



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**

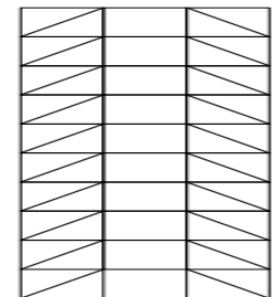
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ
ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ
ΔΙΑΓΩΝΙΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΜΕ Ή ΧΩΡΙΣ
ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ**

ΚΑΡΝΑΤΣΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΑΜ: 7085

Πάτρα 2024



Επιβλέποντες καθηγητές:

Νικόλαος Καλαπόδης-Διονύσιος Μπισκίνης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω τους εξής.

Τον επιβλέποντα καθηγητή μου Νικόλαο Καλαπόδη για τη πολύτιμη καθοδήγηση του και τις επιστημονικές του συμβουλές, όπως και τον νέο επιβλέποντα καθηγητή μου Διονύσιο Μπισκίνη για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Ενώ τέλος οφείλω να αφιερώσω τη πτυχιακή μου εργασία στους γονείς μου Ηλία και Κυριακούλα και τις αδερφές μου Έλενα και Αθανασία, όπου μου συμπαραστάθηκαν σε όλα αυτά τα χρόνια της φοίτησης μου στο πρώην Α.Τ.Ε.Ι Πάτρας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία μελετά τον αντισεισμικό σχεδιασμό μιας σειράς 7 χαλύβδινων διασυνδεδεμένων πλαισίων με διαγώνιους συνδέσμους με εκκεντρότητα και 7 χαλύβδινων διασυνδεδεμένων πλαισίων με διαγώνιους μη έκκεντρους συνδέσμους. Τα πλαίσια αυτά είναι διώροφα, τριώροφα, εξάωροφα, εννιαώροφα, δωδεκαώροφα, δεκαπενταώροφα και δεκαεπταώροφα αντίστοιχα για τις δύο περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν. Ο σχεδιασμός των πλαισίων πραγματοποιήθηκε ικανοποιώντας τα κριτήρια του Ευρωκώδικα 3 και Ευρωκώδικα 8 για μέτρια κατηγορία πλαστιμότητας, κατηγορία εδάφους Β και για επιτάχυνση εδάφους ίση με 0,24g. Αρχικά διαμορφώθηκε το κανονιστικό πλαίσιο των κατασκευών που θα μελετηθούν. Επιλέχθηκαν οι κατάλληλες διατομές, οι αντίστοιχες στηρίξεις και τέλος προστέθηκαν οι κατάλληλοι συνδυασμοί φορτίων. Έπειτα εκτιμήθηκαν τα μεγέθη των ανελαστικών παραμορφώσεων που αναπτύχθηκαν στα δομικά στοιχεία της κατασκευής κατά την διάρκεια των σεισμικών διεγέρσεων. Τα μεγέθη των ανελαστικών παραμορφώσεων συγκρίθηκαν με τις επιτρεπόμενες τιμές που προσδιορίζονται βάση της στοχευμένης στάθμης επιλεστικότητας και την ικανότητα των μελών. Ο σχεδιασμός και έλεγχος των πλαισίων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SAP2000, κατάλληλο για την ανάλυση κατασκευών με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία και την βοήθεια του προγράμματος Excel για την γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα των δυναμικών και υπερωθητικών αναλύσεων (pushover) και τα συμπεράσματα αυτών παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 7. Παρατίθενται επίσης πίνακες και διαγράμματα για την βέλτιστη κατανόηση και τεκμηρίωση των γραμμικών και μη, αναλύσεων και την συμπεριφορά που προκύπτει από αυτές.

ABSTRACT

This thesis studies the seismic design of a series of 7 steel interconnected frames with eccentric diagonal links and 7 steel interconnected frames with diagonal non-eccentric links. These frames are two-story, three-story, six-story, nine-story, twelve-story, fifteen-story and seventeen-story respectively for the two cases mentioned above. The design of the frames was carried out satisfying the criteria of Eurocode 3 and Eurocode 8 for medium ductility category, soil category B and for ground acceleration equal to 0.24g. Initially, the regulatory framework of the constructions to be studied was formed. The appropriate cross-sections, the corresponding supports were selected and finally the appropriate combinations of loads were added. Then the magnitudes of the inelastic deformations developed in the structural elements of the structure during the seismic excitations were estimated. These magnitudes of inelastic deformations were compared with the allowable values determined based on the target ductility level and the capacity of the members. The design and control of the frames was carried out with the SAP2000 program, suitable for the analysis of constructions with linear finite elements and the help of the Excel program for the graphical display of the results. The results of the dynamic and pushover analyzes and their conclusions are presented in chapter 7. Tables and diagrams are also provided for better understanding and documentation of linear and non-linear analyzes and the resulting behavior.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗσελ.7	
1.1 Γενική περιγραφή εργασίας.....σελ.7	
1.2 Γενικά στοιχεία για τους μεταλλικούς φορείς από χάλυβα.....σελ.8	
1.2.1 Ο χάλυβας ως δομικό υλικό.....σελ.8	
1.2.2 Μεταλλικά κτίρια και σεισμός.....σελ.9	
1.2.3 Χαρακτηριστικά μεταλλικών κτιρίων.....σελ.10	
1.2.4 Μεταλλικά κτίρια και αισθητική στο χώρο.....σελ.10	
2 Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΚΑΙ Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟσελ.12	
2.1 Ο χάλυβας γενικά.....σελ.12	
2.2 Ο χάλυβας μέσα στα χρόνια.....σελ.12	
2.3 Παραγωγή του χάλυβα.....σελ.12	
2.4 Ο χάλυβας και η βιομηχανία του στην Ελλάδα.....σελ.14	2.5
Πλεονεκτήματα του χάλυβα ως δομικό υλικό.....σελ.15	
2.6 Μειονεκτήματα δομικού χάλυβα.....σελ.16	
3 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝσελ.16	
3.1 Γενικά.....σελ.16	
3.2 Οριακές καταστάσεις.....σελ.17	
3.3 Συνδυασμοί δράσεων.....σελ.18	
4. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣσελ.20	
4.1 Γενικά.....σελ.20	
4.2 Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα.....σελ.21	
4.2.1 Μέρη Ευρωκώδικα 3.....σελ.21	
4.2.2 Κατάταξη διατομών κατά των Ευρωκώδικα 3.....σελ.22	
4.2.3 Μορφές διατομών.....σελ.23	

4.2.4 Συμβάσεις για άξονες μελών.....	σελ.24
4.2.5 Μέθοδοι στατικής ανάλυσης.....	σελ.25
4.2.6 Κατηγορίες διατομών.....	σελ.26
4.2.7 Οριακές καταστάσεις αστοχίας.....	σελ.31
4.3 Αντοχή διατομών.....	σελ.32
4.4 Εφελκυσμός.....	σελ.34
4.4.1 Δοκιμή εφελκυσμού.....	σελ.36
4.4.2 Κεντρικός εφελκυσμός.....	σελ.36
4.4.3 Έκκεντρος εφελκυσμός.....	σελ.36
4.5 Θλίψη.....	σελ.37
4.5.1 Κεντρική θλίψη.....	σελ.37
4.5.2 Έκκεντρη θλίψη.....	σελ.38
4.6 Ευρωκώδικας 8.....	σελ.39
4.6.1 Μέρη του Ευρωκώδικα 8.....	σελ.39
4.6.2 Απαιτήσεις συμπεριφοράς και κριτήρια συμμόρφωσης.....	σελ.39
4.6.3 Περιορισμός των βλαβών και οριακές καταστάσεις λειτουργίας.....	σελ.40
4.7 Μέτρα σχεδιασμού θεμελίωσης και ποιότητας.....	σελ.40

5. ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ.....

σελ.42

5.1 Γενικά.....	σελ.42
5.2 Πλεονεκτήματα μεταλλικών κτιρίων.....	σελ.42
5.3 Αντοχή μεταλλικών κτιρίων.....	σελ.45

6. ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PUSHOVER).....

σελ.45

6.2 Τύποι υπερωθητικής ανάλυσης.....	σελ.45
6.3 Στάδια της υπερωθητικής ανάλυσης.....	σελ.46

7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....

σελ.47

7.1 Πλαίσια.....	σελ.47
7.2 Διαγράμματα της υπερωθητικής ανάλυσης (pushover).....	σελ.50
7.3 Παράδειγμα κατάρρευσης μελών στα πλαίσια χωρίς εκκεντρότητα.....	σελ.66
7.4 Πίνακας διατομών.....	σελ.69

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....

σελ.70

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

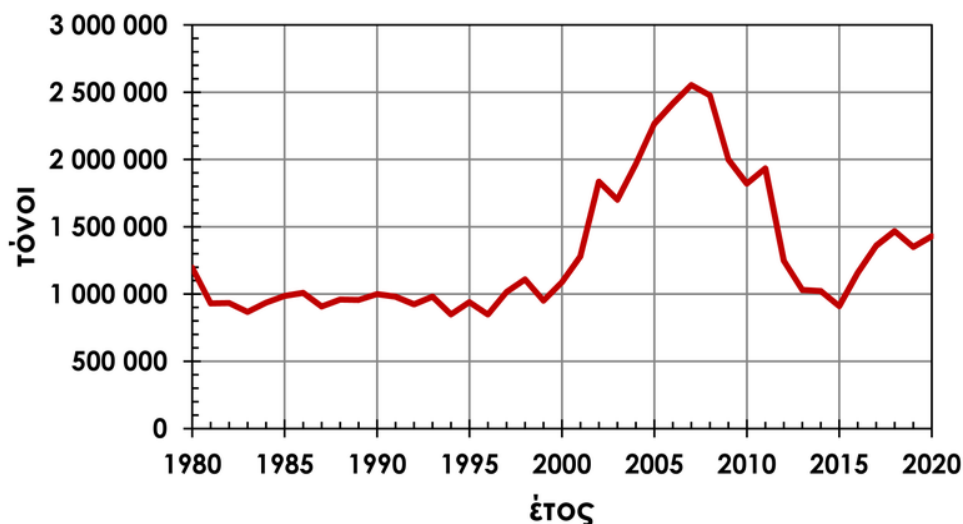
Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη, το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση μεταλλικών κατασκευών και συγκεκριμένα μεταλλικών πλαισίων από χάλυβα, με ή χωρίς εκκενρότητα τα οποία έχουν διαγώνιες στηρίξεις. Σε αυτή την εργασία λοιπόν, θα εξετάσουμε την αντοχή των πλαισίων σε σεισμούς, καθώς θα εστιάσουμε στον αντισεισμικό σχεδιασμό τους. Τέλος θα εστιάσουμε στο δισδιάστατο πλαίσιο όσο αναφορά στη σεισμική του συμπεριφορά. Η ανάλυση των κατασκευών αυτών έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος SAP2000. Το πρόγραμμα αυτό αποτελεί εδώ και 30 χρόνια συνώνυμο των πιο σύγχρονων μεθόδων ανάλυσης κατασκευών καθώς θεωρείται το πιο ολοκληρωμένο στατικό πρόγραμμα στην αγορά. Στη συγκεκριμένη εργασία το SAP2000 με τους κώδικες που περιέχει με βοήθησε στη διεκπεραίωση του σχεδιασμού των πλαισίων από χάλυβα σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα. Τέλος εξήγαγα τα αποτελέσματα των αναλύσεων και με τη βοήθεια του Excel έγιναν υπολογισμοί και συγκεντρώθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία γι' αυτή τη πτυχιακή εργασία.

1.2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΦΟΡΕΙΣ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

1.2.1 Ο χάλυβας ως δομικό υλικό.

Ο χάλυβας ή αλλιώς το ατσάλι, είναι ένα κράμα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σιδήρου και μικρότερη από άνθρακα, θείο, πυρίτιο, φώσφορο και οξυγόνο ενώ αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά υλικά της βιομηχανίας. Ιστορικά, ο χάλυβας πρωτοεμφανίζεται το 1000 π.Χ. περίπου, όπου οι μεταλλουργοί εκείνης της εποχής παρήγαγαν χάλυβα με τη τεχνική της ενανθράκωσης σπογγώδους σιδήρου. Από τις πρώτες παραγωγές χάλυβα οι οποίοι παρήχθησαν σε κάμινο ήταν το 1740, όπου αρχικά σκοπό είχαν τη κατασκευή εργαλείων και ξιφών και κατασκευάζονταν ως τεμάχια λεπτού πάχους.

Αξίζει να σημειωθεί πως στη χώρα μας, την Ελλάδα, η πρώτη βιομηχανία χάλυβα με το όνομα «Ελληνική Χαλυβουργία» είχε παραγωγή κάθε χρόνο που ανερχόταν στους 400.000 τόνους χάλυβα. Μεγάλη άνοδος στη παραγωγή υπήρχε το διάστημα 2000 έως και 2008, όμως μετά την οικονομική κρίση που έλαβε χώρα προέκυψε η ύφεση της παραγωγής του όπως φαίνεται και στη παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 1-1: Παραγωγή χάλυβα στην Ελλάδα από το 1985-2015. (Wikipedia)

1.2.2 Μεταλλικά κτίρια και σεισμός.

Ενώ ο χάλυβας έχει μία από τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες σαν υλικό, διάφορες σεισμικές δονήσεις κατά καιρούς απέδειξαν ότι δε μπορεί να σταθεί ως το μοναδικό υλικό για τη μη αστοχία των κατασκευών και κυρίως την ασφάλεια των πολιτών.

