

7η αγγλική έκδοση

Μελέτη κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2

Bill Mosley, John Bungey, Ray Hulse



Επιστημονική επιμέλεια ελληνικής έκδοσης:
Αντώνιος Κυριαζόπουλος



Περιεχόμενα

<i>Πρόλογος</i>	11
<i>Σημειογραφία</i>	13
1 Εισαγωγή στον σχεδιασμό και τις ιδιότητες του οπλισμένου σκυροδέματος	17
1.1 Διαδικασίες σχεδιασμού	18
1.2 Σύνθετη δράση.....	23
1.3 Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων	24
1.4 Συστολή και μετακίνηση λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής	28
1.5 Ερπυσμός.....	33
1.6 Ανθεκτικότητα στον χρόνο.....	33
1.7 Προδιαγραφές των υλικών	34
2 Σχεδιασμός οριακής κατάστασης	39
2.1 Οριακές καταστάσεις.....	40
2.2 Χαρακτηριστικές αντοχές υλικών και χαρακτηριστικά φορτία.....	41
2.3 Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας.....	42
2.4 Συνδυασμός δράσεων	47
2.5 Συνολικός συντελεστής ασφαλείας	52
3 Ανάλυση της κατασκευής σε οριακή κατάσταση αστοχίας	53
3.1 Δράσεις	54
3.2 Συνδυασμοί και μορφές φορτίων.....	55
3.3 Ανάλυση δοκών	56
3.4 Ανάλυση πλαισίων	63
3.5 Κατασκευές με διατμητικά τοιχώματα που φέρουν οριζόντια φορτία	74
3.6 Ανακατανομή των ροπών	79
4 Ανάλυση της διατομής	85
4.1 Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων	86
4.2 Κατανομή παραμορφώσεων και τάσεων σε διατομή υπό κάμψη	87
4.3 Κάμψη και ισοδύναμο ορθογωνικό στερεό τάσεων	89
4.4 Απλά οπλισμένη ορθογωνική διατομή υπό κάμψη σε οριακή κατάσταση αντοχής.....	90

4.5	Ορθογωνική διατομή σε κάμψη με θλιβόμενο οπλισμό σε οριακή κατάσταση αντοχής.....	95
4.6	Διατομή πλακοδοκού σε κάμψη σε οριακή κατάσταση αντοχής.....	100
4.7	Η ανακατανομή ροπών και οι εξισώσεις σχεδιασμού	107
4.8	Κάμψη και αξονικό φορτίο σε οριακή κατάσταση αντοχής.....	111
4.9	Ορθογωνικό-παραβολικό στερεό τάσεων.....	120
4.10	Τριγωνικό στερεό τάσεων.....	122
5	Διάτμηση, συνάφεια, και στρέψη	129
5.1	Διάτμηση.....	130
5.2	Συνάφεια αγκύρωσης.....	142
5.3	Μάτιση ράβδων οπλισμού	147
5.4	Ανάλυση διατομής με στρεπτικές ροπές.....	149
6	Απαιτήσεις λειτουργικότητας, ανθεκτικότητας στον χρόνο, και ευστάθειας.....	155
6.1	Κατασκευαστικές απαιτήσεις	156
6.2	Λόγος ανοίγματος προς στατικό ύψος.....	166
6.3	Υπολογισμός του βέλους κάμψης.....	169
6.4	Ρηγμάτωση λόγω κάμψης.....	181
6.5	Ρηγμάτωση από θερμοκρασιακές μεταβολές και συστολή	187
6.6	Άλλες απαιτήσεις λειτουργικότητας.....	191
6.7	Περιορισμός των βλαβών που προκαλούνται από τυχαία φορτία	194
6.8	Αντισεισμική μελέτη και κατασκευή.....	199
7	Μελέτη δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα	205
7.1	Προμελέτη και διαστασιολόγηση δομικών μελών.....	207
7.2	Μελέτη ορθογωνικής διατομής σε κάμψη, χωρίς ανακατανομή ροπών.....	210
7.3	Μελέτη ορθογωνικής διατομής σε κάμψη, με ανακατανομή ροπών	215
7.4	Πλακοδοκοί.....	219
7.5	Δοκοί ενός ανοίγματος.....	222
7.6	Μελέτη σε διάτμηση	224
7.7	Συνεχείς δοκοί.....	228
7.8	Πρόβολοι, βραχείς πρόβολοι, και υψίκορμες δοκοί	234
7.9	Μείωση μήκους και αγκύρωση ράβδων οπλισμού	240
7.10	Μελέτη σε στρέψη	243
7.11	Απαιτήσεις λειτουργικότητας και ανθεκτικότητας στον χρόνο	247
8	Μελέτη πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα	249
8.1	Η διάτμηση στις πλάκες.....	250
8.2	Λόγος ανοίγματος προς στατικό ύψος.....	257
8.3	Λεπτομέρειες του οπλισμού.....	257
8.4	Συμπαγείς πλάκες με οπλισμό σε μία διεύθυνση.....	258
8.5	Συμπαγείς πλάκες με οπλισμό σε δύο διευθύνσεις.....	264
8.6	Επίπεδες πλάκες δαπέδων.....	270
8.7	Δάπεδα με νευρώσεις και με κενά	278
8.8	Πλάκες κλιμάκων.....	284
8.9	Μέθοδοι γραμμών διαρροής και λωρίδων	288

9	Μελέτη υποστυλωμάτων	295
9.1	Φορτία και ροπές	296
9.2	Κατηγορίες υποστυλωμάτων και τρόποι αστοχίας	297
9.3	Λεπτομέρειες του οπλισμού	302
9.4	Κοντά υποστυλώματα υπό ροπές και αξονικά φορτία	304
9.5	Μη ορθογωνικές διατομές	314
9.6	Διαξονική κάμψη σε κοντά υποστυλώματα	317
9.7	Μελέτη λυγηρών υποστυλωμάτων	320
9.8	Τοιχώματα	325
10	Θεμελιώσεις και τοίχοι αντιστήριξης	329
	Γενική προσέγγιση	330
10.1	Θεμελιώσεις με πέδιλα	334
10.2	Ενιαία πέδιλα	341
10.3	Θεμελιώσεις με πεδιλοδοκούς	344
10.4	Θεμελιολωρίδες	346
10.5	Γενικές κοιτοστρώσεις	349
10.6	Θεμελιώσεις με πασσάλους	350
10.7	Κεφαλόδεσμοι πασσάλων	354
10.8	Τοίχοι αντιστήριξης	358
11	Προεντεταμένο σκυρόδεμα	369
11.1	Αρχές της προέντασης	370
11.2	Μέθοδοι προέντασης	372
11.3	Ανάλυση διατομής σκυροδέματος υπό τα φορτία λειτουργίας	374
11.4	Μελέτη για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας	380
11.5	Ανάλυση και μελέτη σε οριακή κατάσταση αστοχίας	405
12	Υδατοδεξαμενές	421
12.1	Αντικείμενο και αρχές	422
12.2	Αρμοί υδατοδεξαμενών	426
12.3	Λεπτομέρειες του οπλισμού	429
12.4	Υπόγεια και υπόγειες δεξαμενές	430
12.5	Μέθοδοι μελέτης	431
13	Σύμμικτες κατασκευές	449
13.1	Η διαδικασία της μελέτης	452
13.2	Μελέτη της μεταλλικής δοκού κατά τη διάρκεια της κατασκευής (μόνο για μη υποστηριζόμενες δοκούς)	453
13.3	Η σύμμικτη διατομή σε οριακή κατάσταση αστοχίας	456
13.4	Μελέτη διατμητικών συνδέσμων	461
13.5	Εγκάρσιος οπλισμός στο πέλμα του σκυροδέματος	465
13.6	Έλεγχοι βέλους κάμψης σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας	469
	<i>Παράρτημα</i>	475
	<i>Πρόσθετη βιβλιογραφία</i>	485
	<i>Ευχαριστίες</i>	489
	<i>Ευρετήριο</i>	491

Πρόλογος

Σκοπός αυτού του βιβλίου είναι να αποτελέσει μια απλή εισαγωγή στις αρχές και τις μεθόδους του σχεδιασμού κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Προορίζεται κυρίως για φοιτητές και νέους μηχανικούς που χρειάζονται μια κατανόηση της βασικής θεωρίας και έναν συνοπτικό οδηγό των διαδικασιών σχεδιασμού. Αν και οι αναλυτικές μέθοδοι του σχεδιασμού βασίζονται γενικά στα Ευρωπαϊκά Πρότυπα (*Ευρωκώδικες*), ένα μεγάλο μέρος της θεωρίας και της πρακτικής της εφαρμογής εντάσσεται στις θεμελιώδεις γνώσεις και, επομένως, θα είναι χρήσιμο και σε μηχανικούς χωρών έξω από την Ευρώπη.

Η προσπάθεια εναρμόνισης των Τεχνικών Προτύπων σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Κοινότητας (ΕΚ) – European Community (ΕC) – οδήγησε στην ανάπτυξη μιας σειράς από αυτούς τους *Δομικούς Ευρωκώδικες* (Structural Eurocodes) οι οποίοι αποτελούν τα τεχνικά έγγραφα που εκδόθηκαν με στόχο να υιοθετηθούν από όλες τις χώρες-μέλη. Η χρήση αυτών των κοινών προτύπων έχει σκοπό να άρει τους επαγγελματικούς συννοριακούς περιορισμούς και να δώσει στις εταιρείες τη δυνατότητα συναγωνισμού σε ισότιμη βάση σε όλη την ΕΚ. Ο *Ευρωκώδικας 2* (ΕΚ2) – Eurocode 2 (ΕC2) – έχει ως θέμα του τον σχεδιασμό κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και, στο Ηνωμένο Βασίλειο, αντικατέστησε το πρότυπο BS8110. Ο Ευρωκώδικας 2 αποτελείται από τέσσερα μέρη και υιοθετεί τις αρχές της οριακής κατάστασης που ορίζονται στα Βρετανικά Πρότυπα (British Standards). Το βιβλίο αυτό αναφέρεται κυρίως στο Μέρος 1, το οποίο περιλαμβάνει γενικούς κανόνες για τα κτήρια. Ο *Ευρωκώδικας 2* πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα (European Standards)· σε αυτά ανήκουν, μεταξύ άλλων, και ο Ευρωκώδικας 0 (Βάση Σχεδιασμού) που ασχολείται με την ανάλυση και ο Ευρωκώδικας 1 (Δράσεις) ο οποίος καλύπτει τα φορτία των κατασκευών. Άλλα σχετικά Πρότυπα είναι ο Ευρωκώδικας 7 (Γεωτεχνικός Σχεδιασμός) και ο Ευρωκώδικας 8 (Αντισεισμικός Σχεδιασμός).

Διάφοροι φορείς στο Ηνωμένο Βασίλειο έχουν επίσης καταρτίσει μια σειρά εγγράφων υποστήριξης τα οποία περιέχουν σχόλια και επεξηγήσεις. Περαιτέρω τεκμηρίωση περιλαμβάνει, για κάθε χώρα, το Εθνικό Προσάρτημα (National Annex) που περιέχει πληροφορίες ειδικά για κάθε χώρα-μέλος και υποστηρίζεται στο Ηνωμένο Βασίλειο από την έκδοση PD 6687:2006 των Βρετανικών Προτύπων η οποία παρέχει στοιχεία υποστήριξης. Επιπλέον, το Concrete Centre (Κέντρο Σκυροδέματος) δημοσίευσε τον *Επίτομο Ευρωκώδικα για τον σχεδιασμό κτηρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα* (The Concise Eurocode for the Design of Concrete Buildings) που περιέχει υλικό από τον ΕΚ2, αλλά παρουσιάζεται με έναν τρόπο που το κάνει περισσότερο φιλικό προς τον χρήστη από τον κύριο Ευρωκώδικα, και περιλαμβάνει μόνο τις πληροφορίες οι οποίες είναι απαραίτητες για τον σχεδιασμό των πιο «καθημερινών» κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Επίσης, το Ινστιτούτο Δομοστατικών (Institution of Structural Engineers) δημοσίευσε μια νέα έκδοση του Εγχειριδίου Σχεδιασμού (Design Manual). Αυτά τα δύο τελευταία έγγραφα περιέχουν και πληροφορίες που δεν περιλαμβάνονται στον ΕΚ2, όπως διαγράμματα και μεθόδους σχεδιασμού που προέρχονται από τα προηγούμενα Βρετανικά Πρότυπα.

Η παρουσίαση του ΕΚ2 είναι προσανατολισμένη στην επίλυση των εξισώσεων μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, περιλαμβάνει υψηλότερες αντοχές σκυροδέματος, και είναι αρκετά διαφορετική από

αυτή του προτύπου BS8110. Πάντως, το βασικό χαρακτηριστικό του ΕΚ2 είναι ότι οι αρχές σχεδιασμού που περιέχει είναι σχεδόν ταυτόσημες με τις αρχές του προτύπου BS8110. Επομένως, παρόλο που υπάρχουν κάποιες διαφορές στις λεπτομέρειες, οι μηχανικοί που είναι συνηθισμένοι στον σχεδιασμό με βάση το προηγούμενο Βρετανικό Πρότυπο δεν θα δυσκολευτούν να καταλάβουν τα κυριότερα χαρακτηριστικά του ΕΚ2. Χρησιμοποιούνται νέες κατηγορίες του χάλυβα οπλισμού, ο σχεδιασμός βασίζεται πλέον στην αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου σκυροδέματος, ενώ η παρούσα έκδοση του βιβλίου περιλαμβάνει και τα δύο αυτά γνωρίσματα¹.

