ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ 1,3,8 ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΔΕΜΠΗ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΔΡ. ΜΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΥ ΑΜΑΛΙΑ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2024

Copyright © Μαρία Δέμπη, 2024

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Σχολή Μηχανικών - Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή ολόκληρου ή τμήματος του κειμένου χωρίς την έγγραφη άδεια του συγγραφέα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Έχοντας ολοκληρώσει πλέον την Διπλωματική μου εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την εισηγήτρια και επιβλέπουσα της παρούσας Διπλωματικής εργασίας Δρ. Μουτσοπούλου Αμαλία, Πολιτικό Μηχανικό και Καθηγήτρια του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστήμιου (ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.).

Καταρχάς, για την ευκαιρία και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της Διπλωματικής εργασίας με τίτλο Η Εφαρμογή των Ευρωκωδίκων 1, 3, 8 στις Μηχανολογικές Κατασκευές και στη συνέχεια για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής εργασίας, καθώς ήταν πρόθυμη να μου προσφέρει τις γνώσεις της για την καλύτερη κατανόηση του θέματος και να βγει ένα αρκετά καλό αποτέλεσμα.

Εγκάρδιες ευχαριστίες οφείλω, επίσης, στην οικογένειά μου, στις φίλες μου, καθώς και στους ανθρώπους του στενού μου περιβάλλοντος που με την συνεχή τους στήριξη, την αγάπη και την ενθάρρυνσή τους μου έδιναν συνεχώς δύναμη και κουράγιο σε στιγμές που ήμουν κουρασμένη και χρειαζόμουν βοήθεια, ώστε να συνεχίσω την σκληρή δουλειά μέχρι τέλους.

Ηράκλειο, Οκτώβριος 2024

1. Περίληψη

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας επρόκειτο να παρουσιαστεί η εφαρμογή των Ευρωκωδίκων 1, 3, 8 στις μηχανολογικές κατασκευές και να αναπτυχθούν περαιτέρω. Αρχικά, στις πρώτες ενότητες γίνεται μία εισαγωγή στους ορισμούς και στο ιστορικό των συγκεκριμένων κανονισμών. Στην συνέχεια, καταγράφεται συνοπτική παρουσίαση στις κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι Ευρωκώδικες και για τα βασικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνουν (όπως η δομή, οι απαιτήσεις, τα πλεονεκτήματα κτλ.). Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι το πεδίο εφαρμογής αυτών των κανονισμών είναι εκτενές, διότι εκτός από τη στατική μελέτη κτιρίων, συμπεριλαμβάνουν γεωτεχνικές πτυχές, προσωρινές κατασκευές, ακραίες καταστάσεις όπως πυρκαγιά, σεισμοί κ.α. Προκαλώντας έτσι, το ενδιαφέρον υιοθέτησής τους από Ευρωπαϊκές και μη Ευρωπαϊκές χώρες. Έπειτα, παρουσιάζεται ο Ευρωκώδικας 1. Πιο συγκεκριμένα το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στα φορτία σχεδιασμού, δηλαδή στο δομοστατικό σχεδιασμό των κτιρίων. Το επόμενο κεφάλαιο, επικεντρώνεται στον Ευρωκώδικα 3: μηχανολογικές – μεταλλικές κατασκευές και περιγράφεται αναλυτικά, η χρήση και συνδυασμός του με άλλους Ευρωκώδικες. Εν συνέχεια, γίνεται μικρή αναφορά στην εφαρμογή του ΕΚ 8 στις μηχανολογικές κατασκευές, ο οποίος εφαρμόζεται για τον σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων και άλλων έργων σε σεισμικές περιοχές. Επίσης, αναφέρεται η συμβολή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων στους Ευρωκώδικες, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί για την ακριβέστερη ανάλυση και πρόβλεψη της συμπεριφοράς των κατασκευών. Στο τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται δύο παραδείγματα μεταλλικών κατασκευών, σχεδιασμένα με βάση τον Ευρωκώδικα 3, όπου και επιλύονται. Τέλος, συμπεραίνεται ότι οι Ευρωκώδικες αποτελούν μία από τις σημαντικότερες ευρωπαϊκές ολοκληρώσεις στον κατασκευαστικό κλάδο, σε δημόσιο ακόμη και σε ιδιωτικό τομέα.

Λέξεις κλειδιά: Ευρωκώδικας, κανονισμοί, Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων, μηχανολογικές κατασκευές.

2. Abstract

In the context of this thesis is going to represent the implementation of Eurocodes 1, 3, 8 in mechanical constructions and to be further developed. To begin with, the first sections provide introduction to the definitions and background of these regulations. Then, a short presentation is made on the categories that Eurocodes are divided into and on the basic features, that they include (such as structure, requirements, advantages, etc.). It is also worth mentioning that the scope of application of these regulations is extensive, because in addition to the static design of buildings they include geotechnical aspects, temporary structures, extreme situations such as fire, earthquakes, etc. All these are causing the interest of their adoption by European and non-European countries. Next, is presented Eurocode 1 and more specifically this chapter refers to the design loads, as the structural design of buildings. The next chapter focuses on Eurocode 3: mechanical - metal structures and describes in detail its use and combination with other Eurocodes. Afterwards, a brief presentation is given about the application of EC 8 in mechanical constructions, which is applied to the design and construction of buildings and other projects in seismic areas. Thereafter, is mentioned the contribution of the Finite Element Method to the Eurocodes, as it can be applied for the more accurate analysis and prediction of the behavior of structures. The last chapter presents two examples of metal structures, which are solved according to Eurocode 3. Finally, a summary of conclusions mentioned that the Eurocodes are one of the most important European integrations at public and private construction sector.

Keywords: Eurocode, regulations, Finite Element Method, **mechanical constructions.**

Περιεχόμενα

1. Περίληψη 5
2. Abstract 6
3. Περιεχόμενα εικόνων 11
4. Περιεχόμενα πινάκων 12
5. Εισαγωγή 14
6. Σχετικά με τους Ευρωκώδικες ΕΝ 16
6.1. Ορισμός 16
6.2. Ιστορικό του προγράμματος των Ευρωκωδίκων 16
6.3. Πολιτικές και Νομοθεσίες στον κατασκευαστικό κλάδο 18
6.4. Ευρωκώδικες 19
6.4.1. Δομή και Απαιτήσεις Ευρωκωδίκων 21
6.4.2. Πεδίο εφαρμογής Ευρωκωδίκων 22
6.4.3. Οφέλη και πλεονεκτήματα από την χρήση των Ευρωκωδίκων 24
7. EN 1991 – Ευρωκώδικας 1 25
7.1. EN 1991-1-1 26
7.1.1. Κατάταξη των δράσεων 27
7.1.2. Καταστάσεις σχεδιασμού 27
7.1.3. Πυκνότητες αποθηκευμένων και δομικών υλικών 28
7.1.4. Ειδικό βάρος κατασκευών 28
7.1.5. Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια 29
7.2. EN 1991-1-3 37
7.3. EN 1991-1-4 40
7.4. EN 1991-1-5 41
7.5. EN 1991-1-6 44
7.5.1. Κατάταξη δράσεων 44
7.6. EN 1991-2 46
7.6.1. Φορτία λόγω ανέμου 47
7.6.2. Φορτία λόγω κυκλοφορίας 49
7.7. EN 1991-4 50
8. EN 1993 – Ευρωκώδικας 3 52
8.1. Συνοπτική ανάλυση των μερών του Ευρωκώδικα 3 53
8.2. Δομή και ιδιότητες του χάλυβα 56
8.2.1. Μηχανική συμπεριφορά δομικού χάλυβα 59
8.2.1.1. Όριο διαρροής 60

8.2.2. Κατάταξη χαλύβων 61
8.3. Μεταλλικές κατασκευές 62
8.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατασκευών από χάλυβα 63
8.5. Κατάταξη διατομών κατά EN 1993 64
8.5.1. Απαιτούμενοι έλεγχοι σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 67
8.5.1.1. Ανάλυση ειδών καταπόνησης 68
8.5.2. Οριακές καταστάσεις αστοχίας 69
8.5.3. Εξασφάλιση ανθεκτικότητας και συνθήκες ασφάλειας 69
8.5.4. Αρχές σχεδιασμού μεταλλικών μηχανολογικών κατασκευών 74
8.6. Γέφυρες και φορτία 76
8.7. Συνδέσεις 77
8.7.1. Κοχλίες 79
8.7.2. Συγκολλήσεις 80
8.7.2.1. Μέθοδοι συγκόλλησης 81
9. EN 1998 – Ευρωκώδικας 8 83
9.1. Συνοπτική ανάλυση των μερών του Ευρωκώδικα 8 84
9.2. Γενικά 85
9.2.1. Απαιτήσεις συμπεριφοράς 86
9.2.2. Αντισεισμικός σχεδιασμός στις μηχανολογικές κατασκευές 87
9.2.3. Βασικές διατάξεις για κτίρια 87
9.2.4. Κατάταξη κτιρίων Ωπλισμένου Σκυροδέματος 91
9.3. Κριτήρια εδάφους 92
9.3.1. Σεισμικός χάρτης Ελλάδος, σεισμική επιτάχυνση εδάφους 92
9.3.2. Κατηγορίες εδάφους 93
9.4. Ελαστική σεισμική απόκριση μηχανολογικών κατασκευών 96
9.5. Ανελαστική σεισμική απόκριση μονοβάθμιων μηχανολογικών κατασκευών 99
9.5.1. Σεισμική απόκριση πολυβάθμιων συστημάτων 100
9.6. Σχεδιασμός της θεμελίωσης 100
9.7. Προσομοίωση κατά EC8 101
9.7.1. Προσομοίωση των μαζών 101
9.7.2. Προσομοίωση δυσκαμψίας φερόντων στοιχείων 101
9.8. Ειδικοί κανόνες εφαρμογής για φέροντα στοιχεία από χάλυβα κατά τον EC8. 102
10. Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων στους Ευρωκώδικες. 105

10.1. Στοιχείο δοκού 107
10.1.1. Βασικές Εξισώσεις 107
10.1.2. Χρησιμοποιούμενες Συναρτήσεις MATLAB 108
10.2. Στοιχείο Χωραίου Πλαισίου 110
10.2.1. Βασικές Εξισώσεις 110
10.2.2 Χρησιμοποιούμενες Συναρτήσεις MATLAB 112
11. Παραδείγματα μηχανολογικών κατασκευών σχεδιασμένες με τον Ευρωκώδικα 3. 122
11.1. Εισαγωγή 122
11.1.1. Κύριοι φορείς μεταλλικού στεγάστρου 122
11.1.2. Τεγίδες 123
11.2. Εκφώνηση παραδείγματος 1 124
 Φορτία 126
 Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ). . 127
 Εντατικά μεγέθη τεγίδας (ΟΚΑ). 128
 Επιλογή διατομής 131
 Κατηγορία διατομής 132
 Πλαστικός έλεγχος σε τέμνουσα 134
 Έλεγχος απομείωσης της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω παρουσίας τέμνουσας 135
 Πλαστικός έλεγχος σε μονοαξονική κάμψη 136
 Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ) 136
 Βέλη κάμψεως 137
 Γεωμετρία 139
 Φορτία 139
 Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) 141
 Εντατικά μεγέθη 141
 Εντατικά μεγέθη τεγίδας στεγάστρου 2 για φορτία κατά τον τοπικό άξονα z: 143
 Εντατικά μεγέθη τεγίδας στεγάστρου 2 για φορτία κατά τον τοπικό άξονα y: 144
 Πλαστικός έλεγχος σε τέμνουσα 145
 Έλεγχος αντοχής σε ροπή και τέμνουσα κατά ΕΚ3 147
 Πλαστικός έλεγχος σε διαξονική κάμψη 147

- Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ) 149
- Βέλος συνεχούς δοκού δύο ανοιγμάτων υπό διαξονική κάμψη (Βέλη κάμψεως) 150

11.3. Εκφώνηση παραδείγματος 2 153

Υπολογισμός δράσεων ανά δοκό 153

Αντοχή διατομής..... 154

Έλεγχος τμηματικής συγκόλλησης..... 155

12. Επίλογος – Συμπέρασμα..... 157
13. Βιβλιογραφία – Πηγές..... 159

13.1. Βιβλία..... 159

13.2. Ιστότοποι..... 159

14. Πηγές εικόνων 161
15. Παράρτημα 162

3. Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 4.4:1: Σχεδιάγραμμα σχετικά με την σύνδεση των Ευρωκωδίκων. 21
Εικόνα 4.4:2: Χάρτης υιοθέτησης Ευρωκωδίκων από Ευρωπαϊκές και μη Ευρωπαϊκές χώρες. 23
Εικόνα 4.4:3: Παραδείγματα Εθνικού Προσαρτήματος για κάθε μέρος ενός Ευρωκώδικα.. 24
Εικόνα 5:1: Αναλογίες περονοφόρου ανυψωτικού μηχανήματος. 35
Εικόνα 5:2: Σχηματική απεικόνιση των συνιστωσών της θερμοκρασιακής κατατομής. 43
Εικόνα 5:3: Διατομές γεφυρών με κανονική μορφή καταστρωμάτων. 47
Εικόνα 5:4: Συντελεστής δύναμης για γέφυρες, cf,x,0. 48
Εικόνα 5:5: «Βάθος» για τον υπολογισμό της Aref,x. 49
Εικόνα 5:6: Ομάδες φορτίων. 50
Εικόνα 6:1: Στο παραπάνω διάγραμμα δίνεται γραφικά η μεταβολή της παραβολής σε βάρος έξι υλικών τα τελευταία χρόνια. 57
Εικόνα 6:2: Διάγραμμα Τάσης - Παραμόρφωσης. 60
Εικόνα 6:3: Διάγραμμα Τάσης - Παραμόρφωσης. 61
Εικόνα 6:4: Διάγραμμα Τάσης – Παραμόρφωσης εστιασμένο στο 0,002 (όριο διαρροής).. 61
Εικόνα 6:5: Μεταλλική κατασκευή. 63
Εικόνα 6:6: Τοπικός λυγισμός κάθε κατηγορίας διατομής από τον παραπάνω πίνακα. 67
Εικόνα 6:7: Οι παραπάνω εικόνες παρουσιάζουν τα είδη καταπόνησης, που περιεγράφηκαν παραπάνω. 69
Εικόνα 6:8: Παραδείγματα αστοχιών: 1. ανατροπή γέφυρας, 2. αστοχία μελών, 3. αστοχία εδάφους. 75
Εικόνα 6:9: Σχεδιασμός γεφυρών με βάση τους Ευρωκώδικες. 77
Εικόνα 6:10: Μέρος 1.8 Ευρωκώδικα 3 - Συνδέσεις. 78
Εικόνα 6:11: Μέρη ενός κοχλία. 79
Εικόνα 7:1: Παραδείγματα κανονικότητας κτιρίων. 91
Εικόνα 7:2: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας. 93
Εικόνα 7:3: Παραμόρφωση της κατασκευής κατά τη διάρκεια σεισμικής καταπόνησης. 97
Εικόνα 8:1: Αρχική σελίδα AutoCAD 2021. 122
Εικόνα 8:2: Κάτοψη στεγάστρων 1 και 2. 125
Εικόνα 8:3: Τομή στεγάστρου 1. 125
Εικόνα 8:4: Τομή στεγάστρου 2. 126
Εικόνα 8:5: Προβολή ζώνης επιρροής και πλάτους ζώνης επιρροής. 126
Εικόνα 8:6: Φορτία στο στέγαστρο 1. 127
Εικόνα 8:7: Γεωμετρία στεγάστρου 2. (Τομή Β-Β) 139
Εικόνα 8:8: Φορτία στο στέγαστρο 2. 140
Εικόνα 8:9: Τοπικοί άξονες και ανάλυση κατακόρυφων φορτίων τεγίδας στεγάστρου 2... 140
Εικόνα 8:10: Όψη συγκολλητής διατομής. 153
Εικόνα 8:11: Διακεκομμένη τμηματική ραφή. 153
Εικόνα 8:12: Στατικό προσομοίωμα δοκού στην ΟΚΑ. 154
Εικόνα 8:13: Διαγράμματα Καμπτικών ροπών [Μ] και Τεμνουσών δυνάμεων [Q] σε ΟΚΑ. 154

4. Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1: Κύριες κατηγορίες χρήσης για προσδιορισμό επιβαλλόμενων φορτίων. 30
Πίνακας 2: Πίνακας τιμών δράσεων για κατανεμημένο και συγκεντρωμένο φορτίο. 31
Πίνακας 3: Πίνακας δράσεων. 33
Πίνακας 4: Πίνακας κατηγοριών για αποθήκευση και βιομηχανικές δραστηριότητες. 34
Πίνακας 5: Κατηγορίες δράσεων περονοφόρων μηχανημάτων. 34
Πίνακας 6: Κατηγορίες χώρων οδικής κυκλοφορίας. 36
Πίνακας 7: Κατηγορία ελικοπτέρου. 37
Πίνακας 8: Πίνακας κατάταξης δράσεων 45
Πίνακας 9: Πίνακας κατάταξης κατασκευαστικών φορτίων. 46
Πίνακας 10: Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα τμήματα. 65
Πίνακας 11: Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα τμήματα. 66
Πίνακας 12: Κατηγορίες διατομών. 67
Πίνακας 13: Συντελεστές ασφαλείας για οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας. 71
Πίνακας 14: Κατάταξη κτιρίων Ωπλισμένου Σκυροδέματος 92
Πίνακας 15: Κατηγορίες σπουδαιότητας για κτίρια. 95
Πίνακας 16: Κατάταξη εδαφών 96
Πίνακας 17: Έλεγχος και κατάταξη του κορμού 133
Πίνακας 18: Κατάταξη πέλματος 134
Πίνακας 19: Μέγιστα επιτρεπόμενα βέλη. 138
Πίνακας 20: Υψίκορμες διατομές ΙΡΕ. 163



Introduction to Eurocodes

5. Εισαγωγή

Η Μηχανολογία αποτελεί έναν από τους βασικότερους τομείς για την εξέλιξη της ανθρωπότητας. Ανέκαθεν, είχε ιδιαίτερα ευρεία απήχηση λόγω των πολλαπλών αναγκών που αναπτύχθηκαν με τον καιρό, σχετικά με την διευκόλυνση της καθημερινότητας. Η Μηχανολογία, είναι μία πρωτοποριακή επιστήμη που διακλαδίζεται σε πολλούς τομείς και έχει ως κίνητρο την επίλυση διαφόρων προκλήσεων. Γενικότερα, ασχολείται με την ανάπτυξη, τη μελέτη, την ανάλυση, το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συντήρηση.

Ειδικότερα, στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ορισμένοι τομείς από τους προαναφερόμενους διακρίνονται σε διάφορα μαθήματα, όπως είναι η τεχνολογία των υλικών, η ρομποτική, η αντοχή των υλικών, η στατική μελέτη, ο μηχανολογικός σχεδιασμός κ.α. Με το πέρας της πενταετούς φοίτησης ο φοιτητής μαθαίνει πολλές και διαφορετικές έννοιες, αναπτύσσει τις γνώσεις του, εξελίσσεται και αλλάζει τρόπο σκέψης, αναζητεί τη βέλτιστη λύση για τα προβλήματα που προκύπτουν, σχεδιάζει και μελετάει την υλοποίηση προϊόντων κτλ.

Οι σπουδές του Μηχανολόγου Μηχανικού στο Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ., ολοκληρώνονται με την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας. Η εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί μία εκτεταμένη μελέτη και είναι υποχρεωτική για την ολοκλήρωση των σπουδών και τη λήψη πτυχίου.

Αντικείμενο της Διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η παρουσίαση και η ανάλυση της εφαρμογής των Ευρωκωδίκων 1,3,8 σε μηχανολογικές κατασκευές. Γενικά, οι Ευρωκώδικες αποτελούν μία από τις σημαντικότερες ευρωπαϊκές ολοκληρώσεις στον κατασκευαστικό κλάδο.

Είναι ένα σύμπλεγμα κανονισμών για το σχεδιασμό έργων. Είναι χρήσιμοι ως μέσον για την απόδειξη της συμμόρφωσης των κτιρίων και των τεχνικών έργων και ορίζεται ως βάση για τους όρους των συμβάσεων που αφορούν κατασκευές και τις σχετικές υπηρεσίες μηχανικού.

Οι Ευρωκώδικες ΕΝ είναι κωδικοί σχεδιασμού αναφοράς και έχουν ως κύριο σκοπό την καθοδήγηση σε πιο ομοιόμορφα επίπεδα ασφαλείας στις κατασκευές τόσο στην Ευρώπη αλλά και πέρα από αυτήν. Είναι πανευρωπαϊκά πρότυπα για όλες τις πτυχές του στατικού σχεδιασμού και της ανάπτυξης κτιρίων.

Οι Ευρωκώδικες βοηθούν να αυξηθεί η ασφάλεια στον κατασκευαστικό κλάδο προκαλώντας έτσι τον ανταγωνισμό στις ευρωπαϊκές εταιρείες. Αντικαθιστούν τα εθνικά πρότυπα που παρέχουν κοινούς τεχνικούς κανόνες για το σχεδιασμό κτιρίων και δομικών προϊόντων. Αποτελούν βασικό σημείο αναφοράς για τεχνικές προδιαγραφές στις δημόσιες συμβάσεις.

Για τη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας ακολουθήθηκαν κάποια βήματα. Αρχικά, μελετήθηκαν και αναφέρθηκαν συνολικά όλοι οι Ευρωκώδικες καθώς επίσης και τα Μέρη τους, εν συνεχεία μελετώνται επιλεκτικά και κατά το δυνατόν με συνοπτικό τρόπο οι κυριότερες διατάξεις των Ευρωκωδίκων 1, 3, 8, σχετικά με τις

μηχανολογικές κατασκευές. Έπειτα, αναφέρεται η σχέση των Ευρωκωδίκων με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων στοιχείων, καθώς μπορεί να συμβάλλει στην επίλυση πιο σύνθετων προβλημάτων και να προσφέρει υψηλή ακρίβεια και λεπτομερή ανάλυση σε περίπλοκες κατασκευές.

Καταλήγοντας, επιλέγονται, τροποποιούνται και επιλύονται δύο παραδείγματα με βάση τον Ευρωκώδικα 3. Όσα σχήματα πρόκειται να παρουσιαστούν στις δύο αυτές ασκήσεις είναι σχεδιασμένα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD 2021.



https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/

6. Σχετικά με τους Ευρωκώδικες ΕΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο πρόκειται να γίνει μια ανασκόπηση στο σύνολο των Ευρωκωδίκων. Ιδιαίτερα, γίνεται αναφορά στις διακριτές κατηγορίες που χωρίζονται, στη χρήση του εκάστου Ευρωκώδικα ξεχωριστά, στις πολιτικές και στις νομοθεσίες στον κατασκευαστικό κλάδο καθώς και στην ιστορική αναδρομή των κανονισμών.

6.1. Ορισμός

Ουσιαστικά, οι Ευρωκώδικες είναι ένα σύνολο κανονισμών, οι οποίοι παρέχουν μία κοινή προσέγγιση για το σχεδιασμό κτιρίων και άλλων έργων. Οι κανονισμοί αυτοί, επίσης, συμβάλουν στη δημιουργία και τη λειτουργία προϊόντων για δομικές κατασκευές και μηχανολογικές υπηρεσίες. Βασικός προορισμός τους είναι να προσφέρουν πιο ομοιόμορφα επίπεδα ασφάλειας στις κατασκευές στην Ευρώπη και σε οποιαδήποτε άλλη χώρα τους εφαρμόζει.



6.2. Ιστορικό του προγράμματος των Ευρωκωδίκων

Παραδοσιακά, ο σχεδιασμός κατασκευών συνδέεται άμεσα με κανονισμούς. Πριν από τους Ευρωκώδικες, κατά το πρόσφατο παρελθόν, ο σχεδιασμός των κατασκευών στον ευρωπαϊκό χώρο στηρίζονταν σε κανονισμούς και προδιαγραφές που κάθε χώρα ξεχωριστά είχε θέσει σε εφαρμογή στο εσωτερικό της.

Έτσι, υπήρχε μία πληθώρα κανόνων και μεθοδολογιών που ο κάθε ένας αντανακλούσε την ιστορική διαδρομή και την κατασκευαστική παράδοση της χώρας προέλευσής του. Το αποτέλεσμα αυτής της πρακτικής ήταν ο κατακερματισμός στον ευρωπαϊκό χώρο του κατασκευαστικού κλάδου, της βιομηχανίας δομικών προϊόντων καθώς και του μελετητικού δυναμικού. Έτσι, το 1975 η Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Κοινότητας αποφάσισε να υλοποιήσει ένα πρόγραμμα δράσης στον τομέα των κατασκευών.

Στα πλαίσια του προγράμματος αυτού, η επιτροπή ανέλαβε την πρωτοβουλία να θεσπίσει μια σειρά εναρμονισμένων τεχνικών κανόνων για το σχεδιασμό των κατασκευών, οι οποίοι στο αρχικό σχέδιο θα χρησίμευαν ως εναλλακτικοί των ισχυόντων εθνικών κανόνων στα Κράτη Μέλη.

Καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 (επί δεκαπέντε χρόνια) η επιτροπή της Ευρωπαϊκής Κοινότητας με τη βοήθεια της Επιτροπής Καθοδήγησης προώθησε την ανάπτυξη του προγράμματος των Ευρωκωδίκων, δημιουργώντας έτσι την πρώτη γενιά των Ευρωπαϊκών Κανονισμών.

Στην συνέχεια, το 1989, η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων και τα κράτη μέλη της Ε.Ε. για να αρθούν τα προαναφερόμενα εμπόδια και να είναι ευκολότερη η ενοποίηση της βιομηχανίας και η μεταφορά προϊόντων και υπηρεσιών στο εσωτερικό της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ανατέθηκε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) το έργο σύνταξης ενός πλαισίου κανονισμών, οι οποίοι θα αντικαθιστούσαν σταδιακά τους επιμέρους κανονισμούς κάθε κράτους. Οι κανονισμοί που προέκυψαν, ως προσχέδια στην αρχή και αργότερα ως κείμενα με πλήρη εφαρμογή, ονομάστηκαν Δομικοί Ευρωκώδικες ή εν συντομία Ευρωκώδικες.

Το πρόγραμμα εκπόνησης των Ευρωκωδίκων υποδιαιρούταν σε τρεις περιόδους:

1. **Προκαταρτική ή δοκιμαστική περίοδος (1990-1998/2000):** αυτήν την περίοδο εκπονήθηκαν οι αρχικοί Ευρωκώδικες με τη μορφή προσωρινού Ευρωπαϊκού Προτύπου (ENV).
2. **Οριστική εκπόνηση Ευρωκωδίκων (2001-2007):** γίνεται η τελική έκδοση των Ευρωκωδίκων με την ταυτόχρονη προετοιμασία των αρχών των κρατών μελών.
3. **Μεταβατική περίοδος (2007-2010):** είναι η χρονική περίοδος συνύπαρξης των εθνικών κανονισμών και Ευρωκωδίκων.

Η ριζική αλλαγή του 1995, καθώς και η αναθεώρηση του 2000, αποτέλεσε μια πρώτη αλλά ουσιαστική προσαρμογή του Ελληνικού θεσμικού πλαισίου προς την έκδοση των Ευρωκωδίκων υπό μορφή Ευρωπαϊκού Προτύπου (ENV), λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του Ελληνικού χώρου.

Οι Ελληνικοί Κανονισμοί προσαρμόσθηκαν στις σύγχρονες τεχνικές και επιστημονικές αντιλήψεις με την υποχρεωτική εφαρμογή του Κανονισμού, το 1995, για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα, και έτσι υπέστησαν σημαντικές αλλαγές και βελτιώσεις και τελικά μετατράπηκαν από πρότυπα δοκιμαστικής εφαρμογής (ENV) σε πρότυπα (EN).

Με τον καιρό προετοίμασαν τους Έλληνες Μηχανικούς για την μεταγενέστερη υποχρεωτική πλήρη προσαρμογή με το Ευρωπαϊκό πλαίσιο προτύπων για το σχεδιασμό των κατασκευών, δηλαδή της έκδοσης 2003-2005 των Ευρωκωδίκων ως Ευρωπαϊκών Προτύπων.



Η έκδοση 2003-2004 των Ευρωκωδίκων, έχει σημαντικές διαφορές ως προς αυτήν του 1994. Η παρουσίαση αυτή των σχετικών τάσεων και προοπτικών επικεντρώνεται κυρίως, στις ουσιαστικότερες αυτές διαφορές και στα εντελώς νέα στοιχεία των Ευρωκωδίκων, καθώς και στις επιπτώσεις τους για τη διαστασιολόγηση των κατασκευών ωπλισμένου σκυροδέματος στην Ελλάδα.

Η συγγραφή των Ευρωκωδίκων υπό μορφή Ευρωπαϊκών Προτύπων (ΕΝ) ξεκίνησε το 1998 και ολοκληρώθηκε το 2005. Θεωρητικά, η σύνταξη των Προτύπων (ΕΝ) έγινε με βάση τα σχόλια και τις προτάσεις που υπέβαλαν τα κράτη μέλη της CEN για τις Προνόρμες (ENV). Στην πράξη όμως, η σειρά των προτύπων (ΕΝ) περιλαμβάνει πολλά νέα στοιχεία, όπως νέους Ευρωκώδικες, προσθήκη νέων Κεφαλαίων σε Ευρωκώδικες - Προνόρμες, αλλά και ριζική αλλαγή των διατάξεων που προϋπήρχαν.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, έχει συστήσει στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης να υιοθετήσουν τους Ευρωκώδικες – Πρότυπα (ΕΝ) για το σχεδιασμό των έργων. Στόχος της, είναι η πλήρης ολοκλήρωση της Ενιαίας Αγοράς στην παραγωγή έργων όσον αφορά τα υλικά και τις υπηρεσίες. Στην Ελλάδα πωλούνται από τον ΕΛΟΤ.

Απώτερος σκοπός, είναι η αύξηση της παραγωγικότητας και της ανταγωνιστικότητας του Ευρωπαϊκού κατασκευαστικού και μελετητικού κλάδου, μέσα και έξω από τα σύνορα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Για τους παραπάνω λόγους, οι Ευρωκώδικες διαμορφώθηκαν ως ένα πληρέστατο σύνολο, φιλικό προς τον μηχανικό και με εσωτερική ομοιογένεια, συνοχή και συνέπεια.

6.3. Πολιτικές και Νομοθεσίες στον κατασκευαστικό κλάδο

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει σε εφαρμογή ένα ολοκληρωμένο νομοθετικό και ρυθμιστικό πλαίσιο για τον κατασκευαστικό τομέα. Η υγεία και η ασφάλεια στις κατασκευές και η ελεύθερη κυκλοφορία υπηρεσιών και προϊόντων μηχανικής/κατασκευής αποτελούν σημαντικές προτεραιότητες πολιτικής. Όσον

αφορά την ίδια την κατασκευαστική δραστηριότητα, το επίκεντρο είναι η ανταγωνιστικότητα του κλάδου, ιδίως στον τομέα των βιώσιμων κατασκευών.

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία ορίζει τις βασικές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα αγαθά όταν διατίθενται στην αγορά και οι ευρωπαϊκοί οργανισμοί τυποποίησης έχουν καθήκον να συντάξουν τις αντίστοιχες τεχνικές προδιαγραφές.

Η ελεύθερη κυκλοφορία προϊόντων και υπηρεσιών διευκολύνεται πλέον από την εφαρμογή σε ολόκληρη την Ε.Ε. των κοινών ευρωπαϊκών τεχνικών προτύπων για τη μελέτη των δομικών κατασκευών, δηλαδή τους Ευρωκώδικες.

Στην Ελλάδα έχει ολοκληρωθεί η μετάφραση των κυρίως κειμένων των Ευρωκωδίκων και έχουν συνταχθεί τα Εθνικά Προσαρτήματα. Οι Ευρωκώδικες ΕΝ προορίζονται να χρησιμοποιηθούν ως έγγραφα αναφοράς για τον προσδιορισμό της απόδοσης των προϊόντων του τομέα των δομικών κατασκευών. Δίνουν τεκμήριο συμμόρφωσης με τις βασικές απαιτήσεις για μηχανική αντοχή και σταθερότητα, αντοχή στη φωτιά και ασφάλεια κατά τη χρήση.

6.4. Ευρωκώδικες

Σήμερα, υπάρχουν συνολικά 10 Ευρωκώδικες, οι οποίοι συμπεριλαμβάνουν όλους τους τρόπους δόμησης από σκυρόδεμα, χάλυβα, ξύλο, τοιχοποιία, και αλουμίνιο. Πιθανώς μελλοντικά να συνταχθούν Ευρωκώδικες και για άλλα υλικά όπως γυαλί, ανθρακονήματα, οπλισμένα πολυμερή κ.α.

Κάθε Ευρωκώδικας – με εξαίρεση τον ΕΝ 1990 – αποτελείται από διάφορα “Μέρη”, αυτά χωρίζονται σε 58 “Μέρη” και περιέχουν τη συμπεριφορά των φερουσών κατασκευών, όπως κτιρίων, γεφυρών, αγωγών, δεξαμενών κ.α., έναντι των δράσεων που επενεργούν σ’ αυτές, συμπεριλαμβανομένου του σεισμού και της φωτιάς.

Κάθε Ευρωκώδικας αποτελείται από δύο τεύχη:

- Το Βασικό κείμενο, ίδιο για όλες τις χώρες (μεταφρασμένο στη γλώσσα της κάθε χώρας)
- Το Εθνικό Προσάρτημα που εκδίδει κάθε χώρα και καθορίζει τις παραμέτρους και μεθοδολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν στη χώρα.

Το Εθνικό Προσάρτημα αναφέρεται μόνο σε συγκεκριμένες διατάξεις του βασικού κειμένου, όπου γίνεται σαφής αναφορά ότι οι αντίστοιχες τιμές παραμέτρων ή μέθοδοι υπολογισμού θα οριστούν στο Εθνικό Προσάρτημα κάθε χώρας.

Οι Ευρωκώδικες αναφέρονται, στο σχεδιασμό κτιρίων και άλλων κατασκευών και καλύπτουν με ενδελέχεια τα θέματα σχεδιασμού, δηλαδή τις δράσεις επί των κατασκευών, τα κύρια κατασκευαστικά υλικά, που προαναφέρθηκαν, σχεδόν όλα τα πεδία σχεδιασμού (βάσεις σχεδιασμού, δράσεις συμπεριλαμβανομένων της πυρκαγιάς και του σεισμού, γεωτεχνικά θέματα) και μια ευρεία ομάδα τύπων κατασκευών.

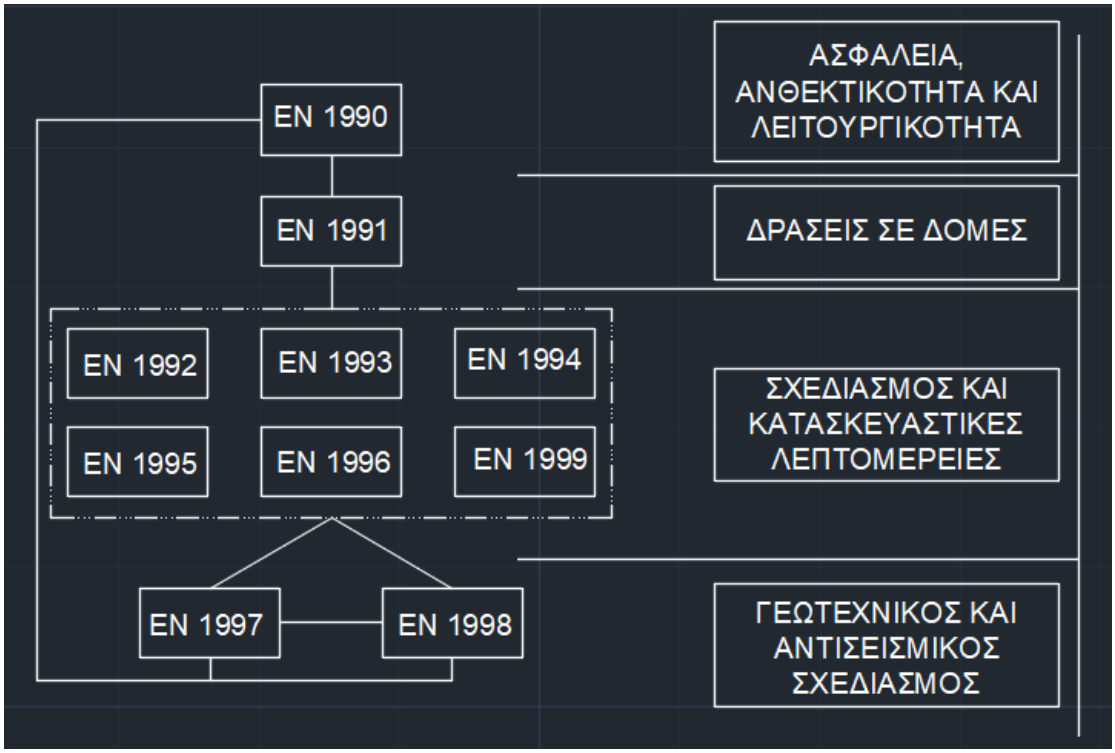
Η κάλυψη των παραπάνω θεμάτων, γίνεται με τρόπο συνεπή εσωτερικά, εναρμονισμένο και φιλικό στο χρήστη (όμοια δομή κειμένων, συμβόλων, ορολογίας, κριτηρίων επιβεβαίωσης, μεθόδων ανάλυσης κ.α.), ενώ αποφεύγονται οι επικαλύψεις.

Στο σύνολό τους οι Ευρωκώδικες αποτελούν ένα ευέλικτο σύστημα για εφαρμογή σε μεγάλο αριθμό κρατών με μεγάλες διαφοροποιήσεις (στην τεχνική παράδοση, τα υλικά, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, κ.α.).

Συγκεκριμένα, το πρόγραμμα των Ευρωκωδίκων περιλαμβάνει τις ακόλουθες κατηγορίες:

- **EN 1990** – **Ευρωκώδικας**: Βάση στατικής μελέτης (1 Μέρος)
- **EN 1991** – **Ευρωκώδικας 1**: Δράσεις για δομές (10 Μέρη)
- **EN 1992** – **Ευρωκώδικας 2**: Μελέτη κατασκευών από σκυρόδεμα (4 Μέρη)
- **EN 1993** – **Ευρωκώδικας 3**: Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών (20 Μέρη)
- **EN 1994** – **Ευρωκώδικας 4**: Σχεδιασμός σύνθετων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα (3 Μέρη)
- **EN 1995** – **Ευρωκώδικας 5**: Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών (3 Μέρη)
- **EN 1996** – **Ευρωκώδικας 6**: Σχεδιασμός λιθοδομών (5 Μέρη)
- **EN 1997** – **Ευρωκώδικας 7**: Γεωτεχνικός σχεδιασμός (3 Μέρη)
- **EN 1998** – **Ευρωκώδικας 8**: Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών (6 Μέρη)
- **EN 1999** – **Ευρωκώδικας 9**: Σχεδιασμός κατασκευών αλουμινίου (3 Μέρη)

Όπως φαίνεται παραπάνω κάθε Ευρωκώδικας χρησιμοποιείται για διαφορετικό σκοπό, έχουν συγκεκριμένη δομή και απαιτήσεις, όμως, αξίζει να αναφερθεί ότι, ορισμένοι από αυτούς έχουν παρόμοιο στόχο και συσχετίζονται, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



***Εικόνα 6.4:1**: Σχεδιάγραμμα σχετικά με την σύνδεση των Ευρωκωδίκων.*

Σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα αυτό, παρατηρείται ότι οι Ευρωκώδικες EN 1990, EN 1991, EN 1997 και EN 1998 δεν εξαρτώνται μόνο από τα υλικά και ως εκ τούτου περιλαμβάνονται σε κάθε ομάδα.

Ο Ευρωκώδικας EN 1990 έχει να κάνει με την ασφάλεια, τη λειτουργικότητα και την ανθεκτικότητα σε διάρκεια. Το EN 1990 προορίζεται, να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το EN 1991 έως το EN 1999. Επιπλέον, ο Ευρωκώδικας EN 1990 εφαρμόζεται για το σχεδιασμό κατασκευών όπου εμπλέκονται άλλα υλικά ή άλλες ενέργειες εκτός του πεδίου εφαρμογής του EN 1991 έως EN 1999.

Ο EN 1991 αναφέρεται, στις δράσεις των δομών, ενώ οι EN 1997 και EN 1998 χρησιμοποιούνται σε γεωτεχνικό και αντισεισμικό σχεδιασμό, αντίστοιχα. Η μικρή ομάδα των Ευρωκωδίκων 2,3,4,5,6,9 έχει ως απώτερο σκοπό το σχεδιασμό, τη διαμόρφωση και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες κάθε υλικού.

6.4.1. Δομή και Απαιτήσεις Ευρωκωδίκων

Όλοι οι κανονισμοί που είναι θεσπισμένοι και δημοσιευμένοι, περιβάλλονται από μία καθορισμένη δομή, απαιτώντας ένα σωστά δομημένο σύνολο οδηγιών, έτσι ώστε να υπάρξει ομαλότητα και λειτουργικότητα.

Οι Ευρωκώδικες τυπικώς θεωρούνται «Πρότυπα» ωστόσο έχει επικρατήσει η χρήση του όρου «Ευρωκώδικας», άρα γράφοντας «… το EN 1990 …» εννοείται το πρότυπο του Ευρωκώδικα (0). Πολλές φορές γράφεται και ως «… ο EN 1990 …», ενίοτε χρησιμοποιείται και η έκφραση «… ο EC0 ή EC1 …», όπου το EC είναι η συντομογραφία για το EuroCode ή στην ελληνική συντομογραφία ΕΚ

(Ευρωκώδικας) , ενώ ο αριθμός 0,1 κλπ. είναι η συντομογραφία για το 1990, 1991 κλπ.

Για αρχή, κύρια υποχρέωση είναι να τεθούν οι βασικές απαιτήσεις (ΕΝ 1990) τις οποίες πρέπει να πληροί ένα δόμημα, για παράδειγμα τέτοιες είναι η ασφάλεια, η ανθεκτικότητα και η σωστή λειτουργία. Τα κείμενα των Ευρωκωδίκων διαθέτουν προτεινόμενες τιμές, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις διαφορετικές απαιτήσεις ή στις ιδιαίτερες ανάγκες για το σχεδιασμό μηχανολογικών κατασκευών.

Κάθε χώρα έχει τη δυνατότητα να επιλέξει διαφορετικές τιμές για αυτές τις παραμέτρους, οι οποίες ονομάζονται Εθνικά Προσδιοριζόμενες Παράμετροι, έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες της, όπως για παράδειγμα οι συντελεστές ασφάλειας. Ο καθορισμός των Εθνικά Προσδιοριζόμενων Παραμέτρων γίνεται σε ένα Εθνικό Προσάρτημα, το οποίο συνοδεύει το κυρίως κείμενο του κάθε Ευρωκώδικα.

Στην συνέχεια, σε κάθε Ευρωκώδικα ξεχωριστά ορίζονται οι αρχές, με τις οποίες ικανοποιούνται οι παραπάνω απαιτήσεις. Αυτές οι Αρχές βρίσκονται στα κείμενα των Ευρωκωδίκων, διακρίνονται από το γράμμα P (Principles) και ακολουθείται μετά τον αριθμό της παραγράφου, π.χ. (2)P.

Ακολούθως, δίνονται οι κανόνες εφαρμογής, οι οποίοι θεωρείται ότι υπακούν στις βασικές απαιτήσεις και ικανοποιούν τις αρχές. Οι κανόνες αυτοί ενδεχομένως, να μην είναι υποχρεωτικοί. Αντ’ αυτού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικοί κανόνες εφαρμογής, έχοντας ως κύρια προϋπόθεση να συμφωνούν με τις αρχές και να είναι τουλάχιστον ισοδύναμοι με τους κανόνες εφαρμογής του κανονισμού, από πλευράς ανθεκτικότητας, αντοχής και λειτουργικότητας.

Τέλος, προϋποθέτουν ότι λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα προκειμένου να παρασχεθεί μια δομή που να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις και στις παραδοχές που έγιναν στο σχεδιασμό. Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν τον καθορισμό των απαιτήσεων αξιοπιστίας, οργανωτικά μέτρα και ελέγχους στα στάδια του σχεδιασμού, της εκτέλεσης, της χρήσης και της συντήρησης.

6.4.2. Πεδίο εφαρμογής Ευρωκωδίκων

Γενικότερα, το σύνολο σχεδόν των Ευρωκωδίκων αναφέρεται στο σχεδιασμό νέων φερουσών κατασκευών, βέβαια μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την αποτίμηση της συμπεριφοράς μιας υφιστάμενης φέρουσας κατασκευής, για το σχεδιασμό επισκευών ή για την εκτίμηση των επιπτώσεων από την αλλαγή στη χρήση.

Εκτός από τη στατική μελέτη κτιρίων και άλλων έργων μηχανικού, οι Ευρωκώδικες ΕΝ συμπεριλαμβάνουν:

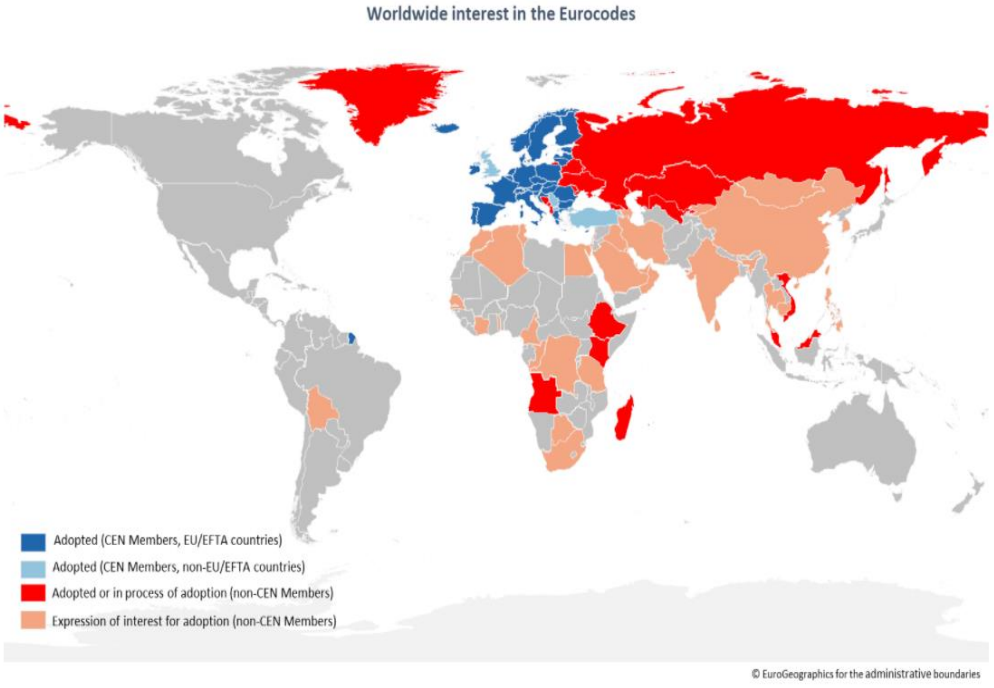
- γεωτεχνικές πτυχές
- δομικό σχεδιασμό πυρκαγιάς
- καταστάσεις όπως σεισμοί, εκτέλεση και προσωρινές κατασκευές

Το πεδίο εφαρμογής των Ευρωκωδίκων, δεν καλύπτει τον σχεδιασμό ειδικών κατασκευαστικών εργασιών όπως π.χ. πυρηνικές εγκαταστάσεις, φράγματα, κ.λπ., γι' αυτές τις περιπτώσεις ενδέχεται να απαιτούνται άλλες διατάξεις από αυτές που περιλαμβάνονται στους Ευρωκώδικες ΕΝ.

Η ευρωπαϊκή επιτροπή έχει ζητήσει από όσες χώρες εφαρμόζουν τους Ευρωκώδικες, να τους χρησιμοποιήσουν στα δημόσια έργα και να τους συνιστούν στα ιδιωτικά. Εκτός όμως από τις χώρες της CEN (=30 Ευρωπαϊκές χώρες) και μη Ευρωπαϊκές χώρες, όπως για παράδειγμα η Σιγκαπούρη, Βιετνάμ, Μαλαισία, Ινδία καθώς και ορισμένες χώρες της Β. Αφρικής έχουν εκδηλώσει ενδιαφέρον να υιοθετήσουν τους Ευρωκώδικες.

Το JRC (Joint Research Centre), είναι η εσωτερική επιστημονική υπηρεσία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, οπότε συλλέγει και διαχειρίζεται τις πληροφορίες σχετικά με την παγκόσμια κατάσταση των Ευρωκωδίκων και τις παρουσιάζει στον παγκόσμιο χάρτη των Ευρωκωδίκων.

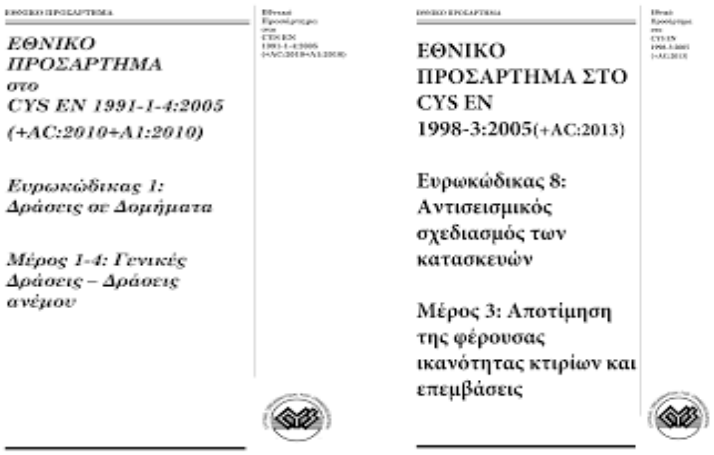
Στην συνέχεια, φαίνεται το υπόδειγμα ενός παγκόσμιου χάρτη σχετικά με την σημερινή κατάσταση των Ευρωκωδίκων και συγκεκριμένα η υιοθέτηση των Ευρωκωδίκων από Ευρωπαϊκές και μη Ευρωπαϊκές χώρες.



***Εικόνα 6.4:2**: Χάρτης υιοθέτησης Ευρωκωδίκων από Ευρωπαϊκές και μη Ευρωπαϊκές χώρες.*

Στον χάρτη ενδιαφέροντος για τους Ευρωκώδικες, παρατηρείται με σκούρο μπλε οι Ευρωπαϊκές χώρες ενώ με γαλάζιο είναι οι μη Ευρωπαϊκές χώρες που έχουν υιοθετήσει τους Ευρωκώδικες, με κόκκινο είναι η μη Ευρωπαϊκές χώρες που έχουν υιοθετήσει ή βρίσκονται στη φάση υιοθέτησης των Ευρωκωδίκων, καθώς με ροζ είναι μη Ευρωπαϊκές χώρες, οι οποίες έχουν εκφράσει το ενδιαφέρον τους για αποδοχή των Ευρωκωδίκων.

Για να είναι δυνατή η εφαρμογή των Ευρωκωδίκων, είναι υποχρεωτικό κάθε χώρα να εκδώσει για κάθε ένα Μέρος του κάθε Ευρωκώδικα το αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα ή Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής (National Application Document), διότι χωρίς αυτό είναι αδύνατο να εκτελεστεί ο Ευρωκώδικας.


ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ στο CYS EN 1991-1-4:2005 (+AC:2010+A1:2010)

Ευρωκώδικας 1: Δράσεις σε Δομήματα

Μέρος 1-4: Γενικές Δράσεις – Δράσεις ανέμου

ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ ΣΤΟ CYS EN 1998-3:2005(+AC:2013)

Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών

Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας κτιρίων και επεμβάσεις

Εικόνα 6.4:3: *Παραδείγματα Εθνικού Προσαρτήματος για κάθε μέρος ενός Ευρωκώδικα.*

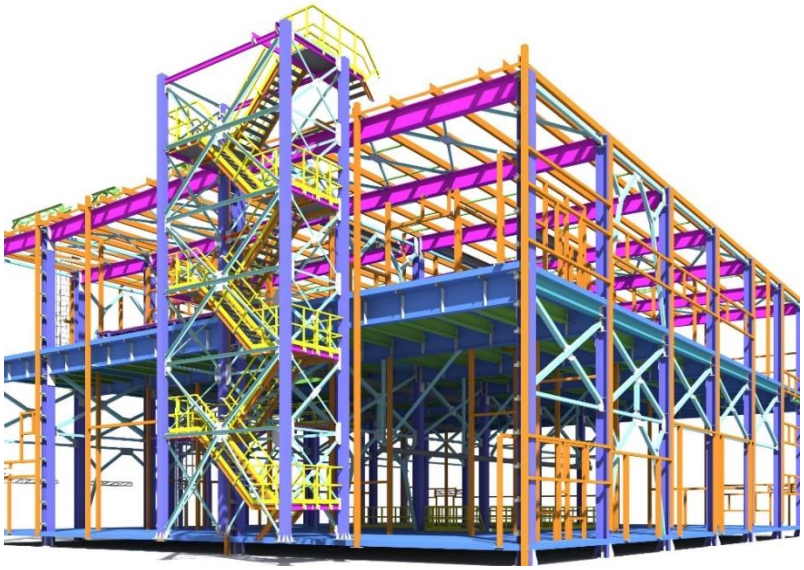
6.4.3. Οφέλη και πλεονεκτήματα από την χρήση των Ευρωκωδίκων

- Εξασφάλιση της συμβατότητας των κτιριακών και άλλων τύπων έργων Μηχανικού με την Κοινοτική Οδηγία 89/106/EEC για τις Βασικές Απαιτήσεις (Essentials Requirements, ER) για τα Κατασκευαστικά Προϊόντα. Ιδιαίτερα αναφέρονται στις ER1 "Μηχανική αντίσταση και ευστάθεια" και την ER2 ''Ασφάλεια στην περίπτωση πυρκαγιάς".
- Η υποβοήθηση κατάρτισης συμβάσεων δημοσίων έργων και συναφών υπηρεσιών (Οδηγία 2004/18/EEC).
- Η δημιουργία πλαισίου για την εκπόνηση εναρμονισμένων τεχνικών προδιαγραφών κατασκευαστικών προϊόντων.
- Η ύπαρξη κοινών κριτηρίων σχεδιασμού και μεθόδων.
- Η διευκόλυνση ανταλλαγής υπηρεσιών στον κατασκευαστικό τομέα.
- Εναρμόνιση της αγοράς υπηρεσιών στον κατασκευαστικό τομέα. Η διευκόλυνση της εμπορίας, της διακίνησης και της χρήσης υλικών και συστατικών προϊόντων για τους υπολογισμούς σχεδιασμού και της διαστασιολόγησης.
- Η κοινή βάση προετοιμασίας βοηθητικών εργαλείων και λογισμικού για τον σχεδιασμό.
- Η ανάπτυξη της ανταγωνιστικότητας των Ευρωπαϊκών επιχειρήσεων μηχανικών και ευρωπαϊκών μελετητών, εργοληπτών και παραγώγων προϊόντων στο πλαίσιο δραστηριοτήτων τους ανά την υφήλιο.
- Οι Ευρωκώδικες οδηγούν σε ένα πιο ομοιόμορφο επίπεδο ασφάλειας των κατασκευών στις διάφορες ευρωπαϊκές περιφέρειες.

7. ΕΝ 1991 – Ευρωκώδικας 1

Το πρότυπο ΕΝ 1991 – Ευρωκώδικας 1 παρέχει ενδελεχείς πληροφορίες για όλες τις ενέργειες, που κανονικά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την σχεδίαση κατασκευών, συμπεριλαμβανομένων και ορισμένων γεωτεχνικών πτυχών. Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, οι Ευρωκώδικες διαιρούνται σε κάποια Μέρη.

