

Θεμιστοκλής Ν. Νικολαΐδης  
Χαράλαμπος Κ. Μπανιωτόπουλος

# Σύμμικτες κτιριακές κατασκευές και γέφυρες από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα

Στοιχεία σχεδιασμού  
σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 4

---

Φωτογραφίες εξώφυλλου: Σανγκάη, Κίνα  
(από το προσωπικό φωτογραφικό αρχείο των συγγραφέων).

---

ISBN 978-960-456-609-9

© Copyright, Ιούλιος 2023, Θεμιστοκλής Ν. Νικολαΐδης, Χαράλαμπος Κ. Μπανιωτόπουλος,  
Εκδόσεις ΖΗΤΗ

---

*Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.*

---

**Φωτοστοιχειοθεσία** Π. ΖΗΤΗ & ΣΙΑ Ι.Κ.Ε.  
**Εκτύπωση** 18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας  
**Βιβλιοδεσία** Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19  
Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



**ΕΚΔΟΣΕΙΣ  
ΖΗΤΗ**

[www.ziti.gr](http://www.ziti.gr)

**ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:**  
Αρμενοπούλου 27, 546 35 Θεσσαλονίκη  
Τηλ.: 2310.203.720, Fax: 2310.211.305 • e-mail: sales@ziti.gr

**ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ:**  
Χαριλάου Τρικούπη 22, 106 79 Αθήνα  
Τηλ.-Fax: 210.3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

**ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ:** [www.ziti.gr](http://www.ziti.gr)

*Στη μνήμη του καθηγητή μας  
Παναγή Δ. Παναγιωτόπουλου  
εμπνευσμένου Δάσκαλου και ιδιοφυούς Επιστήμονα  
που τον στερηθήκαμε τόσο νωρίς...*

## Πρόλογος

**Η** σύμμικτη κατασκευή αποτελεί ένα ιδιαίτερα αποδοτικό σύστημα δόμησης που ξεκίνησε από τις ΗΠΑ και την Κεντρική Ευρώπη εδώ και περισσότερο από έναν αιώνα και αποτελεί σήμερα τον κυριότερο τρόπο κατασκευής κτιρίων και κάθε είδους δομικών έργων σε παγκόσμιο επίπεδο. Η επιλογή αυτού του συστήματος δόμησης είναι ιδιαίτερα δημοφιλής διεθνώς γιατί συνδυάζει με αποδοτικό τρόπο τις ιδιότητες των δύο κύριων υλικών που τον συνθέτουν, του δομικού χάλυβα και του οπλισμένου σκυροδέματος, για να προσφέρει οικονομικές και αξιόπιστες λύσεις σχεδιασμού και ταυτόχρονα ταχύτητα κατασκευής τόσο για κτίρια, όσο και για γέφυρες. Για τον λόγο αυτόν η εξέλιξη των κατασκευών στην Ελλάδα, σε συνδυασμό με την ωρίμανση πλέον του τεχνικού κόσμου στη χρήση του κανονιστικού πλαισίου των Ευρωκωδίκων, όλο και συχνότερα οδηγεί στην επιλογή σχεδιασμού σύμμικτων κατασκευών από τον μηχανικό. Ιδιαίτερα στα κτίρια, οι εφαρμογές που συναντώνται συχνά περιλαμβάνουν εμπορικά, βιομηχανικά, αλλά και κτίρια κατοικιών, σε συνδυασμό πολλές φορές με συστήματα προκατασκευής.

Η παρούσα έκδοση παρουσιάζει με όσο γίνεται πιο απλό και κατανοητό τρόπο τις βασικές αρχές και τη μεθοδολογία σχεδιασμού των σύμμικτων κατασκευών στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 4 καθώς βασίζεται στην εμπειρία από τη διδασκαλία του αντίστοιχου μαθήματος και τη συναφή επιστημονική έρευνα. Παράλληλα, περιγράφει με πρακτικά παραδείγματα εφαρμογής την ανάλυση και τη μεθοδολογία σχεδιασμού των σύμμικτων κατασκευών στο πλαίσιο των Ευρωκωδίκων. Τα παραδείγματα αυτά έχουν ως στόχο να βοηθήσουν τον φοιτητή, αλλά και το μηχανικό στη κατανόηση της μεθοδολογίας του σύμμικτου σχεδιασμού, ξεκινώντας από τον σχεδιασμό μεμονωμένων σύμμικτων δομικών στοιχείων έως τον σχεδιασμό ολόκληρων πατωμάτων κτιρίων ή καταστρώματα γεφυρών. Με τον τρόπο αυτόν, ο μηχανικός που ασχολείται με σχεδιασμό μπορεί να αναλύσει με βέλτιστο τρόπο τα κύρια μέλη της σύμμικτης κατασκευής, ώστε προσομοιώνοντάς τα με κατάλληλο υπολογιστικό μοντέλο Η/Υ να μειώσει τον υπολογιστικό χρόνο, καλύπτοντας σε πολλές περιπτώσεις και τις απαιτήσεις σχεδιασμού σε περιβάλλον BIM (Building Information Modelling).

Η έκδοση αυτή ολοκληρώνεται με την παράθεση χρήσιμων βοηθητικών πινάκων για την κατάλληλη και εύκολη επιλογή των συνεργαζόμενων υλικών και των παραμέτρων τους, ώστε οι σχετικοί υπολογισμοί να γίνονται με ευκολότερο τρόπο και να οδηγούν σε ορθά και ασφαλή αποτελέσματα.

Μια σύμμικτη κατασκευή σχεδιάζεται ώστε να ικανοποιεί τα κριτήρια αντοχής, τις τεθείσες αισθητικές απαιτήσεις, τη μορφολογική πολυπλοκότητα και τους δείκτες βιώσιμου σχεδιασμού και ταυτόχρονα να αποτελεί μια οικονομική, λειτουργική, αλ-

λά και ανατάξιμη λύση στο πλαίσιο ενός βέλτιστου σχεδιασμού. Απαραίτητη προϋπόθεση για έναν τέτοιο σχεδιασμό είναι η ακριβής εκτίμηση της στατικής λειτουργίας του φορέα, η τήρηση των προδιαγραφών σχεδιασμού που τίθενται κάθε φορά για το εκάστοτε έργο και η ανάλυση της κατασκευής με την βοήθεια του κανονιστικού πλαισίου τόσο του Ευρωκώδικα 4, όσο και των λοιπών Ευρωκωδίκων ιδιαίτερα αυτών που αφορούν στα βασικά υλικά του σύμμικτου τρόπου δόμησης.

Τα παραδείγματα που χρησιμοποιούνται προς τούτο δεν αποτελούν πρότυπα σχεδιασμού κατασκευών, αλλά έχουν το χαρακτήρα αντιπροσωπευτικών και στις πιο πολλές περιπτώσεις εφαρμοσμένων περιπτώσεων σχεδιασμού. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει κατανοητή, ανάλογα με τον τύπο του φορέα, η διαδικασία και τα στάδια υπολογισμού των σύμμικτων μελών, με βάση την εμπειρία από τη χρόνια καινοτόμο έρευνα στους σχετικούς τομείς και τη σχετική ενασχόληση σε πρακτικά ζητήματα σχεδιασμού αντίστοιχων κατασκευών.

Η διάρθρωση των κεφαλαίων και οι θεματικές ενότητες των παραδειγμάτων του βιβλίου αποτελούν προϊόν γόνιμης αναζήτησης των αναγκών όπως αυτές διαμορφώνονται από την εφαρμογή των Ευρωκωδίκων, τόσο στον τομέα της μελέτης και ανέγερσης σύμμικτων κατασκευών, όσο και στο χώρο της συναφούς εκπαίδευσης των σπουδαστών του σχετικού μαθήματος του προπτυχιακού κύκλου “Σύμμικτα Κτίρια και Γέφυρες” και των εκπονούμενων στο πλαίσιο αυτού θεμάτων. Η διαμόρφωση και ολοκλήρωση της προσπάθειας αυτής έγινε με τη συμπαράσταση και την συναδελφική συνεργασία όλων των επιστημονικών μελών του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται προς τον ομότιμο καθηγητή κ. Χ. Μπίσμπο του οποίου η ενθάρρυνση και ανάθεση προς τον πρώτο των συγγραφέων στον πλήρη ανασχεδιασμό και διαμόρφωση του διδακτικού αντικείμενου του μαθήματος επιλογής του προπτυχιακού κύκλου “Σύμμικτα Κτίρια και Γέφυρες” ώστε να ενσωματώνονται σε αυτό όλες οι σύγχρονες τάσεις και απαιτήσεις σχεδιασμού. Ευχαριστίες εκφράζονται προς τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Ε. Κολτσάκη και τον επίκουρο καθηγητή κ. Ε. Ευθυμίου για τις γόνιμες συζητήσεις και τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους σχετικά με το διδακτικό αντικείμενο του βιβλίου. Τέλος ευχαριστίες εκφράζονται προς τον κ. Θεόδωρο Ηλιάδη, Πολιτικό Μηχανικό και κατασκευαστή μεταλλικών και σύμμικτων κτιρίων κατοικιών για τη γόνιμη συνεργασία και βοήθεια που παρείχε σε πρακτικά ζητήματα παρουσίασης σχεδιασμού και υλοποίησης προκατασκευής, αλλά και προς τον κ. Νικόλαο Νικολαΐδη, φοιτητή Πολιτικό Μηχανικό ΑΠΘ, για τη βοήθεια που προσέφερε στην τεχνική επιμέλεια και άρτια παρουσίαση της ανάλυσης και περιγραφής των παραδειγμάτων σχεδιασμού που παρουσιάζονται στο βιβλίο.

Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2023

Θ. Ν. Νικολαΐδης & Χ. Κ. Μπανιωτόπουλος

## Περιεχόμενα

<b>Κεφάλαιο 1</b>	
<b>Εισαγωγή</b>	1
<b>Κεφάλαιο 2</b>	5
<b>Ανάλυση λειτουργίας, δομικά χαρακτηριστικά και φορτία σχεδιασμού σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα</b>	
2.1. Ανάλυση σύμμικτης λειτουργίας δομικών στοιχείων	5
2.1.1. Σύμμικτη λειτουργία διατομής από χάλυβα και σκυρόδεμα	5
2.1.2. Διατμητική σύνδεση σύμμικτων στοιχείων	6
2.1.3. Ιστορία και εξέλιξη των σύμμικτων κατασκευών	7
2.1.4. Περιγραφή λειτουργίας σύμμικτων δομικών στοιχείων	11
2.1.4.1. Λειτουργία σύμμικτου μέλους	11
2.1.4.2. Ελαστική ανάλυση και απόκριση σύμμικτης διατομής δοκού	12
2.1.4.3. Στερεοπλαστική ανάλυση σύμμικτης διατομής	19
2.1.4.4. Χαρακτηριστικές μορφές διατομής σύμμικτων δοκών	24
2.1.4.5. Χαρακτηριστικές μορφές διατομών σύμμικτων στύλων	26
2.2. Προδιαγραφές και μηχανικές παράμετροι υλικών που συνθέτουν σύμμικτα δομικά στοιχεία	29
2.2.1. Εισαγωγή	29
2.2.2. Δομικός χάλυβας	30
2.2.3. Σκυρόδεμα	34
2.2.4. Χάλυβας οπλισμού	38
2.2.5. Αυλακωτό χαλυβδόφυλλο	41
2.2.6. Σύνδεσμοι διάτμησης	45
2.3. Οριακές καταστάσεις σχεδιασμού και δράσεις για σύμμικτους φορείς στο πλαίσιο των Ευρωκωδικών	48
2.3.1. Συντελεστές ασφάλειας υλικών	48
2.3.2. Συνδυασμοί φόρτισης για τις οριακές καταστάσεις σχεδιασμού	49
2.3.2.1. Συνδυασμοί φόρτισης για μόνιμες ή παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού (Ο.Κ.Α.)	49

2.3.2.2. Συνδυασμοί δράσεων για τις Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας (Ο.Κ.Λ.)	51
2.3.2.3. Συνδυασμοί δράσεων για Τυχηματικές Καταστάσεις Σχεδιασμού και για κατάσταση Σεισμικού Σχεδιασμού	52
2.3.2.4. Μειωτικοί συντελεστές συνδυασμού μεταβλητών φορτίων οριακών καταστάσεων	53
2.3.3. Φορτίσεις σύμμικτων κατασκευών	57
2.3.3.1. Μόνιμα φορτία	57
2.3.3.2. Μεταβλητά (κινητά) ή επιβαλλόμενα φορτία	58
2.3.3.3. Φορτίο χιονιού	62
2.3.3.4. Φορτία ανέμου	65
2.3.3.5. Φορτία θερμοκρασίας	67
2.3.4. Στοιχεία για τον αντισεισμικό υπολογισμό σύμμικτων κατασκευών	70
2.4. Κρίσιμα όρια ελέγχου παραμορφώσεων	77
2.4.1. Επιτρεπόμενα όρια κατακόρυφου βέλους σύμμικτου φορέα στη φάση κατασκευής	77
2.4.2. Επιτρεπόμενα όρια κατακόρυφου βέλους σύμμικτου φορέα στη φάση λειτουργίας	77

## Κεφάλαιο 3

81

### Αρχές σχεδιασμού σύμμικτων μελών στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 4

3.1. Αρχές σχεδιασμού σύμμικτων δοκών	81
3.1.1. Χαρακτηριστικές μορφές διατομής σύμμικτων δοκών	81
3.1.2. Γενικοί κανόνες σχεδιασμού σύμμικτων δοκών κτιρίων	86
3.1.2.1. Εισαγωγή	86
3.1.2.2. Ταξινόμηση σε Κατηγορίες (Κλάσεις) σύμμικτων δοκών	86
3.1.2.3. Προσδιορισμός συννεργαζόμενου πλάτους σύμμικτων δοκών	89
3.1.2.4. Δράσεις σχεδιασμού σύμμικτων δοκών	92
3.1.3. Αντίσταση σύμμικτης δοκού σε Ο.Κ.Λ. και Ο.Κ.Α. στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α)	95
3.1.3.1. Συνθήκες σχεδιασμού ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής	95
3.1.3.2. Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (Ο.Κ.Λ.) σε φάση κατασκευής (Φάση Α)	95
3.1.3.3. Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (Ο.Κ.Α.) σε κάμψη στη φάση κατασκευής (Φάση Α)	96
3.1.3.4. Έλεγχος διατομής χαλύβδινης δοκού σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό (στρέβλωση) στη φάση κατασκευής (Φάση Α)	96

3.1.3.5. Έλεγχος διατομής χαλύβδινης δοκού σε διάτμηση στη φάση κατασκευής (Φάση Α) .....	98
3.1.4 Αντίσταση σύμμικτης δοκού σε Ο.Κ.Λ. και Ο.Κ.Α. στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	99
3.1.4.1. Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (Ο.Κ.Λ.) σε φάση λειτουργίας (Φάση Β) .....	99
3.1.4.2. Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (Ο.Κ.Α.) σε κάμψη – ελαστική απόκριση σε φάση λειτουργίας (Φάση Β) .....	101
3.1.4.3. Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (Ο.Κ.Α.) - πλαστική αντίσταση σε κάμψη σε φάση λειτουργίας (Φάση Β) .....	103
3.1.4.3.1. Ουδέτερος άξονας μέσα στην πλάκα - θετική ροπή .....	104
3.1.4.3.2. Ουδέτερος άξονας κάτω από την πλάκα - θετική ροπή .....	106
3.1.4.3.3. Έλεγχος σύμμικτης δοκού σε αρνητική ροπή .....	109
3.1.5. Διατμητική σύνδεση και αντίσταση σχεδιασμού δοκού σε διαμήκη τέμνουσα .....	112
3.1.6. Αντίσταση σχεδιασμού δοκού σε κατακόρυφη διάτμηση .....	116
3.1.7. Επιρροή ερπυσμού και συστολής ξήρανσης σκυροδέματος στη σύμμικτη λειτουργία .....	117
3.1.7.1. Επιρροή του ερπυσμού της πλάκας σκυροδέματος .....	117
3.1.7.2. Επιρροή της συστολής ξήρανσης στην πλάκα σκυροδέματος .....	118
3.1.3. Πρόσθετοι κανόνες και στοιχεία σχεδιασμού σύμμικτων δοκών γεφυρών .....	119
3.1.3.1. Γενικά στοιχεία σχεδιασμού δοκών γεφυρών .....	119
3.1.3.2. Αντίσταση σε διατμητική κύρτωση κορμών χαλύβδινων δοκών σύμμικτων γεφυρών .....	120
3.1.3.3. Πρόσθετα στοιχεία σχεδιασμού δοκών γεφυρών σε διαμήκη διάτμηση .....	121
3.2. Αρχές σχεδιασμού σύμμικτων πλακών .....	123
3.2.1 Πλάκες με αυλακωτά χαλυβδόφυλλα σε κτίρια .....	123
3.2.2. Σύμμικτη λειτουργία πλάκας .....	123
3.2.3. Λεπτομέρειες σχεδιασμού σύμμικτων πλακών .....	124
3.2.4. Στοιχεία προσδιορισμού γεωμετρικών μεγεθών σύμμικτης διατομής πλάκας με αυλακωτό χαλυβδόφυλλο .....	127
3.2.5. Αντίσταση φορέα πλάκας στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α) .....	128
3.2.5.1. Δράσεις σχεδιασμού πλάκας σε Οριακές Καταστάσεις στη φάση κατασκευής .....	128
3.2.5.2. Έλεγχος πλάκας σε Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α) .....	128



3.2.5.3. Έλεγχος πλάκας σε Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α) .....	129
3.2.6. Αντίσταση φορέα πλάκας στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	129
3.2.6.1. Δράσεις σχεδιασμού πλάκας σε Οριακές Καταστάσεις στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	129
3.2.6.2. Έλεγχος πλάκας σε Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	130
3.2.6.3. Έλεγχος πλάκας σε Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας σε κάμψη στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	132
3.2.6.3.1. Γενικά χαρακτηριστικά διατομής πλάκας .....	132
3.2.6.3.2. Ελαστική ανάλυση – θετική κάμψη .....	134
3.2.6.3.3. Πλαστική καθολική ανάλυση – Ουδέτερος άξονας πάνω από το χαλυβδόφυλλο – Ροπή θετική .....	135
3.2.6.3.4. Πλαστική καθολική ανάλυση – Ουδέτερος άξονας εντός των αυλακώσεων του χαλυβδόφυλλου – Ροπή θετική .....	137
3.2.6.3.5. Πλαστική καθολική ανάλυση – Ροπή αρνητική .....	138
3.2.7. Αντίσταση σχεδιασμού φορέα πλάκας σε διαμήκη διάτμηση .....	139
3.2.8. Αντίσταση σχεδιασμού φορέα πλάκας σε κατακόρυφη διάτμηση .....	142
3.3. Αρχές σχεδιασμού σύμμικτων στύλων .....	143
3.3.1. Χαρακτηριστικές μορφές διατομής σύμμικτων στύλων .....	143
3.3.2. Γενικοί κανόνες σχεδιασμού σύμμικτων στύλων κτιρίων .....	146
3.3.2.1. Εισαγωγή .....	146
3.3.2.2. Ταξινόμηση σε Κατηγορίες (Κλάσεις) σύμμικτων στύλων .....	146
3.3.2.3. Αντίσταση στύλου σε αξονική δύναμη και λυγισμό .....	149
3.3.2.3.1. Πλαστική αντίσταση στύλου σε θλίψη πλήρως ή μερικώς εγκιβωτισμένης χαλύβδινης διατομής .....	149
3.3.2.3.2. Πλαστική αντίσταση στύλου σε θλίψη για κυκλικές κοιλοδοκούς πληρωμένες με σκυρόδεμα .....	149
3.3.2.4. Γεωμετρικές και λειτουργικές απαιτήσεις διαμόρφωσης πλήρως εγκιβωτισμένων στύλων διπλού ταυ .....	150
3.3.2.5. Αντίσταση σύμμικτου στύλου σε λυγισμό .....	151
3.3.2.5.1. Έλεγχος στύλου σε λυγισμό .....	151
3.3.2.5.2. Προσδιορισμός ενεργού καμπτικής δυσκαμψίας σύμμικτου στύλου .....	154
3.3.2.6. Αντίσταση σύμμικτου στύλου σε κάμψη .....	154
3.3.2.6.1. Προσδιορισμός ενεργού καμπτικής δυσκαμψίας σύμμικτου στύλου όταν λαμβάνονται υπ' όψιν φαινόμενα β' τάξεως .....	154

3.3.2.6.2. Προσδιορισμός μέγιστης πλαστικής αντίστασης σε κάμψη $\max M_{pl,Rd}$ πλήρως σύμμικτου στύλου .....	156
3.3.2.7. Αντίσταση στύλου σε κάμψη και αξονική θλίψη .....	157
3.3.2.8. Αντίσταση στύλου σε διαμήκη διάτμηση – έλεγχος διατμητικής σύνδεσης χάλυβα - σκυροδέματος .....	162
3.3.2.9. Αντίσταση σύμμικτου στύλου σε οριζόντια διάτμηση .....	167

## Κεφάλαιο 4

169

### Παράδειγμα σχεδιασμού σύμμικτου πατώματος κτιρίου

4.1. Γενικά στοιχεία σχεδιασμού σύμμικτου πατώματος .....	169
4.1.1. Περιγραφή της κατασκευής .....	169
4.1.2. Φορτίσεις σχεδιασμού .....	173
4.1.2.1. Μόνιμες δράσεις .....	173
4.1.2.2. Μεταβλητές δράσεις .....	174
4.1.2.2.1. Κινητό φορτίο πατωμάτων στη φάση κατασκευής .....	174
4.1.2.2.2. Κινητό φορτίο πατωμάτων στη φάση λειτουργίας .....	175
4.1.2.2.3. Φορτίο ανέμου .....	175
4.1.2.2.4. Φορτία θερμοκρασίας .....	175
4.1.2.3. Σεισμική δράση .....	176
4.2. Παράδειγμα διαστασιολόγησης δευτερεύουσας δοκού σύμμικτου πατώματος .....	176
4.2.1. Διαστασιολόγηση τυπικής δευτερεύουσας δοκού ΔΔ σύμμικτου πατώματος .....	176
4.2.2. Προσδιορισμός συνεργαζόμενου πλάτους τυπικής δευτερεύουσας δοκού ΔΔ .....	179
4.2.3. Έλεγχος σχεδιασμού τυπικής δευτερεύουσας δοκού στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α) .....	181
4.2.4. Έλεγχος σχεδιασμού τυπικής δευτερεύουσας δοκού στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	185
4.2.5. Διαστασιολόγηση συνδέσμων διάτμησης τυπικής Δευτερεύουσας .....	189
4.2.6. Διαστασιολόγηση τυπικής δευτερεύουσας δοκού σε κατακόρυφη διάτμηση .....	193
4.3. Παράδειγμα διαστασιολόγησης σύμμικτης κύριας δοκού .....	194
4.3.1. Διαστασιολόγηση σύμμικτης περιμετρικής κύριας δοκού κάθετης στη διεύθυνση των αυλακώσεων (ΚΔΥ1) .....	194
4.3.2. Προσδιορισμός συνεργαζόμενου πλάτους τυπικής κύριας δοκού ΚΔΥ1 .....	197

4.3.3. Έλεγχος σχεδιασμού τυπικής κύριας δοκού ΚΔΥ1 στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α) .....	200
4.3.4. Έλεγχος σχεδιασμού τυπικής κύριας δοκού ΚΔΥ1 στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	203
4.3.5. Διαστασιολόγηση συνδέσμων διάτμησης τυπικής κύριας δοκού ΚΔΥ1 .....	210
4.3.6. Διαστασιολόγηση τυπικής κύριας δοκού ΚΔΥ1 σε κατακόρυφη διάτμηση .....	213
4.3.7. Διαστασιολόγηση σύμμικτης περιμετρικής κύριας δοκού παράλληλης στη διεύθυνση των αυλακώσεων (ΚΔΧ2) .....	214
4.3.8. Προσδιορισμός συνεργαζόμενου πλάτους κύριας δοκού ΚΔΧ2 πατώματος .....	218
4.3.9. Έλεγχος σχεδιασμού κύριων δοκών ΚΔΧ2 πατώματος στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α) .....	220
4.3.10. Έλεγχος σχεδιασμού κύριων δοκών ΚΔΧ2 πατώματος στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) σε κάμψη .....	224
Έλεγχος σύμμικτης δοκού σε αρνητική ροπή στη στήριξη .....	229
4.3.11. Διαστασιολόγηση συνδέσμων διάτμησης κύριων δοκών ΚΔΧ2 πατώματος .....	231
4.3.12. Διαστασιολόγηση κύριων δοκών ΚΔΧ2 πατώματος στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) σε κατακόρυφη διάτμηση .....	235
4.4. Παράδειγμα διαστασιολόγησης σύμμικτης πλάκας από σκυρόδεμα και αυλακωτό χαλυβδόφυλλο .....	236
4.4.1. Έλεγχος σχεδιασμού σύμμικτης πλάκας στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α) .....	236
4.4.1.1. Χαρακτηριστικά αυλακωτού χαλυβδόφυλλου φορέα πλάκας .....	236
4.4.1.2. Φορτία και δράσεις κατασκευής φορέα πλάκας στη φάση κατασκευής (Φάση Α) .....	238
4.4.1.3. Έλεγχος ΟΚΛ πλάκας στη φάση κατασκευής (Φάση Α) .....	239
4.4.1.4. Έλεγχος ΟΚΑ στη φάση κατασκευής (Φάση Α) .....	240
4.4.2. Έλεγχος σχεδιασμού σύμμικτης πλάκας στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	240
4.4.2.1. Φάση λειτουργίας (Φάση Β) .....	240
4.4.2.2. Δράσεις σχεδιασμού στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	241
4.4.2.3. Ελαστική απόκριση σύμμικτης διατομής πλάκας στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	242
4.4.2.4. Έλεγχος σε ΟΚΛ στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	244
4.4.2.5. Έλεγχος σε ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	244

4.4.2.5.1. Έλεγχος πλαστικής απόκρισης σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΑ για θετική ροπή .....	244
4.4.2.5.2. Έλεγχος πλαστικής απόκρισης σύμμικτης πλάκας σε ΟΚΑ για αρνητική ροπή .....	246