Αλλαγές στην ορολογία, οι οποίες προκύπτουν κατά ένα μέρος από γλωσσικές διαφορές, είχαν ως αποτέλεσμα την εισαγωγή μερικών όρων με τους οποίους μπορεί να μην είναι εξοικειωμένοι οι μηχανικοί. Η πιο εμφανής διαφορά είναι η χρήση του όρου *δράσεις* (actions) για την περιγραφή των φορτίων στις κατασκευές και η χρήση των όρων *μόνιμες δράσεις* και *μεταβλητές δράσεις* (permanent actions και variable actions, αντίστοιχα) για την περιγραφή των ιδίων και επιβαλλόμενων φορτίων. Σε όλο το κείμενο του βιβλίου, έχουμε διατηρήσει την ορολογία κατά το δυνατόν σύμφωνη με την αποδεκτή πρακτική· επομένως, για παράδειγμα, χρησιμοποιούμε συνήθως, αλλά όχι αποκλειστικά, τον όρο *φορτία* αντί για *δράσεις*. Άλλοι «νέοι» όροι ορίζονται στα κατάλληλα σημεία του κειμένου.

Η ύλη του βιβλίου είναι οργανωμένη έτσι ώστε τα Κεφάλαια 1 έως 5 καλύπτουν κυρίως θεωρία και ανάλυση, ενώ τα επόμενα κεφάλαια καλύπτουν τον σχεδιασμό και τις λεπτομέρειες διαφόρων τύπων δομικών μελών και κατασκευών. Για να συμπεριλάβουμε θέματα τα οποία συνήθως περιλαμβάνονται σε προπτυχιακά μαθήματα, υπάρχουν ενότητες για τον αντισεισμικό σχεδιασμό και τις κατασκευές αντιστήριξης γαιών, καθώς και κεφάλαια σχετικά με το προεντεταμένο σκυρόδεμα και τις σύνθετες κατασκευές.

Έχουμε προσθέσει ένα νέο κεφάλαιο για τις κατασκευές υδατοδεξαμενών, μαζί με άλλες νέες ενότητες όπως ο σχεδιασμός υψίκορμων δοκών. Έγιναν επίσης προσθήκες και τροποποιήσεις που αντιστοιχούν στην ερμηνεία και την εφαρμογή του ΕΚ2 στο Ηνωμένο Βασίλειο από την ημερομηνία της εισαγωγής του. Προσθέσαμε επίσης επιπλέον σχήματα και παραδείγματα που βοηθούν στην κατανόηση, ενώ στο Κεφάλαιο 1 έχουμε προσθέσει μια καινούργια ενότητα ως εισαγωγή στις διαδικασίες του σχεδιασμού. Αυτό περιλαμβάνει την εξέταση της μελέτης γενικής σύλληψης, της βιωσιμότητας, και της υγείας και ασφάλειας, καθώς και του ρόλου που παίζει το λογισμικό των υπολογιστών στον σχεδιασμό.

Οι σημαντικές εξισώσεις που προκύπτουν από το κείμενο επισημαίνονται με έναν αστερίσκο δίπλα στον αριθμό τους, ενώ στο Παράρτημα θα βρείτε μια σύνοψη των πιο σημαντικών από αυτές. Όπου ήταν απαραίτητο να συμπεριληφθεί υλικό που δεν περιλαμβάνεται απευθείας στους Ευρωκώδικες, αυτό βασίζεται σε ό,τι θεωρείται καλή πρακτική αυτή τη στιγμή στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Στη νέα αυτή έκδοση, ένας από τους στόχους μας ήταν η διατήρηση της δομής και των χαρακτηριστικών της προηγούμενης 5^{ης} έκδοσης του αναγνωρισμένης αξίας βιβλίου *Reinforced Concrete Design* των Mosley, Bungey, και Hulse (Palgrave) το οποίο βασίζεται στα Βρετανικά Πρότυπα. Συγκρίνοντας αυτά τα δύο βιβλία, μπορείτε να δείτε τις βασικές διαφορές μεταξύ του Ευρωκώδικα 2 και των προηγούμενων Βρετανικών Προτύπων και να αντιπαραβάλετε τα διαφορετικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τον σχεδιασμό κατασκευών με τους δύο κώδικες.

Πρέπει να τονίσουμε ότι οι Κώδικες Πρακτικής Εφαρμογής (Codes of Practice) ενδέχεται να αναθεωρηθούν ανά πάσα στιγμή, οπότε οι αναγνώστες πρέπει να βεβαιώνονται ότι χρησιμοποιούν την τελευταία έκδοση κάθε σχετικού προτύπου.

Τέλος, οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τον κ. Charles Goodchild (του Κέντρου Σκυροδέματος – The Concrete Centre) και τον Δρα Steve Jones (του Πανεπιστημίου του Λίβερπουλ) για τα χρήσιμα σχόλιά τους και τις υποδείξεις τους κατά τη συγγραφή της παρούσας έκδοσης.

¹ Στην Ελλάδα, πριν από την εφαρμογή του ΕΚ2, με ταυτόχρονη χρήση του ΕΚΩΣ 2000 ίσχυε ο Γερμανικός κανονισμός DIN EN 1992-1-1=EC2-1-1. Τώρα ισχύει ο ΕΚ2-ΕΚ8 μαζί με τον ΕΚΩΣ 2000, τον ΕΑΚ 2000, και το Εθνικό Προσάρτημα.

Σημειογραφία

Η σημειογραφία είναι γενικά αυτή που χρησιμοποιείται στον ΕΚ2. Σε αυτές τις σελίδες θα βρείτε τα κυριότερα σύμβολα. Άλλα σύμβολα ορίζονται μέσα στο κείμενο όπου είναι αναγκαίο. Τα σύμβολα ε για την παραμόρφωση και f ή σ για την τάση χρησιμοποιούνται παντού, ενώ το γενικό σύστημα των δεικτών είναι τέτοιο ώστε ο πρώτος δείκτης να αναφέρεται στο υλικό, c – σκυρόδεμα (concrete), s – χάλυβας (steel), και ο δεύτερος δείκτης να αναφέρεται στην εντατική κατάσταση, c – θλίψη (compression), t – εφελκυσμός (tension).

E	μέτρο ελαστικότητας
E_d	τιμή δράσης σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση
F	φορτίο (δράση)
G	μόνιμο φορτίο
I	ροπή αδράνειας
K	συντελεστής απώλειας προέντασης
M	ροπή κάμψης
N	αξονικό φορτίο
Q	μεταβλητό φορτίο
T	ροπή στρέψης
V	διατμητική δύναμη
a	βέλος κάμψης
b	πλάτος
d	ενεργό ύψος εφελκυόμενου οπλισμού
d'	ύψος μέχρι θλιβόμενο οπλισμό
e	εκκεντρότητα
f	τάση
h	συνολικό ύψος διατομής στο επίπεδο κάμψης
i	ακτίνα αδράνειας
k	συντελεστής
l	μήκος ανοίγματος
n	συνολικό φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας
$1/r$	καμπυλότητα δοκού
s	απόσταση οπλισμού διάτμησης ή ύψος στερεού των τάσεων

t	πάχος
u	περίμετρος διάτρησης
x	ύψος ουδέτερου άξονα
z	μοχλοβραχίονας
A_c	εμβαδό διατομής σκυροδέματος
A_p	εμβαδό διατομής τενόντων προέντασης
A_s	εμβαδό διατομής εφελκυσμένου οπλισμού
A'_s	εμβαδό διατομής θλιβόμενου οπλισμού
$A_{s,req}$	εμβαδό διατομής εφελκυσμένου οπλισμού που απαιτείται στην οριακή κατάσταση
$A_{s,prov}$	εμβαδό διατομής εφελκυσμένου οπλισμού που είναι διαθέσιμος στην οριακή κατάσταση
$A_{s,w}$	εμβαδό διατομής οπλισμού διάτμησης με τη μορφή συνδετήρων ή κεκαμμένων ράβδων
E_{cm}	επιβατικό μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος
E_s	μέτρο ελαστικότητας χάλυβα οπλισμού ή προέντασης
G_k	χαρακτηριστικό μόνιμο φορτίο
I_c	ροπή αδράνειας σκυροδέματος
M_{bal}	ροπή κατάστασης ισορροπίας
M_{Ed}	ροπή σχεδιασμού
M_u	οριακή ροπή αντοχής
N_{bal}	αξονικό φορτίο υποστυλώματος σε κατάσταση ισορροπίας
N_{Ed}	αξονική δύναμη σχεδιασμού
P_0	αρχική δύναμη προέντασης
Q_k	χαρακτηριστικό μεταβλητό φορτίο
T_{Ed}	ροπή στρέψης σχεδιασμού
V_{Ed}	διατμητική δύναμη σχεδιασμού
W_k	χαρακτηριστικό φορτίο λόγω ανέμου
b_w	ελάχιστο πλάτος διατομής
f_{ck}	χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου σκυροδέματος
f_{cm}	μέση αντοχή κυλίνδρου σκυροδέματος
f_{ctm}	μέση εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος
f_{pk}	χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα προέντασης σε διαρροή
f_s	τάση χάλυβα
f_{sc}	θλιπτική τάση χάλυβα
f_{st}	εφελκυστική τάση χάλυβα
f_{yk}	χαρακτηριστική αντοχή οπλισμού σε διαρροή
g_k	χαρακτηριστικό μόνιμο φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας
k_1	μέση θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα για ορθογώνιο στερεό υπό παραβολική τάση
k_2	συντελεστής που συνδέει το ύψος του κέντρου βάρους ενός ορθογωνίου στερεού υπό παραβολική τάση με το ύψος του ουδέτερου άξονα
l_a	συντελεστής μοχλοβραχίονα $= z / d$
l_0	ενεργό ύψος υποστυλώματος ή τοιχώματος
q_k	χαρακτηριστικό μεταβλητό φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας
α	συντελεστής θερμικής διαστολής

a_e	λόγος μέτρων ελαστικότητας χάλυβα / σκυρόδεμα
ψ	συντελεστής συνδυασμού δράσεων
γ_c	μερικός συντελεστής ασφαλείας αντοχής σκυροδέματος
γ_f	μερικός συντελεστής ασφαλείας φορτίων (δράσεων), F
γ_G	μερικός συντελεστής ασφαλείας για μόνιμα φορτία, G
γ_Q	μερικός συντελεστής ασφαλείας για μεταβλητά φορτία, Q
γ_s	μερικός συντελεστής ασφαλείας αντοχής χάλυβα
δ	συντελεστής ανακατανομής ροπών
ε	παραμόρφωση
σ	τάση
ϕ	διάμετρος ράβδου οπλισμού

Σημειογραφία σύνθετων κατασκευών από σκυρόδεμα, Κεφάλαιο 13

A_a	Εμβαδό διατομής δομικού χάλυβα
A_b	Εμβαδό διάτμησης διατομής δομικού χάλυβα
b	Πλάτος πέλματος χάλυβα
b_{eff}	Ενεργό πλάτος πέλματος σκυροδέματος
d	Καθαρό ύψος κορμού χάλυβα ή διάμετρος κορμού διατμητικής ράβδου
E_a	Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα
$E_{c,eff}$	Ενεργό μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος
E_{cm}	Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος σε τέμνουσα
f_{ctm}	Μέση τιμή αξονικής εφελκυστικής αντοχής σκυροδέματος
f_y	Ονομαστική αντοχή δομικού χάλυβα σε διαρροή
f_u	Καθορισμένη οριακή εφελκυστική αντοχή
h	Συνολικό ύψος· πάχος
h_a	Ύψος διατομής δομικού χάλυβα
h_f	Πάχος πέλματος σκυροδέματος
h_p	Συνολικό βάθος αύλακα αυλακωτού (τραπεζοειδούς διατομής) χαλυβδόφυλλου
h_{sc}	Συνολικό ονομαστικό ύψος διατμητικού συνδέσμου
I_a	Ροπή αδράνειας διατομής δομικού χάλυβα
I_{transf}	Ροπή αδράνειας μετασχηματισμένης διατομής σκυροδέματος και διατομής δομικού χάλυβα
k_1	Συντελεστής μείωσης αντοχής αυλακωτού (τραπεζοειδούς) χαλυβδόφυλλου με αύλακες παράλληλα στη δοκό
k_t	Συντελεστής μείωσης αντοχής αυλακωτού (τραπεζοειδούς) χαλυβδόφυλλου με αύλακες κάθετα στη δοκό
L	Μήκος, άνοιγμα
M_c	Ροπή αντίστασης της σύνθετης διατομής
n	Λόγος μέτρων ελαστικότητας χάλυβα / σκυρόδεμα ή αριθμός διατμητικών συνδέσμων (ήλων) αυλακωτού (τραπεζοειδούς) χαλυβδόφυλλου
n_f	Αριθμός διατμητικών συνδέσμων (ήλων) αυλακωτού (τραπεζοειδούς) χαλυβδόφυλλου για πλήρη διατμητική σύνδεση
P_{Rd}	Τιμή σχεδιασμού διατμητικής αντοχής ενός συνδέσμου (ήλου)

R_{cf}	Αντοχή πέλματος σκυροδέματος
R_{cx}	Αντοχή σκυροδέματος επάνω από τον ουδέτερο άξονα
R_s	Αντοχή διατομής χάλυβα
R_{sf}	Αντοχή πέλματος χάλυβα
R_{sx}	Αντοχή πέλματος χάλυβα επάνω από τον ουδέτερο άξονα
R_v	Αντοχή καθαρού ύψους κορμού
R_w	Αντοχή συνολικού ύψους κορμού $= R_s = 2R_{sf}$
R_{wx}	Αντοχή κορμού επάνω από τον ουδέτερο άξονα
t_f	Πάχος πέλματος χάλυβα
t_w	Πάχος κορμού χάλυβα
$W_{pl,y}$	Πλαστική ροπή αντίστασης διατομής δομικού χάλυβα
$\bar{x}$	Απόσταση κέντρου βάρους διατομής
z	Μοχλοβραχίονας
δ	Βέλος κάμψης στο μέσο του ανοίγματος
ε	Σταθερά ίση με $\sqrt{235 / f_y}$ όπου f_y σε N / mm ²
γ	Συντελεστής ασφαλείας
ν_{Ed}	Αξονική διατμητική τάση στο πέλμα του σκυροδέματος
η	Βαθμός διατμητικής σύνδεσης

Εισαγωγή στον σχεδιασμό και τις ιδιότητες του οπλισμένου σκυροδέματος

Εισαγωγή κεφαλαίου

Ο δομικός σχεδιασμός μπορεί να θεωρηθεί ως μια σειρά συνδεδεμένων μεταξύ τους και επικαλυπτόμενων σταδίων. Στην απλούστερη μορφή τους αυτά περιλαμβάνουν τα εξής:

- Τη *μοντελοποίηση* (conceptual design) στην οποία εξετάζεται μια σειρά πιθανών δομικών μορφών και υλικών.
- Την *προμελέτη* η οποία κατά κανόνα περιλαμβάνει απλούς και προσεγγιστικούς υπολογισμούς για να εξεταστεί η βιωσιμότητα μιας σειράς γενικών μοντέλων.
- Την *οριστική μελέτη* (αναλυτικό σχεδιασμό) που περιλαμβάνει πλήρη ανάλυση και υπολογισμούς για τα επιλεγμένα έργα.

Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ένα ισχυρό και ανθεκτικό στον χρόνο δομικό υλικό το οποίο μπορεί να διαμορφωθεί σε πολλά διαφορετικά σχήματα και μεγέθη, που κυμαίνονται από μια απλή ορθογωνική δοκό ή υποστύλωμα μέχρι έναν κομψό καμπύλο θόλο ή κέλυφος. Η χρησιμότητα και η ευελιξία του επιτυγχάνονται με τον συνδυασμό των καλύτερων ιδιοτήτων του σκυροδέματος και του χάλυβα.

Το κεφάλαιο αυτό μπορεί να αποτελέσει απλώς μια σύντομη εισαγωγή στα κυριότερα ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδια-





σμό, και στις βασικές ιδιότητες του σκυροδέματος και του χάλυβα οπλισμού. Αν θέλετε μια πιο αναλυτική μελέτη, σας συμβουλεύουμε να ανατρέξετε στα εξειδικευμένα συγγράμματα και τις τοποθεσίες Ιστού που παρατίθενται στην ενότητα «Περαιτέρω βιβλιογραφία» στο τέλος του βιβλίου.

1.1 Διαδικασίες σχεδιασμού

Τα τρία βασικά στάδια που περιγράψαμε προηγουμένως δεν είναι γραμμικά από τη φύση τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1, αλλά περιλαμβάνουν μια σειρά επαναλήψεων στις οποίες διάφορες εναλλακτικές λύσεις συγκρίνονται, τροποποιούνται, και τελειοποιούνται για να δώσουν μια εφαρμόσιμη λύση στην οποία λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις και οι περιορισμοί.

Αυτό συνήθως απαιτεί να γίνουν παραδοχές, κρίσεις, και αποφάσεις με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες, που συχνά είναι ημιτελείς. Ο στόχος είναι η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ καταλληλότητας για τον προοριζόμενο σκοπό, που συμπεριλαμβάνει τη λειτουργία και την αντοχή στον χρόνο, και οικονομίας, στην οποία περιλαμβάνεται η χρηματοδότηση, ο χρόνος, και οι πόροι, σε συνδυασμό με την κάλυψη απαιτήσεων περιβαλλοντικών και βιωσιμότητας και ζητημάτων υγείας και ασφάλειας. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 1.2.

Η ευκολία κατασκευής (κατασκευασσιμότητα) με το διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό, τις διαθέσιμες ικανότητες, και τον υφιστάμενο εξοπλισμό είναι σημαντικός παράγοντας, όπως και η πρόβλεψη για μελλοντική συντήρηση.

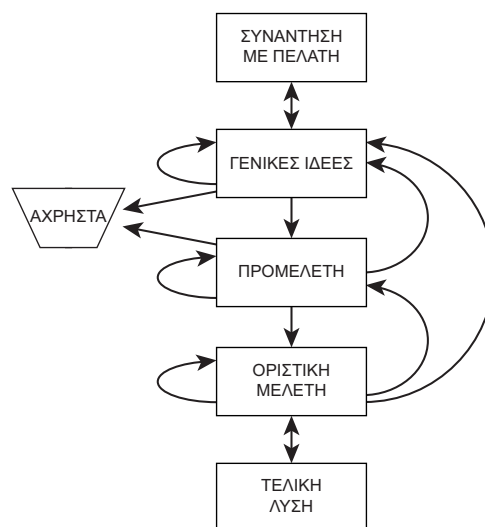
1.1.1 Στάδια του σχεδιασμού

Προηγουμένως ορίσαμε τρία βασικά στάδια του σχεδιασμού: μοντελοποίηση, προμελέτη, και οριστική μελέτη.

Μοντελοποίηση

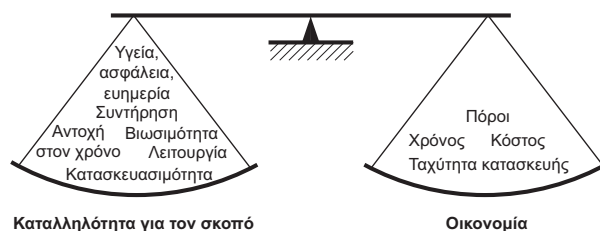
Αυτό είναι το πρώτο στάδιο της διαδικασίας του σχεδιασμού και απαιτεί προσοχή σε πολλά ζητήματα πέρα από τους υπολογισμούς οι οποίοι αφορούν τα μεταγενέστερα στάδια και γίνονται με βάση τις αρχές και τις διαδικασίες που αποτελούν τη βάση του βιβλίου αυτού.

Συγκεκριμένα, καταρχήν είναι απαραίτητο να γίνουν κατανοητές οι απαιτήσεις του πελάτη και του σχεδιασμού. Εκτός από τα θέματα που περιγράψαμε προηγουμένως, πρέπει να καθοριστούν τυχόν



Σχήμα 1.1

Η επαναληπτική φύση του σχεδιασμού



Σχήμα 1.2

Εξισορρόπηση των κριτηρίων του σχεδιασμού

ειδικές απαιτήσεις που έχουν σχέση με την τοποθεσία (μεταξύ των οποίων οι εδαφικές συνθήκες και η πρόσβαση), τη χρήση (όπως η ηχομόνωση και η θερμομόνωση, ή η μόνωση από ακτινοβολίες και οι απαιτήσεις δυναμικής συμπεριφοράς), καθώς και οι σχετικοί κώδικες και κανονισμοί. Πρέπει να εξετάζεται η ευστάθεια τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά τη λειτουργία, όπως και η πιθανότητα δεσμευμένης-υποστηριζόμενης (braced) ή μη κατασκευαστικής μορφής, καθώς και η ανάγκη ανθεκτικότητας υπό την επίδραση τυχαίων φορτίων όπως μια έκρηξη ή η σύγκρουση ενός οχήματος. Πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη ζητήματα αισθητικής, βιωσιμότητας, και περιβαλλοντικά: τα δύο τελευταία εξετάζονται με περισσότερες λεπτομέρειες στη συνέχεια.

Η διαδικασία είναι πιθανό να περιλαμβάνει τη συμμετοχή επαγγελματιών από πολλούς κλάδους, μεταξύ των οποίων αρχιτέκτονες, γεωτεχνικοί μηχανικοί, μελετητές μηχανολόγοι, και επιμελητές, ενώ συχνά είναι τόσο σημαντική ώστε να εμπλέκονται σε αυτή πιθανοί εργολήπτες από τα πρώτα στάδια όταν πρόκειται για μεγάλα έργα. Η καλή επικοινωνία ανάμεσα στα μέλη της ομάδας είναι κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχία ενός έργου.

Το πρώτο βήμα μπορεί να περιλαμβάνει συναντήσεις για αναζήτηση (ή «καταιγισμό») ιδεών (brainstorming) ώστε να προσδιοριστούν εναλλακτικές λύσεις για τη διάταξη, τη δομική μορφή, και τα υλικά, με βάση τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς. Αυτά θα πρέπει να υποστηρίζονται από προκαταρκτικούς υπολογισμούς με βάση τις αρχικές εκτιμήσεις των διαστάσεων και των φορτίων, ώστε να εξασφαλίζεται η δομική επάρκεια των επιμέρους εναλλακτικών λύσεων. Χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές μέθοδοι, ενώ παράλληλα η χρήση σκαριφημάτων κατά προσέγγιση υπό κλίμακα βοηθά στην καλύτερη κατανόηση των απαιτήσεων.

Προμελέτη

Το αρχικό στάδιο υπολογισμών, όπως το περιγράψαμε πριν, θα βοηθήσει στην εξασφάλιση της βιωσιμότητας των πιθανών εναλλακτικών λύσεων, και θα επιτρέψει την εξέλιξη και τη βελτίωσή τους. Οι αρχικές διαδικασίες συνήθως βασίζονται σε υπολογισμούς με το χέρι, τους οποίους θα δούμε στη συνέχεια, και μπορεί να οδηγήσουν σε ανάλυση μέσω υπολογιστή όταν πρόκειται για πολύπλοκες κατασκευές. Για τη γρήγορη αξιολόγηση εναλλακτικών και την επιλογή της τελικής δομής για την οριστική μελέτη είναι πιθανή η χρήση προσαρμοσμένου λογισμικού, όπως η σουίτα λογιστικών φύλλων CONCEPT του Concrete Centre.

Οριστική μελέτη

Αυτό είναι το στάδιο κατά το οποίο γίνεται η πλήρης ανάλυση της προτιμώμενης λύσης με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού υπολογιστών, καθώς και η παραγωγή αναλυτικών υπολογισμών, σχεδίων, και άλλων εγγράφων που είναι απαραίτητα για την εκτίμηση του κόστους και την κατασκευή.

1.1.2 Υπολογισμοί με το χέρι

Αυτοί κατά κανόνα περιλαμβάνουν απλουστευμένη ανάλυση, κατά την οποία τα διάφορα στοιχεία θεωρούνται ότι έχουν απλή στήριξη ή πλήρη πάκτωση. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται βοηθήματα μελέτης όπως πίνακες και διαγράμματα που περιέχονται στο βιβλίο. Τα φορτία θεωρούνται

γενικά ως ομοιόμορφα κατανεμημένα ή σημειακά, και η κατά προσέγγιση διαστασιολόγηση των μελών βασίζεται σε πίνακες λόγου ύψους προς άνοιγμα ή φορτίου προς άνοιγμα. Οι υπολογισμοί αυτοί χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση και τη σύγκριση της επάρκειας των διαφόρων προτεινόμενων λύσεων, καθώς και της επάρκειας των διαφόρων μεθόδων θεμελίωσης.

Οι υπολογισμοί με το χέρι είναι επίσης σημαντικοί για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της μελέτης από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή· για παράδειγμα, μπορεί να περιλαμβάνουν ελέγχους αν το άθροισμα των αντιδράσεων είναι ίσο με το επιβαλλόμενο φορτίο τόσο σε συγκεκριμένο μέλος όσο και σε επίπεδο συνολικής κατασκευής. Άλλοι χρήσιμοι έλεγχοι περιλαμβάνουν την επαλήθευση ότι η αύξηση στα φορτία των υποστυλωμάτων στη στάθμη ενός ορόφου είναι ίση με το φορτίο της επιφάνειας του ορόφου τον οποίο υποστηρίζουν και ότι το άθροισμα των ροπών (στηρίζεων + ανοίγματος) σε μια δοκό είναι ίσο με $wl^2 / 8$ υπό την επίδραση ενός ομοιόμορφου φορτίου (ΟΦ) στο σύνολο του ανοίγματος.

Σε όλο το βιβλίο θα βρείτε λυμένα παραδείγματα που δίνουν έμφαση στη χρήση υπολογισμών με το χέρι ώστε ο αναγνώστης να κατανοήσει τις θεμελιώδεις αρχές του σχεδιασμού με οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα, καθώς και να αναπτύξει την ικανότητα να εκτελεί εκείνους τους τυπικούς και μη τυπικούς υπολογισμούς που αναμένονται από έναν ικανό μηχανικό.

1.1.3 Ο ρόλος των υπολογιστών

Στα σύγχρονα μελετητικά γραφεία, η χρήση λογισμικού ηλεκτρονικών υπολογιστών αποτελεί αποδεκτό και εγγενές μέρος της διαδικασίας του σχεδιασμού, ενώ υπάρχουν πραγματικά πολλά και εξελιγμένα πακέτα και συστήματα λογιστικών φύλλων τα οποία χρησιμοποιούνται για τη γρήγορη εξερεύνηση των γενικών εναλλακτικών επιλογών και την οριστική μελέτη. Τέτοια πακέτα λογισμικού συχνά συνδέονται με πακέτα λογισμικού προσομοίωσης δύο και τριών διαστάσεων που βοηθούν στην οπτικοποίηση και επιτρέπουν την ηλεκτρονική παραγωγή υψηλής ακρίβειας κατασκευαστικών σχεδίων και σχεδίων λεπτομερειών οπλισμού. Με τη βοήθεια κοινών συστημάτων βάσεων δεδομένων, μπορούν επίσης να διευκολύνουν την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ όλων των μερών που εμπλέκονται στον σχεδιασμό, καθώς και να περιλαμβάνουν μηχανικούς, αρχιτέκτονες, και σχεδιαστές οι οποίοι εργάζονται σε διαφορετικά γραφεία και σε διαφορετικά μέρη του κόσμου, για να μπορούν να έχουν πρόσβαση, να ελέγχουν, και να μοιράζονται τη δουλειά τους μεταξύ τους.

