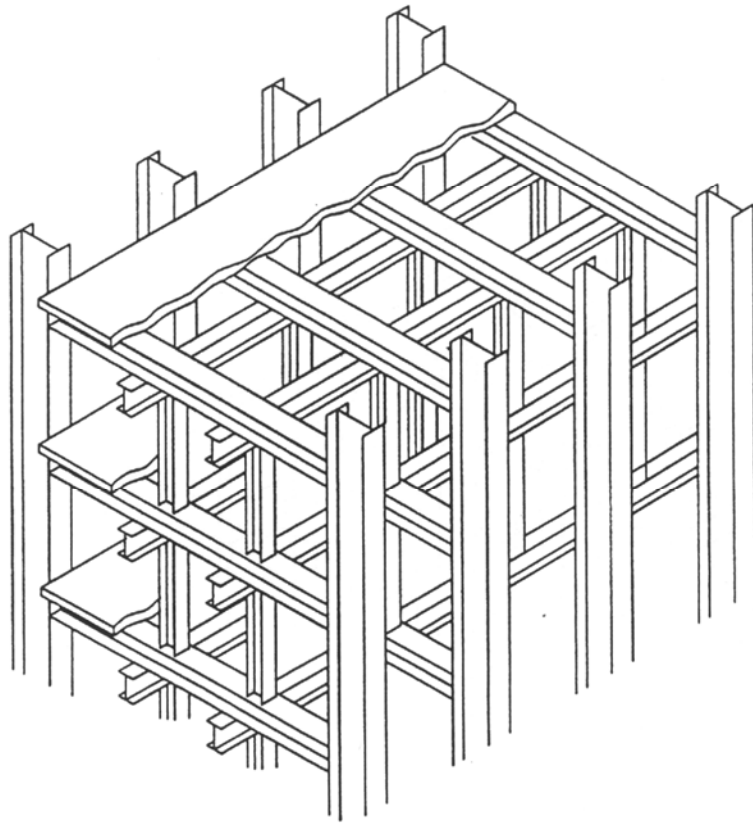
Η φιλοσοφία σχεδιασμού για σύμμικτες γέφυρες συζητώνται περαιτέρω στην Διάλεξη 10.10.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Η σύμμικτη κατασκευή, ιδιαίτερα αυτή που χρησιμοποιεί πρότυπες διατομές χάλυβα, επιτρέπει γρήγορη κατασκευή.
2. Το βάρος του χαλύβδινου μέρους που χρειάζεται στην σμμικτη κατασκευή είναι αρκετά μικρότερο από το αν τα υλικά χρησιμοποιούνταν ανεξάρτητα.
3. Δεν υπάρχει ανάγκη ακριβής εργασίας μορφοποίησης και καλουπωμάτων γιατί η χαλύβδινη δοκός είναι ικανή να φέρει το ίδιο βάρος του σκυροδέματος και του χάλυβα μόνη της ή με μικρή βοήθεια προσωρινών κριωμάτων. Το καλούπωμα μπορεί να αντικατασταθεί από προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα ή πρότυπα χαλυβδόφυλλα.
4. Τα προηγούμενα πλεονεκτήματα αποτελούν ένα πολύ ισχυρό επιχειρήμα για την χρήση συμμίκτων δοκών σε κτίρια. Είναι πιο σημαντικά, παρόλα αυτά, για μεσαία και μεγάλα ανοίγματα παρά για μικρά ανοίγματα.
5. Το κύριο μειονέκτημα της σύμμικτης κατασκευής είναι η ανάγκη να τοποθετηθούν σύνδεσμοι στην διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος.
6. Ένα άλλο μικρότερο μειονέκτημα είναι ότι είναι πιο περίπλοκη από άλλες μεθόδους για τον σχεδιασμό και την κατασκευή. Αυτό το μειονέκτημα είναι ιδιαίτερα σχετικό με συνεχείς κατασκευές και γέφυρες. παρόλα αυτά, υπερκαλύπτεται αρκετά από τα σημαντικά πλεονεκτήματα που μπορούν να κερδηθούν.

<p>Σύμμικτη δοκός</p>		<p>Χαλύβδινη δοκός σύμμικτη πλάκα</p>
<p>Σύμμικτο υποστυλώμα</p>		<p>Χαλύβδινα προφίλ εγκιβωτισμένα ή πλήρη σκυροδέματος</p>
<p>Σύμμικτη πλάκα</p>		<p>Χαλύβδινο προφίλ + σκυρόδεμα</p>

ΣΧΗΜΑ 1 Σύμμικτα στοιχεία για κτίρια



ΣΧΗΜΑ 2a Σύμμικτη κατασκευή σε κτίρια.

ESDEP ΟΕ 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.2 : Η Συμπεριφορά Δοκών

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να περιγραφεί η βασική συμπεριφορά σύμμικτων δοκών συμπεριλαμβάνοντας τη γεωμετρική περιγραφή μιας τυπικής δοκού, της κατασκευής της, και των σχέσεων τάσεων παραμορφώσεων που αναπτύσσονται υπό φορτίο.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 7.8.2 : Γίλυρικά Στηριγμένες Δοκοί

Διάλεξη 10.1 : Σύμμικτες Δοκοί - Γενικά

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 10.3 : Αμφιέριστες Δοκοί

Διάλεξη 10.4 : Συνεχείς Δοκοί

Διάλεξη 10.5 : Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα

Διάλεξη 10.6 : Διατμητική Σύνδεση

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Οι σύμμικτες δοκοί περιγράφονται με όρους της χαλύβδινης διατομής, της πλάκας σκυροδέματος και των συνδέσμων που χρησιμοποιούνται ως δάπεδο τυπικού κτιρίου. Η συμπεριφορά του υλικού καθενός από τα συστατικά περιγράφεται συντομία και γίνεται αναφορά στην λυγερή φύση της χαλύβδινης διατομής και της ανισότροπης φύσης της πλάκας σκυροδέματος. Η δομική συμπεριφορά μιας τυπικής σύμμικτης δοκού περιγράφεται, σε τρία στάδια, με αναφορά στην παραμόρφωση και την τάση σε κάθε μέρος του συστατικού. πρώτον σε χαμηλά φορτία όταν συμβαίνει πλήρης αλληλεπίδραση και μια γραμμική ελαστική απόκριση. Δεύτερον με την εμφάνιση ολίσθησης για αύξηση του φορτίου, και τελικά καθώς τα υλικά φθάνουν τις τάσεις αστοχίας. περιγράφεται η ύπαρξη ή μη προσωρινής στήριξης που συνεπάγεται διαφορετική συμπεριφορά της δοκού. Η μερική αλληλεπίδραση εξηγείται επίσης με ποιοτικούς όρους. Η διάλεξη καταλήγει με μια σύνοψη των περιορισμών τους οποίους πρέπει να λάβει υπ' όψιν ο μηχανικός στον σχεδιασμό σύμμικτων δοκών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αυτή η διάλεξη σκιαγραφεί, με γενικούς όρους, την συμπεριφορά του πιο συνήθους σύμμικτου στοιχείου - την σύμμικτη δοκό. Για να γίνει αυτό θα εξηγηθούν πολλά από τα προβλήματα που σχετίζονται με την ανάλυση και τον σχεδιασμό άλλων στοιχείων όπως υποστυλωμάτων και πλακών. Η διάλεξη ως εκ τούτου διαμορφώνει μια βάση στην οποία οικοδομείται η κατανόηση της σύμμικτης συμπεριφοράς.

Η γενική περιγραφή της σύμμικτης δοκού ακολουθείται από μια πιο λεπτομερειακή συζήτηση των συστατικών τμημάτων και της δομικής συμπεριφοράς τους. Η δομική δράση περιγράφεται με αναφορά στην ιστορία ανοιγμένης παραμόρφωσης, και τάση μιας τυπικής σύμμικτης δοκού όπως παραμορφώνεται, κάτω από αυξανόμενο φορτίο, μέχρι την αστοχία.

Ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάζονται Οι σύμμικτες δοκοί μπορεί να αλλάζει την αντίστασή τους στα επιβαλλόμενα φορτία. Συνεπώς είναι ουσιώδες να σχεδιάζουμε σύμμικτες δοκούς και για τις φάσεις κατασκευής και λειτουργίας. Είναι επίσης δυνατό να σχεδιάζουμε μια δοκό για ‘μερική σύνδεση’ έτσι ώστε να είναι ίδια κρίσιμη κάθε συνθήκη. περιγράφεται ένας ορισμός της μερικής σύνδεσης, και σύντομοι λόγοι για την απαίτηση σχεδιασμού σε δύο στάδια. Αμφιέριστα ανοίγματα είναι μια συνήθης μορφή δοκού της οποίας εξηγείται η συμπεριφορά. Εισάγεται επίσης η συμπεριφορά συνεχών ανοιγμάτων.

Τέλος, δίνεται μια σύνοψη των κριτηρίων σχεδιασμού για σύμμικτες δοκούς. Αυτά τα κριτήρια καλύπτονται λεπτομερέστερα σε άλλες διαλέξεις.

2. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

Απο την στιγμή που η σύμμικτη δοκός αποτελείται από 3 συστατικά, βλέπε Σχήμα 1, είναι αναγκαίο να εξετάσουμε την συμπεριφορά του καθενός πριν περιγράψουμε την ολική συμπεριφορά του συνδυασμού.

Κάτω από και εφελκυσμό και θλίψη, ο χάλυβας συμπεριφέρεται με ένα γραμμικό ελαστικό τρόπο μέχρι την εμφάνιση της πρώτης διαρροής. Μετά από αυτό παραμορφώνεται με ένα τέλεια πλαστικό τρόπο μέχρι την εμφάνιση της κρατύνσεως. Αυτή η συμπεριφορά δείχνεται διαγραμματικά στο Σχήμα 2a μαζί με την ιδεατή συμπεριφορά του χάλυβα η οποία υποτίθεται για τον σχεδιασμό. Γενικά, το μεγαλύτερο τμήμα της διατομής του χάλυβα είναι σε εφελκυσμό για απλή κάμψη και ο τοπικός λυγισμός των λυγερών διατομών δεν είναι πρόβλημα. παρόλα αυτά, για συνεχείς δοκούς, σημαντικά μέρη της χαλύβδινης διατομής υπόκεινται σε θλίψη και θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν ο τοπικός λυγισμός. Αυτό το θέμα θα καλυφθεί στις Διαλέξεις 10.4.1 και 10.4.2.

Η συμπεριφορά του σκυροδέματος είναι πιο περίπλοκη. θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν δύο καταστάσεις. Το σκυρόδεμα σε θλίψη ακολουθεί μια μη γραμμική καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων. Αυτή η συμπεριφορά φαίνεται στο Σχήμα 2d μαζί με δύο εξιδανικεύσεις που χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό. Το παραβολικό Τμήμα τάσεων συχνά χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό οπλισμένου σκυροδέματος αλλά το ορθογώνιο τμήμα συνήθως υποτίθεται στον σχεδιασμό σύμμικτης δοκού. Η συμπεριφορά του γραμμικού υλικού δίνει μια ανελαστική απόκριση στην κατασκευή. Το σκυρόδεμα σε εφελκυσμό ρηγματώνεται σε πολύ μικρά φορτία και συνήθως υποτίθεται, κατά τον σχεδιασμό, ότι το σκυρόδεμα δεν έχει εφελκυστική αντοχή.

Η συμπεριφορά των συνδέσεων, βλέπε Σχήμα 2c θα καλυφθεί λεπτομερειακά στην Διάλεξη 10.6.1. Εδώ είναι επαρκές να πούμε ότι είναι επίσης μη γραμμική. Αυτή η συμπεριφορά προσθέτει στην πολυπλοκότητα της μελέτης.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΙΑΣ ΑΠΛΑ ΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΗΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΟΚΟΥ

3.1 Γενικά

Οι σύμμικτες δοκοί διαμορφώνονται με μια μονολιθική, σύμμικτη ή προκατασκευασμένη πλάκα σκυροδέματος που στηρίζεται στις χαλύβδινες διατομές και συνδέεται μαζί τους. Το Σχήμα I δείχνει μια τυπική κάτοψη. Τα χαλύβδινα Τμήματα συχνά αναφέρονται λανθασμένα “δοκοί”. Σε αυτή την διάλεξη αναφέρονται σαν “χαλύβδινες διατομές” για αποφυγή της σύγχυσης.

Η πλάκα συνήθως στηρίζεται μεταξύ παραλλήλων χαλύβδινων διατομών και ο σχεδιασμός συνήθως υπαγορεύεται από αυτή την εγκάρσια δράση. Συνεπώς το άνοιγμα, το ύψος και η ποιότητα του σκυροδέματος προσδιορίζεται χωριστά και είναι γνωστά πριν από το σχεδιασμό της δοκού.

Για μη σύμμικτη κατασκευή, οι χαλύβδινες διατομές από μόνες τους είναι σχεδιασμένες να φέρουν τα φορτία στο δαπέδου συν Το ίδιο βάρος της πλάκας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Η χαλύβδινη διατομή είναι συμμετρική περί το μέσο του ύψους της και έχει ένα ουδέτερο άξονα σε αυτό το σημείο. Οι παραμορφώσεις της διατομής γύρω από αυτόν τον ουδέτερο άξονα και οι ακραίες εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις είναι ταυτόσημες. Οι τάσεις (σ) σε εφελκυσμό (t) και σε θλίψη (c) στην χαλύβδινη διατομή μπορούν να προσδιορισθούν χρησιμοποιώντας την απλή θεωρία κάμψης.

σ_t και σ_c φορτίου λειτουργίας /Wχαλύβδινης διατομής

Η πλάκα σκυροδέματος δεν συνδέεται με την χαλύβδινη διατομή και έτσι συμπεριφέρεται ανεξάρτητα. Όπως είναι γενικά πολύ ασθενής σε διαμήκη κάμψη παραμορφώνεται στην καμπυλότητα της χαλύβδινης διατομής και έχει τον δικό της ουδέτερο άξονα. Η κάτω επιφάνεια της πλάκας σκυροδέματος είναι ελεύθερη να ολισθήσει πάνω από το άνω πέλμα της χαλύβδινης διατομής και εμφανίζεται αξιοπρόσεκτη ολίσθηση μεταξύ των δύο. Η καμπτική αντίσταση της πλάκας είναι συχνά τόσο μικρή που αγνοείται.

Εναλλακτικά, αν η πλάκα σκυροδέματος είναι συνδέεται με την χαλύβδινη διατομή, ενεργούν και οι δύο συγχρόνως για την ανάληψη του φορτίου λειτουργίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Η ολίσθηση μεταξύ της πλάκας και της χαλύβδινης διατομής εμποδίζεται τώρα και η σύνδεση ανθίσταται μια διαμήκη διατμητική δύναμη όμοιας κατανομής με τις τέμνουσες δυνάμεις.

Η σύμμικτη διατομή είναι μη-συμμετρική και εμφανίζει ουδέτερο άξονα συχνά κοντά στο άνω πέλμα της χαλύβδινης διατομής. Οι εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις στις ακρότατες ίνες εξαρτώνται ως εκ τούτου από την ολική ροπή αδρανείας (I) της σύμμικτης διατομής και την απόστασή τους από τον ουδέτερο άξονα.

Υποθέτοντας ότι η φόρτιση δημιουργεί ελαστική παραμόρφωση οι τάσ στην διατομή μπορούν να προσδιορισθούν χρησιμοποιώντας την απθεωρία κάμψης. Οι τάσεις για τα φορτία λειτουργίας μπορούν υπολογισθούν (Σχήμα 4) απο:

$\sigma_t = M$ φορτίου λειτουργίας * y_1 / I σύμμικτης διατομής

$\sigma_c = M$ φορτίου λειτουργίας * y_2 / I σύμμικτης διατομής

όπου

y_1 είναι η απόσταση της ακραίας ίνας χάλυβα από τον ουδέτερο άξονα

y_2 είναι η απόσταση της ακραίας ίνας σκυροδέματος από τον ουδέτερο άξονα

Η τιμή της ροπής αδρανείας I της σύμμικτης διατομής είναι συνήθως πολλές φορές η τιμή της χαλύβδινης διατομής. Ως εκ τούτου, για παρόμοιο φορτίο, οι τάσεις της εξώτατης ίνας που δημιουργούνται στην σύμμικτη διατομή είναι πολύ μικρότερες από αυτές που δημιουργούνται στην μη-σύμμικτη δοκό.

Αυτή η διαφορά έχει μια επίδραση στην ακαμψία των δοκών η οποία συζητηθεί λεπτομερέστερα στις Διαλέξεις 10.5.1 και 10.5.2.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στην πλάκα όπως αυτή στηρίζεται εγκάρσι στο μήκος της δοκού υποτίθεται πως δεν έχουν επίδραση στην διαμήκη συμπεριφορά. Συνήθως αγνοούνται όταν σχεδιάζεται η σύμμικτη δοκός. παρόλα αυτά το άνοιγμα της δοκού συχνά υπαγορεύει πόσο μέρος από την πλάκα μπορεί να υποτεθεί ότι βοηθά στην διαμήκη καμπτική δράση. Αυτή η υπόθεση θα καλυφθεί περισσότερο στην Διάλεξη 10.3. Εδώ το μισό εγκάρσιου ανοίγματος, σε κάθε πλευρά της χαλύβδινης διατομής, υποτίθεται ότι είναι ενεργό στο να φέρει την διαμήκη θλίψη.

Η σύνδεση μεταξύ της πλάκας και της χαλύβδινης διατομής μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Γενικά μορφώνεται χρησιμοποιώντας μια σειρά από διακριτά μηχανικά στοιχεία. Η πιο συνήθης μορφή συνδέσμου είναι ο ήλιος κεφαλής ο οποίος φαίνεται στο Σχήμα 1. Η Διάλεξη 10.6.1 και η 10.6.2 καλύπτουν λεπτομερειακά την συμπεριφορά αυτού του συνδέσμου και επίσης περιγράφουν αρκετούς άλλους τύπους.

Μπορεί κανείς να δει ότι οι σύμμικτες δοκοί μορφώνουν ένα τμήμα του σύνθετου συστήματος δαπέδου και είναι δύσκολο να ξεχωρισθούν οι εγκάρσιες και διαμήκεις δράσεις της πλάκας. Το Σχήμα 1 δίνει την ταυτότητα της τυπικής διατομής δοκού η οποία συζητείται περαιτέρω στο υπόλοιπο αυτής της διάλεξης.

3.2 Δομική Συμπεριφορά

Ο τρόπος με τον οποίο μια σύμμικτη δοκός συμπεριφέρεται υπό την δράση μικρού φορτίου, μεσαίου φορτίου και του φορτίου αστοχίας περιγράφεται καλύτερα σε στάδια. Το φορτίο, τα διαγράμματα ροπών κάμψης και τεμνουσών δυνάμεων, παραμορφώσεις, ανηγμένες παραμορφώσεις και τάσεις μέσα στην διατομή παρουσιάζονται όλα σε διαγραμματική μορφή για τα τρία στάδια και συσχετίζονται με τη σχέση φορτίου-βελών στα Σχήματα 4-6.

Στάδιο 1 - Σχήμα 4

Για πολύ μικρά φορτία το σκυρόδεμα και ο χάλυβας περίπου συμπεριφέρονται με γραμμικό τρόπο. Η σύνδεση μεταξύ των δύο φέρει πολύ μικρές διατμητικές τάσεις και

δεν είναι πιθανή η εμφάνιση διαμήκους ολίσθησης. Η δοκός παραμορφώνεται έτσι ώστε η διανομή της ανοιγμένης παραμόρφωσης στο μεσαίο άνοιγμα είναι γραμμική, όπως στο Σχήμα 4, και η συνεπαγόμενη τάση είναι επίσης γραμμική.

Μπορεί να δει κανείς από το διάγραμμα ανοιγμένων παραμορφώσεων ότι, σε αυτή την περίπτωση, η πλάκα πρέπει να είναι παχιά μιας και ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στο σκυρόδεμα. Σαν αποτέλεσμα μέρος του σκυροδέματος είναι σε εφελκυσμό.

Εχει υποθεθεί ότι αυτό το σκυρόδεμα ρηγματώνεται και ως εκ τούτου δεν φέρει εφελκυστικές τάσεις. Αν η πλάκα ήταν λεπτή είναι πιθανόν ότι ο ουδέτερος άξονας θα είναι στον χάλυβα και τότε το εμβαδόν του χάλυβα πάνω από τον άξονα θα βρίσκεται σε θλίψη.

Αυτό το στάδιο ανταποκρίνεται στην κατάσταση φορτίου λειτουργίας στην περιοχή θετικών ροπών των περισσότερων σύμμικτων δοκών.

Στάδιο 2- Σχήμα 5

Κάθως αυξάνεται το φορτίο η διατμητική τάση μεταξύ της πλάκας και της χαλύβδινης διατομής προκαλεί παραμόρφωση στην σύνδεση. Αυτή η παραμόρφωση είναι γνωστή σαν “ολίσθηση και συνεισφέρει στην γενική παραμόρφωση της δοκού. Το Σχήμα 5 δείχνει το αποτέλεσμα της ολίσθησης στην διανομή των τάσεων και των παραμορφώσεων. Για πολλές σύμμικτες δοκούς η ολίσθηση είναι πολύ μικρή και μπορεί να αγνοηθεί (εξαιρέσεις σε αυτήν την υπόθεση θα καλυφθούν αργότερα σε αυτή την διάλεξη και στην Διάλεξη 10.6.2).

Αυτή η κατάσταση ανταποκρίνεται στο στάδιο φορτίου λειτουργίας για αυτήν την κατηγορία σύμμικτων δοκών η οποία έχει σχεδιασθεί σαν μερικώς συνδεδεμένη. Αυτή η κατηγορία σύμμικτης δοκού θα περιγραφεί πληρέστερα αργότερα σε αυτή την διάλεξη και λεπτομερέστερα στην Διάλεξη 10.6.2.

Στάδιο 3- Σχήματα 6 και 7

Κάποτε το φορτίο αυξάνεται τόσο ώστε να δημιουργήσει παραμορφώσει διαρροής σε ένα περισσότερα υλικά.

Στάδιο 3a

Στην περίπτωση εμφάνισης διαρροής στον χάλυβα, αναπτύσσεται πλαστικότητα το στερεό των τάσεων όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Υποτίθεται συνήθως ότι, στη τελική οριακή κατάσταση, αναπτύσσεται το πλαστικό στερεό τάσεων έτσι ώστε όλη η χαλύβδινη διατομή να φθάσει στην διαρροή όπως φαίνεται με διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 6.

Στάδιο 3b

Το σκυρόδεμα είναι μη πλαστικό υλικό. Αν αναπτυχθούν παραμορφώσεις τέτοιες ώστε να αναπτύξουν μεγάλη τάση είναι δυνατή η εμφάνιση ψαθυρής αστοχίας στην πλάκα.

Αυτή η συμπεριφορά θα είναι παρόμοια με την ψαθυρή αστοχία που αναμένεται σε μια υπερεισχυμένη δοκό από σκυρόδεμα. Ο όγκος του σκυροδέματος στις περισσότερες πλάκες πρακτικά σημαίνει ότι είναι απίθανο να συμβεί κάτι τέτοιο στην πράξη.

Με αύξηση των τάσεων μέσα στο σκυρόδεμα, που οφείλεται σε αύξηση της ανοιγμένης παραμόρφωσης, το στερεό των τάσεων αλλάζει από την τριγωνική μορφή του Σχήματος 5 στην μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 6. Για τον σχεδιασμό αυτής της μορφής είναι δύσκολη η αναπαράσταση με μαθηματική μορφή και χρησιμοποιούνται προσεγγίσεις. Αυτές οι προσεγγίσεις θα καλυφθούν λεπτομερέστερα στην Διάλεξη 10.3. Για σύμμικτες δοκούς η πιο κοινή προσέγγιση είναι το ορθογώνιο στερεό τάσεων που δείχνεται με την διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 6 και πιο λεπτομερειακά στο Σχήμα 2

Στάδιο 3c

Τα υπολειπόμενα συστατικά της σύμμικτης δοκού που μπορεί να στοχίσουν πριν την διαρροή του χάλυβα ή την θραύση του σκυροδέματος είναι οι συνδέσεις. Όσο αυξάνει το φορτίο η διατμητική παραμόρφωση και ως εκ τούτου και η διαμήκης διατμητική δύναμη μεταξύ της πλάκας σκυροδέματος και της χαλύβδινης διατομής, αυξάνονται ανάλογα. Για μια ομοιόμορφα φορτιζόμενη, αμφιέριστη, σύμμικτη δοκό η οποία υποτίθεται ότι παραμορφώνεται με ελαστικό τρόπο η εγκάρσια διατμητική δύναμη ανά μέτρο μήκους (T) της δοκού μεταξύ πλάκας και χαλύβδινης διατομής μπορεί να προσδιορισθεί από την σχέση:

$$T = V S/I$$

όπου S είναι στατική ροπή.

Απο την στιγμή που η διαμήκης διατμητική δύναμη είναι ευθέως ανάλογη στην εφαρμοζόμενη τέμνουσα, η δύναμη στους ακραίους συνδέσμους των άκρων είναι η μεγαλύτερη. Για χαμηλά φορτία η δύναμη που ενεργεί στον σύνδεσμο παράγει ελαστικές παραμορφώσεις. Έτσι η ολίσθηση μεταξύ της πλάκας και της χαλύβδινης διατομής θα είναι μεγαλύτερη στο άκρο της δοκού. Η διαμήκης διάτμηση και η παραμόρφωση μιας τυπικής σύμμικτης δοκού, σε αυτό το στάδιο φόρτισης, φαίνεται στο Σχήμα 7a.

Αν αυξηθεί η φόρτιση αυξάνεται και η διαμήκης διατμητική δύναμη, και το φορτίο στον σύνδεσμο του άκρου μπορεί να δημιουργήσει πλαστική παραμόρφωση. Μια τυπική σχέση ολίσθησης - φορτίου φαίνεται στο Σχήμα 7. Η πλαστιμότητα των συνδέσμων σημαίνει ότι η σύνδεσμοι μπορούν να παραμορφώνονται πλαστικά ενώ απομένει αντίσταση στην διαμήκη διατμητική δύναμη. Το Σχήμα 7b δείχνει την κατάσταση κατά την οποία οι δύο ακραίοι σύνδεσμοι παραμορφώνονται πλαστικά.

Η αύξηση του εφαρμοζόμενου φορτίου έχει σαν συνέπεια την αύξηση της διαμήκους διάτμησης και της παραμόρφωσης του συνδέσμου. Συνεπώς, οι σύνδεσμοι που ευρίσκονται κοντά στη κεντρική γραμμή της δοκού επίσης ξεκινούν σταδιακά να παραμορφώνονται πλαστικά. Η αστοχία εμφανίζεται μόλις όλοι οι σύνδεσμοι φθάσουν στην οριακή τους αντοχή όπως φαίνεται στο Σχήμα 7c. Αυτή η ακολουθία διατμητικού

φορτίου και παραμόρφωσης συνδέσμου φαίνεται με ένα μεγεθυμένο τρόπο στα Σχήματα 7 Β και .

Η μορφή αστοχίας εξαρτάται από τους συνδέσμους που μπορούν να παραμορφώνονται πλαστικά. Ο ακραίος σύνδεσμος στο Σχήμα 5 πρέπει να μπορεί να παραμορφώνεται αρκετά πριν ο σύνδεσμος που βρίσκεται κοντά στην κεντρική γραμμή της δοκού φθάσει επίσης στην τελική του αντοχή. Αυτή η απαίτηση για πλαστιμότητα θα συζητηθεί περαιτέρω στη Διάλεξη 10.6.1 όπου θα δειχθεί ότι υπαγορεύει το άνοιγμα της δοκού.

Μπορεί να δει κανείς ότι η αστοχία της σύμμικτης δοκού υπαγορεύεται από την αντοχή των τριών κύριων συστατικών της. Μιας και η ελαστική αλληλεπίδραση αυτών των συστατικών είναι πολύ σύνθετη είναι φυσικό να σχεδιάζονται αυτές οι διατομές υποθέτοντας διανομή τάσεων όπως φαίνεται στο Σχήμα 2b.

Οι σύμμικτες δοκοί σχεδιάζονται να αστοχούν όταν διαρρέει ο χάλυβας, το σκυρόδεμα μόλις φθάνει σε παραμόρφωση αστοχίας και το σύνολο των συνδέσμων παραμορφώνονται πλαστικά. Αυτή φαίνεται να είναι η ιδανική κατάσταση. Υπάρχουν παρόλα αυτά πολλοί λόγοι για τους οποίους αυτή η κατάσταση σπάνια εμφανίζεται. Οι λόγοι εξετάζονται παρακάτω.

3.3 πρακτικές Καταστάσεις Φορτίου

Εχει υποτεθεί μέχρι τώρα ότι η φόρτιση στην δοκό είναι ομοιόμορφα διανεμημένη και εμφανίζει παραβολικό διάγραμμα ροπής κάμψης. Αυτή είναι μια συνηθισμένη κατάσταση αλλά είναι εξ ίσου δυνατό να βρεθούν καταστάσεις όπου συγκεντρωμένα φορτία δρουν σε δοκούς.

Στην περίπτωση ομοιόμορφης φόρτισης η μέγιστη ροπή κάμψης εμφανι στην μέση του ανοίγματος. Αυτή η διατομή ονομάζεται κρίσιμη διατομή κάμψη. Το στερεό των τάσεων στην κρίσιμη διατομή είναι αυτό περιγράφεται στο Σχήμα 6. Εχει σαν αποτέλεσμα διανομή της διαμήκου διάτμησης στους διατμητικούς συνδέσμους που φαίνεται στο Σχήμα 7. Μπορεί κανείς να δει ότι η διαμήκης διάτμηση που αναπτύσσεται στη κρίσιμη διατομή πρέπει να ανθίσταται από τους συνδέσμους μεταξύ αυτού του σημείου και του άκρου της δοκού. Συνεπώς, αν η κρίσιμη διατομή βρίσκεται εγγύτερα στο άκρο της δοκού, όπως είναι στην περίπτωση συγκεντρωμένου φορτίου κοντά στην στήριξη, ο αριθμός των συνδέσμων μεταξύ αυτού του σημείου και της στήριξης πρέπει να αυξηθεί.

Στην πράξη πρέπει να ορίζεται ο αριθμός των συνδέσμων μεταξύ κάθε φορτίου σε μια δοκό υποκειμένη σε πολλά φορτία. Αυτός ο υπολογισμός συχνά οδηγεί σε μεταβλητή απόσταση μεταξύ των συνδέσμων κατά το μήκος της δοκού.

Συγκεντρωμένα φορτία προκαλούν επίσης υψηλή τέμνουσα. παρόλο που κάποιο μέρος της τέμνουσας μπορεί να το φέρει η πλάκα και τα πέλματα της δοκού, είναι κοινή πρακτική να αγνοείται αυτό και να υποτίθεται ότι όλη η διατμητική δύναμη φέρεται από τον κορμό της χαλύβδινης διατομής.

Για συνεχείς δοκούς, όπως συζητείται αργότερα σε αυτή την διάλεξη, υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης ταυτόχρονης διάτμησης και κάμψης. Σε αυτή την περίπτωση η

αντοχή σε κάμψη της διατομής μειώνεται. Αυτή η άποψη έχει καλυφθεί περισσότερο στην Διάλεξη 7.8.2 και συζητείται επίσης στην Διάλεξη 10.4.2.

3.4 Ερπυσμός και Συστολή Ξήρανσης

Το σκυρόδεμα υπόκειται σε δύο φαινόμενα τα οποία αλλάζουν την παραμόρφωση και ως εκ τούτου το βέλος της σύμμικτης δοκού.

Κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης το νωπό σκυρόδεμα σκληραίνει βαθμιαία με την διαδικασία της ενυδάτωσης. Αυτή η χημική αντίδραση απελευθερώνει θερμότητα προκαλώντας εξάτμιση υγρασίας πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα την συρρίκνωσ του υλικού. Όπως η πλάκα είναι συνδεδεμένη με την χαλύβδινη διατομή μέσω διατμητικών συνδέσμων, οι δυνάμεις συρρίκνωσης του σκυροδέματος μεταφέρονται μέσα στην χαλύβδινη διατομή. Αυτές οι δυνάμεις προκαλούν την βέλος της σύμμικτης δοκού. Για μικρά ανοίγματα αυτό το βέλος μπορεί να αγνοηθεί, αλλά για πολύ μεγάλα ανοίγματα μπορεί να είναι σημαντικό και πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν.

Υπο τάση, το σκυρόδεμα τείνει να χαλαρώνει δηλ. να παραμορφώνεται πλαστικά υπό φορτίο ακόμα και αν το φορτίο δεν είναι κοντά στο οριακό. Αυτά τα φαινόμενα είναι γνωστά σαν ερπυσμός και είναι σημαντικά στις σύμμικτες δοκούς. Η παραμόρφωση προκαλεί πρόσθετα, χρονικά εξαρτώμενο, βέλη τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ανάλυση της δοκού στο στάδιο του φορτίου λειτουργίας.

3.5 Σύμμικτες Δοκοί με και χωρίς προσωρινή Στήριξη

Η γεωμετρία των περισσότερων σύμμικτων δοκών συχνά προκαθορίζεται από το μέγεθος της πλάκας, όπως συζητήθηκε προηγουμένως, και απτην ικανότητα της χαλύβδινης διατομής να φέρει το φορτίο του νωπού σκυροδέματος κατά την διάρκεια της κατασκευής. Αυτός ο κατασκευαστικός περιορισμός οδηγεί σε δύο τύπους σύμμικτων δοκών, με και χωρίς προσωρινή στήριξη.

Ας εξετάσουμε πρώτα την περίπτωση της δοκού με προσωρινή στήριξη του Σχήματος 8. Κατά την διάρκεια κατασκευής η χαλύβδινη διατομή υποστηρίζεται με προσωρινά. Δεν έχει να αντισταθεί σε σημαντική ροπή κάμψης και είναι ως εκ τούτου χωρίς τάσεις και βέλη. από την στιγμή που σκληραίνει το σκυρόδεμα οι προσωρινές στηρίξεις απομακρύνονται. Κάθε ένα από τα συστατικά τμήματα της δοκού τότε φορτίζεται από το νεκρό βάρος των υλικών. παρόλα αυτά, σε αυτό το στάδιο, η δοκός συμπεριφέρεται σαν σύμμικτο στοιχείο και η ακαμψία της και η αντίστασή της είναι αρκετά πιο υψηλές από αυτές της χαλύβδινης διατομής μόνο. Η παραμόρφωση λόγω των νεκρών φορτίων είναι τότε πολύ μικρή. Κάθε περαιτέρω κινητό φορτίο δημιουργεί βέλος στην δοκό. Οι συνολικές τάσεις της δοκού μπορούν να βρεθούν με άθροιση των τάσεων λόγω των νεκρών και των κινητών φορτίων.

Ας εξετάσουμε τώρα την δοκό χωρίς προσωρινή στήριξη του Σχήματος 9. Κατά την διάρκεια της κατασκευής η χαλύβδινη διατομή φορτίζεται με το νεκρό βάρος του νωπού σκυροδέματος. Η χαλύβδινη διατομή εντείνεται και παραμορφώνεται. Το σκυρόδεμα και οι σύνδεσμοι υποαπασχολούνται σχετικά, εντός από τις τάσεις

συρρίκνωσης που δημιουργούνται στο σκληρυνθέν σκυρόδεμα. Μπορεί κανείς να δει, στο Σχήμα 9, ότι το νωπό σκυρόδεμα αποκλίνει δηλ. η επάνω επιφάνεια του σκυροδέματος παραμένει επίπεδη και η κάτω επιφάνεια παραμορφώνεται σύμφωνα με την παραμορφωμένη μορφή της χαλύβδινης διατομής. Το νεκρό φορτίο λόγω του βάρους του νωπού σκυροδέματος είναι ένα ουσιώδες μέρος του συνολικού φορτίου και οι τάσεις που αναπτύσσονται στην διατομή είναι συχνά υψηλές.

Γιρόσθετα κινητά φορτία φέρονται από την σύμμικτη διατομή η οποία έχει σχεδόν την ίδια ακαμψία με αυτή της δοκού με προσωρινές στηρίξεις. Οι τάσεις που υπάρχουν τότε στην διατομή χωρίς προσωρινές στηρίξεις μπορούν να υπολογισθούν σαν το άθροισμα των τάσεων του νωπού σκυροδέματος και των τάσεων σύμμικτης δράσης. Αυτός ο υπολογισμός οδηγεί σε διαφορετική διανομή των τάσεων στην διατομή από αυτές που υπάρχουν στην αρχικώς στηριζόμενη σύμμικτη διατομή. παρόλα αυτά οι τάσεις διαρροής που αναπτύσσονται στον χάλυβα και στο σκυρόδεμα είναι οι ίδιες και στις δύο περιπτώσεις δοκοί με και χωρίς προσωρινή στήριξη φέρουν το ίδιο τελικό φορτίο.

Η χαλύβδινη διατομή μιας σύμμικτης δοκού χωρίς προσωρινές στηρίξεις συχνά χρειάζεται να είναι ικανοποιητική έτσι ώστε να μπορεί να φέρει το βάρος του νωπού σκυροδέματος. Η διατομή είναι, στην πραγματικότητα συχνά ουσιαστικά μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται αν η δοκός ήτο αρχικώς στηριζόμενη.

Η σχέση φορτίου-παραμορφώσεων της χαλύβδινης διατομής από μόνη τι και μιας σύμμικτης δοκού, και για τις δύο καταστάσεις, φαίνεται στο Σχήμα 10. Οι παραμορφώσεις και οι τάσεις που αναπτύσσονται φαίνονται σε ακολουθία με την διατομή στην οποία ενεργούν. Στην μη αρχική στηριζόμενη περίπτωση η χαλύβδινη διατομή παίρνει από μόνη της το φορτίο του νωπού σκυροδέματος και οι παραμορφώσεις λόγω του φορτίου τι νωπού σκυροδέματος προστίθενται στις παραμορφώσεις που δημιουργούνται από τα ακολούθως εφαρμοζόμενα φορτία λειτουργίας. Οι προκύπτουσες τάσεις φαίνονται στο στερεό των τάσεων. Ενώ το γενικό βέλος της αρχικώς στηριζόμενης μπορεί να είναι μεγαλύτερο από αυτό της αρχικής στηριζόμενης δοκού στο στάδιο του φορτίου λειτουργίας αυτό είναι συχνά ασήμαντο μιας και το βέλος που εμφανίζεται κατά την διάρκεια τ κατασκευής και μπορεί να καλυφθεί από τελειώματα.

Παρόλα τα μειονεκτήματα που συζητήθηκαν παραπάνω, η χωρίς προσωρινή στήριξη κατασκευή συχνά προτιμάται για τους ακόλουθους λόγους:

- το πρόσθετο κόστος των προσωρινών στηρίξεων.
- ο περιορισμένος χώρος εργασίας που είναι διαθέσιμος στις περιοχές των προσωρινών στηρίξεων.
- το αντίθετο αποτέλεσμα στην ταχύτητα της κατασκευής.

3.6 Μερική Σύνδεση

Στην μη αρχικώς στηριζόμενη κατασκευή το μέγεθος της χαλύβδινης διατομής συχνά ορίζεται από το βάρος του νωπού σκυροδέματος, και το μέγεθος της πλάκας ορίζεται ανεξάρτητα από το εγκάρσιό της άνοιγμα. Αν υπάρχουν ικανοποιητικοί σύνδεσμοι για

την μεταφορά της διαμήκουσ δύναμης στην χαλύβδινη διατομή ή στην πλάκα σκυροδέματος, η αντίσταση της μη αρχικώς στηριζόμενης σύμμικτης δοκού γίνεται πολύ υψηλή. πραγματικά έτσι διαμορφούμενες σύμμικτες δοκοί είναι συχνά ικανές φέρουν αρκετές φορές περισσότερο το απαιτούμενο κινητό φορτίο. Για αποφυγή τέτοιας μεγάλης αντίστασης χρησιμοποιείται το με συνδεδεμένο σύμμικτο μέλος.

Εχει υποτεθεί μέχρι τώρα ότι η σύνδεση θα φέρει όλη την διατμητική δύναμη στην δοκό μέχρι την ώρα που η χαλύβδινη διατομή θα έχει πλήρως διαρρεύσει. παρόλα αυτά, επειδή η αντίσταση της μη αρχικώς στηριζόμενης δοκού είναι τόσο υψηλή, είναι συχνά πιθανόν να μειωθεί ο αριθμός συνδέσμων. Αυτή η μείωση είναι ως αποτέλεσμα σε μια δοκό όπου ο τύπος αστοχίας μπορεί να είναι η αστοχία του συνδέσμου πριν να έχει ο χάλι πλήρως διαρρεύσει ή το σκυρόδεμα να έχει φθάσει την αντοχή θραύσης.

Τέτοιες δοκοί απαιτούν λιγότερους συνδέσμους και έτσι μειώνεται το κόστος όλης της κατασκευής. Είναι όμως λιγότερο άκαμπτες μιας και λιγότεροι σύνδεσμοι επιτρέπουν περισσότερη ολίσθηση μεταξύ της πλάκας και της χαλύβδινης διατομής. Η μερική σύνδεση θα καλυφθεί πλήρως στην Διάλεξη 10.6.2.

4. ΣΥΝΕΧΕΙΣ ΣΥΜΜΙΚΤΟΙ ΔΟΚΟΙ

Παρόλο που ο σχεδιασμός αμφιέριστων δοκών είναι ο πιο συνηθισμένος μπορεί να υπάρχουν περιπτώσεις που η χρήση συνεχών δοκών είναι η πιο ενδεδειγμένη. Αυτές οι δοκοί θα καλυφθούν λεπτομερειακά στην Διάλεξη 10.4.1 και 10.4.2 και μόνο μια σύντομη περίληψη θα παρουσιασθεί εδώ.

Οι περιοχές των μεσαίων ανοιγμάτων συνεχών σύμμικτων δοκών συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο όπως η αμφιέριστη σύμμικτη διανομή, παρόλα αυτά οι περιοχές στήριξης παρουσιάζουν μια σημαντικά διαφορετική συμπεριφορά. Αυτή η συμπεριφορά παριστάνεται διαγραμματικά στο Σχήμα 11.

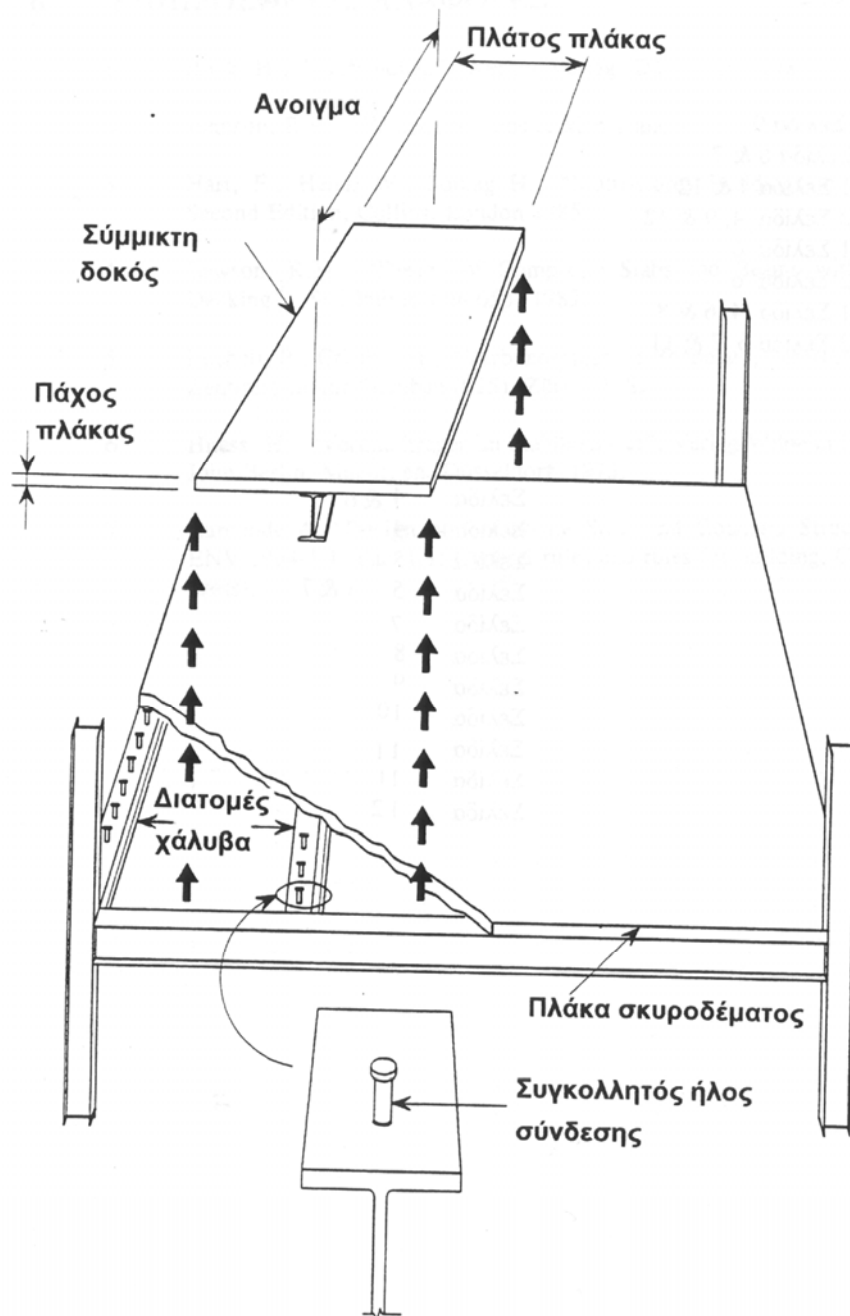
Το σκυρόδεμα στην περιοχή του μεσαίου ανοίγματος είναι γενικά σε θλίψη και ο χάλυβας σε εφελκυσμό. Πάνω από την στήριξη αυτή η διανομή αναστρέφεται καθώς η ροπή γίνεται τώρα αρνητική. Το σκυρόδεμα δεν μπορεί να φέρει ικανοποιητικές εφελκυστικές παραμορφώσεις και ως εκ τούτου ρηγματώνεται, αφήνοντας μόνο τον σπλισμό να ανθίσταται την ροπή.

Η χαλύβδινη διατομή της στήριξης έχει τότε να φέρει θλιπτικές τάσεις σε ένα σημαντικό τμήμα του ύψους της. Αυγερές διατομές είναι επιρρεπείς στον τοπικό λυγισμό σε αυτή την περιοχή και κάθε μεσολαβούσα περιοχή υποστυλώματος χρειάζεται να ενισχυθεί για να απορροφήσει τη θλίψη κατά μήκος του κορμού.

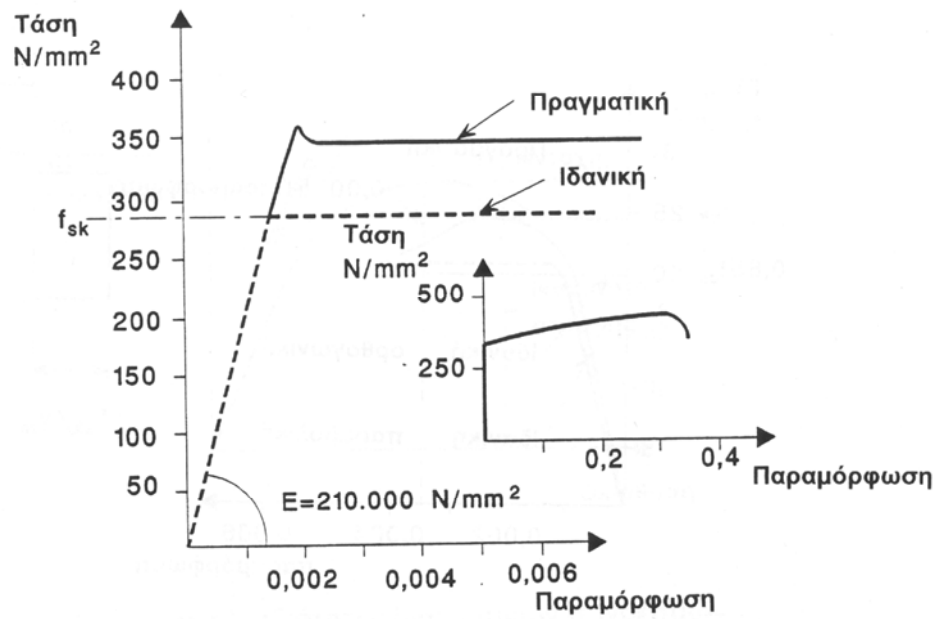
Εκτός του τοπικού λυγισμού είναι δυνατός και ο στρεπτοκαμτικός λυγισμός της δοκού σε αυτές τις περιοχές.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Σύμμικτες δοκοί, υποβαλλόμενες σε θετικές ροπές, αστοχούν μέσω της διαρροής της χαλύβδινης διατομής, θραύσης της πλάκας σκυροδέματος ή διάτμησης των συνδέσμων.
2. Σύμμικτες δοκοί χωρίς προσωρινές στηρίξεις πρέπει να είναι ισχυρές και άκαμπτες για να φέρουν το βάρος του νεπού σκυροδέματος.
3. Ως σύμμικτες δοκοί μερικής σύνδεσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλισθεί οικονομία της διατμητικής σύνδεσης.
4. Συνεχείς σύμμικτες δοκοί χρειάζεται να σχεδιάζονται για να ανθίστανται σε θετικές και αρνητικές ροπές. Η ενίσχυση της πλάκας φέρει την εφελκυστική παραμόρφωση στην περιοχή αρνητικών ροπών. Η χαλύβδινη διατομή πρέπει να ελέγχεται για πιθανό λυγισμό.



ΣΧΗΜΑ 1 Ένα τυπικό σύμμικτο δάπεδο που δείχνει μια ιδανική και μεμονωμένη αμφιέριστη δοκό



ΣΧΗΜΑ 2a Μηχανικές ιδιότητες χάλυβα

ESDEP OE 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.3 : Αμφιέρειστες Δοκοί

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να περιγραφεί ο σχεδιασμός αμφιέριστης σύμμικτης δοκού χάλυβα -σκυροδέματος, με πλήρη διατμητική σύνδεση, χρησιμοποιώντας μια μέθοδο πλαστικού σχεδιασμού για να ορισθεί η Κατανομή των εσωτερικών δυνάμεων στο οριακό στάδιο. Να περιγραφεί μια προσεγγιστική μέθοδος για να ελεγχθεί το βέλος στο οριακό στάδιο λειτουργικότητας.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 10. 2 : Η Συμπεριφορά των Δοκών

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 10. 4 : Συνεχείς Δοκοί

Διάλεξη 10. 5 : Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα

Διάλεξη 10. 6 : Διατμητική Σύνδεση

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Αυτή η διάλεξη εισάγει τα κριτήρια σχεδιασμού αμφιέριστης σύμμικτης δοκού, επικεντρώνεται στον ορισμό της αντίστασής της σε θετική ροπή κάμψης, σε τέμνουσα ή σε συνδυασμό και των δύο. Χρησιμοποιείται μια πλαστική μέθοδος σχεδιασμού. Οι συνθήκες για τις οποίες αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται συνοψίζονται για να δειχθούν οι διαφορές μεταξύ αμφιέριστης και συνεχών δοκών. Η μέθοδος σχεδιασμού υποθέτει επίσης ότι χρησιμοποιούνται μόνο συμμετρικές χαλύβδινες διατομές και ότι υπάρχει πλήρης διατμητική σύνδεση μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος στην οριακή κατάσταση. Ειδική προσοχή δίνεται στην πλάκα σκυροδέματος που δρα σαν θλιβόμενο πέλμα της σύμμικτης δοκού. Ορίζεται το συνεργαζόμενο πλάτος και η μέγιστη διαμήκης διατμητική δύναμη στην πλάκα σκυροδέματος. περιγράφεται η κατανομή των εσωτερικών δυνάμεων στην διατομή. Δίνονται σχέσεις βασισμένες στην κατανομή οι οποίες ορίζουν την αντοχή της δοκού σε ροπή και τέμνουσα. Συζητούνται επίσης απόψεις λειτουργικότητας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός αυτής της διάλεξης είναι να εξηγήσει τις αρχές και τους Κανόνες για τον σχεδιασμό μιας αμφιέριστης σύμμικτης δοκού με πλήρη διατμητική σύνδεση. Τυπικές διατομές σύμμικτων δοκών δίνονται στο Σχήμα 1. Για απλότητα, λαμβάνονται υπόψη μόνο οι συμμετρικές χαλύβδινες διατομές 1a, 1c και 1d, τα σχετικά σύμβολα δίνονται στο Σχήμα 2.

Για πλήρη διατμητική σύνδεση η συνολική διαμήκης διατμητική αντίσταση των διατμητικών συνδέσμων (R_q), που διανέμεται μεταξύ του σημείου μέγιστης θετικής καμπτικής ροπής και της απλής στήριξης του άκρου, πρέπει να είναι μεγαλύτερη (ή ίση) από το ελάχιστο της αντίστασης της χαλύβδινης δοκού ($R_s = Af_y / \gamma_a$) όταν ο πλαστικός ουδέτερος άξονας είναι μέσα στην πλάκα, ή της αντίστασης του πέλματος του σκυροδέματος ($R_c = 0,85 b_{eff} h_c f_{ck} / \gamma_c$) όταν ο πλαστικός ουδέτερος άξονας είναι μέσα στην χαλύβδινη διατομή.

1.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Η αντίσταση σε διαμήκη διάτμηση (βλέπε Σχήμα 3, κριτήριο III) μιας διατμητικής σύνδεσης δεν συζητείται εδώ. Υποτίθεται μια ιδεατή συμπεριφορά ολίσθησης-φορτίου του συνδέσμου, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Ο τύπος του διατμητικού συνδέσμου ο οποίος έχει αυτή την συμπεριφορά συζητείται στις Διαλέξεις 10.6.1, 10.6.2 και 10.6.3.

Αυτή η διάλεξη επικεντρώνεται στην αντίσταση της δοκού σε ροπή και τέμνουσα, η οποία έχει μέγιστες τιμές στις διατομές I και II αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Μεταξύ αυτών των κρίσιμων διατομών, κάθε διατομή υπόκειται σε καμπτική ροπή και τέμνουσα. Αυτός ο συνδυασμός είναι συνήθως σημαντικός μόνο στην περίπτωση που η φόρτιση περιλαμβάνει συγκεντρωμένα ή γραμμικά φορτία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5. Εδώ η μέγιστη ροπή και η μέγιστη τέμνουσα δρουν μαζί σε μια κρίσιμη διατομή δίπλα στο συγκεντρωμένο ή στο γραμμικό φορτίο. Εδική προσοχή πρέπει να δοθεί σε αυτή την κρίσιμη διατομή.

Στην περίπτωση των στατικώς ορισμένων δοκών, τέτοιων όπως οι αμφιέριστες δοκοί, είναι εύκολο να ορισθεί η κατανομή των καμπτικών ροπών από τις συνθήκες ισοροπίας. Για να ορισθεί η Κατανομή των τάσεων στην διατομή, υποτίθεται πλαστική συμπεριφορά. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι ο υπολογισμός της αντίστασης βασίζεται στην συνθήκη “μέγιστης ροπής κατά την αστοχία” Αυτή η μέθοδος είναι εύκολο να κατανοηθεί και να εφαρμοσθεί.

Οι χαλύβδινες διατομές μπορούν να ταξινομηθούν σε 4 κατηγορίες από την συμπεριφορά σε τοπικό λυγισμό του πέλματος και/ή του κορμού σε θλίψη. Στην περίπτωση μιας αμφιέριστης δοκού, οι μέθοδοι πλαστικού σχεδιασμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις διατομές Κατηγορίας 1 και 2. Οι διατομές Κατηγορίας 2 επιτρέπονται μόνο όταν απαιτείται η ικανότητα στροφής. Αυτές οι κατηγορίες περιγράφονται ως ακολούθως (βλέπε επί Σχήμα 6 και Διάλεξη 7.2):

Κατηγορία I : πλαστικές διατομές η οποίες μπορούν να μορφώσ πλασטיζή άρθρωση με ικανοποιητική ικανότητα στροφής για πλαστική ανάλυση.

Κατηγορία 2 : συμπαγείς διατομές οι οποίες μπορούν να αναπτύξουν πλαστική ροπή αντίστασης αλλά έχουν περιορισμένη ικανότητα στροφής.

Το χαλύβδινο θλιβόμενο πέλμα, αν έχει σωστά συνδεθεί στο πέλμα σκυροδέματος, μπορεί να υποτεθεί πως είναι Κατηγορίας 1.

Ο πίνακας 1 (Τμήμα του πίνακα 4. 2 του Ευρωκώδικα 4[1]) ταξινομεί τους χαλύβδινους κορμούς υπό θλίψη σύμφωνα με το λόγο πλάτους προς πάχος. Σε μια σύμμικτη δοκό το θλιβόμενο μέρος του κορμού, σε θετική κάμψη είναι πάντα μικρότερο από το μισό του συνολικού ύψους για μια συμμετρική διατομή. ένας λόγος πλάτους προς πάχος μικρότερος από 83ε θα είναι πάντα αρκετός για μια συμμετρική χαλύβδινη διατομή σε θετική ροπή. Ως εκ τούτου, η αστάθεια του κορμού δεν είναι κρίσιμη για διατομές IPE (σύμφωνα με το CEN-EN 19-1986) και διατομές HE (σύμφωνα με το CEN-EN 53-1986).

Επειδή το θλιβόμενο τμήμα είναι πάντα στηριζόμενο πλευρικά όταν η δοκός βρίσκεται σε θετική κάμψη, δεν είναι αναγκαίο να ελεγχθεί στρεπτοκαμπτικός λυγισμός (βλέπε Διάλεξη 10.4.1 και 10.4.2). Άλλοι έλεγχοι, όπως ο διατμητικός λυγισμός συζητώνται εν συντομία στο τμήμα 5. Η ρυτίδωση του κορμού είναι πέρα από τον σκοπό αυτής της διάλεξης βλέπε Ευρωκώδικα 3 για περαιτέρω πληροφορίες [2].

1.2 Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Για αμφιέρειστες δοκούς, το πέλμα του σκυροδέματος βρίσκεται σε θλίψη και η ρηγμάτωση του σκυροδέματος δεν είναι κρίσιμη. Μόνο τα βέλη και οι ταλαντώσεις είναι σημαντικές. Οι Διαλέξεις 10.5.1 και 10.5.2 συζητούν αυτά τα θέματα.

2. ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΛΑΙΒΟΜΕΝΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1 Συνεργαζόμενο πλάτος

Μια τυπική μορφή σύμμικτης κατασκευής συνίσταται από μια πλάκα συνδεδεμένη σε μια σειρά από παράλληλα χαλύβδινα μέλη. Η κατασκευή είναι ουσιαστικά μια σειρά από διασυνδεδεμένες πλακοδοκούς με πλατιά, λεπτά πέλματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7(a). Σε ένα Τέτοιο σύστημα η διάτμηση μπορεί να κάνει το πέγμα όχι πλήρως ενεργό στην αντισταση θλίψης. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εξηγηθεί με αναφορά σε ένα απλά στηριζόμενο μέλος, μέρος του μήκους του οποίου φαίνεται σε κάτοψη στο σχέδιο του Σχήματος 7(b).

Η μέγιστη αξονική δύναμη στην πλάκα είναι στο μέσο του ανοίγματος, ενώ η δύναμη στα άκρα είναι μηδέν. Η αλλαγή στην διαμήκη δύναμη σχετίζεται με την διάτμηση στο επίπεδο της πλάκας. Η προκύπτουσα παραμόρφωση, φαίνεται στο Σχήμα 7(b), είναι ασυνεπής με την θεωρία απλής κάμψης, στην οποία αρχικά επίπεδες διατομές υποτίθεται πως μένουν επίπεδες και μετά την κάμψη. Οι ακραίες περιοχές της πλάκας είναι αποτελεσματικά λιγότερο άκαμπτες, και μια μη ομοιόμορφη Κατανομή της διαμήκους καμπτικής τάσης εμφανίζεται Κατά μήκος της διατομής. Η απλή θεωρία δίνει μια ενεργή τιμή για το πλάτος, b_{eff} , τέτοια που το εμβαδόν του GHJK να είναι ίσο με το εμβαδόν του ACDEF.

Ο λόγος b_{eff}/b_v δεν εξαρτάται μόνο από τις σχετικές διαστάσεις του συστήματος αλλά επίσης και από το τύπο της φόρτισης, τις συνθήκες στήριξης και την διατομή. Το Σχήμα 7c δείχνει την επίδραση του λόγου της απόστασης της δοκού προς το μήκος του ανοίγματος [b_v/L], και τον τύπο της φόρτισης, σε ένα απλά εδραζόμενο άνοιγμα.

Στους περισσότερους κανονισμούς δίνονται πολύ απλές σχέσεις για τον υπολογισμό των συνεργαζόμενων πλατών, παρόλο που αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια οικονομίας. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα [1], για αμφιέριστες δοκούς, το συνεργαζόμενο πλάτος στην κάθε πλευρά του χαλύβδινου κορμού πρέπει να λαμβάνεται ίσο με 1 αλλά όχι μεγαλύτερο από τη μισή απόσταση από τον επόμενο κορμό, ούτε μεγαλύτερο από την προβολή του προβόλου της πλάκας για ακραίες δοκούς.

Το μήκος l_0 είναι η προσεγγιστική απόσταση μεταξύ των μηδενισμού των ροπών. Είναι ίσο με το άνοιγμα για αμφιέριστες δοκούς.

Ενα σταθερό συνεργαζόμενο πλάτος μπορεί να εκτιμηθεί για όλο το άνοιγμα. Αυτή η τιμή μπορεί να ληφθεί σαν η τιμή του μέσου του ανοίγματος για μια δοκό.

2.2 Μέγιστη Διαμήκης Διάτμηση στην πλάκα Σκυροδέματος

Στην πλάκα σκυροδέματος, εμφανίζεται μια πολύπλοκη (τριδιάστατη) κατανομή δύναμης στην περιοχή του συνδέσμου. Ο λόγος για αυτή την συμπεριφορά είναι ότι συμπεριφορά είναι ότι οι καμπτικές ροπές και οι τέμνουσες ενεργούν παράλληλα όπως

και κάθετα στην δοκό. Είναι δύσκολο να βρεθεί ένα φυσικό προσομοίωμα σχεδιασμού για αυτή την πολύπλοκη κατανομή των τάσεων, και ως εκ τούτου, οι περισσότεροι κανόνες σχεδιασμού είναι εμπειρικοί. Μπορούν να αναγνωρισθούν δύο κριτήρια σχεδιασμού:

- διαμήκης διάτμηση στην πλάκα σκυροδέματος , κατά μήκος των επιπέδων διάτμησης που δείχνονται στο Σχήμα 8.
- διάρρηξη του σκυροδέματος.

Είναι δυνατόν να αποφευχθούν αυτοί οι τρόποι αστοχίας με την πρόβλεψη ικανοποιητικού εγκάρσιου οπλισμού και επιλέγοντας την σωστή απόσταση μεταξύ των συνδέσμων. Σε μερικές περιπτώσεις, η ικανοποίηση αυτών των κριτηρίων μπορεί να οδηγήσει σε μια αύξηση του πάχους ή της αντίστασης της πλάκας σκυροδέματος.

Οι διαμήκεις διατμητικές αντιστάσεις δίνονται στο Κεφάλαιο 6 του Ευρωκώδικα 4[1].

Αν οι σύνδεσμοι είναι συγκολλημένοι ή πριτσινωμένοι μέσω ενός συνεχούς χαλύβδινου φύλλου μιας σύμμικτης πλάκας, η διατομή του χαλύβδινου φύλλου μπορεί επίσης να ληφθεί υπ' όψιν ως εγκάρσιος οπλισμός.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Υπάρχουν απαιτήσεις σχεδιασμού για την οριακή κατάσταση αστοχίας και λειτουργικότητας.

Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Κατά τον σχεδιασμό μιας σύμμικτης δοκού για την οριακή κατάσταση αστοχίας, είναι αναγκαίο να ελεγχθεί η αντίσταση της κρίσιμης διατομής, και η αντίσταση σε διαμήκη διάτμηση μεταξύ κάθε γειτονικού ζεύγους κρίσιμων διατομών (βλέπε Σχήμα 3). Οι δυνάμεις και ροπές λόγω των φορτίων σχεδιασμού θα πρέπει να είναι μικρότερες από την αντίσταση σχεδιασμού, δηλ:

$$S_d \leq R_d$$

όπου

S_d είναι η τιμή σχεδιασμού του εντατικού μεγέθους

R_d είναι η αντίστοιχη τιμή αντίστασης σχεδιασμού.

Η τιμή σχεδιασμού ενός εντατικού μεγέθους S_d μπορεί να προσδιορισθεί όταν το στατικό σύστημα, τα γεωμετρικά του στοιχεία (όταν σχετίζονται) και ο συνδυασμός των τιμών σχεδιασμού των φορτίων είναι γνωστά.

Χαρακτηριστικές τιμές για φορτίσεις δίνονται στον Ευρωκώδικα 1 : Βάση Σχεδιασμού και Δράσεων στις Κατασκευές [4]. Για να ορισθεί το S_d για παράδειγμα για τα κριτήρια I του Σχήματος 3, τα χαρακτηριστικά μόνιμα και μεταβλητά φορτία (σε αυτή την περίπτωση ομοιόμορφα κατανεμημένα) πρέπει να πολλαπλασιασθούν με τους ανάλογους συντελεστές- γ και να συνδυασθούν όπως ακολούθως:

$$S_d = \frac{\ell^2}{8} (\gamma_G \sum G_{k,j} + \gamma_Q (Q_{k,l} + \sum Q_{k,i})) \quad (1)$$

τα οποία χρησιμοποιώντας τις τιμές που προτείνονται από τον Ευρωκώδικα 4 δίνουν:

$$\text{όπου} \quad S_d = \frac{\ell^2}{8} (1,35 \sum G_{k,j} + 1,50 (Q_{k,l} + \sum Q_{k,i})) \quad (2)$$

$G_{k,j}$ είναι η χαρακτηριστική τιμή του μόνιμου φορτίου

$Q_{k,l}$ είναι η χαρακτηριστική τιμή ενός εκ των μεταβλητών φορτίων

$Q_{k,i}$ είναι η χαρακτηριστική τιμή των άλλων μεταβλητών φορτίων.

Για να ορισθεί η αντίσταση σχεδιασμού R_d , μελών ή διατομών είναι αναγκαίες, οι τιμές σχεδιασμού των αντοχών των υλικών και τα γεωμετρικά δεδομένα (όταν σχετίζονται). Η τιμή σχεδιασμού μιας ιδιότητας του υλικού παριστάνει τη χαμηλότερη χαρακτηριστική τιμή του διαιρεμένη με την αντίστοιχο επι μέρους συντελεστή

ασφαλείας. Οι επι μέρους συντελεστές για τις ιδιότητες των υλικών (και τις αντοχές) είναι:

Συνδυασμός	Δομικός χάλυβας	Σκυρόδεμα	Οπλισμός	Χαλυβδόφυλλο
Θεμελιώδης	$\gamma_a = 1,1$	$\gamma_c = 1,1$	$\gamma_s = 1,1$	$\gamma_{ap} = 1,$

Άλλες τιμές του γ_M , όπως αυτές για την διατμητική σύνδεση (ήλοι, κοχλίες τριβής κ.λ.π) δίνονται στον Ευρωκώδικα 4 [1].

Η χρήση αυτών των συντελεστών υλικών στον προσδιορισμό των αντιστάσεων σχεδιασμού δείχνεται στο Μέρος 4, Εξισώσεις (3) μέχρι (9) για την περίπτωση την αντίστασης σε ροπή δηλ. κριτήριο I του Σχήματος 3.

Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Στον σχεδιασμό μιας σύμμικτης δοκού για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, πρέπει ναδειχθεί ότι υπό συνθήκες λειτουργίας, τα βέλη και οι ταλαντώσεις δεν υπερβαίνουν επιτρεπόμενες τιμές και η ρηγμάτωση του σκυροδέματος είναι περιορισμένη. Η τιμή σχεδιασμού των επιρροών των φορτίων E πρέπει να είναι μικρότερη από (ή ίση με) μια ονομαστική τιμή C_d (ή μια σχετιζόμενη συνάρτηση R_d):

$$E_d \leq C_d \quad \text{ή} \quad E_d \leq R_d$$

Αυτή η άποψη σχεδιασμού συζητείται λεπτομερέστερα στην Διάλεξη 10.5.1.

4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

4.1 Θετική Ροπή Κάμψης

Η οριακή αντίσταση φορτίου μιας απλά στηριζόμενης δοκού ορίζεται από την ροπή αντίστασης της κρίσιμης διατομής[5]. Ο ορισμός της ροπής αντίστασης της διατομής βασίζεται στις ακόλουθες προϋποθέσεις:

α. Οι διατμητικοί σύνδεσμοι μπορούν να μεταφέρουν τις δυνάμεις που εμφανίζονται μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος κατά την αστοχία (πλήρη διατμητική σύνδεση).

β. Δεν εμφανίζεται ολίσθηση μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος (πλήρης αλληλεπίδραση).

γ. Ο εφελκυσμός στο σκυρόδεμα αγνοείται.

δ. Οι παραμορφώσεις που δημιουργούνται από κάμψη είναι ευθέως ανάλογες με την απόσταση από τον ουδέτερο άξονα. Με άλλα λόγια, επίπεδες διατομές παραμένουν επίπεδες και μετά την κάμψη, ακόμα και κατά την αστοχία.

ε. Η σχέση μεταξύ της τάσης σ και της ανοιγμένης παραμόρφωσης ϵ του χάλυβα παριστάνεται σχηματικά από το διάγραμμα του σχήματος 9a.

στ. Η σχέση μεταξύ της τάσης σ_a και της ανοιγμένης παραμόρφωσης ϵ του σκυροδέματος παριστάνεται σχηματικά από το διάγραμμα του σχήματος 9a.

Και τα δύο υλικά υποτίθεται ότι συμπεριφέρονται με ένα τέλεια πλαστικό τρόπο, και έτσι οι παραμορφώσεις δεν περιορίζονται. Αυτή η υπόθεση είναι παρόμοια με αυτή που έγινε όταν υπολογίστηκε η πλαστική ροπή αντίστασης για την Κατηγορία 1 των χαλύβδινων διατομών. Το ιδεατό διάγραμμα του χάλυβα παρίσταται στο Σχήμα 9a. Η απόκλιση μεταξύ του ιδεατού και του πραγματικού είναι πολύ μικρότερη από αυτή του σκυροδέματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 9b. Η χρήση του f_{ck} για την μέγιστη τάση στο σκυρόδεμα θα έχει σαφώς σαν αποτέλεσμα μια μη συντηρητική σχεδίαση παρόλο που πρακτικά η υπερεκτίμηση δεν φαίνεται να είναι σημαντική. Για να επιτραπεί αυτή η υπερεκτίμηση χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό μια συντηρητική προσέγγιση για την αντοχή του σκυροδέματος (kf_{ck}).

Πειραματική έρευνα έχει αποδείξει ότι η πλαστική μέθοδος με $l_1/85$ οδηγεί σε μια ασφαλή τιμή για την ροπή αντίστασης. Αυτό είναι αλήθεια μόνο αν το άνω πέλμα της διατομής είναι μικρότερο ή ίσο με αυτό του κάτω πέλματος, όπως συνήθως συμβαίνει.

Η εφαρμογή αυτών των προϋποθέσεων οδηγεί σε διανομές τάσεων που φαίνονται στα Σχήματα 10 μέχρι 12. Σίγουρα, ο υπολογισμός της ροπής σε αντίσταση M εξαρτάται από την θέση του ουδέτερου άξονα, ο i προσδιορίζεται από την σχέση μεταξύ της διατομής της σκυροδέματος και της διατομής της χαλύβδινης δοκού. Μπορεί διακριθούν δύο περιπτώσεις

α. ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην πλάκα σκυροδέματος:

1. στο συμπαγές τμήμα της πλάκας σκυροδέματος ($R_s < R_c$, βλέπε Σχήμα 10).

2. στην πλευρά της σύμμικτης πλάκας ($R_s = R_c$)

β. ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην χαλύβδινη δοκό:

1. στο πέλμα της χαλύβδινης διατομής ($R_s > R_c > R_w$, βλέπε Σχήμα 11).

2. στο κορμό της χαλύβδινης διατομής ($R_s > R_c > R_w$, βλέπε Σχήμα 13).

Η πλαστική ροπή αντοχής, υποθέτοντας πλήρη διατμητική σύνδεση συμμετρική χαλύβδινη διατομή, εκφράζεται σε όρους αντίστασης διαφορετικών στοιχείων της δοκού όπως ακολούθως:

Αντίσταση πέλματος σκυροδέματος:
$$R_c = b_{\text{eff}} h_c 0,85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Αντίσταση πέλματος χάλυβα :
$$R_f = b t_f \frac{f_y}{\gamma_a}$$

Αντίσταση διατμητικής σύνδεσης :
$$R_q = N Q$$

Αντίσταση χαλύβδινης δοκού:
$$R_s = A \frac{f_y}{\gamma_a}$$

Αντίσταση του καθαρού ύψους κορμού:
$$R_v = d t_w \frac{f_y}{\gamma_a}$$

Αντίσταση του άλικου ύψους κορμού:
$$R_w = R_s - 2 R_f$$

όπου

A εμβαδόν χαλύβδινης δοκού

b πλάτος του χαλύβδινου πέλματος

b_{eff} συνεργαζόμενο πλάτος του πέλματος σκυροδέματος

h είναι το ολικό ύψος της χαλύβδινης δοκού

h_p είναι το ύψος του χαλύβδινου φύλλου

h_c είναι το ύψος του πέλματος σκυροδέματος πάνω από το άνω πέλμα του χαλύβδινου φύλλου

d είναι το καθαρό ύψος κορμού μεταξύ των εξωραφών

f_{ck} είναι η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου για το σκυρόδεμα

- M_{pl} είναι η πλαστική ροπή αντίστασης της χαλύβδινης δοκού
- N είναι ο αριθμός διατμητικών συνδέσμων στο μήκος διάτμησης μεταξύ δύο κρίσιμων διατομών
- Q είναι η αντίσταση ενός συνδέσμου
- t_f είναι το πάχος του χαλύβδινου πέλματος
- t_w είναι το πάχος του κορμού
- ε είναι $\sqrt{235/f_y}$

Η πλήρως διατμητική σύνδεση εφαρμόζεται όταν η R_q είναι μεγαλύτερη (ή ίση) από R_c και R_s .

