

Ιωάννης Κ. Βάγιας

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα

3^η έκδοση



- Σύμμικτες πλάκες
- Σύμμικτες δοκοί
- Σύμμικτα υποστυλώματα
- Συνδέσεις
- Πυροπροστασία
- Ευρωκώδικας 4



Περιεχόμενα

Πρόλογος	9
Πρόλογος 3 ^{ης} έκδοσης.....	11
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	13
1.1 Γενικά – Ιστορική αναδρομή	13
1.2 Αρχές λειτουργίας – ορισμοί	20
Κεφάλαιο 2 Βάσεις σχεδιασμού.....	27
2.1 Εισαγωγή	27
2.2 Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας.....	28
2.3 Διάδοση σφάλματος.....	30
2.4 Εφαρμογή της πιθανοτικής θεωρίας στο σχεδιασμό των έργων.....	32
2.5 Συντελεστής ασφαλείας.....	36
2.6 Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας.....	38
2.7 Διατύπωση βασικής σχέσης ελέγχου	43
2.8. Οριακές καταστάσεις και έλεγχοι έναντι αυτών.....	48
2.9 Συντελεστές ασφαλείας δράσεων και αντιστάσεων	51
2.10 Συνδυασμοί δράσεων.....	52
2.11 Ιδιότητες των υλικών	54
Κεφάλαιο 3 Μέθοδοι υπολογισμού αποτελεσμάτων των δράσεων και των αντιστάσεων.....	61
3.1 Ορισμός οριακών καταστάσεων αστοχίας.....	61
3.2 Κατανομή εντατικών μεγεθών στο φορέα	67
3.3 Κατανομή εντατικών μεγεθών στα στοιχεία μιας διατομής	69
3.4 Κατάταξη διατομών.....	71

3.5	Συνεργαζόμενο πλάτος πλάκας σκυροδέματος.....	80
3.6	Προσδιορισμός εντατικών μεγεθών σε συνεχείς δοκούς.....	86
Κεφάλαιο 4	Σύμμικτες δοκοί	91
4.1	Πλαστική ανάλυση	91
4.2	Ελαστική ανάλυση.....	98
4.3	Αντοχή έναντι τεμνουσών δυνάμεων	107
4.4	Αλληλεπίδραση ροπών κάμψης – τεμνουσών δυνάμεων	111
4.5	Θερμοκρασιακές επιρροές.....	113
4.6	Επιρροές λόγω χρονίων παραμορφώσεων.....	122
4.7	Προένταση με καλώδια.....	135
4.8	Διαδικασία κατασκευής – προένταση με κατασκευαστικά μέτρα... ..	137
4.9	Στρεμπτοκαμπτικός λυγισμός.....	154
4.10	Σιδηροδοκοί εγκιβωτισμένες στο σκυρόδεμα.....	161
4.11	Δοκοί με ανοίγματα στο κορμό	164
4.12	Κόπωση	165
Κεφάλαιο 5	Διατμητική σύνδεση	173
5.1	Γενικά	173
5.2	Διαμήκης διάτμηση.....	175
5.3	Διατμητικοί σύνδεσμοι	195
5.4	Πλήρης διατμητική σύνδεση – Κατανομή διατμητικών συνδέσμων κατά μήκος του φορέα.....	210
5.5	Πλαστική ανάλυση με μερική διατμητική σύνδεση	214
5.6	Διατμητική κάλυψη πλάκας σκυροδέματος.....	217
5.7	Κόπωση	221
Κεφάλαιο 6	Σύμμικτες πλάκες	225
6.1	Γενικά	225
6.2	Χαλυβδόφυλλα	226
6.3	Ανάλυση συμμίκτων πλακών	231
6.4	Διαστασιολόγηση συμμίκτων πλακών.....	233

6.5	Δυσκαμψία συμμίκτων πλακών.....	240
6.6	Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας	241
6.7	Πλάκες χωρίς δοκούς.....	247
Κεφάλαιο 7	Σύμμικτα υποστυλώματα	251
7.1	Γενικά	251
7.2	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά.....	252
7.3	Αντοχή διατομών.....	255
7.4	Ευστάθεια	272
7.5	Διαμήκης διάτμηση εκτός των περιοχών συγκεντρωμένων δυνάμεων.....	282
7.6	Επιβολή συγκεντρωμένων δυνάμεων	285
Κεφάλαιο 8	Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας.....	291
8.1	Εισαγωγή	291
8.2	Παραμορφώσεις.....	292
8.3	Ρηγμάτωση	295
8.4	Περιορισμοί των τάσεων	300
Κεφάλαιο 9	Κτίρια.....	301
9.1	Συστήματα φορέων.....	301
9.2	Μέθοδοι ανάλυσης – ελέγχου.....	303
9.3	Πατώματα	306
9.4	Κόμβοι δοκών – υποστυλωμάτων	323
9.5	Αντισεισμικός σχεδιασμός.....	325
Κεφάλαιο 10	Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς	327
10.1	Γενικά	327
10.2	Συμπεριφορά υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες.....	328
10.3	Άνοδος της θερμοκρασίας – πυροθερμικό φορτίο.....	332
10.4	Βάσεις σχεδιασμού	336
10.5	Απλοποιημένος έλεγχος συμμίκτων δοκών και συμμίκτων υποστυλωμάτων.....	337
10.6	Έλεγχοι συμμίκτων πλακών.....	347