## Κεφάλαιο 5

249

### Παράδειγμα σχεδιασμού σύμμικτων στύλων πολυώροφου κτιρίου

5.1. Γενικά στοιχεία .....	249
5.1.1. Περιγραφή της κατασκευής .....	249
5.2. Ανάλυση σχεδιασμού σύμμικτων στύλων κτιρίου .....	249
5.2.1. Περιγραφή του προβλήματος .....	249
5.2.2. Φορτίσεις και φοριστικές καταστάσεις σχεδιασμού .....	252
5.2.2.1. Μόνιμες δράσεις .....	252
5.2.2.2. Μεταβλητές δράσεις .....	254
5.2.2.2.1. Μεταβλητά φορτία πατωμάτων .....	254
5.2.2.2.2. Φορτίο ανέμου .....	254
5.2.2.2.3. Φορτία θερμοκρασίας .....	256
5.2.2.3. Σεισμική δράση .....	256
5.2.2.4. Χαρακτηριστικά στοιχεία κρίσιμων στύλων ελέγχου .....	259
5.2.3. Διαστασιολόγηση κρίσιμων στύλων σύμμικτου πατώματος .....	261
5.2.3.1. Δράσεις κρίσιμων στύλων ελέγχου Σ2 και Σ7 .....	261
5.2.3.2. Συνδυασμοί δράσεων κρίσιμων στύλων ελέγχου Σ2 και Σ7 .....	264
5.2.3.3. Έλεγχος επάρκειας διατομής σύμμικτων στύλων .....	266
5.2.3.4. Προσδιορισμός της χαρακτηριστική τιμή της ενεργού καμπτικής δυσκαμψίας του σύμμικτου στύλου .....	268
5.3. Έλεγχος σύμμικτων στύλων σε λυγισμό και κάμψη .....	269
5.3.1. Έλεγχος σύμμικτων στύλων σε λυγισμό .....	269
5.3.2. Έλεγχος σύμμικτων στύλων σε κάμψη .....	271
5.3.3. Έλεγχος σύμμικτων στύλων σε κάμψη και αξονική θλίψη .....	272
5.4. Έλεγχος σύμμικτων στύλων σε διάτμηση .....	275
5.4.1. Έλεγχος σύμμικτων στύλων σε διαμήκη διάτμηση .....	275
5.4.2. Έλεγχος σύμμικτων στύλων σε οριζόντια διάτμηση .....	278

**Κεφάλαιο 6**

281

**Παράδειγμα σχεδιασμού σύμμικτου καταστρώματος γέφυρας  
μορφής πλακοδοκού**

6.1. Περιγραφή της κατασκευής .....	281
6.2. Φορτίσεις και φορτιστικές καταστάσεις σχεδιασμού .....	287
6.2.1. Μόνιμες δράσεις .....	287
6.2.2. Ερπυσμός και συστολή ξήρανσης .....	287
6.2.2.1. Δράση ερπυσμού .....	287
6.2.2.2. Δράση συστολής ξήρανσης .....	288
6.2.3. Μεταβλητές δράσεις καταστρώματος γέφυρας .....	289
6.2.3.1. Κινητά φορτία καταστρώματος γέφυρας .....	289
6.2.3.1.1. Κινητά φορτία στη φάση κατασκευής .....	289
6.2.3.1.2. Κινητά φορτία κυκλοφορίας .....	289
6.2.3.2. Φορτία ανέμου καταστρώματος γέφυρας .....	292
6.2.3.2.1. Φορτίο ανέμου στην εγκάρσια διεύθυνση Y .....	293
6.2.3.2.2. Φορτίο ανέμου στην κατακόρυφη διεύθυνση Z .....	293
6.2.2.2.3. Φορτίο ανέμου στην διαμήκη διεύθυνση X .....	293
6.2.3.3. Φορτία θερμοκρασίας καταστρώματος γέφυρας .....	293
6.2.4. Σεισμική δράση .....	297
6.2.5. Οριακές καταστάσεις σχεδιασμού φορέα γέφυρας .....	298
6.2.5.1. Οριακές καταστάσεις σχεδιασμού στη φάση κατασκευής (Φάση A) .....	298
6.2.5.1.1. Φάση Κατασκευής (Φάση A) – Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας .....	299
6.2.5.1.2. Φάση Κατασκευής (Φάση A) – Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας .....	299
6.2.5.2. Οριακές καταστάσεις σχεδιασμού στη φάση λειτουργίας (Φάση B) .....	300
6.2.5.2.1. Φάση Λειτουργίας (Φάση B) – Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας .....	303
6.2.5.2.2. Φάση Λειτουργίας (Φάση B) – Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας .....	304
6.2.5.3. Εντατική κατάσταση φορέα κύριας δοκού για μοναδιαία φορτία ...	306
6.2.5.3.1. Στατική επίλυση συνεχούς δοκού υπό ομοιόμορφο μονα- διαίο φορτίο .....	306
6.2.5.3.2. Στατική επίλυση συνεχούς δοκού υπό 2 συγκεντρωμένα φορτία .....	307
6.3. Ανάλυση διαστασιολόγησης σύμμικτων κύριων δοκών καταστρώματος ...	308

6.3.1. Προσδιορισμός γεωμετρικών και αδρανειακών χαρακτηριστικών σύνθετης συγκολλητής κύριας δοκού (ΚΔ) .....	308
6.3.2. Προσδιορισμός συνεργαζόμενου πλάτους κύριων δοκών Καταστρώματος .....	310
6.3.2.1. Συνεργαζόμενο πλάτος ακραίας κύριας δοκού .....	310
6.3.2.2. Συνεργαζόμενο πλάτος εσωτερικής κύριας δοκού .....	314
6.3.3. Έλεγχος κύριων δοκών καταστρώματος στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α) .....	317
6.3.3.1. Έλεγχος κατηγορίας δοκού .....	318
6.3.3.2. Έλεγχος ΟΚΑ στη φάση κατασκευής (Φάση Α) .....	318
6.3.3.3. Έλεγχος ΟΚΑ στη φάση κατασκευής (Φάση Α) .....	319
6.3.4. Έλεγχος κύριων δοκών καταστρώματος στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β) .....	321
6.3.4.1. Ελαστική απόκριση σύμμικτης δοκού καταστρώματος .....	321
6.3.4.2. Έλεγχος ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας (Φάση Β) .....	326
6.3.4.3. Έλεγχος ΟΚΑ στη φάση λειτουργίας (Φάση Β) .....	327
6.3.4.3.1. Έλεγχος σύμμικτης δοκού για μέγιστη θετική ροπή στο άνοιγμα .....	327
6.3.4.3.2. Έλεγχος σύμμικτης δοκού σε αρνητική ροπή στη στήριξη .....	328
6.3.4.3.3. Διαστασιολόγηση τυπικής κύριας δοκού γέφυρας σε κατακόρυφη διάτμηση .....	328
6.3.5. Διαστασιολόγηση διατμητικών συνδέσμων κύριων δοκών καταστρώματος .....	329
6.3.6. Έλεγχος διαστασιολόγησης έγχυτης πλάκας καταστρώματος .....	331
6.3.6.1. Έλεγχος τάσεων πλάκας στην εγκάρσια διεύθυνση .....	331
6.3.6.2. Έλεγχος χάλυβα οπλισμού πλάκας (εγκάρσια διεύθυνση) .....	333
6.3.6.3. Έλεγχος χάλυβα οπλισμού πλάκας (διαμήκης διεύθυνση) .....	334

## Παράρτημα

### Α Παράρτημα

Ενδεικτικές μορφές λεπτομέρειας εξωτερικού κελύφους σύμμικτων κτιρίων .....	336
---	-----

### Β Παράρτημα

Βοηθητικοί πίνακες προσδιορισμού αντίστασης κοχλίων σε διάτμηση και εφελκυσμό .....	342
---	-----

### Γ Παράρτημα

Διαγράμματα εντατικών μεγεθών και βυθίσεων τυπικών χαλύβδινων δοκών ...	345
---	-----

Γ.1. Διαγράμματα εντατικών μεγεθών και βυθίσεων τυπικών ισοστατικών δοκών .....	345
Γ.2. Διαγράμματα εντατικών μεγεθών και βυθίσεων τυπικών υπερστατικών δοκών .....	350
<b>Δ Παράρτημα</b>	
Διαγράμματα εντατικών μεγεθών και βυθίσεων τυπικών χαλύβδινων δοκών ...	356
Δ.1. Καμπύλες ατελειών λυγισμού, γενική περίπτωση (καμπύλες a, b, c και d) .....	356
Δ.2. Καμπύλες ατελειών στρεπτοκαμπτικού (πλευρικού) λυγισμού aLT (a, b, c και d) για ελατές ή ισοδύναμες συγκολλητές διατομές .....	364
Δ.3. Συντελεστές C1, C2 και C3 μορφής διαγράμματος ροπής για τον υπολογισμό της κρίσιμης ροπής στρέβλωσης .....	372
<b>Ε Παράρτημα</b>	
Πίνακες προσδιορισμού κατηγορίας και χαρακτηριστικών πρότυπων ελατών χαλύβδινων διατομών .....	374
E.1. Πίνακας κριτηρίων κατάταξη κατηγορίας διατομών .....	374
E.2. Πίνακες προσδιορισμού κατηγορίας (κλάσης) πρότυπων ελατών χαλύβδινων διατομών .....	375
E.3. Πίνακες προσδιορισμού Κατηγορίας (Κλάσης) ελατών χαλύβδινων διατομών .....	375
<b>Βιβλιογραφία</b>	
A. Ελληνική Βιβλιογραφία .....	405
B. Διεθνής Βιβλιογραφία .....	407
Γ. Δικτυογραφία .....	409
<b>Ευρετήριο όρων</b>	411

## Εισαγωγή

Στη μηχανική των κατασκευών σύμμικτη θεωρείται μια φέρουσα κατασκευή η οποία αποτελείται από περισσότερο από ένα υλικά δόμησης του φέροντα οργανισμού, συνδεδεμένα και αλληλεξαρτώμενα μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποτελούν στην πράξη ένα φορέα που λειτουργεί ως ενιαίο δομικό σύστημα. Η πλέον διαδεδομένη σύμμικτη κατασκευή είναι αυτή η οποία διαμορφώνεται με τη σύνδεση στοιχείων δομικού χάλυβα και οπλισμένου σκυροδέματος. Η γνώση και η χρήση των δυο αυτών δομικών υλικών δημιούργησε την ιδέα της διαμόρφωσης σύνθετων μελών με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτει βέλτιστη εκμετάλλευση των ιδιοτήτων τους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι σε άλλες περιπτώσεις όπως θα φανεί στα επόμενα κεφάλαια η σύμμικτη σύνδεση ενός χαλύβδινου μέλους αυξάνει την αντοχή και τις ιδιότητες ενός στοιχείου σκυροδέματος, ενώ σε άλλες η ενίσχυση ενός ισχυρού χαλύβδινου μέλους με σκυρόδεμα σε σύμμικτη σύνδεση περιορίζει τις αδυναμίες της διατομής του, αυξάνοντας την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα της κατασκευής.

Η επιλογή σύμμικτης κατασκευής από χάλυβα και σκυρόδεμα γίνεται με στόχο την αύξηση της αντοχής και της ταχύτητας ανέγερσης, με ταυτόχρονη μείωση του κόστους κατασκευής. Επίσης μια τέτοια επιλογή μπορεί να επιτρέψει μεγαλύτερες διαστάσεις μελών σε μια κατασκευής τόσο καθ' ύψος όσο και κατά πλάτος, και να συμβάλει με τον τρόπο αυτό στην υλοποίηση καινοτόμων ιδεών αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και αισθητικής. Επιπρόσθετα, η ικανοποίηση των κριτηρίων αιεφόρου σχεδιασμού καθίσταται στην περίπτωση των σύμμικτων κατασκευών πιο ευκολότερα εφικτή. Αυτό ισχύει, καθώς αυτές εμπεριέχουν για την ανάληψη των ιδιαίτερα σημαντικών εφελκυστικών τάσεων στα μέλη του φέροντος οργανισμού, χαλύβδινα μέλη, των οποίων η δόμηση πραγματοποιείται σε ελεγχόμενο ποιοτικά περιβάλλον με τη μέθοδο της προκατασκευής.



Το παρόν σύγγραμμα έχει ως κύριο στόχο να παρουσιάσει με πρακτικό τρόπο τη μεθοδολογία σχεδιασμού σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα εντός του υπολογιστικού πλαισίου του Ευρωκώδικα 4 και των λοιπών Ευρωκωδίκων καθώς ο πρώτος συνδυάζεται με τις αρχές και τις απαιτήσεις για αντοχή και λειτουργικότητα των υπολοίπων Ευρωκωδίκων και κυρίως του Ευρωκώδικα 0 – Βάσεις σχεδιασμού κατασκευών. Τα κεντρικό τμήμα του Ευρωκώδικα 4 είναι ο Ευρωκώδικας 4 Μέρος 1-1 [19], που περιγράφει τους γενικούς κανόνες σχεδιασμού για σύμμικτες κατασκευές με έμφαση στις κτιριακές κατασκευές. Ιδιαίτερο τμήμα αποτελεί ο Ευρωκώδικας 4 Μέρος 1-2 [20], που περιγράφει τους κανόνες σχεδιασμού για σύμμικτες κατασκευές σε περίπτωση πυρκαγιάς, που είναι εξίσου σημαντικός, αλλά λεπτομέρειες του σχεδιασμού αυτού δεν παρατίθενται στο βιβλίο αυτό. Ταυτόχρονα οι κανόνες σχεδιασμού σύμμικτων φορέων γεφυρών παρουσιάζονται στον Ευρωκώδικα 4 Μέρος 2 [21].

Ειδικότερα, στο βιβλίο αυτό μετά τα εισαγωγικά στοιχεία που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 1, παρατίθενται στο Κεφάλαιο 2 με συνοπτικό αλλά περιεκτικό τρόπο οι αρχές ανάλυσης σύμμικτων κατασκευών, περιγράφονται οι βασικές ιδιότητες των συνεργαζόμενων υλικών και μερών και αναλύονται οι κύριες δράσεις που απαιτούνται να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό τους. Ακολούθως στο Κεφάλαιο 3 επιχειρείται μια αναλυτική παρουσίαση και περιγραφή των αρχών και κανόνων σχεδιασμού σύμμικτων κατασκευών στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 4, ενώ στη συνέχεια έχοντας ήδη εξηγηθεί το θεωρητικό υπόβαθρο και οι αρχές σχεδιασμού, παρουσιάζονται συγκεκριμένα ζητήματα σχεδιασμού σύμμικτων μελών κατασκευών όπως η σύμμικτη δοκός, ο στύλος και η πλάκα αντίστοιχα. Στη συνέχεια, στα Κεφάλαια 4 και 5 παρουσιάζονται αντίστοιχα η ανάλυση ενός τυπικού χαλύβδινου σύμμικτου πατώματος πολυόροφου κτιρίου καθώς επίσης και η ανάλυση και διαστασιολόγηση τυπικών σύμμικτων στύλων του ίδιου κτιριακού φορέα. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται και αναλύεται το παράδειγμα σύμμικτου καταστρώματος οδικής γέφυρας τριών ανοιγμάτων μορφής πλακοδοκού η οποία αποτελείται από συγκολλητές χαλύβδινες υψίκορμες δοκούς τοποθετημένες σε σταθερές αποστάσεις μεταξύ τους και έγχυτη πλάκα καταστρώματος. Σε όλες τις περιπτώσεις των παραδειγμάτων η μορφή του φορέα και η ανάλυση είναι η στοιχειώδης αφού αφορά κυρίως φορείς όπου τα μέλη από δομικό χάλυβα έχουν τη μορφή ολόσωμης ή συγκολλητής σύνθετης δοκού διπλού ταυ. Έτσι δεν επεκτείνεται σε άλλες περιπτώσεις σχεδιασμού οι οποίες αφορούν κυρίως γέφυρες, όπου το μέλος του φορέα από δομικό χάλυβα διαμορφώνεται ως κιβώτιο με στοιχεία χαλύβδινου κελύφους ενισχυμένου με νευρώσεις ή άλλες ειδικές διατάξεις. Η ανάλυση σχεδιασμού όπως παρατίθεται στο βιβλίο στοχεύει στο να γίνει έναυσμα για κάθε μηχανικό που θα ήθελε να μελετήσει ώστε να κάνει κτήμα του τον σχεδιασμό τέτοιων φορέων στο πλαίσιο των Ευρωκωδίκων.

Σημειώνεται ότι η μεθοδολογία που παρουσιάζεται αφορά κυρίως στο σχεδιασμό των μελών και όχι των συνδέσεων τους το οποίο αποτελεί θέμα εξίσου σημαντικό για τη λειτουργία και την αξιοπιστία του φορέα. Ιδιαίτερα στην περίπτωση των σύμμικτων κατασκευών, όπου κυρίαρχο δομικό σύστημα είναι ο χάλυβας και η δόμηση πραγματοποιείται με τη μέθοδο της προκατασκευής, οι συνδέσεις σύμμικτων φορέων σχεδιάζονται όπως αναλύονται και περιγράφονται στον EN1993-1-8 και τις διατάξεις του EN1998-1-1 [22]. Στις περιπτώσεις όμως στις οποίες υπάρχουν κρίσιμα ζητήματα καθώς ο σχεδιασμός των κόμβων του φορέα επηρεάζεται από τη σύμμικτη λειτουργία, θα γίνεται συγκεκριμένη αναφορά. Πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι στο βιβλίο σημαντικά κεφάλαια του σχεδιασμού όπως είναι ο έλεγχος και η συμπεριφορά σε κόπωση αλλά και η αντίσταση των μελών σε φωτιά (όπως αναφέρθηκε ήδη), δεν περιέχονται και αναλύονται. Όσο δε αφορά στην περίπτωση του αντισεισμικού υπολογισμού των σύμμικτων κατασκευών, γίνεται συνοπτική παρουσίασή του, με χρήση στο παράδειγμα του κεφαλαίου 5, της ισοδύναμης στατικής μεθόδου μόνο για τον αρχικό έλεγχο της διατομής σύμμικτου στύλου και χωρίς αναλυτικό δυναμικό υπολογισμό του φορέα.

Τονίζεται στο σημείο αυτό ότι η ανάγνωση και χρήση του βιβλίου αυτού δεν υποκαθιστά σε καμιά περίπτωση την ανάγκη συνεχούς αναζήτησης και εντρυφήσης στα κείμενα των προτύπων κανονισμών των Ευρωκωδίκων, των Εθνικών Κειμένων Εφαρμογής και Εθνικών Προσαρτημάτων τους, όπως αυτά εκδόθηκαν για την Ελλάδα. Όμως η μελέτη και η χρήση του συγγράμματος αυτού, στοχεύει στο να εξοπλίσει τον φοιτητή, τον ερευνητή και τον μηχανικό με κριτική σχετική γνώση ώστε να είναι ικανός να κατανοήσει ευκολότερα τα επιτάγματα των κανονισμών και να τα εφαρμόσει με σωστό τρόπο στο σχεδιασμό σύμμικτων κατασκευών.

Σημειώνεται επίσης ότι οι περιπτώσεις και οι μορφές των κατασκευών που παρουσιάζονται δεν αποτελούν καθ' οιονδήποτε τρόπο πρότυπα κατασκευής, καθώς κάτι τέτοιο θα ακύρωνε το ρόλο του μηχανικού στο σχεδιασμό ενός έργου. Απλώς χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη διαδικασία, τη μεθοδολογία και την ανάλυση που απαιτείται να γίνεται προκειμένου να υλοποιηθεί ασφαλώς και επιτυχώς ο σχεδιασμός μιας σύμμικτης κατασκευής. Επομένως, στις μελέτες τεχνικών έργων, ο μηχανικός οφείλει να χρησιμοποιεί τις διατάξεις, τους πίνακες και τα διαγράμματα των Ευρωκωδίκων, ενώ το περιεχόμενο του βιβλίου, τα σχήματα και οι πίνακες του πρέπει να χρησιμοποιούνται κυρίως συμβουλευτικά ως προς τα εν λόγω πρότυπα και ιδιαίτερα η χρήση τους να γίνεται για διδακτικούς σκοπούς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## Ανάλυση λειτουργίας, δομικά χαρακτηριστικά και φορτία σχεδιασμού σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα

### 2.1 Ανάλυση σύμμικτης λειτουργίας δομικών στοιχείων

#### 2.1.1 Σύμμικτη λειτουργία διατομής από χάλυβα και σκυρόδεμα

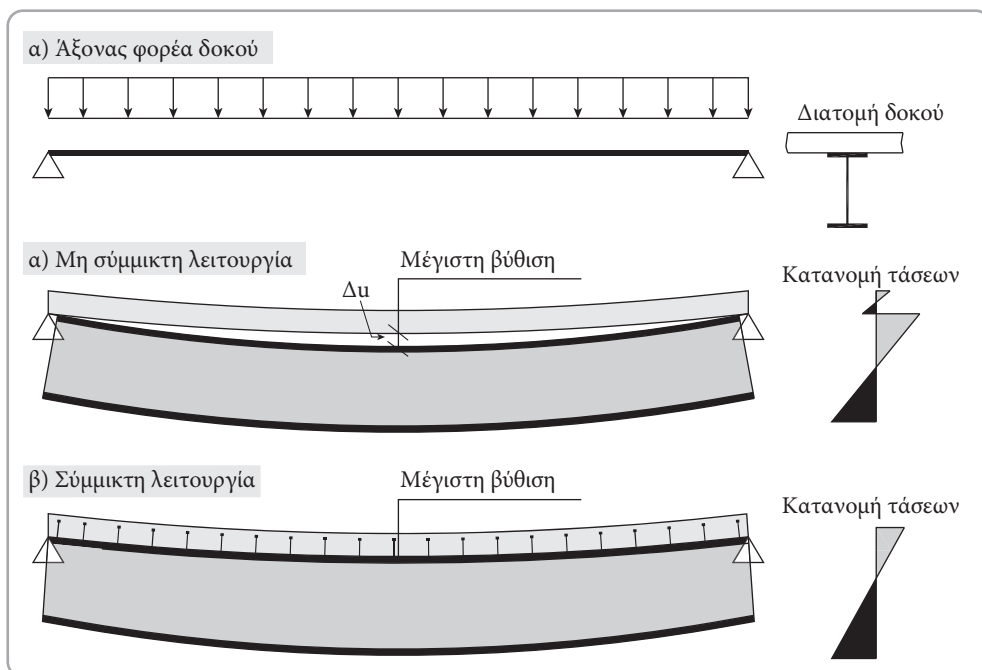
Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα δόμησης κτιρίων και κατασκευών περιλαμβάνουν τη χρήση χαλύβδινων στοιχείων σε συνεργασία με οπλισμένο σκυρόδεμα, ώστε στα μέλη τους να προκύπτει ουσιαστικά μια νέα διατομή. Η διατομή αυτή αξιοποιεί με τον καλύτερο τρόπο τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα των δύο υλικών, χάλυβα και σκυροδέματος, μέσω της σύμμικτης λειτουργίας τους. Με τον τρόπο αυτόν, σε μια σύμμικτη κατασκευή οι ιδιότητες κάθε υλικού μπορούν να συνδυαστούν με βέλτιστο τρόπο προκειμένου να σχηματιστεί ένα ενιαίο σύνολο που δομικά να αποκρίνεται καλύτερα από ότι ξεχωριστά τα συστατικά μέρη του. Ως υλικό, το σκυρόδεμα διαθέτει ανάλογα με την ποιότητά του μεγάλη θλιπτική φέρουσα ικανότητα χωρίς εμφάνιση μεγάλων παραμορφώσεων, ταυτόχρονα όμως έχει σχετικά μικρή αντίσταση σε εφελκυσμό. Η παρουσία χάλυβα ως οπλισμού εντός της διατομής του σκυροδέματος καλύπτει μεν αυτή την αδυναμία, αλλά στην περίπτωση αυτή, για να αποκριθεί αποτελεσματικά το δομικό μέλος απαιτείται αυξημένη ροπή αδράνειας, και επομένως αυξημένο βάρος. Το βάρος αυτό όμως γίνεται απαγορευτικό για τη δόμηση όταν αυξάνονται οι όροφοι του κτιρίου ή όταν αυξάνεται το ελεύθερο άνοιγμα του φορέα. Από την άλλη μεριά ο δομικός χά-

λυβας εξαιτίας του υψηλού μέτρου ελαστικότητας [ $E = 210000 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$ ], αλλά και της ολκιμότητας που διαθέτει, έχει την ικανότητα να αναλάβει μεγάλο εφελκυστικό φορτίο χωρίς να παραμορφωθεί, όμως αντίστοιχα η αντοχή του σε θλίψη απομειώνεται σημαντικά εξαιτίας των φαινομένων λυγισμού.

### 2.1.2 Διατμητική σύνδεση σύμμικτων στοιχείων

Απαραίτητη συνθήκη για να ονομάζεται ένα δομικό μέλος με τμήματα από χάλυβα και σκυρόδεμα «σύμμικτο», είναι τα τμήματα αυτά να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω διατμητικής σύνδεσης (βλ. Σχ. 2.1.1). Αν δύο σώματα τοποθετηθούν έτσι ώστε να έχουν μεταξύ τους κοινή επιφάνεια επαφής και ασκηθεί σε αυτά αξονική δύναμη με αντίθετο πρόσημο, τότε η μόνη δύναμη που τα συγκρατεί αντιστοιχεί στις διαμήκεις διατμητικές τάσεις συνάφειας στη διεπιφάνεια των σωμάτων που τείνουν να ολισθήσουν.

Επιπλέον στην περίπτωση που το μέλος υπόκειται και σε κάμψη πέραν της αξονικής δύναμης, τότε ταυτόχρονα με την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων προκαλείται και παραμόρφωση της διατομής, με αποτέλεσμα οι επιφάνειες επαφής των επιμέρους



Σχήμα 2.1.1. Σύμμικτη και μη-σύμμικτη λειτουργία δοκού από χάλυβα και σκυρόδεμα.

σωμάτων να τείνουν να απομακρυνθούν μεταξύ τους (βλ. Σχ. 2.1.1). Για τους λόγους αυτούς προκειμένου να χαρακτηριστεί ένα δομικό μέλος ως σύμμικτο, θα πρέπει η διαμήκης διατμητική σύνδεση να εξασφαλίζεται με μηχανικά μέσα, και όχι με δυνάμεις τριβής. Στην περίπτωση της διαμόρφωσης στοιχείου με ενιαία χαρακτηριστικά από τμήματα από χάλυβα και σκυρόδεμα, η διαμήκης διατμητική σύνδεση με διατμητικούς ήλους κεφαλής ή άλλα μηχανικά μέσα εξασφαλίζει το στοιχείο από τη σχετική ολισθήση στη διεπιφάνεια των στοιχείων. Ταυτόχρονα περιορίζει την παραμόρφωσή του ώστε να διατηρούνται οι διατομές σε επαφή και να παρεμποδίζεται ο διαχωρισμός τους.

Οι διατμητικοί σύνδεσμοι πρέπει να είναι ικανοί να παρεμποδίζουν τον διαχωρισμό του σκυροδέματος από το χάλυβινο μέλος. Στην ικανότητα αυτή δεν πρέπει να συνεκτιμάται η επίδραση της φυσικής συνάφειας στη διεπιφάνεια μεταξύ των δυο υλικών που ούτως ή άλλως είναι σχετικά μικρή εξαιτίας της λείας επιφανειακής διαμόρφωσης του χάλυβα.

