

Χ. Κ. Μπανιωτόπουλος

# Κατασκευές από Χάλυβα

Αρχές Σχεδιασμού  
στο Πλαίσιο του Ευρωκώδικα 3

*Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή του συγγραφέα*

---

Φωτογραφία εξώφυλλου: Βιβλιοθήκη Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.  
Αρχιτεκτονική μελέτη: Α. Μ. Κωτσιόπουλος & συνεργάτες αρχιτέκτονες  
Στατική μελέτη: Ι. Λαβασάς, Π. Ζέρβας & Γ. Νικολαΐδης  
Σύμβουλος στατικής μελέτης: Χ. Κ. Μπανιωτόπουλος

---

ISBN978-960-456-184-1

© Copyright, 2009, Μπανιωτόπουλος Χαράλαμπος, Εκδόσεις Ζήτη

---

*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**

**Εκτύπωση**

**Βιβλιοδεσία**

**Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ**

18<sup>ο</sup> χλμ Θεσσαλονίκης - Περαιάς

Τ.Θ. 4171 • Περαιά Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19

Τηλ.: 23920 72.222 - Fax: 23920 72.229 • e-mail: info@ziti.gr



**www.ziti.gr**

**ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ:**

Αρμενοπούλου 27 - 546 35 Θεσσαλονίκη • Τηλ.: 2310 203.720 • Fax 2310 211.305

e-mail: sales@ziti.gr

**ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΕΝΩΣΗ ΕΚΔΟΤΩΝ ΒΙΒΛΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:**

Στοά του Βιβλίου (Πεσμαζόγλου 5) - 105 64 ΑΘΗΝΑ • Τηλ.-Fax: 210 3211.097

**ΑΠΟΘΗΚΗ ΑΘΗΝΩΝ - ΠΩΛΗΣΗ ΧΟΝΔΡΙΚΗ:**

Ασκληπιού 60 - Εξάρχεια 114 71, Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210 3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

**ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ:** www.ziti.gr

*στη Νατάσα  
για τις αρχές της,  
το κέφι  
και τη στήριξή της*

Περηφανεύομαι  
για τούτο δω  
το χαλύβδινο μίλι

Ολοζώντανο,  
να,  
τ' όραμά μου προβάλλει

Πάλη για την κατασκευή  
αντίς για ρυθμούς και στυλ

Υπολογισμός αυστηρός  
για μπουλόνια  
κι ατσάλι \*

---

\* “Η γέφυρα του Μπρούκλιν”, Βλαντιμίρ Μαγιακόφσκι, μετάφραση Πέτρος Ανταίος  
Βλαντιμίρ Μαγιακόφσκι, Ποίηση, Εκδόσεις Οδυσσέας

## Πρόλογος

Οι χαλύβδινες κατασκευές σήμερα αποτελούν εκείνον τον τύπο των φορέων οι οποίοι ανεγείρονται παγκοσμίως όλο και συχνότερα, και σε όλο και μεγαλύτερες διαστάσεις. Ταυτόχρονα, οι σύγχρονοι Δομικοί Κανονισμοί και ειδικότερα η έκδοση των τελικών κειμένων των Ευρωκωδίκων έχουν δημιουργήσει σήμερα ένα ασφαλές πλαίσιο εντός του οποίου ο Μηχανικός καλείται να υλοποιήσει τον σχεδιασμό των χαλύβδινων φορέων. Στο πλαίσιο αυτό η παρούσα έκδοση απευθύνεται στους σπουδαστές των Τμημάτων Πολιτικών Μηχανικών και στους συνάδελφους Πολιτικούς Μηχανικούς οι οποίοι ασχολούνται με σχεδιασμό δομικών έργων και έχει ως στόχο να συμβάλει τόσο στην διάχυση των βασικών αρχών σχεδιασμού οι οποίες εισάγονται με τον Ευρωκώδικα 3, όσο και στην κριτική ανάλυσή τους.

Έναυσμα για την συγγραφή αυτού του βιβλίου υπήρξαν ιδέες και παροτρύνσεις του αείμνηστου καθηγητή Παναγή Δ. Παναγιωτόπουλου, ο ξαφνικός θάνατος του οποίου το 1998 στέρησε αφενός τις Επιστήμες του Μηχανικού από την λαμπρή επιστημονική προσωπικότητά του και αφετέρου το στενό επιστημονικό του περιβάλλον από έναν οραματιστή ερευνητή και ταυτόχρονα εξαιρετο δάσκαλο. Οι επιστημονικές συζητήσεις οι οποίες ξεκίνησαν εκείνη την εποχή σχετικά με την εφαρμογή του Ευρωκώδικα 3, συνεχίστηκαν μέχρι σήμερα με όλους τους συναδέλφους του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Γι' αυτό το εποικοδομητικό συναδελφικό περιβάλλον, ευχαριστίες εκφράζονται προς όλους τους συναδέλφους του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ. Ιδιαίτερα ευχαριστίες εκφράζονται προς τον καθηγητή κ. Ε. Μυστακίδη του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την συμβολή του στην ολοκλήρωση του βιβλίου με την προετοιμασία των Πινάκων Διατομών και προς τον Δρα Πολιτικό Μηχανικό κ. Θ. Νικολαΐδη και τον Διπλ. Πολιτικό Μηχανικό κ. Σ. Γερασιμίδη, για την κριτική επεξεργασία των κεφαλαίων καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής του βιβλίου.

# Περιεχόμενα

## ΜΕΡΟΣ Ι

### ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΦΟΡΕΩΝ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

#### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και στόχος του βιβλίου.....	3
1.2 Δομή και περιεχόμενο.....	4
1.3 Το κανονιστικό πλαίσιο των Ευρωκωδίκων.....	6
1.3.1 Γενικά.....	6
1.3.2 Οι απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 3 για τον σχεδιασμό των χαλύβδινων κατασκευών .....	10
1.3.3 Διασφάλιση της ανθεκτικότητας στις χαλύβδινες κατασκευές .....	11
1.4 Οι συμβάσεις στους Ευρωκώδικες .....	11
1.4.1 Ορολογία και συμβάσεις.....	11
1.4.2 Ο προσανατολισμός των αξόνων στα χαλύβδινα μέλη .....	12
1.4.3 Συμβολισμοί.....	14
1.4.4 Μονάδες μέτρησης .....	19
1.5 Σύντομη αναφορά στην ιστορική εξέλιξη των κατασκευών από χάλυβα.....	20
1.6 Ανακεφαλαίωση .....	31

#### 2 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΔΟΜΙΚΟ ΧΑΛΥΒΑ

2.1 Ο δομικός χάλυβας.....	33
2.2 Κράματα σιδήρου - άνθρακα.....	37
2.3 Οι θερμικές και επιφανειακές κατεργασίες στους χάλυβες.....	40
2.4 Είδη χάλυβα και ειδικοί χάλυβες.....	43
2.5 Η αντοχή του χάλυβα.....	47
2.5.1 Οι σταθερές αντοχής και οι ελαστικές σταθερές του χάλυβα .....	47
2.5.2 Αντοχή σε θραύση .....	50
2.5.3 Δοκιμή σκληρότητας.....	52
2.5.4 Τα χαρακτηριστικά αντοχής του χάλυβα στον Ευρωκώδικα 3.....	53
2.6 Ελατές και συγκολλητές διατομές. Οι πρότυπες σειρές των ελατών διατομών .....	57
2.7 Ανακεφαλαίωση .....	62

### 3 ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

3.1	Ο ρόλος του μηχανικού στο σχεδιασμό χαλύβδινων κατασκευών.....	65
3.2	Καθορισμός και διερεύνηση κριτηρίων κατά τη φάση του σχεδιασμού.....	68
3.2.1	Απαιτήσεις εκ μέρους του ιδιοκτήτη/εντολέα .....	68
3.2.2	Απαιτήσεις μελέτης.....	70
3.2.3	Προϋπολογισμός εργασιών και κόστους συντήρησης.....	78
3.2.4	Βέλτιστος συνδυασμός κριτηρίων σχεδιασμού.....	80
3.3	Η προκατασκευή ως θεμελιώδες χαρακτηριστικό των κατασκευών χάλυβα.....	80
3.4	Μέθοδοι υπολογισμού χαλύβδινων κατασκευών .....	81
3.4.1	Γενικά .....	81
3.4.2	Η μέθοδος του γεωμετρικού λόγου.....	82
3.4.3	Η μέθοδος των επιτρεπόμενων τάσεων.....	83
3.4.4	Η μέθοδος σχεδιασμού οριακών καταστάσεων .....	84
3.5	Αρχές διαστασιολόγησης.....	85
3.6	Η έννοια της ασφάλειας στις χαλύβδινες κατασκευές.....	89
3.7	Οι κατηγορίες δράσεων και οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας.....	90
3.8	Συνδυασμοί των δράσεων για τις οριακές καταστάσεις .....	94
3.8.1	Συνδυασμοί των δράσεων για οριακές καταστάσεις αστοχίας.....	94
3.8.2	Συνδυασμοί των δράσεων για οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας.....	96
3.9	Εφαρμογή των κανόνων συνδυασμού δράσεων για οριακή κατάσταση αστοχίας.....	97
3.9.1	Κανόνες συνδυασμού δράσεων για οριακή κατάσταση αστοχίας .....	97
3.9.2	Συνδυασμός δράσεων στον υπολογισμό τεγίδας.....	97
3.10	Ανακεφαλαίωση.....	99

## ΜΕΡΟΣ II

### ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕΛΩΝ

#### 4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

4.1	Γενικό πλαίσιο .....	103
4.2	Υπολογισμός εσωτερικών δυνάμεων και ροπών.....	105
4.3	Ενσωμάτωση των ατελειών στην καθολική ανάλυση των χαλύβδινων φορέων.....	111
4.4	Ταξινόμηση διατομών σε κλάσεις .....	116
4.4.1	Αιτιολόγηση της αναγκαιότητας ταξινόμησης των διατομών.....	116
4.4.2	Κατηγορίες (κλάσεις) διατομών.....	117

4.4.3	Προαπαιτούμενα της εφαρμογής πλαστικού υπολογισμού φορέων.....	119
4.4.4	Προαπαιτούμενα για την εφαρμογή ελαστικού υπολογισμού φορέων .....	119
4.4.5	Διατομές κλάσης 4. Η έννοια της ενεργού διατομής.....	120
4.5	Αρχές πλαστικού υπολογισμού φορέων .....	135
4.5.1	Γενικά.....	135
4.5.2	Η ροπή πλήρους πλαστικοποίησης και ο συντελεστής μορφής.....	137
4.5.3	Ελαστικός και πλαστικός υπολογισμός αμφίπακτης δοκού ορθογωνικής διατομής .....	140
4.5.4	Απλές περιπτώσεις πλαστικής ανάλυσης φορέων .....	143
4.5.4.1	Μονόπακτη δοκός υπό μοναχικό φορτίο.....	143
4.5.4.2	Μονόπακτη δοκός υπό καταναμημένο φορτίο.....	145
4.5.4.3	Επίδραση της μερικής πάκτωσης άκρου στο μηχανισμό πλαστικής κατάρρευσης.....	147
4.5.4.4	Θέσεις σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων. Παράδειγμα υπολογισμού φορτίου πλαστικής κατάρρευσης πλαισίου.....	148
4.5.4.5	Βασικά θεωρήματα για τον υπολογισμό του φορτίου πλαστικής κατάρρευσης φορέων .....	150
4.5.4.6	Εφαρμογή των βασικών θεωρημάτων στον υπολογισμό του φορτίου πλαστικής κατάρρευσης μονώροφου πλαισίου ενός ανοίγματος .....	152
4.6	Σχόλια και παρατηρήσεις .....	154

## 5 ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

5.1	Βασικές αρχές.....	155
5.2	Βέλη κάμψης και προτεινόμενες οριακές τιμές τους.....	156
5.3	Απαιτήσεις λειτουργικότητας σε γερανογέφυρες και κτίρια με γερανογέφυρες.....	161
5.4	Δυναμική επιπόνηση λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας .....	162
5.5	Απαιτήσεις σχεδιασμού σε δυναμικές επιδράσεις.....	163
5.6	Ανακεφαλαίωση .....	165