Η δυνατότητα αποτελεσματικής χρήσης τέτοιου λογισμικού αποτελεί από μόνη της μια υψηλού επιπέδου ικανότητα, αλλά είναι γενικά παραδεκτό ότι δεν είναι ασφαλές για τους μηχανικούς να χρησιμοποιούν τέτοιο πολύπλοκο λογισμικό αν δεν κατέχουν οι ίδιοι τις θεμελιώδεις αρχές της επιστήμης του μηχανικού στις οποίες βασίζεται αυτό το λογισμικό και δεν έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν, να ελέγχουν, και να αμφισβητούν αποτελέσματα των υπολογιστών τα οποία μπορεί να μην είναι σωστά. Γι' αυτό, το βιβλίο επικεντρώνεται στην κατανόηση και την εφαρμογή των αρχών της επιστήμης του μηχανικού στις οποίες βασίζεται ο σχεδιασμός με οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα ώστε, αφού αποκτήσει αυτή την κατανόηση, ο αναγνώστης να έχει τη δυνατότητα να εξελιχθεί σε έναν άξιο μηχανικό που στο μέλλον θα χρησιμοποιεί ή δεν θα χρησιμοποιεί πολύπλοκο λογισμικό ηλεκτρονικού υπολογιστή στις μελέτες του, ανάλογα με τις ανάγκες του.

Επομένως, όταν χρησιμοποιεί οποιαδήποτε μορφή συστήματος μελέτης μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, ένας ικανός μελετητής πρέπει να εξασφαλίσει ότι θα πάρει αξιόπιστα αποτελέσματα διερευνώντας και ελέγχοντας τα εξής:

- Πρέπει να εξασφαλίζεται η *καταλληλότητα* του λογισμικού ώστε να δίνει τα απαιτούμενα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο πρόβλημα, με την επίδραση της στρέψης και της μορφής του φορέα. Πρέπει να τηρούνται οι κατάλληλοι Κώδικες Καλής Πρακτικής, και πρέπει να προσδιορίζονται και να εγκρίνονται οι τυχόν παραδοχές που αφορούν τις διαδικασίες της οριστικής μελέτης. Επίσης, ίσως είναι αναγκαίος ο έλεγχος της εγκυρότητας των τιμών της δυσκαμψίας στις οριακές καταστάσεις λειτουργίας ή χρήσης.
- Τα *δεδομένα εισόδου*, όπως οι διαστάσεις, οι ιδιότητες των υλικών, τα εφαρμοσμένα φορτία, και οι περιορισμοί των μελών, πρέπει να είναι ακριβή.

- *Επαλήθευση των αποτελεσμάτων με ποσοτικές εκτιμήσεις όπως οι εξής:*
 - ◆ είναι λογικές οι διαδρομές των φορτίων;
 - ◆ είναι λογικό το σχήμα της παραμόρφωσης;
 - ◆ υπάρχει συμμετρία στα αποτελέσματα (για παράδειγμα, σε αντιδράσεις και ροπές) όπου θα πρέπει να υπάρχει;
 - ◆ με βάση την πείρα, φαίνεται λογική η ποσότητα και η κατανομή του οπλισμού, οι διαστάσεις των μελών, κλπ.;
- Αυτά θα πρέπει να υποστηρίζονται από απλούς ποσοτικούς υπολογισμούς με το χέρι, όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 1.1.2.
- Τα συστήματα ελέγχου ποιότητας που εξασφαλίζουν ότι οι υπολογισμοί και ο σχεδιασμός ελέγχονται από κάποιο τρίτο μέρος και ότι όλα τα μέρη που έχουν πρόσβαση στη βάση δεδομένων του σχεδιασμού είναι ενήμερα για κάθε αλλαγή στον σχεδιασμό που έχει γίνει από κάποιο άλλο μέρος.

1.1.4 Βιωσιμότητα και περιβαλλοντικά ζητήματα

Η βιώσιμη (ή αειφόρος) ανάπτυξη ορίζεται ευρέως ως «η ανάπτυξη που καλύπτει τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες». Οι μηχανικοί έχουν καθήκον να συμβάλλουν στην αειφορία προάγοντας βιώσιμες μεθόδους κατασκευής και, στην ουσία, το Ίδρυμα Πολιτικών Μηχανικών (Institution of Civil Engineers – ICE) υποστηρίζει ότι οι μηχανικοί βρίσκονται «στην καρδιά της κοινωνίας, παρέχοντας βιώσιμη ανάπτυξη μέσω των γνώσεων, των ικανοτήτων, και των επαγγελματικών τους δεξιοτήτων». Επομένως, είναι ευθύνη του μελετητή να υιοθετήσει σχεδιαστικές μεθοδολογίες που προάγουν βιώσιμες μεθόδους κατασκευής και τη χρήση βιώσιμων υλικών.

Η επιλογή της μορφής του φορέα και των κατάλληλων υλικών κατασκευής είναι μια απόφαση που εξισορροπεί πολλούς παράγοντες. Πάντως, η επιλογή φορέα από οπλισμένο σκυρόδεμα συνεισφέρει σημαντικά στην αειφορία της κατασκευής. Το σκυρόδεμα είναι γενικά προσιτό από τοπικές πηγές, απαιτεί μικρές αποστάσεις μεταφοράς μέχρι το εργοτάξιο, και μπορεί να περιέχει κατάλοιπα παραπροϊόντα άλλων βιομηχανιών όπως η τέφρα. Ως υλικό, διαθέτει μεγάλη θερμική μάζα, ενώ οι τοίχοι και τα δάπεδα από οπλισμένο σκυρόδεμα μπορούν να απορροφούν, να κρατούν, και να εκκλύουν θερμότητα σε κτήρια κατοικιών και εμπορικά κτήρια, με αποτέλεσμα μειωμένες απαιτήσεις συστημάτων θέρμανσης και αερισμού με μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις και σχετικές εκπομπές CO₂.

Επίσης, το σκυρόδεμα είναι ανθεκτικό υλικό, που απαιτεί μικρή συντήρηση και παρέχει καλή αντίσταση στη φωτιά, στις πλημμύρες, και στον θόρυβο. Η μάζα του οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να εξασφαλίσει την ελαχιστοποίηση των κραδασμών· αυτό είναι απαραίτητο σε κτήρια στα οποία μπορεί να υπάρχει εξοπλισμός ευαίσθητος σε μικρές μετακινήσεις. Τα κτήρια από σκυρόδεμα μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα σε κάποια εναλλακτική χρήση, διαφορετική από αυτή για την οποία κατασκευάστηκαν αρχικά, και στο τέλος της ζωής της κατασκευής, είναι δυνατός ο θρυμματισμός και η ανακύκλωση του σκυροδέματος για άλλες χρήσεις. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις βιώσιμες κατασκευές από σκυρόδεμα μπορείτε να βρείτε στις βιβλιογραφικές αναφορές 27 και 36.

1.1.5 Υγεία, ασφάλεια, και ευημερία

Ο τομέας των κατασκευών, από την ίδια του τη φύση, είναι επικίνδυνος για τους εργαζόμενους σε αυτόν. Γενικά είναι γνωστό ότι κάθε χρόνο σημειώνονται πολλά θανατηφόρα ατυχήματα και τραυματισμοί που μπορούν να μειωθούν τόσο σε αριθμό όσο και σε επιπτώσεις αν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα από όλα τα μέρη που εμπλέκονται στην κατασκευαστική διαδικασία.

Γι' αυτό, στο Ηνωμένο Βασίλειο και σε πολλές άλλες χώρες του κόσμου, δίνεται υψηλή προτεραιότητα σε ζητήματα Υγείας, Ασφάλειας, και Ευημερίας (Health, Safety, and Welfare – HS&W) τόσο στα στάδια της μελέτης και της κατασκευής όσο και στη λειτουργική ζωή της κατασκευής. Για την ακρίβεια, οι νομικές απαιτήσεις για την αντιμετώπιση τέτοιων ζητημάτων ρυθμίζονται από τη νομοθεσία η οποία στο Ηνωμένο Βασίλειο προέρχεται κατά ένα μέρος από μια Ευρωπαϊκή Οδηγία που καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας για προσωρινά ή κινητά εργοτάξια.

Συνέπεια αυτής της Οδηγίας ήταν η εισαγωγή και καθιέρωση των κανονισμών Σχεδιασμού και Διαχείρισης Κατασκευών (Construction Design and Management – CDM) το 2007. Οι κανονισμοί υποστηρίζονται από έναν *Εγκεκριμένο Κώδικα Πρακτικής Εφαρμογής* (Approved Code of Practice – ACoP) που προβλέπει ένα ειδικό νομικό καθεστώς και παρέχει συμβουλές σε όσους ασχολούνται με κατασκευαστικά έργα ώστε, αν ακολουθήσουν τις συμβουλές αυτές, να είναι εξασφαλισμένη η τήρηση του νόμου.

Ο σκοπός του CDM (2007) είναι η βελτίωση των προτύπων HS&W μέσω της απλούστευσης και της αποσαφήνισης των κανονισμών, του βελτιωμένου συντονισμού, και του συντονισμού όλων των μερών στην κατασκευαστική διαδικασία και του προγραμματισμού και της διαχείρισης του έργου. Οι κανονισμοί ορίζουν και διατυπώνουν τις ευθύνες όλων των μερών, μεταξύ των οποίων ο Πελάτης, ο Μελετητής, ο κύριος Εργολήπτης, οι άλλοι εργολήπτες, οι εργαζόμενοι, και οι συντονιστές του CDM.

Επίσης, οι κανονισμοί ορίζουν σαφώς τις ευθύνες του μελετητή και, αν και τα έγγραφα αυτά επικεντρώνονται στις αρχές του σχεδιασμού οπλισμένων και προεντεταμένων στοιχείων από σκυρόδεμα, ο αναγνώστης θα πρέπει να γνωρίζει πως, όταν έχει τον ρόλο του μελετητή, δεν θα πρέπει να εκφράζει απλώς σωστές κρίσεις ως μηχανικός με βάση τις γνώσεις του για τις αρχές του σχεδιασμού, αλλά θα πρέπει να σχεδιάζει με τρόπο σύμφωνο με τους κανονισμούς CDM.

Μια σαφής απαίτηση των κανονισμών είναι ότι κατά τον σχεδιασμό ο μελετητής θα πρέπει να εξαλείφει τις απειλές και να μειώνει τους κινδύνους. Οι κανονισμοί δηλώνουν ρητά ότι οι προβλέψιμοι κίνδυνοι θα πρέπει να αποφεύγονται, αλλά δεν μπορούν να ζητηθούν ευθύνες από τον μελετητή για τυχόν απρόβλεπτους κινδύνους. Επομένως, ο μελετητής θα πρέπει να προβαίνει σε αξιολόγηση κινδύνων, για παράδειγμα επιθεωρώντας το εργοτάξιο για να προσδιορίσει τις απειλές, ρωτώντας τον πελάτη για σχετικές πληροφορίες που αφορούν την υγεία και την ασφάλεια, όπως η παρουσία θαμμένων μολυσμένων υλικών, και συντονίζοντας την εργασία του με τους άλλους εμπλεκόμενους στο έργο για να εξετάσει τις επιπτώσεις της επιλεγμένης λύσης στην υγεία και την ασφάλεια και τα συνεπαγόμενα ζητήματα κατασκευασσιμότητας.

Τέτοια ζητήματα κατασκευασσιμότητας είναι πιθανό να περιλαμβάνουν την εξέταση προσωρινών εργασιών και λεπτομερών κατασκευαστικών διαδικασιών όπως η σειρά, ο ρυθμός έγχυσης σκυροδέματος, και η αφαίρεση των αντιστηρίξεων, με τη συμπερίληψη των απαιτήσεων πρόσβασης και εξοπλισμού. Πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη η ασφάλεια του εργατικού δυναμικού της κατασκευής, πράγμα που μπορεί να επηρεάσει, για παράδειγμα, την επιλογή του τύπου της θεμελίωσης εκεί που μια βαθιά θεμελίωση μπορεί να απαιτήσει εργασίες σε πιθανόν επικίνδυνες βαθιές εκσκαφές, ενώ μια επιφανειακή θεμελίωση ή μια θεμελίωση σε πασσάλους θα ήταν λιγότερο επικίνδυνη για τους εργάτες. Η τελική επιλογή της θεμελίωσης πάντως θα γίνει με βάση την εξέταση των πιθανών τεχνικών λύσεων και του κόστους σε συνδυασμό με ζητήματα κατασκευασσιμότητας που αφορούν την υγεία και την ασφάλεια. Βάση πρέπει να δίνεται εξάλλου και σε ζητήματα υγείας και ασφάλειας που προκύπτουν από την κατασκευή, τη συντήρηση, και την κατεδάφιση, και από την σκοπούμενη χρήση του κτηρίου, με την εξαίρεση μελλοντικών χρήσεων οι οποίες δεν είναι λογικά προβλέψιμες.

Ευθύνη του μελετητή είναι επίσης η παροχή πληροφοριών σχετικά με τυχόν προσδιορισμένους, αλλά παραμένοντες, κινδύνους και η επικοινωνία με όλα τα μέρη τα οποία μπορεί να επηρεάζονται από τους κινδύνους αυτούς. Οι πληροφορίες πρέπει να παρέχονται με κατάλληλο τρόπο, συχνά με

τη μορφή σχολίων επάνω στα σχέδια του μελετητή ή σε μια έντυπη Εκτίμηση Κινδύνων από τον μελετητή. Παρόλο που δεν αναμένεται από τον μελετητή να καθορίσει τις κατασκευαστικές μεθόδους, όταν μια λύση βασίζεται στην παραδοχή, για παράδειγμα, μιας συγκεκριμένης ακολουθίας της κατασκευής, οι πληροφορίες αυτές πρέπει να μεταφέρονται στον Εργολήπτη για να μην προκύψουν σοβαρά προβλήματα υγείας και ασφάλειας.

Όταν ένα έργο κριθεί ότι μπορεί να γνωστοποιηθεί, ο μελετητής πρέπει επίσης να δώσει πληροφορίες για τον *Φάκελο Υγείας και Ασφάλειας* (Health & Safety File) του έργου, ένα απαιτούμενο από τη νομοθεσία έγγραφο που διατηρείται από τον Πελάτη· σε αυτό καταγράφονται πληροφορίες σχετικές με την υγεία και την ασφάλεια για μελλοντική αναφορά μετά από την ολοκλήρωση του έργου.