Το πέλμα σκυροδέματος υποτίθεται πως είναι συμπαγής πλάκα σκυροδέματος, ή μια σύμμικτη πλάκα με χαλύβδινα φύλλα που είναι κάθετα στην δοκό. Οι Εξισώσεις είναι συντηρητικές για μια σύμμικτη πλάκα όπου τα χαλύβδινα φύλλα είναι παράλληλα στην δοκό γιατί στην αντίσταση R_c το σκυρόδεμα στα πλευρά αγνοείται.

Για μια σύμμικτη διατομή με πλήρη διατμητική σύνδεση, όπου η χαλύβδινη δοκός έχει ίσα πέλματα, η πλαστική ροπή αντοχής M_c , για θετικές ροπές δίνεται από τα ακόλουθα:

Περίπτωση a1

Αν ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στο πέλμα του σκυροδέματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 10, $R_s < R_c$ και η θετική ροπή αντοχής είναι:

$$M_{pl.Rd} = R_s z$$

$$z = \frac{h}{2} + h_p + h_c - \frac{x}{2}$$

$$x = \frac{A \frac{f_y}{\gamma_a}}{b_{eff} \frac{k f_{ck}}{\gamma_c}} h_c = \frac{R_s}{R_c} \cdot h_c$$

$$M_{pl.Rd} = R_c \left(\frac{h}{2} + h_p + h_c - \frac{R_s}{R_c} \frac{h_c}{2} \right)$$

Περίπτωση a2

Αν ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στη πλευρά της σύμμικτης πλάκας, $R_s = R_c$ και η Εξίσωση 3 μπορεί να γραφτεί σαν:

$$M_{pl.Rd} = R_s \frac{h + 2h_p + h_c}{2}$$

$$M_{pl.Rd} = R_s \frac{h}{2} + R_c \cdot \left(\frac{h_c}{2} + h_p \right) \quad (4)$$

Περίπτωση b1

Αν ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στο πέλμα του χάλυβα, $R_s > R_c > R_w$. Από την ισορροπία των ορθών δυνάμεων μπορεί ναδειχθεί ότι η αξονική θλιπτική δύναμη R στο χαλύβδινο πέλμα (βλέπε Σχήμα 11) είναι:

$$R_c + R = R_s - 2R + R \rightarrow 2R = R_s - R_c \rightarrow R = \frac{R_s - R_c}{2}$$

Η αξονική δύναμη R ευρίσκεται στο μέσον του άνω μέρους του πέλματος με ύψος ίσο με: $\frac{R}{R_f} t_f = \frac{R_s - R_c}{2R_f} t_f$. Ως εκ τούτου, η ροπή αντοχής είναι ίση με την αντίσταση που

εκφράζεται με την Εξίσωση (4) πλήν $2R \frac{1}{2} \frac{R_s - R_c}{2R_f}$ ίση με $\frac{(R_s - R_c)^2}{4R_f} t_f$ όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.

Αυτό μπορεί να γραφεί σαν:

$$M_{pl.Rd} = R_s \frac{h}{2} + R_c \left(\frac{h_c}{2} + h_p \right) - \frac{(R_s - R_c)^2}{4R_f} t_f \quad (5)$$

Περίπτωση b2

Αν ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στο κορμό του χάλυβα, $R_s > R_c < R_w$. Σε αυτή την περίπτωση ένα μέρος του κορμού είναι σε θλίψη και, όπως ήδη ειπώθηκε, αυτό μπορεί να επηρεάσει την ταξινόμηση του κορμού.

Κορμοί όχι πλήρως ενεργοί (“μη συμπαγείς κορμοί”) δεν εξετάζονται σε αυτή την διάλεξη. Αν ο λόγος ύψους προς πάχος κορμού μια χαλύβδινης διατομής είναι μικρότερος ή ίσος με $\frac{83 \epsilon}{1 - \frac{R_c}{R_v}}$ όπου $\epsilon = \sqrt{235/f_y}$, θεωρείται σαν συμπαγής κορμός και

όλο το ύψος είναι ενεργό. Η θετική ροπή αντοχής παρίσταται στο Σχήμα 12:

$$M_{pl.Rd} = R_c z + M_{pl,N-red.Rd} = R_c \frac{h + 2h_p + h_c}{2} + M_{pl,N-red.Rd} \quad (6)$$

όπου

$M_{pl,N-red,Rd}$ = είναι η πλαστική ροπή αντοχής της χαλύβδινης δοκού μειωμένη με μια ορθή δύναμη R_c .

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3[2] η πλαστική ροπή μειωμένη από μια φυσιολογική δύναμη για τις πρότυπες διατομές I και H, και μπορεί να προσεγγισθεί απο:

$$M_{pl,N-red,Rd} = 1,11 M_{pl,a,Rd} \left(1 - \frac{R_c}{R_s} \right) \leq M_{pl,Rd} \quad (7)$$

Ετσι η αντίσταση μπορεί να γραφεί:

$$M_{pl,Rd} = R_c \frac{h + 2 h_p + h_c}{2} + 1,11 M_{pl,a,Rd} \left(1 - \frac{R_c}{R_s} \right) \quad (8)$$

Σε αυτή την περίπτωση η ροπή αντοχής είναι:

$$M_{pl,Rd} = R_c \frac{h + 2 h_p + h_c}{2} + M_{pl,a,Rd} - \frac{R_c^2 d}{R_v 4} \quad (9)$$

Οι εξισώσεις για τις θετικές ροπές αντοχής βρίσκονται στον πίνακα 2.

4.2 Τέμνουσα

Οι διατομές II του Σχήματος 3 υπόκεινται μόνο σε τέμνουσα. Η συνεισφορά της πλάκας σκυροδέματος στην αντίσταση σε τέμνουσα είναι μικρή και δύσκολο να οριστεί και είναι ως εκ τούτου αμελητέα. Αρα, μόνο ο κορμός της χαλύβδινης διατομής και τα γειτονικά τμήματα του χαλύβδινου πέλματος λαμβάνονται υπ' όψιν. Η αντοχή σε τέμνουσα, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3[2] δίνεται απο:

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\gamma_a \sqrt{3}} \quad (10)$$

Η διατμητική επιφάνεια αν για πρότυπες διατομές H και I και κοιλοδοκούς φορτισμένες παράλληλα στον κορμό μπορεί να ληφθεί σαν $1,04 h t_w$.

Γιρόσθετα, η διατμητική αντοχή λυγισμού χαλύβδινου κορμού πρέπει να ελεγχθεί όταν $d/t_w > 69\epsilon$ για μη ενισχυμένο (και μη εγκιβωτισμένο) κορμό. Για μια αμφιέριστη δοκό χωρίς εγκάρσιες ενισχύσεις, με πλήρη διατμητική σύνδεση και υποκείμενη σε ομοιόμορφα διανεμημένη φόρτιση, ο Ευρωκώδικας 4[1] δίνει τους ακόλουθους απλουστευτικούς κανόνες:

$$\text{για } \bar{\lambda}_w \leq i, 5 \quad \rightarrow \quad V_{Rd} = V_{pl,Rd} \quad (11)$$

$$\text{για } 1,5 < \bar{\lambda}_w < 3,0 \quad \rightarrow \quad V_{Rd} = V_{pl,Rd} \left(\frac{3}{\bar{\lambda}_w} + \frac{1}{5\bar{\lambda}_w} - 1,3 \right) \quad (12)$$

$$\text{για } 3,0 < \bar{\lambda}_w < 4,0 \quad \rightarrow \quad V_{Rd} = V_{pl,Rd} \frac{0,9}{\bar{\lambda}_w} \quad (13)$$

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 η λυγηρότητα του κορμού $\bar{\lambda}_w$ δίνεται απο:

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y}{\sqrt{3} \tau_{cr}}} \leq 4 \quad (14)$$

Πρακτικά, μια συγκολλητή δοκός I έχει συνήθως μια εγκάρσια νεύρωση που φέρει το φορτίο στην στήριξη, αλλά όχι ενδιάμεσες εγκάρσιες νευρώσεις. Σε μια τέτοια περίπτωση η ελαστική κρίσιμη διατμητική αντοχή τ δίνεται από :

$$\tau_{cr} = \left(\frac{1000}{\frac{d}{t_w}} \right)^2 \quad (15)$$

Αν η εσωτερική δύναμη σχεδιασμού V_{Sd} είναι μικρότερη από $V_{cr} = dt_w \tau_{cr}$, οι διατμητικοί σύνδεσμοι μπορούν να διανεμηθούν ομοιόμορφα, αν όχι., περισσότεροι σύνδεσμοι πρέπει να τοποθετηθούν κοντά στην στήριξη.

4.3 Συνδυασμός Τέμνουσας με Καμπτική Ροπή

Όταν η τέμνουσα v ξεπερνά το μισό της πλαστικής διατμητικής αντοχής που δίνεται από την εξίσωση (10) πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίδρασή της στην πλαστική ροπή . Αυτό είναι σημαντικό στις διατομές (I+II) του Σχήματος 5, όπου και τα δύο αποτελέσματα φόρτισης, τέμνουσα και κάμψη, έχουν μέγιστη τιμή. Οι ακόλουθες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τέτοιες περιπτώσεις:

- Αν ο ουδέτερος άξονας της σύμμικτης δοκού βρίσκεται στην πλάκα σκυροδέματος ή στο πέλμα της χαλύβδινης διατομής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι προηγούμενες Εξισώσεις (3)-(5) όπου το R_s αντικαθίσταται από την μειωμένη αντίσταση της χαλύβδινης δοκού, δηλαδή:

$$R_{s,red} = R_s - \left(2 \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} - 1 \right) V_{pl,Rd} \quad \text{for } 0,5 < \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1 \quad (16)$$

Σε αυτή την περίπτωση, μέρος του μέσου του κορμού της χαλύβδινης διατομής, προορίζεται για να αντισταθεί στην τέμνουσα. Το ύψος αυτού του τμήματος της δοκού είναι :

$$\left(2 \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} - 1\right) h$$

αποδίδοντας ένα ύψος ίσο με μηδέν όταν $V_{Sd}/V_{Rd} = 0.5$ και ίσο με h όταν $V_{Sd}/V_{Rd} = 1.0$.

- Αν ο ουδέτερος άξονας της σύμμικτης δοκού βρίσκεται στον κορμό της χαλύβδινης διατομής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι προηγούμενες Εξισώσεις (8) και (9) όπου η $M_{pl,Rd}$ αντικαθίσταται από μια μειωμένη πλαστική ροπή. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 [2] αυτή η αντοχή πρέπει να υπολογισθεί από την κατανομή τάσεων που δίνεται στο Σχήμα 13 και συζητείται εν συντομία παρακάτω.

Το τμήμα του κορμού που προορίζεται για τέμνουσα τοποθετείται στο μέσο του ύψους του κορμού. Η ροπή αντίστασης του κορμού μειώνεται λοιπόν κατά:

$$\frac{1}{4} t_w \left(\left(2 \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} - 1 \right) h \right)^2 \quad \text{for } 0.5 < \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1 \quad (17)$$

το οποίο γίνεται:

$$\frac{1}{4} t_w h^2 \left(1 - \left(2 \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 \right) \quad (18)$$

Αν ο συντελεστής ρ υποτεθεί ίσος με $\left(2 \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2$ αντίστασης μπορεί επίσης να γραφεί σαν:

$$\frac{1}{4} t_w h^2 (1 - \rho)$$

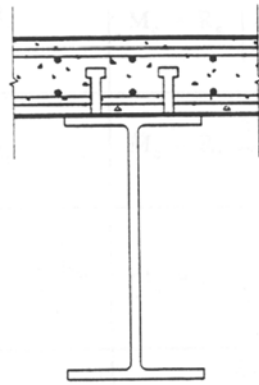
Με άλλα λόγια, είναι δυνατόν να ληφθεί υπ' όψιν η τέμνουσα μειώνοντας την τάση διαρροή ζ σχεδιασμού στο κορμό με ένα συντελεστή $(1-\rho)$ για την επιφάνεια A_v ($1d_o/d$) όπου d_o είναι το ύψος του κορμού το οποίο αγνοείται όταν υπολογίζεται η $M_{pl,Rd}$. Η πλαστική ροπή αντοχής μειωμένη λόγω τέμνουσας μπορεί να εκφρασθεί προσεγγιστικά από

$$M_{pl,V-red,Rd} = \left(1 - \rho \left(1 - \frac{d_o}{d} \right) \frac{A_v}{2A - A_v} \right) M_{pl,Rd} \quad (19)$$

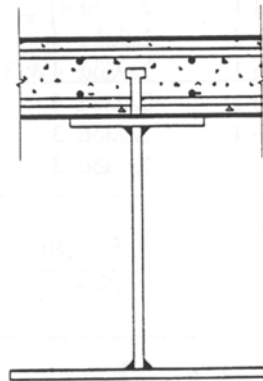
Αυτοί οι κανόνες φαίνονται στο Σχήμα 14 όπου η $M_{pl,Rd}$ είναι η πλαστική ροπή αντοχής όταν $\rho = 1$.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

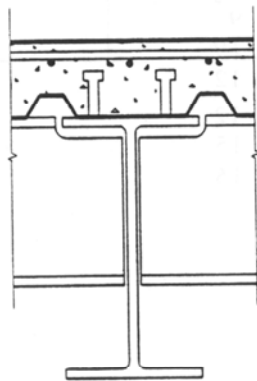
1. Η πλαστική ανάλυση της διατομής χρησιμοποιείται για να ορισθεί τ ροπή αντοχής συμμίκτων δοκών (υποθέτοντας ότι χρησιμοποιούνται η Κατηγορίας 1 ή 2 διατομές).
2. Ο Ευρωκώδικας 4 δίνει απλές σχέσεις για το συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας σκυροδέματος που δρα σύμμικτα με τον χάλυβα. Αυτό το “πέλμα σκυροδέματος” πρέπει να διαστασιολογείται κατάλληλα για να αποφεύγεται διαμήκης διάτμηση και αποκόλληση.
3. Ο σχεδιασμός σύμμικτων δοκών πρέπει να δείξει ότι οι δυνάμεις και οι ροπές λόγω των φορτίων σχεδιασμού είναι μικρότερες απ’ την αντίστοιχη αντίσταση σχεδιασμού.
4. Διάφορες εκφράσεις για την θετική ροπή αντοχής μπορούν να εξαχθούν. Αυτές εξαρτώνται από την θέση του ουδέτερου άξονα σε σχέση με την πλάκα σκυροδέματος, τα πέλματα του χάλυβα, κ.λ.π.
5. Ο Ευρωκώδικας 4 δίνει απλοποιητικούς κανόνες που δίνουν τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού απλά εδραζόμενων σύμμικτων δοκών, με πλήρη διατμητική σύνδεση, υποκείμενες σε ομοιόμορφα διανεμημένη φόρτιση.
6. Όπου συνυπάρχουν η υψηλή τέμνουσα και ροπή μέρος του χαλύβδινου κορμού προορίζεται να φέρει διάτμηση, έχοντας σαν αποτέλεσμα μια μείωση της ροπής αντοχής.



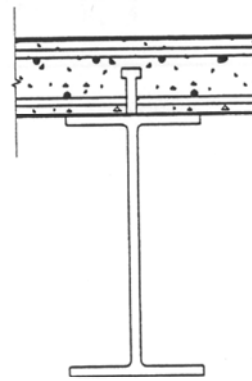
(a)



(b)

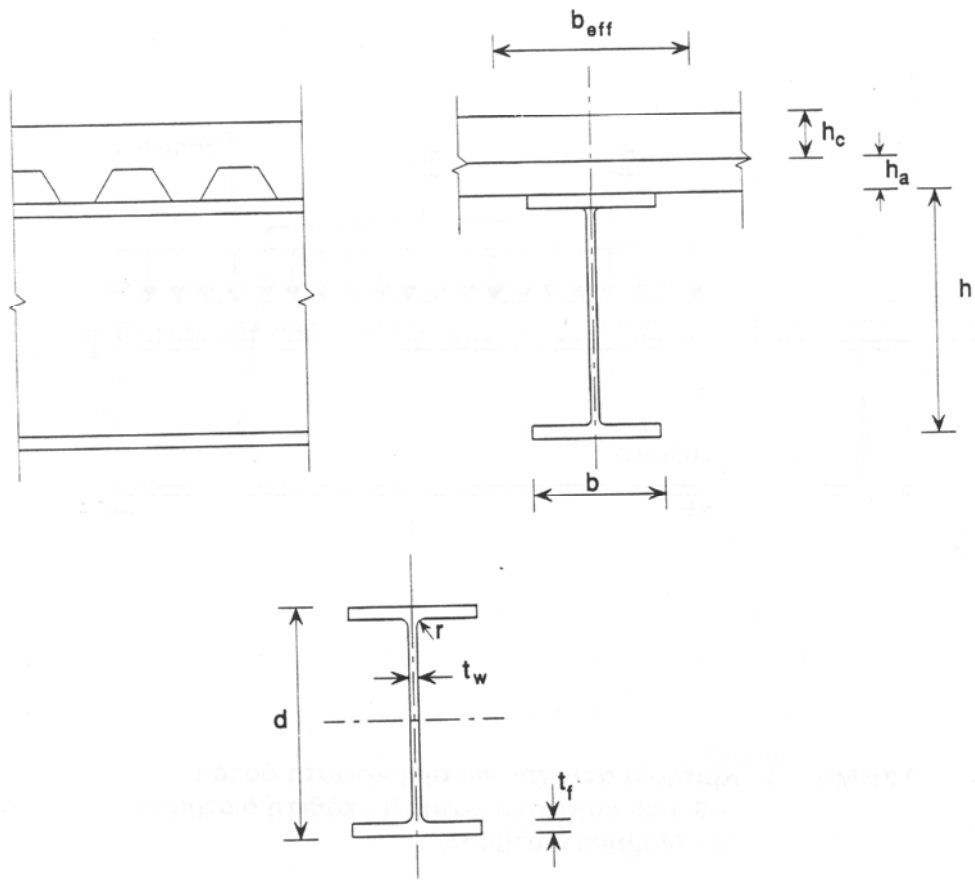


(c)



(d)

ΣΧΗΜΑ 1 Τυπικές διατομές σύμμικτων δοκών



ΣΧΗΜΑ 2 Συμβολισμοί

ESDEP OE 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.4.1 : Συνεχείς Δοκοί Ι

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να περιγραφεί η συμπεριφορά συνεχών σύμμικτων δοκών. Να εξηγηθεί η χρήση απόλυτης πλαστικής ανάλυσης για να προσδιορισθούν τα εντατικά μεγέθη, και για να εξαχθούν οι πλαστικές ροπές αντοχής.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 7.2 : Ταξινόμηση Διατομών

Διάλεξη 7.3 : Τοπικός Λυγισμός

Διάλεξη 10.2 : Συμπεριφορά Δοκών

Διάλεξη 10.3 : Αμφιέρειστες Δοκοί

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 10.4.2 : Συνεχείς Δοκοί Η

Διάλεξη 10.5 : Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα

Διάλεξη 10.6 : Διατμητική Σύνδεση

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Τα πλεονεκτήματα των συνεχών δοκών συνοψίζονται και περιγράφονται οι τρόποι αστοχίας οι οποίοι προκύπτουν λόγω συνεχείας σε σύμμικτες δοκούς. Πλαστικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ορισθούν τα εντατικά μεγέθη, προϋποθέτοντας επρκή ικανότητα στροφής και μη εμφάνιση στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Ο σκοπός των πλαστικών μεθόδων σχετίζεται με την ταξινόμηση των διατομών με όρους περιορισμού των λόγων πλάτους/πάχους για δομικά στοιχεία από χάλυβα σε θλίψη. Περιγράφονται άλλα μέτρα που χρειάζονται για την διασφάλιση επαρκούς ικανότητας στροφής. παρουσιάζονται απλές τιμές για το συνεργαζόμενο πλάτος του πέλματος σκυροδέματος και δίνονται εκφράσεις για την αρνητική ροπή αντοχής για διατομές Κατηγορίας 1 και Κατηγορίας 2. παρουσιάζεται η εφαρμογή απόλυτης πλαστικής ανάλυσης για τον ορισμό της κατανομής των καμπτικών των ροπών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι συνεχείς δοκοί προσφέρουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα για απλή κατασκευή:

1. μεγαλύτερη αντίσταση φορτίου.
2. μεγαλύτερη ακαμψία.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρειάζεται μικρότερη χαλύβδινη διατομή για να αντισταθεί την συγκεκριμένη φόρτιση.

Σε αυτή την διάλεξη, τα μέλη υποτίθεται πως είναι συνεχή πάνω σε απλές στηρίξεις ή ότι είναι άκαμπτα συνδεδεμένα με τα υποστυλώματα σε αμετάθετα πλαίσια. Θα υπάρχει επιπλέον κόστος αν ειδικές μέθοδοι, όπως πιο πολύπλοκη σύνδεση, θα πρέπει να υπάρχει για να επιτευχθεί συνέχεια. παρόλα αυτά, η συνέχεια του δομικού χάλυβα μπορεί να επιτευχθεί οικονομικά αν χρησιμοποιηθεί μια μόνο διατομή κατά μήκος δύο ή περισσότερων ανοιγμάτων. Το σκυρόδεμα εγχύνεται συνεχώς πάνω από τις στηρίξεις και για να ελεγχθεί η συστολή ξήρανσης και η ρηγμάτωση το σκυρόδεμα οπλίζεται. Μια τυπική διατομή σύμμικτης δοκού, στην περιοχή εσωτερικής στήριξης, φαίνεται στο Σχήμα 1.

Τα μειονεκτήματα που σχετίζονται με συνεχή κατασκευή είναι:

1. αυξανόμενη πολυπλοκότητα στον σχεδιασμό.
2. ευπάθεια σε λυγισμό στην περιοχή αρνητικής ροπής πάνω από εσωτερικές στηρίξεις (βλέπε Σχήμα 2 πραγματικά αυτή η περιοχή αρνητικής ροπής μπορεί να εκτείνεται σε όλο το άνοιγμα κατά την διάρκεια της κατασκευής (βλέπε Σχήμα 21ή. Μπορεί να εμφανισθούν δύο μορφές λυγισμού : τοπικός λυγισμός κορμού και/ή του κάτω πέλματος, και στρεπτοκαμπτικός λυγισμός. Μόνο ο πρώτος εξετάζεται εδώ. Ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός συζητείται στην επόμενη Διάλεξη 10.4.2.

Μετά την σύλληψη του σχεδιασμού, ο οποίος μπορεί πιθανόν να περιλαμβάνει αρχική διαστασιολόγηση των μελών βασισμένη στην εμπειρία ή σε χονδρικούς υπολογισμούς, ο μελετητής θα θέλει να προχωρήσει σε λεπτομερειακούς υπολογισμούς της κατασκευής. Το επόμενο στάδιο είναι ο ορισμός των εντατικών μεγεθών σε κρίσιμες περιοχές για τις διάφορες περιπτώσεις φόρτισης και οριακές καταστάσεις . Αυτό είναι γνωστό σαν “ολική ανάλυση” και οι διαδικασίες για αυτή, στην οριακή κατάσταση αντοχής, συζητώνται εδώ και στην επόμενη διάλεξη.

Οι ροπές σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς μπορούν εύκολα να ορισθούν με ελαστική ανάλυση ή υπό ορισμένες προϋποθέσεις, από απολύτως πλαστική ανάλυση. Αν η πλαστική ανάλυση είναι κατάλληλη εξαρτάται από την ολκιμότητα του οπλισμού και στην επιδεκτικότητα της χαλύβδινης διατομής σε τοπικό λυγισμό, όπως εξηγείται ακολούθως. Η ελαστική ανάλυση ερευνάται στην επόμενη διάλεξη.

2. ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Αυτή είναι μια πολύ καλά θεμελιωμένη μέθοδος ανάλυσης για τον ορισμό των εντατικών μεγεθών σε συνεχείς χαλύβδινες κατασκευές. Βασίζεται στην υπόθεση ότι οι πλαστικές περιοχές συγκεντρώνονται σε διακεκριμένα σημεία τα οποία μπορούν να αντιπροσωπευθούν από "πλαστικές αρθρώσεις". Για να ισχύει η ανάλυση, οι κρίσιμες διατομές πρέπει να είναι ικανές να αναπτύσσουν και να φέρουν την πλαστική ροπή μέχρι, υπό αυξανόμενη φόρτιση, ικανές περιοχές έχουν πλήρως διαρρεύσει για να μορφώσουν οι πλαστικές αρθρώσεις μηχανισμό.

Ο μηχανισμός εμφανίζεται σαν αποτέλεσμα της ανακατανομής της ροπής που επιτυγχάνεται από στροφή των ήδη διαρρυσάντων περιοχών. Για να εξασφαλισθεί ότι οι παραγόμενες παραμορφώσεις μπορούν να συμβούν χωρίς μείωση της αντοχής κάτω από την πλαστική ροπή, πρέπει να τίθενται περιορισμοί στην λυγηρότητα των στοιχείων των διατομών τα οποία βρίσκονται σε θλίψη. Για σιδηρές κατασκευές, διατομές που μπορούν να μορφώσουν πλαστική άρθρωση με ικανότητα στροφής που χρειάζεται για την πλαστική ανάλυση, είναι οι ορισμένες σαν Κατηγορία 1 διατομές. Οι περιορισμοί στη λυγηρότητα πέλματος και κορμού για τέτοιες διατομές δίνονται στις προδιαγραφές, όπως ο Ευρωκώδικας 3[1], όπως συζητείται στις Διαλέξεις 7.2 και 7.3. Αυτοί οι περιορισμοί αναγνωρίζουν ότι κάποια μείωση της ικανότητας στροφής λόγω του τοπικού λυγισμού αντισταθμίζεται από αποτελέσματα επωφελή όπως η κράτυση και το πεπερασμένο μήκος των πλαστικών περιοχών. παρόλα αυτά, λόγω του τελευταίου αποτελέσματος, είναι αναγκαίο οι διατομές μακριά από τις θεωρητικές θέσεις να είναι Κατηγορίας 1 ή τουλάχιστον Κατηγορίας 2. Εξ ορισμού, διατομές Κατηγορίας 2 μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική ροπή αντοχής της διατομής παρόλο που ο τοπικός λυγισμός περιορίζει την ικανότητα στροφής και προλαμβάνει την πλήρη ανακατανομή της ροπής σε τέτοιες διατομές.

3. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΣΥΝΕΧΩΝ ΣΥΜΜΙΚΤΩΝ ΔΟΚΩΝ

Η εύκαμπτη συμπεριφορά των συνεχών συμμικτων δοκών έχει ερευνηθεί με δοκιμές στις οποίες τα δευτερεύοντα στοιχεία (διατμητικοί σύνδεσμοι, οπλισμοί διανομής της πλάκας) ήταν συντηρητικά σχεδιασμένα έτσι ώστε να αποκλείουν μορφές αστοχίας όπως η απώλεια αλληλεπίδρασης και η διαμήυης αποκόλληση πλάκας. Αρχικά, η συμπεριφορά είναι ουσιαστικά γραμμική (Σχήμα 3), αλλά καθώς αυξάνει το φορτίο εμφανίζεται μείωση στην καμπτική ακαμψία.

Σε περιοχές αρνητικών ροπών, εμφανίζονται ρωγμές στο σκυρόδεμα σε σχετικά χαμηλά επίπεδα φορτίου. Καθώς η φόρτιση συνεχίζεται, η ρηγμάτωση συνεχίζεται πάνω από ένα αυξανόμενο μήκος και μπορεί να εμφανισθεί διαρροή και αργότερα κράτυνση στον οπλισμό και στο χαμηλότερο (θλιβόμενο) μέρος της χαλύβδινης διατομής. Ανακατανομή της ροπής θα εμφανισθεί στις περιοχές του μέσου του ανοίγματος. θεωρώντας ότι η αστοχία της δοκού δεν οφείλεται σε θραύση του σκυροδέματος στο μέσο του ανοίγματος, από αστοχία σε διάτμηση, ή από θραύση του οπλισμού, η διατομή της στήριξης θα αναπτύξει τοπικό λυγισμό πέλματος, δημιουργώντας τελικά απώλεια αντίστασης έναντι ροπής η οποία οδηγεί σε κατάρρευση (Σχήμα 4).

Σε περιοχές θετικών ροπών στο μέσον ανοίγματος, εμφανίζεται διαρροή στο χαμηλότερο μέρος της χαλύβδινης διατομής και θραύση στο πάνω μέρος της πλάκας σκυροδέματος, δημιουργώντας ανακατανομή της ροπής στις στηρίξεις. Τυπικές καμπύλες θετικών ροπών - καμπυλοτήτων φαίνονται στο Σχήμα 5. Η ροπή που επιτυγχάνεται μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την θεωρητική πλαστική ροπή αντοχής (M_{pl}) της σύμμικτης διατομής, κυρίως λόγω της κρατύνσεως του δομικού χάλυβα. Είναι προφανές από το Σχήμα 5, ότι η παραμόρφωση μπορεί να συνεχίζεται χωρίς πτώση της ροπής για μια σημαντική καμπυλότητα. παρόλα αυτά, η στροφή είναι μικρή σε σύμμικτες δοκούς που έχουν μικρές πλάκες και/ή ασθενές σκυρόδεμα, μεγάλες χαλύβδινες διατομές και/ή υψηλή τάση διαρροής. Σε τέτοιες δοκούς η θραύση περιορίζει την στροφή που θα λάβει μέρος πριν εμφανισθεί η μείωση στην ροπή.

4. ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΤΡΟΦΗΣ ΓΙΑ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η φύση των σύμμικτων δοκών συνεπάγεται ότι μπορεί να χρειάζεται ένα μεγάλο ποσοστό της ανακατανομής πριν ολοκληρωθεί ο μηχανισμός κατάρρευσης.

Στα πρώτα στάδια της φόρτισης η δοκός συμπεριφέρεται ουσιαστικά ελαστικά, με τις ροπές κάμψης στις στηρίξεις και στο μέσο του ανοίγματος να είναι άνισες. Για παράδειγμα, σε συνεχή δοκό ίσων ανοιγμάτων που φέρει ομοιόμορφα διανεμημένη φόρτιση (Σχήμα 6), η ροπή κάμψης στις στηρίξεις είναι δύο φορές μεγαλύτερη από ότι στο μέσο του ανοίγματος. παρόλα αυτά, η πλαστική ροπή αντοχής στις περιοχές του μέσου του ανοίγματος κυμαίνεται από το να είναι μεγαλύτερη από αυτή της στήριξης, μερικές φορές κατά ένα συντελεστή τόσο υψηλό όσο το 3, μέχρι να είναι μικρότερη (μη συνήθης περίπτωση). Συνεπώς, ένα μεγάλο ποσοστό της παραμόρφωσης μπορεί να χρειάζεται με την ανακατανομή είτε από είτε προς την στήριξη, όπου η πρώτη περίπτωση είναι η πιο συνηθισμένη. Το Σχήμα 7 δείχνει ένα παράδειγμα μιας συνεχούς σύμμικτης δοκού δύο ανοιγμάτων υποκείμενης σε ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο. Η στροφή που χρειάζεται στην κάθε πλευρά της στήριξης για να ολοκληρωθεί ο μηχανισμός πλαστικών αρθρώσεων αυξάνει σημαντικά καθώς η ροπή αντοχής στην στήριξη (M_{pl}) μειώνεται σε σχέση με την ροπή του μέσου του ανοίγματος (M_{pl}).

Σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς παρόλα αυτά, η ικανότητα στροφής που χρειάζεται σε μια συγκεκριμένη κρίσιμη διατομή εξαρτάται από:

1. το σχετικό μήκος κάθε ανοίγματος.
2. τον τύπο και την θέση της φόρτισης σε κάθε άνοιγμα (ομοιόμορφα κατανεμημένο, συγκεντρωμένο φορτίο στο μέσο, φορτία στα τέταρτα του ανοίγματος κ.λ.π)
3. τις θέσεις των φορτίων στα ανοίγματα (πλήρεις φόρτιση όλων ή κάθε δεύτερου ανοίγματος)
4. τα σχετικά μεγέθη των θετικών και αρνητικών ροπών αντοχής κατά μήκος της δοκού.
5. τα χαρακτηριστικά ροπών-στροφών των διατομών κατά μήκος της δοκού.

Η τελική μορφή αστοχίας της δοκού επηρεάζεται σημαντικά από την κράτυνση και τα πτωτικά τμήματα των καμπυλών ροπών-στροφών στις περιοχές θετικών και αρνητικών ροπών, για τις οποίες δεν υπάρχει απλή μέθοδος πρόβλεψης. Απαιτήσεις για την ικανοποιητική χρήση της απολύτως πλαστικής ανάλυσης είναι ως εκ τούτου βασισμένες σε αποτελέσματα πειραμάτων, σε συνδυασμό με παραμετρικές μελέτες με χρήση H/Y. Το πεδίο εφαρμογής της μεθόδου είναι λοιπόν συνδεδεμένο με αυτό τι παραμετρικών αναλύσεων.

5. ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 4

Οι απαιτήσεις που προτείνονται στον Ευρωκώδικα 4[2], παρ. 4.5.2.2, για την επίτευξη ικανοποιητικής ικανότητας στροφής, επιτρέπουν να εφαρμόζεται η πλαστική ανάλυση χωρίς να γίνεται αναφορά στην κράτυνση του χάλυβα, η οποία συνήθως δεν είναι γνωστή στον μελετητή. Οι απαιτήσεις είναι:

1. Σε κάθε θέση πλαστικής άρθρωσης, η διατομή του δομικού χάλυβα πρέπει να είναι συμμετρική ως προς το επίπεδο του κορμού της.
2. Όλες οι ενεργές διατομές στις θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων είναι Κατηγορίας 1. Όλες οι άλλες ενεργές διατομές είναι Κατηγορίας 1 ή Κατηγορίας 2.
3. Γειτονικά ανοίγματα δεν διαφέρουν σε μήκος περισσότερο από 50% από το μικρότερο άνοιγμα.
4. Ακραία ανοίγματα δεν υπερβαίνουν Το 115% του μήκους του γειτονικού ανοίγματος.
5. Για κάθε άνοιγμα στο οποίο συγκεντρώνεται περισσότερο από το μισό φορτίο σχεδιασμού σε μήκος μέσα στο 1/5 του ανοίγματος, τότε σε κάθε θέση άρθρωσης όπου η πλάκα σκυροδέματος βρίσκεται σε θλίψη, όχι περισσότερο από 15% από το ολικό ύψος του μέλους πρέπει να είναι σε θλίψη (αυτή η συνθήκη δεν εφαρμόζεται αν η άρθρωση θα είναι η τελευταία που θα σχηματιστεί στο άνοιγμα).
6. Το χαλύβδινο θλιβόμενο πέλμα σε θέση πλαστικής άρθρωσης είναι πλευρικά στηριζόμενο (αυτό είναι συνήθως έτσι όπως εξηγείται αργότερα).

6. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Μπορεί Κανείς να δει από τις παραπάνω απαιτήσεις ότι, αντίθετα με τις σιδηρές κατασκευές, ο ορισμός της Κατηγορίας I της διατομής με όρους περιορισμού του λόγου πλάτους / πάχους δεν είναι από μόνος του αρκετά επαρκής για να διασφαλίσει πάντα ότι θα είναι διαθέσιμη επαρκής ικανότητα στροφής για πλαστική ανάλυση στην σύμμικτη κατασκευή. θεωρώντας, παρόλα αυτά, ότι ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που δόθηκαν παραπάνω και αφορούν σχετικά μήκη ανοιγμάτων και τακτοποίηση φόρτισης, τα όρια των λόγων πλάτους / πάχους για σύμμικτη διατομή Κατηγορίας 1 μπορούν να ληφθούν σαν αυτά των χαλύβδινων διατομών που δίνονται στον Ευρωκώδικα 3[1]. Τα όρια για διατομές Κατηγορίας 1 και 2, που δίνονται στους πίνακες 1(a) και 1(b) αυτής της διάλεξης, έχουν ληφθεί από τους πίνακες 4.1 και 4.2, αντίστοιχα του Ευρωκώδικα 4[2].

Για διατομές Κατηγορίας 2, ο εγκιβωτισμός του κορμού μπορεί να υποθεθεί ότι συνεισφέρει στην αντίσταση έναντι τοπικού λυγισμού, υποθέτοντας ότι είναι οπλισμένος και μηχανικά συνδεδεμένος στην χαλύβδινη διατομή.

7. ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Η πλαστική αντοχή μιας σύμμικτης δοκού σε θετικές ροπές έχει περιγραφεί στην Διάλεξη 10.2. Το άνω πέλμα της χαλύβδινης διατομής μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη αλλά δεν παραμορφώνονται πλευρικά λόγω της σύνδεσής του με την πλάκα σκυροδέματος. Η αντοχή έναντι αρνητικής ροπής μπορεί να ορισθεί όπως περιγράφεται παρακάτω. Το κάτω πέλμα της χαλύβδινης διατομής είναι τώρα σε θλίψη. Παρόλα αυτά, αυτό το πέλμα είναι συνήθως πλευρικά στηριγμένο μέσω σύνδεσης με ένα στηριζόμενο στοιχείο, όπως ένα υποστύλωμα, του οποίου η πλευρική μετατόπιση εμποδίζεται στο επίπεδο της δοκού.

Υποτίθεται ότι η επιρροή συνυπάρχουσας τέμνουσας στην ροπή αντοχής μπορεί να αγνοηθεί. Όταν υπερβαίνει μισό της πλαστικής τέμνουσας του κορμού της χαλύβδινης διατομής, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της τέμνουσας στην ροπή αντοχής, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη διάλεξη.

Οι διατομές που εξετάζονται φαίνονται στο Σχήμα 8(a) (για μια συμπαγή πλάκα) και Σχήμα 8(α) (για μια πλάκα μορφούμενη από τραπεζοειδές φύλλο χάλυβα). Όπως στις περιοχές θετικής ροπής, χρησιμοποιείται ένα συνεργαζόμενο πλάτος για να ληφθεί υπόψη η εντός του επιπέδου διατμητική ευκαμψία του πέλματος του σκυροδέματος.

Ο λόγος του συνεργαζόμενου πλάτους προς το πραγματικό πλάτος πέλματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του τύπου φόρτισης, των συνθηκών στήριξης, της διατομής και του λόγου της απόστασης των δοκών προς το άνοιγμα. Στις περισσότερες προδιαγραφές (ειδικότερα για κτίρια), δίνονται παρόλα αυτά, πολύ απλές σχέσεις για το συνεργαζόμενο πλάτος, σχετιζόμενες με το άνοιγμα (ή τα ανοίγματα) της δοκού εκφρασμένες με όρους ενός μήκους l_0 μεταξύ των σημείων καμψής. Αυτά μπορεί να ληφθούν απλούστερα ως εξής:

$$\text{ακραίο άνοιγμα} \quad l_0 = 0,8L$$

$$\text{εσωτερικό άνοιγμα} \quad l_0 = 0,7L$$

όπου L είναι η απόσταση μεταξύ των στηρίξεων για το θεωρούμενο άνοιγμα, δηλ. L_1 ή L_2 στο Σχήμα 10, το οποίο λήφθηκε από το Σχήμα 4.3 του Ευρωκώδικα 4[2]. Αυτό επίσης δίνει μια τιμή κατάλληλη για άνοιγμα γειτονικό σε πρόβολο δηλ. L_3 .

Ερευνα της διατμητικής ευκαμψίας στις περιοχές αρνητικών ροπών έχει δείξει ότι όταν υπάρχει εγκάρσιος οπλισμός κατάλληλος για την απόσταση των διατμητικών συνδέσμων, η ρηγματωμένη πλάκα μπορεί να μεταφέρει διάτμηση στον διαμήκη οπλισμό σε απόσταση ισοπλασία του πάχους της πλάκας σε κάθε πλευρά του χαλύβδινου μέλους. Πάνω από μια εσωτερική στήριξη, ο Ευρωκώδικας 4 δίνει:

$$L_0 = 0,25 (L_1 + L_2)$$

όπου L_1 και L_2 είναι τα μήκη γειτονικών ανοιγμάτων (Σχήμα 10). Το Σχήμα 10 δίνει επίσης μια τιμή κατάλληλη για την περιοχή στήριξης του προβόλου.

Για να προσδιορισθεί η αρνητική ροπή αντοχή, όλοι οι σωστά αγκυρωμένοι ράβδοι οπλισμού μέσα εντός του συνεργαζόμενου πλάτους υποτίθεται ότι εντείνονται μέχρι το

όριο διαρροής σχεδιασμού f_{sk}/γ_a (Σχήμα 8b). Αν το εμβαδό αυτού του οπλισμού είναι A_r , τότε η εφελκυστική αντίσταση της όπλισης R_r , μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος της πλάκας υπό αρνητική ροπή δίνεται από την σχέση:

$$R_r (f_{sk}/\gamma_s)A_r$$

Λόγω της πιθανότητας θραύσης που οφείλεται στην έλλειψη ολκιμότητας, ο ονομαστικός οπλισμός της πλάκας (π.χ. συγκολλητό πλέγμα ή ράβδοι διαμέτρου λιγότερο από 10mm) πρέπει να αγνοείται στον υπολογισμό του R_r . Όλες οι ράβδοι που περιλαμβάνονται στον υπολογισμό του R_r πρέπει να είναι υψηλής ολκιμότητας (Κατηγορία Η) όπως ορίζεται στον Ευρωκώδικα 2[3].

Κατά την αστοχία εκ κάμψης, όλη η πλάκα σκυροδέματος μπορεί να υποθεθεί ότι ρηγματώνεται, ενώ όλος ο δομικός χάλυβας βρίσκεται στο όριο διαρροής σχεδιασμού f_y/γ_a σε θλίψη ή εφελκυσμό. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας μπορεί να είναι στο άνω πέλμα ή στον κορμό. Για την τελευταία περίπτωση, οι τάσεις φαίνονται στο Σχήμα 8(b). Η θέση του ουδέτερου άξονα προσδιορίζεται από την θεώρηση της διαμήκους ισοροπίας.

Εστω R_w η αξονική αντοχή του κορμού σε ύψος d μεταξύ των πελμάτων. Τότε για μια χαλύβδινη διατομή με ίσα πέλματα, ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται στον κορμό αν $R_r < R_w$ ενώ αν $R_r > R_w$ ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στο χαλύβδινο πέλμα. Για κάθε περίπτωση μπορεί να ορισθεί μια έκφραση για την πλαστική ροπή αντοχής M'_{pl} λαμβάνοντας υπ'όψη την ροπή κάθε τετράγωνου στερεού τάσεων περί τον ουδέτερο άξονα.

Περίπτωση 1 : $R_r < R_w$ (ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται στον κορμό)

$$M'_{pl} = M_a + R_r \left[\frac{D}{2} + D_r \right] - \frac{R_r^2 d}{R_w 4}$$

όπου M_a είναι η πλαστική ροπή αντοχής της χαλύβδινης διατομής μόνο

D είναι το συνολικό ύψος της χαλύβδινης διατομής

D_r είναι η απόσταση από την κορυφή της χαλύβδινης δοκού μέχρι το κέντρο βάρους του οπλισμού.

Περίπτωση 2 : $R_r > R_w$ (ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται στο χαλύβδινο πέλμα)

Υποθέτοντας ότι το πάχος του πέλματος είναι μικρό:

$$M'_{pl} = R_s \frac{D}{2} + R_r D_r$$

όπου R_s είναι η εφελκυστική αντοχή της χαλύβδινης διατομής. Για μια διατομή τμήμα με εμβαδού A_a ,

$$R_s = (f_y / \gamma_a) A_a$$

Η διατομή που φαίνεται στο Σχήμα 9 δείχνει μια πλάκα διαμορφωμένη με τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο. Το συστατικό του φύλλου αγνοείται συνήθως όταν προσδιορίζεται η αρνητική ροπή αντοχής. Για κατασκευή με τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο, είναι κοινή πρακτική να τοποθετείται μόνο ένα ελαφρό πλέγμα στην πλάκα, το οποίο, όπως ειπώθηκε και προηγουμένως αμελείται όταν υπολογίζεται η R_f . Έτσι αν δεν υπάρχει περαιτέρω οπλισμός (πρόσθετος στο φύλλο και το πλέγμα) η αρνητική πλαστική ροπή αντοχής είναι ίση με $M'_{pl} = M_a$.

8. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ

Για να σχεδιασθεί μια κατάλληλη διατομή έναντι κάμψης, απομένει να ορισθεί η κατανομή των καμπτικών ροπών που για την συγκεκριμένη φόρτιση.

Εστω ότι ο λόγος των αρνητικών προς τις θετικές ροπές αντοχής σε μια προτεινόμενη διατομή είναι ψ . Αρα

$$\psi = M'_{pl} / M_{pl}$$

Θεωρούμε το ακραίο άνοιγμα μιας συνεχούς συμμίκτου δοκού, υποκείμενης σε ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο σχεδιασμού ανα μονάδα μήκους. Το διάγραμμα καμπτικών ροπών κατά τη αστοχία δίνεται στο Σχήμα 11. Μπορεί να δειχθεί με ανάλυση του μηχανισμού αστοχίας ότι:

$$\beta = \left[\frac{1}{\psi} \right] \left[(1 + \psi)^{\frac{1}{2}} - 1 \right]$$

και ότι η απαιτούμενη τιμή της M_{pl} είναι:

$$M_{pl} = \frac{1}{2} w_f \beta^2 L^2$$

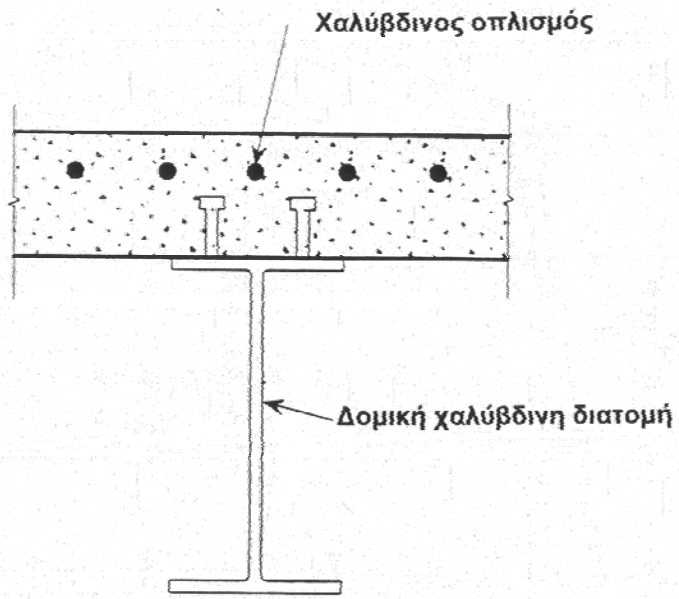
Για ένα εσωτερικό άνοιγμα με ίσες ροπές στήριξης (Σχήμα 12) μπορεί παρόμοια να δειχθεί ότι:

$$M_{pl} = w_f L^2 (8(1 + \psi))$$

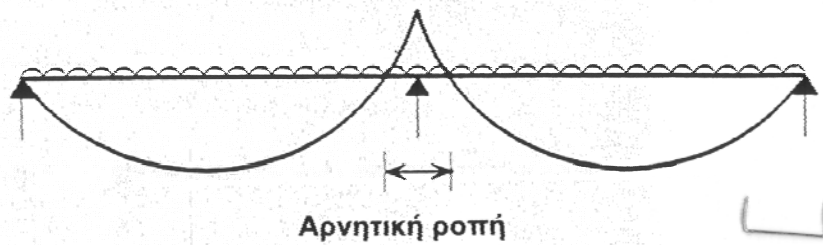
Για άλλες θέσεις της φόρτισης και/ή των ροπών αντοχής, η απαιτούμενη αντίσταση μπορεί να προσδιορισθεί αναλόγως.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

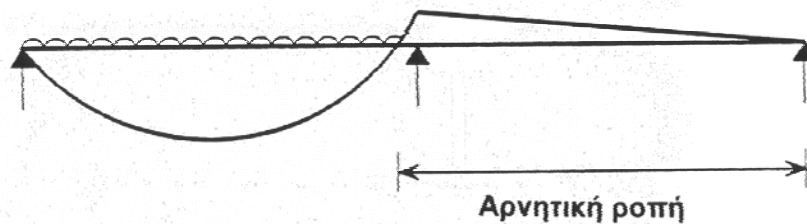
1. Η απολύτως πλαστική ανάλυση μπορεί να εφαρμοσθεί σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς θεωρώντας ότι η ικανότητα στροφής σε κάθε πλαστική άρθρωση είναι επαρκής να επηρεάσει την ανάπτυξη της απαιτούμενης στροφής της άρθρωσης και δεν εμφανίζεται ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός.
2. Για σύμμικτες δοκούς σε κτίρια, η απαίτηση που αφορά την ικανότητα στροφής μπορεί να υποτεθεί ότι ικανοποιείται όταν όλες οι διατομές στις θέσεις πλαστικών αρθρώσεων είναι στην Κατηγορία 1, και ικανοποιούνται οι περιορισμοί του σχετικού μήκους γειτονικών ανοιγμάτων και ύψους του ουδέτερου άξονα.
3. Η πλαστική ροπή αντοχής, σε περιοχές αρνητικής ροπής, μπορεί να προσδιορισθεί με εφαρμογή της θεωρίας του ορθογωνίου στερεού τάσεων στην χαλύβδινη διατομή και όλκιμου οπλισμού μέσα στην ενεργό διατομή.
4. Το συνεργαζόμενο πλάτος του πέλματος σκυροδέματος μπορεί να ορισθεί από προσεγγίσεις των μηκών της δοκού στις θετικές και αρνητικές ροπές.
5. Η κατανομή των ροπών εξαρτάται από τον λόγο των αρνητικών προς τις θετικές ροπών αντοχής.



ΣΧΗΜΑ 1 Διατομή σύμμικτης δοκού σε μια εσωτερική στήριξη



(a) Και τα δύο ανοίγματα φορτισμένα



(b) Ένα άνοιγμα φορτισμένο

ΣΧΗΜΑ 2 Κατανομές καμπτικών ροπών

ESDEP WG 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.4.2 : Συνεχείς Δοκοί II

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να περιγραφούν τα αποτελέσματα της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος και της διαρροής του χάλυβα στην Κατανομή των καμπτικών ροπών. Να εξηγηθούν οι μέθοδοι ελαστικής ανάλυσης η οποία λαμβάνει υπόψη τα ανωτέρω και τον τοπικό λυγισμό της χαλύβδινης διατομής και να συζητηθεί ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 7.2 : Ταξινόμηση Διατομών

Διάλεξη 7.3 : Τοπικός Λυγισμός

Διάλεξη 10.2 : Η Συμπεριφορά των Δοκών

Διάλεξη 10.3 : Αμφιέρειστες Δοκοί

Διάλεξη 10.4.1: Συνεχείς Δοκοί I

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 10.5 : Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα

Διάλεξη 10.6 : Διατμητική Σύνδεση

Διάλεξη 10.10 : Σύμμικτες Γέφυρες

ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Παράδειγμα 10.3 : Σχεδιασμός Συνεχών Σύμμικτων Δοκών

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η ελαστική ανάλυση για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών εφαρμόζεται γενικά περισσότερο σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς από την πλαστική ανάλυση. Επιτρέπεται ανακατανομή, για να ληφθεί υπόψη η ρηγμάτωση του σκυροδέματος και η διαρροή του χάλυβα σε περιοχές αρνητικής ροπής. Το όριο της ανακατανομής εξαρτάται από την ταξινόμηση των διατομών στις εσωτερικές στηρίξεις και οι παραδοχές που γίνονται αφορούν την καμπτική ακαμψία σε αρνητική κάμψη. Για μια διατομή της Κατηγορίας 3 ή της Κατηγορίας 4, οι τάσεις πρέπει να υπολογίζονται με την πλαστική θεωρία, χρησιμοποιώντας το συνεργαζόμενο πλάτος για το πέλμα του σκυροδέματος. πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο ερπυσμός του σκυροδέματος σε θλίψη μέσω ενός κατάλληλου

λόγου μέτρου ελαστικότητας. Η τυπική μορφή των καμπικών ροπών σε μια συνεχή δοκό έχει σαν αποτέλεσμα το κάτω πέλμα να βρίσκεται σε θλίψη πάνω από εσωτερικές στηρίξεις. Καθώς το άνω πέλμα της χαλύβδινης διατομής περιορίζεται από την πλάκα σκυροδέματος, ο πλευρικός λυγισμός του θλιβόμενου πέλματος συνοδεύεται από παραμόρφωση της διατομής. Μπορεί να ληφθεί υπόψη ότι η παραμορφωτική ακαμψία μειώνει την ενεργό λυγηρότητα για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

Οι μέθοδοι σχεδιασμού που εισάγονται από την διάλεξη εφαρμόζονται με το παράδειγμα 10.3.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι καμπτικές ροπές σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς στην οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) μπορούν να προσδιορισθούν με ελαστική ανάλυση ή, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, από την απολύτως πλαστική ανάλυση. Η τελευταία μέθοδος συζητείται στην προηγούμενη Διάλεξη 10.4.1. Η ελαστική ανάλυση έχει το πλεονέκτημα πιο γενικής εφαρμογής, και μπορεί επίσης να είναι πιο βολική στην χρήση καθώς αυτή η προσέγγιση απαιτείται επίσης για να ελεγχθεί το οριακό στάδιο λειτουργικότητας (βλέπε Διαλέξεις 10.5.1 και 10. 5.2).

Σε σύμμικτες κατασκευές κτιρίων δεν μπορεί να ληφθούν υπόψη τα θερμοκρασιακά αποτελέσματα που είναι συνήθως αναγκαία για τους ελέγχους στην ΟΚΑ. Ομοίως, τα αποτελέσματα της συστολής ξήρανσης μπορούν να αγνοηθούν, εκτός από την ανάλυση που περιλαμβάνει διατομές Κατηγορίας 4. Αυτά τα αποτελέσματα, ως εκ τούτου, δεν λαμβάνονται υπόψη σε αυτή την διάλεξη.

Το πεδίο εφαρμογής του Ευρωκώδικα 4[1] δεν περιλαμβάνει μέλη με ημιάκαμπτες συνδέσεις. Έτσι αυτή η διάλεξη αφορά δοκούς στις οποίες η χαλύβδινη διατομή είναι είτε συνεχής πάνω από απλές στηρίξεις είτε είναι συνδεδεμένες με άκαμπτες συνδέσεις.

Γενικά, η ελαστική ανάλυση απαιτεί ότι η σχετική ακαμψία των γειτονικών ανοιγμάτων είναι γνωστή. Καθώς η ακαμψία εξαρτάται από την ροπή αδρανείας των διατομών, είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε το συνεργαζόμενο πλάτος του πέλματος σκυροδέματος και το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος σε σχέση με αυτό του χάλυβα (λόγος μέτρων ελαστικότητας).

2. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

2.1 Συνεργαζόμενο Πλάτος του Πέλματος Σκυροδέματος

Μια προσέγγιση του συνεργαζόμενου πλάτους χρησιμοποιείται για να ληφθεί υπόψη η εντός του επιπέδου διατμητική ευκαμψία. Οι τιμές του συνεργαζόμενου πλάτους μπορεί να σχετίζονται με τις αποστάσεις κατά μήκος της δοκού μεταξύ των σημείων μηδενισμού της ροπής κάμψης. Διαφορετικές τιμές μπορούν ως εκ τούτου να υπολογισθούν για τις περιοχές θετικής και αρνητικής ροπής, όπως περιγράφεται στο Σχήμα 10 της προηγούμενης διάλεξης (παρμένο από το Σχήμα 4.3 του Ευρωκώδικα 4[1]). Για την γενική ανάλυση, παρόλα αυτά, έχει βρεθεί ότι η διατμητική ευκαμψία έχει πολύ μικρή επίδραση στα αποτελέσματα. Αρα μπορεί να υποτεθεί ένα σταθερό συνεργαζόμενο πλάτος για όλο το άνοιγμα, το οποίο απλοποιεί την ανάλυση. Καθώς το μεγαλύτερο μέρος του κάθε ανοίγματος μιας δοκού θα υπόκειται συνήθως σε θετική καμπτική ροπή, είναι σωστό ότι το σταθερό συνεργαζόμενο πλάτος θα λαμβάνεται ίσο με την τιμή στο μέσο του ανοίγματος. Για ένα πρόβολο, παρόλα αυτά, θα πρέπει το πλάτος να είναι ίσο με αυτό στην στήριξη.

Για τον ορισμό των ελαστικών ιδιοτήτων της διατομής, το σκυρόδεμα συνήθως υποτίθεται ότι είναι αρηγμάτωτο κάτω από θετική ροπή. Αν η πλάκα μορφώνεται με χαλύβδινο τραπεζοειδές φύλλο του οποίου οι νευρώσεις είναι κάθετες στην χαλύβδινη διατομή, όπως συζητείται στην Διάλεξη 10.1, το εμβαδόν του σκυροδέματος μέσα στο βάθος του προφίλ αγνοείται.

2.2 Λόγος Μέτρων Ελαστικότητας

Οι ελαστικές ιδιότητες της διατομής μιας σύμμικτης δοκού μπορούν να εκφραστούν ως αυτές μιας ισοδύναμου χαλύβδινης διατομής διαιρώντας το συνεργαζόμενο πλάτος του πέλματος του σκυροδέματος με ένα λόγο μέτρων ελαστικότητας. Λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα του ερπυσμού του σκυροδέματος σε θλίψη με εκλογή μιας κατάλληλης τιμής του λόγου, όπως αυτός περιγράφεται στις Διαλέξεις 10.5.1 και 10.5.2.

2.3 θέσεις Φορτίου και Φόρτισης

Για συνεχείς δοκούς σε κτίρια, χωρίς προβόλους, που υπόκεινται κυρίως σε ομοιόμορφα κατανομημένη φόρτιση, μόνο οι ακόλουθες θέσεις των μεταβλητών φορτίων χρειάζεται να ληφθούν υπόψη:

1. Εναλλασσόμενα ανοίγματα φορτισμένα.
2. Δύο γειτονικά ανοίγματα φορτισμένα.

Και στις δύο περιπτώσεις, η ίδια τιμή του μερικού συντελεστή ασφαλείας, γ_G , για μόνιμο φορτίο πρέπει να λαμβάνεται σε κάθε άνοιγμα, ανεξάρτητα αν ένα τέτοιο φορτίο σε συγκεκριμένο άνοιγμα έχει ευμενή ή δυσμενή επίδραση.

3. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ

Η απώλεια της ακαμψίας λόγω της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος σε περιοχές αρνητικής ροπής έχει μεγαλύτερη επίδραση στην κατανομή της καμπτικής ροπής σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς από ότι συνεχή μέλη από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό ισχύει γιατί στην δεύτερη περίπτωση συμβαίνει επίσης απώλεια της ακαμψίας λόγω της ρηγμάτωσης και στις περιοχές του μέσου του ανοίγματος. Έχει βρεθεί ότι σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς η καμπτική ροπή σε μια εσωτερική στήριξη στο οριακό στάδιο λειτουργικότητας (ΟΣΛ) μπορεί να είναι 15 με 30% χαμηλότερη από αυτή που δίνεται με την ελαστική ανάλυση στην οποία δεν λαμβάνεται υπόψη η ρηγμάτωση. Στην οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) η κατανομή των ροπών θα επηρεασθεί επίσης από την διαρροή του χάλυβα.

Η ανακατανομή των ροπών δεν μπορεί να υπολογισθεί με ακρίβεια γιατί οι διαμήκεις εφελκυστικές τάσεις στην πλάκα σκυροδέματος, σε περιοχές αρνητικής ροπής, επηρεάζονται από το πρόγραμμα σκυροδέτησης και τις επιδράσεις της θερμοκρασίας και της συστολή ξήρανσης, όπως επίσης και από τις αναλογίες του σύμμικτου μέλους και των νεκρών και μεταβλητών φορτίων. Μια μεγάλη μεταβολή στην καμπτική ακαμψία μπορεί να συμβεί κατά μήκος μιας σύμμικτης δοκού με ομοιόμορφη διατομή, οδηγώντας σε αβεβαιότητα στην κατανομή των καμπτικών ροπών και ως εκ τούτου στο ποσοστό ρηγμάτωσης που πρέπει να αναμένεται.

Δύο μέθοδοι γενικής ελαστικής ανάλυσης επιτρέπονται από τον Ευρωκώδικα 4[1] για την οριακή κατάσταση αστοχίας:

1. Η μέθοδος της ρηγματωμένης διατομής.
2. Η μέθοδος της μη ρηγματωμένης διατομής.

Και οι δύο μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σχέση με την ανακατανομή των ροπών, με τον βαθμό της ανακατανομής να εξαρτάται από την ευαισθησία της χαλύβδινης διατομής σε τοπικό λυγισμό.

3.1 Ανάλυση Ρηγματωμένης Διατομής

Υποτίθεται ότι για μήκος ίσο με το 15% του ανοίγματος σε κάθε μεριά των εσωτερικών στηρίξεων, οι ιδιότητες της διατομής είναι εκείνες της ρηγματωμένης διατομής για αρνητικές ροπές. Η υπόθεση μιας σταθερής αναλογίας του ανοίγματος σαν “ρηγματωμένο” είναι μια σημαντική απλοποίηση, μιας και κάνει κατορθωτή την χρήση σχέσεων ή κοινών προγραμμάτων υπολογιστή για την γενική ανάλυση, χωρίς την ανάγκη επανάληψης. Η ροπή αδρανείας της ρηγματωμένης διατομής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μια διατομή που συμπεριλαμβάνει τη χαλύβδινη διατομή μαζί με τον αγκυρωμένο οπλισμό που βρίσκεται μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος του πέλματος σκυροδέματος στην στήριξη (βλέπε Σχήμα 1a). Εξω από το “15% του μήκους”, οι ιδιότητες της διατομής είναι αυτές της μη ρηγματωμένης διατομής. Υπολογίζονται χρησιμοποιώντας το συνεργαζόμενο πλάτος Του μέσου του ανοίγματος για το πέγμα του σκυροδέματος αλλά αγνοώντας κάθε διαμήκη οπλισμό (Σχήμα 1b).

Η επιρροή της υπόθεσης ρηγματώσεως επι ενός μήκους διαφορετικού από 15% έχει μελετηθεί (βλέπε Σχήμα 2). Έχει βρεθεί ότι οι ροπές κάμψης που υπολογίσθηκαν με την υπόθεση ενός ρηγματωμένου μήκους 15% θα ήταν σωστές με ακρίβεια 5% αν ήταν στη πραγματικότητα ρηγματωμένο μεταξύ 8% και 25% του ανοίγματος. Η απλοποιημένη υπόθεση είναι ως εκ τούτου δικαιολογημένη.

3.2 Μέθοδος της Μη Ρηγματωμένης Διατομής

Οι ιδιότητες της μη ρηγματωμένης διατομής χρησιμοποιούνται παντού. Έτσι, η ανάλυση δεν εξαρτάται από το ποσοστό του οπλισμού πάνω από τις στηρίξεις. Πραγματικά για μια συνεχή δοκό ομοιόμορφης διατομής, η ανάλυση μπορεί να γίνει χωρίς κάποιους πρώτους υπολογισμούς της διατομής. Για ίσα ανοίγματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συντελεστές ροπών από σχετικά βιβλία.

3.3 Ανακατανομή των Ροπών Στήριξης για Ελαστική Ανάλυση

Οι Κανονισμοί συνήθως επιτρέπουν την μείωση των αρνητικών ροπών στις στηρίξεις, εκτός από τους προβόλους, με ανακατανομή στο μέσο του ανοίγματος. Το όριο της ανακατανομής εξαρτάται, μερικά, από την μέθοδο ανάλυσης, όπως φαίνεται στον πίνακα 1, ο οποίος έχει ληφθεί από τον Ευρωκώδικα 4 πίνακας 4.3[1]

Ο πίνακας 1 επίσης δείχνει ότι ο βαθμός της ανακατανομής εξαρτάται από την ταξινόμηση της διατομής στις στηρίξεις (τα όρια τα οποία ορίζουν τις διάφορες κλάσεις της σύμμικτης διατομής θα συζητηθούν περαιτέρω σε κάποιο άλλο τμήμα αυτής της διάλεξης).

Θεωρούμε πρώτα μια διατομή Κατηγορίας 4 δηλ. μια στην οποία ο τοπικός λυγισμός μπορεί να αποτρέψει την επίτευξη της αντίστασης σχεδιασμού. Αν η ανακατανομή είναι μικρότερη από αυτή που υπέθεσε ο μελετητής, ο χαλύβδινος κορμός ή το θλιβόμενο πέλμα στην στήριξη μπορεί να λυγίσει πρόωρα. Για ασφάλεια λοιπόν, το μέγιστο ποσοστό της ανακατανομής στο μέσο του ανοίγματος δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την ελάχιστη ανακατανομή που πιθανόν θα συμβεί στην πράξη. Η ανακατανομή ως εκ τούτου δεν επιτρέπεται αν έχει χρησιμοποιηθεί η ανάλυση της ρηγματωμένης διατομής.

Μελέτες σε σύμμικτες δοκούς με κρίσιμες διατομές Κατηγορίας 3 ή Κατηγορίας 4 έχουν δείξει ότι αν τουλάχιστον το 10% του ανοίγματος έχει ρηγματωθεί, όπως είναι συνήθως η πρακτική, η μείωση στην ροπή στήριξης λόγω της ρηγματώσεως θα επεκταθεί ξεπεράσει το 8% (Σχήμα 2). Είναι δικαιολογημένο να υποτεθεί ότι ως εκ τούτου σε στρογγυλευμένους όρους η διαφορά μεταξύ μιας ανάλυσης “μη ρηγματωμένης” και “ρηγματωμένης διατομής σε τέτοιες δοκούς είναι ισοδυναμίο με την 10% επανακατανομή των “μη ρηγματωμένων ροπών στήριξης, όπως φαίνεται στον πίνακα I για διατομές Κατηγορίας 3 και Κατηγορίας 4.

Δεν χρειάζεται να είμαστε τόσο προσεκτικοί για διατομές Κατηγορίας 3 (“ημισυμπαγείς”) καθώς αυτές μπορούν να φθάσουν την αντίσταση σχεδιασμού, με τον τοπικό λυγισμό να εμποδίζει μόνο την ανάπτυξη της πλήρους πλαστικής ροπής. Υπολογιστική ανάλυση, με χρήση πειραματικών δεδομένων στον φθίνοντα κλάδο των σχέσεων ροπών- στροφών για προβόλους Κατηγορίας 3 , επιβεβαιώνει ότι μπορεί να επιτραπεί μέχρι 20% ανακατανομή, όπως δίνεται στον πίνακα 1.

Σε μια διατομή Κατηγορίας 2 μπορεί να αναπτυχθεί η πλήρης πλαστική ροπή. Έχει προταθεί να επιτρέπεται μια ανακατανομή 30% από μια “μη ρηγματωμένη” ανάλυση για να ληφθεί υπόψη η τοπική διαρροή στις στηρίξεις και η ρηγμάτωση του σκυροδέματος. Συγκρίσεις με πειραματικά αποτελέσματα που έγιναν κατά την διάρκεια της σύνταξης του Ευρωκώδικα 4 επιβεβαιώνει τον αριθμό αυτό σαν κατάλληλο για διατομές που μπορούν να φθάνουν την πλαστική ροπή στις στηρίξεις.

Μια δοκός με διατομές Κατηγορίας 2 (ή Κατηγορίας 1) στις στηρίξεις θα έχει συνήθως έναν σχετικά χαμηλό ουδέτερο άξονα, έτσι ώστε να πληρεί τους περιορισμούς του ύψους κορμού σε θλίψη που χρειάζεται για τέτοιες διατομές. Έτσι μπορεί να τοποθετηθεί μόνο ελαφρύς εφελκυστικός οπλισμός και ο λόγος της “μη ρηγματωμένης” προς την “ρηγματωμένη” καμπτική ακαμψία (I_1/I_2) μπορεί να φθάσει στο 3.0. Για τέτοιες δοκούς, η ροπή στην εσωτερική στήριξη από την ανάλυση με “ρηγματωμένες” διατομές μπορεί τότε να είναι μικρότερη από το 70% της τιμής της ανάλυσης με “μη ρηγματωμένες” διατομές και είναι σχεδόν πάντα μικρότερη από το 85% της τιμής της “μη ρηγματωμένης” ανάλυσης. Αυτό αντιβαίνει με τις μελέτες που αναφέρονται παραπάνω και συνοψίζονται στο Σχήμα 2, για το οποίο ο λόγος I_1/I_2 είναι πλησιέστερα στο 2 παρά στο 3. Ακολουθώντας για τις διατομές Κατηγορίας 2 και Κατηγορίας 1 μια διαφορά 15% μεταξύ της “μη ρηγματωμένης” και της “ρηγματωμένης” ανάλυσης είναι πιο κατάλληλη από την διαφορά 10% που υιοθετήθηκε για δοκούς με διατομές Κατηγορίας 3 ή Κατηγορίας 4. Στον πίνακα 1 δίνεται μια διαφορά 15% για διατομές Κατηγορίας 2 και Κατηγορίας 1.

Τελικά, μια διατομή Κατηγορίας 1 είναι αυτή που μπορεί, όχι μόνο να φθάσει την πλαστική ροπή , αλλά επίσης και να διατηρεί αυτό το επίπεδο ροπής όταν εμφανίζεται η στροφή. Σε χαλύβδινες κατασκευές, τα όρια στην λυγηρότητα κορμού και πέλματος τα οποία ορίζουν μια “πλαστική” διατομή είναι ικανοποιητικά περιοριστικά για να επιτρέπουν πλαστική ανάλυση χωρίς περαιτέρω ελέγχους στην ικανότητα στροφής. Αυτό δεν ισχύει για σύμμικτες δοκούς, εν μέρει γιατί ο βαθμός ανακατανομής που χρειάζεται για να επιτευχθεί ένας μηχανισμός πλαστικών αρθρώσεων θα είναι υψηλότερος λόγω της μεγαλύτερης σχετικής ροπής αντοχής στο μέσον του ανοίγματος. Οι συνθήκες που χρειάζονται για πλαστική ανάλυση έχουν συζητηθεί στην προηγούμενη διάλεξη. Η ανακατανομή των ελαστικών ροπών των στηρίξεων που επιτρέπεται στον πίνακα 1 για διατομές Κατηγορίας 1 βασίζεται στην αναγνώριση ότι υπάρχει κάποια ικανότητα στροφής για τέτοιες διατομές.

4. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΔΟΚΩΝ

Τα όρια για την λυγηρότητα πέλματος και κορμού για διατομές Κατηγορίας 1 και Κατηγορίας 2 δόθηκαν στην προηγούμενη διάλεξη. Για μια διατομή Κατηγορίας 1 ή Κατηγορίας 2, η καμπτική αντοχή μπορεί να υπολογισθεί με την θεωρία του ορθογωνίου στερεού τάσεων, όπως περιγράφηκε στις Διαλέξεις 10.3 και 10.4.1. Ο προσδιορισμός της πλαστικής ροπής δεν εξετάζεται περαιτέρω σε αυτή την διάλεξη.

Τα όρια λυγηρότητας για διατομές Κατηγορίας 3 είναι αυτά που πέρα από τα οποία εμφανίζεται τοπικός λυγισμός στην διατομή του δομικού χάλυβα πριν να φθάσει στο όριο διαρροής. Είναι λοιπόν λογικό, ότι τα όρια για σύμμικτες δοκούς, χωρίς εγκιβωτισμό του κορμού, είναι τα ίδια όπως εκείνα για χαλύβδινες δοκούς. Ο Ευρωκώδικας 4 τα δίνει αυτά τα όρια, όπως φαίνεται στους πίνακες 1 και 1 της Διάλεξης 10.4.1. Μια διατομή Κατηγορίας 4 δεν συμμορφώνεται με αυτές τις απαιτήσεις.

Ο εγκιβωτισμός του κορμού μπορεί να υποθεθεί ότι συνεισφέρει στην αντίσταση τοπικού λυγισμού, με την προϋπόθεση ότι είναι οπλισμένος και μηχανικά συνδεδεμένος με την χαλύβδινη διατομή. Ένας κορμός Κατηγορίας 3 ο οποίος είναι εγκιβωτισμένος, μπορεί να αντιμετωπισθεί αποτελεσματικά σαν να ήταν στην Κατηγορία 2.

Με την προϋπόθεση ότι τα πέλματα είναι Κατηγορίας 1 ή Κατηγορίας 2, η ροπή αντοχής μιας διατομής με μη εγκιβωτισμένο κορμό Κατηγορίας 3 μπορεί επίσης να προσδιορισθεί με πλαστική ανάλυση, εαν αυτό το μέρος του κορμού δεν λαμβάνεται υπόψη. Η λαμβανόμενη ενεργός διατομή σε αρνητική κάμψη φαίνεται στο Σχήμα 3. Χωρίς αυτή τη προσέγγιση, μια αλλαγή της Κατηγορίας του κορμού από Κατηγορία 2 σε Κατηγορία 3, λόγω των μικρών αλλαγών στο διαμήκη οπλισμό, θα εμποδίσει την εφαρμογή πλαστικής ανάλυσης. Σαν συνέπεια, η υπολογισθείσα ροπή αντοχής θα είναι αδικαιολόγητα ευαίσθητη σε αλλαγές στον οπλισμό.

5. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Κατά την ολική ανάλυση στην ΟΚΑ, είναι αναγκαίο να εξασφαλισθεί ότι οι προτεινόμενες διατομές διαθέτουν επαρκή αντίσταση στα επιβαλλόμενα εντατικά μεγέθη

Για μια διατομή Κατηγορίας 3 ή Κατηγορίας 4, οι τάσεις πρέπει να υπολογισθούν με ελαστική θεωρία. Για να ορισθούν οι ιδιότητες της διατομής, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η διατμητική ευκαμψία χρησιμοποιώντας το κατάλληλο συνεργαζόμενο πλάτος του πέλματος σκυροδέματος για θετική ή αρνητική κάμψη (βλέπε Σχήμα 10 της Διάλεξης 10.4.1). Στην ανάλυση υποτίθεται Ότι οι ανηγμένες παραμορφώσεις μεταβάλλονται γραμμικά ως προς το ύψος της σύμμικτης διατομής. Αυτό υποθέτει ότι υπάρχει ασήμαντη ολίσθηση στην διεπιφάνεια χάλυβα- σκυροδέματος. Γίνεται χρήση της θεωρίας των μετασχηματισμένων διατομών, υποθέτοντας ότι το σκυρόδεμα σε θλίψη και ο χάλυβας είναι γραμμικά ελαστικά υλικά. Αυτή η υπόθεση επιτρέπει να αντικατασταθεί στην ανάλυση η σύμμικτη διατομή σε θετική κάμψη από μια ισοδύναμη χαλύβδινη διατομή. Το πλάτος της ισοδύναμης πλάκας χάλυβα εξαρτάται από το λόγο α που ορίζεται απο:

$$\alpha_c = E_a / E_c^1$$

όπου E_a είναι το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα.