Η διατμητική σύνδεση επομένως και συνακόλουθα, η σύμμικτη συμπεριφορά του δομικού μέλους, ενεργοποιείται αφενός όταν το σκυρόδεμα σκληρυνθεί και αφετέρου όταν τα δύο τμήματά του, αυτό από χάλυβα και το έτερο από σκυρόδεμα, μπορούν να αναλάβουν πλήρως τα φορτία που δέχονται. Τυπικό παράδειγμα σύμμικτης δομικής συμπεριφοράς αποτελεί η περίπτωση των κύριων σύμμικτων δοκών πατωμάτων και γεφυρών όπου στα ανοίγματα αναπτύσσονται θετικές ροπές λόγω των καμπτικών φορτίων, ενώ ταυτόχρονα η πλάκα εξασφαλίζει πλευρικά το θλιβόμενο πέλμα στην περίπτωση χαλύβδινης δοκού μορφής διπλού ταυ έναντι εμφάνισης ανεπιθύμητων φαινομένων στρεπτοκαμπτικού λυγισμού (στρέβλωσης).

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κυριότερα λειτουργικά πλεονεκτήματα που προσθέτει η παρουσία οπλισμένου σκυροδέματος σε μια χάλυβινη κατασκευή είναι η δημιουργία στιβαρών πατωμάτων μεγάλου ελεύθερου ανοίγματος, η προστασία του χάλυβα από επιδράσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος και η ευελιξία στην αρχιτεκτονική διαμόρφωση.

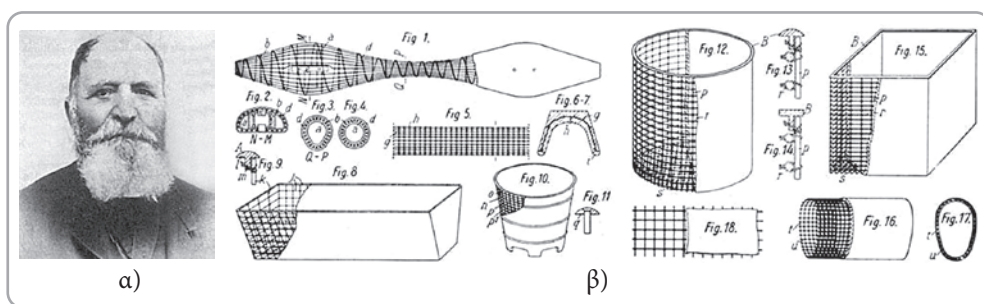
Ταυτόχρονα προκύπτουν και πλεονεκτήματα μεγαλύτερης αξιοπιστίας της κατασκευής από την αυξημένη φέρουσα ικανότητα που διαθέτει ο σύμμικτος τρόπος δόμησης.

### 2.1.3 Ιστορία και εξέλιξη των σύμμικτων κατασκευών

Η ιστορία των σύμμικτων κατασκευών συμβαδίζει περίπου με την ιστορία εξέλιξης των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος και χάλυβα στα κτίρια και τις υποδομές [26], [49].

Οι πρώτες κατασκευές στις οποίες εμφανίζεται να χρησιμοποιείται από κοινού χάλυβας και σκυρόδεμα προηγήθηκαν της εμφάνισης των ράβδων οπλισμού στο σκυρόδεμα και εντοπίζονται στην περίοδο 1850-1900.

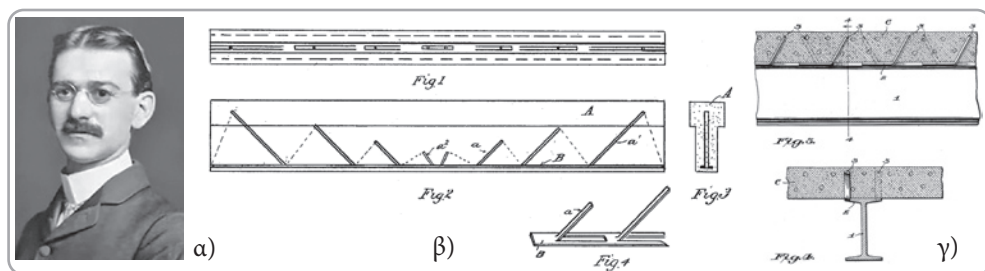
Το έτος 1867 στην Έκθεση στο Παρίσι (Paris Exposition 1867), ο Joseph Monier (βλ. Σχ. 2.1.2α) παρουσίασε μια νέα διαμόρφωση δοχείων υποδοχής φυτών και δεξαμενών νερού από σκυρόδεμα με εγκιβωτισμένες στο εσωτερικό τους χαλύβδινες ράβδους (βλ. Σχ. 2.1.2β) [64]. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1878, ο ίδιος εξέλιξε τη μέθοδό του εγκιβωτίζοντας στο σκυρόδεμα χαλύβδινους σιδηροδρομικούς στρωτήρες διαμορφώνοντας γέφυρες και άλλους αντίστοιχους φορείς. Τα επόμενα χρόνια προτάθηκαν πολλές άλλες αντίστοιχες ιδέες σχεδιασμού οι οποίες στην πραγματικότητα ανέπτυξαν την τεχνική του οπλισμένου σκυροδέματος καθώς περιλάμβαναν μια σχετικά πυκνή τοποθέτηση χαλύβδινων δοκών και την πλήρωση του ενδιάμεσου διάκενου με σκυρόδεμα, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις η κάτω παρειά καλύπτονταν από χαλύβδινο έλασμα που στην ουσία λειτουργούσε ως ξυλότυπος.



Σχήμα 2.1.2. α) Πορτραίτο του Joseph Monier [1823-1906] β) αντίγραφο των πρώτων σχεδίων εγκιβωτισμένων ράβδων οπλισμού σε σκυρόδεμα.

Ακολούθως και παράλληλα με την εξέλιξη της βιομηχανικής επανάστασης, ξεκίνησε στις ΗΠΑ με αφετηρία κυρίως το Σικάγο στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα η διαμόρφωση φέροντος οργανισμού κατασκευών από χαλύβδινα στοιχεία που ήταν ενσωματωμένα ή συνδεδεμένα με κάποιο τρόπο στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Σημαντικοί ερευνητές όπως ο Julius Kahn [65] (βλ. Σχ. 2.1.3α) επικέντρωσε την διερεύνησή του στα προβλήματα που παρατηρήθηκαν στα πειράματα ενίσχυσης σκυροδέματος με χυτοσιδηρά στοιχεία και ιδιαίτερα, στην ολίσθηση του σιδήρου στη διεπιφάνεια με το σκυρόδεμα. Ο Kahn πειραματίστηκε και ανέπτυξε ένα νέο ενισχυμένο σύστημα δοκού από σκυρόδεμα, όπου στην εφελκόμενη πλευρά του τοποθετούνταν μια ελατή χυτοσιδηρά ράβδος από την οποία εξέρχονταν σε πυκνές διακριτές θέσεις διαγώνια κυλινδρικά “φτερά” διατεταγμένα αντισυμμετρικά σε σχέση με το μέσον της (βλ. Σχ. 2.1.3β). Με βάση αυτή την έρευνα, ο ίδιος προχώρησε τη συγκεκριμένη τεχνική

με εξωτερική τοποθέτηση του χάλυβα ως προς την διατομή του σκυροδέματος και παράλληλα εξέλιξε της διατμητική σύνδεσή του με την πλάκα σκυροδέματος (βλ. Σχ. 2.1.3γ).



**Σχήμα 2.1.3.** α) Πορτραίτο του Julius Kahn [1874-1942], β) σχέδιο εσωτερικής σύνδεσης σιδηρών ράβδων και σκυροδέματος και γ) σχέδιο αρχικής ιδέας σύμμικτης διαμόρφωσης.

Ταυτόχρονα με αφορμή το γεγονός ότι τα πρώτα ψηλά κτίρια που κατασκευάστηκαν με σκελετό από χυτοσίδηρο παρουσίαζαν ευαισθησία στη φωτιά, προτάθηκε ο εγκιβωτισμός του μετάλλου σε σκυρόδεμα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η σύμμικτη λύση να επεκταθεί από την έως τότε γνωστή περίπτωση των δοκών, σε αυτή των στύλων καθώς έτσι αυξάνονταν σημαντικά η αντοχή του φέροντος οργανισμού σε φωτιά. Πρέπει όμως να σημειωθεί εδώ, ότι η συγκεκριμένη τεχνική που χρησιμοποιείται και σήμερα ως μέθοδος πυροπροστασίας, πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη περίσκεψη σε συνδυασμό με όλα τα άλλα συστήματα παθητικής και ενεργητικής πυροπροστασίας του κτιρίου. Αντίστοιχες έρευνες και τεχνικές εξελίχθηκαν παράλληλα στη Γαλλία, τη Γερμανία και αλλού με έμφαση όμως κυρίως στην εξέλιξη της μεθόδου και την εφαρμογή της στη γεφυροποιία.

Ιδιαίτερα μετά το 1940 η τάση διαμόρφωσης όλο και πιο ψηλών κτιρίων διεθνώς, αλλά και η απαίτηση για αυξημένη δυσκαμψία των φορέων των γεφυρών μεγάλου ανοίγματος οδήγησε στην ανάπτυξη της έρευνας και σε διαμόρφωση προηγμένων θεωριών βάσει των οποίων μπορεί να λειτουργεί ο φέροντας οργανισμός μιας σύμμικτης κατασκευής. Το 1944 δημοσιεύτηκαν για πρώτη φορά οδηγίες και πρότυπα σχεδιασμού σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα (American Association of State Highway Officials (AASHO)). Αντίστοιχα στη Γερμανία και στο πλαίσιο της ανακατασκευής μεγάλου μέρους της υποδομής της μετά τον 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο διαμορφώθηκαν το 1955 οι Οδηγίες DIN1078 (σύμμικτες δοκοί από χάλυβα και σκυρόδεμα) και το 1956 οι Οδηγίες DIN4239 (σύμμικτες δοκοί σε κτίρια).

Τα τελευταία χρόνια στο πλαίσιο των Ευρωκωδίκων διαμορφώθηκε ο Ευρωκώδικας 4 «Σχεδιασμός Σύμμικτων Κατασκευών» με ισχύ σε όλες τις χώρες της Ευρω-

παίκης Ένωσης για τον σχεδιασμό σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα [19], [20], [21].

Σήμερα οι κατασκευές με σύμμικτη λειτουργία (βλ. Σχ. 2.1.4) καταλαμβάνουν διακριτή θέση στην κατασκευαστική βιομηχανία με όλο και πιο τολμηρές μορφές και πατέντες.



Σχήμα 2.1.4. Άποψη από τη φάση ανέγερσης σύμμικτου πολυώροφου κτιρίου.

Με δεδομένο ότι ο χαλύβδινος φορέας μπορεί να λειτουργεί και ως ικρίωμα, **θεώρηση μη υποστυλωμένου φορέα**, οδηγεί σε σχεδιασμό που πλεονεκτεί σημαντικά τόσο στα ψηλά κτίρια, όσο και στην περίπτωση γεφυρών πάνω από μεγάλα εμπόδια όπως κανάλια ή οδικές αρτηρίες σε κυκλοφορία. Αντίθετα στην περίπτωση που απαιτείται περιορισμός των διαστάσεων των χαλύβδινων μελών στήριξης της κατασκευής στη φάση σκυροδέτησης, είναι εφικτό να επιλεγεί η διαμόρφωση **υποστυλωμένου φορέα**, οπότε ο έλεγχος των διατομών αφορά τις ενιαίες σύμμικτες διατομές αφού σκληρυνθεί το σκυρόδεμα. Στην περίπτωση μη υποστυλωμένου φορέα η ανεπιθύμητη βύθιση που θα παραμείνει για πάντα, (αφού προέρχεται από τα μόνιμα φορτία του νωπού σκυροδέματος), μπορεί να αποφευχθεί με την εφαρμογή προκαμπύλωσης, δηλαδή αρνητικού βέλους κάμψης στο άνοιγμα της δοκού (βλ. Σχ. 2.4.1). Με τη λύση αυτή αποφεύγονται τόσο τα αναπτυσσόμενα βέλη κάμψης στη φάση κατασκευής, όσο και η μεταφορά και τοποθέτηση ικριωμάτων που θα



μπορούσε να είναι απαγορευτική για τη θέση κατασκευής. Σημειώνεται ότι στα παραδείγματα που παρουσιάζονται στα Κεφάλαια 4, 5 και 6, η ανάλυση αφορά σε όλες τις περιπτώσεις σε μη υποστυλωμένο φορέα, με υπολογισμό και συνεκτίμηση όμως του αναπτυσσόμενου βέλους (βύθισης) του φορέα πατώματος σε Ο.Κ.Λ.



Σχήμα 2.1.5. Άποψη της νέας σύμμικτης γέφυρας στη διώρυγα της Νέας Ποτίδαιας Χαλκιδικής.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα μη υποστυλωμένης σύμμικτης κατασκευής είναι η ήδη κατασκευασμένη σύμμικτη γέφυρα τριών ανοιγμάτων που φέρει τον αριστερό κλάδο του αυτοκινητόδρομου πάνω από το κανάλι της Ποτίδαιας στη Χαλκιδική (βλ. Σχ. 2.1.5). Η λύση που επελέγη απέφυγε τελείως τα ικριώματα στο κανάλι και την ευαίσθητη περιβαλλοντικά περιοχή, ενώ βρίσκεται σε αρμονία και με την παλαιότερη γέφυρα της υφιστάμενης οδού, που κάλυψε τον δεξιό κλάδο της οδικής αρτηρίας και είναι από προεντεταμένο σκυρόδεμα.

## 2.1.4 Περιγραφή λειτουργίας σύμμικτων δομικών στοιχείων

### 2.1.4.1. Λειτουργία σύμμικτου μέλους

Τα σύμμικτα δομικά στοιχεία που μπορούν να προκύψουν με διατμητική σύνδεση και συνεργασία χάλυβα και οπλισμένου σκυροδέματος είναι κατά κύριο λόγο τα μέλη μιας φέρουσας κατασκευής της οποίας ο σκελετός, αλλά και οι κόμβοι είναι από χάλυβα (βλ. Σχ. 2.1.6).



Σχήμα 2.1.6. Τυπική διάταξη σκελετού από χάλυβα σε σύμμικτο κτίριο.

Η διαμόρφωση και η συμπεριφορά των κόμβων στην περίπτωση μιας σύμμικτης κατασκευής είναι ζήτημα που ανάγεται στον αντίστοιχο σχεδιασμό μιας αμιγούς μεταλλικής κατασκευής όπου η σύμμικτη λειτουργία δεν λαμβάνεται υπ' όψιν, ακόμη και στην περίπτωση που τμήμα της περιοχής του κόμβου καλύπτεται από σκυρόδεμα οπότε πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η σχετική μεταφορά δύναμης από το σκυρόδεμα στο στοιχείο του κόμβου με το οποίο βρίσκεται σε επαφή. Πολλές επιστημονικές προσπάθειες ερευνητών παγκοσμίως για την διερεύνηση της συμπεριφοράς των κόμβων υπό κρίσιμες καταστάσεις σχεδιασμού και ιδιαίτερα υπό σεισμική δράση έχουν καταλήξει σε πολύ ενδιαφέρουσες επισημάνσεις και αποτελέσματα. Όμως, όπως προαναφέρθηκε, ο πλέον ασφαλής σχεδιασμός στην περίπτωση αυτή είναι η ανάλυση της σύμμικτης κατασκευής με τη θεώρηση αμιγώς χαλύβδινων συνδέσεων. Αυτός είναι και ο λόγος που στη συνέχεια δεν περιγράφονται σύμμικτα δομικά στοιχεία που μπορεί να διαμορφώνονται σε θέσεις κόμβων.

#### **2.1.4.2. Ελαστική ανάλυση και απόκριση σύμμικτης διατομής δοκού**

Ο ελαστικός σχεδιασμός μιας διατομής πραγματοποιείται θεωρώντας ότι κατά την απόκρισή της, όλα τα μέλη της συμπεριφέρονται με έναν ενιαίο και γραμμικά ελαστικό τρόπο.

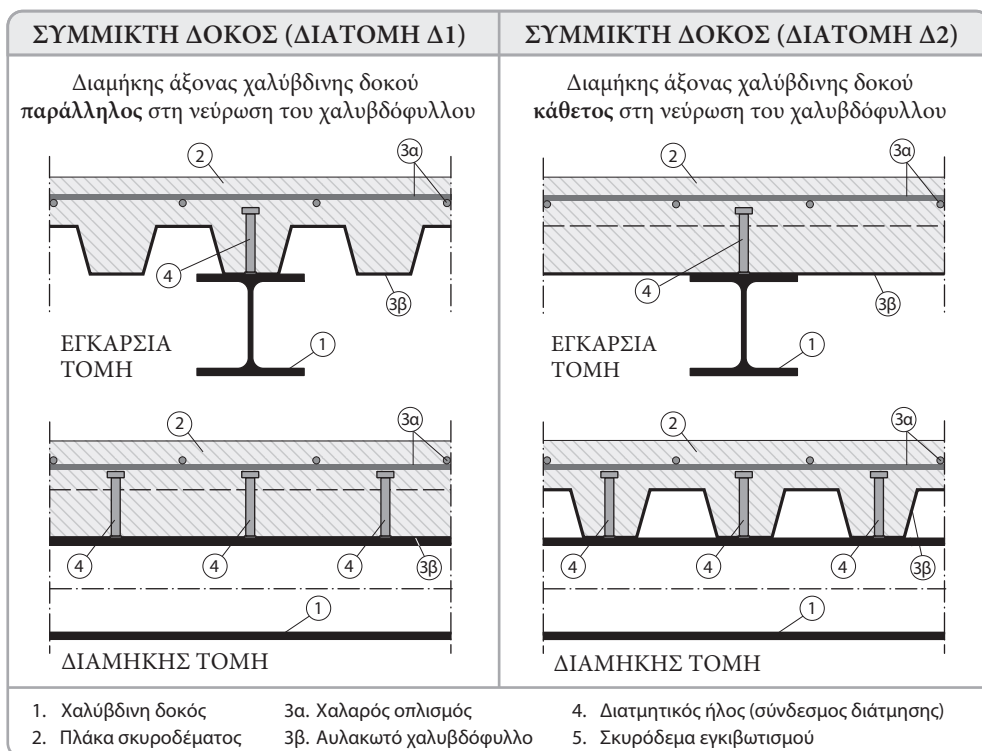
## Αρχές σχεδιασμού σύμμικτων μελών στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 4

### 3.1 Αρχές σχεδιασμού σύμμικτων δοκών

#### 3.1.1 Χαρακτηριστικές μορφές διατομής σύμμικτων δοκών

Η διατομή των σύμμικτων δοκών μπορεί να σχεδιασθεί ώστε να λάβει διάφορες μορφές οι οποίες εξαρτώνται από τη είδος της κατασκευής (κτίριο ή γέφυρα), τη θέση εφαρμογής και τη λειτουργία της στο πλαίσιο διαμόρφωσης του φέροντος οργανισμού είτε με συμπαγή πλάκα (συνήθως όταν αφορά δοκούς γεφυρών), είτε με σύμμικτη πλάκα (συνήθως όταν αφορά δοκούς κτιρίων) που φέρει χαλυβδόφυλλο στην κάτω παρειά και σε επαφή με το άνω πέλμα της δοκού (βλ. Σχ. 3.1.1.1). Μερικώς εγκιβωτισμένες δοκοί είναι εκείνες όπου ο κορμός της χαλύβδινης διατομής εγκιβωτίζεται σε οπλισμένο σκυρόδεμα (βλ. Σχ. 3.1.1.3), προβλέπεται δε διατμητική σύνδεση μεταξύ του σκυροδέματος και των χαλύβδινων στοιχείων.

Στην περίπτωση της διαμόρφωσης πατωμάτων κτιρίων συνήθως μετά την κατασκευή της εσχάρας των δοκών του πατώματος και πριν από τη σκυροδέτηση τοποθετείται αυλακωτό χαλυβδόφυλλο, ενώ στη συνέχεια διενεργείται η συγκόλληση των διατμητικών ήλων (σύνδεσμοι διάτμησης). Διακρίνονται δύο τυπικές μορφές σύμμικτων διατομών δοκού: στην πρώτη ο διαμήκης άξονας της δοκού είναι παράλληλος προς τη διεύθυνση της αυλάκωσης του χαλυβδόφυλλου, ενώ στη δεύτερη ο διαμήκης άξονας της δοκού είναι κάθετος στη διεύθυνση της αυλάκωσης του χαλυβδόφυλλου.



**Σχήμα 3.1.1.1.** Τυπικές διατομές δοκών σύμμικτων πατωμάτων κτιρίων με έναν διατμητικό ήλο στη θέση του άξονα της δοκού.

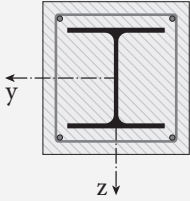
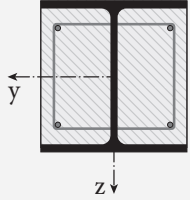
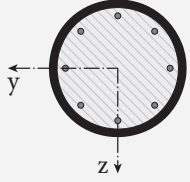
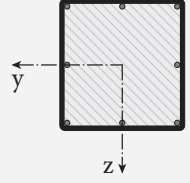
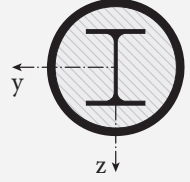
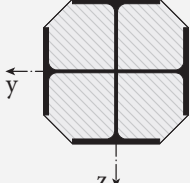
Η ίδια διαμόρφωση σύμμικτης δοκού μπορεί να γίνεται και με τοποθέτηση 2 διατμητικών ήλων (σε απόσταση  $b_0$  μεταξύ τους) σε σχέση με τον άξονα της δοκού (βλ. Σχ. 3.1.1.2).

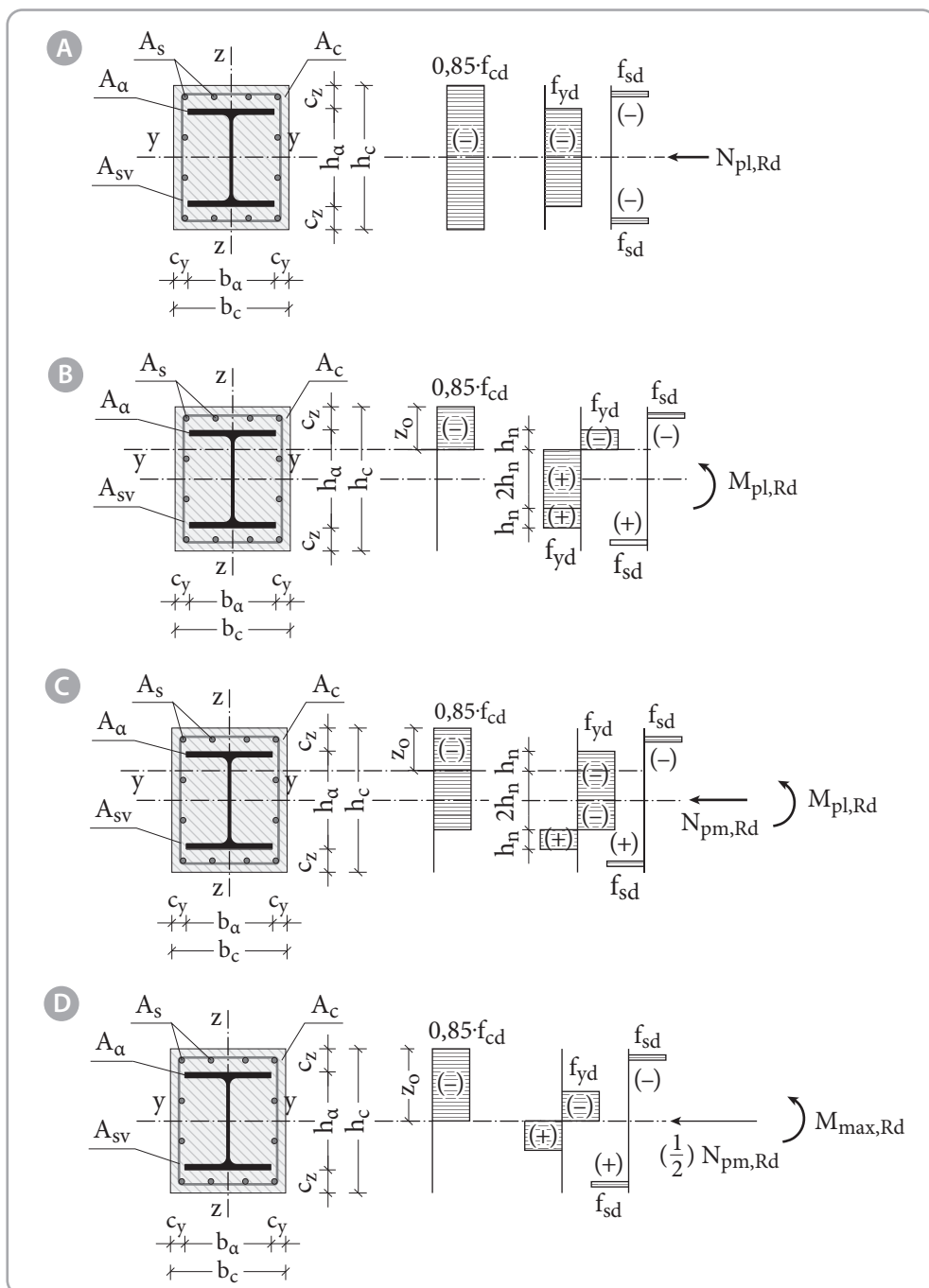
Για τα κτίρια κυρίως, υπάρχει και η περίπτωση όπου η σύμμικτη δοκός είναι μερικώς εγκιβωτισμένη. Στην περίπτωση αυτή εγκιβωτίζεται σε οπλισμένο σκυρόδεμα μόνον ο κορμός της χάλυβδινης δοκού. Πρακτικά στη διαμόρφωση αυτή όπου ήδη στην άνω παρειά βρίσκεται η πλάκα σκυροδέματος, η μόνο εκτεθειμένη πλευρά της διατομής είναι η εξωτερική πλευρά του κάτω πέλματος (βλ. Σχ. 3.1.1.3). Προϋπόθεση για να χαρακτηριστεί μια τέτοια δοκός ως *μερικώς σύμμικτη* και να ληφθεί υπ' όψιν το σκυρόδεμα εγκιβωτισμού στην ανάλυση είναι να προβλέπεται διατμητική σύνδεση μεταξύ κορμού και οπλισμένου σκυροδέματος.