Ο ΕΝ 1991 περιλαμβάνει τέσσερα κύρια Μέρη. Το πρώτο μέρος χωρίζεται σε εφτά επιμέρους ενότητες που καλύπτουν πυκνότητες, επιβαλλόμενα φορτία, φορτία κατά την εκτέλεση, τυχαίες ενέργειες και ενέργειες λόγω πυρκαγιάς, χιονιού, ανέμου. Τα υπόλοιπα τρία μέρη καλύπτουν κυκλοφοριακά φορτία σε γέφυρες, ενέργειες από γερανούς και μηχανήματα και ενέργειες σε σιλό και δεξαμενές.



Παρακάτω θα αναφερθούν επιγραμματικά τα Μέρη στα οποία χωρίζεται ο Ευρωκώδικας 1 – ΕΝ 1991:

- **ΕΝ 1991-1-1 (2002):** Ενέργειες σε κατασκευές - Μέρος 1-1: Γενικές ενέργειες - Πυκνότητες, Ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία για κτίρια
- **ΕΝ 1991-1-2 (2002):** Ενέργειες σε κατασκευές - Μέρος 1-2: Γενικές ενέργειες - Ενέργειες σε κατασκευές που εκτίθενται σε πυρκαγιά
- **ΕΝ 1991-1-3 (2003):** Ενέργειες σε κατασκευές - Μέρος 1-3: Γενικές ενέργειες - Φορτία χιονιού
- **ΕΝ 1991-1-4 (2005):** Δράσεις για κατασκευές - Μέρος 1-4: Γενικές δράσεις - Δράσεις ανέμου
- **ΕΝ 1991-1-5 (2003):** Ενέργειες σε κατασκευές - Μέρος 1-5: Γενικές δράσεις - Θερμικές δράσεις
- **ΕΝ 1991-1-6 (2005):** Ενέργειες σε δομές - Μέρος 1-6: Γενικές ενέργειες - Ενέργειες κατά την εκτέλεση

- **EN 1991-1-7 (2006):** Ενέργειες για δομές - Μέρος 1-7: Γενικές ενέργειες - Τυχαίες ενέργειες
- **EN 1991-2 (2003):** Δράσεις για κατασκευές - Μέρος 2: Κυκλοφοριακά φορτία σε γέφυρες
- **EN 1991-3 (2006):** Ενέργειες σε κατασκευές - Μέρος 3: Ενέργειες που προκαλούνται από γερανούς και μηχανήματα
- **EN 1991-4 (2006):** Δράσεις σε κατασκευές - Μέρος 4: Σιλό και δεξαμενές

Προσεχώς, στην παρούσα διπλωματική επρόκειτο να παρουσιαστούν τα μέρη των Ευρωκωδίκων που σχετίζονται με τις μηχανολογικές κατασκευές και θα αναλυθούν περαιτέρω.

7.1. EN 1991-1-1

Ο EN 1991-1-1 προορίζεται να εφαρμόζεται μαζί με τον EN 1990, τα υπόλοιπα Μέρη του EN 1991 και τα EN 1992 έως EN 1999 για τον σχεδιασμό φορέων.

Ο EN 1991-1-1 προσφέρει κατευθυντήριες πληροφορίες σχεδιασμού και δράσεις για τον δομοστατικό σχεδιασμό κτηρίων και τεχνικών έργων. Αντικείμενο του συγκεκριμένου κώδικα είναι ο καθορισμός των εξής δράσεων:

- Πυκνότητες κατασκευαστικών υλικών, αποθηκευμένων προϊόντων και τις γωνίες εσωτερικής τριβής, κατά περίπτωση
- Ίδιον βάρος με των στοιχείων κατασκευής
- Επιβαλλόμενα φορτία σε δάπεδα και οροφές κτηρίων, ανάλογα με την κατηγορία χρήσης:
  - Στέγες
  - Χώροι εκδηλώσεων, διαμονής, εμπορικών καταστημάτων και γραφείων
  - Χώροι στάθμευσης και κυκλοφορίας αυτοκινήτων
  - Χώροι προσγείωσης ελικόπτερων

Τα κυριότερα θέματα στα οποία ο υπόψη Ευρωκώδικας καινοτομεί ή συμπληρώνει προγενέστερους κανονισμούς είναι:

- Δράσεις σε σιλό και δεξαμενές προερχόμενες από το νερό ή άλλα υλικά (EN 1991-4)
- Φορτία χιονιού σε στέγες (EN 1991-1-3)
- Προσδιορισμός των τιμών των φορτίων, βασισμένος στο είδος (κ.α.) της στατικής τους κατανομής.

Για τους χώρους κυκλοφορίας οχημάτων αφορούν οχήματα που διαθέτουν μικτό βάρος, το οποίο φτάνει τα 160 kN. Ο σχεδιασμός χώρων κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων, με μικτό βάρος πάνω από 160 kN, πρέπει να συμφωνηθεί με την αρμόδια αρχή. Περαιτέρω πληροφορίες μπορούν να αντληθούν από άλλους Ευρωκώδικες, που είναι αρμόδιοι για κάθε ζήτημα.

7.1.1. Κατάταξη των δράσεων

Είναι γνωστό ότι, κατηγοριοποιούνται και οι δράσεις ανάλογα με την χρονική και χωρική τους διακύμανση, την προέλευση τους και την φύση τους. Η κατάταξη φαίνεται παρακάτω:

- **Ίδια βάρη στα δομικά έργα**: το ίδιον βάρος θα πρέπει να είναι γενικά ως **μόνιμη σταθερή δράση**. Αλλά αν:

    1. Είναι μεταβλητή στον χρόνο (ενδεχόμενο χρονικής διακύμανσης) τότε θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι ανώτατες και κατώτατες χαρακτηριστικές τιμές, ενώ αν,
    2. Υπάρχει ενδεχόμενο χωρικής διακύμανσης, δηλαδή σε περιπτώσεις απουσίας δεσμεύσεων όπως για παράδειγμα μετακινήσιμα διαχωριστικά πετάσματα, τότε το ίδιο το βάρος θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως πρόσθετο επιβαλλόμενο φορτίο, ιδιαίτερα όταν οι «μόνιμες» δράσεις μπορεί να είναι ευνοϊκές.

- **Έρμα και φορτία γαιών σε στέγες και εξώστες:** τα φορτία γαιών σε στέγες και ταράτσες θα λαμβάνονται ως **μόνιμες δράσεις**, όμως σε αυτή την περίπτωση ο σχεδιασμός θα πρέπει να περιέχει τις διαφοροποιήσεις στην περιεκτικότητα της υγρασίας και διαφοροποιήσεις στις διστάσεις, οι οποίες μπορούν να προκληθούν από ανεξέλεγκτη συσσώρευση κατά τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού του φορέα.
- **Επιβαλλόμενα φορτία:** τα επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια θα κατηγοριοποιούνται αφενός ως **μεταβλητές ελεύθερες δράσεις**, εκτός αν ρητά ορίζεται διαφορετικά, αφετέρου κάτι σαν **στατικές δράσεις**.

7.1.2. Καταστάσεις σχεδιασμού

Για κάθε ξεχωριστή κατάσταση σχεδιασμού θα πρέπει να προσδιορίζονται τα συναφή **μόνιμα** και **επιβαλλόμενα** φορτία, σύμφωνα με τον ΕΝ 1990.

Μόνιμα φορτία

Στους συνδυασμούς των δράσεων, θα πρέπει το συνολικό ειδικό βάρος των φερόντων και μη-φερόντων στοιχείων να θεωρείται ως μία μόνο δράση, εκτός από τις περιπτώσεις όπου πρόκειται να γίνει απομάκρυνση ή προσθήκη φερόντων ή μη-φερόντων στοιχείων και θα πρόκειται κατά τον σχεδιασμό να ληφθούν υπόψη οι κρίσιμες περιπτώσεις φόρτισης.

Αξιοσημείωτη είναι η τυχόν διακύμανση της στάθμης του νερού, η προέλευση και η περιεκτικότητα υγρασίας των χύμα υλικών καθώς θα πρέπει να περιλαμβάνονται στη περίπτωση αυτή.

Επιβαλλόμενα φορτία

Σε καταστάσεις σχεδιασμού, όπου τα επιβαλλόμενα φορτία δρουν ταυτόχρονα μαζί με άλλες μεταβλητές δράσεις, π.χ. δράσεις που προκαλούνται από χιόνι, άνεμο, γερανούς ή μηχανήματα, το σύνολο των επιβαλλόμενων φορτίων θα θεωρείται ως μία μόνο δράση.

Ειδικά για κτήρια έχουν εφαρμογή και οι ακόλουθες διατάξεις:

- Σε στέγες δεν χρειάζεται να εφαρμόζονται ταυτόχρονα τα επιβαλλόμενα φορτία και τα φορτία χιονιού ή ανέμου.
- Όταν το επιβαλλόμενο φορτίο εξετάζεται ως μία συνοδευτική δράση, σύμφωνα με τον EN 1990, θα εφαρμόζεται μόνο ένας από τους δύο συντελεστές ψ και α_n.

Πιθανοτικές θεωρήσεις

Το ίδιο βάρος μπορεί συνήθως να προσδιοριστεί ως γινόμενο του όγκου και της πυκνότητας, τα οποία είναι τυχαίες μεταβλητές που μπορούν να περιγραφούν από κανονικές κατανομές με μία μέση τιμή πολύ κοντά στην ονομαστική τους τιμή.

Τα επιβαλλόμενα φορτία περιγράφονται από κατανομές Gumbel, μολονότι μπορεί να χρησιμοποιηθούν, επίσης, κατανομές Γάμμα για τα μακροχρόνιας διάρκειας φορτία (παραμένοντα) και εκθετικές κατανομές για τα βραχυχρόνιας διάρκειας φορτία (διαλειπόμενα).

7.1.3. Πυκνότητες αποθηκευμένων και δομικών υλικών

Γενικότερα σημαντική είναι η χρήση των χαρακτηριστικών τιμών για τα δομικά και αποθηκευόμενα υλικά, δηλαδή αν σε περίπτωση εμφάνισης μεγάλης διασποράς θα πρέπει να χρησιμοποιούνται άνω και κάτω τιμές, λ.χ. οφειλόμενη στην πηγή προέλευσής τους, την περιεκτικότητα σε νερό κλπ.

Όπου διατίθενται μόνο μέσες τιμές, θα πρέπει να θεωρούνται για τον σχεδιασμό ως χαρακτηριστικές τιμές. Μέσες τιμές για μεγάλο αριθμό διαφορετικών υλικών δίδονται στο παράρτημα Α του EN 1991-1-1.

Τα υλικά που δεν περιέχονται στο Παράρτημα Α:

- Η χαρακτηριστική τιμή της πυκνότητας χρειάζεται να καθορίζεται στο εθνικό προσάρτημα ή
- Θα διενεργείται μία άμεση και αξιόπιστη αποτίμησή της (ενδεχομένως σύμφωνα με το Παράρτημα Δ του EN 1990)

7.1.4. Ειδικό βάρος κατασκευών

Αρχικά, βασική πληροφορία του ειδικού βάρους των κατασκευών είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις πρέπει να εκφράζεται από μία μόνο χαρακτηριστική τιμή και να υπολογίζεται βάσει των ονομαστικών διαστάσεων και των χαρακτηριστικών τιμών των πυκνοτήτων. Αυτό αφορά δε τόσο τα φέροντα, όσο και τα μη-φέροντα

στοιχεία έχοντας συμπεριλάβει τις μόνιμες εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης καθώς και του βάρους των γαιών.

Στα μη-φέροντα στοιχεία συμπεριλαμβάνονται μεταξύ άλλων:

- Επικαλύψεις δώματος
- Επιστρώσεις δαπέδων διαμορφώσεις και επικαλύψεις
- Διαχωριστικά πετάσματα και ταπετσαρίες
- Κιγκλιδώματα, στηθαία ασφάλειας, κράσπεδα
- Θερμομόνωση
- Ψευδοροφές/ αναρτημένες οροφές
- Τοιχοποιία, επιχρίσματα και στοιχεία επένδυσης τοίχων
- Μόνιμες εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης (Η/Μ εγκαταστάσεις), όπως για παράδειγμα εξοπλισμό για ανελκυστήρες και κυλιόμενες σκάλες, εξοπλισμό θέρμανσης-εξαερισμού-κλιματισμού, ηλεκτρικό εξοπλισμό, σωλήνες χωρίς το περιεχόμενό τους, καλώδια και αγωγούς καλωδίων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα φορτία που οφείλονται σε μετακινήσιμα χωρίσματα θα αντιμετωπίζονται ως επιβαλλόμενα φορτία, ενώ παράλληλα θα είναι δυνατή η εξομοίωση με ένα ισοδύναμο κατανεμημένο φορτίο.

Οι χαρακτηριστικές τιμές του ειδικού βάρους και οι πληροφορίες επιτρέπεται να δοθούν από τον κατασκευαστή, στην περίπτωση δομικών στοιχείων κατασκευασμένων στο εργοστάσιο, λόγου χάρη προσόψεις, ανελκυστήρες, εξοπλισμός κτηρίων, κ.α.

7.1.5. Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια

Εξ' ορισμού, επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια είναι τα φορτία που προκύπτουν από τη χρήση. Βαρύς εξοπλισμός, όπως κοινόχρηστες κουζίνες, χώρους ραδιολογίας, λεβητοστάσια κλπ., δεν συμπεριλαμβάνεται στα φορτία που δίδονται στο Μέρος αυτό και θα πρέπει να συμφωνούνται μεταξύ του πελάτη και/ή της αρμόδιας Αρχής.

Για τον προσδιορισμό των επιβαλλόμενων φορτίων, οι χώροι των δαπέδων και της στέγης στα κτήρια, χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα την χρήση τους.

Κύριες κατηγορίες χρήσης

Χώροι διαμονής, κοινωνικών εκδηλώσεων, εμπορικών καταστημάτων και γραφείων (4 κατηγορίες A, B, C και D)

- Χώροι αποθήκευσης και βιομηχανικών χρήσεων (2 κατηγορίες: E1 και E2)
- Χώροι στάθμευσης και κυκλοφορίας οχημάτων (εκτός από γέφυρες, 2 κατηγορίες: F και G)
- Στέγες (3 κατηγορίες: H, I και K)

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα (ΕΠ) για την πρώτη από τις προαναφερόμενες ομάδες χρήσεων ισχύουν οι ακόλουθες διακρίσεις (συμπεριλαμβάνονται υποκατηγορίες):

Κατηγορία	Συγκεκριμένη χρήση	Παράδειγμα
A	**Χώροι διαμονής**	Δωμάτια σε σπίτια και κατοικίες. Θάλαμοι και πτέρυγες σε νοσοκομεία. Υπνοδωμάτια σε ξενοδοχεία και ξενώνες, κουζίνες και τουαλέτες.
B	**Χώροι γραφείων**	
C	**Χώροι στους οποίους οι άνθρωποι μπορούν να συναθροιστούν** (με εξαίρεση τους χώρους που κατατάσσονται στις άλλες κατηγορίες)	**C1:** Χώροι με τραπέζια κλπ., π.χ. σχολικοί χώροι, καφενεία, εστιατόρια, αίθουσες φαγητού, αναγνωστήρια, χώροι υποδοχής. **C2:** Χώροι με σταθερά καθίσματα, π.χ. εκκλησίες, θέατρα ή κινηματογράφους, αίθουσες συνεδριάσεων αίθουσες ομιλίας, χώροι αναμονής. **C3:** Χώροι χωρίς εμπόδια στη διακίνηση του κοινού, όπως μουσεία, εκθεσιακοί χώροι κλπ. Και Χώροι πρόσβασης σε δημόσια και διοικητικά κτήρια, ξενοδοχεία και νοσοκομεία. **C4:** Χώροι για πιθανές σωματικές δραστηριότητες π.χ. αίθουσες χορού, γυμναστικής και θεατρικές σκηνές. Προαύλια σιδηροδρομικών σταθμών. **C5:** Χώροι προσβάσιμοι από μεγάλα πλήθη όπως αίθουσες συναυλιών, κλειστά γήπεδα, εξέδρες γηπέδων, εξώστες και χώροι πρόσβασης, πλατφόρμες σιδηροδρόμων.
D	**Χώροι με εμπορικά καταστήματα**	**D1:** Χώροι σε καταστήματα λιανικής πώλησης **D2:** Χώροι σε πολυκαταστήματα

Πίνακας 1: *Κύριες κατηγορίες χρήσης για προσδιορισμό επιβαλλόμενων φορτίων.*

Στην συνέχεια, οι τιμές δράσεων q_k και Q_k εκφράζουν τα ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο και συγκεντρωμένο φορτίο, αντίστοιχα. Στον ακόλουθο πίνακα του ΕΠ συνοψίζονται για κάθε κατηγορία ξεχωριστά:

Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών	q_k [kN/m^2]	Q_k [kN]
Κατηγορία A και B		
- Δάπεδα	2,0	2,0
- Σκάλες	3,5	2,0
- Μπαλκόνια	5,0	3,0
Κατηγορία C		
- C1	3,0	3,0
- C2	5,0	4,0
- C3	5,0	4,0
- C4	5,0	4,0
- C5	7,5	4,5
Κατηγορία D		
- D1	5,0	4,0
- D2	5,0	4,0
Κατηγορία E		
- Αποθήκες	7,5	7
Κατηγορία F		
- Περονοφόρα F1 έως F9		26 - 170
Κατηγορία K		
- Ελικόπτερα		20 - 60

Πίνακας 2: *Πίνακας τιμών δράσεων για κατανεμημένο και συγκεντρωμένο φορτίο.*

Το συγκεντρωμένο φορτίο Q_k προορίζεται για τοπικούς ελέγχους και θα λαμβάνεται υπόψη ότι δρα μόνο του.

Εφόσον το δάπεδο επιτρέπει διαφορετική κατανομή των φορτίων των κινητών χωρισμάτων, το ειδικό βάρος του μπορεί να ληφθεί υπόψη ενός ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου q_k, το οποίο θα προστίθεται στα επιβαλλόμενα φορτία των δαπέδων που λαμβάνονται από τον πίνακα.

Αυτό το καθορισμένο ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο εξαρτάται από το ειδικό βάρος των χωρισμάτων κατά τον ακόλουθο τρόπο:

- Για μετακινήσιμα χωρίσματα με ειδικό βάρος ≤ 1,0 kN/m μήκους τοίχου q_k = 0,5 kN/m^2
- Για μετακινήσιμα χωρίσματα με ειδικό βάρος > 1,0 kN/m και ≤ 2,0 kN/m μήκους τοίχου $q_k \leq$ 0,8 kN/m^2
- Για μετακινήσιμα χωρίσματα με ειδικό βάρος > 2,0 kN/m και ≤ 3,0 kN/m μήκους τοίχου $q_k \leq$ 1,2 kN/m^2

Πιο βαριά χωρίσματα θα πρέπει να εξετάζονται στο σχεδιασμό λαμβάνοντας υπόψη τις θέσεις και κατευθύνσεις των χωρισμάτων και τη δομική μορφή των δαπέδων.

Οριζόντια στοιχεία – Διατάξεις φορτίων (πλάκες δαπέδων και στεγών, δοκοί)

Γενικά, για τον σχεδιασμό των πλακών και των δοκών το επιβαλλόμενο φορτίο θα λαμβάνεται υπόψη ως ελεύθερη δράση που εφαρμόζεται στο πιο δυσμενές τμήμα της επιφάνειας.

Επίσης, πρέπει να συνυπολογίζονται και τα φορτία σε άλλους ορόφους, επιτρέπεται να υποτεθεί ότι αυτά κατανέμονται ομοιόμορφα (ως σταθερές δράσεις).

Οι τιμές του q_k για τα επιβαλλόμενα φορτία των κατηγοριών χρήσης Α έως Ε, τα οποία προέρχονται από μία μόνο κατηγορία, μπορούν να μειωθούν ανάλογα με τις περιοχές που φορτίζουν το υπό εξέταση μέλος, μέσω ενός συντελεστή μείωσης α_A, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση και τον περιορισμό για τις κατηγορίες C και D: $\alpha_A \geq 0{,}6$

$$a_A = \frac{5}{7}\Psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1{,}0$$

Όπου:

Ψ_0: είναι ο συντελεστής σύμφωνα με το EN 1990

A_0: 10 m^2

Α: είναι η φορτιζόμενη επιφάνεια

Δράσεις	**Ψ_0**	**Ψ_1**	**Ψ_2**
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια (EN 1991-1-1)			
Κατηγορία A: κατοικίες, συνήθη κτήρια κατοικιών	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία B: χώροι γραφείων	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	1,0	0,9	0,8
Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων (βάρος οχημάτων ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων (30 kN < βάρος οχημάτων ≤ 160 kN)	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία H: στέγες	0	0	0
Φορτία χιονιού επάνω σε κτήρια (EN 1991-1-3)			
Φιλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη της CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο H > 1000m.	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη της CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο H ≤ 1000m.	0,50	0,20	0
Φορτία ανέμου σε κτήρια (EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0

Θερμοκρασία (μη-πυρκαγιάς) σε κτήρια (EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

Πίνακας 3: Πίνακας δράσεων.

Κατακόρυφα στοιχεία (υποστυλώματα και τοιχία)

Για τον σχεδιασμό υποστυλωμάτων και τοιχίων που δέχονται φόρτιση από πολλούς ορόφους, τα συνολικά επιβαλλόμενα φορτία στο δάπεδο κάθε ορόφου θα πρέπει να λαμβάνονται ως ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία, εφόσον κατατάσσονται σε μια από τις κατηγορίες A έως D, μπορούν να μειωθούν με έναν συντελεστή α_n , όπου φαίνεται παρακάτω:

$$a_\eta = \frac{2 + (n-2) * \psi_0}{\eta}$$

Ο μειωτικός αυτός συντελεστής εκφράζει κατ'ουσίαν την απομειούμενη πιθανότητα το κατανεμημένο φορτίο να φορτίζει όλους τους υπερκείμενους ορόφους με τη συγκεκριμένη χαρακτηριστική του τιμή.

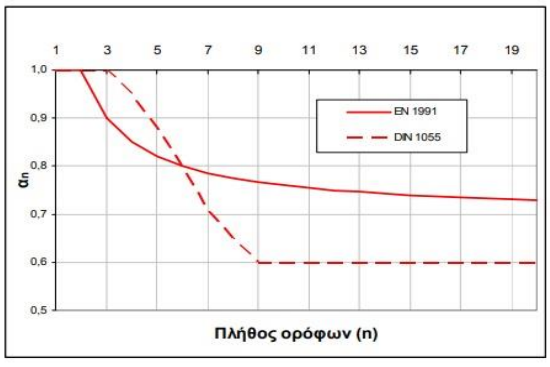
Όπου:

n: είναι ο αριθμός των ορόφων (>2), της ίδιας κατηγορίας, που βρίσκονται πάνω από τα εξεταζόμενα φέροντα δομικά στοιχεία.

Ψ_0: είναι ο συντελεστής σύμφωνα με το EN 1990

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται για τη συνήθη τιμή του Ψ_0 = 0,7, τιμές του α_n συναρτήσει του πλήθους των ορόφων. Παραπλεύρως, φαίνεται η σύγκριση με τον αντίστοιχο DIN:

n	α_n (με $\psi_0 = 0{,}7$)
1	1,00
2	1,00
3	0,90
4	0,85
5	0,82
6	0,80
7	0,79
8	0,78
9	0,77
10	0,76



Χώροι για αποθήκευση και βιομηχανικές δραστηριότητες

Οι χώροι αυτοί διαιρούνται σε δύο κατηγορίες:

Κατηγορία	Συγκεκριμένη χρήση	Παράδειγμα
E1	Χώροι κατάλληλοι για συγκέντρωση αγαθών, συμπεριλαμβανομένων των χώρων πρόσβασης Με τις ακόλουθες τιμές δράσεων: **q_k=7,5 kN/m^2** και **Q_k=7,0 kN**	Χώροι για αποθηκευτική χρήση + της αποθήκευσης βιβλίων και άλλων εγγράφων
E2	Βιομηχανική χρήση	

Πίνακας 4: Πίνακας κατηγοριών για αποθήκευση και βιομηχανικές δραστηριότητες.

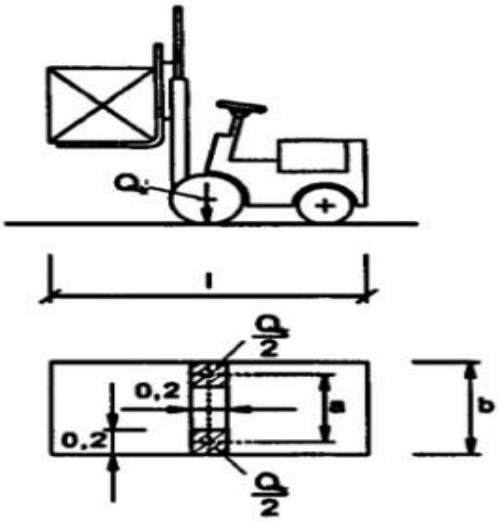
Οι χαρακτηριστικές τιμές του πίνακα στην περίπτωση αποθηκευτικών χώρων θα πρέπει να προσδιορίζονται λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και τις ανώτατες τιμές σχεδιασμού για τα ύψη στοίβαξης. Όταν το αποθηκευμένο υλικό ασκεί οριζόντιες δυνάμεις στους τοίχους, η οριζόντια δύναμη θα πρέπει να προσδιορίζεται, σύμφωνα με τον EN 1991-4 (Σιλό - Δεξαμενές), καθώς επίσης θα πρέπει να περιλαμβάνονται οι τυχόν επιδράσεις της διαδικασίας πλήρωσης ή εκκένωσης.

Τα φορτία για αποθηκευτικούς χώρους βιβλίων και άλλων εγγράφων θα πρέπει να προσδιορίζονται με βάση την φορτιζόμενη επιφάνεια και το ύψος των βιβλιοθηκών, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες τιμές για την πυκνότητα.

Σε σύγκριση με προγενέστερους κανονισμούς του EN 1991-1-1 μία από τις καινοτομίες είναι ότι εμπεριέχει τις δράσεις προερχόμενες από περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα, τα οποία κατατάσσονται σε έξι κατηγορίες ανάλογα με το καθαρό βάρος, τα φορτία ανύψωσης, τις διαστάσεις κα το αξονικό φορτίο, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και το επεξηγηματικό σχήμα:

Κατηγορία περονοφόρου ανυψωτικού μηχανήματος	Καθαρό βάρος (kN)	Φόρτιση ανύψωσης (kN)	Πλάτος άξονα a (m)	Συνολικό πλάτος b (m)	Συνολικό μήκος l (m)	Αξονικό φορτίο Qk (kN)
FL 1	21	10	0,85	1	2,60	26
FL 2	31	15	0,95	1,10	3	40
FL 3	44	25	1	1,20	3,30	63
FL 4	60	40	1,20	1,40	4	90
FL 5	90	60	1,50	1,90	4,60	140
FL 6	110	80	1,80	2,30	5,10	170

Πίνακας 5: Κατηγορίες δράσεων περονοφόρων μηχανημάτων.



Εικόνα 7:1: Αναλογίες περονοφόρου ανυψωτικού μηχανήματος.

Τα υπόψη φορτία σχεδιασμού θα συνδυάζονται κατάλληλα με τα λοιπά επιβαλλόμενα κατανεμημένα φορτία. Στην περίπτωση περονοφόρων ανυψωτικών οχημάτων με καθαρό βάρος μεγαλύτερο από 110 kN, συνίσταται τα φορτία να ορίζονται μέσω ακριβέστερης ανάλυσης.

Σε ότι αφορά οχήματα μεταφοράς που κινούνται ελεύθερα πάνω σε δάπεδα ή καθοδηγούνται πάνω σε ράγες, οι δράσεις τους είναι αναγκαστικό να χρησιμοποιηθεί κατάλληλος προσομοιωτής για τα φορτία τροχών (τιμές, διάταξη κ.λπ.).

Κτήρια στάθμευσης και χώροι οδικής κυκλοφορίας (πλην των γεφυρών)

Στον EN 1991-1-1 προβλέπεται η διάκριση σε δύο κατηγορίες των χωρών οδικής κυκλοφορίας και στάθμευσης σε κτήρια, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των σταθμευόντων οχημάτων, όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Κατηγορίες χώρων οδικής κυκλοφορίας	**Συγκεκριμένη χρήση**	**Παραδείγματα**
(F)	Χώροι οδικής κυκλοφορίας και στάθμευσης για ελαφρά οχήματα (≤ 30kN μικτό βάρος οχήματος και ≤ 8 καθίσματα εκτός αυτού του οδηγού) Με τις ακόλουθες τιμές δράσεων: **q_k=2,5 kN/m^2** και **Q_k=20,0 kN**	Γκαράζ, χώροι στάθμευσης, στεγασμένοι και υπαίθριοι

(G)	Χώροι οδικής κυκλοφορίας και στάθμευσης για μέτρια οχήματα (>30kN, ≤ 160kN μικτό βάρος οχήματος, σε 2 άξονες) Με τις ακόλουθες τιμές δράσεων: **q_k=5,0 kN/m^2** και **Q_k=90,0 kN**	Οδοί πρόσβασης, ζώνες φόρτωσης και εκφόρτωσης, ζώνες προσβάσιμες σε πυροσβεστικά οχήματα (≤ 160kN μικτό βάρος οχήματος)

Πίνακας 6: Κατηγορίες χώρων οδικής κυκλοφορίας.

Στέγες

Οι στέγες κατατάσσονται σε τρείς κατηγορίες ανάλογα με την προσβασιμότητά τους, όπως παρατηρείται παρακάτω:

Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών	**Συγκεκριμένη χρήση**
(H)	Στέγες **μη-προσβάσιμες** παρά μόνο για την κανονική συντήρηση και για επισκευή.
(I)	Στέγες **προσβάσιμες** για χρήση σύμφωνα με τις κατηγορίες A έως D.
(K)	Στέγες προσβάσιμες για **ειδικές χρήσεις**, όπως ελικοδρόμια.

Για τις στέγες της κατηγορίας H και της κατηγορίας K συνοψίζονται στους επόμενους πίνακες:

Στέγη (κλίση <20°)	**q_k [kN/m^2]**	**Q_k [kN]**
Κατηγορία H	0,5	1,0

(Σημείωση: το **q_k** μπορεί να θεωρηθεί ότι δρα είτε σε όλη τη στέγη είτε σε ένα τμήμα εμβαδού της στέγης, πάντως όχι μικρότερο των 10m^2).

Σημαντικό είναι να πραγματοποιούνται ξεχωριστοί έλεγχοι για το συγκεντρωμένο φορτίο Q_k και το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο q_k, διότι δρουν ανεξάρτητα. Επιπλέον, θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αντέχουν σε ένα φορτίο 1,5 kN που επιβάλλεται μέσω μιας τετράγωνης επιφάνειας, πλευράς 50 mm.

Οι δράσεις, για τις στέγες κατηγορίας K, από τα ελικόπτερα στους χώρους προσγείωσης θα πρέπει να καθορίζονται από τον δυναμικό συντελεστή φ =1,40 εφαρμοζόμενο στο φορτίο απογείωσης Q_k προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα της πρόσκρουσης.

Κατηγορία ελικοπτέρου	Φορτίο απογείωσης Q του ελικοπτέρου	Φορτίο απογείωσης Q_k	Διαστάσεις της φορτιζόμενης επιφάνειας (m x m)
HC1 HC2	$Q \leq 20kN$ $20kN < Q < 60$ kN	$Q_k = 20kN$ $Q_k = 60kN$	0,2 x 0,2 0,3 x 0,3

Πίνακας 7: *Κατηγορία ελικοπτέρου.*

7.2. EN 1991-1-3

Ο EN 1991-1-3 παρέχει οδηγίες για τον προσδιορισμό των τιμών των φορτίων λόγω χιονιού που θα χρησιμοποιηθούν για τη στατική μελέτη κτιρίων και έργων. Ισχύει για τοποθεσίες σε υψόμετρα κάτω των 1500 m. Για τοποθεσίες σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 1500 m πρέπει να γίνεται ειδική μελέτη και αξιολόγηση. Ειδικότερα για την Ζώνη Γ ειδική μελέτη απαιτείται για υψόμετρο μεγαλύτερο από 1000 m.

Ο Ευρωκώδικας αυτός δεν εφαρμόζεται για:

- Κρουστικά φορτία χιονιού που μπορεί να προκληθούν από ολίσθηση και πτώση χιονιού από μια υψηλότερη στέγη.
- Πρόσθετα φορτία ανεμοπιέσεως που μπορεί να προκληθούν από την αλλαγή του σχήματος ή του μεγέθους της κατασκευής λόγω της παρουσίας χιονιού ή πάγου.
- Φορτία σε περιοχές με χιόνι καθ' όλη την διάρκεια του έτους.
- Φορτία λόγω της ύπαρξης πάγου. Πλευρικά φορτία χιονιού (π.χ.: πλευρική πίεση λόγω συσσώρευσης χιονιού.)
- Φορτία χιονιού επί γεφυρών

Το χιόνι χαρακτηρίζεται ως μια στατική δράση, μεταβλητή ως προς τον χρόνο αλλά σταθερή ως προς τον χώρο. Σε ειδικές καταστάσεις η δράση του χιονιού μπορεί να θεωρηθεί ως τυχηματική δράση, με μικρή πιθανότητα εμφάνισης συνήθως μικρής διάρκειας αλλά σημαντικής έντασης κατά την διάρκεια χτισίματος της κατασκευής. Όσα στοιχεία εξαρτώνται από την τοποθεσία του έργου και την ποιότητα των μετεωρολογικών στοιχείων δίνονται στα εθνικά προσαρτήματα της κάθε χώρας.

7.2.1. Βασικές έννοιες

Το μέρος αυτό του Ευρωκώδικα περιλαμβάνει τις παρακάτω έννοιες:

Χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού επί του εδάφους: Είναι το φορτίο χιονιού στο έδαφος με ετήσια πιθανότητα υπέρβασης 2%, το οποίο προέκυψε μη λαμβάνοντας υπόψη τα «εξαιρετικά» φορτία χιονιού.

Εξαιρετικό φορτίο χιονιού επί του εδάφους: Το φορτίο του στρώματος χιονιού επί του εδάφους, που είναι αποτέλεσμα μιας χιονοπτώσεως με εξαιρετικά σπάνια πιθανότητα εμφανίσεως. Το να συμπεριλάβει κανείς τις χιονοπτώσεις αυτές στην

στατιστική επεξεργασία θα οδηγήσει σε δυσανάλογα μεγάλες τιμές του χαρακτηριστικού φορτίου χιονιού επί του εδάφους.

Πότε ένα φορτίο χιονιού επί του εδάφους χαρακτηρίζεται ως «εξαιρετικό» ; Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή έρευνα για την σύνταξη των χαρτών, αν ο λόγος της μέγιστης δειγματικής τιμής του φορτίου χιονιού επί του εδάφους, s_{max}, προς την χαρακτηριστική τιμή, $s_{k,,}$ του φορτίου χιονιού που προκύπτει αγνοώντας την μέγιστη αυτή τιμή, είναι μεγαλύτερος του 1,5 τότε η μέγιστη δειγματική τιμή πρέπει να θεωρηθεί ως εξαιρετική τιμή.

Φορτίο χιονιού στην στέγη: Η χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί της στέγης είναι το γινόμενο της χαρακτηριστικής τιμής φορτίου χιονιού επί του εδάφους με τους κατάλληλους συντελεστές (συντελεστής σχήματος της στέγης, συντελεστής έκθεσης και θερμικός συντελεστής). Από τους τρεις συντελεστές καθοριστικός είναι ο συντελεστής σχήματος της στέγης.

Μη παρασυρμένο φορτίο χιονιού επί της στέγης: Η διάταξη του φορτίου που περιγράφει το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο χιονιού επί της στέγης το οποίο επηρεάζεται μόνον από το σχήμα της στέγης, πριν συμβεί οποιαδήποτε αναδιάταξη του χιονιού λόγω άλλων κλιματολογικών δράσεων.

Παρασυρμένο φορτίο χιονιού επί της στέγης: Η διάταξη φορτίου που περιγράφει την κατανομή του φορτίου χιονιού επί της στέγης που είναι αποτέλεσμα της μετατόπισης του χιονιού από μια θέση σε άλλη θέση της στέγης π.χ. λόγω της δράσης του ανέμου.

Εξαιρετική συσσώρευση φορτίου χιονιού επί της στέγης: Η διάταξη φορτίου που περιγράφει το φορτίο του στρώματος χιονιού επί της στέγης το οποίο είναι αποτέλεσμα ενός εξαιρετικά σπάνιου τρόπου απόθεσης ή μετατόπισής του.

7.2.2. Η φύση δράσεως του χιονιού

Η δράση του χιονιού θεωρείται στατική, μεταβλητή στον χρόνο και σταθερή στον χώρο. Ως δράση λαμβάνεται το φορτίο που οφείλεται στο βάρος του χιονιού, το οποίο έχει συσσωρευθεί είτε από την ελεύθερη πτώση είτε έχει παρασυρθεί φυσικά λόγω της κλίσεως της στέγης ή/και τεχνητά λόγω του ανέμου.

Το φορτίο χιονιού, s, στην στέγη προκύπτει από το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού στο έδαφος, s_k σε kPa, το οποίο τροποποιείται με μία σειρά συντελεστών, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τους:

- Την διαφοροποίηση του φορτίου από το έδαφος στην στέγη (συντελεστής σχήματος μ)
- Την έκθεση της στέγης στα καιρικά φαινόμενα (συντελεστής έκθεσης, C_e)
- Την επίδραση της θερμοκρασίας στην συσσώρευση του χιονιού στην στέγη (θερμικός συντελεστής, C_t)

Οπότε:

$$s = \mu * C_e * C_t * s_k$$

Το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού στο έδαφος s_k , εξαρτάται από την γεωγραφική θέση και το υψόμετρο της περιοχής.

Στο παράρτημα Γ του Ευρωκώδικα δίνονται χάρτες με τις χαρακτηριστικές τιμές του φορτίου χιονιού για τις Ευρωπαϊκές χώρες. Οι τιμές αυτές έχουν προκύψει από μια συντονισμένη έρευνα μεταξύ όλων των χωρών. Με βάση αυτή την έρευνα κάθε χώρα χωρίζεται ανάλογα με τα κλιματικά της κριτήρια.

Για την Ελλάδα οι τρεις ζώνες στις οποίες χωρίζεται, είναι οι εξής:

Ζώνη Α: Νομοί Αρκαδίας, Ηλείας, Λακωνίας, Μεσσηνίας και όλα τα νησιά πλην των Σποράδων και της Εύβοιας.

Ζώνη Β: Νομοί Μαγνησίας, Φθιώτιδας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Λάρισας, Σποράδες και Εύβοια.

Ζώνη Γ: Υπόλοιπη χώρα.

Το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού στο έδαφος εξαρτάται, με παραβολικό τρόπο, και από το υψόμετρο της περιοχής. Παρακάτω δίνεται η σχέση μεταβολής του s_k συναρτήσει του υψομέτρου για την Ελλάδα:

$$s_k = (0{,}420 * Z - 0{,}030) * \left[1 + \left(\frac{A}{917}\right)^2 \right]$$

όπου,

A: το υψόμετρο της περιοχής σε m

Z: παίρνει τις τιμές 1, 2 και 4 για τις τρεις ζώνες Α, Β και Γ αντίστοιχα.

Στο Εθνικό Προσάρτημα η παραπάνω σχέση απλοποιήθηκε ως εξής:

$$s_k = s_{k,0} * \left[1 + \left(\frac{A}{917}\right)^2 \right]$$

όπου,

$s_{k,0}$: το χαρακτηριστικό φορτίου χιονιού στο έδαφος στην στάθμη της θάλασσας και το οποίο παίρνει τις τιμές 0,4, 0,8 και 1,7 kPa για τις τρεις ζώνες Α, Β και Γ αντίστοιχα.

A: είναι το υψόμετρο της περιοχής σε m το οποίο μετριέται με ακρίβεια 100 m και στρογγυλεύεται στην αμέσως μεγαλύτερη εκατοντάδα .

Ειδικώς για την ζώνη Γ και για υψόμετρα μεγαλύτερα των 1000m, απαιτείται ειδική μελέτη, από την οποία η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους s_k θα προκύψει με την χρήση κατάλληλης στατιστικής επεξεργασίας μακροχρόνιων μετρήσεων (τουλάχιστον 20 ετών) που έγιναν σε καλά προφυλαγμένο (υπήνεμο) χώρο κοντά στον τόπο του έργου.

Η κατάσταση σχεδιασμού στην περίπτωση της δράσεως του χιονιού, ανάλογα με την χιονόπτωση και την μετατόπιση του χιονιού (εξαιρετική ή μη εξαιρετική), διακρίνεται σε 4 δυνατές περιπτώσεις:

		Χιονόπτωση	
		Μη εξαιρετική	Εξαιρετική
Μετατόπιση	Μη εξαιρετική	Περίπτωση Α	Περίπτωση Β1
	Εξαιρετική	Περίπτωση Β2	Περίπτωση Β3

Για όλες τις τέσσερις περιπτώσεις θα πρέπει να εξετάζονται οι “Με διάρκεια” και “Παροδικές” καταστάσεις σχεδιασμού, για τις οποίες οι συνδυασμοί είναι:

- Όταν η δράση του χιονιού είναι κύρια μεταβλητή δράση:

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{\rho} * P + \gamma_s * s + \sum_{i\geq 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

- Όταν η δράση του χιονιού είναι συνοδεύουσα δράση:

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \gamma_s * \psi_{0,s} * s + \sum_{i>2} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Η συνιστώμενη τιμή του συντελεστή ψ_0 είναι ανάλογα τις περιοχές με υψόμετρο, δηλαδή:

- 1500 m > H > 1000 m : $\psi_0 = 0{,}70$
- 1000 m > H : $\psi_0 = 0{,}50$

7.3. EN 1991-1-4

Το EN 1991-1-4 παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τον προσδιορισμό των ενεργειών του ανέμου για τη στατική μελέτη κτιρίων και έργων. Αυτό περιλαμβάνει ολόκληρη τη δομή ή μέρη της κατασκευής ή στοιχεία που είναι προσαρτημένα στη δομή, π.χ. εξαρτήματα, μονάδες επένδυσης και τα εξαρτήματά τους, φράγματα ασφαλείας και θορύβου.

Το EN 1991-1-4 ισχύει για κτίρια και άλλα έργα με ύψη έως 200 m, ακόμη και γέφυρες που δεν έχουν άνοιγμα μεγαλύτερο από 200 m, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούν τα κριτήρια δυναμικής απόκρισης.

7.3.1. Η φύση δράσεως του χιονιού

Ως δράση του ανέμου επί των κατασκευών θεωρείται η πίεση που αναπτύσσεται από την ανάσχεση της ροής του ανέμου. Από τις αναπτυσσόμενες πιέσεις προκύπτουν δυνάμεις κάθετες προς την προσβαλλόμενη επιφάνεια. Επίσης, όταν μια επιφάνεια σαρώνεται από άνεμο παράλληλο προς την επιφάνεια, αναπτύσσονται και δυνάμεις τριβής οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται να είναι σημαντικές.

Η δράση του ανέμου σε μια κατασκευή προσδιορίζεται από την πίεση αιχμής και από τους κατάλληλους αεροδυναμικούς συντελεστές. Σε ορισμένες περιπτώσεις εφαρμόζονται επίσης τροποποιητικοί συντελεστές μεγέθους και δυναμικής απόκρισης.

Η πίεση αιχμής, q_p, προσδιορίζεται από

- την θεμελιώδη βασική ταχύτητα του ανέμου, $v_{b,0}$, η οποία δίνεται στο Εθνικό Προσάρτημα
- την διεύθυνση του θεωρούμενου ανέμου (επικρατούντες άνεμοι), συντελεστής διεύθυνσης, C_{dir}
- την εποχή του έτους (εποχικοί άνεμοι), εποχικός συντελεστής, C_{season}
- την τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής (φαινόμενα τύπου Venturi), συντελεστής ανάγλυφου, $C_o(z)$
- την τραχύτητα του περιβάλλοντος εδάφους, συντελεστής τραχύτητας $C_r(z)$
- το ύψος, z, του σημείου από το έδαφος
- την πυκνότητα του αέρα και την ένταση των στροβιλισμών

Σε αυτό το μέρος του Ευρωκώδικα σημαντικές είναι εξίσου οι παρακάτω έννοιες, ως δεδομένα για τον υπολογισμό της δράσεως του ανέμου:

- θεμελιώδης βασική ταχύτητα ανέμου, $v_{b,0}$
- βασική ταχύτητα ανέμου, v_b
- τραχύτητα εδάφους
- μέση ταχύτητα ανέμου
- ταχύτητα αιχμής – πίεση αιχμής
- ύψος αναφοράς
- συντελεστής πίεσης
- συντελεστής δύναμης
- φαινόμενα κλίμακας και δυναμικά φαινόμενα

7.4. EN 1991-1-5

Το EN 1991-1-5 δίνει αρχές και κανόνες για τον υπολογισμό των θερμικών ενεργειών σε κτίρια, γέφυρες, αγωγούς, σιλό, δεξαμενές, πύργους ψύξεως και άλλες κατασκευές συμπεριλαμβανομένων των δομικών τους στοιχείων. Παρέχονται, επίσης, οι αρχές που απαιτούνται για την επένδυση και άλλα προσαρτήματα κτιρίων.

Το EN 1991-1-5 περιγράφει τις αλλαγές στη θερμοκρασία των δομικών στοιχείων. Παρουσιάζονται χαρακτηριστικές τιμές θερμικών δράσεων για χρήση στο σχεδιασμό κατασκευών που εκτίθενται σε καθημερινές και εποχιακές κλιματικές αλλαγές. Κατασκευές που δεν είναι τόσο εκτεθειμένες μπορεί να μην χρειάζεται να ληφθούν υπόψη για θερμικές ενέργειες.

Ειδικότερα εφαρμόζεται σε κατασκευές που είναι εκτεθειμένες σε ημερήσιες και εποχιακές κλιματολογικές και λειτουργικές θερμοκρασιακές μεταβολές. Σε κατασκευές που δεν είναι εκτεθειμένες στα παραπάνω πιθανόν να μην χρειάζεται θεώρηση θερμικών δράσεων. Επίσης, δεν καλύπτεται η δράση της πυρκαγιάς για την οποία υπάρχει ξεχωριστός Ευρωκώδικας 1991-1-2, καθώς και επιμέρους Ευρωκώδικες για την συμπεριφορά των υλικών υπό την επίδραση της πυρκαγιάς.

7.4.1. Βασικές έννοιες

Στον Ευρωκώδικα αυτό εισάγονται οι εξής έννοιες:

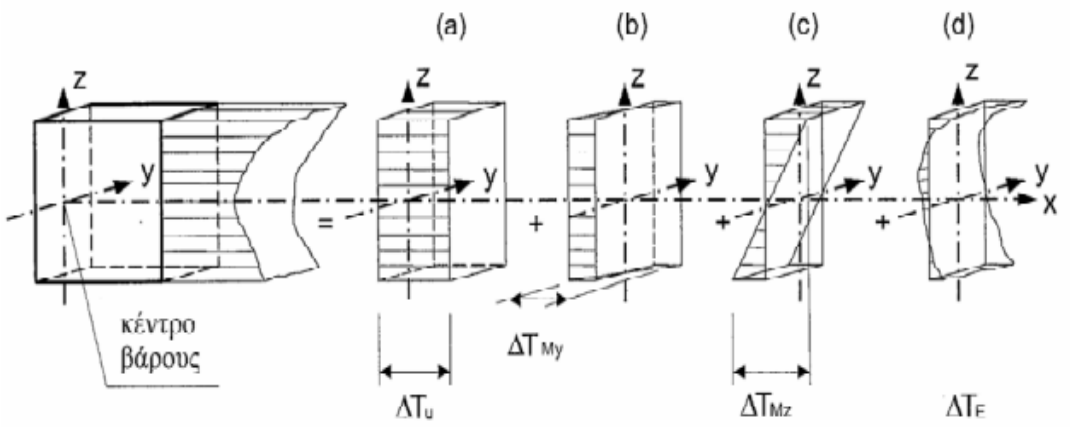
Θερμικές δράσεις σε μια κατασκευή ή σε ένα δομικό στοιχείο είναι οι δράσεις που προκαλούνται από τις μεταβολές των πεδίων θερμοκρασίας εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.

Θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σκιά είναι η θερμοκρασία του αέρα που μετράται με θερμόμετρα τοποθετημένα εντός τυποποιημένου μετεωρολογικού κλωβού (γνωστού και ως "κλωβός Stevenson").

Αρχική θερμοκρασία είναι η θερμοκρασία ενός δομικού στοιχείου κατά το σχετικό στάδιο παρεμπόδισής του.

Συνιστώσες της θερμοκρασίας: Η κατανομή θερμοκρασίας σε ένα μεμονωμένο δομικό στοιχείο μπορεί να αναλυθεί στις ακόλουθες τέσσερις βασικές συνιστώσες, όπως φαίνεται στο σχήμα :

- Μια συνιστώσα ομοιόμορφης θερμοκρασίας, η οποία συνδέεται με την (γραμμική) διαστολή ή συστολή ενός στοιχείου ή φορέα (Σχήμα 5.2.a)
- Δύο συνιστώσες γραμμικής θερμοκρασιακής μεταβολής: μια περί τον άξονα z-z (Σχήμα 5.2.b) και μια περί τον άξονα y-y (Σχήμα 5.2.c)
- Μια μη-γραμμική συνιστώσα θερμοκρασιακής μεταβολής η οποία οδηγεί σε ένα σύστημα αυτοϊσόρροπων τάσεων που δεν προκαλεί εντατικά μεγέθη στο στοιχείο (Σχήμα 5.2.d)



Εικόνα 7:2: Σχηματική απεικόνιση των συνιστωσών της θερμοκρασιακής κατατομής.

7.4.2. Η φύση της θερμικής δράσεως

Οι θερμικές δράσεις θεωρούνται μεταβλητές έμμεσες δράσεις οι οποίες προκαλούν παραμορφώσεις, άρα συνεπάγονται ανάπτυξη τάσεων. Η κατατομή της θερμοκρασίας στα επιμέρους δομικά στοιχεία μιας κατασκευής διαφοροποιείται από τις ημερήσιες και εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος υπό σκιά, της ηλιακής ακτινοβολίας, της ανάκλασης κλπ.

Το μέγεθος των θερμικών επιδράσεων εξαρτάται από:

- τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, (γεωγραφική περιοχή του έργου)
- τον προσανατολισμό της κατασκευής,
- την σκίαση γειτονικών κτηρίων
- την συνολική μάζα της κατασκευής,
- την χρήση υλικών με διαφορετικό συντελεστή γραμμικής διαστολής ή/και διαφορετικό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας
- τα στοιχεία όψεων (π.χ. εξωτερική επένδυση κτηρίων), και
- από τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και θερμομόνωσης (για τα κτηριακά έργα).

Εθνικά δεδομένα

Όσα στοιχεία εξαρτώνται από την τοποθεσία του έργου και την ποιότητα των μετεωρολογικών στοιχείων δίνονται στα εθνικά προσαρτήματα της κάθε χώρας. Στον παρόντα Ευρωκώδικα, το Εθνικό Προσάρτημα καθορίζει δύο θερμοκρασίες:

- την μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σκιά, T_{max}, η οποία είναι η τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος υπό σκιά με ετήσια πιθανότητα υπέρβασης 0,02 (ισοδύναμη με μέση περίοδο επαναφοράς 50 έτη), που βασίζεται στις μέγιστες καταγεγραμμένες ωριαίες τιμές.
- την ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σκιά, Το, η οποία είναι η τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος υπό σκιά με ετήσια πιθανότητα

υπέρβασης 0,62 (ισοδύναμη με μέση περίοδο επαναφοράς 50 έτη), που βασίζεται στις ελάχιστες καταγεγραμμένες ωριαίες τιμές.

7.5. EN 1991-1-6

Ο EN 1991-1-6 προορίζεται να χρησιμοποιηθεί μαζί με τον EN 1990, τα άλλα μέρη του EN 1991 και τα EN 1992 έως EN 1999 για τον σχεδιασμό των φορέων. Ο Ευρωκώδικας αυτός περιγράφει τις Αρχές και τους κανόνες εφαρμογής για την εκτίμηση των δράσεων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διάρκεια της κατασκευής κτηρίων και τεχνικών έργων συμπεριλαμβανομένων των ακόλουθων:

- Δράσεις σε φέροντα και μη-φέροντα μέλη κατά τις φάσεις χειρισμών (μεταφορά, αποθήκευση, ανέγερση).
- Γεωτεχνικές δράσεις
- Προ-παραμορφώσεις
- Δράσεις οφειλόμενες στην προ-ένταση
- Θερμοκρασία, συστολή ξήρανσης, επιρροές ενυδάτωσης
- Φορτία και δράσεις ανέμου
- Φορτία κατά την κατασκευή
- Δράσεις προερχόμενες από το νερό
- Δράσεις οφειλόμενες στον παγετό
- Τυχηματικές δράσεις
- Σεισμικές δράσεις

Οι κατευθύνσεις που παρέχονται από το υπόψη Μέρος Ευρωκώδικα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των δράσεων που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό:

- Βοηθητικών φερουσών κατασκευών, όπως οι προσωρινές φέρουσες κατασκευές (δηλ. αυτές που δεν είναι απαραίτητες μετά την χρήση τους και συνήθως απομακρύνονται).
- Διαφορετικούς τύπους εργασιών, όπως κατά τη διάρκεια ανακαίνισης κ.α.

7.5.1. Κατάταξη δράσεων

Γενικά, οι δράσεις κατά τη διάρκεια της κατασκευής, οι οποίες περιέχουν κατασκευαστικά φορτία όπου χρειάζεται, καθώς και άλλες δράσεις, κατατάσσονται με βάση τον παρακάτω πίνακα:

Σχετική διάταξη του παρόντος προτύπου	**Δράση**	**Χρονική μεταβολή**	**Κατάταξη/ προέλευση**	**Χωρική μεταβολή**	**Φύση (στατική/ δυναμική)**	**Πηγή**
4.2	Ίδιο βάρος	Μόνιμη	Άμεση	Σταθερή με ανοχές / Ελεύθερη	Στατική	EN 1991-1-1
4.3	Μετακίνηση εδάφους	Μόνιμη	Έμμεση	Ελεύθερη	Στατική	EN 1997

4.3	Ώθηση γαιών	Μόνιμη / μεταβλητή	Άμεση	Ελεύθερη	Στατική	EN 1997
4.4	Προ-ένταση	Μόνιμη / μεταβλητή	Άμεση	Σταθερή	Στατική	EN 1990, EN 1992 έως EN 1999
4.5	Προ-παραμορφώσεις	Μόνιμη / μεταβλητή	Έμμεση	Ελεύθερη	Στατική	EN 1990
4.6	Θερμοκρασία	Μεταβλητή	Έμμεση	Ελεύθερη	Στατική	EN 1991-1-5
4.6	Συστολή ξήρανσης/ υγρομετρικές επιρροές	Μόνιμη / μεταβλητή	Έμμεση	Ελεύθερη	Στατική	EN 1992 EN 1993 EN 1994
4.7	Δράσεις ανέμου	Μεταβλητή / Τυχηματική	Άμεση	Σταθερή / Ελεύθερη	Στατική / Δυναμική	EN 1991-1-4
4.8	Φορτία χιονιού	Μεταβλητή / Τυχηματική	Άμεση	Σταθερή / Ελεύθερη	Στατική / Δυναμική	EN 1991-1-3
4.9	Δράσεις οφειλόμενες στο νερό	Μόνιμη / Μεταβλητή / Τυχηματική	Άμεση	Σταθερή / Ελεύθερη	Στατική / Δυναμική	EN 1990
4.10	Φορτία πάγων	Μεταβλητή	Άμεση	Ελεύθερη	Στατική / Δυναμική	ISO 12494
4.12	Τυχηματική	Τυχηματική	Άμεση / Έμμεση	Ελεύθερη	Στατική / Δυναμική	EN 1990 EN 1991-1-7
4.13	Σεισμική	Μεταβλητή / Τυχηματική	Άμεση	Ελεύθερη	Δυναμική	EN 1990 EN 1998

Πίνακας 8: *Πίνακας κατάταξης δράσεων*

Τα κείμενα προέλευσης πρέπει να εξετάζονται μαζί με τα Εθνικά Προσαρτήματα, στα οποία μπορεί να δίδεται πρόσθετη σχετική πληροφόρηση.