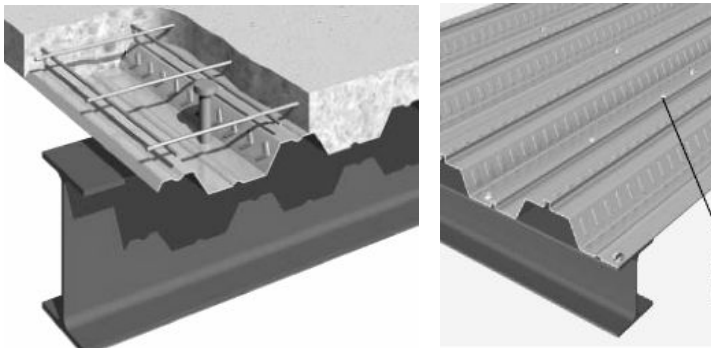
10.7	Έλεγχοι συμμίκτων δοκών και υποστυλωμάτων με αναλυτικές μεθόδους	356
10.8	Συνδέσεις	362
Βιβλιογραφία	369
Σύμβολα	377

6

Σύμμικτες πλάκες

6.1 Γενικά

Η χρήση συμμίκτων πλακών έχει γίνει δημοφιλής τα τελευταία χρόνια και έχει συμβάλει στην αύξηση της χρήσης των μεταλλικών κατασκευών σε οικοδομικά έργα. Οι σύμμικτες πλάκες αποτελούνται από χαλυβδόφυλλα και επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα. Τα χαλυβδόφυλλα χρησιμεύουν στη φάση κατασκευής ως τύπος για το έγχυτο σκυρόδεμα, και στη φάση λειτουργίας ως οπλισμός της πλάκας. Στην πλάκα σκυροδέματος προβλέπεται ένας ελαφρύς οπλισμός.



Σχήμα 6.1 ► Διάταξη σύμμικτης πλάκας

Τα χαλυβδόφυλλα αποτελούν ένα βασικό συστατικό στοιχείο των πλακών και ικανοποιούν μια σειρά από απαιτήσεις, όπως:

- Χρησιμεύουν ως επιφάνεια εργασίας και τύπος για τη πλάκα, παραλαμβάνοντας τα φορτία διάστρωσης του σκυροδέματος

- Λειτουργούν ως διαφράγματα κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης και ευσταθοποιούν τις σιδηροδοκούς έναντι πλευρικού λυγισμού
- Με το μεγάλο μήκος τους επί περισσότερων δοκών εξασφαλίζουν τη λειτουργία μιας συνεχούς δοκού
- Δημιουργούν μια σύμμικτη δράση με τη πλάκα και παραλαμβάνουν από κοινού τα ωφέλιμα φορτία
- Χρησιμοποιούνται για την ανάρτηση διαφόρων στοιχείων
- Κατανέμουν τις παραμορφώσεις λόγω συστολής ξήρανσης και εμποδίζουν μια εκτεταμένη ρηγμάτωση

Τα κύρια πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συνήθεις πλάκες από σκυρόδεμα είναι:

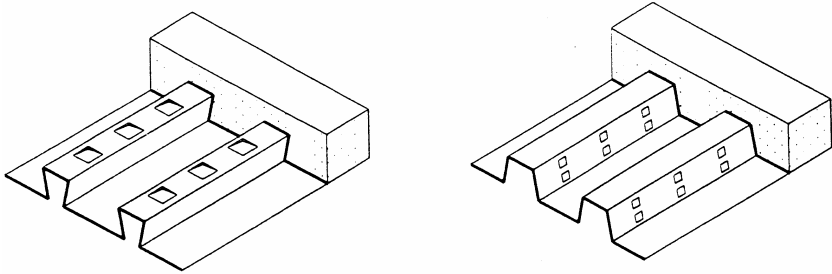
- Μικρότεροι χρόνοι κατασκευής
- Αποφυγή χρήσης ξυλοτύπου
- Επίτευξη μεγαλύτερων ανοιγμάτων
- Επίτευξη μικρότερων στατικών υψών
- Αυξημένη αντοχή έναντι πυρκαγιάς

Για την εξασφάλιση της σύμμικτης δράσης είναι σημαντική η εξασφάλιση της μεταφοράς της διαμήκουσ διάτμησης μεταξύ των μεταλλικών φύλλων και του σκυροδέματος. Αυτό γίνεται είτε με μηχανικό τρόπο μέσω πρόβλεψης κατάλληλων εγκοπών στα μεταλλικά φύλλα ή, σπανιότερα, συγκόλληση χαλύβδινου πλέγματος στα φύλλα (Σχ. 6.2α), είτε μέσω τριβής όπου όμως θα πρέπει η αυλάκωση των φύλλων να είναι τέτοια, ώστε να περιορίζεται το σκυρόδεμα μεταξύ των αυλακώσεων για να αποφεύγεται η αποκόλλησή του από την πλάκα (Σχ. 6.2β). Στα άκρα της πλάκας όπου όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 5 αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες δυνάμεις διαμήκουσ διάτμησης, η αγκύρωση ενισχύεται είτε με πρόσθετους διατμητικούς συνδέσμους, είτε με κατάλληλη παραμόρφωση του μεταλλικού φύλλου.