E_c^1 είναι ένα κατάλληλο μέτρο ελαστικότητας για το σκυρόδεμα.

Ο μετασχηματισμός παριστάνεται στο Σχήμα 4a για την περίπτωση που η πλάκα μορφώνεται με τραπεζοειδές φύλλο. Οι νευρώσεις πλάτους D_p τρέχουν εγκάρσια στην δοκό και όλο το σκυρόδεμα πάνω από αυτές βρίσκεται σε θλίψη. Το εμβαδόν του σκυροδέματος μέσα στο ύψος του τραπεζοειδούς φύλλου αγνοείται.

Καθώς χρησιμοποιείται ελαστική θεωρία, οι υπολογισμοί είναι ως εκ τούτου παρόμοιοι με αυτούς που γίνονται για όλες τις κατηγορίες διατομών όταν ελέγχεται η λειτουργικότητα, και πρέπει να γίνει αναφορά στις Διαλέξεις 10.5.1 και 10.5.2 για λεπτομερή εξήγηση της ανάλυσης της μετασχηματισμένης διατομής. πρέπει να ληφθεί υπόψη ο ερπυσμός του σκυροδέματος σε θλίψη λόγω των μόνιμων φορτίων με την χρήση μιας κατάλληλης τιμής για τον λόγο μέτρων ελαστικότητας.

Σε αρνητική κάμψη, όλη η πλάκα σκυροδέματος μπορεί να υποτεθεί ότι ρηγματώνεται. Η ενεργός διατομή ως εκ τούτου συμπεριλαμβάνει την διατομή του δομικού χάλυβα και τον επαρκώς αγκυρωμένο οπλισμό μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος (Σχήμα 5a).

Η τελική αντοχή σε κάμψη του μέλους επιτυγχάνεται όταν μια τάση φθάσει την οριακή αντοχή του ενός εκ των συστατικών στην διατομή. Στον Ευρωκώδικα 4 01 οριακές αντοχές για ΟΚΑ είναι:

1. Δομικός χάλυβας σε εφελκυσμό ή θλίψη f_y / γ_a
2. Χάλυβας οπλισμού σε εφελκυσμό f_{sk} / γ_s
3. Σκυρόδεμα σε θλίψη $0,85 f_{ck} / \gamma_c$

Αυτά τα όρια παριστάνονται στο Σχήμα 4b για μια διατομή σε θετική κάμψη και στο Σχήμα 5b για μια διατομή σε αρνητική κάμψη. Στις ειδικές περιπτώσεις που φαίνονται, οι ουδέτεροι άξονες βρίσκονται στην διατομή του δομικού χάλυβα.

Για διατομές Κατηγορίας 4, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο τοπικός λυγισμός, για παράδειγμα χρησιμοποιώντας συνεργαζόμενα πλάτη για τα θλιβόμενα μέλη όπως περιγράφονται στον Ευρωκώδικα 3[2] και συζητείται στην Διάλεξη 7.3.

Όπου χρησιμοποιείται κατασκευή χωρίς προσωρινές στηρίξεις, πρέπει να προστίθενται οι τάσεις λόγω φορτίων στην σιδηρή κατασκευή μόνο στις τάσεις λόγω φορτίων στο σύμμικτο μέλος.

Όταν συνυπάρχει υψηλή τέμνουσα με υψηλή ροπή, πρέπει να ληφθεί υπόψη η αλληλεπίδραση. Ο τρόπος με τον οποίο η τέμνουσα επηρεάζει την πλαστική ροπή έχει περιγραφεί στην Διάλεξη 10.3. Για διατομές Κατηγορίας 3 και 4, παράγραφος 4.4.3 του Ευρωκώδικα 4 γενικά μειώνει την ελαστική ροπή αντοχής για να ληφθεί υπόψη η τέμνουσα.

6. ΣΤΡΕΠΤΟΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΛΥΓΙΣΜΟΣ

Σε σύμμικτες δοκούς, το άνω πέλμα της χαλύβδινης διατομής εξασφαλίζεται έναντι πλευρικού λυγισμού από την πλάκα σκυροδέματος. παρόλα αυτά, η τυπική μορφή των καμπτικών ροπών σε μια συνεχή δοκό (βλέπε Σχήμα 6a) έχει σαν αποτέλεσμα το κάτω πέλμα να βρίσκεται σε θλίψη στην περιοχή των εσωτερικών στηρίξεων. Το μήκος του κάτω πέλματος σε θλίψη μπορεί να είναι υπολογίσιμο μόνο όταν νεκρό φορτίο δρα στο θεωρούμενο άνοιγμα (Σχήμα 6b).

Οι μέθοδοι για μη πλευρικά στηριγμένες χαλύβδινες δοκούς έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού, όπως συζητείται στις Διαλέξεις 7.9.1 και 7.9.2, δεν είναι εφαρμόσιμες σε περιοχές αρνητικών ροπών συνεχών σύμμικτων δοκών γιατί στην πρώτη περίπτωση υποτίθεται ότι κάθε διατομή του μέλους περιστρέφεται σαν όλο, χωρίς στρέβλωση (βλέπε Σχήμα 7a). Στην περιοχή αρνητικής ροπής ενός σύμμικτου μέλους, η εξασφάλιση που φέρεται από το άνω πέλμα έχει σαν αποτέλεσμα στρέβλωση της διατομής αν το κάτω (θλιβόμενο) πέλμα λυγίζει πλευρικά (Σχήμα 7b)). Αυτή η εξασφάλιση παρέχεται από την στρεπτική ακαμψία της πλάκας, που δρα μαζί με τις γειτονικές χαλύβδινες διατομές σαν ένα αντίστροφο πλαίσιο U (Σχήμα 8). Η αποτελεσματικότητα της στήριξης εξαρτάται από την ακαμψία της διατμητικής σύνδεσης.

Για σύμμικτες δοκούς των οποίων το χαλύβδινο μέλος είναι μια συμβατική διατομή I θερμής έλασης, η δράση αντίστροφου πλαισίου u μπορεί επίσης να παρέχει πλήρη εξασφάλιση στο κάτω (θλιβόμενο) πέλμα. Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες αυτό μπορεί να υποτεθεί ότι επιτυγχάνεται δίνονται στην παράγραφο 4.6.2 του Ευρωκώδικα 4. Συμπεριλαμβάνουν περιορισμό στο ύψος της χαλύβδινης διατομής, με τον όρο να γίνεται πιο αυστηρή καθώς η αντοχή σχεδιασμού του χάλυβα αυξάνει.

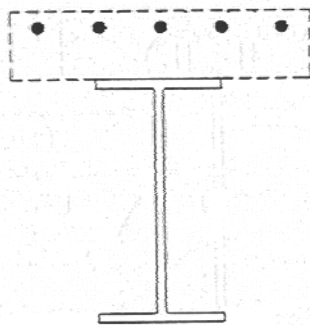
Η επίδραση της στήριξης στο θλιβόμενο πέλμα λόγω της ακαμψίας εκ στρέβλωσης της διατομής, και άλλοι παράγοντες στην δράση του πλαισίου U, μπορεί επίσης να ληφθεί υπόψη με μείωση της ενεργού λυγηρότητας της δοκού όταν υπολογίζεται η ροπή αντοχής λυγισμού. παρόλη την πιθανότητα της τοπικής πλαστικοποίησης στα άκρα της δοκού, η ιτλαστικοποίηση δεν θεωρείται ότι επηρεάζει την ελαστική μορφή αστάθειας της δοκού (Σχήμα 9) λόγω της μειούμενης αρνητικής ροπής εντός του μήκος λυγισμού. Μια μέθοδος για τον υπολογισμό της λυγηρότητας δίνεται στον Ευρωκώδικα 4, Annex B[1].

6.1 πλευρική στήριξη

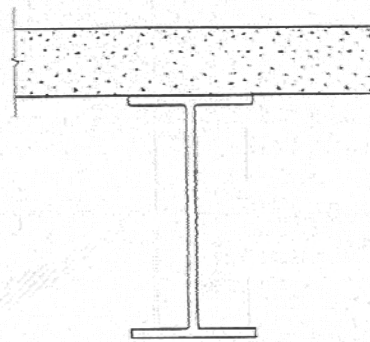
Η παραπάνω μέθοδος σχετίζεται με την πλευρική ευστάθεια ενός μέλους μεταξύ των στηρίξεων. Δυο πιθανές μορφές πλευρικής εξασφάλισης του χαμηλότερου θλιβόμενου πέλματος φαίνονται στο Σχήμα 10. Είναι απαραίτητο να εξασφαλισθεί ότι τέτοια στήριξη είναι ικανοποιητικά ισχυρή και άκαμπτη για να είναι αποτελεσματική και ότι δεν ξεπερνάτε η αντοχή εξόγκωσης των διατμητικών συνδέσμων. Είναι συνηθισμένο να ελέγχεται η αντοχή όλων των παραγόντων εξασφάλισης σε μια πλευρική δύναμη υπολογισμένη σαν μικρό ποσοστό εκείνης του θλιβόμενου πέλματος. Αυτό συζητείται περαιτέρω στην Διάλεξη 10.10 στις σύμμικτες γέφυρες.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Όταν χρησιμοποιείται ελαστική ανάλυση για να προσδιορισθούν τα εντατικά μεγέθη, οι ροπές μπορεί να ανακατανομηθούν από τις εσωτερικές στηρίξεις για να ληφθεί υπόψη η ρηγμάτωση του σκυροδέματος και η διαρροή του χάλυβα.
2. Το μέγεθος της ανακατανομής εξαρτάται από την ταξινόμηση της χαλύβδινης διατομής σε κάθε εσωτερική στήριξη και στις υποθέσεις που έγιναν ως προς την καμπτική ακαμψία στις περιοχές αρνητικής ροπής.
3. Οι ιδιότητες της μη ρηγματωμένης διατομής μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να ορισθεί η καμπτική ακαμψία για κάθε διατομή κατά μήκος της δοκού (“μέθοδος της μη ρηγματωμένης διατομής”). Εναλλακτικά, μπορεί να υποτεθεί ότι σε ένα συγκεκριμένο μήκος, σε κάθε πλευρά των εσωτερικών στηρίξεων, οι ιδιότητες είναι εκείνες της ρηγματωμένης διατομής (“μέθοδος της ρηγματωμένης διατομής”).
4. Η οριακή ροπή αντοχής των διατομών Κατηγορίας 3 και Κατηγορίας 4 προσδιορίζονται από ελαστική ανάλυση της ενεργού διατομής, βασισμένη στην επίτευξη των οριακών τάσεων.
5. Για τον προσδιορισμό της ενεργού διατομής, λαμβάνεται υπόψη η διατμητική ευκαμψία, η ρηγμάτωση του σκυροδέματος σε περιοχές αρνητικής ροπής και για Κατηγορίας 4 διατομές, ο τοπικός λυγισμός των χαλύβδινων στοιχείων σε θλίψη. Χρησιμοποιείται ένας κατάλληλος λόγος μέτρων ελαστικότητας για να ληφθεί υπόψη ο ερπυσμός του σκυροδέματος σε θλίψη.
6. Η πλάκα σκυροδέματος μπορεί να υποτεθεί ότι εξασφαλίζει το άνω πέλμα της χαλύβδινης διατομής αποπλάγια μετακίνηση. Στρεπτική εξασφάλιση παρέχεται με την δράση ανεστραμμένου πλαισίου U. Σε περιοχές αρνητικών ροπών η τάση του Κάτω πέλματος να λυγίζει πλάγια περιορίζεται μερικά από την ακαμψία της διατομής σε στρέβλωση. Αυτές οι επιρροές έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση της ενεργού λυγηρότητας για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, και μπορεί να παρέχουν πλήρη εξασφάλιση έναντι αυτής της μορφής λυγισμού.
7. Διακριτή πλευρική εξασφάλιση μπορεί να παρεχθεί στο θλιβόμενο πέλμα, για παράδειγμα με συνδέσμους ή εγκάρσιες νευρώσεις.

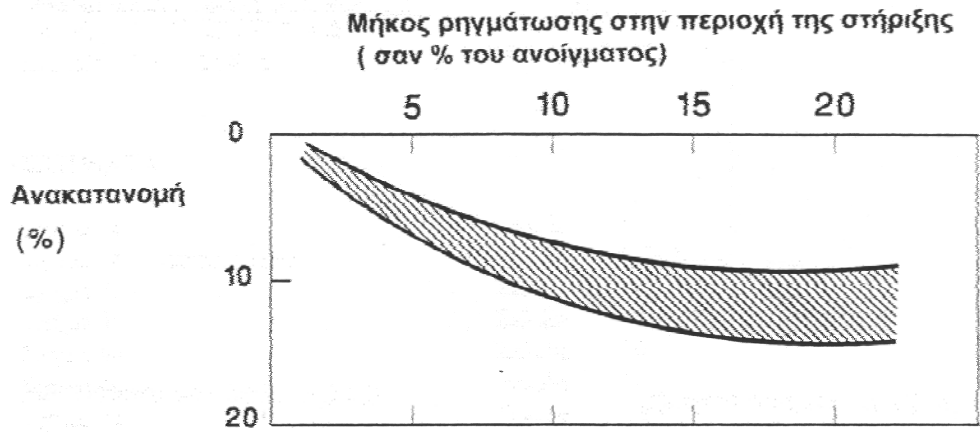


(a) Σε εσωτερική στήριξη



(b) Στο μέσο του ανοίγματος

ΣΧΗΜΑ 1 Ενεργές διατομές



ΣΧΗΜΑ 2 Ανακατανομή της ροπής στήριξης λόγω της ρηγμάτωσης

ESDEP WG 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.5.1 : Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα – I

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να παρουσιασθούν τα κριτήρια λειτουργικότητας εντός ενός πλαισίου ορατών καταστάσεων. Να εισαχθούν οι ελαστικές ιδιότητες της διατομής. Να εισαχθεί η χρονικά εξαρτημένη συμπεριφορά του σκυροδέματος. Να συζητηθούν οι συντελεστές που επηρεάζουν την ρηγμάτωση και την παραμόρφωση στις σύμμικτες κατασκευές. Και να σκιαγραφηθούν οι "θεωρούμενες προς ικανοποίηση" διαδικασίες για τον έλεγχο της ρηγμάτωσης και της παραμόρφωσης.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 10.2 : Η Συμπεριφορά των Δοκών

Διάλεξη 10.3 : Αμφιέριστες Δοκοί

Διάλεξη 10.4 : Συνεχείς Δοκοί

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 7.8 : πλευρικά Στηριγμένες Δοκοί

Διάλεξη 7.9 : Μη πλευρικά Στηριγμένες Δοκοί

Διάλεξη 10.5.2 : Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα - II

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Συζητώνται τα κριτήρια σχεδιασμού για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. περιγράφεται η ελαστική ανάλυση των απλά εδραζόμενων και συνεχών σύμμικτων δοκών ως προς τις ρηγματωμένες και μη ρηγματωμένες διατομές. Σκιαγραφούνται τα όρια λειτουργικότητας για ρηγμάτωση και παραμόρφωση σε μια "άμεση" και "θεωρούμενη προς ικανοποίηση" προσέγγιση.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Για να μείνει μια κατασκευή κατάλληλη προς χρήση και η εμφάνιση και η ανθεκτικότητα να παραμένουν ικανοποιητικές, πρέπει να ληφθούν υπόψη, κατά την διάρκεια του σχεδιασμού, η “οριακή κατάσταση λειτουργικότητας”. Αυτή η οριακή κατάσταση σχετίζεται με ορισμένα θέματα συμπεριφοράς της κατασκευής όπως την ρηγμάτωση, την παραμόρφωση και την ταλάντωση που ελέγχονται υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

Οι οικονομικές συνέπειες, για τον πελάτη, της μη επίτευξης ικανοποίησης των κριτηρίων λειτουργικότητας μπορούν να αποδειχθούν τόσο σοβαρές όσο η δομική αστοχία. Τουλάχιστον, η μη επίτευξη της πλήρωσης των κριτηρίων λειτουργικότητας είναι πιθανόν να έχει σαν αποτέλεσμα μια αυξανόμενη συντήρηση και κόστος επισκευής. Σε μερικές περιπτώσεις θα έχει σαν αποτέλεσμα απώλεια της ευχρησίας, της ανθεκτικότητας και τελικά της ακεραιότητας της κατασκευής.

Συντελεστές τέτοιοι όπως η “ηλικία σχεδιασμού” της κατασκευής (οι οποίοι μπορεί να διαφέρουν μέσα σε ευρέα όρια) και συνθήκες έκθεσης θα επηρεάσουν τις τιμές σχεδιασμού των παραμέτρων λειτουργικότητας. Η ταξινόμηση της “κατάστασης σχεδιασμού” (όπως ορίζεται στους Ευρωκώδικες 1, 2, 3 και 4[1-4]) σαν μόνιμης, προσωρινής ή τυχηματικής, θα έχει παρομοίως, μια επιρροή σε αυτές τις τιμές. προσωρινές καταστάσεις, οι οποίες θα αξίζουν ξεχωριστή θεώρηση από την σκοπιά της λειτουργικότητας, μπορεί να είναι, για παράδειγμα αυτές που εφαρμόζονται κατά την φάση κατασκευής.

1.2 Οριακές Καταστάσεις λειτουργικότητας

1.2.1 Δραστικές μέθοδοι

1.2.1.1 Κριτήρια

Τα κριτήρια της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας μπορούν ταξινομηθούν για σύμμικτες κατασκευές όπως:

(a) Ολίσθηση στην διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος, όταν γίνει αρκετά μεγάλη ώστε να μην ικανοποιούνται οι έλεγχοι σχεδιασμού.

(b) Υπερβολική θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα, που οδηγεί σε μικρορηγμάτωση και επηρεάζει την ανθεκτικότητα.

(c) Υπερβολική ρηγμάτωση στις εφελκυστικές ζώνες του σκυροδέματος.

(d) Μη αποδεκτές παραμορφώσεις ή βέλη, οι οποίες επηρεάζουν την εμφάνιση ή την αποτελεσματική χρήση μιας κατασκευής ή δημιουργούν ζημιά στις τελικές επιφάνειες ή άλλα μη δομικά στοιχεία. Αυτές οι παραμορφώσεις επηρεάζονται από την ρηγμάτωση, τον ερπυσμό και την συστολή ξήρανσης. Επίσης η ολίσθηση όταν είναι σημαντική.

(e) Ταλαντώσεις που δημιουργούν δυσφορία ή επηρεάζουν τα μη δομικά στοιχεία ή εξοπλισμό.

Μέσα σε αυτές τις κατηγορίες μπορεί να οριστεί, μια ποικιλία οριακών καταστάσεων, ανταποκρινόμενη σε διαφορετικούς τύπους και συνθήκες.

Μερικές από τις απαιτήσεις λειτουργικότητας ικανοποιούνται έμμεσα - μέσω υποθέσεων ή περιορισμών εισαγομένων κατά την διάρκεια σχεδιασμού της διατομής για αντοχή. Έτσι ο Ευρωκώδικας 4[4] δεν απαιτεί ακριβείς ελέγχους για θλιπτικές τάσεις στο σκυρόδεμα κάτω από φόρτιση λειτουργίας, και η ολίσθηση στην διεπιφάνεια σκυροδέματος-χάλυβα δεν χρειάζεται να ελεγχθεί εάν ο σχεδιασμός της διατημητικής σύνδεσης βρίσκεται σε συμφωνία με το Κεφάλαιο 6 του Ευρωκώδικα 4. πρόσθετα, η ταλάντωση δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη λεπτομερειακά για την πλειονότητα των σύμμικτων στοιχείων.

Οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη ιδιαίτερα σε αυτή την διάλεξη, είναι εκείνες της υπερβολικής ρηγμάτωσης και της παραμόρφωσης. Κατά τον σχεδιασμό μιας σύμμικτης δοκού στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, θα πρέπει να δειχθεί ότι υπό συνθήκες λειτουργίας ($\gamma_F=1$) τα βέλη (δ) και η ρηγμάτωση του σκυροδέματος (w), είναι περιορισμένες. Η τιμή σχεδιασμού της επίδρασης των δράσεων E_d θα πρέπει να είναι μικρότερη (ή ίση) με την οριακή τιμή C_d .

1.2.1.2 Υπολογισμός του E_d

Η ελαστική ανάλυση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του E_d . (Βλέπε Ευρωκώδικα 4, Κεφάλαια 5.2 και 5.3[4]).

1.2.1.3 Τα όρια του C_d

Τα όρια για τα βέλη και τις ρωγμές δίνονται στους Ευρωκώδικες 2, 3 και 4, βλέπε Ευρωκώδικα 4, Κεφάλαια 5.2 και 5.3[4].

1.2.1.4 Διαδικασία Σχεδιασμού

Θα πρέπει να δειχθεί ότι:

$$E_d \leq C_d$$

E_d είναι υπολογισμένα πλάτη ρωγμής w ή βέλους δ

C_d είναι τα όρια για το πλάτος ρωγμής w_{lim} , ή βέλους δ_{lim}

1.2.2 θεωρούμενοι προς ικανοποίηση Οροι

Είναι συχνή η περίπτωση που το μέγεθος ή η πολυπλοκότητα των υπολογισμών που χρειάζονται για την σαφή ικανοποίηση των κριτηρίων λειτουργικότητας δεν εγγυώνται από την επιτυγχανόμενη ακρίβεια. Για παράδειγμα, ο λεπτομερής υπολογισμός της βύθισης, λαμβάνοντας υπόψη τον ερπυσμό και την συστολή ξήρανσης, βασίζεται σε

τιμές συγκεκριμένων παραμέτρων οι οποίες είναι αναγκαία προσεγγιστικές : η ακαμψία μιας ρηγματωμένης ενισχυμένης διατομής σκυροδέματος, για παράδειγμα, ή οι τιμές των συντελεστών ερπυσμού και συστολή ξήρανσης. ένας υπολογίσιμος βαθμός προσέγγισης είναι ως εκ τούτου συνυφασμένος με τον επίπονο υπολογισμό της βύθισης.

Στην παρούσα διάλεξη περιγράφονται απλοποιημένες διαδικασίες που ικανοποιούν τις απαιτήσεις λειτουργικότητας. Σε μερικές περιπτώσεις, η διαδικασία επιτρέπει την χρήση εμμέσων κριτηρίων. Τέτοιες απλοποιημένες μέθοδοι ονομάζονται “θεωρούμενες προς ικανοποίηση” μέθοδοι. Είναι τελείως σύμφωνες με την πλειονότητα των καταστάσεων που συναντώνται στον σχεδιασμό, και χρησιμοποιούνται ευρέως στην πράξη λόγω της μεγάλης ευχέρειας εφαρμογής.

Λεπτομερής θεώρηση δίνεται στην συνοδευτική διάλεξη(Διάλεξη 10.5.2) στα άμεσα κριτήρια λειτουργικότητας.

2. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

2.1 Γενικά

Οι μηχανικές και γεωμετρικές ιδιότητες της σύμμικτης διατομής απαιτούνται για τον υπολογισμό των τάσεων και παραμορφώσεων λειτουργίας. Στα επίπεδα των τάσεων λειτουργίας, το σκυρόδεμα σε θλίψη και ο χάλυβας υποτίθεται ότι συμπεριφέρονται με γραμμικά ελαστικό τρόπο. Οπου ο Ευρωκώδικας 4[4] επιτρέπει την χρήση της αρηγμάτωτης καμ3πικής ακαμψίας, $(EI)_1$ (βλέπε Τμήμα 2.4), το σκυρόδεμα σε εφελκυσμό μπορεί να θεωρηθεί αρηγμάτωτο. Οπου χρησιμοποιείται η καμπτική ακαμψία της ρηγματωμένης διατομής, $(EI)_2$ αγνοείται η αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό.

Ακόμα και μετά την εμφάνιση της ρηγμάτωσης, η διατομή αντλεί ακαμψία από το σκυρόδεμα. Αυτή η “εφελκυστική ακαμψία οφείλεται στο αρηγμάτωτο σκυρόδεμα μεταξύ των ρωγμών. Αυτή η επίδραση δεν λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της ακαμψίας της διατομής σε αυτή την διάλεξη. λαμβάνεται. παρόλα αυτά, υπόψη έμμεσα στον υπολογισμό των βελών και των πλατών ρωγμών.

Κατά τον υπολογισμό των στατικών ιδιοτήτων της σύμμικτης διατομής για ελέγχους λειτουργικότητας, γίνεται χρήση της ιδέας της μετασχηματισμένης διατομής. Χρησιμοποιώντας αυτή την ιδέα, η σύμμικτη διατομή χάλυβα- σκυροδέματος αντικαθίσταται από μια ισοδύναμη ομοιογενή διατομή χάλυβα. Για διατομή υποκείμενη σε θετική κάμψη, το εμβαδόν του πέλματος σκυροδέματος εμβαδού A_c αντικαθίσταται με ένα ιδεατό πέλμα χάλυβα εμβαδού A_c/n , όπου n είναι ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας (βλέπε Τμήμα 2.2.4). Το ιδεατό πέλμα χάλυβα είναι παρομοίου ύψους με το πέλμα σκυροδέματος, βλέπε Σχήμα 1. Οι γεωμετρικές ιδιότητες υπολογίζεται για την μετασχηματισμένη διατομή, και οι παραμορφώσεις μπορούν να ληφθούν υπόψη χρησιμοποιώντας Το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα. Γίνεται ξανά χρήση του λόγου των μέτρων ελαστικότητας στον υπολογισμό των ελαστικών τάσεων στο πέλμα σκυροδέματος της πρότυπης σύμμικτης διατομής όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.

2.2 Μέτρα Ελαστικότητας

2.2.1 Μέτρο ελαστικότητας για τον χάλυβα

Η τιμή του μέτρου ελαστικότητας για τον δομικό χάλυβα, E_a δίνεται σαν $210 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ στον Ευρωκώδικα 4. Μια τιμή $210 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ δίνεται στον Ευρωκώδικα 2[2] για το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα οπλισμού, E_s . Για απλότητα, η τιμή του Ευρωκώδικα 4 $210 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$, υιοθετείται σε αυτή την διάλεξη και για τον δομικό χάλυβα και για τον χάλυβα οπλισμού.

2.2.2 Μέτρο ελαστικότητας για το σκυρόδεμα - βραχυχρόνια

Το σκυρόδεμα είναι μη-γραμμικό, μη-ελαστικό υλικό. Δεν επιδεικνύει μια μοναδική ή σταθερή τιμή του μέτρου ελαστικότητας όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, και υφίσταται μόνιμη παραμόρφωση με απομάκρυνση του φορτίου. Όταν υπόκειται σε σταθερή τάση,

οι παραμορφώσεις του σκυροδέματος αυξάνονται με τον χρόνο-ένα φαινόμενο γνωστό σαν ερπυσμός-βλέπε Σχήμα 4. Υπόκειται επίσης σε αλλαγές όγκου που οφείλονται στην συστολή ξήρανσης (ή διόγκωση), και από αλλαγές θερμοκρασίας. Χωρίς να αντιστέκεται αυτή την μη-γραμμικότητα, είναι αναγκαίο να μπορεί να ποσοστοποιεί την σχέση μεταξύ τάσης και παραμόρφωσης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μια ρεαλιστική εκτίμηση των παραμορφώσεων. Διάφορα μέτρα ελαστικότητας φαίνονται στο Σχήμα 3. Αυτά είναι: ένα αρχικό εφαπτομενικό μέτρο, ένα εφαπτομενικό μέτρο που ανταποκρίνεται σε ένα δεδομένο επίπεδο τάσης, ένα τέμνον μέτρο και ένα μέτρο “χορδής”. Οι τιμές αυτών των μέτρων φαίνεται ότι εξαρτώνται από το αντίστοιχο επίπεδο τάσης. Επηρεάζονται, πρόσθετα, από την ταχύτητα της φόρτισης. Η τιμή που χρησιμοποιείται στους κανονισμούς είναι γενικά ένα τέμνον μέτρο που ανταποκρίνεται σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα φόρτισης.

Μια εκτίμηση της μέσης τιμής του τέμνοντος μέτρου E για βραχυχρόνια φόρτιση, κανονικών σκυροδεμάτων φυσιολογικού βάρους, μπορεί να ληφθεί από τον πίνακα 1 για το εύρος των αντοχών σκυροδέματος που χρησιμοποιείται συνήθως στην σύμμικτη κατασκευή.

2.2.3 Μέτρο ελαστικότητας για το σκυρόδεμα - μακροχρόνια

Η χρονικά εξαρτώμενη παραμόρφωση του σκυροδέματος μπορεί να υπολογισθεί όπως δίνεται στην παράγραφο 2.2.4 παρακάτω. πρόσθετη πληροφόρηση δίνεται στην συνοδευόμενη Διάλεξη 10.5.2, και στα σχετικά τμήματα του Ευρωκώδικα 2[2].

2.2.4 Λόγος μέτρων Ελαστικότητας

Στον υπολογισμό των γεωμετρικών ιδιοτήτων της διατομής, και των τάσεων, αναφορά γίνεται στο λόγο των μέτρων ελαστικότητας, n . Αυτός είναι ο λόγος E_a/E_c όπου E_a είναι το μέτρο ελαστικότητας του δομικού χάλυβα, και E_c είναι του σκυροδέματος. Η επίδραση του λόγου αυτού στις τάσεις παριστάνεται στο Σχήμα 2.

Για τον υπολογισμό των μακροχρόνιων επιδράσεων σε κτίρια, και σε γέφυρες χωρίς προένταση ή προσωρινή στήριξη, ικανοποιητικά ακριβή αποτελέσματα θα ληφθούν με την χρήση του ενεργού μέτρου για το σκυρόδεμα E'_c , κατά τον υπολογισμό του λόγου των μέτρων. Το ενεργό μέτρο είναι το βραχυχρόνιο μέτρο για σκυρόδεμα προσαρμοσμένο για να ληφθούν υπόψη οι επιδράσεις του ερπυσμού.

Ο Ευρωκώδικας 4[4] δίνει τρία σύνολα τιμών για βραχυχρόνιους και μακροχρόνιους λόγους μέτρων. Αυτές οι τιμές αναγράφονται κατά σειρά απλότητας στον πίνακα 2. Δεν θα είναι συνήθως αναγκαία η προσφυγή στην μέθοδο (a) σε αυτό τον πίνακα, ο οποίος εμπλέκει άμεσο υπολογισμό του συντελεστή ερπυσμού φ . Η επιλογή της μεθόδου θα πρέπει να λάβει υπόψη τον σκοπό της ανάλυσης και την ακρίβεια που απαιτείται. Σημειώνεται στον Ευρωκώδικα 4 ότι η τιμή του λόγου μέτρων έχει πολύ μικρότερη επιρροή στην ακρίβεια των υπολογιζόμενων επιρροών των δράσεων από ότι στις υπολογιζόμενες τάσεις ή παραμορφώσεις. Η μέθοδος (c), η οποία υιοθετεί την ίδια

υψηλή τιμή του λόγου των μέτρων και για τις δύο επιρροές μακρο-υχρόνιες και βραχυχρόνιες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των κατασκευών. Αυτό θα απομακρύνει την ανάγκη για ξεχωριστές αναλύσεις για αυτές τις δύο καταστάσεις.

Περισσότερες λεπτομέρειες για τον ερπυσμό δίνονται στην συνοδευόμενη Διάλεξη 10.5.2.

2.3 Γεωμετρικές Ιδιότητες της Διατομής

2.3.1 Εισαγωγή

Στην θεώρηση των γεωμετρικών ιδιοτήτων της σύμμικτης διατομής για χρήση στην ελαστική ανάλυση, φαίνεται να υπάρχουν μια ποικιλία επιλογών, σε σχέση με το:

- εαν η εφαρμοζόμενη καμπτική ροπή είναι θετική ή αρνητική
- εαν λαμβάνεται υπόψη ή όχι ο οπλισμός.
- την θέση του ουδέτερου άξονα της σύμμικτης διατομής, εαν είναι μέσα στο ύψος της χαλύβδινης διατομής ή του πέλματος σκυροδέματος.

Στην πράξη, παρόλα αυτά, είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη μόνο ένας μικρός αριθμός επιλογών. Για την αρηγιάτωση διατομή, σε θετική κάμψη, αγνοείται η συνεισφορά του οπλισμού στην ακαμψία της διατομής. Σε κάθε περίπτωση, η ποσότητα που παρέχεται είναι συχνά μηδαμινή και δεν είναι γενικά γνωστή στην αρχή της ανάλυσης. Αν χρησιμοποιείται η μη ρηγματωμένη διατομή σε περιοχή αρνητικής ροπής, ο οπλισμός μπορεί να ληφθεί υπόψη. παρόλα αυτά, το αποτέλεσμα θα είναι τέτοιο, ώστε στην αρχική ανάλυση μιας συνεχούς δοκού, η ακαμψία θα μεταβάλλεται κατά μήκος του μέλους. Ως εκ τούτου για να αποφευχθεί η πολυπλοκότητα στην αρχική ανάλυση, χρησιμοποιείται, προτιμάται μερικές φορές να αγνοείται ο οπλισμός σε τέτοιες καταστάσεις. Για ρηγματωμένες διατομές, παρόλα αυτά, είναι συνηθισμένο να συμπεριλαμβάνεται το εμβαδόν της εφελκυσμένου οπλισμού.

2.3.2 Συνεργαζόμενο πλάτος

Οι βάσεις του συνεργαζόμενου πλάτους και της διατμητικής ευκαμψίας έχουν εισαχθεί στην διάλεξη 10.3. παρόμοιες τιμές χρησιμοποιούνται στις συνθήκες λειτουργικότητας, για τις περιοχές και των αρνητικών και των θετικών ροπών.

2.3.3 Ροπή αδρανείας

Η ροπή αδρανείας για τις περιγραφόμενες στο Τμήμα 2.3 1 διατομές είναι όπως ακολούθως (βλέπε Σχήματα 1 και 2):

(a) Η Αρηγιάτωση Διατομή

(i) Γενική περίπτωση - συμπεριλαμβάνεται ο σπλισμός:

Λαμβάνοντας τις στατικές ροπές ως προς τον ουδέτερο άξονα της χαλύβδινης διατομής με $A_c = b_e \cdot h_c$ και με $A_t = A_a + (A_c/n) + A_s$

$$(A_c/n) \cdot a + A_s \cdot (a + a_s) = A_t \cdot a_a$$

δίνει:

$$a_a = (A_c/n) \cdot a + A_s \cdot (a + a_s) / A_t$$

Η ροπή αδρανείας της μετασχηματισμένης διατομής (όλη από χάλυβα) είναι:

$$I = I_a + (A_c/n) \cdot (h_c^2/12) + (A_c/n) \cdot a_c^2 + A_s \cdot (a_c + a_s)^2$$

(ii) Αρηγμάτωτη διατομή - δεν συμπεριλαμβάνεται ο σπλισμός:

Λαμβάνοντας τις στατικές ροπές ως προς τον ουδέτερο άξονα της χαλύβδινης διατομής, με $A_c = b_e \cdot h_c$ και με $A_t = A_a + (A_c/n)$ αυτό απλοποιείται σε:

$$(A_c/n) \cdot a = A_t \cdot a_a$$

δίνοντας:

$$a_a = (A_c/n) \cdot a / A_t$$

Η ροπή αδρανείας της μετασχηματισμένης (όλο από χάλυβα) διατομής είναι τότε:

$$I = I_a + (A_c/n) \cdot (h_c^2/12) + (A_c/n) \cdot a_c^2$$

(a) Η Ρηγματωμένη Διατομή

Ο σπλισμός συμπεριλαμβάνεται σε αυτή την περίπτωση, και το εμβαδόν του σκυροδέματος σε εφελκυσμό, (και η επίδραση της εφελκυστικής ακαμψίας του) αμελείται. λαμβάνοντας τις ροπές αδρανείας όπως πριν γύρω από το κέντρο βάρους της χαλύβδινης διατομής, με $A_t = A_a + A_s$

$$A_s \cdot (a + a_s) = A_t \cdot a_a$$

δίνοντας:

$$a_a = A_s \cdot (a + a_s) / A_t$$

Η ροπή αδρανείας της μετασχηματισμένης (όλο από χάλυβα) διατομής είναι:

$$I = I_a + A_s \cdot (a + a_s)^2$$

2.3.4 Τάσεις Λειτουργίας

Οι προηγούμενες ροπές για τη ροπή αδρανείας χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τάσεων σε συνθήκες λειτουργίας. Ετσι., αν $x_e = (a_c + h_c/2)$, οι τάσεις του σκυροδέματος στην πάνω (t) ίνα της αρηγμάτωτης διατομής είναι:

$$F_t = M \cdot x_e / n \cdot I$$

ενώ οι κάτω (b) τάσεις της ίνας στην χαλύβδινη διατομή είναι:

$$f_b = M \cdot (D + h_c - x_e) / I$$

Η τάση λειτουργίας του οπλισμού είναι:

$$f_s = M \cdot (a_c + a_s) / I$$

2.4 Ακαμψία της διατομής

Γίνεται αναφορά στον Ευρωκώδικα 4[4] στις ακόλουθες τιμές της ακαμψίας της διατομής:

$(EI)_1$ είναι η ακαμψία της μη ρηγματωμένης διατομής, όπου:

E είναι το E_a

I είναι η ελαστική ροπή αδρανείας της ενεργά ισοδύναμης χαλύβδινης διατομής, υπολογιζόμενη χρησιμοποιώντας το βραχοχρόνιο λόγο μέτρων ελαστικότητας.

Οι υπολογισμοί βασίζονται στην υπόθεση ότι το σκυρόδεμα σε εφελκυσμό είναι αρηγμάτωτο, και μπορεί να ληφθεί σαν ολισμένο ή άοπλο.

$(EI)_2$ είναι η ακαμψία της ρηγματωμένης διατομής, όπου:

E είναι το E_a

I είναι η ελαστική ροπή αδρανείας της ενεργά ισοδύναμης χαλύβδινης διατομής, υπολογιζόμενη χρησιμοποιώντας το μακροχρόνιο λόγο μέτρων ελαστικότητας. Το εμβαδόν του σκυροδέματος σε εφελκυσμό (και η επίδραση της εφελκυστικής ακαμψίας του) αγνοούνται., αλλά λαμβάνεται υπόψη ο οπλισμός.

2.5 Απλά στηριζόμενες και συνεχείς σύμμικτοι δοκοί

Σε πολλές περιπτώσεις, οι έλεγχοι λειτουργικότητας μπορούν να επιτευχθούν χωρίς να έχουν την ανάγκη ξεχωριστής ανάλυσης. Οι απαιτούμενες καμπτικές ροπές μπορούν να υπολογισθούν με πολλαπλασιασμό των αποτελεσμάτων της ανάλυσης για την οριακή κατάσταση αστοχίας.

Για αυτές τις περιπτώσεις όπου απαιτείται ξεχωριστή ανάλυση, οι προτάσεις του Ευρωκώδικα 4 που αφορούν αναλυτικά προσομοιώματα για τους ελέγχους ρηγμάτωσης και παραμορφώσεων σε συνεχείς δοκούς, συνοψίζονται στον πίνακα 3.

Αυτά τα αναλυτικά προσομοιώματα συνοψίζονται γραφικά στο Σχήμα 5. Η ανάλυση γίνεται υποθέτοντας αρχικά ομοιόμορφη ακαμψία μέλους (αυτή της μη ρηγματωμένης διατομής, $(EI)_1$), σε όλο το μήκος, βλέπε Σχήμα 5a. Αν απαιτείται επιπλέον ανάλυση, η ακαμψία της διατομής που βρίσκεται κοντά στις στηρίξεις μετατρέπεται σε $(EI)_2$ όπως φαίνεται στο Σχήμα 5b.

3. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ : ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

3.1 Σαφείς Μέθοδοι

Στο οπλισμένο σκυρόδεμα, η ρηγμάτωση του σκυροδέματος είναι ένα φυσιολογικό και αποδεκτό τμήμα της απόκρισής του στις δομικές δράσεις. Το γεγονός ότι αρκετή από την ρηγμάτωση ξεκινά στα αρχικά στάδια όταν η αντοχή του σκυροδέματος είναι χαμηλή, και η συστολή ξήρανσης και οι θερμικές παραμορφώσεις είναι υψηλές, κάνει πολύ δύσκολη την ολοκληρωτική εξάλειψή της. Ακόμα και όταν ωριμάσει, το σκυρόδεμα ρηγματώνεται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα εφελκυστικής παραμόρφωσης. Ο περιορισμός των εφελκυστικών παραμορφώσεων σε επίπεδο τέτοιο που να αποφεύγεται η ρηγμάτωση συνεπάγεται πολύ αντιοικονομική χρήση του οπλισμού.

Ευτυχώς, η ρηγμάτωση δεν επηρεάζει την λειτουργικότητα του κτιρίου. πραγματικά, μπορεί να ωφελήσει στην ανακατανομή των επιρροών των δράσεων από ισχυρά εντεινόμενες περιοχές. Τέτοια ανακατανομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτρέψει την χρήση πιο οικονομικών διατομών. Η ρηγμάτωση επίσης έχει σαν αποτέλεσμα της ουδετεροποίησης των παραμενουσών τάσεων στο στοιχείο λόγω της συστολής ξήρανσης.

Η ρηγμάτωση ενδιαφέρει λόγω της δυνητικής επίδρασής της στην ανθεκτικότητα και την εμφάνιση των οπλισμένων στοιχείων από σκυρόδεμα. Η ανθεκτικότητα επηρεάζεται αν η ρηγμάτωση έχει προχωρήσει τόσο όσο να επιτρέψει είσοδο υγρασίας στον οπλισμό. Θα πρέπει να σημειωθεί, παρόλα αυτά, ότι επικάλυψη του οπλισμού με πορώδες σκυρόδεμα μπορεί να είναι πιο σημαντική από αυτή την άποψη. Σε σχέση με την εμφάνιση, η σημαντικότητα της ρηγμάτωσης θα συνδέεται προφανώς με το πόσο ορατή είναι. Το πόσο ορατή είναι η ρηγμάτωση διαφέρει εξαρτώμενη από παράγοντες όπως ο επιφανειακός ιστός του σκυροδέματος και η απόστασή του από πιθανούς παρατηρητές. Οι ρωγμές σε εκτεθειμένες επιφάνειες μπορούν να τονισθούν από ραβδώσεις βρω μιάς ή από υλικά που ξεχειλίζουν. Με αυτό τον τρόπο αρκετά μικρές ρωγμές γίνονται σημαντικά ορατές.

Το πλάτος μιας ρωγμής θα διαφέρει με τις δράσεις. Τα πλάτη ρωγμών που εμφανίζονται από ασυνήθιστα υψηλά προσωρινά φορτία δεν είναι σημαντικά όσον αφορά την ανθεκτικότητα. Αντίθετα σημαντική είναι η επίδραση των μόνιμων (ή “οιονεί-μόνιμων”) φορτίων από αυτή την άποψη. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ρωγμές που δημιουργήθηκαν από μη συχνά φορτία θα κλείσουν μερικές φορές από μόνες τους.

Ενας γενικός σκοπός του σχεδιασμού για τον έλεγχο ρωγμών είναι να έχουμε διανεμημένη ρηγμάτωση. ένας μεγάλος αριθμός από στενές ρωγμές είναι προτιμότερος από ένα μικρό αριθμό πλατιών ρωγμών.

Λεπτομερής θεώρηση δίνεται στην Διάλεξη 10.5.2 στην ανάπτυξη της ρηγμάτωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα, και στο έλεγχο της από τον άμεσο υπολογισμό των πλατών των ρωγμών. Στην παρούσα διάλεξη η προσοχή επικεντρώνεται σε “θεωρούμενα προς ικανοποίηση” μέτρα για τον έλεγχο της ρηγμάτωσης, τα οποία επαρκούν στις περισσότερες των περιπτώσεων, και τα οποία συνεπάγονται σημαντικά λιγότερο υπολογισμό.

Ανεξάρτητα από την υιοθετημένη προσέγγιση, η σωστή κατασκευαστική διαμόρφωση, σε σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2, είναι σημαντική για τον ικανοποιητικό έλεγχο της ρηγμάτωσης.

3.2 θεωρούμενη προς ικανοποίηση προσέγγιση

Η “θεωρούμενη προς ικανοποίηση” προσέγγιση για τον έλεγχο της ρηγμάτωσης περιέχει δύο βήματα:

(α) Οπου υπάρχει η πιθανότητα σημαντικού εφελκυσμού λόγω του περιορισμού της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης (είτε συνδυάζεται είτε όχι με άμεση φόρτιση) θα πρέπει να παρέχεται ένα μικρό ποσοστό οπλισμού συναφείας, ικανοποιητικό για να διασφαλίζει ότι ο οπλισμός θα παραμείνει στην ελαστική περιοχή όταν πρωτοεμφανισθεί η ρηγμάτωση.

(β) Οι διάμετροι και/ή οι αποστάσεις των ράβδων να είναι περιορισμένες.

Η πρακτική εφαρμογή του (β) μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την τοποθέτηση περισσότερου οπλισμού από αυτόν που προτείνει το (α).

Μια κατάλληλη τοποθέτηση του οπλισμού μπορεί να επιλεγεί, όπως προτείνεται παρακάτω στους πίνακες 4 και 5, η οποία προορίζεται να διασφαλίσει ότι τα πλάτη των ρωγμών δεν θα ξεπεράσουν τα 0,3mm στο ωπλισμένο σκυρόδεμα. Μια εξήγηση του υπόβαθρου σε αυτούς του πίνακες δίνεται στην Διάλεξη 10.5.2. Θα πρέπει να τονισθεί ότι ο υπολογισμός των εμβαδών του οπλισμού που χρειάζεται για τον έλεγχο των ρωγμών θα πρέπει να αγνοεί κάθε συνεισφορά του τραπεζοειδούς χαλύβδινου φύλλου. Η μέθοδος είναι η ακόλουθη:

1. Για ρηγμάτωση λόγω παρεμπόδισης των παραμορφώσεων:

(α) Ο πίνακας 4 δίνει τον ελάχιστο οπλισμό βασισμένος στο $\sigma_s = f_{yk}$

(β) Χρησιμοποιώντας το πραγματικό εμβαδό του οπλισμού, υπολογίζουμε την τάση λειτουργίας στον οπλισμό, λαμβάνοντας υπόψη την εφελκυστική ακαμψία, όπως:

$$\sigma_s = \sigma_{s,0} + 0,4 (f_{ctm} A_c/A_s)$$

Τότε χρησιμοποιούμε τον πίνακα 5 (στήλη 2) προς περιορισμό του μεγέθους της ράβδου. Αν είναι επιθυμητή η χρήση ράβδου μεγαλύτερου μεγέθους, θα είναι αναγκαίο να μειωθεί η τάση λειτουργίας στον οπλισμό στην αντίστοιχη στάθμη (χρησιμοποιώντας τον πίνακα 5, στήλη 1) αυξάνοντας το εμβαδόν του οπλισμού.

2. Για ρηγμάτωση κυρίως λόγω φόρτισης:

(α) Ο πίνακας 4 δίνει τον ελάχιστο χάλυβα βασισμένος στο $\sigma_s = f_{yk}$.

(β) Υπολογίζοντας την τάση λειτουργίας του οπλισμού όπως στο 1(β) παραπάνω, χρησιμοποιούμε τον πίνακα 5 για τον περιορισμό των:

- ή της διαμέτρου της ράβδου (στήλη 2) ή
- ή της απόστασης της ράβδου (στήλη 3).

Μπορεί να είναι ξανά αναγκαίο, όπως στο 1(β), να μεταβάλλουμε το εμβαδό οπλισμού αν θέλουμε να υιοθετεί ένα συγκεκριμένο μέγεθος ράβδου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 4 παραγρ. 5.3.3(3) προτείνει σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να μειωθεί ο ελάχιστος οπλισμός ή να απαληφθεί τελείως[4].

4. ΟΡΙΑΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ: ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

4.1 Άμεσες μέθοδοι

Λόγω μιας ποικιλίας παραγόντων, οι παραμορφώσεις σύμμικτων στοιχείων αποκλίνουν από τις τιμές οι οποίες προκύπτουν από ένα απλό ελαστικό προσομοίωμα. Αυτοί οι παράγοντες συμπεριλαμβάνουν:

- την συνεχή αλλαγή της ακαμψίας του μέλους λόγω ρηγμάτωσης και μεταβολής του εμβαδού οπλισμού.
- τις επιρροές της εφελκυστικής ακαμψίας στις ρηγματωμένες περιοχές του σκυροδέματος.
- τη μεταβολή με το χρόνο του μέτρου ελαστικότητας για το σκυρόδεμα.
- τη συστολή ξήρανσης και τον ερπυσμό για το σκυρόδεμα.
- την διαρροή του χαλύβδινου μέλους, που μπορεί να συμβεί σε στηρίξεις συνεχών μελών.
- την ολίσθηση στην διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος.
- την διατμητική ευκαμψία.
- την θερμοκρασία.

Η χρονική εξάρτηση συγκεκριμένων από αυτούς τους συντελεστές σημαίνει ότι η πραγματική ακολουθία της φόρτισης έχει μια επιρροή στις τελικές παραμορφώσεις, και μπορεί να ακυρώνει απλές διαδικασίες υπολογισμού βασισμένες στην επαλληλία των επιδράσεων. πρόσθετα, οι ιδιότητες του υλικού(μέτρο ελαστικότητας, συντελεστής ερπυσμού κλπ) που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση θα εξαρτώνται από συντελεστές όπως το πραγματικό μίγμα σκυροδέματος που χρησιμοποιείται, και από τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας κατά την διάρκεια της αρχικής ζωής της κατασκευής.

Το μέγεθος των τελικών βυθίσεων μπορεί να μειωθεί με αντιβέλος ή με προσωρινή στήριξη. Με το αντιβέλος, μια ελαφρά καμπύλωση δημιουργείται στην χαλύβδινη

διατομή, κατά την αντίθετη έννοια από αυτή που δημιουργείται από την μόνιμη φόρτιση. Αυτή η παραμόρφωση μπορεί να είναι τέτοια που να αντενεργεί στην παραμόρφωση λόγω του ίδιου βάρους, ή λόγω μιας αναλογίας της επιβαλλόμενης φόρτισης στο ίδιο βάρος του σύμμικτου στοιχείου. Με την προσωρινή στήριξη, η χαλύβδινη δοκός υποστηρίζεται πρόσθετα κατά την διάρκεια της κατασκευής, μέχρι τέτοιου χρόνου που το σκυρόδεμα να έχει φθάσει ένα συγκεκριμένο ποσοστό της χαρακτηριστικής τον αντοχής. Η προσωρινή στήριξη διασφαλίζει ότι το νεκρό φορτίο του σκυροδέματος παραλαμβάνεται από την πιο άκαμπτη σύμμικτη διατομή παρά από την χαλύβδινη διατομή από μόνη της, όπως συμβαίνει με την μη προσωρινά στηριζόμενη κατασκευή. Η προσωρινά στηριζόμενη κατασκευή επιτρέπει την χρήση ελαφρύτερων χαλύβδινων διατομών. Είναι παρόλα αυτά, πιο επιδεκτικό σε επιδράσεις ερπυσμού, αντίθετα από την μη προσωρινά στηριζόμενη κατασκευή όπου το νεκρό βάρος του σκυροδέματος παραλαμβάνεται από την χαλύβδινη δοκό, και το μόνιμο τμήμα της απομένουσας φόρτισης είναι συχνά μικρό.

Παρόλη την ποικιλία των παραμέτρων που επηρεάζουν τις παραμορφώσεις, είναι συνήθως δυνατόν να φθάσουμε σε μια εκτίμηση του μεγέθους τους με σχετικά απλά μέσα.

Κατά τον υπολογισμό των παραμορφώσεων για κτίρια, θα είναι συνήθως ικανοποιητικό να θεωρηθούν τα βέλη κάτω από τυπικούς συνδυασμούς φόρτισης και να υποτεθεί ότι αυτή η φόρτιση είναι μακράς διάρκειας.

4.1.1 Κριτήρια

Το οριακό στάδιο λειτουργικότητας επιτυγχάνεται όταν το βέλος φθάνει ένα όριο που προσδιορίζεται απο:

- την επάρκεια για την επιδιωκόμενη χρήση.
- την βλάβη σε μη δομικά συστατικά.
- την παραμόρφωση της κατασκευής ή των συστατικών πέρα από αποδεκτά όρια, π.χ. έχοντας σαν αποτέλεσμα λιμνάζοντα νερά βροχής ή απαράδεκτης εμφάνισης.

ή άλλες πιθανές μορφές μη λειτουργικότητας.

4. 1.2Υπολογισμός του Βέλους (E_d)

Ο Ευρωκώδικας 4[4] απαιτεί κατά τον υπολογισμό των τάσεων και των παραμορφώσεων στο οριακό στάδιο λειτουργικότητας να λαμβάνεται υπόψη τις επιδράσεις (βλέπε Τμήμα 2):

- της διατμητικής ευκαμψίας.

- της αυξανόμενης ευκαμψίας που είναι αποτέλεσμα ατελούς αλληλεπίδρασης στην διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος.
- της ρηγμάτωσης και εφελκυστικής ακαμψίας του σκυροδέματος σε περιοχές αρνητικής ροπής.
- του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος.
- της διαρροής του χάλυβα, ειδικότερα Κατά την χρήση μη προσωρινά στηριζόμενης κατασκευής.
- της διαρροής τον οπλισμού σε περιοχές αρνητικής ροπής.

4.1.3 οριο του Βέλους (C_d)

Για κατασκευές δαπέδων και οροφών σε κτίρια, τα όρια βελών που προτείνονται στον Ευρωκώδικα 3[3] βρίσκονται στους πίνακες 6 και 7. Αυτά τα όρια εκφράζονται με όρους μηκών ανοίγματος ή προβόλων, σαν κατάλληλα. Τα τμήματα του βέλους dB και δ παριστάνονται στο Σχήμα 6.

Σε γέφυρες, ο υπολογισμός των βυθίσεων είναι συνήθως αναγκαίος μόνο όταν:

- ορισμένες ελάχιστες ανοχές βρίσκονται σε διακινδύνευση.
- μπορεί να επηρεαστεί η αποστράγγιση υδάτων επιφανείας.
- η μέθοδος κατασκευής απαιτεί προσεκτικό έλεγχο της διατομής.

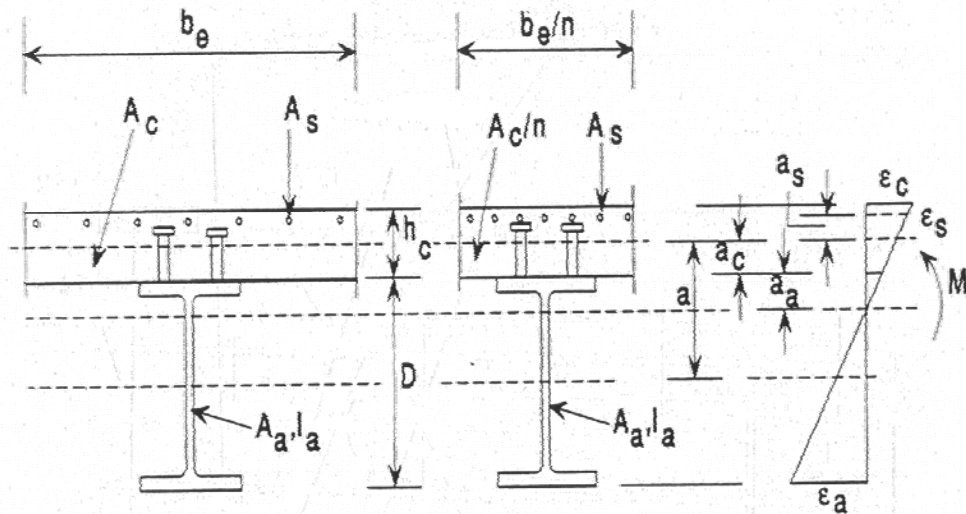
4.1.4 Διαδικασία Σχεδιασμού

Τα βέλη λόγω φορτίων που εφαρμόζονται στα χαλύβδινα μέλη μόνο, πρέπει να υπολογίζονται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3[3]. Η ελαστική ανάλυση του σύμμικτου μέλους μπορεί να γίνει με μια από τις μεθόδους που φαίνονται στον πίνακα 3. παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη συνοψίζονται στον πίνακα 8, με συσχέτιση με τις προτάσεις του Ευρωκώδικα 4.

5. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Το οριακό στάδιο λειτουργικότητας πρέπει να ελέγχεται όταν σχεδιάζουμε απλά εδραζόμενες και συνεχείς σύμμικτες δοκούς. Τα κύρια σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:

1. Η χρήση μιας «άμεσης» ή “θεωρούμενης προς ικανοποίηση” προσέγγισης.
2. Τα κύρια κριτήρια σχεδιασμού, είναι το βέλος, ο έλεγχος του πλάτους ρωγμής και ο περιορισμός των τάσεων.
3. Για ελαστικούς υπολογισμούς σε περιοχές θετικής ροπής, μπορεί να υποτεθεί μια μη ρηγματωμένη διατομή, με ή χωρίς οπλισμό.
4. Σε περιοχές αρνητικής ροπής, πρέπει να υποτεθούν ρηγματωμένες διατομές.
5. Η επιρροή της συστολή ξήρανσης, του ερπυσμού και της θερμοκρασίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

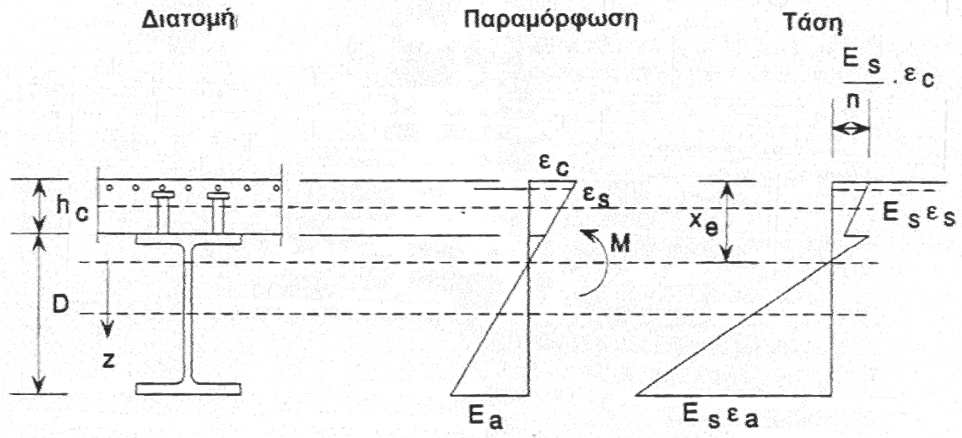


Σύμμικτη διατομή χάλυβα-σκυροδέματος

Ισοδύναμη μετασχηματισμένη διατομή

Παραμόρφωση σε σύμμικτες και μετασχηματισμένες διατομές

ΣΧΗΜΑ 1 Σχεδιασμός για λειτουργικότητα : η μετασχηματισμένη διατομή



ΣΧΗΜΑ 2 Ελαστικές παραμορφώσεις και τάσεις στην σύμμεκτη διατομή

ESDEP WG 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.5.2 : Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα II

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ/ΣΚΟΠΟΣ

Να συζητηθούν λεπτομερέστερα τα κριτήρια λειτουργικότητας που εισήχθησαν στην Διάλεξη 10.5.1. Να τύχουν επεξεργασίας τα αποτελέσματα του ερπυσμού και της συστολή ξήρανσης στο σκυροδέμα. Να περιγραφεί η ανάπτυξη της ρηγμάτωσης και να εξεταστούν λεπτομερέστερα, οι απαιτήσεις λειτουργικότητας του Ευρωκώδικα 4 για τις σύμμικτες κατασκευές.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 10.2 : Συμπεριφορά των Δοκών

Διάλεξη 10.3 : Αμφιέριστες Δοκοί

Διάλεξη 10.4 : Συνεχείς Δοκοί

Διάλεξη 10.5.1: Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα - I

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 7. 8 : Εξασφαλισμένες Δοκοί

Διάλεξη 7. 9 : Μη Εξασφαλισμένες Δοκοί

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η διάλεξη παρέχει γενικές πληροφορίες για τον ερπυσμό, την συστολή ξήρανσης και την ρηγμάτωση του σκυροδέματος, έτσι ώστε ο μελετητής να μπορεί να προσανατολισθεί στην διαθέσιμη βιβλιογραφία.

Ο σχεδιασμός για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας έναντι ρηγμάτωσης συζητείται με λεπτομέρεια χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές προσεγγίσεις “θεωρούμενες προς ικανοποίηση” και “άμεσες” μεθόδους.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αυτή η διάλεξη παρέχει περισσότερες πληροφορίες για το υπόβαθρο σε μερικά από τα θέματα της σύμμικτης κατασκευής που συζητήθηκαν στην Διάλεξη 10.5.1. Έχει να κάνει συγκεκριμένα με τον ερπυσμό, την συστολή ξήρανσης και την ρηγμάτωση του σκυροδέματος. Δεν είναι δυνατόν, μέσα στα όρια αυτής της διάλεξης, να ασχοληθούμε με σαφήνεια με αυτά τα θέματα - ιδιαίτερα με αυτά του ερπυσμού. Αναμφίβολα πρέπει να δοθεί ικανοποιητική πληροφόρηση για να επιτραπεί στον μελετητή να κατευθυνθεί προς την διαθέσιμη βιβλιογραφία.

2. ΕΡΠΥΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΛΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

2.1 Γενικά

Πρόσθετα στην μη-γραμμικότητα που συμβαίνει κάτω από βραχυχρόνια φόρτιση (Τμήμα 2.2.2 και Σχήμα 1 της Διάλεξης 10.5.1), το σκυρόδεμα παρουσιάζει μια χρονικά μεταβαλλόμενη απόκριση στην επιβαλλόμενη φόρτιση. Η αύξηση της παραμόρφωσης που εμφανίζεται, με τον χρόνο, κάτω από την δράση της επιβαλλόμενης σταθερής τάσης ονομάζεται ερπυσμός (Σχήμα 1α). πρέπει να σημειωθεί ότι η επανάκαμψη, κατά την αποφόρτιση, δεν είναι ούτε στιγμιαία ούτε πλήρης, αλλά συμπεριλαμβάνει ένα στιγμιαίο τμήμα, το οποίο ακολουθείται μετά από μια χρονική περίοδο, με μια αργοπορημένη επανάκαμψη. Στο τέλος αυτής της επανάκαμψης παραμένει μια υπολειπόμενη παραμόρφωση ερπυσμού. ένα άλλο φαινόμενο που σχετίζεται με τον ερπυσμό είναι η χαλάρωση της τάσης κάτω από επιβαλλόμενη σταθερή παραμόρφωση (Σχήμα 1β).

Ακόμα και με απουσία εφαρμοζόμενης φόρτισης το σκυρόδεμα υπόκειται σε παραμόρφωση λόγω αλλαγών του όγκου που οφείλονται σε αλλαγές στην περιεκτικότητα νερού, σε μακροχρόνιες χημικές διαδικασίες που εμφανίζονται στο τσιμέντο και από θερμική διαστολή. Η πιο σημαντική από αυτές τις αλλαγές είναι η συστολή ξήρανσης, η οποία είναι μείωση του όγκου σκυροδέματος λόγω απώλειας νερού από εξάτμιση ή ενυδάτωση του τσιμέντου, ή ενανθράκωση. Το αντίθετο αποτέλεσμα είναι η διόγκωση του σκυροδέματος κατά την ενυδάτωση. Η διόγκωση του σκυροδέματος είναι συνήθως μια τάξη μεγέθους μικρότερη από την συστολή ξήρανσης, και δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό.

Η σημαντικότητα τέτοιων αλλαγών όγκου οφείλεται στο γεγονός ότι είναι συνήθως καθ'ολοκληρίαν ή μερικά περιορισμένες, και έτσι εμφανίζουν εφελκυστικές τάσεις και ρηγμάτωση. Η συνεπαγόμενη αλλαγή της ακαμψίας θα επηρεάσει έπειτα τις παραμορφώσεις.

Ο ερπυσμός και η συστολή ξήρανσης είναι αλληλοσχετιζόμενα φαινόμενα. Αυτές οι καθυστερημένες παραμορφώσεις του φορτιζόμενου ή αφόρτιστου σκυροδέματος μπορούν να ληφθούν υπόψη σαν δύο όψεις ενός μόνο φυσικού φαινομένου.

2.2 Ερπυσμός

2.2.1 Ερπυσμός : Συντελεστές επιρροής

Στο σκυρόδεμα με κανονικού βάρους αδρανή, ο ερπυσμός εμφανίζεται στην σκληρυμένο τσιμέντο, και ανθίσταται από τα αδρανή. Υλικοί και περιβαντολλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον ερπυσμό είναι:

- η σύσταση του σκυροδέματος.
- ο ρυθμός σκλήρυνσης του σκυροδέματος.
- οι διαστάσεις του στοιχείου.

- η υγρασία του περιβάλλοντος.
- η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Πρόσθετα το μέγεθος των παραμορφώσεων ερπυσμού επηρεάζεται από την ηλικία κατά τη φόρτιση, την διάρκεια της φόρτισης, και το επίπεδο τάσης.

Οι θεωρίες του ερπυσμού οι οποίες εφαρμόζονται συνήθως σε κατασκευές από σκυρόδεμα, υποθέτουν ότι η παραμόρφωση ερπυσμού μεταβάλλεται γραμμικά με την τάση. Είναι μια λογικά απλοποιητική υπόθεση για συνήθη επίπεδα τάσης λειτουργικότητας.

Για μια λεπτομερή συζήτηση για τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του ερπυσμού, πρέπει να γίνει αναφορά σε συνήθη κείμενα της τεχνολογίας σκυροδέματος.

2.2.2 Συναρτήσεις ερπυσμού Φ και συντελεστής ερπυσμού φ

2.2.2.1 Ορισμοί

Ο ερπυσμός περιγράφεται συμβατικά με αναφορά σε μια συνάρτηση ερπυσμού και ένα συντελεστή ερπυσμού. Η συνάρτηση ερπυσμού, $\Phi(t, t_0)$, αναφέρεται στην συνολική παραμόρφωση - στιγμιαία ελαστική και παραμόρφωση ερπυσμού - σε ένα δεδομένο χρόνο, κάτω από την δράση σταθερής μονάδας τάσης (Σχήμα 2α). Ο συντελεστής ερπυσμού $\varphi(t, t_0)$, είναι ο λόγος του τμήματος του ερπυσμού αυτής της παραμόρφωσης προς το στιγμιαία ελαστικό τμήμα (Σχήμα 2β).

Η συνάρτηση ερπυσμού μπορεί να γραφεί σαν το άθροισμα μιας στιγμιαίας ελαστικής παραμόρφωσης και ενός ειδικού ερπυσμού όπως ακολούθως:

$$\Phi(t, t_0) = 1/E_c(t_0) + C(t, t_0)$$

όπου:

- $\Phi(t, t_0)$ είναι η συνάρτηση ερπυσμού την χρονική στιγμή t , σχετιζόμενη με μοναδιαία τάση εφαρμοζόμενη την χρονική στιγμή t_0 .
- $E_c(t, t_0)$ είναι Το διαμήκες μέτρο παραμόρφωσης του σκυροδέματος την χρονική στιγμή t_0 .
- $C(t, t_0)$ είναι ο ειδικός ερπυσμός την χρονική στιγμή t , που είναι αποτέλεσμα μοναδιαίας τάσης εφαρμοζόμενης την χρονική στιγμή t_0 .
- t_0 είναι η ηλικία του σκυροδέματος κατά την φόρτιση, μετρημένη (σαν t) σε μέρες από τον χρόνο σκλήρυνσης.

ή, με όρους του συντελεστή ερπυσμού:

$$\Phi(t, t_0) = 1/E_c(t, t_0) * (1 + \varphi(t, t_0))$$

όπου ο συντελεστής ερπυσμού:

$$\varphi(t, t_0) = E(t, t_0) * C(t, t_0)$$

Κατά περίπτωση, γίνεται αναφορά σε ένα “κανονικοποιημένο” συντελεστή ερπυσμού, όπως είναι ο συντελεστής ερπυσμού που υπολογίζεται με βάση Το μέτρο ελαστικότητας (ή τη στιγμιαία παραμόρφωση) στις 28 ημέρες και συμβολίζεται $\varphi_{28}(t, t_0)$. Σε αυτή την περίπτωση:

$$\Phi(t, t_0) = 1/E_c(t_0) + \varphi_{28}(t, t_0)/E_{c28}$$

όπου E_{c28} είναι το μέτρο ελαστικότητας στις 28 ημέρες, και όπου

$$\Phi_{28}(t, t_0) = \varphi(t, t_0) E_{c28} / E_c(t_0)$$

2.2.2.2 Ερπυσμός: Εναλλακτικές σχέσεις

Επειδή ο ερπυσμός είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο, υπάρχει μια σημαντική ανομοιότητα στην προσέγγιση της διατύπωσης της συνάρτησης ερπυσμού για το σκυρόδεμα. Η ανομοιότητα οφείλεται σε προσπάθειες, από την μια πλευρά, να προσομοιωθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι διάφορες φάσεις του φαινομένου του ερπυσμού - η επίδραση της ηλικίας κατά τη φόρτιση, η επίδραση της διάρκειας φόρτισης, η διαφορετική θεώρηση της απόκρισης κατά την αποφόρτιση - και από την άλλη πλευρά σε προσπάθειες να αποφευχθεί ο βαθμός πολυπλοκότητας στον υπολογισμό ο οποίος είναι ακατάλληλος για την ακολουθούμενη ακρίβεια. Θα πρέπει να θυμόμαστε ότι τα βασικά δεδομένα ερπυσμού πάνω στα οποία βασίζονται αυτοί οι υπολογισμοί σπάνια θα είναι ακριβείς, και η ακρίβεια των υπολογισμών θα αντανakλά αυτή την ανακρίβεια. Στον Ευρωκώδικα 2, παράγρ. 2.5.5.1 δηλώνεται ότι η ακρίβεια των διαδικασιών για τον υπολογισμό των επιδράσεων του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης θα πρέπει να διέπονται απο:

- την αξιοπιστία των διαθέσιμων δεδομένων που περιγράφουν αυτά τα φαινόμενα και
- την σημασία των επιδράσεων στην θεωρούμενη το οριακή κατάσταση.

Γενικά ο ερπυσμός προσομοιώνεται με ένα από δύο τρόπους : από την μια μεριά μπορεί να προσομοιωθεί σαν το προϊόν δύο συναρτήσεων οι οποίες αντιπροσωπεύουν την ηλικία της φόρτισης και την διάρκεια της φόρτισης(οι προτασεις του CEB-PIF του 1970 όπως και ο κανονισμός ACI του 1971 χρησιμοποιούν τέτοια διατύπωση). από την άλλη, η συνάρτηση ερπυσμού μπορεί να προσομοιωθεί σαν το άθροισμα ενός αριθμού συστατικών, στιγμιαίων και χρονικά εξαρτημένων, αναστρέψιμων και μη αναστρέψιμων. Αυτά τα συστατικά τυπικά είναι:

στιγμιαίο	- ελαστικό	(αναστρέψιμο)
χρονικά εξαρτώμενο	- διαφορική ελαστικότητα	(αναστρέψιμο)

Ενας επιπρόσθετος όρος - για τον αρχικό ερπυσμό - εισήχθη στον πρότυπο Κανονισμό του CEB-PIF [3].

Στην βιβλιογραφία συναντώνται διάφορες μέθοδοι:

1. Μέθοδος του Ενεργού Μέτρου (EM) (Faber 1927).
2. Μέθοδος του Ρυθμού του Ερπυσμού (RC) (Glanville 1930, Whitney 1932, Dischinger 1937).
3. Μέθοδος του Ρυθμού της Ροής (RF) (England και Illston 1965)
4. Βελτιωμένη Μέθοδος του Dischinger (ID) (Nielson 1970, Rusch, Jungwirth και Hilsdorf 1973)
5. Μέθοδος του πρότυπου Κανονισμού CEB/FIP 1978.

Για λεπτομερή συζήτηση αυτών και άλλων μεθόδων, θα πρέπει να γίνει αναφορά στην εξειδικευμένη βιβλιογραφία για τον ερπυσμό στο σκυρόδεμα.

Η προσέγγιση που παρουσιάζεται σε αυτή την διάλεξη βασίζεται στον Ευρωκώδικα 2

2.2.2.3 Ερπυσμός : Διατύπωση του Ευρωκώδικα 2

Αυτή η διατύπωση του ερπυσμού, που δίνεται στον Ευρωκώδικα 2[2], βασίζεται στην γραμμική θεωρία, η οποία επιτρέπει την υπέρθεση των παραμορφώσεων ερπυσμού λόγω τμημάτων τάσεων εφαρμοζόμενων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Οι προτάσεις για τον ερπυσμό που υπάρχουν σε αυτό το κείμενο σχετίζονται με το σκυρόδεμα το οποίο επιτρέπεται να σκληρύνεται κάτω από σταθερές συνθήκες περιβάλλοντος και το οποίο υπόκειται σε θλιπτική τάση που δεν υπερβαίνει 0, 4 fckj στην ηλικία j. Αυτό το όριο τάσης περιλαμβάνει τις τιμές που συναντώνται στην συντριπτική πλειοψηφία των κατασκευών από σκυρόδεμα κάτω από συνθήκες λειτουργίας.

Σε αυτό τον κανονισμό, η παραμόρφωση ερπυσμού περιγράφεται με όρους του συντελεστή ερπυσμού, όπως ήδη ορίστηκε στη παράγραφο 2.2.2.1 και η συνολική παραμόρφωση με όρους μιας συνάρτησης ερπυσμού. Ο συντελεστής ερπυσμού ανταποκρίνεται στην “κανονικοποιημένη” $\varphi_{28}(t, t_0)$ - τιμή που αναφέρθηκε προηγουμένως, η οποία για απλοποίηση, θα αναφέρεται απλά σαν $\varphi(t, t_0)$ στο υπόλοιπο αυτής της διάλεξης.