Τα κατασκευαστικά φορτία εντάσσονται ως μεταβλητές δράσεις (Qc), προκαλούνται από γερανούς, εξοπλισμό, βοηθητικές φέρουσες κατασκευές, μπορεί να κατατάσσονται ως σταθερές ή ελεύθερες δράσεις, ανάλογα με τις δυνατές θέσεις χρήσης τους, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Σχετική διάταξη του	**Δράση**	**Χρονική μεταβολή**	**Κατάταξη/ προέλευση**	**Χωρική μεταβολή**	**Φύση (στατική/ δυναμική)**	**Πηγή**

παρόντος προτύπου						
4.11	Προσωπικό και ατομικά εργαλεία	Μεταβλητή	Άμεση	Ελεύθερη	Στατική	
4.11	Αποθήκευση κινητών αντικειμένων	Μεταβλητή	Άμεση	Ελεύθερη	Στατική / Δυναμική	EN 1991-1-1
4.11	Μη μόνιμος εξοπλισμός	Μεταβλητή	Άμεση	Σταθερή / Ελεύθερη	Στατική / Δυναμική	EN 1991-3
4.11	Κινητά βαρέα μηχανήματα και εξοπλισμός	Μεταβλητή	Άμεση	Ελεύθερη	Στατική / Δυναμική	EN 1991-2 EN 1991-3
4.11	Συσσώρευση υλικών προς απόρριψη	Μεταβλητή	Άμεση	Ελεύθερη	Στατική / Δυναμική	EN 1991-1-1
4.11	Φορτία από μέρη του φορέα σε προσωρινές καταστάσεις	Μεταβλητή	Άμεση	Ελεύθερη	Στατική	EN 1991-1-1

Πίνακας 9: *Πίνακας κατάταξης κατασκευαστικών φορτίων.*

Σύμφωνα, με το Εθνικό Προσάρτημα εφόσον η περιοχή εφαρμογής δεν προσδιορίζεται μονοσήμαντα, θα λαμβάνονται υπόψη για το σκοπό αυτό όλες οι δυνατές δοκιμές μεθόδων κατασκευής, αλλιώς θα θεωρείται ότι τα υπόψη κατασκευαστικά φορτία μπορούν να λάβουν οποιαδήποτε θέση χωρίς προσδιορισμούς.

7.6. EN 1991-2

Για τον σχεδιασμό και την ανάλυση μιας γέφυρας ο Μηχανικός πρέπει να συνδυάσει και να χρησιμοποιήσει διάφορους Ευρωκώδικες, όπως τους 1, 2, 3, 4, 5, 7 και 8.

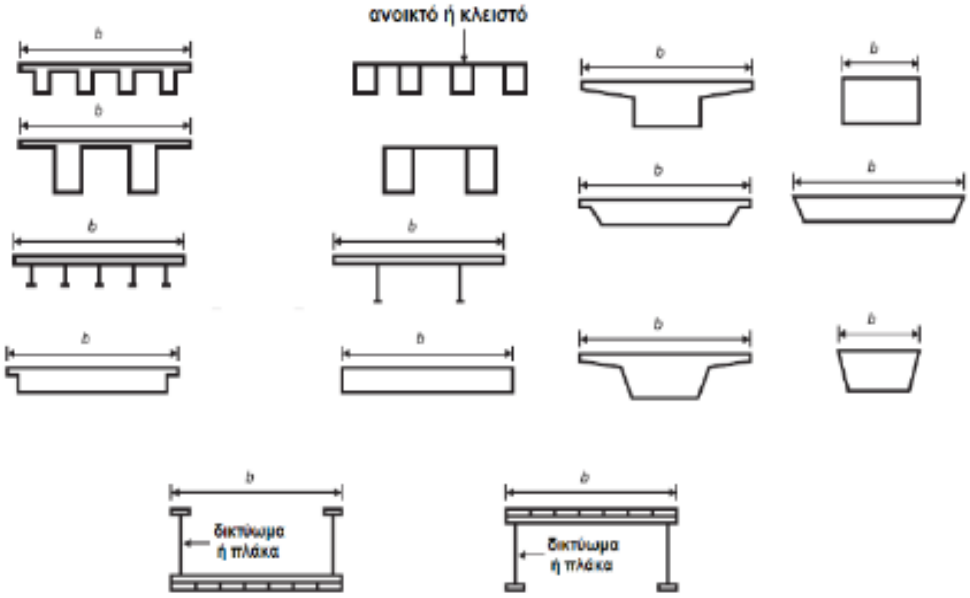
Ωστόσο, με βάση τη φιλοσοφία του σχεδιασμού των γεφυρών, ο Ευρωκώδικας που δεσπόζει είναι ο EN 1991-2. Το Μέρος 2 αυτού (Φορτία Κυκλοφορίας επί των Γεφυρών) περιέχει έναν μεγάλο όγκο διατάξεων – πληροφοριών που αφορούν τα φορτία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη λόγω της κίνησης οχημάτων πάσης φύσεως αλλά και ανθρώπων.

Στη συνέχεια, παρατίθενται με τη μεγαλύτερη δυνατή συντομία το μέρος του Ευρωκώδικα 1: EN 1991-2 περί φορτίσεων γεφυρών και ειδικότερα τα περί φορτίσεων φορτίων λόγω κυκλοφορίας.

Παρακάτω, παρατίθενται με τη μεγαλύτερη δυνατή συντομία μερικοί από τους κανόνες του Ευρωκώδικα 1 περί φορτίσεων γεφυρών και ειδικότερα τα περί φορτίσεων ανέμου και φορτίων λόγω κυκλοφορίας.

7.6.1. Φορτία λόγω ανέμου

Οι δράσεις ανέμου επί των γεφυρών περιέχονται στο Κεφάλαιο 8 του σχετικού Μέρους του Ευρωκώδικα 1, όπου τονίζεται πως τα περιεχόμενα του είναι εφαρμοστέα μόνο για γέφυρες σταθερού ύψους διατομής καταστρώματος σύμφωνα με το σχήμα, ενώ για άλλους τύπους γεφυρών (όπως τοξωτές, κρεμαστές, καλωδιωτές, έντονα καμπύλες ή με πολλαπλά καταστρώματα) οι δράσεις λόγω ανέμου μπορούν να οριστούν σε Εθνικό Προσάρτημα.



Εικόνα 7:3: *Διατομές γεφυρών με κανονική μορφή καταστρωμάτων.*

Φορτία ανέμου κατά τις διευθύνσεις x, y, z

Υπολογίζονται με βάση τον τύπο: $F_w = \frac{1}{2}\rho {v_b}^2 C A_{ref,x}$

Όπου:

V_b : η βασική ταχύτητα ανέμου

C : ο παράγων ανέμου (περιέχονται προτεινόμενες τιμές στον παρακάτω πίνακα)

b/d_{tot}	$z_e \leq 20$ m	$z_e = 50$ m
≤ 0,5	5,7	7,1
≥ 4,0	3,1	3,8

Ο Πίνακας βασίζεται στις ακόλουθες υποθέσεις :

- ανάγλυφο εδάφους κατηγορίας II

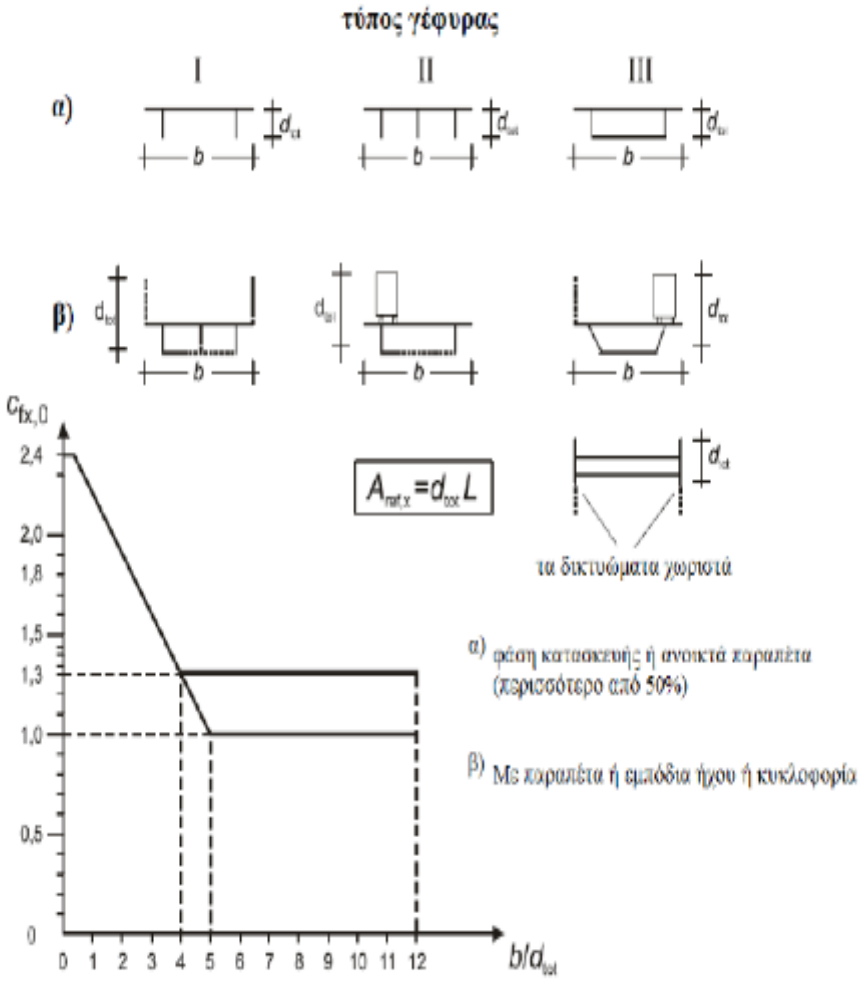
- συντελεστής δύναμης

– c_0=1,0

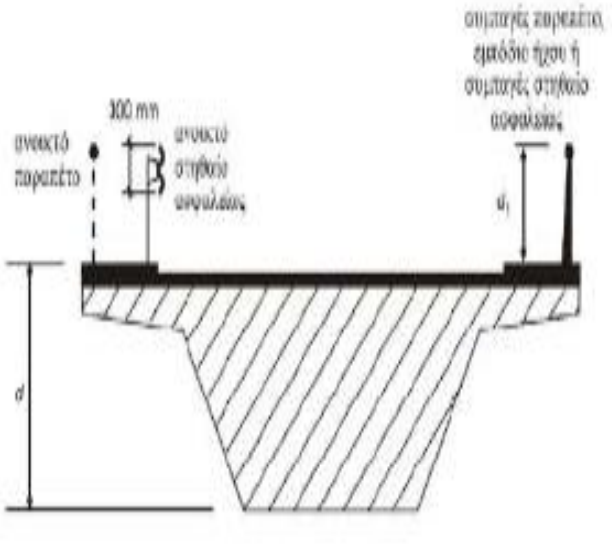
– k_I=1,0

Για ενδιάμεσες τιμές του λόγου b/d_{tot} και του z_e μπορεί να γίνει χρήση γραμμικής παρεμβολής

$A_{ref,x}$: η επιφάνεια αναφοράς (υπολογίζονται σύμφωνα με τα παρακάτω σχήματα)



Εικόνα 7:4: *Συντελεστής δύναμης για γέφυρες, cf,x,0.*



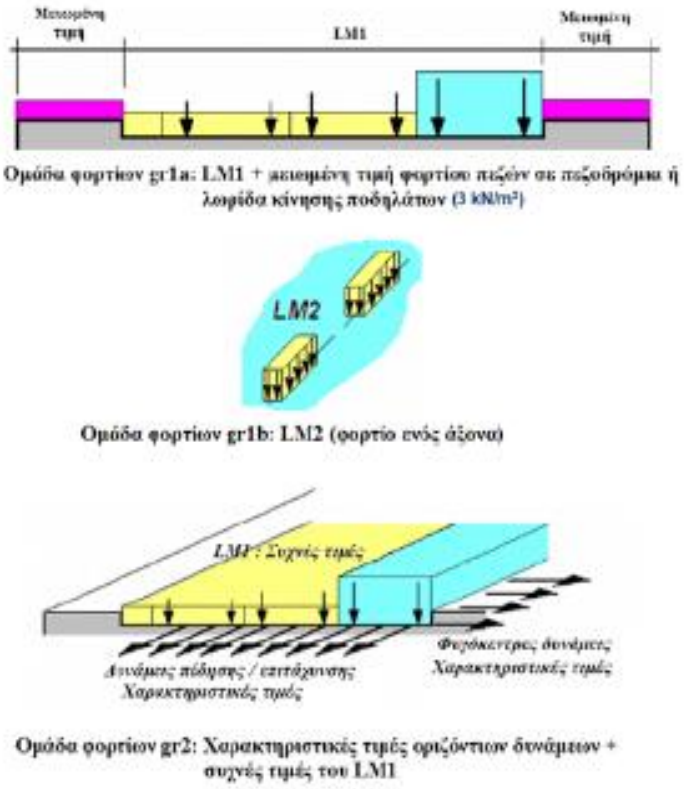
Road restraint system	στη μία πλευρά	και στις δύο πλευρές
ανοικτό παραπέτο ή ανοικτό στηθαίο ασφαλείας	$d + 0,3$ m	$d + 0,6$ m
συμπαγές παραπέτο ή συμπαγές στηθαίο ασφαλείας	$d + d_1$	$d + 2d_1$
ανοικτό παραπέτο και ανοικτό στηθαίο ασφαλείας	$d + 0,6$ m	$d + 1,2$ m

Εικόνα 7:5: *«Βάθος» για τον υπολογισμό της Aref,x.*

Όσον αφορά για τη διεύθυνση y, αυτά θα υπολογίζονται εν γένει ως ποσοστό των αντίστοιχων φορτίων κατά τη διεύθυνση x (π.χ. για δικτυωτές γέφυρες 50%). Φορτία ανέμου σε καταστρώματα γεφυρών κατά τη διεύθυνση z, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο όταν είναι τάξης μεγέθους ίδιου με το ίδιο βάρος, ενώ ελλείψει δεδομένων από πειράματα σε αεροσήραγγα προτείνονται ορισμένες απλουστευμένες διαδικασίες υπολογισμού τους.

7.6.2. Φορτία λόγω κυκλοφορίας

Ο Ευρωκώδικας 1 (EN 1991-2): Δράσεις επί των κατασκευών, περιέχει έναν μεγάλο όγκο διατάξεων – πληροφοριών που αφορούν τα φορτία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη λόγω της κίνησης οχημάτων πάσης φύσεως αλλά και ανθρώπων.



Ομάδα φορτίων gr1a: LM1 + μειωμένη τιμή φορτίου πεζών σε πεζοδρόμια ή λωρίδα κίνησης ποδηλάτων (3 kN/m²)

Ομάδα φορτίων gr1b: LM2 (φορτίο ενός άξονα)

Ομάδα φορτίων gr2: Χαρακτηριστικές τιμές οριζόντιων δυνάμεων + συχνές τιμές του LM1

Εικόνα 7:6*: Ομάδες φορτίων.*

7.7. EN 1991-4

Ο EN 1991-4 παρέχει γενικές αρχές και ενέργειες για τη δομική σχεδίαση σιλό για την αποθήκευση στερεών σωματιδίων και δεξαμενές για την αποθήκευση υγρών. Θα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τον EN 1990: Βάση Σχεδιασμού, άλλα μέρη του EN 1991 και EN 1992 - EN 1999.

Για να σχεδιαστεί δομικά ένα σιλό, ένας μηχανικός πρέπει να προσδιορίσει όλα τα φορτία που είναι πιθανό να εφαρμοστούν σε αυτό. Αυτά περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, αιολικά, σεισμικά, εξωτερικά και φορτία που προκαλούνται από το αποθηκευμένο χύμα στερεό υλικό. Πολυάριθμοι κώδικες και πρότυπα καθορίζουν τα μέσα για τον υπολογισμό τους (τα λεγόμενα φορτία που προκαλούνται από στερεά). Μεταξύ αυτών, τα τέσσερα πιο κοινά σε χρήση στον κόσμο σήμερα είναι:

- Πρότυπο EN 1991-4:2006 «Ευρωκώδικας 1 – Ενέργειες στις κατασκευές – Μέρος 4: Σιλό και Δεξαμενές»
- Αμερικανικό Ινστιτούτο Σκυροδέματος ACI 313-97 «Τυπική πρακτική για το σχεδιασμό και την κατασκευή σιλό από σκυρόδεμα και σωλήνες στοίβαξης για την αποθήκευση κοκκωδών υλικών»
- American Society of Agricultural Engineers ANSI/ASAE EP433 DEC1988 (R2011) «Φορτία που ασκούνται από ελεύθερα ρέοντες κόκκους σε κάδους»
- Αυστραλιανό Πρότυπο AS 3774-1996 “Loads on bulk solids containers”.

Ο όγκος των πληροφοριών που παρέχει ο Ευρωκώδικας 1 είναι μεγάλος, όπως προαναφέρθηκε, έγιναν όσο το δυνατόν προσεγγιστικές περιγραφές και αναφέρθηκαν τα βασικότερα κομμάτια σχετικά με το θέμα της διπλωματικής.

8. ΕΝ 1993 – Ευρωκώδικας 3

Το πρότυπο ΕΝ 1993 - Ευρωκώδικας 3 εφαρμόζεται στο σχεδιασμό κτιρίων και άλλων κατασκευών από χάλυβα. Συμμορφώνεται με τις αρχές και τις απαιτήσεις για την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα των κατασκευών, τη βάση του σχεδιασμού και την επαλήθευση τους που δίνονται στον ΕΝ 1990 (Βάση στατικής μελέτης). Ο Ευρωκώδικας 3 αφορά τις απαιτήσεις για αντοχή, λειτουργικότητα, ανθεκτικότητα και αντοχή στη φωτιά των μεταλλικών κατασκευών.

Για τις κατασκευές από χάλυβα δεν προϋπήρχε ελληνικός κανονισμός και έτσι ο σχεδιασμός τους πραγματοποιείται ήδη με τον Ευρωκώδικα 3, πριν από αυτόν χρησιμοποιούνταν οι γερμανικοί κανονισμοί DIN.

Ο Ευρωκώδικας 3 έχει ευρύτερο πεδίο εφαρμογής από τους άλλους Ευρωκώδικες σχεδιασμού, λόγω της ποικιλίας των μεταλλικών κατασκευών, της ανάγκης κάλυψης τόσο των βιδωτών όσο και των συγκολλημένων αρμών και της πιθανής λεπτότητας της κατασκευής. Το ΕΝ 1993 έχει περίπου 20 Μέρη που καλύπτουν κοινούς κανόνες, σχεδιασμό πυρκαγιάς, γέφυρες, κτίρια, δεξαμενές, σιλό, πασσάλους με σωληνώσεις, κατασκευές με υποστήριξη γερανού, πύργους και ιστούς, καμινάδες κ.λπ.

Ο Ευρωκώδικας 3 προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με κανόνες όπως:

- ΕΝ 1990: Ευρωκώδικας - Βάση δομικής μελέτης.
- ΕΝ 1991: Ευρωκώδικας 1 - Δράσεις για δομές.
- ΕΝ, ETAG και ΕΤΑ για δομικά προϊόντα που σχετίζονται με μεταλλικές κατασκευές.
- ΕΝ1090: Εκτέλεση μεταλλικών κατασκευών - Τεχνικές απαιτήσεις.
- ΕΝ1992 έως ΕΝ1999: όταν αναφέρονται οι μεταλλικές κατασκευές ή τα μεταλλικά εξαρτήματα.

Παρακάτω θα αναφερθούν επιγραμματικά τα Μέρη στα οποία χωρίζεται ο Ευρωκώδικας 3 – ΕΝ 1993:

- **ΕΝ 1993-1-1 (2005):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια.
- **ΕΝ 1993-1-2 (2005):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-2: Γενικοί κανόνες - Σχεδιασμός δομικής πυρκαγιάς.
- **ΕΝ 1993-1-3 (2006):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-3: Γενικοί κανόνες - Συμπληρωματικοί κανόνες για μέλη ψυχρής μορφοποίησης και φύλλα.
- **ΕΝ 1993-1-4 (2006):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-4: Γενικοί κανόνες - Συμπληρωματικοί κανόνες για ανοξείδωτους χάλυβες.
- **ΕΝ 1993-1-5 (2006):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-5: Γενικοί κανόνες - Επιμεταλλωμένα δομικά στοιχεία.

- **ΕΝ 1993-1-6 (2007):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-6: Αντοχή και ευστάθεια κατασκευών κελύφους.
- **ΕΝ 1993-1-7 (2007):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-7: Αντοχή και σταθερότητα επίπεδων επιμεταλλωμένων κατασκευών που υπόκεινται σε εκτός επιπέδου φόρτιση.
- **ΕΝ 1993-1-8 (2005):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-8: Σχεδιασμός αρμών.
- **ΕΝ 1993-1-9 (2005):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-9: Κόπωση.
- **ΕΝ 1993-1-10 (2005):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-10: Ιδιότητες σκληρότητας και διαμπερούς πάχους υλικού.
- **ΕΝ 1993-1-11 (2006):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-11: Σχεδιασμός κατασκευών με εξαρτήματα εφελκυσμού.
- **ΕΝ 1993-1-12 (2007):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 1-12: Γενικά - Χάλυβες υψηλής αντοχής.
- **ΕΝ 1993-2 (2006):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 2: Χαλύβδινες γέφυρες.
- **ΕΝ 1993-3-1 (2006):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 3-1: Πύργοι, ιστοί και καμινάδες – Πύργοι και ιστοί.
- **ΕΝ 1993-3-2 (2006):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 3-2: Πύργοι, ιστοί και καμινάδες – Καμινάδες.
- **ΕΝ 1993-4-1 (2007):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 4-1: Σιλό.
- **ΕΝ 1993-4-2 (2007):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 4-2: Δεξαμενές.
- **ΕΝ 1993-4-3 (2007):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 4-3: Σωληνώσεις.
- **ΕΝ 1993-5 (2007):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 5: Πασσάλωση.
- **ΕΝ 1993-6 (2007):** Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών - Μέρος 6: Κατασκευές στήριξης γερανού.

8.1. Συνοπτική ανάλυση των μερών του Ευρωκώδικα 3

Ειδικότερα, ο Ευρωκώδικας 3 αναφέρεται στον σχεδιασμό κατασκευών από χάλυβα. Η έκταση του Ευρωκώδικα 3 (ΕΝ 1993) είναι μεγάλη, συγκριτικά με τους άλλους Ευρωκώδικες, λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας που παρουσιάζουν οι μεταλλικές κατασκευές. Ο ΕΝ 1993 ασχολείται κυρίως με απαιτήσεις για αντοχή, λειτουργικότητα, ανθεκτικότητα και πυρασφάλεια των κατασκευών από χάλυβα. Άλλες απαιτήσεις, που αφορούν π.χ. θερμικές ή ηχητικές μονώσεις δεν καλύπτονται.

Το ΕΝ 1993-1-1 παραδίδει βασικούς κανόνες σχεδιασμού για μεταλλικές κατασκευές με πάχος υλικού $t \geq 3$ mm. Περιλαμβάνει, επίσης, συμπληρωματικές

διατάξεις για τη στατική μελέτη μεταλλικών κτιρίων. Κατά κύριο λόγο απαρτίζεται από τα παρακάτω κεφάλαια:

1. Γενικά
2. Βασικές αρχές σχεδιασμού
3. Υλικά
4. Ανθεκτικότητα
5. Στατική ανάλυση
6. Οριακές καταστάσεις αστοχίας
7. Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Τα Κεφάλαια 1 και 2 παρέχουν πρόσθετες παραγράφους σε αυτές που δίνονται στον ΕΝ 1990: Βάσεις του σχεδιασμού των κατασκευών. Το Κεφάλαιο 3 ασχολείται με ιδιότητες υλικών από κράματα δομικού χάλυβα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Το Κεφάλαιο 4 δίνει γενικούς κανόνες για την ανθεκτικότητα. Το Κεφάλαιο 5 αναφέρεται στο στατικό υπολογισμό κατασκευών, των οποίων τα μέλη μπορούν να προσομοιωθούν με ικανοποιητική ακρίβεια ως γραμμικά στοιχεία για στατική ανάλυση. Το Κεφάλαιο 6 δίνει εκτενείς κανόνες για το σχεδιασμό διατομών και μελών. Το Κεφάλαιο 7 δίνει κανόνες για λειτουργικότητα.

Ο ΕΝ 1993-1-2 περιγράφει τις αρχές, τις απαιτήσεις και τους κανόνες για το δομοστατικό σχεδιασμό κτηρίων που εκτίθενται σε πυρκαγιά. Αναφέρεται στο σχεδιασμό φορέων από χάλυβα για την κατάσταση σχεδιασμού έναντι πυρκαγιάς και προορίζεται προς χρήση μαζί με τους ΕΝ 1993-1-1 και ΕΝ 1991-1-2. Ο ΕΝ 1993-1-2 περιορίζεται στον εντοπισμό της διαφοράς θερμοκρασίας από την κανονική ή συμπληρώνει τον σχεδιασμό κανονικής θερμοκρασίας. Τέλος, αναφέρεται μόνον σε παθητικές μεθόδους πυροπροστασίας χωρίς να καλύπτει ενεργητικούς μεθόδους.

Ο ΕΝ 1993-1-3 δίνει βασικούς κανόνες σχεδιασμού για κατασκευές από χάλυβα με πάχη υλικού $t < 3mm$ (λεπτότοιχα μέλη και μέλη από χαλυβδόφυλλα). Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό φύλλων χάλυβα με προφίλ για σύνθετες πλάκες από χάλυβα και σκυρόδεμα στο στάδιο της κατασκευής. Η εκτέλεση μεταλλικών κατασκευών από ψυχρά διαμορφωμένα μέλη λεπτού εύρους και φύλλα καλύπτεται από τον ΕΝ 1090.

Το ΕΝ 1993-1-4 ασχολείται με τις πρόσθετες απαιτήσεις για το σχεδιασμό μεταλλικών κατασκευών από ανοξείδωτο χάλυβα και πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το ΕΝ 1993-1-1 και το ΕΝ 1993-1-3.

Το ΕΝ 1993-1-5 παρέχει σχεδιαστικές απαιτήσεις για σκληρυμένες και μη σκληρυμένες πλάκες που υπόκεινται σε δυνάμεις στο επίπεδο.

Ο ΕΝ 1993-1-6 παρουσιάζει τους βασικούς κανόνες σχεδιασμού για την εξασφάλιση της αντοχής και της ευστάθειας κελυφωτών κατασκευών από χάλυβα.

Ο ΕΝ 1993-1-7 παρέχει αρχές και κανόνες εφαρμογής για τη δομική σχεδίαση σκληρυμένων και μη σκληρυμένων πλακών φορτωμένων με δράσεις εκτός επιπέδου και χρησιμοποιείται αναγκαστικά σε συνδυασμό με το ΕΝ 1993-1-1.

Το ΕΝ 1993-1-8 παρέχει μεθόδους σχεδιασμού για το σχεδιασμό αρμών που υπόκεινται κατά κύριο λόγο στατική φόρτιση χρησιμοποιώντας τις ποιότητες χάλυβα S235, S275, S355 και S460. Πιο συγκεκριμένα, παρέχει λεπτομερείς κανόνες εφαρμογής για τον προσδιορισμό των στατικών αντιστάσεων σχεδιασμού μονο-επίπεδων και πολύ-επίπεδων αρμών σε δικτυωτές κατασκευές που αποτελούνται από κυκλικές, τετράγωνες ή ορθογώνιες κοίλες τομές και μονο-επίπεδων αρμών σε δικτυωτές κατασκευές που αποτελούνται από συνδυασμούς κοίλων τμημάτων με ανοιχτές τομές.

Το ΕΝ 1993-1-9 παρέχει μεθόδους για την αξιολόγηση της αντοχής σε κόπωση των μελών, των συνδέσεων και των αρθρώσεων που υπόκεινται σε φορτία κόπωσης. Αυτές οι μέθοδοι προέρχονται από πειράματα με δοκιμές κόπωσης από δείγματα μεγάλης κλίμακας, που περιλαμβάνουν φαινόμενα γεωμετρικών και δομικών ατελειών από την παραγωγή και την εκτέλεση υλικού (π.χ. τα αποτελέσματα των ανοχών και των παραμενουσών τάσεων λόγω της συγκόλλησης).

Ο ΕΝ 1993-1-10 παρέχει τις κατευθυντήριες γραμμές για την επιλογή χάλυβα για αντοχή σε θραύση και ιδιότητες διαμπερούς πάχους συγκολλημένων στοιχείων όπου υπάρχει σημαντικός κίνδυνος σχίσιμο του φύλλου κατά τη διαδικασία κατασκευής.

Ο ΕΝ 1993-1-11 παρουσιάζει τους βασικούς κανόνες σχεδιασμού κατασκευών από χάλυβα με εφελκυόμενα στοιχεία που βάσει της συνδεσμολογίας τους εντός της κατασκευής είναι ρυθμιζόμενα και μπορούν να αντικατασταθούν. Οι διατάξεις καλύπτουν στοιχεία έτοιμα προς τοποθέτηση στο εργοτάξιο. Εφελκυόμενα στοιχεία τα οποία δεν είναι ρυθμιζόμενα και δεν μπορούν να αντικατασταθούν (π.χ. στοιχεία καλωδιωτών γεφυρών κ.λπ.) είναι εκτός του αντικειμένου του μέρους αυτού.

Το ΕΝ 1993-1-12 παρέχει κανόνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με όλο το άλλο μέρος του ΕΝ 1993 για να επιτρέψουν τη σχεδίαση μεταλλικών κατασκευών με χάλυβα ποιοτήτων ανώτερων από S460 έως S700.

Ο ΕΝ 1993-2 δίνει μια γενική βάση για τη δομική σχεδίαση χαλύβδινων γεφυρών και χαλύβδινων τμημάτων σύνθετων γεφυρών. Δίνει διατάξεις που συμπληρώνουν, τροποποιούν ή αντικαθιστούν τις ισοδύναμες διατάξεις που δίνονται στα διάφορα μέρη του ΕΝ 1993-1. Αυτό το πρότυπο αφορά μόνο την αντοχή, τη λειτουργικότητα και την ανθεκτικότητα των κατασκευών γεφυρών. Άλλες πτυχές του σχεδιασμού δεν λαμβάνονται υπόψη.

Το ΕΝ 1993-3-1 ισχύει για τη δομική σχεδίαση (αρχές, απαιτήσεις και κανόνες) κατακόρυφων χαλύβδινων πύργων, ιστών και καμινάδων και αφορά μόνο την αντοχή και την λειτουργικότητά τους.

Το EN 1993-3-2 ισχύει για τη δομική σχεδίαση κάθετων χαλύβδινων καμινάδων κυκλικής ή κωνικής διατομής. Καλύπτει καμινάδες που είναι πρόβολες, στηριγμένες σε ενδιάμεσα επίπεδα ή τυλιγμένες. Αφορά μόνο την απαίτηση αντοχής (αντοχή, σταθερότητα και κόπωση) των χαλύβδινων καμινάδων. Ο όρος καμινάδα χρησιμοποιείται για να αναφέρεται σε:

- κατασκευές καμινάδας
- χαλύβδινα κυλινδρικά στοιχεία πύργων
- χαλύβδινοι κυλινδρικοί άξονες ιστών με κουφώματα

Ο EN 1993-4-1 παρέχει αρχές και κανόνες εφαρμογής για τη δομική σχεδίαση χαλύβδινων σιλό κυκλικής ή ορθογώνιας κάτοψης, ελεύθερης τοποθέτησης ή στήριξης και αφορά μόνο τις απαιτήσεις αντοχής και ευστάθειας χαλύβδινων σιλό.

Ο EN 1993-4-2 παρέχει αρχές και κανόνες εφαρμογής για τον δομικό σχεδιασμό κατακόρυφων κυλινδρικών υπέργειων δεξαμενών αποθήκευσης από χάλυβα για υγρά προϊόντα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- χαρακτηριστικές εσωτερικές πιέσεις πάνω από τη στάθμη του υγρού όχι μικρότερες από −100 mbar και όχι μεγαλύτερες από 500 mbar, δηλαδή εκτός του πεδίου εφαρμογής της Οδηγίας για τον εξοπλισμό υπό πίεση.
- θερμοκρασία μετάλλου σχεδιασμού στην περιοχή από -50 °C έως +300 °C.
- μέγιστη στάθμη υγρού σχεδιασμού όχι υψηλότερη από την κορυφή του κυλινδρικού κελύφους.

Το EN 1993-4-3 ασχολείται με την ανάλυση και το σχεδιασμό χαλύβδινων αγωγών που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υγρών και αερίων σε κανονικές θερμοκρασίες.

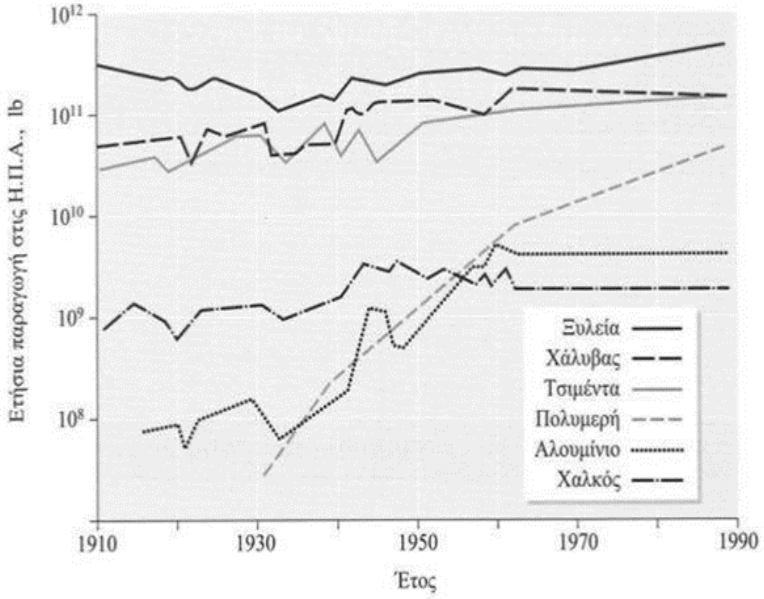
Το EN 1993-5 δίνει κανόνες σχεδιασμού για πασσάλους και πασσάλους από φύλλα χάλυβα για να συμπληρώσει τους γενικούς κανόνες στο EN 1993-1 και προορίζεται να χρησιμοποιηθεί με τους Ευρωκώδικες EN 1990 - Βάση στατικής μελέτης , EN 1991 - Ενέργειες σε κατασκευές και EN 1997-1 για Γεωτεχνικό Σχεδιασμό.

Το EN 1993-6 παρέχει αρχές και κανόνες εφαρμογής για τη δομική σχεδίαση δοκών γερανού και άλλων δομών στήριξης γερανών, συμπεριλαμβανομένων των υποστυλωμάτων και άλλων μελών που κατασκευάζονται από χάλυβα. Αυτό το εξάρτημα προορίζεται για χρήση με τον Ευρωκώδικα EN 1991-1 και καλύπτει διαφυγές εναέριων γερανών μέσα σε κτίρια και υπαίθριες διαφυγές γερανών.

8.2. Δομή και ιδιότητες του χάλυβα

Συχνά οι μηχανικοί εμπλέκονται σε αποφάσεις και διάφορα προβλήματα. Ένα από αυτά είναι η απόφαση επιλογής του υλικού που έχει το κατάλληλο συνδυασμό χαρακτηριστικών την συγκεκριμένη εφαρμογή. Αυτό προϋποθέτει ότι είναι σε ένα βαθμό εξοικειωμένοι με τα γενικά χαρακτηριστικά μιας ευρείας κατηγορίας μετάλλων και των κραμάτων τους.

Στην αγορά υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των υλικών. Με την πάροδο του χρόνου, προκύπτουν διάφοροι παράγοντες που καθιστούν δυνατόν ένα υλικό να αντικαταστήσει ένα άλλο σε ορισμένες εφαρμογές. Επιπρόσθετα, μπορεί να είναι απαραίτητη η πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων που παρέχουν τιμές ιδιοτήτων με μεγάλη ποικιλία υλικών.



Εικόνα 8:1: *Στο παραπάνω διάγραμμα δίνεται γραφικά η μεταβολή της παραβολής σε βάρος έξι υλικών τα τελευταία χρόνια.*

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους **:**

1η μέθοδος: με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.

2η μέθοδος: με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (αγγλ., Direct Reduced Iron ή DRI), και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου·

3η μέθοδος: με την ανάπτυξη παλιοσίδερου (σκραπ) σε κλίβανο ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF).

Τα σιδηρούχα κράματα είναι από τα βασικότερα υλικά επιλογής και παράγονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από οποιονδήποτε άλλο τύπο μετάλλου. Είναι ιδιαιτέρως σημαντικά τεχνολογικά υλικά για κατασκευές. Η διαδεδομένη τους χρήση ερμηνεύεται από τρεις λόγους:

1. συστατικά που περιέχουν σίδηρο βρίσκονται σε άφθονη ποσότητα εντός του φλοιού της γης.
2. ο μεταλλικός σίδηρος και κράματα χάλυβα είναι δυνατό να παραχθούν χρησιμοποιώντας σχετικά οικονομική εξαγωγή από το ορυκτό, καθαρισμό, κραματοποίηση και τεχνικές επεξεργασίας.
3. τα σιδηρούχα κράματα είναι εξαιρετικά πολλαπλών χρήσεων, με την έννοια ότι είναι δυνατό να κατασκευαστούν ώστε να έχουν ένα μεγάλο εύρος μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων.

Το κύριο μειονέκτημα, όμως, πολλών σιδηρούχων κραμάτων είναι η ευαισθησία τους στη διάβρωση.

Ο δομικός χάλυβας είναι το βασικό υλικό από το οποίο συντίθεται ο φέρων οργανισμός των χαλύβδινων κτιριακών και λοιπών έργων. Είναι κράμα με βασικό συστατικό το σίδηρο (Fe) και διάφορα άλλα μεταλλικά και μη στοιχεία σε μικρή αναλογία, όπως:

Άνθρακας (C), Μαγγάνιο (Mn), Πυρίτιο (Si), Νικέλιο (Ni), Χαλκός (Cu), Χρώμιο (Cr), Μολυβδαίνιο (Mo), Βανάδιο (V), Ζιρκόνιο (Zr), Θείο (S), Φώσφορος (P), ορισμένα εκ των οποίων είναι ανεπιθύμητα, επειδή επηρεάζουν δυσμενώς κάποια χαρακτηριστικά του χάλυβα.

Η ποσοστιαία συμμετοχή των στοιχείων αυτών προσδιορίζει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του χάλυβα (αντοχή, συγκόλληση, ευαισθησία στη διάβρωση, ολκιμότητα), η μικρή μεταβολή της αναλογίας αυτής οδηγεί στη δημιουργία άλλου είδους χάλυβα. Έτσι, αναφορικά με την περιεκτικότητα σε άνθρακα, που είναι από τα κυριότερα συστατικά του χάλυβα, αυτή ποικίλει από 0,15% έως 1,70%, οι συνήθεις δε δομικοί χάλυβες έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα μεταξύ 0,15% και 0,29%.

Οι κυριότερες φυσικές ιδιότητες του δομικού χάλυβα, με μεγάλη σημασία για τις μεταλλικές κατασκευές, είναι:

- Ο υψηλός συντελεστής θερμικής διαστολής
- Η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα
- Η ελατότητα (δηλαδή η δυνατότητα μορφοποίησης του σε επίπεδα ελάσματα)
- Η ολκιμότητα (δηλαδή η δυνατότητα μορφοποίησης του σε σύρματα).
  Απαιτήσεις Ολκιμότητας:
  1) $f_u / f_y \geq 1,15$
  2) επιμήκυνση στην αστοχία ε_u όχι μικρότερη από 15% για δοκίμιο μήκους $5,65 * \sqrt{(A_0)}$, όπου A_0 είναι η αρχική επιφάνεια της διατομής.
  3) $\varepsilon_u \geq 15\varepsilon_y$, όπου ε_y είναι η παραμόρφωση διαρροής ($\varepsilon_y = f_y / E$)

Οι δύο πρώτες φυσικές ιδιότητες χαρακτηρίζουν και την ευαισθησία του υλικού στις θερμοκρασιακές μεταβολές και τη φωτιά.

Οι κυριότερες μηχανικές ιδιότητες του δομικού χάλυβα, καθοριστικές για τη χρήση του στη δόμηση, είναι:

- Η μεγάλη αντοχή στα διάφορα είδη καταπονήσεων (θλίψη, κάμψη, εφελκυσμός). Χρησιμοποιούνται λεπτές διατομές με μικρό ειδικό βάρος και επιτυγχάνεται οικονομία υλικού και χώρου.
- Το μεγάλο μέτρο ελαστικότητας ($E = 2{,}1 \times 10^5$ MPa)

Σε αυτές οφείλονται οι τόσο υψηλές αντοχές του υλικού, με ανάπτυξη μικρών παραμορφώσεων.

Οι κυριότερες τιμές σχεδιασμού συντελεστών του δομικού χάλυβα, που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς είναι:

- Μέτρο ελαστικότητας: $E = 210000$ MPa ή 21000 kN/cm^2
- Μέτρο διάτμησης: $G = E / [2*(1+\nu)] = 81000$ MPa
- Λόγος Poisson: $\nu = 0{,}3$
- Συντελεστής θερμικής διαστολής: $\alpha = 12*10^{-6}$ (για $T < 1000°C$)

8.2.1. Μηχανική συμπεριφορά δομικού χάλυβα

Τα είδη παραμορφώσεων είναι χωρίζονται σε δύο ομάδες:

- Ελαστική παραμόρφωση
- Πλαστική παραμόρφωση

Ελαστική παραμόρφωση

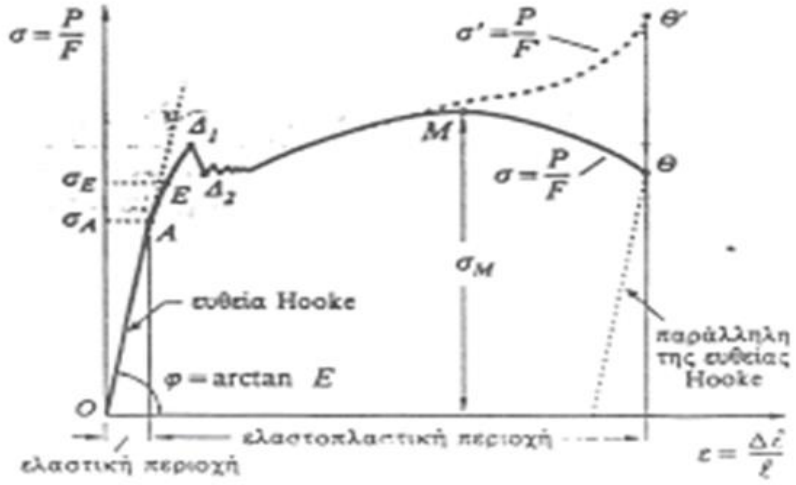
Η ελαστική παραμόρφωση δεν είναι μόνιμη, δηλαδή το σώμα που υπόκειται σε αυτήν επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα, με τον ίδιο τρόπο και ακαριαία, όταν πάψει να ενεργεί η δύναμη που προκάλεσε τη παραμόρφωση. Ο βαθμός κατά τον οποίο παραμορφώνεται μία κατασκευή εξαρτάται από την τάση στην οποία υπόκειται. Για τα περισσότερα μέταλλα όταν υφίστανται εφελκυστικές τάσεις, σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, η τάση και η παραμόρφωση είναι μεγέθη μεταξύ τους ανάλογα.

Πλαστική παραμόρφωση

Για τα περισσότερα μεταλλικά υλικά, η ελαστική περιοχή παραμόρφωσης περιορίζεται μόνο σε τιμές της τάξεως του 0,005. Καθώς το υλικό παραμορφώνεται πέραν αυτού του σημείου, η τάση δεν είναι πλέον ανάλογη της παραμόρφωσης και εμφανίζεται μόνιμη, μη ανακτήσιμη, ή αλλιώς πλαστική παραμόρφωση. Η μετάβαση από την ελαστική στην πλαστική περιοχή είναι βαθμιαία για τα περισσότερα των μετάλλων, ενώ εμφανίζεται και κάποια καμπύλωση με την έναρξη της πλαστικής παραμόρφωσης, που αυξάνει γρηγορότερα με την αύξηση της τάσης.

Από την ατομική πλευρά, η πλαστική παραμόρφωση αντιστοιχεί στο σπάσιμο των δεσμών μεταξύ των αρχικά γειτονικών ατόμων και στον ανασχηματισμό δεσμών μεταξύ νέων γειτόνων, καθώς μεγάλος αριθμός ατόμων ή μορίων κινούνται σε σχέση του ενός ως προς το άλλο. Μετά την αφαίρεση της τάσης, τα άτομα ή μόρια

που μετακινήθηκαν δεν επιστρέφουν στις αρχικές τους θέσεις. Ο μηχανισμός της πλαστικής παραμόρφωσης είναι διαφορετικός στα κρυσταλλικά και στα άμορφα υλικά. Στα κρυσταλλικά στερεά η παραμόρφωση συντελείται μέσω μιας διεργασίας που ονομάζεται ολίσθηση, και εμπλέκει την κίνηση διαταραχών (εξαρθρώσεων). Η πλαστική παραμόρφωση στα μη κρυσταλλικά στερεά (όπως και στα υγρά) εμφανίζεται με τη μορφή μηχανισμού ιξώδους ροής.

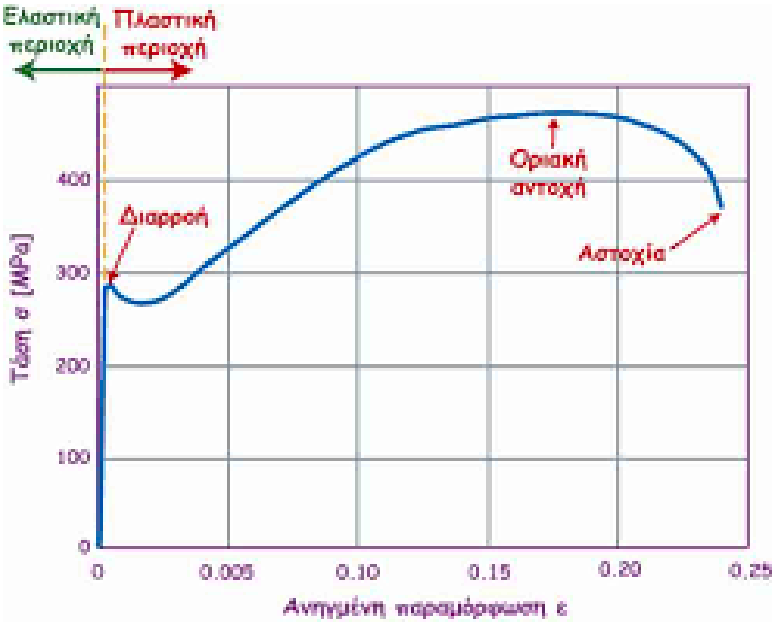


Εικόνα 8:2: *Διάγραμμα Τάσης - Παραμόρφωσης.*

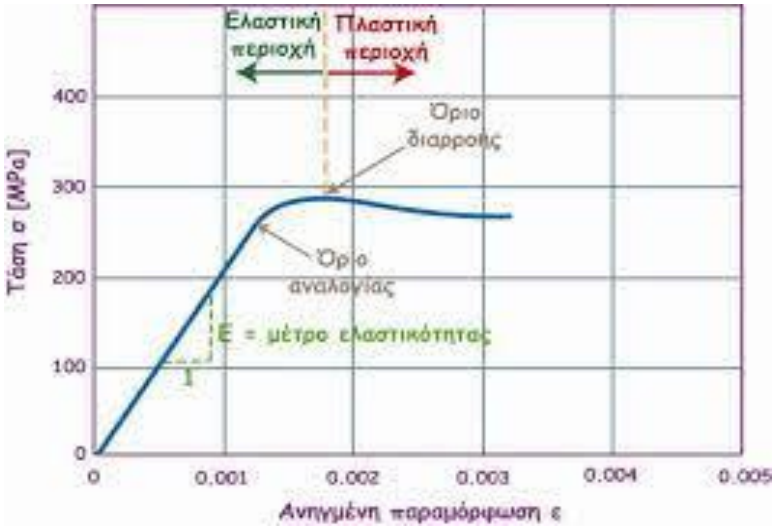
8.2.1.1. Όριο διαρροής

Οι περισσότερες κατασκευές σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζουν ότι θα προκύψουν μόνο ελαστικές παραμορφώσεις κατά την εφαρμογή τάσεων. Μια δομή ή εξάρτημα που παραμορφώνεται κλασικά ή υφίσταται μόνιμη μεταβολή του σχήματος μπορεί να μην είναι ικανό να λειτουργήσει σύμφωνα με τον τρόπο που έχει σχεδιαστεί. Ως εκ τούτου είναι επιθυμητό και αναγκαίο να γνωρίζουμε το επίπεδο της τάσης στο οποίο η πλαστική παραμόρφωση ξεκινά ή το σημείο που εμφανίζεται η διαρροή.

Για τα μέταλλα που παρουσιάζουν τη σταδιακή μετάβαση από την ελαστική στην πλαστική συμπεριφορά το σημείο διαρροής μπορεί να οριστεί ως το αρχικό σημείο απόκλισης από τη γραμμικότητα της καμπύλης τάσης – παραμόρφωσης. Η θέση του σημείου αυτού είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Για να βρεθεί στο διάγραμμα της καμπύλης φέρεται μια ευθεία γραμμή παράλληλα στο ελαστικό τμήμα της καμπύλης τάσης – παραμόρφωσης σε ένα συγκεκριμένο βαθμό παραμόρφωσης, συνήθως 0,002. Η τάση που αντιστοιχεί στη γραμμή αυτή, ορίζεται ως η αντοχή διαρροής και φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 8:3: *Διάγραμμα Τάσης - Παραμόρφωσης.*



Εικόνα 8:4*: Διάγραμμα Τάσης – Παραμόρφωσης εστιασμένο στο 0,002 (όριο διαρροής).*

8.2.2. Κατάταξη χαλύβων

Οι χάλυβες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία τους, την κρυσταλλική τους δομή και την τελική τους χρήση. Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

- Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα. Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:

- χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (C < 0,30%)
- χάλυβες μέτριου άνθρακα (0,30% < C < 0,60%)

- χάλυβες υψηλού άνθρακα (0,60% < C < 1,00%)
- χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (1,00% < C < 2,00%)

- Κραματωμένοι χάλυβες δηλαδή κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα, είναι:

- οι ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β., όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες (0,7% < C < 1,4%, Mn < 0,3%)
- οι ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης, όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες (Cr > 10,5%), οι ταχυχάλυβες (C ~ 0.7%, Cr ~ 4,0%, 5,0% < Mo < 10%, 1,5% < W < 18,0% , 0 % < Co < 8,0%), κ.λπ.

Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- χάλυβες διαμόρφωσης, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.), και
- χυτοχάλυβες, που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων («χελωνών») και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

Τέλος, συχνά αναφέρονται και οι όροι για φερριτικούς, περλιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς χάλυβες κ.λπ., οι οποίοι χωρίζονται ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους.

Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ΕΛΟΤ, ASTM κ.λπ. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας χάλυβα και την αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας χάλυβα σε εφελκυσμό. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 ορίζει ότι ο χάλυβας B500C πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από 500 MPa (500 N/mm^2).

8.3. Μεταλλικές κατασκευές

Ο όρος «μεταλλικές κατασκευές» (ή ακόμη και σιδηρές κατασκευές), έχει επικρατήσει να αναφέρεται κυρίως σε κατασκευές από χάλυβα. Ανάλογα με το είδος της καταπόνησης των μελών τους, αλλά και τη μορφή τους, οι μεταλλικές κατασκευές διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κυρίως κατηγορίες, οι οποίες εμφανίζονται είτε μεμονωμένα, είτε και σε συνδυασμό μεταξύ τους:

- Πλαισιωτές κατασκευές
- Κελυφωτές κατασκευές
- Αναρτημένες κατασκευές

Τα πλεονεκτήματα σε συνδυασμό με την ποιότητα κατασκευής ώθησαν τους μελετητές και τους κατασκευαστές να εισάγουν το δομικό χάλυβα και σε κτίρια άλλων χρήσεων (σήραγγες, ιστοί τηλεπικοινωνιών, πολυώροφα κτίρια, σιλό, σταθμοί διοδίων, βιομηχανικά ράφια, κατοικίες κλπ.). Ο χάλυβας απέκτησε

τρόπους κατεργασίας (έλαση, όλκιση και εφέλκυση) που έδωσαν τις σημερινές μορφές και διάφορες διατομές σχημάτων (λαμαρίνες, κοίλες διατομές, σωλήνες, σύρματα κλπ.).

Όλες αυτές οι μορφές του χάλυβα τυποποιήθηκαν και συστηματοποιήθηκαν ως προς τις διατομές και τα μεγέθη διεθνώς. Επομένως, με τη βελτίωση των τεχνολογικών συνθηκών και την εξέλιξη των κραμάτων αξιοποιούνται περισσότερο οι θετικές ιδιότητες του χάλυβα και γίνεται πιο εξειδικευμένη η χρήση του στις μεταλλικές κατασκευές.



Εικόνα 8:5: *Μεταλλική κατασκευή.*

8.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατασκευών από χάλυβα

Όπως και κάθε υλικό, οι κατασκευές από χάλυβα περιέχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα συνοψίζονται παρακάτω:

- Δυνατότητα επέκτασης και τροποποίησης υφιστάμενων κατασκευών σε μικρό χρονικό διάστημα, λόγω της μεγάλης ποικιλίας διατομών, σχημάτων σύνδεσης μελών και των μεθόδων σύνδεσής τους.
- Μικρές διαστάσεις υποστυλωμάτων, επιτυγχάνοντας ελεύθερο χώρο στην κάτοψη.
- Μείωση των νεκρών φορτίων της κατασκευής.
- Μεγάλος βαθμός βιομηχανικής προκατασκευής, προκαλώντας την ανεξαρτητοποίηση από τις καιρικές συνθήκες, μικρότερους χρόνους κατασκευής, επιτρέπει την ταυτόχρονη προετοιμασία των εργασιών εκσκαφής και θεμελίωσης κ.α.
- Ομοιογένεια του υλικού, αμετάβλητο στο χρόνο, δίνοντας ακρίβεια σε αναλύσεις και ελέγχους αντοχής.
- Ελαστικότητα – ολκιμότητα του χάλυβα: δυνατότητα εκτεταμένης παραμόρφωσης του χάλυβα χωρίς όμως να αστοχεί. Το υλικό χρησιμοποιείται στο έπακρό του και επιτυγχάνονται πρακτικά μεγάλες

αντοχές σε κάμψη, θλίψη, διάτμηση, χρησιμοποιώντας μικρότερες και αισθητικά καλύτερες διατομές. Επίσης, μειώνονται τα μόνιμα φορτία της κατασκευής και υπάρχει κέρδος τόσο σε χώρο όσο και σε ποσότητα υλικού.