## 6 ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΙ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕΛΟΥΣ

6.1	Οριακές καταστάσεις αστοχίας .....	167
6.2	Φέρουσα ικανότητα διατομής μέλους.....	167
6.3	Φέρουσα ικανότητα διατομής μέλους σε εφελκυσμό.....	168
6.4	Φέρουσα ικανότητα διατομής μέλους σε διάτμηση .....	175



6.5	Φέρουσα ικανότητα διατομής μέλους σε κεντρική θλίψη .....	178
6.6	Φέρουσα ικανότητα διατομής μέλους σε καμπτική ροπή.....	180
6.7	Φέρουσα ικανότητα διατομής μέλους σε στρέψη .....	181
6.8	Φέρουσα ικανότητα διατομής μέλους σε κάμψη και διάτμηση .....	183
6.9	Φέρουσα ικανότητα διατομής μέλους σε κάμψη και αξονική δύναμη.....	184
6.10	Φέρουσα ικανότητα διατομής σε κάμψη, διάτμηση και αξονική δύναμη ....	187
6.11	Ανακεφαλαίωση .....	188

## 7 ΑΝΤΟΧΗ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ

7.1	Γενικά περί λυγισμού μέλους .....	189
7.2	Ελαστικός λυγισμός ιδεατού υποστυλώματος .....	191
7.3	Λυγισμός στο πλαίσιο της θεωρίας των μεγάλων μετατοπίσεων. Μετακρίσιμη συμπεριφορά.....	198
7.4	Η βράχυνση θλιβόμενου μέλους ως κριτήριο λυγισμού.....	203
7.5	Επίδραση της στερεοπλαστικής ή ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς του υλικού στα φαινόμενα λυγισμού.....	204
7.6	Επίδραση των γεωμετρικών ατελειών και της εκκεντρότητας φορτίου στην αντοχή θλιβόμενων μελών.....	207
7.7	Επίδραση των παραμενουσών τάσεων και του νόμου υλικού στην αντοχή θλιβόμενων μελών.....	212
7.8	Αντοχή των μελών σε λυγισμό.....	215
7.9	Μέθοδος υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας μέλους σε λυγισμό στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 3.....	217
7.9.1	Καμπύλες λυγισμού.....	217
7.9.2	Λυγηρότητα για καμπτικό λυγισμό.....	221
7.10	Σχετικά με τον καμπτικό λυγισμό μελών σε δικτυωτούς φορείς τριγωνικής μορφής.....	222
7.10.1	Γωνιακά ως ράβδοι πλήρωσης .....	222
7.10.2	Μέλη κοίλων διατομών.....	223
7.11	Ανακεφαλαίωση .....	224

## 8 ΤΟΠΙΚΟΣ, ΣΤΡΕΠΤΙΚΟΣ ΚΑΙ ΣΤΡΕΠΤΟΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΛΥΓΙΣΜΟΣ

8.1	Γενικά .....	225
8.2	Τοπικός λυγισμός χαλύβδινων πλακών υπό θλίψη .....	225
8.3	Στρεπτικός λυγισμός χαλύβδινων υποστυλωμάτων .....	230
8.4	Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός υποστυλωμάτων .....	231

8.5	Πλευρικός λυγισμός ή στρέβλωση .....	232
8.6	Μέλη σταθερής διατομής υπό κάμψη και αξονική θλίψη.....	239
8.7	Γενική μέθοδος για τον καμπτικό και στρεπτοκαμπτικό (πλευρικό) λυγισμό δομικών στοιχείων .....	240
8.8	Εξασφάλιση στρεφόμενων πλαστικών αρθρώσεων μελών έναντι πλευρικού λυγισμού .....	242
8.9	Ανακεφαλαίωση .....	244

### ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ

#### ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

#### 9 ΚΟΧΛΙΩΣΕΙΣ

9.1	Γενικά περί συνδέσεων .....	249
9.2	Η γεωμετρία και το υλικό των κοχλιών.....	250
9.3	Βασικές επιπονήσεις και έλεγχοι επάρκειας κοχλιών .....	254
9.4	Κοχλιωτές συνδέσεις μεγάλου μήκους.....	260
9.5	Προεντεταμένοι κοχλίες.....	260
9.6	Δυνάμεις μοχλού σε εφελκόμενες κοχλιώσεις .....	262
9.7	Κατανομή δύναμης σε κεντρικά και έκκεντρα φορτιζόμενη κοχλιωτή σύνδεση .....	263
9.8	Επιρροή των οπών και καθολική διατμητική απόσχιση .....	264
9.9	Εφαρμογές.....	266
	• Εφαρμογή 1. Έλεγχος κοχλιωτής σύνδεσης με μονότμητους κοχλίες υπό εφελκυσμό .....	266
	• Εφαρμογή 2. Έλεγχος κοχλιωτής σύνδεσης με δίτμητους κοχλίες υπό εφελκυσμό .....	268
	• Εφαρμογή 3. Υπολογισμός διατμητικής δύναμης σχεδιασμού σε κοχλιωτή σύνδεση με μετωπικό έλασμα .....	270
9.10	Ανακεφαλαίωση .....	272

#### 10 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

10.1	Γενικά περί συγκολλητών συνδέσεων .....	273
10.2	Σύνδεση δύο γωνιακών μέσω κομβοελάσματος με συγκόλληση.....	277
10.3	Ενεργό πλάτος συγκολλητής σύνδεσης δοκού - υποστυλώματος .....	279
10.4	Συνδέσεις κοιλοδοκών.....	280

10.5	Προσομοίωση αντίστασης εξωραφών.....	281
10.6	Σχεδιασμός εσωραφών μερικής διείσδυσης.....	282
10.7	Σχεδιασμός συγκολλητής σύνδεσης πλήρους αντοχής.....	283
10.8	Ανακεφαλαίωση.....	285

## 11 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

11.1	Γενικά.....	287
11.2	Σχεδιασμός συνδέσεων δοκού προς υποστύλωμα.....	289
11.3	Προσομοίωση της εκκεντρότητας χαλύβδινων συνδέσεων.....	291
11.4	Ελαστική καθολική ανάλυση κατασκευών με συνδέσεις σχεδιασμένες πλαστικά.....	293
11.5	Ανακεφαλαίωση.....	295

## 12 ΑΠΛΕΣ ΣΥΝΔΕΞΕΙΣ

12.1	Γενικά.....	297
12.2	Δομική ασφάλεια.....	298
12.3	Διαδικασίες σχεδιασμού.....	298
12.4	Απλές συνδέσεις δοκών-υποστυλωμάτων.....	299
12.4.1	Απλή σύνδεση μέσω δύο γωνιακών ελασμάτων συνδεδεμένων στον κορμό της δοκού.....	299
12.4.2	Απλή σύνδεση δοκού προς υποστύλωμα μέσω ενός γωνιακού.....	300
12.4.3	Απλή σύνδεση δοκού προς υποστύλωμα μέσω εύκαμπτου μετωπικού ελάσματος.....	300
12.4.4	Απλή σύνδεση δοκού προς υποστύλωμα μέσω πλευρικών λεπίδων κορμού.....	302
12.5	Απλές συνδέσεις δοκών προς δοκούς.....	305
12.5.1	Απλή σύνδεση δοκού προς δοκό μέσω δύο γωνιακών επί του κορμού.....	305
12.5.2	Απλή σύνδεση δοκού προς δοκό μέσω εύκαμπτου ακραίου ελάσματος.....	306
12.5.3	Απλή σύνδεση δοκού προς δοκό μέσω πλευρικών ελασμάτων.....	307
12.6	Συνδέσεις συνέχειας υποστυλωμάτων (ματίσματα).....	307
12.7	Αντίσταση κοχλιών σε σύνθλιψη άντυγας λαμβάνοντας υπ' όψιν τις ανοχές.....	310
12.8	Σύνδεση γωνιακού μέσω ενός ή δύο κοχλιών.....	310
12.9	Στροφική ικανότητα απλών συνδέσεων.....	312
12.10	Σχετικά με τη φέρουσα ικανότητα των απλών συνδέσεων.....	312
12.11	Ανακεφαλαίωση.....	315

**13 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΡΟΠΗΣ**

13.1	Γενικά.....	317
13.2	Ανάπτυξη της μεθόδου των συνιστώντων στοιχείων .....	317
13.3	Εφαρμογή της μεθόδου των συνιστώντων στοιχείων.....	319
13.4	Καθορισμός της αντοχής, της δυσκαμψίας και της στροφικής ικανότητας των συνδέσεων παραλαβής ροπής .....	320
13.5	Συντελεστής τροποποίησης δυσκαμψίας $n$ για συνδέσεις μέσω ακραίων ελασμάτων.....	325
13.6	Σχεδιασμός συνδέσεων μεταφοράς ροπής σε πλαίσια .....	326
13.7	Δημιουργία γραμμών διαρροής σε ακραία ελάσματα σύνδεσης για τέσσερις κοχλίες ανά σειρά.....	327
13.8	Κατανομή δυνάμεων σε ακραίες πλάκες μεγάλου πάχους .....	328
13.9	Κατανομή των διατμητικών δυνάμεων σε κοχλιωτή σύνδεση.....	329
13.10	Κόμβοι υπό καμπτική ροπή και αξονική δύναμη .....	330
13.11	Ανακεφαλαίωση .....	337

**14 ΒΑΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ**

14.1	Γενικά.....	339
14.2	Εφαρμογή της μεθόδου των συνιστώντων στοιχείων.....	339
14.3	Υπολογισμός της ελαστικής αντίστασης βάσης υποστυλώματος.....	341
14.4	Σύγκριση του υπολογισμού της αντοχής σκυροδέματος σε βάσεις υποστυλωμάτων σύμφωνα με τον EC2 και τον EC3 .....	343
14.5	Συγκέντρωση τάσεων κάτω από την βάση υποστυλώματος.....	345
14.6	Μηχανισμός αστοχίας βάσης υποστυλώματος βάσει προσομοιώματος βραχέος $T$ .....	347
14.7	Βάσεις υποστυλωμάτων με κοχλίες εκτός του πλάτους των πελμάτων...	350
14.8	Μεταφορά των διατμητικών δυνάμεων μέσω αγκυρίων .....	353
14.9	Μεταφορά των διατμητικών δυνάμεων μέσω τριβής και αγκυρίων .....	355
14.10	Κανόνες αγκύρωσης κοχλιών θεμελίωσης (αγκυρίων).....	356
14.11	Ανακεφαλαίωση .....	360

**Παράρτημα**

Πίνακες.....	361
<i>Ελληνική Βιβλιογραφία.....</i>	391
<i>Διεθνής Βιβλιογραφία.....</i>	392
<i>Ευρετήριο Όρων .....</i>	397

# 1<sup>ο</sup>

## Κεφάλαιο

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Αντικείμενο και στόχος του βιβλίου

Οι χαλύβδινες κατασκευές αποτελούν εκείνο το είδος των φορέων οι οποίοι όλο και συχνότερα ανεγείρονται τις τελευταίες δεκαετίες τόσο παγκοσμίως, όσο τα τελευταία χρόνια και στην Ελλάδα. Επιπλέον, το μέγεθός τους ολοένα και αυξάνεται, τα στατικά τους συστήματα γίνονται όλο και πιο τολμηρά, ενώ συχνά οι διαστάσεις των διατομών των δομικών τους στοιχείων μειώνονται. Υπ' αυτήν την έννοια, ο σχεδιασμός των κατασκευών χάλυβα αποκτά για τον μηχανικό όλο και μεγαλύτερη σπουδαιότητα.

Στο βιβλίο αυτό επιχειρείται μια συνοπτική κριτική παρουσίαση των βασικών αρχών σχεδιασμού των χαλύβδινων κατασκευών και των μεθόδων διαστασιολόγησης των μελών τους όπως αυτές καθορίζονται από τους σχετικούς Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς οι οποίοι ονομάζονται **Ευρωκώδικες** (*Eurocodes*). Συγκεκριμένα, στον τόμο αυτόν παρουσιάζονται οι θεμελιώδεις αρχές διαστασιολόγησης, οι ιδιότητες του χάλυβα ως δομικού υλικού, οι βασικές μέθοδοι διαστασιολόγησης των μελών χάλυβα, τα μέσα σύνδεσης και οι βασικές μέθοδοι σχεδιασμού των συνδέσεων στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 3.