Στον Ευρωκώδικα 2[2] ο συντελεστής ερπυσμού εκφράζεται σαν προϊόν διαφόρων παραγόντων, λαμβάνοντας την μορφή:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0) \beta_c(t-t_0)$$

Η σημαντικότητα κάθε παράγοντα συνοψίζεται παρακάτω:

Παράγων Λαμβάνει υπόψη την:

φ_{RH} σχετική υγρασία του περιβάλλοντος χώρου

$\beta (f_{cm})$ αντοχή του σκυροδέματος

$\beta(t_0)$ ηλικία της φόρτισης

$\beta_c(t-t_0)$ ανάπτυξη του ερπυσμού με το χρόνο, μετά την φόρτιση

Η συνολική παραμόρφωση την χρονική στιγμή t λόγω μιας τάσης σ εφαρμοζόμενης την χρονική στιγμή δίνεται απο:

$$\varepsilon_{tot}(t, t_0)$$

ή στην πιο γενική περίπτωση:

$$\varepsilon_{tot}(t, t_0) = \varepsilon_n(t) + \sigma_0 \varphi(t, t_0) + \sum \sigma \Delta(t_i) \varphi(t, t_i)$$

Σε αυτή την έκφραση:

$\varepsilon_n(t)$ σημαίνει μια επιβαλλόμενη παραμόρφωση ανεξάρτητη από τις τάσεις π.χ. συστολής ξήρανσης ή τις επιδράσεις της θερμοκρασίας.

$\sigma \Delta(t_i)$ σημαίνει μεταβολές της τάσης που εφαρμόζονται την χρονική στιγμή t_i , μετά από την t_0 .

Αυτό μερικές φορές εκφράζεται σε μια διαφορετική μορφή, συμπεριλαμβάνοντας ένα συντελεστή ηλικίας, χ :

$$\varepsilon_{tot}(t, t_0) = \varepsilon_n(t) + \sigma(t_0) \varphi(t, t_0) + (\sigma(t_0) - \sigma(t_0)) (1/E_c(t_0) + \chi \varphi(t, t_0)/E_{c28}$$

όπου η τιμή του συντελεστή ηλικίας, χ , εξαρτάται από την ανάπτυξη της παραμόρφωσης με τον χρόνο. Σε πολλές περιπτώσεις αυτή η τιμή μπορεί να ληφθεί σαν 0,8.

Αν οι τάσεις στο σκυρόδεμα διαφέρουν πολύ λίγο, οι παραμορφώσεις μπορούν να υπολογισθούν χρησιμοποιώντας ένα ενεργό μέτρο ελαστικότητας :

$$E_{c, eff} = E_c(t_0)/(1+\varphi(t_0))$$

για το οποίο οι τιμές του φ μπορεί να ληφθούν από τον πίνακα 1.

Από αυτό τον πίνακα μπορεί να δει κανείς ότι ο ερπυσμός είναι ουσιαστικά μεγαλύτερος για ξηρές ατμοσφαιρικές συνθήκες και για την πολύ μικρή ηλικία φόρτισης.

2.3 Συστολή ξήρανσης

Η συστολή ξήρανσης είναι η "συστολή" που λαμβάνει χώρο στο σκυρόδεμα - ξεχωριστά από τις επιδράσεις της εξωτερικής φόρτισης ή τις αλλαγές στην περιβάλλουσα θερμοκρασία - ενώ η σκλήρυνση βρίσκεται σε πρόοδο. Η παραμόρφωση που οφείλεται στην συστολή ξήρανσης, . . . , η οποία αναπτύσσεται σε ένα χρονικό διάστημα $(t-t_0)$ δίνεται στον Ευρωκώδικα 2[2] από την ακόλουθη έκφραση :

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_s(f_{cm}) \beta_{RH} \beta_s(t-t_s)$$

στην οποία οι παράγοντες έχουν την ακόλουθη σημασία :

Παράγων	Να ληφθεί υπόψη η επίδραση :
$\beta(f_{cm})$	της αντοχή σκυροδέματος
β_{RH}	οι περιβαλλοντικές συνθήκες
$\beta_s(t-t_s)$	η ανάπτυξη της συστολής ξήρανσης με το χρόνο

Αναφορά πρέπει να γίνει στον Ευρωκώδικα 2 για τις τιμές αυτών των παραμέτρων. Οπου ικανοποιεί μια λιγότερη ακριβής εκτίμηση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές του πίνακα 2.

2.4 Μέθοδοι Ανάλυσης για Ερπυσμό και Συστολή Ξήρανσης

Οι θεωρίες του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης, όπως αναπτύχθηκαν για το οπλισμένο σκυρόδεμα, απαιτούν προσαρμογή προτού εφαρμοστούν σε μια σύμμικτη δοκό. Αυτό συμβαίνει λόγω της ουσιαστικής επίδρασης που έχει η χαλύβδινη δοκός στην συμπεριφορά της διατομής. Η διαφορά στις επιδράσεις του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης σε μια απλή μη αρχικώς στηριζόμενη δοκό φαίνεται στο Σχήμα 3 με όρους ενός τροποποιημένου μέτρου αναλογίας.

Το Σχήμα 4 παριστάνει τις επιδράσεις της συστολής ξήρανσης σε μια σύμμικτη δοκό. Το πέλμα του σκυροδέματος συστέλλεται αρχικά ελεύθερα, μη έχοντας κανένα περιορισμό από την χαλύβδινη δοκό (Σχήμα 4α). Μια εφελκυστική δύναμη N εφαρμόζεται τότε στο πέλμα Του σκυροδέματος για να την επαναφέρει στο αρχικό της μήκος. Η τιμή αυτής της δύναμης είναι:

$$N_{SH} = A_c E_c \varepsilon_{cs}(t, t_0)$$

Υποθέτοντας ότι οι τάσεις βρίσκονται στην ελαστική περιοχή, η τάση στο σκυρόδεμα είναι τότε:

$$\Sigma_c = N_{SH} / A_c$$

και στην δομική χαλύβδινη διατομή:

$$\sigma_s = 0$$

Σε αυτό το στάδιο η σύμμικτη σύνδεση μεταξύ της χαλύβδινης δοκού και του πέλματος του σκυροδέματος θεωρείται ότι έρχεται σε επίδραση, εμποδίζοντας την σχετική μετακίνηση (ολίσθηση) στην διεπιφάνεια. Η ισορροπία επιτυγχάνεται με την ισορρόπηση της εφελκυστικής δύναμης με μια ίση και αντίθετη θλιπτική δύναμη, - N εφαρμοζόμενη στην σύμμικτη διατομή. Αυτό δημιουργεί μια καμπτική ροπή $M_{SJ} = N_{SH} a_{SH}$ περί το κέντρο βάρους της σύμμικτης διατομής. Οι προκύπτουσες τάσεις φαίνονται στο Σχήμα 4β.

Όπως επηρεάζονται από την παρουσία της χαλύβδινης δοκού, οι επιδράσεις της συστολής ξήρανσης σε σύμμικτα μέλη μεταβάλλονται από τον ερπυσμό. Εξ αυτού και οι διαφορετικοί λόγοι των μέτρων ελαστικότητας του Σχήματος 3 για συστολή ξήρανσης και ερπυσμό. Η βάση για την προσαρμογή του λόγου των μέτρων ελαστικότητας είναι έξω από τον σκοπό αυτής της διάλεξης. Για περαιτέρω εξήγηση πρέπει να γίνει αναφορά σε εξειδικευμένη βιβλιογραφία για τον ερπυσμό στο σκυροδέμα. Για απλότητα, προσαρμοσμένες τιμές του για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων της διατομής - για χρήση στον προσδιορισμό των επιδράσεων του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης - δίνονται στον πίνακα 3.

3. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ: ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

Η Διάλεξη 10.5.1 εισήγαγε την ιδέα της ρηγμάτωσης στα στοιχεία ωπλισμένου σκυροδέματος. περαιτέρω λεπτομέρειες δίνονται τώρα στις προσεγγίσεις υπολογισμού του Ευρωκώδικα 2[2] της “θεωρούμενης προς ικανοποίηση” και του υπολογισμού του πλάτους των ρωγμών.

Η ρηγμάτωση στο ωπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να είναι μερικής ή ολικής διάρρηξης, εξαρτώμενη από την φύση της κατανομής της τάσης κατά μήκος της διατομής, όπως φαίνεται ενδεικτικά στο Σχήμα 5. Οι δύο περιπτώσεις που παρουσιάζονται - ανταποκρινόμενες σε καμπτική και αξονική φόρτιση - οδηγούν σε σημαντικά διαφορετικές τάσεις στο χάλυβα οπλισμού στην εμφάνιση της ρηγμάτωσης. Είναι σημαντικό να μη φθάσει ο χάλυβας οπλισμού στην διαρροή σε κάποιο αρχικό στάδιο ανάπτυξης της ρηγμάτωσης (Σχήμα 6). Αυτή η συνθήκη αποφεύγεται με τον ορισμό του ελάχιστου ποσοστού ωπλισμού που είναι αναγκαίο για την πρόληψη μιας ξαφνικής μετάβασης στην διαρροή. Αυτό το ποσοστό διαφέρει εξαρτώμενο από την κατανομή των τάσεων στο σκυρόδεμα κατά την ρηγμάτωση.

Το Σχήμα 7 δείχνει αρκετές περιπτώσεις ρηγμάτωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Υπάρχει μια τοπική απώλεια συνάφειας μεταξύ του σκυροδέματος και του χάλυβα στην περιοχή της ρωγμής. Η ράβδος οπλισμού εξασκεί μια περιοριστική επίδραση στο πλάτος της ρωγμής. Το πλάτος της ρωγμής στην επιφάνεια είναι μεγαλύτερο από αυτό στην ράβδο. Ομοίως, το πλάτος της ρωγμής στην επιφάνεια στο μεσοδιάστημα μεταξύ δύο ράβδων θα είναι μεγαλύτερο από αυτό της επιφάνειας της γειτονικής της ράβδου. Το μέγιστο πλάτος επιφανειακής ρωγμής είναι σημαντικό από την άποψη της εμφάνισης, ενώ η τιμή που επηρεάζει την ανθεκτικότητα - μέσω εισόδου της υγρασίας στον οπλισμό - είναι το πλάτος της ρωγμής που είναι γειτονικό στην ράβδο.

Το Σχήμα 8 δείχνει τις τάσεις που σχετίζονται με την ρηγμάτωση σε ένα αξονικά φορτιζόμενο μέλος. Η μόρφωση της πρώτης ρωγμής συνοδεύεται από μια πλήρη μεταφορά φορτίου από το σκυρόδεμα στον οπλισμό στην ρωγμή, με συνέπεια απώλεια της συνάφειας. Υπάρχει μια μεταβατική περιοχή και στις δύο πλευρές της ρωγμής μέσα στις οποίες λόγω της συνάφειας, βαθμιαία επανέρχεται το αρχικό καθεστώς τάσης. Τα χαρακτηριστικά συνάφειας των υλικών ορίζουν την θέση των επόμενων ρωγμών σε σχέση με την αρχική. Η δεύτερη ρωγμή είναι απίθανο να συμβεί μέσα στην μεταβατική περιοχή λόγω των χαμηλότερων τάσεων σκυροδέματος που εφαρμόζονται εκεί. Θα σχηματισθεί σε ένα λίγο αυξημένο φορτίο, και θα δημιουργήσει κατανομές τάσεων του τύπου που φαίνεται στο Σχήμα 8β.

Ενα από τα αποτελέσματα της ρηγμάτωσης είναι να εξουδετερώνει τις παραμένουσες τάσεις λόγω της συστολής ξήρανσης.

Η επίδραση του αρχικής και της ακολουθούμενης ρηγμάτωσης στην ακαμψία της σύμμικτης διατομής φαίνεται στο Σχήμα 9. Αυτή παριστά την επίδραση την εφελκυστική ακαμψία του σκυροδέματος στην εφελκυσόμενη ζώνη. Μια συνέπεια αυτής είναι ότι η εφελκυστική δύναμη πέλματος είναι υψηλότερη από την τιμή που προκύπτει με την χρήση των ιδιοτήτων της ρηγματωμένης διατομής, οι οποίες υπολογίζονται από την υπόθεση ότι το σκυρόδεμα μένει ανεπηρέαστο σε εφελκυσμό.

Η αρνητική ροπή, M , που ενεργεί στην σύμμικτη διατομή μπορεί να χωρισθεί σε μια καμπτική ροπή, M_a που ενεργεί στην χαλύβδινη διατομή, μαζί με ένα ζεύγος που διαμορφώνεται από αξονικές δυνάμεις, N_a και N_s , που ενεργούν μέσω του κέντρου βάρους της χαλύβδινης διατομής (θλίψη) και του πέλματος του σκυροδέματος (εφελκυσμός), βλέπε Σχήμα 9. Είναι σύνηθες να αγνοείται η μικρή καμπτική ροπή που συνεισφέρεται από το πέλμα σκυροδέματος στην γενική ισορροπία της διατομής. Αν η απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους της χαλύβδινης διατομής και του πέλματος του σκυροδέματος είναι a , τότε η ισορροπία της διατομής μπορεί να εκφρασθεί όπως ακολούθως:

$$M = M_a + N_a a$$

Η απόκριση της διατομής αρχικά κυριαρχείται από την ακαμψία της αρηγμάτωτης διατομής, που υποδεικνύεται από την γραμμή I του σχήματος 9, και η εφελκυστική δύναμη στο σκυρόδεμα αυξάνεται γραμμικά με το M μέχρι την έναρξη της ρηγμάτωσης. Η απώλεια της ακαμψίας στο πέλμα σκυροδέματος, που είναι αποτέλεσμα της ρηγμάτωσης, εμφανίζει σε μια αυξανόμενη στροφή (AB στο Σχήμα 9c) και μια ανακατανομή των δυνάμεων μέσα στην σύμμικτη διατομή. Η καμπτική ροπή στην χαλύβδινη διατομή, M_a αυξάνεται και η N_s μειώνεται ανάλογα (AB στο Σχήμα 91». Καθώς η ολική ροπή, M , αυξάνεται επιπλέον, η τιμή της N_s αυξάνεται ξανά (BC στο Σχήμα 9b και 9c) μέχρι εκείνη την στιγμή που η τάση ρηγμάτωσης επιτυγχάνεται ακόμα μια φορά στο πέλμα σκυροδέματος, και εμφανίζεται μια περαιτέρω ανακατανομή.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, χωρίς σημαντική αύξηση στην εφελκυστική δύναμη πέλματος, και με προοδευτική μείωση την ενεργούς ακαμψίας της διατομής, μέχρι να σταθεροποιηθεί η ρηγμάτωση. Αυτό καλείται φάση του σχηματισμού της αρχικής ρωγμής. Χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι η δύναμη του πέλματος του σκυροδέματος, N δεν υπερβαίνει την εφελκυστική αντίσταση της διατομής. Η φάση που ακολουθεί δείχνει μια αύξηση ακόμα μια φορά της N_s με αυξανόμενη εφαρμοζόμενη ροπή M . Αυτή η φάση, παρόλα αυτά, εμφανίζει τον ρόλο της “εφελκυστικής ακαμψίας” του σκυροδέματος, παρά την ρηγμάτωση. Η σύμμικτη διατομή εμφανίζει μεγαλύτερη ακαμψία, μέχρι την οριακή ροπή, από αυτή που θα προβλέπετο από υπολογισμό βασισμένο στο ότι το σκυρόδεμα είναι ανενεργό σε εφελκυσμό (γραμμή II στο Σχήμα 9). Οι συνέπειες αυτής της μεγαλύτερης ακαμψίας είναι μειωμένη στροφή της διατομής και μεγαλύτερη δύναμη, N στο πέλμα σκυροδέματος.

Ο Ευρωκώδικας 2 παρέχει δύο προσεγγίσεις στον έλεγχο ρωγμής:

1. Μια έμμεση (ή «θεωρούμενη προς ικανοποίηση») προσέγγιση, απαιτούμενη την ικανοποίηση των κανόνων των σχετικών με το μέγεθος της ράβδου ή της απόστασης των ράβδων.
2. Μια άμεση προσέγγιση, που απαιτεί τον υπολογισμό των πλατών των ρωγμών, για σύγκριση με τις οριακές τιμές.

Σε κάθε περίπτωση ένα συγκεκριμένο ελάχιστο ποσοστό οπλισμού πρέπει να παρέχεται για να περιορισθούν οι παραμορφώσεις.

3.1 Θεωρούμενη προς Ικανοποίηση προσέγγιση

3.1.1 Γενικά

Αυτό το τμήμα δίνει περαιτέρω λεπτομέρειες για τα ελάχιστα εμβαδά οπλισμού που προσδιορίζονται στην Διάλεξη 10.5.1 (Πίνακες 5 και 6) τα οποία απαιτούνται για να ανθίστανται την τάση που εμφανίζεται από περιορισμένες παραμορφώσεις.

3.1.2 Ελάχιστα Εμβαδά Οπλισμού

Οι συντελεστές που επηρεάζουν τα εμβαδά ελάχιστου οπλισμού και απαιτούνται από τον Ευρωκώδικα 2 είναι όπως ακολούθως:

a. Η φύση των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων οι οποίες περιορίζονται.

Χωρίζονται σε κατηγορίες ως εξής:

- i. ενδογενείς παραμορφώσεις - οι οποίες οφείλονται σε αλλαγές διαστάσεων στο μέλος - για παράδειγμα, αυτές που εμφανίζονται από την συστολή ξήρανσης.
- ii. εξωγενείς παραμορφώσεις - οι οποίες επιβάλλονται εξωτερικά - για παράδειγμα υποχωρήσεις στήριξης.

b. Ο τύπος της κατανομής τάσης μέσα στο μέλος κατά την έναρξη της ρηγμάτωσης. Η κατανομή μπορεί να χωρισθεί ότι οφείλεται σε κατηγορίες λόγω:

- i. κάμψης - αποτέλεσμα μιας τριγωνικής κατανομής τάσης με κάποιο μέρος της διατομής να παραμένει σε θλίψη.
- ii. εφελκυσμού - με όλη την διατομή να υπόκειται σε εφελκυστική τάση.

Το απαιτούμενο ελάχιστο εμβαδόν οπλισμού υπολογίζεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$A_s = k_c k_{ct} e f A_{ct} / \sigma_s$$

όπου

A_s είναι το εμβαδόν του οπλισμού μέσα στην εφελκυσόμενη ζώνη.

A_{ct} είναι το εμβαδόν του σκυροδέματος μέσα στην εφελκυσόμενη ζώνη. Η εφελκυσόμενη ζώνη είναι εκείνο το τμήμα της διατομής που υπολογίζεται ότι βρίσκεται σε εφελκυσμό μόλις πριν τον σχηματισμό της πρώτης ρωγμής.

σ_s είναι η μέγιστη τάση που επιτρέπεται στον οπλισμό αμέσως μετά τον σχηματισμό της πρώτης ρωγμής. Αυτή μπορεί να ληφθεί σαν το 100% της τάσης διαρροής του οπλισμού, f_{yk} . Μια χαμηλότερη τιμή μπορεί, παρόλα αυτά, να χρειασθεί για να ικανοποιεί τα όρια του πλάτους ρωγμής (βλέπε πίνακα 5 καιό, Διάλεξη 10.5.1)

$f_{ct,ef}$ είναι η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος ενεργή την χρονική στιγμή που αναμένονται να εμφανιστούν κατά πρώτον οι ρωγμές. Μια ελάχιστη τιμή προτείνεται στον Ευρωκώδικα 2 και είναι 3N/mm^2 [2].

k_c είναι ένας συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη τον τύπο της κατανομής της τάσης που εμφανίζεται μέσα στην διατομή αμέσως πριν την ρηγμάτωση. Η κατανομή της τάσης είναι εκείνη που είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των επιδράσεων της φόρτισης και των περιορισμένων αξονικών παραμορφώσεων. Οι τιμές του k_c είναι:

$$k_c = 1,0 \text{ για καθαρό εφελκυσμό}$$

$$k_c = 0,4 \text{ για κάμψη χωρίς κανονική θλιπτική δύναμη.}$$

Στον πίνακα 5 της Διάλεξης 10.5.1, οι τιμές για τους ελάχιστους λόγους οπλισμού (A_s/A_{ct}) που απαιτούνται για τον έλεγχο της ρηγμάτωσης που εμφανίζεται από περιορισμό των επιβαλλομένων παραμορφώσεων, για διάφορα επίπεδα τάσης.

3.2 Αμεσος Υπολογισμός των πλατών ρωγμής

3.2.1 Ρηγμάτωση : Σχεδιασμός Οριακής Κατάστασης

Για τον σχεδιασμό οριακής κατάστασης, η ρηγμάτωση στο ωπλισμένο σκυρόδεμα περιγράφεται γενικά με αναφορά σε ένα περιορισμένο πλάτος ρωγμής. Σε μια ικανοποιητική κατασκευή, θα πρέπει να αναμένεται ότι ένας μικρός αριθμός ρωγμών θα υπερβεί αυτή την τιμή αναφοράς κάτω από την μέγιστη φόρτιση. Η οριακή τιμή ορίζεται με αναφορά στις συνθήκες περιβάλλοντος, και στις απαιτήσεις της ανθεκτικότητας και της εμφάνισης. Με ορισμένες κατασκευές, θα υπάρχει απαίτηση να ικανοποιηθεί πρόσθετη απόδοση - όπως η υδατοστεγανότητα - η οποία θα ορίζει το πλάτος ρωγμής αναφοράς που θα χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό.

3.2.2 Μέγιστα πλάτη ρωγμών σχεδιασμού : όρια

Τα όρια πλάτους ρωγμής για το ωπλισμένο σκυρόδεμα στον Ευρωκώδικα 2 ορίζονται αναφορικά με τις κλάσεις του πίνακα 4. 1 του Μέρους I του Ευρωκώδικα 2, και σχετίζονται σε ένα οιονεί μόνιμο συνδυασμό φορτίσεων[2].

Για τις κλάσεις περιβάλλοντος 2 μέχρι 4, μπορεί να υποτεθεί ότι το όριο του μέγιστου πλάτους ρωγμής σχεδιασμού είναι 0.3mm και είναι γενικά ικανοποιητικό για μέλη ωπλισμένου σκυροδέματος σε κτίρια, με εκτίμηση και στην εμφάνιση και στην ανθεκτικότητα. Οπου επικρατούν ξηρές συνθήκες περιβάλλοντος (κλάση περιβάλλοντος 1), το μέγιστο πλάτος σχεδιασμού ρωγμής δεν επηρεάζει την ανθεκτικότητα, και ο παραπάνω περιορισμός μπορεί να αμεληθεί αν αυτό είναι αποδεκτό από ορατούς λόγους.

3.2.3 Υπολογισμοί πλάτους ρωγμής

Το πλάτος ρωγμής σχεδιασμού μπορεί να ληφθεί απο:

$$w_k = \beta s_{rm} \varepsilon_{sm}$$

όπου

w_k είναι το πλάτος ρωγμής σχεδιασμού.

s_{rm} είναι το μέσο τελικό διάστημα ρωγμής.

ε_{sm} είναι η μέση παραμόρφωση κατά από τον σχετικό συνδυασμό φορτίων, λαμβάνοντας υπόψη τις επιδράσεις της εφελκυστικής ακαμψίας, της συστολής ξήρανσης κ.λ.π.

β είναι ένας συντελεστής που σχετίζεται με το μέσο πλάτος ρωγμής προς την τιμή σχεδιασμού.

Η τιμή του β είναι όπως ακολούθως:

- $\beta = 1,7$ για φορτίο που δημιουργεί ρηγμάτωση, ή για περιορισμένη ρηγμάτωση σε διατομές με ελάχιστη διάσταση μεγαλύτερη των 800mm.
- $\beta = 1,3$ για περιορισμένη ρηγμάτωση σε διατομές με ελάχιστη διάσταση 300mm ή λιγότερο.

Για ρηγμάτωση λόγω περιορισμού σε διατομές ενδιάμεσου μεγέθους, οι Τιμές του β μπορεί να προκύψουν με παρεμβολή.

ε_{sm} μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση:

$$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2)$$

όπου

σ_s είναι η τάση στον εφελκυσμένο οπλισμό, υπολογισμένη με βάση την ρηγματωμένη διατομή, για την θεωρούμενη συνθήκη φόρτισης.

σ_{sr} είναι η τάση στον εφελκυσμένο οπλισμό, υπολογισμένη με βάση την ρηγματωμένη διατομή, για συνθήκη φόρτισης που δημιουργεί την πρώτη ρηγμάτωση.

β_1 είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τις ιδιότητες συνάφειας των ράβδων. Οι τιμές του β_1 είναι:

$\beta_1 = 1,0$ για ράβδους υψηλής συνάφειας

$\beta_1 = 0,5$ για λείες ράβδους

β_2 είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την διάρκεια ή την επανάληψη της φόρτισης. Οι τιμές του β είναι:

$$\beta_2 = 1,0 \text{ για απλή, βραχυχρόνια φόρτιση}$$

$$\beta_2 = 0,5 \text{ για μόνιμο φορτίο, ή για πολλούς κύκλους}$$

επαναλαμβανόμενου φορτίου.

Η μέση τελική απόσταση ρωγμής για μέλη υποκείμενα κυρίως σε κάμψη ή εφελκυσμό, το s_{rm} , μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση:

$$s_{rm} = 50 + 0,25 k_1 k_2 \phi / \rho_r$$

ϕ είναι το μέγεθος της ράβδου σε mm.

k_1 είναι ένας συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη τις ιδιότητες συνάφειας της ράβδου. Τιμές του k_1 είναι:

$$k_1 = 0,8 \text{ για ράβδους υψηλής συνάφειας}$$

$$k_1 = 1,6 \text{ για λείες ράβδους}$$

k_2 είναι ένας συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη την μορφή της κατανομής της παραμόρφωσης. Τιμές του k_2 είναι:

$$k_2 = 0,8 \text{ για καθαρή κάμψη}$$

$$k_2 = 1,6 \text{ για καθαρό εφελκυσμό}$$

Ο Ευρωκώδικας 2 παρέχει μια μέθοδο για τον υπολογισμό των ενδιάμεσων τιμών του k_2 , για χρήση στις περιπτώσεις έκκεντρου εφελκυσμού ή για τοπικές περιοχές[2].

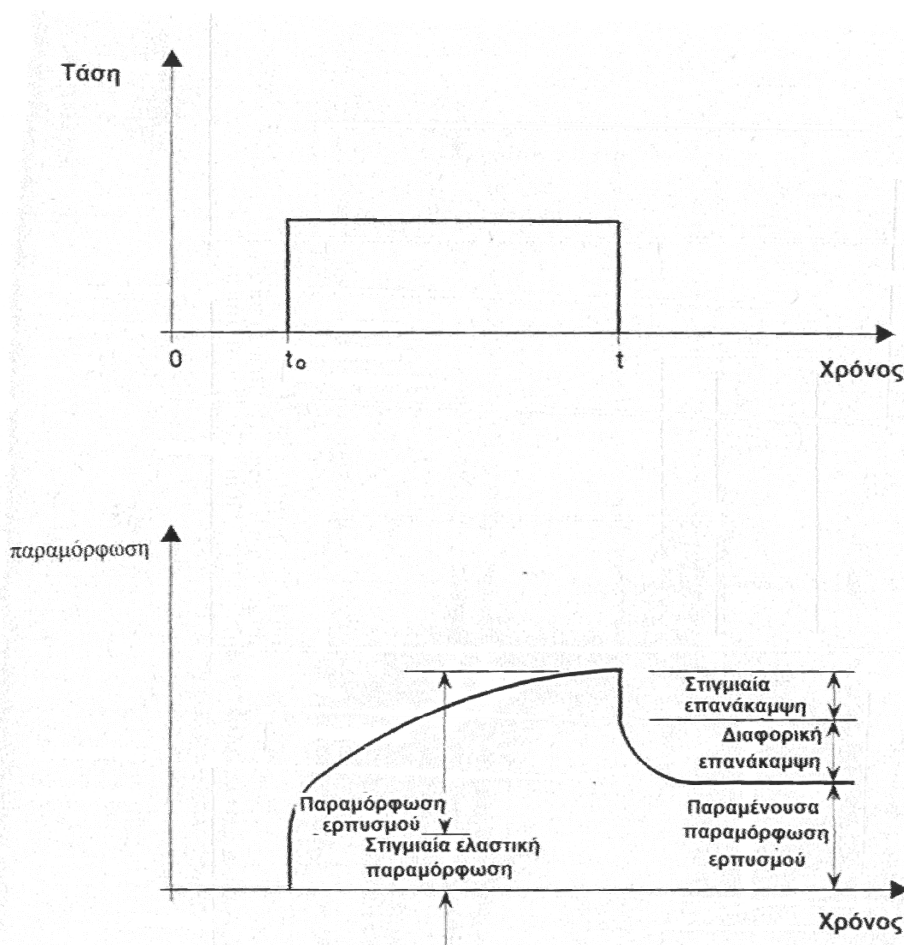
ρ_r είναι ο λόγος ενεργού οπλισμού, $A_s/A_{c,ef}$, όπου

A_s είναι το εμβαδόν του οπλισμού που περιέχεται μέσα στην ενεργό περιοχή εφελκυσμού, $A_{c,ef}$.

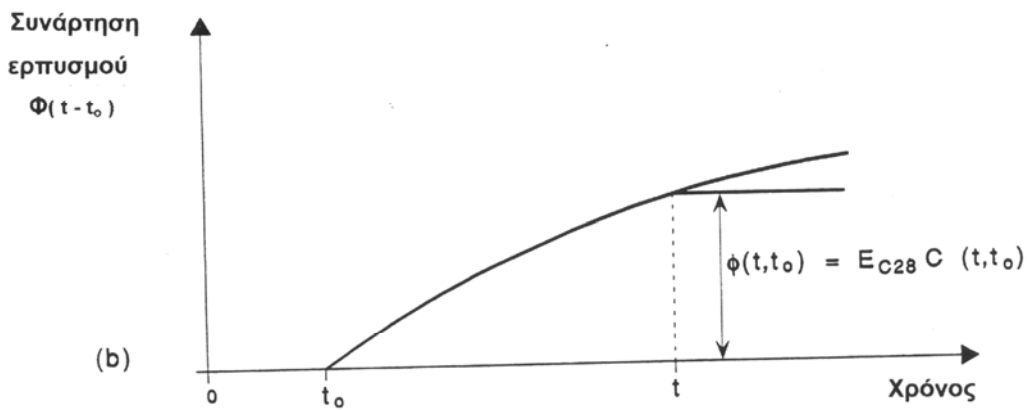
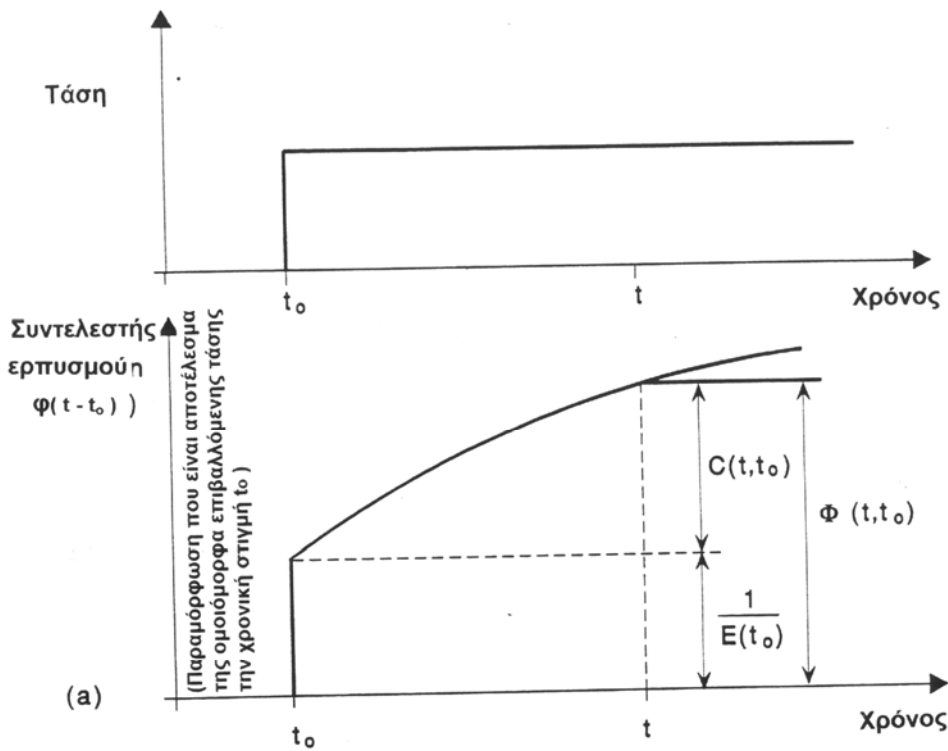
$A_{c,ef}$ είναι γενικά η επιφάνεια του σκυροδέματος που περιβάλλει τον οπλισμό εφελκυσμού, βάθους ίσου με 2,5 φορές την απόσταση από την επιφάνεια εφελκυσμού της διατομής μέχρι το κέντρο βαρους του οπλισμού (Σχήμα 10) Για πλάκες, όπου το βάθος της ζώνης εφελκυσμού μπορεί να είναι μικρό, το ύψος της ενεργού επιφανείας δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερο από $(h-x)/3$ όπου h είναι το ολικό βάθος της διατομής σκυροδέματος και x είναι το βάθος μέχρι τον ουδέτερο άξονα, μετρούμενο από την επιφάνεια.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Περιγράφεται η ανάπτυξη ρωγμής σ από σκυρόδεμα σύμμικτης δοκού.
2. Εκτίθεται η επιρροή του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης στον υπολογισμό του πλάτους ρωγμής.
3. Θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται η επίδραση της εφελκυστικής ακαμψίας του ωπλισμένου σκυροδέ στον σχεδιασμό.
4. Ο σχεδιασμός για τον έλεγχο της ρωγμής μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας είτε “θεωρούμενες προς κ” είτε “άμεσες” μεθόδους.



ΣΧΗΜΑ 1a Ερπυσμός και επανάκαμψη : σταθερή τάση επιβαλλόμενη για περίοδο $(t - t_0)$



ΣΧΗΜΑ 2 Συνάρτηση ερπυσμού $\Phi(t - t_0)$ και συντελεστής ερπυσμού $\varphi(t - t_0)$



ESDEP WG 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.6.1 : Διατμητική Σύνδεση 1

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ / ΣΚΟΠΟΣ

Να περιγραφούν οι τύποι και η συμπεριφορά των διατμητικών συνδέσμων και να εξηγηθεί η μεταφορά φορτίου μεταξύ της πλάκας σκυροδέματος και της χαλύβδινης διατομής.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 10.2 : Συμπεριφορά των Δοκών

Διάλεξη 10.3 : Αμφιέριστες Δοκοί

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 10.4.1: Συνεχείς Δοκοί I

Διαλέξεις 10.5 : Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα

Διάλεξη 10.6: Διατμητική Σύνδεση II και 111

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Επαναεξετάζονται οι δυνάμεις σε μια τυπική σύμμικτη δοκό και περιγράφεται η δράση τους στους συνδέσμους. Αρκετές βασικές μορφές συνδέσμων εισάγονται και στη συνέχεια η διάλεξη επικεντρώνεται στον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο από αυτούς -τον συγκολλητό διατμητικό ήλο. Θα καλυφθούν οι τιμές σχεδιασμού για την οριακή αντοχή καθώς και η πειραματική εκτίμηση τους μαζί με δοκιμές ελέγχου της συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται για να διασφαλίσουν τον έλεγχο ποιότητας. Η πλήρης σύνδεση εξηγείται μαζί με την χρήση των μειώσεων της αντοχής συνδέσμου χρησιμοποιώντας διαγράμματα αλληλεπίδρασης της ροπής. Συζητείται η χρήση των ομοιόμορφα τοποθετημένων συνδέσμων και η χρήση της δια μέσου της συγκόλλησης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αυτή η διάλεξη ασχολείται με τον τρόπο που μεταδίδονται οι δυνάμεις μεταξύ της πλάκας σκυροδέματος και της χαλύβδινης διατομής σε σύμμικτες δοκούς. Συζητώνται οι δυνάμεις μαζί με τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τύπους διαφόρων συνδέσμων. Η πιο συνηθισμένη μορφή σύνδεσμου - ο συγκολλητός διατμητικός ήλος - περιγράφεται λεπτομερώς και συγκρίνονται οι μέθοδοι πρόβλεψης της αντίστασης και της ακαμψίας του ήλου. Η αντίσταση, η ακαμψία και η απόσταση των συνδέσμων επηρεάζει την συμπεριφορά της δοκού και συζητώνται επίσης αυτές οι απόψεις. Καλύπτεται επίσης η χρήση δια μέσου συγκολλητών ήλων σε σύμμικτες πλάκες μαζί με εναλλακτικές λύσεις όπως εκτοξευόμενοι σύνδεσμοι ή προεντεταμένοι κοχλίες υψηλής αντοχής.

1.1 Οι Δυνάμεις που Εφαρμόζονται στους Σύνδεσμους

Στις προηγούμενες διαλέξεις έχει υποτεθεί ότι το σκυρόδεμα και ο χάλυβας ήταν πλήρως συνδεδεμένα (πλήρης σύνδεση). Αν δεν υπάρχει σύνδεση τότε η πλάκα σκυροδέματος και η χαλύβδινη διατομή ολισθαίνουν σχετικά η μια με την άλλη και οι τάσεις εκ κάμψης στην διατομή φαίνονται στο Σχήμα 1a. Αν η διαμήκης διατμητική αντίσταση παρέχεται από κάποια μορφή σύνδεσης, έτσι ώστε οι τάσεις στην διεπιφάνεια των δύο υλικών να συμπίπτουν, τότε η δοκός δρά σαν πλήρης σύμμικτη διατομή. Αν υποτεθεί ότι η πλήρως συνδεδεμένη σύμμικτη δοκός δρά με ελαστικό τρόπο τότε η διατμητική ροή (διατμητική δύναμη ανα μονάδα μήκους) μεταξύ της πλάκας σκυροδέματος και της χαλύβδινης διατομής μπορεί να υπολογιστεί απο:

$$T = VS / I \quad (1)$$

όπου

V είναι η εφαρμοζόμενη τέμνουσα δύναμη στο θεωρούμενο σημείο.

I είναι η ροπή αδρανείας της διατομής.

S είναι η στατική ροπή είτε της πλάκας σκυροδέματος είτε της χαλύβδινης διατομής περί τον ελαστικό ουδέτερο άξονα.

Το Σχήμα 1 δείχνει επίσης την ελαστική διατμητική τάση που αναπτύσσεται στην διατομή για τις συνθήκες και της πλήρους και της μηδενικής σύνδεσης.

Μπορεί κανείς να δει, από την παραπάνω εξίσωση, ότι οι διαμήκεις διατμητικές δυνάμεις τις οποίες πρέπει να φέρει η σύνδεση θα διαφέρουν εξαρτώμενες από την παρουσία της τέμνουσας. Το Σχήμα 2 δείχνει την κατανομή της διαμήκους διάτμησης, κατά μήκος της διεπιφάνειας μεταξύ της χαλύβδινης διατομής και της πλάκας, για μια δοκό που έχει μια άκαμπτη πλήρη σύνδεση. Θα πρέπει να θυμόμαστε, παρόλα αυτά, ότι αυτό εφαρμόζεται μόνο όταν η δοκός υποτίθεται ότι συμπεριφέρεται με ελαστικό τρόπο. Καθώς προσεγγίζεται η οριακή ροπή αντοχής, η χαλύβδινη διατομή ή η πλάκα σκυροδέματος θα διαρρεύσει ή θα αστοχήσει και μια πλαστική άρθρωση θα διαμορφωθεί στην κρίσιμη διατομή. Οι τάσεις εκ κάμψης στην δοκό παριστάνονται ως διακεκομμένες γραμμές στο Σχήμα I. Η Κατανομή της διαμήκους διάτμησης στην δοκό επίσης αλλάζει και οι σύνδεσμοι πλησίον της άρθρωσης υπόκεινται σε υψηλότερα

φορτία. Η διακεκομμένη γραμμή, στο Σχήμα 2 δείχνει την πλαστική Κατανομή της διατμητικής δύναμης κατά μήκος μιας ομοιόμορφα φορτισμένης δοκού.

Στην πράξη, οι σύνδεσμοι δεν είναι ποτέ πλήρως άκαμπτοι, και υπάρχει πάντα κάποια ολίσθηση μεταξύ της πλάκας και της χαλύβδινης διατομής. Η ευκαμψία των συνδέσμων επιτρέπει περισσότερη ολκιμότητα και μια παραλλαγή στην Κατανομή της διαμήκους διάτμησης μεταξύ πλάκας και χαλύβδινης διατομής. Η διαμήκης διατμητική δύναμη που υπάρχει σε μια σύμμικτη δοκό με εύκαμπτη σύνδεση φαίνεται στο Σχήμα 2b.

Στο οριακό φορτίο, όταν έχει διαμορφωθεί η πλαστική άρθρωση, είναι πιθανό ότι οι ακραίοι σύνδεσμοι θα έχουν παραμορφωθεί κατά ένα υπολογίσιμο βαθμό και ακόμα θα αναμένεται να φέρουν ένα υψηλό διαμήκες διατμητικό φορτίο. Απο αυτό συνάγεται η απαίτηση ότι οι διατμητικοί σύνδεσμοι θα πρέπει να έχουν ουσιαστική ολκιμότητα για να συμπεριφέρονται ικανοποιητικά.

Κατά τον προσδιορισμό της αντίστασης της δοκού, υποτίθεται ότι όλοι οι σύνδεσμοι, ακόμα και όταν παραμορφώνονται, θα είναι ικανοί να ανθίστανται διαμήκη διατμητική δύναμη. Είναι αυτή η διατμητική αντίσταση των συνδέσμων που ορίζει την αντίσταση της δοκού. Αν παρέχονται ικανοποιητικοί σύνδεσμοι για να αντισταθούν στην διαμήκη διατμητική δύναμη που δημιουργείται όταν αναπτύσσεται η πλήρης πλαστική αντίσταση της δοκού, η δοκός λέγεται ότι είναι “πλήρως συνδεδεμένη”. Είναι επίσης δυνατόν, όπως περιγράφηκε στην Διάλεξη 10.2, να μειωθεί το ποσοστό της σύνδεσης έτσι ώστε η ροπή αντίστασης της δοκού να περιορίζεται ανάλογα. Αυτό είναι ένα Κριτήριο αντίστασης και οι δοκός λέγεται “μερικά συνδεδεμένη”.

Η ολίσθηση που συμβαίνει καθώς οι σύνδεσμοι παραμορφώνονται έχει μια βαθιά επίδραση στην ακαμψία της δοκού. πολύ άκαμπτοι αλλά ισχυροί σύνδεσμοι μπορεί να επιτρέψουν υψηλή καμπτική αντίσταση αλλά λόγω της ουσιαστικής ολίσθησης θα υπάρξει απώλεια της ακαμψίας. Η ακαμψία της σύνδεσης, σε σχέση με την ακαμψία της χαλύβδινης διατομής και της πλάκας σκυροδέματος, συχνά ορίζει την αλληλεπίδραση. Συνεπώς, σε μια δοκό όπου οι σύνδεσμοι είναι απείρως άκαμπτοι λέγεται ότι έχει “πλήρη αλληλεπίδραση” και μια όπου η σύνδεση είναι σχετικά εύκαμπτη λέγεται ότι έχει “μερική αλληλεπίδραση”.

Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αντοχή και η ακαμψία και του συνδέσμου και του σκυροδέματος θα επηρεάσουν την σύνδεση.

Η κύρια δύναμη που δρά στον σύνδεσμο είναι αυτοί της άμεσης διάτμησης. Η διατμητική δύναμη υποτίθεται γενικά ότι είναι μεγαλύτερη στο επίπεδο της συγκόλλησης μεταξύ της χαλύβδινης διατομής και του ίδιου του συνδέσμου.

Η επιφάνεια και η διατμητική αντοχή του συνδέσμου και της συγκόλλησης πρέπει, ως εκ τούτου, να είναι ικανή να φέρει τις προκαλούμενες δυνάμεις. Είναι απίθανο να συμβεί κάποια σημαντική παραμόρφωση λόγω αυτής της διάτμησης.

Παρόλα αυτά, συμβαίνει σχετική μετακίνηση μεταξύ της πλάκας και της χαλύβδινης διατομής. Τον μηχανισμό για αυτή την μετακίνηση μπορεί κανείς να τον δει στο Σχήμα 3. Το σκυρόδεμα μπορεί να σπάσει στην βάση του συνδέσμου επιτρέποντας κάποια

παραμόρφωση του ίδιου του συνδέσμου. παρόλα αυτά, στην κεφαλή του συνδέσμου το περιβάλλον σκυρόδεμα δεν εντείνεται τόσο πολύ και αυτό το μέρος του συνδέσμου παραμένει στην αρχική του θέση. Το αποτέλεσμα είναι καμπτική παραμόρφωση στον σύνδεσμο, που μπορεί να δούμε καθαρά στο Σχήμα 3. Οι μακρείς σύνδεσμοι είναι πιο πιθανόν να παραμορφώνονται σε αυτό το χαρακτηριστικό σχήμα “S” και ως εκ τούτου τείνουν να είναι όλκιμοι. Βραχείς σύνδεσμοι τείνουν να είναι ψαθυροί και ως εκ τούτου είναι ανεπιθύμητοι. Οι περισσότεροι κανονισμοί απαιτούν οι ηλωτοί σύνδεσμοι να είναι τουλάχιστον τρεις ή ακόμα καλύτερα τέσσερις φορές μακρύτεροι από την διάμετρό τους.

Η κύρια δύναμη που ανθίσταται από το σκυρόδεμα είναι η δύναμη άντυγας έναντι της άκρης του συνδέσμου. Έχει ήδη ειπωθεί ότι το σκυρόδεμα σε αυτή την περιοχή είναι πιθανόν να θραυσθεί επιτρέποντας εμφάνιση καμπτικής παραμόρφωσης στον σύνδεσμο.

Η φέρουσα αντίσταση του σκυροδέματος σε αυτή την περιοχή εξαρτάται από τον όγκο του όπως επίσης από την αντοχή και την ακαμψία. Στην πραγματικότητα, όπου υπάρχει αρκετό σκυρόδεμα γύρω από τον σύνδεσμο, η τάση άντυγας μπορεί να φθάσει αρκετές φορές την αντοχή θραύσης του σκυροδέματος.

Είναι επίσης πιθανόν να υπάρχει άμεσος εφελκυσμός στον σύνδεσμο. Οι διαφορετικές καμπτικές ακαμψίες της πλάκας και της χαλύβδινης διατομής, σε συνδυασμό με την παραμορφωμένη μορφή των συνδέσμων, δημιουργεί μια τάση στην πλάκα να αποχωριστεί από την χαλύβδινη διατομή. Είναι, ως εκ τούτου, συνηθισμένο για τους συνδέσμους να σχεδιάζονται για να ανθίστανται σε αυτή την εφελκυστική δύναμη.

Στις περισσότερες σύμμικτες δοκούς οι σύνδεσμοι τοποθετούνται κατά μήκος της χαλύβδινης διατομής και, ως εκ τούτου, παρέχουν αντίσταση σε διαμήκη διάτμηση μόνο τοπικά στο άνω πέλαμα. Η διαμήκης διατμητική δύναμη πρέπει λοιπόν να μεταφέρεται από την λεπτή χαλύβδινη διατομή στην αρκετά πλατύτερη πλάκα. Αυτή η μεταφορά επιτυγχάνεται συνήθως χρησιμοποιώντας οπλισμούς οι οποίοι διατρέχουν εγκάρσια την δοκό. Αυτές οι ράβδοι συνήθως τοποθετούνται κάτω από τη κεφαλή του ήλου και εκτείνονται μέσα στην πλάκα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.

Για να ανακεφαλαιώσουμε, η σύνδεση πρέπει να είναι ικανή να μεταφέρει άμεση διάτμηση στην βάση της, να ανθίσταται σε καμπτικές δυνάμεις και να δημιουργεί εφελκυστικό σύνδεσμο μέσα στο σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα πρέπει να έχει ικανοποιητικό όγκο γύρω από τον σύνδεσμο και να είναι ικανοποιητικής αντοχής για να επιτρέπει την αντίσταση σε υψηλή τάση άντυγας. Συχνά τοποθετείται οπλισμός για να διασφαλίσει την πλευρική κατανομή της διαμήκους διάτμησης.

1.2 Βασικές Μορφές Σύνδεσης

Οι αρχικές μορφές του διατμητικού συνδέσμου ήταν συγκολλητές, χρησιμοποιώντας συμβατική συγκόλληση τόξου. Διάφορες μορφές συγκολλητού συνδέσμου αυτού του τύπου δίνονται στο Σχήμα 4. Οι πιο συνηθείς τύποι είναι ο σύνδεσμος μορφής αγκίστρου και ο σύνδεσμος T οι οποίοι δείχνουν την πολυπλοκότητα της αναγκαίας μόρφωσης και διαδικασίας συγκόλλησης. Η ανάπτυξη της σύμμικτης δοκού έχει

οδηγήσει κατασκευαστές να αναπτύξουν πολύ απλές μορφές διατμητικού συνδέσμου όπως είναι ο Perfobond[1].

Παρόλη την πληθώρα των διαθέσιμων τύπων σύνδεσης, ο διατμητικός ήλος κεφαλής έχει σήμερα γίνει μια πρωτογενής μέθοδος σύνδεσης για σύμμικτες δοκούς. Ο ήλος κεφαλής μπορεί να συγκολληθεί στην χαλύβδινη διατομή με μια λειτουργία, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό ελεγχόμενο απο μικροσίπ. Αυτές οι μηχανές, λειτουργούν στις σημερινές συνθήκες μέχρι 2000amps επιτρέποντας να συγκολλούνται μέχρι 1000 ήλοι την μέρα. Τα πιο προχωρημένα μηχανήματα επιτρέπουν να συγκολλούνται ήλοι μέσω γαλβανισμένου χαλυβδόφυλλου. Αυτή η δυνατότητα έχει επιτρέψει την πλήρη εκμετάλλευση των Οικονομικών πλεονεκτημάτων των σύμμικτων δαπέδων. Το Σχήμα 5 δείχνει ένα τυπικό διατμητικό σύνδεσμο πριν και μετά την συγκόλληση και την ακολουθία του απαιτούμενου ρεύματος συγκόλλησης.

Τέτοια πολύπλοκη τεχνολογία συγκόλλησης έχει μειονεκτήματα όταν χρησιμοποιούνται στο εργοτάξιο. Η συγκόλληση απαιτεί οι δύο επιφάνειες να είναι καθαρές, χωρίς ρινίσματα και πάνω απο όλα χωρίς υγρασία. Αυτές οι συνθήκες είναι συχνά δύσκολο να επιτευχθούν ειδικά όταν οι ήλοι συγκολλούνται μέσω ενός γαλβανισμένου χαλυβδόφυλλου. Σε αυτή την περίπτωση, το ρεύμα συγκόλλησης διατηρείται για μια ικανοποιητική περίοδο για να κάψει τον ψευδάργυρο του γαλβανισμού, το οποίο σε άλλη περίπτωση θα δημιουργούσε ατελείς συγκολλήσεις. Η συγκόλληση ήλων 22mm μέσω καταστρώματος, απαιτεί επίσης προσοχή περισσότερο απο την 19mm ήλων. Μια εναλλακτική λύση στην μέσω του καταστρώματος συγκόλλησης είναι να δημιουργηθούν οπές στο χαλύβδινο κατάστρωμα και τότε συγκολλώνται άμεσα οι ήλοι στην χαλύβδινη διατομή. Μια πιο αξιόπιστη συγκόλληση επιτυγχάνεται με αυτό τον τρόπο αλλά η διαδικασία κατασκευής γίνεται πιο πολύπλοκη.

2. ΤΙΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ

Ο μηχανισμός του φέροντος φορτίου των διατμητικών ήλων συνδέσμων είναι πολύπλοκος και οι αναλυτικές μέθοδοι για την πρόβλεψη της διατμητικής αντίστασης δεν είναι εφαρμόσιμος. Αντ' αυτού η αντίσταση των συνδέσμων μπορεί να ορισθεί με την χρήση εμπειρικών τύπων ή απο πειράματα.

Οι εμπειρικοί τύποι σχετίζονται με την αντίσταση του ήλου και του σκυροδέματος. Η διατμητική αντίσταση σχεδιασμού δίνεται απο το μικρότερο των:

- διατμητική αντίσταση ήλου

$$P_{Rd} = 0,8 f_u (\pi d^2 / 4) / \gamma_v \quad (2)$$

όπου η διατμητική αντίσταση του συνδέσμου σχετίζεται με την εφελκυστική αντοχή του χάλυβα f_u χρησιμοποιώντας ενα συντελεστή 0, 8.

- αντίσταση σκυροδέματος

$$P_{Rd} = 0,29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm} \gamma_v} \quad (3)$$

όπου :

d είναι η διάμετρος κορμού του ήλου (όχι μεγαλύτερη των 22mm)

f_u είναι η συγκεκριμένη οριακή εφελκυστική αντοχή του υλικού του ήλου (όχι μεγαλύτερη των 500N/mm²)

f_{ck} είναι η χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου του σκυροδέματος στην θεωρούμενη ηλικία

E_{cm} είναι η μέση τιμή του τέμνοντος μέτρου του σκυροδέματος.

και το α δίνεται απο

- για $3 \leq h / d \leq 4$, $\alpha = 0.2 [(h/d) + 1]$

όπου h είναι το συνολικό ύψος του ήλου

- για $h/d > 4$, $d=1$

Ο μερικός συντελεστής ασφαλείας γ_v συνήθως λαμβάνεται σαν 1, 25.

Αντί της χρήσης της παραπάνω σχέσης ο μελετητής μπορεί να λάβει την αντίσταση του ήλου απο πειράματα. Τα πειράματα πλήρων δοκών είναι ακριβά και ένα πείραμα με προσομοίωμα γνωστό σαν πείραμα εξόλκησης είναι γνωστό. Αυτό το πείραμα φαίνεται στο Σχήμα 6 μαζί με τυπικά γραφήματα φορτίου έναντι ολίσθησης απο το πείραμα. Η αντίσταση είναι φυσικά εξαρτημένη απο την αντοχή κύβου σκυροδέματος και μειώνεται επίσης αν το σκυροδέμα έχει κατασκευαστεί απο συστατικά ελαφρού βάρους.

Οι διατμητικοί σύνδεσμοι φέρουν πολύ υψηλά φορτία και συνήθως κατασκευάζονται απο ράβδους εξολκυόμενου χάλυβα. Οι περισσότεροι κανονισμοί περιέχουν ιδιότητες του χάλυβα για διατμητικούς ήλους κεφαλής.

Πρόσθετα με μια υψηλή τιμή διαρροής οι ήλοι πρέπει να είναι όλκιμοι και συχνά προσδιορίζεται μια ελάχιστη επιμήκυνση. Η αναγκαιότητα για ολκιμότητα έχει ήδη εξηγηθεί.

Ο ήλος απο μόνος του θα πρέπει να είναι πολύ καλά διαμορφωμένος για να διασφαλίζει οτι ο σύνδεσμος μπορεί να φέρει τα φορτία σχεδιασμού. Επεξεργασμένα πειράματα πιστοποίησης ήλων έχουν γίνει στην Αμερική για να διασφαλίσουν οτι και ο εξοπλισμός του ήλου και της συγκόλλησης είναι ικανοί να παρέχουν σταθερή ποιότητα συγκόλλησης. Οι επι τόπου μέθοδοι για τον έλεγχο της ποιότητας συγκόλλησης είναι λιγότερο πολύπλοκοι, και εμπλέκουν καμπτική ή δυναμική φόρτιση ενός συγκεκριμένου ποσοστού των ήλων. Οποιοι ήλοι σπάσουν αντικαθίστανται και τα πειράματα συνεχίζονται.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στις Διαλέξεις 10.2 και 10.3, εδείχθη ότι, όταν σε μια κρίσιμη διατομή φθάνουμε την οριακή ροπή αντίστασης, η σύνδεση απαιτείται να φέρει μια δύναμη ίση με αυτή που δρά στην πλάκα σκυροδέματος μεταξύ της κρίσιμης διατομής και της στήριξης. Αυτή η δύναμη είναι η μικρότερη από την αξονική αντίσταση της πλάκας σκυροδέματος ή της χαλύβδινης δοκού. Αν κάθε σύνδεσμος μπορεί να φέρει μια δύναμη P_{Rd} Κατά την αστοχία, τότε η συνολική δύναμη που μπορούν να ανθίστανται όλοι οι σύνδεσμοι μεταξύ της κρίσιμης διατομής και της στήριξης είναι:

$$F_c = N P_{Rd} \quad (4)$$

όπου

N είναι ο αριθμός των συνδέσμων μεταξύ της κρίσιμης διατομής και της στήριξης

F_c είναι η δύναμη στην πλάκα σκυροδέματος

P_{Rd} είναι η διατμητική αντίσταση σχεδιασμού κάθε συνδέσμου.

Η οριακή αντίσταση των ηλωτών συνδέσμων είναι σχετικά συνεπής και ο μερικός συντελεστής ασφαλείας γ_v με 1,25 συχνά θεωρείται κάτι περισσότερο από συντελεστής υλικού. Ο συντελεστής βρέθηκε σαν αποτέλεσμα της έρευνας των πιθανών αποτελεσμάτων της αστοχίας συνδέσμου[3]. Το Σχήμα 7 δείχνει αποτελέσματα αυτής της εργασίας. Σε αυτό το διάγραμμα η ροπή αντοχής, εκφραζόμενη σαν κλάσμα της πλήρους σύμμικτης ροπής αντοχής (όπως υπολογίζεται στην Διάλεξη 10.3) σχεδιάζεται για δοκούς με διάφορους αριθμούς διατμητικών συνδέσμων. Ο αριθμός των διατμητικών συνδέσμων μπορεί να εκφραστεί σαν κλάσμα του αριθμού των διατμητικών συνδέσμων που απαιτούνται για την πλήρη αλληλεπίδραση (r στο σχήμα). Η τιμή του r είναι γνωστή σαν ο βαθμός της διατμητικής σύνδεσης.

Για πολύ χαμηλούς βαθμούς διατμητικής σύνδεσης το σκυρόδεμα συνεισφέρει λίγο στη αντίσταση της σύμμικτης δοκού, και η ροπή αντοχής είναι μόνο αυτή της χαλύβδινης διατομής (A-B). Υψηλότεροι αριθμοί συνδέσμων επιτρέπουν στην πλάκα να συνεισφέρει περισσότερο στην αντίσταση αλλά η αστοχία συνβαίνει σαν αποτέλεσμα της αστοχίας των συνδέσμων σε διάτμηση (B-C). Όταν παρέχονται περισσότεροι από περίπου το 50% των συνδέσμων που απαιτούνται για πλήρη σύνδεση ($r = 0,5$), η δοκός μπορεί να αστοχήσει σε κάμψη με το σκυρόδεμα να θρυμματίζεται., ο χάλυβας να διαρρέει και η σύνδεση να παραμορφώνεται (C-D). Θα πρέπει να τονισθεί ότι παράλληλα την καμπτική αστοχία η ροπή αντοχής της δοκού είναι λιγότερη από την πλήρως πλαστική ροπή αντοχής (σχεδιασμένη με την διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 7). Η μετάβαση μεταξύ της διατμητικής αστοχίας και της καμπτικής αστοχίας θα εξαρτάται από την ολκιμότητα των συνδέσμων. Δοκοί διαμορφωμένες με πολύ εύθραυστους συνδέσμους θα αστοχήσουν σε διάτμηση σε πολύ υψηλούς βαθμούς σύνδεσης.

Για να διασφαλισθεί ότι επιτυγχάνεται η πλήρης πλαστική ροπή αντοχής είναι αναγκαίο να παρασχεθούν περισσότεροι σύνδεσμοι από αυτούς που προτείνονται από τον θεωρητικό υπολογισμό. Θα υποθεθεί λογικά ότι η πλήρως πλαστική ροπή αντίστασης θα επιτευχθεί όταν ο λόγος των συνδέσμων είναι ίσος με ένα. παράλληλα αυτά, το Σχήμα 7

δείχνει ότι ο λόγος των συνδέσμων είναι περίπου 1,5 πριν να προσεγγισθεί αυτή η ροπή.

Αν ληφθεί υπ' όψιν η κράτυνση, τα επίπεδα τάσης στην χαλύβδινη διατομή αυξάνονται., η σύμμικτη δοκός μπορεί να πάρει μια υψηλότερη ροπή, και η καμπύλη αλληλεπίδρασης θα εμφανισθεί σαν αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 7 σαν E-F-G. Για να διασφαλισθεί ότι η σύμμικτη δοκός αστοχεί με καμπτικό τρόπο και ότι επιτεύχθει η πλήρως πλαστική ροπή αντοχής, προτάθηκε ότι ο συντελεστής σύνδεσης πρέπει να είναι 1,25

Το γράφημα στο Σχήμα 7 είναι αδιαστασιολόγητο και ως εκ τούτου δεν εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού της χαλύβδινης διατομής, της πλάκας σκυροδέματος ή των διατμητικών συνδέσμων. Μπορεί να συμπεράνουμε, λοιπόν, ότι η τιμή 1,25 δεν είναι μια τιμή ασφαλείας του υλικού, αλλά ένας συντελεστής για να ληφθεί υπ' όψιν η μείωση στην καμπτική αντοχή που εμφανίζεται σαν αποτέλεσμα της ευκαμψίας του συνδέσμου.

4. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Αν η δοκός υποτεθεί ότι συμπεριφέρεται ελαστικά και είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε οι ελαστικές τάσεις να μην υπερβαίνουν στην χαλύβδινη διατομή, στην πλάκα σκυροδέματος ή στην διατμητική σύνδεση, είναι προτιμότερο να τοποθετούνται οι σύνδεσμοι κατά μήκος της δοκού έτσι ώστε τα υψηλότερα διατμητικά φορτία κοντά στις στηρίξεις ή σε θέσεις συγκεντρωμένων φορτίων να ανθίστανται από μικρότερες αποστάσεις συνδέσμων. Αυτή η απόσταση εξασφαλίζει ότι κάθε σύνδεσμος φέρει ένα ίσο μερίδιο της διαμήκους διατμητικής δύναμης (βλέπε Διάλεξη 10.2).

Παρόλα αυτά, είναι σήμερα πιο συνηθισμένο να σχεδιάζουμε την δοκό στην οριακή κατάσταση, χρησιμοποιώντας πολλαπλασιασμένα με συντελεστές φορτία και πλαστική ανάλυση της διατομής. Σε αυτή την περίπτωση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, η διατμητική ροή κατά μήκος της δοκού είναι πιο ομοιόμορφη και μια ομοιόμορφη απόσταση των συνδέσμων είναι πιο κατάλληλη.

Οι περισσότερες δοκοί που φέρουν ομοιόμορφα φορτία έχουν σχεδιασθεί με μια ομοιόμορφη απόσταση των διατμητικών συνδέσμων. Για αυτό το σκοπό οι σύνδεσμοι πρέπει να είναι ολκίμοι και να επιτρέπουν κάποια παραμόρφωση σχετιζόμενη με την σχετική μετακίνηση μεταξύ της πλάκας και της χαλύβδινης διατομής.

Ενας παραπάνω λόγος για την χρήση του μερικού συντελεστή γ_v όταν προσδιορίζεται η αντίσταση σχεδιασμού των συνδέσμων, φαίνεται όταν ελέγχεται η ομοιόμορφη απόσταση των συνδέσμων σε σχέση με το διάγραμμα ροπών. Το Σχήμα 8 δείχνει την ροπή κάμψης για μια ομοιόμορφη φόρτιση και την ροπή αντοχής που δημιουργείται από την δοκό. Το κύριο συστατικό της καμπτικής αντοχής παρέχεται από την σύμμεκτη δράση και καθώς οι διατμητικοί σύνδεσμοι έχουν ομοιόμορφη απόσταση η ροπή αντίστασης μεταβάλλεται γραμμικά από ένα μέγιστο στο μέσον του ανοίγματος σε ένα ελάχιστο στην στήριξη. Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές του διαγράμματος της εφαρμοζόμενης καμπτικής ροπής είναι ως εκ τούτου μεγαλύτερες από την ροπή αντοχής της δοκού. Αν υποτεθεί η αντίσταση του συνδέσμου να είναι μόνο 0,8 της πλήρους τιμής του ($1/\gamma_v$), τότε η πραγματική ροπή αντοχής που δημιουργείται θα αυξηθεί ικανοποιητικά ώστε να διασφαλισθεί η ασφάλεια.

Η ομοιόμορφη απόσταση των συνδέσμων κάνει την κατασκευαστική λεπτομέρεια πιο εύκολη αλλά χρειάζεται προσοχή αν εφαρμόζονται βαριά συγκεντρωμένα φορτία στη δοκό. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι σύνδεσμοι θα πρέπει να τοποθετούνται σε συμφωνία με τη διατμητική ροή κατά μήκος της δοκού. Συνήθως προτείνεται μια ελάχιστη απόσταση ό για τους συνδέσμους για να διασφαλισθεί ότι η διατμητική ροή κατά μήκος της δοκού δεν είναι πολύ ακανόνιστη.

5. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΣΕ ΠΛΑΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΧΑΛΥΒΔΟΦΥΛΛΩΝ

Η χρήση χαλυβδόφυλλων σε σύμμικτες πλάκες έχει φέρει επανάσταση στην κατασκευή γραφείων, κυρίως λόγω της ευκολίας με την οποία μπορούν να συγκολληθούν οι διατμητικοί σύνδεσμοι “μέσω καταστρώματος”. Υπάρχουν τρεις πιθανές αιτίες που πρέπει να ληφθούν υπ’ όψιν όταν χρησιμοποιείται αυτή η μορφή κατασκευής:

1. Ο πρώτος είναι η ποιότητα της συγκόλλησης. Ο μοντέρνος εξοπλισμός συγκόλλησης έχει αναπτυχθεί έτσι ώστε να μπορεί να συγκολληθεί με ασφάλεια ο ήλος μέσω γαλβανισμένων χαλυβδόφυλλων πάχους μέχρι 1, 5mm.
2. Η παρουσία πτυχώσεων στα φύλλα, όταν τρέχουν εγκάρσια στο κυρίως άνοιγμα, μειώνει την επιφάνεια του ενεργού σκυροδέματος στην αντίσταση θλιπτικών δυνάμεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9. Σε αυτή την περίπτωση είναι αναγκαίο να αγνοήσουμε την επιφάνεια του σκυροδέματος στις πτυχώσεις όταν υπολογίζουμε τις ιδιότητες της διατομής.
3. Ο μειωμένος όγκος του σκυροδέματος γύρω από κάθε διατμητικό σύνδεσμο σημαίνει ότι ο σύνδεσμος είναι λιγότερο καλά εγκιβωτισμένος από ότι σε μια αμιγή πλάκα σκυροδέματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μια μειωμένη αντίσταση και ακαμψία. Η μείωση στην αντίσταση εξαρτάται από το μέγεθος και την μορφή του προφίλ του φύλλου. Έχει γίνει κάποια προσπάθεια να παρασχεθεί σχέση σχεδιασμού που ποσοστοποιεί την μείωση στην αντίσταση του ήλου για διάφορες γεωμετρικές προφίλ χαλύβδινων φύλλων. Αυτές οι σχέσεις είναι γενικά εμπειρικές και εξαρτώνται από την θέση και το ύψος του καταστρώματος, και από το ύψος και την θέση του συνδέσμου. Πειράματα τα οποία εμπεριέχουν την συγκεκριμένη γεωμετρία του προφίλ του χαλύβδινου φύλλου είναι ένας προτιμώμενος τρόπος για τον ορισμό της αντίστασης του συνδέσμου σε αυτές τις καταστάσεις.

6. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

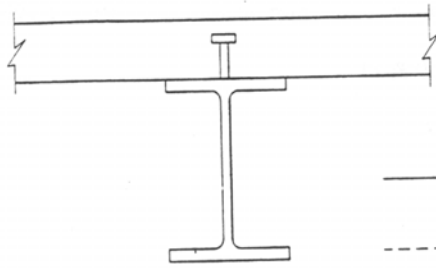
Παρόλο που οι συγκολλητοί διατμητικοί σύνδεσμοι είναι ο κύριος χρησιμοποιούμενος τύπος, υπάρχουν καταστάσεις που οι εναλλακτικές μορφές είναι πιο εφαρμόσιμες. Για παράδειγμα, οι εναλλακτικές μορφές μπορεί να είναι προτιμότερες σε θέσεις κατασκευής όπου απαιτείται μόνο ένας μικρός αριθμός συνδέσμων και η χρήση ακριβών εξοπλισμών δεν δικαιώνεται οικονομικά.

Μια εναλλακτική λύση σε τέτοιες καταστάσεις, είναι ο εκτοξευόμενος σύνδεσμος που φαίνεται στο Σχήμα 10. Αυτή η σύνδεση μπορεί να γίνει με την χρήση πιστολιών τα οποία δεν απαιτούν μεγάλη ενέργεια. Η σύνδεση απο μόνη της αποτυγχάνει όταν τα άκρα βγούν και είναι ως εκ τούτου ασθενέστερη από τον συγκολλητό διατμητικό σύνδεσμο. Όταν χρησιμοποιούνται σε ζεύγη αυτοί οι σύνδεσμοι μπορούν να παράσχουν ικανοποιητική αντίσταση για μικρές δοκούς και για δοκούς που σχεδιάστηκαν με μερική διατμητική σύνδεση (βλέπε Διάλεξη 10.6. 2).

Μια άλλη κατάσταση όπου οι συγκολλητοί σύνδεσμοι είναι ακατάλληλοι είναι η περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται προκατασκευασμένες πλάκες σκυροδέματος σύμμικτα με την δοκό στήριξης. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν κοχλίες υψηλής αντοχής για να δέσουν τις πλάκες με το χαλύβδινο πέλμα, βλέπε Σχήμα 10. Οι κοχλίες υψηλής αντοχής περισσότερο από του απλούς κοχλίες χρειάζονται έτσι ώστε, στο στάδιο λειτουργικότητας, να μη συμβεί ολίσθηση μεταξύ πλάκας σκυροδέματος και της χαλύβδινης διατομής. Συνεπώς, για την μελέτη λειτουργικότητας, θα πρέπει να χρησιμοποιείται η αντίσταση ολίσθησης του κοχλία αυτού και για τον προσδιορισμό της οριακής ροπής να χρησιμοποιείται η φέρουσα ή η διατμητική αντίσταση του κοχλία.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

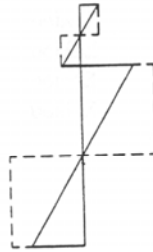
1. Οι διατμητικοί σύνδεσμοι μεταξύ της πλάκας και της χαλύβδινης διατομής σε μια σύμμικτη δοκό απαιτούνται για να αντισταθούν διατμητικές, καμπτικές και εφελκυστικές δυνάμεις. Συχνά απαιτείται εγκάρσιος οπλισμός για να διασφαλισθεί η ικανοποιητική μεταβίβαση της διάτμησης στην πλάκα.
2. Η ακαμψία, η αντίσταση και το ποσοστό του σκυροδέματος γύρω από τον σύνδεσμο επηρεάζει την απόδοση της σύνδεσης.
3. Οι συγκολλητοί διατμητικοί σύνδεσμοι είναι η πιο συνηθισμένη μορφή σύνδεσης.
4. Οι αντιστάσεις των συνδέσμων μπορούν να ορισθούν με την χρήση εμπειρικών σχέσεων ή πειραμάτων.
5. Η αντίσταση σχεδιασμού του συνδέσμου υποτίθεται συνήθως να είναι 0, 8 φορές η οριακή αντίσταση.
6. Οι ήλοι μπορούν συνήθως τοποθετούνται ομοιόμορφα κατά μήκος της δοκού εκτός αν υπάρχουν μεγάλα συγκεντρωμένα φορτία.
7. Πλάκες διαμορφωμένες με προφίλ χαλύβδινων φύλλων μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σύμμικτες δοκούς όσον οι πτυχώσεις του σκυροδέματος αγνοούνται όταν υπολογίζονται οι ιδιότητες της διατομής και η πιθανότητα της μειωμένης αντίστασης συνδέσμου λαμβάνεται υπ' όψιν.
8. Οι εναλλακτικές μορφές σύνδεσης συμπεριλαμβάνουν τους εκτοξευόμενους συνδέσμους και τους κοχλίες υψηλής αντοχής.