- Δυνατότητα υλοποίησης ελαστικού και ανελαστικού σχεδιασμού
- Εύκολος εντοπισμός βλαβών
- Ομαλή εκτέλεση εργασιών αποκατάστασης βλαβών
- Μικρότερες κατασκευαστικές ανοχές
- Είναι εφικτή η αποσυναρμολόγηση της κατασκευής
- Ποικιλία δυνατοτήτων αλλαγής στη διαρρύθμιση των χώρων, προσθηκών, επεκτάσεων, ενισχύσεων για μεγαλύτερα φορτία.
- Ικανότητα του χάλυβα να ανακυκλωθεί.
- Μεγάλο πλήθος διατομών και συνδέσεων που διατίθεται στην αγορά.
- Η εξέλιξη της τεχνολογίας των συνδέσεων.

Παρ‘ όλα αυτά, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω:

- Αυξημένο το κόστος της μελέτης
- Αυξημένο κόστος του υλικού
- Αυξημένο κόστος συντήρησης, κυρίως για πρόληψη της σκουριάς
- Αυξημένο το κόστος πυροπροστασίας
- Αυξημένο το κόστος αντιδιαβρωτικής προστασίας
- Ειδικός υπολογισμός των συνδέσεων
- Απαίτηση εξειδικευμένου εργατοτεχνικού προσωπικού
- Απαίτηση βιομηχανικής εγκατάστασης για την προετοιμασία του υλικού

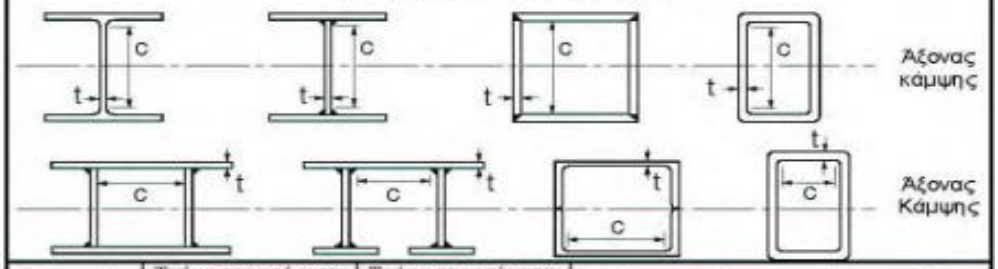
Ωστόσο, βλέποντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μεταλλικών κατασκευών καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως ο μεγάλος αριθμός πλεονεκτημάτων τους, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη τεχνολογιών και μεθοδολογιών για την αντιμετώπιση των διάφορων μειονεκτημάτων τους, τις καθιστά δίκαια την πλέον πιο διαδεδομένη μέθοδο κατασκευών που εφαρμόζεται σήμερα και που σίγουρα θα αναγνωρίσει περαιτέρω ανάπτυξη μελλοντικά.

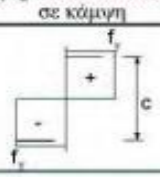
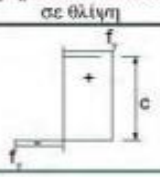
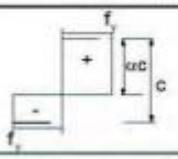
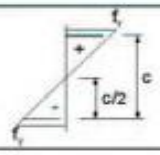
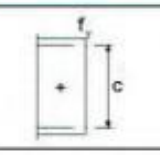
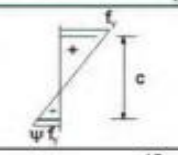
8.5. Κατάταξη διατομών κατά EN 1993

Σημαντικό ρόλο παίζει η κατάταξη των διατομών, διότι έτσι με αυτόν τον τρόπο περιγράφεται ο βαθμός, κατά τον οποίο η αντοχή και ικανότητα στροφής των διατομών περιορίζεται από την αντοχή τους σε τοπικό λυγισμό. Η κατάταξη μιας διατομής εξαρτάται από τη σχέση πλάτους προς το πάχος των τμημάτων της, που υπόκεινται σε θλίψη.

Τα θλιβόμενα τμήματα περιλαμβάνουν κάθε τμήμα μιας διατομής, το οποίο θλίβεται εξ’ ολοκλήρου ή εν μέρει για τον υπό θεώρηση συνδυασμό φορτίων. Τα διάφορα θλιβόμενα τμήματα σε μια διατομή (όπως ο κορμός ή το πέλμα) μπορούν, γενικά, να ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες. Μια διατομή κατατάσσεται σύμφωνα με την υψηλότερη κατηγορία (λιγότερο ευμενή) των θλιβόμενων τμημάτων της.

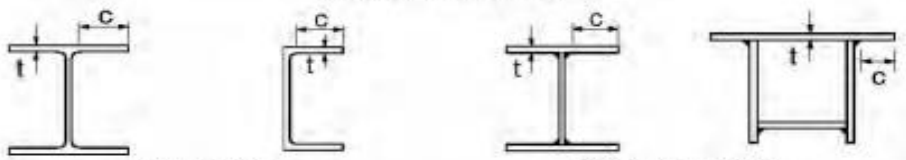
Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα



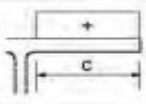
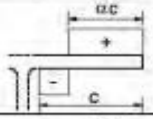
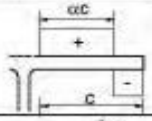
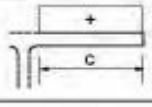
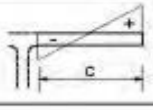
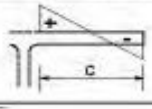
Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
1	$c/t \le 72\varepsilon$	$c/t \le 33\varepsilon$	όταν $\alpha > 0{,}5$: $c/t \le \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \le 0{,}5$: $c/t \le \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \le 83\varepsilon$	$c/t \le 38\varepsilon$	όταν $\alpha > 0{,}5$: $c/t \le \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \le 0{,}5$: $c/t \le \frac{41{,}5\varepsilon}{\alpha}$
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
3	$c/t \le 124\varepsilon$	$c/t \le 42\varepsilon$	όταν $\psi > -1$: $c/t \le \frac{42\varepsilon}{0{,}67 + 0{,}33\psi}$ όταν $\psi \le -1$[1]: $c/t \le 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Προεξέχοντα πέλματα

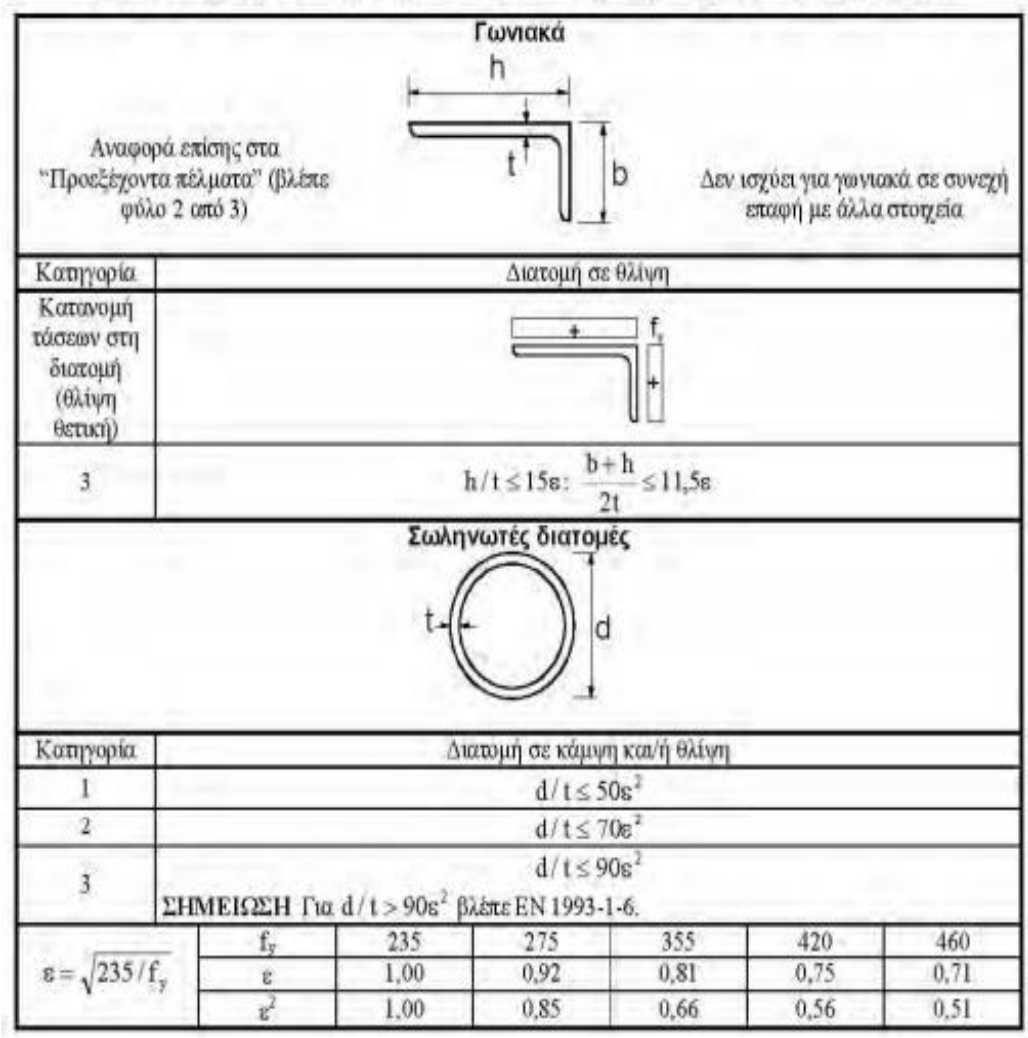


Ελατές διατομές Συγκολλητές διατομές

Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη	
		Άκρο σε θλίψη	Άκρο σε εφελκυσμό
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
1	$c/t \le 9\varepsilon$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \le 10\varepsilon$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)			
3	$c/t \le 14\varepsilon$	$c/t \le 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Για k_σ βλέπε ΕΝ 1993-1-5	

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Πίνακας 10: Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα τμήματα.



Γωνιακά

Αναφορά επίσης στα "Προεξέχοντα πέλματα" (βλέπε φύλο 2 από 3)

Δεν ισχύει για γωνιακά σε συνεχή επαφή με άλλα στοιχεία

Κατηγορία	Διατομή σε θλίψη
Κατανομή τάσεων στη διατομή (θλίψη θετική)	
3	$h/t \le 15\varepsilon$: $\frac{b+h}{2t} \le 11{,}5\varepsilon$

Σωληνωτές διατομές

Κατηγορία	Διατομή σε κάμψη και/ή θλίψη
1	$d/t \le 50\varepsilon^2$
2	$d/t \le 70\varepsilon^2$
3	$d/t \le 90\varepsilon^2$

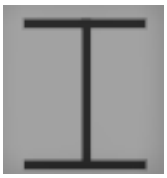
ΣΗΜΕΙΩΣΗ Για $d/t > 90\varepsilon^2$ βλέπε EN 1993-1-6.

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$

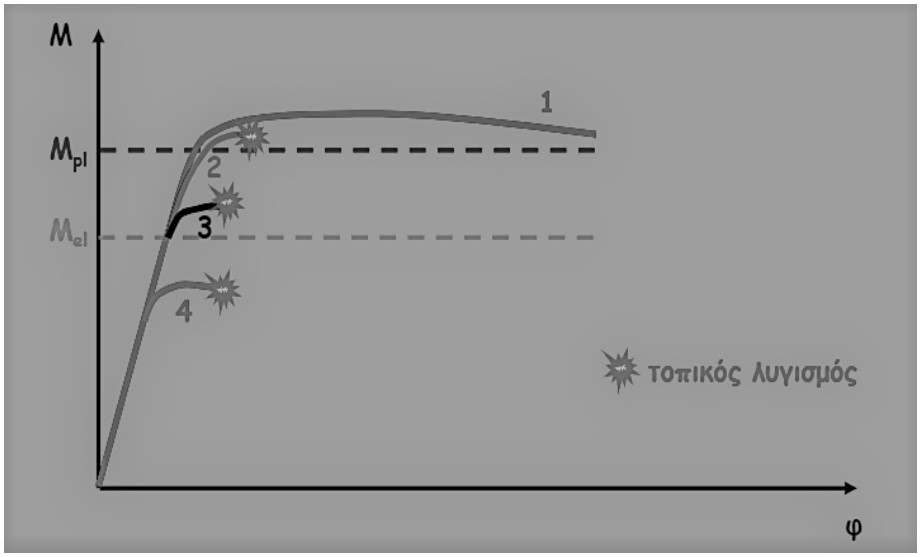
f_y	235	275	355	420	460
ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Πίνακας 11: *Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα τμήματα.*

Κατηγορία διατομής	**Μορφή**	**Περιγραφή**
1		Μπορούν να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση με την απαιτούμενη από την πλαστική ανάλυση δυνατότητα στροφής χωρίς μείωση της αντοχής τους.
2		Μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική ροπή αντοχής τους, αλλά έχουν περιορισμένη δυνατότητα στροφής λόγω τοπικού λυγισμού.

3		Η τάση στην ακραία θλιβόμενη ίνα του χαλύβδινου μέλους μπορεί να φθάσει την αντοχή διαρροής, αλλά συμβαίνει τοπικός λυγισμός πριν την ανάπτυξη της πλαστικής ροπής αντοχής.
4		Συμβαίνει τοπικός λυγισμός πριν την ανάπτυξη της τάσης διαρροής.

Πίνακας 12: *Κατηγορίες διατομών.*



Εικόνα 8:6*: Τοπικός λυγισμός κάθε κατηγορίας διατομής από τον παραπάνω πίνακα.*

Άλλες συνήθεις τυποποιημένες χαλύβδινες διατομές είναι:

- Διατομή Η ή διπλού Τ
- Απλό Τ
- Διατομή Π
- Κοίλη διατομή
- Κυκλική διατομή
- Ορθογωνική διατομή
- Τετραγωνική κοίλη διατομή

8.5.1. Απαιτούμενοι έλεγχοι σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3

Ο έλεγχος των διατομών ξεκινά από την κατάταξή τους σε κατηγορίες. Ο ρόλος της κατάταξης των διατομών σε τέσσερις κατηγορίες, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3, είναι να αναγνωρίσει την έκταση στην οποία η αντοχή και η ικανότητα στροφής των διατομών περιορίζεται από την αντοχή τους σε τοπικό λυγισμό.

Η κατάταξη μιας συγκεκριμένης διατομής εξαρτάται από το λόγο πλάτους προς το πάχος του καθενός από τα θλιβόμενα πλακοειδή στοιχεία της διατομής, λόγω αξονικής δύναμης ή/και καμπτικής ροπής. Επομένως, η κατηγορία στην οποία ανήκει μία διατομή εξαρτάται τόσο από τη γεωμετρία της, όσο και από τον τύπο της φόρτισης που επιβάλλεται σε αυτή.

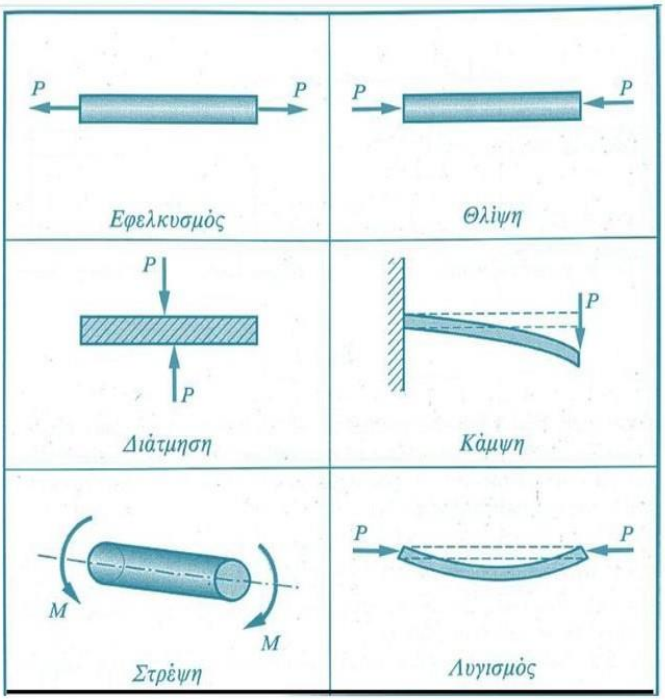
Ο απαιτούμενος έλεγχος γίνεται ανάλογα το εξεταζόμενο μέλος (από δομικό χάλυβα) και σε γενικές γραμμές ισχύει ότι:

- Οι δοκοί και οι διαδοκίδες ελέγχονται σε τέμνουσα, κάμψη και θλίψη.
- Τα υποστυλώματα ελέγχονται σε τέμνουσα, διαξονική κάμψη και θλίψη.
- Οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι ελέγχονται έναντι λυγισμού και μονοαξονικού εφελκυσμού.

8.5.1.1. Ανάλυση ειδών καταπόνησης

Κάθε καταπόνηση που μπορεί να αναπτυχθεί, εντάσσεται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Εφελκυσμός**: όταν επενεργούν δύο δυνάμεις ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς, οι οποίες τείνουν να το διασπάσουν.
- **Θλίψη:** όταν επενεργούν δύο δυνάμεις ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς, οι οποίες τείνουν να το συνθλίψουν.
- **Διάτμηση**: όταν επενεργούν δύο δυνάμεις ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς, κάθετες στον άξονα, οι οποίες τείνουν να το τμήσουν.
- **Κάμψη**: όταν η δύναμη ενεργεί κάθετα στον άξονα της δοκού, τότε αναπτύσσονται ροπές κάμψης και προκαλείται καμπύλωση της δοκού.
- **Στρέψη**: όταν οι δυνάμεις αποτελούν ζεύγος με επίπεδο κάθετο στον άξονα του σώματος, το οποίο τείνουν να περιστρέψουν.
- **Λυγισμός:** είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένας φορέας που φορτίζεται σε θλίψη χάνει την ευστάθειά του και εμφανίζει σημαντικές μετατοπίσεις στην εγκάρσια κατά τη φόρτισή του διεύθυνση.



Εικόνα 8:7: *Οι παραπάνω εικόνες παρουσιάζουν τα είδη καταπόνησης, που περιεγράφηκαν παραπάνω.*

8.5.2. Οριακές καταστάσεις αστοχίας

Γενικά οι καταστάσεις αυτές αποτελούν αντικείμενο του Κεφαλαίου 6 στο Μέρος 1.1. του Ευρωκώδικα 3. Για όλους τους τύπους καταπονήσεων και τους συνδυασμούς τους καθορίζονται οι αντοχές σχεδιασμού τόσο της διατομής του εξεταζόμενου μέλους όσο και του μέλους ολόκληρου. Για ορισμένες καταπονήσεις κρίσιμος είναι ο έλεγχος της διατομής (π.χ. εφελκυσμός), ενώ για άλλες του μέλους (π.χ. θλίψη).

Οι οριακές καταστάσεις διακρίνονται σε:

- Οριακές καταστάσεις σχεδιασμού
- Οριακές καταστάσεις αστοχίας
- Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

Συντελεστές μεθόδου οριακών καταστάσεων Ευρωκώδικα 3

1. $\gamma M_1 = 1,0$, η τιμή αυτή χρησιμοποιείται στις αντιστάσεις οι οποίες σχετίζονται με την τάση διαρροής του χάλυβα f_y.
2. $\gamma M_2 = 1,25$, η τιμή αυτή αφορά στις αντιστάσεις οι οποίες σχετίζονται με την οριακή εφελκυστική αντοχή f_u.

Για ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται επίσης και οι

3. συντελεστές ασφαλείας $\gamma M_0 = 1,0$

8.5.3. Εξασφάλιση ανθεκτικότητας και συνθήκες ασφάλειας

Για την εξασφάλιση ανθεκτικότητας λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω:

- Η χρήση που θα έχει η κατασκευή
- Οι ιδιότητες και η συμπεριφορά του υλικού
- Η σύνθεση
- Τα κριτήρια συμπεριφοράς
- Οι αναμενόμενες συνθήκες περιβάλλοντος
- Οι τύποι των διατομών στα δομικά στοιχεία και οι τύποι συνδέσεων
- Η ποιότητα κατασκευής
- Ο ποιοτικός έλεγχος κατά την παράδοση της κατασκευή
- Τα μέτρα προστασίας για να αποφευχθεί η ταχύτερη αλλοίωση στην ποιότητα της κατασκευής
- Η αλληλοεπίδραση όλων των παραπάνω

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω πρέπει να ισχύουν και οι παρακάτω συνθήκες:

$$E_{d,stb} \geq E_{d,dst}\,, \quad R_d \geq S_d \quad \text{και} \quad C_d \geq E_d$$

Η πρώτη συνθήκη $E_{d,stb} \geq E_{d,dst}$,έχει να κάνει με την στατική ισορροπία, τις μετατοπίσεις ή τις παραμορφώσεις της μεταλλικής κατασκευής.

Η δεύτερη συνθήκη $R_d \geq S_d$, σχετίζεται με τη θραύση ή την υπερβολική παραμόρφωση διατομής, μέλους ή σύνδεσης.

Η τρίτη συνθήκη $C_d \geq E_d$, αφορά την επίδραση των δράσεων και πρέπει να ικανοποιεί τη παραπάνω ανισότητα.

Συνδυασμοί δράσεων

Προκειμένου να ελεγχθεί η επάρκεια μιας κατασκευής στις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας, εφαρμόζονται οι τύποι των συνδυασμών δράσεων όπως ορίζει το Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 1. Στους συνδυασμούς αυτούς δεν συνυπολογίζονται δράσεις οι οποίες δεν είναι δυνατόν να εμφανιστούν ταυτόχρονα.

Συνδυασμοί στην οριακή κατάσταση αστοχίας

Οι συνδυασμοί σχεδιασμού για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση αστοχίας είναι οι ακόλουθοι:

- Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές:

$\Sigma\gamma_{Gj} * G_{kj} + \gamma_p * P_k + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \Sigma\gamma_{Qi} * \psi_{0i} * Q_{ki}$

- Για τυχηματικές καταστάσεις:

$\Sigma\gamma_{GAj} * G_{kj} + \gamma_{pA} * P_k + A_d + \psi_{11} * Q_{k1} + \Sigma_{\psi 1i} * Q_{ki}$

- Για καταστάσεις σεισμού: $\Sigma G_{kj} + P_k + \gamma_1 * A_{Ed} + \Sigma\psi_{2i} * Q_{ki}$

Συνδυασμοί στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Οι συνδυασμοί σχεδιασμού για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι οι ακόλουθοι:

- Χαρακτηριστικός (σπάνιος) συνδυασμός – Μη αναστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

- Συχνός συνδυασμός – Αναστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

- Ημιμόνιμος συνδυασμός – Αναστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Όπου,

+ : σημαίνει « επαλληλία με »
G_{kj} : είναι η χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων δράσεων
P_k : είναι η χαρακτηριστική τιμή της προέντασης
Q_{ki} : είναι η χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής δράσης i
A_d : είναι η τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης
A_{Ed} : είναι η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης
γ_{Gj} , γ_{GAj} : είναι οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τη μόνιμη δράση j
γ_P , γ_{PA} : είναι οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για την προένταση
γ_{Qi} : είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη μεταβλητή δράση i
γ_I : είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας (βλ. EC8)
ψ_{0i} , ψ_{1i} , ψ_{2i} : είναι συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων

Συντελεστές ασφάλειας γ

Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθούν υπόψη πιθανές δυσμενείς αποκλίσεις ή πιθανή μη ακριβής προσομοίωση των δράσεων, καθώς και αβεβαιότητες στον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων των δράσεων.

	Οριακές καταστάσεις αστοχίας		**Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας**	
	Δυσμενής επίδραση	Ευμενής επίδραση	Δυσμενής επίδραση	Ευμενής επίδραση
γ_G	1,35	1,00	1,00	1,00
γ_Q	1,50	0,00	1,00	0,00

Πίνακας 13: *Συντελεστές ασφαλείας για οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας.*

Οι τιμές των συντελεστών αυτών για την περίπτωση ελέγχου αστοχίας είναι:

- Καταστάσεις διαρκείας και παροδικές

για μόνιμες δράσεις:

$\gamma_{Gsup} = 1,35$ (δυσμενής επιρροή - χωρίς σεισμό)

$\gamma_{Ginf} = 1,00$ (ευμενής επιρροή - με σεισμό)

για μεταβλητές δράσεις: $\gamma_Q = 1,50$ (δυσμενής επιρροή - χωρίς σεισμό)

- Καταστάσεις τυχηματικές, γενικώς $\gamma_A = 1,00$ (ευμενής επιρροή- με σεισμό)

Ως δυσμενής επιρροή των μόνιμων δράσεων χαρακτηρίζεται η περίπτωση κατά την οποία τα αποτελέσματα των μονίμων δράσεων αυξάνουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα των μεταβλητών. Όταν τα αποτελέσματα των μονίμων δράσεων μειώνουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα των μεταβλητών (ευμενής επιρροή), αύξηση των μονίμων δράσεων με κάποιο επιμέρους συντελεστή δρα τελικά κατά της ασφαλείας. Γι' αυτό στην περίπτωση αυτή ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας είναι μονάδα, δηλαδή έχουμε τη δράση του μόνιμου φορτίου χωρίς κάποια προσαύξηση.

Αντοχή διατομών

Η αντοχή μιας διατομής σε κάμψη συνδέεται με την κατάταξη της διατομής σε κατηγορίες ανάλογα με το σχετικό πάχος των μελών της (κορμός, πέλματα), δηλαδή με την αποφυγή τοπικού λυγισμού.

Η πλαστική αντοχή σε τέμνουσα συνδέεται με την επιφάνεια διάτμησης, που ορίζεται κατά είδος διατομής υπό την προϋπόθεση ότι ο κορμός είναι επαρκώς παχύς, ώστε να μην υπάρχει ενδεχόμενο διατμητικού λυγισμού.

Για σχετικά μεγάλες τέμνουσες δυνάμεις, που συνυπάρχουν σε διατομές με κάμψη, η αντοχή σε κάμψη μειώνεται. Για κάμψη μελών από διπλά ταυ περί τον ασθενή άξονα αδρανείας η κατανομή των διατμητικών τάσεων μπορεί να γίνεται στα δύο ορθογωνικής διατομής πέλματα.

Για μέλη που υπόκεινται σε στρέψη, η ολική στρεπτική ροπή σε κάθε διατομή θεωρείται ως το άθροισμα δύο εσωτερικών ροπών, εκείνης που προκαλεί ομοιόμορφη στρέψη κατά Saint Venant και εκείνης που προκαλεί στρέβλωση. Οι ροπές αυτές μπορεί να προσδιορίζονται με ελαστική ανάλυση. Για σύνθετη καταπόνηση μπορεί να χρησιμοποιείται το κριτήριο ισοδυναμίας Von Mises. Ως απλούστευση, στην περίπτωση ενός μέλους με κλειστή διατομή (π.χ. κοιλοδοκός) επιτρέπεται να υποτεθεί ότι τα αποτελέσματα λόγω στρέβλωσης μπορεί να αγνοηθούν.

Επίσης στην περίπτωση ενός μέλους με ανοικτή διατομή (π.χ. Η) μπορεί να υποτεθεί ότι οι επιδράσεις της στρέψης κατά Saint Venant αγνοούνται. Για

περίπτωση συνύπαρξης διατμητικών τάσεων από στρέψη και διάτμηση δίδονται επίσης πλαστικές σχέσεις αλληλεπίδρασης.

Αντοχή μελών

Η αντοχή μέλους σε θλίψη (λυγισμός) προσδιορίζεται ως ποσοστό χ της αντοχής διαρροής (εμβαδόν διατομής επί τάση διαρροής διά του επί μέρους συντελεστή ασφαλείας υλικού). Το ποσοστό αυτό ορίζεται μέσω πέντε καμπυλών λυγισμού στις οποίες γίνεται παραπομπή κατά περίπτωση διατομής λαμβανομένης υπόψη της επιρροής των παραμενουσών τάσεων, της αρχικής καμπυλότητας του μέλους και της επιρροής του πάχους των ελασμάτων επί της τιμής της τάσεως διαρροής.

Μέλη που υπόκεινται σε συνδυασμένη καμπτική καταπόνηση και αξονική θλίψη μπορεί, πέραν της αστοχίας διατομής ή του τοπικού λυγισμού, να αστοχήσουν μέσω καμπτικού ή μέσω στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. Πρόκειται για δύο διαφορετικές μορφές αστοχίας. Στον κανονισμό δίδονται, για τον έλεγχο αντοχής των μελών, σχέσεις αλληλεπίδρασης των εντατικών μεγεθών (αξονική θλιπτική δύναμη, καμπτικές ροπές ως προς τους δύο κύριους άξονες) που καλύπτουν και τους δύο τύπους αστοχίας. Οι σχέσεις αυτές έχουν διαμορφωθεί με υπόθεση απλών στρεπτικών στηρίξεων στα άκρα και για μέλη σταθερής διατομής διπλής συμμετρίας.

Ο κανονισμός δίνει επίσης το πλαίσιο για τον έλεγχο της ευστάθειας σε μία συνθετότερη κατασκευή ή μία γενικότερη περίπτωση (σύνθετες διατομές, μέλη με μεταβαλλόμενη διατομή, μέλη με σύνθετες συνθήκες στήριξης, επίπεδα πλαίσια) σε καταπονήσεις από θλίψη και μονό-αξονική κάμψη.

Οι απαιτήσεις για τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας καλύπτονται από το EN 1990. Στο κεφάλαιο 7 του EC3 γίνεται αναφορά στα σχετικά κεφάλαια ή τα Παραρτήματα του EN 1990.

Έλεγχος αντοχής καμπτόμενης διατομής κατά ΕΚ3

Για διατομές κατηγορίας 1 ή 2:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad , \quad M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

Για διατομές κατηγορίας 3:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

Για διατομές κατηγορίας 4:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

Έλεγχος αντοχής σε τέμνουσα κατά ΕΚ3

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad , \quad V_{pl,\,Rd} = \frac{Av * (\frac{f_y}{\sqrt{3}})}{\gamma_{M0}}$$

Διατάξεις Ευρωκώδικα 3 για έλεγχο διατομών υπό κάμψη και εφελκυσμό

Όπου υπάρχει αξονική δύναμη, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη για την επίδρασή της στην πλαστική ροπή αντοχής. Για διατομές κατηγορίας 1 και 2, πρέπει να ικανοποιείται το κριτήριο $M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$, όπου $M_{N,Rd}$ είναι η πλαστική ροπή αντοχής μειωμένη λόγω της αξονικής δύναμης $N_{Ed.}$ Για διατομές διπλής συμμετρίας Ι δεν χρειάζεται να γίνει πρόβλεψη για την επίδραση της αξονικής δύναμης στην πλαστική ροπή αντοχής περί τον άξονα y-y όταν ικανοποιούνται και τα δύο παρακάτω κριτήρια:

$$N_{Ed} \leq 0{,}25\, N_{pl,Rd} \quad , \quad N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}}$$

Διατάξεις ΕΚ3 για έλεγχο στρέψης

Η ολική στρεπτική ροπή T_{Ed} σε κάθε διατομή πρέπει να θεωρείται ως το άθροισμα δύο εσωτερικών ροπών:

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed}$$

Όπου,

$T_{t,Ed}$: η εσωτερική ροπή στρέψης κατά Saint Venant

$T_{w,Ed}$: είναι η εσωτερική ροπή στρέψης λόγω στρέβλωσης.

Οι τιμές των $T_{t,Ed}$ και $T_{w,Ed}$ σε κάθε διατομή μπορούν να καθορίζονται από το T_{Ed} με ελαστική ανάλυση, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες διατομής του μέλους, τις συνθήκες στήριξης και την κατανομή των δράσεων κατά μήκος του μέλους.

8.5.4. Αρχές σχεδιασμού μεταλλικών μηχανολογικών κατασκευών

Για το σχεδιασμό μιας κατασκευής είναι απαραίτητο να υπολογιστούν δύο ειδών μεγέθη:

1) Τα αποτελέσματα των φορτίσεων

2) Οι επιτρεπόμενες οριακές τιμές αυτών (αντοχές, επιτρεπόμενα βέλη κλπ.)

Και αφότου βρεθούν, μετά πρέπει να γίνει σύγκριση ώστε να ικανοποιείται η βασική ανίσωση σχεδιασμού, δηλαδή:

Εμφανιζόμενο αποτέλεσμα λόγω φορτίσεων	≤	Επιτρεπόμενη οριακή τιμή για αποφυγή αστοχίας

Όπου το πρώτο μέλος της ανίσωσης περιλαμβάνει τα εξής ροπή, αξονική, τέμνουσα, βέλος κάμψης κ.λπ. Ενώ το δεύτερος μέλος περιέχει αντοχή σε ροπή, αντοχή σε τέμνουσα, αντοχή σε λυγισμό, επιτρεπόμενο βέλος κάμψης κ.α.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι αντοχές εξαρτώνται από την γεωμετρία και τις διαστάσεις της κατασκευής και από τα υλικά που θα επιλεχθούν και θα χρησιμοποιηθούν, όπου κατά τη διάρκεια της μελέτης είναι γνωστά, κατά κάποιο ποσοστό. Ενώ, τα αποτελέσματα των φορτίσεων εξαρτώνται από τη γεωμετρία της κατασκευής, τα ίδια τα φορτία και από τις συνθήκες στήριξης. Όσον αφορά τα ίδια τα φορτία γίνονται υποθέσεις κατά τον χρόνο της μελέτης.

Καθ’ όλη τη διάρκεια μελέτης και σχεδιασμού μιας μηχανολογικής κατασκευής προκύπτουν προβλήματα, όπως:

1) Η κατασκευή να είναι ασφαλής για τα αναμενόμενα μέγιστα φορτία.
2) Η κατασκευή να είναι λειτουργική για τα αναμενόμενα συνήθη φορτία.
3) Η κατασκευή να είναι οικονομική.

Αυτά τα προβλήματα τίθενται ως στόχοι για την σωστή και ομαλή κατασκευή νέων μηχανολογικών έργων, όπου κάθε στόχος περιέχει τις δικές του απαιτήσεις. Ο 1ος στόχος θέτει να μην αστοχήσουν τα μέλη της ή ως σύνολο, να μην ανατραπεί και να μην αστοχήσει το έδαφος.



Εικόνα 8:8: *Παραδείγματα αστοχιών: 1. ανατροπή γέφυρας, 2. αστοχία μελών, 3. αστοχία εδάφους.*

Ο 2ος στόχος θέτει να μην ταλαντώνεται υπερβολικά η κατασκευή, να μην εμφανίζει μεγάλες μετακινήσεις και να μην παθαίνει εύκολα βλάβες, όπως ρωγμές, σπασίματα κλπ.

Επομένως, ο 1ος στόχος έχει να κάνει με τα φορτία αστοχίας και ο 2ος με τα φορτία λειτουργικότητας.

Τα φορτία χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

- **τα μόνιμα (g):** όσα παραμένουν αμετάβλητα στον χρόνο, όπως το ίδιο βάρος, οι διαφορικές καθιζήσεις του εδάφους, εξοπλισμός μόνιμα συνδεδεμένος με την κατασκευή.
- **τα μεταβλητά (q):** όσα αναμένεται να εμφανιστούν κατά τη χρήση της κατασκευής αλλά μεταβάλλονται με το χρόνο, όπως άνεμος, χιόνι, φορτία ορόφων κ.α.
- **τα σεισμικά (e):** οφείλονται σε σεισμό.
- **τα τυχηματικά (a):** οφείλονται σε έκτακτα περιστατικά, όπως έκρηξη, σύγκρουση οχήματος κ.α.

Τα φορτία πολλαπλασιάζονται με συντελεστές, ανάλογα με την αβεβαιότητα που παρουσιάζουν στον υπολογισμό τους. Οι συντελεστές, αυτοί, ονομάζονται συντελεστές ασφάλειας φορτίων ή δράσεων και συμβολίζονται με το γράμμα γ (όπου $\gamma \geq 1$).

Ειδικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια σχεδιασμού ενός κτηρίου

Γενικά, πρέπει να υπάρχει μία ακολουθία βημάτων για τη σχεδίαση ενός κτηρίου όπως να καθοριστούν οι στόχοι κατασκευής, να επιλεγεί η μορφή του κτηρίου, οι υπολογισμοί να είναι ακριβείς και τέλος να σχεδιαστεί το κτήριο. Ειδικότερα, απαιτούνται τα παρακάτω:

1. Πρόβλεψη για επιπλέον βάρη στο κτήριο
2. Σωστά τοποθετημένα ανοίγματα
3. Επαρκής φωτισμός
4. Σωστός αερισμός
5. Κατάλληλη στεγάνωση στο εσωτερικό
6. Σωστή τοποθέτηση χαλύβδινων στοιχείων
7. Πρόβλεψη για επέκταση ή αλλαγή χρήσης της κατασκευής
8. Ευχρηστία
9. Υψηλή αισθητική

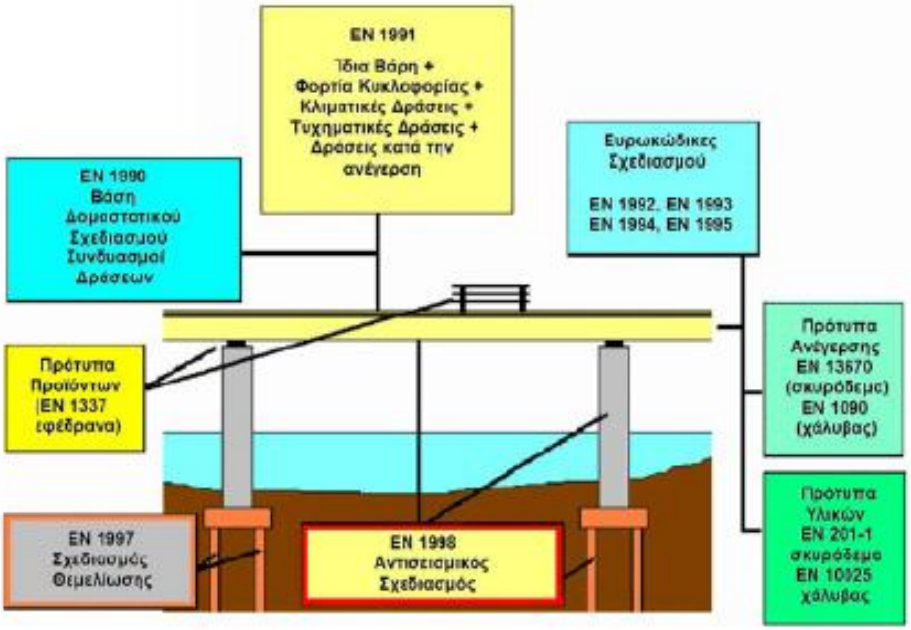
Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι ο προϋπολογισμός της κατασκευής αποτελεί ένα βασικό μέρος ενός έργου, κυρίως του κόστους ανέγερσης κατασκευής και του κόστους συντήρησης.

8.6. Γέφυρες και φορτία

Ένας από τους βασικότερους στόχους κατά τη διάρκεια μελέτης και σχεδιασμού μια γέφυρας είναι η αντίληψη των φορτίων και των δυνάμεων μου δρουν στην κατασκευή, πως κατανέμονται και πως θα πρέπει να εφαρμοστούν στα διάφορα

μέρη της γέφυρας. Γενικά μπορεί κανείς να αναφερθεί σε μόνιμα φορτία, κινητά φορτία, δυναμικές επιρροές των κινητών φορτίων, φορτία ανέμου καθώς και σε άλλες δυνάμεις όπως διαμήκεις, φυγόκεντρες, θερμικές, ωθήσεις γαιών, άνωση, τάσεις λόγω συστολών-διαστολών, τάσεις κατά την ανέγερση κλπ. και φυσικά σε σεισμικά φορτία.

Η φιλοσοφία σχεδιασμού των γεφυρών με βάση τους Ευρωκώδικες μπορεί να παρατηρηθεί από τον παρακάτω διάγραμμα:



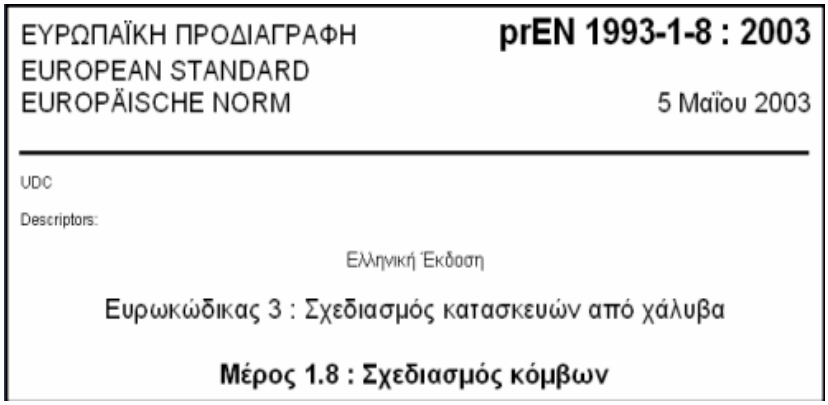
Εικόνα 8:9: *Σχεδιασμός γεφυρών με βάση τους Ευρωκώδικες.*

Στο παραπάνω σχεδιάγραμμα φαίνεται ο συνδυασμός των Ευρωκωδίκων 1, 2, 3, 4, 5, 7 και 8 για την ανάλυση και τον σχεδιασμό μιας γέφυρας, καθώς κάθε κανόνας παρέχει περαιτέρω σχετικές πληροφορίες.

Ο EN 1991: Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές, είναι εκείνος που κατεξοχήν δεσπόζει σε ότι αφορά Κανόνες για φορτία γεφυρών. Ενώ ο EN 1993-2 δίνει μια γενική βάση για τη δομική σχεδίαση χαλύβδινων γεφυρών και χαλύβδινων τμημάτων σύνθετων γεφυρών. Παρέχει διατάξεις που συμπληρώνουν, τροποποιούν ή αντικαθιστούν τις ισοδύναμες διατάξεις που δίνονται στα διάφορα μέρη του EN 1993-1. Αυτό το πρότυπο αφορά μόνο την αντοχή, τη λειτουργικότητα και την ανθεκτικότητα των κατασκευών γεφυρών.

8.7. Συνδέσεις

Υπάρχει ένα μέρος του Ευρωκώδικα 3, το οποίο είναι αφιερωμένο ειδικά στις συνδέσεις. Ο ρόλος των συνδέσεων στις μεταλλικές κατασκευές περιλαμβάνει τη σύνδεση των μελών κατασκευής μεταξύ τους και την ασφαλή μεταφορά εντατικών μεγεθών από μέλος σε μέλος και τελικά στο έδαφος. Είναι απαραίτητα η ασφάλεια, η κατασκευασιμότητα και η συνέπεια με υπολογιστική προσομοίωση.


ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ
EUROPEAN STANDARD
EUROPÄISCHE NORM

prEN 1993-1-8 : 2003

5 Μαΐου 2003

UDC

Descriptors:

Ελληνική Έκδοση

Ευρωκώδικας 3 : Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα

Μέρος 1.8 : Σχεδιασμός κόμβων

Εικόνα 8:10*: Μέρος 1.8 Ευρωκώδικα 3 - Συνδέσεις.*

Παρακάτω, θα αναφερθούν οι τύποι των συνδέσεων και θα αναλυθούν περαιτέρω.

Οι τύποι των συνδέσεων είναι οι:

- Κοχλιώσεις, κυρίως εργοταξιακή σύνδεση

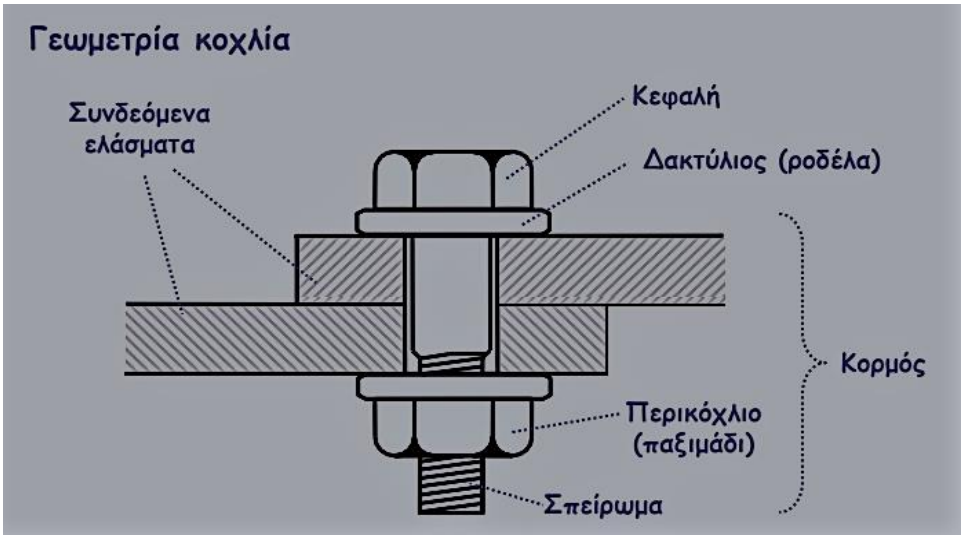


- Συγκολλήσεις, κυρίως εργοστασιακή σύνδεση



8.7.1. Κοχλίες

Ο κοχλίας είναι το στοιχείο που χρησιμοποιείται στη μηχανολογία περισσότερο από όλα τα άλλα και κατά τον πιο πολύπλευρο τρόπο. Κατασκευάζεται αι τυποποιείται σε μεγάλη ποικιλία μορφών. Ανάλογα με το είδος της χρησιμοποίησής τους διακρίνουμε σε κοχλίες σύσφιγξης, κίνησης, ρύθμισης, μέτρησης, στεγανοποίησης κ.α.



Εικόνα 8:11: Μέρη ενός κοχλία.

Στον Ευρωκώδικα 3 προδιαγράφονται πέντε κατηγορίες υλικών για κοχλίες:

	4,6	**5,6**	**6,8**	**8,8**	**10,9**
f_y (MPa)	240	300	480	640	900
f_u (MPa)	400	500	600	800	1000

Όπου, μάλιστα, οι δύο τελευταίες κατηγορίες είναι υψηλής αντοχής.

Τύποι κοχλιώσεων

- Κατηγορία A: κοχλιώσεις σύνθλιψης άντυγας, απλοί κοχλίες που η δύναμη μεταφέρεται μέσω επαφής του κορμού του κοχλία με την άντυγα της οπής.
- Κατηγορία B: Κοχλιώσεις ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.
- Κατηγορία C: Κοχλιώσεις ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας.
- Κατηγορία D: απλοί κοχλίες, δεν προσφέρονται για περιπτώσεις έντονης εναλλαγής φορτίου.
- Κατηγορία E: προεντεταμένοι κοχλίες, μόνο ποιότητας 8,8 και 10,9.

Στις κατηγορίες B και C οι κοχλίες είναι προεντεταμένοι και η δύναμη μεταφέρεται μέσω τριβής μεταξύ των ελασμάτων που εξασφαλίζεται λόγω προέντασης του

κοχλία. Σε αυτές τις κατηγορίες χρησιμοποιούνται μόνο υλικά 8,8 και 10,9 (από τον παραπάνω πίνακα).

Οριακή κατάσταση αστοχίας κατηγορίας A:

1. Διάτμηση κορμού: $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$
2. Σύνθλιψη άντυγας οπών: $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας κατηγορίας B:

1. Ολίσθηση ελασμάτων: $F_{v,Ed,\ ser} \leq F_{b,Rd,\ ser}$

Οριακή κατάσταση αστοχίας κατηγορίας B:

2. Διάτμηση κορμού: $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$
3. Σύνθλιψη άντυγας οπών: $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$

Οριακή κατάσταση αστοχίας κατηγορίας C:

1. Ολίσθηση ελασμάτων: $F_{v,Ed,\ ser} \leq F_{b,Rd,\ ser}$
2. Σύνθλιψη άντυγας οπών: $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$

Οριακή κατάσταση αστοχίας κατηγορίας D:

1. Εφελκυσμός κορμού $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$
2. Διάτρηση ελάσματος $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$

Οριακή κατάσταση αστοχίας κατηγορίας E:

1. Εφελκυσμός κορμού $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$
2. Διάτρηση ελάσματος $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$

8.7.2. Συγκολλήσεις

Η συγκόλληση ορίζεται η σύνδεση υλικών, συνήθως σε πλαστική ή ρευστή κατάσταση, με τη βοήθεια θερμότητας ή πίεσης ή και των δύο. Οι συγκολλήσεις χρησιμοποιούνται σε διάφορες μηχανολογικές κατασκευές, κυρίως όταν πρόκειται για μεμονωμένη κατασκευή ή για μικρό αριθμό τεμαχίων. Χρησιμοποιούνται ακόμα για επισκευές τεμαχίων, για επικαλύψεις, θωράκιση φθαρμένων και μη επιφανειών κ.α.

Πλεονεκτήματα

- Οι κατασκευές με συγκόλληση είναι ελαφρότερες και φθηνότερες από τις χλιωτές ή ηλωτές.
- Δεν υπάρχει εξασθένηση του υλικού από τις οπές για τους ήλους ή κοχλίες.
- Σημαντική οικονομία υλικού έναντι χυτών ή σφυρήλατων τεμαχίων.

- Δεν υπάρχουν επικαλύψεις των ελασμάτων οπότε προκύπτουν λείες επιφάνειες, μικρότερος κίνδυνος οξείδωσης, ευκολότερος καθαρισμός, καλύτερη εμφάνιση.
- Μικρότερος χρόνος παράδοσης, λόγω έλλειψης χύτευσης, και οικονομικότερη κατασκευή όταν πρόκειται για μικρό αριθμό τεμαχίων.

Μειονεκτήματα

- Δυνατότητα σύνδεσης μόνο όμοιων υλικών.
- Κίνδυνος στρέβλωσης των τεμαχίων, επιβλαβής μεταβολή του ιστού και εμφάνιση εσωτερικών τάσεων λόγω της μεγάλης τοπικής θερμοκρασίας.
- Η συγκόλληση επί τόπου στο εργοτάξιο (σιδηρές κατασκευές) είναι συχνά δυσκολότερη και ακριβότερη από την ήλωση ή κοχλίωση.
- Η συναρμολόγηση των δοκών στα δικτυώματα είναι δυσκολότερη στη συγκόλληση παρά στην ήλωση ή κοχλίωση όπου η θέση της δοκού είναι καθορισμένη από τις οπές.
- Δύσκολος ο έλεγχος των γωνιακών ραφών που χρησιμοποιούνται συχνά.

8.7.2.1. Μέθοδοι συγκόλλησης

Οι μέθοδοι συγκόλλησης κατανέμονται κατά DIN1910 ανάλογα με:

- Το είδος του φορέα ενέργειας (αέριο, ηλεκτρικό ρεύμα)
- Το είδος του προς συγκόλληση υλικού (μέταλλο, πλαστικό)
- Το σκοπό της συγκόλλησης (συγκόλληση σύνδεσης, επίστρωσης)
- Το βαθμό χρησιμοποίησης μηχανών (συγκόλληση με το χέρι, αυτοματοποιημένη)

Οι κυριότερες μέθοδοι συγκόλλησης είναι:

1. Με αέριο
2. Με ηλεκτρικό τόξο:
- Με ανοικτό ηλεκτρικό τόξο
- Με καλυμμένο ηλεκτρικό τόξο
- Μέσα σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου
3. Υπό πίεση

Οι τύποι για τον υπολογισμό της αντοχής κ.α. δίνονται αναλυτικότερα στο μέρος 1.8 του Ευρωκώδικα 3, εδώ έγινε μία σύντομη αναφορά στο τι περιλαμβάνει το μέρος αυτό.

9. EN 1998 – Ευρωκώδικας 8

Ο Ευρωκώδικας 8 (Αντισεισμικός Σχεδιασμός) αποτελεί μέρος του συνόλου των Ευρωκωδίκων και αποτελείται από 6 διακριτά μέρη. Το πρότυπο ΕΝ 1998 – Ευρωκώδικας 8 εφαρμόζεται για τον σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων και άλλων έργων σε σεισμικές περιοχές, που αφορούν κατά κύριο λόγο έναν πολιτικό μηχανικό.

Καλύπτει τα ζητήματα σχεδιασμού των κατασκευών σε σεισμικές περιοχές και στοχεύει στην εξασφάλιση της ανθρώπινης ζωής, στις περιορισμένες υλικές ζημιές κατά τη διάρκεια του σεισμού και την λειτουργική επάρκεια των σημαντικών υποδομών πολιτικής προστασίας.

Η μη επαρκώς προσδιορίσιμη φύση των σεισμικών γεγονότων, τα μεταβαλλόμενα από χώρα σε χώρα διατιθέμενα μέσα και ο βαθμός απαιτούμενης προστασίας ποικίλων κατασκευών κάνει την επίτευξη των στόχων δύσκολη και μετρήσιμη μόνο με πιθανοτικούς όρους. Σημειώνεται ότι ειδικές κατασκευές, όπως σταθμοί παραγωγής πυρηνικής ενέργειας, φράγματα και εξέδρες, είναι εκτός του πεδίου του ΕΝ 1998.

Ο ΕΝ 1998 υποδιαιρείται σε έξι κύρια Μέρη, όπως προαναφέρθηκε. Στην συνέχεια, αναφέρονται επιγραμματικά τα Μέρη στα οποία χωρίζεται ο Ευρωκώδικας 8 – ΕΝ 1998:

- **EN 1998-1 (2004):** Σχεδιασμός κατασκευών για αντισεισμική αντίσταση – Μέρος 1: γενικοί κανόνες, σεισμικές ενέργειες και κανόνες για κτίρια.
- **EN 1998-2 (2005):** Σχεδιασμός αντισεισμικών κατασκευών – Μέρος 2: Γέφυρες.
- **EN 1998-3 (2005):** Σχεδιασμός κατασκευών για αντισεισμική αντοχή – Μέρος 3: Εκτίμηση και μετασκευή κτιρίων
- **EN 1998-4 (2006):** Σχεδιασμός κατασκευών για αντισεισμική προστασία – Μέρος 4: Σιλό, δεξαμενές και αγωγοί.
- **EN 1998-5 (2004):** Σχεδιασμός κατασκευών για αντισεισμική αντοχή – Μέρος 5: Θεμέλια, κατασκευές αντιστήριξης και γεωτεχνικές πτυχές.
- **EN 1998-6 (2005):** Σχεδιασμός κατασκευών για αντισεισμική προστασία – Μέρος 6: Πύργοι, ιστοί και καμινάδες.

Από τα 6 Μέρη του Ευρωκώδικα 8: «Αντισεισμικός Σχεδιασμός» το Μέρος 1 ΕΝ 1998-1 (2004) δίνει τις γενικές απαιτήσεις σεισμικής συμπεριφοράς και τους κανόνες καθορισμού της σεισμικής δράσης για το σχεδιασμό οποιουδήποτε τύπου έργου.

Κυρίως όμως δίνει κριτήρια συμμόρφωσης και ειδικούς κανόνες για κτίρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα, χάλυβα, ξύλο ή φέρουσα τοιχοποιία, σύμμικτα (από χάλυβα και σκυρόδεμα),υφιστάμενα κτίρια, για γέφυρες καθώς και για κτίρια με σεισμική μόνωση (θεμελιώσεις – αντιστηρίξεις).

Ως εκ τούτου, το Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 8 παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους Έλληνες μηχανικούς, ιδιαίτερα τους μελετητές. Επισημαίνεται μάλιστα ότι είναι μακράν το μεγαλύτερο σε έκταση απ' όλα τα μέρη όλων των Ευρωκωδίκων. Οι κανόνες και διατάξεις του Μέρους 1 του ΕΚ8 ισχύουν κατ' αναλογία και για τα μη-κτιριακά έργα που καλύπτονται στα Μέρη 2 έως 6.