Ο χαλαρός οπλισμός στην περιοχή του κορμού τοποθετείται με την παρεμβολή σε τακτικές αποστάσεις συνδετήρα περισφιξης, που είτε είναι συγκολλημένος στον κορμό ή διέρχεται μέσω οπών από τη μια πλευρά του κορμού στην άλλη. Οι κύριοι λόγοι και τα πλεονεκτήματα από την επιλογή μιας τέτοιας διαμόρφωσης σε κτίρια



Πίνακας 3.3.2.1. Πίνακας επιλογής καμπύλης λυγισμού και ατελειών μέλους σύμμικτων στύλων.

Είδος διατομής	Σχήμα	Αξονας ή κριτήριο	Καμπύλη	Ατέλειες
Χαλύβδινη διατομή διπλού ταυ [H] πλήρως εγκιβωτισμένη στο σκυρόδεμα.		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
Χαλύβδινη διατομή διπλού ταυ [H] μερικώς εγκιβωτισμένη στο σκυρόδεμα.		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
Κυκλική χαλύβδινη κοιλοδοκός πληρωμένη με σκυρόδεμα		$\rho_s \leq 3\%$	$\alpha$	L/300
		$3\% \leq \rho_s \leq 6\%$	b	L/200
Ορθογωνική χαλύβδινη κοιλοδοκός πληρωμένη με σκυρόδεμα		$\rho_s \leq 3\%$	$\alpha$	L/300
		$3\% \leq \rho_s \leq 6\%$	b	L/200
Κυκλική χαλύβδινη κοιλοδοκός πληρωμένη με σκυρόδεμα με πρόσθετη διατομή I στο εσωτερικό		y-y	b	L/200
		z-z	b	L/200
Μερικώς εγκιβωτισμένη διατομή από διασταυρούμενες I χαλύβδινες διατομές		y-y & z-z	b	L/200



Σχήμα 3.3.2.5. Κατανομή τάσεων σύμμικτου στύλου για τα κρίσιμα σημεία προσδιορισμού του διαγράμματος αλληλεπίδρασης N-M.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

**Παράδειγμα σχεδιασμού  
σύμμικτου πατώματος κτιρίου****4.1 Γενικά στοιχεία σχεδιασμού σύμμικτου πατώματος****4.1.1 Περιγραφή της κατασκευής**

Στο παράδειγμα αυτό παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση των κύριων σύμμικτων δομικών μελών από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα ενός τυπικού πατώματος ενός κτιρίου το οποίο επαναλαμβάνεται με την ίδια γεωμετρία – τυπική γεωμετρία σε όλες τις στάθμες του. Το κτίριο σύμφωνα με τον σχεδιασμό πρόκειται να στεγάσει πολυκατάστημα τεσσάρων ορόφων, αποτελούμενο από ισόγειο και τρεις ορόφους με τυπικό ύψος ορόφου  $H_{op}=3,50\text{ m}$  και συνολικό  $\Sigma H_{κτ.}=4\cdot 3,50=14,00\text{ m}$ .

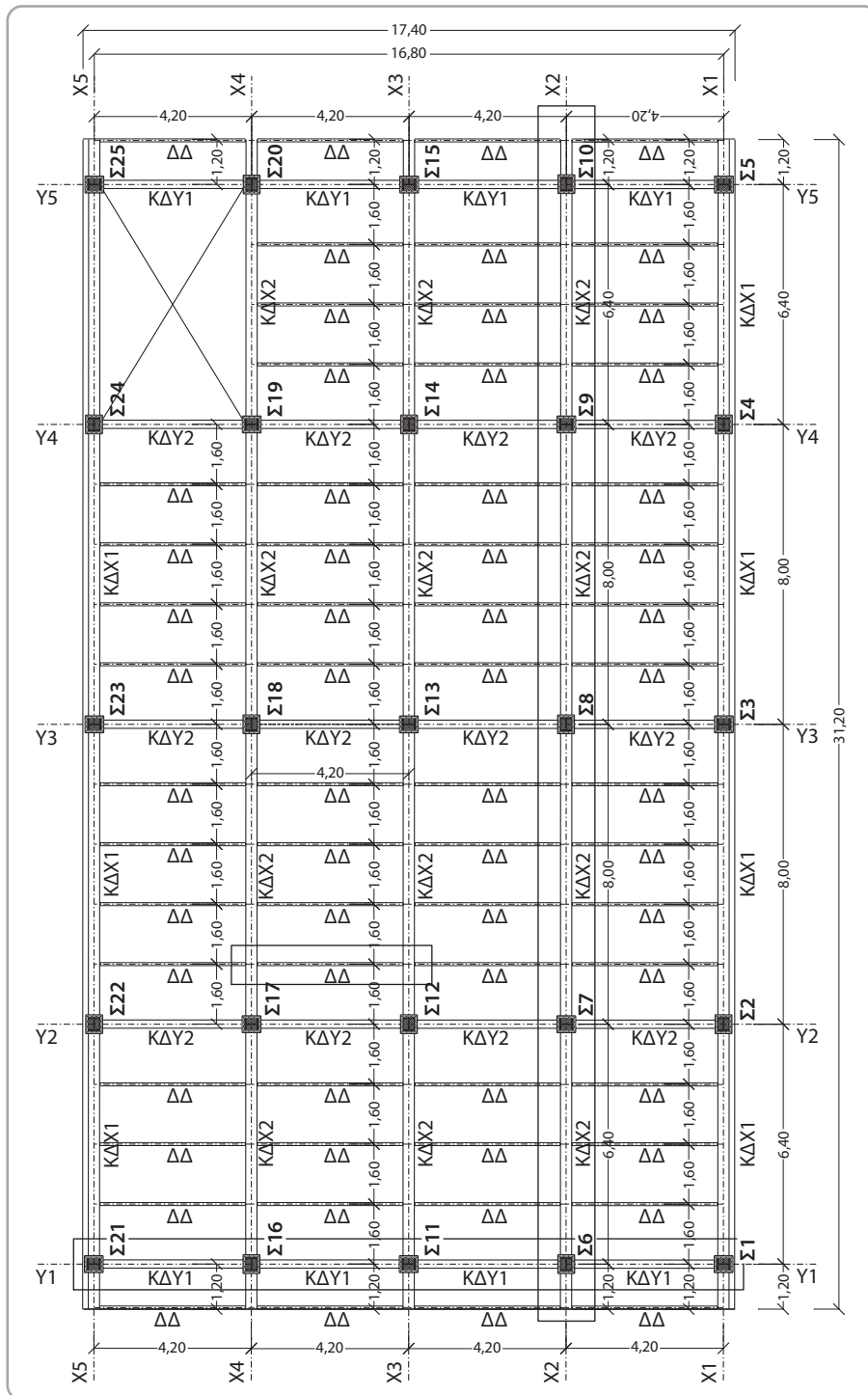
Το πάτωμα έχει κάτοψη ορθογωνίου παραλληλογράμμου με διαστάσεις όπως ορίζονται από τους άξονες των εξωτερικών στύλων. Συγκεκριμένα η μεγάλη πλευρά κατά τη διεύθυνση X έχει μήκος  $L_X=28,80\text{ m}$  και η μικρή πλευρά κατά τη διεύθυνση Y έχει μήκος  $L_Y=16,80\text{ m}$ . Το όριο της πλάκας του ορόφου εκτείνεται εξαιτίας διαμόρφωσης εξώστη με διαφορετικό εύρος στις πλευρές της κάτοψης με μήκος προβόλου από τον άξονα στήριξης  $L_c=1,20\text{ m}$  κατά τη διεύθυνση X-X, και αντίστοιχα  $0,30\text{ m}$  κατά τη διεύθυνση Y-Y προς το εξωτερικό όριο ούτως ώστε οι συνολικές διαστάσεις της μεγάλης πλευράς X-X της κάτοψης είναι

$$L_{X\_total}=1,20+28,80+1,20=31,20\text{ m} \quad (\text{βλ. Σχ. 4.1.1.1})$$

και η μικρή πλευρά κατά τη διεύθυνση Y-Y της κάτοψης έχει μήκος

$$L_{Y\_total}=0,30+16,80+0,30=17,40\text{ m} \quad (\text{βλ. Σχ. 4.1.1.1}).$$





Σχήμα 4.1.1.1. Σκαρίφημα κάτοψης μεταλλικού σκελετού τυπικού πατώματος ορόφου κτιρίου.

Το κτίριο στηρίζεται σε σύμμικτους στύλους αποτελούμενους από χαλύβδινη διατομή από προφίλ HEA340 εγκιβωτισμένη σε οπλισμένο σκυρόδεμα ώστε να επιτυγχάνεται με την κατάλληλη διαμόρφωση πλήρης σύμμικτη λειτουργία [61]. Η ανάλυση συμπεριφοράς και ο έλεγχος διαστασιολόγησης των κρίσιμων στύλων της κάτοψης με συγκεκριμένα φορτία υπολογισμού στη στάθμη του ισογείου παρουσιάζεται στη συνέχεια σε ξεχωριστό κεφάλαιο (βλ. §5).

Ταυτόχρονα για την αντιμετώπιση των οριζόντιων φορτίων που δέχεται το κτίριο όπως από τον άνεμο ή το σεισμό διατάσσονται σε συγκεκριμένα φατνώματα και στις δύο διευθύνσεις της κάτοψης, πλάγιοι σύνδεσμοι μορφής αντεστραμμένου V κατάλληλης διατομής από τετράγωνη κοιλοδοκό QHS120X5.6, ο έλεγχος διαστασιολόγησης των οποίων καλύπτεται πλήρως από το σχεδιασμό μελών σύμφωνα με το EN1993-1-1 και EN1998-1-1.

Στο επίπεδο του ορόφου κάθετα στις αυλακώσεις του χαλυβδόφυλλου διατάσσονται σχετικά πυκνά δευτερεύουσες δοκοί διατομής **IPE** σε σταθερές αποστάσεις  $a = 1,60$  m. Όλα τα φατνώματα στη διεύθυνση Υ-Υ έχουν το ίδιο μήκος, ενώ όλες οι συνδέσεις των ΔΔ στις ΚΔ είναι συνδέσεις τέμνουσας (χωρίς μεταφορά ροπής) ώστε οι δευτερεύουσες δοκοί να λειτουργούν στατικά ως αμφιέριστες δοκοί. Για το σχεδιασμό τους γίνεται η παραδοχή ότι οι συνθήκες φόρτισης είναι σταθερές σε όλο το πάτωμα, οπότε η διαστασιολόγηση αφορά μια τυπική ΔΔ με μήκος φατνώματος  $L_{\Delta\Delta} = 4,20$  m και πλάτος ευθύνης  $a = 1,60$  m. Συγκεκριμένα αντικείμενο διαστασιολόγησης εδώ είναι η εκλογή και ο έλεγχος επάρκειας διατομής της σειράς **IPE** για μια τυπική ΔΔ ανάλογα με τα φορτία που ασκούνται και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού σχεδιασμού σύμμικτων κατασκευών EN1994-1-1 (βλ. §3.1).

Ταυτόχρονα κύριες δοκοί τοποθετούνται σε όλη την περίμετρο της κάτοψης και εσωτερικά από στύλο σε στύλο. Επειδή η κάθε κύρια δοκός συνδέεται στους στύλους με σύνδεση μεταφοράς ροπής, μπορεί να προσομοιωθεί όλη η σειρά των δοκών σε μια θέση πλαισίου στη φάση προ-διαστασιολόγησης ως δοκός ίσων συνεχών ανοιγμάτων. Κατά τη διεύθυνση Υ-Υ της κάτοψης διαμορφώνονται οι όμοιες λόγω ίδιων συνθηκών σχεδιασμού και συμμετρίας ακραίες κύριες δοκοί

$$\begin{aligned} \text{ΚΔΥ1} &= \text{ΚΔΥ5} (\text{ΚΔΥ1}_1\text{-ΚΔΥ1}_2\text{-ΚΔΥ1}_3\text{-ΚΔΥ1}_4) = \\ &= (\text{ΚΔΥ5}_1\text{-ΚΔΥ5}_2\text{-ΚΔΥ5}_3\text{-ΚΔΥ5}_4) \end{aligned}$$

με μήκη φατνωμάτων

$$L_y = 4,20 + 4,20 + 4,20 + 4,20 = 16,80 \text{ m}$$

και οι αντίστοιχα όμοιες μεταξύ τους εσωτερικές δοκοί

$$\begin{aligned} \text{ΚΔΥ2} &= \text{ΚΔΥ3} = \text{ΚΔΥ4} (\text{ΚΔΥ2}_1\text{-ΚΔΥ2}_2\text{-ΚΔΥ2}_3\text{-ΚΔΥ2}_4) = \\ &= (\text{ΚΔΥ3}_1\text{-ΚΔΥ3}_2\text{-ΚΔΥ3}_3\text{-ΚΔΥ3}_4) = \\ &= (\text{ΚΔΥ4}_1\text{-ΚΔΥ4}_2\text{-ΚΔΥ4}_3\text{-ΚΔΥ4}_4) \end{aligned}$$

με ίδια μήκη φατνωμάτων με τις ακραίες

$$L_y = 4,20 + 4,20 + 4,20 + 4,20 = 16,80 \text{ m} .$$

Σημειώνεται ότι για όλες τις ΚΔ στη διεύθυνση Υ-Υ, οπότε και για την *εξωτερική* ΚΔΥ1, οι αυλακώσεις του χαλυβδόφυλλου είναι κάθετες στον άξονά τους. Αντικείμενο διαστασιολόγησης εδώ είναι η εκλογή και ο έλεγχος επάρκειας διατομής της σειράς ΗΕΑ από την χαρακτηριστική περίπτωση της τυπικής περιμετρικής κύριας δοκού ΚΔΥ1, σύμφωνα με τις ασκούμενες δράσεις για ΟΚΛ και ΟΚΑ και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού σχεδιασμού σύμμικτων κατασκευών EN1994-1-1 (βλ. §3.1).

Αντίστοιχα κατά τη διεύθυνση Χ της κάτοψης διαμορφώνονται οι ακόλουθες κύριες δοκοί: Στα όρια των εκατέρωθεν άκρων της κάτοψης δύο όμοιες σε χαρακτηριστικά δοκοί οι

$$\text{ΚΔ1X}, (\text{ΚΔX1}_1\text{-ΚΔX1}_2\text{-ΚΔX1}_3\text{-ΚΔX1}_4) \text{ και } (\text{ΚΔX5}_1\text{-ΚΔX5}_2\text{-ΚΔX5}_3\text{-ΚΔX5}_4)$$

με μήκη φατνωμάτων

$$L_x = 1,20 + 6,40 + 8,0 + 8,0 + 6,40 + 1,20 = 31,20 \text{ m}$$

όπως και οι αντίστοιχες εσωτερικές δοκοί

$$\begin{aligned} \text{ΚΔ2X} (\text{ΚΔX2}_1\text{-ΚΔX2}_2\text{-ΚΔX2}_3\text{-ΚΔX2}_4), (\text{ΚΔX3}_1\text{-ΚΔX3}_2\text{-ΚΔX3}_3\text{-ΚΔX3}_4) \text{ και} \\ (\text{ΚΔX4}_1\text{-ΚΔX4}_2\text{-ΚΔX4}_3\text{-ΚΔX4}_4), \end{aligned}$$

επίσης με μήκη φατνωμάτων

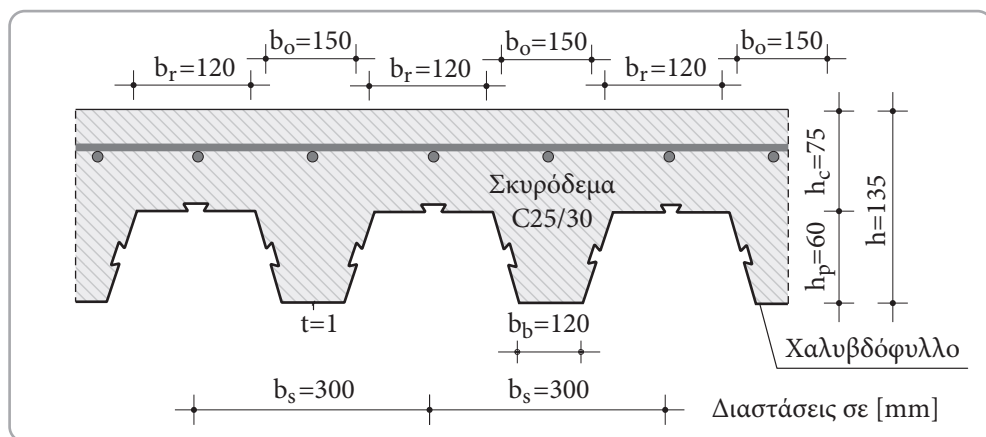
$$L_x = 1,20 + 6,40 + 8,0 + 8,0 + 6,40 + 1,20 = 31,20 \text{ m}.$$

Για όλες τις ΚΔ στη διεύθυνση Χ-Χ οι αυλακώσεις του χαλυβδόφυλλου είναι παράλληλες με τον άξονά τους. Αντικείμενο διαστασιολόγησης επομένως είναι η εκλογή και ο έλεγχος επάρκειας διατομής της σειράς ΗΕΑ για την χαρακτηριστική περίπτωση της *εσωτερικής* ΚΔ2X, σύμφωνα με τις ασκούμενες δράσεις για της ΟΚΛ και ΟΚΑ και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού σχεδιασμού σύμμικτων κατασκευών EN1994-1-1 (βλ. §3.1).

Η διατμητική σύνδεση που πρέπει να εξασφαλίζεται μεταξύ των χαλύβδινων δοκών του πατώματος και του οπλισμένου σκυροδέματος της πλάκας, καλύπτεται με τη διάταξη διατμητικών ήλων σε όλες τις κύριες και τις δευτερεύουσες δοκούς. Η ακριβής διατομή και η διάταξη τοποθέτησης των διατμητικών ήλων σε κάθε περίπτωση χαλύβδινης δοκού στη συνέχεια αποτελεί στοιχείο της διαστασιολόγησης

για κάθε ξεχωριστή περίπτωση δοκού σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κανονισμού σχεδιασμού σύμμικτων κατασκευών EN1994-1-1 (βλ. §3.1).

Το σύμμικτο πάτωμα με τη συγκεκριμένη διαμόρφωση, πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος πάνω από αυλακωτό χαλυβδόφυλλο, αποτελεί αντικείμενο διαστασιολόγησης ανάλογα με τα φορτία που ασκούνται και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού (βλ. §3.2). Εδώ ο σχεδιασμός αφορά ενδεικτική διατομή αυλακωτού χαλυβδόφυλλου βάθους αυλάκωσης  $h_p = 6,0 \text{ cm}$  (βλ. Σχ. 4.1.1.2), που το ύψος της πλάκας σκυροδέματος πάνω από αυτό είναι  $h_c = 75 \text{ mm} > h_{c, \min} = 50 \text{ mm}$ , οπότε το μέγιστο ύψος της πλάκας θα είναι  $h = 135 \text{ mm} > h_{\min} = 90 \text{ mm}$ , ενώ  $b_a = b_s - b_r = 300 - 120 = 180 \text{ mm}$ .



Σχήμα 4.1.1.2. Σκαρίφημα αυλακωτής πλάκας τυπικού πατώματος κτιρίου.

## 4.1.2 Φορτίσεις σχεδιασμού

### 4.1.2.1. Μόνιμες δράσεις

Στις μόνιμες δράσεις του κτιρίου  $g_k$  περιλαμβάνεται αρχικά το ίδιο βάρος όλων των μελών του φέροντος οργανισμού, δηλαδή των χαλύβδινων μελών ( $W_a = 78,60 \text{ kN/m}^3$ ), του οπλισμένου σκυροδέματος και του σκυροδέματος εγκιβωτισμού των σύμμικτων στύλων ( $W_c = 25,00 \text{ kN/m}^3$ ), στην οποία δεν πρέπει να παραληφθεί και αυτή του αυλακωτού χαλυβδόφυλλου ( $W_p = 78,60 \text{ kN/m}^3$ ). Ιδιαίτερα όμως στη φάση κατασκευής καθώς το βάρος του νερού στο μίγμα αυξάνει το ίδιο βάρος του νωπού σκυροδέματος, αυτό πρέπει να ληφθεί με αυξημένη τιμή ( $W_{c, \text{wet}} = 26,00 \text{ kN/m}^3$ ).

Στις πρόσθετες μόνιμες δράσεις με μόνιμο χαρακτήρα  $g_{k1}$  περιλαμβάνονται οι επιστρώσεις των δαπέδων και οι τοίχοι του εξωτερικού κελύφους. Η επικάλυψη του δαπέδου του πατώματος υλοποιείται με επιστρώσεις δαπέδου με ελαφροσκυρόδεμα και πλακίδια. Για μια τυπική τοποθέτηση επιστρώσεων για ενδεικτικό υπολογισμό υλικών το συνολικό ίδιον βάρος της επικάλυψης του πατώματος προκύπτει  $g_{k11} = 2,0 \text{ kN/m}^2$  που ως επιφανειακό φορτίο φορτίζει το σύνολο της πλάκας.

Αντίστοιχα κάτω από την πλάκα του πατώματος προβλέπεται κάλυψη της οροφής με γυψοσανίδα που διαμορφώνεται στο ύψος του κάτω πέλματος των υψηλότερων κύριων δοκών και μέσα στο χώρο που διαμορφώνεται προβλέπεται να διέλθουν τα πάσης φύσεως υδραυλικά και Η/Μ δίκτυα και να τοποθετηθεί και ενδεχόμενη μόνωση, οπότε και εδώ με ενδεικτικό υπολογισμό υλικών το συνολικό ίδιον βάρος που φέρει το πάτωμα στην κάτω παρειά του είναι  $g_{k12} = 0,2 \text{ kN/m}^2$  που ως επιφανειακό φορτίο φορτίζει το σύνολο της πλάκας.

Ταυτόχρονα το εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου πρόκειται να κατασκευαστεί από διάφορα υλικά, ενώ σημαντικό μέρος του καλύπτεται από κουφώματα με υαλοπίνακες. Για τις εξωτερικές δοκούς λαμβάνεται υπ' όψιν προκατασκευασμένο δικέλυφο πέτασμα [39], [40], από ελαφρά στοιχεία σκυροδέματος που για ένα τυπικό ύψος ορόφου προκαλεί πρόσθετο μόνιμο ομοιόμορφο φορτίο  $g_{k13} = 7,2 \text{ kN/m}$  σε όλες τις δοκούς της περιμέτρου [39], [40], [57]. Στο φορτίο αυτό συμπεριλαμβάνεται η κατανομή των κουφωμάτων στην όψη και οι πρόσθετες επενδύσεις ή επικαλύψεις που μπορεί να φέρουν, που σε κάθε περίπτωση είναι ενδεικτική επιλογή φορτίου για τους σκοπούς του παραδείγματος. Στην πράξη τόσο αυτό το φορτίο όπως και τα υπόλοιπα πρόσθετα μόνιμα φορτία είναι ενδεικτικά και ιδιαίτερα για κάθε κτίριο ξεχωριστά και ο υπεύθυνος μελετητής μηχανικός πρέπει να τα αναλύει, κατανέμει και προσμετρά με ιδιαίτερη προσοχή και επιμέλεια.

Για το εσωτερικό του κτιρίου γίνεται η εκτίμηση ότι σε κάποια από τα φανώματα των εσωτερικών κύριων δοκών προσαρμόζεται εσωτερικός διαχωριστικός τοίχος από ελαφρού βάρους πλίνθους που για τις ανάγκες του παραδείγματος λαμβάνεται ότι προκαλεί πρόσθετο μόνιμο ομοιόμορφο φορτίο  $g_{k14} = 7,2 \text{ kN/m}$  στις αντίστοιχες υποκείμενες δοκούς.

#### 4.1.2.2. Μεταβλητές δράσεις

##### 4.1.2.2.1 Κινητό φορτίο πατωμάτων στη φάση κατασκευής

Στη φάση κατασκευής πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για πρόβλεψη φορτίου από πιθανή τοπική υπερσυγκέντρωση υλικών, όπως νωπού σκυροδέματος, ράβδων χάλυβα και εξοπλισμού κατασκευής. Γίνεται η εκτίμηση ότι σε ένα τμήμα της κάτοψης με διαστάσεις  $3,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$  το φορτίο που ασκείται έχει τιμή  $3,0 \text{ kN/m}^2$ , ενώ

σε όλη την υπόλοιπη επιφάνειά του προς κατασκευή πατώματος ασκείται ομοιόμορφο φορτίο  $0,75 \text{ kN/m}^2$ . Επειδή η θέση επί της κάτοψης που μπορεί να συμβεί η υπερσυγκέντρωση φορτίων είναι τυχαία, αυτή θα ελεγχθεί ως να επιβάρυνε κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά μέλη του πατώματος που αναλύονται.

#### 4.1.2.2.2. Κινητό φορτίο πατωμάτων στη φάση λειτουργίας

Για το κινητό φορτίο λειτουργίας τους πατώματος, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κυρίου του έργου (πολυκατάστημα), λαμβάνεται υπ' όψιν κατηγορία φορτιζόμενης επιφάνειας D2 (βλ. §2.3.2.2) οπότε λαμβάνεται ομοιόμορφο φορτίο  $q = 5,0 \text{ kN/m}^2$  για κάθε επιφάνεια ελέγχου στο τυπικό πάτωμα. Σημειώνεται ότι το φορτίο αυτό υπερκαλύπτει τα συνήθη ασκούμενα φορτία χιονιού στην οροφή και έτσι τέτοιο φορτίο δεν χρειάζεται να αναλυθεί για το συγκεκριμένο κτίριο στο πλαίσιο του παραδείγματος αυτού.

#### 4.1.2.2.3. Φορτίο ανέμου

Τα φορτία ανέμου επειδή είναι παράλληλα στη διεύθυνση του διαφράγματος του πατώματος δεν προκαλούν ιδιαίτερη ένταση σε αυτό, οπότε θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο (βλ. §5.2.2.2.2) σχεδιασμού των σύμμικτων στύλων καθώς αφορούν κυρίως στην απόκριση των στύλων, των συνδέσμων “V” και κάθε άλλου κατακόρυφου στοιχείου που πιθανόν υπάρχει.