Διατομή δοκού

— Ελαστική τάση
 - - - Οριακή πλαστική τάση

a) Μη σύνδεση



Καμπτική τάση



Διατμητική τάση

b) Πλήρης σύνδεση



Παραμόρφωση

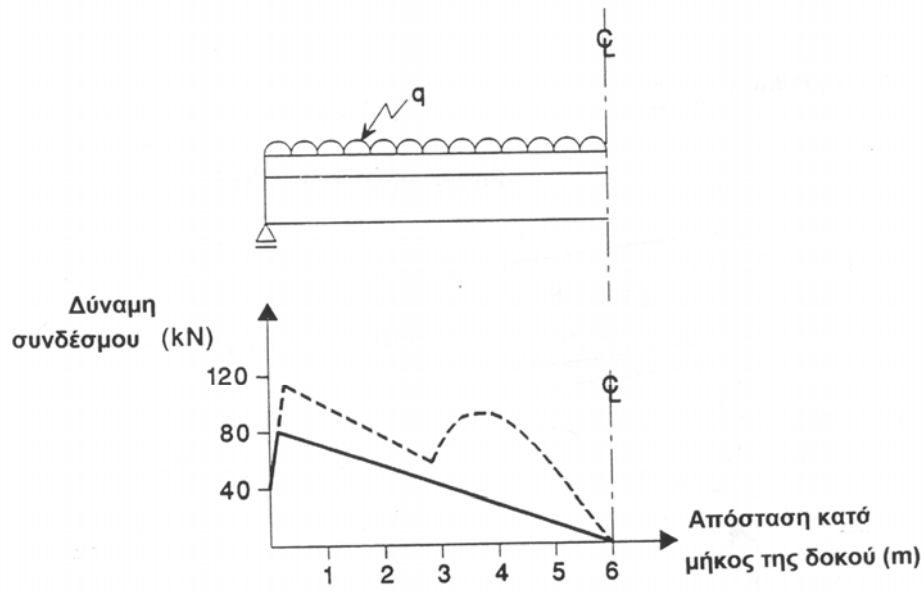


Καμπτική τάση

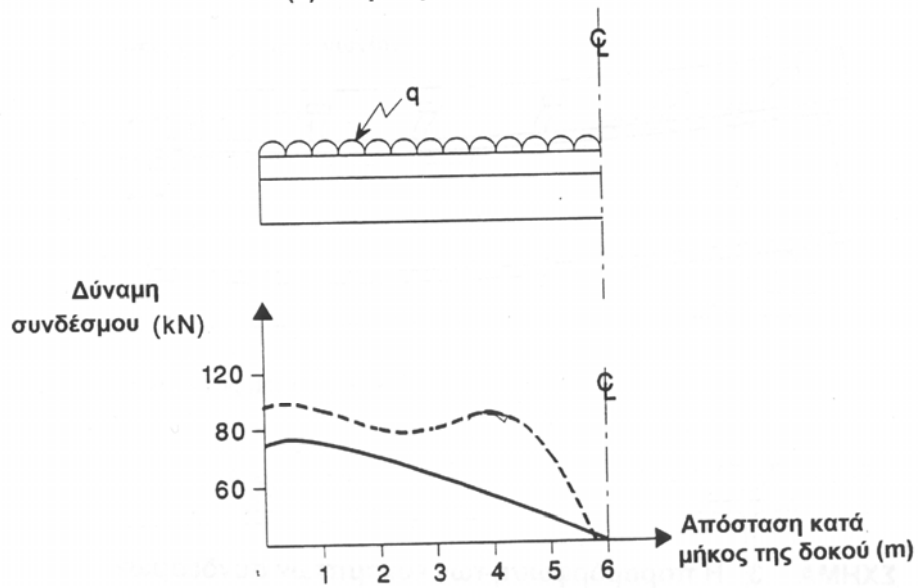


Διατμητική τάση

ΣΧΗΜΑ 1 Παραμόρφωση, κάμψη και τάσεις διάτμησης για μη σύνδεση και πλήρη σύνδεση



(a) Ακαμπτη σύνδεση



(b) Εύκαμπτη σύνδεση

— $q = 0,7$ φορές το φορτίο πλαστικής αστοχίας

- - - $q = 0,98$ φορές το φορτίο πλαστικής αστοχίας

ΣΧΗΜΑ 2 Φορτία συνδέσμου για άκαμπτους και εύκαμπτους συνδέσμους

Διάλεξη 10.6.1

ESDEP WG 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.6.2 : Διατμητική Σύνδεση II

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ/ΣΚΟΠΟΣ

Να εξηγηθεί η συμπεριφορά της μερικής διατμητικής σύνδεσης σε σύμμικτες δοκούς και να παρουσιασθούν οι πρακτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό στην οριακή κατάσταση αντοχής και στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 10.3 : Αμφιέρειστες Δοκοί

Διάλεξη 10.4.1: Συνεχείς Δοκοί I

Διάλεξη 10.6.1: Διατμητική Σύνδεση I

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διαλέξεις 10.5 : Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα

Διάλεξη 10.6.3: Διατμητική Σύνδεση III

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Ορίζεται η μερική διατμητική σύνδεση ορίζεται και συνοψίζονται τα πλεονεκτήματά της όταν χρησιμοποιείται για δοκούς σε κτίρια. Το αποτέλεσμα της ολίσθησης στη διεπιφάνεια χάλυβα/σκυροδέματος δεν μπορεί να ορισθεί μέσω απλοποιημένων προσεγγίσεων. Για αυτό τον λόγο γίνεται μια καθαρή διάκριση μεταξύ όλκιμων και μη όλκιμων συνδέσμων.

Για απλά εδραζόμενες δοκούς, προτείνεται μια πρακτική μέθοδος για σχεδιασμό μερικής αλληλεπίδρασης στην οριακή κατάσταση αντοχής, χρησιμοποιώντας μια καμπύλη μειωμένης πλαστικής ροπής. Οι περιορισμοί που γίνονται σε αυτή τη μέθοδο εξαρτώνται από το βαθμό της σύνδεσης και από την ολκιμότητα του συνδέσμου. Δίνονται πρακτικές σχέσεις για να ελεγχθεί η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (μέγιστη απόκλιση, τάσεις στις εξώτερες ίνες και δυνάμεις συνδέσμου), οι οποίες είναι σημαντικές αν χρησιμοποιείται χαμηλός βαθμός σύνδεσης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αυτή η διάλεξη περιγράφει το σχεδιασμό της μερικής διατμητικής σύνδεσης σε σύμμικτες δοκούς. Γενικά η “πλήρης διατμητική σύνδεση” ορίζεται ως ο ελάχιστος αριθμός συνδέσμων για μια δεδομένη δοκό, φόρτιση, και μέθοδο σχεδιασμού, τέτοια ώστε η καμπτική αντοχή της δοκού δεν αυξάνεται αν τοποθετηθούν περισσότεροι σύνδεσμοι. Διαφορετικά η διατμητική σύνδεση είναι μερική. Πρακτικά, η μερική διατμητική σύνδεση χρησιμοποιείται σε πολυώροφα κτίρια για τους ακόλουθους λόγους:

- να μειωθούν τα κόστη-ο σχεδιασμός μπορεί να κυριαρχείται από απαιτήσεις λειτουργικότητας ή άλλα κριτήρια (αρχιτεκτονικές απόψεις, ευκολία κατασκευής) και όχι από την οριακή αντοχή σε κάμψη,
- να επιτρέπει τη χρήση ενός πλατύτερου διαστήματος μεταξύ των συνδέσμων και μια αντίστοιχη μείωση της εγκάρσιας ενίσχυσης στην πλάκα.
- να συνεργάζεται με το χρησιμοποιούμενο σύστημα δαπέδου π.χ. με προκατασκευασμένες πλάκες δαπέδου ή όταν η πλάκα σκυροδετείται σε προφίλ χαλύβδινων φύλλων με πτυχώσεις εγκάρσιες στον άξονα της χαλύβδινης δοκού.

Ακριβή προσομοιώματα τα οποία ασχολούνται με τη μερική σύνδεση είναι δύσκολο να αναπτυχθούν [1, 2]. Ως εκ τούτου, ο κύριος σκοπός αυτής της διάλεξης είναι να παρουσιάσει και να εξηγήσει απλοποιημένες μεθόδους σχεδιασμού, οι οποίες είναι κατάλληλες αν γίνει αποδεκτή μια εξειδικευση της συμπεριφοράς των συνδέσμων ως προς την ικανότητα παραμόρφωσής τους κατά την ολίσθηση. Ετσι, σε συμφωνία με την ταξινόμηση που υιοθετείται από τον Ευρωκώδικα 4 μια καθαρή διάκριση γίνεται εδώ μεταξύ όλκιμων και μη-όλκιμων συνδέσμων. Η περίπτωση των τελείως άκαμπτων μη όλκιμων διατμητικών συνδέσμων εξετάζεται εν συντομία στο τμήμα 3. Η καλύτερη λύση, σε αυτή την περίπτωση είναι να σχεδιαστεί η διατμητική σύνδεση με μια απλή και ασφαλή διαδικασία βασισμένη στην ελαστική ανάλυση της δοκού, η οποία δεν εγείρει θεωρητικές δυσκολίες.

Αυτή η διάλεξη αφιερώνεται κυρίως στην περίπτωση των όλκιμων διατμητικών συνδέσμων σε απλά εδραζόμενες δοκούς. Οπως εξηγείται στο τμήμα 4, η ιδέα της μερικής διατμητικής σύνδεσης είναι σχετικά εύκολο να εφαρμοσθεί σε απλά εδραζόμενες δοκούς γιατί η πλαστική θεωρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ορισθεί η αντοχή των διατομών. Αυτή η ευκολία εφαρμογής υπάρχει γιατί, σύμφωνα με τους ορισμούς που δίνονται στη Διάλεξη 10.3, οι κρίσιμες διατομές σε αρνητική κάμψη είναι συχνά σε Κατηγορία 1 (ακόμα και με ισχνούς κορμούς) ή στη χειρότερη περίπτωση σε Κατηγορία 2 (αν ο πλαστικός ουδέτερος άξονας βρίσκεται στο χαλύβδινο κορμό). Προσοχή επίσης δίνεται στους περιορισμούς για τη χρήση της μερικής διατμητικής σύνδεσης π.χ. στην οριακή κατάσταση αντοχής για πολύ μακριά ανοίγματα, και επίσης στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας λόγω την αύξησης των βυθίσεων συνεπεία της κάμψης.

2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Η πιο σημαντική ιδιότητα του υλικού ενός διατμητικού συνδέσμου είναι η ολκιμότητά του. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 4 [3], οι όλκιμοι σύνδεσμοι ορίζονται ως αυτοί που έχουν ικανοποιητική ικανότητα παραμόρφωσης, σε ολίσθηση, για να δικαιώσουν την υπόθεση της τέλεια πλαστικής συμπεριφοράς για τη διατμητική σύνδεση. Όταν συγκρίνεται με την πραγματική καμπύλη φορτίου-ολίσθησης για ένα δεδομένο σύνδεσμο, αυτός ο ορισμός καθορίζει τις τιμές δύο σχετικών ιδιοτήτων (βλέπε ΣΧ 1a) : Η διατμητική αντοχή του συνδέσμου, R_R , η οποία αντιστοιχεί στη στάθμη διαρροής μιας ισοδύναμης καμπύλης φορτίου-ολίσθησης που λαμβάνεται συχνά ως η χαρακτηριστική αντοχή του συνδέσμου και η ικανότητα ολίσθησης του συνδέσμου, s_u , η οποία μπορεί να ληφθεί ως η μέγιστη ολίσθηση μετρούμενη στο χαρακτηριστικό επίπεδο φορτίου. Θα πρέπει να τονισθεί ότι στις πραγματικές εφαρμογές, η αντοχή P , πρέπει να αντικατασταθεί από την αντοχή σχεδιασμού P_R που λαμβάνεται από την διαίρεση του P με ένα κατάλληλο συντελεστή μερικής ασφάλειας γ_v . Αυτός ο συντελεστής καλύπτει αβεβαιότητες τόσο στις ιδιότητες του υλικού όσο και στη σχέση σχεδιασμού που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής. Για την ικανότητα ολίσθησης, s_u , ο Ευρωκώδικας 4 εκτιμά ότι μια τιμή μεγαλύτερη των όπυι επιτρέπει οι διατμητικοί σύνδεσμοι να θεωρούνται όλκιμοι. Πειραματικές δοκιμές έχουν δείξει ότι αυτή η απαίτηση συνήθως ικανοποιείται από ήλους με κεφαλή συγκολλημένους σε μια χαλύβδινη δοκό, με την προϋπόθεση ότι έχουν ένα ολικό μήκος μετά τη συγκόλληση όχι μικρότερο από 4 φορές τη διάμετρο, και ότι η διάμετρος κορμού τους κείται μέσα στην περιοχή των 16mm-22mm. Επιπλέον έχει δειχθεί ότι όταν οι ήλοι έχουν συγκολληθεί δια μέσου ενός χαλύβδινου προφίλ και εκτείνονται ικανοποιητικά πάνω από την κορυφή των χαλύβδινων νευρώσεων, η ικανότητα ολίσθησης μπορεί να γίνει αρκετά πιο υψηλή απ'ότι για στερεές πλάκες με για παράδειγμα ίσο προς 10 ή 15 mm. Αυτή η ευνοϊκή αύξηση στη ικανότητα ολίσθησης συχνά συνοδεύεται από πιο πολύπλοκη συμπεριφορά συνδέσμου όπως είναι η εμφάνιση ενός καθοδικού κλάδου στην καμπύλη φορτίου-ολίσθησης, η οποία είναι δύσκολο να ληφθεί υπ'όψιν στο συνηθισμένο σχεδιασμό. Άλλοι σύνδεσμοι μπορούν επίσης να δείξουν όλκιμη συμπεριφορά π.χ. κοχλίες τριβής που χρησιμοποιούνται με προκατασκευασμένες στερεές πλάκες αν διαμορφωθούν κατάλληλα.

Εναλλακτικά, απόλυτα άκαμπτοι διατμητικοί σύνδεσμοι δηλ. μη-όλκιμοι, μπορούν να ορισθούν ως εκείνοι οι οποίοι θραύονται όταν επιτυγχάνεται το οριακό φορτίο P_R του συνδέσμου χωρίς σημαντική ολίσθηση. Σε αυτή την περίπτωση, η σχετική διατμητική αντοχή πέφτει ξαφνικά στο μηδέν. Στην πράξη, ένας τέτοιος σύνδεσμος θα πρέπει να ταξινομείται έτσι γιατί η μόνη ικανότητα ολίσθησης του οφείλεται στην θλίψη του σκυροδέματος στο μπροστινό μέρος της όψης του. Συγκρινόμενοι με αυτό τον τύπο, άλλοι σύνδεσμοι όπως γωνιακά ή δακτυλοειδείς θα φαίνονται όλκιμοι λόγω της ευκαμψίας και της μερικής ολκιμότητας των χαλύβδινων συστατικών τους. Εν τούτοις, εν απουσία μιας σαφούς σχέσης για τη συμπεριφορά φορτίου-ολίσθησης, και ενός αυστηρού υπολογισμού της κατά μήκος διάτμησης στη διεπιφάνεια χάλυβα και σκυροδέματος, προτείνεται να λαμβάνονται υπ'όψιν ως απόλυτα άκαμπτοι, μη-όλκιμοι σύνδεσμοι. Αυτή είναι μια συντηρητική άποψη για το σχεδιασμό της διατμητικής σύνδεσης.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΜΗ-ΟΛΚΙΜΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ

Όταν τελείως άκαμπτοι δηλ. μη όλκιμοι, διατμητικοί σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται σε μια σύμμικτη δοκό κάτω από αυξανόμενο φορτίο, το οριακό φορτίο πραγματοποιείται μόλις η διαμήκης διατμητική δύναμη στον πιο βαριά φορτισμένο σύνδεσμο γίνεται ίση με τη διατμητική του αντοχή, P_{Rd} . Ως εκ τούτου ο καλύτερος σχεδιασμός υιοθετεί την κατανομή των διατμητικών συνδέσμων που ανταποκρίνεται στην κατανομή της διαμήκους διατμητικής δύναμης. Δεν είναι δυνατή η απλή εφαρμογή της ελαστοπλαστικής ανάλυσης εδώ και έτσι μόνο η ελαστική ανάλυση χρησιμοποιείται για να υπολογισθούν οι εσωτερικές δυνάμεις στη δοκό. Όπως, στην θεωρία, δεν είναι δυνατή ολίσθηση πριν την αστοχία, υπάρχει πλήρης αλληλεπίδραση μεταξύ της πλάκας σκυροδέματος και του χαλύβδινου μέλους. Είναι λογικό, ως εκ τούτου, να ορισθεί η διαμήκης διάτμηση ανα μονάδα μήκους της διεπιφάνειας μέσω της γνωστής ελαστικής θεωρίας της δοκού. Αυτή η θεωρία δίνει την ακόλουθη σχέση:

$$T(x) = V(x) \quad (1)$$

όπου

$V(x)$ είναι η τέμνουσα στη διατομή x

S είναι η στατική ροπή της επιφάνειας λαμβανόμενη στη διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος.

I είναι η ροπή αδρανείας όλης της διατομής.

Το S και I πρέπει, φυσικά, να υπολογίζονται αντικαθιστώντας την επιφάνεια σκυροδέματος A με μια επιφάνεια χάλυβα ίση με A_c/n όπου το n είναι ο λόγος των μέτρων ελαστικότητας:

$$n = E_a / E_c \quad (2)$$

Σε αυτό το κείμενο, η αρχή του σχεδιασμού για τη διατμητική σύνδεση είναι παρόμοια για τις απλά εδραζόμενες και τις συνεχείς δοκούς. Εκτός από συγκεκριμένους κανόνες που εφαρμόζονται κοντά στο άκρο του κάθε ανοίγματος, είναι γενικά αποδεκτό ότι το μέγεθος και η απόσταση των συνδέσμων μπορεί να παραμένει σταθερό πάνω από κάθε μήκος l όπου κάτω από το θεωρούμενο φορτίο σχεδιασμού, οι οριακές τιμές της διατμητικής ροής $T(x)$ δεν υπερβαίνουν τη μέση τιμή T περισσότερο από 10% (μερικοί κανονισμοί υιοθετούν 5%). Σε κάθε τέτοιο μήκος, η συνολική διαμήκης διατμητική δύναμη δεν πρέπει να υπερβαίνει το γινόμενο του αριθμού N των συνδέσμων επί την αντοχή σχεδιασμού ανα σύνδεμο. Ως εκ τούτου, το N μπορεί να ληφθεί από:

$$N \geq T l / P_{Rd}$$

Η κατανομή των διατμητικών συνδέσμων μπορεί να επηρεασθεί από την προφόρτιση της χαλύβδινης δοκού (προστηριζόμενη/μη προστηριζόμενη κατασκευή) και από εσωτερικές τάσεις που πιθανόν δημιουργούνται από συστολή ξήρανσης και ερπυσμό του σκυροδέματος. Για συστολή ξήρανσης και ερπυσμό, ο υπολογισμός των τάσεων και της διαμήκους διατμητικής ροής $T(x)$ πρέπει να βασίζεται σε μια μεγαλύτερη τιμή του λόγου n (για επιδράσεις μακρού χρόνου, ο αρχικός λόγος πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή 2 ή 3).

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΛΑ ΕΔΡΑΖΟΜΕΝΩΝ ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΟΛΚΙΜΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ

4.1 Ορισμός Πλήρους και Μερικής Διατμητικής Σύνδεσης

Για απλοποίηση, μόνο μια απλά εδραζόμενη δοκός με σταθερή διατομή, υποκείμενη σε μια ομοιόμορφα κατανεμημένη φόρτιση ή σε ένα συγκεντρωμένο φορτίο (αλλά όχι και στα δύο) λαμβάνεται υπ' όψιν θα πρέπει να ορισθούν δύο γενικοί όροι:

- “κρίσιμη διατομή” της δοκού είναι η διατομή μέγιστης καμπτικής ροπής. (Υπάρχει μηδενική καμπτική ροπή στις στηρίξεις.)
- “κρίσιμο μήκος” της δοκού είναι το μήκος μεταξύ δύο γειτονικών κρίσιμων διατομών.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν κάθε κρίσιμο μήκος μιας απλά στηριζόμενης δοκού (βλέπε Σχήμα 2), η μέγιστη τιμή της συνολικής διαμήκους διατμητικής δύναμης, V_{If} , μπορεί να ορισθεί υποθέτοντας ότι η πλαστική ροπή αντοχής επιτυγχάνεται στην εσωτερική κρίσιμη διατομή. Συνεπώς, η V_{If} είναι ίση με τη μικρότερη πλαστική αξονική αντοχή είτε του χαλύβδινου μέλους είτε της πλάκας σκυροδέματος στη θεωρούμενη κρίσιμη διατομή. Όπως φαίνεται στην Διάλεξη 10.3, η αντοχή εφελκυσμού του χαλύβδινου μέλους είναι ίση με $A_a f_y / \gamma_a$ και η θλυττική αντοχή της πλάκας σκυροδέματος είναι ίση με $0,85 f_{ck} / \gamma_c$ φορές την επιφάνειά της A_c (μέσα στο συνεργαζόμενο πλάτος d_{eff}).

Αρα:

$$V_{If} = \text{μικρότερη τιμή από } (A_a f_y / \gamma_a \text{ ή } 0,85 A_c f_{ck} / \gamma_c) \quad (4)$$

Θα πρέπει να τονισθεί ότι η μικρή επίδραση του διαμήκους οπλισμού σε θλίψη αμελείται σε αυτή τη σχέση.

Καθώς κάθε διατμητικός σύνδεσμος είναι ικανός να μεταφέρει μια δύναμη ίση με την οριακή αντοχή του P_{Rd} (υποθέτοντας ικανοποιητική ολκιμότητα), ο απαιτούμενος αριθμός N συνδέσμων που επιτυγχάνουν πλήρη διατμητική σύνδεση για το ζητούμενο κρίσιμο μήκος δίνεται απο:

$$N_f = V_{If} P_{Rd} \quad (5)$$

Αν ο αριθμός των διατμητικών συνδέσμων μέσα στο κρίσιμο μήκος είναι μικρότερος απο N_f :

$$N < N_f \quad (6)$$

το κρίσιμο μήκος είναι σε μερική διατμητική σύνδεση και ο βαθμός της σύνδεσης ορίζεται απο τον λόγο N / N_f . Προφανώς μια δοκός είναι πλήρως συνδεδεμένη μόνο όταν όλα τα κρίσιμα μήκη της είναι πλήρως συνδεδεμένα.

4.2 Μέθοδος Σχεδιασμού για Μερική Διατμητική Σύνδεση

Για το σκοπό του σχεδιασμού (υποθέτοντας ότι χρησιμοποιούνται όλκιμοι σύνδεσμοι) θα είναι επαρκές να εισαχθεί η ιδέα της καμπύλης της μειωμένης οριακής ροπής, χωρίς να έχουμε να υπολογίσουμε την ολίσθηση κατά μήκος της διεπιφάνειας χάλυβα-σκυροδέματος.

α) Καμπύλη μειωμένης οριακής ροπής

Η μείωση στην οριακή ροπή της εσωτερικής κρίσιμης διατομής, λόγω της μείωσης στον αριθμό των συνδέσμων, μπορεί εύκολα να υπολογισθεί. Υποθέτοντας ότι κάθε σύνδεσμος αναπτύσσει την διατμητική του αντοχή σχεδιασμού, η συνολική διαμήκης διατμητική δύναμη v σε κάθε κρίσιμο μήκος είναι ίση με το άθροισμα των διατμητικών αντιστάσεων των συνδέσμων και επίσης με τη μέγιστη θλιπτική δύναμη $F_u^{(r)}$ στην πλάκα:

$$V_1 = N P_{Rd} = F_u \quad (7)$$

όπου $N < N_f$ (βλέπε Σχήμα 3). Το αντίστοιχο βάθος του Τμήματος των τάσεων σκυροδέματος είναι ίσο με:

$$y_c = \frac{F_u^{(r)}}{0,85 f_{ck} b_{eff} / \gamma_c} \leq h_c \quad (8)$$

Η θέση του ουδέτερου άξονα στη χαλύβδινη δοκό μπορεί να ορισθεί εξισώνοντας την $F_u^{(r)}$ με την εφελκυστική δύναμη στη χαλύβδινη δοκό, και έτσι η μειωμένη οριακή ροπή $M_u^{(r)}$ μπορεί να υπολογισθεί ανάλογα. Το αποτέλεσμα εί' (βλέπε Σχήμα 3):

- αν ο ουδέτερος άξονας είναι στο άνω πέλμα του χάλυβα, η θέση του y_a και η οριακή ροπή $M_u^{(r)}$ δίνονται απο τις ακόλουθες σχέσεις:

$$y_a = \frac{A_a (f_y / \gamma_a) - F_u^{(r)}}{2b_1 (f_y / \gamma_a)} \text{ with } : y_a \leq t_1 \quad (9)$$

$$M_u^{(r)} = F_u^{(r)} \left(h_c + d_a - \frac{y_c}{2} \right) + 2 b_1 y_a (f_y / \gamma_a) \left(d_a - \frac{y_a}{2} \right) \quad (10)$$

- αν ο ουδέτερος άξονας είναι στον κορμό της χαλύβδινης διατομής:

$$y_a = \frac{(A_a + 2t_1 t_w - 2b_1 t_1)(f_y / \gamma_a) - F_u^{(r)}}{2 t_w (f_y / \gamma_a)} \quad (11)$$

όπου : $t_1 \leq y_a \leq d_a$

και

$$M_u^{(2)} = F_u^{(r)} \left(h_c + d_a - \frac{y_c}{2} \right) + 2b_1 t_1 (f_y/\gamma_a) \left(d_a - \frac{t_1}{2} \right) + t_w (y_a - t_1) (f_y/\gamma_a) (2 d_a - y_a - t_1) \quad (12)$$

Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή ως η “μέθοδος του τμήματος τάσεων” στη σχετική βιβλιογραφία.

Ως εκ τούτου, μια καλά ορισμένη σχέση μεταξύ της καμπτικής αντοχής $M_u^{(r)}$ και του αριθμού των διατμητικών συνδέσμων N ανά κρίσιμο μήκος δηλ. το $M_u^{(r)}$ (N) μπορεί να προκύψει αναλυτικά. Με την εισαγωγή των Εξισώσεων (8) και (9) στη (10) και επίσης των (8) και (11) στην (12) είναι σαφές ότι η μεταβολή της κάθε συνάρτησης για να πάρουμε την $M_u^{(r)}$ ($F_u^{(r)}$) είτε την $M_u^{(r)}$ (N), είναι δευτέρου βαθμού. Επιπλέον, θα Πρέπει να τονισθεί ότι (βλέπε Σχήμα 4):

- για $N = N_f$ η τιμή της ροπής $M_u^{(r)}$ που λαμβάνεται απο την Εξίσωση (10) είναι ίση με την πλήρη πλαστική ροπή αντοχής M_u της σύμμικτης δοκού.
- για $N = 0$, η τιμή της $M_u^{(r)}$ που λαμβάνεται απο την Εξίσωση (12) είναι ίση με την πλαστική ροπή M_{apl} της χαλύβδινης δοκού μόνο (σε αυτή την περίπτωση, $y_a = d_a$).
- για την ειδική τιμή $N = N_f$ που αντιστοιχεί στην τιμή Γ όταν $\gamma = 1:1$ η συνέχεια των συναρτήσεων $M_u^{(r)}$ (N) και η Πρώτη τους παράγωγος εξασφαλίζονται.
- η δεύτερη παράγωγος της συνάρτησης έχει μια σταθερή αρνητική τιμή όταν το N μεταβάλλεται στα ανάλογα διαστήματα ($0, N_1$) και (N_1, N_f).

Τελικά η γενική σχέση μεταξύ $M_u^{(r)}$ και N μπορεί να παρασταθεί με μια κυρτή καμπύλη ABC, όπως φαίνεται ποιοτικά στο Σχήμα 4. Αυτή η σχέση μπορεί επίσης να ληφθεί υπ’όψιν σε μια αδιαστασιοποιημένη μορφή ($M_u^{(r)} / M_u, N/N_f$).

Η κυρτότητα της καμπύλης ABC επιτρέπει μια απλοποιημένη εναλλακτική προσέγγιση η οποία είναι πάντα ασφαλής. Αυτή η προσέγγιση ορίζει την ροπή αντοχής $M_u^{(r)}$ με όρους γραμμικής αλληλεπίδρασης με βαθμό διατμητικής σύνδεσης N / N_f τέτοιο ώστε:

$$M_u^{(r)} = M_{apl} + \frac{N}{N_f} (M_u - M_{apl}) \quad (13)$$

Αυτή η “μέθοδος γραμμικής αλληλεπίδρασης” παριστάνεται απο τη διακεκομμένη γραμμή AC στο Σχήμα 4. Γενικά, ένα σημαντικό όφελος μπορεί να προκύψει χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του τμήματος τάσεων, Εξισώσεις (9)-(12) στην περιοχή του N/N_f 0,5 μέχρι 0,7.

b) Οριακή φόρτιση της δοκού

Το παραπάνω παράδειγμα υποθέτει ότι η απλά στηριζόμενη δοκός υπόκειται είτε σε ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο W είτε σε ένα συγκεντρωμένο φορτίο Q (βλέπε

Σχήμα 2). Μιας και η κατάρρευση της δοκού πραγματοποιείται όταν υπάρξει μια πλαστική άρθρωση στην κρίσιμη διατομή υποκειμένη στη μέγιστη ροπή, είναι λογικό να υιοθετηθεί μια καμπύλη οριακού φορτίου W/W_u ή Q/Q_u (περισσότερο από $M_u^{(r)}$) σχεδιασμένο έναντι του βαθμού σύνδεσης N/N_f . Εδώ το M_u ή το Q_u αντιστοιχούν στην οριακή φόρτιση για πλήρως διατμητική σύνδεση.

c) Απαίτηση ελάχιστου βαθμού διατμητικής σύνδεσης

Αν ο βαθμός διατμητικής σύνδεσης είναι πολύ χαμηλός, η μειωμένη καμπύλη τελικής ροπής, δεν θα έχει νόημα γιατί η αστοχία του συνδέσμου θα συμβεί πριν την καμπτική αστοχία.

Το Σχήμα 5a δείχνει τα αποτελέσματα αριθμ. μητικών υπολογισμών για μια ομοιόμορφα φορτιζόμενη δοκό μήκους ανοίγματος 6,5m. Οι διαστάσεις της διατομής και οι ιδιότητες του υλικού φαίνονται στο Σχήμα 5b, και δύο διαφορετικές τελικές τιμές ολίσθησης, s_u , λαμβάνονται υπ' όψιν για τους συνδέσμους: 3 mm και 5 mm. Εδώ, η καμπύλη ABC ανταποκρίνεται στην καμπύλη μειωμένης τελικής ροπής σύμφωνα με τις σχέσεις στις εξισώσεις (7)-(12). Υποθέτοντας μια τέλεια ελαστική-πλαστική συμπεριφορά του χάλυβα, και την s_u ίση με 3mm, οι υπολογισμένες τιμές W/W_u σχεδιάζονται κατά μήκος της καμπύλης (1), αντιπροσωπεύοντας 10 διαφορετικούς βαθμούς σύνδεσης, για τη δοκό. Μπορεί κανείς να δει αμέσως ότι το τμήμα BC της καμπύλης της ροπής είναι ανασφαλές και ως εκ τούτου μη χρησιμοποιήσιμο. Αν ληφθεί υπ' όψιν η κράτυνση για την καμπύλη τάσης παραμόρφωσης του χάλυβα (εδώ μια γραμμική μεταβολή του σ_a από $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$ μέχρι $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$ όταν το ϵ_a βρίσκεται μεταξύ $10 \epsilon_{ay}$ και $25 \epsilon_{ay}$), η καμπύλη (1) αντικαθίσταται από την καμπύλη (2) η οποία είναι ασφαλέστερη, αλλά η τομή της καμπύλης (2) με την καμπύλη μειωμένης ροπής είναι σχεδόν ίδια με την τομή της καμπύλης (1). Αυτό το αποτέλεσμα είναι λογικό μιας και η αστοχία από θραύση του ήλου εμφανίζεται και στις δύο περιπτώσεις αλλά δεν φαίνεται ευαίσθητο στην επιρροή της κράτυνσης. Από την άλλη, μια εννοική άνοδος του σημείου τομής προς τα αριστερά μπορεί να παρατηρηθεί αν χρησιμοποιηθούν περισσότερο όλκιμοι σύνδεσμοι, βλέπε καμπύλη (3), για την οποία η τελική ολίσθηση έχει υποτεθεί ίση με 5mm.

Θεωρητική έρευνα και πειραματικές δοκιμές σε δοκούς έχουν δείξει ότι η αστοχία του διατμητικού συνδέσμου δεν έχει σημασία, εφόσον η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να υπολογισθεί το οριακό φορτίο δίνει τον ίδιο βαθμό ασφαλείας και για τη διατμητική αστοχία και για την καμπτική αστοχία. Η συμπεριφορά της δοκού για τη διατμητική αστοχία μπορεί να δείξει τόση ολκιμότητα όση για την καμπτική αστοχία, ακόμα και για χαμηλούς βαθμούς σύνδεσης, γιατί οι όλκιμοι σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται στην πράξη έχουν ικανότητες υψηλής παραμόρφωσης. Συνεπώς το κύριο πρόβλημα είναι στην τοποθέτηση του σημείου μετάδοσης, B στα Σχήματα 4 και 5, στην καμπύλη μειωμένης τελικής ροπής, χωρίς να χρειασθεί η χρήση πολύπλοκων μεθόδων. Ένα άλλο πρόβλημα, το οποίο δεν εξετάζεται εδώ, αφορά τη μορφή του διαγράμματος που χρησιμοποιείται για να υπολογισθεί το οριακό φορτίο που σχετίζεται με τη διατμητική αστοχία.

Η πρώτη μορφή του Ευρωκώδικα 4[3] αγνοούσε τη διατμητική αστοχία και χρησιμοποιούσε μόνο το τμήμα AB της καμπύλης μειωμένης ροπής. Προτείνεται ο βαθμός σύνδεσης στο σημείο B, να μην είναι μικρότερος από $(N/N_f)_B = 0,5$, εφόσον το

άνοιγμα της δοκού δεν υπερβαίνει τα 20 μέτρα. Αλλά μια πρόσθετη θεωρητική έρευνα[4] έχει δείξει ότι αυτός ο λόγος είναι μη ασφαλής σε μερικές περιπτώσεις γιατί το σημείο μετάβασης B μπορεί να ανεβεί γρήγορα στα δεξιά όταν το μήκος του ανοίγματος L αυξάνεται αλλά είναι λιγότερο από 20 μέτρα.

Ο Ευρωκώδικας 4 δίνει ένα πιο σωστό ορισμό του χρησιμοποιήσιμου Τμήματος AB της καμπύλης μειωμένης ροπής, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο βαθμός σύνδεσης $(N/N_f)_B$ πρέπει να εξαρτάται από το άνοιγμα της δοκού L. Η προδιαγραφή του, για όλκιμους συνδέσμους, βασισμένη σε διάφορα αποτελέσματα ερευνών στη Γαλλία και τη Μεγάλη Βρετανία έχει ως ακολούθως:

- για χαλύβδινες διατομές με ίσα πέλματα:

$$\left(\frac{N}{N_f}\right)_B = 0,4 \quad \text{όπου } L \leq 5m \quad (14)$$

$$\left(\frac{N}{N_f}\right)_B = 0,25 + 0,03 L \leq 1 \quad \text{όπου } L > 5m \quad (15)$$

- για χαλύβδινες διατομές που έχουν κάτω πέλμα με επιφάνεια που δεν υπερβαίνει τρεις φορές την επιφάνεια του άνω πέλματος

$$\left(\frac{N}{N_f}\right)_B = 0,4 + 0,03 L \leq 1 \quad (16)$$

Οι παραπάνω σχέσεις είναι κατάλληλες για την περίπτωση ήλων με κεφαλή σε στερεές πλάκες. Στην περίπτωση πλακών εγχυμένων σε προφίλ χαλύβδινου φύλλου είναι λογικό να ληφθεί υπ' όψιν μια αύξηση στην ολκιμότητα των συνδέσμων και, ως εκ τούτου, η χρήση χαμηλότερων βαθμών σύνδεσης. Για παράδειγμα προτείνεται η παρακάτω σχέση

$$0,4 \leq \left(\frac{N}{N_f}\right)_B = 0,04 L \leq 1 \quad (17)$$

- για χαλύβδινες διατομές με ίσα ή άνισα πέλματα.

5. Έλεγχος της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας

Η μερική διατμητική σύνδεση έχει αρκετές επιδράσεις στη συμπεριφορά της δοκού στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.

(a) Για δοκούς με μερική διατμητική σύνδεση, έχει βρεθεί ότι [5] για ένα δεδομένο φορτίο, ή μέγιστη βύθιση δ σχετίζεται με τον αριθμό N των συνδέσμων, με μια καμπύλη παρόμοια της DEF του Σχήματος 6, όπου δ είναι η βύθιση για πλήρη σύνδεση και δ είναι η βύθιση μόνο της χαλύβδινης δοκού.

Στην πράξη, υποθέτοντας την χρήση τιμών κάτω από το 0,5 για το λόγο N/N_f , μια λογική προσέγγιση για το δ δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

- για δοκούς με προσωρινή στήριξη

$$\delta = \delta_f + 0,5 \left(1 - \frac{N}{N_f} \right) (\delta_a - \delta_f) \quad (18)$$

- για δοκούς χωρίς προσωρινή στήριξη

$$\delta = \delta_f + 0,3 \left(1 - \frac{N}{N_f} \right) (\delta_a - \delta_f) \quad (19)$$

Μια άλλη προσέγγιση, η οποία ισχύει για ένα μεγαλύτερο διάστημα βαθμού σύνδεσης ($0,2 \leq N/N_f \leq 1,0$) και φαίνεται πιο ακριβής από τις εξισώσεις (18) και (19), υπολογίζει την ελαστική βύθιση δ χρησιμοποιώντας μια ενεργή ροπή αδράνειας για τη μερικά σύμμικτη δοκό. Η ενεργός ροπή αδράνεια δίνεται προσεγγιστικά από:

$$I_e = I_a + \left(\frac{N}{N_f} \right)^a (I_f - I_a) \quad (20)$$

όπου I_f και I_a είναι οι ροπές αδράνειας των πλήρως σύμμικτων και χαλύβδινων διατομών αντίστοιχα, και ο εκθέτης a εξαρτάται από το μήκος του ανοίγματος L .

Κατάλληλες πρακτικές τιμές του a έχουν προταθεί [4] όπως 1, 5, 1, 0 και 0, 8 όταν το L είναι ίσο με 5, 10 και 15 μέτρα αντίστοιχα.

(b) Η επίδραση της μερικής διατμητικής σύνδεσης στην αύξηση των τάσεων στο σκυρόδεμα και στις εξώτερες ίνες του χάλυβα γενικά αγνοείται όταν το N/N_f βρίσκεται μεταξύ 0, 5 και 1. Αν το N/N_f βρίσκεται μέσα σε ένα μεγαλύτερο διάστημα ($0,2 \leq N/N_f \leq 1,0$) είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί μια ενεργός ροπή αντιστάσεως W_e (η οποία αναφέρεται στο εφελκόμενο πέγμα της χαλύβδινης διατομής) που δίνεται από:

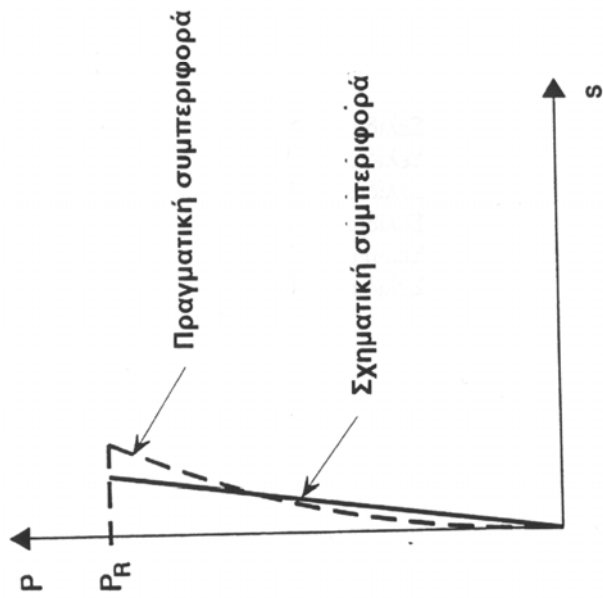
$$W_e = W_a + \left(\frac{N}{N_f} \right)^b (W_f - W_a) \quad (21)$$

όπου W_f και W_a είναι οι ροπές αντιστάσεως της πλήρους σύμμικτης και της χαλύβδινης διατομής αντίστοιχα, και ο εκθέτης b είναι προσεγγιστικά ίσος με $a/2$ [4].

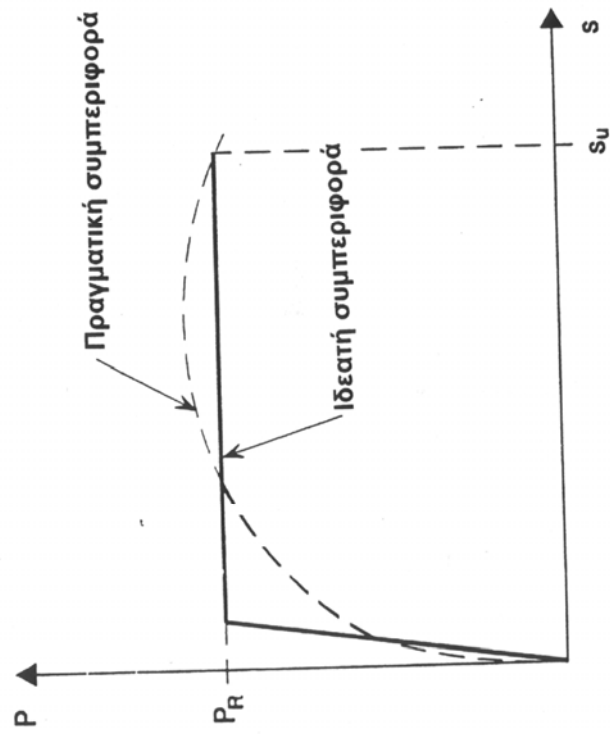
(c) Πρόσθετα, η συμπεριφορά του συνδέσμου πρέπει να παραμένει αντιστρέψιμη στα φορτία λειτουργικότητας. Αυτή η αντιστρέψιμη συμπεριφορά διασφαλίζεται από την απαίτηση ότι η διατμητική δύναμη σε κάθε σύνδεσμο δεν υπερβαίνει το $0,7 P_{Rd}$. Για να ελεγχθεί αν πληρούται αυτή η απαίτηση, είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθεί μια ελαστική ανάλυση ως αυτή που παρουσιάστηκε στο Τμήμα 3. Αν το N/N_f είναι πολύ χαμηλό (για παράδειγμα $N/N_f \geq 0,5$), αυτή η ανάλυση μπορεί να υποτεθεί ότι ισχύει για όλκιμους συνδέσμους που λειτουργούν στην αντιστρέψιμη πλευρά της καμπύλης τους φορτίου-ολίσθησης.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Η μερική διατμητική σύνδεση είναι μια σημαντική επιλογή για την οικονομική χρήση των σύμμικτων δοκών σε κτίρια. Οι μέθοδοι σχεδιασμού για απλά στηριζόμενες δοκούς, οι οποίες εξαρτώνται από την ολκιμότητα του συνδέσμου, παρουσιάζονται σε αυτή τη διάλεξη.
2. Όταν χρησιμοποιούνται μη όλκιμοι διατμητικοί σύνδεσμοι, η απλούστατη μέθοδος σχεδιασμού χρησιμοποιεί τη θεωρία ελαστικής δοκού για τον υπολογισμό της διαμήκους διατμητικής δύναμης ανα μονάδα μήκους.
3. Όταν χρησιμοποιούνται όλκιμοι διατμητικοί σύνδεσμοι, η μέθοδος σχεδιασμού βασίζεται στην πλαστική αντοχή των διατομών χρησιμοποιώντας τη μέθοδο “Τμήματος τάσεων”. Προσοχή πρέπει να δίνεται στην απαίτηση για ένα ελάχιστο βαθμό σύνδεσης εξαρτώμενο από το άνοιγμα της δοκού.

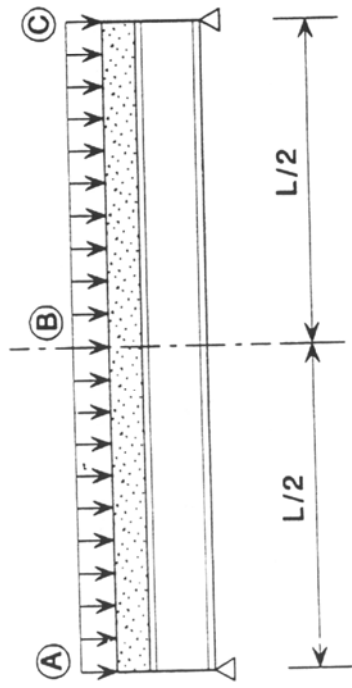
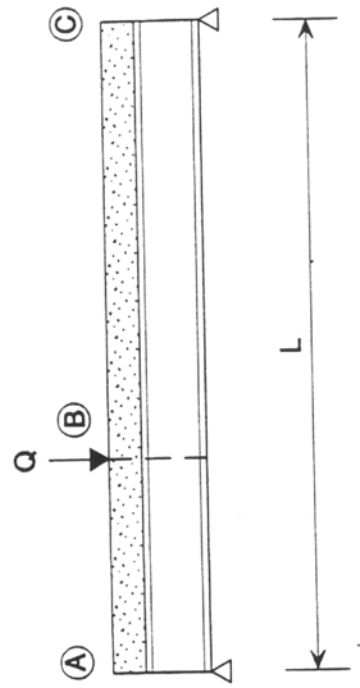


(b) Μη Ολκιμος διατμητικός σύνδεσμος



(a) Ολκιμος διατμητικός σύνδεσμος

ΣΧΗΜΑ 1 Ολκιμος και μη όλκιμος διατμητικός σύνδεσμος



Κρίσιμο μήκος : AB και BC

ΣΧΗΜΑ 2 Κρίσιμο μήκος

ESDEP WG 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.6.3 : Διατμητική Σύνδεση III

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ/ΣΚΟΠΟΣ

Να εξηγηθεί ο σχεδιασμός της διατμητικής σύνδεσης σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς, με ειδική έμφαση στις περιοχές της αρνητικής ροπής.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διαλέξεις 10.6.1 & 10.6.2: Διατμητική Σύνδεση

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διαλέξεις 10. 4 : Συνεχείς Δοκοί

Διαλέξεις 10. 5 : Σχεδιασμός για Λειτουργικότητα

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Ο σκοπός αυτής της διάλεξης είναι να εξηγήσει απλά τη βάση του σχεδιασμού πλήρους κα μερικής διατμητικής σύνδεσης σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς, ασχολούμενη κυρίως με την κατανομή των συνδέσμων σε περιοχές αρνητικής ροπής. Μεγαλύτερη φροντίδα πρέπει να δοθεί σε σχέση με την ισχύ της πλαστικής συμπεριφοράς της διατομής. Για κρίσιμες διατομές Κατηγορίας 1, αναπτύσσεται μια γενική μέθοδος, που επεξηγείται από παραδείγματα. Για κρίσιμες διατομές Κατηγορίας 2, παρουσιάζεται μια απλοποιημένη μέθοδος.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αυτή η διάλεξη περιγράφει το σχεδιασμό της διατμητικής σύνδεσης σε συνεχείς σύμμικτες δοκούς. Το πρόβλημα συζητείται με προσοχή κυρίως ως προς μια πρακτική μέθοδο για τον ορισμό της κατανομής του συνδέσμου κατά μήκος του διατμητικού ανοίγματος στην περιοχή της αρνητικής ροπής. Η χρήση της μερικής διατμητικής σύνδεσης σε μια συνεχή δοκό λαμβάνεται υπ'όψιν. Αυτό είναι ένα πολύπλοκο πρόβλημα το οποίο πρέπει να σχετισθεί με την ισχύ της πλαστικής θεωρίας και να λάβει υπ'όψιν τον αυξανόμενο κίνδυνο του τοπικού λυ'γισμού του πέλματος στις εσωτερικές στηρίξεις.

2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΕΧΕΙΣ ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΔΟΚΟΥΣ

2.1 Γενικές Απόψεις

Ο σχεδιασμός της διατμητικής σύνδεσης σε μια συνεχή δοκό είναι πιο πολύπλοκος απο οτι σε μια απλά εδραζόμενη δοκό λόγω των επιδράσεων της αρνητικής κάμψης πάνω απο τις εσωτερικές στηρίξεις. Οι διατομές σε αυτές τις περιοχές μπορεί να γίνουν κρίσιμες και πρέπει να ελεγχθούν. Ο έλεγχός τους είναι πολύπλοκος λόγω της μείωσης της καμπτικής ακαμψίας (λόγω της ρηγμάτωσης της πλάκας) και της τάσης του ουδέτερου άξονα να ανέβει στο χαλύβδινο κορμό (αν χρησιμοποιείται ενίσχυση της πλάκας) οπότε είναι δυνατό να έχουμε την αλλαγή της ταξινόμησης των στοιχείων των διατομών (σύμφωνα με τους ορισμούς που δόθηκαν στη Διάλεξη 10.3). Σε τέτοιες καταστάσεις, ο σκοπός της εφαρμογής της άκαμπτης πλαστικής ανάλυσης των δοκών είναι περισσότερο περιορισμένος. Υπάρχει τότε η ανάγκη να διαλέξουμε μεταξύ αρκετών διαδικασιών για το σχεδιασμό της σύνδεσης.

Πρίν περιγραφούν οι διαδικασίες θα πρέπει να σημειωθούν τα ακόλουθα:

- Ακόμα και αν χρησιμοποιηθεί ελαστική ανάλυση για τη συνεχή δοκό (πιθανό σε συνδυασμό με την ανακατανομή των ροιτών στηρίξεων), ο πλαστικός σχεδιασμός της διατμητικής σύνδεσης δεν εξαιρείται τελείως όταν οι ακραίες διατομές κάθε κρίσιμου μήκους είναι τουλάχιστον Κατηγορίας 2. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτές οι διατομές είναι ικανές να αναπτύξουν τις πλαστικές τους αντοχές χωρίς διακινδύνευση τοπικού λυγισμού - βλέπε Τομέα 3.
- Σε περιοχές αρνητικής κάμψης, ο σχεδιασμός της μερικής διατμητικής σύνδεσης είναι δύσκολο να ελεγχθεί ως προς τις απαιτούμενες ικανότητες στροφής των διατομών στις εσωτερικές στηρίξεις, ακόμα και αν αυτές οι διατομές είναι Κατηγορίας 1. Ως εκ τούτου, για να είμαστε σύμφωνοι με τον Ευρωκώδικα 4 είναι προτιμότερο να μην επιτρέπεται μερική αλληλεπίδραση σε περιοχές αρνητικής ροπής, έτσι ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος τοπικού λυγισμού του χάλυβα.
- Σε περιοχές θετικής κάμψης, αν οι διατομές στις εσωτερικές στηρίξεις είναι Κατηγορίας 2, 3 ή 4, η μερικά διατμητική σύνδεση είναι επαρκής γιατί η μέγιστη θετική ροπή λόγω των φορτίων σχεδιασμού είναι καθαρά μικρότερη απο την πλαστική ροπή αντοχής M_u . Αυτό υποθέτει ότι χρησιμοποιείται γενική ελαστική ανάλυση και οτι δεν υπάρχουν ειδικοί περιορισμοί. όπως για παράδειγμα οι εφαρμοζόμενοι στην περίπτωση δοκών γεφυρών.
- Η Πειραματική εργασία έδειξε οτι όταν η πλάκα εφελκύεται η διατμητική σύνδεση είναι λιγότερη άκαμπτη και η οριακή αντοχή μειώνεται ελαφρά Αυτή η συμπεριφορά είναι ο λόγος για τον οποίο μερικοί κανονισμοί (όπως ο Βρετανικός) προτείνουν, για σύμμικτες δοκούς σε περίπτωση των απλά εδραζόμενων δοκών, όλη η καμπύλη $A'B'C'$ δεν χρησιμοποιείται. Οπως

πρίν, ο ελάχιστος αριθμός διατμητικών συνδέσμων πρέπει να περιορίζεται σε μια συνάρτηση του ανοίγματος L της δοκού. Αρα:

$$\frac{N}{N_f} \geq \left(\frac{N}{N_f} \right)_{B'} \quad (9)$$

όπου ο περιορισμός του $(N/N_f)_B$ μπορεί να εκτιμηθεί μέσω των εξισώσεων (15) και (16) που δίνονται στην Διάλεξη 10.6.2. Μια τέτοια εκτίμηση είναι συντηρητική γιατί η μερική διατμητική σύνδεση ασχολείται εδώ μόνο με την περιοχή σε θετική κάμψη, και αυτή η περιοχή είναι μικρότερη από L .

Οι ακόλουθες παρατηρήσεις έγιναν σχετικά με την παραπάνω προσέγγιση:

(i) Η παραγόμενη σχέση βασίζεται σε μια υποτιθέμενη μηδενική τιμή για την θλιπτική δύναμη πιθανόν ανεπτυγμένη στο σκυρόδεμα στην ενδιάμεση στήριξη. Αυτή είναι μια συντηρητική υπόθεση και μια αύξηση στην αντοχή σχεδιασμού μπορεί να προκύψει από μια πιο λεπτομερή ανάλυση [3].

(ii) Η καμπύλη $A'B'C'$ που φαίνεται στο Σχήμα 2, είναι πάντα κυρτή, όπως η καμπύλη ABC στο Σχήμα 4 της Διάλεξης 10.6.2. Αυτή η ιδιότητα προκύπτει άμεσα από την Εξίσωση (1) και την αρνητική τιμή της δεύτερης παραγώγου της συνάρτησης $M_u^{(r)}$ ($N^{(AB)}$) και συνεπώς της συνάρτησης $M_u^{(r)}$ ($N^{(AB)}$). Μια απλοποιημένη μέθοδος μπορεί να προταθεί για τον ορισμό του οριακού φορτίου Q της συνεχούς δοκού με μερική διατμητική σύνδεση. Αυτή η μέθοδος βασίζεται ξανά στη γραμμική παρεμβολή μεταξύ του οριακού φορτίου Q_{apl} μόνο της χαλύβδινης δοκού και του οριακού φορτίου Q_u της σύμμικτης δοκού με πλήρη διατμητική σύνδεση:

$$Q = Q_{apl} + \frac{N}{N_f} (Q - Q_{apl}) \quad (10)$$

(iii) Όπως έχει ήδη εξηγηθεί, η Q μπορεί να υπολογισθεί όταν ο αριθμός των διατμητικών συνδέσμων και η κατανομή τους είναι γνωστά. Αντιστρόφως όταν είναι γνωστή η Q η καμπύλη $A'B'C'$ ή η γραμμή $A'C'$ επιτρέπει τον καθορισμό του συνολικού αριθμού N των διατμητικών συνδέσμων και η κατανομή τους μπορεί τότε να ορισθεί από την Εξίσωση (7), και μετά την (6).

(iv) Η συζήτηση μέχρι τώρα έχει επικεντρωθεί στη συγκεκριμένη ρύθμιση φορτίου/ανοίγματος που φαίνεται στο Σχήμα 1. Παρόλα αυτά είναι σαφές ότι οι ίδιες αρχές μπορούν εύκολα να εφαρμοσθούν σε άλλες πιο γενικές περιπτώσεις συνεχών δοκών. Για αυτές τις περιπτώσεις, η Εξίσωση (1) (χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του οριακού φορτίου) θα είναι διαφορετική και ο ορισμός των κρίσιμων μηκών που σχετίζεται με τον πλαστικό μηχανισμό αστοχίας μπορεί να είναι πιο έξυπνος. Το Τμήμα 2.2.2 καλύπτει καταστάσεις όπου πολλά σημειακά φορτία και/ή κατανεμημένα φορτία εφαρμόζονται σε κάθε άνοιγμα μιας συνεχούς δοκού.

2.2.2 Γενικές Περιπτώσεις

Το Σχήμα 3 δείχνει την περίπτωση δύο ίσων συγκεντρωμένων φορτίων κάθε ένα τοποθετημένο στο τέταρτο του ανοίγματος από τις στηρίξεις. Η διατομή στο σημείο B είναι η κρίσιμη και το αντίστοιχο οριακό φορτίο δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \frac{1}{L} \left(4 M_u^{(r)} + M_u' \right) \quad (11)$$

Παρόλα αυτά αν η τελική τιμή του Q είναι σχετικά μεγάλη, συγκρινόμενη με την αντοχή της διατομής, μια ενδιάμεση διατομή πρέπει να εισαχθεί στο σημείο D, με αποτέλεσμα οι σύνδεσμοι να μην είναι ομοιόμορφα τοποθετημένοι κατά μήκος του εσωτερικού κρίσιμου μήκους BC.

Το Σχήμα 4 δείχνει μια συμμετρική δοκό δύο ανοιγμάτων με ένα ομοιόμορφα καταναμημένο φορτίο “q”. Ο σχεδιασμός της διατμητικής σύνδεσης απαιτεί η θέση της κρίσιμης διατομής B να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τον μηχανισμό πλαστικής άρθρωσης.

Αρα:

$$d = L \frac{M_u^{(r)}}{M_u'} \left(\sqrt{1 + \frac{M_u'}{M_u^{(r)}}} - 1 \right) \quad (12)$$

και η αντίστοιχη τιμή του οριακού φορτίου είναι:

$$q = \frac{2M_u^{(r)}L + M_u'd}{d(L-d)L} \quad (13)$$

Σε αντίθεση με τα Σχήματα 1 και 3, εδώ η θέση της κρίσιμης διατομής B επηρεάζεται ελαφρά από την εκλογή του αριθμού $N^{(BC)}$ των διατμητικών συνδέσμων. Αυτό κάνει τον ορισμό της καμπύλης (q/q_u , N/N_f), παρόμοιας με την A'B'C' στο Σχήμα 2, πιο δύσκολη. Η μέθοδος της παρεμβολής, παρόλα αυτά, ισχύει ακόμα, με το σύμβολο Q να αντικαθίσταται με το στην Εξίσωση (10).

Τελικά το Σχήμα 5, δείχνει μια πιο πολύπλοκη περίπτωση. Μια μη συμμετρική δοκός δύο ανοιγμάτων στην οποία ένα ομοιόμορφα συγκεντρωμένο φορτίο q εφαρμόζεται μαζί με ένα βαρύ σημειακό φορτίο Q στο μεγαλύτερο άνοιγμα μόνο. Σε αυτή την περίπτωση η θέση των κρίσιμων διατομών B και B', σε θετική ροπή, θα πρέπει να βρεθούν (βλέπε d και d' στο Σχήμα) και το κρίσιμο μήκος AB θα πρέπει να διαιρεθεί σε δύο υπο-μήκη με την εισαγωγή ενδιάμεσης διατομής D για τον έλεγχο της επάρκειας της διατμητικής σύνδεσης. Το εσωτερικό κρίσιμο μήκος BC μπορεί να σχεδιασθεί σύμφωνα με τη γενική μέθοδο ή με την απλοποιημένη. Για το εσωτερικό κρίσιμο μήκος CB', το οποίο δεν είναι τμήμα του μηχανισμού πλαστικής άρθρωσης, η διατμητική του σύνδεση μπορεί να σχεδιασθεί χρησιμοποιώντας την εξωτερική καμπτική ροπή M_B' κατά την αστοχία ως κτίρια, ότι η οριακή αντοχή των συνδέσμων P_{Rd} σε περιοχές αρνητική κάμψης συνεχών δοκών θα θρέπει να λαμβάνεται κατά 20% περίπου

μικρότερη από την τιμή P_{Rd} που χρησιμοποιείται σε περιοχές θετικής κάμψης. Παρόλα αυτά, ο Ευρωκώδικας 4 δεν έχει τέτοια απαίτηση.

2.2 Συνεχείς Δοκοί με Κρίσιμες Διατομές στην Κατηγορία 1

Το πολύ απλό παράδειγμα μιας συνεχούς δοκού δύο ανοιγμάτων κάτω από συγκεντρωμένο φορτίο θεωρείται παρακάτω για να αναπαραστήσει τις διαδικασίες.

2.2.1 Απλή Περίπτωση - Μεμονωμένο Σημειακό Φορτίο

Το Σχήμα 1a δείχνει ένα άνοιγμα AC μιας σύμμικτης δοκού δύο ανοιγμάτων, φορτισμένης με ένα μόνο συγκεντρωμένο φορτίο Q, στο σημείο B. Μια μέθοδος σχεδιασμού αναπτύσσεται τώρα και για την μερική και την πλήρη διατμητική σύνδεση της δοκού. Κατά την αστοχία, ένας πλήρης πλαστικός μηχανισμός υποτίθεται ότι συμβαίνει (διατομές Κατηγορίας 1), βλέπε Σχήμα 11, με την καμπτική ροπή να φθάνει την οριακή αντοχή της διατομής σε κάθε θέση πλαστικής άρθρωσης. Αν αυτές οι ροπές υποτεθούν να είναι $M_u^{(r)}$ και M_u^i σε θετική και αρνητική κάμ αντίστοιχα (βλέπε Σχήμα 1 τότε το οριακό φορτίο δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \frac{M_u^{(r)}L + M_u^i d}{d(L - d)} \quad (1)$$

Καθαρά, οι τιμές των $M_u^{(r)}$ και M_u^i εξαρτώνται από τη διαρρύθμιση της διατμητικής σύνδεσης. Όπως εξηγήθηκε στη Διάλεξη 10.4.1, ο υπολογισμός της αρνητικής ροπής αντοχής M_u βασίζεται στις ακόλουθες υποθέσεις:

- οι εφελκυστικές τάσεις στο σκυροδεμα αγνοούνται.
- ο οπλισμός της πλάκας διαρρέει, έτσι η εφελκυστική δύναμη στον οπλισμό κατά την αστοχία είναι ίση με:

$$F_s = \frac{a_s f_{sk}}{\gamma_s} \quad (2)$$

- όλες οι ίνες της χαλύβδινης διατομής διαρρέουν είτε σε θλίψη είτε σε εφελκυσμό.

Το κρίσιμο μήκος BC όπου η καμπτική ροπή αλλάζει πρόσημο, εξετάζεται πρώτα. Ο αριθμός N των όλκιμων διατμητικών συνδέσεων ομοιόμορφα κατανενημένων κατά μήκος αυτού του κρίσιμου μήκους μπορεί να εκλεγεί. Η οριζόντια συνθήκη ισορροπίας (βλέπε Σχήμα 1d), για την πλάκα σκυροδέματος, δίνει την εξίσωση:

$$V_\ell^{(BC)} = N^{(BC)} P_{Rd} = F_u^{(r)} + F_s \quad (3)$$

όπου $V_1^{(BC)}$ είναι η συνολική διαμήκης διατμητική δύναμη στο θεωρούμενο κρίσιμο μήκος, και $F_u^{(r)}$ είναι η θλιπτική δύναμη στην πλάκα σκυροδέματος στην εσωτερική κρίσιμη διατομή B. Έτσι η τιμή του $F_u^{(r)}$ μπορεί να ορισθεί:

$$F_u^{(r)} = N^{(BC)} P_{Rd} - F_s \quad (4)$$

και συνεπώς η μειωμένη τελική θετική ροπή $M_u^{(r)}$ χρησιμοποιώντας τις Εξισώσεις (10) και (12) που έχουν γραφεί για απλά στηριζόμενες δοκούς (βλέπετε Διάλεξη 10.6.2).

Θεωρώντας το εξωτερικό κρίσιμο μήκος AB, το οποίο είναι μόνο σε θετική κάμψη, ο απαιτούμενος αριθμός $N^{(AB)}$ διατμητικών συνδέσμων προκύπτει άμεσα από την Εξίσωση:

$$V_\ell^{(BC)} = N^{(AB)} P_{Rd} = F_u^{(r)} \quad (5)$$

απ' όπου

$$N^{(AB)} = \frac{F_u^{(r)}}{P_{Rd}} = N^{(BC)} - \frac{F_s}{P_{Rd}} \quad (6)$$

Τελικά, ο συνολικός αριθμός N των διατμητικών συνδέσμων, κατανεμημένων ομοιόμορφα κατά μήκος ολόκληρου του ανοίγματος AC είναι ίσος με:

$$N = N^{(AB)} + N^{(BC)} = 2N^{(BC)} - \frac{F_s}{P_{Rd}} \quad (7)$$

Ανακεφαλαιωτικά, χρησιμοποιώντας την παράμετρο $N^{(BC)}$ το οριακό φορτίο Q της δοκού, Εξίσωση (1), μπορεί να υπολογισθεί ως συνάρτηση του συνολικού αριθμού N των διατμητικών συνδέσμων, Εξίσωση (7), στο θεωρούμενο άνοιγμα, υποθέτοντας ότι εμφανίζεται ένας μηχανισμός πλαστικής αστοχίας. Προφανώς η περίπτωση της πλήρους διατμητικής σύνδεσης αντιστοιχεί στην ειδική τιμή $N_f^{(BC)}$ έτσι ώστε η Εξίσωση (4) οδηγεί στη μέγιστη τιμή του $F_u^{(r)}$ δηλ. το V_{lf} δίνεται από την Εξίσωση (4) της Διάλεξης 10.6.2. Άρα:

$$N_f^{(BC)} = \frac{V_{lf} + F_s}{P_{Rd}} \quad (8)$$

Οι αντίστοιχες τιμές του συνολικού αριθμού των διατμητικών συνδέσμων και του οριακού φορτίου της δοκού ορίζονται από τα σύμβολα N_f και Q_u .

Για να παρουσιάσει τα παραπάνω αποτελέσματα το Σχήμα 2 δίνει μια γραφική παράσταση της σχέσης μεταξύ Q και N (σε αδιάστατη μορφή), δηλαδή την καμπύλη $A'B'C'$. Για τους ίδιους λόγους όπως εξηγήθηκε στην ίση με τη μειωμένη πλαστική ροπή αντοχής στη διατομή B'. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ίδια επεξεργασία χρησιμοποιείται για ενδιάμεσες διατομές.

3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ 2 ΣΤΙΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ

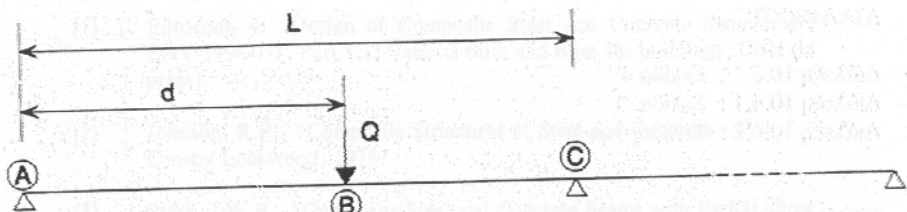
Οι διατομές Κατηγορίας 2 συζητούνται εδώ μαζί με διατομές με κορμούς Κατηγορίας 3 οι οποίες μπορούν να αντικατασταθούν με ένα ενεργό κορμό Κατηγορίας 2 χρησιμοποιώντας μείωση της επιφανείας. Αναφερόμενοι στο απλό παράδειγμα του Σχήματος 1, το οριακό φορτίο σχεδιασμού για τη δοκό δεν μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας ανάλυση πλαστικής άρθρωσης. Μόνο μια ελαστική γενική ανάλυση με περιορισμένη ανακατανομή των ροπών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δοκό, η οποία οδηγεί σε ένα οριακό φορτίο (μικρότερο από την αντίστοιχη τιμή Q_d για δοκό Κατηγορίας 1 με πλήρη διατμητική σύνδεση. Μιας και $M_B < M_u$ στην περιοχή θετικής ροπής, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6, είναι σαφές ότι μερική διατμητική σύνδεση θα εμφανισθεί ακόμα και όταν η δοκός χρησιμοποιείται στην πλήρη της καμπτική αντοχή. Προσοχή πρέπει να δοθεί εδώ στο γεγονός ότι η κυρτή καμπύλη $A'B'C'$, στο Σχήμα 2, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογισθεί ο συνολικός αριθμός N των διατμητικών συνδέσεων στο άνοιγμα A γιατί, ο μηχανισμός πλαστικής άρθρωσης δεν μπορεί να συμβεί στην Κατηγορίας 2 διατομή B . Στην πράξη παρόλα αυτά μια γραμμή παρόμοια με την $A'C$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτό το πρόβλημα, καθώς δίνει ασφαλή αποτελέσματα. Ως εκ τούτου σε περίπτωση απουσίας πιο αυστηρού υπολογισμού, ο βαθμός της σύνδεσης N/N_f μπορεί να υπολογισθεί από τη γραμμική σχέση:

$$\frac{N}{N_f} = \frac{Q_d - Q_{apl}}{Q_u - Q_{apl}} \quad (14)$$

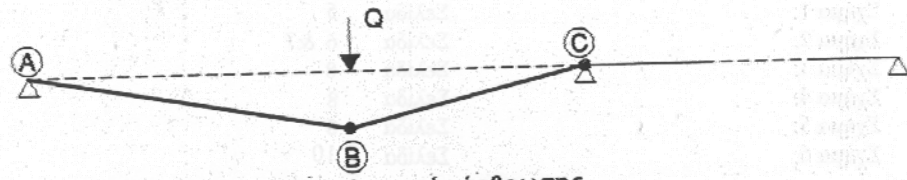
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι Q_u και Q_{apl} υπολογίζονται τώρα με τη χρήση ελαστικής συνολικής ανάλυσης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

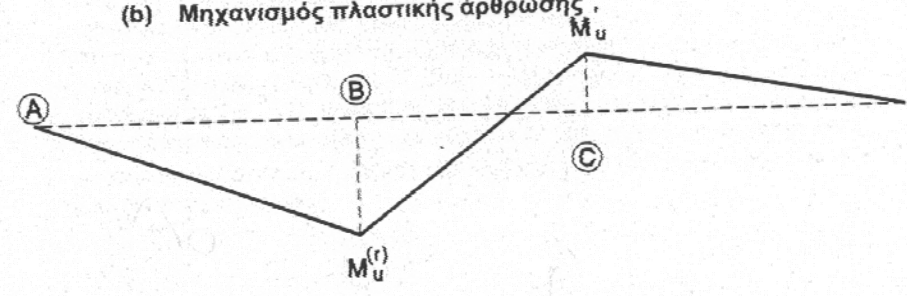
1. Ο σχεδιασμός της διατμητικής σύνδεσης, για περιοχές αρνητικής ροπής συνεχών σύμμικτων δοκών, είναι ένα πιο πολύπλοκο πρόβλημα από την περίπτωση των απλά στηριζόμενων δοκών και απαιτεί ειδική ανάλυση.
2. Όταν χρησιμοποιούνται όλκιμοι διατμητικοί σύνδεσμοι μια μέθοδος πλαστικού σχεδιασμού μπορεί να αναπτυχθεί για χρήση σε περιοχές αρνητικής ροπής, η οποία εξαρτάται από το αν έχει χρησιμοποιηθεί δοκός Κατηγορίας 1 ή 2. Για να αποφευχθεί πολύπλοκη ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια απλή γραμμική μέθοδος για το σχεδιασμό.



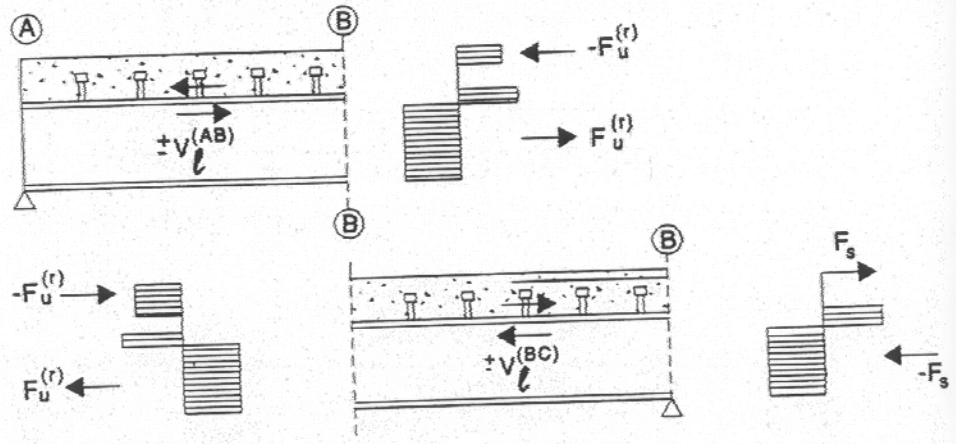
(a) Ένα σημειακό φορτίο σε ένα μόνο άνοιγμα



(b) Μηχανισμός πλαστικής άρθρωσης

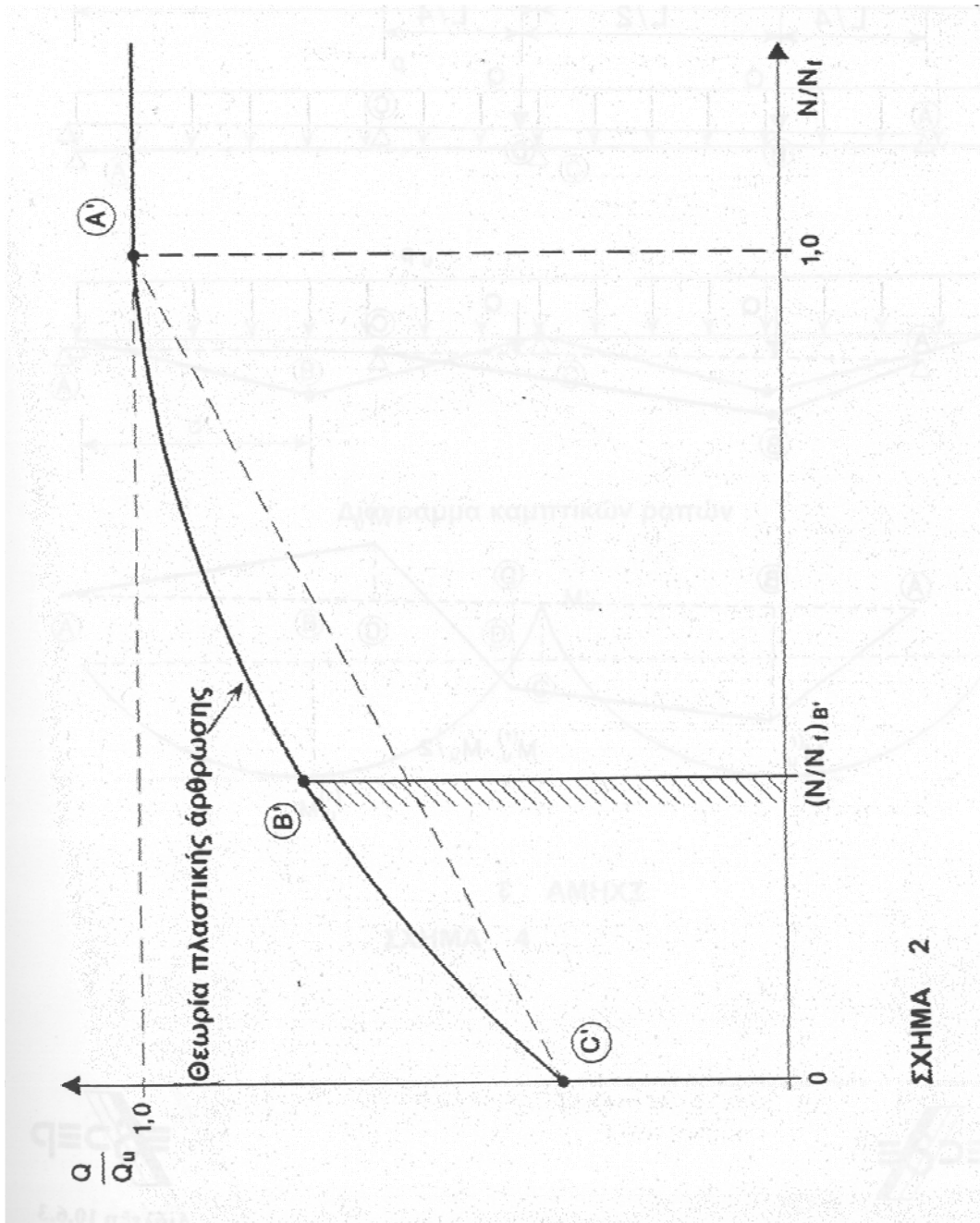


(c) Κατανομή καμπτικών ροπών για κρίσιμη διατομή Κατηγορίας 1



(d) Ισορροπία στον οριζόντιο άξονα για κάθε κρίσιμο μήκος

ΣΧΗΜΑ 1



ΣΧΗΜΑ 2

ESDEP O.E. 10

ΣΥΜΜΙΚΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Διάλεξη : 10.7 : Σύμμικτες Πλάκες

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ/ΣΚΟΠΟΣ

Να περιγραφεί ο σχεδιασμός πλακών εδραζομένων σε δύο απέναντι πλευρές, και διαμορφωμένων με τη χρήση προφίλ χαλυβδόφυλλου και μιας επικάλυψης απο σκυρόδεμα, συμπεριλαμβανομένης της θεώρησης των οριακών καταστάσεων αντοχής και λειτουργικότητας σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 4: Μέρος 1[1] για δομικές κατασκευές.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 9.1 : Λεπτότοιχα Μέλη και Φύλλα

Διάλεξη 10.1 : Σύμμικτες Δοκοί - Γενικά

Διάλεξη 10.6.1: Διατμητική Σύνδεση I

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Ολες οι άλλες της ομάδας 10.