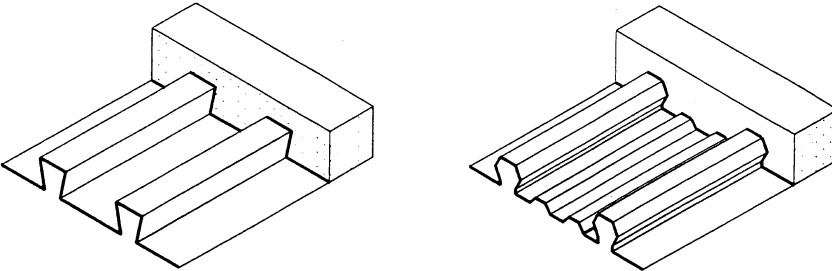
Στο παρόν Κεφάλαιο αναπτύσσεται ο σχεδιασμός συμμικτών πλακών για τις διάφορες φάσεις της διαδικασίας κατασκευής.

6.2 Χαλυβδόφυλλα

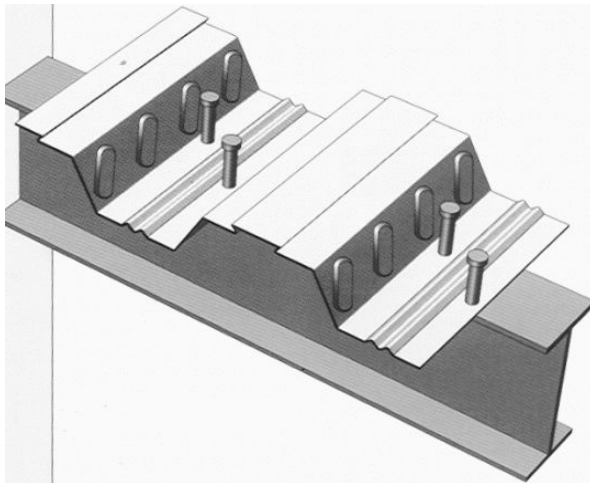
Τα χαλυβδόφυλλα προέρχονται από εν ψυχρώ εξέλαση ταινιών χάλυβα, των λεγόμενων coils. Τα πάχη τους κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 0,5 και 2 mm. Για την προστασία έναντι διάβρωσης προβλέπεται γαλβανισμός των επιφανειών τους λόγω του μικρού τους πάχους. Το πάχος της στρώσης γαλβανισμού ανά πλευρά είναι περίπου ίσο με 0,02 mm. Η παραγωγή τους είναι συνεχής, τα φύλλα όμως κόβονται για λόγους μεταφοράς σε κατάλληλη μήκη. Ένα βασικό στοιχείο σχεδιασμού των φύλλων είναι η αντοχή τους στη φάση κατασκευής. Τα ύψη τους κυμαίνονται συναρτήσει του ανοίγματος μεταξύ 45 και 200 mm. Για μεγαλύτερα ανοίγματα μπορεί να προβλεφθεί προσωρινή στήριξη στο μέσο ή στα τρίτα του ανοίγματος κατά τη διάρκεια κατασκευής. Τα πλάτη του κάτω πέλματος κυμαίνονται



α)



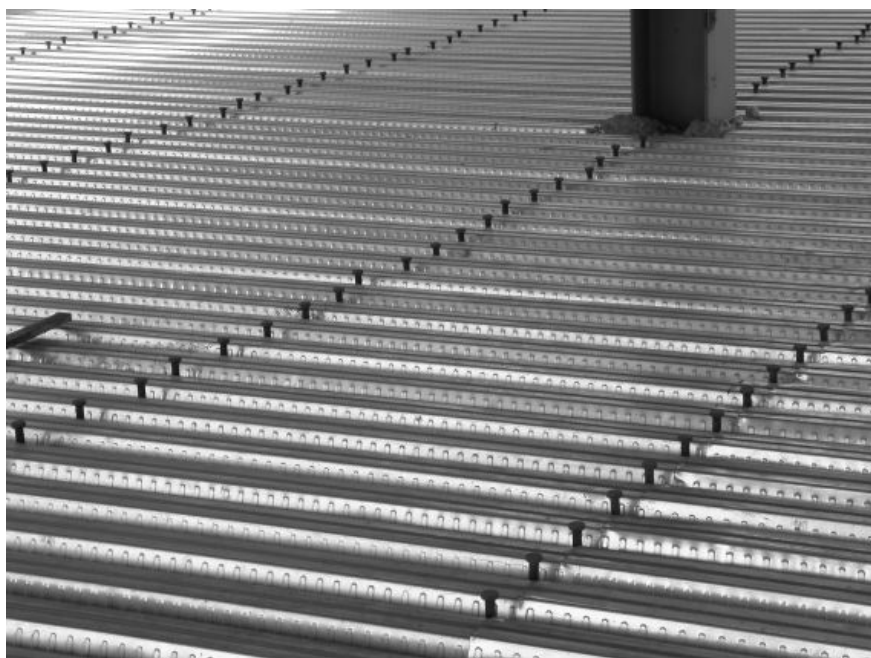
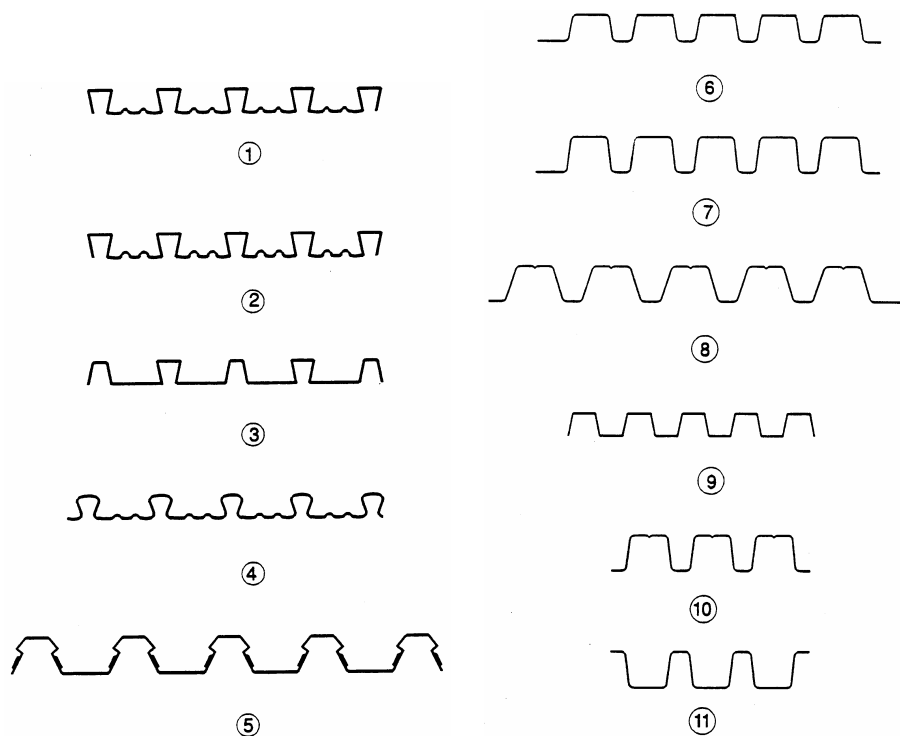
β)