Μία από τις πιο ισχυρές σεισμικές δονήσεις που θορύβησε τη κοινότητα των μηχανικών παγκοσμίως, ήταν αυτή στις Η.Π.Α και συγκεκριμένα στη πόλη San Francisco την ημέρα της 18^{ης} Απριλίου του 1906, καθώς αναδείχθηκαν τα πλεονεκτήματα κατασκευών από χάλυβα. Εκείνη τη χρονική περίοδο όλα τα κτίρια αποτελούνταν από χαλύβδινο σκελετό χωρίς όμως να έχει εφαρμοστεί σε αυτά κάποιος αντισεισμικός σχεδιασμός. Βέβαια όλα τα κτίρια ισοπεδώθηκαν εκτός από αυτά με το μεταλλικό σκελετό. Είκοσι από αυτά είναι λειτουργικά έως και σήμερα. Ένα αποδεικτικό στοιχείο εκείνης της εποχής αποτελεί η παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1-1: Σεισμός στο San Francisco το 1906. (Wikipedia)

1.2.3 Χαρακτηριστικά μεταλλικών κτιρίων.

Ο χάλυβας χρησιμοποιήθηκε ως δομικό υλικό πρώτη φορά κατά τον 19^ο αιώνα. Η χρήση του χρειάστηκε για την κατασκευή γεφυρών, διαφόρων στεγάστρων και υπόστεγων. Στα κτίρια εφαρμόστηκε πρώτη φορά κατά τον 20^ο αιώνα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Ο χάλυβας λοιπόν, προσφέρει αρκετά θετικά χαρακτηριστικά, κάποια από αυτά είναι, μεγάλη χρονική ταχύτητα καθώς και ευελιξία, μεγάλη αντισεισμική ιδιότητα, διάφορες αρχιτεκτονικές προοπτικές στην όψη των κτιρίων, δυνατότητα περισσότερου φυσικού φωτισμού, περισσότερη δυνατότητα στη προσθήκη υαλοπινάκων προσδίδοντας έτσι μια σύγχρονη εικόνα σε ένα κτίριο, μεγάλα ανοίγματα και ανθεκτικότητα στο χρόνο.

1.2.4 Μεταλλικά κτίρια και αισθητική στο χώρο.

Ωστόσο στη σημερινή εποχή, τα μεταλλικά κτίρια ξεχωρίζουν για τη ποικίλη τους μορφή καθώς υπερτερούν αρχιτεκτονικά σε σχέση με τις συνηθισμένες κατασκευές κτιρίων. Αυτό συμβαίνει γιατί

έχουν μεγάλα κενά στα ανοίγματα τους, καλύτερο φυσικό φως, μπορούν να αποκτήσουν διάφορες μορφές στις προσόψεις τους και η τοποθέτηση υάλων γίνεται με μεγαλύτερη ευκολία. Όλα αυτά συμβάλουν στο να έχουμε έτσι μια εκσυγχρονισμένη κατασκευή με πολλές δυνατότητες και καλή αισθητική. Όλα αυτά κάνουν τις μεταλλικές κατασκευές να αναπτύσσονται παγκοσμίως και να είναι από τις πρώτες επιλογές. Μία ενδεικτική εικόνα μεταλλικού κτιρίου που αναδεικνύεται η αρχιτεκτονική είναι η παρακάτω.



Εικόνα 1-2: Μεταλλικό κτίριο στο Σίδνεϋ. (Sophie K Photography)

2 Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΚΑΙ Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

2.1 Ο χάλυβας γενικά.

Ο χάλυβας, όπως προ ανέφερθηκε και στο Κεφάλαιο 1, ή όπως αλλιώς ονομάζεται στη κοινή «ατσάλι», αποτελείται από ένα κράμα σιδήρου – άνθρακα που περιέχει ποσοστό από άνθρακα, λιγότερο από μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Η ανάμειξη σιδήρου σε κράμα μαζί με άνθρακα βελτιστοποιεί την αντοχή σε θραύση και σε κρούση, συγκριτικά με τον καθαρό σίδηρο. Επίσης, υπάρχει και ο ανοξειδωτος χάλυβας, ο οποίος έχει εξαιρετική αντοχή στην οξειδωση και την διάβρωση και αυτό τον κάνει να χρησιμοποιείται κατασκευαστικά αλλά και αρχιτεκτονικά. Είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται παντού όπως στην ναυπηγική, την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων κ.λ.π.

Ο χάλυβας αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά βιομηχανικά υλικά και οι χαλυβουργίες κατατάσσονται στις βαριές βιομηχανίες. Σε παλαιότερες εποχές, η βιομηχανική παραγωγή μιας χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα. Μια από τις τρεις Ευρωπαϊκές Κοινότητες που ιδρύθηκαν το 1957 ήταν και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα.

2.2 Ο χάλυβας μέσα στα χρόνια.

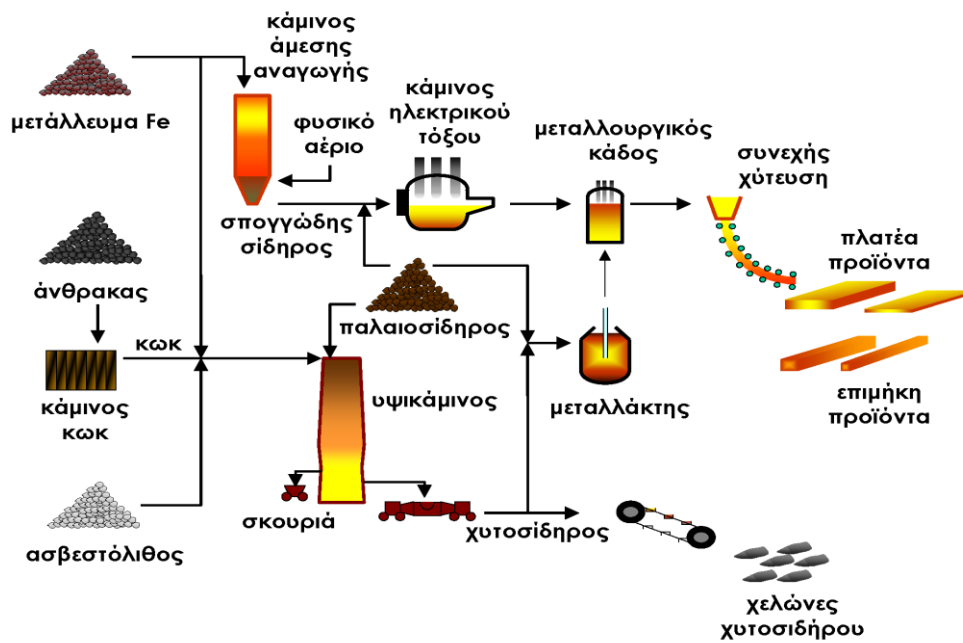
Ο χάλυβας πρωτοεμφανίστηκε το 1000 π.Χ., όταν μεταλλουργοί της εποχής εκείνης άρχισαν να παράγουν χάλυβα συχνά με ενανθράκωση σπογγώδους σιδήρου. Η μεταγενέστερη ιστορία του χάλυβα αρχίζει κατά τα μέσα του 19ου αιώνα, με την δυνατότητα για πρώτη φορά πολλαπλής παραγωγής χάλυβα υψηλής ποιότητας, όταν το 1856 ο Άγγλος εφευρέτης Χένρι Μπέσσεμερ ανακάλυψε πως να μετατρέπει τον τηγμένο χυτοσίδηρο σε χάλυβα με εμφύσηση οξυγόνου σε έναν κάδο επενδυμένο με πυρίμαχα τούβλα. Την ίδια περίοδο ανακαλύφθηκε η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα σε καμίνους ανοικτής εστίας. Σήμερα, η ανακάλυψη του Μπέσσεμερ χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την απανθράκωση του χυτοσιδήρου.

2.3 Παραγωγή του χάλυβα.

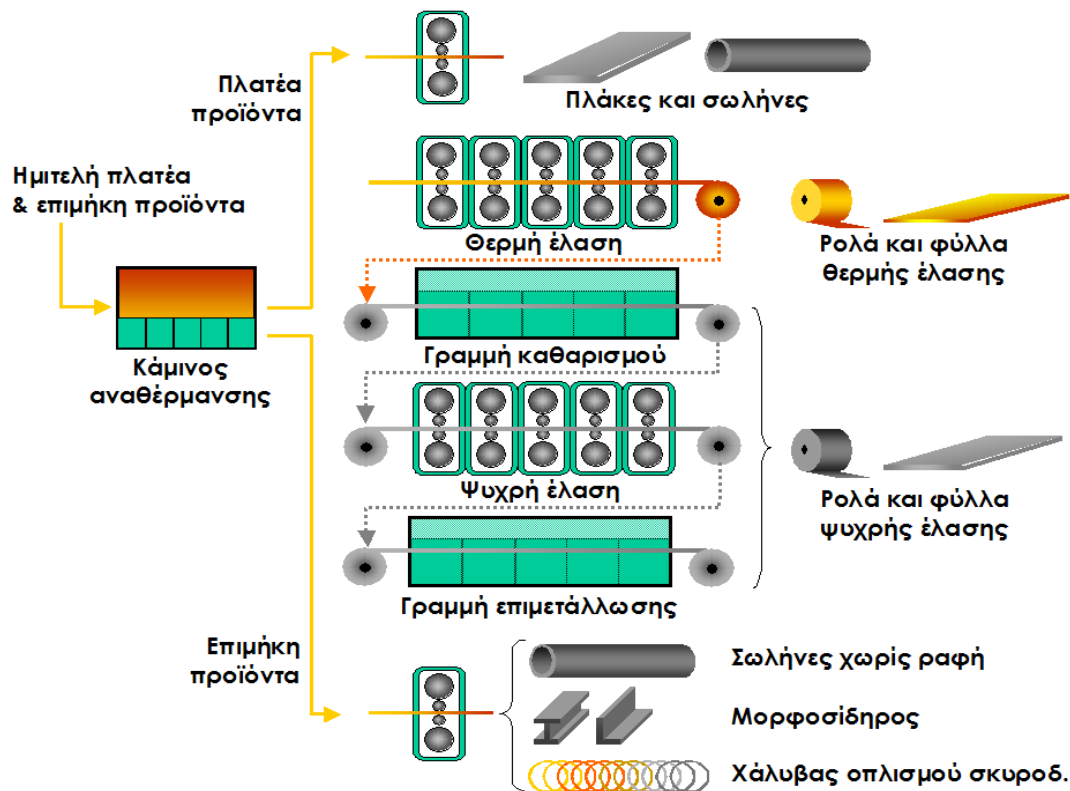
Ο χάλυβας παράγεται με τρεις μεθόδους:

1. με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.
2. με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου, και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου και

3. με την ανάτηξη παλαιοσιδήρου σε κάμινο ηλεκτρικού τόξου.



Εικόνα 2-1: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα. (Wikipedia)



Εικόνα 2-1: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα. (Wikipedia)

2.4 Ο χάλυβας και η βιομηχανία του στην Ελλάδα.

Στον ελληνικό χώρο ξεκίνησαν να αναπτύσσονται οι εξής βιομηχανίες κατά σειρά δημιουργίας όπως φαίνονται παρακάτω.

1. Ελληνική Χαλυβουργία

Η πρώτη ελληνική βιομηχανία χάλυβα, που έφερε τον τίτλο «Ελληνική Χαλυβουργία», ιδρύθηκε από την οικογένεια Σταύρου Σαλαπάτα στην οδό Πειραιώς στην Αθήνα το 1937, ο οποίος προηγουμένως είχε ιδρύσει την εταιρεία «Ελληνικά Συρματουργεία» (1932).

2. Χαλυβουργική

Η δεύτερη ελληνική χαλυβουργία ήταν η «Χαλυβουργική» της οικογένειας Θεόδωρου Αγγελόπουλου. Η εταιρεία αυτή ξεκίνησε ως βιομηχανία καρφιών το 1932 για να εξελιχθεί σε μικρό χαλυβουργείο επί της οδού Πειραιώς στην Αθήνα το 1938.

3. Σιδενόρ

Το 1962, η οικογένεια Στασινόπουλου ίδρυσε την εταιρεία «Σιδενόρ» για να παράγει προϊόντα χάλυβα, όπως χαλυβδοσωλήνες, λέβητες, κ.λπ. Το 1964, η Σιδενόρ ξεκίνησε την παραγωγή μπετόβεργας και άλλων επιμηκών προϊόντων στην Θεσσαλονίκη. Το εργοστάσιο αυτό εξακολουθεί να βρίσκεται σε λειτουργία.

4. Χαλυβουργία Ελλάδος

Το 1963, η οικογένεια Μάνεση ίδρυσε την «Χαλυβουργία Βόλου», η οποία το 1974 μετονομάστηκε σε «Θεσσαλική Χαλυβουργία».

5. Μεταλλουργική Χάλυψ

Το 1972, η οικογένεια Αναστασόπουλου έθεσε σε λειτουργία την χαλυβουργία «Μεταλλουργική Χάλυψ» στον Αλμυρό Μαγνησίας ετήσιας δυναμικότητας περίπου 600.000 τόνων.

6. Ελληνική ΑΕ Χάλυβος

Μία ακόμα εταιρεία που δραστηριοποιούνταν στον χώρο του χάλυβα στην Ελλάδα ήταν η «Ελληνική ΑΕ Χάλυβος» ή «Ανώνυμος Ελληνική Εταιρεία Χάλυβος», πιο γνωστή ως Hellenic Steel.

Γενικά, η ελληνική βιομηχανία χάλυβα έχει αυξήσει σημαντικά την παραγωγή της τα τελευταία χρόνια και, από 1,0 εκατ. τόνους το 1990, ξεπέρασε τα 2,5 εκατ. τόνους το 2007. Ωστόσο, με την οικονομική κρίση που άρχισε το 2009, η ελληνική παραγωγή χάλυβα έπεσε κατακόρυφα και το 2014 ήταν μόνο 1 εκατομμύριο τόνοι.