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Παράδειγμα εργασίας 10. 4 : Σχεδιασμός Σύμμικτης Πλάκας

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Δίνονται περιγραφές συμμίκτων πλακών, τυπικών φύλλων προφίλ και μέσω των διασφάλισης της σύμμικτης συμπεριφοράς. Καθορίζονται κριτήρια σχεδιασμού με όρους φορτίων, υπολογιστικής αντοχής και ορίων λειτουργικότητας. Η ανάλυση των συνεχών πλακών βασίζεται σε ελαστικές ή πλαστικές θεωρίες. Η αντίσταση των κρίσιμων διατομών υπολογίζεται λαμβάνοντας υπ' όψη όλους τους δυνατούς τρόπους αστοχίας. Ο σχεδιασμός για την οριακή κατάσταση αντοχής συνίσταται στον έλεγχο αν η αντοχή είναι επαρκής για να αντιμετωπίσει τις μέγιστες προβλεπόμενες δυνάμεις. Ο σχεδιασμός για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας εκτελείται για να περιορισθεί η ρηγματώση του σκυροδέματος και οι βυθίσεις της πλάκας, λαμβάνοντας υπ' όψη τον ερπυσμό και τη συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος. Οι παραπάνω μέθοδοι παρουσιάζονται στο παράδειγμα εργασίας 10.4.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός

Μια σύμμικτη πλάκα αποτελείται από ένα φύλλο χάλυβα εν ψυχρώ διαμορφωμένο καλυμμένα με πλάκα σκυροδέματος που περιέχει οπλισμό (Σχήμα 1). Τέτοιες πλάκες χρησιμοποιούνται γενικά σε παισιωτές κατασκευές, με χαλύβδινες δοκούς δαπέδου, όπως συζητήθηκε προηγουμένως στη Διάλεξη 10.1 Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλα υλικά.

Σε αυτό τον τύπο της κατασκευής το χαλύβινο φύλλο έχει πολλές λειτουργίες:

- παρέχει μια πλατφόρμα εργασίας για την κατασκευή.
- δρά σαν καλούπι για την πλάκα σκυροδέματος.
- αποτελεί κάτω ενίσχυση (οπλισμό) για την πλάκα.

Η παρούσα διάλεξη ασχολείται κυρίως με σύμμικτες πλάκες όταν ο σύνδεσμος χάλυβα-σκυροδέματος έχει ήδη διαμορφωθεί δηλ. μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος. Ο σχεδιασμός για το στάδιο κατασκευής, όταν το χαλύβινο φύλλο υποστηρίζει το βάρος του υγρού σκυροδέματος, λαμβάνεται υπ' όψη συνοπτικά.

1.2 Τύποι του προφίλ του φύλλου

Υπάρχουν πολλοί τύποι προφίλ φύλλων που χρησιμοποιούνται για την Κατασκευή σύμμικτων πλακών (Σχήμα 2). Αυτοί οι τύποι διαφέρουν στη μορφή, στο βάθος της νευρώσεως, στην απόσταση των νευρώσεων μεταξύ τους, στο μέγεθος του φύλλου, στον τύπο της πλευρικής διαμόρφωσης. Επίσης στις μεθόδους επίτευξης της ακαμψίας στα επίπεδα στοιχεία του προφίλ και στις μεθόδους της μηχανικής σύνδεσης η οποία διασφαλίζει το δεσμό μεταξύ του χαλύβδινου φύλλου και της πλάκας σκυροδέματος.

Το πάχος των φύλλων μπορεί να διαφέρει από 0,75 mm έως 1,5 mm αλλά στη συνήθη πρακτική κείται μεταξύ 0,75 και 1,0 mm.

Το ύψος των προφίλ των φύλλων μπορεί να μεταβάλλεται από 38 mm μέχρι 80 mm.

Οποιοσδήποτε κι αν είναι οι συγκεκριμένες απαιτήσεις για ένα χαλύβινο παισιωτό κτίριο, είναι πιθανόν να πληρούνται με την χρήση φύλλου προφίλ από αυτή την ποικιλία, όπως πληρούνται τα τυπικά κριτήρια για ηχομόνωση, πυροπροστασία, μέγιστο άνοιγμα και μέγιστο φορτίο.

1.3 Σύνδεση Χάλυβα - Σκυροδέματος

Ο δεσμός μεταξύ της πλάκας του σκυροδέματος και του προφίλ φύλλου πρέπει να είναι ικανός να μεταδίδει διαμήκη διάτμηση στην διεπιφάνεια χάλυβα - σκυροδέματος.

Αυτή η σύνδεση μπορεί να γίνει με ένα ή περισσότερους απο τους ακόλουθους τρόπους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 (Το οποίο έχει ληφθεί απο το Σχήμα 7.1 του Ευρωκώδικα 4

- με τη διαμόρφωση αρνητικών κλίσεων των παρειών των νευρώσεων που δημιουργούν δεσμό μέσω τριβής (Σχήμα 3a, b).
- με ανάγλυφα στα πέλματα ή τα πλευρά του φύλλου (Σχήμα 3c)
- με αγκυρώσεις τοποθετημένες στα άκρα της πλάκας, που αποτελούνται απο συνδέσμους με μορφή ήλου συγκολλημένους μέσω του φύλλου (Σχήμα 3d), εν θερμώ τοποθετημένους διατμητικούς συνδέσμους (Σχήμα 3e) ή με παραμόρφωση των νευρώσεων (Σχήμα 3f).

2. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

2.1 Καταστάσεις σχεδιασμού

Όταν σχεδιάζουμε σύμμικτες πλάκες πρέπει να ελέγχονται δύο ξεχωριστές δομικές καταστάσεις : πρώτα, η προσωρινή κατάσταση εκτέλεσης, όταν μόνο τα φύλλα ανθίστανται στα εφαρμοζόμενα φορτία και μετά το μόνιμο στάδιο, μετά την εξασφάλιση της συνεργασίας του σκυροδέματος με το χάλυβα που δίδει τη σύμμικτη δράση.

Σχετικές οριακές καταστάσεις και περιπτώσεις φορτίσεως λαμβάνονται υπ' όψη και στις δύο καταστάσεις σχεδιασμού.

a) Το προφίλ χαλυβδόφυλλου σαν επικάλυψη

Επαληθεύσεις απαιτούνται στην οριακή κατάσταση αντοχής και στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, ως προς την ασφάλεια και λειτουργικότητα του χαλυβδόφυλλου που δρά σαν καλούπι για το υγρό σκυρόδεμα. Οι επιδράσεις οποιωνδήποτε προσωρινών υποστηρίξεων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη σε αυτή την κατάσταση σχεδιασμού.

b) Σύμμικτες πλάκες

Επαληθεύσεις απαιτούνται στην οριακή κατάσταση αντοχής και στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, ως προς την ασφάλεια και λειτουργικότητα της σύμμικτης πλάκας μετά την επίτευξη της σύμμικτης συμπεριφοράς και την απομάκρυνση τυχόν υποστηρίξεων.

2.2 Δράσεις

Τα φορτία και άλλες δράσεις που λαμβάνονται υπ' όψη , για τις οριακές καταστάσεις αντοχής και λειτουργικότητας, δίνονται στους σχετικούς Ευρωκώδικες.

Για την κατάσταση που το προφίλ του φύλλου δρά σαν καλούπι,, τα ακόλουθα φορτία θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη στους υπολογισμούς, λαμβάνοντας υπ' όψη κάθε επιδράση υποστήριξης:

- ίδιο βάρος του φύλλου.
- βάρος του νωπού σκυροδέματος.
- φορτία εκτέλεσης.
- προσωρινά φορτία αποθήκευσης, αν εφαρμόζονται.

Τα φορτία εκτέλεσης αντιπροσωπεύουν το βάρος των τεχνιτών, κάποια φορτία λόγω της τοποθέτησης του σκυροδέματος, και επίσης λαμβάνουν υπ' όψιν κάθε κρούση ή ταλάντωση που πιθανόν συμβαίνει κατά την εκτέλεση. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 4[1], μια αντιπροσωπευτική τιμή το φορτίων εκτέλεσης(συμπεριλαμβανομένης κάθε περίσσειας σκυροδέματος) μπορεί να ληφθεί πως είναι 1,5 kN/m κατανεμημένη σε μια

επιφάνεια 3 m 3 m (ή στο άνοιγμα του φύλλου αν είναι μικρότερο) και 0,75 kN/m στην υπολειπόμενη επιφάνεια του καλουπιού.

Για την κατάσταση όπου ο χάλυβας και το σκυρόδεμα δρουν σύμμικτα, τα φορτία που δρουν στην πλάκα θα πρέπει να συμφωνούν με τον Ευρωκώδια 1[2].

- ίδιο βάρος της πλάκας (φύλλου και σκυροδέματος)
- βάρος των τελειωμάτων του δαπέδου
- επιβαλλόμενα φορτία

Για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, τιμές μακράς διάρκειας των φορτίων απαιτούνται για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων λαμβάνοντας υπ' όψη τον ερπυσμό και τη συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος.

2.3 Ιδιότητες Υλικών

Προφίλ φύλλου

Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του προφίλ του φύλλου έχει μια ελάχιστη ονομαστική τάση διαρροής ίση με 220 N/mm. Γενικά, παρόλα αυτά οι σύμμικτες πλάκες κατασκευάζονται από προφίλ φύλλου διαμορφωμένου από γαλβανισμένο χάλυβα κατηγορίας από 280 μέχρι 350, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 10147[3]. Οι αντίστοιχες ονομαστικές τιμές της αντοχής διαρροής για αυτούς τους χάλυβες είναι:

κατηγορία χάλυβα 280: $f_{yb} = 280 \text{ N/mm}$

κατηγορία χάλυβα 350: $f_{yb} = 350 \text{ N/mm}$

Η χαρακτηριστική αντοχή διαρροής f_{yap} , είναι ίση με την ονομαστική αντοχή διαρροής του βασικού υλικού f_{yp} που αναφέρθηκε παραπάνω για τον υπολογισμό της οριακής αντοχής.

Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται για σύμμικτες πλάκες μπορεί να γίνει με συνήθη ή ελαφρού βάρους συστατικά.

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι σκυροδέματος (βαθμονόμηση σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 δίνονται στον Πίνακα 1, ο οποίος επίσης δίνει τις ακόλουθες ιδιότητες : χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου 28 ημερών, f_{ck} μέση εφελκυστική αντοχή f_{ctm} , η οποία σχετίζεται με την διατμητική αντοχή τ_{Rd} , και το τέμνον μέτρο ελαστικότητας, E_{cm} .

Οπλισμός

Όλοι οι χάλυβες οπλισμού που χρησιμοποιούνται σε σύμμικτες πλάκες συμμορφώνονται με τον Ευρωκώδικα 2. Οι τύποι που αφορούν είναι ουσιαστικά ράβδοι με νευρώσεις και σύρματα με νευρώσεις, συμπεριλαμβανομένου συγκολλητού πλέγματος, κατασκευασμένων από χάλυβες κατηγοριών ολκιμότητας A ή B. Η κατηγορία A συνιστάται για οπλισμούς σε περιοχές αρνητικής ροπής και οπλισμού πυραντίστασης.

Χαρακτηριστικές τιμές για τις περισσότερο χρησιμοποιούμενους χάλυβες οπλισμού δίνονται στον Πίνακα 2.

2.4 Ορια βυθίσεων

a) Βύθιση κατά την εκτέλεση (στάδιο κατασκευής)

Κατά την εκτέλεση, η βύθιση του φύλλου κάτω από φορτία λόγω του ιδίου βάρους και του υγρού σκυροδέματος, δεν πρέπει να υπερβαίνει μια οριακή τιμή.

Για παράδειγμα ο Ευρωκώδικας 4 θέτει το όριο στα 1/180 ή 20 mm, όπου 1 είναι το άνοιγμα του φύλλου μεταξύ των στηρίξεων. Στην περίπτωση του προστηριζόμενου φύλλου, οι υποστηρίξεις θεωρούνται σαν στηρίξεις. Σε θέσεις όπου μεγαλύτερη βύθιση μπορεί να γίνει ανεκτή, ο υπολογισμός για την οριακή κατάσταση αντοχής θα πρέπει να λαμβάνει υπ' όψη το βάρος του πρόσθετου σκυροδέματος λόγω της βύθισης (η επίδραση της “έγχυσης”).

b) Βύθιση στη σύμμικτη κατάσταση (μόνιμη κατάσταση)

Οι βυθίσεις στη σύμμικτη κατάσταση πρέπει να είναι περιορισμένες, έτσι ώστε η πλάκα να εκπληρώνει την επιδιωκόμενη λειτουργία της και επιπλέον κάθε άλλο στοιχείο σε επαφή με αυτή (ψευδοροφές, σωληνώσεις, πετάσματα, χωρίσματα) να μην καταστραφεί. Τα όρια της βύθισης πρέπει, ως εκ τούτου, να θεωρούνται σε σχέση με τη χρήση της πλάκας, τη διαδικασία εκτέλεσης και τις αρχιτεκτονικές θεωρήσεις (αισθητικές).

Οι τιμές που προτείνονται από τον Ευρωκώδικα 3 για δάπεδα και οροφές σε κτίρια, είναι ως ακολούθως:

$$\delta_{\max} \leq 1/250$$

(1 είναι το άνοιγμα της σύμμικτης πλάκας)

$$\delta_2 \leq 1/300$$

όπου

δ_{\max} είναι η συνολική βύθιση του δαπέδου ή της οροφής, συμπεριλαμβανομένης κάθε προκαμπύλωσης και κάθε μεταβολή της βύθισης λόγω των μονίμων φορτίων αμέσως μετά την φόρτιση συμπεριλαμβανομένης επί πλέον της δ_2 .

δ_2 είναι η μεταβολή της βύθισης λόγω μεταβλητής φόρτισης που δρά στην πλάκα σύν τις χρονικά εξαρτώμενες βυθίσεις λόγω των μόνιμων φορτίων.

Αν η σύμμικτη πλάκα υποστηρίζει ψαθυρά στοιχεία (τελειώματα δαπέδων απο σκυρόδεμα, μη εύκαμπτα χωρίσματα, κλπ), το δ_2 πρέπει να περιορίζεται στο 1/350.

2.5 Συνθήκες Επαλήθευσης

Δύο επαληθεύσεις είναι αναγκαίες για να διασφαλιστεί οτι πληρούνται οι απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργικότητας:

- επαλήθευση στις οριακές καταστάσεις αντοχής
- επαλήθευση στις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

a) Συνθήκες επαλήθευσης για τις οριακές καταστάσεις αντοχής

Η αντοχή του φύλλου (στάδιο εκτέλεσης) ή της σύμμικτης πλάκας (μόνιμο στάδιο) πρέπει να είναι επαρκής για να ανθίσταται σε εξωτερικά φορτία. Κάθε διατομή ή μέλος πρέπει να είναι ικανό να ανθίσταται στις εσωτερικές δυνάμεις που ορίζονται απο την ανάλυση της κατασκευής.

Οταν θεωρείται μια οριακή κατάσταση θραύσης ή υπερβολικής παραμόρφωσης, θα πρέπει να πιστοποιείται οτι

$$S_d \leq R_d$$

όπου

S_d είναι η τιμή σχεδιασμού των επιδράσεων των φορτίων

R_d είναι η τιμή της υπολογιστικής αντοχής

Οι συνδυασμοί των φορτίων που απαιτούνται για το σχεδιασμό, και υπολογισμός των επιδράσεών τους (ροπές, τέμνουσες κ.λ.π.) συζητούνται σε αυτή τη διάλεξη. Για περαιτέρω πληροφορίες θα πρέπει γίνει αναφορά στους σχετικούς Ευρωκώδικες ή Εθνικούς Κανονισμούς.

Ο υπολογισμός της αντοχής των κρίσιμων διατομών συμμίκτων πλι δίνεται στο Τμήμα 4.

b) Συνθήκες επαλήθευσης για τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Η συμπεριφορά του φύλλου, Κάτω απο το ίδιο βάρος του και Το βάρος του υγρού σκυροδέματος, πρέπει να βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια.

Θα πρέπει να γίνουν οι ακόλουθες επαληθεύσεις:

- βύθιση μέσα στο επιτρεπτό όριο (εμφάνιση, επίδραση του πρόσθετου υλικού στην κοιλότητα).
- σημάδια στο φύλλο λόγω των προσωρινών υποστηρίξεων κατασκευής δεν Πρέπει να είναι ορατά.

Η συμπεριφορά της σύμμικτης πλάκας κάτω απο μόνιμα φορτία και μεταβλητά φορτία λειτουργίας πρέπει να βρίσκεται στα αποδεκτά όρια.

Θα πρέπει να επαληθεύονται οι ακόλουθες καταστάσεις:

- Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος πρέπει να περιορίζεται σε ένα ορισμένο πλάτος (διάβρωση του οπλισμού, εμφάνιση).
- Η βύθιση ή η μεταβολή της βύθισης, να βρίσκεται στα αποδεκτά όρια (χρήση της πλάκας, βλάβη των μη δομικών στοιχείων, εμφάνιση, κ.λ.π.).
- Οι ταλαντώσεις να μην υπερβαίνουν μια οριακή τιμή (αυτή η οριακή κατάσταση δεν εξετάζεται σε αυτή τη διάλεξη).

3. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

3.1 Συμπεριφορά του φύλλου

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης όταν το σκυρόδεμα είναι υγρό, το φύλλο απο μόνο του ανθίσταται στα εξωτερικά φορτία. Η συμπεριφορά του είναι τότε συγκρίσιμη με τη συμπεριφορά των προφίλ που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή στεγών.

Το φύλλο υπόκειται κυρίως σε κάμψη και διάτμηση. Η θλίψη λόγω της κάμψης μπορεί να εμφανισθεί είτε στα πέλματα είτε στον κορμό. Η διάτμηση εμφανίζεται ουσιαστικά κοντά στις στηρίξεις. Τα λεπτότοιχα στοιχεία, τα οποία δημιουργούν το φύλλο, μπορεί να λυγίσουν πριν από τη διαρροή κάτω από αυτές τις θλιπτικές και διατμητικές τάσεις, και έτσι να μειώσουν την αντίσταση και την ακαμψία του φύλλου.

Οι παρούσες διαδικασίες σχεδιασμού βασίζονται στην ιδέα του συνεργαζόμενου πλάτους, όπως περιγράφηκε στη Διάλεξη 9. 1, για να παράσχουν μια μέθοδο για τον υπολογισμό αυτού του τύπου λεπτότοιχου μέλους. Σαφώς, το συνεργαζόμενο πλάτος του θλιβόμενου πέλματος εξαρτάται από τη θέση του ουδέτερου άξονα της διατομής. Καθώς η ανενεργός επιφάνεια του πέλματος αυξάνει κάτω από αυξανόμενη καμπτική ροπή, ο ουδέτερος άξονας του προφίλ είναι χαμηλότερα και οι τάσεις της εξώτατης ίνας αλλάζουν ανάλογα. Επαναληπτικοί υπολογισμοί σχεδιασμού, ως εκ τούτου, γίνονται απαραίτητοι και για την αντοχή και την βύθιση.

3.2 Συμπεριφορά Συμμίκτων Πλακών

Η συμπεριφορά των συμμίκτων πλακών είναι κατά κάποιο τρόπο διαφορετική από αυτή των άλλων παρόμοιων μορφών σύμμικτης κατασκευής, όπως πλακών από ωπλισμένο σκυρόδεμα ή σύμμικτων δοκών από χάλυβα και σκυρόδεμα. Η σύμμικτη δράση επιτυγχάνεται στο ωπλισμένο σκυρόδεμα από την πρόσφυση του σκυροδέματος στον οπλισμό λόγω της ιδιαίτερης διατομής των ράβδων που χρησιμοποιούνται. Αυτή η σύνδεση (πρόσφυση), που πιστοποιείται από ελέγχους, είναι η ίδια στην τελική κατάσταση αντοχής του οπλισμού σε εφελκυσμό υποθέτοντας πάντα ότι η πλάκα μπορεί να αναπτύξει πλήρη αντοχή στην κάμψη. Σε σύμμικτες δοκούς, η σύμμικτη δράση επιτυγχάνεται με συνδέσμους προσαρμοσμένους στο άνω πέλμα της χαλύβδινης δοκού. Ο σχεδιασμός αυτών των συνδέσμων μπορεί να βασίζεται στην υπόθεση ότι η δοκός εμφανίζει τελική καμπτική αντοχή (πλήρης σύνδεση). Αν ο αριθμός των συνδέσμων είναι μικρότερος από αυτόν που απαιτείται για την πλήρη σύνδεση τότε η σύνδεση είναι μερική. Σε αυτή την περίπτωση η τελική αντοχή σε κάμψη εξαρτάται ουσιαστικά από τον αριθμό των συνδέσμων, από την κλίση του διαγράμματος φορτίου-ολίσθησης των συνδέσμων, το άνοιγμα της δοκού, και τη μέθοδο κατασκευής, δηλ. την εκτέλεση.

Η σύμμικτη πλάκα με προφίλ χαλυβδόφυλλου είναι στο ενδιαμέσο αυτών των δύο συστημάτων. Από τη μια το φύλλο με ανάγλυφα ή αγκυρώσεις είναι συγκρίσιμο με τον οπλισμό, και από την άλλη, το φύλλο είναι ένα στοιχείο με καμπτική ακαμψία παρόμοια των χαλύβδινων δοκών. Η διαφορά προέρχεται από το γεγονός ότι το χαλυβδόφυλλο, και παρόμοια τα ανάγλυφα, μπορεί να παραμορφωθούν κάτω από φορτίο. Επίσης, σε αντίθεση με τον οπλισμό, το προφίλ φύλλου δεν ευεργετείται από το να είναι πλήρως εγκιβωτισμένο στο σκυρόδεμα. Οι αναρίθμητες παράμετροι που

εμπεριέχονται., λοιπόν, κάνουν την ανάλυση της πραγματικής συμπεριφοράς των σύμμικτων πλακών πολύ περίπλοκη.

Πρόσφατες θεωρητικές και πειραματικές εργασίες έχουν διακριτοποιήσει διαφορετικές παραμέτρους και αποκάλυψαν δύο μορφές συμπεριφοράς. Αυτές οι μορφές βασίζονται στην ανάλυση των καμπυλών φορτίου-βύθισης οι οποίες μπορούν να ληφθούν, για παράδειγμα, όταν γίνονται πειράματα κάμψης σε σύμμικτες αμφιέριστες πλάκες που υπόκεινται σε δύο συγκεντρωμένα φορτία (Σχήμα 4).

Μορφή 1

Το χαρακτηριστικό αυτής της μορφής είναι μια αρχικά γραμμική καμπύλη, όπως στο Σχήμα 5, η οποία ανταποκρίνεται στην συμπεριφορά ενός ομογενούς υλικού που συγκρατείται με επιδράσεις επιφανείας (χημικός δεσμός και τριβή) και μηχανικές επιδράσεις (ανάγλυφα και αγκυρώσεις). Δεν συμβαίνει σημαντική σχετική ολίσθηση μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος. Καθώς το φορτίο αυξάνεται, η ακαμψία μειώνεται λόγω σχηματισμού ρωγμών στο σκυρόδεμα εκ του εφελκυσμού. Οι διατμητικές τάσεις μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος αυξάνονται στη ζώνη μεταξύ του συγκεντρωμένου φορτίου και της στήριξης. Σε ένα συγκεκριμένο σημείο η σχετική ολίσθηση είναι τέτοια που ο δεσμός σπάει και το φορτίο ξαφνικά μειώνεται. Όλη η διατμητική δύναμη πρέπει ως εκ τούτου να αναλαμβάνεται από την τριβή και από τα ανάγλυφα. Το ποσοστό της μείωσης του φορτίου εξαρτάται από την ποιότητα του μηχανικού δεσμού. Με περαιτέρω παραμόρφωση της πλάκας το φορτίο αυξάνεται πάλι λίγο χωρίς ποτέ να φθάνει το επίπεδο της αρχικής φάσης. Αυτό σημαίνει ότι ο μηχανικός δεσμός είναι ανίκανος να επιτύχει τη σύμμικτη επίδραση που να υπερέρχει από αυτό του απλού επιφανειακού δεσμού. Θα πρέπει να τονισθεί ότι η μείωση στο φορτίο δεν οφείλεται στο ξαφνικό άνοιγμα των ρωγμών λόγω του εφελκυσμού στο σκυρόδεμα, γιατί αυτό προλαμβάνεται από το φύλλο, αλλά στη σχετική ολίσθηση μεταξύ του σκυροδέματος και του φύλλου.

Μορφή 2

Αυτή η μορφή χαρακτηρίζεται από μια αρχική φάση όμοια με αυτή της μορφής 1. Παρόλα αυτά η δεύτερη φάση είναι διαφορετική : μετά από μια μείωση στο φορτίο, που ανταποκρίνεται στην αστοχία του δεσμού χάλυβα- σκυροδέματος στη διατεμνόμενη ζώνη, το φορτίο αυξάνει ξανά μέχρι ένα υψηλότερο επίπεδο. Αυτή η αύξηση δείχνει ότι η μηχανική σύνδεση είναι ικανή να μεταφέρει τη διατμητική δύναμη μέχρι την εμφάνιση αστοχίας από κάμψη, ανταποκρινόμενη σε πλήρη διατμητική σύνδεση, ή από κατά μήκος διάτμηση, που ανταποκρίνεται σε μερική διατμητική σύνδεση.

Οι δύο μορφές που περιγράφηκαν παραπάνω παριστούν ψαθυρή (ή μη όλκιμη) συμπεριφορά (μορφή 1) και όλκιμη συμπεριφορά (μορφή 2), βλέπε Σχήμα 5.

3.3 Ανάλυση των Σύμμικτων Πλακών

Η ανάλυση μιας σύμμικτης πλάκας μπορεί να γίνει σύμφωνα με μια από τις ακόλουθες μεθόδους:

- γραμμική ελαστική
- γραμμική ελαστική με επανακατανομή ροπής.
- πλαστική σύμφωνα με τη θεωρία των πλαστικών αρθρώσεων.
- μια ανάλυση μεγαλύτερης τάξης η οποία λαμβάνει υπ' όψη μη γραμμική συμπεριφορά του υλικού και ολίσθηση μεταξύ του φύλλου και της πλάκας σκυροδέματος.

a) Ανάλυση για την οριακή κατάσταση αντοχής

Στις περισσότερες περιπτώσεις ανάλυσης συμμίκτων πλακών, συνεχών πάνω απο πολλά ανοίγματα, αυτή εκτελείται σύμφωνα με την ελαστική μέθοδο, για πλάκα με μοναδιαίο πλάτος (1m), συγκρίσιμη με μια δοκό σταθερής αδράνειας (Σχήμα 6, γραμμή (1)). Η υποτιθέμενη αδράνεια είναι αυτή της μη ρηγματωμένης διατομής.

Είναι δυνατόν να ληφθεί υπ' όψη η ρηγματώση του σκυροδέματος με πολλούς τρόπους:

- Αυθαίρετη μείωση της ροπής στις στηρίξεις (μέγιστη μείωση 30%) και συνεπώς αύξηση των ροπών στο άνοιγμα (Σχήμα 6, γραμμή (2)).
- Ολική αγνόηση του οπλισμού πάνω απο τις στηρίξεις και Θεώρηση της πλάκας ως μιας σειράς απλά στηριζόμενων δοκών (Σχήμα 6, γραμμή 3)). Ελάχιστος οπλισμός πρέπει να τοποθετείται πάντα πάνω απο ενδιάμεσες στηρίξεις για λόγους λειτουργικότητας.
- Θεώρηση οτι η πλάκα είναι μια δοκός με μεταβλητή αδράνεια, εξαρτώμενη απο τον οπλισμό. Η υποτιθέμενη αδράνεια είναι αυτή της ρηγματωμένης διατομής.

Η ανάλυση θα χρησιμοποιήσει ενα απο τα παραπάνω στατικά προσομοιώματα απο κοινού με τα οριζόμενα φορτία σχεδιασμού, όπως συζητήθηκε νωρίτερα στο τμήμα 2.2.

Παράδειγμα Εργασίας 10.4 δείχνει πως ορίζονται οι πραγματικές τάσεις u παραμορφώσεις και πως υπολογίζονται οι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές (M, N, V) για το δομικό σύστημα που επιλέχθηκε.

b) Ανάλυση για τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Μια ανάλυση σύμικτης πλάκας, για τον υπολογισμό της βύθισης, μπορεί να γίνει με τις ακόλουθες υποθέσεις:

- Η πλάκα είναι συγκρίσιμη με μια συνεχή δοκό σταθερής αδράνειας, ίσης αριθμητικά με τη μέση αδράνεια της ρηγματωμένης και μη ρηγματωμένης διατομής.
- Οι επιδράσεις μακρού χρόνου στο σκυρόδεμα λαμβάνονται υπ' όψη χρησιμοποιώντας μια παραλλαγή στο λόγο μέτρων E_a/E_c . Για απλότητα, ο

Ευρωκώδικας 4 προτείνει μια μέση τιμή του E_a/E_c και για τις βραχυχρόνιες και για τις μακροχρόνιες επιδράσεις.

Πιθανή ολίσθηση μεταξύ του φύλλου και της πλάκας σκυροδέματος πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη στις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας. Ολίσθηση μπορεί να εμφανισθεί στο άνοιγμα και να επηρεάσει πολύ τη βύθιση. Είναι ως εκ τούτου αναγκαίο να κατανοηθεί πλήρως η συμπεριφορά των σύμμικτων πλακών μέσα από εγκεκριμένες δοκιμασίες.

Για να εξαιρεθεί η υπερβολική ολίσθηση είναι δυνατό να τοποθετηθούν αγκύρια, για παράδειγμα συγκολλημένοι ήλοι ή εν θερμώ εκτονούμενοι σύνδεσμοι, στα άκρα των ανοιγμάτων (βλέπε Σχήμα 3d και e).

4. ANTOXES TΩN ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Σύμφωνα με το Τμήμα 3, οι κρίσιμες διατομές οι οποίες πρέπει να επαληθευτούν, είναι οι ακόλουθες (Σχήμα 7):

- Διατομή I : αστοχία με την οριακή ροπή
αντοχής για θετική κάμψη.
- Διατομή II : αστοχία με την οριακή ροπή
αντοχής για αρνητική κάμψη.
- Διατομή III-IV: οριακή αντοχή σε κατακόρυφη
διατμητική αστοχία.
- Διατομή V: οριακή αντοχή σε κατά μήκος
διατμητική αστοχία.

4.1 Αντοχή σε Θετική Κάμψη

Η τελική ροπή αντοχής μιας διατομής, M_p μπορεί να ορισθεί υποθέτοντας μια πλαστική κατανομή των τάσεων (Σχήμα 8). Για μια υπο διατομή, η θέση του πλαστικού ουδέτερου άξονα δίνεται από:

$$x = \frac{A_{ap} f_{yap} / \gamma_{ap}}{b 0,85 f_{ck} / \gamma_c} \quad (1)$$

όπου

A_{ap} είναι το εμβαδόν της διατομής του χαλυβδόφυλλου.

f_{yap} είναι η χαρακτηριστική αντοχή διαρροής του χαλύβδινου φύλλου.

γ_{ap} είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το χαλύβδινο φύλλο.

b είναι το πλάτος της πλάκας ($1=1000$ ιπιτή).

f_{ck} είναι η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.

γ_c είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα.

Αν ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται πάνω απο τα προφίλ του φύλλου ($x \leq h_c$) η Θετική καμπτική αντοχή σχεδιασμού έχει την τιμή:

$$M_{p,Rd}^+ = A_{ap} f_{yap} \left(d_s - \frac{x}{2} \right) / \gamma_{ap} \quad (2)$$

Ολα τα συνήθως χρησιμοποιούμενα προφίλ φύλλων ($h_a \leq 60\text{mm}$), σε σύνδεση με μια πλάκα σκυροδέματος ελάχιστου πάχους $h_c = 50 \text{ mm}$, έχουν ένα πλαστικό ουδέτερο άξονα τοποθετημένο πάνω απο τα προφίλ. Για βαθύτερα φύλλα, ο ουδέτερος άξονας μπορεί να βρίσκεται μέσα στο ύψος του προφίλ.

Μια διατομή είναι υπο-ενισχυμένη αν $\frac{A_{ap} f_{yap}}{\gamma_{ap}} \leq \frac{b \cdot 0,85 f_{ck}}{\gamma_c}$

Σε αυτή την περίπτωση, η θετική καμπτική αντοχή της διατομής μπορεί να υπολογισθεί ως ακολούθως, αγνοώντας το σκυρόδεμα στις πτυχώσεις (Σχήμα 9):

$$M_{p,Rd} = N_c z^+ + M_{pa,r} \quad (3)$$

$$z^+ = h_t - \frac{h_c}{2} - e_p + (e_p - e) \frac{N_c}{A_{ap} f_{yap} / \gamma_{ap}} \quad (4)$$

$$N_c = h_c b \cdot 0,85 f_{ck} / \gamma_c \quad (5)$$

$$M_{pa,r} = 1,25 M_{pa} \left(1 - \frac{N_c}{A_{ap} f_{yap} / \gamma_{ap}} \right) \leq M_{pa} \quad (6)$$

όπου

e είναι η απόσταση απο το κέντρο βάρους της ενεργού επιφάνειας του φύλλου μέχρι την κατώτερη πλευρά του.

e_p είναι η απόσταση απο τον πλαστικό ουδέτερο άξονα της ενεργού επιφάνειας του φύλλου μέχρι την κατώτερη πλευρά του.

M_{pa} είναι η πλαστική ροπή αντοχής της ενεργού διατομής του φύλλου.

4.2 Αντοχή Αρνητικής Κάμψης

Η διατομή μιας συνεχούς σύμμικτης πλάκας σε μια στήριξη μπορεί να συγκριθεί με μια ωπλισμένη διατομή σκυροδέματος. Ως απλοποίηση, η συνεισφορά του προφίλ του φύλλου αμελείται. Η διατομή σχεδιασμού και η Κατανομή των τάσεων στην οριακή κατάσταση φαίνονται στο Σχήμα 10.

Η αντοχή σχεδιασμού αρνητικής κάμψης δίνεται απο τη διαρροή του οπλισμού στην στήριξη (υπο-ενισχυμένη πλάκα):

$$M_{p,Rd} = A_s f_{ys} z' / \gamma_s \quad (7)$$

όπου

A_s είναι το εμβαδόν του οπλισμού

f_{ys} είναι η αντοχή διαρροής του οπλισμού

γ_s είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για τον οπλισμό

z' είναι ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων N_c και N_t

Η συνθήκη ισορροπίας μεταξύ αυτών των δύο δυνάμεων επιτρέπει τον ορισμό του z' :

$$N_c = b_c x 0,85 f_{ck} / \gamma_c = A_s f_{ys} / \gamma_s = N_t \quad (8)$$

$$x = \frac{A_s f_{ys} / \gamma_s}{b_c 0,85 f_{ck} / \gamma_c} \quad (9)$$

$$\bar{z} = d'_s - x / 2 \quad (10)$$

όπου

b_c είναι το πλάτος του σκυροδέματος σε θλίψη, λαμβανομένου ως το πλάτος των πτυχώσεων άνω του 1 m για απλότητα ($b_c = \varepsilon b_o$)

d'_s είναι το ενεργό βάθος.

4.3 Κατακόρυφη και Διατρήσεως Διατμητική Αντοχή

Γενικά η κατακόρυφη και η διατρήσεως διατμητική αντοχή υποτίθεται ότι δίνονται από τη διατομή του σκυροδέματος μιας και η συνεισφορά του χαλύβδινου φύλλου αμελείται.

Η κατακόρυφη διατμητική αντοχή σχεδιασμού, πάνω από ένα πλάτος ίσο με τη απόσταση μεταξύ των κέντρων των νευρώσεων έχει την τιμή:

$$V_{v,Rd} = b_o d_s \tau_c \quad (11)$$

όπου

τ_c είναι η οριακή διατμητική τάση η κατάλληλη για σύμμικτες πλάκες (συμπεριλαμβανομένου του γ_c).

$$\tau_c = \tau_{Rd} k_1 k_2$$

όπου

$$k_1 = 1,6 - d_s \geq 1,0 \text{ (} d_s \text{ in m)}$$

$$k_2 = 1,2 + 40 \rho_o$$

$$\rho_o = A_s / b_o d_s < 0,02$$

A_s είναι η επιφάνεια του εφελκόμενου οπλισμού διατεταγμένου έτσι ώστε να κατανέμεται η ρηγμάτωση. Σε περιοχές θετικής κάμψης, η A_s θα πρέπει να αντικαθίσταται με A_{ap} .

τ_{Rd} είναι η βασική διατμητική αντοχή (βλέπε Πίνακα 1).

Η διατμητική αντοχή διατρήσεως $V_{p,Rd}$ μιας σύμμικτης πλάκας σε θέση συγκεντρωμένου φορτίου θα πρέπει να ορίζεται απο:

$$V_{p,Rd} = C_p h_c \tau_c$$

όπου

C_p είναι η κρίσιμη περίμετρος οριζομένη όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.

h_c είναι το πάχος της πλάκας σκυροδέματος (πάνω απο τιςνευρώσεις).

τ_c είναι η οριακή διατμητική τάση που δίνεται παραπάνω.

4.4 Διαμήκης Διατμητική Αντοχή

Η αντοχή σε διαμήκη διάτμηση σε σύμμικτες πλάκες οφείλεται στο δεσμό χάλυβα-σκυροδέματος στη διεπιφάνεια αυτών των δύο υλικών, που αναπτύσσεται λόγω της τριβής, την οποία εξασφαλίζουν ανάγλυφα ή σύνδεσμοι τοποθετημένοι στα άκρα των ανοιγμάτων (βλέπε Τμήμα 3). Η τελική αντοχή αυτών των συνδέσεων μπορεί να ορισθεί μόνο απο έλεγχο, όπως περιγράφηκε στο Τμήμα 10.3 του Ευρωκώδικα 4.

a) Εμπειρική 1 μέθοδος

Η πιο συνήθης χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον υπολογισμό της τελικής διαμήκους διάτμησης αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε πολλούς κώδικες πρακτικής, συμπεριλαμβανομένου του Ευρωκώδικα 4. Βασίζεται σε τουλάχιστον έξι δοκιμές απλά εδραζόμενων σύμμικτων πλακών, οι οποίες ορίζουν δύο συντελεστές m και k (βλέπε Σχήμα 12), για το ελεγχόμενο προφίλ.

Η διαμήκης διατμητική αντοχή μιας σύμμικτης πλάκας, αποτελούμενης απο το ίδιο προφίλ χαλυβδόφυλλου όπως αυτό της δοκιμής, δίνεται τότε απο την ακόλουθη μέγιστη κατακόρυφη τέμνουσα σχεδιασμού:

$$V_{\ell,Rd} = b d_s \left[m \frac{A_{ap}}{b \ell_s} + k \right] / \gamma_{vs} \quad (13)$$

όπου

l_s είναι το διατεμνόμενο άνοιγμα.

γ_{vs} είναι ο κατάλληλος μερικός συντελεστής ασφαλείας για διαμήκη διάτμηση μόνο.

Για μια ομοιόμορφα φορτιζόμενη πλάκα, $l_s = 1/4$. Για απλά εδραζόμενες δοκούς, l_s είναι το άνοιγμα, όπου για συνεχείς δοκούς l_s είναι το ισοδύναμο απλό άνοιγμα μεταξύ σημείων μηδενισμού της ροπής. Για ακραία ανοίγματα, το πλήρες εξωτερικό μήκος ανοίγματος χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό (βλέπε Σχήμα 13 Το οποίο έχει ληφθεί από το Σχήμα 7. 10 του Ευρωκώδικα 4 [1]).

Αν η σύνδεση που Παρέχεται από την τριβή (λόγω της μορφής της νεύρωσης) ή από τις πτυχώσεις δεν είναι αρκετό, είναι δυνατόν να τοποθετηθούν αγκύρια (συνήθως σύνδεσμοι χάλυβα-σκυροδέματος) στα άκρα του ανοίγματος.

Η οριακή αντοχή τέτοιων αγκυρίων γενικά εξαρτάται από την αντοχή της εξόδου του φύλλου. Για ένα διατμητικό ήλο, αυτή η αντοχή δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$N_{t,ap} = k_3 d_w t f_{yap} / \gamma_{ap} \quad (14)$$

$$k_3 = 1 + a/d_w \leq 4,0$$

όπου

d_w είναι η διάμετρος της συγκόλλησης γύρω από τον ήλο.

a είναι η απόσταση μεταξύ του άξονα του ήλου και του άκρου του φύλλου ($a \geq d_w$).

b) Μέθοδος της μερικής διατμητικής σύνδεσης

Το γεγονός ότι σύμμικτες πλάκες αστοχούν από διαμήκη διάτμηση στις περισσότερες περιπτώσεις, επιτρέπει αυτό το δομικό σύστημα να συγκρίνεται με μια σύμμικτη χαλύβδινη δοκό και μια πλάκα σκυροδέματος με μερική διατμητική σύνδεση. Είναι επίσης πιθανόν να αναπαρασταθεί η αντοχή τέτοιων πλακών με ένα διάγραμμα που δίνει το M_{sd}/M_{Rd} ως συνάρτηση του N_c/N_{cf} . Αυτό το διάγραμμα είναι διαφορετικό από αυτό που δίνεται για σύμμικτες δοκούς λόγω του γεγονότος ότι ο βαθμός της μερικής διατμητικής σύνδεσης N_c/N_{cf} δεν είναι συνάρτηση του αριθμού των συνδέσμων, αλλά του διατμητικού μήκους l_s και της κατανομής των διαμήκων διατμητικών τάσεων τ σε αυτό το μήκος. Η σχετική ολίσθηση s μεταξύ του φύλλου και του σκυροδέματος επίσης παίζει ένα πιο σημαντικό ρόλο.

Ο προσδιορισμός τέτοιων διαγραμμάτων για το σχεδιασμό είναι ως εκ τούτου πολύπλοκος μιας και ένα από τα ακόλουθα είναι αναγκαίο:

a) μη γραμμική ανάλυση της αντοχής και της συμπεριφοράς των πλακών σε συνδυασμό με δοκιμές διατμήσεως σε δοκίμια αντιπροσωπευτικά της σύνδεσης.

- b) πολλές δοκιμές συμπίκτων πλακών, με μετρήσεις λαμβανόμενες από την ορθή δύναμη N_c που μεταφέρεται στο διατμητικό μήκος.

Μελέτες έχουν γίνει ως προς το παρόν στην προσπάθεια να θεμελιωθεί μια απλοποιημένη μέθοδος βασισμένη σε επιστημονική έρευνα. Ο Ευρωκώδικας 4 δίνει μια τέτοια εναλλακτική μέθοδο στο Παράρτημα Ε βασισμένη σε μια έρευνα που έγινε πρόσφατα στην Γερμανία. Αυτή η εναλλακτική μέθοδος δεν θα περιγραφεί περαιτέρω σε αυτή τη διάλεξη.

4.5 Ελαστικές Ιδιότητες των Διατομών

Η βύθιση μιας σύμμικτης πλάκας υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ελαστική Θεωρία:

- a) Ρηγματωμένη διατομή

Η ροπή αδρανείας I_{vc} της ρηγματωμένης διατομής μπορεί να ληφθεί από:

$$I_{vc} = \frac{b x^3}{3 n} + A_{ap} (d_s - x)^2 + I_{ap} \quad (20)$$

όπου x είναι η Θέση του ελαστικού ουδέτερου άξονα:

$$x = \frac{n A_{ap}}{b} \left(\sqrt{1 + \frac{2b d_s}{n A_{ap}}} - 1 \right) \quad (21)$$

όπου

I_{ap} είναι η μη μειωμένη ροπή αδράνειας του φύλλου βασισμένη στο καθαρό πάχος του.

- b) Μη ρηγματωμένη διατομή

Η ροπή αδρανείας I_{bu} της μη ρηγματωμένης διατομής μπορεί να ληφθεί από:

$$I_{bu} = \frac{b h_c^3}{12 n} + \frac{b h_c}{n} \left(x_u - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{b_c h_{ap}}{12 n} + \frac{b_c h_{ap}}{n} \left(h_t - x_u - \frac{h_{ap}}{2} \right)^2 + a_{ap} (d_s - x_u)^2 + I_{ap} \quad (22)$$

όπου

b_c είναι το συνολικός μέσο πλάτος της νεύρωσης σε ένα πλάτος πλάκας I_{ti} .

x_u είναι η Θέση του ελαστικού ουδέτερου άξονα:

$$x_u = \frac{b \frac{h_c^2}{2} + b_c h_{ap} d_s + n A_{ap} d_s}{b h_c + b_c h_{ap} + n A_{ap}} \quad (23)$$

5. ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΕΙΣ

Αυτή η διάλεξη έκανε μια σύντομη εισαγωγή σε σύμμικτες πλάκες κατασκευασμένες με διαμορφωμένα χαλύβδινα φύλλα. Έχουν δοθεί οι βασικές αρχές σχεδιασμού, οι οποίες επιτρέπουν να γίνει μια σχηματική δομική τακτοποίηση και να καθοριστεί το στατικό σύστημα. Έχει θεωρηθεί η διαδικασία για την ανάλυση της πλάκας κάτω από εξωτερικά φορτία ώστε να βρεθούν οι εσωτερικές τάσεις και παραμορφώσεις. Τώρα, διάφορες επαληθεύσεις είναι αναγκαίες για να δειχθεί ότι πληρούνται η δομική ασφάλεια (αντοχή, ευστάθεια) και η λειτουργικότητα (βύθιση, ταλάντωση).

5.1 Επαλήθευση στις Οριακές Καταστάσεις Αντοχής

Για σύμμικτες πλάκες, αυτός ο έλεγχος γενικά συνίσταται στο να δειχθεί ότι οι εσωτερικές διατμητικές δυνάμεις και ροπές σχεδιασμού σε κρίσιμες διατομές είναι μικρότερες από τις υπολογιστικές αντοχές των διατομών αυτών.

a) Θετική κάμψη (Τμήμα 4.1 και Διατομή I του Σχήματος 7)

Αυτός ο έλεγχος γίνεται στη διατομή της μέγιστης θετικής ροπής, γενικά στο εξωτερικό άνοιγμα μιας συνεχούς πλάκας. Η συνθήκη μπορεί να εκφρασθεί ως:

$$M_{sd}^+ \leq M_{p,Rd}^+ \quad (24)$$

όπου

M_{sd}^+ είναι η τιμή σχεδιασμού της καμπτικής ροπής.

$M_{p,Rd}^+$ είναι η υπολογιστική τιμή της θετικής καμπτικής αντοχής.

b) Αρνητική κάμψη (Τμήμα 4.2 και Διατομή II του Σχήματος 7)

Η αρνητική ροπή, στις στηρίξεις, ελέγχεται (βλέπε Τμήμα 3).

Η συνθήκη μπορεί να εκφρασθεί ως:

$$M_{sd}^- \leq M_{p,Rd}^- \quad (25)$$

όπου

M_{sd}^- είναι η τιμή σχεδιασμού της αρνητικής καμπτικής ροπής.

$M_{p,Rd}^-$ είναι η υπολογιστική τιμή της αρνητικής καμπτικής αντοχής.

c) Κατακόρυφη διάτμηση (Τμήμα 4.3 και Διατομές III και IV του Σχήματος 7)

Αυτός ο έλεγχος σπάνια είναι κρίσιμος. Παρόλα αυτά, μπορεί να είναι κρίσιμος στην περίπτωση πλακών σημαντικού πάχους με φορτία σχετικά μεγάλου μεγέθους. Αυτή η συνθήκη μπορεί να εμφανισθεί στις ακραίες στηρίξεις όπου η καμπτική ροπή είναι

μηδέν, ή στις ενδιάμεσες στηρίξεις, στην περίπτωση που δεν έχει υποτεθεί αλληλεπίδραση μεταξύ M και V . Η συνθήκη εκφράζεται ως:

$$V_{Sd} \leq V_{v,Rd} \quad (26)$$

όπου

V_{Sd} είναι η τιμή σχεδιασμού της κατακόρυφης (στο επίπεδο της σύμμικτης διατομής) διάτμησης.

$V_{v,Rd}$ είναι η υπολογιστική τιμή της κατακόρυφης διατμητικής αντοχής.

d) Διαμήκης διάτμηση (Τμήμα 4. 4 και Διατομή v του Σχήματος 7)

Αυτός ο έλεγχος είναι συχνά ο καθοριστικός παράγων για σύμμικτες πλάκες με φύλλο προφίλ αλλά χωρίς αγκύρωση. Προβλέπει ότι η γενική αστοχία της πλάκας εμφανίζεται με αστοχία του διατμητικού δεσμού. Η καμπτική αντοχή στη διατομή I μπορεί τότε να επιτευχθεί.

Αν χρησιμοποιηθεί η εμπειρική μέθοδος “m-k” η συνθήκη μπορεί να εκφραστεί ως:

$$V_{Sd} \leq V_{l,Rd} \quad (27)$$

όπου

V_{Sd} είναι η τιμή σχεδιασμού της κατακόρυφης διάτμησης (ισοδύναμο άνοιγμα, βλέπε Σχήμα 13).

$V_{l,Rd}$ είναι η υπολογιστική τιμή της διατμητικής αντοχής.

5.2 Επαλήθευση στην Οριακή Κατάσταση λειτουργικότητας

Θα πρέπει να γίνουν οι ακόλουθες επαληθεύσεις που αφορούν τη λειτουργικότητα της σύμμικτης πλάκας:

a) Παραμορφώσεις

Οι κάθετες Παραμορφώσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις οριακές τιμές (βλέπε Τμήμα 2. 4b).

Αν η λυγηρότητα (άνοιγμα/ενεργό ύψος) της πλάκας δεν υπερβαίνει τις οριακές τιμές που δίνονται στον Ευρωκώδικα 2 αυτός ο έλεγχος της βύθισης δεν είναι ουσιώδης. Για συνεχείς κατά τη μια διεύθυνση πλάκες, με ελαφρά εντεινόμενο σκυρόδεμα το όριο είναι:

$$\frac{\ell}{d_s} \leq 32 \quad (28)$$

b) Πλάτος ρωγμής

Δεδομένου ότι υπάρχει ένα χαλυβδόφυλλο στην κατώτερη επιφάνεια της πλάκας σκυροδέματος, μόνο η ρηγμάτωση του σκυροδέματος στις στηρίξεις πρέπει να επαληθευθεί. Τέτοιες επαληθεύσεις πρέπει να γίνονται σύμφωνα με τους καθιερωμένους Κανόνες για ωπλισμένο σκυρόδεμα, που δίνονται στον Ευρωκώδικα 2.

Σε συνήθεις περιστάσεις όταν, για παράδειγμα, η πλάκα είναι σχεδιασμένη σαν μια σειρά απλά στηριζόμενων δοκών, ο ελάχιστος οπλισμός που τοποθετείται στις στηρίξεις είναι αρκετός. Συνήθεις περιστάσεις είναι : όχι έκθεση σε διαβρωτικά φυσικά ή χημικά περιβάλλοντα, όχι άλλη ζημιά εκτός από ρηγμάτωση, δεν υπάρχουν απαιτήσεις αδιαβροχοποίησης της πλάκας, και όχι ιδιαίτερες απαιτήσεις εμφάνισης.

Το ποσοστό του ελάχιστου οπλισμού δίνεται από τα ακόλουθα:

- για πλάκες προσωρινά στηριζόμενες κατά τη σκυροδέτηση

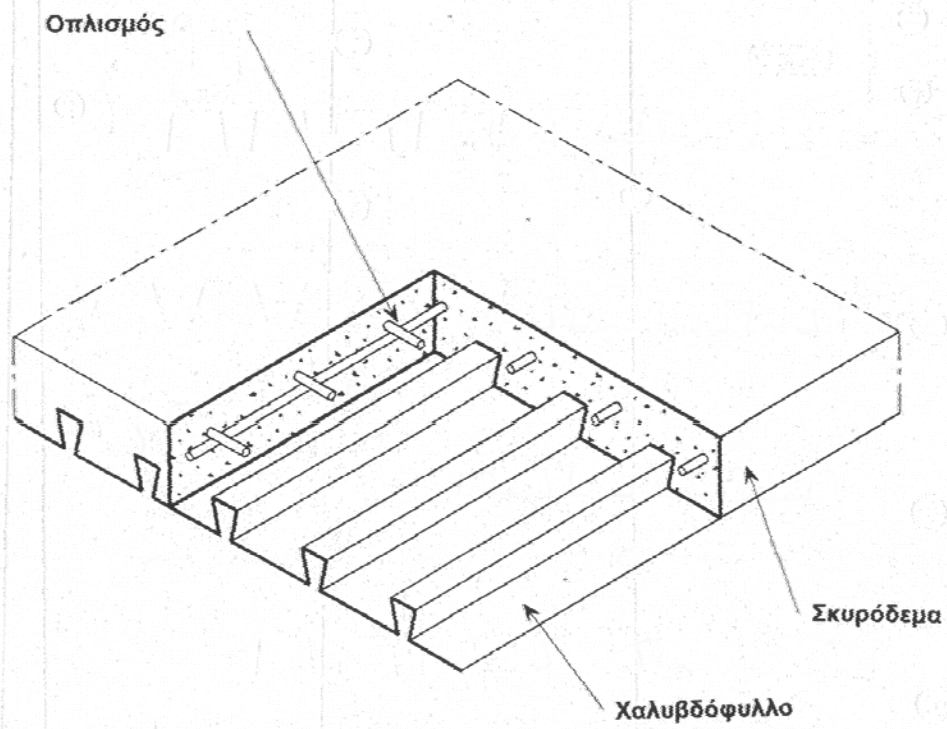
$$\rho_{\min} = \frac{A_s}{b h_c} = 0,4\% \quad (29)$$

- για πλάκες μη προσωρινά στηριζόμενες κατά τη σκυροδέτηση

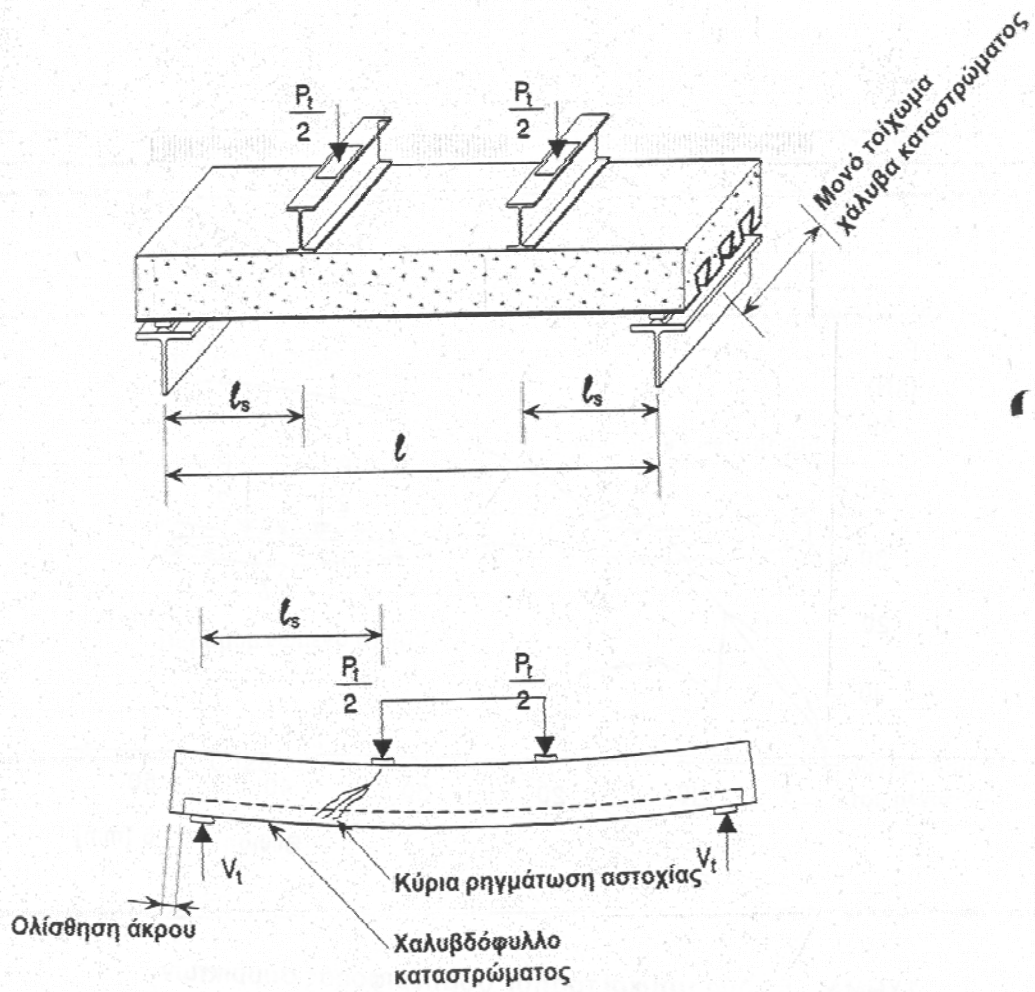
$$\rho_{\min} = 0,2\% \quad (30)$$

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Ο σχεδιασμός μιας σύμμικτης πλάκας πρέπει να λαμβάνει υπ' όψη τις ιδιότητες του προφίλ χαλυβδόφυλλου, όταν δρά σαν καλούπι για το υγρό σκυρόδεμα κατά την εκτέλεση, όπως και όταν αναπτυχθεί η σύμμικτη συμπεριφορά του χάλυβα και του σκληρυθέντος σκυροδέματος κάτω από την επιβαλλόμενη φόρψη διαπέδου.
2. Στο στάδιο εκτέλεσης το φύλλο δρά σαν ενα λεπτότοιχο μέλος. Ο σχεδιασμός του Πρέπει να λαμβάνει υπ' όψη την πιθανότητα τοπικού λυγισμού.
3. Ο σχεδιασμός της σύμμικτης πλάκας πρέπει να λαμβάνει υπ' όψη την αντοχή σε θετικές και αρνητικές ροπές καθώς επίσης σε κατακόρυφη και διαμήκη διάτμηση.
4. Η αντοχή σε διαμήκη διάτμηση στη διεπιφάνεια χάλυβα/σκυροδέματος είναι συνηθέστατα παραγόμενη από πτυχώσεις στο χαλύβδινο φύλλο ή από συνδέσμους τοποθετημένους στα άκρα των ανοιγμάτων. Εμπειρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να διασφαλίσουν επαρκή διατμητική αντοχή.



ΣΧΗΜΑ 1 Σύμμικτη πλάκα με διαμορφωμένο χαλυβδόφυλλο.



ΣΧΗΜΑ 4 Τυπική δοκιμασία κάμψης αμφιέριστης σύμμικτης πλάκας

ESDEP ΟΕ 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.8.1 : Υποστυλώματα Ι

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ/ΣΚΟΠΟΣ

Να γίνει μια εισαγωγή στα σύμμικτα υποστυλώματα, να περιγραφεί η συμπεριφορά τους και να εξηγηθεί η μέθοδος σχεδιασμού για αξονικά φορτιζόμενα σύμμικτα υποστυλώματα.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 7. 2: Ταξινόμηση Διατομών

Διάλεξη 7. 3 : Τοπικός Λυγισμός

Διαλέξεις 7. 6: Δοκός - Υποστύλωμα

Διάλεξη 10. 2: Συμπεριφορά των Δοκών

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 10. 6. 1: Διατμητική Σύνδεση I

Διάλεξη 10. 8. 2: Υποστυλώματα II

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Οι διαφορετικοί τύποι συμμίκτων υποστυλωμάτων εισάγονται και ανακεφαλαιώνονται τα πλεονεκτήματά τους. Περιγράφονται μέθοδοι κατασκευής μαζί με λεπτομέρειες τυπικής σύνδεσης που χρησιμοποιούνται στους κόμβους δοκού/υποστυλώματος. Η απλοποιημένη μέθοδος σχεδιασμού για ένα αξονικά φορτιζόμενο υποστύλωμα, που δίνεται στον Ευρωκώδικα 4 η οποία εμπεριέχει τη χρήση καμπυλών λυγισμού, εξηγείται και παρουσιάζονται οι περιορισμοί στην εφαρμογή της. Δίνονται επίσης κανόνες για να διασφαλισθεί ότι ο τοπικός λυγισμός δε δημιουργεί πρόωμη αστοχία. Λαμβάνεται επίσης υπ' όψιν η επιρροή της συν τω χρόνω μεταβολής της συμπεριφοράς του σκυροδέματος δηλ. ο ερπυσμός και η συστολή ξήρανσης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην δεκαετία του 1960 εντατική ερευνητική εργασία ξεκίνησε για την εκτίμηση της αντοχής των υποστυλωμάτων στα οποία μια χαλύβδινη διατομή ενεργεί μαζί με το σκυρόδεμα που την περιβάλλει. Αυτά τα υποστυλώματα δεν μπορούσαν εκείνη την εποχή να σχεδιασθούν με βάση τους Κανόνες που αφορούσαν τα σιδηρά έργα ούτε από αυτές που αφορούσαν τις κατασκευές από σκυρόδεμα. Το αποτέλεσμα αυτής της ερευνητικής εργασίας περιγράφηκε σε διάφορες δημοσιεύσεις και οδήγησε το 1979, σε προτάσεις σχεδιασμού για σύμμικτα υποστυλώματα.

Αυτές οι προτάσεις, μαζί με περαιτέρω ερευνητική εργασία, χρησιμοποιήθηκαν στον Ευρωκώδικα 4 ο οποίος ασχολείται με σύμμικτες κατασκευές σε Κτίρια.

Ο Ευρωκώδικας 4 ορίζει τις γενικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό συμμίκτων υποστυλωμάτων. Παρόλα αυτά, αν τηρηθούν όλες οι γεωμετρικές και φυσικές μη γραμμικότητες των διαφορετικών υλικών, είναι μόνο δυνατό να πληρούνται οι απαιτήσεις του κανονισμού χρησιμοποιώντας αριθμητικές μεθόδους ανάλυσης. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν γενικά να εκτελεσθούν με τη χρήση Η/Υ. Ο Ευρωκώδικας 4, παρόλα αυτά, δίνει επίσης μια πιο Πρακτική απλοποιημένη μέθοδο η οποία είναι αντικείμενο αυτής της διάλεξης.

2. ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΓΙΑ ΣΥΜΜΙΚΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥΣ

Το Σχήμα 1 δείχνει τυπικές διατομές συμμίκτων υποστυλωμάτων μαζί με τη σήμανση των διαστάσεων που χρησιμοποιείται στον Ευρωκώδικα 4. Οι διατομές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες:

- γεμισμένες με σκυρόδεμα διατομές στις οποίες το σκυρόδεμα δεν είναι εμφανές.
- ολικά και μερικά εγκιβωτισμένες διατομές.

Όλες οι διατομές είναι συμμετρικές και ως προς τους δύο άξονες και πρόσθετα μπορούν να ενισχυθούν.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα που σχετίζονται με τη χρήση των συμμίκτων υποστυλωμάτων. Μικρές διατομές, για παράδειγμα, μπορούν να σχεδιασθούν να φέρουν υψηλά φορτία. Ομοια διατομές με διαφορετικές αντοχές, αλλά με όμοιες εξωτερικές διαστάσεις, μπορούν να παραχθούν με διαφοροποίηση του πάχους του χάλυβα, την αντοχή του σκυροδέματος και την πρόσθετη ενίσχυση. Έτσι η εξωτερική διάσταση ενός υποστυλώματος μπορεί να κρατηθεί σταθερή σε αρκετούς ορόφους σε ένα κτίριο, απλοποιώντας τις αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες. Οικονομική απόδοση προκύπτει από τη χρήση σκυροδέματος - ένα υλικό χαμηλού κόστους- και από το χρόνο που εξοικονομείται με τη χρήση υψηλών τεχνικών σύνδεσης που έχουν αναπτυχθεί στην κατασκευή σιδηρών έργων.

Σε προφίλ γεμισμένα με σκυρόδεμα (Σχήμα 1 d-f) η χαλύβδινη διατομή χρησιμεύει σαν καλούπι στην έγχυση σκυροδέματος. Διατομές γεμισμένες με σκυρόδεμα, ως εκ τούτου, παρέχουν την ευκαιρία να ανεγερθεί το χαλύβδινο πλαίσιο του κτιρίου και μετά να γεμισθούν οι διατομές με σκυρόδεμα. Με τέτοια διαδικασία ο χρόνος ανέγερσης μπορεί να μειωθεί.

Το προστατευτικό χαλύβδινο καλούπι επιτρέπει επίσης στο σκυρόδεμα να επιτύχει μεγαλύτερη αντοχή. Στην περίπτωση που το σκυρόδεμα γεμίζει στρογγυλά κοίλα προφίλ, για παράδειγμα, η επίδραση του περιορισμού από το χάλυβα οδηγεί σε μια αύξηση των συνολικών αντοχών. Η επίδραση του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος μπορεί συνήθως να αγνοηθεί για αυτές τις διατομές. Παρόλα αυτά, αυτή η επιρροή μπορεί να ληφθεί υπόψη για εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα προφίλ (Σχήμα 1 a-c).

Ο πλήρης εγκιβωτισμός της χαλύβδινης διατομής σε σκυρόδεμα (Σχήμα 1a), γενικά ικανοποιεί τις τεχνικές απαιτήσεις για υψηλές κλάσεις πυροπροστασίας χωρίς επιπρόσθετα μέτρα. Για μερικά εγκιβωτισμένες διατομές (Σχήμα 1b και 1c), όπως και για με σκυρόδεμα γεμισμένες διατομές, αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας πρόσθετη ενίσχυση. Μερικά εγκιβωτισμένες διατομές έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να παραχθούν αρκετά απλά εγχύοντας το σκυρόδεμα ενώ η χαλύβδινη διατομή κείται οριζόντια. 24 ώρες αργότερα το υποστύλωμα μπορεί να γυρισθεί από την άλλη και να προστεθεί επιπλέον σκυρόδεμα. Το καλούπι του υγρού σκυροδέματος παρέχεται από το χαλύβδινο προφίλ. Για διατομές παρόμοιες με αυτές του Σχήματος 11 η τάση του σκυροδέματος να πέσει έξω γυρίζοντας το υποστύλωμα Πρέπει να αποφεύγεται με κατάλληλα μέσα, όπως οι διατμητικοί σύνδεσμοι. Ακόμα ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των μερικά εγκιβωτισμένων διατομών είναι το ότι υπάρχει μια ακόμα υπολογίσιμη επιφάνεια του διαθέσιμου χάλυβα για συνδέσεις, ακόμα και μετά τη σκυροδέτηση.

3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΥΛΙΚΟΥ

Ο δομικός χάλυβας μέσα στα όρια του Ευρωκώδικα 3 και το σκυρόδεμα με το χαλαρό σπλισμό μέσα στα όρια του Ευρωκώδικα 2 μπορούν χρησιμοποιηθούν για σύμμικτα υποστύλωματα.

Για τις κατηγορίες κοινού χάλυβα, οι ισχύουσες τιμές της αντοχής δίνονται στον Πίνακα 1. Ισχύουν για πάχος υλικού όχι μεγαλύτερο από 40 mm. Για υψηλότερο πάχος υλικού οι αντοχές πρέπει να μειώνονται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

Οι αντοχές για διαφορετικές κατηγορίες σκυροδέματος, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2, δίνονται στον Πίνακα 2. Η ταξινόμηση C25/30 δίνει την αντοχή κυλίνδρου (25) και την αντοχή κύβου (30).

Ο Ευρωκώδικας 2 μνημονεύει τρεις διαφορετικές κατηγορίες για το χάλυβα ενίσχυσης, οι οποίες δίνονται στον Πίνακα 3.

Για το σχεδιασμό οι χαρακτηριστικές αντοχές πρέπει να μειώνονται στις αντοχές σχεδιασμού με τους συντελεστές ασφαλείας του υλικού γ_M .

Οι συντελεστές ασφαλείας του υλικού για το σκυρόδεμα και το χαλαρό οπλισμό λαμβάνονται από τον Ευρωκώδικα 2. Ο συντελεστής ασφαλείας για τον χάλυβα λαμβάνεται από τον Ευρωκώδικα 3, ο οποίος περιλαμβάνει ένα συντελεστή ασφαλείας γ_{RD} εφαρμόζόμενο αν το μέλος μπορεί να γίνει ασταθές. Αυτός ο συντελεστής εφαρμόζεται επίσης σε σύμμικτα υποστυλώματα, αλλά μόνο για το χαλύβδινο μέρος της διατομής.

Η αστάθεια των χαλύβδινων μερών, σε σύμμικτα υποστυλώματα, δεν πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν αν:

- η λυγηρότητα $\bar{\lambda}$ είναι μικρότερη από 0,2 ή
- η αξονική δύναμη στο υποστυλώμα είναι μικρότερη από $0,1 N_{cr}$ με το να δίνεται από την Εξίσωση (10) και το λ από την Εξίσωση (9).

Στην θεώρηση της επιρροής της φόρτισης μακράς διάρκειας στη θλιπτική αντοχή, η αντοχή σκυροδέματος σε συμβατικές κατασκευές από σκυρόδεμα φυσιολογικά μειώνεται με το συντελεστή $\alpha = 0,85$ σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2. Αυτή η μείωση μπορεί να αμεληθεί για σύμμικτες διατομές πλήρεις σκυροδέματος ($\alpha = 1,0$) μιας και το σκυρόδεμα έχει υψηλότερη αντοχή λόγω της απομόνωσής του από την ατμόσφαιρα και γιατί η απόσχιση υπο το φορτίο προλαμβάνεται.

4. ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΟΠΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ

Στην οριακή κατάσταση, η επίτευξη της πλήρους υπολογιστικής αντοχής φυσιολογικά υποτίθεται για όλα τα τμήματα της διατομής. Παρόλα αυτά, πρέπει να διασφαλίζεται ότι η πρώιμη αστοχία των λεπτών μερών των διατομών, λόγω αστάθειας, δεν εμφανίζεται.

Για αυτά τα εκτεθειμένα τμήματα της χαλύβδινης διατομής αυτή η μορφή αστάθειας μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση ενός οριακού λόγου της διάστασης του τοιχώματος προς το πάχος του. Στον Ευρωκώδικα 4 αυτοί οι οριακοί λόγοι δίνονται σε όρους του $\varepsilon \sqrt{235 / f_y}$. Ο Πίνακας 4 δίνει τους ισοδύναμους λόγους για διαφορετικές αντοχές διαρροής.

Αν η διατομή βρίσκεται σε αυτά τα όρια η αντοχή της διατομής μπορεί να ορισθεί υποθέτοντας κατανομές πλαστικών τάσεων. Ανακατανομή των ροπών (μέθοδος πλαστικής άρθρωσης) δεν επιτρέπεται, καθώς ικανοποιητικά πειραματικά αποτελέσματα που αφορούν την ικανότητα στροφής των συμμίκτων υποστυλωμάτων δεν είναι σήμερα διαθέσιμα.

Για πλήρως εγκιβωτισμένα χαλύβδινα μέρη, η επιβεβαίωση της αντοχής τοπικού λυγισμού δεν είναι απαραίτητη. Για μεγαλύτερα χαλύβδινα τμήματα π. χ. πέλαμα στο Σχήμα 1a ικανοποιητική επικάλυψη σκυροδέματος πρέπει να παρέχεται έτσι ώστε να αποφεύγεται αποκόλληση του σκυροδέματος. Η ελάχιστη επικάλυψη σκυροδέματος σε

αυτή την περίπτωση πρέπει να μην είναι μικρότερη από 40mm ή το 1/6 της διάστασης του χαλύβδινου μέρους. Για διατομές όπως του Σχήματος 1a έχουμε:

$$40\text{mm} \leq cz \leq b/6 \quad (1)$$

Αν τα εκτεθειμένα χαλύβδινα στοιχεία υπερβαίνουν τις τιμές που δίνονται στο Πίνακα 4, πρέπει να εφαρμόζονται ειδικές μέθοδοι ανάλυσης, οι οποίες δεν καλύπτονται σε αυτή τη διάλεξη.

5. ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΑΞΟΝΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Η πλαστική αντοχή της διατομής ενός σύμμικτου υποστυλώματος δίνεται από το άθροισμα των αντιστάσεων των συστατικών του:

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + A_c \alpha f_{cd} + A_s f_{sd} \quad (2)$$

όπου

A_a , A_c και A_s είναι οι επιφάνειες του δομικού χάλυβα, του σκυροδέματος και του χαλαρού οπλισμού αντίστοιχα.

f_{yd} , f_{cd} & f_{sd} είναι οι αντίστοιχες αντοχές σχεδιασμού του κάθε υλικού.

α είναι 1,0 για διατομές πλήρεις σκυροδέματος και 0,85 σε όλες τις άλλες περιπτώσεις.

Το σχήμα 2 δείχνει την κατανομή των τάσεων στην οποία βασίζεται η Εξίσωση(2).

Για κοίλες κυκλικές διατομές πλήρεις σκυροδέματος η αυξημένη αντοχή του σκυροδέματος λόγω της επίδρασης της περίσφυξης από το χαλύβδινο σωλήνα μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν. Αυτός ο περιορισμός στην εγκάρσια παραμόρφωση έχει σαν αποτέλεσμα μια τρισδιάστατη Κατανομή τάσεων στο σκυρόδεμα η οποία αυξάνει την αντοχή. Την ίδια χρονική στιγμή, κυκλικές εφελκυστικές τάσεις εμφανίζονται στο σωλήνα πράγμα το οποίο μειώνει την κανονική του αντοχή.