Το βιβλίο απευθύνεται κυρίως στους φοιτητές των τελευταίων εξαμήνων των Σχολών Πολιτικών Μηχανικών και έχει ως στόχο να χρησιμοποιηθεί ως βοήθημα της διδασκαλίας στα αντίστοιχα μαθήματα των «Μεταλλικών Κατασκευών». Απευθύνεται όμως και σ' εκείνους τους μηχανικούς οι οποίοι θα ήθελαν να εμβαθύνουν σε θέματα σχεδιασμού κατασκευών χάλυβα στο πλαίσιο των Κανονισμών οι οποίοι ισχύουν σήμερα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο καταβλήθηκε σημαντική προσπάθεια ούτως ώστε η απαιτούμενη για διδακτικούς λόγους απλότητα να μη μειώσει καθόλου ούτε την ακριβο-

λογία της παρατιθέμενης θεωρίας, ούτε την ακρίβεια των εφαρμοζόμενων μεθόδων οι οποίες αποτελούν ιδιότητες *sine qua non* της επαγγελματικής δραστηριότητας του μηχανικού.

## 1.2 Δομή και περιεχόμενο

Στον τόμο αυτόν παρουσιάζονται οι βασικές αρχές και οι μέθοδοι διαστασιολόγησης των μελών και των συνδέσεων οι οποίες εφαρμόζονται για τον σχεδιασμό των χαλύβδινων κατασκευών στο πλαίσιο του Ευρωκώδικα 3.

Στο πρώτο μέρος του τόμου αυτού παρατίθενται οι θεμελιώδεις έννοιες και αρχές οι οποίες απαιτούνται για τον σχεδιασμό των κατασκευών χάλυβα. Συγκεκριμένα, στο εισαγωγικό Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται εν συντομία το κανονιστικό πλαίσιο των Ευρωκωδίκων, οι βασικές συμβάσεις οι οποίες εισάγονται με τον Ευρωκώδικα 3, ενώ γίνεται επίσης μια σύντομη αναφορά στην ιστορική εξέλιξη των χαλύβδινων κατασκευών. Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφονται οι ιδιότητες του δομικού χάλυβα, ενώ στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι φάσεις και οι αρχές σχεδιασμού χαλύβδινων κτιρίων.

Στο δεύτερο μέρος του βιβλίου παρουσιάζονται οι αρχές διαστασιολόγησης των μελών των χαλύβδινων φορέων. Στο Κεφάλαιο 4 παρατίθεται το αριθμοϋπολογιστικό πλαίσιο των μεθόδων ανάλυσης των χαλύβδινων φορέων. Το επόμενο Κεφάλαιο 5 αφορά στις Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας, ενώ το Κεφάλαιο 6 στις Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας και στη φέρουσα ικανότητα των διατομών των μελών. Στα επόμενα κεφάλαια 7 και 8 αναπτύσσονται αντίστοιχα τα θέματα του κεντρικού λυγισμού χαλύβδινων μελών και αυτά του τοπικού, στρεπτικού και στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

Το τρίτο μέρος του βιβλίου αφορά στα μέσα σύνδεσης χαλύβδινων μελών και στις μεθόδους σχεδιασμού των συνδέσεων σε κατασκευές χάλυβα. Στο Κεφάλαιο 9 παρουσιάζονται οι κοχλιώσεις, στο Κεφάλαιο 10 οι συγκολλήσεις και στο Κεφάλαιο 11 οι μέθοδοι προσομοίωσης της δομικής συμπεριφοράς των χαλύβδινων συνδέσεων. Στα ακόλουθα Κεφάλαια 12 και 13 περιγράφονται οι αρχές σχεδιασμού των απλών συνδέσεων και των συνδέσεων μεταφοράς ροπής, ενώ το βιβλίο ολοκληρώνεται με το Κεφάλαιο 14 το οποίο αφορά στο σχεδιασμό των βάσεων χαλύβδινων υποστυλωμάτων.

Η θεωρία περιγράφει τα βασικά φαινόμενα της Μηχανικής του Στερεού όπως αυτά εμφανίζονται στα χαλύβδινα δομικά στοιχεία, οι μέθοδοι υπολογισμού βα-

οίζονται στις επιταγές και στις αναλυτικές σχέσεις του Ευρωκώδικα 3 και των λοιπών Ευρωκωδίκων, ενώ ορισμένες απλές αριθμητικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται ως επεξηγηματικά παραδείγματα.

Σχηματικά η δομή του βιβλίου και τα επιμέρους γνωστικά αντικείμενα τα οποία αυτό πραγματεύεται, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.2.1.

**Πίνακας 1.2.1: Δομή του βιβλίου**

Μέρος	Κεφάλαιο
<b>I</b> ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΦΟΡΕΩΝ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κεφ. 1: Εισαγωγή</li> <li>• Κεφ. 2: Σχετικά με τον δομικό χάλυβα</li> <li>• Κεφ. 3: Φάσεις και αρχές σχεδιασμού</li> </ul>
<b>II</b> ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕΛΩΝ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κεφ. 4: Μέθοδοι ανάλυσης χαλύβδινων φορέων</li> <li>• Κεφ. 5: Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας</li> <li>• Κεφ. 6: Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας και φέρουσα ικανότητα διατομής μέλους</li> <li>• Κεφ. 7: Αντοχή χαλύβδινων μελών σε λυγισμό</li> <li>• Κεφ. 8: Τοπικός, στρεπτικός και στρεπτοκαμπτικός λυγισμός</li> </ul>
<b>III</b> ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κεφ. 9: Κοχλιώσεις</li> <li>• Κεφ. 10: Συγκολλήσεις</li> <li>• Κεφ. 11: Προσομοίωση της δομικής συμπεριφοράς των συνδέσεων</li> <li>• Κεφ. 12: Απλές συνδέσεις</li> <li>• Κεφ. 13: Συνδέσεις παραλαβής ροπής</li> <li>• Κεφ. 14: Βάσεις υποστυλωμάτων</li> </ul>

Σημειώνεται ότι το βιβλίο υποδιαιρείται σε:

- κεφάλαια τα οποία συμβολίζονται με έναν αριθμό και συνοδεύονται από τον τίτλο τους,
- υποκεφάλαια τα οποία συμβολίζονται με τον αριθμό του κεφαλαίου ο οποίος ακολουθείται από τον αριθμό του αντίστοιχου υποκεφαλαίου. Οι δύο αυτοί αριθμοί διαχωρίζονται από μια τελεία και συνοδεύονται από τον αντίστοιχο τίτλο τους, και

- παραγράφους οι οποίες συμβολίζονται με τρεις αριθμούς εκ των οποίων ο πρώτος αντιστοιχεί στο κεφάλαιο, ο δεύτερος αντιστοιχεί στο υποκεφάλαιο και ο τρίτος στον αύξοντα αριθμό της παραγράφου, διαχωρίζονται μεταξύ τους από τελείες και συνοδεύονται από τον τίτλο τους.

Οι εξισώσεις αριθμούνται με δύο αριθμούς εκ των οποίων ο πρώτος αντιστοιχεί στο κεφάλαιο και ο δεύτερος στον αύξοντα αριθμό της κάθε εξίσωσης εντός του αντίστοιχου κεφαλαίου. Τα Σχήματα και οι Πίνακες αριθμούνται με τρεις αριθμούς εκ των οποίων οι δύο πρώτοι αντιστοιχούν στο υποκεφάλαιο όπου γίνεται η σχετική αναφορά, ενώ ο τρίτος αριθμός αποτελεί τον αύξοντα αριθμό τους.

## 1.3 Το κανονιστικό πλαίσιο των Ευρωκωδίκων

### 1.3.1 Γενικά

Ο Ευρωκώδικας 3 – Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα (*EN 1993-1-1 Eurocode 3 - Design of steel structures*) αποτελεί σήμερα το πλαίσιο αρχών και κανόνων εφαρμογής για τον ασφαλή σχεδιασμό των κατασκευών από χάλυβα σε όλα τα Ευρωπαϊκά κράτη τα οποία συμμετέχουν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης.

Ως γνωστόν, στα τέλη της δεκαετίας του '80 η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων ανέλαβε την πρωτοβουλία της καθιέρωσης ενός συνόλου τεχνικών κανόνων για τον σχεδιασμό των κτιρίων και των λοιπών τεχνικών έργων ειδικότητας Πολιτικού Μηχανικού οι οποίοι σε αρχικό στάδιο θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά στη θέση των ποικίλων υφιστάμενων εθνικών τεχνικών κανονισμών στα κράτη-μέλη και σε τελικό στάδιο θα τους αντικαθιστούσαν. Οι τεχνικοί αυτοί κανόνες είναι γνωστοί ως **Δομικοί Ευρωκώδικες** (*Structural Eurocodes*).

Το 1990 ανατέθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στην **Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης\*** (*CEN - Comité Européen de Normalisation - European Committee for Standardization*) η ευθύνη της σύνταξης, δοκιμαστικής εφαρμογής και οριστικοποίησης των Δομικών Ευρωκωδίκων. Μέσα λοιπόν, στην δεκαετία του

---

\* Μέλη του CEN είναι οι Εθνικοί Οργανισμοί Τυποποίησης της Αυστρίας, Βελγίου, Γαλλίας, Γερμανίας, Δανίας, Ελβετίας, Ελλάδας, Ισλανδίας, Ισπανίας, Ιταλίας, Λουξεμβούργου, Μεγάλης Βρετανίας, Νορβηγίας, Ολλανδίας, Πορτογαλίας, Σουηδίας και Φινλανδίας.



’90 η Τεχνική Επιτροπή 250 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης (CEN/TC250) δημοσιοποίησε και έθεσε αρχικά σε δοκιμαστική, και στη συνέχεια σε πλήρη εφαρμογή στα Ευρωπαϊκά κράτη τα οποία συμμετέχουν στη CEN, τους εξής Δομικούς Ευρωκώδικες:

- EN 1990 Ευρωκώδικας 0 «Βασικές αρχές σχεδιασμού»
- EN 1991 Ευρωκώδικας 1 «Δράσεις στις κατασκευές»
- EN 1992 Ευρωκώδικας 2 «Σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα»
- EN 1993 Ευρωκώδικας 3 «Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα»
- EN 1994 Ευρωκώδικας 4 «Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα»
- EN 1995 Ευρωκώδικας 5 «Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών»
- EN 1996 Ευρωκώδικας 6 «Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία»
- EN 1997 Ευρωκώδικας 7 «Γεωτεχνικός σχεδιασμός»
- EN 1998 Ευρωκώδικας 8 «Σχεδιασμός αντισεισμικών κατασκευών»
- EN 1999 Ευρωκώδικας 9 «Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο»

Οι Κανονισμοί αυτοί εισήγαγαν μια νέα φιλοσοφία στις μεθοδολογίες σχεδιασμού των διαφόρων τύπων κατασκευών η οποία **βασίζεται πλέον στη θεώρηση της συνολικής συμπεριφοράς των εξεταζόμενων κατασκευών σε οριακές καταστάσεις όσον αφορά στην αντοχή και στη λειτουργικότητά τους και όχι στον έλεγχο της μέγιστης αναπτυσσόμενης τάσης στις πιο κρίσιμες διατομές τους από πλευράς αντοχής.**

Η θεμελιώδης αλλαγή η οποία επήλθε με την εισαγωγή του Ευρωκώδικα 3 στις μελέτες των χαλύβδινων κατασκευών σε σχέση με τους παλαιότερους Κανονισμούς βρίσκεται στην υποκατάσταση της μεθόδου των **επιτρεπόμενων τάσεων** (*admissible stresses*) η οποία ήταν σε εφαρμογή μέχρι πρότινος και στην Ελλάδα (DIN 4114, DIN 1050, DIN 4100 κ.ο.κ.) από την μέθοδο των **οριακών καταστάσεων** (*limit states*). Η τελευταία η οποία βασίζεται στη χρήση **επιμέρους συντελεστών ασφαλείας** (*partial safety factors*), παρά το γεγονός ότι απαιτεί την εκτέλεση πιο περίπλοκων ελέγχων απ’ ότι οι προηγούμενοι κανονισμοί, οδηγεί αφενός σε ορθολογικότερη διαστασιολόγηση και αφετέρου σε σχεδιασμό όλο και πιο τολμηρών, αλλά ταυτόχρονα ασφαλέστερων κατασκευών χάλυβα.

Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma$ , οι οποίοι χρησιμοποιούνται στον Κανονισμό, είναι αριθμοί μεγαλύτεροι ή ίσοι της μονάδας με τους οποίους είτε πολλαπλασιάζονται οι δράσεις οι οποίες εφαρμόζονται στην κατασκευή, είτε διαι-

ρούνται οι αντιστάσεις (δηλαδή η φέρουσα ικανότητα και οι σταθερές υλικού) των μελών της κατασκευής.

Προκειμένου να αποφευχθεί η χρήση μεγάλου αριθμού επιμέρους συντελεστών ασφαλείας οι οποίοι αφορούν στις κατασκευές από χάλυβα, χρησιμοποιούνται δύο μόνον κατηγορίες τιμών γι' αυτούς:

- α) οι τιμές  $\gamma_{M1} = 1.0$  οι οποίες αφορούν στις αντιστάσεις οι οποίες συσχετίζονται με την τάση διαρροής του χάλυβα  $f_y$  (π.χ. για όλα τα φαινόμενα πλαστικοποίησης / αστάθειας) και
- β) οι τιμές  $\gamma_{M2} = 1.25$  οι οποίες αφορούν στις αντιστάσεις οι οποίες συσχετίζονται με την οριακή εφελκυστική αντοχή  $f_u$  (π.χ. για την καθαρή διατομή μέλους υπό εφελκυσμό ή για αντιστάσεις συγκολλήσεων ή κοχλιώσεων).

Για ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται επίσης και

- γ) οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma_{M0} = 1.0$ . Για τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας στο σχεδιασμό κτιρίων, επιτρέπεται από τις Αρχές κάθε κράτους-μέλους να επιλεγεί διαφορετική αριθμητική τιμή από τις προηγούμενες συνιστώμενες τιμές (π.χ. η τιμή 1.1 αντί της τιμής 1.0).

Σημειώνεται ότι μεταξύ των πολλών νέων στοιχείων τα οποία εισάγονται με τον Ευρωκώδικα 3 πέραν των προαναφερθέντων, θα μπορούσαν να αναφερθούν και η αλλαγή του συστήματος αξόνων σε μια διατομή ( $y, z$  αντί  $x, y$ ), η χρήση των μονάδων του συστήματος S.I., η υιοθέτηση μειωμένης αντοχής στα ελάσματα μεγάλου πάχους (άνω των 40 mm), η ταξινόμηση των διατομών σε κλάσεις με κριτήριο την πιθανότητα εμφάνισης σ' αυτές φαινομένων διαρροής ή τοπικού λυγισμού κ.ο.κ.

Ειδικά, όσον αφορά στα θέματα ασφάλειας στις χαλύβδινες κατασκευές, στον Ευρωκώδικα 3 καθορίζονται ορισμένες **ενδεικτικές τιμές** (*indicative values*) οι οποίες στο κείμενο του Κανονισμού δίδονται εντός πλαισίου □, για τις οποίες προβλέπεται ότι οι Αρχές του κάθε κράτους-μέλους καθορίζουν τις αντίστοιχες οριστικές τιμές. Γενικά, η εφαρμογή του Κανονισμού γίνεται σε συνδυασμό με τα **Εθνικά Κείμενα Εφαρμογής - ΕΚΕ** (*National Application Documents - NADs*) όπου μεταξύ άλλων καθορίζονται οι προαναφερόμενες οριστικές τιμές σχετικά με θέματα ασφάλειας, γίνεται αναφορά στα πρότυπα τα οποία είναι συμβατά με τον Ευρωκώδικα 3 και ταυτόχρονα παρέχονται γενικές οδηγίες εφαρμογής του Κανονισμού σε εθνικό επίπεδο. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι οι κανόνες ορθών διαδικασιών οι οποίες πρέπει να τηρούνται κατά την εκτέλεση των εργασιών σε ένα τεχνικό έργο από χάλυβα παρέχονται από μια σειρά άλλων Ευρωπαϊκών Προτύπων (π.χ. το EN 1090 - **Εκτέλεση κατασκευών χάλυβα-Τεχνικές απαιτήσεις** (*Execution of steel structures-Technical requirements*)).

Ο Ευρωκώδικας 3 (EN 1993-1-1:2004) αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- EN 1993-1 Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
- EN 1993-2 Γέφυρες από χάλυβα
- EN 1993-3 Πύργοι, ιστοί και καπνοδόχοι
- EN 1993-4 Σιλό, δεξαμενές και σωληνώσεις
- EN 1993-5 Πάσσαλοι
- EN 1993-6 Κατασκευές που στηρίζουν γερανογέφυρες

Τα Τμήματα 3-2 έως 3-6 βασίζονται στους γενικούς κανόνες οι οποίοι παρουσιάζονται στο Τμήμα 3-1, ενώ ταυτόχρονα οι κανόνες οι οποίοι δίδονται στα Τμήματα αυτά συμπληρώνουν το εισαγωγικό Τμήμα 3-1. Το Τμήμα 3-1 (EN 1993-1 Γενικοί Κανόνες και κανόνες για κτίρια) αποτελείται από τα εξής επιμέρους κεφάλαια:

- EN 1993-1-1 Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
- EN 1993-1-2 Σχεδιασμός για φωτιά
- EN 1993-1-3 Λεπτότοιχα μέλη ψυχρής έλασης και χαλυβδόφυλλα
- EN 1993-1-4 Ανοξειδωτοι χάλυβες
- EN 1993-1-5 Μέλη από επίπεδα ελάσματα
- EN 1993-1-6 Αντοχή και ευστάθεια των κελυφωτών κατασκευών
- EN 1993-1-7 Αντοχή και ευστάθεια επίπεδων ελασμάτων με εγκάρσια φόρτιση
- EN 1993-1-8 Σχεδιασμός κόμβων
- EN 1993-1-9 Αντοχή των κατασκευών από χάλυβα σε κόπωση
- EN 1993-1-10 Επιλογή χάλυβα για αντοχή σε κρούση και ιδιότητες κατά το πάχος του υλικού
- EN 1993-1-11 Σχεδιασμός κατασκευών με εφελκυόμενα στοιχεία από χάλυβα

Το βασικό κείμενο των Τμημάτων του Ευρωκώδικα 3 συμπληρώνεται από ορισμένα **κανονιστικά** (*normative*) ή **πληροφοριακά** (*informative*) **Παραρτήματα** (*Annexes*). Σημειώνεται ότι τα κανονιστικά παραρτήματα επέχουν ισότιμη θέση με τα κεφάλαια του Ευρωκώδικα. Στα Παραρτήματα τίγονται ορισμένα ειδικά θέματα όπως είναι δείγματος χάριν η στατική ανάλυση λαμβάνοντας υπ' όψιν τη μη γραμμικότητα του υλικού και οι απλοποιητικές διατάξεις για τον σχεδιασμό συνεχών δοκών δαπέδου (Τμήμα EN 1993-3-1, Παράρτημα AB (Πληροφοριακό)).

Ο Κανονισμός συμπληρώνεται επίσης από ορισμένα Πρότυπα EN και EN ISO. Μεταξύ αυτών των προτύπων αναφοράς, ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει για το

πρότυπο EN10025 το οποίο αφορά στις ιδιότητες τις οποίες παρουσιάζουν οι **συγκολλησιμοι δομικοί χάλυβες** (*weldable structural steels*) και ειδικά, οι χάλυβες  $S235(Fe360)$ ,  $S275(Fe430)$  και  $S355(Fe510)$  οι οποίοι χρησιμοποιούνται σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα στην κατασκευή των χαλύβδινων φορέων.

### 1.3.2 Οι απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 3 για τον σχεδιασμό των χαλύβδινων κατασκευών

Στον σχεδιασμό των κατασκευών χάλυβα, μετά την εκτέλεση των απαιτούμενων υπολογισμών με τα κατάλληλα υπολογιστικά προσομοιώματα, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι εξής συνθήκες:

Στην Οριακή Κατάσταση η οποία αφορά στη στατική ισορροπία, στις μετατοπίσεις ή στις παραμορφώσεις της χαλύβδινης κατασκευής πρέπει να ικανοποιείται η ανισότητα

$$E_{d,stab} \geq E_{d,dst} \quad (1.1)$$

δηλαδή το αποτέλεσμα των **σταθεροποιητικών δράσεων** (*stabilizing actions*)  $E_{d,stab}$  πρέπει πάντοτε να είναι ίσον ή μεγαλύτερο από το αποτέλεσμα των **αποσταθεροποιητικών δράσεων** (*destabilizing actions*)  $E_{d,dst}$ .

Στην Οριακή Κατάσταση η οποία αφορά σε θραύση ή σε υπερβολική παραμόρφωση διατομής, μέλους ή σύνδεσης πρέπει να ικανοποιείται η σχέση

$$R_d \geq S_d \quad (1.2)$$

δηλαδή η αντίσταση σχεδιασμού διατομής, μέλους ή σύνδεσης  $R_d$  πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη της τιμής σχεδιασμού των αντίστοιχων εσωτερικών δυνάμεων και ροπών  $S_d$ .

Στην Οριακή Κατάσταση η οποία αφορά στην επίδραση των δράσεων πρέπει να ικανοποιείται η ανισότητα

$$C_d \geq E_d \quad (1.3)$$

δηλαδή η φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού της κατασκευής για τις δράσεις  $C_d$  πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη της τιμής σχεδιασμού των αντίστοιχων δράσεων  $E_d$ .

Επομένως, **για κάθε πιθανό συνδυασμό φόρτισης, η συνολική αντίσταση της χαλύβδινης κατασκευής επιβάλλεται να υπερτερεί της οιασδήποτε πιθανής εντατικής κατάστασής της.**

### 1.3.3 Διασφάλιση της ανθεκτικότητας στις χαλύβδινες κατασκευές

Για τη διασφάλιση της **ανθεκτικότητας** (*durability*) μιας χαλύβδινης κατασκευής στον χρόνο, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν στο σχεδιασμό της διάφοροι παράγοντες όπως η χρήση η οποία προβλέπεται για την κατασκευή, τα κριτήρια συμπεριφοράς, οι αναμενόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, η σύνθεση, οι ιδιότητες και η συμπεριφορά του υλικού, οι τύποι των διατομών στα δομικά στοιχεία και οι τύποι συνδέσεων, η ποιότητα κατασκευής και ο ποιοτικός έλεγχος κατά την παράδοση της κατασκευής, τα μέτρα προστασίας (π.χ. σε διάβρωση), καθώς επίσης και η αλληλεπίδραση όλων των προηγούμενων παραγόντων.

## 1.4 Οι συμβάσεις στους Ευρωκώδικες

### 1.4.1 Ορολογία και συμβάσεις

- ⇒ Πέραν της κλασικής ορολογίας η οποία χρησιμοποιείται στη Επιστήμη και την Τεχνολογία των Κατασκευών, στον Ευρωκώδικα 3 εισάγεται κατ' αρχήν η έννοια του **πλαίσιου** (*frame*) ως τμήμα της κατασκευής το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο χαλύβδινων μελών τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και έχουν μελετηθεί ούτως ώστε να μπορούν να παραλαμβάνουν τα φορτία σχεδιασμού. Ο όρος **πλαίσιο** (*frame*) χρησιμοποιείται τόσο για τα πλαίσια με πακτώσεις, όσο και για τα δικτυωτά πλαίσια, ενώ καλύπτει αμφότερα τα επίπεδα και τα χωρικά πλαίσια.
- ⇒ **Υπο-πλαίσιο** (*sub-frame*) είναι εκείνο το πλαίσιο το οποίο αποτελεί τμήμα ενός μεγαλύτερου πλαισίου, αλλά στους στατικούς υπολογισμούς λαμβάνεται υπ' όψιν ως αυτόνομος φορέας.
- ⇒ Οι τύποι και συνακόλουθα οι ιδιότητες των πλαισίων είναι οι ακόλουθοι:
  - **Ημι-συνεχή** (*semi-continuous*) είναι εκείνα τα πλαίσια για τα οποία στη στατική ανάλυσή τους απαιτείται επακριβής περιγραφή της συμπεριφοράς των μελών και των συνδέσεων.
  - **Συνεχή** (*continuous*) είναι αυτά τα πλαίσια για τα οποία στην καθολική ανάλυσή τους απαιτείται περιγραφή μόνον της συμπεριφοράς των μελών τους.
  - **Απλά** (*simple*) είναι τα πλαίσια εκείνα των οποίων οι συνδέσεις δεν παραλαμβάνουν ροπές.