2.5 Πλεονεκτήματα του χάλυβα ως δομικό υλικό.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα του δομικού χάλυβα.

1. Έχει υψηλή αναλογία αντοχής σε σχέση με το βάρος του. Αυτό τον κατατάσσει ως το ιδανικό υλικό για την κατασκευή πολυώροφων κτιρίων, για γέφυρες μεγάλες σε μήκος και κατασκευές που απέχουν από το έδαφος μικρή απόσταση ή κατασκευές που κατασκευάζονται σε περιοχές με αρκετή σεισμική δραστηριότητα.
2. Παρουσιάζει μεγάλη πλαστιμότητα, με αποτέλεσμα να μπορεί να δεχτεί αρκετές και μεγάλες παραμορφώσεις.
3. Οι ιδιότητες του δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές στο πέρασμα του χρόνου.
4. Λόγω του ότι τα μέλη που αποτελούν την κατασκευή οποιασδήποτε μορφής είναι τοποθετημένα ήδη στον σκελετό της επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ταχύτητας ως προς την κατασκευή του έργου και το κόστος κατασκευής.
5. Είναι ανακυκλώσιμο υλικό, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετά την διάλυση της κατασκευής και σε άλλες δομές χωρίς να χάσει κανένα από τα χαρακτηριστικά του.
6. Έχει την δυνατότητα να επεκταθεί σε όσα αφορούν την αντοχή του μέσω μεθόδων κατασκευής διεύρυνσης του έργου.
7. Τέλος, οι μεταλλικές κατασκευές από χάλυβα παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή στην κόπωση.

2.6 Μειονεκτήματα δομικού χάλυβα.

Όπως όλα τα δομικά υλικά παρουσιάζουν μειονεκτήματα , έτσι και ο χάλυβας έχει κάποια όπου τον καθιστούν αντικείμενο περαιτέρω ελέγχου. Ορισμένα από τα μειονεκτήματα του δομικού χάλυβα παρουσιάζονται παρακάτω.

1. Είναι ένα πολύ ακριβό υλικό. Οι κατασκευές από χάλυβα τείνουν να είναι πιο δαπανηρές συγκριτικά της χρήσης άλλων υλικών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται και ο προϋπολογισμός ενός έργου που πρόκειται να κατασκευαστεί.
2. Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει την αντοχή του χάλυβα επηρεάζοντας τις ιδιότητες του και αυξάνει τον κίνδυνο πυρκαγιάς καθώς ο χάλυβας ως υλικό έχει μεγάλη αγωγιμότητα.
3. Είναι ένα υλικό στο οποίο απαιτείται συχνή σχετικά συντήρηση καθώς είναι επιρρεπής λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών σε διάβρωση.
4. Οι κατασκευές από χάλυβα παρουσιάζουν ενδεχόμενο λυγισμού, γεγονός που οδηγεί σε περισσότερη μελέτη της κατασκευής και περισσότερο έλεγχο για την βελτίωση αντίστασης των μελών του δομικού χάλυβα στην κατασκευή.

3 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΔΡΑΣΕΩΝ.

3.1 Γενικά.

Οι μεταλλικοί φορείς κατασκευάζονται έτσι ώστε σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους έχοντας όσο πιο δυνατόν οικονομικές επιλογές αλλά και με συγκεκριμένο συνδυασμό δράσεων, να μπορούν να αντιμετωπίσουν οποιαδήποτε επίδραση έχει το περιβάλλον σε αυτούς αλλά και να παραμένουν κατάλληλοι σε λειτουργία για όλη αυτή τη χρονική τους διάρκεια.

Ο μελετητής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του δύο οριακές καταστάσεις οι οποίες προκύπτουν από τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς, τον Ευρωκώδικα 1 που αφορά βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις στις κατασκευές και τον Ευρωκώδικα 3 ο οποίος αφορά καθ' αυτού τον σχεδιασμό μεταλλικών κατασκευών.

Οι δύο οριακές καταστάσεις που προκύπτουν με βάση τους ανωτέρω κανονισμούς είναι, αυτή της οριακής κατάστασης αστοχίας και αυτή της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας.

Εδώ όμως έρχεται να δώσει μια επιπρόσθετη ασφάλεια και ένας ευρωπαϊκός κανονισμός, ο Ευρωκώδικας 8, ο οποίος αφορά στο σχεδιασμό αντισεισμικών κατασκευών και θα μας απασχολήσει αρκετά σε αυτήν τη πτυχιακή εργασία.

Τα είδη των δράσεων γενικά είναι τα εξής:

A) G όπου είναι οι μόνιμες δράσεις, δηλαδή τα ίδια βάρη της κατασκευής και τα υπόλοιπα μόνιμα φορτία.

B) Q οι μεταβλητές δράσεις, όπως τα φορτία χιονιού, ο άνεμος τα ωφέλιμα φορτία κ.λπ..

Γ) A οι τυχηματικές δράσεις, όπως πρόσκρουση οχήματος, ξέσπασμα πυρκαγιάς κ.λπ..

Δ) E οι σεισμικές δράσεις.

Η τελευταία δράση αυτή του σεισμού υπόκειται σε ξεχωριστή ανάλυση από τις υπόλοιπες.

3.2 Οριακές καταστάσεις.

Ένας φορέας βρίσκεται σε οριακή κατάσταση όταν ένα κομμάτι του ή ολικά ο φορέας αυτός δεν ικανοποιεί πλέον τα κριτήρια σχεδιασμού του. Οι δύο κατηγορίες που υπάρχουν όπως αναφέραμε και παραπάνω είναι οι οριακές καταστάσεις αστοχίας και οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας. Οι πρώτες έχουν σχέση με την ολική ή εν μέρη κατάρρευση μιας κατασκευής και αφορά και την ίδια τη κατασκευή αλλά και τα φυσικά πρόσωπα που βρίσκονται σε αυτή, ενώ η δεύτερη έχει σχέση με το μη ικανοποιητικό τρόπο συμπεριφοράς της κατασκευής παρόλη τη μη κατάρρευσή της και αυτό έχει ως αποτέλεσμα αστοχίες στη κατασκευή (π.χ. ρηγματώσεις, βλάβες κ.λπ..) που αφορούν ξανά τα φυσικά πρόσωπα που βρίσκονται στη κατασκευή αυτή καθώς αναπτύσσεται το αίσθημα της ανασφάλειας.

Οι καταστάσεις αυτές περιέχουν και επιπλέον συντελεστές ασφαλείας οι οποίοι είναι συνήθως μεγαλύτεροι ή ίσοι της μονάδας και τα φορτία που προκύπτουν από αυτούς λέγονται δράσεις σχεδιασμού ή φορτία σχεδιασμού και τα χρησιμοποιούμε σαν συνδυασμούς για το σχεδιασμό του φορέα κατασκευής. Ενδεικτικά φαίνονται στο παρακάτω πίνακα μερικοί συντελεστές ασφαλείας.

	ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ		ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ	
	Δυσμενής επίδραση	Ευμενής επίδραση	Δυσμενής επίδραση	Ευμενής επίδραση
Y_G	1.35	1.00	1.00	1.00
Y_Q	1.50	0	1.00	0
Y_A, Y_E	1.00	0	-	-

Σχήμα 3-1: Πίνακας επιμέρους συντελεστών ασφαλείας για τις δράσεις

3.3 Συνδυασμοί δράσεων.

Οι τιμές που λαμβάνουν οι δράσεις οι οποίες ασκούνται στο φορέα προκύπτουν από το είδος του, τη τοποθεσία του αλλά και τη μορφή του. Για να έχουμε το συνδυασμό που επιθυμούμε για κάθε μία από τις δύο οριακές καταστάσεις, οι δράσεις στις οποίες αναφερθήκαμε προηγουμένως πολλαπλασιάζονται με τους απαραίτητους συντελεστές και με το κατάλληλο συνδυασμό που γίνεται μεταξύ τους τοποθετούνται στο φορέα.

ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Για τον έλεγχο επάρκειας που κάνουμε ώστε να ελέγξουμε την αντοχή μιας κατασκευής σε οριακή κατάσταση αστοχίας, χρησιμοποιούμε το Μέρος 1 του Ευρωκώδικα 1. Οπότε παρακάτω έχουμε τους συνδυασμούς δράσεων όπως παρουσιάζονται στο πρόγραμμα με το οποίο ασχολήθηκα σε όλη τη διάρκεια της πτυχιακής μου εργασίας, το SAP2000.

G: Άθροισμα μόνιμων φορτίων.

Q: Άθροισμα κινητών φορτίων.

E_x : Σεισμός κατά τη διεύθυνση +XX

E_y : Σεισμός κατά τη διεύθυνση +YY

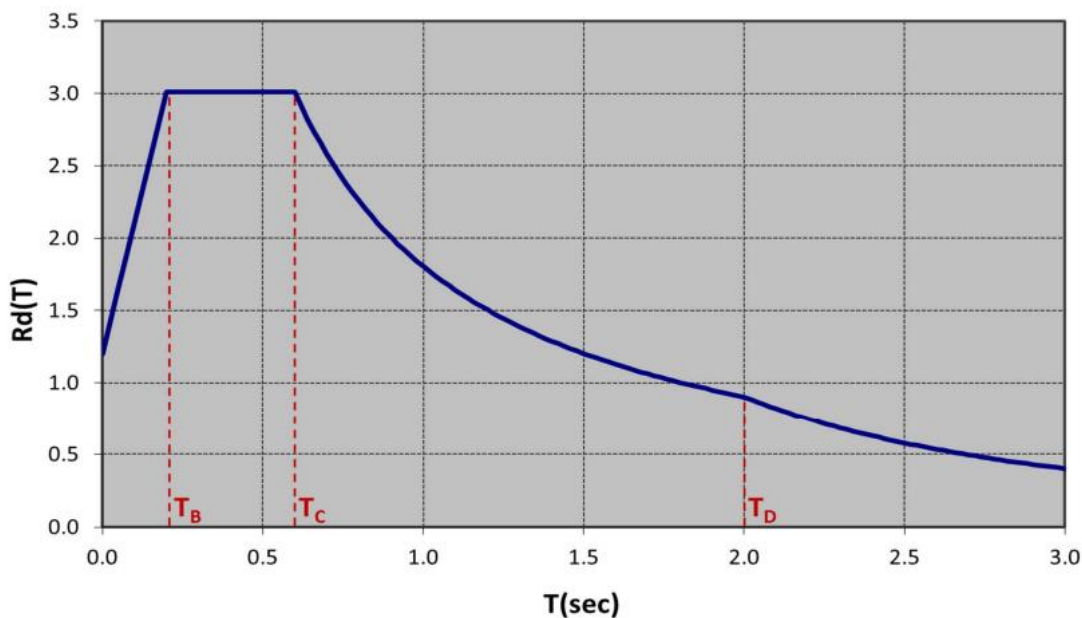
ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ

$$1^{\circ\circ} : 1.35G+1.5Q$$

$$2^{\circ\circ} : G+0.3Q\pm E_x\pm 0.3E_y$$

$$3^{\circ\circ} : G+0.3Q\pm 0.3E_x\pm E_y$$

Για τη φόρτιση του σεισμού θα γίνει ιδιομορφική ανάλυση του φορέα. Αυτό θα συμβεί με τη βοήθεια του φάσματος σχεδιασμού. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το διάγραμμα του σεισμικού φάσματος σχεδιασμού.



Σχήμα 3-2: Διάγραμμα σεισμικού φάσματος σχεδιασμού. (Wikipedia)

Όσο αναφορά την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και με βάση το πρώτο μέρος του Ευρωκώδικα 1 οι σεισμικές δράσεις δε συμπεριλαμβάνονται σε αυτή, οπότε ο συνδυασμός είναι : $G+Q$.

4. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ

4.1 Γενικά.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) στα τέλη του 1980 ανέπτυξε δέκα κατηγορίες Ευρωπαϊκών Προτύπων (EN) ονομάζοντάς τους Ευρωκώδικες οι οποίοι αφορούν τον σχεδιασμό των κατασκευών. Οι Ευρωκώδικες έχουν σαν σκοπό την κοινή μέθοδο εφαρμογής του υπολογισμού της αντοχής, που έχουν μηχανικά οι κατασκευές διαφόρων δομικών έργων αλλά και έργων υποδομής σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.). Αυτοί έχουν ως σκοπό ένα πανομοιότυπο πλαίσιο όπου εντός του Ευρωπαϊκού χώρου θα εφαρμόζεται από όλους τους μηχανικούς για τον σχεδιασμό διαφόρων έργων. Η οδηγία που καλύπτει τους Ευρωκώδικες είναι η 89/106 ΕΟΚ και ο συντονισμός και η καθοδήγηση γίνεται από την Τεχνική Επιτροπή CEN/TC250. Η μετάφραση στην Ελληνική γλώσσα έγινε από την Τεχνική Επιτροπή του ΕΛΟΤ ΤΕ 67 «Ευρωκώδικες».

Οι Ευρωκώδικες χωρίζονται σε 10 κύρια Ευρωπαϊκά Πρότυπα τα οποία περιλαμβάνονται σε οποιονδήποτε τρόπο δόμησης (γεωτεχνικά έργα, κατασκευές από χάλυβα, σκυρόδεμα, ξύλο, τοιχοποιία κ.λ.π.)