γ)

Σχήμα 6.2 ► Εξασφάλιση διατμητικής σύνδεσης μεταλλικών φύλλων – σκυροδέματος στις σύμμικτες πλάκες

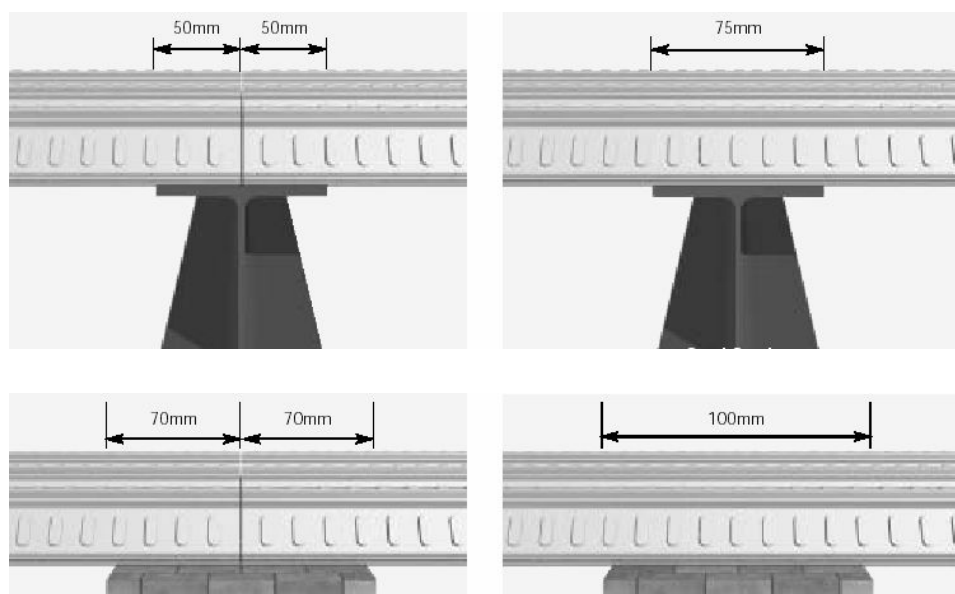
μεταξύ 150 και 300 mm. Τα χαλυβδόφυλλα απαντώνται σε δύο τύπους, στη μορφή χελιδονιού και στην τραπεζοειδή (Σχήμα 6.3) Λόγω των συχνά μεγάλων τιμών των λόγων b/t και τον κίνδυνο τοπικού λυγισμού προβλέπονται μικρές νευρώσεις στα πέλαμα ή τον κορμό.



Σχήμα 6.3 ► Τύποι χαλυβδοφύλλων

Η τοποθέτηση των χαλυβδοφύλλων γίνεται συνήθως κάθετα στις δοκούς. Οι διατμητικοί ήλοι προς εξασφάλιση της ακραίας αγκύρωσης συγκολλώνται κατά κανόνα **δια μέσω** των φύλλων στα πέλαμα των δοκών (Σχήμα 6.2γ). Σε αυτή τη περίπτωση πρέπει το μέγιστο πάχος των φύλλων να είναι 1,25 mm και τα φύλλα να είναι καθαρά και ελεύθερα από υγρασία. Τέλος πρέπει να απομακρυνθεί κάθε χρώμα ή λοιπή επίστρωση από το πέλαμα της σιδηροδοκού στη θέση της συγκόλλησης. Για μεγαλύτερα πάχη είναι δυνατή όμως και η διάνοιξη οπών από τις οποίες θα διέλθουν οι ήλοι.

Το ελάχιστο πλάτος έδρασης αμφιέριστων χαλυβδοφύλλων είναι 50 mm αν η έδραση γίνεται σε χάλυβα ή σκυρόδεμα, ή 70 mm αν η έδραση γίνεται σε άλλο υλικό όπως π.χ. φέρουσα τοιχοποιία ή ξύλο. (Σχ. 6.4).



Σχήμα 6.4 ▶ Ελάχιστα πλάτη έδρασης χαλυβδοφύλλων

Τα αντίστοιχα ελάχιστα πλάτη έδρασης συνεχών χαλυβδοφύλλων είναι 75 και 100 mm. Αν γίνεται υπερκάλυψη των φύλλων στις θέσεις των στηρίξεων, τότε τα ελάχιστα πλάτη υπερκάλυψης είναι 25 και 30 mm, ανάλογα με το υλικό του φορέα στήριξης ως ανωτέρω.