- Με τον όρο **καθολική ανάλυση** (*global analysis*) νοείται ο καθορισμός μέσω κάποιας διαδικασίας στατικού υπολογισμού, του συνόλου των εσωτερικών δυνάμεων και ροπών οι οποίες αναπτύσσονται στη κατασκευή και ευρίσκονται σε ισορροπία με ένα συγκεκριμένο σύνολο δράσεων.
- **Μήκος συστήματος** (*system length*) είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων στα οποία ένα χαλύβδινο δομικό στοιχείο είναι εξασφαλισμένο έναντι πλευρικής παραμόρφωσης σε ένα δεδομένο επίπεδο ή μεταξύ ενός τέτοιου σημείου και της άκρης του δομικού στοιχείου, ενώ **μήκος λυγισμού** (*buckling length*) είναι το μήκος συστήματος το οποίο αντιστοιχεί σε ένα αμφιαρθρωτό, το οποίο κατά τα άλλα όμοιο σε μηχανικές ιδιότητες, χαλύβδινο δομικό στοιχείο το οποίο έχει την ίδια αντίσταση σε λυγισμό με το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο.

Οι ορισμοί κάποιων άλλων όρων οι οποίοι χρησιμοποιούνται στον Ευρωκώδικα 3 δίδονται στη συνέχεια, στα αντίστοιχα κεφάλαια. Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω, οι λέξεις με **έντονη γραφή** (*bold*) χρησιμοποιούνται στο κείμενο προκειμένου να δηλωθούν όροι της ορολογίας οι οποίοι στο κείμενο ακολουθούνται συχνά από τον ίδιο όρο στην Αγγλική γλώσσα σε **πλάγια γραφή** (*italics*) και ορισμένες φορές και από τον ορισμό τους.

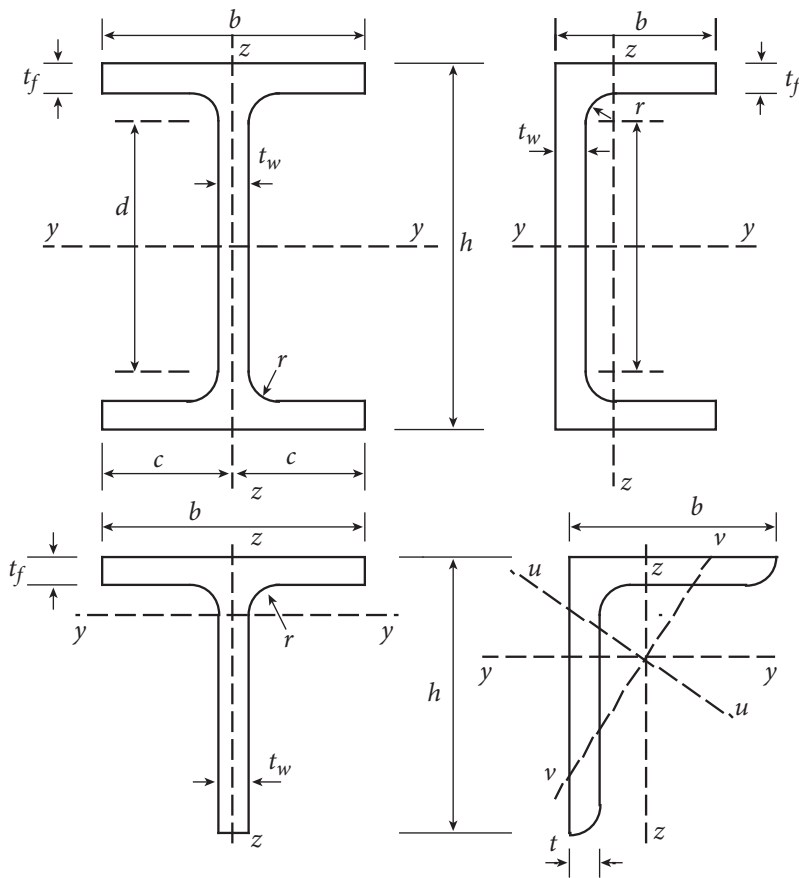
#### 1.4.2 Ο προσανατολισμός των αξόνων στα χαλύβδινα μέλη

Είναι προφανές ότι η ομογενοποίηση του τρόπου καθορισμού των αξόνων στις χαλύβδινες διατομές αποτελεί προαπαιτούμενο για τη σωστή και τελεσφόρα εφαρμογή των διαδικασιών υπολογισμού κατά τον σχεδιασμό των κατασκευών χάλυβα. Έτσι, οι άξονες των διατομών ορίζονται βάσει του Ευρωκώδικα 3 όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4.1. Η σύμβαση για τον καθορισμό των αξόνων είναι η εξής: ο άξονας  $x-x$  αναφέρεται στο μήκος του χαλύβδινου δομικού στοιχείου, ενώ οι άξονες  $y-y$  και  $z-z$  είναι οι άξονες πάνω στο επίπεδο της διατομής (Σχήμα 1.4.2). Για τους άξονες της διατομής ισχύουν τα ακόλουθα:

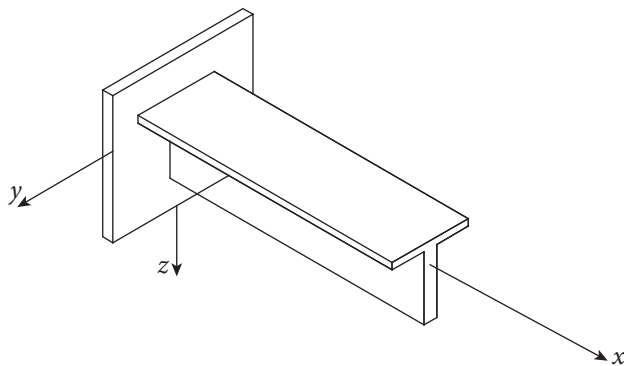
Στις διατομές διπλού ταυ **I** ο άξονας  $y-y$  είναι παράλληλος προς τα πέλματα, ενώ ο άξονας  $z-z$  κάθετος προς αυτά και παράλληλος προς τον κορμό.

Για τα **γωνιακά**, ο άξονας  $y-y$  είναι παράλληλος προς το μικρότερο σκέλος, ενώ ο άξονας  $z-z$  είναι κάθετος προς το μικρότερο σκέλος.

Γενικά όπου απαιτείται, ο άξονας  $u-u$  αντιστοιχεί στον κύριο άξονα μέγιστης ροπής αδρανείας (όταν αυτός δεν ταυτίζεται με τον  $y-y$ ), ενώ ο άξονας  $v-v$



Σχήμα 1.4.1: Τυπικές διατομές δομικού χάλυβα και οι αντίστοιχοι συμβολισμοί σ' αυτές



Σχήμα 1.4.2: Προσανατολισμός των αξόνων χαλύβδινου μέλους

στον κύριο άξονα ελάχιστης ροπής αδρανείας (όταν αυτός δεν συμπίπτει με τον  $z-z$ ).

Τα διάφορα σύμβολα τα οποία χρησιμοποιούνται προκειμένου να οριστούν σε τυπικές ελατές χαλύβδινες διατομές τα γεωμετρικά τους μεγέθη παρουσιάζονται ενδεικτικά στο Σχήμα 1.4.1. Ο συμβολισμός των αντίστοιχων εντατικών μεγεθών τα οποία υπεισέρχονται στους υπολογισμούς ακολουθεί την εξής λογική: Το σύμβολο το οποίο χρησιμοποιείται για να ορισθεί το μέγεθος **ροπή** (*Moment*) είναι το κεφαλαίο γράμμα  $M$  με πρώτο δείκτη το γράμμα το οποίο συμβολίζει τον άξονα γύρω από τον οποίο δρα η ροπή. Για μια διατομή  $I$  λοιπόν, η ροπή η οποία ενεργεί καμπτικά στο επίπεδο του κορμού συμβολίζεται ως  $M_y$  επειδή αυτή δρα γύρω από τον άξονα  $y-y$  της διατομής ο οποίος είναι παράλληλος προς τα πέλματα.

### 1.4.3 Συμβολισμοί

Τα σύμβολα τα οποία χρησιμοποιούνται στο βιβλίο αυτό και ακολουθούν τις συμβάσεις συμβολισμού του Ευρωκώδικα 3 είναι τα εξής:

#### Κεφαλαία Λατινικά γράμματα

- $A$  Τυχηματική δράση / Εμβαδόν επιφάνειας
- $B$  Δύναμη κοχλία
- $C$  Φέρουσα ικανότητα / Ορισμένη τιμή / Συντελεστής
- $E$  Μέτρο ελαστικότητας / Επίδραση των δράσεων
- $F$  Δράση / Δύναμη
- $G$  Μόνιμη δράση / Μέτρο διάτμησης
- $H$  Συνισταμένη οριζόντια δύναμη ή αντίδραση
- $I$  Ροπή αδρανείας
- $K$  Συντελεστής δυσκαμψίας ( $I/L$ )
- $L$  Μήκος / Άνοιγμα / Μήκος συστήματος / Μήκος λυγισμού
- $M$  Ροπή γενικά / Καμπτική ροπή
- $N$  Αξονική δύναμη
- $Q$  Μεταβλητή δράση
- $R$  Αντίσταση / Αντίδραση / Δυσκαμψία διατμητική, στροφική, ...δυσκαμψία με δείκτες  $v, j \dots$
- $S$  Εσωτερικές δυνάμεις και ροπές (με δείκτη  $d$  ή  $k$ )
- $T$  Ροπή στρέψης / Θερμοκρασία



- $V$  Διατμητική δύναμη / Συνολικό κατακόρυφο φορτίο ή αντίδραση  
 $W$  Ροπή αντίστασης της διατομής  
 $X$  Τιμή μιας ιδιότητας ενός υλικού

### Κεφαλαία Ελληνικά γράμματα

- $\Delta$  Μεταβολή του ... (μπροστά από το κυρίως σύμβολο)

### Μικρά Λατινικά γράμματα

- $a$  Απόσταση / Γεωμετρικά δεδομένα / Πάχος συγκόλλησης / Λόγος εμβαδών  
 $b$  Πλάτος  
 $c$  Απόσταση / Προεξοχή  
 $d$  Διάμετρος / Ύψος / Μήκος διαγωνίου  
 $e$  Εκκεντρότητα / Μετατόπιση του κεντροβαρικού άξονα / Απόσταση από άκρο ή από ακμή  
 $f$  Αντοχή (υλικού) / Τάση  
 $g$  Διάκενο / Πλάτος πεδίου εφελκυστικών τάσεων  
 $h$  Ύψος  
 $i$  Ακτίνα περιστροφής / Ακέραιος αριθμός  
 $k$  Συντελεστής  
 $l$  Μήκος / Άνοιγμα / Μήκος λυγισμού  
 $n$  Λόγος ορθών δυνάμεων ή ορθών τάσεων / Αριθμός  
 $p$  Κλίση / Διάστημα / Απόσταση  
 $q$  Ομοιόμορφα κατανεμημένη δύναμη  
 $r$  Ακτίνα  
 $s$  Βήμα σε διάταξη ζιγκ-ζαγκ / Απόσταση  
 $t$  Πάχος  
 $u-u$  Κύριος άξονας μέγιστης ροπής αδρανείας  
 $v-v$  Κύριος άξονας ελάχιστης ροπής αδρανείας  
 $x-x$  Άξονας στο ορθογωνικό Καρτεσιανό σύστημα  
 $y-y$  Άξονας στο ορθογωνικό Καρτεσιανό σύστημα  
 $z-z$  Άξονας στο ορθογωνικό Καρτεσιανό σύστημα

### Μικρά ελληνικά γράμματα

- $\alpha$  Γωνία / Λόγος / Συντελεστής / Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής  
 $\beta$  Γωνία / Λόγος / Συντελεστής