Οι 10 Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί που αφορούν τα δομικά στοιχεία ενός έργου είναι οι εξής:

- EN 1990: Ευρωκώδικας 0 – Βάσεις σχεδιασμού φερουσών κατασκευών.
- EN 1991: Ευρωκώδικας 1 – Δράσεις στις Φέρουσες Κατασκευές.
- EN 1992: Ευρωκώδικας 2 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από σκυρόδεμα.
- EN 1993: Ευρωκώδικας 3 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από χάλυβα.
- EN 1994: Ευρωκώδικας 4 – Σχεδιασμός σύμμικτων φερουσών κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα.
- EN 1995: Ευρωκώδικας 5 – Σχεδιασμός ξύλινων φερουσών κατασκευών.
- EN 1996: Ευρωκώδικας 6 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από τοιχοποιία.
- EN 1997: Ευρωκώδικας 7 – Γεωτεχνικός σχεδιασμός.
- EN 1998: Ευρωκώδικας 8 – Αντισεισμικός σχεδιασμός φερουσών κατασκευών.
- EN 1999: Ευρωκώδικας 9 – Σχεδιασμός φερουσών κατασκευών από αλουμίνιο.

4.2 Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα.

Ο Ευρωκώδικας 3 με την ονομασία EN 1993, είναι μέλος των Ευρωπαϊκών Προτύπων γνωστοί ως Ευρωκώδικες όπως αναφέραμε και παραπάνω. Αυτός αφορά τα έργα και τις κατασκευές του πολιτικού μηχανικού με υλικό τον χάλυβα. Περιέχει την ασφάλεια και τη καλή λειτουργία των κατασκευών, την αντοχή τους καθώς και τον σχεδιασμό τους. Πιο συγκεκριμένα απασχολεί θέματα όπως η αντοχή, η λειτουργία, η πυρασφάλεια και η ανθεκτικότητα των κατασκευών οι οποίες έχουν ως βασικό υλικό το χάλυβα.

4.2.1 Μέρη Ευρωκώδικα 3.

Ο Ευρωκώδικας 3 απαρτίζεται από μια σειρά κανόνων οι οποίοι περιγράφονται παρακάτω:

1. Κανόνες για κτίρια.

Περιέχει τις βασικές αρχές σχεδιασμού, τα υλικά, την ανθεκτικότητα τους, γίνεται στατική ανάλυση και εξετάζονται οι οριακές καταστάσεις που αφορούν την λειτουργικότητα μιας κατασκευής καθώς και οι αστοχίες που μπορεί να προκύψουν.

2. Σχεδιασμός φορέων σε καταστάσεις πυρκαγιάς.

Σε αυτή την ενότητα ο EN 1993-1-2 ασχολείται και περιγράφει τις αρχές και τους κανόνες που πρέπει να πληρούνται στο σχεδιασμό μιας κατασκευής όταν αυτή εκτεθεί σε μια πυρκαγιά.

3. Συμπληρωματικοί κανόνες για μέλη και φύλλα ψυχρής έλασης.

Ο EN 1993 1-3 μας δίνει τις βασικές αρχές που πρέπει να ακολουθήσει κάποιος κατασκευαστικά και σχεδιαστικά όπου τα πάχη του χάλυβα ως υλικό να είναι μικρότερα των τριών χιλιοστών.

4. Κανόνες για ανοξείδωτους χάλυβες.

Περιγράφει τις διατάξεις που αφορούν σχεδιασμούς και κατασκευές με βασικό υλικό τον ανοξείδωτο χάλυβα.

5. Δομικά στοιχεία από επίπεδα ελάσματα.

Κανόνες σχεδιασμού από επίπεδα ελάσματα.

6. Αντοχή και ευστάθεια κελυφωτών κατασκευών

Εξασφαλίζει την αντοχή και την ευστάθεια στις κελυφωτές κατασκευές από χάλυβα.

7. Κατασκευές από επίπεδα ελάσματα υπό εγκάρσια φόρτιση.

Παρουσίαση κανόνων σχεδιασμού από επίπεδα ελάσματα υπό εγκάρσια φόρτιση.

8. Σχεδιασμός κόμβων.

Στατική φόρτιση, με χρήση των υλικών χάλυβα S235, S275, S355 και S460.





9. Κόπωση

4.2.2 Κατάταξη διατομών κατά των Ευρωκώδικα 3.

- Ο ρόλος της κατάταξης των διατομών είναι να περιγράψει τον βαθμό κατά τον οποίο η αντοχή και η ικανότητα στροφής των διατομών περιορίζεται από την αντοχή τους σε τοπικό λυγισμό.
- Η κατάταξη μιας διατομής εξαρτάται από τη σχέση πλάτους προς πάχος των τμημάτων της που υπόκεινται σε θλίψη, δηλαδή από την τοπική τους λυγηρότητα.
- 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.

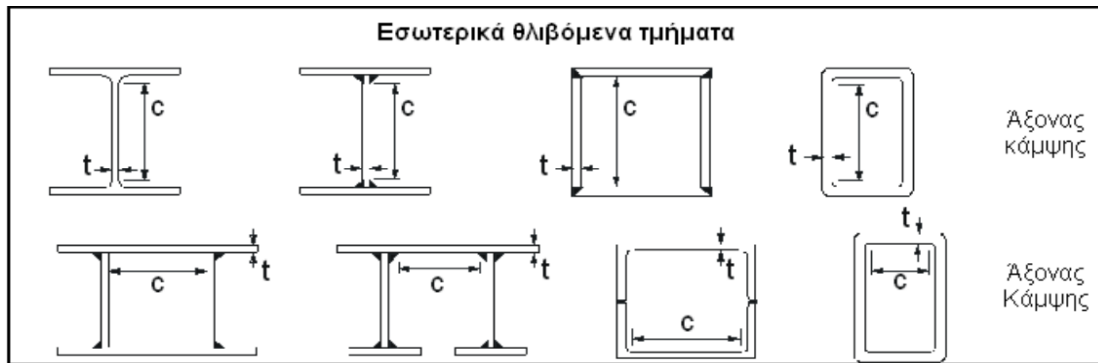
4.2.3 Μορφές διατομών.

Πιο κάτω παρουσιάζονται σχηματικά οι μορφές των διατομών που υπάρχουν στον Ευρωκώδικα 3 καθώς επίσης και μια μικρή περιγραφή για την κάθε μορφή.

Κατηγορία διατομής	Μορφή
1	
2	
3	
4	

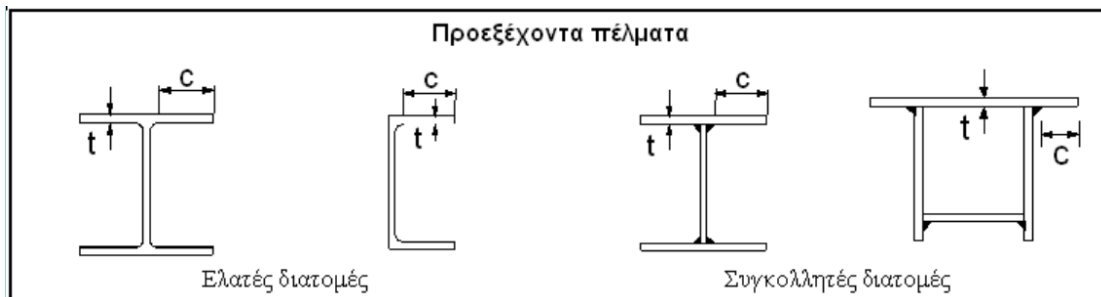
Εικόνα 4-1: Μορφή διατομών.

Οι διατομές μορφής νούμερο 1 μπορούν να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση με την απαιτούμενη από την πλαστική ανάλυση δυνατότητα στροφής χωρίς μείωση της αντοχής τους. Οι διατομές μορφής νούμερο 2 μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική ροπή αντοχής τους, αλλά έχουν περιορισμένη δυνατότητα στροφής λόγω τοπικού λυγισμού. Οι διατομές μορφής 3 έχουν το χαρακτηριστικό ότι 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 και τέλος οι διατομές μορφής νούμερο 4 μπορεί να εμφανίσουν τοπικό λυγισμό πριν την ανάπτυξη της τάσης διαρροής.



Σχήμα 4-1: Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα.

(πηγή: <https://www.runet.gr/documents/SteelSectionsEC3GRE.pdf>)



Σχήμα 4-2: Προεξέχοντα πέλματα.

(πηγή: <https://www.runet.gr/documents/SteelSectionsEC3GRE.pdf>)

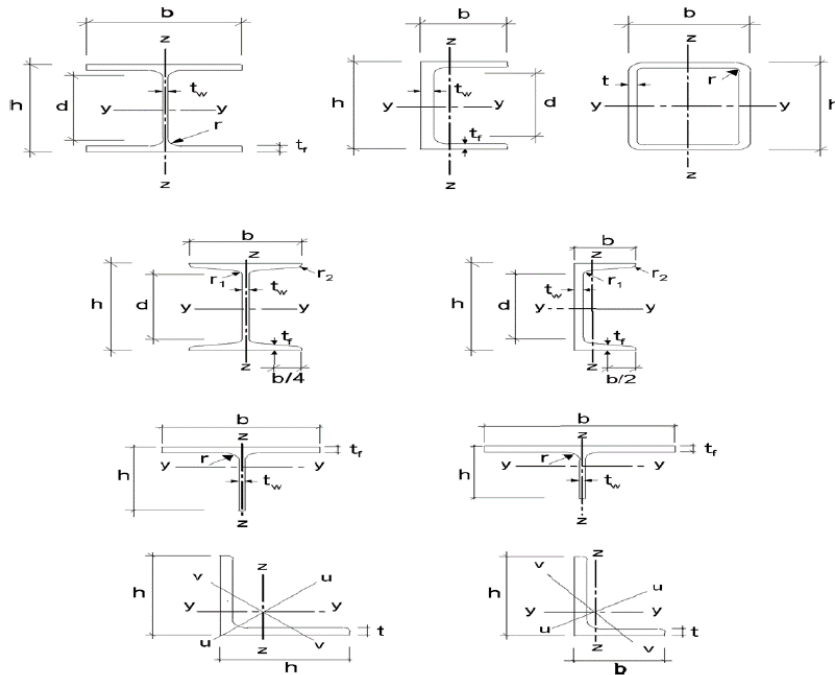
4.2.4 Συμβάσεις για άξονες μελών.

Η σύμβαση για άξονες μελών είναι: x-x - κατά μήκος του μέλους, y-y - άξονας της διατομής

και z-z - άξονας της διατομής.

Για χαλύβδινα μέλη, οι συμβάσεις που χρησιμοποιούνται για άξονες διατομής είναι:

- γενικά: y-y - άξονας διατομής παράλληλος με τα πέλματα
- για διατομές γωνιακών: y-y - άξονας παράλληλος στο μικρότερο σκέλος και z-z - άξονας κάθετος στο μικρότερο σκέλος
- όπου είναι απαραίτητο: u-u - κύριος άξονας μέγιστης αδρανείας και v-v - κύριος άξονας ελάχιστης αδρανείας



Σχήμα 4-2: Άξονες και διαστάσεις διατομών.

4.2.5 Μέθοδοι στατικής ανάλυσης.

Ανάλυση πρώτης τάξης μπορεί να χρησιμοποιείται, εάν ικανοποιούνται τα παρακάτω κριτήρια:

$\alpha_{cr} = F_{cr}/F_{Ed} \geq 10$ για ελαστική ανάλυση

15 για πλαστική ανάλυση

α_{cr} είναι ο παράγοντας με τον οποίο θα πρέπει να αυξηθεί η φόρτιση σχεδιασμού ώστε να προκληθεί καθολική ελαστική αστάθεια

F_{Ed} είναι το φορτίο σχεδιασμού του φορέα

F_{cr} είναι το ελαστικό οριακό φορτίο λυγισμού για καθολική αστάθεια που βασίζεται στις αρχικές ελαστικές δυσκαμψίες

Μονώροφα πλαίσια με μικρές κλίσεις στην οροφή και επίπεδα πλαίσια με χαρακτηριστικά δοκού-υποστυλώματος σε κτίρια, είναι εφικτό να ελέγχονται για αστοχία σε πλευρική μετατόπιση με ανάλυση πρώτης τάξης εάν ικανοποιείται το προηγούμενο κριτήριο για κάθε όροφο.

Σε αυτές τις κατασκευές το a_{cr} μπορεί να υπολογίζεται με τη χρήση του παρακάτω προσεγγιστικού τύπου, υπό την προϋπόθεση ότι η αξονική θλίψη στις δοκούς ή τα ζυγώματα δεν είναι σημαντική:

$$a_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \cdot \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right)$$

Σχέση 4-1: Σχέση a_{cr} .

H_{Ed} η οριζόντια αντίδραση στη βάση του ορόφου.

V_{Ed} το ολικό κατακόρυφο φορτίο στη βάση του ορόφου.

$\delta_{H,Ed}$ η σχετική οριζόντια μετατόπιση του ορόφου H το ύψος του ορόφου.

H αξονική θλίψη στις δοκούς ή τα ζυγώματα μπορεί να θεωρείται σημαντική εάν

$$\bar{\lambda} \geq 0,3 \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}}$$

Σχέση 4-2: Σχέση λ .

N_{Ed} η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης,

λ η εντός επιπέδου ανηγμένη λυγηρότητα που υπολογίζεται για τη δοκό ή το ζύγωμα με θεώρηση αρθρώσεων στα άκρα τους.

Η ελαστική στατική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις ενώ η πλαστική στατική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο όπου η κατασκευή έχει ικανοποιητική δυνατότητα στροφής στις πραγματικές θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων.

4.2.6 Κατηγορίες διατομών.

- 1) Τέσσερις κατηγορίες διατομών, όπως αναφέρθηκαν και στη παράγραφο 4.2.3
- 2) Σε διατομές κατηγορίας 4, προκειμένου να λάβουμε υπόψη τις μειώσεις στην αντοχή λόγω των επιδράσεων του τοπικού λυγισμού, χρησιμοποιούνται τα ενεργά πλάτη, βλέπε EN 1993-1-5, 5.2.2.