Αυτή η επίδραση μπορεί μόνο να ληφθεί υπ' όψιν μέχρι μια σχετική λυγηρότητα του $\bar{\lambda}$ $\bar{\lambda} \leq 0,5$ (όπου το $\bar{\lambda}$ δίνεται από την Εξίσωση 9). Πρόσθετα, η εκκεντρότητα της αξονικής δύναμης, e , πρέπει να μην υπερβαίνει την τιμή $d/10$, με $\bar{\lambda}$ να είναι η εξωτερική διάσταση του σωλήνα.

Η εκκεντρότητα, e , ορίζεται από:

$$e = \frac{M_{Sd}}{N_{Sd}} \quad (3)$$

όπου

M_{Sd} είναι η μέγιστη ροπή σχεδιασμού από τα φορτία χωρίς να ληφθούν υπ' όψιν τα φαινόμενα δευτέρας τάξης.

N_{Sd} είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού

Η πλαστική αξονική αντοχή αυτών των διατομών μπορεί να ορισθεί από:

$$N_{pl,Rd} = A_a \eta_2 f_{yd} + A_c f_{cd} \left(1 + \eta_1 \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}} \right) + A_s f_{sd} \quad (4)$$

όπου

t είναι πάχος του τοιχώματος της κοίλης κυκλικής διατομής.

$$\eta_1 = \eta_{10} \left(1 - \frac{10e}{d} \right) \quad (5)$$

και

$$\eta_2 = \eta_{20} + (1 - \eta_{20}) \frac{10e}{d} \quad (6)$$

Η γραμμική παρεμβολή επιτρέπεται για διάφορες εκκεντρότητες φορτίου $e \leq d/10$ με τις βασικές τιμές η_{10} και η_{20} να εξαρτώνται από τη σχετική λυγηρότητα $\bar{\lambda}$:

$$\eta_{10} = 4,9 - 18,5 \bar{\lambda} - 17 \bar{\lambda}^2 \quad \text{αλλά } \eta_{10} \geq 0 \quad (7)$$

$$\eta_{20} = 0,25 (3 + 2 \bar{\lambda}) \quad \text{αλλά } \eta_{20} \leq 1,0 \quad (8)$$

Ο Πίνακας 5 δίνει τις βασικές τιμές η_{10} και η_{20} για διάφορες τιμές του

Αν η εκκεντρότητα υπερβαίνει την τιμή $d/10$, ή η σχετική λυγηρότητα $\bar{\lambda}$ υπερβαίνει την τιμή 0,5 τότε $\eta_1 = 0$ και $\eta_2 = 1,0$.

6. ΣΧΕΤΙΚΗ ΛΥΓΗΡΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΚΑΜΨΙΕΣ

Η σχετική λυγηρότητα, για τον ορισμό της φέρουσας αντοχής ενός υποστυλώματος κάτω από αξονικό φορτίο δίνεται από:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pLR}}{N_{cr}}} \quad (9)$$

όπου

N_{pLR} είναι η αντοχή της διατομής, για αξονική δύναμη, σύμφωνα με την Εξίσωση 2 ή την Εξίσωση (4) με $\gamma_a = \gamma_c = \gamma_s = 1,0$.

N_{cr} είναι το ελαστικό φορτίο λυγισμού του υποστυλώματος.

$$N_{cr} = \frac{(EI)_e \pi^2}{l_e^2} \quad (10)$$

όπου

$(EI)_e$ είναι η ενεργός καμπτική ακαμψία.

l_e είναι το μήκος λυγισμού του υποστυλώματος.

Το μήκος λυγισμού του υποστυλώματος μπορεί να ορισθεί σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3. Για μεμονωμένα υποστυλώματα σε συστήματα μη μεταθετά, το μήκος του υποστυλώματος μπορεί να θεωρηθεί ως το μήκος λυγισμού.

Η ενεργός καμπτική ακαμψία ορίζεται με ένα παρόμοιο τρόπο με την πλαστική αντοχή σε αξονική δύναμη δηλ. με την πρόσθεση των ξεχωριστών συστατικών:

$$(EI)_e = E_a I_a + 0,8 E_{cd} I_c + E_s I_s \quad (11)$$

I_a , I_c και I_s είναι οι ροπές αδράνειας του δομικού χάλυβα, του σκυροδέματος (εδώ υποτίθεται αρηγμάτωτο) και του οπλισμού, γύρω από τον θεωρούμενο άξονα κάμψης.

E_a και E_s είναι τα μέτρα ελαστικότητας του δομικού χάλυβα και του οπλισμού.

$0,8 E_{cd} I_c$ είναι η ενεργός καμπτική ακαμψία του τμήματος του σκυροδέματος.

$$E_{cd} = E_{cm} / \gamma_c \quad (12)$$

όπου

E_{cm} είναι το μέτρο του σκυροδέματος σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2[4], βλέπε Πίνακα 2.

Ο συντελεστής ασφαλείας του υλικού γ_c μπορεί να μειωθεί σε $\gamma_c = 1,35$ για τον ορισμό της ενεργού καμπτικής ακαμψίας, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2.

Για λυγηρά υποστυλώματα, η επιρροή της συν τω χρόνω συμπεριφοράς του σκυροδέματος (ερπυσμός και συστολή ξήρανσης) στην αντοχή Πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν.

Αν η εκκεντρότητα της αξονικής δύναμης, σύμφωνα με την Εξίσωση(3), είναι μεγαλύτερη από δύο φορές τη διάσταση της διατομής, η επιρροή του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης στην Κατανομή των καμπτικών ροπών που δημιουργούνται από αυξανόμενες παραμορφώσεις είναι τόσο μικρή που μπορεί να αμεληθεί και ο ερπυσμός και η συστολή ξήρανσης δεν χρειάζεται πλέον να ληφθούν υπ' όψιν. Αυτή η προσέγγιση επίσης ισχύει αν η λυγηρότητα λ είναι μικρότερη από τις οριακές τιμές του Πίνακα 6.

Αν είναι αναγκαίο, η επιρροή του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης μπορεί να ληφθούν υπ' όψιν με μια απλή τροποποίηση του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος από E_{cd} σε $E_{c\infty}$.

$$E_{c\infty} = E_{cd} \left(1 - \frac{N_{G,Sd}}{N_{Sd}} \right) \quad (13)$$

όπου

N_{Sd} είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού

$N_{G,Sd}$ είναι το μόνιμο δρόν μέρος της.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, όταν εκτιμάται η σημασία του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης με τη χρήση του Πίνακα 6, η τιμή του δ είναι ως ακολούθως:

$$\delta = \frac{A_s f_{yd}}{N_{pl,Rd}} \quad (14)$$

Ο συντελεστής δ αντιπροσωπεύει την συνεισφορά του δομικού χάλυβα στην αντοχή σε αξονική δύναμη. Για διατομές πληρούμενες με σκυρόδεμα οι οριακές τιμές είναι εφαρμόσιμες μόνο για το τμήμα σκυροδέματος (1- δ).

7. ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΜΕΛΩΝ ΣΕ ΑΞΟΝΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Για κάθε ένα απο τους κύριους άξονες κάμψης του υποστυλώματος Πρέπει να δειχθεί ότι:

$$N_{Sd} \leq \chi N_{pl,Rd} \quad (15)$$

όπου

$N_{pl,Rd}$ είναι η αντοχή της διατομής σε αξονικό φορτίο (βλέπε Τμήμα 5).

χ είναι ο μειωτικός συντελεστής για την κατάλληλη καμπύλη λυγισ μού.

Το Σχήμα 3 δείχνει τις Ευρωπαϊκές καμπύλες λυγισ μού για σύμμικτα υποστυλώματα:

καμπύλη a για με σκυρόδεμα πληρούμενα κοίλα προφίλ

καμπύλη b για μερικά και ολικά σε σκυρόδεμα εγκιβωτισμένα I-προφίλ με κάμψη Περί τον ισχυρό άξονα της χαλύβδινης διατομής

καμπύλη c για μερικά και ολικά σε σκυρόδεμα εγκιβωτισμένα I-προφίλ με κάμψη περί τον ασθενή άξονα της χαλύβδινης διατομής

Αυτές καμπύλες μπορούν επίσης να περιγραφούν μαθηματικά ως ακολούθως :

$$\chi = \frac{1}{\varphi - \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad (16)$$

όπου

$$\varphi = 0,5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (17)$$

Ο συντελεστής α γρησιμοποιείται εδώ για να λάβει υπόψη τις ατέλειες στις διατομές. Ο Πίνακας 7 δίνει την τιμή του α που είναι κατάλληλη για κάθε καμπύλη λυγισμού.

8. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 4

Η εφαρμογή της μεθόδου σχεδιασμού που περιγράφηκε παραπάνω υπόκειται σε διάφορους περιορισμούς. Για να αυξηθεί η έκταση της μεθόδου, περαιτέρω έρευνες και δοκιμές σε σύμμικτα υποστυλώματα είναι αναγκαίες.

Η μέγιστη λυγηρότητα συμμίκτων υποστυλωμάτων έχει ως όριο:

$$\bar{\lambda} \leq 2,0 \quad (18)$$

Ο λόγος συνεισφοράς του χάλυβα δ , σύμφωνα με την Εξίσωση (14), πρέπει να ικανοποιεί την απαίτηση:

$$0,2 \leq \delta \leq 0,9 \quad (19)$$

Αν το δ είναι μικρότερο από 0, 2 το υποστύλωμα μπορεί να σχεδιασθεί σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2. Αν το δ είναι μεγαλύτερο από 0, 9 ο σχεδιασμός πρέπει να γίνει με βάση τον Ευρωκώδικα 3.

Αν ο διαμήκης οπλισμός ληφθεί υπ' όψιν στο σχεδιασμό, ένα ελάχιστο 0,3% της επιφανείας του σκυροδέματος πρέπει να εξασφαλίζεται. Το μέγιστο ποσοστό του χαλαρού οπλισμού στη διατομή του σκυροδέματος, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση είναι 4%. Για πυροπροστασία μπορούν να δοθούν μεγαλύτερα ποσοστά οπλισμού, αλλά μπορεί να μην ληφθούν υπ' όψιν στο σχεδιασμό, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 4.

$$0,3\% \leq \frac{A_s}{A_c} \leq 4,0\% \quad (20)$$

Οι με σκυρόδεμα πληρούμενες διατομές μπορούν να κατασκευασθούν χωρίς οπλισμό. Για εγκιβωτισμένες σε σκυρόδεμα διατομές ο διαμήκης οπλισμός μπορεί να παραλειφθεί. Σε αυτήν την περίπτωση μόνο επι.φανειακός οπλισμός είναι αναγκαίος.

Κατασκευασμένη από χάλυβα ενίσχυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σύνδεσμος.

Η ελάχιστη τιμή της επικάλυψης σκυροδέματος σε πλήρως εγκιβωτισμένα προφίλ δίνεται από την Εξίσωση (1). Η μέγιστη επικάλυψη στο χαλύβδινο προφίλ επίσης περιορίζεται. Όπως και με το ποσοστό της ενίσχυσης, η επικάλυψη μπορεί να είναι μεγαλύτερη αλλά δεν μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν στο σχεδιασμό:

$$40\text{mm} \leq c_z \leq 0,3 h \quad (21)$$

$$40\text{mm} \leq c_y \leq 0,4 b \quad (22)$$

9. ΣΤΗΡΙΞΗ ΣΕ ΣΥΜΜΙΚΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Σε περιοχές που φέρουν φορτίο θα πρέπει να διασφαλισθεί ότι τα επι μέρους συστατικά της διατομής (σκυρόδεμα και χάλυβας) φορτίζονται σύμφωνα με τις αντοχές τους, έτσι ώστε να μη συμβεί σημαντική ολίσθηση μεταξύ τους.

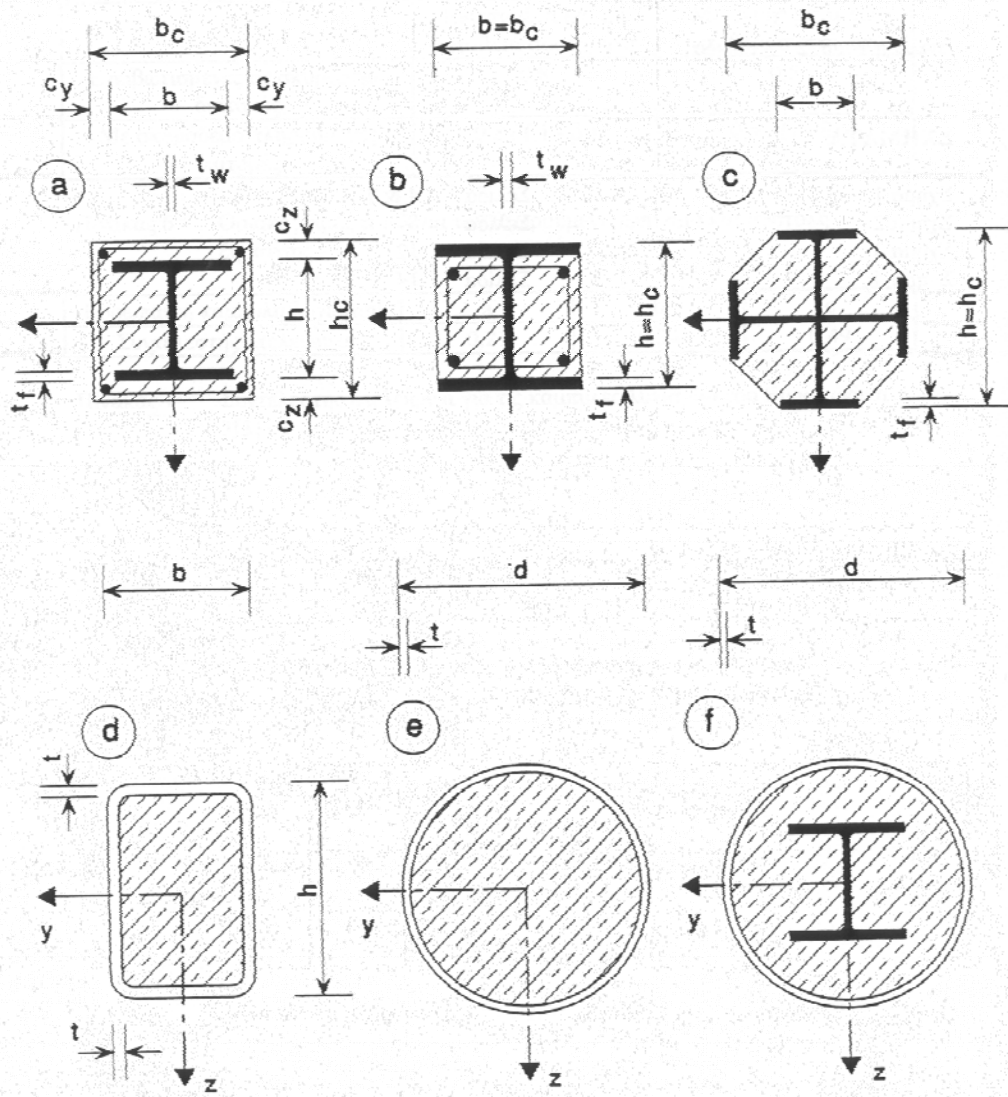
Πλάκες κεφαλής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υποστυλώματα ενός ορόφου. Αυτές αντιπροσωπεύουν την ιδανική μορφή εισαγωγής φορτίου. Χαλύβδινα κολάρα συγκολλούνται στις πλευρές των με σκυρόδεμα πληρούμενων προφίλ, πάνω στα οποία το πέγμα της διασταυρούμενης δοκού μπορεί να στερεωθεί μετά τη σκυροδέτηση.

Για συνεχή σύμμικτα υποστυλώματα χρειάζεται ειδική λεπτομέρεια για τη μεταφορά του φορτίου. Οι συνδέσεις που φαίνονται στο Σχήμα 4 έχουν αποδειχθεί οικονομικές και αποτελεσματικές για αυτό το σκοπό. Το Σχήμα 4α δείχνει λεπτομέρειες ήλων κεφαλής στους κορμούς 1-προφίλ. Αυτή η διάταξη εξασφαλίζει πρόσθετη μεταφορά φορτίου, η οποία αυξάνει την αντοχή της σύνδεσης. Η εισαγωγή πλακών ενισχύσεως, τρυπημένων μέσω της χαλύβδινης διατομής μέσα σε με σκυρόδεμα πληρούμενα κοίλα προφίλ (Σχήμα 4α) ενεργοποιεί τρισδιάστατες τάσεις στο σκυρόδεμα και αυξάνει την αντοχή της σύνδεσης.

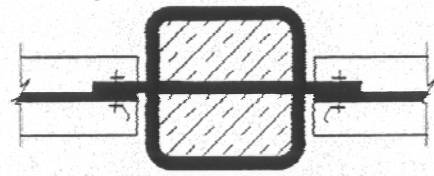
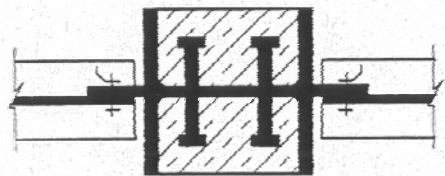
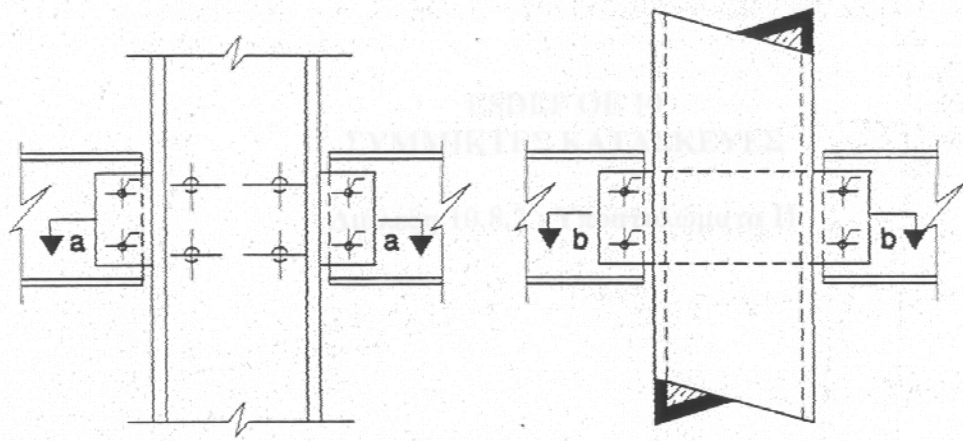
Ο σχεδιασμός αυτών των περιοχών που φέρουν φορτίο, όπως και ο σχεδιασμός για θλίψη και κάμψη σε σύμμικτα υποστυλώματα, περιγράφονται στη Διάλεξη 10.8.2.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Τα σύμμικτα υποστυλώματα μπορεί να είναι μερικά ή ολικά εγκιβωτισμένες ανοικτές διατομές, ή εναλλακτικά, μπορεί να είναι σωλήνες πληρούμενοι με σκυρόδεμα.
2. Ο Ευρωκώδικας 4[1] δίνει οριακούς λόγους για τα εκτεθειμένα χαλύβδινα μέρη συμμίκτων υποστυλωμάτων, για να διασφαλισθεί ότι δεν εμφανίζεται τοπικός λυγισμός. Για πλήρως εγκιβωτισμένες διατομές ο τοπικός λυγισμός δεν αποτελεί πρόβλημα.
3. Ο Ευρωκώδικας 4 δίνει απλοποιητικούς κανόνες (Ευρωπαϊκές Καμπύλες Λυγισμού κ.λ.π) για τον υπολογισμό της αντοχής συμμίκτου υποστυλώματος σε αξονικό φορτίο. Συγκεκριμένοι Περιορισμοί εφαρμόζονται σε αυτή τη μέθοδο.
4. Προσοχή πρέπει να δίνεται στη λεπτομέρεια σύνδεσης για να διασφαλισθεί η άμεση μεταφορά φορτίων και στα χαλύβδινα στοιχεία και στα στοιχεία του σκυροδέματος των διατομών των υποστυλωμάτων.



ΣΧΗΜΑ 1 Τυπικές διατομές συμμετρικων υποστυλωμάτων με συμβολισμούς



a-a

b-b

(a)

(b)

ΣΧΗΜΑ 4 Παραδείγματα διαρρυθμίσεων εισαγωγής φορτίου για συνεχή σύμμικτα υποστυλώματα

ESDER OE 10

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Διάλεξη 10.8.2 : Υποστυλώματα II

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ/ΣΚΟΠΟΣ

Να περιγραφεί η συμπεριφορά των συμμίκτων υποστυλωμάτων και να εξηγηθεί η μέθοδος σχεδιασμού για μονοαξονική και διαξονική κάμψη, συμπεριλαμβανομένου του καθορισμού των εσωτερικών ροπών και δυνάμεων.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 7.2

Διάλεξη 73

Διαλέξεις 7 6

Διάλεξη 10.2

Διάλεξη 108.1

Ταξινόμηση Διατομών

Τοπικός Λυγισμός

Δοκός - Υποστύλωμα

Συμπεριφορά των Δοκών

Υποστυλώματα I

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 10. 6. 1: Διατμητική Σύνδεση I

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Αυτή η διάλεξη δείχνει πως μπορεί να υπολογισθεί η πλαστική αντοχή συμμίκτου υποστυλώματος κάτω από συνδυασμένη θλίψη και κάμψη. Εξηγείται η μέθοδος σχεδιασμού που δίνεται στον Ευρωκώδικα 4 για μονοαξονική και διαξονική κάμψη. Απλοποιημένες μέθοδοι δίνονται επίσης για τον ορισμό των εσωτερικών ροπών δευτέρας τάξεως. Λαμβάνεται υπ' όψη η επιρροή της διατμητικής δύναμης στην αντοχή σε ροπή.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Διάλεξη 108.1, για τα σύμμικτα υποστυλώματα, εξήγησε την απλοποιημένη μέθοδο για το σχεδιασμό υποστυλωμάτων υποκειμένων μόνο σε αξονική θλίψη και εξέφρασε τους περιορισμούς στην εφαρμογή της. Περιγράφηκαν επίσης οι Κανόνες που αφορούν τοπικό λυγισμό, ερπυσμό και συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος.

Αυτή η διάλεξη υποθέτει γνώση των παραπάνω και περιγράφει το σχεδιασμό υποστυλωμάτων που υπόκεινται σε συνδυασμένη θλίψη και κάμψη, και υποστυλωμάτων που υπόκεινται σε διάτμηση.

2. ΓΕΝΙΚΑ

Ο σχεδιασμός για θλίψη και κάμψη διεκπεραιώνεται σε στάδια, ως ακολούθως το σύμμικτο υποστυλώμα εξετάζεται, απομονωμένο από το σύστημα. Για να γίνει αυτό, οι ακραίες ροπές που είναι αποτέλεσμα της συνολικής ανάλυσης του συστήματος (συμπεριλαμβανομένων των φαινομένων δευτέρας τάξεως) λαμβάνονται να δρουν στο μεμονωμένο στοιχείο. Εσωτερικές ροπές και δυνάμεις κατά μήκος του υποστυλώματος ορίζονται από τις ακραίες ροπές, τις αξονικές δυνάμεις και λοιπές εγκάρσιες δυνάμεις. Για λυγηρά υποστυλώματα λαμβάνονται υπόψη και τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως. Στην απλοποιημένη μέθοδο του Ευρωκώδικα 4 ατέλειες μέσα στο μήκος του υποστυλώματος δεν χρειάζεται να ληφθούν υπόψη μιας και λαμβάνονται υπόψη στον προσδιορισμό της αντοχής του υποστυλώματος.

Η αντοχή του υποστυλώματος σε θλίψη και κάμψη ορίζεται με την βοήθεια της καμπύλης λυγισμού της διατομής λυτή η καμπύλη μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί η επιρροή των διατμητικών δυνάμεων στο υποστυλώμα.

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ

Η επιρροή των φαινομένων δευτέρας τάξεως μπορεί να αμεληθεί στην ανάλυση των καμπτικών ροπών για ενισχυμένα με φατνώματα ακαμψίας και για μη μεταθετά συστήματα, υπο την προϋπόθεση ότι

- η αξονική δύναμη N_{sd} είναι μικρότερη από το 10% του κρίσιμου φορτίου N_{cr} (βλέπε Εξίσωση (2) παρακάτω).
- η λυγηρότητα $\bar{\lambda}$ του υποστυλώματος είναι :

$$\bar{\lambda} \leq 0,2 (2 - r) \quad (1)$$

όπου r είναι ο λόγος της μικρότερης προς τη μεγαλύτερη ροπή άκρου (βλέπε Σχήμα 1).

Για εγκάρσια φόρτιση μέσα στο μήκος του υποστυλώματος $r = 1$

Η καμπτική ακαμψία, η οποία είναι αναγκαία για την ανάλυση των φαινομένων δευτέρας τάξεως, μπορεί να υπολογισθεί πολλαπλασιάζοντας τη μέγιστη πρώτης τάξης καμπτική ροπή με ένα συντελεστή k :

$$k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{sd}}{N_{cr}}} \leq 1,0 \quad (2)$$

όπου

N_{sd} είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού.

N_{cr} είναι το κρίσιμο φορτίο (βλέπε Διάλεξη 10.8.1, Εξίσωση (10) με l_e το μήκος του υποστυλώματος).

β είναι ο συντελεστής φόρτισης.

Για υποστυλώματα με εγκάρσια φόρτιση μέσα στο μήκος του υποστυλώματος η τιμή του β πρέπει να λαμβάνεται ως 1, 0. Για μέλη μόνο με ακραίες ροπές, το β μπορεί να ορισθεί από:

$$\beta = 0,66 + 0,44 r \quad \text{αλλά } \beta \geq 0,44 \quad (3)$$

4. ΘΛΙΨΗ ΚΑΙ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΚΑΜΨΗ

Το Σχήμα 2 δείχνει πως μπορεί να ελεγχθεί η διατομή ενός σύμμικτου υποστυλώματος, μέσω της καμπύλης αλληλεπίδρασης M-N. Πρώτα η αντοχή του υποστυλώματος Κάτω από αξονική θλίψη ορίζεται σύμφωνα με την προηγούμενη διάλεξη. Αυτή η αντοχή ορίζεται από τον μειωτικό συντελεστή χ (Διάλεξη 108.1, Εξίσωση(16)), για το συντελεστή χ , μια τιμή για την ροπή μ που αντιπροσωπεύει τη ροπή που οφείλεται στις ατέλειες, μπορεί να διαβασθεί από την καμπύλη αλληλεπίδρασης.

Η επιρροή αυτής της ροπής υποτίθεται ότι μειώνεται γραμμικά στην τιμή χ για μια αξονική δύναμη $\chi_d = N_{sd}/N_{pl,Rd}$ ο συντελεστής ροπής μ αντιπροσωπεύει την απομένουσα ροπή αντοχής πρέπει να δειχθεί ότι:

$$M_{sd} \leq 0,9 \mu M_{pl,Rd} \quad (4)$$

Σε ορισμένες περιοχές της καμπύλης αλληλεπίδρασης, η αξονική δύναμη αυξάνει την αντοχή ροπής ($\mu > 1,0$). Αν η καμπτική ροπή και η αξονική δύναμη είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, η τιμή του μ πρέπει να περιορισθεί σε 1,0. Η τιμή χ_n υπολογίζεται για το γεγονός ότι η ατέλεια και η καμπτική ροπή δεν δρούν συνήθως μαζί μη ευνοικά.

Για ακραίες ροπές, το χ_n μπορεί να υπολογισθεί από την:

$$\chi_n = \frac{1-r}{4} \quad (5)$$

με r να είναι ο λόγος των ακραίων ροπών σύμφωνα με το Σχήμα 1.

Αν υπάρχουν εγκάρσια φορτία μέσα στο μήκος του υποστυλώματος, τότε το χ Πρέπει να ληφθεί ως μηδέν δηλ. $r = 1$.

Η μείωση της ροπής αντοχής, στην Εξίσωση (4), υπολογίζεται με 10% για τις απλοποιήσεις που έγιναν. Η καμπύλη αλληλεπίδρασης έχει ορισθεί χωρίς θεώρηση των περιορισμών των παραμορφώσεων στο σκυρόδεμα. Ως εκ τούτου οι ροπές, συμπεριλαμβανομένων των φαινομένων δευτέρας τάξεως, Εξίσωση (2), μπορούν να υπολογισθούν με τη χρήση της ενεργού καμπτυικής ακαμψίας $(EI)_e$ βασισμένη στην πλήρη επιφάνεια σκυροδέματος της διατομής.

5. ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΘΛΙΨΗ ΚΑΙ ΚΑΜΨΗ

Η καμπύλη αλληλεπίδρασης που περιγράφηκε στο Τμήμα 4, μπορεί να βρεθεί ρυθμίζοντας τον ουδέτερο άξονα κατά μήκος όλης της διατομής και ορίζοντας τις εσωτερικές ροπές και δυνάμεις από τα εξαγόμενα τμήματα τάσεων. Αυτό μπορεί να γίνει επαρκώς μόνο από ένα Πρόγραμμα H/Y, λόγω του αριθμού των εξισώσεων που Πρέπει να λυθούν. Είναι παρόλα αυτά δυνατόν να υπολογισθούν συγκεκριμένα σημεία της καμπύλης αλληλεπίδρασης αρκετά απλά χωρίς την βοήθεια H/Y. Αυτά τα σημεία (A-E) σημειώνονται στο διάγραμμα αλληλεπίδρασης στο Σχήμα 3, και συνδέονται από σειρές ευθειών γραμμών. Αυτές οι γραμμές είναι ικανοποιητικά ακριβείς για τους περισσότερους σκοπούς σχεδιασμού.

Το Σχήμα 4 δείχνει τις κατανομές των τάσεων σε κάθε σημείο A, B, C, D και E για το παράδειγμα μιας τετράγωνης κοίλης διατομής που είναι πλήρης σκυροδέματος. Το σημείο A δείχνει την αντοχή στην αξονική δύναμη:

$$N_B = 0 \quad (6)$$

$$M_B = M_{pl,Rd} \quad (7)$$

Το σημείο B δείχνει την κατανομή των τάσεων μόνο για τη ροπή αντοχής:

$$N_A = N_{pl,Rd} \quad (8)$$

$$M_A = 0 \quad (9)$$

Εδώ μπορεί κανείς να δει ότι στον ορισμό της αντοχής της διατομής, οι περιοχές του σκυροδέματος σε εφελκυσμό λαμβάνονται σαν να είναι ρηγματωμένες και ανενεργές. Η ροπή αντοχής στο σημείο C είναι ίδια με του σημείου B, μιας και οι παραγόμενες τάσεις από τα πρόσθετα θλιβόμενα τμήματα εκμηδενίζουν ή μια την άλλη στην κεντρική περιοχή της διατομής.

Αυτές οι πρόσθετες θλιβόμενες περιοχές, παρόλα αυτά, δημιουργούν μια εσωτερική αξονική δύναμη η οποία είναι ίση με την πλαστική αξονική αντοχή του μέλους από σκυρόδεμα μόνου του. Αυτό μπορεί να κατανοηθεί προσθέτοντας τις κατανομές τάσης του σημείου B και του σημείου C. Η ισορροπία της αξονικής δύναμης δεν αλλάζει μιας και δεν υπάρχει παραγόμενη αξονική δύναμη για το σημείο B. Όλα τα χαλύβδινα μέρη αντισταθμίζουν το ένα το άλλο και η επιφάνεια θλίψης του σκυροδέματος στο σημείο B είναι όμοια με την εφελκυστική περιοχή του σκυροδέματος του σημείου C. Η αξονική δύναμη δίνεται, ως εκ τούτου, από την ακόλουθη έκφραση:

$$N_C = N_{c,Rd} = A_c \alpha f_{cd} \quad (10)$$

Όπου

α είναι 1, 0 για με σκυρόδεμα πληρούμενα προφίλ

f_{cd} είναι η υπολογιστική αντοχή του σκυροδέματος

$$M_c = M_{pl,Rd} \quad (11)$$

Στο σημείο D, ο πλαστικός ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον κεντροβαρικό άξονα της διατομής, και η παραγόμενη αξονική δύναμη είναι το μισό της δύναμης αντοχής στο C. Αυτή η κατανομή τάσης επιτρέπει γρήγορο και απλό υπολογισμό της ροπής και της αξονικής δύναμης.

$$N_D = N_{c,Rd} / 2 \quad (12)$$

$$M_D = M_{max, Rd} \quad (13)$$

$$M_{max,Rd} = W_{pa} f_{yd} + 0,5 W_{pc} \alpha f_{cd} + W_{ps} f_{sd} \quad (14)$$

όπου

W_{pa} , W_{pc} και W_{ps} είναι οι πλαστικές ροπές αντοχής του δομικού χάλυβα, του σκυροδέματος και του οπλισμού και

f_{yd} , f_{cd} και f_{sd} είναι οι αντίστοιχες αντοχές σχεδιασμού των υλικών.

Για το σημείο E, ο ουδέτερος άξονας τοποθετείται μεταξύ του σημείου C και του άκρου της διατομής με τέτοιο τρόπο που η παραγόμενη τάση μπορεί εύκολα να υπολογισθεί. Το σημείο E δε χρειάζεται να ορισθεί σε όλες τις περιπτώσεις.

Οι θέσεις του ουδέτερου άξονα για το σημείο B ($M_{pl,Rd}$) και παρόμοια για το σημείο C δηλ. η απόσταση h_n μπορεί να ορισθεί από τη διαφορά των τάσεων στο σημείο C και στο σημείο B (βλέπε Σχήμα 5). Μιας και τα τμήματα είναι συνήθως ορθογωνικής μορφής στην κεντρική περιοχή της διατομής, οι παραγόμενες δυνάμεις που εξαρτώνται από το I_1 μπορούν εύκολα να ορισθούν. Το άθροισμα αυτών των δυνάμεων είναι ίσο με N όπως φαίνεται παραπάνω. Αυτός ο υπολογισμός επιτρέπει να ορισθεί η εξίσωση που ορίζει το h_n . Αυτή η εξίσωση είναι διαφορετική για διάφορους τύπους διατομών.

Για το παράδειγμα της με σκυρόδεμα πληρούμενης ορθογωνικής κοίλης διατομής :

$$h_n = \frac{N_{c,Rd}}{2 b f_{cd} - 4 t (2 f_{yd} - f_{cd})} \quad (15)$$

Η ροπή αντοχής $M_{pl,Rd}$ μπορεί απλά να υπολογισθεί από τη διαφορά των τάσεων μεταξύ του σημείου D και του σημείου B (Σχήμα 6).

$$M_{n,Rd} = W_{pan} f_{yd} + 0,5 W_{pcn} \alpha f_{cd} + W_{psn} f_{sd} \quad (16)$$

οπου

W_{pan} , W_{pcn} και W_{psn} είναι οι πλαστικές ροπές αντοχής των επιφανειών στην περιοχή του $2h_n$.

Για τη ροπή αντοχής $M_{pl,Rd}$

$$M_{pl,Rd} = M_{max,Rd} - M_{n,Rd} \quad (17)$$

Για σε σκυρόδεμα εγκιβωτισμένα I-προφίλ και για με σκυρόδεμα πληρούμενους σωλήνες, η αντίστοιχη σχέση δίνεται στο Παράρτημα C του Ευρωκώδικα 4

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου υπολογισμού είναι η εφαρμοσιμότητα της σε μια διπλά συμμετρική διατομή. Ακόμα και για πιο πολύπλοκες διατομές (π. χ. Διάλεξη 10.8.1 Σχήμα 1 ή f) τα χαρακτηριστικά σημεία στο διάγραμμα αλληλεπίδρασης μπορούν εύκολα να ορισθούν.

Το γραμμικό διάγραμμα αλληλεπίδρασης ABCD μπορεί μερικές φορές να υποεκτιμήσει την τιμή της ροπής λόγω της ατέλειας μ_R .

Αν για παράδειγμα, η απόκλιση μεταξύ του πολυγωνικού δρόμου και της ακριβούς καμπύλης είναι πολύ μεγάλη στην περιοχή της ροπής της οφειλομένης σε ατέλειες, στο ύψος χ του Σχήματος 2, και μικρή στην αξονική δύναμη χ_d , η ατέλεια που λαμβάνεται υπ'όψιν είναι πολύ μικρή. Σε αυτή την περίπτωση το σημείο E είναι σχεδόν στο μέσο μεταξύ του σημείου A και του σημείου C και μπορεί να ορισθεί.

Για σε σκυρόδεμα εγκιβωτισμένες διατομές-I, με κάμ γύρω από τον ισχυρό άξονα της χαλύβδινης διατομής, η ακριβής καμπύλη αλληλεπίδρασης είναι σχεδόν γραμμική μεταξύ των σημείων A και C, και έτσι δε χρειάζεται σε αυτή την περίπτωση να ορισθεί το σημείο E.

6. ΘΛΙΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΚΑΜΨΗ

Για το σχεδιασμό υποστυλώματος κάτω από θλίψη και διαξονική κάμψη η αντοχή για κάθε άξονα πρέπει να εκτιμηθεί ξεχωριστά. Θα είναι τότε σαφές ποιός από τους άξονες είναι πιθανόν να αστοχήσει. Η ατέλεια χρειάζεται τότε να ληφθεί υπ'όψη μόνο για αυτή την διεύθυνση (βλέπε Σχήμα 7).

Η συνδυασμένη κάμψη πρέπει επίσης να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας τις σχετικές τιμές της ροπής αντοχής μ και μ και μια καινούργια καμπύλη αλληλεπίδρασης (βλέπε Σχήμα 7). Αυτή η γραμμική καμπύλη αλληλεπίδρασης κόβεται στο 0,9 μ_y , και 0,9 μ_z . Οι υπάρχουσες ροπές $M_{y,Sd}$ και $M_{z,Sd}$ που σχετίζονται με την αντίστοιχη αντοχή, πρέπει να βρίσκονται μέσα στην νέα καμπύλη αλληλεπίδρασης. Έτσι έχουμε τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\frac{M_{y,Sd}}{\mu_y M_{pl,y,Rd}} - \frac{M_{z,Sd}}{\mu_z M_{pl,z,Rd}} \leq 1,0 \quad (18)$$

and

$$\frac{M_{y,Ds}}{\mu_y M_{pl,y,Rd}} \leq 0,9 \quad (19)$$

$$\frac{M_{z,Sd}}{\mu_z M_{pl,y,Rd}} \leq 0,9 \quad (20)$$

7. Η ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Οι τάσεις συνάφειας μεταξύ χαλύβδινου προφίλ και σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις ακόλουθες τιμές:

- για πλήρως εγκιβωτισμένες σε σκυρόδεμα διατομές 0,6 N/mm
- για με σκυρόδεμα πληρούμενες διατομές 0,4 N/mm
- για μερικώς εγκιβωτισμένες σε σκυρόδεμα διατομές
 - για τα πέγματα 0,2 N/mm
 - για τους κορμούς 0,0 N/mm

Ένας ακριβής ορισμός των τάσεων συνάφειας μεταξύ του δομικού χάλυβα και του σκυροδέματος είναι δύσκολος. Οι τάσεις στη σύμμικτη διατομή μπορούν να ορισθούν με ένα απλοποιημένο τρόπο, με τη χρήση ελαστικής θεωρίας, ή μέσω της πλαστικής αντοχής της διατομής. Η μεταβολή των τάσεων στο μέλος από σκυρόδεμα, μεταξύ δύο κρίσιμων διατομών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό των τάσεων συνάφειας.

Με ένα παρόμοιο τρόπο μπορεί να γίνει διαίρεση της τέμνουσας δύναμης μεταξύ του δομικού χάλυβα και του σκυροδέματος. Η τέμνουσα δύναμη στην οποία πρέπει να αντισταθεί το σκυρόδεμα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 απ' όπου η τέμνουσα δύναμη στην οποία πρέπει να αντισταθεί η χαλύβδινη διατομή μπορεί να ελεγχθεί, αν είναι αναγκαίο, χρησιμοποιώντας μια σχέση αλληλεπίδρασης. Το Σχήμα δείχνει τη μείωση των ορθών τάσεων στις επιφάνειες που μεταδίδουν διατμητικές τάσεις.

Αυτή η μείωση του ορίου διαρροής, στα τμήματα που μεταδίδουν διάτμηση, μπορεί να μεταμορφωθεί, για τους σκοπούς του σχεδιασμού, σε μια μείωση του πάχους του μέλους. Η επιρροή δεν χρειάζεται να ληφθεί υπ' όψη αν:

$$V_{a.Sd} < 0,5 V_{pl.a.Rd} \quad (21)$$

όπου

$V_{a.Sd}$ είναι το τμήμα της τέμνουσας σχεδιασμού που παραλαμβάνεται από την χαλύβδινη διατομή

$V_{pl.a.Rd}$ είναι η αντοχή της χαλύβδινης διατομής σε διάτμηση

$$V_{pl.a.Rd} = A_v \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (22)$$

όπου

A_v είναι η επιφάνεια διάτμησης της διατομής του δομικού χάλυβα.

Η μείωση της επιφάνειας διάτμησης δίνεται από:

$$\text{red } A_v = A_v \left[1 - \left(\frac{2 V_{a.Sd}}{V_{a.Rd}} - 1 \right)^2 \right] \quad (23)$$

Για μια εγκιβωτισμένη σε σκυρόδεμα I-διατομή, με κάμψη γύρω από τον ισχυρό άξονα:

$$\text{red } A_v = \text{red } t_w h \quad (24)$$

Χρησιμοποιώντας το μειωμένο πάχος, t_w η μέθοδος που δίνεται στο Τμήμα 5, για τον ορισμό της καμπύλης αλληλεπίδρασης της διατομής, μπορεί να εφαρμοσθεί χωρίς κάποια τροποποίηση.

Για απλότητα, η διανομή της διατμητικής δύναμης μεταξύ της χαλύβδινης διατομής και του σκυροδέματος συχνά αμελείται. Για κοίλα πλήρη σκυροδέματος προφίλ, για παράδειγμα, η συνολική διατμητική δύναμη κατανέμεται τυπικά μόνο στη χαλύβδινη διατομή.

8. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Όπου εισάγονται φορτία σε ένα σύμμικτο υποστύλωμα, θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι μέσα σε ένα συγκεκριμένο μήκος εισαγωγής, τα ξεχωριστά συστατικά της διατομής φορτίζονται σύμφωνα με την αντοχή τους. Για αυτό το σκοπό, με ένα τρόπο παρόμοιο με το Τμήμα 7, ορέπει να γίνει μια διαίρεση των φορτίων μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος.

Για να εκτιμηθεί η ακριβής κατανομή του φορτίου που θα εισαχθεί, οι κατανομές τάσης στην αρχή και το τέλος της περιοχής εισαγωγής πρέπει να είναι γνωστές. Από τις διαφορές σε αυτές τις τάσεις μπορούν να ορισθούν τα φορτία που θα μεταδοθούν στα συστατικά της διατομής. Το μήκος l της περιοχής εισαγωγής του φορτίου δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή

$$l_1 \leq 2 d \quad (25)$$

όπου d είναι η διάσταση της διατομής στον άξονα κάμψης.

Τα φορτία μπορούν εύκολα να κατανεμηθούν με τη χρήση των πλαστικών αντοχών:

$$N_{cs.Sd} = N_{Sd} \left(1 - \frac{N_{a.Rd}}{N_{pl.Rd}} \right) \quad (26)$$

$$N_{a.Sd} = N_{Sd} - N_{cs.Sd} \quad (27)$$

$$M_{cs.Sd} = M_{Sd} \frac{M_{cs.Rd}}{M_{pl.Rd}} \quad (28)$$

$$M_{a.Sd} = M_{Sd} - M_{cs.Sd} \quad (29)$$

όπου

$N_{a.Rd}$ είναι η αντοχή σε αξονική δύναμη της διατομής του δομικού χάλυβα

$N_{cs.Rd}$ είναι η αντοχή σε αξονική δύναμη της διατομής του σκυροδέματος

$N_{pl.Rd}$ είναι η αντοχή σε αξονική δύναμη ολόκληρης της σύμμικτης διατομής

$M_{a.Rd}$ είναι η αντοχή σε ροπή της διατομής του δομικού χάλυβα

$M_{cs.Rd}$ είναι η αντοχή σε ροπή της διατομής του οπλισμένου σκυροδέματος

$M_{pl.Rd}$ είναι η αντοχή σε ροπή ολόκληρης της σύμμικτης διατομής

Για τον ορισμό του $M_{cs.Rd}$ ο υπολογισμός πρέπει να βασίζεται στο τμήμα 5, αμελώντας τη χαλύβδινη διατομή.

Αν τα φορτία εισάγονται εν πρώτοις μέσω μιας σύνδεσης στο χάλυβα, τα στοιχεία εισαγωγής φορτίου δηλ. διατμητικοί σύνδεσμοι με κεφαλή, πρέπει να σχεδιάζονται να μεταδίδουν στα στοιχεία του σκυροδέματος τα μέρη της φόρτισης $N_{cs.Rd}$ και $M_{cs.Rd}$. Στην περίπτωση εισαγωγής φορτίου από το σκυρόδεμα στο χαλύβδινο μέλος π. χ. μέσω βραχιόνων, οι αντίστοιχες δυνάμεις και ροπές του χάλυβα, $N_{a.Sd}$ και $M_{a.Sd}$ πρέπει να λαμβάνονται σαν βάση για το σχεδιασμό.

Για μονώροφα υποστυλώματα, οι πλάκες κεφαλής χρησιμοποιούνται γενικά σαν στοιχεία για εισαγωγή φορτίου. Ειδικές λεπτομέρειες είναι αναγκαίες για συνεχή υποστυλώματα. Για αυτές τις περιπτώσεις ήλοι με κεφαλή έχουν αποδειχθεί οικονομικοί όταν χρησιμοποιούνται με ανοιχτές διατομές (βλέπε Σχήμα 9). Οι δυνάμεις στους εξωτερικούς διατμητικούς συνδέσμους μεταδίδονται στα πέλματα και προκύπτει η ακόλουθη δύναμη τριβής:

$$R = \mu P_{Rd}/2 \quad \mu = 0,3 \quad (30)$$

όπου P_{Rd} είναι η αντοχή σχεδιασμού ενός τέτοιου συνδέσμου με κεφαλή.

Για την εισαγωγή δυνάμεων σε συνεχή με σκυρόδεμα πληρωθέντα κοίλα προφίλ, η χρήση κομβοελασμάτων, διερχομένων δι' οπών μέσω του προφίλ, είναι μια πολύ οικονομική λύση. Λόγω της επιρροής της περίσφυξης, υψηλές ορθές τάσεις μπορούν να προκύψουν κάτω από το άκρο του κομβοελάσματος (Σχήμα 10).

$$f_{l.Rd} = (0,6 f_{ck} + 35,0) \frac{1}{\gamma_c} \sqrt{\frac{A}{A_1}} \quad (31)$$

$$f_{l.Rd} \leq \frac{N_{c.Rd}}{A_1} \quad (32)$$

όπου

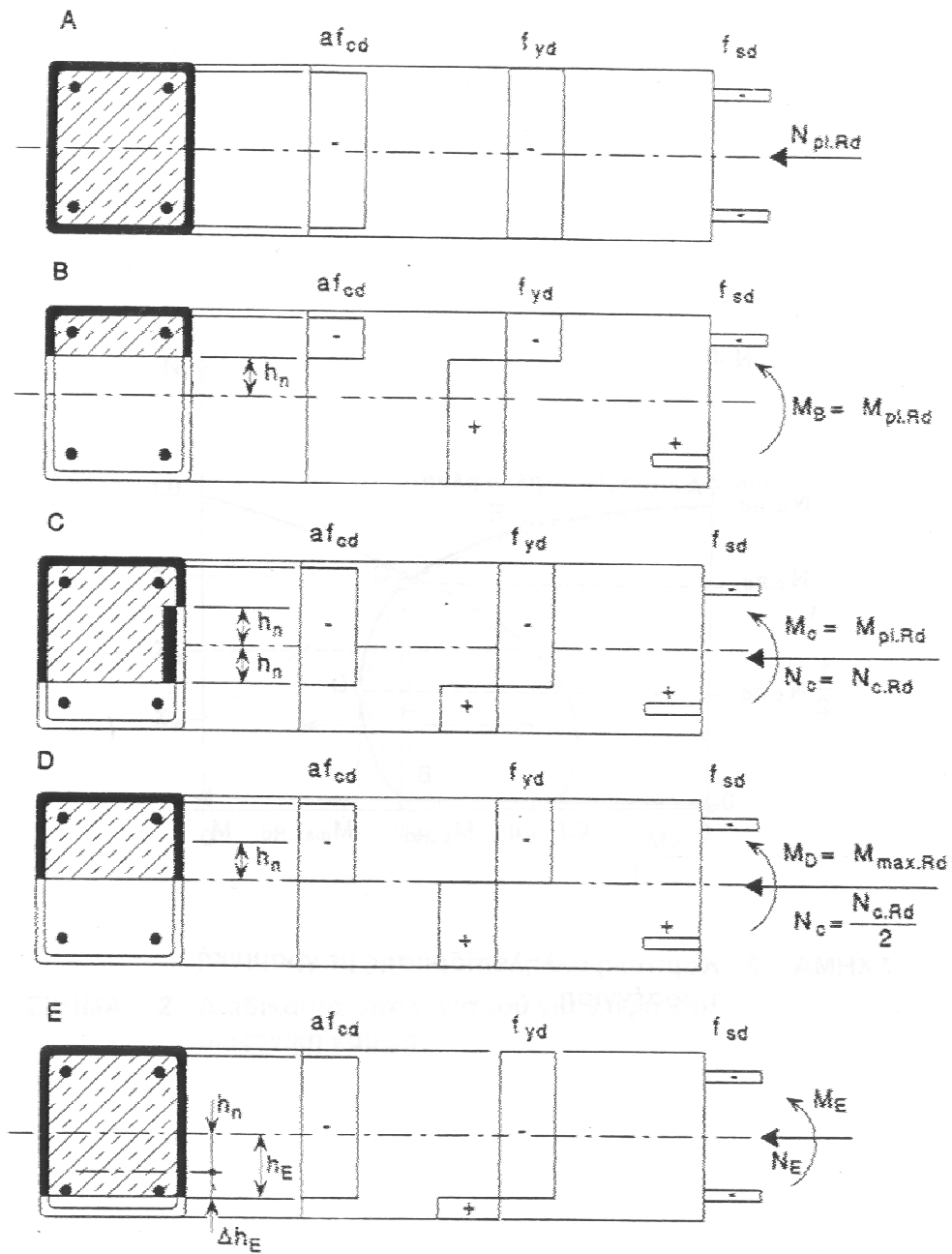
A είναι η συνολική επιφάνεια του πυρήνα σκυροδέματος

A_1 είναι η επιφάνεια κάτω από το άκρο του κομβοελάσματος.

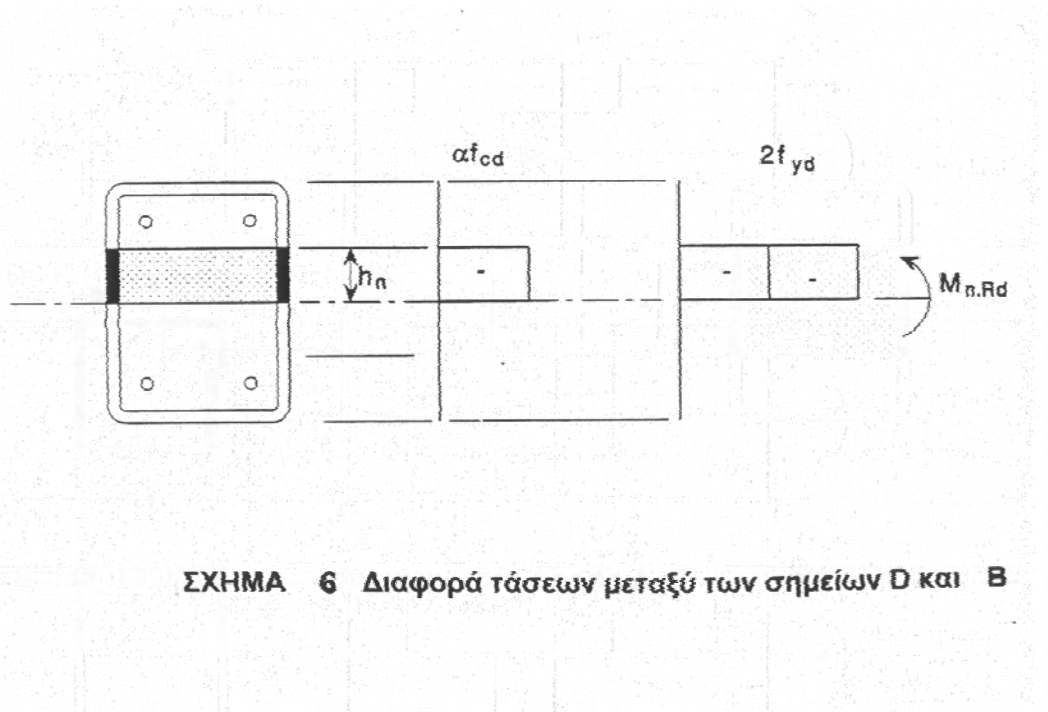
Η Εξίσωση (31) ελήφθη από δοκιμές και δεν έχει ακόμα επιβεβαιωθεί στατιστικά.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Η επιρροή των φαινομένων δευτέρας τάξεως πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη για λυγηρά υποστυλώματα κάτω από σημαντικό αξονικό φορτίο.
2. Συνδυασμένη κάμψη και αξονικό φορτίο μπορεί να ελεγχθούν χρησιμοποιώντας διαγράμματα αλληλεπίδρασης τα οποία επίσης διαμορφώνουν τη βάση προσέγγισης που υιοθετήθηκε στο Παράρτημα D του Ευρωκώδικα 4.
3. Τέμνουσες δυνάμεις λαμβάνονται υπ' όψη με μείωση της ενεργού επιφάνειας που ανθίσταται σε κάμψη. Η καμπύλη αλληλεπίδρασης της διατομής μπορεί τότε να οριστεί με τη χρήση της μειωμένης διατομής.
4. Περιοχές εισαγωγής φορτίου χρειάζονται προσοχή στις λεπτομέρειες διαμόρφωσης. Η αντοχή εγκιβωτισμού ενεργοποιείται σε τέτοιες περιοχές όταν χρησιμοποιούνται διατμητικοί ήλοι και κομβοελάσματα.



ΣΧΗΜΑ 4 Κατανομές τάσεων για τα χαρακτηριστικά σημεία της καμπύλης αλληλεπίδρασης για με σκυρόδεμα πληρούμενες κοίλες διατομές



ΣΧΗΜΑ 6 Διαφορά τάσεων μεταξύ των σημείων D και B

ESDEP O.E. 10
ΣΥΜΜΙΚΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
Διάλεξη 10.9 : Κτίριο

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ/ΣΚΟΠΟΣ

Να δώσει μια εισαγωγή στις σύμμικτες κτιριακές κατασκευές, να περιγράψει τα στοιχεία, τις συνδέσεις, τη βιομηχανική κατεργασία και την αλληλεπίδραση των στοιχείων και να συζητήσει τα χρησιμοποιούμενα δομικά συστήματα.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ

Διάλεξη 10.1: Σύμμικτες Δοκοί - Γενικά

ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ

Διάλεξη 10.2: Συμπεριφορά Δοκών

Διάλεξη 10.3: Αμφιέριστες Δοκοί

Διάλεξη 10.4: Συνεχείς Δοκοί

Διάλεξη 10.6: Διατμητικοί Σύνδεσμοι

Διάλεξη 10.8: Σύμμικτα Υποστυλώματα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η διάλεξη συζητά κυρίως τους τύπους των σύμμικτων κτιριακών κατασκευών οι οποίες χρησιμοποιούνται γενικά, και τις μεθόδους ανέγερσής τους. Δίνεται η βέλτιστη διάταξη (σύμφωνα με την τρέχουσα πρακτική) για δοκούς και υποστυλώματα. Συζητούνται τα διαφορετικά σχήματα δοκών, και συνδέσεων των δαπέδων στις δοκούς, και των δοκών στα υποστυλώματα και τους τοίχους. Δίνονται μερικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες οι οποίες εκμεταλλεύονται το σχήμα των δομικών στοιχείων. Συζητείται η συμπεριφορά των σύμμικτων στοιχείων κάτω από σεισμικές συνθήκες ή όταν υπόκεινται σε ταλαντώσεις και επισημαίνεται η δυνατότητα για περαιτέρω έρευνα σ' αυτή την περιοχή.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το δομικό σύστημα ενός κτιρίου είναι ένα σύνθετο τρισδιάστατο σύνολο αλληλοσυνδεδεμένων ασυνεχών ή συνεχών κατασκευαστικών στοιχείων. Η πρώτη λειτουργία του δομικού συστήματος είναι η μεταφορά όλων των φορτίων τα οποία δρουν στο κτίριο αποτελεσματικά και με ασφάλεια στη θεμελίωση. Το δομικό σύστημα αναμένεται επομένως να:

- Μεταφέρει δυναμικά και στατικά κατακόρυφα φορτία.
- Μεταφέρει οριζόντια φορτία εξαιτίας των δράσεων του ανέμου και του σεισμού.
- Αντέχει σε τάσεις εξαιτίας των επιδράσεων της θερμοκρασίας και της συστολής ξήρανσης.
- Αντέχει σε εξωτερικά ή εσωτερικά ωστικά κύματα και κρουστικά φορτία.
- Αντέχει στις ταλαντώσεις και να υποβοηθεί στην απόσβεσή τους επί πλεον δε να αντέχει στις επιδράσεις της κόπωσης.

Επιπρόσθετα κάθε δομικό σύστημα υπόκειται συνήθως στις ακόλουθες δεσμεύσεις.

Θα πρέπει:

- να είναι συμβατό με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις καθώς και με αυτές του χρήστη, του ιδιοκτήτη ή και των δύο.
- να διευκολύνει, κατάλληλα, τα δίκτυα εξυπηρέτησης, όπως το σύστημα θέρμανσης των κτιρίων, το σύστημα κλιματισμού, την οριζόντια και κατακόρυφη καλωδίωση και άλλα ηλεκτρικά και μηχανικά συστήματα.
- να διευκολύνει απλά και γρήγορα την ανέγερση του κτιρίου.
- να έχει επαρκή αντοχή σε φωτιά.
- να επιτρέπει στο κτίριο, στη θεμελίωση και στο έδαφος να αλληλοεπιδρούν κατάλληλα.
- να είναι οικονομικό.

Το σύμμικτο σύστημα χάλυβα-σκυρόδεμα για τα κτίρια αποτελείται από στοιχεία σκυροδέματος τα οποία συνεργάζονται με στοιχεία από δομικό χάλυβα μέσα στο ίδιο σύστημα. Από τη συνολική συμπεριφορά τους, αυτά τα στοιχεία δίνουν τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά αντοχής, ακαμψίας και ευστάθειας στο συνολικό σύστημα. Τα σύμμικτα μέλη, σαν ξεχωριστά μέλη του συστήματος, χρησιμοποιούνταν για αρκετά χρόνια. Αυτό συνίσταται σε συμμικτες δοκούς ή δικτυώματα, σε σύμμικτα υποστυλώματα από χαλύβδινες διατομές εγκιβωτισμένες σε σκυρόδεμα ή γεμισμένες με αυτό και σε σύμμικτες πλάκες με χαλυβδόφυλλο στην κατώτερη επιφάνειά τους.

Αυτά τα μέλη γενικά χρησιμοποιούνται στις χαλυβοκατασκευές, και η ανάπτυξή τους ως σύμμικτων μελών βασίζεται στην αξιοποίηση του σκυροδέματος το οποίο κανονικά θα απαιτηθεί για πλάκες δαπέδων με μεταλλικές δοκούς, ή θα απαιτηθεί για πυροπροστασία εγκιβωτίζοντας χαλύβδινα υποστυλώματα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η συνεισφορά των σύμμικτων μελών, περιορίζεται στην παραλαβή μόνο φορτίων βαρύτητας, ενώ έχουν αγνοηθεί στην αντοχή του συνολικού συστήματος για εγκάρσια φορτία ανέμου ή φορτία σεισμού. Η ανάπτυξη ενός συνολικού συστήματος, όπου τα συνιστώντα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος και δομικού χάλυβα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ενεργά συνεισφέροντα τμήματα του όλου συστήματος, είναι σχετικά νέα. Αξιόλογο δυναμικό υπάρχει για την ανάπτυξη μιας ποικιλίας από νέα κατασκευαστικά συστήματα σε αυτή την περίπτωση.

Για τα τυπικά δομικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στην κτιριακή κατασκευή, είτε είναι χάλυβας, σκυρόδεμα ή σύμμικτο, υπάρχουν διάφορα υποσυστήματα ή συστατικά στοιχεία κοινά σε όλες τις περιπτώσεις. Αυτά τα υποσυστήματα μπορούν να ομαδοποιηθούν ως ακολούθως:

1. Συστήματα δαπέδων.
2. Συστήματα αντιστεκόμενα σε κατακόρυφα φορτία.
3. Συστήματα αντιστεκόμενα σε οριζόντια φορτία.
4. Κατασκευαστικές συνδέσεις.

Η παράγραφος 3 συζητά αυτά τα συστήματα λεπτομερειακά, δίνοντας προσοχή στα συστήματα αντοχής σε οριζόντια φορτία και στις κατασκευαστικές συνδέσεις. Αυτά τα θέματα δεν καλύπτονται από προηγούμενες διαλέξεις.

Η επιλογή του χάλυβα, του σκυροδέματος, ή του σύμμικτου συστήματος για κάθε ιδιαίτερο έργο εξαρτάται όχι μόνο από την ικανότητα του συστήματος, τη διαθεσιμότητα των υλικών, το κόστος, τις κατασκευαστικές μεθόδους και την εργασία αλλά επίσης από το σχεδιασμό τα αρχιτεκτονικά και αισθητικά κριτήρια. Είναι επομένως αδύνατο να εξαχθούν οριστικά συμπεράσματα μόνο με βάση την εκτίμηση του δομικού συστήματος. Η παράγραφος 2 περιγράφει αρκετά σύμμικτα δομικά συστήματα τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε εμπορικά κτιριακά έργα.

2. ΣΥΜΜΙΚΤΗ ΔΡΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Η σύμμικτη δράση μεταξύ των διαφόρων δομικών στοιχείων σε μια κατασκευή υπάρχει πάντα όταν αυτά είναι συνεχή (μονολιθικά ή συνδεδεμένα με διατμητικούς συνδέσμους). Ανάλογα με το μέγεθος του κτιρίου, ορισμένες απλουστεύσεις μπορούν να γίνουν για να προσεγγίσουμε την αλληλεπίδραση των επι μέρους δομικών συνιστωσών, με ένα συντηρητικό τρόπο. Η χρήση υλικών υψηλότερης αντοχής και η σύμμικτη δράση είναι σημαντικοί παράγοντες στο να κάνουμε ολόκληρο το σύστημα να εργαστεί οικονομικά. Τα υψηλά κτίρια απαιτούν επιπρόσθετες θεωρήσεις όπως οι λυγηρότητες, η ευκαμψία και η ευαισθησία σε διαφορετικές επιδράσεις (Το ύψος δεν είναι το μόνο κριτήριο για του μεγέθους του κτιρίου).

Ο χάλυβας και το σκυρόδεμα είναι τα κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται στα σύμμικτα συστήματα. Μολονότι έχουν αρκετά διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά, είναι δυνατό η χρήση αυτών μαζί να είναι ωφέλιμη με διαφορετικούς τρόπους.

Ενας αριθμός συστημάτων έχει αναπτυχθεί τις τελευταίες λίγες δεκαετίες τα οποία συνδυάζουν με επιτυχία το χάλυβα και το σκυρόδεμα. Τα ακόλουθα σύμμικτα συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές περιπτώσεις κτιρίων:

1. **Πλαισιωτή Κατασκευή** : Τα δομικά πλαίσια μπορούν να είναι άκαμπτα ή εύκαμπτα, ανάλογα με τη σχετική ακαμψία των δοκών ως προς τα υποστυλώματα. Στην περίπτωση του άκαμπτου συστήματος, και τα δύο αυτά στοιχεία συνδέονται άκαμπτα μεταξύ τους για να μεταφέρουν εγκάρσια φορτία στη θεμελίωση. Επιπρόσθετα, οι πλάκες προσφέρουν εγκάρσια ακαμψία σε ολόκληρο το σύστημα στις στάθμες των ορόφων.
2. **Κατασκευή διατμητικού τοιχώματος** : Σε μια προαναφερόμενη πλαισιωτή κατασκευή, ένα σύστημα διατμητικών τοιχωμάτων μπορεί να τοποθετηθεί κατά τη διεύθυνση των εγκάρσιων φορτίων ώστε να βοηθήσει στη μεταφορά τους στη θεμελίωση. Τα διατμητικά τοιχώματα τυπικά περιβάλλουν μερικές εξυπηρετήσεις του κτιρίου, όπως οι ανελκυστήρες και οι σκάλες, και επομένως ικανοποιούν ένα διπλά ωφέλιμο σκοπό. Ενας κατάλληλος συνδυασμός του διατμητικού τοιχώματος και του συστήματος του πλαισίου μπορεί να εξυπηρετήσει ως ένα πολύ χρήσιμο σύστημα μεταφοράς φορτίων και για κατακόρυφες και για οριζόντιες δυνάμεις. Εν τούτοις, για ορισμένες περιπτώσεις, η ανάγκη για επαρκή ολκιμότητα Πρέπει να εξετασθεί.
3. **Κλιμακωτά συστήματα διατμητικών τοιχωμάτων**: Τα διατμητικά τοιχώματα σε αυτό το σύστημα διατάσσονται απο όροφο σε όροφο. Τα τοιχώματα στηρίζουν δάπεδα και στο άνω και στο κάτω μέρος τους και με το πλεονέκτημα της κλιμάκωσης μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία μεγάλων ανοιχτών επιφανειών τα οποία χρειάζονται στα εμπορικά κτίρια.
4. **Σωληνωτά συστήματα** : Το σωληνωτό σύστημα συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των προαναφερόμενων τριών συστημάτων. Συμπεριφέρεται σαν άκαμπτος αλλά διάτρητος σωλήνας, ο οποίος, μέσω της μονολιθικής του δράσης και της ακαμψίας του, μεταφέρει και εγκάρσια και κατακόρυφα φορτία στη θεμελίωση. Ανάλογα με το ύψος του κτιρίου, το διατμητικό τοίχωμα (ως πυρήνας) μπορεί να συνδυασθεί με εξωτερική σωληνωή κατασκευή. Αυτό είναι γνωστό ως σύστημα “Σωληνωτού πλαισίου”

3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Κάθε κτίριο, είτε είναι μεγάλο είτε είναι μικρό, πρέπει να έχει ένα κατασκευαστικό σύστημα ικανό για τη μεταφορά όλων των ειδών των φορτίων - κατακόρυφων, οριζόντιων, θερμοκρασιακών, κ.λ.π. Γενικά, το όλο ανθιστάμενο σύστημα του κτιρίου θα πρέπει να είναι εξ ίσου ενεργό για όλους τους τύπους των φορτίσεων. Με αλλά λόγια, η κατασκευή που αντέχει οριζόντια φορτία πρέπει να είναι ικανή να αντιστέκεται και στα κατακόρυφα φορτία εξίσου καλά, και πολλά μεμονωμένα στοιχεία μπορεί να είναι κοινά και για τους δύο τύπους συστημάτων.

3.1 Κατασκευές Δαπέδων

Οι κατασκευές δαπέδων είναι υπεύθυνες για ένα μεγάλο ποσοστό του κόστους των κτιρίων.

Οι κατασκευές των δαπέδων μπορούν να πραγματοποιηθούν χρησιμοποιώντας στοιχεία από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα σε διάφορους συνδυασμούς.

Τα δομικά συστήματα δαπέδων επηρεάζονται από τα χρησιμοποιούμενα υλικά, αλλά σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχει ένας συνδυασμός πλακών και δοκίδων ή δευτερευουσών δοκών (δοκοί δαπέδου στην περίπτωση των μεγαλύτερων ανοιγμάτων). Το χαρακτηριστικό στοιχείο, για την όλη κατασκευή του δαπέδου, είναι η πλάκα του δαπέδου της οποίας το πάχος και ο οπλισμός εξαρτώνται από το άνοιγμα, τη φόρτιση και τις συνθήκες στηρίξεως.

Στην ταξινόμηση των τύπων των πλακών των δαπέδων, τα ακόλουθα δομικά συστήματα μπορούν να διακριθούν: συστήματα δύο κατευθύνσεων, συστήματα μιας κατεύθυνσης και συστήματα δοκών και πλακών (Σχήματα 1,2,3).

3.1.1 Δάπεδα

Τα δάπεδα παίρνουν μορφή από τους διάφορους τύπους των πλακών από σκυρόδεμα, που γεφυρώνουν την απόσταση μεταξύ των δοκών και του δαπέδου. Οι μορφές οι οποίες γενικά χρησιμοποιούνται είναι (Σχήμα 4):

- a) Προκατασκευασμένη πλάκα σκυροδέματος η οποία δεν είναι σύμμικτη με τις δοκούς.
- b) Επί τόπου κατασκευασμένες πλάκες σκυροδέματος (χυτές) επί κινητού ξυλοτύπου που δρουν σύμμικτα με τις δοκούς του δαπέδου.
- c) Επί τόπου κατασκευασμένες πλάκες (χυτές) επάνω σε λεπτό μόνιμο ξυλότυπο από προκατασκευασμένες πλάκες σκυροδέματος, για να μορφωθεί μια σύμμικτη πλάκα που δρά σύμμικτα με τις δοκούς δαπέδου.
- d) Επί τόπου κατασκευασμένες πλάκες διαστρωνόμενες πάνω σε μόνιμο μεταλλικό φύλλο, που δρουν σύμμικτα με τις δοκούς δαπέδου.

Διεθνώς, οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες μορφές συμπεριλαμβάνουν μεταλλικά φύλλα δαπέδου (ανωτέρω d), στα οποία η σύμμικτη δράση με τη δοκό επιτυγχάνεται με συγκόλληση των διατμητικών συνδέσμων διαμέσου της μεταλλικής επίστρωσης στο πέλαμα της δοκού. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτού του τρόπου κατασκευής δαπέδου είναι το χαμηλό βάρος του μεταλλικού φύλλου που επιτρέπει την εύκολη μετακίνηση με το χέρι στο εργοτάξιο και η υψηλή τους ακαμψία και αντοχή που επιτρέπουν την παραλαβή του βάρους της επι τόπου σκυροδέτησης χωρίς υποστήριξη.

Η ικανότητα γεφυρώσεως ανοίγματος της κατασκευής μπορεί να επεκταθεί αυξάνοντας το πάχος της πλάκας, αλλά αυτό αυξάνει το βάρος της κατασκευής, και το ύψος των δοκών των πατώματων. Το συνολικό ύψος του συστήματος του πατώματος είναι επομένως καθορισμένο με μια ισορροπία των παραγόντων αυτών. Η εμπειρία έχει δείξει ότι οι πιο αποτελεσματικές διατάξεις είναι αυτές που χρησιμοποιούν μεταλλική διάστρωση σαν μόνιμη κάλυψη με άνοιγμα 2,5 - 3,5 m, μεταξύ των δοκών των πατώματων. Γι' αυτά τα ανοίγματα το μεταλλικό κάλυμμα δεν απαιτεί κανονικά υποστήριξη κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης και το πάχος του σκυροδέματος είναι κοντά στο πρακτικά ελάχιστο από 120 σε 150 mm (Σχήμα 5).

3.1.2 Διάταξη δοκών πατώματος

Το πιο αποτελεσματικό σχέδιο δαπέδου είναι ορθογωνικό, όχι τετραγωνικό, στο οποίο το άνοιγμα των κυρίων δοκών είναι η μικρότερη απόσταση μεταξύ των υποστυλωμάτων και πυκνά διατεταγμένες δοκοί δαπέδου γεφυρώνουν τη μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των κυρίων δοκών. Η απόσταση των δοκών των πατώματων είναι ελεγχόμενη από την ικανότητα του ανοίγματος της κατασκευής του δαπέδου από σκυρόδεμα (Σχήμα 5).

3.1.3 Σύμμικτες δοκοί

Οι σύμμικτες δοκοί συνήθως σχεδιάζονται ως απλά εδραζόμενες, λ.χ. χωρίς να λαμβάνεται υπ η συνέχεια που οφείλεται στις συνδέσεις δοκού σε υποστύλωμα ή δοκού σε δοκό. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιείται κυρίως επειδή δίνει άνεση στο σχεδιασμό και την κατασκευή. Επίσης υιοθετείται μερικώς επειδή ικανοποιητική κατασκευαστική συμπεριφορά μπορεί να επιτευχθεί αμέσως με την ανάπτυξη μόνο της σύμμικτης δράσης. Αυτό το αποτέλεσμα αναμφισβήτητα είναι αληθινό για ανοίγματα δοκών από ότι έως 10 m, το οποίο αποτελεί το όριο αυτών που καθορίστηκαν πιο πάνω.

Εν τούτοις υπάρχει μια έντονη απαίτηση για μεγαλύτερα ελεύθερα ανοίγματα στα κτίρια, είτε για σχεδίαση ελεύθερων χώρων είτε για να προσφερθεί μεγαλύτερη ευκαμψία στις πιθανές διατάξεις. Για μεγαλύτερα ανοίγματα, η επιλογή του κατάλληλου δομικού τύπου είναι περισσότερο δύσκολη. Συμβατική απλή κατασκευή μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί, αλλά συχνά το μέγεθος των δοκών είναι τέτοιο ώστε η ζώνη του δαπέδου είναι υπερβολικά παχιά. Αυτό το πρόβλημα είναι συνδυασμένο με την ανάγκη της ενσωμάτωσης υψηλών απαιτήσεων δικτύων εξυπηρέτησης στα σύγχρονα κτίρια, τα

περισσότερα απο τα οποία είναι τοποθετημένα κάτω απο την κατασκευαστική ζώνη του δαπέδου.