Συγκεκριμένα σε αυτό το κεφάλαιο πρόκειται να γίνει μία μικρή παρουσίαση, κατά προσέγγιση, της εφαρμογής του Ευρωκώδικα 8 στις μηχανολογικές κατασκευές.

9.1. Συνοπτική ανάλυση των μερών του Ευρωκώδικα 8

Ο ΕΝ 1998-1 εφαρμόζεται στη μελέτη κτιρίων και άλλων έργων σε περιοχές με σεισμικότητα. Ο ΕΝ 1998-1 υποδιαιρείται σε 10 κεφάλαια μερικά εκ των οποίων αφορούν αποκλειστικά τη μελέτη κτιρίων.

Στο Κεφάλαιο 1 του ΕΝ 1998-1 περιέχονται οι στόχοι, οι κανονιστικές αναφορές, οι παραδοχές, οι αρχές και κανόνες εφαρμογής κατά το σχεδιασμό, ορισμοί, τα σύμβολα και οι μονάδες που χρησιμοποιούνται. Στο Κεφάλαιο 2 του ΕΝ 1998-1 περιέχονται οι βασικές απαιτήσεις συμπεριφοράς καθώς και τα κριτήρια συμμόρφωσης που εφαρμόζονται κατά το σχεδιασμό, ανάλυση και την κατασκευή κτιρίων και άλλων δομημάτων σε περιοχές με σεισμικότητα.

Στο Κεφάλαιο 3 του ΕΝ 1998-1 περιέχονται οι κανόνες για την προσομοίωση των σεισμικών δράσεων και οι κανόνες για το συνδυασμό τους με άλλες δράσεις. Σημειώνεται ότι για τύπους φορέων που εξετάζονται στα υπόλοιπα μέρη του Ευρωκώδικα 8 (ΕΝ 1998-2 ως ΕΝ 1998-6) απαιτούνται συμπληρωματικοί κανόνες που παρουσιάζονται στα σχετικά αυτά μέρη.

Στο Κεφάλαιο 4 του ΕΝ 1998-1 περιέχονται οι ειδικοί κανόνες μελέτης που σχετίζονται με κτιριακά έργα. Στο Κεφάλαιο 5 δίνονται οι ειδικοί κανόνες που αφορούν κτίρια από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Στο Κεφάλαιο 6 περιέχονται οι ειδικοί κανόνες που αφορούν κτίρια από χάλυβα. Στο Κεφάλαιο 7, οι ειδικοί κανόνες που αφορούν σύμμικτα κτίρια από Δομικό Χάλυβα και Ωπλισμένο Σκυρόδεμα, το κεφάλαιο 8 περιλαμβάνει ειδικούς κανόνες που αφορούν κτίρια από δομική ξυλεία.

Στο Κεφάλαιο 9 δίδονται οι ειδικοί κανόνες που αφορούν κτίρια από Φέρουσα Τοιχοποιία, στο Κεφάλαιο 10 του ΕΝ 1998-1 περιέχονται οι θεμελιώδεις απαιτήσεις, τα σχετικά θέματα μελέτης και θέματα που αφορούν την ασφάλεια κατά το σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση.

Ο ΕΝ 1998-2 καλύπτει τον αντισεισμικό σχεδιασμό γεφυρών στις οποίες η αντίσταση στις σεισμικές δράσεις προέρχεται από την κάμψη γεφυρών που μορφώνονται με τη χρήση κατακόρυφων ή σχεδόν κατακόρυφων συστημάτων βάθρων, τα οποία υποστηρίζουν την άνω δομή της γέφυρας. Το μέρος αυτό έχει, επίσης, εφαρμογή κατά τη μελέτη και σχεδιασμό καλωδιωτών και τοξοτών γεφυρών σε συνδυασμό όμως και με άλλες συμπληρωματικές διατάξεις που αφορούν τα έργα αυτά.

Στόχοι του ΕΝ 1998-3 είναι να προσφέρει κριτήρια για την αξιολόγηση της σεισμικής συμπεριφοράς των υφιστάμενων μεμονωμένων κτιρίων, να περιγράψει την προσέγγιση για την επιλογή των απαραίτητων μέτρων διόρθωσης / αναίρεσης των κινδύνων, να θέσει κριτήρια για το σχεδιασμό των μέτρων ενίσχυσης.

Ο ΕΝ 1998-4 παρουσιάζει τις αρχές και τους κανόνες για το σχεδιασμό έναντι σεισμικών δράσεων των υπέργειων εγκαταστάσεων σιλό και δεξαμενών καθώς και των υπόγειων αγωγών μεταφοράς ρευστών και αερίων υπό πίεση, διαφόρων τύπων και χρήσεων είτε μεμονωμένα είτε σε οποιονδήποτε συνδυασμό.

Ο ΕΝ 1998-5 καθιερώνει τις απαιτήσεις, τα κριτήρια και τους κανόνες για την επιλογή της θέσεως και τα εδάφη θεμελίωσης αντισεισμικών φορέων. Καλύπτει τη μελέτη διάφορων συστημάτων θεμελίωσης, τη μελέτη συστημάτων αντιστήριξης και την αλληλεπίδραση κατασκευής - εδάφους υπό σεισμική ένταση. Ο ΕΝ 1998-5 συμπληρώνει τον ΕΝ 1997 ο οποίος δεν καλύπτει τις ειδικές απαιτήσεις για μελέτη έναντι σεισμού.

Ο ΕΝ 1998-6 καθιερώνει τις απαιτήσεις, τα κριτήρια και τους κανόνες για το σχεδιασμό ψηλών λεπτών φορέων (πύργοι, καμπαναριά, πύργοι αερισμού, πύργοι τηλεόρασης και ραδιοφωνίας, ιστών, καπνοδόχων) στις οποίες συμπεριλαμβάνονται και οι αυτοφερόμενες καπνοδόχοι και φάρων. Το μέρος αυτό δεν χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και την ανάλυση έναντι σεισμικών εντάσεων πύργων ψύξεως και παράκτιων κατασκευών.

9.2. Γενικά

Οι ταλαντωτικές κινήσεις μηχανικών διατάξεων δεν μεταβάλλονται γραμμικά με την συχνότητα, ή την ένταση των διεγέρσεών τους. Αυτό δυσχεραίνει την ανίχνευση των αιτιών που τις προκαλούν, καθώς και τις πιθανές βελτιωτικές επεμβάσεις. Για να επιλυθούν σχετικά προβλήματα, είναι απαραίτητο να προσεγγιστεί αναλυτικά η δυναμική-ταλαντωτική συμπεριφορά των μηχανικών διατάξεων.

Την αποστολή αυτή αναλαμβάνει ο μηχανολόγος μηχανικός, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη σχεδιομελέτη των κατασκευών, καθώς και για την τροποποίηση υφιστάμενων, προς αποφυγή δυναμικών φαινομένων όπως οι ταλαντώσεις.

Οι ταλαντώσεις περιορίζουν την ασφάλεια των κατασκευών, οδηγούν σε φθορές και σε χειροτέρευση της οικονομικής εκμετάλλευσής τους. Εν προκειμένω, τα σύγχρονα υπολογιστικά συστήματα επιτρέπουν την ευχερή αναλυτική προσομοίωση της δομής μιας κατασκευής, με τη βοήθεια μεθοδολογιών πεπερασμένων στοιχείων (FEM) και τη γρήγορη επίλυση δυσεπίλυτων μαθηματικών σχέσεων. Επίσης, η εξέλιξη μετροτεχνικών διατάξεων καθιστά εφικτή την πειραματικό-αναλυτική περιγραφή της δυναμικής συμπεριφοράς των κατασκευών, καθώς και την αξιολόγησή της με βάση διεθνείς κανονισμούς.

Ο Αντισεισμικός Σχεδιασμός φορέων συνδέεται άμεσα με τους κανονισμούς. Με την υποχρεωτική εφαρμογή το 1995 του Νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΝΕΑΚ) και του Κανονισμού για τη μελέτη και κατασκευή έργων από

σκυρόδεμα, οι Ελληνικοί Κανονισμοί προσαρμόσθηκαν στις σύγχρονες τεχνικές και επιστημονικές αντιλήψεις – ιδίως του Ευρωπαϊκού χώρου – μετά από τέσσερις δεκαετίες στασιμότητας και απαρχαίωσης.

Η ριζική αλλαγή του 1995, και η αναθεώρηση το 2000 του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000) και του Ελληνικού Κανονισμού ωπλισμένου σκυροδέματος (ΕΚΟΣ 2000), αποτέλεσαν μια πρώτη αλλά ουσιαστική προσαρμογή του Ελληνικού θεσμικού πλαισίου προς την έκδοση του 1994 του Ευρωκώδικα 8 υπό μορφή Ευρωπαϊκής Προνόρμας (ENV).

Επομένως, με αυτήν μεταβολή του κανονισμού προκάλεσε την προετοιμασία των Ελλήνων Μηχανικών για την υποχρεωτική και πλήρη προσαρμογή με το Ευρωπαϊκό πλαίσιο προτύπων στο σχεδιασμό των έργων, δηλαδή της έκδοσης το 2004 των Ευρωκωδίκων (ΕΚ) ως Ευρωπαϊκών Προτύπων.

Ο Ευρωκώδικας 8: «Αντισεισμικός Σχεδιασμός» περιλαμβάνει μόνον διατάξεις για τη μελέτη έργων σε σεισμικές περιοχές, που ισχύουν πρόσθετα και συμπληρωματικά με τις διατάξεις των άλλων σχετικών Ευρωκωδίκων (EC1 – EC7).

Όπως και ο ΕΑΚ 2000, ο ΕΚ8 απαγορεύει οποιαδήποτε αλλαγή στα φέροντα ή μη φέροντα στοιχεία (π.χ. τις τοιχοπληρώσεις) έργων που έχουν μελετηθεί και σχεδιασθεί με αυτόν, χωρίς κατάλληλη αιτιολόγηση και έλεγχος, ακόμα και αν η αλλαγή αυξάνει τη φέρουσα ικανότητα.

9.2.1. Απαιτήσεις συμπεριφοράς

Η άγνωστη αυτή φύση των σεισμικών γεγονότων και οι περιορισμένοι διαθέσιμοι πόροι για την αντιμετώπιση των επιπτώσεών τους είναι τέτοιες που καθιστούν την επίτευξη των παραπάνω στόχων εν μέρει δυνατή.

Η έκταση της προστασίας που μπορεί να παρασχεθεί σε διαφορετικές κατηγορίες κτιρίων, η οποία είναι μετρήσιμη μόνο με πιθανολογικούς όρους, είναι θέμα βέλτιστης κατανομής των πόρων και επομένως αναμένεται να διαφέρει από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τη σχετική σημασία του σεισμικού κινδύνου σε σχέση με κινδύνους άλλης προέλευσης.

Ειδικές κατασκευές, όπως πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, υπεράκτιες κατασκευές και μεγάλα φράγματα, δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του ΕΝ 1998. Το ΕΝ 1998 περιέχει μόνο εκείνες τις διατάξεις που, εκτός από τις διατάξεις των άλλων σχετικών Ευρωκωδίκων, πρέπει να τηρούνται για το σχεδιασμό κατασκευές σε σεισμικές περιοχές (Συμπληρώνει από την άποψη αυτή τους άλλους Ευρωκώδικες ΕΝ).

Οι ρητές απαιτήσεις συμπεριφοράς στον ΕΚ8 είναι δύο:

1. «Μη-κατάρρευση» υπό τη «σεισμική δράση σχεδιασμού»: Αποφυγή έστω και τοπικής κατάρρευσης που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο έστω και μία ανθρώπινη ζωή και διατήρηση της στατικής ακεραιότητας και της παραμένουσας φέρουσας ικανότητας μετά το σεισμό (δηλ. μετασεισμούς). Ουσιαστικά πρόκειται για απαίτηση «Προστασίας Ζωής».

2. «Περιορισμός βλαβών» υπό τη «σεισμική δράση περιορισμού βλαβών».

9.2.2. Αντισεισμικός σχεδιασμός στις μηχανολογικές κατασκευές

Το κεφάλαιο του αντισεισμικού σχεδιασμού των κτιρίων είναι το πιο εκτενέστερο και σημαντικότερο του EN 1998-1 (2004). Κάποια από τα θέματα που πραγματεύεται είναι οι κατηγορίες και οι συντελεστές σπουδαιότητας, οι τιμές των μεταβλητών δράσεων που συνδυάζονται με τη σεισμική, οι βασικές επιλογές για το σχεδιασμό: μόνον για αντοχή και συντελεστή συμπεριφοράς q = 1,5 ή για πλαστιμότητα και q > 1,5, το πότε λαμβάνεται υπόψη η κατακόρυφη συνιστώσα, κ.λπ.

Στη συνέχεια αναπτύσσονται σε μεγαλύτερη ή μικρότερη έκταση τα υπόλοιπα από τα ακόλουθα θέματα (όχι απαραίτητα με την ίδια σειρά):

- Η διαμόρφωση του φορέα
- Τα κύρια και δευτερεύοντα μέλη στον αντισεισμικό σχεδιασμό
- Οι βασικές μέθοδοι ανάλυσης για τη σεισμική δράση
- Τα κριτήρια κανονικότητας και οι επιπτώσεις της μη-κανονικότητας στο συντελεστή συμπεριφοράς και στη μέθοδο/προσομοίωση ανάλυσης
- Ο σχεδιασμός πλαισίων (ανεξαρτήτως υλικού) για την αποφυγή μαλακού ορόφου
- Ο σχεδιασμός της θεμελίωσης
- Ο περιορισμός της σχετικής μετακίνησης ορόφων για τον περιορισμό βλαβών υπό την αντίστοιχη σεισμική δράση
- Ο σεισμικός αρμός
- Ο σχεδιασμός των προσαρτημάτων
- Οι ειδικοί κανόνες για πλαίσια (ανεξαρτήτως υλικού) με τοιχοπληρώσεις

Ο ΕΚ 8, επίσης, καταγράφει και αναλύει ορισμένες κατευθυντήριες αρχές που πρέπει να διαχειριστούν για τη διαμόρφωση του φορέα ενός κτιρίου στην προμελέτη, ώστε να ικανοποιηθούν οι βασικές απαιτήσεις συμπεριφοράς με αποδεκτό κόστος. Οι αρχές αυτές είναι:

1. Η στατική απλότητα
2. Η ομοιομορφία, συμμετρία και υπερστατικότητα του φορέα
3. Η ικανοποιητική αντοχή και η δυσκαμψία σε δύο κάθετες μεταξύ τους οριζόντιες διευθύνσεις
4. Η επαρκής δυστρεψία και αντοχή περί κατακόρυφο άξονα
5. Η ύπαρξη διαφραγμάτων με ικανοποιητική αντοχή και η δυσκαμψία στα επίπεδα των ορόφων
6. Η επαρκής θεμελίωση

9.2.3. Βασικές διατάξεις για κτίρια

Η κανονικότητα ενός κτιρίου παίζει σημαντικό ρόλο στον Ευρωκώδικα 8, αποτελεί ένα μέρος των βασικών διατάξεων ενός κτιρίου, αφού επηρεάζει άμεσα την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς που θα ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό των σεισμικών φορτίων σχεδιασμού. Με τον όρο κανονικά κτίρια θεωρούνται τα κτίρια,

τα οποία έχουν περίπου συμμετρικό σχήμα κάτοψης και η ακαμψία μεταβάλλεται ομοιόμορφα.

Σύμφωνα με τον ΕΚ8 αλλά και τις διατάξεις του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ.) είναι εφικτή η προσομοίωση του φαινομένου του σεισμού σε ένα ισοδύναμο στατικό για κανονικά κτίρια μέχρι οχτώ ορόφους και μη κανονικά κτίρια μέχρι πέντε ορόφους. Η κανονικότητα χωρίζεται σε δύο τύπους: η κανονικότητα σε κάτοψη και η κανονικότητα σε όψη (καθ' ύψος).

Κανονικότητα σε κάτοψη

Επηρεάζει έμμεσα το συντελεστή συμπεριφοράς (μέσω του συντελεστή a_u/a_1). Για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως κανονικό σε κάτοψη θα πρέπει να ικανοποιεί όλους τους παρακάτω όρους:

- Το κτίριο πρέπει να είναι κατά προσέγγιση συμμετρικό σε κάτοψη, σε σχέση με δύο ορθογώνιους άξονες. Η συμμετρία αφορά την αντοχή σε οριζόντια φορτία και την κατανομή της μάζας.
- Κάθε πλάκα ορόφου θα οριοθετείτε από κυρτή πολυγωνική γραμμή. Εάν υπάρχουν ανωμαλίες στην περίμετρο (εισέχουσες γωνίες ή εσοχές στην περίμετρο) οι ανωμαλίες αυτές δεν πρέπει να έχουν επιπτώσεις στη δυσκαμψία της πλάκας στο επίπεδό της και σε κάθε ανωμαλία, η περιοχή μεταξύ του περιγράμματος της πλάκας και της κυρτής πολυγωνικής γραμμής που περιβάλλει την πλάκα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% της επιφάνειας του ορόφου.
- Η δυσκαμψία των πλακών των ορόφων μέσα στο επίπεδό τους πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, έτσι ώστε η παραμόρφωση της πλάκας να έχει μικρή επίδραση στη κατανομή των δυνάμεων μεταξύ των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων (διαφραγματική λειτουργία). Από την άποψη αυτή, κατόψεις με μορφή L, Π, Η, Ι, και Χ πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά.
- Η λυγηρότητα του κτιρίου σε κάτοψη δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 4, δηλαδή: $\lambda \leq 4$,
  Όπου, $\lambda = L_{max}/L_{min}$
  L_{max} και L_{min} είναι η μεγαλύτερη και η μικρότερη διάσταση του κτιρίου σε κάτοψη, μετρούμενη σε ορθογώνιες διευθύνσεις.
- Σε κάθε επίπεδο και για κάθε διεύθυνση της ανάλυσης x και y, η στατική εκκεντρότητα e0 και η ακτίνα δυστρεψίας r πρέπει να ικανοποιούν τις δύο παρακάτω συνθήκες:
  Διεύθυνση ανάλυσης y: $e_{0x} \leq 0{,}30 * r_x$, $r_x \geq \ell s$
  Διεύθυνση ανάλυσης x: $e_{0y} \leq 0{,}30 * r_y$, $r_y \geq \ell s$
  Όπου,
  e_{0x}: η απόσταση μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας (στατική εκκεντρότητα) που μετράται κατά την διεύθυνση x, κάθετα στην εξεταζόμενη διεύθυνση της ανάλυσης (ανάλογα ορίζεται η e0y).

r_x: ακτίνα δυστρεψίας που ορίζεται ως (ανάλογα ορίζεται η r_y) $= \sqrt{\frac{στροφική δυσκαμψία}{μεταφορική\ δυσκαμψία\ στη διεύθυνση\ y}}$

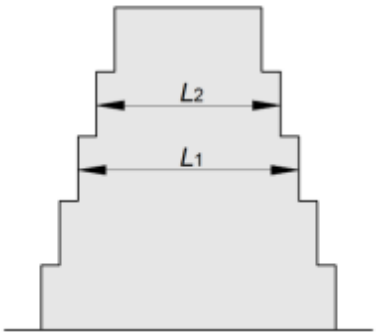
ℓs: ακτίνα αδρανείας της μάζας της πλάκας ορόφου σε κάτοψη που ορίζεται ως $= \sqrt{\frac{πολική ροπή αδράνειας\ πλάκας ως\ προς το κέντρο\ μάζας}{μάζα\ ορόφου}}$

Κανονικότητα σε όψη

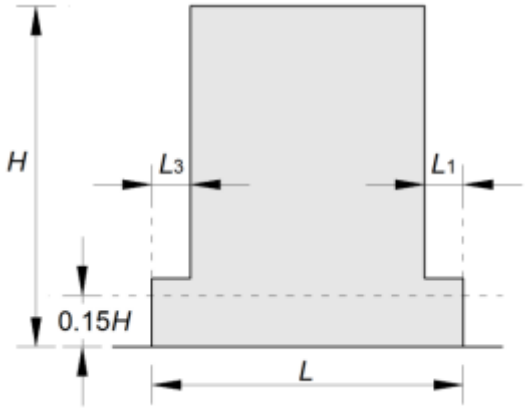
Η κανονικότητα σε όψη επηρεάζει άμεσα την αντισεισμική ανάλυση, αφού κτίρια χωρίς κατακόρυφη κανονικότητα επιβαρύνονται με 25% αύξηση των σεισμικών φορτίων (σχεδιάζονται αντισεισμικά για 20% μικρότερο συντελεστή συμπεριφοράς). Για να χαρακτηριστεί ένα κτίριο ως κανονικό σε όψη πρέπει να ικανοποιεί όλους τους παρακάτω όρους:

- Όλα τα συστήματα ανάληψης οριζοντίων φορτίων, όπως πυρήνες, φέροντα τοιχώματα ή πλαίσια, πρέπει να είναι συνεχή χωρίς διακοπή από τα θεμέλια έως την άνω επιφάνεια του κτιρίου, ή, εάν υπάρχουν ζώνες εσοχών με διαφορετικά ύψη, έως την άνω επιφάνεια της σχετικής ζώνης του κτιρίου.
- Η μεταφορική δυσκαμψία και η μάζα των επιμέρους ορόφων θα παραμένουν σταθερές ή θα μειώνονται βαθμιαία, χωρίς απότομες αλλαγές. Υπενθυμίζεται ότι αντίστοιχη διάταξη υπήρχε και στον ΕΑΚ για τον καθορισμό ενός κτιρίου ως κανονικού, στην οποία η βαθμιαία μείωση της μάζας και της δυσκαμψίας δεν έπρεπε να είναι μεγαλύτερη του 50% από όροφο σε όροφο.
- Σε κτίρια με πλαισιωτό σύστημα, ο λόγος της πραγματικής αντοχής ορόφων προς την αντοχή που απαιτείται από την ανάλυση δεν πρέπει να διαφέρει δυσανάλογα μεταξύ συνεχόμενων ορόφων. Επειδή οι τοίχοι πλήρωσης συμμετέχουν στην πραγματική αντοχή των ορόφων ενώ δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της αντοχής που απαιτείται από την ανάλυση.
- Όταν υπάρχουν εσοχές καθ' ύψος, πρέπει να ικανοποιούνται και οι ακόλουθες πρόσθετες συνθήκες:

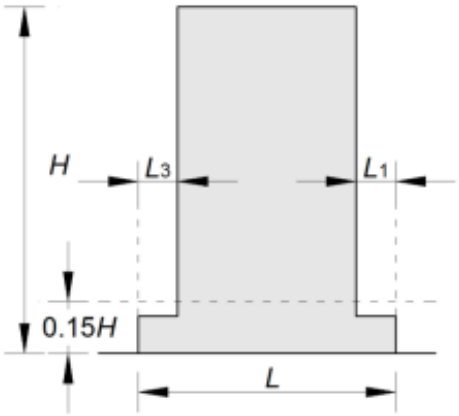
1. Για βαθμιδωτές εσοχές που διατηρούν την αξονική συμμετρία του φορέα, η εσοχή σε οποιονδήποτε όροφο δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 20% της προηγούμενης διάστασης σε κάτοψη, στη διεύθυνση της εσοχής: $\frac{L1-L2}{L1} \leq 0{,}20$



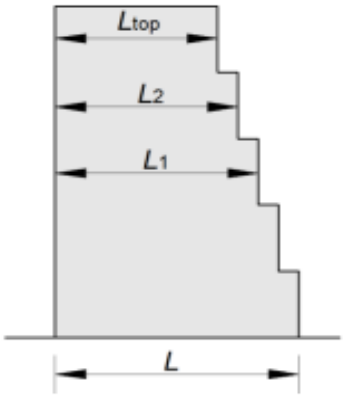
2. Για μεμονωμένη εσοχή σε ύψος μεγαλύτερο του 15% του συνολικού ύψους του κύριου στατικού συστήματος: $\frac{L3+L1}{L} \leq 0{,}20$



3. Για μια μεμονωμένη εσοχή σε ύψος μικρότερο του 15% του συνολικού ύψους του κύριου στατικού συστήματος η εσοχή δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 50% της προηγούμενης διάστασης σε κάτοψη: $\frac{L3+L1}{L} \leq 0{,}50$



4. Εάν οι εσοχές δεν διατηρούν τη συμμετρία του φορέα, το άθροισμα των εσοχών όλων των ορόφων σε κάθε όψη δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 30% της διάστασης της κάτοψης στο ισόγειο επάνω από την θεμελίωση ή επάνω από την άνω επιφάνεια άκαμπτου υπογείου, και κάθε επιμέρους εσοχή δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 10% της προηγούμενης διάστασης κάτοψης: $\frac{L1-L2}{L1} \leq 0{,}10$ και $\frac{L-Ltop}{L} \leq 0{,}30$





Εικόνα 9:1: *Παραδείγματα κανονικότητας κτιρίων.*

9.2.4. Κατάταξη κτιρίων Ωπλισμένου Σκυροδέματος

Χαρακτηρισμός	**Επεξήγηση**
Τοιχωματικό σύστημα	Στατικό σύστημα με συζευγμένα ή ασύζευκτα τοιχώματα, των οποίων η συνολική διατμητική αντοχή στη βάση είναι ≥ 65% της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση.
Πλαισιωτό σύστημα	Στατικό σύστημα με χωρικά πλαίσια, των οποίων η συνολική διατμητική αντοχή στη βάση είναι ≥ 65% της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση.
Διπλό σύστημα (γενικά)	Τα κατακόρυφα φορτία παραλαμβάνονται κυρίως από τα πλαίσια και τα οριζόντια εν μέρει από πλαίσια και εν μέρει από τοιχώματα.
Διπλό σύστημα που συμπεριφέρεται ως πλαισιωτό	Διπλό στατικό σύστημα, στο οποίο τα πλαίσια έχουν συνολική διατμητική αντοχή στη βάση ≥ 50% της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση.

Διπλό σύστημα που συμπεριφέρεται ως τοιχωματικό	Διπλό στατικό σύστημα, στο οποίο τα τοιχώματα έχουν συνολική διατμητική αντοχή στη βάση ≥ 50% της συνολικής διατμητικής αντοχής του κτιρίου στη βάση.
Σύστημα με μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα	Τοιχωματικό σύστημα με τις παρακάτω πρόσθετες προϋποθέσεις: i. Τουλάχιστον δύο μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα στην υπόψη διεύθυνση, τα οποία παραλαμβάνουν τουλάχιστον το 20% των φορτίων βαρύτητας του σεισμικού συνδυασμού. ii. Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος στην υπόψη διεύθυνση ≤ 0,5 sec (με θεώρηση πάκτωσης στη βάση).
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα	Διπλό ή τοιχωματικό σύστημα χωρίς την ελάχιστη στρεπτική δυσκαμψία έστω και σε μία οριζόντια διεύθυνση, δηλ. δεν ικανοποιείται η σχέση: $r_x \geq l_s$ ή $r_y \geq l_s$.
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	Σύστημα στο οποίο μάζα μεγαλύτερη από το 50% της συνολικής είναι συγκεντρωμένη στο ανώτερο 1/3 του ύψους. Δεν υπάγονται σε αυτή την κατηγορία μονώροφα με $\nu_d \leq 0,3$ σε όλα τα υποστυλώματα.

Πίνακας 14*: Κατάταξη κτιρίων Ωπλισμένου Σκυροδέματος*

9.3. Κριτήρια εδάφους

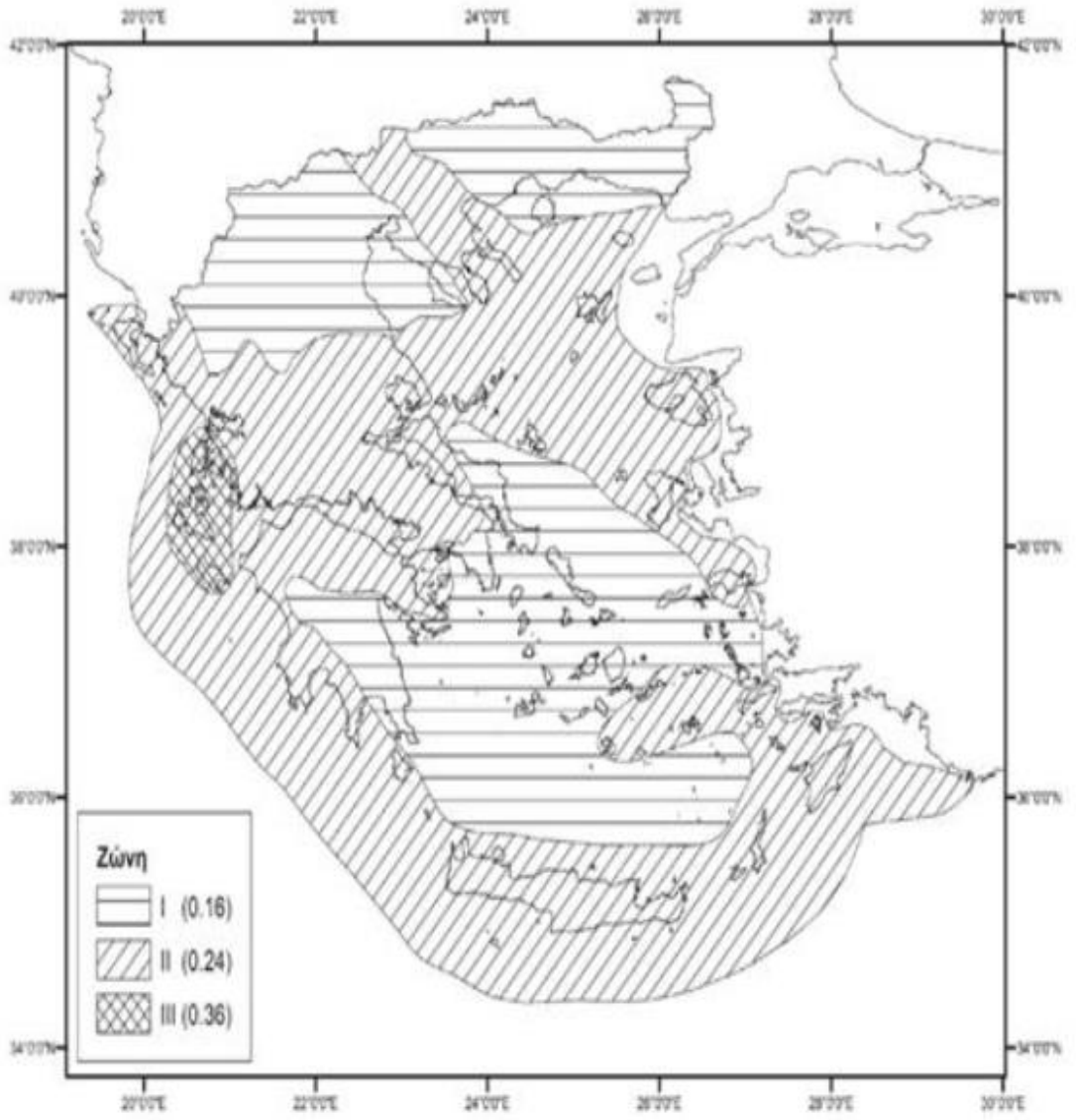
9.3.1. Σεισμικός χάρτης Ελλάδος, σεισμική επιτάχυνση εδάφους

Το πιο κρίσιμο μέγεθος για τον καθορισμό των σεισμικών δράσεων και των δύο αντισεισμικών κανονισμών είναι η σεισμική επιτάχυνση του εδάφους. Για την εφαρμογή των κανονισμών η Ελλάδα υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I,II και III τα όρια των οποίων καθορίζονται στον παρακάτω χάρτη.

Επιπλέον δίνεται κατάλογος οικισμών του ελληνικού χώρου και η ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας στην οποία ανήκουν. Σε κάθε ζώνη αντιστοιχεί μία τιμή σεισμικής επιτάχυνσης Α που εκτιμάται σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα ότι έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% στα πενήντα χρόνια.

Ο Ευρωκώδικας 8 κάνει αποδεκτό τον παρακάτω σεισμικό χάρτη αφού αναθέτει στις εθνικές αρχές το διαχωρισμό των εθνικών περιφερειών σε σεισμικές ζώνες, που θα εξαρτώνται από την τοπική επικινδυνότητα. Συμβατικά η επικινδυνότητα θεωρείται σταθερή στα πλαίσια κάθε ζώνης. Η σχετική επιτάχυνση εδάφους Α, α_{gR} για μια χώρα ή τα τμήματα αυτής ,μπορεί να εξαχθεί από χάρτες ζωνών που βρίσκονται στα αντίστοιχα σχετικά παραρτήματα.

Η σχετική επιτάχυνση του εδάφους που επιλέγεται από τις διεθνείς αρχές για κάθε σεισμική ζώνη, ανταποκρίνεται σε μια σχετική περίοδο επαναφοράς T_{NCR} της σεισμικής δράσης για την διασφάλιση της απαίτησης για μη κατάρρευση. Ένας συντελεστής σπουδαιότητας γ_1 ίσος με την μονάδα , ορίζεται για αυτή την περίοδο. Για άλλες περιόδους εκτός της σχετικής η σχεδιαστική επιτάχυνση εδάφους τύπου Α, ag είναι ίση με α_{gr} φορές τον συντελεστή σπουδαιότητας γ1.



Εικόνα 9:2: *Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας.*

9.3.2. Κατηγορίες εδάφους

Στον ΕΚ8 προδιαγράφονται πέντε κατηγορίες εδάφους Α, Β, C, D και Ε ανάλογα με τη στρωματογραφία και τις παραμέτρους που περιγράφονται παρακάτω.

Υπάρχουν και δύο ειδικές κατηγορίες εδαφών, οι S_1 και S_2, για τις οποίες απαιτούνται ειδικές μελέτες για τον καθορισμό των σεισμικών δράσεων. Ιδιαίτερα στην κατηγορία S_2 πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η πιθανότητα αστοχίας του

εδάφους υπό τα σεισμικά φορτία σχεδιασμού. Για την κατηγορία S_1 απαιτείται ειδική μελέτη για τον καθορισμό της τοπικής μεγέθυνσης (site amplification) και της αλληλεπίδρασης εδάφους κατασκευής.

Η κατάταξη των εδαφών γίνεται με βάση την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων, $v_{S,30}$, εάν είναι διαθέσιμη, αλλιώς χρησιμοποιείται η τιμή N_{SPT} (αριθμός κρούσεων για πρότυπη διείσδυση 30 cm). Η ταχύτητα $v_{S,30}$ αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων στα ανώτερα 30 m εδάφους και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$v_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{hi}{vi}}$$

όπου,

h_i: πάχος στρώματος (m)

v_i: ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στρώματος i (για $\gamma \leq 10^{-5}$, δηλαδή για πρακτικά ελαστική συμπεριφορά)

N: πλήθος στρωμάτων στα ανώτερα 30 m εδάφους.

Γενικά, απαιτείται έλεγχος του εδάφους για τον καθορισμό της κατηγορίας του. Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η έκταση της απαιτούμενης εδαφοτεχνικής έρευνας – μελέτης εξαρτάται από την κατηγορία εδάφους, τη σεισμικότητα και τη σπουδαιότητα του κτιρίου.

Ειδικότερα, στις παρακάτω περιπτώσεις δεν απαιτείται εδαφοτεχνική έρευνα, αλλά επιτρέπεται η εκτίμηση της κατηγορίας και της φέρουσας ικανότητας του εδάφους με βάση την υπάρχουσα εμπειρία από παρακείμενες κατασκευές, θεμελιωμένες σε όμοιους εδαφικούς σχηματισμούς (οι κατασκευές αυτές πρέπει να μην έχουν εμφανίσει αξιόλογες υποχωρήσεις και να έχουν επιδείξει καλή συμπεριφορά σε προγενέστερες σημαντικές σεισμικές δράσεις):

- σε κτίρια κατηγορίας σπουδαιότητας I επί εδάφους κατηγορίας A, B ή C.
- σε κτίρια σπουδαιότητας II επί εδάφους κατηγορίας A ή B.
- σε μονώροφα κτίρια σπουδαιότητας III επί εδάφους κατηγορίας A ή B.

Κατηγορία σπουδαιότητας	**γι**	**Περιγραφή**
I	0,80	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.
II	1,00	Συνήθη κτίρια, που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες.

III	1,20	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες κατάρρευσης, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, πολιτιστικά ιδρύματα κλπ.
IV	1,40	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.

Πίνακας 15: Κατηγορίες σπουδαιότητας για κτίρια.

Κατηγορία εδάφους	**Περιγραφή στρωματογραφίας**	**Παράμετροι**		
		$v_{S,30}$	**N_{SPT}**	**c_u (kPa)**
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού.	>800	-	-
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικιών, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	360-800	>50	>250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλικιών ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων.	180-360	15-50	70-250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.	<180	<15	<70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές v_S κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5 m και 20 m,			

	με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με v_S > 800 m/s.			
S_1	Αποθέσεις που αποτελούνται ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας (PI > 40) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό.	<100 (ενδεικτικό)	-	10-20
S_2	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S_1			

Πίνακας 16: *Κατάταξη εδαφών.*

9.4. Ελαστική σεισμική απόκριση μηχανολογικών κατασκευών

Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες για την μαθηματική περιγραφή της ταλαντωντικής συμπεριφοράς μηχανικών διατάξεων. Μεγάλο πρακτικό ενδιαφέρον και ευρεία εφαρμογή έχουν σήμερα, μέσω της χρησιμοποίησης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, μεθοδολογίες κατά τις οποίες η κατασκευή περιγράφεται με τη βοήθεια ενός προσομοιωτικού προτύπου (μοντέλου). Το μοντέλο προσεγγιστικά έχει ισοδύναμες ιδιότητες με την κατά σκευή, σχετικά με τα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη της:

- την αδράνεια
- την στιβαρότητα
- την απόσβεση
- την μετατόπιση, ή ανάλογα με την περίπτωση, την περιστροφή στην κατεύθυνση, ή στις κατευθύνσεις (βαθμοί ελευθερίας) των ταλαντωτικών κινήσεων.

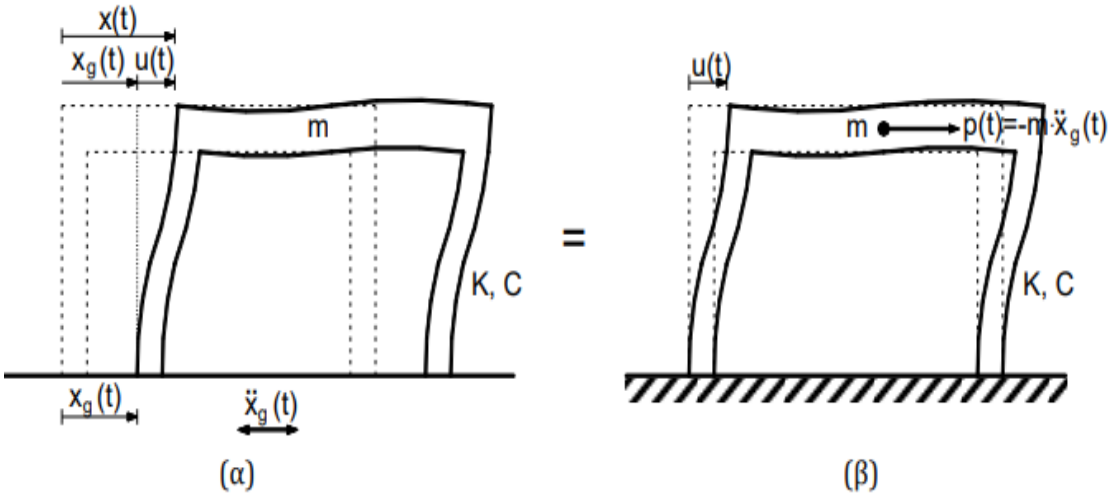
Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, λοιπόν, κινείται το έδαφος και επομένως και η βάση μιας κατασκευής που είναι θεμελιωμένη πάνω σ' αυτό. Η κίνηση γίνεται γρήγορα με εναλλασσόμενο πρόσημο, γύρω από την αρχική θέση ηρεμίας.

Από άποψη δυναμικής – ταλαντώσεων το μέγεθος που δίνεται έμφαση, σε αυτήν την κίνηση της βάσης, είναι η επιτάχυνση η οποία συμβολίζεται με $x''_g(t)$.

Η μάζα της κατασκευής, λόγω της αδράνειάς της, δεν ακολουθεί την κίνηση της βάσης αλλά κινείται με διαφορετικό τρόπο κάνοντας μία διαφορετική ταλάντωση. Λόγω αυτής της διαφορετικής κίνησης μάζας και βάσης, προκαλείται παραμόρφωση και κατ' επέκταση ένταση στην κατασκευή. Η μετακίνηση του εδάφους συμβολίζεται με $x_g(t)$ και η σχετική μετακίνηση της μάζας ως προς τη βάση της με $u(t)$.

Η συνολική μετακίνηση τη χρονική στιγμή t, μετρούμενη από την αρχική θέση της κατασκευής (απόλυτη μετακίνηση) είναι:

$$x(t) = x_g(t) + u(t)$$



Εικόνα 9:3: Παραμόρφωση της κατασκευής κατά τη διάρκεια σεισμικής καταπόνησης.

Εξαιτίας του φορτίου p(t), η κατασκευή παραμορφώνεται και αναπτύσσονται εσωτερικές δυνάμεις επαναφοράς, που τείνουν να επαναφέρουν την κατασκευή στην αρχική θέση ισορροπίας. Το μέγεθος αυτών των δυνάμεων είναι ανάλογο της δυσκαμψίας K και της απόσβεσης C της κατασκευής.

Η δυσκαμψία της κατασκευής δηλώνει το μέγεθος της αντίστασης που παρουσιάζει στην παραμόρφωσή της και δίνεται από τον τύπο:

$$f_s(t) = K \cdot u(t)$$

Όπου:

K: η συνολική δυσκαμψία της κατασκευής

$f_s(t)$: η δύναμη επαναφοράς

u(t): η εσωτερική δύναμη που ενεργεί στη μάζα m μέσω των υποστυλωμάτων

Για δοκούς με μεγάλη ροπή αδράνειας ως προς τη ροπή αδράνειας των υποστυλωμάτων (Ιδοκ>>Ιυπ), τα υποστυλώματα συμπεριφέρονται ως αμφίπακτα και η δυσκαμψία κάθε υποστυλώματος μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$K_i = \frac{12*E*Iy}{h^3}$$

όπου:

E = μέτρο ελαστικότητας του υλικού

h = ύψος του υποστυλώματος

Iy = ροπή αδράνειας της διατομής ως προς τη διεύθυνση κίνησης, που θεωρείται η διεύθυνση x.

Στην άλλη ακραία περίπτωση, στην οποία η ροπή αδρανείας των δοκών είναι μικρή ως προς αυτή των υποστυλωμάτων (Ιδοκ << Ιυπ), τα υποστυλώματα συμπεριφέρονται ως μονόπακτα, δηλαδή ως να ήταν ελεύθερη η στροφή στην κορυφή τους. Η δυσκαμψία κάθε υποστυλώματος μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$K_i = \frac{3*E*Iy}{h^3}$$

Όλες οι κατασκευές κατά την ταλάντωσή τους παρουσιάζουν απόσβεση, δηλαδή απορρόφηση ενέργειας. Αποτέλεσμα της απόσβεσης είναι η σταδιακή μείωση των ελεύθερων ταλαντώσεων με το χρόνο. Η απόσβεση σε πραγματικές κατασκευές οφείλεται στην εσωτερική τριβή που αναπτύσσεται κατά την παραμόρφωση.

Επιπρόσθετα, μπορεί να προκύψουν και άλλοι παράγοντες, όπως μικρορωγμές, τριβή που αναπτύσσεται στους κόμβους μεταλλικών κατασκευών, ανελαστική παραμόρφωση των μη-φερόντων στοιχείων (π.χ. τοιχοποιίες) κ.λπ.

Η τιμή του συντελεστή C δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί, γι' αυτό στην πράξη χρησιμοποιείται ο συντελεστής απόσβεσης ζ, ο οποίος εκφράζει την απόσβεση ως ποσοστό της κρίσιμης. Ο συντελεστής απόσβεσης ζ είναι καθαρός αριθμός και μπορεί να υπολογιστεί πειραματικά. Για συνήθεις κατασκευές μηχανικών είναι πάντοτε μικρότερος της μονάδας και εξαρτάται κυρίως από το υλικό της κατασκευής.

Η εξίσωση της κίνησης προκύπτει από τη χρήση του δεύτερου Νόμου του Νεύτωνα και των παρακάτω τύπων:

$$\text{Ιδιοσυχνότητα: } \omega = \sqrt{\frac{K}{m}},$$

$$\text{Συντελεστής απόσβεσης: } \zeta = \frac{C}{2\sqrt{m*K}},$$

Αντί για την ιδιοσυχνότητα, πολλές φορές χρησιμοποιείται η ιδιοπερίοδος Τ της κατασκευής, η οποία σχετίζεται με την ιδιοσυχνότητα μέσω της σχέσης:

$$T = 2\pi/\omega \Rightarrow T = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{K}}$$

Η ιδιοσυχνότητα και η ιδιοπερίοδος της κατασκευής εξαρτώνται μόνο από τη μάζα και τη δυσκαμψία της και όχι από τη διέγερση.

Τέλος, σημαντικό ρόλο έχουν και άλλες εφαρμογές για τη μελέτη ενός σεισμού, όπως οι ελεύθερες ταλαντώσεις, η απόκριση για σεισμική διέγερση, το φάσμα απόκρισης, το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού ΕΚ8 κ.λπ., όπου δεν είναι αναγκαίο να αναλυθούν περαιτέρω.

9.5. Ανελαστική σεισμική απόκριση μονοβάθμιων μηχανολογικών κατασκευών

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών που εφαρμόζεται διεθνώς και περιγράφεται στους σύγχρονους Αντισεισμικούς Κανονισμούς (π.χ. Ευρωκώδικας 8, ΕΑΚ) βασίζεται στη λεγόμενη μέθοδο των δυνάμεων (force - based design).

Ο όρος μέθοδος των δυνάμεων δεν είναι ευρέως διαδεδομένος, επειδή μέχρι πρόσφατα αυτή η μεθοδολογία ήταν η μόνη που εφαρμοζόταν στον αντισεισμικό σχεδιασμό και επομένως δεν υπήρχε λόγος ονομασίας της ώστε να γίνεται η διάκρισή της από άλλες μεθοδολογίες.

Τα τελευταία χρόνια έχει προταθεί και μία διαφορετική μεθοδολογία αντισεισμικού σχεδιασμού, η μέθοδος των μετακινήσεων (displacement - based design). Όπως εμφανώς προκύπτει από την ονομασία των δύο μεθόδων, η μία βασίζεται στις δυνάμεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή κατά τη διάρκεια του σεισμού και η άλλη στις μετακινήσεις.

Επειδή, όπως αναπτύσσεται παρακάτω, ο αντισεισμικός σχεδιασμός γίνεται θεωρώντας ότι η κατασκευή επιτρέπεται να συμπεριφέρεται ανελαστικά κατά τη διάρκεια του σεισμού, η φιλοσοφία σχεδιασμού είναι τελείως διαφορετική στις δύο μεθόδους.

Οι συνήθεις μηχανολογικές κατασκευές, και ιδιαίτερα αυτές από ωπλισμένο σκυρόδεμα και χάλυβα, έχουν την ικανότητα να διατηρούν την αντοχή τους για σημαντικά μεγάλες οριζόντιες παραμορφώσεις, όπως αυτές που προκαλούνται κατά τη διάρκεια ισχυρών σεισμών, που αντιστοιχούν σε μετακινήσεις αρκετά μετά τη διαρροή τους.

Επίσης, παρότι η δυσκαμψία τους μειώνεται σημαντικά (σχεδόν μηδενίζεται) κατά τη διάρκεια που οι κατασκευές αποκρίνονται στην πλαστική περιοχή, κατά την αποφόρτιση το σύστημα ανακτά τη δυσκαμψία του. Η σεισμική φόρτιση διαρκεί λίγα μόνο δευτερόλεπτα, κατά τη διάρκεια των οποίων συμβαίνουν πολλές εναλλαγές προσήμου των σεισμικών φορτίων, δηλαδή συνεχείς φορτίσεις – αποφορτίσεις με εναλλασσόμενο πρόσημο.

Όπως αναπτύχθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η εξίσωση που περιγράφει την απόκριση ενός μονοβάθμιου συστήματος που υποβάλλεται σε εδαφική επιτάχυνση $x''_g(t)$ προκύπτει από την εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα και τη χρήση των τύπων της ιδιοσυχνότητας, του συντελεστή απόσβεσης κ.α.

9.5.1. Σεισμική απόκριση πολυβάθμιων συστημάτων

Μηχανολογικές κατασκευές οι οποίες συνιστούν σύνθετα συστήματα, τα οποία αποτελούνται από πολλές μάζες, διαθέτουν πολλούς βαθμούς ελευθερίας. Γενικά, κάθε μάζα ενός συστήματος μπορεί να κινηθεί σε 6 βαθμούς ελευθερίας, οι οποίοι σε ένα καρτεσιανό σύστημα ορθογώνιων αξόνων περιλαμβάνει τρεις μετακινήσεις u_x, u_y, u_z κατά τους τρεις άξονες x, y, z και οι τρεις στροφές θ_x, θ_y, θ_z γύρω από αυτούς τους άξονες. Επομένως, εάν ένα σύστημα μπορεί να προσομοιαστεί με ένα σύστημα n μαζών, διαθέτει συνολικά 6·n βαθμούς ελευθερίας.

Σε συνήθη οικοδομικά έργα, στα οποία οι μάζες θεωρούνται συγκεντρωμένες στα επίπεδα των πλακών, λόγω της μεγάλης δυστένειας των υποστυλωμάτων σε παραμόρφωση κατά το διαμήκη τους άξονα μπορεί να θεωρηθεί ότι $uz \cong 0$. Δυστένεια είναι η αντίσταση στην αξονική παραμόρφωση, ή, το αξονικό φορτίο που απαιτείται να ασκηθεί για μοναδιαία αξονική παραμόρφωση.

Επιπρόσθετα, επειδή και η στροφή των πλακών γύρω από τους οριζόντιους άξονες συνοδεύεται υποχρεωτικά από αξονικές παραμορφώσεις των υποστυλωμάτων, μπορεί να θεωρηθεί ότι και οι αντίστοιχες στροφές είναι σχεδόν μηδενικές, δηλαδή:

$$\theta_x \cong \theta_y \cong 0$$

Με αυτό τον τρόπο, σε οικοδομικά έργα οι βαθμοί ελευθερίας περιορίζονται σε 3·n.

9.6. Σχεδιασμός της θεμελίωσης

Το έδαφος και το σύστημα των στοιχείων θεμελίωσης σχεδιάζονται ώστε να παραμείνουν ελαστικά όταν η άνω δομή αναπτύσσει ανελαστική συμπεριφορά, για το σκοπό αυτό ο ΕΚ8 δίνει τις εξής εναλλακτικές:

- Το έδαφος και τα στοιχεία θεμελίωσης σχεδιάζονται με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης με χρήση συντελεστή συμπεριφοράς q = 1,5 (αντιοικονομική λύση, ενόψει των κατωτέρω).
- Το έδαφος και τα στοιχεία θεμελίωσης σχεδιάζονται ικανοτικά, δηλαδή με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τη σεισμική δράση με χρήση της τιμής του q της άνω δομής, πολλαπλασιασμένα, όμως, επί $\gamma_{Rd} * (R_{di}/E_{di}) \leq q$, με $\gamma_{Rd} = 1,2$

όπου:

– R_{di} : η τιμή σχεδιασμού της αντοχής της πλαστικής ζώνης (άρθρωσης) του στοιχείου που καθορίζει το μέγεθος σχεδιασμού.

– E_{di} : το αντίστοιχο εντατικό μέγεθος από την ελαστική ανάλυση για τη σεισμική δράση.

- Το 2 εφαρμόζεται μόνο για το έδαφος, ενώ η διαστασιολόγηση και η κατασκευαστική διαμόρφωση των στοιχείων θεμελίωσης γίνεται κατά τις διατάξεις του ΕΚ8 για πλαστιμότητα και ικανοτικό σχεδιασμό, αλλά με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τη σεισμική δράση με χρήση της τιμής του q της άνω δομής (δηλαδή, όπως ακριβώς στην άνω δομή).

Στις ανωτέρω περιπτώσεις 1 και 2, αγνοούνται στη διαστασιολόγηση και κατασκευαστική διαμόρφωση των στοιχείων θεμελίωσης, οι διατάξεις του ΕΚ8 για πλαστιμότητα και ικανοτικό σχεδιασμό και εφαρμόζονται οι διατάξεις του ΕΚ2, διότι η υπεραντοχή τους προστατεύει τα στοιχεία θεμελίωσης από το σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων.

Εννοείται ότι για τη διαστασιολόγηση εδάφους και συστήματος θεμελίωσης, στα αποτελέσματα της ανάλυσης για τη σεισμική δράση επαληθεύονται με τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τα κατακόρυφα φορτία που δρουν ταυτόχρονα με αυτήν.

Διατάξεις για τη Θεμελίωση

- Βασικές αρχές σχεδιασμού: ΕΚ8 - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια (Κεφ. 4 και Κεφ. 5).
- Πρόσθετες διατάξεις που αφορούν τη θεμελίωση: ΕΚ8 - Μέρος 5: Θεμελιώσεις – Αντιστηρίξεις – Γεωτεχνικά θέματα (κυρίως στο Κεφ. 5).
- Θέματα που αφορούν την αντοχή του εδάφους ΕΚ7.

9.7. Προσομοίωση κατά ΕC8

9.7.1. Προσομοίωση των μαζών

Με βάση τον Ευρωκώδικα 8, η προσομοίωση του κτιρίου πρέπει να αντιπροσωπεύει την κατανομή μάζας σε αυτό, ώστε να λαμβάνονται όλα υπόψη όπως οι παραμορφώσεις, οι ιδιομορφίες κτλ. κατά την επίδραση της σεισμικής δράσης. Στην περίπτωση της μη γραμμικής ανάλυσης το μοντέλο πρέπει ισοδύναμα να αναπαριστά και την κατανομή της δύναμης.

Το δομικό σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από έναν αριθμό κατακόρυφων και οριζοντίων στατικών συστημάτων που αντιστέκονται σε οποιεσδήποτε φορτίσεις, που συνδέονται με οριζόντια διαφράγματα. Όταν τα διαφράγματα του ορόφου του κτιρίου, θεωρούνται ισορροπημένα (απαραμόρφωτα) στο επίπεδό τους, τότε οι μάζες και οι ροπές αδράνειας του κάθε ορόφου μπορούν να ληφθούν στο κέντρο βάρους. Οι τιμές των μαζών πρέπει να υπολογίζονται από τα κατακόρυφα φορτία.

9.7.2. Προσομοίωση δυσκαμψίας φερόντων στοιχείων

Κατά τον Ευρωκώδικα ομοίως και για τη δυσκαμψία, η προσομοίωση του κτιρίου πρέπει επαρκώς να αντιπροσωπεύει την κατανομή δυσκαμψίας μέσα σε αυτό, ώστε όλες οι σημαντικές ιδιομορφίες και οι παραμορφώσεις να λαμβάνονται υπόψη, υπό την επίδραση της σεισμικής δράσης.

Ακόμη σε περίπτωση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, σύμμεικτων κατασκευών και από φέρουσα τοιχοποιία, οι δυσκαμψίες των φερόντων στοιχείων θα υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη της επίδραση της ρηγμάτωσης. Η δυσκαμψία θα πρέπει να αντιστοιχεί στην αρχή της διαρροής του οπλισμού. Οι εξωτερικοί τοίχοι, που συνεισφέρουν σημαντικά στην αντοχή και στη δυσκαμψία του κτιρίου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Εκτός των περιπτώσεων όπου απαιτείται ακριβέστερη ανάλυση των ρηγματωμένων στοιχείων, η καμπτική και η διατμητική δυσκαμψία των στοιχείων από σκυρόδεμα και από τοιχοποιία θα λαμβάνεται ίση με τη μισή της αντίστοιχης δυσκαμψίας των μη ρηγματωμένων στοιχείων.