Τα χαλυβδόφυλλα παραλαμβάνουν στη φάση κατασκευής –πριν δηλαδή την πήξη του έγχυτου σκυροδέματος– κατακόρυφα και πιθανόν οριζόντια φορτία ως ακολούθως:

- Τα ίδια βάρη τους.
- Τα ίδια βάρη του σκυροδέματος.

- Τα κατακόρυφα φορτία διάστρωσης του σκυροδέματος.
- Οριζόντια φορτία αν προβλέπεται να εξασφαλίζουν διαφραγματική λειτουργία κατά τη φάση κατασκευής.

Τα ίδια βάρη προσδιορίζονται από τις ονομαστικές διαστάσεις των στοιχείων. Λόγω παραμορφώσεων των φύλλων είναι όμως πιθανό το πραγματικό πάχος της πλάκας σκυροδέματος να προκύψει μεγαλύτερο από την ονομαστική τιμή. Ο EC 4 αναφέρει ότι η αύξηση του πάχους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη αν το βέλος του φύλλου δ λόγω ίδιου βάρους του και βάρους του σκυροδέματος ξεπερνά το $1/250$ ή τα 20 mm. Αυτό γίνεται αυξάνοντας π.χ. το πάχος της πλάκας κατά 0,7δ.

Το φορτίο διάστρωσης αποτελείται σύμφωνα με τον EC 4 από ένα ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο $0,75 \text{ kN/m}^2$ συν ένα κινητό φορτίο $0,75 \text{ kN/m}^2$ που δρα σε επιφάνεια $3 \times 3 \text{ m}$.

Τα οριζόντια φορτία προέρχονται κυρίως από πλευρικές δυνάμεις εκτροπής άλλων δομικών στοιχείων, την ευστάθεια των οποίων εξασφαλίζουν τα χαλυβδόφυλλα. Τιμές των φορτίων αυτών προσδιορίζονται κατά την ανάλυση των στοιχείων ή από σχετικές προδιαγραφές.

Ο προσδιορισμός των αντιστάσεων των χαλυβδοφύλλων γίνεται με βάση προδιαγραφές και κανονισμούς για τη μελέτη λεπτοτοιχίων χαλύβδινων στοιχείων με εν ψυχρώ διαμόρφωση. Τέτοιες προδιαγραφές είναι το μέρος 1.3 του Ευρωκώδικα 3 [34], η γερμανική οδηγία DAST-Richtlinie 015, κ.λπ. Ο τρόπος προσδιορισμού των αντιστάσεων των χαλυβδοφύλλων δεν αποτελεί αντικείμενο του παρόντος βιβλίου. Η σύγκριση των δρώντων εντατικών μεγεθών με τις αντίστοιχες αντοχές των χαλυβδοφύλλων θα δείξει, αν στη φάση κατασκευής χρειάζεται ενδιάμεση υποστήριξη των χαλυβδοφύλλων, πράγμα που συμβαίνει για μεγάλα ανοίγματα. Εδώ αναφέρεται μόνο ότι από στατική άποψη τα χαλυβδόφυλλα αποτελούν συνήθως διατομές κατηγορίας 4, η αντίσταση των οποίων για φορτία **κάθετα στο επίπεδό τους** βρίσκεται με θεώρηση ενεργών επιφανειών στα θλιβόμενα πλακοειδή τμήματα της διατομής. Ο υπολογισμός δηλαδή γίνεται για την υποκατάστατη, **ενεργό διατομή** και όχι για την πλήρη διατομή (Σχ. 6.5).



Σχήμα 6.5 ► Ενεργός διατομή χαλυβδοφύλλων

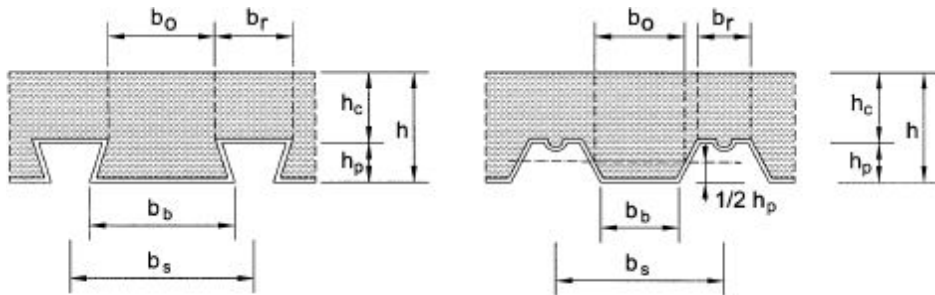
Μετά τον προσδιορισμό της καμπτικής ροπής αντοχής M_{Rd} , βρίσκεται η τέμνουσα αντοχής V_{Rd} και η αλληλεπίδραση αυτών. Επίσης βρίσκεται η αντίσταση έναντι συγκεντρωμένων φορτίων P_{Rd} και η αλληλεπίδραση με τις ροπές M_{Rd} . Η αντίσταση και δυσκαμψία των χαλυβδοφύλλων για φορτία **παράλληλα στο επίπεδό τους** βρίσκεται ως συνάρτηση της αντοχής και της δυσκαμψίας τόσο του ίδιου του χαλυβδόφυλλου, όσο και του τρόπου σύνδεσής του με τις δοκούς, η οποία επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά. Για περισσότερες πληροφορίες ο αναγνώστης πρέπει να προστρέξει σε σχετική βιβλιογραφία [86]

[20]. Στο ΕΜΠ έχει αναπτυχθεί κατάλληλο πρόγραμμα διαστασιολόγησης χαλυβδοφύλλων για δράσεις τόσο εντός όσο και εκτός του επιπέδου τους στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας [45].