Διάφορες λύσεις σχεδιασμού είναι δυνατές με δύο βασικές επιλογές : είτε η κατασκευή και οι εξυπηρετήσεις είναι ενοποιημένες μέσα στην ίδια οριζόντια ζώνη, είτε η κατασκευαστική ζώνη είναι ελαχιστοποιημένη τόσο που οι εξυπηρετήσεις τοποθετούνται απο κάτω. Αυτές οι λύσεις περιγράφονται ως ακολούθως:

a) Ελατές διατομές

Για ανοίγματα στην περιοχή απο 0 έως 10 m, η περισσότερο δημοφιλής, και σε πολλές περιπτώσεις η περισσότερο κατάλληλη μορφή κατασκευής είναι οι ελατές διατομές και οι απλές συνδέσεις που μεταφέρουν μόνο διάτμηση. Οι δευτερεύουσες δοκοί ανα 2,4 m εως 3,0 m υποστηρίζουν χαμηλού βάρους σύμμικτες πλάκες δαπέδων πάχους μεταξύ 115 και 130 mm, και με άνοιγμα μεταξύ των κύριων δοκών οι οποίες μεταφέρουν τα φορτία απευθείας πάνω στα υποστυλώματα.

Η ίδια μορφή κατασκευής μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερα ανοίγματα δαπέδων αλλά το βάρος των δοκών και τα κόστη αυξάνουν σε σημείο όπου άλλες μορφές κατασκευής μπορεί να καθίστανται περισσότερο ελκυστικές.

Στα Σχήματα 6 και 7 δίνονται δύο παραδείγματα για μεσαίο και μεγάλο άνοιγμα.

Σε μεγάλα ανοίγματα οι δοκοί έχουν επαρκές ύψος ώστε τα δίκτυα εξυπηρετήσεως να τοποθετούνται διαμέσου αυτών όπως φαίνεται στο σχήμα. Εφόσον ο σχεδιασμός τέτοιων ανοιγμάτων δεν παρουσιάζει κάποια δυσκολία, τα ανοίγματα προσθέτουν σημαντικότητα στο κόστος της κατασκευής. Μεγάλου ενδιαφέροντος για τους εργολάβους είναι το γεγονός ότι τα ανοίγματα των κορμών είναι ένας άκαμπτος τρόπος τοποθέτησης των δικτύων εξυπηρέτησης, και μπορεί να δημιουργήσει δυσκολίες σε ειδικούς ενοικιαστές ή σε μεταγενέστερη αλλαγή των δικτύων αυτών κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

b) Κατασκευασμένες διατομές

Η δυναμική για οικονομία σε βάρος φτάνει μέχρι την ελευθερία, μέσα σε πρακτικά όρια, του να προσαρμοστεί η διατομή στις περιβάλλουσες της καμπτικής ροπής και της διατμητικής δύναμης. Το ύψος, η μεταβολή της διατομής κατά μήκος της δοκού, το σχήμα, το μέγεθος του πέλματος και το πάχος του κορμού μπορούν να εκλεγούν ανεξάρτητα το ένα απο το άλλο, απο το μελετητή.

Οι βιομηχανικά κατασκευασμένες διατομές είναι περισσότερο προσιτές στο να είναι οικονομικές για ανοίγματα άνω των 12 m παραπάνω απο αυτό το άνοιγμα οι ελατές διατομές είναι όλο και περισσότερο βαριές και μια σωστά διαμορφωμένη βιομηχανικά κατεργασμένη διατομή είναι κατάλληλη για οικονομία και στο μέγεθος του πέλματος και στο πάχος του κορμού.

Οπου χρησιμοποιούνται δοκοί σταθερού ύψους οι κύριες υπηρεσίες μπορεί να διέλθουν διαμέσου των ανοιγμάτων των κορμών.

Οι διάφορες κατασκευαστικές επιλογές για την πραγματοποίηση και των δύο σκοπών των μεγάλων ανοιγμάτων, και της εύκολης ενσωμάτωσης των υπηρεσιών μέσα στις κανονικές ζώνες δαπέδων, περιλαμβάνουν:

- Δοκοί με ανοίγματα κορμών

Σ' αυτή τη μέθοδο κατασκευής, το ύψος της χαλύβδινης δοκού είναι επιλεγμένο έτσι ώστε επαρκώς μεγάλα, συνήθως ορθογωνικής μορφής, ανοίγματα να μπορούν να ανοιχτούν στον κορμό (Σχήμα 8). Για γενικές οδηγίες, προτείνεται ότι τα ανοίγματα θα πρέπει να καταλαμβάνουν όχι περισσότερο από το 70% του ύψους του κορμού, με οριζόντια ελάσματα ακαμψίας που συγκολλούνται κάτω και πάνω από το άνοιγμα. Τυπικά, το μήκος των ανοιγμάτων δεν πρέπει να είναι περισσότερο από 2 φορές το ύψος της δοκού. Η καλύτερη θέση για τα ανοίγματα είναι στην κάτω διατμητική ζώνη της δοκού. Μία μέθοδος σχεδιασμού βήμα με βήμα έχει αναπτυχθεί για να ασχολείται με τα τοπικά προβλήματα τα οποία εμφανίζονται.

- Προκατασκευασμένες Δοκοί με κορμούς μεταβλητού ύψους

Η δοκός με κορμό μεταβλητού ύψους σχεδιάζεται να παρέχει την απαιτούμενη καμπτική και διατμητική αντοχή σε όλα τα σημεία κατά μήκος της δοκού. Τα κενά που δημιουργούνται γειτονικά στα υποστυλώματα μπορούν να χρησιμοποιούνται για μετρίου μεγέθους δίκτυα υπηρεσιών. Τυπικά, οι δοκοί μεταβλητού ύψους είναι πιο οικονομικές για ανοίγματα από 13 μέχρι 20m. Τα μεγέθη των πλακών μπορούν να επιλεγούν από τη βέλτιστη δομική συμπεριφορά. Οι πλάκες συγκολλούνται με μια αυτόματη συγκόλληση μονής πλευράς βυθισμένου τόξου. Οι πιο παχείς κορμοί συγκολλούνται με διπλής πλευράς εξωραφές. Τα ελάσματα ακαμψίας του κορμού συχνά απαιτούνται στην αλλαγή της διατομής όταν οι γωνίες υπερβαίνουν τις 6 μοίρες. Τυπικές δοκοί μεταβλητής διατομής φαίνονται στο Σχήμα 8b.

- Δοκοί με “τάκουζ”

Η αρχιτεκτονική απαίτηση για τετραγωνικούς κανάβους υποστυλωμάτων με αποστάσεις από 10 μέχρι 12 m οδηγεί στην ανάπτυξη κατασκευής δοκού με “τάκουζ”. Η δοκός του τύπου αυτού περιλαμβάνει μια κάτω χορδή, η οποία δρά εφελκυστικά, και μια σειρά από στοιχεία δοκών μικρού μήκους (τάκουζ) οι οποίοι συνδέουν την κάτω χορδή με την πλάκα σκυροδέματος. Δευτερεύουσες δοκοί τοποθετούνται κατά μήκος της κάτω χορδής και μπορούν να σχεδιασθούν ως συνεχή μέλη. Τα κενά δημιουργούνται στα ενδιάμεσα των “τάκων” για τα δίκτυα εξυπηρέτησης. Αυτή η μορφή κατασκευής φαίνεται στο Σχήμα 8c.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της συμβατικής δοκού με “τάκουζ” είναι ότι απαιτεί προσωρινή στήριξη μέχρι το σκυρόδεμα να επιτύχει ικανοποιητική αντοχή για σύμμικτη δράση. Παρόλα αυτά, είναι δυνατόν να εισαχθεί μια ελαφρά χαλύβδινη άνω χορδή, λ.χ. μια διατομή-T, η οποία δρά σε θλίψη, ώστε να αναπτυχθεί η απαιτούμενη καμπτική αντοχή της δοκού κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης.

- Δοκοί με ανοίγματα κορμού

Οι δοκοί με ανοίγματα κορμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά σε κτίρια ελαφρών λειτουργιών ή για αισθητικούς λόγους, όπου η κατασκευή είναι εμφανής. Η σύμμικτη δράση δεν αυξάνει σημαντικά την αντοχή των δοκών αλλά αυξάνει την ακαμψία τους (Σχήμα 9).

Οι δοκοί με ανοίγματα κορμού έχουν περιορισμένη διατμητική αντοχή και χρησιμοποιούνται καλύτερα ως δευτερεύουσες δοκοί μεγάλων ανοιγμάτων ή όπου τα φορτία είναι σχετικά χαμηλά.

Η κύρια χρήση τους είναι ως δοκών μεγάλου ανοίγματος οροφής, και η ελκυστική μορφή τους συχνά εκφράζεται αρχιτεκτονικά. Ο συνδυασμός υψηλής καμπτικής ακαμψίας και η αντοχή ανά μονάδα βάρους, με σχετικά μικρή διατμητική αντοχή, είναι ιδανικός για να φέρει ελαφρά φορτία πάνω από μεγάλα ανοίγματα. Η χρήση τους είναι περιορισμένη ως σύμμικτων δοκών δαπέδου λόγω της διατμητικής τους αντοχής. Δεν είναι συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα, σαν πρωτεύουσες δοκοί σε μια εσχάρα γιατί οι σχετιζόμενες διατμήσεις θα οδηγήσουν σε ανάγκη τοποθέτησεως ελασμάτων ακαμψίας ή σε παράλειψη των ανοιγμάτων του κορμού στις περιοχές των άκρων των δοκών. Και οι δύο τύποι ενίσχυσης της αντοχής αυξάνουν το κόστος στο βαθμό που άλλοι τύποι δοκού να είναι περισσότερο οικονομικοί.

- Σύμμικτα δικτυώματα

- ο Τα σύμμικτα δικτυώματα, μια καθιερωμένη μορφή κατασκευής στη Βόρεια Αμερική, αρχίζει να χρησιμοποιείται ευρέως και αλλού. Παρόλο που το κόστος κατασκευής είναι σημαντικά μεγαλύτερο από ότι σε πολλές άλλες μορφές κατασκευής έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα.
- ο δεν απαιτούν κάποιο ιδιαίτερο εξοπλισμό για την κατασκευή τους. Ως εκ τούτου μπορεί κάθε αξιόλογος κατασκευαστής να ασχοληθεί με το αντικείμενο βελτιώνοντας έτσι τον ανταγωνισμό και το κόστος,
- ο προσφέρουν αρκετό χώρο για την τοποθέτηση των δικτύων υπηρεσιών, ιδιαίτερα αν υιοθετηθεί το σύστημα Warren ή το τροποποιημένο σύστημα Warren (Σχήμα 10).
- ο μπορούν να σχεδιασθούν με ένα φάτνωμα νι στο μέσο τ νοή ιι τέμνουσες ε&νιι ακόμα και κάτω από μη συμμετρική φόρτιση). Αυτό το φάτνωμα μπορεί να εξυπηρετήσει σωληνώσεις κλιματισμού.

Το κυριότερο μειονέκτημα, πέρα από το αυξημένο κόστος κατασκευής, είναι η δυσκολία στο να προστατευθεί από φωτιά. Τα συστήματα προστασίας με ψεκάσμο δημιουργούν ανωμαλίες ενώ η εναλλακτική λύση του περιτυλίγματος προυποθέτει σημαντική εργασία.

Τα σύμμικτα δικτυώματα είναι προτιμητέα λύση μόνο για ανοίγματα που υπερβαίνουν τα 12 m. Μπορούν επίσης να σχεδιασθούν για κατασκευή χωρίς προσωρινή στήριξη. Όπου το δικτυώμα υποστηρίζει δοκούς, δεν υπάρχει τοπική κάμψη στο άνω πέλιμα που

μπορεί συνήθως να διαστασιολογηθεί μόνο για τις συνθήκες κατασκευής, κάνοντας το αρκετά ελαφρύτερο από το κάτω πέλαμα. Όπου το δικτύωμα υποστηρίζει άμεσα τη σύμμικτη πλάκα δαπέδου, η άνω χορδή πρέπει επίσης να σχεδιάζεται για κάμψη κάτω από τοπικά φορτία. Για οικονομία στην κατασκευή είναι ουσιώδες οι διατομές των πελμάτων να επιλέγονται έτσι ώστε να αποφεύγονται ενισχύσεις τους στα άκρα. Διατομές T και κοίλες ορθογωνικές διατομές και μονά ή διπλά γωνιακά επιλέγονται συνήθως ως διατομές των ράβδων πληρώσεως (διαγώνιοι, ορθοστάτες).

c) Προσέγγιση παράλληλης δοκού

Σε αντίθεση με τις περισσότερες από τις άλλες λύσεις, είναι η δευτερεύουσα δοκός που καλύπτει τη μεγαλύτερη απόσταση στην προσέγγιση παράλληλης δοκού. Μια πολύ απλή μορφή κατασκευής προκύπτει καθώς οι δευτερεύουσες δοκοί τρέχουν πάνω από τις κύριες δοκούς και επιτυγχάνεται η συνέχεια χωρίς πολύπλοκες συνδέσεις. Οι κύριες ή οι ραχιαίες δοκοί επίσης επιτυγχάνουν συνέχεια απλώς χρησιμοποιούμενες κατά ζεύγη, και περνώντας η κάθε μία και από τις δύο πλευρές των υποστυλωμάτων. Η τέμνουσα μεταφέρεται στα υποστυλώματα μέσω βραχέων προβόλων. Αυτή η κατασκευή, παριστάνεται διαγραμματικά στο Σχήμα II. Τα μέλη της βρίσκονται στις τρεις ορθογώνιες διευθύνσεις σκόπιμα αποφεύγοντας το ένα το άλλο, πράγμα το οποίο επιτρέπει η συνέχεια των δοκών να επιτυγχάνεται χωρίς το υψηλό κόστος των ανθεκτικών σε ροπή συνδέσεων. Αυτή η διευθέτηση βελτιώνει τη δομική αποτελεσματικότητα και είναι μεγάλης σημασίας για την ακαμψία μιας κατασκευής μεγάλου ανοίγματος. Τα μήκη των δοκών περιορίζονται μόνο από τις απαιτήσεις διακίνησης και μεταφοράς. Ο αριθμός των στοιχείων είναι σημαντικά χαμηλότερος από αυτό μιας συμβατικής κατασκευής. Σαν αποτέλεσμα τόσο ο χρόνος ανέγερσης όσο και το κόστος κατασκευής είναι χαμηλότερα. Λόγω του ότι η συνέχεια είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της προσέγγισης, εφαρμόζεται κυρίως σε διατάξεις πολλών ανοιγμάτων.

Εκ πρώτης όψεως, αυτή η προσέγγιση φαίνεται να οδηγεί σε παχύτερη κατασκευή. Παρόλα αυτά, λόγω της συνέχειας, οι κύριες και δευτερεύουσες δοκοί μπορούν και οι δύο να είναι πολύ χαμηλές, σχετικά με τα ανοίγματα, και τα συνολικά πάχη να είναι συγκρίσιμα με αυτά της συμβατικής κατασκευής. Σημαντικό είναι ότι ο διαχωρισμός των δύο διευθύνσεων των δοκών σε διαφορετικά επίπεδα δημιουργεί μια ιδανική διαρρύθμιση για την προσαρμογή των δικτύων εξυπηρέτησης. Και οι κύριες και οι δευτερεύουσες υπηρεσίες μπορεί να διαμοιράσουν την ίδια αναλογία της ζώνης δαπέδου καθώς οι δοκοί στις οποίες είναι παράλληλοι, με κάθετες διασταυρώσεις μεταξύ των δύο διευθύνσεων. Επιτυγχάνεται αρκετός χώρος, ακόμα και για πλήρη κλιματισμό, με μια άνετη ευκολία μεταξύ κατασκευής και δικτύων υπηρεσιών.

d) Δοκοί με ενισχύσεις στα άκρα τους

Στα παραδοσιακά πολυώροφα χαλύβδινα πλαίσια, ο συμβατικός τρόπος για να επιτευχθεί οικονομία είναι να χρησιμοποιηθεί “απλός” σχεδιασμός. Οι δοκοί είναι περίπου 20% βαρύτερες συγκρινόμενες με ένα πλαίσιο με άκαμπτες συνδέσεις αλλά τα υποστυλώματα είναι τυπικά 40% ελαφρύτερα, και το κόστος σύνδεσης μειωμένο σημαντικά. Αυτή η “βαριά δοκός-ελαφρό υποστυλώμα” κατασκευή έχει οικονομική σημασία όταν το βάρος των δοκών είναι παρόμοιο με αυτό των υποστυλωμάτων.

Οι ενισχυμένες στα άκρα δοκοί σχεδιάζονται γενικά με τη διαμόρφωση μιας άκαμπτης σύνδεσης ροπής μεταξύ των δοκών και των υποστυλωμάτων. Το ύψος της ενίσχυσης επιλέγεται κυρίως για να παρέχει μια οικονομική μέθοδο για τη μεταφορά της ροπής στο υποστώλωμα. Το μήκος της ενίσχυσης επιλέγεται για να μειωθεί το ύψος της δοκού σε ένα πρακτικά ελάχιστο. Η επιπλέον ζώνη δικτύων υπηρεσιών που δημιουργείται κάτω από τη δοκό μεταξύ των ενισχύσεων, προσφέρει ευκαμψία στη διάταξη των δικτύων υπηρεσιών.

Στα ακραία υποστυλώματα, δεν είναι συνήθως πρακτική να αναπτύσσεται πρόσθετη συνέχεια μέσω του οπλισμού της πλάκας. Αυτό παρόλα αυτά είναι μια επιλογή για τα εσωτερικά υποστυλώματα. Αυτή η μορφή κατασκευής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεταθετά πλαίσια δηλ. όπου δεν προβλέπονται κατακόρυφα συστήματα ακαμψίας ή διατμητικοί τοίχοι σκυροδέματος ή πυρήνες, και είναι εφαρμόσιμο για κτίρια ύψους μέχρι 5 ορόφους. Παραδείγματα ενισχυμένων σύμμικτων δοκών φαίνονται στο Σχήμα 12.

Όπου η κατασκευή ενισχύεται έναντι πλευρικής μεταθέσεως, και “πλαστικές διατομές” χρησιμοποιούνται, είναι πιθανόν να αναλυθεί η κατασκευή πλαστικά για την οριακή κατάσταση αντοχής. Οι δοκοί μπορούν να διαστασιολογηθούν με βάση τις πλαστικές αρθρώσεις των αρνητικών ροπών στα εσωτερικά άκρα των ενισχύσεων, τα οποία θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται στο μήκος για να μειωθεί η κάμψη του υποστυλώματος. Όπου χρησιμοποιούνται ενισχυμένες δοκοί σαν τμήμα ενός μεταθετού πλαισίου (μια μορφή κατασκευής για την οποία είναι ιδανικές) θα πρέπει να χρησιμοποιείται ελαστική συνολική ανάλυση. Ο τρόπος σχεδιασμού ελαστικών/πλαστικών μεταθετών πλαισίων δεν έχει φτάσει ακόμα στο στάδιο που να μπορεί να διεκπαιρωθεί στο μελετητικό γραφείο. Η χρήση ελαστικής ανάλυσης θα αυξήσει τα βάρη αρκετά συγκρινόμενη με την πλαστική ανάλυση. Η παραγόμενη αυξημένη ακαμψία θα βοηθήσει στην ακαμψία έναντι μεταθέσεως και στον κρίσιμο συντελεστή φορτίου καθώς επίσης και στην κατακόρυφη ακαμψία, τη βύθιση και την απόκριση ταλάντωσης του διαπέδου.

e) Προεντεταμένες χαλύβδινες δοκοί

Ουσιαστικά αυτές οι δοκοί εργάζονται, στη σύμμικτη κατασκευή βάσει της αρχής εισαγωγής μιας αρχικής συνθήκης προέντασης η οποία αργότερα αλληλοεξουδετερώνεται με αυτή που οφείλεται στο φορτίο λειτουργίας.

Η προένταση μπορεί να επιτευχθεί με τρεις τρόπους: Προεντεταμένα στοιχεία με τένοντες υψηλής αντοχής, “προκεκαμμένες” δοκοί και υβριδικές δοκοί προεντεταμένες εσωτερικά.

Η προένταση των χαλύβδινων δοκών επιτυγχάνεται με τένοντες υψηλής αντοχής ή καλώδια με δύο τρόπους : (1) με την τοποθέτηση τους Κάτω από το κέντρο βάρους της δοκού και αγκυρώνοντάς τους στο άκρο της δοκού, πράγμα το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα σταθερή προένταση ή (2) με τοποθέτηση των τενόντων κατά μήκος της δοκού σε σταθερή απόσταση από αυτήν (Σχήματα 13 και 14).

Τα Σχήματα 15 και 16 παρουσιάζουν μια μέθοδο προέντασης, κατά την οποία μια χαλύβδινη δοκός πρώτα καμπυλώνεται, και μετά μια πλάκα σκυροδετείται πάνω στη δοκό. Στην πάνω όψη προσωρινές δυνάμεις εφαρμόζονται με διεύθυνση προς τα κάτω,

σε μια χαλύβδινη δοκό η οποία έχει κυρτωθεί προς τα πάνω. Στην κάτω όψη, μια πλάκα σκυροδέματος έχει σκυροδετηθεί σύμμικτα με το χαμηλότερο τμήμα της δοκού, και ακολούθως οι πιο πάνω προσωρινές δυνάμεις απομακρύνονται. Αυτή η διαδικασία εισάγει θλιπτικές δυνάμεις στο σκυρόδεμα. Αυτή η μέθοδος έχει κατοχυρωθεί (προκεκαμμένο σύστημα).

Στην περίπτωση των προεντεταμένων υβριδικών χαλύβδινων δοκών, ο εφελκυσμός εφαρμόζεται σε μια υψηλής αντοχής πλάκα επικάλυψης για να εισαχθεί η επιθυμητή προένταση στο υπολειπόμενο μέρος της δοκού που έχει κατασκευασθεί από μεσαίας κατηγορίας δομικό χάλυβα. Η προένταση εφαρμόζεται με συγκόλληση της υψηλής αντοχής πλάκας αφού την προεντείνουμε άμεσα ή με κύρτωση της υπόλοιπης δοκού. Και οι δύο τεχνικές δημιουργούν προένταση στη δοκό μετά την απομάκρυνση του εξωτερικού φορτίου. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της προέντασης είναι ότι επιτρέπει πιο αποτελεσματική χρήση των υβριδικών διατομών, μέσα στους περιορισμούς και τις προδιαγραφές του κανονισμού για ελαστικό σχεδιασμό ομογενών μελών (Σχήματα 17 και 18).

Δεν υπάρχει Κανονισμός για αυτού του τύπου τις προεντεταμένες δοκούς.

3.1.4 Το ύψος δόμησης

Η διαμόρφωση του συνολικού πάχους του πατώματος μέσα στο κτίριο, είναι ένα σημαντικός στόχος στην απλοποίηση του συντονισμού των μηχανικών και ηλεκτρικών υπηρεσιών και των τελειωμάτων του κτιρίου. Για την περιοχή των δομικών διαστάσεων που χρησιμοποιούνται στα συμβατικά κτίρια, η παραδοσιακή κατασκευή χαλύβδινου δαπέδου είναι γενικά παχύτερη από την ισοδύναμη επίπεδη πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος. Η διαφορά είναι συνήθως 100-200 mm για κατασκευές δαπέδων οι οποίες αξιοποιούν τη σύμμικτη δράση και μεγαλύτερη για μη-σύμμικτα δάπεδα. Το αυξανόμενο πάχος είναι μόνο στη θέση της δοκού : κάπου αλλού, μεταξύ δοκών, το ύψος είναι αρκετά μικρότερο και το διάστημα μεταξύ τους χρησιμοποιείται για δίκτυα υπηρεσιών, ιδιαίτερα αν οι δοκοί μπορούν να διατηρηθούν. Το μεγαλύτερο πάχος της χαλύβδινης κατασκευής δεν έχει απαραίτητα σαν αποτέλεσμα μια 'αύξηση του ύψους του κτιρίου αν οι υπηρεσίες είναι ολοκληρωμένες μέσα στην ζώνη του κτιρίου που καταλαμβάνεται από την κατασκευή. Παρόλα αυτά, τα ολοκληρωμένα συστήματα απαιτούν πολλές και μη κανονικές διατρήσεις μέσω των δοκών, μπορεί να κοστίσουν περισσότερο για να κατασκευασθούν. Το Σχήμα 19 δείχνει πιθανές λύσεις για ολοκληρωμένα συστήματα τα οποία υπερκαλύπτουν αυτή τη δυσκολία.

Το ύψος μπορεί να μειωθεί, αξιοποιώντας άκαμπτες ή ημιάκαμπτες παρά απλές συνδέσεις στο άκρο των δοκών. Τέτοιες συνδέσεις επιτρέπουν στην καμπτική ροπή της δοκού να είναι πιο ομοιόμορφα κατανεμημένη και η βύθιση της να μειωθεί. Το ύψος μπορεί επίσης να μειωθεί με τη χρήση χάλυβα υψηλότερης αντοχής, αλλά αυτό είναι πλεονέκτημα όπου ο σχεδιασμός του στοιχείου ελέγχεται από την αντοχή. Τα χαρακτηριστικά ακαμψίας και των δύο ποιοτήτων χάλυβα είναι τα ίδια. Αρα, όπου κυριαρχεί η βύθιση ή η ταλάντωση, δεν επιτυγχάνεται κάποιο πλεονέκτημα με τη χρήση υλικών υψηλότερης ποιότητας.

3.1.5 Αποτίμηση των κριτηρίων

Ο Πίνακας I δίνει κριτήρια αποτίμησης για τα κύρια δομικά σχήματα που χρησιμοποιούν σύμμικτες δοκούς. Τα περισσότερα από τα κριτήρια βασίζονται στην άμεση εμπειρία ή είναι το αποτέλεσμα των μελετών σχεδιασμού. Έτσι δεν είναι δεσμευτικά και είναι δυνατή η εργασία έξω από αυτές τις περιοχές.

3.2 Πλαισιωτά Συστήματα που ανθίστανται σε Οριζόντια Φορτία

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ενός κτιρίου είναι η σχετική σημασία των συστημάτων αντίστασης στα πλευρικά φορτία και της ευστάθειας. Τα συνήθη πλευρικά φορτία είναι αυτά που οφείλονται σε άνεμο και σε σεισμό. Τα υποστυλώματα ενός υψηλού κτιρίου θα πρέπει να είναι σταθεροποιημένα, ή πλευρικά υποστηριγμένα, από ένα πλευρικό σύστημα ακαμψίας. Το πλευρικό σύστημα ακαμψίας πρέπει να ανθίσταται σε παραμορφώσεις που σχετίζονται με απόκλιση από την ευθυγραμμία και την κλίση από κατασκευαστικούς λόγους των δομικών στοιχείων και στην παραμόρφωση που έχει σχέση με τις πλευρικές δυνάμεις (φαινόμενο P-Δ)

Για χαμηλού και μεσαίου ύψους κτίρια, η ανάλυση και ο σχεδιασμός γενικά εμπεριέχουν έλεγχο του συστήματος αντοχής για τα κατακόρυφα φορτία όσον αφορά την ικανότητά του να ανθίσταται σε πλευρικές δυνάμεις.

Με άλλα λόγια τρεις είναι οι θεμελιώδεις τύποι των πλευρικά ανθιστάμενων στοιχείων:

1. Πλαίσια με συνδέσεις ανθεκτικές σε ροπές
2. Ενισχυμένα πλαίσια
3. Διατμητικά τοιχώματα

Τα τρία θεμελιώδη στοιχεία είναι γενικά επίπεδες επιφάνειες και μπορούν να τοποθετηθούν σε μια ή σε περισσότερες από τις τρεις θέσεις: (1) Εξωτερικά (περίμετρος), (2) εσωτερικά, και (3) στον πυρήνα. Οι περισσότερες από τις κτιριακές κατασκευές περιλαμβάνουν μερικά από αυτά τα στοιχεία. Οι δύο πρώτοι τύποι είναι σχετικοί με τη σύμμικτη κατασκευή και συζητούνται τώρα:

- Σύμμικτα Πλαίσια ανθεκτικά σε Ροπή

Τα σύμμικτα πλαίσια μπορούν να συνίστανται από χαλύβδινες δοκούς άκαμπτα συνδεδεμένες με υποστυλώματα από σκυρόδεμα, ή δοκούς από σκυρόδεμα άκαμπτα συνδεδεμένες με χαλύβδινα υποστυλώματα. Παρόλα αυτά, ο όρος σύμμικτα συνήθως αναφέρεται σε πλαίσια όπου οι δοκοί ή τα υποστυλώματα, ή και τα δύο, σαν ξεχωριστά μέλη, είναι από σύμμικτη κατασκευή σκυροδέματος και χάλυβα.

Σε ένα σύστημα χαλύβδινου πλαισίου, τα ζυγώματα κατά μήκος των γραμμών των υποστυλωμάτων λειτουργούν σαν μέρος ενός συνεχούς πλαισίου, έτσι ώστε να παραλαμβάνονται η αρνητική κάμψη και συνεπώς και οι αρνητικές ροπές που οφείλονται τόσο σε φορτία βαρύτητας όσο και σε πλευρικά φορτία.

Μια πιο επιτεύξιμη μορφή ενός μη ενισχυμένου σύμμικτου χαλύβδινου πλαισίου χρησιμοποιεί τη συνήθη κατασκευή ενός άκαμπτου πλαισίου, με μη εγκιβωτισμένες σύμμικτες δοκούς, και οπλισμό στις περιοχές αρνητικής ροπής. Οι διατμητικοί ήλοι κατανέμονται σε όλο το μήκος της δοκού έτσι ώστε να αναπτύξουν αντίσταση σε ροπή στις περιοχές αρνητικής και θετικής ροπής της δοκού.

- Σύμμικτα Ενισχυμένα Πλαίσια

Τα σύμμικτα ενισχυμένα πλαίσια μπορεί να είναι δύο τύπων: (1) Σύστημα ακαμψίας με διαγώνιες χαλύβδινες ράβδους μπορεί να προστίθεται σε ένα πλαίσιο από σκυρόδεμα ή, πιο σπάνια, σύστημα ακαμψίας με διαγωνίους από σκυρόδεμα μπορεί να προστίθεται σε ένα πλαίσιο από χάλυβα και (2) σύμμικτα γραμμικά μέλη από χάλυβα και σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιούνται σαν στοιχεία του πλαισίου. Η ευκαμψία ενός ενισχυμένου πλαισίου συμπεριλαμβάνει την παραμόρφωση των υποστυλωμάτων και των δοκών, όπως των διαγωνίων ράβδων του συστήματος ακαμψίας που είναι μέρος του πλαισίου. Αν ένα χαλύβδινο υποστύλωμα είναι εγκιβωτισμένο σε σκυρόδεμα, μπορεί να επιτευχθεί μια μείωση στην παραμόρφωση του ενισχυμένου πλαισίου. Αν το σκυρόδεμα έχει εγχυθεί γύρω από τη δοκό, ή αν η δοκός έχει γίνει σύμμικτη με την πλάκα του δαπέδου, η μειωμένη παραμόρφωση της δοκού θα μειώσει την παραμόρφωση του ενισχυμένου πλαισίου. Ο εγκιβωτισμός με σκυρόδεμα και των υποστυλωμάτων και των σύμμικτων δοκών δαπέδου είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος.

- Σύμμικτα υποστυλώματα

Τα σύμμικτα υποστυλώματα μπορούν να συνίστανται είτε από (1) Σε σκυρόδεμα εγκιβωτισμένες χαλύβδινες διατομές ή από (2) Με σκυρόδεμα πληρούμενες κοίλες διατομές.

Τα σε σκυρόδεμα εγκιβωτισμένα υποστυλώματα είναι το σύνηθες. Ο εγκιβωτισμός σε σκυρόδεμα θεωρείτο συχνά σαν η μόνη προστασία έναντι φωτιάς και διάβρωσης του χάλυβα. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια, εγκάρσιος και μερικές φορές διαμήκης οπλισμός έχει προστεθεί στο σκυρόδεμα του εγκιβωτισμού και η προκύπτουσα αντοχή εκ της αλληλεπίδρασης χάλυβα και σκυροδέματος εγκιβωτισμού έχει χρησιμοποιηθεί για δομικούς σκοπούς. Ένα χαλύβδινο προφίλ, εγκιβωτισμένο σε σκυρόδεμα, μπορεί να υποτεθεί σαν οπλισμός για το σκυρόδεμα.

Τα με σκυρόδεμα πληρούμενα σωληνωτά υποστυλώματα είναι δημοφιλή για τη χρήση τους ως μεμονωμένων υποστυλωμάτων. Η πλήρωση με σκυρόδεμα αυξάνει την αντοχή σε αξονικά φορτία αλλά έχει μικρή επίδραση στην καμπτική αντοχή. Για αυτό το λόγο, είναι απίθανο αυτά τα υποστυλώματα να αποτελέσουν μια καλή επιλογή για ένα πλαίσιο ανθεκτικό σε ροπή.

3.3 Συνδέσεις

Οι συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην ολική ευστάθεια κάθε πλαισίου. Πρέπει να είναι απλές, με όσο το δυνατόν περισσότερη

προεργασία στο εργοστάσιο, και έτσι να ελαχιστοποιείται η δουλειά στο εργοτάξιο. Για οικονομικούς λόγους αυτές οι συνδέσεις γενικά γίνονται με κοχλίες. Σε άκαμπτα πλαίσια οι συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος κατασκευάζονται με τη χρήση υψηλής αντοχής κοχλιών τριβής, ή εναλλακτικά είναι συγκολλητές.

Γενικά αυτές οι συνδέσεις είναι παρόμοιες με συνδέσεις για χαλύβδινες πλαισιωτές κατασκευές και σχεδιάστηκαν με τη χρήση παρόμοιων διαδικασιών.

- Σύμμικτη δοκός σε χαλύβδινο υποστύλωμα

Το κύριο πρόβλημα στο σχεδιασμό μιας σύνδεσης σύμμικτης δοκού σε χαλύβδινο υποστύλωμα, είναι στην εκτίμηση της συμπεριφοράς και συνεισφοράς της πλάκας σε ένα κόμβο που βρίσκεται κυρίως κάτω από οριζόντια φόρτιση. Όταν μόνο φορτία βαρύτητας εφαρμόζονται σε ένα πλαίσιο, η θετική καμπτική ροπή συνήθως αναπτύσσεται στο μέσο του ανοίγματος, και η αρνητική ροπή στα άκρα των δοκών. Ως εκ τούτου, είναι συνήθης η υπόθεση ότι η σύμμικτη δράση συμβαίνει μόνο στην περιοχή θετικής ροπής της δοκού. Παρόλα αυτά, όταν ακολούθως εφαρμόζονται πλευρικά φορτία, η συνολική καμπτική ροπή στο υπήνεμο άκρο της δοκού μπορεί να αλλάξει το πρόσημό της, και η δομική συμπεριφορά της δοκού μπορεί ξαφνικά να αλλάξει στη γραμμή του υποστυλώματος. Όταν αναπτύσσεται μια τέτοια περιοχή θετικής ροπής δίπλα σε ένα υποστύλωμα, η θλίψη στη πλευρά του σκυροδέματος της σύμμικτης δοκού μεταδίδεται κύρια από την επιφάνεια του υποστυλώματος και μερικώς από τη στρέψη των εγκάρσιων δοκών.

Ο Johnson και οι συνεργάτες του ανέφεραν αποτελέσματα δοκιμών σε συγκεκριμένους τύπους ημι-άκαμπτης σύνδεσης (Σχήμα 20). Αυτός ο κόμβος διαφέρει από τους συμβατικούς ημι-άκαμπτους κόμβους κατά πολλούς τρόπους. Ο συνεχής διαμήκης οπλισμός στην πλάκα τοποθετείται κοντά στο υποστύλωμα. Οι υψηλής αντοχής κοχλίες τριβής χρησιμοποιούνται στο σημείο Ο στον κόμβο, για να ανθίστανται σε μια δύναμη Γ σε διαμήκη θλίψη. Ο κόμβος πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να μην ολισθαίνει στο σημείο Ο όταν υπόκειται σε φορτία λειτουργίας και έτσι αν δεν χρησιμοποιούνται κοχλίες υψηλής αντοχής τότε μπορεί να απαιτούνται πρόσθετα ελάσματα στο Η. Οι κοχλίες που συνδέουν το γωνιακό στο πέλμα του υποστυλώματος σχεδιάζονται να φέρουν τη συνολική κατακόρυφη τέμνουσα. Η σύμμικτη δοκός έχει σχεδιασθεί ως συνεχής, χρησιμοποιώντας την απλή πλαστική θεωρία. Οι διατμητικοί σύνδεσμοι διατάσσονται για να μεταφέρουν τη δύναμη Γ από την πλάκα στη χαλύβδινη δοκό. Οι δοκιμές έδειξαν ότι αυτός ο τύπος της ημι-άκαμπτης σύνδεσης έχει μια καλά ορισμένη καμπτική αντοχή και μια ακόμα μεγαλύτερη ικανότητα στροφής από έναν άκαμπτο κόμβο.

Τα χαρακτηριστικά αυτών των συνδέσεων πληρούν τις γενικές απαιτήσεις για οικονομική κατασκευή και συνοψίζονται ακολούθως:

- a) Φθηνές στην κατασκευή και άμεσα ανεγειρόμενες στο εργοτάξιο.
- b) Ικανές να συμπεριφέρονται σαν αρθρώσεις κατά την σύνδεση των δαπέδων.
- c) Ακαμπτες μέχρι μια συγκεκριμένη προκαθορισμένη ροπή.

- d) Ικανές να στρέφονται στην προκαθορισμένη ροπή.
- e) Ικανές να μεταδίδουν τέμνουσα στο υποστύλωμα καθώς υφίστανται αυτή τη στροφή.

Ενας άλλος τύπος ημι-άκαμπτης σύνδεσης φαίνεται στο Σχήμα 21. Άλλες περιπτώσεις περιγράφονται παρακάτω.

- Σύμμικτη δοκός σε εγκιβωτισμένο υποστύλωμα.

Η συμπεριφορά μιας σύμμικτης δοκού συνδεδεμένης με εγκιβωτισμένο υποστύλωμα, φαίνεται να είναι αυτή μιας σύμμικτης δοκού συνδεδεμένης με χαλύβδινο υποστύλωμα. Παρόλα αυτά, η συγκέντρωση της τάσης της πλάκας κοντά στο πέλμα του υποστυλώματος μπορεί να είναι χαμηλότερη. Εξετάστηκαν συνδέσεις και εξωτερικών και εσωτερικών υποστυλωμάτων πλαισιωτών κτιρίων. Οι πρότυπες διατομές προσαρμόστηκαν στον πυρήνα του χαλύβδινου υποστυλώματος με ένωση από πλάκες και συγκολλήσεις (Σχήμα 22). Μια ικανοποιητική σύνδεση επιτυγχάνεται όταν η χαλύβδινη δοκός είναι πλήρως συγκολλημένη στο πέλμα του υποστυλώματος. Μιας και οι δοκοί υπόκεινται σε αρνητική ροπή, η πλάκα σκυροδέματος είναι σε εφελκυσμό και ρηγματώνεται νωρίς αυξανομένης της φόρτισης. Πάνω από το φορτίο ρηγμάτωσης, ο διαμήκης οπλισμός της πλάκας συνεισφέρει στη σύμμικτη συμπεριφορά.

Στα εσωτερικά υποστυλώματα, επιτυγχάνεται ικανοποιητική σύμμικτη συμπεριφορά στις δοκούς όταν ο διαμήκης οπλισμός, αποτελείται απλώς από λείες συνεχείς ράβδους. Στα εξωτερικά υποστυλώματα, οι αστοχίες της πλάκας εμφανίζονται όταν οι λείες ράβδοι αποκόπτονται στα άκρα της πλάκας. Ικανοποιητική συμπεριφορά επιτυγχάνεται όταν οι ράβδοι αγκυρώνονται εξωτερικά σε μια βαριά εγκάρσια ράβδο ή όταν υιοθετείται η διάταξη οπλισμού που φαίνεται στο Σχήμα 23.

- Εγκιβωτισμένες δοκοί σε εγκιβωτισμένα υποστυλώματα

Οι ενώσεις δοκού-υποστυλώματος σε κτίρια συνήθως γίνονται με συγκόλληση, γιατί τέτοιες άκαμπτες συνδέσεις σχεδιάζονται εύκολα.

Διαφράγματα συνήθως χρειάζονται για να προλάβουν την τοπική παραμόρφωση κοντά στις συνδέσεις του πέλματος, γιατί ο εγκιβωτισμός με σκυρόδεμα δεν μπορεί να το προλάβει τελείως. Μιας και ένα μεγάλο διάφραγμα συχνά εμποδίζει την έγχυση του σκυροδέματος στα υποστυλώματα, αρκετοί τύποι στοιχείων ακαμψίας χρησιμοποιούνται όπως φαίνεται στο Σχήμα 24.

Σε τυπικές μελέτες, η περισσότερη από την καμπτική ροπή σε μια δοκό φέρεται από τη χαλύβδινη διατομή και το υπόλοιπο από το οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε ένα υποστύλωμα, παρόλα αυτά, το τμήμα της ροπής στη χαλύβδινη διατομή είναι μικρότερο από μια δοκό. Αυτή η κατανομή έχει σαν αποτέλεσμα μια μεγαλύτερη χαλύβδινη διατομή για τη δοκό από ότι για το συνδεδεμένο υποστύλωμα. Σε αυτή την περίπτωση γεννιέται η απορία αν οι τάσεις στη διατομή της χαλύβδινης δοκού μπορούν να μεταφερθούν ασφαλώς στο συνδεδεμένο υποστύλωμα. Σύμφωνα με τις δοκιμές, τουλάχιστον το 40% με 50% της καμπτικής ροπής σε ένα υποστύλωμα μπορεί να παραλαμβάνεται από τη

χαλύβδινη διατομή. Αν η χαλύβδινη διατομή υποστυλώματος είναι πολύ μικρή για να φέρει αυτό το ποσοστό της ροπής, τότε χρειάζεται ειδική λεπτομέρεια.

- Σύμμικτη δοκός σε υποστύλωμα απο οπλισμένο σκυρόδεμα

Το κύριο πρόβλημα της σύνδεσης μιας σύμμικτης δοκού σε υποστύλωμα απο οπλισμένο σκυρόδεμα είναι να βρεθεί μια αποτελεσματική συσκευή για να αγκυρωθεί η χαλύβδινη δοκός μέσα στο υποστύλωμα απο οπλισμένο σκυρόδεμα.

Μια σειρά απο δοκιμές έγιναν σε πλαίσια με σύμμικτες δοκούς πλαισιωμένες με εξωτερικά υποστυλώματα απο οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτές οι δοκιμές έδειξαν ότι μια αποτελεσματική σύνδεση μεταξύ μιας σύμμικτης δοκού και ενός υποστυλώματος απο οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να επιτευχθεί, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει πρόβλεψη για μεγάλες τάσεις αγκύρωσης. Οι οριζόντιες δυνάμεις, που μορφώνουν το εσωτερικό ζεύγος της δοκού, μεταφέρθηκαν στο υποστύλωμα με διαφορετικούς βαθμούς επιτυχίας. Με φυσικό δεσμό μεταξύ των πελμάτων της χαλύβδινης δοκού και του σκυροδέματος, με ή χωρίς διατμητικούς συνδέσμους, με ράβδους αγκύρωσης, και απο μια “σφυροειδή” ή μικρού μήκους δοκό στερεωμένη μέσα στο υποστύλωμα. Η τέμνουσα υποτέθηκε ότι μεταφέρθηκε μέσω του κορμού της δοκού σαν κάθετη δύναμη στο υποστύλωμα και δεν φάνηκε να συμβάλλει σε κάποια απο τις αστοχίες.

Οι διατμητικοί σύνδεσμοι μέσα στον κόμβο, πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο όταν επαρκές αξονικό φορτίο είναι παρόν για να ισορροπεί τις τάσεις διασποράς που δημιουργούνται. Οι οριζόντιες ράβδοι αγκύρωσης, αρχικά μη εντεινόμενες, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κύρια σε συνδέσεις με ένα συνεχές υποστύλωμα, ή όταν η ροπή αδρανείας του υποστυλώματος είναι μεγάλη συγκρινόμενη με αυτή της δοκού. Αυτή η απαίτηση εφαρμόζεται επίσης σε κατακόρυφες ράβδους αγκύρωσης. Λεπτομέρειες φαίνονται στα Σχήματα 25 και 26.

Συνδέσεις μπορούν επίσης να επιτευχθούν με στηρίγματα που μορφώνονται σε υποστυλώματα απο σκυρόδεμα ή τοίχους, βλέπε Σχήμα 27.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στις συνδέσεις μεταξύ δομικού χάλυβα και σκυροδέματος. Όταν σχεδιάζονται αυτές οι συνδέσεις πρέπει να γίνεται κατάλληλη πρόβλεψη για τις ανοχές κατασκευής που επιτρέπονται και στο χάλυβα και στο σκυρόδεμα. Η δυνατότητα συναρμογής πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά για να προλαμβάνονται τα προβλήματα στο εργοτάξιο χωρίς να γίνονται υπερβολικά δαπανηρά. Η χρήση πλακών προσαρμοσμένων στο σκυρόδεμα για μελλοντική συγκόλληση επ’ αυτών των στοιχείων απο χάλυβα, με επι πλέον συγκολλημένα επ’ αυτών γωνιακά σύνδεσης αποδείχθηκε πως είναι αρκετά πλεονεκτική σε πολλές περιπτώσεις. Εσοχές χρησιμοποιούνται συχνά όταν οι τάσεις είναι σχεδόν κάθετες, αλλά τείνουν να διαρρήξουν τον οπλισμό του τοίχου και συνήθως απαιτούν μετά πλήρωση με σκυρόδεμα. Στη σύνδεση χάλυβα με σκυρόδεμα, η χρήση δοκών κεφαλής, που τρέχουν παράλληλα και κοντά στο τοίχο, είναι συχνά επιθυμητή για να μειωθεί ο αριθμός των συνδέσεων του χάλυβα με το σκυρόδεμα. Οι συνδέσεις ροπής δεν είναι απαραίτητο να αποφεύγονται τελείως.

- Χαλύβδινη δοκός σε εγκιβωτισμένο υποστύλωμα

Τα ίδια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν για συνδέσεις χαλύβδινης δοκού σε εγκιβωτισμένο υποστύλωμα όπως για τις σύμμικτες δοκούς σε εγκιβωτισμένα υποστυλώματα. Παρόλα αυτά, σε αυτή την περίπτωση η ροπή που μεταδίδεται είναι η πλαστική ροπή της χαλύβδινης διατομής. Η δυνατότητα στροφής είναι περιορισμένη λόγω κινδύνου λυγισμού του θλιβόμενου πέλματος.

- Χαλύβδινη δοκός σε κοίλο υποστύλωμα πληρωμένο με σκυρόδεμα

Στη σύνδεση χαλύβδινης δοκού με κοίλο υποστύλωμα πληρωμένο με σκυρόδεμα, είναι σημαντικό να προλαμβάνεται η ψαθυρή θραύση που δημιουργείται από τοπική παραμόρφωση. Βρέθηκε ότι το σκυρόδεμα πληρώσεως δίνει μια μεγάλη ωφέλιμη επίδραση μειώνοντας την τοπική παραμόρφωση των χαλύβδινων σωλήνων. Τα διαφράγματα δε μπορούν να τοποθετηθούν μέσα στο σωλήνα γιατί θα εμπόδιζαν την τοποθέτηση του σκυροδέματος. Ως εκ τούτου, οι νευρώσεις ακαμψίας συνήθως τοποθετούνται γύρω από το εξωτερικό του σωλήνα. Η ενεργός νεύρωση υποτίθεται ότι είναι δακτύλιος που αποτελείται από τη νεύρωση και ένα μέρος του σωλήνα.

- Διατμητική αντοχή

Οι συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος υπόκεινται σε υψηλές τέμνουσες δυνάμεις όταν ένα πολυώροφο δομικό πλαίσιο υφίσταται σοβαρές πλάγιες μεταθέσεις όπως αυτές που εισάγονται από ισχυρές σεισμικές εδαφικές κινήσεις. Σε πλαίσια δομικού χάλυβα οι ζώνες σύνδεσης συνήθως χρειάζεται να οπλίζονται για να ανθίστανται στη διάτμηση. Στην περίπτωση εγκιβωτισμένου σε σκυρόδεμα δομικού χάλυβα, παρόλα αυτά, δεν είναι αναγκαίος ειδικός διατμητικός οπλισμός στη ζώνη σύνδεσης. Αυτός ο οπλισμός δε χρειάζεται γιατί η διατμητική αντοχή του σκυροδέματος στη ζώνη σύνδεσης είναι συγκριτικά μεγάλη, ακόμα και αν διαγώνιες εφελκυστικές ρωγμές σχηματίζονται σε αυτή την Περιοχή σε σχετικά χαμηλά φορτία.

- Σύνδεση προκατασκευασμένων σύμμικτων μονάδων

Οι σωστά σχεδιασμένες συνδέσεις είναι πολύ σημαντικές για να διασφαλίσουν ασφαλείς και οικονομικές προκατασκευασμένες και σε σκυρόδεμα εγκιβωτισμένες χαλύβδινες κατασκευές.

Οι δυνάμεις και οι παραμορφώσεις που πρέπει να παραλαμβάνονται από τις συνδέσεις εμφανίζονται από τα φορτία βαρύτητας και από τα πλευρικά φορτία που οφείλονται στον άνεμο και τις σεισμικές δυνάμεις. Οι ενώσεις πρέπει να έχουν αρκετή ολκιμότητα για να αντεπεξέρχονται στις αναμενόμενες παραμορφώσεις. Οι επιδράσεις του όγκου του μέλους αλλάζουν λόγω του ερπυσμού, της συστολής ξήρανσης και της θερμοκρασίας. Πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις της βράχυνσης του υποστυλώματος και των καθιζήσεων όπως ακόμη οι επιδράσεις των σφαλμάτων επι των ανοχών Κατά την κατασκευή και την ανέγερση.

Τα φορτία για το σχεδιασμό της σύνδεσης απαιτούν προσεκτική θεώρηση. Επιπλέον, συνιστάται οι σημαντικοί κόμβοι να έχουν αρκετή αντοχή ώστε να μεταδίδουν τις πλήρεις αντοχές στα συνδεόμενα μέλη. Οι δυνάμεις σχεδιασμού στους κόμβους μεταξύ

προκατασκευασμένων στοιχείων πλαισίου μπορούν να προσδιοριστούν με τόση ακρίβεια όση και οι δυνάμεις σχεδιασμού σε κόμβους απο επιτόπου κατασκευασμένα πλαίσια απο σκυρόδεμα. Παρόλα αυτά, οι δυνάμεις σχεδιασμού μεταξύ επιφανειακών στοιχείων δεν είναι καλά προσδιορισμένες, έτσι ο συντελεστής του πλευρικού φορτίου για το σχεδιασμό τέτοιων στοιχείων πρέπει να είναι μεγαλύτερος απο το συντελεστή για στοιχεία πλαισίου.

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ

Οι μέθοδοι εκτέλεσης που χρησιμοποιούνται συνήθως για σύμμικτες κατασκευές έχουν πολλά πλεονεκτήματα, με όρους τόσο οικονομίας όσο και συμπεριφοράς, όπως:

1. Γρήγορη κατασκευή κατάλληλη για μικρό χρονοδιάγραμμα ή γρήγορη λειτουργία της κατασκευής.
2. Καταλληλότητα της κατασκευαστικής τεχνικής, ανεξάρτητη απο αντίξοες καιρικές συνθήκες.
3. Ελάχιστη ανάμιξη με υπάρχοντα εργοταξιακά συστήματα εξυπηρέτησης, λόγω της ελάχιστης απαιτούμενης εργασίας διαμόρφωσης.
4. Βέλτιστος συνδυασμός της προκατασκευής και της επι τόπου κατασκευαστικής τεχνικής.
5. Κατά φάσεις φόρτιση που δημιουργεί ένταση της κατασκευής σε διαφορετικούς χρόνους.
6. Πιθανή οικονομία στη θεμελίωση λόγω της απλοποίησης και των πιο συμπαγών εργασιών εκσκαφής.

Σε κτίρια, η σύμμικτη δράση έχει ως αποτέλεσμα μια πιο άκαμπτη κατασκευή και ο εγκιβωτισμός των υποστυλωμάτων μπορεί να βοηθήσει παρέχοντας πυροπροστασία.

Παρόλο που οι αρχές της σύμμικτης κατασκευής δε μεταβάλλονται σε όρους εφαρμογής, οι τεχνικές κατασκευής και τα εφαρμοζόμενα φορτία επηρεάζουν τη χρήση τους.

Ενα καλό παράδειγμα των πλεονεκτημάτων της σύμμικτης κατασκευής είναι η χρήση προεντεταμένου χάλυβα, ειδικότερα σε κτίρια όπου υπάρχουν περιορισμοί στο ύψος. Σε τέτοιες κατασκευές προσωρινές στηρίξεις τοποθετούνται σε υποστυλώματα για να δημιουργήσουν προένταση των χαλύβδινων δοκών που βρίσκονται απο πάνω. Οι προσωρινές στηρίξεις μετακινούνται αφού σκληρυνθεί το σκυρόδεμα, πράγμα που μειώνει τη φόρτιση στα χαλύβδινα μέλη επιτρέποντας μια μείωση στο ύψος και έχει αποτέλεσμα στην οικονομία. Το Σχήμα 28 παρουσιάζει αυτή την τεχνική κατασκευής.

Μια παρόμοια μέθοδος περιγράφηκε απο τον Dzierwolski, χρησιμοποιώντας ράβδους που δρουν σαν επικλινείς διατάξεις επιβολής πρόσκαιρων δυνάμεων, οι οποίες είναι προσαρμοσμένες στο άνω τμήμα της δοκού, βλέπε Σχήμα 29.

Πολλές διαφορετικές μέθοδοι κατασκευής χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές χώρες και πολλές απο τις μεθόδους είναι κατοχυρωμένες.

5. ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ο σεισμικός σχεδιασμός μιας κτιριακής κατασκευής απαιτεί όλα τα Τμήματα της να αποκρίνονται σχεδόν ταυτόχρονα όταν υπόκεινται σε εδαφική κίνηση. Ως εκ τούτου, όταν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι σεισμικές δυνάμεις, οι επιδράσεις σε όλα τα στοιχεία του κτιρίου πρέπει να εκτιμηθούν. Στην εκτίμηση αυτών των επιδράσεων, θα πρέπει να θυμόμαστε ότι οι περισσότερες σεισμικές κινήσεις είναι τυχαίες, και συμβαίνουν και οριζόντια και κάθετα.

Η απόκριση σε σεισμό των κτιριακών κατασκευών (σύμμικτων και χαλύβδινων) είναι ένα θέμα μεγάλου ενδιαφέροντος, γιατί ο τοπικός λυγισμός του θλιβόμενου πέλματος αναχαιτίζεται (από τη διατμητική σύνδεση μεταξύ του χάλυβα και της πλάκας σκυροδέματος), και η αντοχή σε πλευρικό λυγισμό είναι αρκετά αυξημένη. Επιπλέον, οι με σκυρόδεμα πληρούμενοι σωλήνες και οι εγκιβωτισμένες πρότυπες διατομές κατέχουν αρκετά υψηλότερη διατμητική αντοχή από υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος του ίδιου μεγέθους. Η υψηλή διατμητική αντοχή είναι πολύ σημαντική για σεισμικές κατασκευές, καθώς είναι όγκιμη στις συνδέσεις, οι οποίες μπορούν να επιτευχθούν με την χρήση σύμμικτων δοκών και υποστυλωμάτων.

Η έρευνα, η οποία χρειάζεται να συνεχισθεί και να διευρυνθεί, έχει δείξει καθαρά ότι εγκιβωτισμένες χαλύβδινες διατομές σε οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι ιδιαίτερα πλεονεκτικές για αντισεισμικό σχεδιασμό. Παρόλα αυτά, πολύ λίγες μελέτες είναι διαθέσιμες, προς το παρόν, ως προς την καταλληλότητα των άλλων τύπων σύμμικτων δομικών συστημάτων για αντισεισμικό σχεδιασμό.

6. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ

Οι αβαθείς δοκοί έχουν μεγαλύτερη ευκαμψία. Παρόλο που η εν λειτουργία συμπεριφορά των σύμμικτων δοκών και δαπέδων είναι καλή, ο μελετητής πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τη δεκτικότητα της κατασκευής σε ταλαντώσεις που εισάγονται από τις δραστηριότητες μέσα στο κτίριο. Η παράμετρος που συνήθως σχετίζεται με αυτή την επίδραση είναι η φυσική συχνότητα του δαπέδου ή των δοκών.

Ένα χαμηλότερο όριο των 4Hz (κύκλοι ανά δευτερόλεπτο) είναι ένα συνήθως αποδεκτό κάτω όριο για τη φυσική συχνότητα για κάθε δοκό δαπέδου. Αυτό το όριο έχει χρησιμοποιηθεί στους Πίνακες Σχεδιασμού. Η μάζα του δαπέδου λαμβάνεται ως το ίδιο βάρος του και αυτό της ψευδοροφής και των τελειωμάτων, καθώς επιπλέον 10% της επιβαλλόμενης φόρτισης. Χωρίσματα τα οποία αυξάνουν την απόσβεση της κατασκευής δεν συμπεριλαμβάνονται.

Η φυσική συχνότητα, f_r , του δαπέδου ή της δοκού μπορεί να ορισθεί από τον προσεγγιστικό τύπο, $f_r = 18 / \delta$ όπου δ είναι η στιγμιαία βύθιση (mm) που είναι αποτέλεσμα του ίδιου βάρους του δαπέδου (συμπεριλαμβανομένων των άνωθεν πρόσθετων φορτίων). Μια μείωση 10% στη βύθιση μπορεί να ληφθεί υπόψη για την αυξανόμενη δυναμική ακαμψία της σύμμικτης δοκού.

Πρακτικά, η μάζα της κατασκευής του δαπέδου είναι φυσιολογικά τέτοια που η δύναμη διέγερσης είναι σχετικά μικρή, ώστε και η απόκριση της κατασκευής είναι αντίστοιχα μικρή. Σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να αποδειχθεί ότι η φυσική συχνότητα του

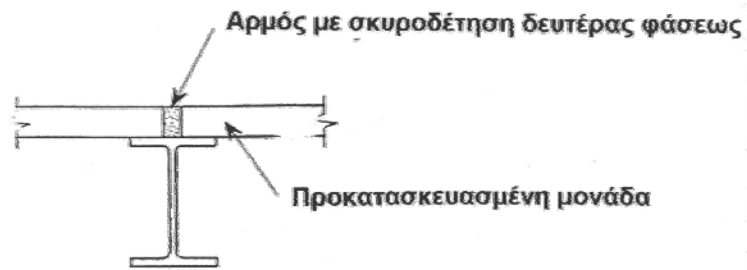
συστήματος του δαπέδου (κύριων και δευτερευουσών δοκών και σύμμικτης πλάκας) μπορεί να μειωθεί στα 3Hz.

7. ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

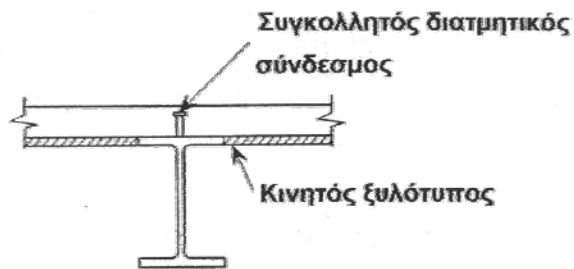
Η πυραντοχή των σύμμικτων δοκών επιτυγχάνεται με τον ίδιο τρόπο όπως για τις μη σύμμικτες δοκούς. Σύμφωνα με μερικούς κανονισμούς, η οριακή θερμοκρασία της χαλύβδινης διατομής μπορεί να προσδιοριστεί. Αυτή η θερμοκρασία χρησιμοποιείται στον καθορισμό του απαιτούμενου πάχους του υλικού πυροπροστασίας. Είναι παραδοσιακή πρακτική να σφραγίζονται τα κενά που δημιουργούνται από το κατάστρωμα πάνω από το άνω πέλμα της δοκού. Το σφράγισμα μπορεί να μην είναι αναγκαίο για σταθερά συνδεδεμένα προφίλ.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Χάλυβας και σκυρόδεμα, σωστά συνδυασμένα, αποτελούν μια οικονομική κατασκευή και εκεί βρίσκεται η επιτυχία της σύμμικτης κατασκευής. Δευτερεύουσες επιδράσεις, όπως η μεταβλητότητα λόγω συστολής ξήρανσης, ερπυσμού και θερμοκρασίας, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν χρησιμοποιείται αυτή η μορφή κατασκευής.
2. Η σύμμικτη κατασκευή ήταν γενικά αποδεκτή από τον επαγγελματία μηχανικό στην δεκαετία του '50 όταν χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή γεφυρών στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες. Αργότερα, η χρήση τους επεκτάθηκε στην κτιριακή βιομηχανία. Ικανοποιητική έρευνα σε αυτό το θέμα έχει γίνει, και θα συνεχίσει να γίνεται, σε πολλά μέρη του κόσμου.
3. Υπάρχει αρκετή σκοπιμότητα στην έρευνα της χρήσης των σύμμικτων κατασκευών σε σεισμικές περιοχές. Η εμπειρία δείχνει ότι μπορεί να έχουν επιθυμητές ιδιότητες για αντισεισμικότητα. Επεδείχθη ενδιαφέρον μόνο πρόσφατα στην έρευνα σχετικά με αυτό το θέμα και μόνο στην Καλιφόρνια και την Ιαπωνία.
4. Η έρευνα στον τομέα της πυροπροστασίας των σύμμικτων κατασκευών είναι επιθυμητή για να μεγιστοποιήσει τη δυνατότητα χρήσης τους.
5. Οι σύμμικτες κατασκευές που χρησιμοποιούν προκατασκευασμένο σκυρόδεμα (και ακόμα προεντεταμένο σκυρόδεμα σε μερικές εφαρμογές) και χάλυβα, πρέπει επίσης να έχουν καλό αγοραστικό δυναμικό λόγω της οικονομίας που μπορεί να επιτευχθεί από αυτά τα στοιχεία στην εξοικονόμηση χρόνου, εργασίας και χρημάτων.
6. Δεν υπάρχει απλή απάντηση στο ερώτημα ποιο είναι το καλύτερο σύστημα προς χρήση. Η σωστή εκλογή εξαρτάται από ένα ευρύ κύκλο παραμέτρων που μεταβάλλονται με το κάθε έργο. Η εμπειρία από τέτοιες Κατασκευές είναι ένας από τους καλύτερους οδηγούς.



(a) Προκατασκευασμένο (μη σύμμικτο)



(b) Χυτό επι τόπου (σύμμικτο)

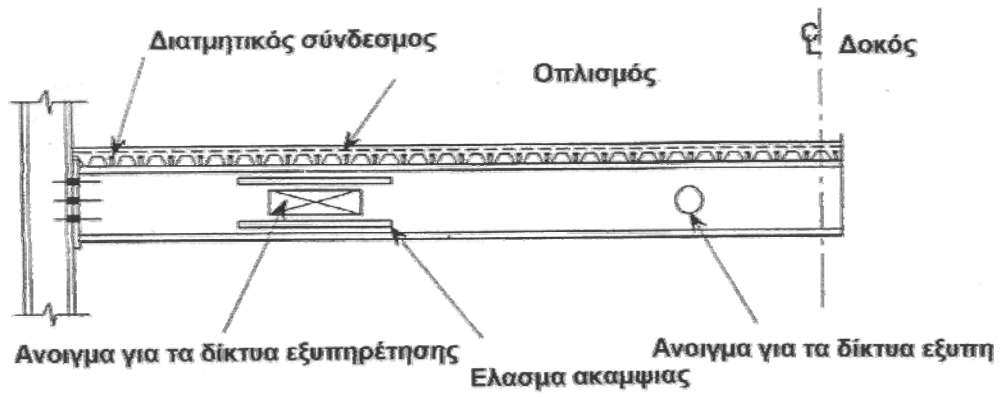


(c) Επι τόπου χυτό επι προπλακών (σύμμικτο)

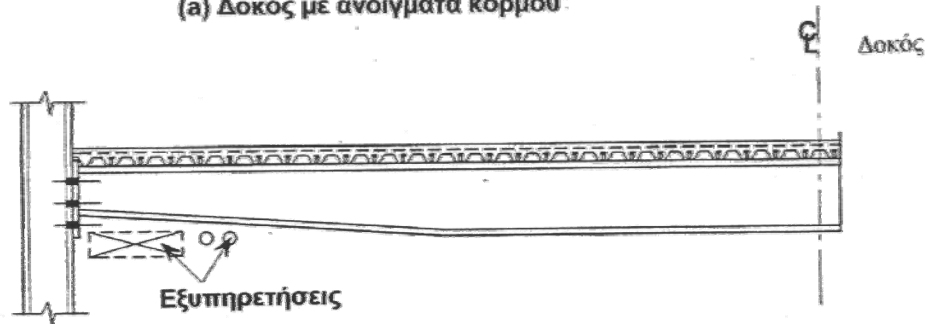


(d) Επι τόπου χυτό επι μεταλλικού φύλλου δαπέδου (σύμμικτο)

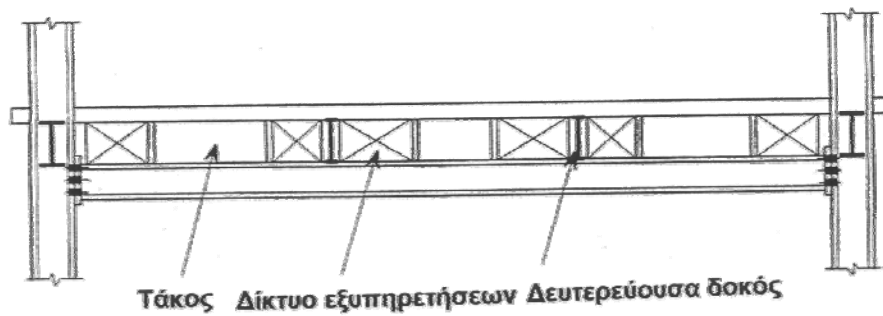
ΣΧΗΜΑ 4 Συστήματα δαπέδων :



(a) Δοκός με ανοίγματα κορμού

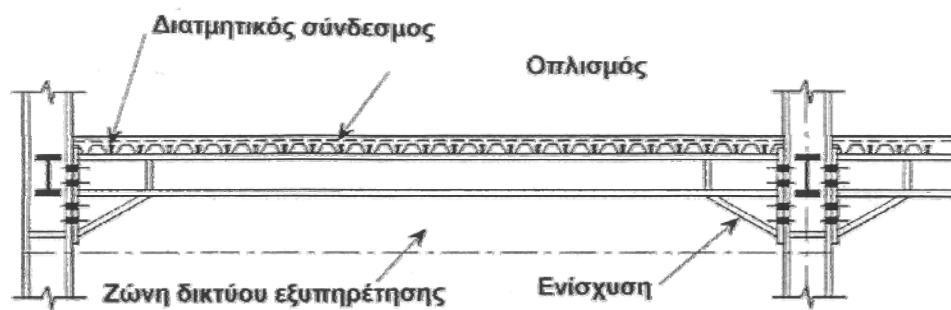


(b) Δοκός μεταβλητής διατομής

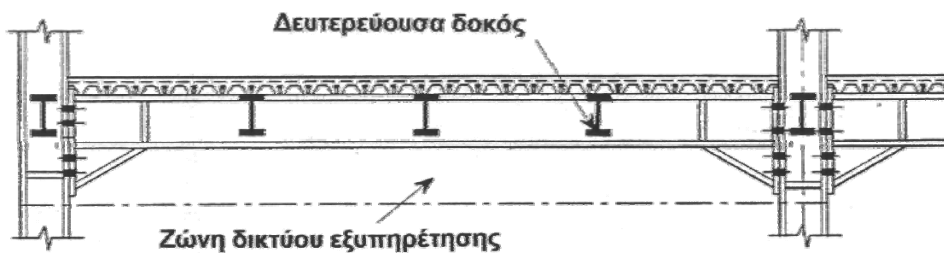


(c) Δοκός με τάκους

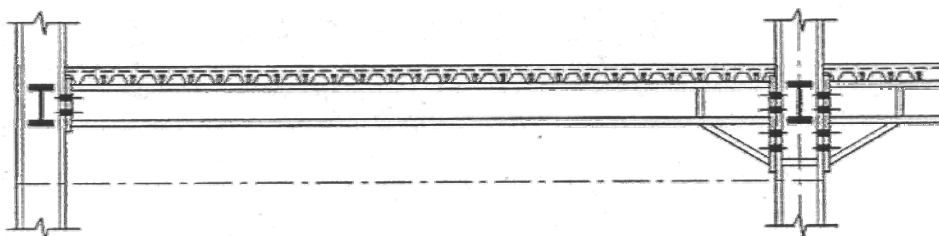
ΣΧΗΜΑ 8a Ενσωμάτωση δικτύων εξυτηρέτησης στο δομικό ύψος του πατώματος



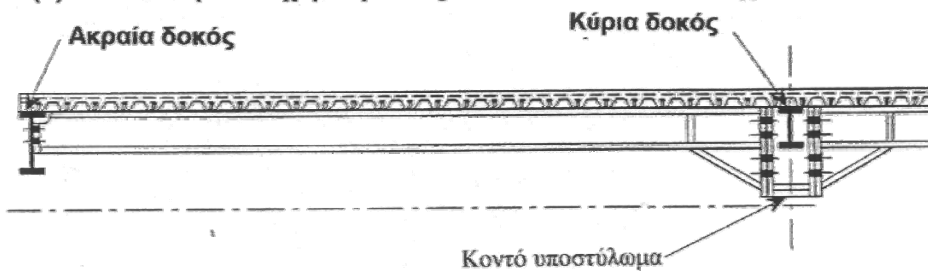
(a) Ενισχυμένη δοκός υποστηρίζουσα σύμμικτη πλάκα : απλό ή πολλαπλό πλαίσιο



(b) Ενισχυμένη δοκός υποστηρίζουσα δευτερεύουσες δοκούς : απλό ή πολλαπλό πλαίσιο

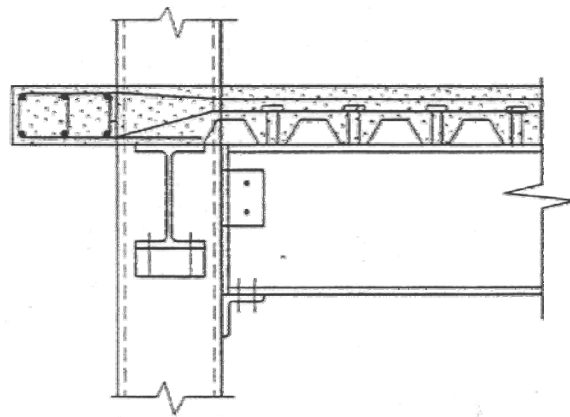
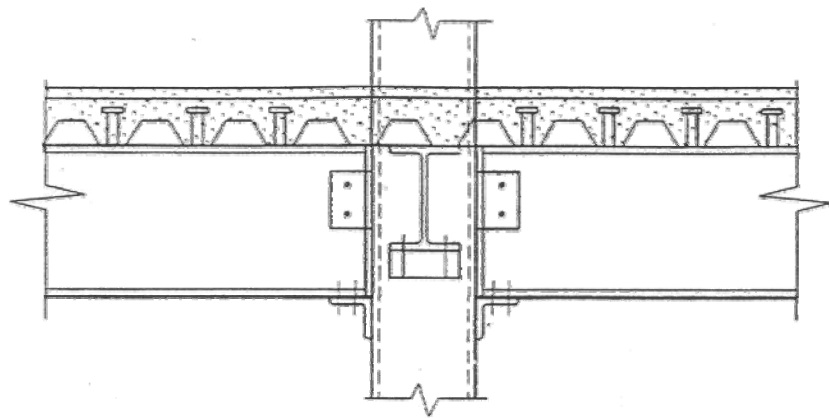


(c) Μονόπλευρα ενισχυμένη δοκός : πλαίσιο πολλών ανοιγμάτων

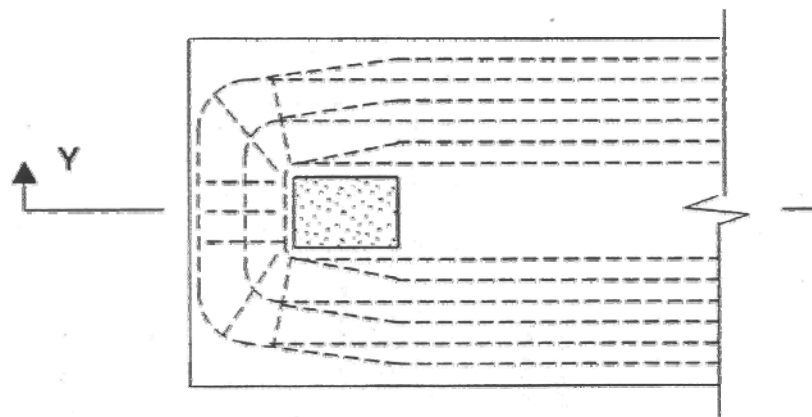


(d) Ενισχυμένη δοκός συνδεδεμένη με κύρια δοκό

ΣΧΗΜΑ 12 Διάφορες διαμορφώσεις ενισχυμένων σύμμικτων δοκών

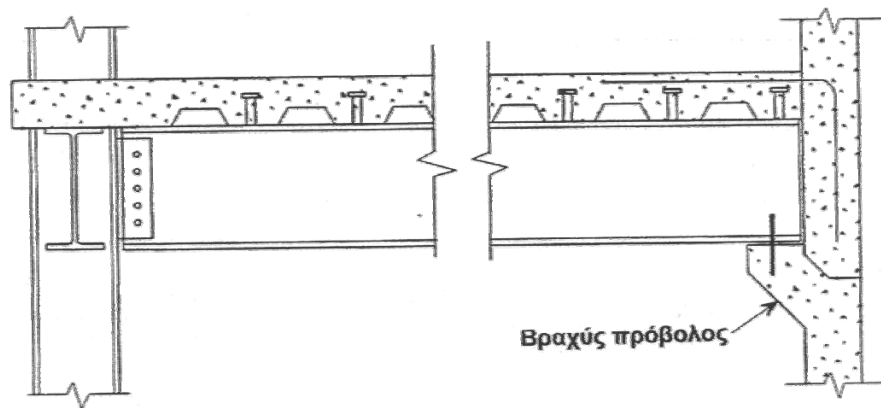


Διατομή Υ-Υ



κατοψη του οπλισμού

ΣΧΗΜΑ 20 Εσωτερική και εξωτερική ημιάκαμπτη σύνδεση δοκού με υποστύλωμα



ΣΧΗΜΑ 27 Συνδέσεις σύμμικτης δοκού σε χαλύβδινο υποστύλωμα και τοίχο από σκυρόδεμα με βραχύ πρόβολο