9.8. Ειδικοί κανόνες εφαρμογής για φέροντα στοιχεία από χάλυβα κατά τον EC8.

Θλιβόμενα στοιχεία

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 σε περιοχές, θλιβόμενων μελών από χάλυβα, πιθανής εμφάνισης πλαστικής άρθρωσης, θα πρέπει να υπάρχει περιορισμός του λόγου πλάτους προς το πάχος των τοιχωμάτων , ανάλογα με την κατηγορία διατομής.

Εφελκυόμενα στοιχεία.

Τα εφελκυόμενα στοιχεία γενικά περιλαμβάνονται στον Ευρωκώδικα 3.

Συνδέσεις

Ο σχεδιασμός των συνδέσεων θα πρέπει να εξασφαλίζει τον περιορισμό του εντοπισμού των πλαστικών παραμορφώσεων, των υψηλών παραμενουσών τάσεων και των κατασκευαστικών ελαττωμάτων. Οι συνδέσεις με εσωρραφές πλήρους διείσδυσης σε περιοχές πλαστικών αρθρώσεων θεωρείται πως ικανοποιούν το κριτήριο υπεραντοχής.

Σε συνδέσεις συγκολλητές ή κοχλιωτές συνδέσεις, πρέπει να ικανοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$R_d \geq 1{,}1 * \gamma_{ov} * R_{fy}$$

Όπου,

R_d: η αντοχή της σύνδεσης

$R_{f.y}$: η αντοχή διαρροής του πλάστιμου μέλους

γ_{ov}: ο συντελεστής υπεραντοχής προτεινόμενη τιμή ίση με 1,25

Σε κοχλιωτές συνδέσεις η διατμητική αντοχή των κοχλιών πρέπει να είναι 1,2 φορές μεγαλύτερη από την αντοχή σχεδιασμού.

Πλαίσια

Κατά τον Ευρωκώδικα οι δοκοί θα πρέπει να ελέγχονται για πλευρικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, υποθέτοντας πως έχει δημιουργηθεί πλαστική άρθρωση στο ένα της άκρο, δηλαδή αυτό που φορτίζεται περισσότερο κατά το σεισμικό συνδυασμό φόρτισης.

Για να εξασφαλιστεί ότι στην περιοχή πλαστικής άρθρωσης υπάρχει επαρκής αντοχή και ικανότητα στροφής και δεν έχουν απομειωθεί από θλίψη και διάτμηση, στις διατομές κατηγορίας 1 και 2 θα πρέπει να ισχύουν οι σχέσεις:

$$M_{Ed} / M_{pl,Rd} \leq 1,00$$

$$N_{ed} / N_{pl,Rd} \leq 0,15$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} \leq 0,50$$

όπου :

$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M}$

M_{Ed}: η ροπή σχεδιασμού

N_{Ed}: η αξονική δύναμη σχεδιασμού

$V_{Ed,G}$: η τέμνουσα σχεδιασμού χωρίς σεισμικά φορτία

$V_{Ed,M}$: η τέμνουσα σχεδιασμού λόγω δράσης των πλαστικών ροπών αντοχής με αντίθετο πρόσημο στα άκρα της δοκού.

Οι συνδέσεις δοκού στα υποστυλώματα θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των συνδέσεων και να σχεδιάζονται με υπεραντοχή που θα προέρχεται από την πλαστική ροπή αντοχής $M_{pl,Rd}$ και την διατμητική δύναμη V_{Ed}.

Υποστυλώματα

Τα υποστυλώματα θα πρέπει να ελέγχονται λαμβάνοντας υπόψη τον πιο δυσμενή συνδυασμό αξονικής δύναμης και καμπτικής ροπής. Στον έλεγχο τα N_{Ed}, M_{Ed}, V_{Ed}, θα λαμβάνονται από τις σχέσεις:

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 * \gamma_{ov} * \Omega * V_{Ed,E}$$

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 * \gamma_{ov} * \Omega * N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 * \gamma_{ov} * \Omega * M_{Ed,E}$$

όπου :

Ο δείκτης G αναπαριστά τα μη σεισμικά φορτία που λαμβάνονται όμως υπόψη στο σεισμικό σχεδιασμό.

Ο δείκτης E δείχνει τη σεισμική δράση σχεδιασμού.

γ_{ov}: είναι ο συντελεστής υπεραντοχής, 1, είναι η μικρότερη τιμή $\Omega i = M_{pl,Rdi} / M_{Ed,i}$ όλων των δοκών, στις οποίες εντοπίζονται ζώνες πλαστιμότητας.

Κατά τον Ευρωκώδικα η τέμνουσα V_{Ed} από την ανάλυση, πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} \leq 0,5$$

Η αντοχή σε τέμνουσα, του κορμού του φατνώματος, σε κόμβο σύνδεσης δοκού υποστυλώματος σε πλαίσιο, πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$V_{wp,Ed} / V_{pl,Rd} \leq 1$$

Κατηγορίες πλαστιμότητας

Τα κτίρια από Ω.Σ. κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες πλαστιμότητας ανάλογα με την ικανότητα απόδοσης ενέργειας μέσω υστερητικής συμπεριφοράς που διαθέτουν:

- ΚΠΜ (Κατηγορία Πλαστιμότητας Μεσαία)
- ΚΠΥ (Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή)

Στην Ελλάδα δεν επιτρέπεται η κατασκευή κτιρίων κατηγορίας πλαστιμότητας Χ (χαμηλή πλαστιμότητα), τα οποία δεν διαθέτουν ικανότητα πλάστιμης συμπεριφοράς και διαστασιολογούνται μόνον σύμφωνα με τις διατάξεις του ΕΚ2.

Η αυξημένη πλαστιμότητα που διαθέτουν τα κτίρια που σχεδιάζονται για ΚΠΥ (διαστασιολογούνται για μεγαλύτερο q), έναντι αυτών που σχεδιάζονται για ΚΠΜ, εξασφαλίζεται από το γεγονός ότι, σε αυτή την περίπτωση, εφαρμόζονται περισσότεροι και αυστηρότεροι έλεγχοι και διατάξεις.

Γενικώς: $q = q_0 * k_w \geq 1,5$ (συντελεστής συμπεριφοράς)

Όπου,

$k_w = 1$, για πλαισιωτά συστήματα ή συστήματα που συμπεριφέρονται ως πλασιωτά.

$0,5 \leq k_w \leq 1,0$, για τοιχωματικά συστήματα ή συστήματα που συμπεριφέρονται ως τοιχωματικά και για στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα. Η τιμή του k_w εξαρτάται από το λόγο ύψους/μήκος των τοιχωμάτων που αποτελεί μέτρο της προέχουσας μορφής αστοχίας.

q_0 = βασικός συντελεστής συμπεριφοράς

10. Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων στους Ευρωκώδικες.

Οι Ευρωκώδικες παρέχουν καθοδηγητικές γραμμές και κανονισμούς για τον σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση κατασκευών, και επιτρέπουν τη χρήση διαφόρων μεθόδων ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένων των αριθμητικών μεθόδων, όπως η Μέθοδος των Πεπερασμένων στοιχείων. Οι Ευρωκώδικες αφήνουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων ανάλογα με την πολυπλοκότητα και τις ανάγκες ενός έργου.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method, FEM), αποτελεί μία τεχνική ανάλυσης των τάσεων που δημιουργούνται σε διάφορες κατασκευές με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ως αριθμητική μέθοδος, παρέχει τη δυνατότητα αντιμετώπισης πολύπλοκων προβλημάτων που μπορούν να εκφραστούν με τη μορφή διαφορικών εξισώσεων.

Η σχέση μεταξύ των Ευρωκωδίκων και της Μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων (FEM) είναι θεμελιώδης για τον σύγχρονο σχεδιασμό και την ανάλυση κατασκευών. Οι Ευρωκώδικες παρέχουν ένα σαφές πλαίσιο κανονισμών και οδηγιών για την ασφαλή και αποτελεσματική κατασκευή μηχανολογικών έργων, ενώ η FEM αποτελεί μια ισχυρή αριθμητική μέθοδο που επιτρέπει την ακριβή προσομοίωση της συμπεριφοράς των υλικών και των κατασκευών υπό ποικίλες συνθήκες φορτίων.

Αν και οι Ευρωκώδικες δεν απαιτούν ρητά τη χρήση της FEM, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συχνά για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων μηχανικής, προσφέροντας υψηλή ακρίβεια και λεπτομερή ανάλυση, ειδικά σε κατασκευές με σύνθετη γεωμετρία ή μη γραμμική συμπεριφορά.

Αποτελεί ισχυρό εργαλείο στη μελέτη των κατασκευών και βρίσκει μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Το χαρακτηριστικό της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι η χρήση διδιάστατων και τρισδιάστατων στοιχείων για την προσομοίωση συνεχών μέσων.

Οι Ευρωκώδικες συνήθως παρέχουν πιο απλές, χειροκίνητες ή ημιάριθμης φύσης μεθόδους ανάλυσης που βασίζονται σε εμπειρικές σχέσεις ή προσεγγιστικές φόρμουλες για τον σχεδιασμό και την επαλήθευση της αντοχής και της ασφάλειας των κατασκευών. Αυτές οι μέθοδοι είναι συχνά αρκετά επαρκείς για πιο απλά ή τυπικά έργα.

Ωστόσο, για πιο σύνθετα προβλήματα, όπως:

- Μη γραμμική ανάλυση υλικών (π.χ. πλαστικές παραμορφώσεις ή μεγάλα φορτία).
- Σύνθετες γεωμετρίες ή ασύμμετρες κατασκευές.
- Δυναμικές αναλύσεις για σεισμικά φορτία ή φορτία ανέμου.
- Αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, παρότι δεν είναι υποχρεωτική, η FEM είναι η πιο κατάλληλη επιλογή για την κάλυψη των απαιτήσεων ασφαλείας και ανάλυσης που

θέτουν οι Ευρωκώδικες, καθώς και για την ακριβέστερη ανάλυση και πρόβλεψη της συμπεριφοράς των κατασκευών.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων προσφέρει πλήθος πληροφοριών σχετικά με τη δομή που εξετάζεται, όπως η μάζα, ο όγκος, η θερμοκρασία, η ενεργειακή τάση, η παραμόρφωση, η δύναμη, η ταχύτητα, η επιτάχυνση και άλλα. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα εφαρμογής πολλών συνθηκών στο ίδιο μοντέλο.

Η ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να προσφέρει λύσεις στο πρόβλημα της πρόβλεψης της αστοχίας ενός υλικού λόγω μη γνωστών τάσεων, επιτρέποντας την εξέταση της κατανομής των τάσεων εντός του υλικού και αποκαλύπτοντας έτσι περιοχές που ενδέχεται να είναι προβληματικές. Αυτή η μέθοδος είναι πιο απλή σε σύγκριση με την κατασκευή και τον έλεγχο δειγμάτων για κάθε πιθανό σενάριο. Ένα τυπικό παράδειγμα εφαρμογής της είναι η ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας, όπου μελετάται η αγωγιμότητα των υλικών ή των κατασκευών.

Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων (FEM) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους Ευρωκώδικες για την ανάλυση και το σχεδιασμό κατασκευών. Αν και οι Ευρωκώδικες από μόνοι τους δεν προδιαγράφουν άμεσα τη χρήση της FEM, παρέχουν το πλαίσιο και τα πρότυπα που μπορούν να εφαρμοστούν μέσω αυτής της μεθόδου για τη λύση σύνθετων προβλημάτων μηχανικής.

Οι βασικοί Ευρωκώδικες στους οποίους η FEM χρησιμοποιείται πιο συχνά είναι οι εξής:

1. Ο Ευρωκώδικας 2 που αφορά τον σχεδιασμό και την ανάλυση κατασκευών από σκυρόδεμα. Η FEM χρησιμοποιείται εδώ για την ανάλυση κατανομής τάσεων, παραμορφώσεων, ρωγμών και γενικότερης δομικής συμπεριφοράς στοιχείων σκυροδέματος, ιδιαίτερα σε πολύπλοκες γεωμετρίες ή ασύμμετρα φορτία.

2. Ο Ευρωκώδικας 3 καλύπτει τον σχεδιασμό χαλύβδινων κατασκευών. Η FEM χρησιμοποιείται για την ανάλυση σταθερότητας, ευστάθειας και αστοχίας χαλύβδινων στοιχείων, όπως δοκοί, στήλες, πλαίσια και σύνθετες διατομές, ειδικά όταν υπάρχουν ατέλειες ή μη γραμμικές επιδράσεις.

3.Στον Ευρωκώδικα 4, που καλύπτει τις σύνθετες κατασκευές από χάλυβα και σκυρόδεμα, η FEM χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της σύνθετης συμπεριφοράς των υλικών, όπως η αλληλεπίδραση σκυροδέματος και χάλυβα υπό διάφορα φορτία και συνθήκες.

4. Στις ξύλινες κατασκευές, η FEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της μη γραμμικής συμπεριφοράς του ξύλου, των κόμβων και των συνδέσμων σε κατασκευές, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 5.

5. Ο Ευρωκώδικας 7 χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό γεωτεχνικών έργων, όπως θεμελιώσεις, τοιχία αντιστήριξης και άλλες υποδομές που αλληλεπιδρούν με το έδαφος. Η FEM εδώ χρησιμοποιείται για την ανάλυση της κατανομής των τάσεων στο έδαφος, τις μετακινήσεις, την ευστάθεια των πρανών και την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής.

6. Ο Ευρωκώδικας 8 καλύπτει την ανάλυση και τον σχεδιασμό κατασκευών για σεισμικά φορτία. Η FEM χρησιμοποιείται για την ανάλυση σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίων και γεφυρών, ειδικά για την προσομοίωση μη γραμμικής απόκρισης και δυναμικής αλληλεπίδρασης με το έδαφος.

7. Στις κατασκευές αλουμινίου, ο Ευρωκώδικας 9 χρησιμοποιεί την FEM για την ανάλυση της απόκρισης των δομικών στοιχείων από αλουμίνιο υπό διαφορετικά φορτία και συνθήκες.

Εφαρμογές της FEM στους Ευρωκώδικες

Η FEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

- Στατικές και δυναμικές αναλύσεις.
- Μη γραμμική συμπεριφορά υλικών και γεωμετριών.
- Ανάλυση κατασκευών υπό σεισμικά φορτία ή φορτία ανέμου.
- Βελτιστοποίηση της διαστασιολόγησης δομικών στοιχείων.
- Ανάλυση θερμικών και υγρομετρικών φορτίων, όπου αυτά επηρεάζουν τη συμπεριφορά της κατασκευής.

Κάθε προσέγγιση επίλυσης προβλημάτων με αυτήν τη μέθοδο περιλαμβάνει βιβλιοθήκες στοιχείων, όπως ράβδους, δοκούς, πλάκες, στερεά στοιχεία και ελατήρια. Στην ίδια προσομοίωση μπορεί να εξεταστούν υλικά με διαφορετικές ιδιότητες. Η δομική ανάλυση περιλαμβάνει τη χρήση γραμμικών και μη γραμμικών μοντέλων. Στα γραμμικά μοντέλα, υποτίθεται πως το υλικό δεν υφίσταται πλαστική παραμόρφωση, ενώ στα μη γραμμικά λαμβάνεται υπόψη η φόρτιση πέραν της ελαστικής παραμόρφωσης, μελετώντας την πλαστική παραμόρφωση του υλικού.

Συμπερασματικά, η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων είναι ένα πανίσχυρο εργαλείο που επιτρέπει την ακριβή εφαρμογή των κατευθυντήριων γραμμών των Ευρωκωδίκων, προσφέροντας λύσεις σε σύνθετα προβλήματα που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν εύκολα με πιο παραδοσιακές αναλυτικές μεθόδους.

10.1. Στοιχείο δοκού

10.1.1. Βασικές Εξισώσεις

Το στοιχείο δοκού είναι ένα διδιάστατο πεπερασμένο στοιχείο, όπου το τοπικό xy και το γενικό XY συντεταγμένο σύστημα συμπίπτουν. Κάθε στοιχείο δοκού έχει δύο κόμβους στα άκρα του και θεωρείται οριζόντιο. Στην περίπτωση αυτή το μητρώο δυσκαμψίας του στοιχείου δίνεται από τον ακόλουθο τύπο, όπου δεν λαμβάνεται υπόψη η αξονική του παραμόρφωση:

$$k = \frac{E*I}{L^3}\begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

όπου,

E: Μέτρο Ελαστικότητας

I: ροπή Αδράνειας

L: Μήκος του στοιχείου

Επειδή σε κάθε κόμβο έχουμε μία εγκάρσια μετατόπιση και μία γωνία στροφής, το στοιχείο δοκού έχει τέσσερις βαθμούς ελευθερίας (degrees of freedom). Η μετατόπιση θεωρείται θετική όταν είναι ανωφερική και η γωνία στροφής είναι θετική όταν είναι αντίθετη της κίνησης των δεικτών ρολογιού (αριστερόστροφη). Επομένως, ένα δόμημα που αποτελείται από n κόμβους, θα έχει γενικό μητρώο δυσκαμψίας K διαστάσεων (μεγέθους) 2n × 2n, επειδή κάθε κόμβος έχει δύο βαθμούς ελευθερίας. Για την εύρεση του γενικού μητρώου ακαμψίας K χρησιμοποιείται η συνάρτηση *BeamAssemble* του MATLAB. Μετά την εύρεση του γενικού μητρώου ακαμψίας K χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

$$[K]*\{ U \} = \{ F \} \quad \text{..... (10.1)}$$

Όπου,

U: γενικό διάνυσμα των κομβιακών μετακινήσεων

F: γενικό διάνυσμα των επικόμβιων δυνάμεων

Αυτό το βήμα περιλαμβάνει την χειρόγραφη καταγραφή των συνοριακών συνθηκών για τα διανύσματα U και F. Έπειτα, επιλύεται η μητρωϊκή εξίσωση (10.1) με μερισμό και απαλοιφή Gauss. Τέλος, μετά την εύρεση των αγνώστων μετακινήσεων και αντιδράσεων, υπολογίζεται για κάθε στοιχείο το διάνυσμα των επικόμβιων δυνάμεων από τον τύπο,

$$\{ f \} = [k] *\{ u \} \quad \text{..... (10.2)}$$

Όπου,

{ f }: 4 × 1 διάνυσμα των επικόμβιων δυνάμεων του στοιχείου

{ u }: 4 × 1 διάνυσμα των μετακινήσεων του στοιχείου.

Το πρώτο και δεύτερο στοιχείο κάθε διανύσματος { u } είναι η εγκάρσια μετατόπιση και στροφή, αντίστοιχα, του πρώτου κόμβου, ενώ το τρίτο και τέταρτο στοιχείο κάθε ανύσματος { u } είναι η εγκάρσια μετατόπιση και στροφή, αντίστοιχα, του δεύτερου κόμβου.

10.1.2.Χρησιμοποιούμενες Συναρτήσεις MATLAB

Οι πέντε συναρτήσεις MATLAB και τα προγράμματά, που χρησιμοποιούνται για στοιχεία δοκού είναι οι ακόλουθες:

BeamElementStiffness (E, I, L). Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει το μητρώο ακαμψίας κάθε στοιχείου δοκού με μέτρο ελαστικότητας E, ροπή αδρανείας I, και μήκος L. “Επιστρέφει" το 4 × 4 μητρώο ακαμψίας k.

```
function y = BeamElementStiffness (E, I, L)
%BeamElementStiffness   This function returns the element stiffness matrix
%                       for a beam element with modulus of elasticity E,
%                       moment of inertia I and length L.
%                       The size of the element stiffness matrix is 4 x 4.
y = E*I / (L*L*L) * [12  6*L  -12  6*L ;  6*L  4*L*L  -6*L  2*L*L ;  -12  -6*L 12 -
6*L ; 6*L  2*L*L  -6*L  4*L*L] ;
```

BeamAssemble (K, k, i, j). Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει το μητρώο ακαμψίας k στοιχείου δοκού που συνδέει τους κόμβους i και j στο γενικό μητρώο δυσκαμψίας (γμδ) K. "Επιστρέφει" το 2n × 2n γενικό μητρώο δυσκαμψίας K κάθε φορά που συναρμολογείται νέο στοιχείο .

```
function y = BeamAssemble (K, k, i, j)
%BeamAssemble   This function assembles the element stiffness matrix k
%               of the beam element with nodes i and j
%               into the global stiffness matrix K.
%               This function returns the global stiffness matrix K
%               after the element stiffness matrix k is assembled.
K(2*i-1,2*i-1) = K(2*i-1,2*i-1) + k (1,1) ;
K(2*i-1,2*i) = K(2*i-1,2*i) + k (1,2) ;
K(2*i-1,2*j-1) = K(2*i-1,2*j-1) + k (1,3) ;
K(2*i-1,2*j) = K(2*i-1,2*j) + k (1,4) ;
K(2*i,2*i-1) = K(2*i,2*i-1) + k(2,1) ;
K(2*i,2*i) = K(2*i,2*i) + k(2,2) ;
K(2*i,2*j-1) = K(2*i,2*j-1) + k(2,3) ;
K(2*i,2*j) = K(2*i,2*j) + k(2,4) ;
K(2*j-1,2*i-1) = K(2*j-1,2*i-1) + k(3,1);
K(2*j-1,2*i) = K(2*j-1,2*i) + k(3,2);
K(2*j-1,2*j-1) = K(2*j-1,2*j-1) + k(3,3);
K(2*j-1,2*j) = K(2*j-1,2*j) + k(3,4);
K(2*j,2*i-1) = K(2*j,2*i-1) + k(4,1);
K(2*j,2*1) = K(2*j,2*i) + k(4,2) ;
K(2*j,2*j-1) = K(2*j,2*j-1) + k(4,3);
K(2*j,2*j) = K(2*j,2*j) + k(4,4);
y = K;
```

BeamElementForces (k, u). Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει το μητρώο δυνάμεων κάθε στοιχείου χρησιμοποιώντας το k και το διάνυσμα των μετατοπίσεων του στοιχείου u. "Επιστρέφει" το 4 × 1 διάνυσμα δυνάμεων του στοιχείου f.

```
function y = BeamElementForces (k, u)
%BeamElementForces   This function returns the element nodal force
%                    vector given the element stiffness matrix k
%                    and the element nodal displacement vector u.
y = k * u;
```

BeamElementShearDiagram (f, L). Η συνάρτηση αυτή σχεδιάζει το διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων του στοιχείου με διάνυσμα επικόμβιων δυνάμεων f και μήκος L.

```
function y =BeamElementShearDiagram (f, L)
%BeamElementShearDiagram    This function plots the shear force diagram for the
%                           beam element with nodal force vector f and length L.
x = [0 ; L];
z = [f(1) ; -f(3)];
hold on;
title ('Shear Force Diagram');
plot(x, z);
y1 = [0 ; 0];
plot(x, yl, 'k')
```

BeamElementMomentDiagram (f, L). Η συνάρτηση αυτή σχεδιάζει το διάγραμμα των καμπτικών ροπών στοιχείου με διάνυσμα επικόμβιων δυνάμεων f και μήκος L.

```
function y = BeamElementMomentDiagram (f, L)
%BeamElementMomentDiagram    This function plots the bending moment diagram
%                            for the beam element with nodal force vector f
%                            length L.
x = [0 ; L];
z =[-f(2) ; f(4)];
hold on;
title('Bending Moment Diagram');
plot(x , z);
y1 = [0 ; 0];
plot(x, y1, 'k')
```

10.2. Στοιχείο Χωραίου Πλαισίου

10.2.1. Βασικές Εξισώσεις

Το στοιχείο κάθε χωραίου πλαισίου είναι ένα τρισδιάστατο γραμμικό πεπερασμένο στοιχείο με τοπικές και γενικές συντεταγμένες. Έχει μέτρο Ελαστικότητας E, μέτρο διάτμησης G, εμβαδό διατομής A, ροπές αδράνειας I_x και I_y , πολική ροπή αδράνειας J και μήκος L.

Κάθε στοιχείο χωραίου πλαισίου έχει δύο κόμβους και είναι κεκλιμένο κατά γωνίες θ_{xx} , θ_{yx} , θ_{zx} οι οποίες μετρούνται από τους γενικούς άξονες X, Y και Z, αντίστοιχα, μέχρι το διαμήκη τοπικό άξονα x του στοιχείου. Στην περίπτωση αυτή το μητρώο δυσκαμψίας του στοιχείου δίνεται από τον τύπο,

$$[k] = [R]^T * [k']*[R] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10.3)$$

Όπου το μητρώο περιστροφής [R] και το μητρώο δυσκαμψίας [k΄] δίνονται από τους τύπους:

$$[R] = \begin{bmatrix} [r] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [r] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & [r] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & [r] \end{bmatrix} \text{.....(10.4)}$$

Όπου r είναι το 3 × 3 μητρώο των συνημιτόνων κατεύθυνσης ,

$$[r] = \begin{bmatrix} C_{X_x} & C_{Y_x} & C_{Z_x} \\ C_{X_y} & C_{Y_y} & C_{Z_y} \\ C_{X_z} & C_{Y_z} & C_{Z_z} \end{bmatrix} \text{.....(10.5)}$$

Και $C_{X_x} = \cos\theta_{X_x}$, $C_{Y_x} = \cos\theta_{Y_x}$, …, κ. λπ.

$[k'] =$

$$\begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_x}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_x}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_x}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{16EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & - & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

Το στοιχείο χωραίου πλαισίου έχει δώδεκα βαθμούς ελευθερίας - έξι σε κάθε κόμβο (τρείς μετακινήσεις και τρείς γωνίες στροφής). Επομένως, για δόμημα με n κόμβους, το γενικό μητρώο δυσκαμψίας K θα έχει μέγεθος 6n × 6n, επειδή σε κάθε

κόμβο έχουμε έξι βαθμούς ελευθερίας. Το γενικό μητρώο δυσκαμψίας K συναρμολογείται καλώντας τη συνάρτηση *SpaceFrameAssemble* του MATLAB.

Μετά την εύρεση του γενικού μητρώου ακαμψίας K χρησιμοποιείτε η εξίσωση:

$$[K] * \{U\} = \{F\} \quad \text{.....} \quad (10.6)$$

Όπου,

U: είναι το διάνυσμα των γενικών κομβιακών μετακινήσεων

F: το γενικό διάνυσμα των επικόμβιων δυνάμεων.

Στο βήμα αυτό εφαρμόζονται οι συνοριακές συνθήκες στα διανύσματα U και F. Στη συνέχεια, επιλύονται με μερισμό και απαλοιφή Gauss τη μητρωϊκή εξίσωση (10.6). Τέλος, μετά τον υπολογισμό των αγνώστων μετακινήσεων και αντιδράσεων, βρίσκουμε το άνυσμα των κομβιακών δυνάμεων κάθε στοιχείου - μέλους από τη σχέση,

$$\{f\} = [k']*[R]*\{u\} \quad \text{.....} \quad (10.7)$$

Όπου,

{f}: 12 × 1 άνυσμα των κομβιακών δυνάμεων

n: το 12 × 1 άνυσμα των μετακινήσεων.

Το πρώτο, δεύτερο, και τρίτο στοιχείο κάθε ανύσματος {u} είναι οι τρείς μετακινήσεις ενώ το 4ο, 5ο, και 6ο στοιχείο είναι οι τρείς γωνίες στροφής, αντίστοιχα, του πρώτου κόμβου, ενώ το 7ο, 8ο, και 9ο στοιχείο κάθε ανύσματος {u} είναι οι τρείς μετακινήσεις και, τέλος, το 10ο, 11ο, και 12ο στοιχείο είναι οι τρείς γωνίες στροφής, αντίστοιχα, του δεύτερου κόμβου.

10.2.2 Χρησιμοποιούμενες Συναρτήσεις MATLAB

Οι δέκα συναρτήσεις MATLAB με τα προγράμματά τους, που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες:

SpaceFrameElementLength $(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2)$. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει το μήκος του στοιχείου όταν γνωρίζουμε τις συντεταγμένες (x_1, y_1, z_1) του πρώτου κόμβου και τις συντεταγμένες (x_2, y_2, z_2) του δεύτερου κόμβου.

```
function y = SpaceFrameElementLength (x1, y1, z1, x2, y2, z2)
%SpaceFrameElementLength    This function returns the length of the space frame
%                           element whose first node has coordinates (x1, y1, z1)
%                           and second node has coordinates (x2, y2, z2).
y = sqrt((x2-x1) * (x2-x1) + (y2-yl) * (y2-yl) + (z2-z1) * (z2-z1));
```

SpaceFrameElementStiffness (E, G, A, I_y, I_z, J, x_1 , y_1 , z_1 , x_2 , y_2 , z_2). Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει το μητρώο δυσκαμψίας κάθε στοιχείου χωραίου πλαισίου που έχει μέτρο ελαστικότητας E, μέτρο διάτμησης G, εμβαδό διατομής A, ροπές αδρανείας I_x και I_y, πολική ροπή αδρανείας J, συντεταγμένες πρώτου κόμβου (x_1 , y_1 , z_1) και συντεταγμένες δεύτερου κόμβου (x_2 , y_2 , z_2). "Επιστρέφει" το 12 × 12 μητρώο ακαμψίας του στοιχείου k.

```
function y = SpaceFrameElementStiffness (E, G, A, Iy, Iz, J, x1, y1, zl, x2, y2, z2)
%SpaceFrameElementStiffness      This function returns the element stiffness matrix
%                                 for a space frame element with
%                                 modulus of elasticity E, shear modulus
%                                 of elasticity G, cross- sectional area A,
%                                 moments of inertia Iy and Iz, torsional constant J,
%                                 coordinates (x1,y1,zl) for the first node and
%                                 and coordinates (x2,y2,z2) for the second node.
%                                The size of the element stiffness matrix is 12 x 12.
L = sqrt((x2-x1) * (x2-x1) + (y2-yl) * (y2-yl) + (z2-z1) * (z2-z1));
w1 = (E*A)/L;
w2 = 12*E*Iz/(L*L*L);
w3 = 6*E*Iz/(L*L);
w4 = 4*E*Iz/L;
w5 = 2*E*Iz/L;
w6 = 12*E*Iy/(L*L*L):
w7 = 6*E*Iy/(L*L);
w8 = 4*E*Iy/L;
w9 = 2*E*Iy/L;
w10 = G*J/L;
kprime =  [w1  0  0  0  0  0  -w1  0  0  0  0  0 ;
    0  w2  0  0  0  w3  0  -w2  0  0  0  w3 ;
    0  0  w6  0  -w7  0  0  0  -w6  0  -w7  0 ;
    0  0  0  w10  0  0  0  0  0  -w10  0  0 ;
    0  0  -w7  0  w8  0  0  0  w7  0  w9  0 ;
    0  w3  0  0  0  w4  0  -w3  0  0  0  w5 ;
    -w1  0  0  0  0  0  w1  0  0  0  0  0 ;
    0  -w2  0  0  0  -w3  0  w2  0  0  0  -w3 ;
    0  0  -w6  0  w7  0  0  0  w6  0  w7  0 ;
    0  0  0  -w10  0  0  0  0  0  w10  0  0 ;
    0  0  -w7  0  w9  0  0  0  w7  0  w8  0;
    0    w3  0  0  0  w5  0  -w3  0  0  0  w4] ;

If  x1 = = x2 & y1 = = y2
    If  z2 > z1
        Lambda = [0  0  1 ; 0  1  0  ;  -1  0  0];
    else
        Lambda = [0  0  -1 ;  0  1  0  ;  1  0  0];
    end
else
    CXx = (x2-x1)/L;
    CYx = (y2-yl)/L;
    CZx = (z2-z1)/L;
```

```
    D = sqrt (CXx*CXx + CYx*CYx);
    CXy = -CYx/D;
    CYy = CXx/D;
    CZy = 0;
    CXz = -CXx*CZx/D;
    CYz = -CYx*CZx/D;
    CZz = D;
    Lambda = [CXx CYx CZx ;  CXy CYy CZy ; CXz CYz CZz];
end
R = [Lambda zeros (3) zeros (3) zeros (3);
     zeros (3) Lambda zeros (3) zeros(3);
     zeros (3) zeros (3) Lambda zeros (3);
     zeros (3) zeros (3) zeros (3) Lambda];
y =  R' * kprime * R;
```

SpaceFrameAssemble (K, k, i, j). Η συνάρτηση αυτή συναρμολογεί το μητρώο ακαμψίας του στοιχείου k του χωραίου στοιχείου πλαισίου, το οποίο συνδέει τους κόμβους i και j στο καθολικό μητρώο ακαμψίας K. Επιστρέφει το 6n × 6n γενικό μητρώο ακαμψίας K κάθε φορά που συναρμόζει ένα στοιχείο.

```
function y = SpaceFrameAssemble (K, k, i, j)
%SpaceFrameAssemble        This function assembles the element stiffness matrix k
%                          of the space frame element with nodes i and j
%                          into the global stiffness matrix K.
%                          This function returns the global stiffness matrix K
%                          after the element stiffness matrix k is assembled.
K(6*i-5,6*i-5) = K(6*i-5,6*i-5) + k(1,1);
K(6*i-5,6*i-4) = K(6*i-5,6*i-4) + k(1,2);
K(6*i-5,6*i-3) = K(6*i-5,6*i-3) + k(1,3);
K(6*i-5,6*i-2) = K(6*i-5,6*i-2) + k(1,4);
K(6*i-5,6*i-1) = K(6*i-5,6*i-1) + k(1,5);
K(6*i-5,6*i) = K(6*i-5,6*i) + k(1,6);
K(6*i-5,6*j-5) = K(6*i-5,6*j-5) + k(1,7);
K(6*i-5,6*j-4) = K(6*i-5,6*j-4) + k(1,8);
K(6*i-5,6*j-3) = K(6*i-5,6*j-3) + k(1,9);
K(6*i-5,6*j-2) = K(6*i-5,6*j-2) + k(1,10);
K(6*i-5,6*j-1) = K(6*i-5,6*j-1)+ k(1,11);
K(6*i-5,6*j) = K(6*i-5,6*j) + k(1,12);
K(6*i-4,6*i-5) = K(6*i-4,6*i-5) + k(2,1);
K(6*i-4,6*i-4) = K(6*i-4,6*i-4) + k(2,2);
K(6*i-4,6*i-3) = K(6*i-4,6*i-3) + k(2,3);
K(6*i-4,6*i-2) = K(6*i-4,6*i-2)+ k(2,4);
K(6*i-4,6*i-1) = K(6*i-4,6*i-1)+ k(2,5);
K(6*i-4,6*i) = K(6*i-4,6*i) + k(2,6);
K(6*i-4,6*j-5) = K(6*i-4,6*j-5) + k(2,7);
K(6*i-4,6*j-4) = K(6*i-4,6*j-4) + k(2,8);
K(6*i-4,6*j-3) = K(6*i-4,6*j-3) + k(2,9);
K(6*i-4,6*j-2) = K(6*i-4,6*j-2) + k(2,10);
K(6*i-4,6*j-1) = K(6*i-4,6*j-1) + k(2,11);
```

```
K(6*i-4,6*j) = K(6*i-4,6*j) + k(2,12);
K(6*i-3,6*i-5) = K(6*i-3,6*i-5) + k(3,1);
K(6*i-3,6*i-4) = K(6*i-3,6*i-4) + k(3,2);
K(6*i-3,6*i-3) = K(6*i-3,6*i-3) + k(3,3);
K(6*i-3,6*i-2) = K(6*i-3,6*i-2) + k(3,4);
K(6*i-3,6*i-1) = K(6*i-3,6*i-1) + k(3,5);
K(6*i-3,6*i) = K(6*i-3,6*i) + k(3,6);
K(6*i-3,6*j-5) = K(6*i-3,6*j-5) + k(3,7);
K(6*i-3,6*j-4) = K(6*i-3,6*j-4) + k(3,8);
K(6*i-3,6*j-3) = K(6*i-3,6*j-3) + k(3,9);
K(6*i-3,6*j-2) = K(6*i-3,6*j-2) + k(3,10);
K(6*i-3,6*j-1) = K(6*i-3,6*j-1) + k(3,11);
K(6*i-3,6*j) = K(6*i-3,6*j) + k(3,12);
K(6*i-2,6*i-5) = K(6*i-2,6*i-5) + k(4,1);
K(6*i-2,6*i-4) = K(6*i-2,6*i-4) + k(4,2);
K(6*i-2,6*i-3) = K(6*i-2,6*i-3) + k(4,3);
K(6*i-2,6*i-2) = K(6*i-2,6*i-2) + k(4,4);
K(6*i-2,6*i-1) = K(6*i-2,6*i-1) + k(4,5);
K(6*i-2,6*i) = K(6*i-2,6*i) + k(4,6);
K(6*i-2,6*j-5) = K(6*i-2,6*j-5) + k(4,7);
K(6*i-2,6*j-4) = K(6*i-2,6*j-4) + k(4,8);
K(6*i-2,6*j-3) = K(6*i-2,6*j-3) + k(4,9);
K(6*i-2,6*j-2) = K(6*i-2,6*j-2) + k(4,10);
K(6*i-2,6*j-1) = K(6*i-2,6*j-1) + k(4,11);
K(6*i-2,6*j) = K(6*i-2,6*j) + k(4,12);
K(6*i-1,6*i-5) = K(6*i-1,6*i-5) + k(5,1);
K(6*i-1,6*i-4) = K(6*i-1,6*i-4) + k(5,2);
K(6*i-1,6*i-3) = K(6*i-1,6*i-3) + k(5,3);
K(6*i-1,6*i-2) = K(6*i-1,6*i-2) + k(5,4);
K(6*i-1,6*i-1) = K(6*i-1,6*i-1) + k(5,5);
K(6*i-1,6*i) = K(6*i-1,6*i) + k(5,6);
K(6*i-1,6*j-5) = K(6*i-1,6*j-5) + k(5,7);
K(6*i-1,6*j-4) = K(6*i-1,6*j-4) + k(5,8);
K(6*i-1,6*j-3) = K(6*i-1,6*j-3) + k(5,9);
K(6*i-1,6*j-2) = K(6*i-1,6*j-2) + k(5,10);
K(6*i-1,6*j-1) = K(6*i-1,6*j-1) + k(5,11);
K(6*i-1,6*j) = K(6*i-1,6*j) + k(5,12);
K(6*i,6*i-5) = K(6*i,6*i-5) + k(6,1);
K(6*i,6*i-4) = K(6*i,6*i-4) + k(6,2);
K(6*i,6*i-3) = K(6*i,6*i-3) + k(6,3);
K(6*i,6*i-2) = K(6*i,6*i-2) + k(6,4);
K(6*i,6*i-1) = K(6*i,6*i-1) + k(6,5);
K(6*i,6*i) = K(6*i,6*i) + k(6,6);
K(6*i,6*j-5) = K(6*i,6*j-5) + k(6,7);
K(6*i,6*j-4) = K(6*i,6*j-4) + k(6,8);
K(6*i,6*j-3) = K(6*i,6*j-3) + k(6,9);
K(6*i,6*j-2) = K(6*i,6*j-2) + k(6,10);
K(6*i,6*j-1) = K(6*i,6*j-1) + k(6,11);
```

```
K(6*i,6*j) = K(6*i,6*j) + k(6,12);
K(6*j-5,6*i-5) = K(6*j-5,6*i-5) + k(7,1);
K(6*j-5,6*i-4) = K(6*j-5,6*i-4) + k(7,2);
K(6*j-5,6*i-3) = K(6*j-5,6*i-3) + k(7,3);
K(6*j-5,6*i-2) = K(6*j-5,6*i-2) + k(7,4);
K(6*j-5,6*i-1) = K(6*j-5,6*i-1) + k(7,5);
K(6*j-5,6*i) = K(6*j-5,6*i) + k(7,6);
K(6*j-5,6*j-5) = K(6*j-5,6*j-5) + k(7,7);
K(6*j-5,6*j-4) = K(6*j-5,6*j-4) + k(7,8);
K(6*j-5,6*j-3) = K(6*j-5,6*j-3) + k(7,9);
K(6*j-5,6*j-2) = K(6*j-5,6*j-2) + k(7,10);
K(6*j-5,6*j-1) = K(6*j-5,6*j-1) + k(7,11);
K(6*j-5,6*j) = K(6*j-5,6*j) + k(7,12);
K(6*j-4,6*i-5) = K(6*j-4,6*i-5) + k(8,1);
K(6*j-4,6*i-4) = K(6*j-4,6*i-4) + k(8,2);
K(6*j-4,6*i-3) = K(6*j-4,6*i-3) + k(8,3);
K(6*j-4,6*i-2) = K(6*j-4,6*i-2) + k(8,4);
K(6*j-4,6*i-1) = K(6*j-4,6*i-1) + k(8,5);
K(6*j-4,6*i) = K(6*j-4,6*1) + k(8,6);
K(6*j-4,6*j-5) = K(6*j-4,6*3-5) + k(8,7);
K(6*j-4,6*j-4) = K(6*j-4,6*j-4) + k(8,8);
K(6*j-4,6*j-3) = K(6*j-4,6*j-3) + k(8,9);
K(6*j-4,6*j-2) = K(6*j-4,6*j-2) + k(8,10);
K(6*j-4,6*j-1) = K(6*j-4,6*j-1) + k(8,11);
K(6*j-4,6*j) = K(6*j-4,6*j) + k(8,12);
K(6*j-3,6*i-5) = K(6*j-3,6*i-5) + k(9,1);
K(6*j-3,6*i-4) = K(6*j-3,6*i-4) + k(9,2);
K(6*j-3,6*i-3) = K(6*j-3,6*i-3) + k(9,3);
K(6*j-3,6*i-2) = K(6*j-3,6*i-2) + k(9,4);
K(6*j-3,6*i-1) = K(6*j-3,6*i-1) + k(9,5);
K(6*j-3,6*i) = K(6*j-3,6*i) + k(9,6);
K(6*j-3,6*j-5) = K(6*j-3,6*j-5) + k(9,7);
K(6*j-3,6*j-4) = K(6*j-3,6*j-4) + k(9,8);
K(6*j-3,6*j-3) = K(6*j-3,6*j-3) + k(9,9);
K(6*j-3,6*j-2) = K(6*j-3,6*j-2) + k(9,10);
K(6*j-3,6*j-1) = K(6*j-3,6*j-1) + k(9,11);
K(6*j-3,6*j) = K(6*j-3,6*j) + k(9,12);
K(6*j-2,6*i-5) = K(6*j-2,6*i-5) + k(10,1);
K(6*j-2,6*i-4) = K(6*j-2,6*i-4) + k(10,2);
K(6*j-2,6*i-3) = K(6*j-2,6*i-3) + k(10,3);
K(6*j-2,6*i-2) = K(6*j-2,6*i-2) + k(10,4);
K(6*j-2,6*i-1) = K(6*j-2,6*i-1) + k(10,5);
K(6*j-2,6*i) = K(6*j-2,6*i) + k(10,6);
K(6*j-2,6*j-5) = K(6*j-2,6*j-5) + k(10,7);
K(6*j-2,6*j-4) = K(6*j-2,6*j-4) + k(10,8);
K(6*j-2,6*j-3) = K(6*j-2,6*j-3) + k(10,9);
K(6*j-2,6*j-2) = K(6*j-2,6*j-2) + k(10,10);
K(6*j-2,6*j-1) = K(6*j-2,6*j-1) + k(10,11);
```

```
K(6*j-2,6*j) = K(6*j-2,6*j) + k(10,12);
K(6*j-1,6*i-5) = K(6*j-1,6*i-5) + k(11,1);
K(6*j-1,6*i-4) = K(6*j-1,6*i-4) + k(11,2);
K(6*j-1,6*i-3) = K(6*j-1,6*i-3) + k(11,3);
K(6*j-1,6*i-2) = K(6*j-1,6*i-2) + k(11,4);
K(6*j-1,6*i-1) = K(6*j-1,6*i-1) + k(11,5);
K(6*j-1,6*i) = K(6*j-1,6*i) + k(11,6);
K(6*j-1,6*j-5) = K(6*j-1,6*j-5) + k(11,7);
K(6*j-1,6*j-4) = K(6*j-1,6*j-4) + k(11,8);
K(6*j-1,6*j-3) = K(6*j-1,6*j-3) + k(11,9);
K(6*j-1,6*j-2) = K(6*j-1,6*j-2) + k(11,10);
K(6*j-1,6*j-1) = K(6*j-1,6*j-1) + k(11,11);
K(6*j-1,6*j) = K(6*j-1,6*j) + k(11,12);
K(6*j,6*i-5) = K(6*j,6*i-5) + k(12,1);
K(6*j,6*i-4) = K(6*j,6*i-4) + k(12,2);
K(6*j,6*i-3) = K(6*j,6*i-3) + k(12,3);
K(6*j,6*i-2) = K(6*j,6*i-2) + k(12,4);
K(6*j,6*i-1) = K(6*j,6*i-1) + k(12,5);
K(6*j,6*i) = K(6*j,6*i) + k(12,6);
K(6*j,6*j-5) = K(6*j,6*j-5) + k(12,7);
K(6*j,6*j-4) = K(6*j,6*j-4) + k(12,8);
K(6*j,6*j-3) = K(6*j,6*j-3) + k(12,9);
K(6*j,6*j-2) = K(6*j,6*j-2) + k(12,10);
K(6*j,6*j-1) = K(6*j,6*j-1) + k(12,11);
K(6*j,6*j) = K(6*j,6*j) + k(12,12);
y = K;
```

SpaceFrameElementForces (E, G, A, I_y, I_z, J, x_1 , y_1 , z_1 , x_2 , y_2 , z_2, u). Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει το διάνυσμα των δυνάμεων του στοιχείου χρησιμοποιώντας το μέτρο ελαστικότητας E, το μέτρο διάτμησης G, το εμβαδό της διατομής A, τις ροπές αδρανείας I_x και I_y, την πολική ροπή αδρανείας J, τις συντεταγμένες (x_1 , y_1 , z_1) του πρώτου κόμβου, τις συντεταγμένες (x_2 , y_2 , z_2) του δεύτερου κόμβου, και το άνυσμα μετακινήσεων του στοιχείου u. Μας επιστρέφει το 12 × 1 διάνυσμα των δυνάμεων μέλους f.

```
function y = SpaceFrameElementForces (E, G, A, Iy, Iz, J, x1, y1, z1, x2, y2, z2, u)
%SpaceFrameElementForces     This function returns the element force vector
%                            given the modulus of elasticity E, shear modulus
%                            of elasticity G, cross-sectional area A,
%                            moments of inertia Iy and Iz, torsional constant J,
%                            coordinates (x1,y1,zl) of the first node,
%                            the coordinates (x2,y2,z2) of the second node and
%                            the element nodal displacement vector u.
L = sqrt((x2-x1) * (x2-x1) + (y2-yl) * (y2-yl) + (z2-z1) * (z2-z1));
w1 = (E*A)/L;
w2 = 12*E*Iz/(L*L*L);
w3 = 6*E*Iz/(L*L);
w4 = 4*E*Iz/L;
```

```
w5 = 2*E*Iz/L;
w6 = 12*E*Iy/(L*L*L):
w7 = 6*E*Iy/(L*L);
w8 = 4*E*Iy/L;
w9 = 2*E*Iy/L;
w10 = G*J/L;
kprime =  [w1  0  0  0  0  0  -w1  0  0  0  0  0 ;
    0  w2  0  0  0  w3  0  -w2  0  0  0  w3 ;
    0  0  w6  0  -w7  0  0  0  -w6  0  -w7  0 ;
    0  0  0  w10  0  0  0  0  0  -w10  0  0 ;
    0  0  -w7  0  w8  0  0  0  w7  0  w9  0 ;
    0  w3  0  0  0  w4  0  -w3  0  0  0  w5 ;
    -w1  0  0  0  0  0  w1  0  0  0  0  0 ;
    0  -w2  0  0  0  -w3  0  w2  0  0  0  -w3 ;
    0  0  -w6  0  w7  0  0  0  w6  0  w7  0 ;
    0  0  0  -w10  0  0  0  0  0  w10  0  0 ;
    0  0  -w7  0  w9  0  0  0  w7  0  w8  0;
    0    w3  0  0  0  w5  0  -w3  0  0  0  w4] ;

If  x1 = = x2 & y1 = = y2
    If  z2 > z1
        Lambda = [0  0  1 ; 0  1  0  ;  -1  0  0];
    else
        Lambda = [0  0  -1 ;  0  1  0  ;  1  0  0];
    end
else
    CXx = (x2-x1)/L;
    CYx = (y2-yl)/L;
    CZx = (z2-z1)/L;
    D = sqrt (CXx*CXx + CYx*CYx);
    CXy = -CYx/D;
    CYy = CXx/D;
    CZy = 0;
    CXz = -CXx*CZx/D;
    CYz = -CYx*CZx/D;
    CZz = D;
    Lambda = [CXx CYx CZx ;  CXy CYy CZy ; CXz CYz CZz];
end
R = [Lambda zeros (3) zeros (3) zeros (3);
     zeros (3) Lambda zeros (3) zeros(3);
     zeros (3) zeros (3) Lambda zeros (3);
     zeros (3) zeros (3) zeros (3) Lambda];
y = kprime * R * u;
```

SpaceFrameElementAxialDiagram (f, L). Η συνάρτηση αυτή σχεδιάζει το διάγραμμα των αξονικών δυνάμεων του στοιχείου που έχει διάνυσμα επικόμβιων δυνάμεων f και μήκος L.

```
function y = SpaceFrameElementAxialDiagram (f, L)
%SpaceFrameElementAxialDiagram      This function plots the axial force diagram for
```

```
%                                   the space frame element with nodal force
%                                   vector f and length L.
x = [0 ; L];
z = [-f(1) ; f(7)];
hold on;
title('Axial Force Diagram');
plot(x,z);
y1 = [ 0 ; 0 ];
plot(x, y1, 'k')
```

SpaceFrameElementShearZDiagram (f, L). Η συνάρτηση αυτή σχεδιάζει το διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων (κατά τον άξονα Z) του στοιχείου που έχει άνυσμα επικόμβιων δυνάμεων f και μήκος L.

```
function y = SpaceFrameElementShearZDiagram (f, L)
%SpaceFrameElementShearZDiagram    This function plots the shear force diagram
%                                  for the space frame element with nodal
%                                  force vector f and length L.
x = [0 ; L];
z = [f(3) ; -f(9)];
hold on;
title('Shear Force Diagram in Z Direction');
plot(x,z);
y1 = [0 ; 0];
plot(x, y1, 'k');
```

SpaceFrameElementShearYDiagram (f, L). Η συνάρτηση αυτή σχεδιάζει το διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων (κατά τον άξονα Y) του στοιχείου που έχει άνυσμα επικόμβιων δυνάμεων f και μήκος L.

```
function y = SpaceFrameElementShearYDiagram (f, L)
%SpaceFrameElementShearYDiagram    This function plots the shear force diagram
%                                  for the space frame element with nodal
%                                  force vector f and length L.
x = [0 ; L];
z = [f(2) ; -f(8)];
hold on;
title('Shear Force Diagram in Y Direction');
plot(x, z);
y1 = [0 ; 0];
plot(x, y1, 'k')
```

SpaceFrameElementTorsionDiagram (f, L). Η συνάρτηση αυτή σχεδιάζει το διάγραμμα των στρεπτικών ροπών του στοιχείου που έχει άνυσμα επικόμβιων δυνάμεων f και μήκος L.

```
function y = SpaceFrameElementTorsionDiagram (f, L)
%SpaceFrameElementTorsionDiagram    This function plots the torsion diagram
%                                   for the space frame element with nodal
```

```
%                                   force vector f and length L.
x = [0 ; L];
z = [f(4); -f(10)];
hold on;
title('Torsion Diagram');
plot(x, z);
y1= [0 , 0];
plot(x, y1, 'k')
```

SpaceFrameElementMomentZDiagram (f, L). Η συνάρτηση αυτή σχεδιάζει το διάγραμμα των καμπτικών ροπών (κατά τον άξονα των Z) του στοιχείου που έχει άνυσμα επικόμβιων δυνάμεων f και μήκος L.

```
function y = SpaceFrameElementMomentZDiagram (f, L)
%SpaceFrameElementMomentZDiagram    This function plots the bending moment
%                                   diagram for the space frame element
%                                   with nodal force vector f and length L.
x = [0 ; L];
z = [f(6); -f (12)];
hold on;
title('Bending Moment Diagram along Z Axis');
plot(x, z);
y1[0 ; 0];
plot(x, y1, 'k')
```

SpaceFrameElementMomentYDiagram (f, L). Η συνάρτηση αυτή σχεδιάζει το διάγραμμα των καμπτικών ροπών (κατά τον άξονα των Y) του στοιχείου που έχει άνυσμα επικόμβιων δυνάμεων f και μήκος L.

```
function y = SpaceFrameElementMomentYDiagram (f, L)
%SpaceFrameElementMomentYDiagram    This function plots the bending moment
%                                   diagram for the space frame element
%                                   with nodal force vector f and length L.
x = [0 ; L];
z = [f(5) ; -f(11)];
hold on;
title('Bending Moment Diagram along Y Axis');
plot(x, z);
y1 = [0 ; 0];
plot(x, y1, 'k')
```

Βήματα της Μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων

Γενικά, για την επίλυση προβλημάτων με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ακολουθούνται τα εξής 6 βήματα.
Αρχικά, ξεκαθαρίζω αν ο φορέας μου είναι υπερστατικός ή ισοστατικός και σε πόσες στηρίξεις έχω περιορισμό κινήσεων.

Βήμα 1: Χωρίζω το φορέα σε ικανό αριθμό πεπερασμένων στοιχείων ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα (Διακριτοποίηση του φορέα).

Βήμα 2: Ορίζω τη συνδεσμολογία κάθε στοιχείου ανάλογα τους κόμβους που ενώνει και στη συνέχεια προσδιορίζω τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε στοιχείου, όπως το Μέτρο Ελαστικότητας, Ροπή Αδράνειας, Μήκος, Γωνία στροφής. Ορίζω την κλίση κάθε στοιχείου ως προς την οριζόντια.

Βήμα 3: Υπολογίζω το τοπικό μητρώο ακαμψίας (K) κάθε στοιχείου.

Βήμα 4: Κάνω τη συρραφή του ολικού μητρώου ακαμψίας (Kglobal), σύμφωνα με τη συνδεσμολογία των κόμβων.

Βήμα 5: Εφαρμόζω τις συνοριακές συνθήκες, δηλαδή βρίσκω ποιοι κόμβοι δεν μετατοπίζονται.

Βήμα 6: Τέλος, στο βήμα αυτό υπολογίζουμε τις αντιδράσεις στους κόμβους και τις δυνάμεις (τέμνουσες και ροπές) κάθε στοιχείου χρησιμοποιώντας το MATLAB. Πρώτα εγγράφουμε το διάνυσμα των γενικών κομβιακών μετακινήσεων, U, και μετά υπολογίζουμε το άνυσμα των γενικών επικόμβιων δυνάμεων F. Εφαρμόζω τη σχέση F = k * u, όπου k ολικό μητρώο.

Διαπιστώνεται ότι η διαδικασία επίλυσης προβλημάτων γίνεται σε συνδυασμό των παραπάνω βημάτων και υπολογιστικών προγραμμάτων όπως το MATLAB, Octave και άλλα. Ανάλογα τον τύπο του προβλήματος (Στοιχείο δοκού, Στοιχείο χωραίου πλαισίου, κ.λπ.) χρησιμοποιούνται τα ανάλογα προγράμματα για την αποφυγή χρονοβόρων, επαναλαμβανόμενων υπολογισμών και για πιο ακριβή αποτελέσματα και σωστά διαγράμματα.