- 3) Η κατάταξη μιας διατομής εξαρτάται από τη σχέση πλάτους προς πάχος των τμημάτων που δέχονται τη θλίψη.
- 4) Τα θλιόμενα τμήματα περιλαμβάνουν το κάθε τμήμα μιας διατομής το οποίο θλίβεται ολοκληρωτικά ή εν μέρει για τον υπό θεώρηση συνδυασμό φορτίων.
- 5) Τα διάφορα θλιβόμενα τμήματα σε μια διατομή (όπως ο κορμός ή το πέλμα) μπορούν να ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες.
- 6) Μια διατομή κατατάσσεται σύμφωνα με την μεγαλύτερη κατηγορία (λιγότερο ευμενή) των θλιβόμενων τμημάτων της.
- 7) Εναλλακτικά, μπορείς να κατατάξεις μια διατομή λαμβάνοντας υπόψη τόσο την κατηγορία των πελμάτων όσο και την κατηγορία του κορμού.
- 8) Ένα τμήμα της διατομής που δεν πληροί τα όρια της κατηγορίας 3 πρέπει να κατατάσσεται στην κατηγορία 4.
- 9) Εκτός από την περίπτωση (10) οι διατομές κατηγορίας 4 μπορούν να αντιμετωπίζονται ως διατομές κατηγορίας 3 εάν ο λόγος πλάτους προς πάχος είναι μικρότερος από το όριο για διατομές κατηγορίας 3.
- 10) Οπότε, όταν ελέγχεται η αντοχή σε λυγισμό ενός μέλους τα όρια για κατηγορία 3 θα πρέπει πάντα να εξάγονται από τον Πίνακα.
- 11) Διατομές με κορμό κατηγορίας 3 και πέλματα κατηγορίας 1 ή 2 έχουν τη δυνατότητα να ταξινομούνται ως διατομές κατηγορίας 2 με ενεργό κορμό.
- 12) Όπου ο κορμός θεωρείται ότι δέχεται μόνο διατμητικές δυνάμεις και υποτίθεται ότι δεν βοηθάει στην αντοχή που έχει η διατομή σε κάμψη και ορθή δύναμη, τότε η διατομή μπορεί να σχεδιάζεται ως κατηγορίας 2,3 ή 4 ανάλογα με τη κατηγορία των πελμάτων μόνο.

*) $\psi \leq -1$ εφαρμόζεται όπου η θλιπτική τάση $\sigma < f_y$ είτε η εφελκυστική παραμόρφωση $\epsilon_y > f_y/E$.

Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα						
						Άξονας κάμψης
						Άξονας Κάμψης
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	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	όταν $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	όταν $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	όταν $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ όταν $\psi \leq -1^{*}$: $c/t \leq 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{-\psi}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

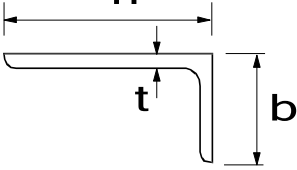
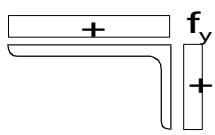
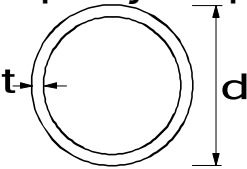
Πίνακας 4-1: Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα τμήματα

(πηγή: <https://www.runet.gr/documents/SteelSectionsEC3GRE.pdf>)

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	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Για k_σ βλέπε EN 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 4-2: Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα τμήματα.

(πηγή: <https://www.runet.gr/documents/SteelSectionsEC3GRE.pdf>)

<p>Αναφορά επίσης στα “Προεξέχοντα πέλματα” (βλέπε φύλο 2 από 3)</p>		<p>Γωνιακά</p> 		<p>Δεν ισχύει για γωνιακά σε συνεχή επαφή με άλλα στοιχεία</p>		
Κατηγορία	Διατομή σε θλίψη					
Κατανομή τάσεων στη διατομή (θλίψη θετική)						
3	$h/t \leq 15\varepsilon : \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$					
<p>Σωληνωτές διατομές</p> 						
Κατηγορία	Διατομή σε κάμψη και/ή θλίψη					
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$ 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 4-3: Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα τμήματα.
(πηγή: <https://www.runet.gr/documents/SteelSectionsEC3GRE.pdf>)

4.2.7 Οριακές καταστάσεις αστοχίας.

Οι επιμέρους συντελεστές g_M εφαρμόζονται στις διάφορες χαρακτηριστικές

τιμές αντοχής σε αυτό το Κεφάλαιο ως εξής

- αντοχή διατομών, όποια και αν είναι η κατηγορία: gM0
- αντοχή των μελών σε αστάθεια που προσδιορίζεται από ελέγχους μελών: gM1
- αντοχή διατομών σε εφελκυσμό μέχρι τη θραύση: gM2
- αντοχή των κόμβων:

4.3 Αντοχή διατομών.

- 1) Η τιμή σχεδιασμού για τα αποτελέσματα μιας δράσης σε κάθε διατομή δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντίστοιχη αντοχή σχεδιασμού, και εάν πολλά αποτελέσματα δράσεων ασκούνται την ίδια στιγμή, το συνδυασμένο αποτέλεσμα δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή για το συγκεκριμένο συνδυασμό.
- 2) Επιδράσεις λόγω διατμητικής έλλειψης και επιδράσεις λόγω τοπικού λυγισμού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με ένα ενεργό πλάτος σύμφωνα με το EN 1993-1-5. Οι επιδράσεις διατμητικού λυγισμού πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη σύμφωνα με το EN 1993-1-5.
- 3) Οι τιμές σχεδιασμού για την αντοχή πρέπει να εξαρτώνται από την κατάταξη που έχουν οι διατομές.
- 4) Ελαστικός έλεγχος σύμφωνα με την ελαστική αντοχή μπορεί να πραγματοποιείται για όλες τις κατηγορίες διατομών υπό την προϋπόθεση ότι για τον έλεγχο των διατομών κατηγορίας 4 χρησιμοποιούνται τα ενεργά στοιχεία των διατομών.
- 5) Για τον ελαστικό έλεγχο μπορεί να χρησιμοποιείται το κριτήριο διαρροής που ακολουθεί, για ένα κρίσιμο σημείο της διατομής, εκτός εάν εφαρμόζεται άλλος τύπος αλληλεπίδρασης

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1$$

Σχέση 4-3: Ελαστικός έλεγχος.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Ο έλεγχος σύμφωνα με την (5) μπορεί να είναι συντηρητικός καθώς απορρίπτει μερική πλαστική κατανομή τάσεων, η οποία είναι επιτρεπτή σε ελαστικό σχεδιασμό. Έτσι πρέπει να εκτελείται μόνο όπου η αλληλεπίδραση με βάση τις αντοχές NRd , MRd , VRd δεν μπορεί να εκτελεσθεί.

- 6) Η πλαστική αντοχή των διατομών θα πρέπει να υπολογίζεται βρίσκοντας μια κατανομή τάσεων που να είναι σε αρμονία με τα εντατικά μεγέθη χωρίς να υπάρχει υπέρβαση της τάσης διαρροής. Αυτή η κατανομή τάσεων θα πρέπει να ταιριάζει με τις αντίστοιχες πλαστικές παραμορφώσεις.
- 7) Ως μία συντηρητική προσέγγιση για όλες τις κατηγορίες διατομών, μπορεί να χρησιμοποιείται μία γραμμική άθροιση των βαθμών αξιοποίησης για κάθε συνισταμένη

τάση. Για διατομές κατηγορίας 1, 2 ή 3 που υπόκεινται στο συνδυασμό των N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ and $M_{z,Ed}$. αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί χρησιμοποιώντας το παρακάτω κριτήριο:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

Σχέση 4-4: Γραμμική άθροιση.

όπου N_{Rd} , $M_{y,Rd}$ και $M_{z,Rd}$ είναι οι τιμές σχεδιασμού της αντοχής που εξαρτώνται από την κατάταξη των διατομών και περιλαμβάνουν κάθε μείωση που μπορεί να προκαλείται από την επιρροή της διάτμησης.

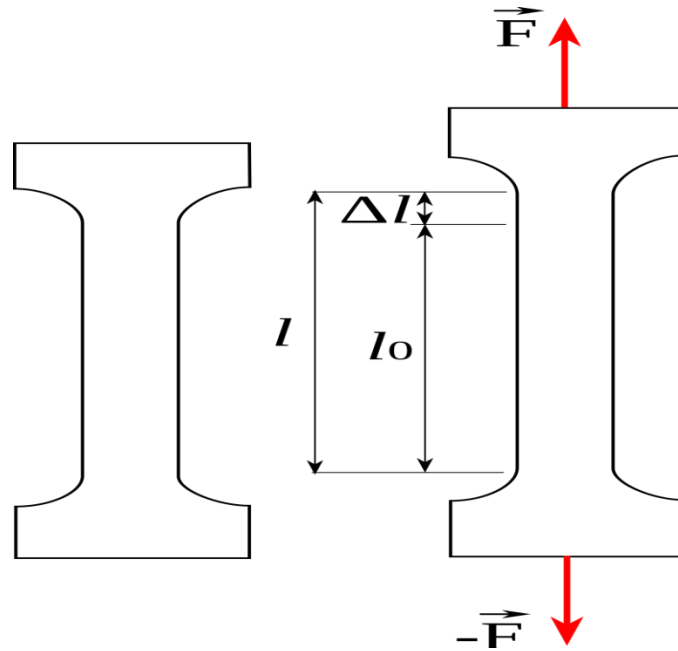
- 8) Όπου όλα τα θλιβόμενα τμήματα μιας διατομής είναι κατηγορίας 2, η διατομή μπορεί να λαμβάνεται ως ικανή να αναπτύξει την πλήρη πλαστική αντοχή της σε κάμψη.
- 9) Όπου όλα τα θλιβόμενα τμήματα μιας διατομής είναι κατηγορίας 3, η αντοχή της πρέπει να βασίζεται σε μια ελαστική κατανομή των παραμορφώσεων στη διατομή. Οι θλιπτικές τάσεις πρέπει να περιορίζονται στην τάση διαρροής στις ακραίες ίνες.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Οι ακραίες ίνες μπορούν να θεωρούνται στο μέσο επίπεδο των πελμάτων για ελέγχους στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Για κόπωση βλέπε EN 1993-1-9.

- 10) Όπου συμβαίνει διαρροή πρώτα στην εφελκόμενη πλευρά της διατομής, τα πλαστικά αποθέματα της εφελκόμενης ζώνης μπορούν να χρησιμοποιούνται στον καθορισμό αντοχής μιας διατομής κατηγορίας 3, λαμβάνοντας υπόψη μερική πλαστικοποίηση.

4.4 Εφελκυσμός.

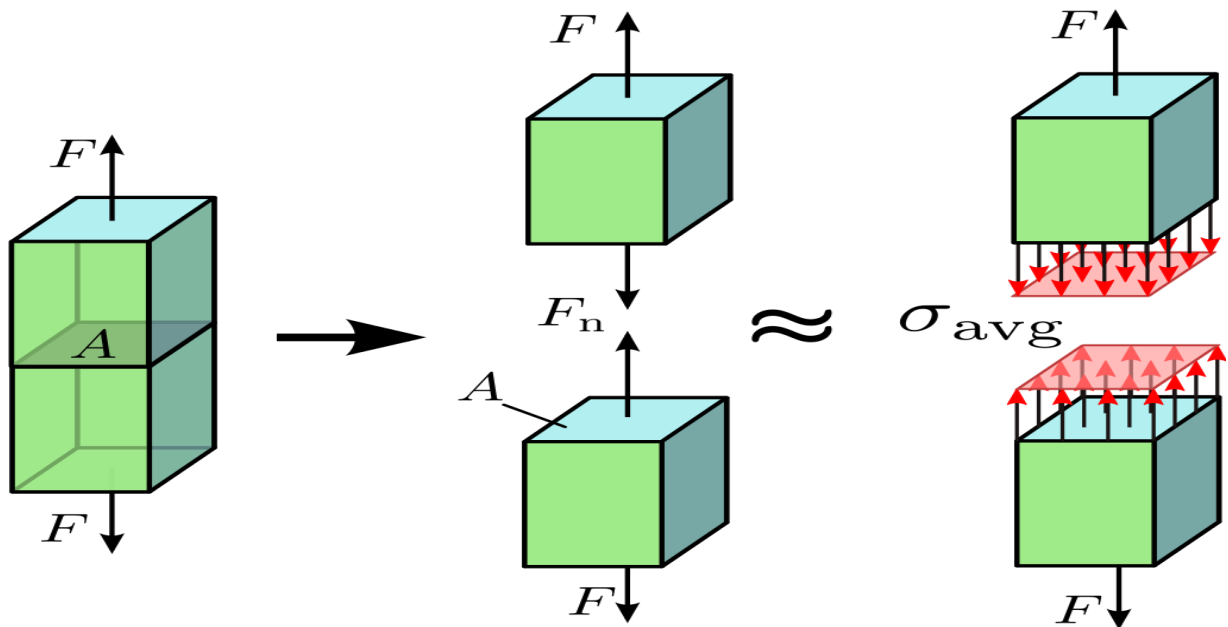
Εφελκυσμός ονομάζεται η συχνή κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το επιμηκύνουν. Ο εφελκυσμός είναι μία από τις δύο μονοαξονικές εντατικές καταστάσεις ενός στερεού σώματος το οποίο έχει τη τάση να παραμορφώνεται. Η άλλη μονοαξονική εντατική κατάσταση είναι η θλίψη.



Εικόνα 4-2: Αναπαράσταση εφελκυσμού.

Η ισορροπία των δυνάμεων είναι μηδέν:

Θεωρώντας νοητή τομή σε μία θέση από την ισορροπία δυνάμεων μπορούμε να υπολογίσουμε τις εφελκυστικές (ορθές) τάσεις στη διατομή.