1.2 Σύνθετη δράση

Το σκυρόδεμα και ο χάλυβας έχουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες, μερικές από τις οποίες δίνονται εδώ:

	Σκυρόδεμα	Χάλυβας
Αντοχή σε εφελκυσμό	κακή	καλή
Αντοχή σε θλίψη	καλή	καλή, αλλά οι ράβδοι μικρής διατομής έχουν πρόβλημα λυγισμού
Αντοχή σε διάτμηση	μέτρια	καλή
Ανθεκτικότητα σε διάρκεια	καλή	διαβρώνεται χωρίς προστασία
Πυραντίσταση	καλή	κακή – υφίσταται ταχεία απώλεια της αντοχής του σε υψηλές θερμοκρασίες

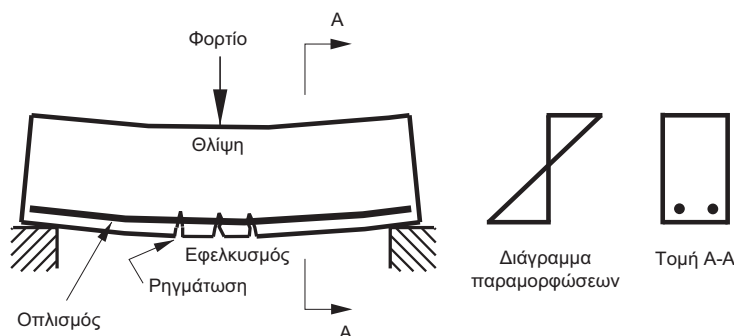
Από αυτόν τον πίνακα, μπορείτε να δείτε ότι, λίγο-πολύ, τα δύο υλικά συμπληρώνουν το ένα το άλλο. Έτσι, όταν συνδυάζονται, ο χάλυβας έχει τη δυνατότητα να προσφέρει την αντοχή σε εφελκυσμό και πιθανόν ένα μέρος της διατμητικής αντοχής, ενώ το σκυρόδεμα, ισχυρό σε θλίψη, προστατεύει τον χάλυβα και του παρέχει ανθεκτικότητα σε διάρκεια και πυραντίσταση.

Η αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό είναι μόνο το ένα δέκατο αυτής σε θλίψη. Λόγω αυτού, όλες οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα μελετώνται με την παραδοχή ότι το σκυρόδεμα δεν παραλαμβάνει δυνάμεις εφελκυσμού. Ο οπλισμός παραλαμβάνει βάσει σχεδιασμού αυτές τις δυνάμεις εφελκυσμού, οι οποίες μεταφέρονται σε αυτόν μέσω της συνάφειας στη διεπιφάνεια των δύο υλικών. Αν η συνάφεια αυτή δεν είναι επαρκής, οι ράβδοι του οπλισμού απλώς θα ολισθήσουν μέσα στο σκυρόδεμα και δεν θα υπάρχει συνδυασμένη δράση. Επομένως, τα μέλη του φορέα θα πρέπει να διαστασιολογούνται με τέτοιο τρόπο ώστε το σκυρόδεμα να συμπυκνώνεται καλά γύρω από τον οπλισμό κατά την κατασκευή. Επιπλέον, οι ράβδοι του οπλισμού συνήθως έχουν νευρώσεις ώστε να υπάρχει πρόσθετη μηχανική πρόσφυση.

Κατά την ανάλυση και τη μελέτη μιας διατομής οπλισμένου σκυροδέματος, θεωρούμε ότι υπάρχει τέλεια συνάφεια, έτσι ώστε η παραμόρφωση του οπλισμού να είναι ίση με αυτή του γειτονικού σκυροδέματος. Έτσι εξασφαλίζεται η «συμβατότητα των παραμορφώσεων» σε όλη τη διατομή του δομικού στοιχείου.

Οι συντελεστές θερμικής διαστολής για τον χάλυβα και το σκυρόδεμα είναι της τάξης του 10×10^{-6} ανά °C και $7 - 12 \times 10^{-6}$ ανά °C αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι ικανοποιητικά παραπλήσιες ώστε σπάνια παρουσιάζονται προβλήματα συνάφειας λόγω διαφορετικής διαστολής των δύο υλικών σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασιακής μεταβολής.

Στο Σχήμα 1.3 φαίνεται η συμπεριφορά μιας απλής αμφιέριστης δοκού σε κάμψη: Φαίνεται η θέση του οπλισμού χάλυβα που παραλαμβάνει τις δυνάμεις εφελκυσμού, ενώ οι θλιπτικές δυνάμεις στο άνω μέρος της δοκού παραλαμβάνονται από το σκυρόδεμα.



Σχήμα 1.3
Σύνθετη δράση

Όπου υπάρχει εφελκυσμός, είναι πιθανό ότι θα συμβεί ρηγμάτωση του σκυροδέματος. Όμως, η ρηγμάτωση αυτή δεν μειώνει την ασφάλεια της κατασκευής, αρκεί να υπάρχει καλή συνάφεια οπλισμού και σκυροδέματος ώστε να εξασφαλιστεί ότι η διεύρυνση των ρωγμών θα περιοριστεί και ο χάλυβας στο εσωτερικό θα εξακολουθήσει να προστατεύεται από τη διάβρωση.

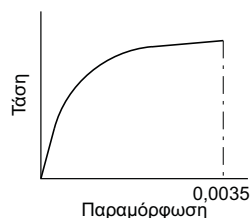
Όταν οι θλιπτικές ή διατμητικές δυνάμεις υπερβούν την αντοχή του σκυροδέματος, πρέπει να παρέχεται και πάλι οπλισμός χάλυβα, αλλά σε τέτοιες περιπτώσεις ο χάλυβας απαιτείται μόνον ως υποβοήθηση της φέρουσας ικανότητας του σκυροδέματος. Για παράδειγμα, θλιβόμενος οπλισμός απαιτείται γενικά στα υποστυλώματα όπου έχει τη μορφή κατακόρυφων ράβδων κατανεμημένων στην περίμετρο. Για να αποφευχθεί ο λυγισμός αυτών των υποστυλωμάτων, χρησιμοποιούνται χαλύβδινοι συνδετήρες οι οποίοι ενισχύουν τις περιοριστικές ιδιότητες του περιβάλλοντος σκυροδέματος.

1.3 Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων

Τα φορτία μιας κατασκευής προκαλούν παραμόρφωση στα μέλη της με αποτέλεσμα την εμφάνιση τάσεων και παραμορφώσεων στο σκυρόδεμα και τον χάλυβα του οπλισμού. Για την ανάλυση και τη μελέτη ενός μέλους, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη σχέση μεταξύ αυτών των τάσεων και των παραμορφώσεων. Η γνώση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν έχουμε να κάνουμε με το οπλισμένο σκυρόδεμα, που είναι σύνθετο υλικό· επειδή, στην περίπτωση αυτή, στην ανάλυση των τάσεων σε μια διατομή ενός μέλους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ισορροπία των δυνάμεων στον χάλυβα και το σκυρόδεμα, καθώς επίσης και η συμβατότητα των παραμορφώσεων σε όλη τη διατομή.

1.3.1 Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι ένα πολύ μεταβλητό υλικό, το οποίο παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών αντοχής και καμπυλών τάσεων-παραμορφώσεων. Στο Σχήμα 1.4 φαίνεται η τυπική καμπύλη για σκυρόδεμα σε θλίψη. Κατά την εφαρμογή του φορτίου, ο λόγος μεταξύ τάσεων και παραμορφώσεων είναι κατά προσέγγιση γραμμικός στην αρχή, ενώ το σκυρόδεμα συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ελαστικό υλικό, πρακτικά με αναίρεση του συνόλου της παραμόρφωσης όταν αφαιρείται το φορτίο. Στο τέλος, η καμπύλη δεν είναι πλέον γραμμική και το σκυρόδεμα συμπεριφέρεται όλο και περισσότερο σαν πλαστικό υλικό. Αν αφαιρεθεί το φορτίο μέσα στην πλαστική περιοχή, η αναίρεση της παραμόρφωσης δεν θα είναι πλέον πλήρης και θα παραμείνει μια μόνιμη παραμόρφωση. Η τελική παραμόρφωση για τα περισσότερα δομικά σκυροδέματα συνήθως έχει σταθερή τιμή περίπου ίση με 0,0035, αν και αυτή είναι πιθανό να είναι μικρότερη για σκυρόδεμα με αντοχή κύβου μεγαλύτερη από 60 N / mm². Ο Ευρωκώδικας 2 (ή ΕΚ2) συνιστά τιμές που πρέπει να χρησιμοποιούνται σε τέτοιες περιπτώσεις. Το ακριβές σχήμα της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διάρκεια εφαρμογής του φορτίου, έναν παράγοντα που θα εξετάσουμε πιο αναλυτικά στην Ενότητα 1.5 για τον ερπυσμό. Το Σχήμα 1.4 είναι το σύνηθες για μια βραχυπρόθεσμη φόρτιση.



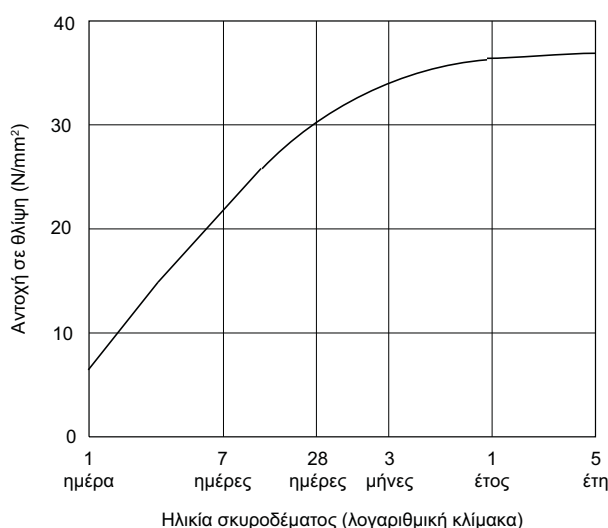
Σχήμα 1.4

Καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων για σκυρόδεμα σε θλίψη

Η αντοχή του σκυροδέματος γενικά αυξάνεται με την ηλικία του. Αυτό το χαρακτηριστικό παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.5, το οποίο δείχνει ότι η αύξηση στην αρχή είναι γρήγορη, ενώ αργότερα γίνεται περισσότερο βαθμιαία. Η ακριβής σχέση εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου που χρησιμοποιείται. Αυτό που φαίνεται στο Σχήμα αφορά την τυπική παραλλαγή ενός επαρκώς σκληρυμένου σκυροδέματος με σύνηθες τσιμέντο Portland κλάσης 42.5 N. Μερικοί κώδικες εφαρμογής επιτρέπουν τη μεταβολή της αντοχής του σκυροδέματος στη μελέτη ανάλογα με την ηλικία του, όταν θα φέρει τα φορτία σχεδιασμού. Οι Ευρωκώδικες όμως δεν επιτρέπουν τη χρήση τιμών αντοχής μεγαλύτερων από την τιμή αυτή στους υπολογισμούς, αλλά επιτρέπουν την τροποποίηση του μέτρου ελαστικότητας ώστε να συνεκτιμάται η ηλικία, όπως θα δούμε πιο κάτω.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η θλιπτική τάση παραδοσιακά μετριέται και εκφράζεται ως η αντοχή σε σύνθλιψη ενός κύβου ηλικίας 28 ημερών με πλευρά 150 mm. Στις περισσότερες άλλες χώρες χρησιμοποιούνται κύλινδροι διαμέτρου 150 mm και μήκους 300 mm. Για σκυροδέματα συνήθους αντοχής, η αντοχή κυλίνδρου είναι κατά μέσο όρο ίση περίπου με $0,8 \times$ αντοχή κύβου. Όλοι οι υπολογισμοί σύμφωνα με τον ΕΚ2 βασίζονται στη χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου f_{ck} όπως ορίζεται στην Ενότητα 2.2.1. Παρόλα αυτά, επιτρέπεται η χρήση της αντοχής κύβου για λόγους συμμόρφωσης, αν η χαρακτηριστική αντοχή ορίζεται ως $f_{ck, cube}$.

Τα σκυροδέματα χαρακτηρίζονται κανονικά με αυτή την αντοχή των 28 ημερών· για παράδειγμα, το σκυρόδεμα με κλάση αντοχής C35 / 45 έχει χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου ίση με 35 N / mm^2 και χαρακτηριστική αντοχή κύβου ίση με 45 N / mm^2 . Πρέπει να σημειωθεί ότι σε αυτές τις τιμές γίνεται κάποια «στρογγυλοποίηση», ενώ η αντοχή κύβου συνήθως αναφέρεται σε πολλαπλάσια των 5 N / mm^2 . Σκυροδέματα που παρασκευάζονται με ελαφρά αδρανή χαρακτηρίζονται από το πρόθεμα LC.