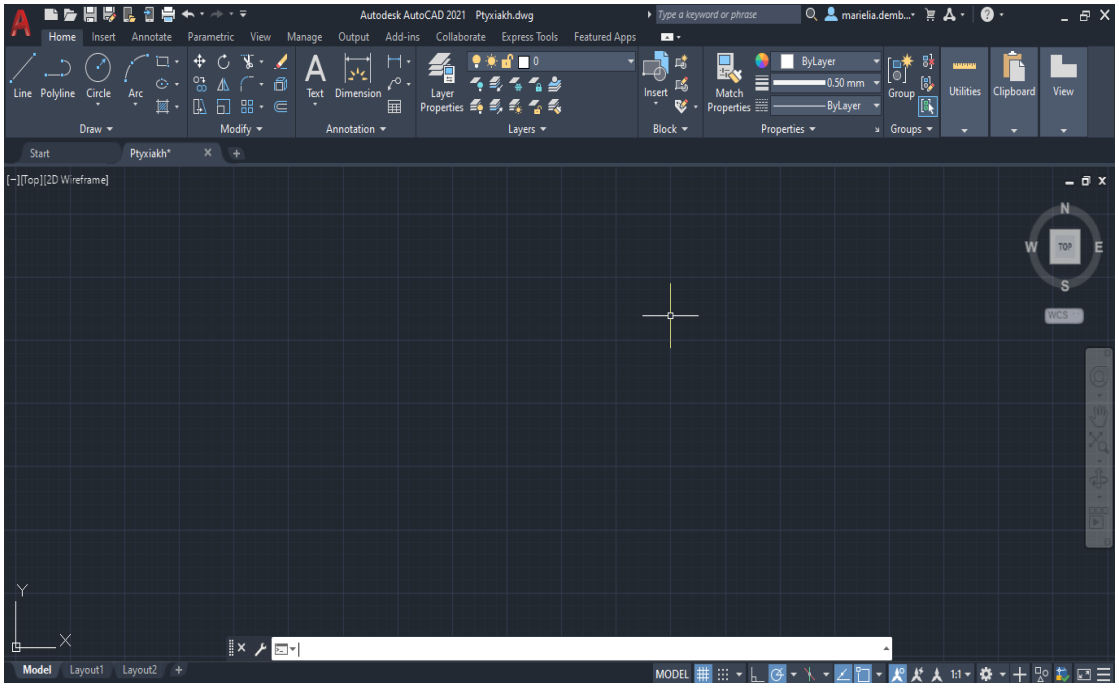
Οι Ευρωκώδικες και η Μέθοδος των Πεπερασμένων στοιχείων συμπληρώνουν η μία την άλλη. Οι Ευρωκώδικες παρέχουν τα κατευθυντήρια πλαίσια και τις προδιαγραφές ασφαλείας, ενώ η FEM επιτρέπει την ακριβή και λεπτομερή ανάλυση των δομικών στοιχείων με βάση αυτές τις προδιαγραφές.

11. Παραδείγματα μηχανολογικών κατασκευών σχεδιασμένες με τον Ευρωκώδικα 3.

11.1. Εισαγωγή

Για την καλύτερη κατανόηση του Ευρωκώδικα 3 και για την ολοκλήρωση του κεφαλαίου αυτού, πρόκειται να παρουσιαστούν δύο παραδείγματα μηχανολογικών κατασκευών, σχεδιασμένες με βάση τη μηχανολογία, όπου τα ερωτήματα υπολογίζονται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3, παρακάτω θα περιγραφούν αναλυτικά οι διατάξεις.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα σχέδια για τις κατόψεις και τις πλάγιες όψεις σχεδιάστηκαν με το λογισμικό AutoCAD 2021.

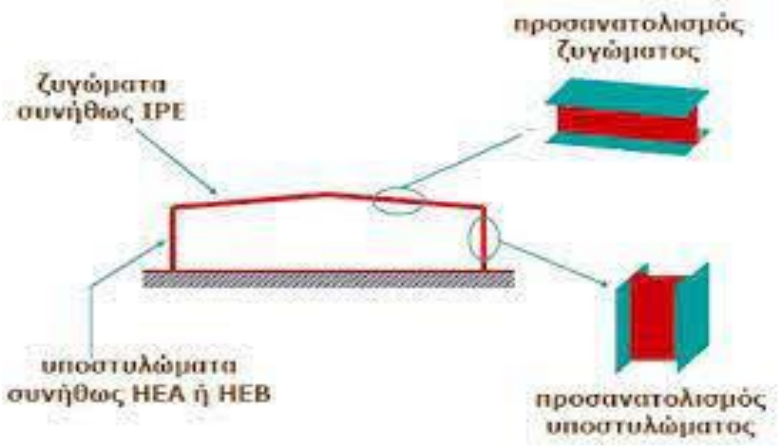


Εικόνα 11:1: *Αρχική σελίδα AutoCAD 2021.*

11.1.1. Κύριοι φορείς μεταλλικού στεγάστρου

Κύριοι φορείς είναι τα πλαίσια που τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους και καταπονούνται από τα οριζόντια και τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής.

Τα βασικά μέλη των κύριων φορέων είναι τα υποστυλώματα και τα ζυγώματα. Τα υποστυλώματα είναι ολόσωμα ή πολυμελή ενώ τα ζυγώματα είναι ολόσωμα, δικτυωτά.

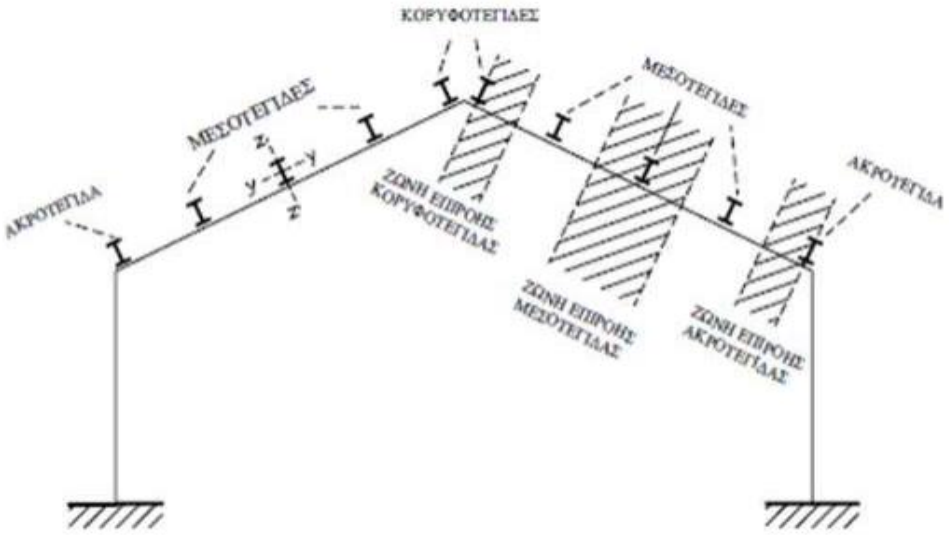


Εικόνα 8:1*: Προβολή ζυγωμάτων και υποστυλωμάτων.*

11.1.2.Τεγίδες

Οι τεγίδες είναι οι δοκοί που συνδέουν τις αποστάσεις μεταξύ των κύριων φορέων και μεταφέρουν σε αυτούς τα φορτία τα οποία ασκούνται στην στέγη, όπως το ιδίον βάρος των φύλλων επικάλυψης, το φορτίο χιονιού, την ανεμοπίεση και τυχόν ωφέλιμο φορτίο. Ο ρόλος των τεγίδων στο κτίριο είναι, επομένως, κυρίως να μεταφέρουν τις δράσεις από τα φύλλα επικάλυψης στους κύριους φορείς και δευτερευόντως να συμμετέχουν στους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας και να προσφέρουν πλευρική στήριξη στα ζυγώματα.

Οι τεγίδες διατάσσονται ανά ίσες, κατά κανόνα αποστάσεις μεταξύ τους, συνήθως μεταξύ 1,30m και 4,00m, και τοποθετούνται όπως φαίνεται στο σχήμα, με το κάτω πέλμα τους να εδράζεται στο πάνω πέλμα των δοκών του ζυγώματος. Έτσι επιτυγχάνεται η ενεργοποίηση το ισχυρού άξονα τους έναντι της κύριας δράσης των κατακόρυφων φορτίων του χιονιού, του ίδιου βάρους της επικάλυψης και του ανέμου.



Εικόνα 8.2: *Διάταξη τεγίδων.*

11.2. Εκφώνηση παραδείγματος 1

Η κάλυψη βιομηχανικού χώρου γίνεται από μεταλλική κατασκευή, κατασκευασμένη από χάλυβα ποιότητας S235 με κύριους φορείς δίστηλα πλαίσια, τοποθετημένα ανά 5,00 m (Σχήμα 8.2).

Εξετάζονται δύο παραλλαγές πλαισίων, με οριζόντιο ζύγωμα (στέγαστρο 1) και με δικλινές ζύγωμα (στέγαστρο 2). Η κάτοψη των στεγάστρων δίνεται στο Σχήμα 1, ενώ η τομή του στεγάστρου 1 και 2 δίνονται στα Σχήματα 2 και 3, αντίστοιχα.

Κάθετα στο επίπεδο των πλαισίων και επί των ζυγωμάτων, διατάσσονται τεγίδες, σε αποστάσεις μεταξύ τους ίσες με 2 m. Η κάθε τεγίδα μορφώνεται ως συνεχής δοκός δύο ίσων ανοιγμάτων.

Ζητείται:

α) Να επιλεγεί η ελάχιστη απαιτούμενη διατομή από τη σειρά IPE για τις τεγίδες του στεγάστρου 1.

β) Να γίνει έλεγχος στην οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) και έλεγχος λειτουργικότητας (ΟΚΛ) της διατομής που επιλέχθηκε για τις τεγίδες του στεγάστρου 1.

γ) Να ελεγχθεί εάν η ίδια διατομή επαρκεί και για τις τεγίδες του στεγάστρου 2.

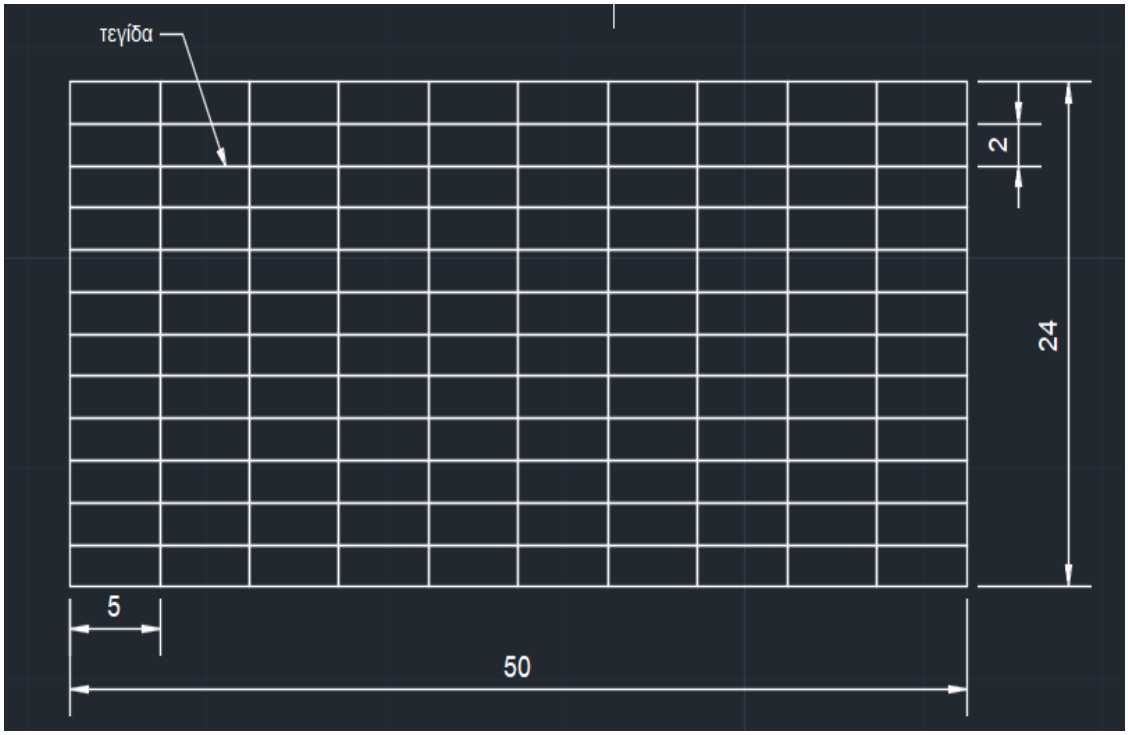
Δίνονται, επίσης τα:

Μόνιμα φορτία $g = 0{,}20\ kN/m^2$ (σε οριζόντια προβολή – περιλαμβάνει το ίδιο βάρος των τεγίδων και το βάρος των φύλλων επικάλυψης)

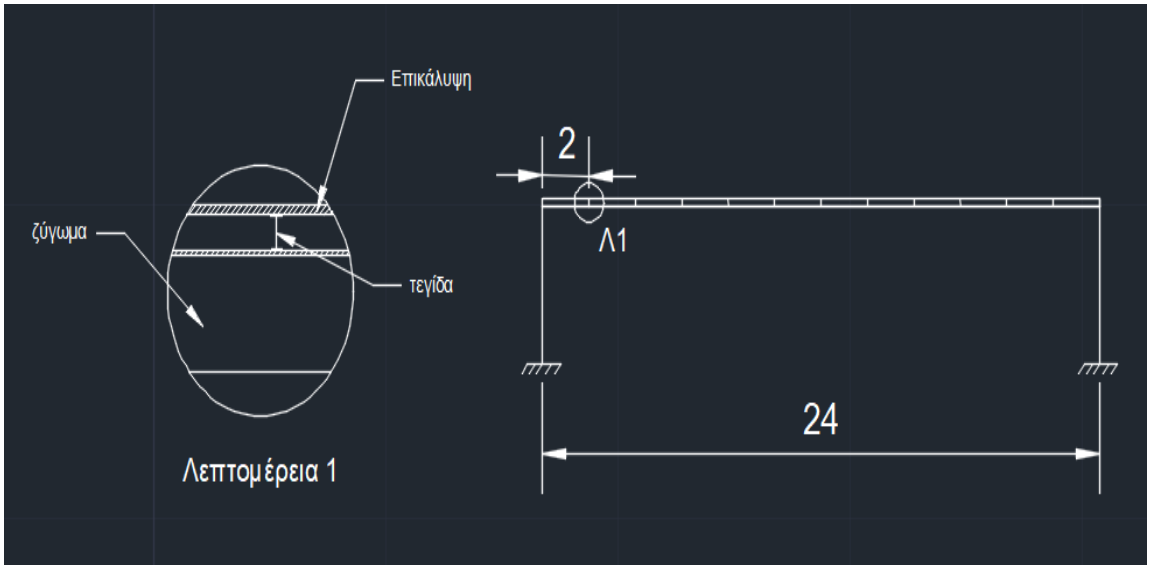
Χιόνι $s = 0{,}75\ kN/m^2$

Υπό πίεση ανέμου $w = 0{,}60\ kN/m^2$ (κάθετα στην προσβαλλόμενη επιφάνεια)

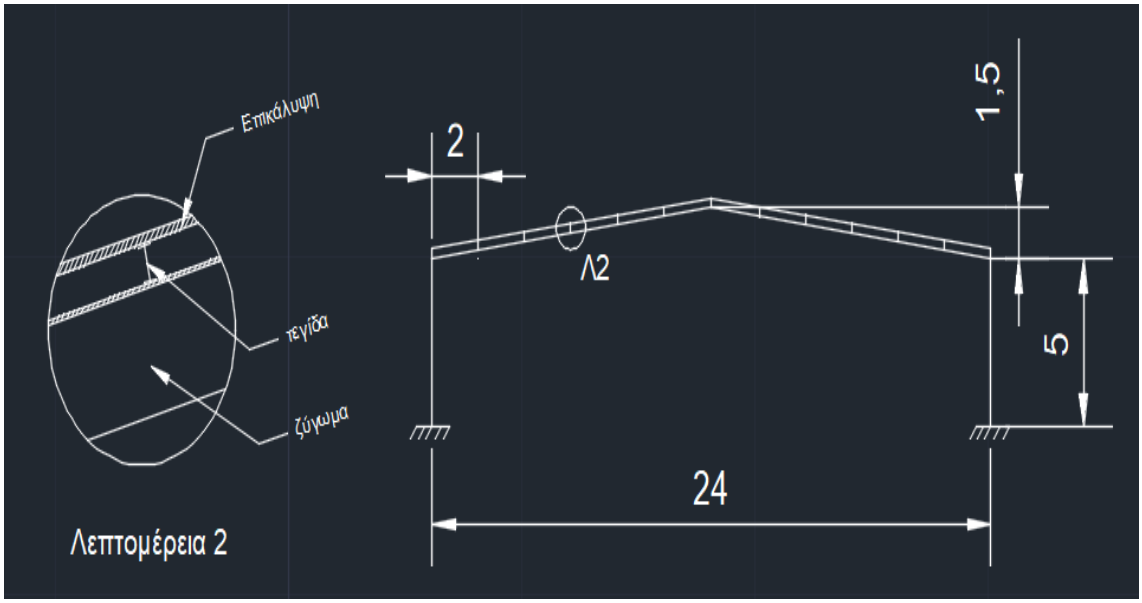
Επισημαίνεται ότι στα σχήματα απεικονίζονται μόνο τα μέλη που αφορούν την άσκηση, ενώ τα υπόλοιπα μέλη (οριζόντιοι και κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, μετωπικοί στύλοι, μηκίδες) δεν έχουν σχεδιαστεί για λόγους ευκρίνειας.



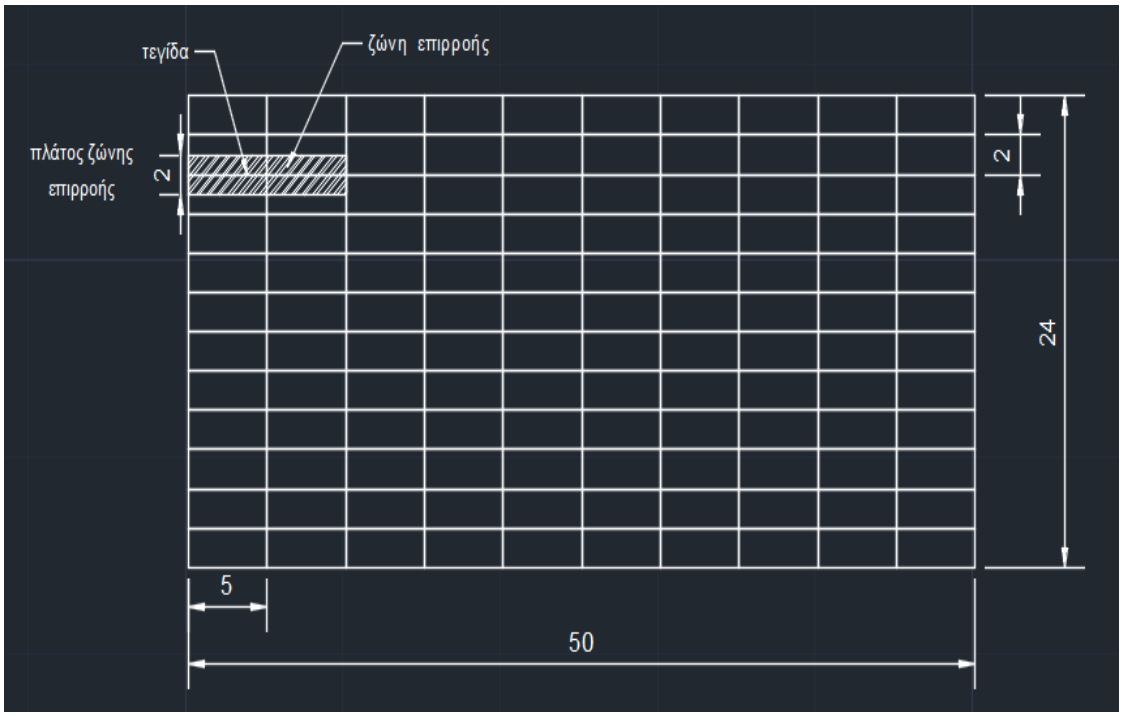
Εικόνα 11:2: Κάτοψη στεγάστρων 1 και 2.



Εικόνα 11:3: Τομή στεγάστρου 1.



Εικόνα 11:4: *Τομή στεγάστρου 2.*



Εικόνα 11:5: *Προβολή ζώνης επιρροής και πλάτους ζώνης επιρροής.*

Αρχικά, θα γίνει η διαστασιολόγηση της τεγίδας του στεγάστρου 1.

- **Φορτία**

Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη είναι αυτά που δόθηκαν ως δεδομένα, άρα:

Μόνιμα φορτία g = 0,20 kN/m^2
Χιόνι s = 0,75 kN/m^2
Υπό πίεση ανέμου w= - 0,60 kN/m^2

Το πλάτος επιρροής της τεγίδας είναι 2 m.

Επομένως, η κατανομή των φορτίων ανά τεγίδα θα είναι:

g = 0,20 kN/m^2 * 2 m = 0,40 kN/m

s = 0,75 kN/m^2 * 2 m = 1,50 kN/m

w = - 0,60 kN/m^2 * 2 m = - 1,20 kN/m



Εικόνα 11:6: Φορτία στο στέγαστρο 1.

- **Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ).**

Βασικός συνδυασμός: $E_d = \Sigma \gamma_{G,j} * g_{Gk,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,I} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$

όπου:

$\gamma_{G,j}$ = 1,35 (δυσμενής) / 1,00 (ευμενής)

$\gamma_{Q,I}$ = 1,50 (δυσμενής) / 0,00 (ευμενής)

$\psi_{0,i}$ = 0,50 για χιόνι,

0,60 για άνεμο

G: μόνιμες δράσεις και Q: μεταβλητές δράσεις

Οπότε, οι δύο συνδυασμοί που μορφώνονται για τα δύο κινητά φορτία είναι:

$E_{d1} = \gamma_G * \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} * \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{w}$ (κύριο κινητό το χιόνι)

$E_{d2} = \gamma_G * \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} * \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{s}$ (κύριο κινητό ο άνεμος)

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$E_{d1} = \gamma_G * \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} * \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{w} = 1,35 * \mathbf{g} + 1,50 * \mathbf{s} + 0,00 * 0,60 * \mathbf{w} =$

$= 1,35 * 0,40$ kN/m $+ 1,50 * 1,50$ kN/m $= 2,79$ kN/m

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω (δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$E_{d2} = \gamma_G * \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} * \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{s} = 1,00 * \mathbf{g} + 1,50 * \mathbf{w} + 0,00 * 0,50 * \mathbf{s}$

$= 1,00 * 0,40$ kN/m $- 1,20 * 1,50$ kN/m $= - 2,2$ kN/m

Κρίσιμος είναι ο πρώτος συνδυασμός φορτίσεων.

- **Εντατικά μεγέθη τεγίδας (ΟΚΑ).**

Εξετάζεται η τεγίδα ως συνεχής δύο ίσων ανοιγμάτων με μήκος κάθε ανοίγματος L = 5,00m.

Φορτίο ομοιόμορφα κατανεμημένο στην τεγίδα $q = E_{d1} = 2,79$ kN/m.

Υπολογισμός αντιδράσεων:

$V_\alpha = (3 * q_z * L) / 8 = (3 \times 2,79 \text{ kN/m} \times 5,0 \text{ m}) / 8 = 5,23$ kN (στην ακραία στήριξη)

$V_\mu = (10 * q_z * L) / 8 = (10 \times 2,79 \text{ kN/m} \times 5,0 \text{ m}) / 8 = 17,44$ kN (στη μεσαία στήριξη)

Υπολογισμός μεγίστων ροπών κάμψεως τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

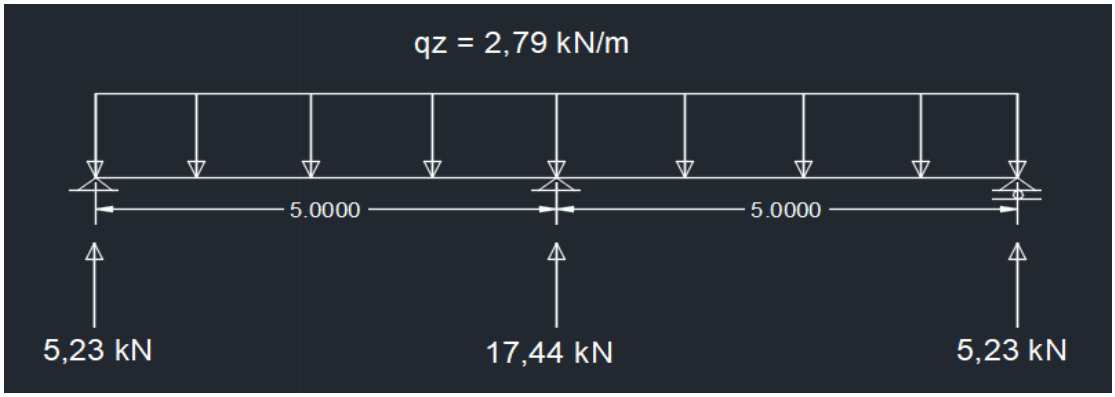
$M_{Ed,y} = 0,07 * q_z * L^2 = 0,07 * 2,79 \text{ kN/m} * (5,0\text{m})^2 = 4,88$ kNm (στα ανοίγματα)

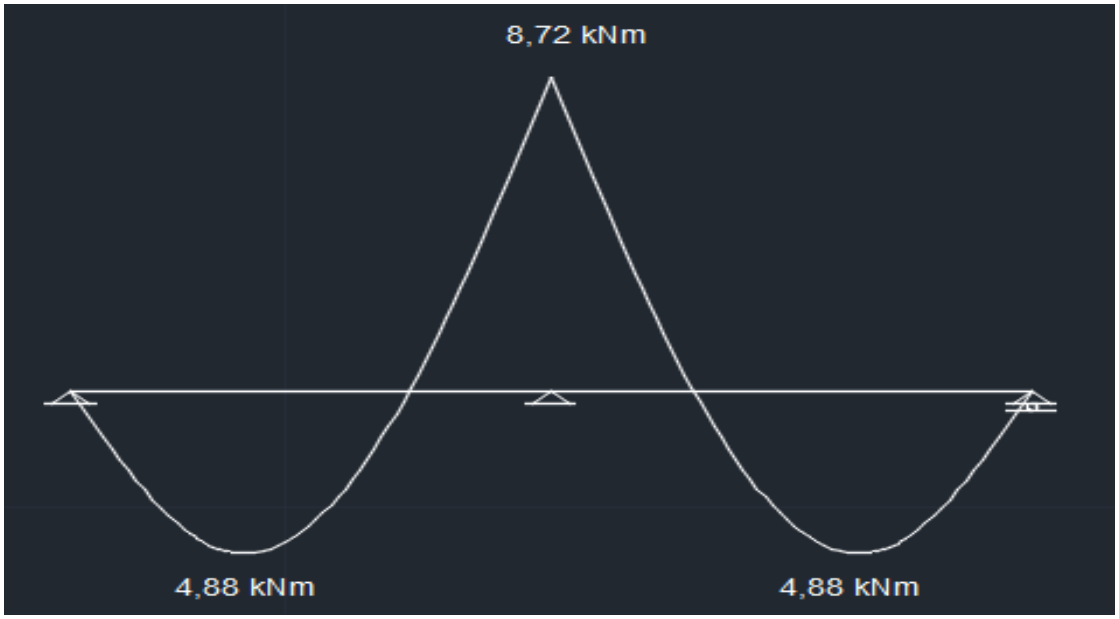
$M_{Ed,y} = q_z * L^2 / 8 = 2,79 \text{ kN/m} * (5,0\text{m})^2 / 8 = 8,72$ kNm (στη μεσαία στήριξη)

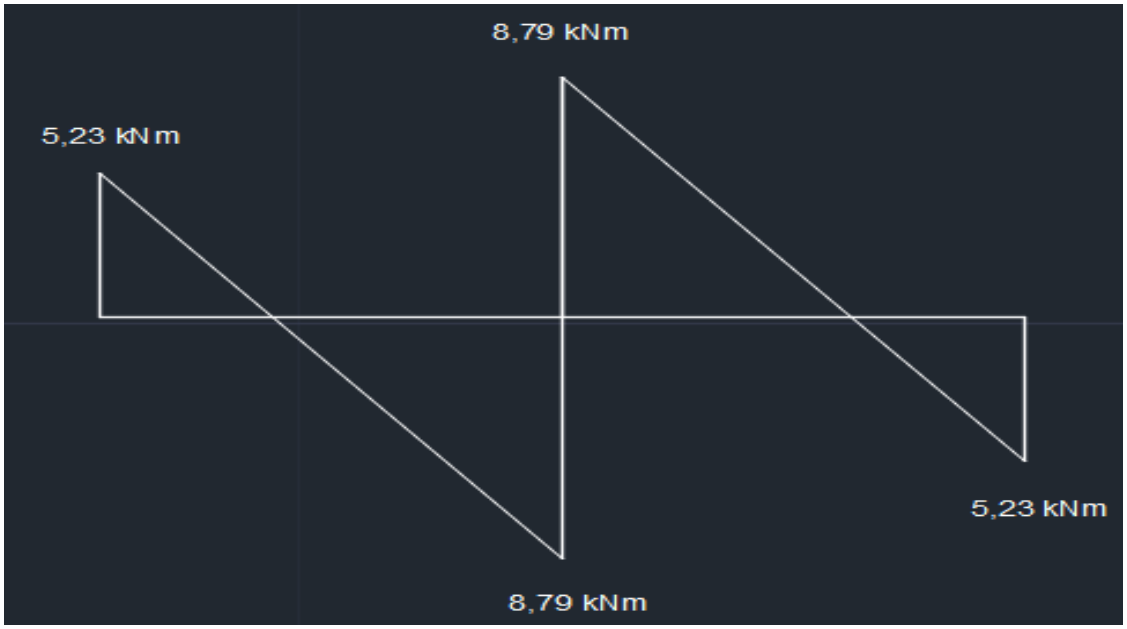
Υπολογισμός μεγίστων τεμνουσών δυνάμεων τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

$V_{Ed,z}$ = 3 * q_z * L / 8 = 3 * 2,79 kN/m * 5,0m / 8 = 5,23 kN (στην ακραία στήριξη)

$V_{Ed,z}$ = 5 * q_z * L / 8 = 5 * 2,79 kN/m * 5,0m / 8 = 8,79 kN (στη μεσαία στήριξη)


qz = 2,79 kN/m
5.0000
5.0000
5,23 kN
17,44 kN
5,23 kN


8,72 kNm
4,88 kNm
4,88 kNm


8,79 kNm
5,23 kNm
5,23 kNm
8,79 kNm

- **Επιλογή διατομής**

Η αρχική προσέγγιση για την επιλογή της διατομής γίνεται με βάση την αντοχή σε κάμψη (υποτίθεται ότι η διατομή θα είναι κατηγορίας 1 ή 2 με βάση τις αναφερόμενες διατομές του Ευρωκώδικα 3, οπότε η αντοχή της σε κάμψη προκύπτει από την ροπή πλήρους διαρροής):

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} \Rightarrow$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{pl,Rd} * f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow$$

$$872\ kNcm \leq W_{pl} * 23,5\ kN/cm^2 / 1,00 \Rightarrow$$

$$W_{pl} \geq 37,10\ cm^3$$

Όπου, f_y = 235 MPa, δηλαδή το όριο διαρροής του χάλυβα.

Από τους παρακάτω πίνακες επιλέγεται διατομή IPE120 με W_{pl} = 60,7 cm^3

Kurz-zei-chen	Maße in mm für h	b	t_s	t_g	r	h-2c	A_{Steg} cm²	A cm²	G kg/m	Für die Biegeachsen y-y I_y cm⁴	W_y cm³	i_y cm	z-z I_z cm⁴	W_z cm³	i_z cm	s_y cm	Flanschenlöcher*) nach DIN 997 Ausg. Okt. 1970 d_1 mm	w_1 mm
			s	t				F		J_x	W_x	i_x	J_y	W_y	i_y	s_x		
I PE	Mittelbreite I-Träger mit parallelen Flanschflächen, I PE-Reihe (warmgewalzt), nach DIN 1025 Teil 5, Ausgabe März 1994, und EURONORM 19–57 Grenzabmaße und Formtoleranzen nach DIN EN 10034, Ausgabe März 1994																	
80	80	46	3,8	5,2	5	59	2,84	7,64	6,00	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	6,9	6,4	26
100	100	55	4,1	5,7	7	74	3,87	10,3	8,10	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	8,6	8,4	30
120	120	64	4,4	6,3	7	93	5,00	13,2	10,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	10,5	8,4	36
140	140	73	4,7	6,9	7	112	6,26	16,4	12,9	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	12,3	11	40
160	160	82	5,0	7,4	9	127	7,63	20,1	15,8	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	14,0	13**)	44
180	180	91	5,3	8,0	9	146	9,12	23,9	18,8	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	15,8	13	50

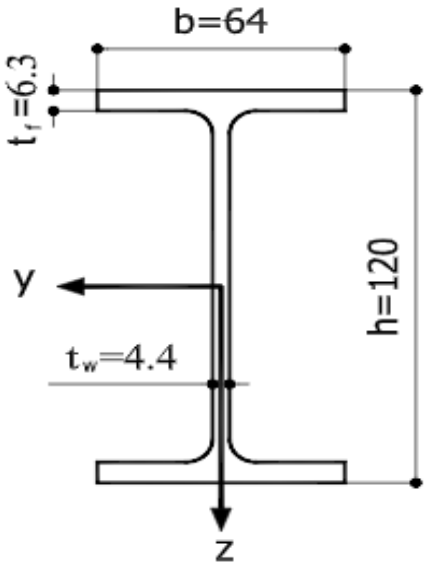
$W_{pl} \geq 37,10\ cm^3$

	$M_{pl,y}$ kNm	N_{pl} kN	$V_{pl,z}$ kN	$W_{pl,y}$ cm³	$W_{pl,z}$ cm³	S_y cm³	I_T cm⁴	I_w cm⁶	$i_{z,g}$ cm	
I PE	Mittelbreite I-Träger I PE									I PE
80	5,57	183	39,4	23,2	5,82	11,6	0,70	118	1,18	80
100	9,46	248	53,6	39,4	9,15	19,7	1,21	351	1,40	100
120	14,6	317	69,3	60,7	13,6	30,4	1,74	890	1,63	120
140	21,2	394	86,7	88,3	19,2	44,2	2,45	1990	1,87	140
160	29,7	482	106	124	26,1	61,9	3,62	3960	2,08	160
180	39,9	575	126	166	34,6	82,2	4,80	7430	2,32	180

- **Κατηγορία διατομής**

Προϋπόθεση για την επιλογή διατομής με βάση την πλαστική αντοχή σε κάμψη είναι η διατομή να κατατάσσεται σε μία εκ των κατηγοριών 1 ή 2, διαφορετικά, αν κατατάσσεται στην κατηγορία 3 δεν έχουμε δικαίωμα πλαστικού ελέγχου και η επιλογή της διατομής θα πρέπει να γίνει με βάση την ελαστική αντοχή σε κάμψη.

Με βάση τους πίνακες των προτύπων διατομών, η διατομή IPE120 από χάλυβα S235 που υπόκειται σε κάμψη κατατάσσεται σε κατηγορία 1.



Όπου, από τον παραπάνω πίνακα, αφού επιλέχθηκε η διατομή, έτσι και από κάθε στήλη επιλέγεται η σωστή τιμή για κάθε απόσταση, με βάση το $W_{pl} = 60,7\ cm^3$.

Επομένως,

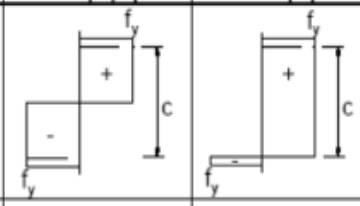
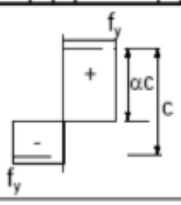
$I_y = 318\ cm^4$ $W_{el,y} = 53,0\ cm^3$ $W_{pl,y} = 60,73\ cm^3$

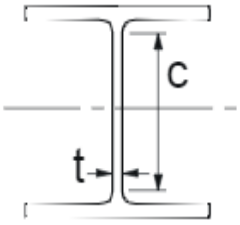
$I_z = 27,67\ cm^4$ $W_{el,z} = 8,65\ cm^3$ $W_{pl,z} = 13,6\ cm^3$

$b = 64\ mm$ $t_f = 6,3\ mm$ $h = 120\ mm$ $t_w = 4,4\ mm$

$A = 13,2\ cm^2$ $r = 7\ mm$ $d = 93\ mm$

Στην συνέχεια, γίνεται ο έλεγχος και η κατάταξη του κορμού με βάση τον πίνακα:

Κατηγορία	κάμψη	θλίψη		κάμψη & θλίψη		
Κατανομή τάσεων (θλίψη θετική)						
1	$c/t \le 72\varepsilon$	$c/t \le 33\varepsilon$		$\alpha > 0{,}5 : c/t \le \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $\alpha \le 0{,}5 : c/t \le \frac{36\varepsilon}{\alpha}$		
2	$c/t \le 83\varepsilon$	$c/t \le 38\varepsilon$		$\alpha > 0{,}5 : c/t \le \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $\alpha \le 0{,}5 : c/t \le \frac{41{,}5\varepsilon}{\alpha}$		
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71



Πίνακας 17: Έλεγχος και κατάταξη του κορμού.

Πιο αναλυτικά μπορεί να γίνει η κατάταξη ως εξής:

1. Κατηγορία κορμού:

Με d = 93 mm

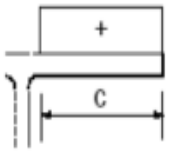
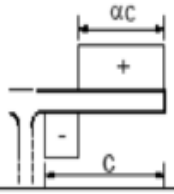
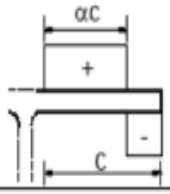
$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t_w} = \frac{93}{4{,}4} = 21{,}13 < 72\varepsilon$$

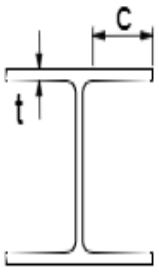
Όπου,

$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = 1$ και $f_y = 235$ MPa, δηλαδή το όριο διαρροής του χάλυβα.

Επομένως, ο κορμός ανήκει στην κατηγορία 1 διατομών με βάση των Ευρωκώδικα 3.

2. Κατηγορία πέλματος

Κατηγορία	θλίψη	κάμψη & θλίψη				
		Άκρο σε θλίψη		Άκρο σε εφελκυσμό		
Κατανομή τάσεων (θλίψη θετική)						
1	$c/t \le 9\varepsilon$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha}$		$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \le 10\varepsilon$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$		$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71



Πίνακας 18: *Κατάταξη πέλματος*

Συγκεκριμένα,

$$\frac{c}{t} = \frac{(b - t_w)\,/\,2 - r}{t_f} = \frac{(64 - 4{,}4)mm/\,2 - 7mm}{6{,}3\ mm} = 3{,}62 < 9\varepsilon$$

Όπου, ε = 1

Επομένως, και το πέλμα ανήκει στην κατηγορία 1.

Συνεπώς, κατηγορία διατομής 1 άρα, επιτρέπεται πλαστικός έλεγχος.

Παρατήρηση: Η επιλογή και ο έλεγχος θα μπορούσε (συντηρητικά) να γίνει με βάση την ελαστική αντοχή. Σε τέτοια περίπτωση θα έπρεπε να επιλέγαμε διατομή IPE140. Ο ελαστικός έλεγχος είναι συντηρητικότερος, αλλά πιο αντιοικονομικός από τον πλαστικό. Όταν η εξεταζόμενη διατομή είναι κατηγορίας 1 ή 2, επιλέγεται η διαδικασία με τον πλαστικό έλεγχο, εκτός αν ζητείται διαφορετικά.

- **Πλαστικός έλεγχος σε τέμνουσα**

Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο διάτμησης θα πρέπει να ισχύει:

$$V_{Ed} \le V_{c,Rd}$$

Όπου,

$$V_{Ed} = 8{,}79 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}$$

$A_v = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f =$

$= 13{,}2 \text{ cm}^2 - 2 * 6{,}4 \text{ cm} * 0{,}63 \text{ cm} + (0{,}44 \text{ cm} + 2 * 0{,}7 \text{ cm}) * 0{,}63 \text{ cm} =$

$= 6{,}30 \text{ cm}^2$

Έλεγχος:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 6{,}30 \text{ cm}^2 * \frac{23{,}5 \frac{kN}{cm2}}{\sqrt{3} * 1} = 85{,}48 \text{ kN} > V_{Ed} = 8{,}79 \text{ kN}$$

Επομένως, ο πλαστικός έλεγχος της τεγίδας σε τέμνουσα ικανοποιείται.

- **Έλεγχος απομείωσης της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω παρουσίας τέμνουσας**

Ισχύει ότι:

$$V_{Ed} = 8{,}79 \text{ kN} < 0{,}50 * V_{pl,Rd} = 42{,}74 \text{ kN}$$

Επομένως, δεν χρειάζεται απομείωση της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω παρουσίας διάτμησης.

Απομείωση καμπτικής αντοχής λόγω τέμνουσας:

$$V_{Ed} < 0{,}50 \, V_{pl,Rd}$$

$$V_{Ed,z} < 0{,}50 \, V_{pl,z} \rightarrow M_{pl,Rd,y} = W_{pl,y} * (1-\rho) * f_y / \gamma_{M0}$$

$$V_{Ed,y} < 0{,}50 \, V_{pl,y} \rightarrow M_{pl,Rd,z} = W_{pl,z} * (1-\rho) * f_y / \gamma_{M0}$$

$$\rho = \left(\frac{2 * V_{Ed}}{Vpl,Rd} - 1 \right)^2$$

- **Πλαστικός έλεγχος σε μονοαξονική κάμψη**

Ο έλεγχος αυτός έχει ουσιαστικά ήδη εκτελεστεί κατά την επιλογή διατομής, και επαναλαμβάνεται εδώ απλώς για λόγους πληρότητας. Αφού η διατομή είναι κατηγορίας 1, επιτρέπεται να εκτελεστεί πλαστικός έλεγχος.

Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο σε μονοαξονική κάμψη θα πρέπει να ισχύει:

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd}$$

Όπου,

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma M0} = \frac{(\ 60{,}7\ \text{cm3} * 23{,}5\ \text{kN/cm2}\ )}{1{,}0} = 1426{,}45\ \text{kNcm}$$

Ισχύει ότι,

$$M_{pl,Rd} = 1426{,}45\ \text{kNcm} > M_{Ed} = 872\ \text{kNcm}$$

Επομένως, ο πλαστικός έλεγχος της τεγίδας σε μονοαξονική κάμψη ικανοποιείται.

- **Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ)**

Αρχικός Συνδυασμός: $Ed = \Sigma\gamma_{G,jg} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \Sigma\gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,I}$

Όπου:

$\gamma_{G,j}$ = 1,00 (δυσμενής) / 1,00 (ευμενής)

$\gamma_{Q,i}$ = 1,00 (δυσμενής) / 0,00 (ευμενής)

$\psi_{0,i}$ = 0,50 για χιόνι,

= 0,60 για άνεμο

G: μόνιμες δράσεις και Q: μεταβλητές δράσεις

Δυσμενείς συνδυασμοί με μόνιμα και κινητά φορτία

Οι δύο συνδυασμοί που μορφώνονται για τα δύο κινητά φορτία είναι:

$E_{d1} = \gamma_G$ * **g** + $\gamma_{Q,1}$ * **s** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **w** (κύριο κινητό φορτίο το χιόνι)

$E_{d2} = \gamma_G$ * **g** + $\gamma_{Q,1}$ * **w** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **s** (κύριο κινητό φορτίο ο άνεμος)

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω
(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$E_{d1} = \gamma_G$ * **g** + $\gamma_{Q,1}$ * **s** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **w** = 1,00 * **g** + 1,00 * **s** + 0,00 * 0,60 * **w** = 1,00 * 0,40 kN/m + 1,00 * 1,50 kN/m = 1,90 kN/m

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω
(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$E_{d2} = \gamma_G$ * **g** + $\gamma_{Q,1}$ * **w** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **s** = 1,00 * **g** + 1,00 * **w** + 0,00 * 0,50 * **s** = 1,00 * 0,40 kN/m - 1,00 * 1,20 kN/m = - 0,80 kN/m

Κρίσιμος ο πρώτος συνδυασμός φορτίσεων.

Δυσμενείς συνδυασμοί με κινητά φορτία

$E_{d3} = \gamma_{Q,1}$ * **s** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **w** (κύριο κινητό φορτίο το χιόνι)

$E_{d4} = \gamma_{Q,1}$ * **w** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **s** (κύριο κινητό φορτίο ο άνεμος)

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$E_{d3} = \gamma_{Q,1}$ * **s** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **w** = 1,00 * **s** + 0,00 * 0,60 * **w** = (1,00 * 1,50 kN/m) = = 1,50 kN/m

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$E_{d4} = \gamma_{Q,1}$ * **w** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **s** = 1,00 * **w** + 0,00 * 0,50 * **s** = - 1,00 * 1,20 kN/m =

= - 1,20 kN/m

Κρίσιμος είναι ο πρώτος συνδυασμός.

- **Βέλη κάμψεως**

Μέγιστο βέλος δοκού δύο ίσων ανοιγμάτων:

$$w = \frac{q * L^4}{192{,}8 * E * I}$$

	Μόνιμα και κινητά	Κινητά
Μη βατές στέγες	L / 200	L / 250
Πατώματα και βατές στέγες	L / 250	L / 300

Πίνακας 19: *Μέγιστα επιτρεπόμενα βέλη.*

Συνδυασμός για μόνιμα και κινητά:

$$w = \frac{q*L^4}{192{,}8*E*Iy} = \frac{0{,}0190\,\frac{kN}{cm} * (500cm)^4}{192{,}8 * 21000\frac{kN}{cm2} * 318\ cm^4} = 0{,}92 \text{ cm}$$

$$w = 0{,}92 \text{ cm} < w_{max} = 500/200 = 2{,}5 \text{ cm}$$

όπου, $q = E_{d1} = 1{,}90$ kN/m = 0,0190 kN/cm

$E = 210000$ MPa (Μέτρο Ελαστικότητας) = 21000 kN/cm^2

Συνδυασμός μόνο για πρόσθετα φορτία (κινητά) για υπολογισμό του βέλους διακύμανσης.

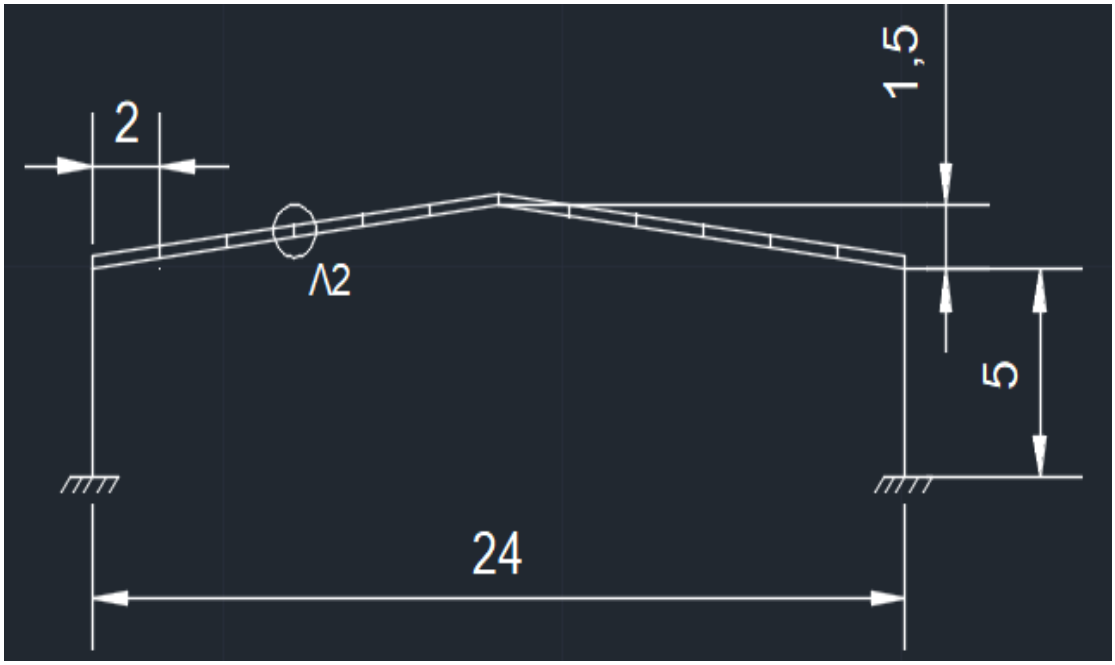
$$w = \frac{q*L^4}{192{,}8*E*Iy} = \frac{0{,}0150\,\frac{kN}{cm} * (500cm)^4}{192{,}8 * 21000\frac{kN}{cm2} * 318\ cm^4} = 0{,}73 \text{ cm}$$

$$w = 0{,}73 \text{ cm} < w_{max} = 500/250 = 2 \text{ cm}$$

όπου, $q = Ed_3 = 1{,}50$ kN/m = 0,0150 kN/cm

Επομένως, ο έλεγχος των βελών της τεγίδας ικανοποιείται.

Στην συνέχεια, πρόκειται να γίνει ο πλαστικός έλεγχος της τεγίδας του στεγάστρου 2.



Εικόνα 11:7: *Γεωμετρία στεγάστρου 2. (Τομή Β-Β)*

- **Γεωμετρία**

Η γωνία φ θα είναι φ = arctan(1,50 / 10,00) = 8,53º

sin(8,53) = 0,148

cos(8,53) = 0,989

- **Φορτία**

Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη είναι αυτά που δόθηκαν ως δεδομένα, άρα:

Μόνιμα φορτία (σε οριζόντια προβολή) g = 0,20 kN/m^2

Χιόνι (σε οριζόντια προβολή) s = 0,75 kN/m^2

Υπό πίεση ανέμου (κάθετα στο επίπεδο της στέγης) w = - 0,60 kN/m^2

Το πλάτος επιρροής της τεγίδας είναι 2 m.

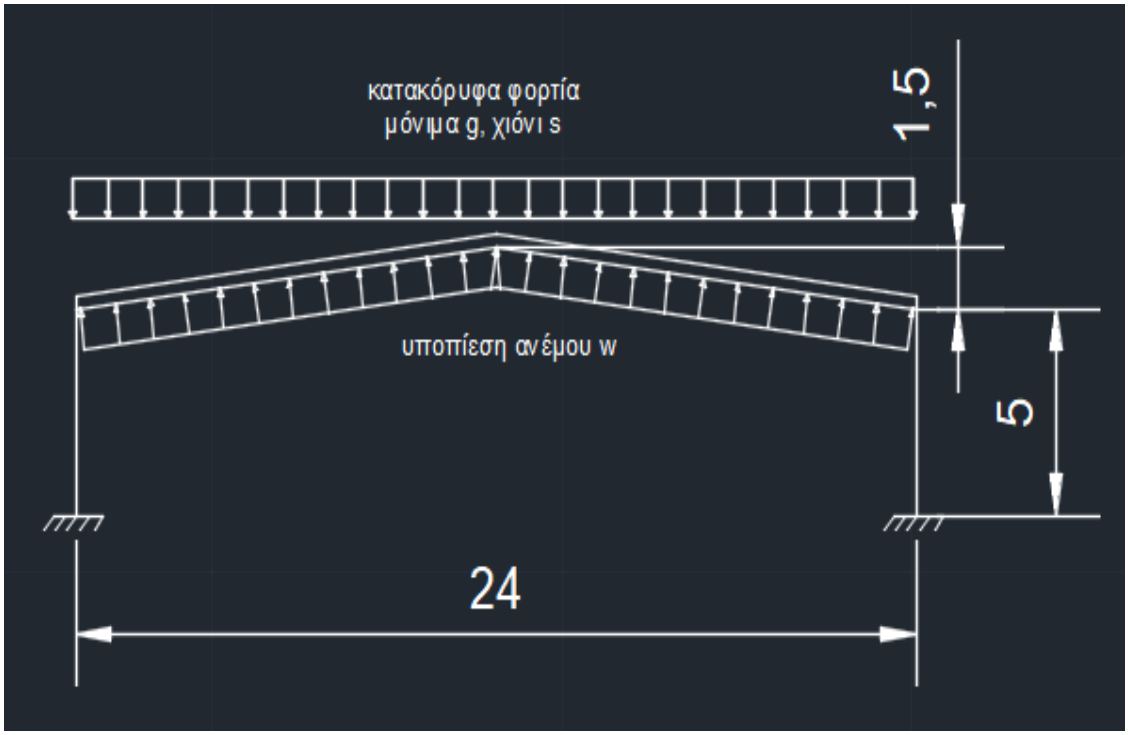
Επομένως, η κατανομή των φορτίων ανά τεγίδα θα είναι:

g = 0,20 kN/m^2 * 2 m = 0,40 kN/m

s = 0,75 kN/m^2 * 2 m = 1,50 kN/m

w = (- 0,60 kN/m^2 * 2 m) / cosφ = - 1,20 / 0,989 = -1,18 kN/m

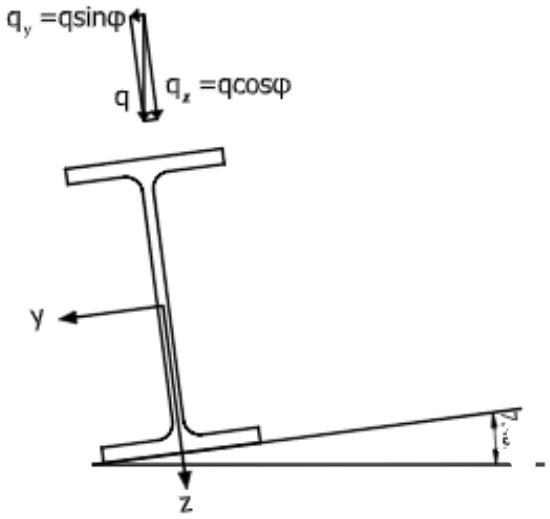
η υπό πίεση ανέμου εφαρμόζεται κάθετα στο επίπεδο της στέγης.



Εικόνα 11:8: Φορτία στο στέγαστρο 2.

Προκειμένου να συνδυαστούν τα φορτία μεταξύ τους θα πρέπει πρώτα να αναλυθούν σε δύο συνιστώσες, σύμφωνα με το τοπικό σύστημα αξόνων της τεγίδας. Έτσι, τα κατακόρυφα φορτία των μόνιμων φορτίων και του φορτίου χιονιού θα πρέπει να αναλυθούν σε δύο συνιστώσες q_y και q_z , όπως δίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Ενώ το φορτίο υπό πίεσης του ανέμου, το οποίο ασκείται παράλληλα με τον τοπικό άξονα z, δεν χρειάζεται να αναλυθεί.



Εικόνα 11:9: Τοπικοί άξονες και ανάλυση κατακόρυφων φορτίων τεγίδας στεγάστρου 2.