Εικόνα 4-3: Τομή σε τυχαία θέση.

4.4.1 Δοκιμή εφελκυσμού.

Η δοκιμή του εφελκυσμού είναι η συχνότερη μηχανική δοκιμή. Προτείνεται για την υποβολή δοκιμίου, του προς χαρακτηρισμό υλικού, σε εφελκυστική καταπόνηση κατά τη διάρκεια της οποίας καταγράφεται η προκαλούμενη επιμήκυνση Δl .

4.4.2 Κεντρικός εφελκυσμός.

Όταν η εξωτερική δύναμη ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής ο εφελκυσμός ονομάζεται κεντρικός. Με την προϋπόθεση ότι το στερεό σώμα είναι ευθύγραμμο, η διατομή παραμένει σταθερή και η εξωτερική δύναμη ασκείται ισόποσα ισχύει ότι οι τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα στη διατομή.

Ακόμα και όταν η εξωτερική δύναμη δεν ασκείται σε όλα τα σημεία των άκρων του στοιχείου, μετά από κάποιο μήκος η κατανομή γίνεται ομοιόμορφη λόγω της αρχής του Saint Venant.

Για να ισχύει ο νόμος του Χουκ η τάση δεν πρέπει να ξεπερνά μια χαρακτηριστική τιμή του υλικού. Στα ψαθυρά υλικά η υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής προκαλεί θραύση, ενώ στα όλκιμα υλικά αν οι τάσεις υπερβούν το όριο διαρροής αρχικά θα έχουμε πλαστική παραμόρφωση και στο τέλος θραύση του στοιχείου.

4.4.3 Έκκεντρος εφελκυσμός.

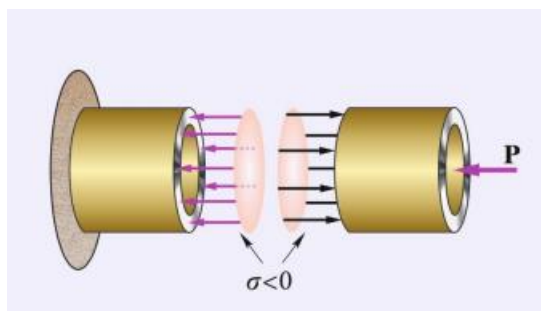
Όταν η εξωτερική δύναμη δεν ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής ο εφελκυσμός ονομάζεται έκκεντρος.

Έκκεντρότητα e ονομάζεται η απόσταση της συνισταμένης της δύναμης από το κέντρο βάρους της διατομής. Ένας εύκολος τρόπος να υπολογιστούν οι ορθές τάσεις της διατομής είναι να μεταφερθεί η εξωτερική δύναμη στο κέντρο βάρους με παράλληλη εφαρμογή καμπτικής ροπής $M = Fe$. Η λύση προκύπτει από την επαλληλία του κεντρικού εφελκυσμού λόγω της F και της κάμψης λόγω της M .

Προϋπόθεση για να ισχύει η επαλληλία είναι οι ολικές παραμορφώσεις να παραμείνουν εντός της ελαστικής περιοχής.

4.5 Θλίψη.

Θλίψη ονομάζεται η συνεχής κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις που έχουν αντίθετη φορά που τείνουν να το συμπιέσουν. Η θλίψη είναι μία από τις δύο μονοαξονικές εντατικές καταστάσεις ενός παραμορφώσιμου στερεού σώματος. Η άλλη μονοαξονική εντατική κατάσταση είναι ο εφελκυσμός.



Εικόνα 4-4: Θλιπτική τάση σε σωλήνα.

4.5.1 Κεντρική θλίψη.

Όταν η εξωτερική δύναμη ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής η θλίψη ονομάζεται κεντρική. Όταν το στοιχείο είναι ευθύγραμμο, η διατομή παραμένει σταθερή και η εξωτερική δύναμη ασκείται ομοιόμορφα ισχύει ότι οι τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα στη διατομή.

Ακόμα και στην περίπτωση που η εξωτερική δύναμη δεν ασκείται ομοιόμορφα στα άκρα του στοιχείου, μετά από κάποιο μήκος η κατανομή γίνεται ομοιόμορφη λόγω της αρχής του Saint Venant.

Για να ισχύει ο νόμος του Χουκ η τάση δεν πρέπει να ξεπερνά μια τιμή χαρακτηριστική του υλικού. Στα ψαθυρά υλικά η υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής προκαλεί θραύση, ενώ στα όλκιμα υλικά αν οι τάσεις ξεπεράσουν το όριο διαρροής στην αρχή θα έχουμε πλαστική παραμόρφωση και τελικά θα αστοχήσει το στοιχείο. Αν ένα στοιχείο έχει αρκετά μικρό πλάτος σε σχέση με το μήκος του δεν θα μπορέσει να φτάσει στην θλιπτική του αντοχή, καθώς θα προηγηθεί το φαινόμενο του λυγισμού και θα χάσει την ευστάθειά του με μικρότερη θλιπτική δύναμη.

4.5.2 Έκκεντρη θλίψη.

Όταν η εξωτερική δύναμη δεν ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής η θλίψη ονομάζεται έκκεντρη. Έκκεντρότητα e ονομάζεται η απόσταση της συνισταμένης της δύναμης από το κέντρο βάρους της διατομής. Ένας απλός τρόπος να υπολογιστούν οι ορθές τάσεις της διατομής είναι να μεταφερθεί η εξωτερική δύναμη στο κέντρο βάρους με ταυτόχρονη εφαρμογή καμπτικής ροπής $M=Fe$. Η λύση προκύπτει από την επαλληλία της κεντρικής θλίψης λόγω της F και της κάμψης λόγω της M . Προϋπόθεση για να ισχύει η επαλληλία είναι όταν όλες οι παραμορφώσεις παραμείνουν εντός της ελαστικής περιοχής.

4.6 Ευρωκώδικας 8.

4.6.1 Μέρη του Ευρωκώδικα 8.

- EN 1998-1: γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια.
- EN 1998-2: διατάξεις που αφορούν στις γέφυρες.
- EN 1998-3: διατάξεις για σεισμική αποτίμηση και μετέπειτα ενίσχυση υφισταμένων κτιρίων.
- EN 1998-4: διατάξεις που αφορούν σιλό, δεξαμενές και αγωγούς.
- EN 1998-5: διατάξεις που αφορούν θεμελιώσεις, τοίχους αντιστήριξης και γεωτεχνικά θέματα.
- EN 1998-6: περιέχει ειδικές διατάξεις που αφορούν πύργους, ιστούς και καπνοδόχους.

4.6.2 Απαιτήσεις συμπεριφοράς και κριτήρια συμμόρφωσης.

Οι θεμελιώδεις απαιτήσεις είναι οι εξής:

Απαίτηση της μη κατάρρευσης μιας κατασκευής είναι ο φορέας να αναλαμβάνει την σεισμική δράση σχεδιασμού που έχει πιθανότητα υπέρβασης (PR) 10% σε 50 χρόνια (TL) ειδάλτως που αντιστοιχεί στον σεισμό που έχει μέση περίοδο επαναφοράς T 475 χρόνια:

$$-TL / \ln(1- PR)=TR \Rightarrow -50/\ln(1-0.1) = 475$$

- χωρίς να έχει υποστεί τοπική ή γενική κατάρρευση
- διατηρώντας τη στατική ακεραιότητά του εξολοκλήρου και παραμονή της φέρουσας ικανότητας μετά τα σεισμικά γεγονότα.

Απαίτηση περιορισμού βλαβών που σημαίνει ότι ο φορέας αναλαμβάνει μία σεισμική δράση η οποία έχει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης, χωρίς όμως την εμφάνιση βλαβών και επακόλουθα περιορισμό στις χρήσεις.

$$-TL / \ln(1- PR) = TR \Rightarrow -10/\ln(1-0.1) = 95$$

Γενικά οι απαιτήσεις αυτές εξαρτώνται από τον συντελεστή σπουδαιότητας γ_I $0.8 < \gamma_I < 1.4$.

4.6.3 Περιορισμός των βλαβών και οριακές καταστάσεις λειτουργίας.

Ο φορέας πρέπει να ελέγχεται τακτικά ώστε να εξασφαλίζει την αντοχή και την ικανότητα απόδοσης ενέργειας όπως αναφέρονται στον EN 1998.

Η αντοχή και η ικανότητα απόδοσης ενέργειας που θα λάβει ο φορέας εξαρτώνται από τον

βαθμό της εκμετάλλευσης της μη γραμμικής απόκρισής του. Κυρίαρχο λόγο για το ισοζύγιο αυτό έχει ο συντελεστής q και οι τιμές που παραλαμβάνει καθώς και οι κατηγορίες πλαστιμότητας του EN 1998. Ο συντελεστής q δεν μπορεί να δεχθεί τιμή μεγαλύτερη από 1,5 που είναι μία ενδεικτική τιμή της υπεραντοχής μιας κατασκευής. Εξαιρέση αποτελούν τα χαλύβδινα και σύμμικτα κτίρια από σκυρόδεμα ή χάλυβα όπου η τιμή q μπορεί να λάβει τιμές μεταξύ 1,5 και 2 και οι κρίσιμες περιοχές στις οποίες ο συντελεστής μπορεί να λάβει ακόμα μεγαλύτερες τιμές.

Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται στον φορέα θα πρέπει να έχουν την ευστάθειά του υπό την σεισμική δράση έναντι ανατροπής και ολίσθησης σύμφωνα με τον EN 1998.

Θα πρέπει να γίνεται έλεγχος τόσο στο έδαφος όσο και στα μέρη της κατασκευής έτσι ώστε τα μεγέθη που εξάγονται από την απόκριση της ανωδομής να μην προκαλούν μόνιμες παραμορφώσεις.

Πολύ σημαντικό είναι να γίνονται έλεγχοι που να εξασφαλίζουν ότι σε περίπτωση σεισμού η συμπεριφορά των μη φέροντων στοιχείων δεν θα προκαλέσουν τον κίνδυνο μίας ανθρώπινης ζωής.

Για τον περιορισμό βλαβών υπάρχουν μέρη του EN 1998 που καθορίζουν τις τιμές ορίων παραμόρφωσης που πρέπει να λαμβάνουν χώρα για να ικανοποιείται ο βαθμός αξιοπιστίας έναντι των ανεπιθύμητων βλαβών. Επίσης θα πρέπει να διασφαλίζεται η ικανοποιητική αντοχή και δυσκαμψία έτσι ώστε να πληρείται η στιβαρότητα της κατασκευής σε περίπτωση σεισμού.

4.7 Μέτρα σχεδιασμού θεμελίωσης και ποιότητας.

Για τον σχεδιασμό της κατασκευής θα πρέπει όσον είναι δυνατόν οι φορείς να είναι μίας απλοϊκής και κανονικής μορφής σε κάτοψη και σε όψη. Έπειτα για να επιτευχθεί η πλάστιμη συμπεριφορά που προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση ενέργειας θα πρέπει να αποφευχθεί η ψαθυρή αστοχία.

Εφόσον η συμπεριφορά ενός φορέα σε περίπτωση μίας σεισμικής δόνησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την συμπεριφορά των κρίσιμων περιοχών και των μελών του η κατασκευή του φορέα θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η σύνδεση μεταξύ των φέροντων στοιχείων να προβλέπει τη μη γραμμική συμπεριφορά και να μεταφέρει τις αναγκαίες δυνάμεις που θα εξασφαλίζουν την απόδοση ενέργειας υπό συνθήκες ανακύκλισης. Οι αναλύσεις αυτές πραγματοποιούνται σε δομικά προσομοιώματα που αντανakλούν την πραγματική ικανότητα του φορέα και των φερόντων στοιχείων του υπό σεισμική δράση.

Όσον αφορά την θεμελίωση η δυσκαμψία θα πρέπει να είναι επαρκής για την μεταφορά των δράσεων από το έδαφος μέχρι το ύψος της κατασκευής και να παρουσιάζει όσο είναι δυνατό μεγαλύτερη ομοιομορφία. Μόνο στην περίπτωση κατασκευής γέφυρας χρησιμοποιείται ένας τύπος θεμελίωσης για κάθε φορέα.

Για το σχέδιο συστήματος ποιότητας τα απαραίτητα στοιχεία θα παρουσιάζονται σε

έγγραφα μελέτης που θα δείχνουν τις διαστάσεις, τις λεπτομέρειες και τα χαρακτηριστικά υλικών των φέροντων στοιχείων. Θα παρουσιάζονται επίσης οι απαραίτητες διατάξεις που θα πιστοποιούν τον έλεγχο ποιότητας, τα στοιχεία εκείνα ιδιαίτερης στατικής σπουδαιότητας και οι μέθοδοι ελέγχου που χρησιμοποιούνται. Τέλος σε περίπτωση που η κατασκευή λαμβάνει χώρα σε περιοχή υψηλής σεισμικής δραστηριότητας θα πρέπει να παρουσιάζονται σχέδια που θα ικανοποιούν τα κριτήρια χρήσης της σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες.

5. ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

5.1 Γενικά.

Τα κριτήρια βάσει των οποίων σχεδιάζονται τα κτίρια σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα είναι η επαρκής δυσκαμψία, η αντοχή και η πλαστιμότητα. Η δυσκαμψία χρειάζεται για να αποφευχθούν αστοχίες στην κατασκευή σε μικρού μεγέθους σεισμούς αλλά με συχνή συχνότητα. Η αντοχή είναι απαραίτητη για σπάνιους μεγάλους σεισμούς ώστε να παραλαμβάνεται με ασφάλεια η απότομη αναπτυσσόμενη ένταση και τέλος η πλαστιμότητα βοηθάει στην μεγαλύτερη απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας η οποία εισάγεται στα μέλη της κατασκευής.