6.3 Ανάλυση συμμικτών πλακών

6.3.1 Γενικά

Οι σύμμικτες πλάκες υποβάλλονται σε φορτία τόσο κάθετα όσο και παράλληλα στο επίπεδό τους. Στην πρώτη περίπτωση λειτουργούν ως «πλάκες», στη δεύτερη περίπτωση ως «διαφράγματα». Για φορτία κάθετα στο επίπεδό τους λειτουργούν, όπως ήδη γράφτηκε στην παρ. 6.1, ως διέριστες πλάκες. Από στατική λοιπόν άποψη συμπεριφέρονται ως «δοκοί» για τις οποίες πρέπει να προσδιοριστούν οι ροπές και τέμνουσες αντοχής καθώς και, επειδή πρόκειται για σύμμικτα στοιχεία, η μεταφορά της διαμήκου διάτμησης. Στην περίπτωση επιβολής σημαντικών συγκεντρωμένων δυνάμεων υπάρχει κίνδυνος διάτρησης της πλάκας, έναντι της οποίας πρέπει να προσδιορισθεί η αντίσταση. Για τα ελάχιστα πάχη συμμικτών πλακών ισχύουν οι εξής περιορισμοί (Σχ. 6.6).



Σχήμα 6.6 ► Ελάχιστα πάχη συμμικτών πλακών

Συνολικό ελάχιστο πάχος: $\min h = 80 \text{ mm}$.

Ελάχιστο πάχος πάνω από το χαλυβδόφυλλο: $\min h_c = 40 \text{ mm}$

Εάν οι αυλακώσεις της πλάκας είναι παράλληλες στη διεύθυνση της σιδηροδοκού και η πλάκα συμμετέχει στη λειτουργία της δοκού, ή αν η πλάκα πρέπει να εξασφαλίζει διαφραγματική λειτουργία –πράγμα που ισχύει πάντα στα κτίρια– τότε τα αντίστοιχα ελάχιστα πάχη είναι

$$\min h = 90 \text{ mm}, \quad \min h_c = 50 \text{ mm}.$$

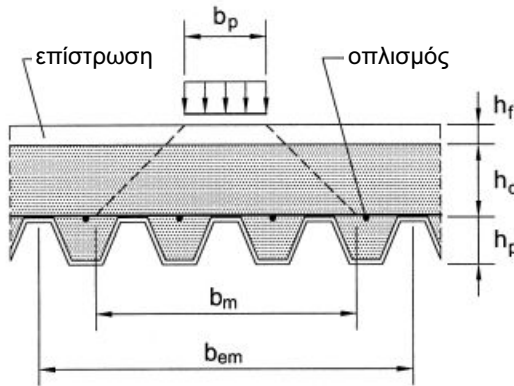
Εντός του ύψους h_c του σκυροδέματος πρέπει να τοποθετείται διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός, ελάχιστου εμβαδού $80 \text{ mm}^2/\text{m}$ ανά κατεύθυνση. Η ελάχιστη απόσταση των ράβδων είναι η ελάχιστη τιμή μεταξύ $2h$ και 350 mm .

Ο προσδιορισμός των δρώντων εντατικών μεγεθών γίνεται με ελαστική ανάλυση. Επιτρέπεται όμως η ανακατανομή των ροπών στηρίξεων μέχρι 30% αν η ανάλυση βασίζεται σε αρηγμάτωτες διατομές.

Για κατανεμημένα φορτία, η ανάλυση βασίζεται σε πλάτος πλάκας ίσο με το ένα φάτνωμα του χαλυβδοφύλλου. Συγκεντρωμένα φορτία παράλληλα στο άνοιγμα κατανέμονται υπό γωνία 45° . Το πλάτος κατανομής τους στην άνω στάθμη του χαλυβδοφύλλου είναι συνεχώς ίσο με (Σχ. 6.7):

$$b_m = b_p + 2(h_c + h_f) \quad (6.1)$$

Το πλάτος κατανομής συγκεντρωμένων φορτίων κάθετα στο άνοιγμα προσδιορίζεται από την εξ. (6.1), όπου ως b_p λαμβάνεται το μήκος του γραμμικού φορτίου



Σχήμα 6.7 ▶ Κατανομή συγκεντρωμένων φορτίων

Αν $\frac{h_p}{h} \leq 0,6$ το ανωτέρω πλάτος αυξάνεται περαιτέρω ως ακολούθως:

α) για τις ροπές κάμψης και την διαμήκη διάτμηση:

- αμφιέριστες δοκοί και ακραίο φάτνωμα συνεχών δοκών:

$$b_{em} = b_m + 2L_p [1 - (L_p / L)] \leq \text{πλάτος πλάκας} \quad (6.2)$$

- εσωτερικά φατνώματα συνεχών δοκών:

$$b_{em} = b_m + 1,33L_p [1 - (L_p / L)] \leq \text{πλάτος πλάκας} \quad (6.3)$$

β) για τις τέμνουσες:

$$b_{ev} = b_m + L_p [1 - (L_p / L)] \leq \text{πλάτος πλάκας} \quad (6.4)$$

όπου

L_p = απόσταση συγκεντρωμένου φορτίου από το πλησιέστερο στήριγμα.