- **Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ)**

Οι δύο συνδυασμοί που μορφώνονται για τα δύο κινητά φορτία είναι:

$E_{d1} = \gamma_G$ * **g** + $\gamma_{Q,1}$ * **s** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **w** (κύριο κινητό φορτίο το χιόνι)

$E_{d2} = \gamma_G$ * **g** + $\gamma_{Q,1}$ * **w** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **s** (κύριο κινητό φορτίο ο άνεμος)

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω (δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$E_{d1} = \gamma_G$ * **g** + $\gamma_{Q,1}$ * **s** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **w** = 1,35 * **g** + 1,50 * **s** + 0,00 * 0,60 * **w**

$E_{d1,z}$ = (1,35 * 0,40 kN/m + 1,50 * 1,50 kN/m) * cosφ = 2,79 * 0,989 = 2,76 kN/m

$E_{d1,y}$ = (1,35 * 0,40 kN/m + 1,50 * 1,50 kN/m) * sinφ = 2,79 * 0,148 = 0,41 kN/m

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω (δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$E_{d2} = \gamma_G$ * **g** + $\gamma_{Q,1}$ * **w** + $\gamma_{Q,2}$ * $\psi_{0,2}$ * **s** = 1,00 * **g** + 1,50 * **w** + 0,00 * 0,50 * **s**

$E_{d2,z}$ = 1,00 * g * cosφ - 1,50 * w = (1,00 * 0,40 kN/m) * 0,989 - 1,50 * 1,18 kN/m = -1,37 kN/m

$E_{d2,y}$ = 1,00 * g * sinφ = 1,00 * 0,40 kN/m * 0,148 = 0,06 kN/m

Κρίσιμος είναι ο πρώτος συνδυασμός φορτίσεων.

- **Εντατικά μεγέθη**

Εξετάζεται η τεγίδα ως συνεχής δύο ίσων ανοιγμάτων με μήκος κάθε ανοίγματος L = 5,00 m.

Λόγω του ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου στην τεγίδα κατά τον άξονα z (q_z = $E_{d1,z}$ = 2,76 kN/m) αναπτύσσονται καμπτικές ροπές My και τέμνουσες δυνάμεις Vz, ενώ λόγω του ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου κατά τον άξονα y (q_y = $E_{d1,y}$ = 0,41 kN/m) αναπτύσσονται καμπτικές ροπές M_z και τέμνουσες δυνάμεις V_y.

Οι αντιδράσεις και τα εντατικά μεγέθη δίνονται ως εξής:

<u>Φορτία q_z:</u>

Υπολογισμός αντιδράσεων:

$V_{\alpha,z}$ = (3* q_z * L) / 8 = (3 * 2,76 kN/m * 5,00 m) / 8 = 5,175 kN (στην ακραία στήριξη)

$V_{\mu,z}$ = (10 * q_z * L) /8 = (10 * 2,76 kN/m * 5,00m) / 8 = 17,25 kN (στη μεσαία στήριξη)

Υπολογισμός μεγίστων ροπών κάμψεως τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

$M_{Ed,y}$ = 0,07 * q_z * L^2 = 0,07 * 2,76 kN/m * $(5,0m)^2$ = 4,83 kNm (στα ανοίγματα)

$M_{Ed,y}$ = (q_z * L^2) / 8 = (2,76 kN/m * $(5,0\ m)^2$) / 8 = 8,625 kNm (στη μεσαία στήριξη)

Υπολογισμός μεγίστων τεμνουσών δυνάμεων τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

$V_{Ed,z}$ = (3 *q_z * L) / 8 = 3 * 2,76 kN/m * 5,0 m / 8 = 5,175 kN (στην ακραία στήριξη)

$V_{Ed,z}$ = (5 * q_z * L) / 8 = 5 * 2,76 kN/m * 5,0 m / 8 = 8,625 kN (στη μεσαία στήριξη)

<u>Φορτία q_y:</u>

Υπολογισμός αντιδράσεων:

$V_{\alpha,y}$ = (3 * q_y * L) / 8 = (3 * 0,41 kN/m * 5,0 m) / 8 = 0,77 kN (στην ακραία στήριξη)

$V_{\mu,y}$ = (10 * q_y * L) / 8 = (10 * 0,41 kN/m * 5,0m) / 8 = 2,56 kN (στη μεσαία στήριξη)

Υπολογισμός μεγίστων ροπών κάμψεως τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

$M_{Ed,z}$ = 0,07 * q_y * L^2 = 0,07 * 0,41 kN/m * $(5,0\ m)^2$ = 0,72 kNm (στα ανοίγματα)

$M_{Ed,z}$ = (q_y * L^2) / 8 = 0,41 kN/m * $(5,0\ m)^2$ / 8 = 1,28 kNm (στη μεσαία στήριξη)

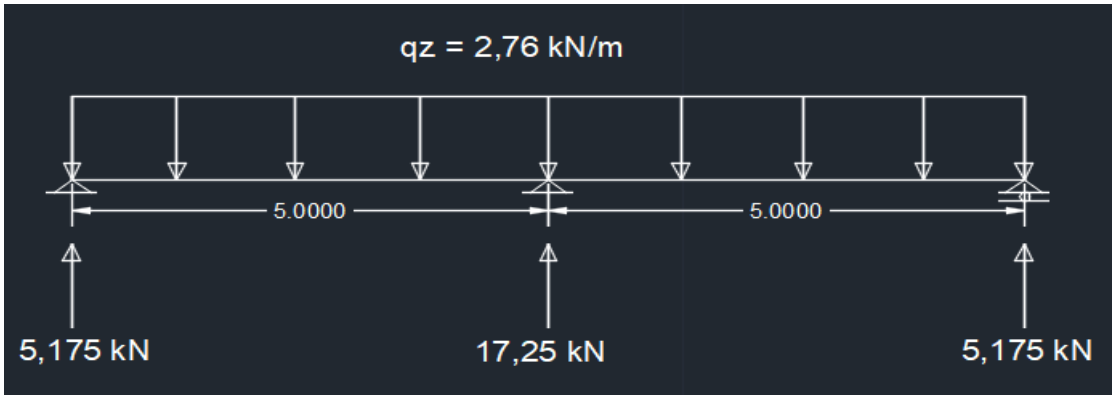
Υπολογισμός μεγίστων τεμνουσών δυνάμεων τεγίδας στη μεσαία στήριξη:

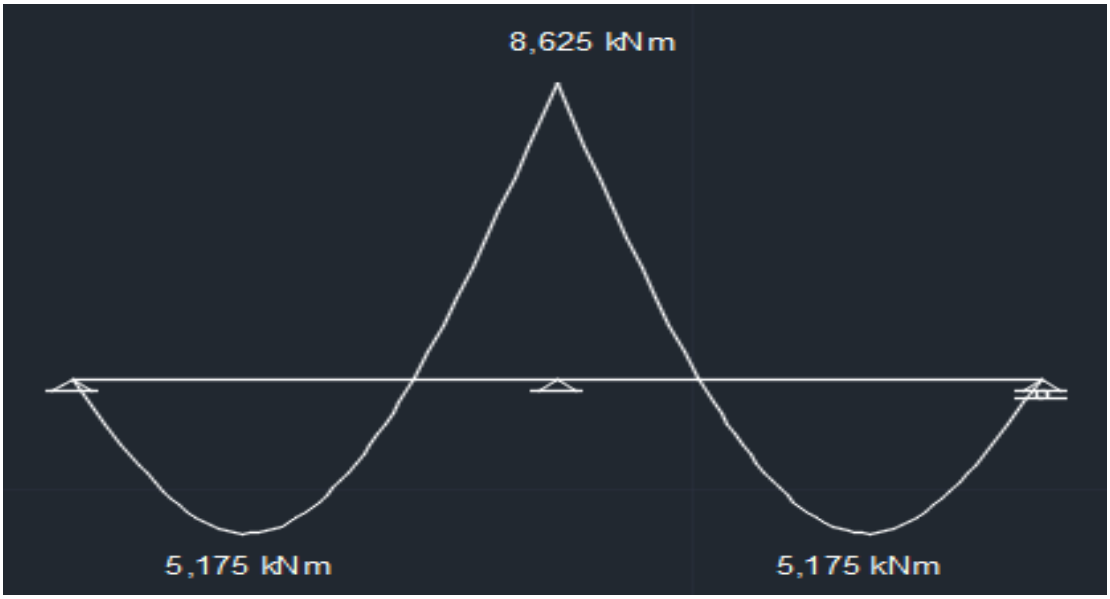
$V_{Ed,y}$ = (3 * q_y * L) / 8 = (3 * 0,41 kN/m * 5,0m) / 8 = 0,77 kN (στην ακραία στήριξη)

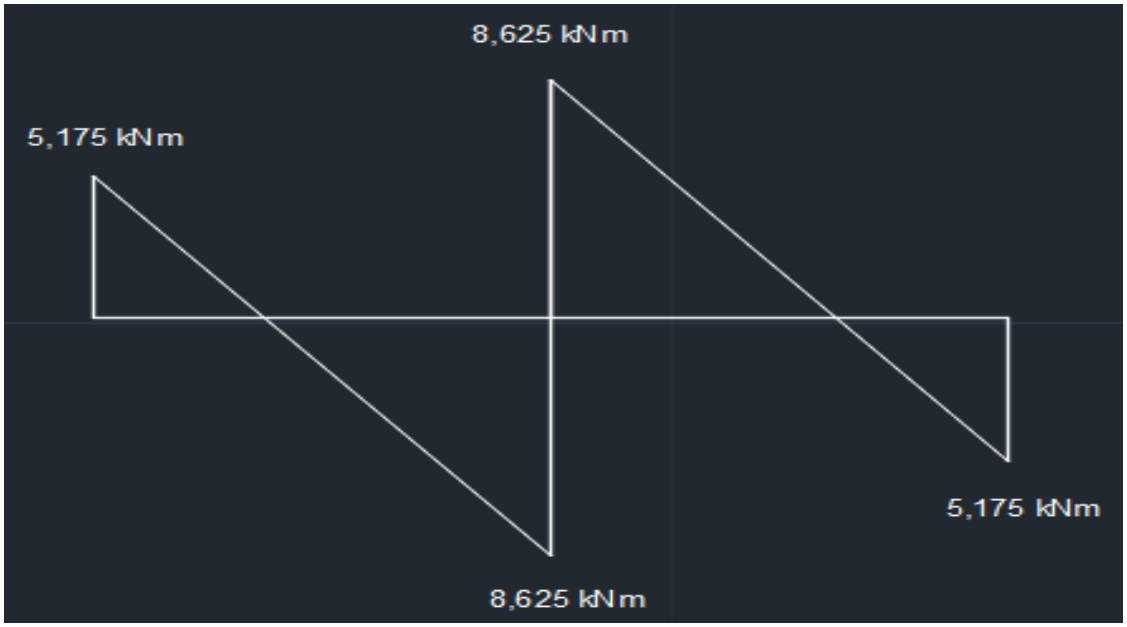
$V_{Ed,y}$ = (5 * q_y * L) / 8 = (5 * 0,41 kN/m * 5,0m) / 8 = 1,28 kN (στη μεσαία στήριξη)

Οι αντιδράσεις και τα διαγράμματα των εντατικών μεγεθών της τεγίδας, δίνονται στην επόμενη σελίδα:

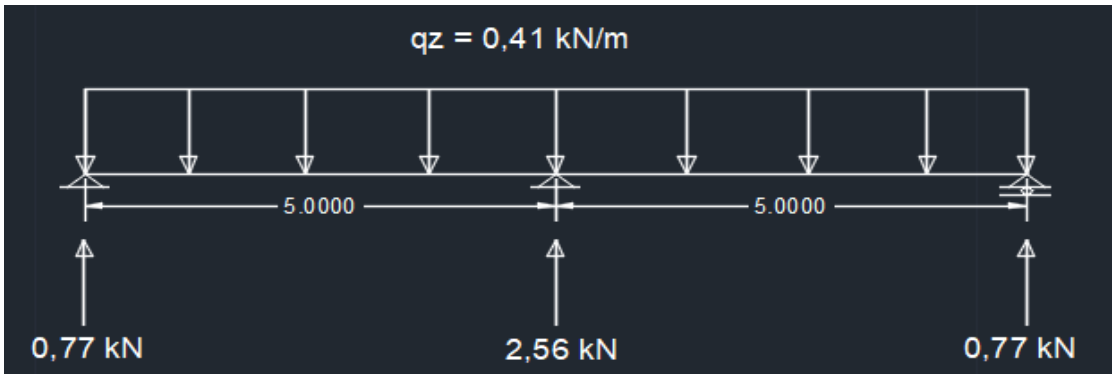
- **Εντατικά μεγέθη τεγίδας στεγάστρου 2 για φορτία κατά τον τοπικό άξονα z:**

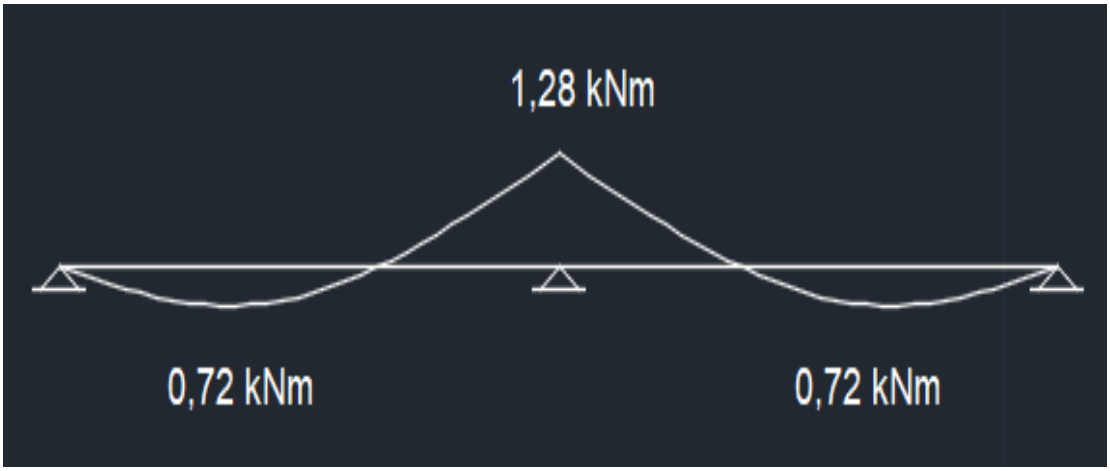


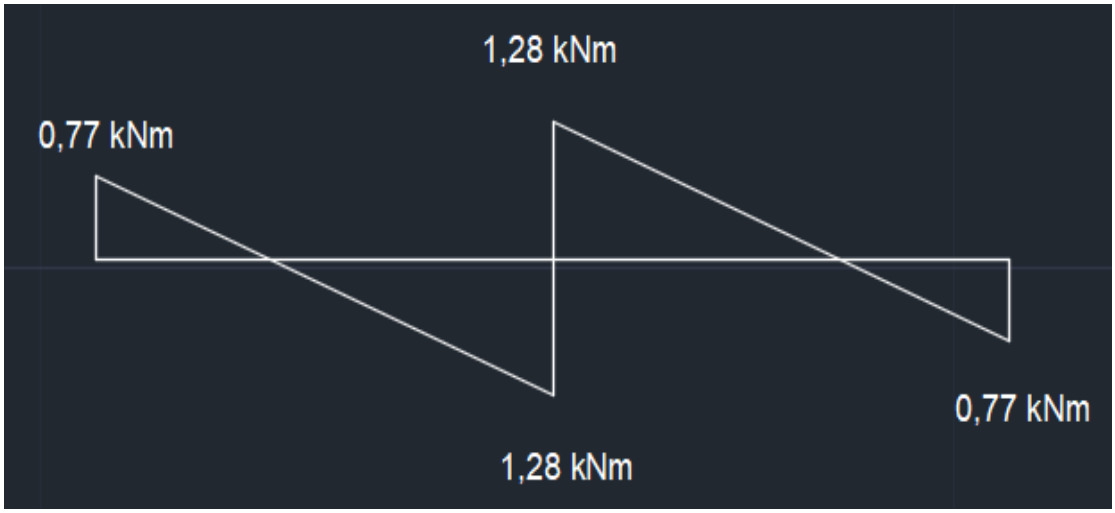




- **Εντατικά μεγέθη τεγίδας στεγάστρου 2 για φορτία κατά τον τοπικό άξονα y:**







Η διατομή, όπως και στο στέγαστρο 1, είναι κατηγορίας 1, άρα εκτελούνται πλαστικοί έλεγχοι επάρκειας σε οριακή κατάσταση αστοχίας.

- **Πλαστικός έλεγχος σε τέμνουσα**

Κατά τον τοπικό άξονα z

Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο διάτμησης θα πρέπει να ισχύει:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd,z}$$

Όπου,

$$V_{Ed,z} = 8{,}625 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} = V_{pl,Rd,z} = A_{vz} * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}$$

Και όπως υπολογίστηκε στην περίπτωση του στεγάστρου 1:

$A_v = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f =$

$= 13{,}2 \text{ cm}^2 - 2 * 6{,}4 \text{ cm} * 0{,}63 \text{ cm} + (0{,}44 \text{ cm} + 2 * 0{,}7 \text{ cm}) * 0{,}63 \text{ cm} =$

$= 6{,}30 \text{ cm}^2$



Επομένως, θα έχουμε ότι:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd,z} = A_v * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 6{,}30 \text{ cm}^2 * \frac{23{,}5 \frac{kN}{cm2}}{\sqrt{3} * 1} = 85{,}48 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 8{,}625 \text{ kN}$$

Κατά τον τοπικό άξονα y

Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο διάτμησης θα πρέπει να ισχύει:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd,y}$$

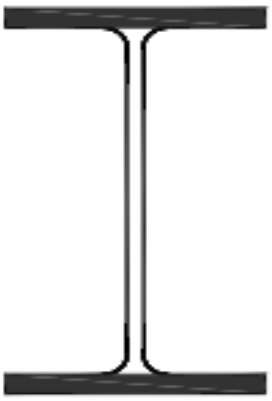
Όπου,

$$V_{Ed,y} = 0{,}77 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,y} = V_{pl,Rd,y} = A_{vy} * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}$$

Και η επιφάνεια διάτμησης είναι:

$$A_v = 2 * b * t_f = 2 * 6{,}4 \text{ cm} * 0{,}63 \text{ cm} = 8{,}06 \text{ cm}^2$$



Επομένως, θα έχουμε ότι:

$$V_{c,Rd,y} = V_{pl,Rd,y} = A_{vy} * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 8{,}06 \text{ cm}^2 * \frac{23{,}5 \frac{kN}{cm2}}{\sqrt{3} * 1} =$$

$$= 109{,}36 \text{ kN} > V_{Ed,y} = 0{,}77 \text{ kN}$$

Άρα , ο πλαστικός έλεγχος της τεγίδας σε τέμνουσα ικανοποιείται.

- **Έλεγχος αντοχής σε ροπή και τέμνουσα κατά ΕΚ3**

Η τέμνουσα δύναμη είναι μικρότερη από τη μισή πλαστική αντοχή σε τέμνουσα, η επίδρασή της στη ροπή αντοχής μπορεί να αγνοείται.

Διαφορετικά, η μειωμένη ροπή αντοχής πρέπει να λαμβάνεται ως η αντοχή σχεδιασμού της διατομής, υπολογιζόμενη χρησιμοποιώντας μειωμένο όριο διαρροής (1 – ρ) * fy για την επιφάνεια διάτμησης.

$$\rho = \left(\frac{2 * V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

Η μειωμένη πλαστική ροπή αντοχής που λαμβάνει υπόψη τη διάτμηση, μπορεί εναλλακτικά να λαμβάνεται για I-διατομές με ίσα πέλματα και κάμψη περί τον ισχυρό άξονα ως εξής:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho * Aw^2}{4 * t_w} \right] * f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{αλλά} \quad M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}$$

$$Aw = hw * tw$$

Για τον έλεγχο απομείωσης της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω παρουσίας τέμνουσας, ισχύει ότι:

$$V_{Ed,z} = 8{,}625 \text{ kN} < 0{,}50 * V_{pl,Rd,z} = 42{,}74 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 0{,}77 \text{ kN} < 0{,}50 * V_{pl,Rd,y} = 54{,}68 \text{ kN}$$

Επομένως, δεν χρειάζεται απομείωση των αντοχών σε ροπές κάμψης $M_{pl,Rd,y}$ και $M_{pl,Rd,z}$ αντίστοιχα, λόγω παρουσίας διάτμησης.

- **Πλαστικός έλεγχος σε διαξονική κάμψη**

Σύμφωνα με τον πλαστικό έλεγχο σε διαξονική κάμψη, με βάση τον Ευρωκώδικα 3, θα πρέπει να ισχύει:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right] a + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right] \beta \leq 1$$

Για I και H διατομές:

$$\alpha = 2 \quad , \quad \beta = 5n \geq 1 \quad , \quad n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

Για κοίλες κυκλικές διατομές:

$$\alpha = 2 \quad , \quad \beta = 2$$

Για κοίλες ορθογωνικές διατομές:

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 * n^2} \leq 6$$

Οπότε:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right] a + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right] \beta \leq 1$$

$$M_{pl,Rd,y} = W_{pl,y} * f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,Rd,z} = W_{pl,z,y} * f_y / \gamma_{M0}$$

Για διατομές με διπλό ταυ ισχύει ότι: $\alpha = 2$, $\beta = 5n \geq 1$,

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \ ,$$

Στην περίπτωση της τεγίδας μας $N_{Ed} = 0$, επομένως n=0 και β=1.

Έλεγχος:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right] a + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right] \beta =$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{Wpl,y * fy / \gamma M0}\right] 2 + \left[\frac{M_{z,Ed}}{Wpl,z * fy / \gamma M0}\right] 1 =$$

$$= \left[\frac{862{,}5\ kNcm}{(60{,}7\ cm3 * 23{,}5\frac{kN}{cm2}) / 1}\right] 2 + \left[\frac{128\ kNcm}{(13{,}6\ cm3 * 23{,}5\frac{kN}{cm2}) / 1}\right] 1 =$$

$$= 0{,}604^2 + 0{,}40 = 0{,}76 < 1$$

Επομένως, ο πλαστικός έλεγχος της τεγίδας σε διαξονική κάμψη ικανοποιείται.

- **Συνδυασμοί φορτίσεων σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ)**

Δυσμενείς συνδυασμοί με μόνιμα και κινητά φορτία

Οι δύο συνδυασμοί που μορφώνονται για τα δύο κινητά φορτία είναι:

$E_{d1} = \gamma_G * \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} * \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{w}$ (κύριο κινητό φορτίο το χιόνι)

$E_{d2} = \gamma_G * \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} * \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{s}$ (κύριο κινητό φορτίο ο άνεμος)

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω (δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$E_{d1} = \gamma_G * \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} * \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{w} = 1{,}00 * \mathbf{g} + 1{,}00 * \mathbf{s} + 0{,}00 * 0{,}60 * \mathbf{w}$

$E_{d1,z} = (1{,}00 * 0{,}40\ kN/m + 1{,}00 * 1{,}50\ kN/m) * \cos\varphi = 1{,}90 * 0{,}989 = 1{,}88\ kN/m$

$E_{d1,y} = (1{,}00 * 0{,}40\ kN/m + 1{,}00 * 1{,}50\ kN/m) * \sin\varphi = 1{,}90 * 0{,}148 = 0{,}28\ kN/m$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω (δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$E_{d2} = \gamma_G * \mathbf{g} + \gamma_{Q,1} * \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{s} = 1,00 * \mathbf{g} + 1,00 * \mathbf{w} + 0,00 * 0,50 * \mathbf{s}$

$E_{d2,z} = 1,00 * g * \cos\varphi - 1,00 * w = (1,00 * 0,40 \text{ kN/m}) * 0,989 - 1,00 * 1,18 \text{ kN/m} = - 0,78 \text{ kN/m}$

$E_{d2,y} = 1,00 * g * \sin\varphi = 1,00 * 0,40 \text{ kN/m} * 0,148 = 0,06 \text{ kN/m}$

Κρίσιμος είναι ο πρώτος συνδυασμός φορτίσεων.

Δυσμενείς συνδυασμοί με κινητά φορτία

$E_{d3} = \gamma_{Q,1} * \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{w}$ (κύριο κινητό φορτίο το χιόνι)

$E_{d4} = \gamma_{Q,1} * \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{s}$ (κύριο κινητό φορτίο ο άνεμος)

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα κάτω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω)

$E_{d3} = \gamma_{Q,1} * \mathbf{s} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{w} = 1,00 * \mathbf{s} + 0,00 * 0,60 * \mathbf{w}$

$E_{d3,z} = (1,00 * 1,50 \text{ kN/m}) * \cos\varphi = 1,50 * 0,989 = 1,48 \text{ kN/m}$

$E_{d3,y} = (1,00 * 1,50 \text{ kN/m}) * \sin\varphi = 1,50 * 0,148 = 0,22 \text{ kN/m}$

Δυσμενής συνδυασμός με φορτία προς τα πάνω

(δυσμενής επιρροή για φορτία προς τα πάνω, ευμενής επιρροή για φορτία προς τα κάτω)

$E_{d4} = \gamma_{Q,1} * \mathbf{w} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * \mathbf{s} = 1,00 * \mathbf{w} + 0,00 * 0,50 * \mathbf{s}$

$E_{d4,z} = - 1,00 * 1,18 \text{ kN/m} = - 1,18 \text{ kN/m}$

$E_{d4,y} = 0 \text{ kN/m}$

Οπότε, κρίσιμος είναι ο πρώτος συνδυασμός.

- **Βέλος συνεχούς δοκού δύο ανοιγμάτων υπό διαξονική κάμψη (Βέλη κάμψεως)**

Το μέγιστο βέλος της τεγίδας παρουσιάζεται στο μέσον του ανοίγματός της, λόγω των φορτίων κατά z και κατά y. Επίσης κατά τους δύο άξονες η τεγίδα συμπεριφέρεται ως συνεχής δοκός δύο ανοιγμάτων.

Συνδυασμός για μόνιμα και κινητά φορτία:

Μέγιστο βέλος δοκού ίσων ανοιγμάτων: $w = \frac{q*L^4}{192{,}8*E*Iy}$

$$W_z = \frac{qz * L^4}{192{,}8*E*Iy} = \frac{0{,}0188\,\frac{kN}{cm} * (500cm)^4}{192{,}8 * 21000\frac{kN}{cm2} * 318\ cm^4} = 0{,}91 \text{ cm}$$

$$W_y = \frac{qy * L^4}{192{,}8*E*Iz} = \frac{0{,}0028\,\frac{kN}{cm} * (500cm)^4}{192{,}8 * 21000\frac{kN}{cm2} * 27{,}7\ cm^4} = 1{,}56 \text{ cm}$$

όπου,

$q_z = E_{d1,z} = 1{,}88$ kN/m = 0,0188 kN/cm

$q_y = E_{d1,y} = 0{,}28$ kN/m = 0,0028 kN/cm

Το συνολικό βέλος δίνεται ως εξής:

$$w = \sqrt{wz^2 + wy^2} = \sqrt{0{,}91^2 + 1{,}56^2} = 1{,}80 \text{ cm}$$

$w = 1{,}80$ cm $< w_{max} = 500/200 = 2{,}5$ cm

Συνδυασμός μόνο για πρόσθετα φορτία (κινητά) για υπολογισμό του βέλους διακύμανσης.

$$w_z = \frac{qz*L^4}{192{,}8*E*Iy} = \frac{0{,}0148\,\frac{kN}{cm} * (500cm)^4}{192{,}8 * 21000\frac{kN}{cm2} * 318\ cm^4} = 0{,}72 \text{ cm}$$

$$W_y = \frac{qy*L^4}{192{,}8*E*Iz} = \frac{0{,}0022\,\frac{kN}{cm} * (500cm)^4}{192{,}8 * 21000\frac{kN}{cm2} * 27{,}7\ cm^4} = 1{,}23 \text{ cm}$$

όπου,

$$q_z = E_{d1,z} = E_{d3,z} = 1{,}48 \text{ kN/m} = 0{,}0148 \text{ kN/cm}$$

$$q_y = E_{d1,y} = E_{d3,y} = 0{,}22 \text{ kN/m} = 0{,}0022 \text{ kN/cm}$$

Το συνολικό βέλος δίνεται ως εξής:

$$w = \sqrt{wz^2 + wy^2} = \sqrt{0{,}72^2 + 1{,}23^2} = 1{,}42 \text{ cm}$$

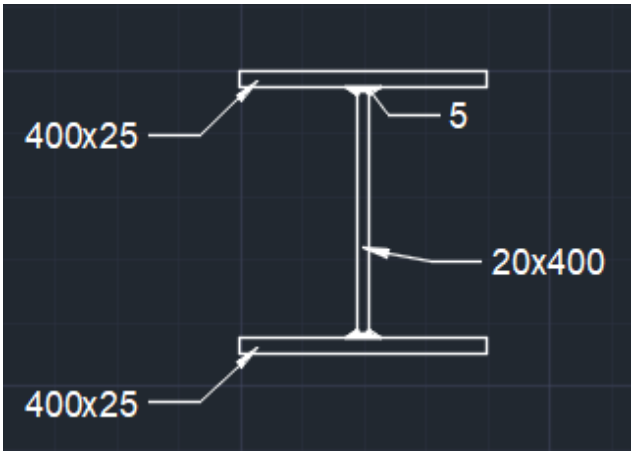
$$w = 1{,}42 \text{ cm} < w_3 = 500/250 = 2 \text{ cm}$$

Επομένως, ο έλεγχος των βελών της τεγίδας ικανοποιείται.

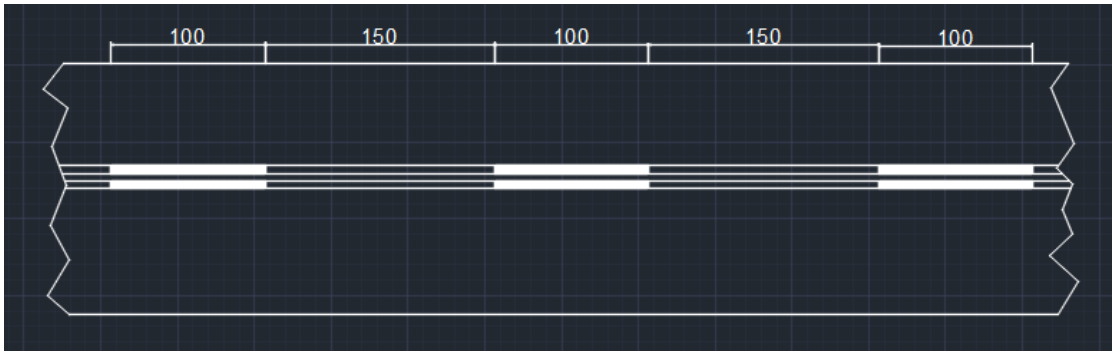
11.3. Εκφώνηση παραδείγματος 2

Κτίριο διαστάσεων 9,00 m × 9,00 m, κατασκευασμένο από χάλυβα S235, αποτελείται από πλευρικά εξασφαλισμένες αμφιέρειστες δοκούς δαπέδου ανά 3,00m όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8.10. Οι δοκοί είναι σύνθετης διατομής και η σύνδεση μεταξύ των ελασμάτων κορμού και πελμάτων γίνεται μέσω διακεκομμένης τμηματικής ραφής πάχους 5 mm, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.11. Η ραφή είναι αμφίπλευρη μήκους 100mm ανά 250mm (δηλαδή μεσολαβεί κενό 150mm). Στο δάπεδο ασκούνται μόνιμα 4,5 kN/m^2 και κινητά φορτία 5,0 kN/m^2.

Ζητείται ο έλεγχος επάρκειας της διατομής της δοκού και της διακεκομμένης αμφίπλευρης συγκόλλησης κορμού-πέλματος.



Εικόνα 11:10: *Όψη συγκολλητής διατομής.*



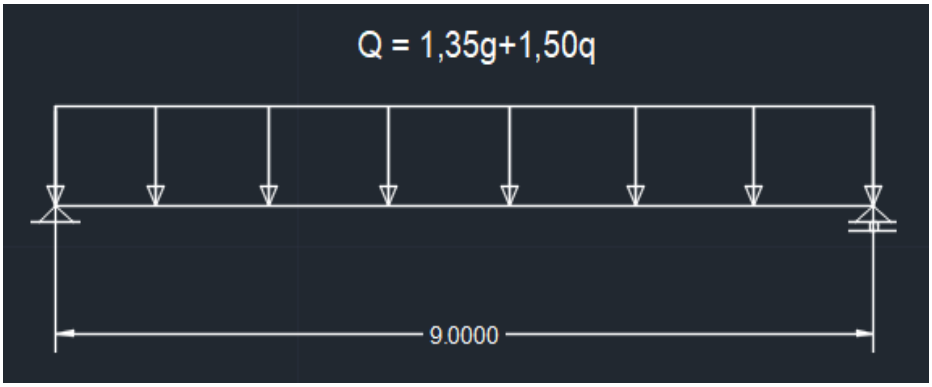
Εικόνα 11:11*: Διακεκομμένη τμηματική ραφή.*

Υπολογισμός δράσεων ανά δοκό

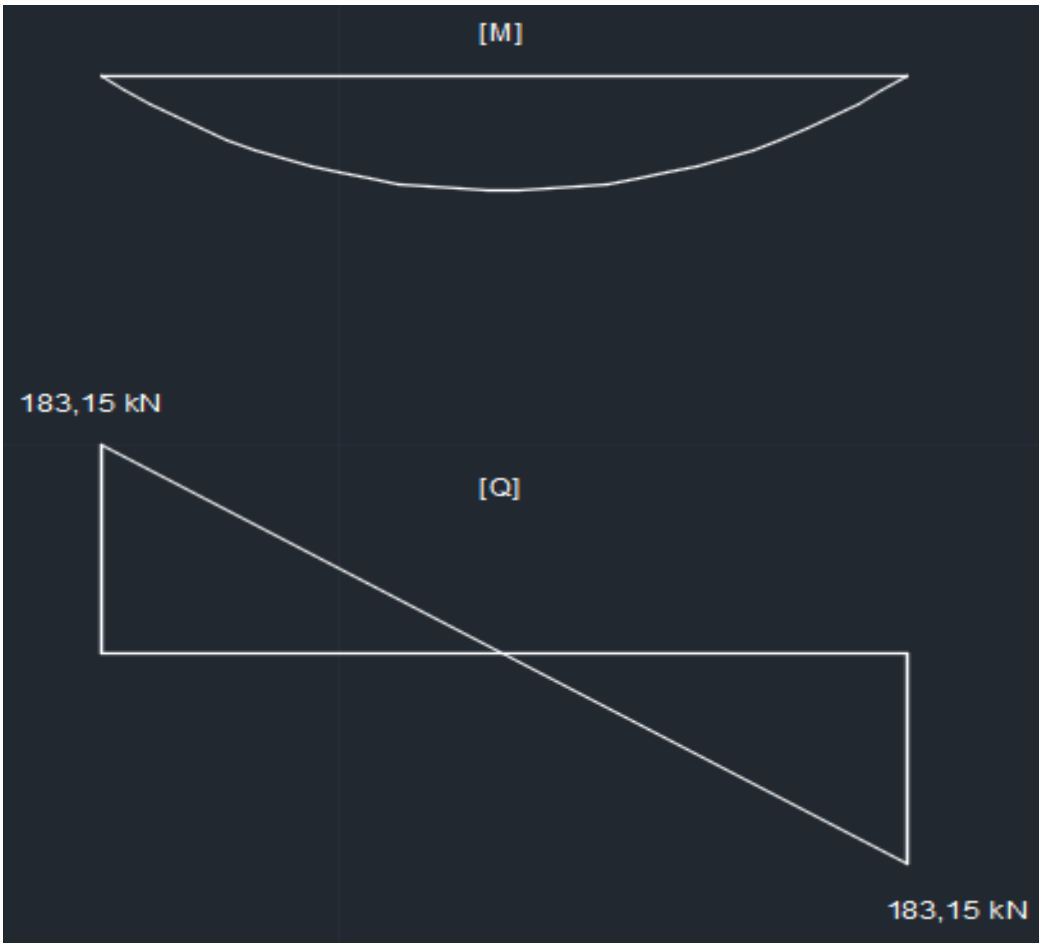
Συνδυασμός αστοχίας: q_{Ed} = (1,35*4,5 + 1,50*5,0) * 3,00 = 40,7 kN/m

Καμπτική ροπή στο μέσο της δοκού: M_{Ed} = (q*L^2)/8 = (40,7 x 9^2)/8 = 412,1 kNm

Τέμνουσα δύναμη στα άκρα της δοκού: V_{Ed} = (40,7 x 9)/2 = 183,15 kN



***Εικόνα 11:12*:** *Στατικό προσομοίωμα δοκού στην ΟΚΑ.*



***Εικόνα 11:13**: Διαγράμματα Καμπτικών ροπών [M] και Τεμνουσών δυνάμεων [Q] σε ΟΚΑ.*

Αντοχή διατομής

1. Κατάταξη διατομής

$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$ και $f_y = 235$ MPa, δηλαδή το όριο διαρροής του χάλυβα.

Κορμός:

$\frac{c}{t} = \frac{400-2*5*\sqrt{2}}{20}$ = 19,30 < 72ε = 72 , άρα ο κορμός είναι κατηγορία 1.

Πέλμα:

$\frac{c}{t} = \frac{(400-20)*0,5-5*\sqrt{2}}{25}$ = 7,32 < 9ε = 9, άρα το πέλμα είναι κατηγορίας 1 και η διατομή κατατάσσεται συνολικά στη κατηγορία , με βάση των Ευρωκώδικα 3.

2. Αντοχή διατομής σε κάμψη

W_{pl} = 2*(2,5 x 40,0 x 16,0 + 1,5 x 20,0 x 7,5) = 3650 cm^3

$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl}*f_y}{\gamma_{M0}}$ = 3650 x 23,5/1,0 = 84680 kNcm =

= 846,80 kNm > M_{ed} = 412,10 kNm

3. Έλεγχος τέμνουσας δύναμης

$V_{pl} = \frac{A_v* f_y}{\sqrt{3}* \gamma_{M0}} = \frac{40*2*23,5}{\sqrt{3}*1}$ = 1085,4 kN > V_{Ed} = 183,15 kN

Έλεγχος τμηματικής συγκόλλησης

Σύμφωνα με τις διατάξεις του EC3 για τις ελάχιστες αποστάσεις τμηματικών συγκολλήσεων ισχύει ότι:

$L_1 \leq$ min(16t, 16t_1, 200mm), όπου t και t_1 είναι το πάχος των συνδεόμενων ελασμάτων.

Οπότε έχουμε ότι: $L_1 \leq$ min(16x25 mm, 16x20 mm, 200 mm) = 200mm

Ισχύει καθώς L_1 = 150mm ≤ 200mm

Σημείωση: Ο έλεγχος που γίνεται παραπάνω αφορά το κάτω πέλμα της σύνθετης διατομής το οποίο βρίσκεται σε εφελκυσμό. Για τον έλεγχο του άνω πέλματος της διατομής, το οποίο βρίσκεται σε θλίψη, θα έπρεπε να εφαρμόσουμε τον τύπο του EC3 σύμφωνα με τον οποίο:

$L_2 \leq$ min(12t, 12t_1, 0,25b, 200mm)

Οπότε: $L_2 \leq$ min(12x25mm, 12x25mm, 0,25x400mm, 200mm) = 100 mm , δηλαδή στο άνω πέλμα της διατομής η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ των ραφών της συγκόλλησης είναι 100 mm.

Η ροπή αδράνειας της διατομής κατά τον άξονα y είναι:

$I_y = \frac{1}{12} * 2\ cm * (40\ cm)^3 + 2 * 40\ cm * 2{,}5\ cm * (16{,}0\ cm)^2 = 61867\ cm^4$

Η μέγιστη τιμή της διατμητικής ροής ανά μονάδα μήκους στη διεπιφάνεια μεταξύ κορμού και πέλματος ισούται με:

$T = \frac{V_{Ed} * S_y}{I_y} = \frac{183{,}15 * (40 * 2 * 16)}{61867} = 3{,}79\ kN/cm$

Η διατμητική δύναμη ολίσθησης που αντιστοιχεί σε κάθε ζεύγος τμηματικών ραφών εκατέρωθεν του κορμού ισούται με:

$T_{Ed} = T * (10 + 18) = 106{,}12\ kN$

Με βάση την απλοποιημένη μέθοδο προσδιορισμού της αντοχής του EC3 η διατμητική τάση αντοχής ισούται με:

$f_{w,Rd} = \frac{f_u}{\beta_w * \sqrt{3} * \gamma_M} = \frac{36}{0{,}8 * \sqrt{3} * 1{,}25} = 20{,}78 kN/cm^2$

Η αναπτυσσόμενη διατμητική τάση ισούται με:

$T = \frac{T_{Ed}}{2 * I_w * a} = \frac{106{,}12}{2 * 10 * 0{,}5} = 10{,}61\ kN/cm^2$

Όπου $l_w = 10$ cm το μήκος της τμηματικής συγκόλλησης και $\alpha = 0{,}5$ cm το πάχος της ραφής.

12. Επίλογος – Συμπέρασμα

Κατά το πρόσφατο παρελθόν, ο σχεδιασμός των κατασκευών στον ευρωπαϊκό χώρο στηρίζονταν σε κανονισμούς και προδιαγραφές που κάθε χώρα ξεχωριστά είχε θέσει σε εφαρμογή. Έτσι, για να αντιμετωπιστούν τα εμπόδια που προέκυπταν και να γίνει πιο απλή η μεταφορά προϊόντων και η ενοποίηση της βιομηχανίας, ανατέθηκε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) το έργο σύνταξης ενός πλαισίου κανονισμών, οι οποίοι θα αντικαθιστούσαν σταδιακά τους επιμέρους κανονισμούς κάθε κράτους, αυτοί οι κανονισμοί ονομάστηκαν Ευρωκώδικες.

Σήμερα, υπάρχουν 10 Ευρωκώδικες, οι οποίοι περιλαμβάνουν συνολικά 58 μέρη και καταλαμβάνουν περισσότερες από 3000 σελίδες. Στόχοι με τη θέσπιση εναρμονισμένων κανόνων, είναι η επίτευξη της εύρυθμης λειτουργίας, διευκόλυνση στη χρήση υλικών και δομικών στοιχείων, σε ένα πιο ομοιόμορφο επίπεδο ασφάλειας των κατασκευών στις διάφορες ευρωπαϊκές περιφέρειες.

Κατά την διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής εργασίας, λοιπόν, έγινε σύντομη και επιλεκτική αναφορά στα μέρη των Ευρωκωδίκων 1, 3, 8 σχετικά με τις μηχανολογικές κατασκευές.

Στο πρώτο μέρος της Διπλωματικής αναφέρθηκε ο Ευρωκώδικας 1, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των δράσεων, και ειδικότερα τα μέρη από τα οποία αποτελείται, όσο το δυνατόν σύντομη περιγραφή του και τα σχετικά για τα μηχανολογικά έργα.

Στην συνέχεια, παρουσιάστηκε ο Ευρωκώδικας 3, για τον σχεδιασμό κατασκευών από χάλυβα, όπου το θέμα προσεγγίστηκε κατά το δυνατόν, διότι η έκταση του κανόνα αυτού είναι τεράστια. Έπειτα, έγινε μια μικρή αναφορά στον Ευρωκώδικα 8 – ο Αντισεισμικός σχεδιασμός, όπου εκεί επισημάνθηκαν τα βασικότερα κομμάτια του κανόνα αυτού.

Ένα κεφάλαιο, επίσης, αφιερώθηκε στη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων που προκύπτουν στις μηχανολογικές κατασκευές. Συνολικά, η αλληλεπίδραση μεταξύ των Ευρωκωδίκων και της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων (FEM) είναι κρίσιμη για την ασφαλή σχεδίαση και ανάλυση δομικών κατασκευών.

Με τη χρήση της FEM, οι μηχανικοί μπορούν να πραγματοποιήσουν πιο ακριβείς υπολογισμούς και προσομοιώσεις, λαμβάνοντας υπόψη την πραγματική γεωμετρία, τα υλικά και τις συνθήκες φόρτισης. Αυτό επιτρέπει την εφαρμογή των Ευρωκωδίκων με μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία.

Στο τελικό μέρος, για την ολοκλήρωση του κεφαλαίου με τον Ευρωκώδικα 3 προστέθηκαν δύο παραδείγματα μηχανολογικής κατασκευής, τα οποία σχεδιάστηκαν και επιλύθηκαν με βάση τον Ευρωκώδικα 3. Τα παραδείγματα αυτά είχαν ως αποτέλεσμα την εξοικείωσή μου με τον Ευρωκώδικα 3 και την καλύτερη κατανόηση του κανόνα αυτού.

Η έκταση του Ευρωκώδικα 3 (EN 1993) είναι μεγάλη, συγκριτικά με τους άλλους Ευρωκώδικες, λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας που παρουσιάζουν οι μεταλλικές

κατασκευές. Επομένως, ο τεράστιος όγκος του μου επέτρεψε να αναφέρω βασικά μέρη και τους απαραίτητους τύπους.

Με το πέρασμα του χρόνου καθώς ολοένα και περισσότερο εξελίσσονται οι συνθήκες σχετικά με τη συμπεριφορά των κατασκευών, προκύπτουν νέες μέθοδοι και προϊόντα δόμησης προκαλώντας έτσι την εξέλιξη του περιεχομένου των Ευρωκωδίκων, έτσι ώστε να προσαρμοστούν στις νέες ανάγκες της ανθρωπότητας.

Συμπεραίνεται ότι, οι Ευρωκώδικες είναι κωδικοί σχεδιασμού αναφοράς και έχουν ως κύριο σκοπό την καθοδήγηση σε πιο ομοιόμορφα επίπεδα ασφαλείας στις κατασκευές τόσο στην Ευρώπη όσο και εκτός. Επιπλέον, έχει ως αποτέλεσμα την ενοποίηση των όλων των κρατών που επρόκειτο να τους εφαρμόσουν, δημιουργώντας έτσι κοινούς στόχους με γερά θεμέλια.

13. Βιβλιογραφία – Πηγές

13.1. Βιβλία

- ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ, 9η ΕΚΔΟΣΗ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, CALLISTER JR RETHWISCH
- ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ 1, ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ, ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΤΕΡΓΙΟΥ ΚΑΙ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΥ
- ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, 4η ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΕΚΔΟΣΗ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΑΝΔΡΟΜΑΧΗ ΒΟΥΘΟΥΝΗ 2019, Δρ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α. ΒΟΥΘΟΥΝΗΣ
- ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΩΝ, ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΞΗ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ, ΚΩΝ/ΝΟΣ – ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Ε. ΜΠΟΥΖΑΚΗΣ.
- ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΤΟ MATLAB, PETER KATAN, ΕΚΔΟΣΕΙΣ FOUNTAS

13.2. Ιστότοποι

Γενικές πληροφορίες Ευρωκωδίκων – Εισαγωγή κτλ.

- https://web.tee.gr/d-e-k-a-d/tmima-typopoiisis/eurocodes/
- https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/
- https://www.bsigroup.com/en-GB/our-services/standards-subscription-services/Eurocodes-Plus/what-are-eurocodes/
- https://libguides.singaporetech.edu.sg/standards/eurocodes
- https://docplayer.gr/63285503-Thespisi-ton-eyrokodikon-kai-efarmogi-toys-stin-ellada-tin-eyropi-kai-se-alles-hores-m-n-fardis.html
- http://docplayer.gr/52870510-K-g-trezos-eyrokodikes-syuplegua-kanonisuon-gia-ton-shediasuo-ergon-politikoy-uihanikoy.html
- http://www.sate.gr/nea/Press/2577_%CE%A4%CE%95%CE%95.pdf
- https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/7953/katopodik_design.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- http://users.ntua.gr/caridis/methodoi/keimena/chap%2003/Chapter%2003.pdf

Ευρωκώδικας 1

- https://www.teetas.gr/sites/default/files/seminaria/trezos_eurocodesiteaec0ec1.pdf
- http://docplayer.gr/52870510-K-g-trezos-eyrokodikes-syuplegua-kanonisuon-gia-ton-shediasuo-ergon-politikoy-uihanikoy.html

Ευρωκώδικας 3

- http://www.moi.gov.cy/moi/moi.nsf/All/0036F328CBAC76BEC22585A100432FE3?OpenDocument#Eurocode3
- http://docplayer.gr/229228107-Arhes-shediasmoy-kataskeyon.html
- http://docplayer.gr/32125257-Eystatheia-melon-metallikon-kataskeyon.html
- http://docplayer.gr/9229452-Shediasmos-metallikon-kataskeyon.html
- https://eurocodeapplied.com/design/en1993/steel-design-properties

- http://docplayer.gr/46252077-Metallikes-kataskeyes-602.html
- https://www.researchgate.net/publication/284028430_Phortiseis_Gephyron_Europaikoi_Kanonismoi_kai_Ellenikes_Systaseis
- http://library.tee.gr/digital/m2464/m2464_ec3.pdf

Ευρωκώδικας 8

- http://lee.civil.ntua.gr/pdf/mathimata/antiseismikes_kataskeves/simeioseis/EC8-2014.pdf
- http://lee.civil.ntua.gr/pdf/mathimata/antiseismiki_texnologia_1/simeioseis/notes_psyxarh_teuxos_1.pdf
- https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CIV1534/%CE%86%CE%BB%CE%BB%CE%B1%20%CE%B2%CE%BF%CE%B7%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1/%CE%95%CE%9A8%20MN Fardis.pdf
- http://www.teetas.gr/sites/default/files/seminaria/1.ek_8_-_sholia_hronopoylos.pdf

Πεπερασμένα Στοιχεία

- https://ikee.lib.auth.gr/record/301368/files/GRI-2018-23157.pdf
- http://users.ntua.gr/caridis/methodoi/keimena/chap%2003/Chapter%2003.pdf

Παράδειγμα 1

- http://docplayer.gr/46011235-Sidires-kataskeyes-i-askisi-6-diastasiologisi-tegidas-stegastroy-dr-haris-gantes-kathigitis-emp-sholi-politikon-mihanikon.html
- http://docplayer.gr/153749730-Sidires-kataskeyes-i-askisi-6-diastasiologisi-tegidas-stegastroy-sholi-politikon-mihanikon-ergastirio-metallikon-kataskeyon.html

Παράδειγμα 2

- https://ocw.aoc.ntua.gr

14. Πηγές εικόνων

Οι εικόνες της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι φωτογραφίες από τα παραπάνω βιβλία, ιστοσελίδες και από τα παρακάτω links:

- https://www.kouloglou.com/
- https://apkpure.com/structural-eurocodes/com.labtecdesign.eurocodes
- https://csuiteafrica.com/csuite/why-kenyan-engineers-must-adopt-eurocodes-for-engineering-structures/
- https://www.teetas.gr/sites/default/files/seminaria/trezos_eurocodesiteaec0ec1.pdf
- https://www.cys.org.cy/images/%CE%95%CE%98%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%9F_%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A3%CE%91%CE%A1%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%91_CYS_EN_1998-3_updated_13_11_2020.pdf
- https://www.cys.org.cy/images/eurocodes/%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%97%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%91_%CE%95%CE%98%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%91_%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A3%CE%91%CE%A1%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91/%CE%95%CE%98%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%9F_%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A3%CE%91%CE%A1%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%91_CYS_EN_1991-1-1.pdf
- https://welder.gr
- https://ocw.aoc.ntua.gr
- https://ocw.aoc.ntua.gr
- https://www.apoikonomou.gr/statikes-meletes/
- https://slideplayer.gr/slide/12214935/
- https://workenter.gr/prokirixeis/politikoi-michanikoi-kai-michanologoi-michanikoi-stin-perifereiaki-enotita-korinthias/
- https://www.scia.net/en/company/news/are-you-ready-second-generation-eurocodes

15. Παράρτημα

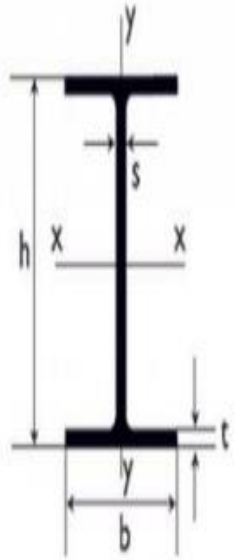
Μέλη της CEN: Εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης των εξής χωρών, Αυστρία, Βέλγιο, Κύπρος, Δημοκρατία της Τσεχίας, Δανία, Εσθονία, Φιλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Γαλλία, Ελλάδα, Ουγγαρία, Ισλανδία, Ιρλανδία, Ιταλία, Λετονία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Ολλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία και Μεγάλη Βρετανία.

Saint-Venant: ήταν μηχανικός και μαθηματικός που συνέβαλε στην πρώιμη ανάλυση τάσεων και ανέπτυξε, επίσης, τις εξισώσεις ρηχών νερών με αστάθεια ανοιχτού καναλιού, επίσης γνωστές ως Saint-Venant, εξισώσεις που είναι ένα θεμελιώδες σύνολο εξισώσεων που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη υδραυλική μηχανική. Επιπλέον, ήταν ο πρώτος που μελέτησε την εντατική κατάσταση ράβδου τυχαίας διατομής που καταπονείται σε στρέψη (1853).

Τεγίδες: Οι τεγίδες είναι δευτερεύουσες δοκοί, που επιτελούν το ρόλο της σύνδεσης των ζευκτών, και επί των οποίων τοποθετούνται τα πάνελ οροφής. Είναι τραπεζοειδούς διατομής ή συνηθέστερα διατομής μορφής Τ.

Οριακή κατάσταση αστοχίας: η κατάσταση η οποία σχετίζεται με την κατάρρευση ή αστοχία μιας κατασκευής ή ενός δομικού στοιχείου.

Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας: η κατάσταση η οποία σχετίζεται με την εξασφάλιση της καλής λειτουργίας και διάρκειας ζωής του στοιχείου.



Όνομα	Γεωμετρικές διαστάσεις						Βάρος	Κατάταξη (σύμφωνα με EN1993-1-1:2005[1])							
								Καθαρή κάμψη[2]				Αξονική θλίψη			
	h (mm)	b (mm)	t_f (mm)	t_w (mm)	r (mm)	A (mm^2) x100	G (kg/m)	S235	S275	S355	S450	S235	S275	S355	S450
IPE-80	80	46	5,2	3,8	5,0	7,643	6,00	1	1	1	1	1	1	1	1
IPE-100	100	55	5,7	4,1	7,0	10,32	8,10	1	1	1	1	1	1	1	1
IPE-120	120	64	6,3	4,4	7,0	13,21	10,4	1	1	1	1	1	1	1	1
IPE-140	140	73	6,9	4,7	7,0	16,43	12,9	1	1	1	1	1	1	1	1
IPE-160	160	82	7,4	5,0	9,0	20,09	15,8	1	1	1	1	1	1	1	2
IPE-180	180	91	8,0	5,3	9,0	23,95	18,8	1	1	1	1	1	1	2	2
IPE-200	200	100	8,5	5,6	12,0	28,48	22,4	1	1	1	1	1	1	2	3
IPE-220	220	110	9,2	5,9	12,0	33,37	26,2	1	1	1	1	1	1	2	3
IPE-240	240	120	9,8	6,2	15,0	39,12	30,7	1	1	1	1	1	2	2	4
IPE-270	270	135	10,2	6,6	15,0	45,95	36,1	1	1	1	1	2	2	3	4
IPE-300	300	150	10,7	7,1	15,0	53,81	42,2	1	1	1	1	2	2	4	4
IPE-330	330	160	11,5	7,5	18,0	62,61	49,1	1	1	1	1	2	3	4	4
IPE-360	360	170	12,7	8,0	18,0	72,73	57,1	1	1	1	1	2	3	4	4
IPE-400	400	180	13,5	8,6	21,0	84,46	66,3	1	1	1	1	3	3	4	4
IPE-450	450	190	14,6	9,4	21,0	98,82	77,6	1	1	1	1	3	4	4	4
IPE-500	500	200	16,0	10,2	21,0	115,5	90,7	1	1	1	1	3	4	4	4
IPE-550	550	210	17,2	11,1	24,0	134,4	106	1	1	1	1	4	4	4	4
IPE-600	600	220	19,0	12,0	24,0	156,0	122	1	1	1	1	4	4	4	4

Πίνακας 20: *Υψίκορμες διατομές IPE.*