Σχήμα 1.5

Αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος με την ηλικία. Τυπική καμπύλη για ένα σκυρόδεμα αποτελούμενο από τσιμέντο τύπου Portland 42.5 N με αντοχή 28 ημερών σε θλίψη ίση με 30 N / mm^2

Μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος

Από την καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα φαίνεται πως, παρόλο που μπορούμε να θεωρήσουμε ελαστική συμπεριφορά για τάσεις μικρότερες περίπου από το ένα τρίτο της οριακής αντοχής σε θλίψη, η σχέση αυτή δεν είναι πραγματικά γραμμική. Επομένως, είναι αναγκαίο να ορίσουμε τι ακριβώς θα εκλαμβάνεται ως μέτρο ελαστικότητας:

$$E = \frac{\text{τάση}}{\text{παραμόρφωση}}$$

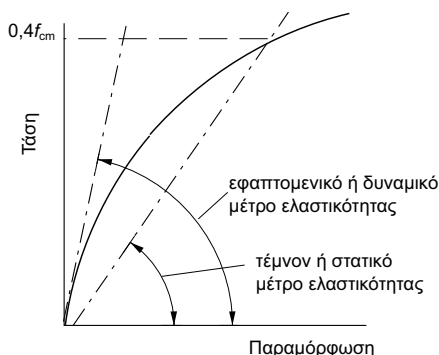
Υπάρχουν διάφοροι εναλλακτικοί ορισμοί, αλλά αυτός που θα συναντήσετε πιο συχνά είναι $E = E_{cm}$, όπου το E_{cm} είναι γνωστό ως *τέμνον μέτρο ελαστικότητας* ή *στατικό μέτρο ελαστικότητας*. Αυτό προκύπτει για συγκεκριμένο σκυρόδεμα από δοκιμή στατικής φόρτισης κατά την οποία σε έναν κύλινδρο εφαρμόζεται φορτίο που αντιστοιχεί σε τάση λίγο μεγαλύτερη από το ένα τρίτο της μέσης τάσης του κύβου ελέγχου $f_{cm, cube}$, ή από το 0,4 της μέσης τάσης κυλίνδρου, και μετά επιστρέφει σε μηδενική τάση. Έτσι εξαλείφεται η επίδραση του αρχικού «στρώσιμου» και των αρχικών μικρών ανακατανομών των τάσεων στο σκυρόδεμα υπό την επίδραση ενός φορτίου. Το φορτίο εφαρμόζεται ξανά και η συμπεριφορά στη συνέχεια είναι σχεδόν γραμμική· η μέση κλίση της καμπύλης μέχρι την καθορισμένη τάση λαμβάνεται ως τιμή του E_{cm} . Η δοκιμή περιγράφεται αναλυτικά στο πρότυπο BS1881 και το αποτέλεσμα είναι γενικά γνωστό ως *τέμνον μέτρο ελαστικότητας*.

Μερικές φορές αναφερόμαστε στο δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, E_d , επειδή η μέτρησή του είναι πολύ πιο εύκολη στο εργαστήριο και υπάρχει μια αρκετά καλά ορισμένη σχέση μεταξύ E_{cm} και E_d . Η τυπική δοκιμή βασίζεται στον προσδιορισμό της συχνότητας συντονισμού ενός πρισματικού δοκίμιου και περιγράφεται επίσης στο πρότυπο BS1881. Επίσης, είναι δυνατή η λήψη μιας καλής εκτίμησης του E_d με τη βοήθεια τεχνικών υπερηχητικών μετρήσεων, οι οποίες μπορούν μερικές φορές να χρησιμοποιηθούν επιτόπου για την αξιολόγηση του σκυροδέματος μιας πραγματικής κατασκευής. Η τυπική δοκιμή για την εύρεση του E_d εκτελείται σε αφόρτιστο δοκίμιο. Στο Σχήμα 1.6 μπορείτε να δείτε ότι η τιμή που προκύπτει αντιπροσωπεύει την κλίση της εφαπτομένης για μηδενική τάση και, επομένως, το E_d είναι μεγαλύτερο από το E_{cm} . Η σχέση που συνδέει τα δύο μέτρα ελαστικότητας συχνά θεωρείται ότι είναι η εξής:

$$\text{Τέμνον μέτρο ελαστικότητας } E_{cm} = (1,25 E_d - 19) \text{ kN / mm}^2$$

Η εξίσωση αυτή είναι ικανοποιητικά ακριβής για συνήθεις μελέτες.

Η πραγματική τιμή του E για ένα σκυρόδεμα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με το μίγμα, αλλά θεωρούμε πως υπάρχει μια γενική σχέση που συνδέει το μέτρο ελαστικότητας και την αντοχή σε θλίψη.



Σχήμα 1.6

Μέτρα ελαστικότητας του σκυροδέματος

Πίνακας 1.1 Βραχυπρόθεσμο μέτρο ελαστικότητας για σκυρόδεμα με αδρανή κανονικού βάρους

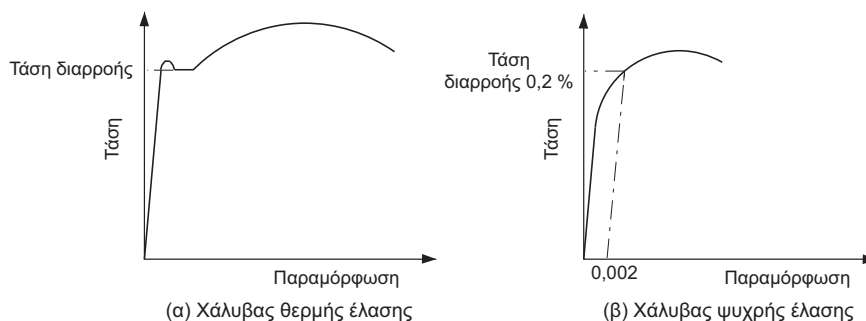
Χαρακτηριστική αντοχή 28 ημερών (N/mm^2) $f_{ck} / f_{ck, cube}$ (κυλίνδρου / κύβου)	Στατικό (τέμνον) μέτρο ελαστικότητας E_{cm} (kN/mm^2) Μέση τιμή
20/25	30
25/30	31
30/37	33
35/45	34
40/50	35
45/55	36
50/60	37
60/75	39
70/85	41
80/95	42
90/105	44

Τυπικές τιμές του E_{cm} για σκυρόδεμα διαφόρων κατηγοριών με χάλικες ως αδρανή, κατάλληλα για τον σχεδιασμό, φαίνονται στον Πίνακα 1.1. Για ασβεστολιθικά αδρανή οι τιμές αυτές θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με έναν συντελεστή 0,9 ή, για βασालτικά, να πολλαπλασιάζονται με έναν συντελεστή 1,2. Το μέγεθος του μέτρου ελαστικότητας απαιτείται κατά τη διερεύνηση του βέλους κάμψης και της ρηγμάτωσης μιας κατασκευής. Όταν εξετάζονται τα βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα, η δυσκαμψία των μελών ενός φορέα βασίζεται στο στατικό μέτρο ελαστικότητας E_{cm} που ορίσαμε προηγουμένως. Όταν εξετάζονται τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα, μπορεί να αποδειχθεί ότι μπορούμε να αναπαραστήσουμε την επίδραση του ερπυσμού τροποποιώντας την τιμή του E_{cm} σε μια ενεργό τιμή $E_{c, eff}$, την οποία θα αναλύσουμε στην Ενότητα 6.3.2.

Μπορούμε να εκτιμήσουμε το μέτρο ελαστικότητας σε ηλικία διαφορετική από αυτή των 28 ημερών από τον παραπάνω πίνακα, χρησιμοποιώντας την αναμενόμενη τιμή της αντοχής στη συγκεκριμένη ηλικία. Αν απαιτείται μια τυπική τιμή του λόγου Poisson, αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται ίση με 0,2 για περιοχές οι οποίες δεν υπόκεινται σε ρηγμάτωση λόγω εφελκυσμού.

1.3.2 Χάλυβας

Στο Σχήμα 1.7 φαίνονται οι τυπικές καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων για (α) χάλυβα θερμής έλασης με υψηλό όριο διαρροής, και (β) χάλυβα ψυχρής έλασης με υψηλό όριο διαρροής. Ο μαλακός χάλυβας συμπεριφέρεται ως ελαστικό υλικό, με την παραμόρφωση ανάλογη προς την τάση μέχρι τη διαρροή, κατά την οποία υπάρχει απότομη αύξηση της παραμόρφωσης χωρίς μεταβολή της τάσης. Μετά από το σημείο διαρροής, το υλικό μετατρέπεται σε πλαστικό και η παραμόρφωση αυξάνεται γρήγορα μέχρι τη μέγιστη τιμή της. Ο χάλυβας με υψηλό όριο διαρροής, ο οποίος χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως οπλισμός, μπορεί να συμπεριφερθεί με παρόμοιο τρόπο ή, από την άλλη πλευρά, μπορεί να μην παρουσιάζει ένα τόσο σαφές σημείο διαρροής, αλλά μια πιο σταδιακή μεταβολή από την ελαστική στην πλαστική συμπεριφορά και τη μειωμένη πλαστιμότητα (ολκιμότητα) ανάλογα με την διαδικασία παραγωγής. Όλα τα υλικά παρουσιάζουν μια παρόμοια κλίση της ελαστικής περιοχής με μέτρο ελαστικότητας περίπου ίσο με 200 kN/mm^2 .



Σχήμα 1.7

Καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων για χάλυβα οπλισμού με υψηλό όριο διαρροής

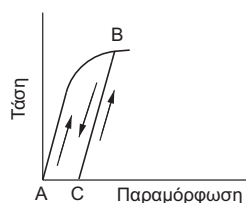
Η αντοχή που χρησιμοποιείται στη μελέτη βασίζεται είτε στην τάση διαρροής είτε σε μια καθοριζόμενη τάση διαρροής. Στο Σχήμα 1.7 ορίζεται τάση διαρροής 0,2% από τη διακεκομμένη ευθεία που σχεδιάζεται παράλληλα στο γραμμικό τμήμα της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων.

Η αφαίρεση του φορτίου μέσα στην πλαστική περιοχή έχει ως αποτέλεσμα το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων να ακολουθήσει μια ευθεία περίπου παράλληλη στο τμήμα φόρτισης – δείτε το τμήμα BC στο Σχήμα 1.8. Στον χάλυβα θα παραμείνει μια μόνιμη παραμόρφωση AC, η οποία είναι γνωστή ως «διαρροή» ή «πλαστιμότητα». Αν ο χάλυβας επαναφορτιστεί, το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων θα ακολουθήσει την καμπύλη αποφόρτισης μέχρι να φτάσει σχεδόν στην αρχική τάση στο B και στη συνέχεια θα καμπυλώσει προς την κατεύθυνση της πρώτης φόρτισης. Έτσι, το αναλογικό όριο για τη δεύτερη φόρτιση είναι υψηλότερο από εκείνο της αρχικής. Η δράση αυτή αποκαλείται «σκλήρυνση με ψυχρή κατεργασία».

Η παραμόρφωση του χάλυβα υπό φορτίο εξαρτάται επίσης από τη χρονική διάρκεια της εφαρμογής του φορτίου. Υπό σταθερή τάση, οι παραμορφώσεις σταδιακά αυξάνονται – το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως «ερπυσμός» ή «χαλάρωση». Η ποσότητα του ερπυσμού που συμβαίνει σε μια χρονική περίοδο εξαρτάται από την κατηγορία του χάλυβα και το μέγεθος της τάσης. Ο ερπυσμός του χάλυβα έχει πολύ μικρή σημασία για τα συνήθη έργα από οπλισμένο σκυρόδεμα, αλλά αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο προεντεταμένο σκυρόδεμα, όπου ο χάλυβας της προέντασης υπόκειται σε πολύ υψηλές τάσεις.

1.4 Συστολή και μετακίνηση λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής

Κατά τη σκλήρυνσή του, ο όγκος του σκυροδέματος μειώνεται. Η συστολή αυτή μπορεί να προκαλέσει ρηγμάτωση στο σκυρόδεμα, αλλά έχει επίσης το ωφέλιμο αποτέλεσμα της ενίσχυσης της συνάφειας ανάμεσα στο σκυρόδεμα και στον χάλυβα του οπλισμού. Η συστολή ξεκινάει αμέσως μετά από την ανάμιξη του σκυροδέματος, και αρχικά οφείλεται στην απορρόφηση νερού από το σκυρόδεμα και τα αδρανή. Περαιτέρω συστολή προξενεί η εξάτμιση του νερού μέσω της επιφάνειας του σκυροδέματος. Στη διάρκεια της διαδικασίας πήξης, η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι υπεύθυνη για την παραγωγή μεγάλης ποσότητας θερμότητας και, καθώς το σκυρόδεμα ψύχεται, συμβαίνει επιπλέον συρρίκνωσή του λόγω θερμικής συστολής. Ακόμη και μετά από τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, η συστολή



Σχήμα 1.8

Σκλήρυνση με ψυχρή κατεργασία

συνεχίζεται αφού η ξήρανση διαρκεί για πολλούς μήνες, ενώ οποιαδήποτε ύγρανση και ξήρανσή του μπορεί επίσης να προκαλέσει διόγκωση και συρρίκνωση. Η θερμική συστολή είναι δυνατόν να μειωθεί αν περιοριστεί η άνοδος της θερμοκρασίας κατά την προσθήκη νερού, πράγμα που επιτυγχάνεται με τις εξής διαδικασίες:

1. Χρήση μίγματος με χαμηλό περιεχόμενο σε τσιμέντο ή ένα κατάλληλο υποκατάστατο του τσιμέντου, όπως για παράδειγμα πτητική τέφρα (κονιοποιημένη τέφρα καυσίμων) ή αλεσμένοι κόκκοι σκωρίας υψικάμινων.
2. Αποφυγή της ταχείας σκλήρυνσης και του λεπτόκοκκου τσιμέντου, εφόσον αυτό είναι δυνατόν.
3. Διατήρηση των αδρανών και του νερού του μίγματος σε χαμηλή θερμοκρασία.
4. Χρήση μεταλλότυπων και ψύξης με ψεκασμό νερού.
5. Κατασκευή των ξυλοτύπων νωρίς ώστε να υπάρχει δυνατότητα έκλυσης της θερμότητας από την ανάμιξη του νερού.

Η χαμηλή αναλογία νερού προς τσιμέντο βοηθάει στη μείωση της συστολής λόγω ξήρανσης, διατηρώντας στο ελάχιστο την ποσότητα της υγρασίας που μπορεί να χαθεί.

Αν επιτραπεί στο σκυρόδεμα να μεταβάλει τον όγκο του ελεύθερα και χωρίς περιορισμούς, δεν θα υπάρξει μεταβολή της εντατικής κατάστασης στο εσωτερικό του. Ο περιορισμός της συστολής, από την άλλη, προκαλεί εφελκυστικές τάσεις και παραμορφώσεις. Ο περιορισμός μπορεί να οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες όπως η πάκτωση σε γειτονικά μέλη ή σε τριβή με την επιφάνεια του εδάφους, και σε εσωτερικούς παράγοντες όπως η δράση του χάλυβα του οπλισμού. Σε ένα επίμηκες τοίχωμα ή μια επιμήκη πλάκα δαπέδου, ο περιορισμός από γειτονικό σκυρόδεμα μπορεί να μειωθεί με την κατασκευή των φατνωμάτων διαδοχικά αντί εναλλάξ. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει στο ελεύθερο άκρο κάθε φατνώματος να συσταλεί πριν από την έγχυση του επόμενου.