$\gamma$	Επιμέρους συντελεστής ασφαλείας / Λόγος
$\delta$	Παραμόρφωση / Βέλος κάμψης / Βύθιση
$\varepsilon$	Τανυστής παραμόρφωσης / Συντελεστής = $[235/f_y]^{0.5}$ ( $f_y$ σε N/mm <sup>2</sup> )
$\eta$	Συντελεστής
$\theta$	Γωνία / Κλίση
$\lambda$	Λυγηρότητα / Λόγος
$\mu$	Συντελεστής ολίσθησης / Συντελεστής
$\nu$	Λόγος Poisson
$\rho$	Μειωτικός Συντελεστής / Μονάδα μάζας
$\sigma$	Ορθή τάση
$\tau$	Διατμητική τάση
$\varphi$	Στροφή / Κλίση / Λόγος
$\chi$	Λόγος τάσεων / Μειωτικός συντελεστής
$\psi$	Συντελεστής ο οποίος καθορίζει τις αντιπροσωπευτικές τιμές σε μεταβλητές δράσεις

#### Δείκτες

$A$	Τυχηματικός, Επιφανειακός
$a$	Μέση τιμή (αντοχή διαρροής)
$a, b \dots$	Πρώτη, δεύτερη ... εναλλακτική τιμή
$b$	Βασική (αντοχή διαρροής) / Φέρουσα / Λυγισμού / Κοχλίας / Δοκός / Σύνδεση με ελάσματα
$C$	Φέρουσα ικανότητα / Συνέπειες
$c$	Διατομή / Σκυρόδεμα / Υποστύλωμα
$com$	Θλιπτικός
$cr$	Κρίσιμος
$d$	Σχεδιασμός / Διαγώνιος
$dst$	Αποσταθεροποιητικός
$E$	Επίδραση των δράσεων (με $d$ ή $k$ ) / Euler
$eff$	Ενεργός
$e$	Ενεργός (με πρόσθετο δείκτη)
$el$	Ελαστικός
$ext$	Εξωτερικός
$f$	Πέλημα (διατομής) / Μέσο σύνδεσης
$g$	Συνολικός

<i>G</i>	Μόνιμη δράση
<i>h</i>	Ύψος
<i>h</i>	Οριζόντιος
<i>i</i>	Εσωτερικός
<i>inf</i>	Κατώτερος / Μικρότερος
<i>i, j, k</i>	Δείκτες
<i>j</i>	Κόμβος
<i>k</i>	Χαρακτηριστικός
<i>l</i>	Κατώτερος
<i>L</i>	Μήκος
<i>LT</i>	Στρεπτοκαμπτικός
<i>M</i>	Υλικό
<i>M</i>	Καμπτική ροπή
<i>m</i>	Καμπτικός / Μέση τιμή
<i>max</i>	Μέγιστος
<i>min</i>	Ελάχιστος
<i>N</i>	Αξονική δύναμη
<i>n</i>	Ορθός
<i>net</i>	Καθαρός
<i>nom</i>	Ονομαστικός
<i>o</i>	Οπή / Αρχικός / Εξωτερικός / Τοπικός λυγισμός / Σημείο μηδενικής ροπής
<i>on</i>	Επικάλυψη
<i>p</i>	Έλασμα / Άρθρωση / Ελάσματα σε στρώσεις / Προένταση / Μερικός / Κρουστική διάτμηση
<i>pl</i>	Πλαστικός
<i>Q</i>	Μεταβλητή δράση
<i>R</i>	Αντίσταση
<i>r</i>	Περιορισμός
<i>rep</i>	Αντιπροσωπευτικός
<i>S</i>	Εσωτερική δύναμη / Εσωτερική ροπή
<i>s</i>	Εφελκυστική τάση (επιφάνεια) / Ολίσθηση / Όροφος / Δύσκαμπτος / Στοιχείο δυσκαμψίας
<i>ser</i>	Λειτουργικότητα
<i>stb</i>	Σταθεροποιητικός
<i>sub</i>	Ανώτερος

$t$	Εφελκυσμός / Εφελκυστικός / Στρέψη
$u$	Κύριος άξονας της διατομής (μέγιστης ροπής αδρανείας) / Οριακή (εφελκυστική αντοχή)
$ult$	Οριακή (κατάσταση αντοχής)
$V$	Διατμητική δύναμη
$v$	Διάτμηση / Κατακόρυφος / Κύριος άξονας της διατομής (ελάχιστης ροπής αδρανείας)
$vec$	Επίδραση διανυσμάτων
$w$	Κορμός / Συγκόλληση / Στρέβλωση
$x$	Άξονας κατά μήκος του δομικού στοιχείου / Έκταση
$y$	Διαρροή / Άξονας διατομής
$z$	Άξονας διατομής
$\sigma$	Ορθή τάση
$\tau$	Διατμητική τάση
$\perp$	Κάθετος
//	Παράλληλος

Οι κανόνες χρήσης των δεικτών είναι οι εξής: Η αντοχή και οι λοιπές ιδιότητες του χάλυβα είναι **ονομαστικές τιμές** (*nominal values*) οι οποίες χρησιμοποιούνται ως **χαρακτηριστικές τιμές** (*characteristic values*) και συμβολίζονται ως εξής:

$f_y$	αντοχή σε διαρροή (όριο / τάση διαρροής)	(αντί του συμβολισμού $f_{yk}$ )
$f_u$	οριακή αντοχή / οριακή τάση	(αντί του συμβολισμού $f_{uk}$ )
$E$	μέτρο ελαστικότητας	(αντί του συμβολισμού $E_k$ ).

Στην περίπτωση όπου απαιτείται η χρησιμοποίηση πολλαπλών δεικτών, αυτοί τίθενται με την ακόλουθη σειρά:

- κύρια παράμετρος: π.χ.  $M, N, \beta$
- τύπος μεταβολής: π.χ.  $pl, eff, b, c$
- έννοια: π.χ.  $T, v$
- άξονας: π.χ.  $y, z$
- τοποθέτηση: π.χ. 1, 2, 3
- φύση: π.χ.  $R, S$
- επίπεδο: π.χ.  $D, k$
- δείκτης: π.χ. 1, 2, 3

Οι δείκτες χωρίζονται σε ζεύγη χαρακτήρων με τελείες, εκτός από εκείνους τους δείκτες οι οποίοι έχουν πάνω από δύο χαρακτήρες και συνδυασμούς όπως π.χ.  $Rd$ ,  $Sd$  κτλ. οι οποίοι δεν χωρίζονται. Όταν για τον συμβολισμό μιας παραμέτρου απαιτείται η χρήση δύο δεικτών τύπου μεταβολής, τότε αυτοί οι δείκτες χωρίζονται μεταξύ τους με κόμμα, όπως π.χ.  $M, \psi$ .

Οι τιμές σχεδιασμού (ή υπολογισμού) των φορτίων διατομής λόγω δράσεων δηλώνονται με τον δείκτη  $d$ : π.χ. με  $M_{y,Sd}$  συμβολίζεται η καμπτική ροπή  $M_y$  λόγω δράσης  $F_d = \gamma_k F_k$ .

Οι τιμές σχεδιασμού των αντίστοιχων αντιστάσεων δηλώνονται επίσης με τον δείκτη  $d$ : π.χ. με  $M_{el,Rd}$  συμβολίζεται η ελαστική ροπή η οποία εκφράζει τη δυνατότητα ελαστικής αντίστασης της διατομής (είναι δηλαδή, η ελαστική ροπή αντίστασης σχεδιασμού), ενώ με  $M_{pl,Rd}$  η πλαστική ροπή η οποία εκφράζει τη δυνατότητα πλαστικής αντίστασης της διατομής (είναι δηλαδή, η πλαστική ροπή αντίστασης σχεδιασμού). Η κάθε μια από τις προηγούμενες ροπές υπολογίζεται για την πραγματική γεωμετρία του φορέα και την αντοχή του υλικού το οποίο χρησιμοποιείται, και έχει διαιρεθεί με τον επιμέρους συντελεστή ασφαλείας  $\gamma_M$ .

#### 1.4.4 Μονάδες μέτρησης

Όπως στους Ευρωκώδικες, έτσι και στο παρόν βιβλίο όπου απαιτείται, χρησιμοποιείται το **Διεθνές Σύστημα Μονάδων Μέτρησης** (*S.I. units*) όπως αυτό καθορίζεται κατά ISO 1000. Οι βασικές μονάδες μέτρησης είναι το μέτρο ( $m$ ), το χιλιόγραμμο ( $kg$ ) και το δευτερόλεπτο ( $s$ ), ενώ το Newton ( $N$ ) είναι η μονάδα για τις δυνάμεις και αντιστοιχεί σε επιτάχυνση  $1 m/sec^2$  η οποία εφαρμόζεται σε μάζα  $1 kg$ .

Στους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι παραπάνω μονάδες μέτρησης ως ακολούθως:

- Μονάδες μέτρησης δυνάμεων και φορτίων:  $kN$ ,  $kN/m$ ,  $kN/m^2$
- Μονάδα πυκνότητας:  $kg/m^3$
- Μονάδα βάρους:  $kN/m^3$
- Μονάδες μέτρησης τάσης:  $N/mm^2 (= MN/m^2 \text{ ή } Mpa)$
- Μονάδες μέτρησης ροπών:  $kNm$

## 1.5 Σύντομη αναφορά στην ιστορική εξέλιξη των κατασκευών από χάλυβα

Οι αρχαίοι Έλληνες, οι Ρωμαίοι και επί αιώνες οι επόμενες γενιές χρησιμοποίησαν τα μέταλλα μόνον για τη σύνδεση των επιμέρους δομικών στοιχείων των κατασκευών τους και όχι ως φέροντα στοιχεία (πλην των διαφόρων τύπων αλυσίδων<sup>\*</sup>). Περί τα μέσα του δέκατου όγδοου αιώνα με την έναρξη της βιομηχανικής παραγωγής χάλυβα άνοιξε ο δρόμος για την ανέγερση σιδηρών κατασκευών, στην αρχή (λόγω του υψηλού κόστους του χάλυβα) κυρίως από χυτοσίδηρο και σφυρηλατημένο σίδηρο και αργότερα από χάλυβα.

Περί τα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα ξεκίνησε η κατασκευή γεφυρών και κτιρίων από κατεργασμένο σίδηρο. Έναν αιώνα αργότερα, τις τελευταίες δεκαετίες του δέκατου ένατου αιώνα άρχισε να παράγεται χάλυβας σε ποσότητες και τιμή κόστους τέτοιες ώστε αποτέλεσε σοβαρό ανταγωνιστή του σιδήρου, οπότε αυτός άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως στη δόμηση τεχνικών έργων. Οι διαφορές μεταξύ του χυτοσίδηρου, του σφυρηλατημένου σιδήρου και του χάλυβα γίνονται φανερές από τον Πίνακα 1.5.1. Ο χάλυβας είναι κράμα σιδήρου και άνθρακα με περιεκτικότητα στην χημική του σύνθεση 0.15–1.8% σε άνθρακα και έχει ως χαρακτηριστική ιδιότητα ότι είναι ελατός χωρίς να απαιτείται προσφυγή σε περαιτέρω κατεργασία. Ο χάλυβας, έχοντας διαφορετική περιεκτικότητα σε

**Πίνακας 1.5.1:** Συγκριτική παρουσίαση περιεκτικότητας διαφόρων χημικών στοιχείων στον χυτοσίδηρο, στον σφυρήλατο σίδηρο και στον χάλυβα

Χημικό στοιχείο	Χυτοσίδηρος	Σφυρήλατος σίδηρος	Χάλυβας
Άνθρακας	2% - 6%	0% - 0.25%	0.15% - 1.8%
Θείο	0.014%	0,114%	0.035%
Μαγγάνιο	0.013%	Ίχνη	0.683%
Πυρίτιο	0.2% - 2.0%	0.032%	0.015%
Φωσφόρος	0.038%	0.004%	0.041%

<sup>\*</sup> Με αλυσίδες ενίσχυσε και ο Μιχαήλ Άγγελος τη βάση του τρούλου του ναού του Αγίου Πέτρου της Ρώμης όταν από το 1547 έως το 1564 ανέλαβε την οικοδόμηση του ναού.