#### 4.1.2.2.4. Φορτία θερμοκρασίας

Με δεδομένες τις συνθήκες του κτιρίου τα φορτία καταναγκασμών εξαιτίας θερμοκρασίας (βλ. §2.3.3.5) αφορούν κυρίως στις δοκούς και ιδιαίτερα: α) ομοιόμορφη αύξηση ή μείωση θερμοκρασίας στις δοκούς και β) διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της άνω ίνας της διατομής (πλάκα σκυροδέματος) και της κατώτατης ίνας της χαλύβδινης δοκού. Ως θερμοκρασία κατασκευής των δομικών στοιχείων της κατασκευής θεωρείται η θερμοκρασία  $T_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , ενώ οι ακραίες θερμοκρασίες που συνήθως επικρατούν στην περιοχή είναι:

I) Χειμώνας  $T_{1,\text{out}} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$

II) Καλοκαίρι  $T_{2,\text{out}} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$

και οι θερμοκρασίες που συνήθως επικρατούν σε εσωτερικούς χώρους (βλ. είναι:

I) Χειμώνας  $T_{1,\text{in}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

II) Καλοκαίρι  $T_{2,\text{in}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Αρχικά πρέπει να υπολογιστεί το εύρος της συνιστώσας ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας  $\Delta T_{N,\text{con}}$  (για συστολή) ή  $\Delta T_{N,\text{exp}}$  (για διαστολή) [EN 1991-1-5 6.1.3.3]. Η τιμές αυτές προσδιορίζονται με βάση τη θερμοκρασία κατασκευής και το

μέσο όρο μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας ως εξής:

$$\Delta T_{N,com} = T_0 - T_{e,min} = 10 - \frac{(-20+20)}{2} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = \frac{45,0+25,0}{2} - 10,0 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Εξετάζοντας τελικά τις δύο καταστάσεις, εφαρμόζεται συνιστώσα ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας με τιμή:  $\Delta T_N = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Η γραμμικά μεταβαλλόμενη συνιστώσα θερμοκρασίας  $\Delta T_{My}$  μπορεί να προκύψει μεταξύ ενός κλιματιζόμενου και μη ορόφου με εκτίμηση της διαφοράς αυτής για το εσωτερικό ενός κτιρίου ως εξής:

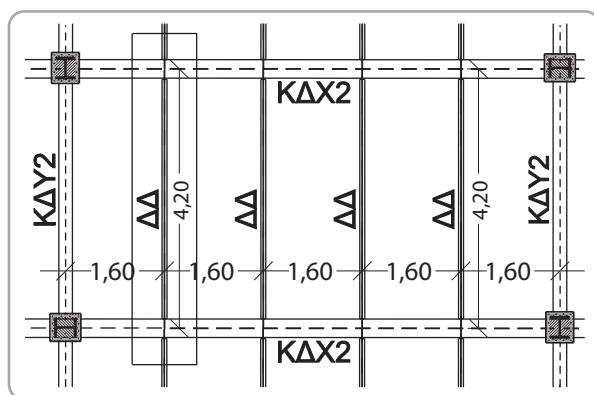
$$\Delta T_{My} = \pm 10,0.$$

#### 4.1.2.3. Σεισμική δράση

Η ανάλυση της σεισμικής δράσης αφορά επίσης κατά κύριο λόγο στον σχεδιασμό των σύμμικτων στύλων και έτσι αυτή θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο (βλ. §5.2.2.2.2) που αφορά στον σχεδιασμό αυτών.

## 4.2 Παράδειγμα διαστασιολόγησης δευτερεύουσας δοκού σύμμικτου πατώματος

### 4.2.1 Διαστασιολόγηση τυπικής δευτερεύουσας δοκού ΔΔ σύμμικτου πατώματος



Σχήμα 4.2.1.1. Τυπική διάταξη δευτερευουσών δοκών στο πάτωμα.

Επιλέγεται για το παράδειγμα αυτό μετά από δοκιμές για την δευτερεύουσα δοκό του πατώματος (βλ. Σχ. 4.2.1.1) χαλύβδινη διατομή IPE200/S235, ενώ επιπρόσθετα για την υπερκείμενη πλάκα επιλέγεται αυλακωτό χαλυβδόφυλλο ενδεικτικής διατομής 60/1[S320GD+Z275], (βλ. Πιν. 2.2.12).

Οι δράσεις επί του πατώματος οι οποίες εφαρμόζονται ως ομοιόμορφο φορτίο σε κάθε τυπική δευτερεύουσα δοκό (βλ. §4.1.2.1, §4.1.2.2) που έχει πλάτος ευθύνης  $a = 1,60 \text{ m}$  και μήκος  $L = 4,20 \text{ m}$  είναι:

### I. Φάση κατασκευής (Φάση Α)

I.1 Μόνιμο φορτίο δοκού IPE200 ανά τρέχον μέτρο:

$$g_{11} = 0,224 \text{ kN/m},$$

I.2 Μόνιμο φορτίο αυλακωτού χαλυβδόφυλλου για 1.6m πλάτους, όσο το πλάτος επιρροής κάθε δευτερεύουσας δοκού 0,114 kN/m:

$$g_{12} = 0,114 \cdot 1,6 = 0,182 \text{ kN/m},$$

I.3<sub>A</sub> Μόνιμο φορτίο νωπού σκυροδέματος για ίδιον βάρος 26,0 kN/m<sup>3</sup>:

$$g_{13A} = 1,6 \cdot 0,10875 \cdot 26,0 = 4,524 \text{ kN/m},$$

I.4 Μεταβλητό φορτίο στη φάση κατασκευής

$$q_{1H} = 3,0 \text{ kN/m}^2 \text{ σε τμήμα } 3\text{m} \times 3\text{m} \text{ και}$$

$$q_{1L} = 0,75 \text{ kN/m}^2 \text{ στην υπόλοιπη κάτοψη,}$$

οπότε για τη δοκό ισχύει

$$q_{1m} = \frac{3,0 \cdot 3,0 + 0,75 \cdot 1,2}{4,2} = 2,36 \text{ kN/m}^2 \text{ και τελικά:}$$

$$q_1 = 2,36 \cdot 1,6 = 3,78 \text{ kN/m}$$

### II. Φάση λειτουργίας (Φάση Β)

II.1 Μόνιμο φορτίο δοκού IPE200 ανά τρέχον μέτρο:

$$g_{11} = 0,224 \text{ kN/m},$$

II.2 Μόνιμο φορτίο αυλακωτού χαλυβδόφυλλου για 1,6 m πλάτους, όσο το πλάτος επιρροής κάθε δευτερεύουσας δοκού 0,114 kN/m:

$$g_{12} = 0,114 \cdot 1,6 = 0,182 \text{ kN/m},$$

II.3 Ίδιον βάρος σκληρυμένου σκυροδέματος για 25,0 kN/m<sup>3</sup>:

$$g_{13B} = 1,6 \cdot 0,10875 \cdot 25,0 = 4,35 \text{ kN/m}$$

II.4 Ίδιον βάρος επιστρώσεων δαπέδων πάνω από την πλάκα:

$$g_{k1} = 2,0 \cdot 1,6 = 3,20 \text{ kN/m}$$



II.5 Ίδιον βάρος ψευδοροφής και Η/Μ δικτύων:

$$g_{k2} = 0,2 \cdot 1,6 = 0,32 \text{ kN/m}$$

II.6 Μεταβλητό φορτίο στη φάση λειτουργίας  $5,0 \text{ kN/m}^2$ :

$$q_2 = 5,0 \cdot 1,6 = 8,0 \text{ kN/m.}$$

### Δράσεις σχεδιασμού στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α)

**Ο κρίσιμος συνδυασμός δράσεων για τις ΟΚΛ είναι:**

$$\Sigma G_{k,j} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{EN1990, εξ. 6.14β}$$

$$(g_{11} + g_{12} + g_{13A}) + q_1 = q_{1,OKL} = (0,224 + 0,182 + 4,524) + 3,78$$

$$q_{1,OKL} = 8,72 \text{ kN/m.}$$

**Ο κρίσιμος συνδυασμός δράσεων για τις ΟΚΑ είναι:**

$$\Sigma \xi_i \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{EN1990, εξ. 6.10β}$$

$$1,35 \cdot (g_{11} + g_{12} + g_{13A}) + 1,5 \cdot q_1 = q_{1,OKA} = 1,35 \cdot (0,224 + 0,182 + 4,524) + 1,5 \cdot 3,78$$

$$q_{1,OKA} = 12,325 \text{ kN/m.}$$

### Δράσεις σχεδιασμού στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β)

**Ο κρίσιμος συνδυασμός δράσεων για τις ΟΚΛ είναι:**

$$\Sigma G_{k,j} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{EN1990, εξ. 6.14β}$$

$$(g_{11} + g_{12} + g_{13B} + g_{k1} + g_{k2}) + q_1 = q_{2,OKL} = (0,224 + 0,182 + 4,35 + 3,20 + 0,32) + 8,0$$

$$q_{2,OKL} = 16,28 \text{ kN/m.}$$

**Ο κρίσιμος συνδυασμός δράσεων για τις ΟΚΑ είναι:**

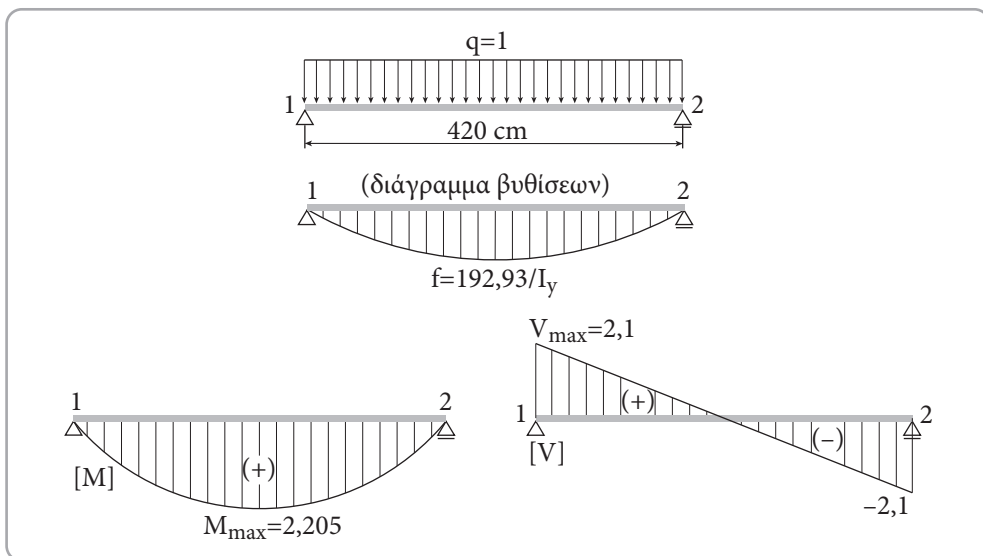
$$\Sigma \xi_i \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{EN1990, εξ. 6.10β}$$

$$1,35 \cdot (g_{11} + g_{12} + g_{13B} + g_{k1} + g_{k2}) + 1,5 \cdot q_2 =$$

$$q_{2,OKA} = 1,35 \cdot (0,224 + 0,182 + 4,35 + 3,20 + 0,32) + 1,5 \cdot 8,0$$

$$q_{2,OKA} = 23,17 \text{ kN/m.}$$

Από την προηγούμενη ανάλυση φορτίσεων προκύπτει ότι όλα τα φορτία σχεδιασμού που δρουν στη δευτερεύουσα δοκό είναι ομοιόμορφα, οπότε επιλέγεται να επιλυθεί η δοκός για ομοιόμορφο μοναδιαίο φορτίο (βλ. Σχ. 4.2.1.2) και στη συνέχεια με κατάλληλο πολλαπλασιασμό με τα φορτία σχεδιασμού να προκύψουν με επαλληλία οι κρίσιμες βυθίσεις και τα κρίσιμα μεγέθη διαστασιολόγησης.



Σχήμα 4.2.1.2. Στατική επίλυση τυπικής δευτερεύουσας δοκού για  $q=1$ .

#### 4.2.2 Προσδιορισμός συνεργαζόμενου πλάτους τυπικής δευτερεύουσας δοκού ΔΔ

Στην περίπτωση μιας εσωτερικής δευτερεύουσας δοκού (εσωτερική στήριξη της πλάκας) μήκους  $L_1 = 420$  cm, το μήκος  $L_e$ , μπορεί να προσδιοριστεί (βλ. Σχ. 4.2.1.3) ως ακολούθως:

$$L_e = 0,85 \cdot L_1 \quad \text{για } b_{\text{eff},1}$$

$$L_e = 0,25 \cdot L_1 \quad \text{για } b_{\text{eff},2} \quad \text{EN1994-1-1, Σχ. 5.1}$$

Έτσι για το άνοιγμα και σε μήκος  $\frac{L_1}{2} = \frac{420}{2} = 210$  cm είναι:

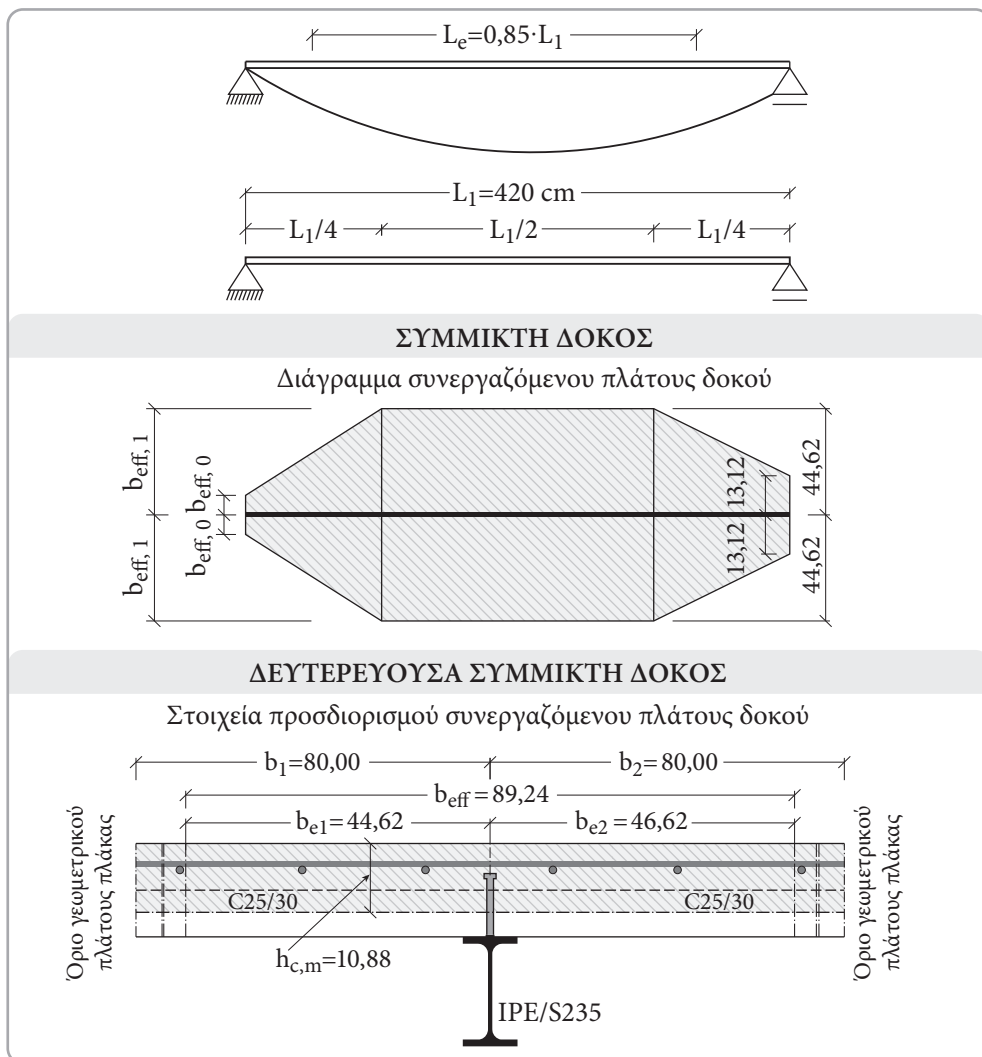
$$L_e = 0,85 \cdot L_1 = 0,85 \cdot 420 = 357 \text{ cm} \quad \text{για } b_{\text{eff},1},$$

ενώ για τα άκρα της δοκού είναι:

$$L_e = 0,25 \cdot L_1 = 0,25 \cdot 420 = 105 \text{ cm} \quad \text{για } b_{\text{eff},2}.$$

Η τιμή του συνεργαζόμενου πλάτους  $b_{ei}$  για κάθε θέση προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$b_{ei} = \frac{L_e}{8} \leq b_i, \quad \text{EN1994-1-1, §5.4.1.2(5)}$$



Σχήμα 4.2.1.3. Εκτίμηση συνεργαζόμενου πλάτους δευτερεύουσας δοκού.

οπότε για το άνοιγμα και σε μήκος  $\frac{L_1}{4} = \frac{420}{2} = 210 \text{ cm}$  είναι:

$$b_{ei} = \frac{L_e}{8} = \frac{357}{8} = 44,62 < \frac{160}{2} = 80 \text{ cm} \quad \text{για } b_{eff,1}.$$

Η τιμή στα άκρα της δοκού είναι:

$$b_{ei} = \frac{L_e}{8} = \frac{105}{8} = 13,12 < \frac{160}{2} = 80 \text{ cm} \quad \text{για } b_{eff,2}.$$

Για τοποθέτηση 1 διατμητικού ήλου, το συνεργαζόμενο πλάτος (βλ. Σχ.4.2.1.3) μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση:

$$b_{\text{eff}} = b_o + \Sigma b_{ei} \quad \text{EN1994-1-1, εξ. 5.3}$$

οπότε για το άνοιγμα και σε μήκος  $\frac{L_1}{2} = \frac{420}{2} = 210 \text{ cm}$  θα είναι:

$$b_{\text{eff}} = b_o + \Sigma b_{ei} = 0 + 2 \cdot 44,62 = 89,24 < 160 \text{ cm} \quad \text{για } b_{\text{eff},1}$$

και η τιμή στα άκρα της δοκού:

$$b_{\text{eff}} = b_o + \Sigma b_{ei} = 0 + 2 \cdot 13,12 = 26,24 < 160 \text{ cm} \quad \text{για } b_{\text{eff},2}.$$

Η ανάλυση αυτή οδηγεί στη δημιουργία ενός διαγράμματος συνεργαζόμενου πλάτους πάνω από τη δοκό όπου υπάρχουν τμήματα κατά μήκος της δοκού που το συνεργαζόμενο πλάτος είναι σταθερό (άνοιγμα φατνώματος) και τμήματα που μεταβάλλεται γραμμικά. Να σημειωθεί όμως ότι όταν εφαρμόζεται ελαστική καθολική ανάλυση, μπορεί για τη διαμόρφωση του προσομοιώματος να θεωρηθεί ένα σταθερό συνεργαζόμενο πλάτος  $b_{\text{eff},1} = 89,24 \text{ cm}$  σε όλο το μήκος του κάθε ανοίγματος.

#### 4.2.3 Έλεγχος σχεδιασμού τυπικής δευτερεύουσας δοκού στη φάση κατασκευής (ΦΑΣΗ Α)

Με δεδομένο ότι ο φορέας του πατώματος δεν είναι υποστυλωμένος, τότε στη φάση κατασκευής τα χαλύβδινα μέλη του πατώματος πρέπει να έχουν τη φέρουσα ικανότητα προκειμένου να παραλάβουν πέραν από το ίδιο τους βάρος, το βάρος του αυλακωτού χαλυβδόφυλλου και κυρίως του νωπού σκυροδέματος της πλάκας η οποία δεν μπορεί ακόμα να συμμετάσχει στην παραλαβή φορτίων.

Η χαλύβδινη δοκός είναι της σειράς ΙΡΕ200/Σ235 (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.2) με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

$$(h = 200 \text{ mm}, b = 100 \text{ mm}, t_f = 8,5 \text{ mm}, t_w = 5,6 \text{ mm}, r = 12,0 \text{ mm}, A = 28,5 \text{ cm}^2, \\ I_y = 1940 \text{ cm}^4, I_z = 142 \text{ cm}^4, W_{pl,y} = 221 \text{ cm}^3, I_w = 12.990 \text{ cm}^6, I_T = 7,02 \text{ cm}^4, \\ G = 0,224 \text{ kN/m}).$$

**Κατηγορία πέλματος (προεξέχοντα τμήματα σε θλίψη)**

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{100 - 5,6 - 2 \cdot 12}{2} = 35,2 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{35,2}{8,5} = 4,14 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9$$

Το πέλμα είναι κατηγορία **1** υπό θλίψη

EN1993-1-1, πιν. 5.2

**Κατηγορία κορμού (εσωτερικό τμήμα σε κάμψη)**

$$c = (h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) = (200 - 2 \cdot 8,5 - 2 \cdot 12) = 159 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{159}{5,6} = 28,39 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1 = 72$$

Ο κορμός είναι κατηγορία **1** υπό κάμψη

EN1993-1-1, πιν. 5.2

Επομένως η διατομή *IPE200/S235* είναι κατηγορία **1** υπό κάμψη.

**Έλεγχος ΟΚΛ στη φάση κατασκευής (Φάση Α)**

Τα όρια κατακόρυφης βύθισης (βλ. Πιν. 2.4.1) για τη δοκό στη φάση κατασκευής για κατακόρυφη βύθιση  $q_{1,OKL} = 6,97 \text{ kN/m}$  στη φάση κατασκευής θα είναι

$$w_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{420}{250} = 1,68 \text{ cm}$$

$$\text{οπότε: } w_{Ed} = 192,93 \cdot \frac{q_{1,OKL}}{I_y(*)} = \frac{192,93 \cdot 8,72}{1940} = 0,867 \text{ cm}$$

$$w_{Ed} = 0,867 \text{ cm} < w_{\max} = 1,68 \text{ cm} \text{ [επαρκεί].}$$

**Έλεγχος ΟΚΑ στη φάση κατασκευής (Φάση Α)**

Η αντοχή σχεδιασμού για κάμψη περί τον άξονα  $y-y$  της διατομής της δοκού, όταν η Κατηγορία της είναι **1**, δίνεται από την εξίσωση:

$$M_{pl,yRd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{EN1993-1-1, εξ. 6.13}$$

$$M_{pl,yRd} = \frac{221 \cdot 10^{-2} \cdot 23,5}{1,0} = 51,94 \text{ kNm} .$$

Η ροπή που δρα πάνω στην χαλύβδινη δοκό για φορτίο  $q_{1,OKL} = 9,70 \text{ kN/m}$  θα είναι αντίστοιχα:

$$M_{y,Ed} = q \cdot 2,205 = 12,325 \cdot 2,205 = 27,18 \text{ kNm}$$

οπότε τελικά:

$$m_y = \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,yRd}} = \frac{27,18}{51,94} = 0,523 < 1 \text{ [επαρκεί].}$$

Αντίστοιχα η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση προκύπτει από τη σχέση:

$$V_{pl,zRd} = \frac{A_v \cdot f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \quad \text{EN1993-1-1, εξ. 6.18}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f > \eta \cdot h_w \cdot t_w \quad \text{EN1993-1-1, 6.2.6(3)}$$

$$A_v = 28,5 - 2 \cdot 10 \cdot 0,85 + (0,56 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,85 = 14,02 \text{ cm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1 \cdot 15,9 \cdot 0,56 = 8,90 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,zRd} = \frac{14,02 \cdot 23,5 / \sqrt{3}}{1,0} = 190,22 \text{ kN}.$$

Η τέμνουσα σχεδιασμού στη φάση κατασκευής για φορτίο  $q_{1,OKA} = 9,70 \text{ kN/m}$  θα είναι:

$$V_{zEd} = 2,1 \cdot q = 2,1 \cdot 12,325 = 25,88 \text{ kN}$$

και τελικά:

$$v_z = \frac{V_{zEd}}{V_{pl,zRd}} = \frac{20,88}{190,22} = 0,133 < 1 \quad [\text{επαρκεί}].$$

Επιπρόσθετα στις περιπτώσεις που υπάρχει τέμνουσα δύναμη και ροπή κάμψης απαιτείται να μειωθεί η αντοχή της διατομής σε κάμψη εξαιτίας της εξάντλησης της αντοχής σε διάτμηση αν δεν ικανοποιείται η ανισότητα:

$$V_{z,max} < \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \text{EN1993-1-1, 6.2.8(2)}$$

$$25,88 < \frac{V_{c,Rd}}{2} = \frac{190,22}{2} = 95,11,$$

και επομένως δεν απαιτείται απομείωση της αντίστασης της διατομής σε κάμψη εξαιτίας αυξημένης τέμνουσας.

Πρέπει εδώ να ελεγχθεί η επάρκεια της δοκού στη φάση κατασκευής έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού (στρέβλωσης) καθώς το θλιβόμενο πέλμα στη φάση αυτή ακόμα δεν αντιστηρίζεται. Κρίσιμη παράμετρος στον υπολογισμό αυτό αποτελεί ο προσδιορισμός της ελαστικής κρίσιμης ροπής στρεπτοκαμπτικού λυγισμού  $M_{cr}$  η οποία μπορεί να προσδιοριστεί από τον τύπο:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L_{LT})^2} \cdot \left[ \left( \sqrt{\left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + 0,039 \cdot \frac{I_T \cdot L_{LT}^2}{I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} \right) - C_2 \cdot z_g \right]$$

που για αμφίερειστη δοκό με ομοιόμορφο φορτίο

$$C_1 = 1,132, \quad C_2 = 0,459, \quad (\text{βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.3.2})$$

Το φορτίο δρά κυρίως στην άνω παρειά της δοκού οπότε

$$z_g = +\frac{20}{2} = 10,0 \text{ cm}, \quad k = k_w = 1, \quad \text{οπότε:}$$

$$M_{cr} = 1,132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 142}{420^2} \cdot \left[ \left( \sqrt{\frac{12990}{142} + 0,039 \cdot \frac{7,02 \cdot 420^2}{142} + (0,459 \cdot 10)^2} \right) - 0,459 \cdot 10^{-2} \right]$$

$$M_{cr} = 1,132 \cdot 166,84 \cdot 16,685 \cdot 10^{-2} = 31,51 \text{ kNm}.$$

Η αντίστοιχη ανηγμένη λυγηρότητα είναι:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \text{EN1993-1-1, 6.3.2.2 \& πιν. 6.4}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{2,21 \cdot 23,5}{31,51}} = 1,284 \xrightarrow{\text{b}} X_{LT} = 0,533 \quad (\text{βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ2})$$

Σημειώνεται ότι η επιλογή καμπύλης στρεπτοκαμπτικού λυγισμού έγινε σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1.2.2 Μέθ. 2 του EN1993-1-1 για  $\frac{h}{b} = \frac{20}{10} = 2 \leq 2$ , καμπύλη "b".

Η ροπή αντοχής σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό (στρέβλωση) στη φάση κατασκευής που το θλιβόμενο πέλαμα ενδεχομένως να μην αντιστηρίζεται επαρκώς πλευρικά, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M_{b,Rd} = X_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{EN1993-1-1, εξ. 6.55}$$

$$M_{b,Rd} = 0,533 \cdot 2,21 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 0,533 \cdot 51,93 = 27,68 \text{ kNm}$$

οπότε το ποσοστό εξάντλησης της αντίστασης της διατομής σε στρέβλωση είναι:

$$m_{LT} = \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{27,18}{27,68} = 0,98 < 1 \quad .$$

Από όλους τους ελέγχους που προηγήθηκαν προκύπτει ότι η διατομή IPE200/S235 επαρκεί για την δευτερεύουσα δοκό στη φάση κατασκευής (Φάση Α).