L = άνοιγμα πλάκας στο υπόψη φάτνωμα.

Σε περίπτωση που συγκεντρωμένα ή κατανεμημένα φορτία με χαρακτηριστικές τιμές μικρότερες από 7,5 kN και 5,0 kN/m² αντίστοιχα τοποθετείται χωρίς περαιτέρω υπολογισμούς εγκάρσιος οπλισμός με ελάχιστο ποσοστό 0,2%, ανηγμένο στο πάχος της πλάκας πάνω από το χαλυβδόφυλλο. Ο οπλισμός αυτός εκτείνεται σε πλάτος b_{em} και έχει μήκη αγκύρωσης πέραν του πλάτους αυτού ίσα με l_b , σύμφωνα με την εξ. (5.12). Τυχόν υπάρχων εγκάρσιος οπλισμός πλάκας από άλλους λόγους συνυπολογίζεται στον ανωτέρω ελάχιστο οπλισμό. Για μεγαλύτερα φορτία γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός του εγκάρσιου οπλισμού σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2.

6.3.2 Μέθοδοι ανάλυσης

Η ανάλυση συμμίκτων συνεχών πλακών στην οριακή κατάσταση αστοχίας μπορεί να γίνεται με τις ακόλουθες μεθόδους:

- α) Ελαστική ανάλυση με ή χωρίς ανακατανομή ροπών. Για αρηγμάτωση ανάλυση επιτρέπεται ανακατανομή των ροπών στήριξης κατά 30%.
- β) Πλαστική ανάλυση, η οποία επιτρέπεται χωρίς έλεγχο της στρωφικής ικανότητας αν χρησιμοποιείται οπλισμός κατηγορίας C κατά Ευρωκώδικα 2 και το άνοιγμα δεν υπερβαίνει τα 3,0 m.
- γ) Ανάλυση ως ανεξάρτητες αμφιέριστες πλάκες, με πρόβλεψη οπλισμού ρηγμάτωσης στις περιοχές των ενδιάμεσων στηρίξεων σύμφωνα με την παρ. 6.5.2.

Η ανάλυση στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι ελαστική χωρίς ανακατανομή ροπών.

6.4 Διαστασιολόγηση συμμίκτων πλακών

6.4.1 Γενικά

Η διαστασιολόγηση των συμμίκτων πλακών γίνεται με βάση τους παρακάτω ελέγχους.

Οριακή κατάσταση αστοχίας

Κάμψη

Τέμνουσα

Διαμήκης διάτμηση

Διάτμηση (έναντι συγκεντρωμένων φορτίων)

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Βέλη

Ρηγμάτωση

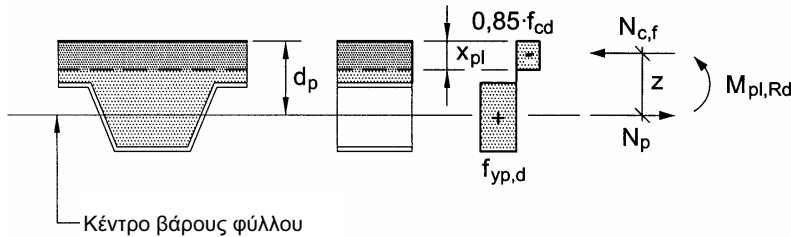
Ταλαντώσεις

6.4.2 Αντοχή έναντι θετικών ροπών κάμψης

Η παραλαβή θετικών ροπών κάμψης γίνεται μέσω θλίψης του σκυροδέματος και εφελκυσμό του χαλυβδοφύλλου. Η σχετική πλαστική ροπή αντοχής βρίσκεται εξετάζοντας ένα φάτνωμα χαλυβδοφύλλου πλάτους b στην οριακή κατάσταση, ακολουθώντας την αντίστοιχη μεθοδολογία των δοκών όπως παρουσιάστηκε στην παρ. 4.1 (Σχ. 6.8).

Ουδέτερος άξονας πάνω από τα χαλυβδόφυλλα

Αποτελεί την πιο συνηθισμένη περίπτωση συμμίκτων πλακών, ιδιαίτερα όταν το ύψος του χαλυβδοφύλλου είναι μικρό.



Σχήμα 6.8 ▶ Κατανομή τάσεων στη διατομή σύμμικτης πλάκας για θετικές ροπές. Ουδέτερος άξονας πάνω από τα χαλυβδόφυλλα

$$\text{Θλιπτική δύναμη:} \quad N_{cf} = b \cdot x_{pl} \cdot 0,85 \cdot f_{cd} \quad (6.5)$$

$$\text{Εφελκυστική δύναμη:} \quad N_p = A_p \cdot f_{yp,d} \quad (6.6)$$

Θέση ουδέτερου άξονα από τη συνθήκη:

$$N_{cf} = N_p \rightarrow x_{pl} = \frac{A_p \cdot f_{yp,d}}{b \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} \leq h_c \quad (6.7)$$

$$\text{Πλαστική ροπή} \quad M_{pl,Rd}^+ = N_p \cdot \left(d_p - \frac{x_{pl}}{2} \right) \quad (6.8)$$

όπου:

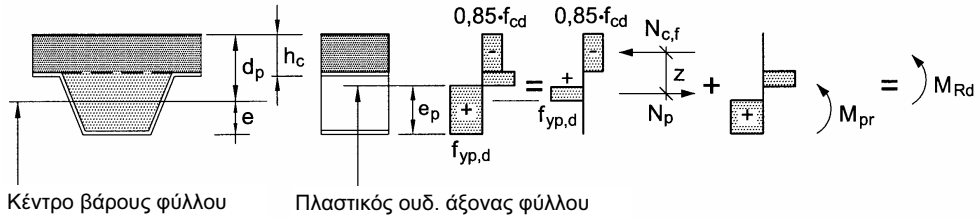
A_p = εμβαδό χάλυβα χαλυβδοφύλλων,

d_p = θέση κέντρου βάρους χαλυβδοφύλλου.