άνθρακα στη χημική του σύνθεση απ' αυτή του κατεργασμένου σιδήρου, παρουσιάζει βελτιωμένες ιδιότητες αντοχής οι οποίες σε συνδυασμό με το μικρότερο κόστος παραγωγής του οδήγησαν τελικά σήμερα στην πλήρη υποκατάσταση του κατεργασμένου σιδήρου στις μεταλλικές κατασκευές από τον χάλυβα.

Το 1779 κατασκευάζεται η πρώτη χυτοσιδηρή γέφυρα ανοίγματος περίπου 31.0 m από τους T.F. Pritchard και A. Dardy στο Coalbrookdale στον ποταμό Severn στη Μεγάλη Βρετανία. Λίγο αργότερα, το 1796 κατασκευάζεται από τον T. Telford στον ίδιο ποταμό μια χυτοσιδηρή γέφυρα μεγαλύτερου ανοίγματος (περίπου 41.0 m) και ταυτόχρονα με βάρος λιγότερο του μισού της προηγούμενης, ενώ το 1801 κατασκευάζεται και πάλι στη Μεγάλη Βρετανία ο πρώτος μεταλλικός σκελετός κτιρίου με δοκούς και υποστυλώματα από χυτοσίδηρο.

Η πρώτη γέφυρα μεγάλων ανοιγμάτων από χάλυβα, η γέφυρα St. Louis στο άκρο του δέλτα του ποταμού Μισισσιπή στις Η.Π.Α., ολοκληρώθηκε το 1874. Η γέφυρα αυτή η οποία αποτελείται από τρία συνεχόμενα ανοίγματα της τάξεως των 150.0 m περίπου το καθένα (153-158-153 m), σχεδιάστηκε από τον James B. Eads (1820-1887) και βρίσκεται ακόμη και σήμερα σε λειτουργία. Πέντε χρόνια αργότερα, το 1879, κατασκευάστηκε από τον William S. Smith στον ποταμό Μισισσιπή –στο Glasgow του Missouri– η πρώτη γέφυρα από πλήρως χαλύβδινα δικτυώματα. Η γέφυρα του Brooklyn η οποία κατασκευάστηκε το 1883 από τον John Roebling στον ποταμό East River της Ν. Υόρκης με μήκος ανοίγματος 486.0 m, αποτελεί το πρώτο παράδειγμα κρεμαστής γέφυρας με χαλύβδινα καλώδια ανάρτησης. Οι προαναφερόμενες γέφυρες των Eads και Roebling αποτελούν υποδείγματα χαλύβδινων γεφυρών όχι μόνον γιατί η καθεμιά –για την κατηγορία στην οποία ανήκε– είχε το μεγαλύτερο άνοιγμα την εποχή της κατασκευής τους, αλλά και γιατί τόσο τα υλικά κατασκευής, όσο και το σχήμα του φορέα χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά, οι τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή τους ήταν καινοφανείς, το δε τελικό αποτέλεσμα θεωρείται ακόμη και σήμερα από αισθητικής άποψης ως έργο τέχνης. Χαρακτηριστικά έργο της ίδιας εποχής αποτελούν η χαλύβδινη γέφυρα Forth Rail στη Μεγάλη Βρετανία (1889) η οποία έχει κύριο άνοιγμα 521.0 m και κατασκευάστηκε από τον Benjamin Baker (Σχήμα 1.5.1), και στη Γερμανία η χαλύβδινη γέφυρα η οποία συνδέει το περίχωρο Oberkassel με την πόλη του Düsseldorf (1898).

Κατά την τελευταία δεκαετία του δέκατου ένατου αιώνα, η κατασκευή κτιρίων γραφείων, εκθεσιακών χώρων και άλλων κατασκευών από χάλυβα άρχισε να γίνεται ιδιαίτερα δημοφιλής τόσο στις Η.Π.Α., όσο και σε πολλές χώρες της Ευρώπης.

Οι θεωρητικές γνώσεις των μηχανικών της εποχής όσον αφορά στη μηχανική

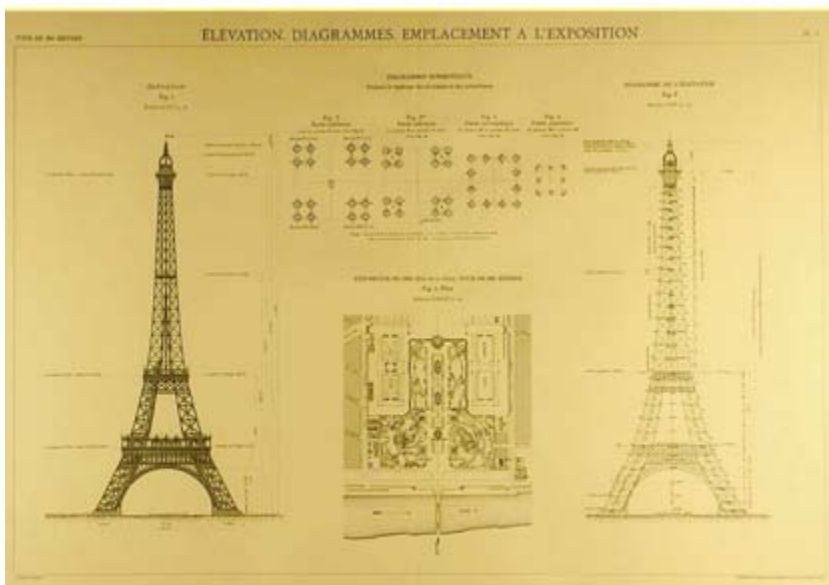


*Σχήμα 1.5.1: Η γέφυρα Firth of Forth στη Μεγάλη Βρετανία*

συμπεριφορά σιδηρών ή χαλύβδινων δομικών στοιχείων περιοριζόταν ουσιαστικά στον νόμο ελαστικότητας (Hooke, 1676), στην θεωρία λυγισμού ράβδων (Euler, 1744) και στις διαφορικές εξισώσεις λυγισμού πλακών (Navier, 1823). Μόλις όμως οι μελετητές διαισθάνθηκαν τις προοπτικές οι οποίες ανοιγόταν με την χρησιμοποίηση νέων δομικών υλικών όπως ήταν ο χάλυβας και την εφαρμογή νέων τεχνικών κατασκευής, προχώρησαν σε ρηξικέλευθες –για το τεχνολογικό επίπεδο της εποχής– κατασκευαστικές λύσεις οι οποίες στην πλειονότητά τους θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως ιδιαίτερα επιτυχείς, λαμβανομένου υπ’ όψιν του γεγονότος ότι την εποχή εκείνη υπήρχε παντελής έλλειψη ειδικών σχετικών κανονισμών και προδιαγραφών. Παρ’ όλα αυτά, τα πρώτα χαλύβδινα κτίρια με ηλώσεις μελετήθηκαν με μια φιλοσοφία σχεδιασμού του στατικού τους συστήματος η οποία δεν απείχε πολύ από τις σύγχρονες αντιλήψεις σχεδιασμού: ο φορέας είτε αποτελούνταν από ένα πολυόροφο πλαίσιο με ενισχυμένους τους κόμβους σύνδεσης ορόφων-υποστυλωμάτων, είτε υπήρχε καθ’ ύψος αναπτυσσόμενο δικτύωμα με ηλώσεις με το οποίο συνδέονταν οι όροφοι· με τον τρόπο αυτόν εξασφαλιζόταν η παραλαβή των αναπτυσσόμενων ροπών λόγω πλευρικών οριζοντίων ωθήσεων (ανέμου, σεισμού, κ.ά.).

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι πρώτες χαλύβδινες κατασκευές έγιναν με βάση προδιαγραφές τις οποίες έθεταν οι ίδιοι οι μελετητές τους, οι ιδιοκτήτες των έργων ή οι κατασκευάστριες εταιρείες. Τέτοια παραδείγματα με ιστορικό πλέον ενδιαφέρον αποτελούν οι προδιαγραφές μεταλλικών γεφυρών της Εταιρίας Σιδηροδρό-





**Σχήμα 1.5.2:** Ο Πύργος του Eiffel: άποψη από τη βάση του προς την κορυφή (άνω) και ένα από τα πρωτότυπα σχέδιά του (κάτω)

μων Santa Fe (1895) και της Εταιρίας του Καναδικού Σιδηροδρόμου του Ειρηνικού (1901).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα των πρώτων χαλύβδινων κτιρίων αποτελούν μεταξύ άλλων και τα εξής κτίρια: Το Crystal Palace στο Λονδίνο (1851), το Εκθεσιακό Κέντρο Jenney το οποίο κατασκευάστηκε το 1892 στο Σικάγο των Η.Π.Α., το 20-όροφο συγκρότημα γραφείων της Εταιρείας Bruce Price's American Surety στη Νέα Υόρκη (1895), ο Πύργος του Eiffel στο Παρίσι (1876) (βλ. Σχήμα 1.5.2) και λίγο αργότερα στο Λονδίνο το ξενοδοχείο Ritz (1904), το κτίριο της Morning Post (1906), το R.A.C. Club (1910), το υψηλής αισθητικής Kodak House (1911) και το γερμανικό περίπτερο στην έκθεση της Βαρκελώνης (1929).

Με την πάροδο των δεκαετιών, οι διαστάσεις των κατασκευών από χάλυβα ξεπέρασαν κάθε συμβατικό όριο: κατασκευάστηκαν έτσι καθ' ύψος αναπτυγμένα χαλύβδινα κτίρια με πολύ μεγάλο ύψος, οριζοντίως αναπτυγμένα κτίρια με πολύ μεγάλο άνοιγμα (βλ. Σχήμα 1.5.3) και γέφυρες με πολύ μεγάλο ελεύθερο άνοιγμα. Στις παραγράφους οι οποίες ακολουθούν, παρατίθενται ορισμένα ιστορικά και στατιστικά στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη των χαλύβδινων κτιρίων και γεφυρών.



**Σχήμα 1.5.3:** Παράδειγμα χαλύβδινων πλαισίων μεγάλου ανοίγματος (90 m), Γαλλία (2001)

Στις γέφυρες μεγάλου ανοίγματος το ίδιο βάρος αποτελεί μεγάλο ποσοστό του συνολικά φερόμενου φορτίου και γι' αυτόν τον λόγο, μια από τις κύριες απαιτήσεις σχεδιασμού στις περιπτώσεις αυτές είναι η ελαχιστοποίηση του βάρους τους. Η πολύ μεγάλη εφελκυστική αντοχή του δομικού χάλυβα σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση του ίδιου βάρους οδήγησε στη δυνατότητα γεφύρωσης πολύ μεγάλων ανοιγμάτων. Σημειώνεται ότι για την γεφύρωση ανοίγματος μεγαλύτερου από 550 m, η προσφυγή στην κατασκευή χαλύβδινων (κρεμαστών ή μη)

γεφυρών αποτελεί ουσιαστικά την κύρια επιλογή για τον μελετητή. Θεωρητικά, λαμβανομένων υπ' όψιν των σύγχρονων μεθόδων κατασκευής και των περιορισμών οι οποίοι προκύπτουν από τους Κανονισμούς, το μέγιστο μήκος γεφύρωσης θα μπορούσε να ξεπεράσει σήμερα τα τρία χιλιόμετρα.\*

Ορισμένες από τις μεγαλύτερες χαλύβδινες γέφυρες με άνοιγμα μεγαλύτερο των 1.000 m και κριτήριο κατάταξης το μήκος ανοίγματός τους είναι η γέφυρα Akasi-Kaikyo (1991 m) και η Belt Vychod (1624) στην Ιαπωνία, η γέφυρα Humber (1410 m) στη Μεγάλη Βρετανία, η γέφυρα των Στενών Verrazano στη Ν. Υόρκη (1298 m), η γέφυρα Golden Gate στο San Francisco (1280 m), η γέφυρα Mackinac στο Michigan (1158 m), η γέφυρα του Βοσπόρου στην Κωνσταντινούπολη (1074 m), η γέφυρα G. Washington στη Ν. Υόρκη (1067 m), η γέφυρα του Τάγου στη Λισαβόνα (1013 m) και η γέφυρα Forth Road στη Μεγάλη Βρετανία (1006 m). Το σώμα των γεφυρών αυτών έχει συνήθως τη μορφή κλειστού πλαισίου (κιβωτίου) το οποίο αναρτάται με χαλύβδινα καλώδια από κατάλληλα κατασκευασμένους ισχυρούς πυλώνες.