#### 4.2.4 Έλεγχος σχεδιασμού τυπικής δευτερεύουσας δοκού στη φάση λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β)

Το συνεργαζόμενο πλάτος της πλάκας που συμμετέχει στη σύμμικτη λειτουργία της δευτερεύουσας δοκού (βλ. §4.2.2) στη θέση της μέγιστης κάμψης (άνοιγμα) είναι  $b_{\text{eff}} = 892,4 \text{ mm}$ .

Στην περίπτωση χρήσης γραμμικής ελαστικής ανάλυσης (βλ. 3.1.4.2) για την απόκριση της διατομής αρχικά προσδιορίζεται ο συντελεστής αναγωγής:

$$n_o = \frac{E_a}{E_{\text{cm}}} = \frac{21000}{3100} = 6,774$$

της πλάκας σε ισοδύναμη χαλύβδινη διατομή, όπου  $E_a$  είναι το Μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα  $E_a = 21000 \text{ kN/cm}^2$  (βλ. §2.2.3) της υποκείμενης χαλύβδινης δοκού. Ομοίως  $E_{\text{cm}} = 3100 \text{ kN/cm}^2$  είναι το Μέτρο Ελαστικότητας της πλάκας σκυροδέματος ποιότητας C25/30 ( $E_{\text{cm}}$ : βλ. τιμή Πιν. 2.2.5). Η διατομή της πλάκας από σκυρόδεμα είναι μεταβλητή στην κάτω παρειά εξαιτίας των αυλακώσεων που διαμορφώνει το χαλυβδόφυλλο.

Επομένως το μεταβλητό τμήμα της πλάκας έχει δεδομένες διαστάσεις βάσεων  $b_b = 12 \text{ cm}$   $b_a = 18 \text{ cm}$  και  $b_o = 15 \text{ cm}$  και αντίστοιχα ύψους αυλάκωσης  $h_p = 6,0 \text{ cm}$  (βλ. Σχ. 4.4.1.2). Για μια αυλάκωση με πλάτος  $b_s = 30 \text{ cm}$  και ύψος σταθερού τμήματος  $h_c = 7,5 \text{ cm}$ , το εμβαδόν διατομής στη διάσταση του συνεργαζόμενου πλάτους  $b_{\text{eff}} = 89,24 \text{ cm}$  είναι:

$$A_c = \left[ \left( (b_b + b_a) \cdot \frac{h_p}{2} \right) + b_s \cdot h_c \right] \cdot \frac{b_{\text{eff}}}{b_s}$$

$$A_c = \left[ \left( (12,0 + 18,0) \cdot \frac{6,0}{2} \right) + 30,0 \cdot 7,5 \right] \cdot \frac{89,24}{30,0}$$

$$A_c = \frac{315 \cdot 89,24}{30,0} = 937,02 \text{ cm}^2.$$

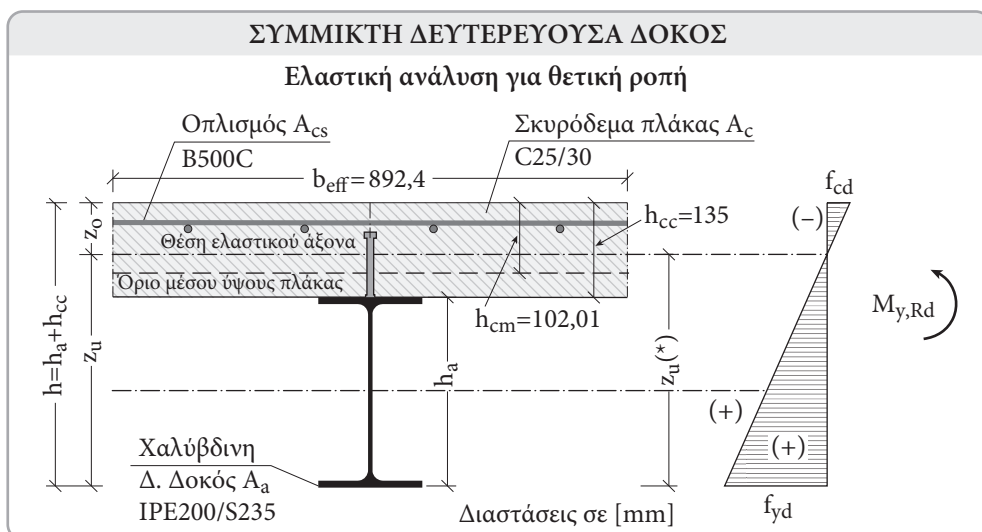
Το εμβαδόν της ισοδύναμης χαλύβδινης διατομής της πλάκας από σκυρόδεμα είναι:

$$A_{\text{cs}} = \frac{A_c}{n_o} = \frac{937,02}{6,774} = 138,33 \text{ cm}^2.$$

Το μέσο ύψος της πλάκας σκυροδέματος προκύπτει με εμπειρικό τρόπο με τη διαίρεση του εμβαδού  $A_c$  της πλάκας με το συνεργαζόμενο πλάτος οπότε

$$h_{\text{cm}} = \frac{A_c}{b_{\text{eff}}} = \frac{937,02}{89,24} = 10,50 \text{ cm}.$$





Σχήμα 4.2.1.4. Ελαστική ανάλυση σύμμικτης δευτερεύουσας δοκού - Κατανομή τάσεων για θετική ροπή.

Αρχικά πρέπει να εκτιμηθεί η θέση του κέντρου ελαστικής στροφής με επιλεγόμενο σημείο αναφοράς την άνω παρειά της πλάκας (βλ. Σχ. 4.2.1.4).

$$z_o = \frac{A_a \cdot \left(\frac{h_a}{2} + h_{cc}\right) + A_{cs} \cdot \frac{h_{cm}}{2}}{A_a + A_{cs}}$$

$$z_o = \frac{28,5 \cdot \left(\frac{20}{2} + 13,5\right) + 138,33 \cdot \frac{10,50}{2}}{28,5 + 138,33}$$

$$z_o = \frac{1395,98}{166,83} = 8,37 \text{ cm}$$

Επομένως η ροπή αδρανείας  $I_y(^*)$  της ισοδύναμης διατομής θα είναι:

$$I_y(^*) = I_{y,a} + \frac{I_{y,cs}}{n_o} + A_a \cdot \left(\frac{h_a}{2} + h_b - z_o\right)^2 + A_{cs} \cdot \left(\frac{z_o - h_{cm}}{2}\right)^2$$

$$I_y(^*) = 1940,0 + \frac{89,24 \cdot 10,70^3}{6,774} + 28,5 \cdot \left(\frac{20}{2} + 13,5 - 8,37\right)^2 + 138,33 \cdot \left(\frac{8,37 - 10,70}{2}\right)^2$$

$$I_y(^*) = 1940,0 + 1344,88 + 6524,13 + 187,75 = 11070,92 \text{ cm}^4$$

Η απόσταση του κέντρου ελαστικής στροφής από την κάτω παρειά θα είναι:

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## Παράδειγμα σχεδιασμού σύμμικτων στύλων πολυώροφου κτιρίου

### 5.1 Γενικά στοιχεία

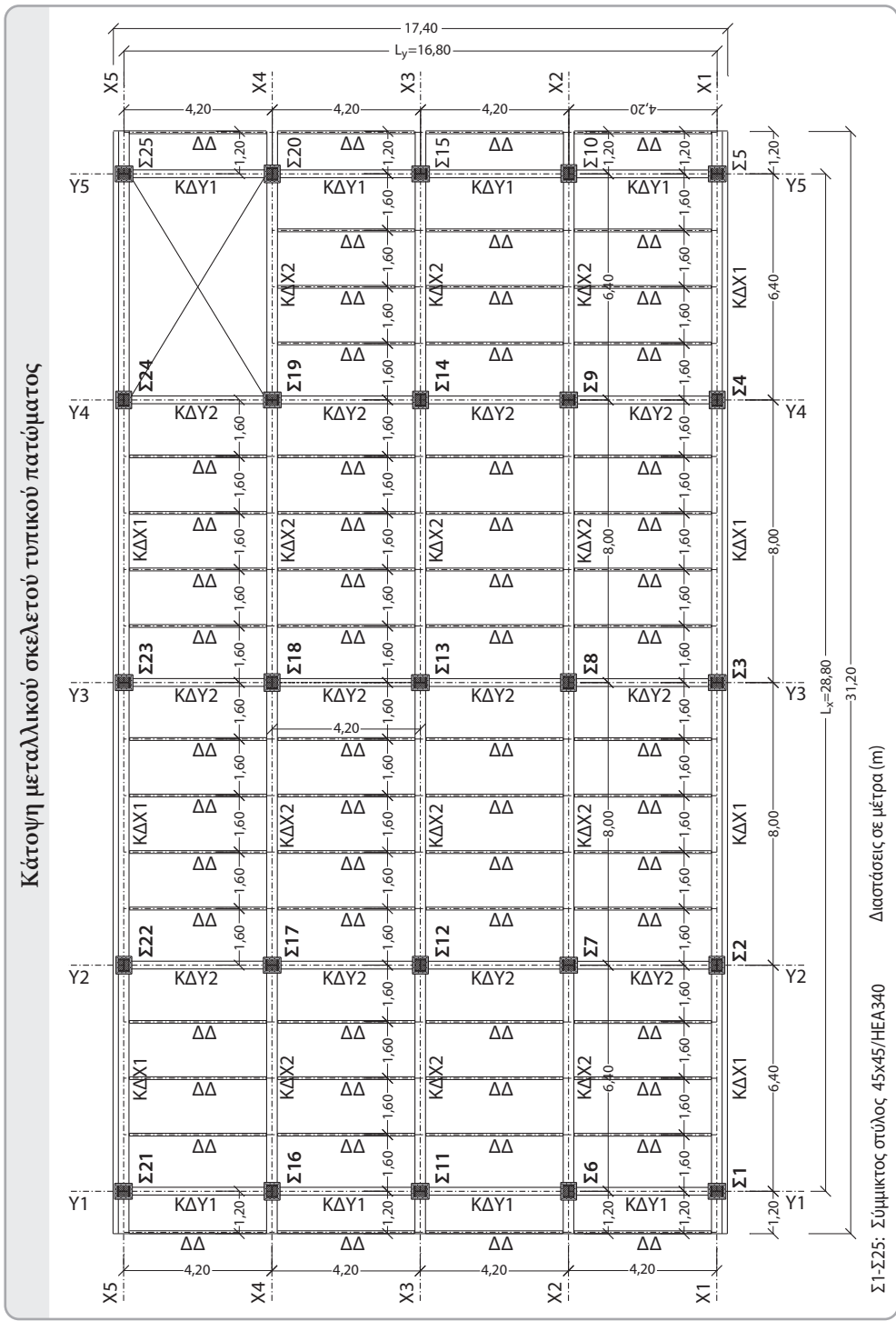
#### 5.1.1 Περιγραφή της κατασκευής

Σύμφωνα με όσα αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια σχετικά με τη σύμμικτη διαμόρφωση και συμπεριφορά στύλων (βλ. §3.3) προκύπτει ότι το πλεονέκτημα τους δεν είναι κυρίως η αυξημένη αντίσταση εξαιτίας της συνεργασίας μεταξύ των δύο υλικών του δομικού χάλυβα και του σκυροδέματος έναντι κάμψης. Το κυριότερο πλεονέκτημα είναι ότι αυξάνεται έντονα η αντίσταση της διατομής του στύλου σε λυγισμό και αυτό έχει μεγάλη σημασία σε πολυώροφα κτίρια, ενώ αυξάνεται εξαιτίας του εγκιβωτισμού της χαλύβδινης διατομής με επαρκές πάχος σκυροδέματος και η αντίσταση της διατομής σε περίπτωση φωτιάς. Όπως αναλύθηκε και προηγουμένως (βλ. §2.1.3) τα πλεονεκτήματα αυτά οδήγησαν παγκοσμίως σε μεγάλη αύξηση της δόμησης πολυώροφων σύμμικτων κτιρίων με ταυτόχρονα αύξηση των ορόφων των κτιρίων με το συγκεκριμένο τρόπο.

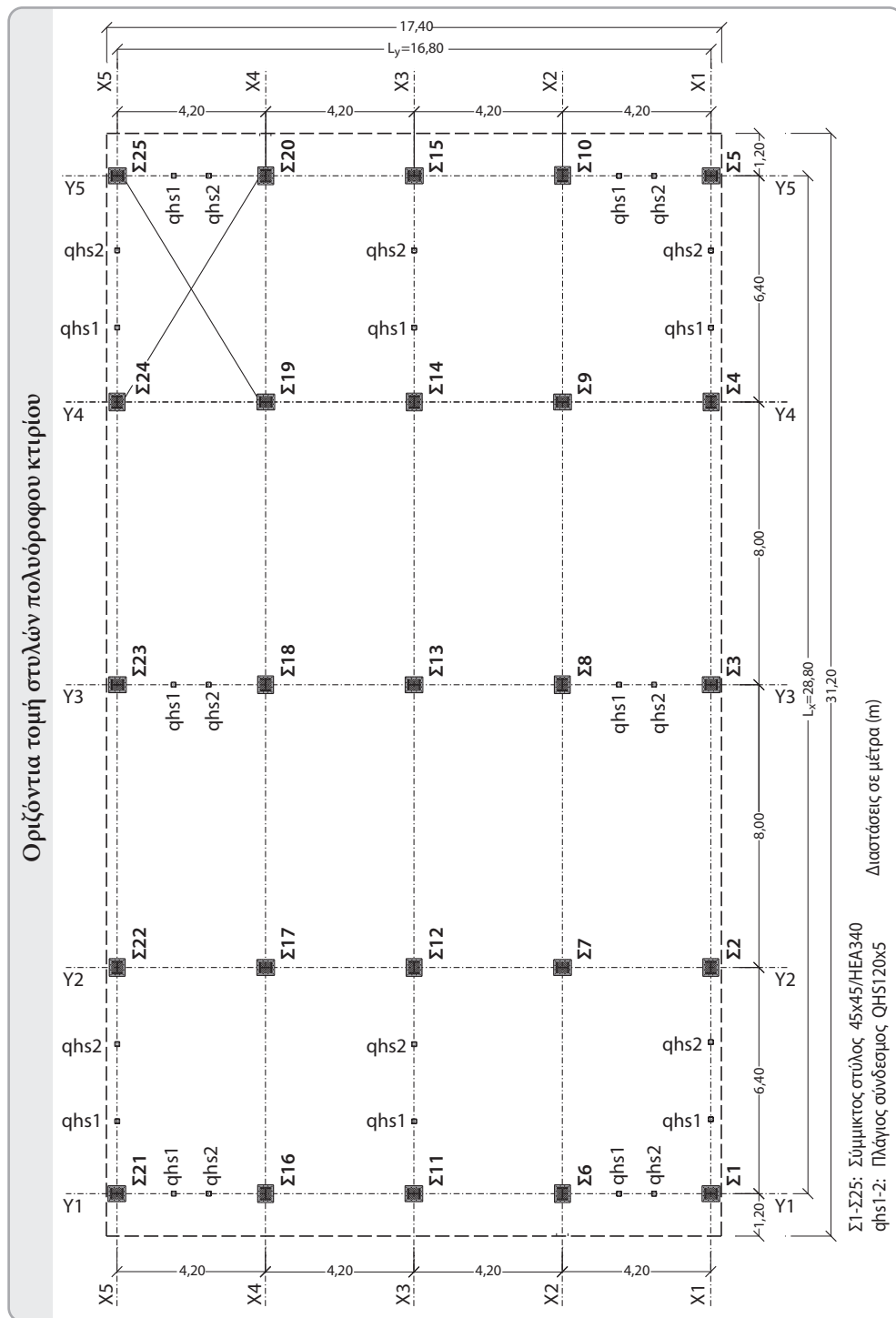
### 5.2 Ανάλυση σχεδιασμού σύμμικτων στύλων κτιρίου

#### 5.2.1 Περιγραφή του προβλήματος

Το υπό σχεδιασμό κτίριο στην περίπτωση αυτή είναι το ίδιο που περιγράφηκε ήδη στο Κεφάλαιο 4 σε ό,τι αφορά κυρίως τον σχεδιασμό του τυπικού σύμμικτου πατώματός του. Το κτίριο πρόκειται να στεγάσει πολυκατάστημα τεσσάρων ορόφων,



Σχήμα 5.2.1.1 (α). Σκαρίφημα (α) κάτοψης σύμμικτων στύλων πολυώφου κτιρίου.



Σχήμα 5.2.1.1 (β). Σκαρίφημα οριζόντιας τομής σύμμικτων στύλων πολυώροφου κτιρίου.

## Παράδειγμα σχεδιασμού σύμμικτου καταστρώματος γέφυρας μορφής πλακοδοκού

### 6.1 Περιγραφή της κατασκευής

Αντικείμενο του παραδείγματος αυτού είναι η ανάλυση σχεδιασμού και φέρουσας ικανότητας σύμμικτου καταστρώματος γέφυρας τριών ανοιγμάτων  $L_1 = 16,45\text{ m}$ ,  $L_2 = 32,90\text{ m}$ ,  $L_3 = 16,45\text{ m}$  και συνολικού μήκους γεφύρωσης μεταξύ των αξόνων έδρασης επί των ακροβάθρων  $L = 65,80\text{ m}$ . Το στατικό σύστημα του καταστρώματος της γέφυρας είναι αυτό του φορέα τριών συνεχών ανοιγμάτων με σημεία στήριξης τα δύο ακρόβαθρα A1 και A2 αλλά και δύο μεσόβαθρα M1 και M2 (βλ. Σχ. 6.1.1.1). Ο φορέας αποτελείται από 5 συγκολλητές υψίκορμες δοκούς διπλού ταυ, από χάλυβα S355 σε σύμμικτη σύνδεση μέσω διατμητικών συνδέσμων με την υπερκείμενη έγχυτη πλάκα καταστρώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα C35/45 πάχους  $t_p = 30\text{ cm}$ .



Σχήμα 6.1.1.1. Σκαρίφημα κάτοψης καταστρώματος γέφυρας.

Οι δοκοί είναι τοποθετημένες σε σταθερές αποστάσεις μεταξύ τους  $B_i = 260 \text{ cm}$ , ενώ η πλάκα εκτείνεται για τις ακραίες δοκούς σε πλάτος  $B_a = 100 \text{ cm}$ , ως το άκρο της πλάκας κατά την έννοια του πλάτους. Με τα δεδομένα αυτά η πλάκα καταστρώματος έχει συνολικό πλάτος  $L_y = 1240 \text{ cm}$ . Ταυτόχρονα το συνολικό πλάτος του καταστρώματος κυκλοφορίας, με δεδομένες τις διαμορφώσεις κατά πλάτος των διαστρωμένων σε β' φάση πεζοδρομίων που εκτείνονται πέραν της πλάκας κατά  $35 \text{ cm}$  από κάθε πλευρά, ανέρχεται σε  $B = 1310 \text{ cm}$  (βλ. Σχ. 6.1.1.2).

Η γέφυρα φέρει οδό δύο κατευθύνσεων κυκλοφορίας χωρίς διαχωριστική νησίδα, επομένως το κατάστρωμα κυκλοφορίας διαμορφώνεται με τη διάστρωση σκυροδέματος κλίσεων  $2\%$  από τον άξονα της γέφυρας προς τα άκρα, αφού προηγηθεί κατάλληλη μόνωση της άνω παρειάς της πλάκας με ειδικές ασφαλτικές μεμβράνες αγκυρωμένη στην παρειά των εκατέρωθεν πεζοδρομίων. Στην συνέχεια πάνω από το σκυρόδεμα ρύσεων διαστρώνονται  $2$  ασφαλτικές στρώσεις πάχους  $5,0 \text{ cm}$  η κάθε μια και συνολικά  $10 \text{ cm}$ . Επιπρόσθετα όπως αναφέρθηκε τα πεζοδρόμια πλάτους  $135 \text{ cm}$  στα άκρα, τα οποία αποτελούν και βάσεις στήριξης του στηθαίου ασφαλείας, διαμορφώνονται με μεταβλητό πάχος ώστε να υπάρχει κλίση  $4\%$  στην άνω παρειά του προς το εσωτερικό του καταστρώματος.

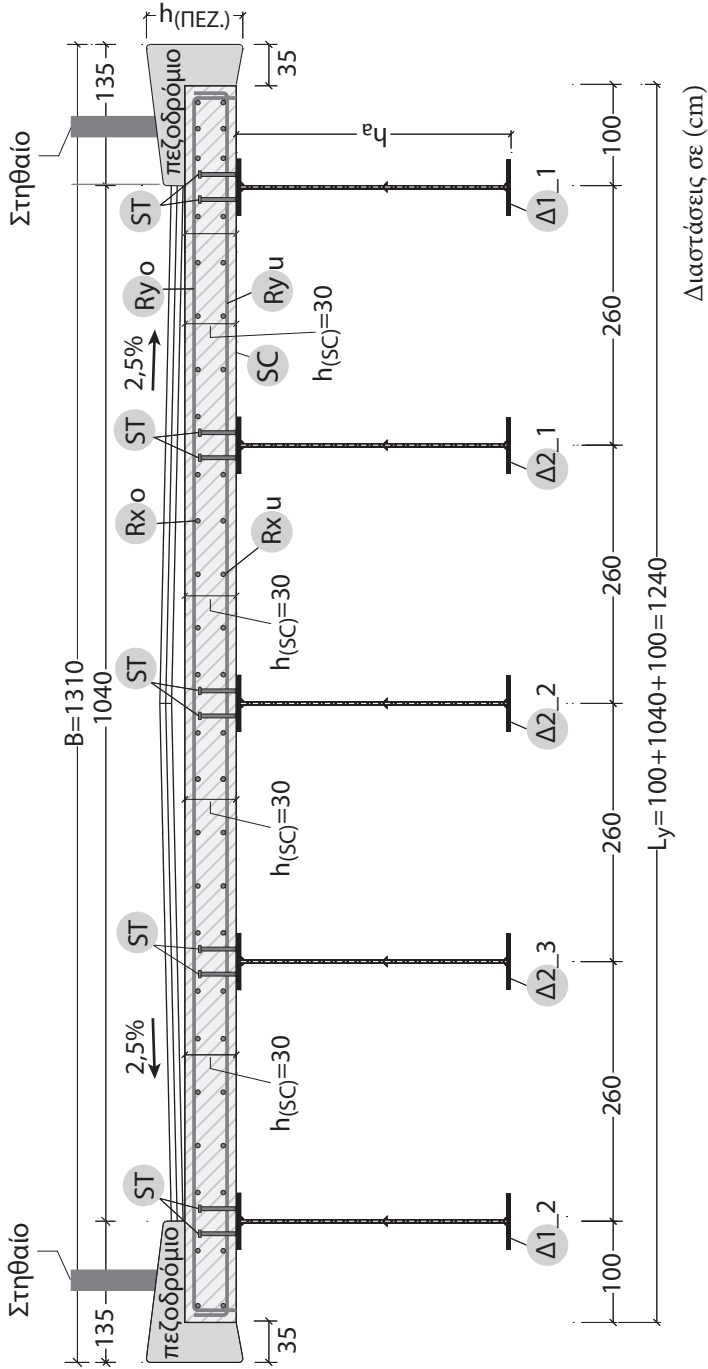
Όπως συμβαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις σύμμικτων γεφυρών [51], ο φορέας της γέφυρας διαμορφώνεται ως *μη υποστλωμένος* (βλ. §2.1.3 & Σχ. 2.1.5). Επομένως ο χαλύβδινος σκελετός του καταστρώματος, που πρέπει να συνεργαστεί με την πλάκα καταστρώματος στη φάση κατασκευής, πρέπει να έχει επαρκή φέρουσα ικανότητα ώστε να φέρει με ασφάλεια τα φορτία του νωπού σκυροδέματος έως αυτό σκληρυνθεί και αναλάβει πλήρως τα φορτία σχεδιασμού που του αναλογούν.

Εκτός από κύρια μέλη ο φορέας πρέπει να διαθέτει και διαγώνια στοιχεία στο επίπεδο του καταστρώματος (βλ. Σχ. 6.1.1.2) και Εγκάρσιους Συνδέσμους (ΕΣ) σε σταθερές κατά μήκος αποστάσεις  $412,50 \text{ cm}$  που με τη δικτυωτή διαμόρφωσή τους



Σχήμα 6.1.1.2. Σκαρίφημα άνοψης χαλύβδινου σκελετού καταστρώματος γέφυρας.

Εγκάρσια τομή καταστρώματος γέφυρας στο άνοιγμα



$\Delta 1\_J$ : Συγκολλητή χαλύβδινη δοκός S355  
 SC: Πλάκα σκυροδέματος C35/45  
 R: Χαλαρός οπλισμός πλάκας B500C  
 ST: Διατηρητικοί ήλοι

Σχήμα 6.1.1.3. Σκαρίφωμα εγκάρσιας τομής καταστρώματος γέφυρας – θέση: Άνοιγμα.

θα περιορίζουν τον κίνδυνο στρεπτοκαμπτικού λυγισμού (στρέβλωσης) που προκύπτει από την κάμψη των κυρίων δοκών του Καταστρώματος (βλ. Σχ. 6.1.1.4).

Το συνολικό ύψος της χαλύβδινης δοκού μετά από δοκιμές ανέρχεται σε  $h_a = 234$  cm και αποτελείται από συγκολλημένα ελάσματα πελμάτων ίσου πλάτους, με σχέση πλάτους/πάχους πέλματος [42/3]cm και κορμού/πάχους κορμού [228/3]cm. Στην άνω παρειά κάθε δοκού συνδέονται διατμητικοί ήλιοι τοποθετημένοι σε σταθερές αποστάσεις κατά μήκος της ώστε να επιτευχθεί αποτελεσματική σύμμικτη λειτουργία για το φορέα της γέφυρας (βλ. Σχ. 6.1.1.3). Προβλέπονται δύο εκατέρωθεν ακραίες δοκοί οι Δ1\_1 και Δ1\_2 και τρεις εσωτερικές οι Δ2\_1, Δ2\_2 και Δ2\_3 όμοιας διαμόρφωσης και λειτουργίας. Οι δοκοί σε ένα τέτοιο σύστημα μπορούν να τοποθετηθούν με προωθούμενο ρύγχος και σύνδεση προκατασκευασμένων τμημάτων σε κόμβους αποκατάστασης συνέχειας σε κατάλληλες θέσεις (πχ μειωμένων ροπών), με κοχλιωτά συνδεδεμένες λεπίδες κορμού και πελμάτων. Το αντικείμενο του σχεδιασμού των κόμβων αυτών περιγράφεται στο EN1993-1-8 και δεν περιλαμβάνεται στην ανάλυση που ακολουθεί.