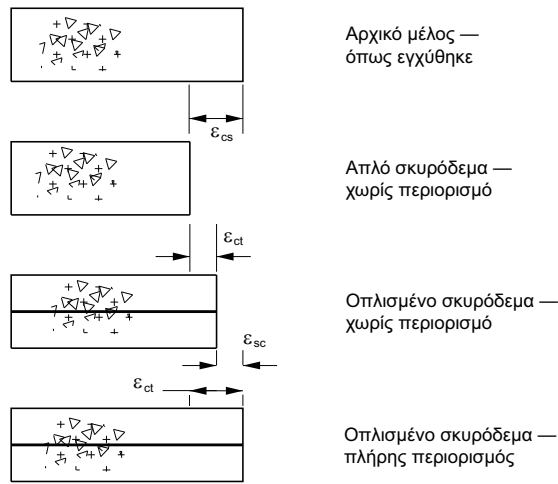
Η ημερήσια θερμική διαστολή του σκυροδέματος μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τις μετακινήσεις που προκαλεί η συστολή. Οι θερμικές τάσεις και παραμορφώσεις σε μια κατασκευή μπορούν να ελεγχθούν με την κατάλληλη πρόβλεψη αρμών μετακίνησης ή διαστολής. Για παράδειγμα, τέτοιοι αρμοί πρέπει να τοποθετούνται σε απότομες μεταβολές της διατομής και, γενικά, πρέπει να διασχίζουν τελείως την κατασκευή σε ένα επίπεδο.

Όταν οι τάσεις εφελκυσμού που προκαλούνται από τη συστολή ή τη θερμική μετακίνηση υπερβούν την αντοχή του σκυροδέματος, θα συμβεί ρηγμάτωση. Για τον περιορισμό του πλάτους των ρωγμών, πρέπει να υπάρχει οπλισμός χάλυβα κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος· οι κανονισμοί καθορίζουν τις ελάχιστες ποσότητες οπλισμού που απαιτούνται σε ένα μέλος γι' αυτόν τον σκοπό.

Υπολογισμός των τάσεων που προκαλούνται από τη συστολή

(α) Συστολή περιορισμένη από τον οπλισμό

Ο υπολογισμός των τάσεων λόγω συστολής που προκαλούνται από τον οπλισμό σε ένα κατά τα άλλα ελεύθερο μέλος είναι αρκετά απλός. Το μέλος του Σχήματος 1.9 παραμορφώνεται λόγω ελεύθερης συστολής κατά ϵ_{cs} αν αποτελείται από απλό σκυρόδεμα, αλλά αυτή η συνολική μετακίνηση μειώνεται όταν υπάρχει οπλισμός, με αποτέλεσμα τη θλιπτική παραμόρφωση ϵ_{sc} του χάλυβα και την πρόκληση ενεργού εφελκυστικής τάσης ϵ_{ct} στο σκυρόδεμα.



Σχήμα 1.9
Παραμορφώσεις λόγω συστολής

Επομένως

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{ct} + \varepsilon_{sc} = \frac{f_{ct}}{E_{cm}} + \frac{f_{sc}}{E_s} \quad (1.1)$$

όπου f_{ct} είναι η τάση εφελκυσμού στο σκυρόδεμα με εμβαδό A_c και f_{sc} η θλιπτική τάση στον χάλυβα με εμβαδό A_s .

Εξισώνοντας τις δυνάμεις στο σκυρόδεμα και τον χάλυβα για τη συνθήκη ισορροπίας, έχουμε

$$A_c f_{ct} = A_s f_{sc} \quad (1.2)$$

οπότε

$$f_{ct} = \frac{A_s}{A_c} f_{sc}$$

Αντικαθιστώντας το f_{ct} στην Εξίσωση 1.1,

$$\varepsilon_{cs} = f_{sc} \left(\frac{A_s}{A_c E_{cm}} + \frac{1}{E_s} \right)$$

Έτσι, αν $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cs} &= f_{sc} \left(\frac{\alpha_e A_s}{A_c E_s} + \frac{1}{E_s} \right) \\ &= \frac{f_{sc}}{E_s} \left(\frac{\alpha_e A_s}{A_c} + 1 \right) \end{aligned}$$

Επομένως, η τάση του χάλυβα είναι

$$f_{sc} = \frac{\varepsilon_{cs} E_s}{1 + \frac{\alpha_e A_s}{A_c}} \quad (1.3)$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.1

Υπολογισμός τάσεων λόγω συστολής σε σκυρόδεμα που περιορίζεται μόνον από οπλισμό

Ένα μέλος περιέχει 1,0 τοις εκατό οπλισμό, και η παραμόρφωση ελεύθερης συστολής του σκυροδέματος ε_{cs} είναι ίση με 200×10^{-6} . Για τον χάλυβα, $E_s = 200 \text{ kN/mm}^2$ και για το σκυρόδεμα $E_{cm} = 15 \text{ kN/mm}^2$. Έτσι, από την Εξίσωση 1.3 έχουμε:

$$\begin{aligned} \text{τάση στον οπλισμό } f_{sc} &= \frac{\varepsilon_{cs} E_s}{1 + \alpha_e \frac{A_s}{A_c}} \\ &= \frac{200 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^3}{1 + \frac{200}{15} \times 0,01} \\ &= 35,3 \text{ N/mm}^2 \text{ θλίψη} \\ \text{τάση στο σκυρόδεμα } f_{ct} &= \frac{A_s}{A_c} f_{sc} \\ &= 0,01 \times 35,3 \\ &= 0,35 \text{ N/mm}^2 \text{ εφελκυσμός} \end{aligned}$$

Οι τάσεις που προκαλούνται σε μέλη τα οποία είναι ελεύθερα από εξωτερικούς περιορισμούς είναι γενικά μικρές όπως στο Παράδειγμα 1.1, και παραλαμβάνονται εύκολα τόσο από τον χάλυβα όσο και από το σκυρόδεμα.

(β) Συστολή υπό πλήρη περιορισμό

Όταν το μέλος είναι πλήρως περιορισμένο, ο χάλυβας δεν είναι δυνατόν να υποστεί θλίψη αφού $\varepsilon_{sc} = 0$ και επομένως και $f_{sc} = 0$ (Σχήμα 1.9). Στην περίπτωση αυτή, η παραμόρφωση λόγω εφελκυσμού η οποία επιβάλλεται στο σκυρόδεμα, ε_{ct} , πρέπει να είναι ίση με την παραμόρφωση ελεύθερης συστολής ε_{cs} , και η αντίστοιχη τάση θα είναι πιθανόν αρκετά υψηλή ώστε να προκληθούν ρωγμές σε σκυρόδεμα που δεν έχει σκληρυνθεί ακόμη επαρκώς.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.2

Υπολογισμός τάσεων λόγω συστολής υπό πλήρη περιορισμό

Αν το μέλος του Παραδείγματος 1.1 είναι πλήρως περιορισμένο, η τάση στο σκυρόδεμα δίνεται από τη σχέση

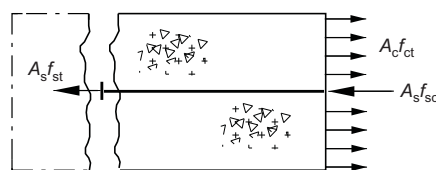
$$f_{ct} = \varepsilon_{ct} E_{cm}$$

όπου

$$\varepsilon_{ct} = \varepsilon_{cs} = 200 \times 10^{-6}$$

Τότε

$$\begin{aligned} f_{ct} &= 200 \times 10^{-6} \times 15 \times 10^3 \\ &= 3,0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



Σχήμα 1.10

Δυνάμεις συστολής στη γειτονία μιας ρωγμής

Όταν συμβαίνει ρηγμάτωση, τα μη ρηγματωμένα μήκη του σκυροδέματος προσπαθούν να συσταλούν, οπότε ο ενσωματωμένος χάλυβας μεταξύ των ρωγμών είναι υπό θλίψη, ενώ ο χάλυβας στις ρωγμές είναι υπό εφελκυσμό. Το χαρακτηριστικό αυτό συνοδεύεται από τοπική απώλεια της συνάφειας δίπλα σε κάθε ρωγμή. Η ισορροπία του σκυροδέματος και του οπλισμού φαίνεται στο Σχήμα 1.10. Πρέπει να γίνουν υπολογισμοί οι οποίοι θα συσχετίζουν τα πλάτη και τις αποστάσεις των ρωγμών με τις ιδιότητες της διατομής· αυτό θα το δούμε πιο αναλυτικά στα Κεφάλαια 6 και 12, τα οποία έχουν ως θέμα τους τις απαιτήσεις λειτουργικότητας και τις κατασκευές συγκράτησης υδάτων, αντίστοιχα. Στα κεφάλαια αυτά, δίνονται παραδείγματα υπολογισμού του πλάτους των ρωγμών.

Μετακίνηση λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής

Επειδή οι συντελεστές θερμικής διαστολής για τον χάλυβα και το σκυρόδεμα $\alpha_{T,s}$ και $\alpha_{T,c}$ είναι παρόμοιοι, η διαφορική μετακίνηση ανάμεσα στον χάλυβα και το σκυρόδεμα θα είναι πολύ μικρή, οπότε είναι απίθανο να γίνει αιτία ρηγμάτωσης.

Η διαφορική θερμική παραμόρφωση λόγω μεταβολής θερμοκρασίας T ισούται με

$$T(\alpha_{T,c} - \alpha_{T,s})$$

και, αν είναι σημαντική, πρέπει να προστίθεται στην παραμόρφωση λόγω συστολής ε_{cs} .

Πάντως, η συνολική θερμοκρασιακή συστολή του σκυροδέματος είναι συχνά αρκετή ώστε να προκαλέσει την πρώτη ρωγμή σε ένα περιορισμένο μέλος, επειδή η απαιτούμενη γι' αυτό μεταβολή θερμοκρασίας μπορεί να συμβεί στη διάρκεια της νύχτας για ένα πρόσφατα εγχυμένο μέλος, ακόμη και με καλό έλεγχο της θερμότητας κατά τη διαδικασία της ενυδάτωσης.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.3

Θερμική συστολή

Υπολογίστε την πτώση της θερμοκρασίας που απαιτείται για να προκληθεί ρηγμάτωση σε ένα περιορισμένο μέλος αν η οριακή αντοχή του σκυροδέματος $f_{ct, eff} = 2 \text{ N/mm}^2$, $E_{cm} = 16 \text{ kN/mm}^2$, και $\alpha_{T,c} = \alpha_{T,s} = 10 \times 10^{-6}$ ανά $^{\circ}\text{C}$.

Οριακή εφελκυστική παραμόρφωση του σκυροδέματος

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ult} &= \frac{f_{ct, eff}}{E_{cm}} \\ &= \frac{2}{16 \times 10^3} = 125 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

Η ελάχιστη πτώση της θερμοκρασίας που θα προκαλέσει ρηγμάτωση είναι

$$\frac{\varepsilon_{ult}}{\alpha_{T,c}} = \frac{125}{10} = 12,5^{\circ}\text{C}$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι πλήρης περιορισμός, όπως υποτίθεται στο παράδειγμα αυτό, είναι απίθανο να υπάρχει στην πράξη· έτσι, η απαιτούμενη πτώση της θερμοκρασίας για να συμβεί ρηγματώση πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη. Συχνά χρησιμοποιείται ως μέγιστος συντελεστής περιορισμού η τιμή 0,5, με μικρότερες τιμές όπου ο εξωτερικός περιορισμός ενδέχεται να είναι μικρός. Στην περίπτωση αυτή, η απαιτούμενη πτώση της θερμοκρασίας δίνεται από τη διαίρεση της θεωρητικής ελάχιστης τιμής της με τον «συντελεστή περιορισμού», δηλαδή $12,5 / 0,5 = 25^{\circ}\text{C}$ για το παράδειγμά μας. Οι συντελεστές περιορισμού και η χρήση τους καλύπτονται πιο αναλυτικά στα Κεφάλαια 6 και 12.

1.5 Ερπυσμός

Ερπυσμός είναι η συνεχής παραμόρφωση ενός μέλους υπό σταθερό φορτίο. Είναι ένα φαινόμενο που αφορά πολλά υλικά, αλλά παρατηρείται ιδιαίτερα στο σκυρόδεμα. Η ακριβής συμπεριφορά ενός συγκεκριμένου σκυροδέματος εξαρτάται από τα αδρανή και τον τύπο του μίγματος, καθώς και από την υγρασία του περιβάλλοντος, τη διατομή του μέλους, και την ηλικία του κατά την πρώτη φόρτιση, αλλά το γενικό μοτίβο εμφανίζεται κατά την εξέταση ενός μέλους που υπόκειται σε αξονική θλίψη. Για ένα τέτοιο μέλος, η τυπική μεταβολή της παραμόρφωσης συναρτήσει του χρόνου φαίνεται από την καμπύλη του Σχήματος 1.11 (στην επόμενη σελίδα).

Τα χαρακτηριστικά του ερπυσμού είναι τα εξής:

1. Η τελική παραμόρφωση του μέλους μπορεί να είναι τριπλάσια έως τετραπλάσια από τη βραχυπρόθεσμη ελαστική παραμόρφωση.
2. Η παραμόρφωση είναι περίπου ανάλογη προς την ένταση του φορτίου και αντιστρόφως ανάλογη προς την αντοχή του σκυροδέματος.
3. Αν αφαιρεθεί το φορτίο, θα αναιρεθεί μόνον η στιγμιαία ελαστική παραμόρφωση – όχι και η πλαστική παραμόρφωση.
4. Γίνεται ανακατανομή του φορτίου ανάμεσα στο σκυρόδεμα και του υπάρχοντος χάλυβα.