Σχετικά με τα μεταλλικά κτίρια, από το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '70, τα χαλύβδινα πλαίσια χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στην κατασκευή βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Από το 1980 και μετέπειτα, μία πληθώρα χαλύβδινων κτιρίων ιδιαίτερα μεγάλου μεγέθους και εντυπωσιακής αρχιτεκτονικής έμπνευσης κατασκευάστηκαν σε όλες τις μεγαλουπόλεις του κόσμου. Ενδεικτικά μόνον αναφέρονται το κτιριακό συγκρότημα γραφείων Broadgate (500.000 m<sup>2</sup>) στο Λονδίνο, το Κέντρο G. Pompidou στο Παρίσι, το κτίριο Lloyds Chambers του R. Rogers στο Λονδίνο και το Hong-Kong and Shanghai Banking Corporation Headquarters στο Χογκ Κογκ του Ν. Foster. Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του '90, στη Μεγάλη Βρετανία το 90% των βιομηχανικών κτιριακών εγκαταστάσεων και το 50% των πολυόροφων κτιρίων τα οποία δεν χρησιμοποιούνται ως κατοικίες, είναι χαλύβδινα.

Στο πλαίσιο αυτό και με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας, τις δύο τελευταίες δεκαετίες κατασκευάστηκαν χαλύβδινα κτίρια με εξαιρετικά μεγάλες διαστάσεις ξεπερνώντας σε ύψος κάθε συμβατικό όριο. Τα εξαιρετικά υψηλά αυτά χαλύβδινα κτίρια ονομάστηκαν από τη δεκαετία του '30 **ουρανοξύστες** (*skyscrapers*).

---

\* Στο πλαίσιο αυτό επιχειρείται σήμερα η γεφύρωση της ηπειρωτικής Ιταλίας με τη Σικελία στα στενά της Μεσσίνας όπου η σχεδιαζόμενη από τον W.C. Brown γέφυρα συνολικού μήκους 5070 m (960+3300+810 m) έχει μεσαίο άνοιγμα 3.300 m το οποίο προβλέπεται να ξεπεράσει κάθε προηγούμενο.

Ορόσημο στην ιστορία των μεταλλικών κατασκευών αποτέλεσε αρχικά η κατασκευή του κτιρίου Empire State (Νέα Υόρκη, Η.Π.Α.) με αρχιτεκτονική μορφή art deco του οποίου η κατασκευή διήρκεσε μόνον 14 μήνες και εγκαινιάστηκε το 1931 (βλ. Σχήμα 1.5.4). Το κτίριο έχοντας συνολικό ύψος 381 m και 102 ορόφους, διατήρησε τον τίτλο του υψηλότερου κτιρίου της γης για 41 χρόνια. Ορόσημα αποτέλεσαν επίσης η ολοκλήρωση το 1973 των δίδυμων πύργων (110 ορόφων και συνολικού ύψους 410 m) όπου στεγάστηκε το Παγκόσμιο Κέντρο Εμπορίου στη Ν. Υόρκη (βλ. Σχήμα 1.5.5) και το 1974 του ακόμη υψηλότερου Πύργου Sears (109 ορόφων και συνολικού ύψους 442 m) στο Σικάγο (βλ. Σχήμα



**Σχήμα 1.5.4:** Το κτίριο Empire State, Ν. Υόρκη (1931)  
(<http://en.wikipedia.com>)



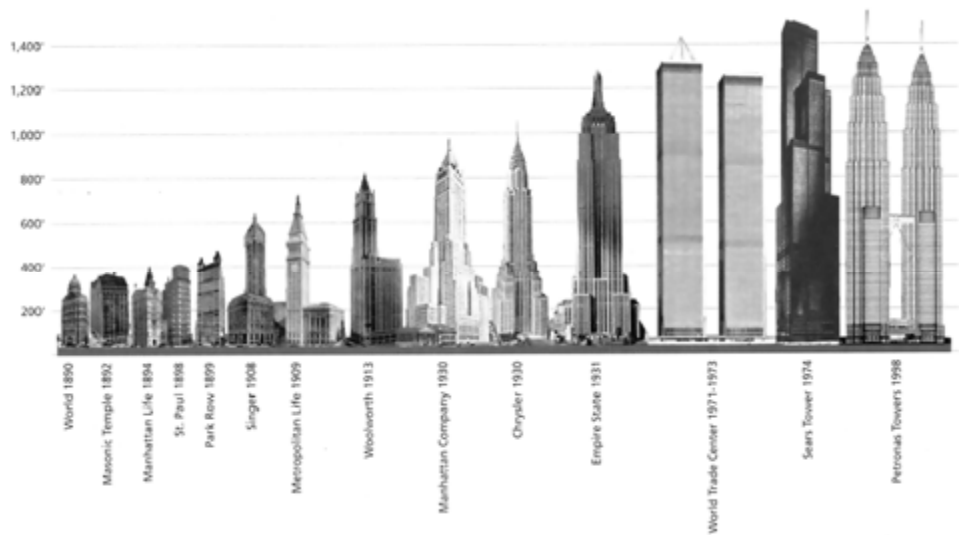
**Σχήμα 1.5.5:** Οι δίδυμοι ουρανοξύστες του Παγκόσμιου Κέντρου Εμπορίου, Ν. Υόρκη (1973) (<http://en.wikipedia.org>)

1.5.6). Παρότι ο ουρανοξύστης Shears Tower (Chicago, 1974) ξεπεράστηκε σε ύψος από τους ουρανοξύστες Petronas Towers των Thornton, Tomasetti Engineers (Kuala Lumpur, Μαλαισία) το 1996, σήμερα είναι το υψηλότερο κτίριο των Η.Π.Α. με 110 ορόφους, συνολικό ύψος 443 m, καταλαμβάνει σε κάτοψη έκταση 12.000 m<sup>2</sup>, ενώ η κατασκευή του διήρκεσε λιγότερο από 2,5 χρόνια.

Στο Σχήμα 1.5.7 παρουσιάζονται τα υψηλότερα χαλύβδινα κτίρια στον κόσμο μέχρι το έτος 2002. Στον άξονα των τετμημένων αναγράφεται το όνομα του αντίστοιχου κτιρίου και το έτος ανέγερσης, ενώ ο άξονας των τεταγμένων αντιστοιχεί στα ύψη τους σε ft. Το 2004 με την ολοκλήρωσή του ο ουρανοξύστης Ταϊρεϊ 101 στην πρωτεύουσα της Ταϊβάν (Σχήμα 1.5.8) έφθασε τα 508 m και είναι περίπου 50 m υψηλότερος από τους Πύργους Petronas στη Μαλαισία.



Σχήμα 1.5.6: Ο ουρανοξύστης Shears Towers, Σικάγο (1974)



Σχήμα 1.5.7: Τα υψηλότερα χαλύβδινα κτίρια στον κόσμο (έτος αναφοράς 2002)

Σήμερα είναι υπό κατασκευή στο Dubai των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων ο ουρανοξύστης Burj Dubai από οπλισμένο σκυρόδεμα υψηλότερης αντοχής και χάλυβα ο οποίος μόλις ολοκληρωθεί το έτος 2009 θα αποτελέσει το υψηλότερο κτίριο στον κόσμο με ύψος άνω των 900 m .

Στην Ελλάδα τα χαλύβδινα κτίρια τα οποία κατασκευάζονται, αντιστοιχούν στην πλειοψηφία τους σε οριζόντια αναπτυγμένα κτίρια (βιομηχανικά υπόστεγα, υπόστεγα αεροσκαφών, αποθήκες, στέγαστρα γηπέδων κτλ.). Την τελευταία όμως δεκαετία, μελετήθηκαν και ανεγέρθηκαν αρκετές χαλύβδινες κτιριακές μονάδες μεγάλου μεγέθους οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως ως κτίρια γραφείων.

Αναφέρεται στο σημείο αυτό το χαρακτηριστικό κτίριο της νέα πτέρυγας της Σχολής Θετικών Επιστημών στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο στη Θεσσαλονίκη συνολικού εμβαδού 4500 m<sup>2</sup> το οποίο σχεδιάστηκε από τον αρχιτέκτονα καθηγητή Α. Κωτσιόπουλο, κατασκευάστηκε το 1997 και αποτέλεσε το πρώτο καθ' ύψος αναπτυγμένο χαλύβδινο κτίριο στη Θεσσαλονίκη (βλ. Σχήμα 1.5.9).

Ολοκληρώνοντας την πολύ σύντομη αυτή αναφορά στην ιστορική εξέλιξη των κατασκευών από χάλυβα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι πολλά ειδικά έργα όπως είναι οι χαλύβδινοι πύργοι ανεμογεννητριών με ύψη τα οποία κυμαίνονται σήμερα από 80-120 m , οι χαλύβδινες καπνοδόχοι, οι πυλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι χαλύβδινοι ιστοί της κινητής τηλεφωνίας, τα χαλύβδινα δικτυώματα στήριξης κατόπτρων τηλεπικοινωνιών, οι χαλύβδινες δεξαμενές και τα σιλό αποτελούν δείγματα κατασκευών όπου ο σχεδιασμός και η υλοποίησή τους μπορεί να γίνει μόνο με την χρήση του χάλυβα ως δομικού υλικού.

Τελειώνοντας τη συνοπτική παρουσίαση του εύρους των εφαρμογών των χαλύβδινων κατασκευών, θα ήταν παράλειψη η μη αναφορά στην εφαρμογή των κατασκευών χάλυβα στις αναστηλώσεις κτιρίων, μέθοδος η οποία σήμερα αποτελεί ίσως τον πιο συχνά εφαρμοζόμενο τρόπο αναβάθμισης, ενίσχυσης και ανάδειξης ιστορικών κτιρίων (βλ. Σχήμα 1.5.10). Σημειώνεται εδώ ότι εκτενής παρουσίαση των σημαντικότερων τεχνικών έργων από χάλυβα της τελευταίας εικοσαετίας στην Ελλάδα υπάρχει στα Πρακτικά των Εθνικών Συνεδρίων Μεταλλικών Κατασκευών.



*Σχήμα 1.5.8: Ο ουρανοξύστης Tairpei 101 στην Ταϊβάν (2004)*



**Σχήμα 1.5.9:** Το κτίριο της Σχολής Θετικών Επιστημών Α.Π.Θ. στη Θεσσαλονίκη στη φάση κατασκευής του (άνω) και ολοκληρωμένο στη τελική μορφή του (κάτω)





**Σχήμα 1.5.10:** Παραδείγματα χρήσης χαλύβδινων συστημάτων στην αναστήλωση ιστορικών κτιρίων

## 1.6 Ανακεφαλαίωση

Οι κατασκευές από χάλυβα σχεδιάζονται και υπολογίζονται σήμερα βάσει του σύγχρονου Ευρωπαϊκού Κανονισμού, του Ευρωκώδικα 3–«Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα» σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους Ευρωκώδικες (τον Ευρωκώδικα 1 ο οποίος αφορά στις δράσεις, τον Ευρωκώδικα 4 για τις σύμμικτες κατασκευές, τον Ευρωκώδικα 7 σχετικά με τον γεωτεχνικό σχεδιασμό, τον Ευρωκώδικα 8 ο οποίος αφορά στις αντισεισμικές κατασκευές κ.ο.κ.). Ο Κανονισμός αυτός, με την εισαγωγή νέας φιλοσοφίας σχεδιασμού, αυτής του ικανοτικού σχεδιασμού, παρέχει το ασφαλές κανονιστικό πλαίσιο βάσει του οποίου μπορεί να επιτευχθεί βέλτιστος σχεδιασμός για τις σύγχρονες χαλύβδινες κατασκευές ως προς αμφότερα τα κριτήρια ασφάλειας και λειτουργικότητας. Η σύντομη ιστορική ανασκόπηση της εξέλιξης των χαλύβδινων κατασκευών, καθώς επίσης και η συνοπτική αναφορά στις σύγχρονες εφαρμογές του δομικού χάλυβα στα έργα Πολιτικού Μηχανικού ολοκληρώνουν το παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο παρέχοντας το πλαίσιο αναφοράς και προοπτικής εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3.