Οι χαλύβδινες δοκοί στηρίζονται στα ακρόβαθρα A1 και A2 τα οποία διαμορφώνονται ως ολόσωμα τοιχοειδή από οπλισμένο σκυρόδεμα δομικά στοιχεία, μέσω κατάλληλα σχεδιασμένων ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Επιπρόσθετα οι χαλύβδινες δοκοί στηρίζονται στις κεφαλές των μεσόβαθρων M1 και M2 επίσης μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Τα μεσόβαθρα στο παράδειγμα αυτό μεσόβαθρα διαμορφώνονται επίσης από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η ακριβής διαμόρφωση, διάταξη και διαστασιολόγηση του συστήματος ακρόβαθρων και μεσόβαθρων, όπως και της θεμελίωσής αυτών είναι έξω από τους σκοπούς του παραδείγματος αυτού και δεν παρουσιάζεται περαιτέρω.

Ταυτόχρονα η σύνδεση των βάθρων με τις χαλύβδινες δοκούς κάτω από το κάτω πέλμα τους γίνεται μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων τύπου NB3/4 300×400/99 κατάλληλων για έδραση χαλύβδινων δοκών καταστρώματος. Στις θέσεις των βάθρων (βλ. Σχ. 6.1.1.5) προβλέπεται διαμόρφωση Εγκάρσιου Συνδέσμου (ΕΣ) αποτελούμενου από άνω και κάτω πέλμα από δοκούς ΗΕΑ και διαγώνιες ράβδους από τετράγωνη κοιλοδοκό.

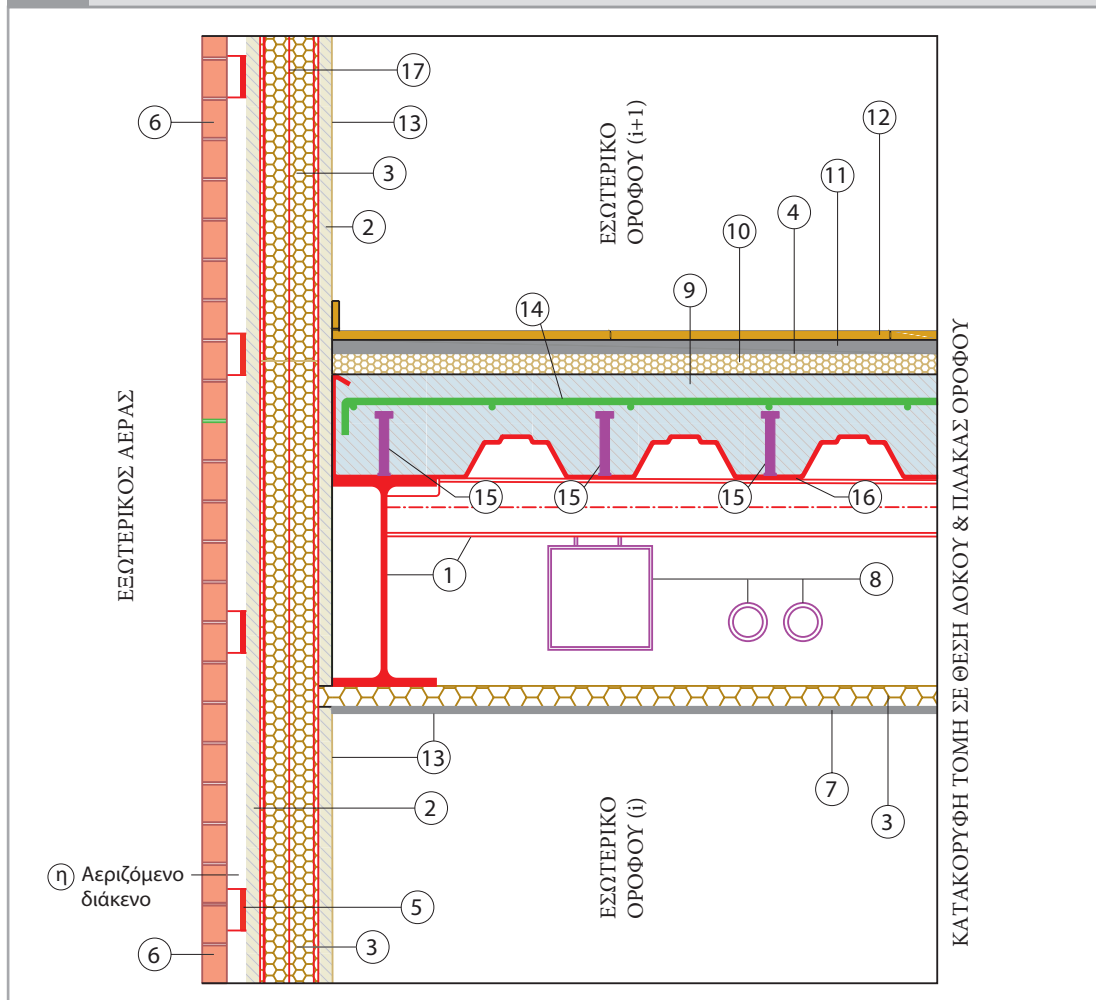
Στοιχεία της διαστασιολόγησης του Εγκάρσιου Συνδέσμου θα δοθούν στη συνέχεια σε συγκεκριμένη ενότητα του παραδείγματος, ενώ οι χαλύβδινες διαμήκεις κύριες δοκοί στις θέσεις στήριξης θα φέρουν ενισχυτικές αμφίπλευρες κατακόρυφες νευρώσεις πλάτους/πάχος [10,0/0,8] cm.



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

- A. Ενδεικτικές μορφές λεπτομέρειας εξωτερικού κελύφους σύμμικτων κτιρίων**
- B. Βοηθητικοί πίνακες προσδιορισμού αντίστασης κοχλίων σε διάτμηση και εφελκυσμό**
- Γ. Διαγράμματα εντατικών μεγεθών και βυθίσεων τυπικών χαλύβδινων δοκών**
- Δ. Βοηθητικοί πίνακες καμπτικού λυγισμού και στρέβλωσης χαλύβδινων μελών**
- Ε. Πίνακες προσδιορισμού κατηγορίας και χαρακτηριστικών πρότυπων ελατών χαλύβδινων διατομών**

**A.1α. Σύμμικτη δοκός / Χαλύβδινος στύλος – Επαφή σύμμικτης δοκού/κελύφους**



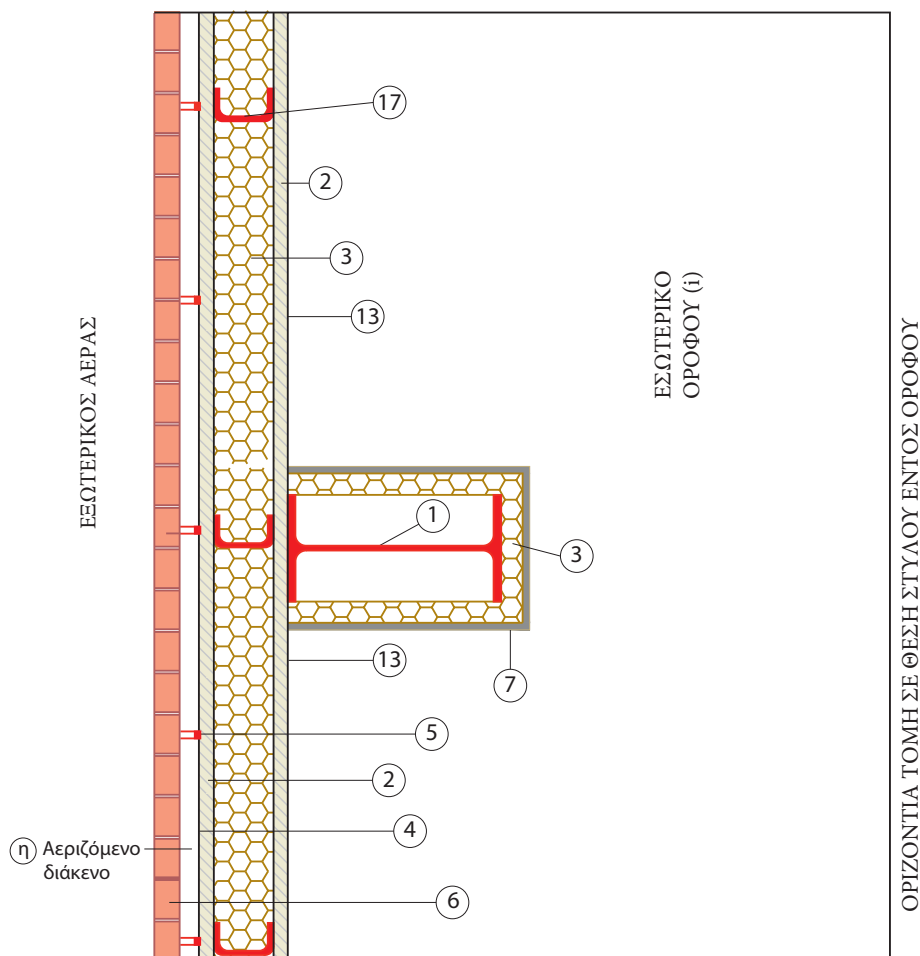
**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

1. Φέρουσα διατομή από Χάλυβα με αντισκωριακή μεταλλική βαφή
2. Τσιμεντοσανίδα (t=20 mm)
3. Πετροβάμβακας ( $\rho=65/80/100 \text{ kg/m}^3$ , t=30/40/50/60 mm)
4. Φύλλο πολυαιθυλαινίου (πάχος 0,2 mm)
5. Μεταλλικό στήριγμα εξωτ. επένδυσης
6. Εξωτ. επένδυση π.χ. με διακοσμητικά τούβλα (t=20/50/100 mm)
7. Απλή γυψοσανίδα (t=12,5 mm)
8. Η/Μ δίκτυα εντός ψευδοροφής
9. Πλάκα σκυροδέματος σύμμικτης διατομής δοκού
10. Ηχομονωτική στρώση με πετροβάμβακα (t=30/40 mm)
11. Γαρμπιλόδεμα (t=20/25 mm)
12. Κεραμικά πλακίδια δαπέδου (t=10/15 mm)
13. Χρωματισμός ακρυλικής βάσης
14. Χάλυβας σπλισμού
15. Διατημητικός σύνδεσμος σύμμικτης πλάκας
16. Τραπεζοειδές χαλυβδόφυλλο
17. Χαλύβδινος σύνδεσμος διαμόρφωσης εξωτερικού κελύφους

- α. Φ.Ο. από Χάλυβα εκτός τοίχου κελύφους
- β. Εξωτερική επένδυση με πλάκες μαρμάρου
- γ. Ενιαίο σύστημα θερμομόνωσης & πυροπρ.
- δ. Θερμομόνωση με φύλλα πετροβάμβακα (\*)  
(\*) εναλλακτικά εφαρμογή θερμομόνωσης:  
- φύλλα εξηλασμένης πολυστερίνης
- ε. Πυροπροστασία με φύλλα πετροβάμβακα (\*\*)  
(\*\*) εναλλακτικά εφαρμογή πυροπροστασίας:  
- βαθιά πυροπροστασίας  
- αντιπυρικό επίχρισμα  
- πυράντοχη σανίδα (αντί (7))
- ζ. Χάλυβας με αντισκωριακή μεταλλική βαφή
- η. Αεριζόμενο διάκενο (t=50/75/100/150 mm)

## A.1β. Σύμμικτη δοκός / Χαλύβδινος στύλος – Επαφή σύμμικτης στύλου/κελύφους



### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

1. Φέρουσα διατομή από Χάλυβα με αντισκωριακή μεταλλική βαφή
2. Τιμεντοσανίδα ( $t=20$  mm)
3. Πετροβάμβακας ( $\rho=65/80/100$  kg/m<sup>3</sup>,  $t=30/40/50/60$  mm)
4. Φύλλο πολυαιθυλαίνιου (πάχος 0,2 mm)
5. Μεταλλικό στήριγμα εξωτ. επένδυσης
6. Εξωτ. επένδυση π.χ. με διακοσμητικά τούβλα ( $t=20/50/100$  mm)
7. Απλή γυψοσανίδα ( $t=12,5$  mm)
13. Χρωματισμός ακρυλικής βάσης
17. Χαλύβδινος σύνδεσμος πλαισίου διαμόρφωσης εξωτερικού κελύφους

### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- α. Φ.Ο. από Χάλυβα εκτός τοίχου κελύφους
- β. Εξωτερική επένδυση με πλάκες μαρμάρου
- γ. Ενιαίο σύστημα θερμομόνωσης & πυροπρ.
- δ. Θερμομόνωση με φύλλα πετροβάμβακα (\*)  
(\*) εναλλακτικά εφαρμογή θερμομόνωσης:  
- φύλλα εξηλασμένης πολυστερίνης
- ε. Πυροπροστασία με φύλλα πετροβάμβακα (\*\*)  
(\*\*) εναλλακτικά εφαρμογή πυροπροστασίας:  
- βαφή πυροπροστασίας  
- αντιπυρικό επίχρισμα  
- πυράντοχη σανίδα (αντί (7))
- ζ. Χάλυβας με αντισκωριακή μεταλλική βαφή
- η. Αεριζόμενο διάκενο ( $t=50/75/100/150$  mm)

## Ευρετήριο όρων

### A

- αδρανή σκυροδέματα, 34
- αιφόρος σχεδιασμός, 1
- αεριζόμενο διάκενο, 336, 337
- ακαμψία, 13
- ακραία δοκός, 295, 324
  - » ίνα, 14
- άκρο ανάφλεξης, 46
- ακρόβαθρων, 284
- αλληλεπίδραση κάμψης, 266
- αμφιέριστη δοκός, 99, 171
- αμφιέριστο, 306
- αμφίπακτο άνοιγμα, 223
- αμφίπακτος στύλος, 255
- αμφίπλευρες κατακόρυφες νευρώσεις, 284
- ανάγλυφο εδάφους, 66
- ανακατανομή της έντασης, 287
  - » της καμπτικής ροπής, 100
  - » των ροπών, 230
- ανακυκλιζόμενη δυναμική φόρτιση, 29
- ανάπτυξη διαμήκους τέμνουσας, 190, 211
- ανελαστική παραμόρφωση, 18, 19
- άνεμος, 252
- ανεστραμμένο εκκρεμές, 73
- ανηγμένη παραμόρφωση, 39
- ανηγμένων λυγηροτήτων, 270
- ανθεκτικότητα, 39
- ανθρακοχάλυβας, 42
- ανθρωποσυνωστισμός, 55, 60, 290
- άνοιγμα φατνώματος, 199, 220
- ανοιχτοί συνδετήρες, 147
- αντεστραμμένο τραπέζιο, 123
- αντιπυρικό επίχρισμα, 336
- αντισεισμικός υπολογισμός, 3, 70, 256
- αντισκωρική μεταλλική βαφή, 336
- αντοχή σκυροδέματος, 152
  - » σχεδιασμού σε διάτμηση, 162
  - » θλιβόμενης διατομής, 152
- άνω ίνα, 14
- άνω πέγμα, 25, 85
- άνω και κάτω ίνα, 293
- αξιοπιστία της κατασκευής, 7
- άξονας κύριας κάμψης, 13
  - » στροφής, 13
- άξονες κάμψης, 152
- αξονική θλιπτική δύναμη, 210
  - » θλίψη, 272
- απλή γυψοσανίδα, 336
- απλοποιημένη μέθοδος, 98
- αποθέματα αντοχής, 22
- απορροφητικότητα επιφάνειας, 67
- απόσβεση, 257
- απόσταση  $b_0$ , 82
- αποχωρισμός του σκυροδέματος, 112, 190
- απώλεια αντίστασης, 118
- αρηγμάτωση διατομή, 268
- αρνητικές ροπές, 99, 100
- αρνητική παραμόρφωση, 95
  - » ροπή, 209, 229
- αρνητικό βέλος, 78
- αρχές ανάλυσης, 2
- αρχιτεκτονική διαμόρφωση, 7
- ασθενής διεύθυνση, 255
- αστικό κέντρο, 254
- ασφάλεια κατασκευής, 1
- ασφαλτικές επιστρώσεις, 300
  - » μεμβράνες, 282
  - » στρώσεις, 282
- ατέλειες μέλους σύμμικτων στύλων, 153
- αυλακώσεις, 140
  - » αντεστραμμένου τύπου, 123
  - » κάθετα στην υποκείμενη δοκό, 116
  - » παράλληλα στην υποκείμενη δοκό, 115
- αυλάκωση, 185, 234
  - » δυσκαμψίας, 126
  - » και χαρακτηριστικά, 237
- αυλάκωσης ύψος, 185
- αυλακωτά χαλυβδόφυλλα, 43, 44, 81, 177
- αυξημένη δυσκαμψία, 9

αυξημένη συνάθροιση, 101  
 αυτογενής συρρίκνωση, 38  
 αφόρτιστος συρμός, 61

**B**

βαθιές αυλακώσεις, 132  
 βαριά κυκλοφορία, 290, 301  
 βάρος, 5  
 βάρος διατομής, 309  
 » του νερού, 173, 287  
 » ψευδοροφής, 178  
 βασική ταχύτητα ανέμου, 66, 292  
 βαφή πυροπροστασίας, 336  
 βέλος σε ΟΚΛ, 103  
 βέλτιστος τρόπος, 5  
 βιβλιοθήκες, ράφια, 58  
 βιομηχανική επανάσταση, 8  
 βολταϊκό τόξο, 46  
 βραχυχρόνια μονοαξονική φόρτιση, 35  
 B500A, 40  
 B500C, 39

**Γ**

γαλβανισμένα εν θερμώ χαλυβδόφυλλα, 41  
 γαρμπιλόδεμα, 336  
 γέφυρα, 282  
 γεωμετρικά χαρακτηριστικά σύμμικτης πλά-  
 κας, 237  
 γεωμετρικό πλάτος, 89  
 γραμμικά μεταβαλλόμενη συνιστώσα θερμο-  
 κρασίας, 176  
 γραμμική ελαστική ανάλυση, 185  
 γραμμική συνιστώσα θερμοκρασιακής διαφο-  
 ράς, 69

**Δ**

δάπεδα αποθήκευσης, 58  
 δάπεδο με ελαφροσκυρόδεμα, 174  
 δεξαμενές νερού, 8  
 δέσμη στύλων, 26, 144  
 δεσπόζουσα μεταβλητή δράση, 264, 304  
 δευτερεύουσα δοκός, 177  
 δευτερογενείς αρνητικές ροπές, 288  
 διάβρωση χαλυβδόφυλλου, 84  
 διάγραμμα αλληλεπίδρασης, 158, 272  
 διάγραμμα συνεργαζόμενου πλάτους, 180,  
 218, 312

διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης, 13  
 διαγράμματα βυθίσεων, 326  
 διαδικασία συγκόλλησης, 47  
 διακριτή πλευρική στήριξη, 98  
 διάμετρος κόκκων, 237  
 » του ήλου, 233  
 διαμήκεις διατμητικές τάσεις συνάφειας, 6  
 διαμήκεις νευρώσεις, 120  
 διαμήκης απόσχιση, 122  
 » διάτμηση, 275  
 » διατμητική δύναμη, 113  
 διαμήκους σύνδεσης, 45  
 » τέμνουσας, 330  
 διαξονική κάμψη, 146, 161  
 διαστασιολόγηση διατμητικών συνδέσμων,  
 329  
 διάστρωση, 93  
 διατμητική αντίσταση ήλου, 48, 113, 191  
 » κύρτωση, 120  
 » σύνδεση, 6  
 » υστέρηση, 89  
 διατμητικό εμβαδόν διατομής, 309  
 διατμητικός ήλος, 82  
 διατμητικός ήλος κεφαλής, 211  
 διατμητικοί ήλοι, 7, 210, 277, 283, 329  
 διατμητικό μήκος, 141  
 διατμητικοί σύνδεσμοι, 275  
 διατομές σε επαφή, 7  
 διατομή διπλού T, 14  
 » ήλου, 277  
 » των σύμμικτων στύλων, 143  
 » υπό κάμψη, 17  
 διάτρηση, 130  
 διαφορά θερμοκρασίας, 67  
 διαφράγματα, 123  
 διγραμμική προσέγγιση, 19  
 δίδυμος άξονας TS, 60  
 διεπιφάνεια, 22, 123, 189, 275  
 διέριστη πλάκα, 129  
 διεύθυνση της αυλάκωσης, 81  
 διορθωμένος συντελεστής αναγωγής, 117,  
 163, 287  
 δοκίμιο σύμμικτου τοιχώματος, 28  
 δοκοί καταστρώματος, 295  
 » μερικώς εγκιβωτισμένες, 81  
 δοκός, 25  
 δοκός κιβωτιοειδής, 85

- δομικό πλέγμα, 87  
 » σύστημα, 1
- δομικός χάλυβας, 1, 2, 30, 252
- δομικός χάλυβας τέσσερις κατηγορίες, 33
- δοχεία υποδοχής φυτών, 8
- δράσεις, 261
- δράσεις σχεδιασμού, 178
- δράση φορτίων θερμοκρασίας, 304
- δυνάμεις απόσχισης, 122  
 » πέδησης και επιτάχυνσης, 60  
 » τριβής, 7
- δύναμη έλξης, 62  
 » πέδησης, 62  
 » ρύγχους, 62
- δυναμικές φορτίσεις, 252
- εγκάρσιες νευρώσεις, 120
- εγκάρσιοι σύνδεσμοι, 282
- εγκιβωτισμένος στύλος σε σκυρόδεμα, 26
- εγκιβωτισμός, 9, 26, 249
- εγκιβωτισμού πλάτος, 87
- έγχυτη πλάκα, 2
- έδαφος θεμελίωσης, 256, 297  
 » κατηγορίας, 256
- Εθνικά Κείμενα Εφαρμογής, 3
- Εθνικά Προσαρτήματα, 3
- ειδικά αγκύρια, 39  
 » καρφιά, 47
- ειδικές κυψέλες, 57  
 » νευρώσεις, 140
- εκκεντρότητα φόρτισης, 61, 150
- εκμετάλλευση του υλικού, 100
- εκτεθειμένες περιοχές, 66
- εκτεθειμένη πλευρά της διατομής, 82
- έλασμα κορμού, 278, 308
- ελάσματα κορμού, 85
- ελαστικές παραμορφώσεις σκυροδέματος, 34
- ελαστικές στηρίξεις, 297
- ελαστική ανάλυση, 16  
 » » για θετική ροπή, 186  
 » » μη ρηγματωμένη, 100  
 » » πλάκας, 243  
 » » ρηγματωμένη, 100
- ελαστική απόκριση, 323  
 » καθολική ανάλυση, 181, 317  
 » μέθοδος, 18  
 » περιοχή, 13
- ελαστική ροπή αντίστασης, 103, 309
- ελαστική συμπεριφορά, 13
- ελαστικότητα, 30
- ελαστομεταλλικών εφεδράνων, 284
- ελαστοπλαστική περιοχή, 20
- ελατών εν θερμώ, 30
- ελατών χαλύβων θερμής κατεργασίας, 31
- ελαφροσκυρόδεμα, 36
- ελαφρού βάρους πλίνθοι, 174
- ελάχιστες θερμοκρασίες, 67
- ελάχιστο εμβαδόν οπλισμού, 209, 230, 333
- έλεγχος απόκρισης, 270  
 » λειτουργικότητας, 103
- ελεγχόμενη προκαμπύλωση, 95
- ελεγχόμενο ποιοτικά περιβάλλον, 1
- έλεγχος επάρκειας, 171  
 » στύλου σε λυγισμό, 151  
 » σχεδιασμού, 181  
 » της εγκάρσιας διεύθυνσης, 332  
 » των εφεδράνων, 68
- ελεύθερη καμπύλωση, 294
- ελεύθερο άκρο (ακραία στήριξη της πλάκας), 89
- ελεύθερο άκρο της πλάκας, 89
- ελεύθερο άνοιγμα, 5
- εμβαδόν διατομής υπολογισμός, 309
- εμπλοκή δια τριβής, 123
- εμπορικά καταστήματα, 58
- ενεργή θλιπτική δύναμη, 189, 210, 231  
 » καμπτική δυσκαμψία, 154, 268
- ενεργό εμβαδόν της πλάκας, 23  
 » τμήμα της πλάκας, 106
- ενισχυτικές νευρώσεις, 127
- ενισχυτικές οδοντώσεις, 126, 140
- εντυπώματα, 140
- εξάτμιση άκρου ανάφλεξης, 46
- εξάτμιση νερού πόρων, 93
- εξοπλισμός κατασκευής, 174
- εξωραφές, 85
- εξώστης, 169
- εξωτερική επένδυση, 336
- επαρκές πάχος σκυροδέματος, 249
- επαφή στύλου/κελύφους, 339  
 » σύμμικτης δοκού/κελύφους, 336
- επενδύσεις σταθερές, 57
- επιβαλλόμενα φορτία, 58
- επιβαλλόμενη στροφή διατομής, 20
- επιβατικό μέτρο ελαστικότητας, 37

επιβίωση, 52  
 επιβολή φορτίου, 276  
 επίδραση των χαλαρών οπλισμών, 161  
 επικαλύψεις, 57  
 επικάλυψη με σκυρόδεμα, 150  
 επιλεγόμενη διάμετρος, 212  
 επιλεγόμενο σημείο αναφοράς, 205, 225  
 επιμέρους ροπές αδράνειας, 276  
 έπιπλα, 57  
 επιρροή της συστολής ξήρανσης, 118  
 » του ερπυσμού, 118, 163  
 επιστρώσεις ασφαλικών, 287  
 » δαπέδων, 174, 177  
 » οδοποιίας, 300  
 επιτρεπόμενη τάση συγκόλλησης, 310  
 επιτρεπόμενο βέλος κάμψης, 84  
 επιφανειακό μέλος, 89  
 επιφάνειες εκτεθειμένες, 62  
 επίχρισμα & βαφή, 338, 339  
 εργαλεία χειρός, 289  
 ερπυσμός, 38, 276, 287  
 ερπυσμού δράσεις, 302  
 εσωραφές, 85  
 εσωτερική δοκός, 89, 295, 324  
 εσωτερική θερμοκρασία, 176  
 » στήριξη πλάκας, 179, 220  
 εσωτερικός διαχωριστικός τοίχος, 174  
 ευαισθησία στη φωτιά, 9  
 ευκαμψία άνω πέλματος διατομής, 89  
 ευμενής επίδραση, 48  
 εφελκύομενη περιοχή, 13  
 εφελκύομενος οπλισμός, 230  
 εφελκυσμός, 22  
 εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος  $f_{ctm}$ , 36  
 εφελκυστικό φορτίο, 6