5.2 Πλεονεκτήματα μεταλλικών κτιρίων.

Τα μεταλλικά κτίρια εμφανίζουν μερικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα κτίρια τα οποία είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά δομικά υλικά, αυτά είναι αυξημένη πλαστιμότητα λόγω της όλκιμης συμπεριφοράς του χάλυβα, λόγω της βιομηχανικής παραγωγής του χάλυβα υπάρχει αρκετά μεγάλη αντοχή, μικρότερο βάρος της κατασκευής με αποτέλεσμα τη μείωση των σεισμικών δυνάμεων στο φορέα της κατασκευής και στη θεμελίωση της. Το αποτέλεσμα που φέρουν τα παραπάνω πλεονεκτήματα είναι οι μικρές αστοχίες που προέκυψαν στα μεταλλικά κτίρια σε σχέση με άλλου είδους κατασκευές.

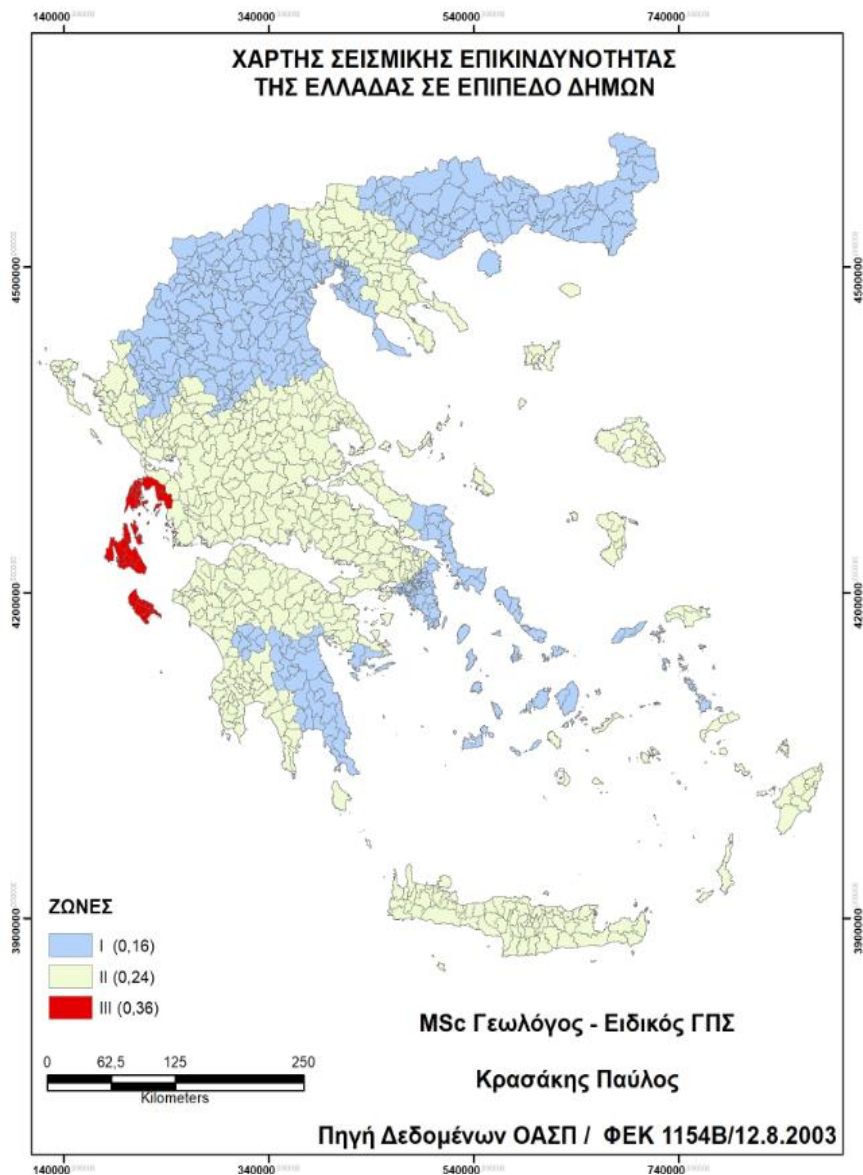
5.3 Αντοχή μεταλλικών κτιρίων.

Τα κτίρια κατασκευασμένα από μεταλλικά πλαίσια συμπεριφέρονται χωρίς καμία αμφιβολία πολύ καλύτερα κατά τη διάρκεια ενός σεισμού από οποιονδήποτε άλλο τύπο κτιρίου. Όπως αναφέραμε και πιο πάνω αυτό είναι αποτέλεσμα των ιδιοτήτων του χάλυβα, ο οποίος προσφέρει μεγάλη δομική αντοχή, ελασιμότητα και χαμηλό βάρος. Ελασιμότητα ή ελατότητα είναι η ικανότητα που έχει το μέταλλο να διαχειρίζεται την πίεση που του επιφέρει οποιοδήποτε φορτίο χωρίς να αστοχήσει. Αυτό κάνει τα μεταλλικά κτίρια να πλεονεκτούν σε καταστάσεις σεισμικής δραστηριότητας καθώς απορροφάται πολύ πιο δραστικά η σεισμική δόνηση και έτσι μειώνεται δραστικά ο κίνδυνος κατάρρευσης, η πρόκληση ζημιών και η πιθανότητα τραυματισμών των πολιτών.



Εικόνα 5-1: Σεισμός στο San Francisco το 1906. (Wikipedia)

Σε αυτή την εικόνα παρατηρούμε όλες τις τότε μεταλλικές κατασκευές να έχουν σωθεί μετά από την μεγάλη σεισμική δόνηση ενώ όλα τα κτίρια κατασκευασμένα από άλλα δομικά υλικά να έχουν καταρρεύσει. Αυτό το γεγονός, έδωσε σε όλη την ανθρωπότητα ένα ηχηρό μήνυμα για την αντοχή των μεταλλικών κατασκευών.



Εικόνα 5-2: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας. (Wikipedia)

6. ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PUSHOVER).

6.1 Περιγραφή της υπερωθητικής ανάλυσης.

Η υπερωθητική ανάλυση είναι μια πλαστική ανάλυση όπου τα φορτία τα οποία βρίσκονται πλευρικά μιας κατασκευής αυξάνονται σταδιακά, διατηρούν όμως τις μεταξύ τους τιμές σταθερές μέχρι η ανάλυση να φτάσει στο τέρμα της. Η πλευρική φόρτιση που δέχεται μια κατασκευή είναι συνήθως τριγωνικής μορφής ώστε με αυτή την κατανομή τους να υπάρχει προσομοίωση των αδρανειακών δυνάμεων κατά την απόκριση της κατασκευής στη πρώτη ιδιομορφή η οποία συνεισφέρει και περισσότερο στην δυναμική απόκριση της. Τα φορτία που επέρχονται κατακόρυφα της κατασκευής παραμένουν σταθερά. Ο τερματισμός της ανάλυσης, μας δίνει και τη μέγιστη μετακίνηση. Μέσα από αυτή την ανάλυση έχουμε πιο σύντομα αποτελέσματα του μηχανισμού κατάρρευσης. Αυτά τα αποτελέσματα είναι άμεσα συνδεδεμένα με την πλευρική κατανομή των φορτίων και για να πραγματοποιήσουμε την υπερωθητική ανάλυση θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής

6.2 Τύποι υπερωθητικής ανάλυσης.

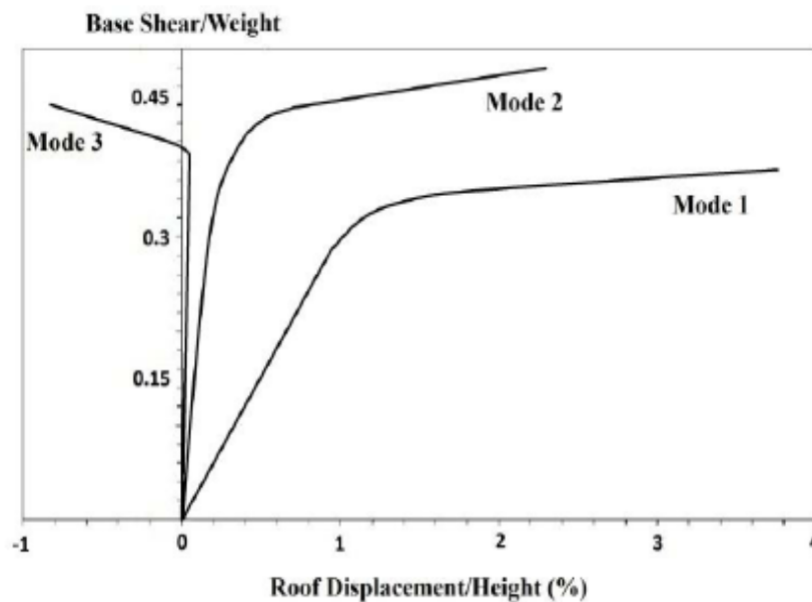
Υπάρχουν δύο τύποι υπερωθητικής ανάλυσης και διαχωρίζονται ανάλογα με το πως τερματίζει η ανάλυση. Η πρώτη ανάλυση έχει ως βάση της την δύναμη που επιβάλλεται στη κατασκευή και σαν κριτήριο για να τερματίσει, έχει την δύναμη που δέχεται πλευρικά την οποία και έχουμε προβλέψει πως η κατασκευή είναι σε θέση να την δεχθεί, μέχρι και να καταρρεύσει. Όμως μπορεί να προκύψει μία κατασκευή η οποία να δεχτεί κατάρρευση διότι, δεν γνωρίζουμε την μέγιστη δύναμη και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει αστοχία στην κατασκευή με μικρότερη δύναμη από αυτή που προβλέψαμε και με αυτό το αποτέλεσμα να συνεχίζει να εφαρμόζεται η δύναμη στην κατασκευή χωρίς να ικανοποιηθεί το κριτήριο του τερματισμού. Ο δεύτερος τύπος ανάλυσης έρχεται για να λύσει αυτού του είδους προβλήματα, και αυτό συμβαίνει εφόσον το κριτήριο τερματισμού ανάλυσης θα είναι πλέον βασισμένο στην μετακίνηση ελέγχου. Αυτό που κάνουμε στην προκειμένη περίπτωση είναι να θέσουμε τη μέγιστη τιμή μετακίνησης που έχουμε προβλέψει πως θα αναπτύξει η κατασκευή η οποία θα καταλήξει και στη κατάρρευση και την ορίζουμε μετακίνηση ελέγχου η οποία τερματίζει και την ανάλυση.

6.3 Στάδια της υπερωθητικής ανάλυσης.

Τα στάδια της υπερωθητικής ανάλυσης προκύπτουν ως εξής:

- Αρχικά δημιουργούμε το μοντέλο το οποίο θα αποτελέσει την κατασκευή, το αναλύουμε και το σχεδιάζουμε έτσι ώστε να ανταπεξέρχεται στους συνδυασμούς φορτίσεων που απαιτούνται.

- Έπειτα καθορίζουμε τις ιδιότητες των πλαστικών αρθρώσεων τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε και τις αντιστοιχούμε στα μέλη της κατασκευής.
- Καθορίζουμε το μήκος που έχουν οι ζώνες των πλαστικών αρθρώσεων.
- Καθορισμός πρώτου σταδίου φορτίσεων όπως περιγράφηκε παραπάνω
- Επιλογή της μετακίνησης ελέγχου.
- Καθορισμός δευτέρου σταδίου φόρτισης, όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω.
- Εκτέλεση της ανάλυσης. Αυτό γίνεται εφόσον το φορτίο που φέρεται πλευρικά της κατασκευής δέχεται σταδιακή αύξηση μέχρις ότου η κατασκευή να δεχθεί μέγιστη μετακίνηση οροφής η οποία θα είναι ίση με την τιμή της μετακίνησης ελέγχου που έχουμε επιλέξει.
- Τέλος από την εξαγωγή των αποτελεσμάτων προκύπτει το διάγραμμα τέμνουσας βάσης-μετακίνησης οροφής (Υπερωθητική Καμπύλη – Pushover Curve).



Σχήμα 6-1: Παράδειγμα με καμπύλες pushover για τριώροφο χαλύβδινο πλαίσιο. (Wikipedia)

7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.

7.1 Πλαίσια.

Οι αναλύσεις που έγιναν στη συγκεκριμένη πτυχιακή, πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια του προγράμματος SAP2000, το οποίο είναι κατάλληλο για ανάλυση κατασκευών με χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Μελετήθηκαν 14 πλαίσια. Τα πλαίσια αυτά χωρίστηκαν ως επτά πλαίσια διασυνδεδεμένα με έκκεντρους συνδέσμους και σε επτά πλαίσια χωρίς έκκεντρους συνδέσμους. Η ίδια αντιστοιχία έγινε και όσων αφορά τους ορόφους οι οποίοι κυμαίνονται από δύο έως δεκαεφτά.

Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε ανάλυση και παρουσία σε αντιστοιχία των εξής:

1. 2ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΜΕ ΕΚΚΕΝΡΟΤΗΤΑ - 2ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ
2. 3ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΜΕ ΕΚΚΕΝΡΟΤΗΤΑ - 3ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ
3. 6ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΜΕ ΕΚΚΕΝΡΟΤΗΤΑ - 6ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ
4. 9ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΜΕ ΕΚΚΕΝΡΟΤΗΤΑ - 9ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ
5. 12ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΜΕ ΕΚΚΕΝΡΟΤΗΤΑ - 12ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ
6. 15ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΜΕ ΕΚΚΕΝΡΟΤΗΤΑ - 15ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ
7. 17ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΜΕ ΕΚΚΕΝΡΟΤΗΤΑ - 17ΟΡΟΦΟΥ ΠΛΑΣΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ

Σαν αρχικό στάδιο πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των μοντέλων. Οι μονάδες που χρησιμοποιήθηκαν είναι σε KN, m, C και μετέπειτα καθορίστηκαν οι συντεταγμένες του κανάβου για τα 17 πλαίσια. Κατά την διεύθυνση x $\{-7.5, -2.5, -0.75, 0, 0.75, 2.5, 7.5\}$ μέτρα. Κατά την διεύθυνση

y $\{0\}$ και κατά την διεύθυνση z $\{0, 3, 6, 9, 12, 15, 17\}$ μέτρα.