Ουδέτερος άξονας μέσα στα χαλυβδόφυλλα

Ο υπολογισμός γίνεται με βάση το δεξιά διάγραμμα τάσεων του Σχ. 6.9. Τα μεγέθη z και M_{pr} προσδιορίζονται προσεγγιστικά από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$z = h - 0,5h_c - e_p + \left(e_p - e \right) \cdot \frac{N_{cf}}{N_p} \quad (6.9)$$



Σχήμα 6.9 ▶ Κατανομή τάσεων στη διατομή σύμμικτης πλάκας για θετικές ροπές. Ουδέτερος άξονας μέσα στα χαλυβδόφυλλα

$$M_{pr} = 1,25M_{pa} \cdot \left(1 - \frac{N_{cf}}{N_p}\right) \leq M_{pa} \quad (6.10)$$

όπου:

N_{cf} , N_p από τις εξ. (6.5) (με $x_{p1} = h_c$) και (6.6) αντιστοίχως

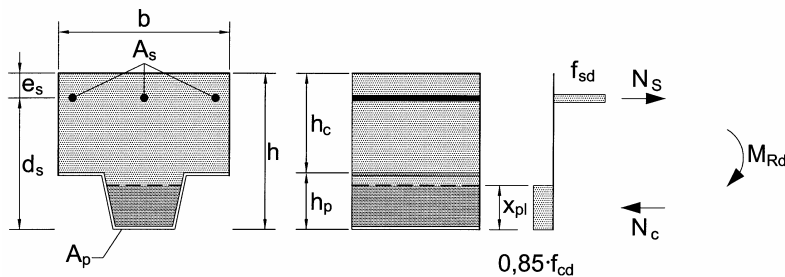
M_{pa} πλαστική ροπή χαλυβδοφύλλου

Η πλαστική οριακή ροπή είναι τότε ίση με:

$$M_{pl,Rd}^+ = N_{cf} \cdot z + M_{pr} \quad (6.11)$$

6.4.3 Αντοχή έναντι αρνητικών ροπών κάμψης

Η διατομή μπορεί να προσομοιωθεί ως μία διατομή οπλισμένου σκυροδέματος αποτελούμενη από τον σιδηροπλισμό της πλάκας και το σκυρόδεμα, όπου προσεγγιστικά η συμμετοχή του χαλυβδοφύλλου αγνοείται (Σχ. 6.10).



Σχήμα 6.10 ▶ Κατανομή τάσεων στη διατομή σύμμικτης πλάκας για αρνητικές ροπές

Εφελκυστική δύναμη:
$$N_s = A_s \cdot f_{sd} \quad (6.12)$$

Θλιπτική δύναμη:
$$N_c = b_p \cdot x_{pl} \cdot 0,85 \cdot f_{cd} \quad (6.13)$$

3^η έκδοση

ΣΥΜΜΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα

Οι Σύμμικτες Κατασκευές αναλύουν έργα των οποίων τα φέροντα στοιχεία αποτελούνται από τα δύο συνηθέστερα δομικά υλικά, το χάλυβα και το οπλισμένο σκυρόδεμα. Με τη συνεργασία των δύο υλικών ικανοποιούνται κατά το βέλτιστο τρόπο τα κριτήρια φέρουσας ικανότητας, λειτουργικότητας, ολκιμότητας και ανθεκτικότητας στο χρόνο. Στα σημαντικά πλεονεκτήματα των σύμμικτων κατασκευών οφείλεται η μεγάλη τους διάδοση σε όλο τον κόσμο, ιδιαίτερα σε περιοχές μεγάλης σεισμικής επικινδυνότητας.

Στο βιβλίο παρουσιάζονται θέματα σχεδιασμού σύμμικτων δοκών, πλακών υποστυλωμάτων και των συνδέσεων τους με αναφορά σε κτίρια. Εξετάζονται οι οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας, με βάση τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 4 προσαρμοσμένες στον Ελληνικό Κανονισμό Σκυροδέματος. Δίνονται κριτήρια και κανόνες εφαρμογής για την πρακτική αντιμετώπιση θεμάτων πυροπροστασίας. Κάθε κεφάλαιο περιλαμβάνει τόσο τις θεωρητικές βάσεις όσο και μεγάλο αριθμό παραδειγμάτων εφαρμογής, τα οποία συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση της ύλης.

Στη τρίτη έκδοσή του, το βιβλίο αναθεωρήθηκε σημαντικά στα περισσότερα κεφάλαια με αρκετές προσθήκες και βελτιώσεις.

Ο συγγραφέας

Ο **Γιάννης Βάγιας** είναι Καθηγητής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ. Ασχολείται επί μακρόν με θέματα διδασκαλίας, έρευνας, μελέτης και κανονισμών των σιδηρών και σύμμικτων κατασκευών.



ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ

Δομοκού 4, Στάθμος Λαρίσης, 10440 Αθήνα, Τηλ. 210-6237635

Επισκεφθείτε μας στο Internet
www.klidarithmos.gr

ISBN 978-960-461-377-9



9 789604 613779