## Z

ζώνες απόδοσης ενέργειας, 73  
 » απόκρισης, 13  
 ζώνη του συνεργαζόμενου πλάτους, 209

## H

H/M εξοπλισμός, 94  
 ηλικία του σκυροδέματος, 163, 276  
 ήλοι κεφαλής, 45, 277  
 ηπειρωτικές περιοχές, 66  
 ηπειρωτική Ελλάδα, 254

ηχομονωτική στρώση, 336

## Θ

θέατρα, αίθουσες, γυμναστήρια, 58  
 θεμελιώδης περίοδος ταλάντωσης, 257  
 θερμική διάδοση υψηλή, 65  
 θερμοκρασία αέρα, 67  
 » κατασκευής, 68, 175  
 » του εσωτερικού χώρου, 67  
 θερμοκρασιακή διαφορά, καθ' ύψος, 294  
 θερμομόνωση, 57  
 θέση αρνητικής ροπής, 109  
 » λωρίδας, 60  
 » πλαστικού άξονα, 110  
 » ουδέτερου άξονα, 105, 207  
 θετικές ροπές των καμπτικών φορτίων, 7  
 θετική ροπή, 20, 22  
 θετικό βέλος, 78  
 θεώρημα Steiner, 15, 103  
 θεώρηση μη υποστυλωμένου φορέα, 10  
 θλιβόμενες διαγώνιοι, 73  
 θλιβόμενη ίνα, 104  
 » περιοχή, 13  
 θλιβόμενο πέγμα, 7, 96, 321  
 θλιπτική αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος  $f_{cd}$ , 37  
 θλιπτική δύναμη, 23

## I

ιδεατό πάχος, 288  
 ίδιον βάρος, 254  
 ιδιότητες δομικών μελών, 29  
 ίδιου βάρους γαιών, 57  
 ικανότητα απόδοσης ενέργειας, 74  
 ικρίωμα, 10  
 ικρίωμα βαρέως τύπου, 95  
 ικρίωματα στήριξης, 43  
 ισοδύναμη σύμμικτη διατομή, 16  
 » χαλύβδινη διατομή, 16, 324  
 ισοδύναμο θλιβόμενο πέγμα, 98  
 » σύμμικτο μέλος, 294  
 ισορροπία στη διατομή, 105  
 ισχυρός άξονας, 254

## K

καθαρή αυλάκωση, 127  
 καθαρή διατομή του σκυροδέματος, 160

- καινοτόμα χαρακτηριστικά σύνθεσης, 28  
 καινοτόμες ιδέες αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, 1  
 καινοτόμο τοίχωμα, 28  
 καμπτικός λυγισμός, 266  
 καμπύλη αλληλεπίδρασης, 157, 272, 274  
 » λυγισμού, 97  
 » στρεπτοκαμπτικού λυγισμού, 97, 184, 203  
 κάμψη, 20, 266, 272  
 κάμψη και αξονική θλίψη, 157  
 » και λυγισμός, 146  
 κανόνες σχεδιασμού, 2  
 κανονική βλάστηση, 66  
 Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων, 39  
 κανονιστικές απαιτήσεις, 233  
 κατακόρυφα φορτία, 58  
 κατακόρυφη βύθιση, 187, 326  
 » διάτμηση, 193, 328  
 καταναγκασμός, 288  
 κατανεμημένα κινητά φορτία, 303  
 κατανεμημένο φορτίο UDL, 60  
 κατανομή τάσεων για θετική ροπή, 186  
 » των ήλων, 113  
 κατασκευή καθ' ύψος, 1  
 » κατά πλάτος, 1  
 καταστήματα, 58  
 κατάστρωμα κυκλοφορίας, 282  
 κατάταξη διατομής, 33  
 » κατηγορίας, 86  
 κατευθύνσεις κυκλοφορίας, 282  
 κατηγορία (κλάση) χαλύβδινων δοκών, 33  
 » εδάφους, 254  
 » πλαστιμότητας, 72  
 » σπουδαιότητας, 256, 297  
 κατηγορίες (κλάσεις) σύμμικτων δοκών, 86  
 κατηγορίες πυκνότητας ελαφροσκυροδέματος, 36  
 κατηγορίες τραχύτητας, 66  
 κάτω ίνα, 14  
 » παρειά, 81  
 » πέλαμα, 25, 85  
 κέντρο βάρους, 14, 21, 102  
 κέντρο ελαστικής στροφής, 13, 102, 205, 225, 324  
 κέντρο συμμετρίας, 14  
 κεραμικά πλακίδια, 336  
 κεραμικό δαχτυλίδι, 45  
 κεραμικός σύνδεσμος, 47  
 κεραμικά πλακίδια, 338  
 κεφαλές των μεσόβαθρων, 284  
 κεφαλή του ήλου, 46  
 κιγκλιδώματα, 57  
 κίνδυνος κύρτωσης, 308  
 κινητά διαχωριστικά συστήματα, 57  
 » φορτία κυκλοφορίας, 289  
 » φορτία στη φάση κατασκευής, 289  
 κινητό φορτίο πατωμάτων, 175  
 κλειστά γήπεδα, 58  
 κλειστοί συνδετήρες, 122, 147  
 κλίση σκυροδέματος, 300  
 κοιλοδοκοί θερμής ελάσεως, 30  
 » ψυχρής ελάσεως, 30  
 κοιλοδοκοί θερμής κατεργασίας, 32  
 » ψυχρής κατεργασίας, 32  
 κοινή επιφάνεια επαφής, 6  
 κόμβοι αποκατάστασης συνέχειας, 284  
 » σύμμικτης κατασκευής, 12  
 κόμβων συμπεριφορά, 12  
 κόπωση, 3  
 κορεσμένο έδαφος, 57  
 κορμός h σε κάμψη, 33  
 κορμός ενεργός, 88  
 » με νευρώσεις, 120  
 » σε θλίψη, 33  
 κοχλιών αντοχή σε διάτμηση, 342  
 » αντοχή σε εφελκυσμό, 343  
 κράτυνση, 19  
 κρίσιμα μεγέθη διαστασιολόγησης, 217, 307  
 » φορτία λυγισμού, 152, 269  
 κρίσιμες βυθίσεις, 217, 307  
 κρίσιμη ροπή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού, 97, 183, 320  
 κρίσιμο βέλος, 79  
 » πλάτος / πάχος, 33  
 κρίσιμος συνδυασμός δράσεων, 178  
 κριτήριο άνεσης, 79  
 κτίρια κατοικιών, 53  
 κυβική αντοχή, 34  
 κυλινδρική αντοχή, 34  
 κύρια δοκός, 197  
 κύριος άξονας γ-γ, 20



**Λ**

λαιμός της διατομής, 86  
 λεπίδες κορμού, 284  
 λόγος φορτίων τροχών, 61

**Μ**

μακροχρόνια φόρτιση, 163, 276  
 μακροχρόνιες δράσεις, 131  
 » επιδράσεις, 37  
 μέγεθος διαμέτρου κόκκων, 124  
 μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, 297  
 » θετική κάμψη, 224, 321  
 » πλαστική αντίσταση, 271  
 μέγιστος αριθμός λωρίδων, 289  
 μεθοδολογία σχεδιασμού, 2  
 μέθοδος m-k, 141  
 » της προκατασκευής, 1  
 μειωμένη αντοχή διαρροής, 168  
 μείωση του κόστους κατασκευής, 1  
 μειωτικός συντελεστής  $\beta$ , 108  
 μερική διατμητική κάλυψη, 192, 211, 232  
 μερική διατμητική σύνδεση, 109  
 μερικώς εγκιβωτισμένη σύμμικτη δοκός, 82  
 μερικώς σύμμικτη δοκός, 82  
 μέσο ύψος της πλάκας, 102, 185  
 μεσόβαθρα, 284  
 μεταβλητά (κινητά), 58  
 μεταλλική βαφή, 339  
 μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος  $E_{cm}$ , 34  
 μέτρο ελαστικότητας χάλυβα  $E_a$ , 30  
 μέτρο ελαστικότητας χάλυβα οπλισμού  $E_s$ , 39  
 μη αναστρέψιμα, 239  
 μη κανονικό καθ' ύψος, 75  
 μη μόνιμος εξοπλισμός, 289  
 μη υποστυλωμένος φορέας, 11  
 μήκος έδρασης της σύμμικτης πλάκας, 238  
 » λυγισμού σύμμικτου στύλου, 155  
 » στρέβλωσης, 320  
 μη-σύμμικτη λειτουργία δοκού, 6  
 μηχανικές παράμετροι υλικών, 29  
 μηχανική εμπλοκή, 123  
 μηχανισμός μεταφοράς διατμητικής δύναμης, 192, 213, 234  
 μοναδιαίο φορτίο, 178, 306  
 μόνιμες ή παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού, 49  
 μόνιμο φορτίο, 261

μόνιμος Η/Μ εξοπλισμός, 57  
 μονοαξονικά, 263  
 μονοαξονική κάμψη, 146  
 μονοαξονικό φορτίο, 60  
 μοντέλο φόρτισης LM1, 289  
 μονωτικό υλικό (EPS ή XPS), 28  
 μορφές σύμμικτων στύλων, 143  
 μορφής πλακοδοκού, 281  
 μοχλοβραχίονας, 137  
 μπατική τοιχοποιία, 341

**Ν**

νευρώσεις, 42, 82  
 νωπό βάρος, 287  
 νωπό σκυρόδεμα, 282, 287

**Ο**

οδικές γέφυρες, 60, 289  
 οδοντώσεις δυσκαμψίας, 125  
 ολίσθηση του σιδήρου, 8  
 όλκιμα μέλη, 19  
 όλκιμη φύση, 19  
 ολκιμότητα, 6, 18  
 ολόσωμη ή συγκολλητή σύνθετη δοκός, 2  
 ομοιόμορφα φορτία σχεδιασμού, 217  
 ομοιόμορφη μεταβολή της θερμοκρασίας, 67  
 ομοιόμορφο μοναδιαίο φορτίο, 178, 196  
 ομοιομορφοποίηση, 217  
 ονομαστικές τιμές αντοχής, 29  
 οπλισμένο σκυρόδεμα, 1, 252  
 » σκυρόδεμα στεγνό, 93  
 οπλισμοί σκυροδέματος, 267  
 οπλισμός εγκάρσιος και διαμήκης, 237  
 » με πλέγματα, 39  
 » ρηγμάτωσης, 132  
 » των συνδετήρων, 168  
 ορθογωνική διατομή, 14  
 όρια ανακατανομής, 100  
 » ελέγχου παραμορφώσεων, 77  
 » κατακόρυφης βύθισης, 187  
 » κατακόρυφου βέλους, 77  
 οριακές καταστάσεις σχεδιασμού, 49, 86  
 οριακή κατάσταση σεισμού, 264  
 οριζόντια διάτμηση, 278  
 » διατμητική δύναμη, 234  
 » δύναμη πέδησης, 59  
 » φόρτιση, 257

- οριζόντιες δράσεις, 252  
 οριζόντιο φάσμα, 71, 256  
 όριο διαρροής, 13, 22  
 όριο μέσου ύψους πλάκας, 204  
 όροφοι κτιρίων, 249  
 ουδέτερος άξονας, 20, 23  
     »    »    κάτω από την πλάκα, 207  
     »    »    μέσα στην πλάκα, 188  
 όχημα εξυπηρέτησης, 59
- Π**
- παράδειγμα διαστασιολόγησης σύμμικτης πλάκας, 236  
 παράδειγμα σχεδιασμού σύμμικτου καταστρώματος γέφυρας, 281  
 παράδειγμα σχεδιασμού σύμμικτου πατώματος, 169  
 παράδειγμα σχεδιασμού σύμμικτων στύλων, 249  
 παραμένων μεταλλότυπος, 43  
     »    σιδηρότυπος, 123  
 παράμετροι συγκόλλησης, 47  
 παραμορφωμένη θέση, 95  
 παραμορφώσεις μη αναστρέψιμες, 95  
 παραμόρφωση των αυλακώσεων, 123  
 παρεμπόδιση διαχωρισμού σκυροδέματος, 7  
 πατώματα, 252  
     »    κτιρίων, 81  
 πάχος άνω πέλματος, 308, 309  
     »    κορμού, 309  
     »    πλάκας, 84  
     »    συγκόλλησης ραφών λαιμού, 309  
 πεζογέφυρες, 59  
 πεζοδιάδρομοι, 61  
 πεζοδρόμια, 301  
 πειραματική διάταξη ανακυκλιζόμενης φόρτισης, 28  
 πέγμα σε θλίψη, 33  
 πεπερασμένα στοιχεία, 99  
 περιβάλλουσα ένταση, 305  
 περιμετρική κύρια δοκός, 196  
 περίοδος επαναφοράς, 71  
 περίσσεια αντοχής, 19  
 περίσφιξη του σκυροδέματος, 279  
 πετροβάμβακας, 336, 339  
 πίεση ταχύτητας αιχμής, 65, 254, 292  
 πιστόλι συγκόλλησης, 47  
 πλάγιος σύνδεσμος, 255  
 πλαίσια με συνδέσμους, 72  
     »    παραλαβής ροπών, 72, 74  
 πλαισιακή λειτουργία, 252  
 πλάκα καταστρώματος, 282  
 πλάκα σκυροδέματος, 23, 283  
 πλάκες μαρμάρου, 336  
 πλακοδοκός, 2, 84, 281  
 πλαστικές αντοχές, 266  
     »    αρθρώσεις, 75  
 πλαστική ανάλυση, 19, 104  
 πλαστική αντίσταση, 104  
     »    αντίσταση σε θλίψη, 266  
     »    »    σε ροπή, 188  
     »    »    στύλου, 149  
 πλαστική απόκριση, 20, 187, 189  
     »    απόκριση σε κάμψη, 103  
 πλαστική μέθοδος ανάλυσης, 19  
     »    περιοχή, 13  
     »    ροπή αντίστασης, 309  
     »    στατική ανάλυση, 34  
 πλάτος επιρροής, 300  
     »    ευθύνης φορτίων, 299  
     »    λωρίδας, 290  
     »    της νεύρωσης, 43  
     »    του εγκιβωτισμού, 147  
 πλευρική δέσμευση, 26  
 ποιότητα χάλυβα, 309  
 πολυκαταστήματα, 58, 169  
 πολυώροφα κτίρια, 249  
 ποσοστό εξάντλησης, 16, 106, 184  
 πρόβολος, 218  
 προδιαγραφές αυλακωτών χαλυβδόφυλλων, 41  
 προδιαγραφές διατμητικών ήλων, 45  
     »    δομικού χάλυβα, 31  
     »    σκυροδέματος, 34  
     »    σχεδιασμού, 49  
     »    υλικών, 29  
     »    χάλυβα οπλισμού, 38  
 προκαμύλωση, 78  
 προσήνεμη, 254, 262  
 πρόσθετα κινητά φορτία, 57  
 πρόσθετες επενδύσεις, 174  
 πρόσθετη λεπίδα, 106  
 πρόσθετος καταναγκασμός, 288  
 προσομοίωμα, 252

- προσομοίωση σεισμικής δράσης, 29  
 προστατευτικά στηθαία, 287  
 προσωρινή αποθήκευση υλικών, 93  
 πρότυπα κατασκευής, 3  
 πρότυπο προφίλ, 25  
 πρότυποι ήλοι κεφαλής, 48  
 προωθούμενο ρύγχος, 284  
 πρόωρη αστοχία, 122  
 πυκνότητα του αέρα, 66  
 πυράντοχη σανίδα, 336  
 πυρήνας σύμμικτου στύλου, 144  
   » του κτιρίου, 27  
 πυροπροστασία, 336
- P**
- ράβδοι χάλυβα οπλισμού, 40  
 ραφές λαμού, 310  
 ρηγματωμένη διατομή, 288  
 ρηγμάτωση, 46, 230  
 ρόλος του μηχανικού, 3  
 ροπή αδρανείας, 15  
   » αντίστασης, 15  
   » στρέψης, 310  
 σεισμικές ζώνες, 70  
 σεισμική δράση, 70  
   » ζώνη, 256  
 σεισμικοί σύνδεσμοι, 73  
 σεισμικός κίνδυνος, 70  
   » συνδυασμός, 52  
 σεισμός, 252  
 σημειακά κινητά φορτία, 303  
 σιδηροδρομικές γέφυρες, 61  
 σιδηροδρομικοί στρωτήρες, 8  
 σκελετός κατασκευής, 11  
 σκλήρυνση σκυροδέματος, 7, 282  
 σκυρόδεμα, 5, 26, 268  
 σκυρόδεμα βαθμός ωρίμανσής του, 38  
   » διάρκεια σκλήρυνσής του, 38  
   » εγκιβωτισμού, 82  
   » μη ρηγματωμένη κατάσταση, 100  
   » ρηγματωμένη κατάσταση, 100  
 σταθερό συνεργαζόμενο πλάτος, 181, 317  
 στάθμη εφαρμογής, 98  
 στατική επίλυση, 252, 306  
 στατικό σύστημα, 281  
 στέγες, 57
- στερεοπλαστική ανάλυση, 19, 245  
 στερεοπλαστικό μοντέλο τάσης - παραμόρφωσης, 19  
 στηθαία ασφαλείας, 57, 282  
 στιβαρά πατώματα, 7  
 στοιχείο συγκόλλησης, 47  
 στρέβλωση, 203, 223  
 στρεπτική ροπή Saint-Venant, 310  
 στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, 86, 97  
 στρεπτοκαμπτικός λυγισμός (στρέβλωση), 7, 284, 320  
 στροφή του άνω πέλατος, 110  
 συγκεντρωμένα φορτία, 130  
 συγκόλληση ήλων στον κορμό, 148  
 συγκολλήσεις (εξωραφές), 85  
   » (εσωραφές), 85  
 συγκολλητή διατομή, 85  
   » χαλύβδινη δοκός, 283  
 συγκολλητό τύπο ήλου κεφαλής, 47  
 σύμμικτα τοιχώματα, 73  
 σύμμικτες δοκοί γεφυρών, 119  
   » δοκοί συνεργαζόμενο πλάτος, 89  
 σύμμικτη κατασκευή, 1, 5  
   » λειτουργία δοκού, 6  
   » πλάκα, 123, 236  
   » σύνδεση, 1  
 σύμμικτοι στύλοι, 2, 26, 146  
 συμπαγές ύψος της πλάκας, 135  
 συναρμογή κελύφους του κτιρίου, 26  
 συνάφεια σε χάλυβες υψηλής συνάφειας με ραβδώσεις, 39  
 συνδεδεμένες τοιχοπληρώσεις, 73  
 συνδέσεις άκαμπτες, 99  
 συνδέσεις τέμνουσας (χωρίς μεταφορά ροπής), 171  
 συνδέσεις τέμνουσας, 99  
 σύνδεσμοι διάτμησης, 45, 81  
   » δυσκαμψίας, 100  
   » πλευρικής παγίωσης, 111  
 συνδετήρας περίσφιξης, 82  
 συνδετήρες, 87, 168, 279  
 συνελκόμενος χάλυβας οπλισμού, 143  
 συνεργαζόμενο πλάτος, 89, 310, 313  
 συνεχές πλαίσιο μορφής αντεστραμμένου V, 110  
 συνεχές σύμμικτο μέλος, 100

συνεχής δοκός, 99, 288  
 συνιστώσα γραμμικής μεταβολής θερμοκρασίας, 67  
 συνιστώσα ομοιόμορφης μεταβολής θερμοκρασίας, 68, 176  
 συνολική αστάθεια, 75  
 συντελεστές  $m$  και  $k$ , 140  
 συντελεστές ροπής  $\beta$ , 155  
   » τελικής πίεσης, 254  
 συντελεστής  $\mu_d$ , 161  
   » αναγωγής, 16, 185, 275, 324  
   » ασφαλείας υλικού, 105  
   »  $\beta_i$ , 313  
   » βαθμονόμησης, 269  
   » βαρύτητας, 61  
   »  $\delta$ , 267  
   » διατμητικής κύρτωσης, 121  
   » έκθεσης, 65, 254  
   » εξωτερικής πίεσης, 67  
   » ερπυσμού, 163, 276  
   » θερμικής διαστολής, 67, 294  
   » σπουδαιότητας, 70  
   » συμπεριφοράς, 72, 256  
   » συστολής ξήρανσης, 302  
   » σχήματος, 65  
   » ταλάντωσης, 61  
   » φορτίου ανέμου, 292  
 συρρίκνωση, 38  
 συσσώρευση χιονιού, 65  
 σύστημα δίδυμου άξονα TS, 290  
   » κατανεμημένου φορτίου UDL, 290  
   » σύμμικτου τοιχώματος, 28  
 συστολή ξήρανσης, 287, 288, 303  
 συχνότητα ταλάντωσης, 187  
 σχάρες οπλισμών, 333  
 σχέση τάσης-παραμόρφωσης, 13  
 σχετική ολίσθηση, 7  
   » υγρασία, 276  
 σχολεία, εστιατόρια, 58

## Τ

ταλαντώσεις, 79  
 ταλαντώσεις ανεπιθύμητες, 101  
 ταλαντώσεις της πλάκας εξαιτίας κυκλοφορίας, 244  
 ταξινόμηση σύμμικτων δοκών, 86

ταχύτητα ανέγερσης, 1  
   » ανέμου, 254  
 τέμνουσα σχεδιασμού σύμμικτου στύλου, 319  
 τμήμα φάσματος, 258  
 τοίχος πλήρωσης, 28  
 τοπική πλαστιμότητα, 75  
 τοπική συσσώρευση σκυροδέματος, 93, 128  
 τοπικός λυγισμός, 33, 34  
 τοποθέτηση των διατμητικών ήλων, 114  
 τραπέζιο της αυλάκωσης, 127  
 τιμμεντοσανίδα, 336, 338, 339  
 τυπικές διατομές, 25  
 τυπική αυλάκωση 127, 130, 137, 238  
 τυπικό ύψος ορόφου, 252  
 τυποποιημένα πλέγματα χάλυβα, 41  
 τυποποιημένες διάμετροι ράβδων οπλισμού, 39  
 τυχηματικές καταστάσεις, 52

## Υ

υαλόπλεγμα πολυαιθυλενίου, 338  
 υλικά δόμησης, 1  
 υπερδιαστασιολόγηση, 18  
 υπερστατικός φορέας, 196  
 υπερσυγκέντρωση υλικών, 174  
 υπήνεμη, 254, 262  
 υπόβαθρο συγκόλλησης, 46  
 υποκείμενη χαλύβδινη δοκός, 206  
 υπολειπόμενη διαμήκης τέμνουσα, 165  
 υπολογιστικό μοντέλο, 99  
 υψηλή ολκιμότητα, 39  
 υψίκορμη δοκός, 308  
 υψόμετρο περιοχής, 63  
 ύψος δοκού, 308  
   » ελάσματος κορμού, 309  
   » καταστρώματος, 292  
   » ορόφου, 169  
   » της πλάκας, 17, 102  
   » φορέα γέφυρας, 292

## Φ

φαινόμενα β' τάξης, 154, 269  
 φάση κατασκευής, 181, 287  
   » κατασκευής (ΦΑΣΗ Α), 86  
 φάση λειτουργίας, 185, 254  
   » λειτουργίας (ΦΑΣΗ Β), 86

φάση προ-διαστασιολόγησης, 171  
 φάσμα ελαστικής απόκρισης, 297  
   » σχεδιασμού, 76, 258  
 φάτνωμα εξωτερικό, 218  
   » εσωτερικό, 218  
 φέρον στοιχείο, 86  
 φέρουσα ικανότητα, 86, 281  
 φέρουσα κατασκευή, 1  
 φορέας πλάκας, 236  
   » υπερστατικός, 217  
 φορτία ανέμου καταστρώματος, 292  
   » αξόνων, 290  
   » θερμοκρασίας, 67, 175, 304  
   » κυκλοφορίας, 290  
   » πεζοδρομίων, 60  
   » πεζών, 55  
 φορτίο ανέμου, 65  
   » άξονα, 301  
   » θερμοκρασίας, 67  
   » στάθμης νερού, 57  
 φορτίο ταλάντωσης, 187  
   » » σε συχνότητα ταλάντωσης, 326  
 φορτίο χιονιού, 62  
 φόρτιση ανθρωποσυνωστισμού, 59  
 φυγόκεντρες δυνάμεις, 62  
 φύλλα εξηλασμένης πολυστερίνης, 337  
 φύλλο πολυαιθυλαίου, 336  
 φυσική συνάφεια, 7  
 φυτεμένων δωματίων, 57  
 φωτιά, 3, 83, 249

## X

χαλαρός οπλισμός, 82, 109  
 χαλαρός οπλισμός πλάκας, 85, 283  
 χάλυβας δομικός, 268  
   » οπλισμού, 38, 268  
   » ως οπλισμός, 5  
 χαλύβδινα μέλη, 181  
   » πλαίσια, 258  
 χαλύβδινο κέλφος, 2  
 χαλύβδινοι κοιλοδοκοί θερμής κατεργα-  
   σίας, 32

χαλύβδινοι κοιλοδοκοί ψυχρής κατεργα-  
   σίας, 32  
 χαλυβδόφυλλο, 81, 128  
 χαλυβδόφυλλο ανοιχτών αυλακώσεων, 125  
   » , αυλακώσεις, 185  
 χαλυβδόφυλλο αυλακώσεων αντεστραμμένου  
   τραπέζιου, 125  
 χαμηλή βλάστηση, 66  
 χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος  $f_{ck}$ , 23  
   » ικανότητα ολίσθησης, 112  
   » κυβική αντοχή  $f_{ck,cube}$ , 34  
   » κυλινδρική αντοχή σκυροδέματος  
    $f_{ck}$ , 34  
 χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού  
   (στάθμη θάλασσας)  $S_{k,0}$ , 63  
 χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού  
   (στάθμη κατασκευής)  $S_{k,A}$ , 63  
 χρήση ελαστικής μεθόδου, 19  
 χρονική εξέλιξη, 276  
 χρόνος λειτουργίας, 303  
 χρωματισμός ακρυλικής βάσης, 338, 339  
 χυτοσιδηρά στοιχεία, 8  
 χώμα φύτευσης, 57  
 χωρίς διάκενο, 338  
 χωρίσματα μόνιμου τύπου, 57  
 χώροι αποθήκευσης, 53  
   » γραφείων, 53  
   » διαμονής & γραφείων, 58  
   » καταστημάτων, 53  
   » κυκλοφορίας, 53  
   » με σταθερά διαχωριστικά, 58  
   » με τραπέζια, 58  
   » στάθμευσης για μέτρια οχήματα, 58  
   » στάθμευσης ελαφρών αυτοκινήτων, 58  
   » συνάθροισης, 53

## Ψ

ψευδοροφές μόνιμου τύπου, 57  
 ψευδοροφές, 94  
 ψηλά κτίρια, 9, 26