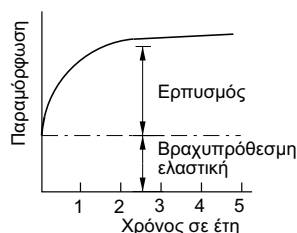
Η ανακατανομή του φορτίου προκαλείται από τη μεταφορά της μεταβολής των θλιπτικών παραμορφώσεων στον χάλυβα του οπλισμού. Έτσι, οι θλιπτικές τάσεις στον χάλυβα αυξάνονται, ώστε αυτός να αναλάβει ένα μεγαλύτερο μέρος του φορτίου.

Η επίδραση του ερπυσμού είναι ιδιαίτερα σημαντική στις δοκούς, όπου τα αυξημένα βέλη κάμψης μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών, βλάβες στις τελικές επιφάνειες, και την απώλεια της ευθυγράμμισης μηχανικού εξοπλισμού. Η ανακατανομή των τάσεων ανάμεσα στο σκυρόδεμα και τον χάλυβα συμβαίνει κυρίως στις μη ρηγματωμένες θλιβόμενες περιοχές και η μόνη επίδραση που έχει στον εφελκυσμένο οπλισμό είναι η μείωση των τάσεων λόγω συστολής σε κάποιες περιπτώσεις. Πάντως, η πρόβλεψη οπλισμού στη θλιβόμενη ζώνη ενός μέλους σε κάμψη βοηθάει συχνά στον περιορισμό του βέλους κάμψης που οφείλεται σε ερπυσμό.

1.6 Ανθεκτικότητα στον χρόνο

Οι κατασκευές από σκυρόδεμα, όταν έχουν μελετηθεί και υλοποιηθεί σωστά, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και απαιτούν λίγη συντήρηση. Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος στον χρόνο εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

1. Τις συνθήκες του περιβάλλοντος.
2. Τον τύπο του τσιμέντου.
3. Την ποιότητα του σκυροδέματος.
4. Την κάλυψη του οπλισμού.
5. Το πλάτος τυχόν ρωγμών που θα σχηματιστούν.



Σχήμα 1.11

Τυπική αύξηση της παραμόρφωσης με τον χρόνο για το σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι πιθανό να εκτεθεί σε μεγάλο εύρος συνθηκών όπως είναι το έδαφος, το θαλασσινό νερό, το αντιπαγωγτικό αλάτι, τα αποθηκευμένα χημικά, ή η ατμόσφαιρα. Η σοβαρότητα της έκθεσης στο περιβάλλον καθορίζει τον απαιτούμενο τύπο μίγματος σκυροδέματος και την ελάχιστη κάλυψη του χάλυβα του οπλισμού. Όποιος και αν είναι ο βαθμός της έκθεσης στο περιβάλλον, το μίγμα του σκυροδέματος πρέπει να αποτελείται από αδρανή αδιαπέραστα από το νερό και χημικώς αδρανή. Ένα πυκνό, καλά συμπυκνωμένο σκυρόδεμα με χαμηλή αναλογία νερού προς τσιμέντο είναι πάντα επιθυμητό, ενώ για κάποιες εδαφικές συνθήκες καλό είναι να χρησιμοποιείται τσιμέντο ανθεκτικό στα θειικά. Προσρόφηση αέρα συνιστάται συνήθως όταν είναι αναγκαίο να λάβουμε υπόψη μας επαυλαμβανόμενο πάγωμα και απόψυξη.

Η επαρκής κάλυψη του οπλισμού είναι ουσιώδης για να μην μπορούν διάφοροι διαβρωτικοί παράγοντες να φτάσουν στον οπλισμό μέσα από ρωγμές και διαπερατό σκυρόδεμα. Το πάχος της απαιτούμενης κάλυψης του οπλισμού εξαρτάται από τον βαθμό της έκθεσης στο περιβάλλον και την ποιότητα του σκυροδέματος (όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.2). Η κάλυψη είναι επίσης απαραίτητη για την προστασία του οπλισμού από την ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας και την επακόλουθη μείωση της αντοχής του στη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Το Μέρος 1.2 του ΕΚ2 περιέχει οδηγίες για το θέμα αυτό και άλλες απόψεις του αντιτυρικού σχεδιασμού. Οι απαιτήσεις ανθεκτικότητας στον χρόνο, μαζί με τους σχετικούς υπολογισμούς της μελέτης για τον έλεγχο του πλάτους και του βάθους των ρωγμών, περιγράφονται πιο αναλυτικά στο Κεφάλαιο 6.

1.7 Προδιαγραφές των υλικών

1.7.1 Σκυρόδεμα

Η επιλογή του τύπου του σκυροδέματος εξαρτάται συχνά από την απαιτούμενη αντοχή του, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την ένταση της φόρτισης και τη μορφή και τις διαστάσεις των μελών του φορέα. Για παράδειγμα, στα κατώτερα υποστυλώματα ενός πολυώροφου κτηρίου, είναι πιθανό να προτιμήσουμε να επιλέξουμε σκυρόδεμα υψηλότερης αντοχής παρά να αυξήσουμε τις διαστάσεις τους με συνεπακόλουθη απώλεια στο καθαρό εμβαδό του ορόφου.

Όπως είπαμε στην Ενότητα 1.3.1, η αντοχή του σκυροδέματος υπολογίζεται με τη μέτρηση της αντοχής σε σύνθλιψη κύβων ή κυλίνδρων σκυροδέματος από συγκεκριμένο μίγμα. Αυτά συνήθως αφήνονται να σκληρύνουν και ελέγχονται μετά από 28 ημέρες σύμφωνα με τις καθιερωμένες διαδικασίες. Σκυρόδεμα δεδομένης αντοχής χαρακτηρίζεται από την «κατηγορία» του – σκυρόδεμα Κατηγορίας 25 / 30 έχει χαρακτηριστική αντοχή σύνθλιψης κυλίνδρου 25 N / mm^2 και χαρακτηριστική αντοχή σύνθλιψης κύβου 30 N / mm^2 . Στον Πίνακα 1.2 παρατίθεται μια λίστα με τις συνήθεις κατηγορίες αντοχής που χρησιμοποιούνται, καθώς επίσης και η χαμηλότερη κατηγορία που απαιτείται κανονικά για διάφορους τύπους κατασκευών.

Οι συνθήκες του περιβάλλοντος και η ανθεκτικότητα στον χρόνο μπορούν επίσης να επηρεάσουν την επιλογή του μίγματος και της κατηγορίας του σκυροδέματος για τη μελέτη. Μια κατασκευή εκτεθειμένη σε διαβρωτικές συνθήκες σε ένα χημικό εργοστάσιο, για παράδειγμα, θα χρειαζόταν μια πιο πυκνή και υψηλότερη κατηγορία σκυροδέματος από το εσωτερικό ενός κτηρίου σχολείου ή γραφείων,

Πίνακας 1.2 Κατηγορίες αντοχής του σκυροδέματος

Κατηγορία	f_{ck} (N / mm ²)	Χαμηλότερη κατηγορία που καθορίζεται
C16/20	16	Σκυρόδεμα χωρίς οπλισμό
C20/25	20	Οπλισμένο σκυρόδεμα
C25/30	25	
C28/35	28	Προεντεταμένο σκυρόδεμα/οπλισμένο σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε χλωριούχα
C30/37	30	Οπλισμένο σκυρόδεμα θεμελίων
C32/40	32	
C35/45	35	
C40/50	40	
C45/55	45	
C50/60	50	
C55/67	55	
C60/75	60	
C70/85	70	
C80/95	80	
C90/105	90	

φερ' ειπείν. Αν και είναι δυνατή η χρήση τσιμέντου Portland κατηγορίας 42.5 N (CEMI) στις περισσότερες κατασκευές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι τύποι τσιμέντου. Επίσης, είναι δυνατή η χρήση τσιμέντου υψικαμίνου ή ανθεκτικού στα θειικά για αντίσταση στις χημικές ουσίες, χαμηλής θερμότητας τσιμέντα σε μεγάλα τμήματα για να μειώνεται η θερμότητα της ενυδάτωσης, ή τσιμέντο ταχείας πήξης όταν απαιτείται γρήγορη ανάπτυξη της αντοχής του. Σε κάποιες περιπτώσεις, μπορεί να είναι χρήσιμη η αντικατάσταση ενός μέρους του τσιμέντου με υλικά όπως η πτητική τέφρα (κονιοποιημένη τέφρα καυσίμων) ή οι αλεσμένοι κόκκοι σκωρίας υψικαμίνων τα οποία διαθέτουν αργά αναπτυσσόμενες υδραυλικές ιδιότητες. Αυτές μειώνουν τη θερμότητα της ενυδάτωσης και μπορεί επίσης να έχουν ως αποτέλεσμα μικρότερη δομή πόρων και αυξημένη ανθεκτικότητα στον χρόνο. Γενικά, προτιμώνται τα φυσικά αδρανή που είναι διαθέσιμα τοπικά· πάντως, επιτρέπεται και η χρήση ελαφρών υλικών βιομηχανικής παραγωγής όταν το ίδιο βάρος είναι σημαντικός παράγοντας, ή ειδικά πυκνά αδρανή όταν απαιτείται θωράκιση από ακτινοβολίες.

Το μίγμα του σκυροδέματος μπορεί να ταξινομηθεί είτε ως «σύνθετος» είτε ως «ειδικού σκοπού». Ένα «σύνθετος» σκυρόδεμα έχει καθορισμένη κατηγορία αντοχής, τύπο τσιμέντου, και όρια σύνθεσης, μεταξύ των οποίων ο λόγος νερού προς τσιμέντο και περιεχόμενο σε τσιμέντο. Με ένα σκυρόδεμα «ειδικού σκοπού», ο παραγωγός πρέπει να προσφέρει ένα υλικό που θα ικανοποιεί την καθορισμένη κατηγορία αντοχής και την πυκνότητα (εργασιμότητα) χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο μέγεθος αδρανών. Τα σκυροδέματα «ειδικού σκοπού» χαρακτηρίζονται ως RC30 (για παράδειγμα) με βάση την αντοχή κύβου μέχρι RC50 σύμφωνα με την προτιθέμενη χρήση τους. Τα «συνήθη» σκυροδέματα χρειάζονται σε συνθήκες όπου δεν είναι δυνατή η χρήση σκυροδέματος «ειδικού σκοπού» λόγω απαιτήσεων ανθεκτικότητας στον χρόνο (για παράδειγμα, διάβρωση από χλωριούχα). Αναλυτικές απαιτήσεις για τις προδιαγραφές του μίγματος και τη συμφωνία με τους κανονισμούς δίνονται στο πρότυπο BS EN206: Concrete – Performance, Production, Placing and Compliance Criteria (Σκυρόδεμα – Κριτήρια απόδοσης, παραγωγής, τοποθέτησης, και συμμόρφωσης), και στο πρότυπο BS8500: Concrete – Complementary British Standard to BS EN206 (Συμπληρωματικό Βρετανικό Πρότυπο στο BS EN206).

Το μπεστ σέλερ *Μελέτη κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα* (Reinforced Concrete Design) αποτελεί μια απλή και πρακτική εισαγωγή στις αρχές και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στη μελέτη κατασκευών από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα. Το βιβλίο περιέχει πολλά λυμένα παραδείγματα που δείχνουν τις διάφορες πλευρές της μελέτης οι οποίες παρουσιάζονται στο κείμενο.

Η 7η αγγλική έκδοση του βιβλίου είναι πλήρως αναθεωρημένη και ενημερωμένη σύμφωνα με την ερμηνεία και τη χρήση του Ευρωκώδικα 2 από την εισαγωγή του. Φοιτητές και μηχανικοί, σε όλες τις χώρες του κόσμου που έχουν υιοθετήσει τον Ευρωκώδικα 2, θα βρουν στο βιβλίο έναν περιεκτικό οδηγό της βασικής θεωρίας αλλά και τις κατάλληλες διαδικασίες μελέτης.

Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της 7ης αγγλικής έκδοσης:

- Πλήρως αναθεωρημένη σύμφωνα με τις πρόσφατες εμπειρίες από τη χρήση του Ευρωκώδικα 2 –από την εισαγωγή του το 2004 και την υιοθέτησή του ως προτύπου σχεδιασμού στη Βρετανία το 2010.
- Περισσότερα παραδείγματα εφαρμογής της θεωρίας στην πράξη.
- Ένα νέο κεφάλαιο για κατασκευές συγκράτησης υδάτων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2, Μέρος 3.
- Νέες ενότητες σχετικά με τις διαδικασίες μελέτης που αφορούν τη μοντελοποίηση (conceptual design), τις υψίκορμες δοκούς, την αναλυτική μελέτη πυραντίστασης, κ.ά.

Ως βοηθήματα για τη μελέτη περιλαμβάνονται διαγράμματα, πίνακες, μαθηματικοί τύποι και, για εύκολη αναφορά, ένα παράρτημα όπου συνοψίζονται οι σημαντικές πληροφορίες.

Οι συγγραφείς

Διπλωματούχοι μηχανικοί, καθένας τους με περισσότερα από τριάντα χρόνια διδακτικής πείρας σε πτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο. Ο εκλιπών **Bill Mosley** ήταν Καθηγητής στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών και Δομομηχανικών του Πολυτεχνείου Nanyang (Σιγκαπούρη). Ο **John Bungey** είναι Επίτιμος Καθηγητής Πολιτικών Μηχανικών στο Πανεπιστήμιο του Λίβερπουλ. Ο **Ray Hulse** ήταν Κοσμήτορας στο Τμήμα Τεχνολογίας και Υπολογιστών του Πανεπιστημίου του Κόβεντρι.



ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ

Λογοκώ 4, Σταθμός Λαρίσης, 10440 ΑΘΗΝΑ, Τηλ. 210-5237635
info@kildarithmos.gr www.kildarithmos.gr
www.facebook.com/kildarithmos.gr

ISBN 978-960-461-669-5