Σε επόμενο στάδιο έγινε η επιλογή των υλικών των πλαισίων. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι χάλυβας κατηγορίας S275. Για τον καθορισμό του υλικού χρειάστηκε να εισάγουμε το ειδικό του βάρος (από το οποίο το πρόγραμμα υπολογίζει την μάζα κατ' όγκο), τον λόγο poisson, τον θερμικό συντελεστή καθώς επίσης και το όριο διαρροής και θραύσης του υλικού.

Μετέπειτα έγινε η επιλογή διατομών που χρησιμοποιήθηκαν στις κατασκευές. Οι διατομές επιλέχθηκαν από το πρότυπο αρχείο του προγράμματος euro pro το οποίο και έχει αρκετές επιλογές.

Για τις δοκούς επιλέχθηκαν διατομές HEB από HE360B μέχρι HE700B, για τα υποστυλώματα διατομές IPE από IPE360 μέχρι IPE400 και για τις διαγώνιους διατομές TUBO από TUBO114,3 μέχρι TUBO298,5. Για τα υποστυλώματα και τις δοκούς επιλεχθήκαν ορθογωνικές διατομές τύπου I ενώ για τις διαγώνιους κυκλικές διατομές (pipe).

Αφού εισήχθησαν τα παραπάνω στο πρόγραμμα SAP2000 έγινε προσομοίωση των στηρίξεων, συγκεκριμένα στηρίξεις θεωρήθηκαν ως πακτώσεις, δεσμεύοντας και τους έξι βαθμούς ελευθερίας.

Στη συνέχεια καθορίστηκαν τα φορτία και οι συνδυασμοί που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε ανάλυση. Για την γραμμική στατική ανάλυση κάτω από την δράση κατακόρυφων φορτίων εφαρμόστηκαν τα μόνιμα και τα ωφέλιμα φορτία χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό $1.35G + 1.5Q$ για την οριακή κατάσταση αστοχίας και τον συνδυασμό $1.0G + 1.0 Q$ για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Το γραμμικό μόνιμο φορτίο που εφαρμόστηκε σε όλες τις δοκούς είναι ίσο με 25 kN/m , ενώ το γραμμικό κινητό ίσο με 7 kN/m . Έτσι δημιουργήθηκαν δυο load pattern που αφορούν τα μόνιμα και τα κινητά φορτία (DEAD και LIVE) αντίστοιχα. Για την γραμμική ανάλυση υπό την δράση κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων εφαρμόστηκαν στις κατασκευές και πλευρικά φορτία και καθορίστηκε ένα νέο load pattern το LATERAL. Καθορίστηκαν ακολούθως οι οριζόντιες δυνάμεις που ενεργούν στα επίπεδα των πλακών των ορόφων των κατασκευών υπό τριγωνική κατανομή καθώς θέλουμε οι οριζόντιες δράσεις να μειώνονται καθώς οδηγούμαστε από τον ψηλότερο στον χαμηλότερο κόμβο.

Για την πραγματοποίηση της ιδιομορφικής ανάλυσης ήταν απαραίτητο να ορίσουμε την μάζα την οποία και θα συμπεριλάβει το πρόγραμμα και θα κατασκευαστεί το μητρώο μάζας της κατασκευής. Η μάζα που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της ιδιομορφικής ανάλυσης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 προέρχεται από τον συνδυασμό φορτίσεων $G + 0.3Q$. Με αυτό τον τρόπο λοιπόν επιλέγουμε να υπολογιστεί η μάζα της κατασκευής από τα φορτία αποφεύγοντας να υπολογιστεί η μάζα του φορέα των κατασκευών δυο φορές καθώς υπάρχει και στα DEAD φορτία.

Για την φασματική ανάλυση χρειάστηκε να καθορίσουμε πρώτα το φάσμα σχεδιασμού επιλέγοντας από το drop down menu του προγράμματος την επιλογή Eurocode 8 2004 ονομάζοντας την RSP. Προσδιόρισαμε την επιτάχυνση του εδάφους, η οποία και ορίζεται από τον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας που υπάρχει στον NEAK2000 (νέος ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός). Για τον τύπο φάσματος σχεδιασμού επιλέχθηκε ο τύπος 1 που αφορά περιοχές με σεισμικά φαινόμενα μεγέθους $M_s < 5.5$. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούμε τύπο 1. Για την συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε κατηγορία εδάφους B και συντελεστής του κάτω ορίου του φάσματος $\beta = 0.2$. Ο συντελεστής συμπεριφοράς q καθορίζεται από τον Ευρωκώδικα 8 ανάλογα με την κατηγορία πλαστιμότητας, για αυτό τον λόγο κύριο στοιχείο αποτελούν οι κατηγορίες διατομών που επιλεχθήκαν και η στροφική ικανότητα των συνδέσεων των μελών. Για τον λόγο ότι οι τιμές επιτάχυνσης του φάσματος που προκύπτουν είναι σε ποσοστό βαρύτητας δημιουργούμε ένα ακόμα load case που θα παρέχει την φασματική επιτάχυνση σε μονάδες SI, καθώς και ένα συνδυασμό φόρτισης που περιέχει την σεισμική δράση που προκύπτει από την φασματική επιτάχυνση.

Για την πραγματοποίηση σε συνέχεια της push over ανάλυσης θα πρέπει σε πρώτο στάδιο να πραγματοποιηθεί η εκτέλεση της ανάλυσης και μετέπειτα ο σχεδιασμός της κατασκευής για τους συνδυασμούς των δράσεων που έχουμε καθορίσει.

Για την εκτέλεση των αναλύσεων ορίζουμε ποιους βαθμούς ελευθερίας θα πρέπει να εισάγει το πρόγραμμα, επιλέγοντας επίπεδο πλαίσιο (ZX) ορίζονται οι βαθμοί ελευθερίας σε κάθε κόμβο που είναι δυο μεταφορικοί κατά τους άξονες x και z και ένας στρωφικός κατά τον άξονα y και εκτελούμε την εντολή 'run analysis-run now' η οποία θα μας δώσει τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης.

Επόμενο βήμα αποτελεί ο σχεδιασμός των πλαισίων εφόσον καθορίσουμε τον κανονισμό βάσει του οποίου θα πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι των διατομών. Ο έλεγχος του σχεδιασμού πραγματοποιείται βάσει του 'Eurocode 3-2005'. Επιλέγουμε τους συντελεστές ασφαλείας που αντιστοιχούν σε 1.0 για μεταλλικές κατασκευές στην Ελλάδα, έπειτα τους συνδυασμούς φόρτισης για τους οποίους θέλουμε να πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός της κατασκευής και πραγματοποιούμε τον σχεδιασμό, εξασφαλίζοντας πως δεν θα υπάρξουν ανεπάρκειες διατομών.

Για την ανάλυση pushover θεωρούμε ως πιθανά σημεία σχηματισμού των πλαστικών αρθρώσεων τα εξής: Σημεία που οι ροπές είναι μέγιστες, σημεία όπου εφαρμόζονται συγκεντρωμένα φορτία, συνδέσεις και σημεία τέμνουσών σε δοκούς με διανεμημένο φορτίο

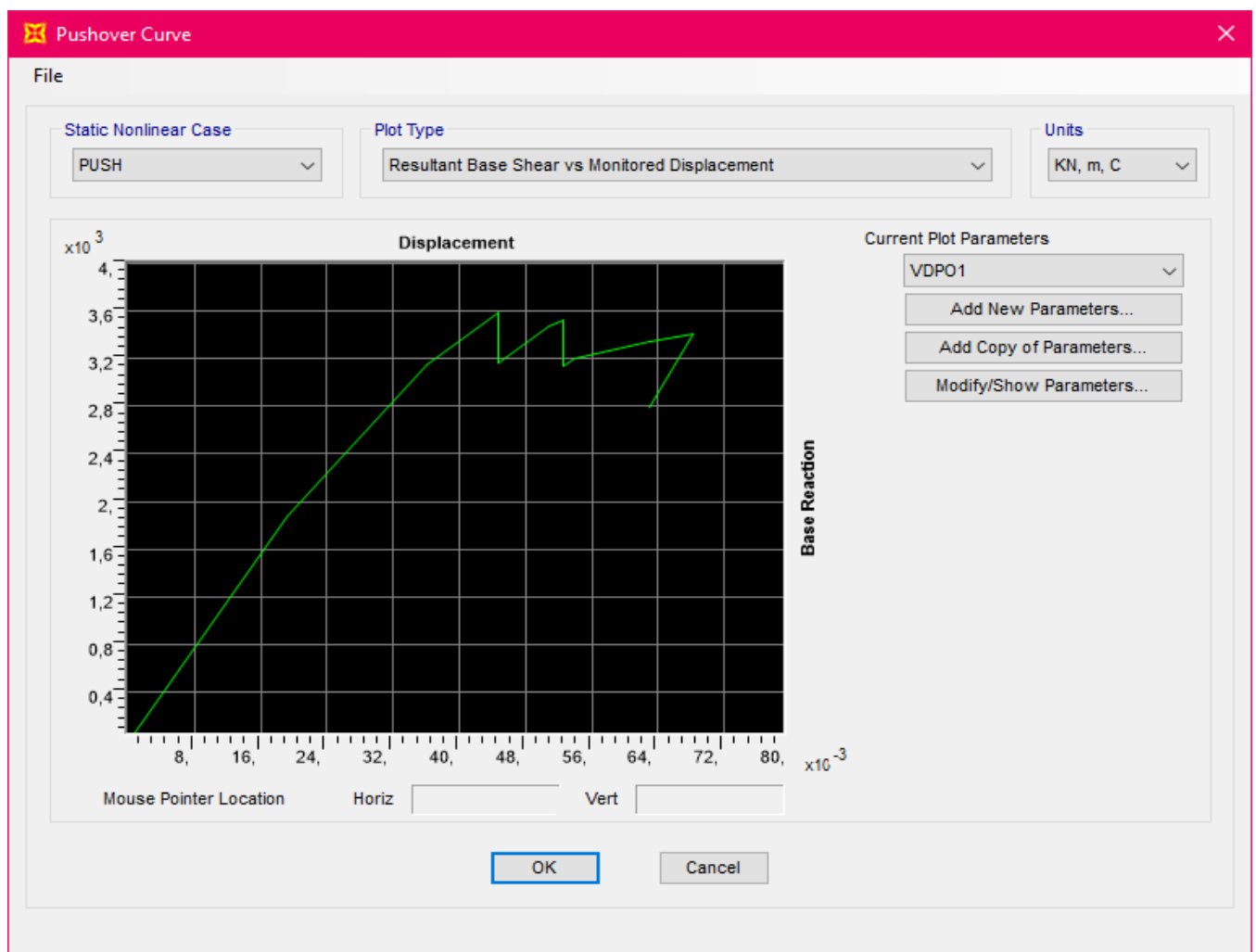
Επομένως θα ορίσουμε ως πιθανές θέσεις σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων τα άκρα όλων των μελών. Επιλέγουμε πρώτα τις δοκούς και μετά τις διαγωνίους, ορίζουμε το αριστερό άκρο των δοκών ως σημείο πλαστικής άρθρωσης που η συμπεριφορά της καθορίζεται από τις παραμέτρους που ορίζει ο FEMA 360 και έπειτα κάνουμε την ίδια διαδικασία για το δεξί άκρο των δοκών. Έπειτα επιλέγουμε τα υποστυλώματα ώστε να καθορίσουμε τα άκρα τους ως πιθανά σημεία πλαστικών αρθρώσεων, απαιτώντας την αυτόματη επιμέρους διακριτικοποίηση των γραμμικών μελών σε μήκος 2% του συνολικού μήκους των μελών, καθορίζοντας με αυτό τον τρόπο και το μήκος της ζώνης της πλαστικής άρθρωσης και επιλέγουμε όλα τα τμήματα των μελών. Μπορούμε να δούμε αναλυτικά όλα τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των πλαστικών αρθρώσεων που επιλέχθηκαν σύμφωνα με τον κανονισμό FEMA356. Έπειτα δημιουργούμε ένα load case το οποίο αποτελεί τις αρχικές συνθήκες για την pushover ανάλυση, για τα μόνιμα κατακόρυφα φορτία και ένα load case που θα εμπεριέχει το μόνιμο φορτίο αλλά ο τύπος της ανάλυσης θα είναι μη γραμμικός. Στην συνέχεια ορίζουμε την φόρτιση PUSH για την pushover ανάλυση και ελέγχουμε την μετακίνηση του master κόμβου κάθε πλαισίου και αποθηκεύουμε όλα τα επιμέρους βήματα της pushover ανάλυσης. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων και έπειτα του σχεδιασμού. Για τις αναλύσεις κατακόρυφων, οριζόντιων φορτίων αλλά και τη φασματική θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα ροπών και οι μετακινήσεις. Ενώ για την pushover ανάλυση θα παρουσιαστούν τα επιμέρους βήματα της και η παραμορφωσιακή κατάσταση του φορέα αλλά και η καμπύλη Τέμνουσας Βάσης-Μετακίνησης.

7.2 Διαγράμματα της υπερωθητικής ανάλυσης (pushover).

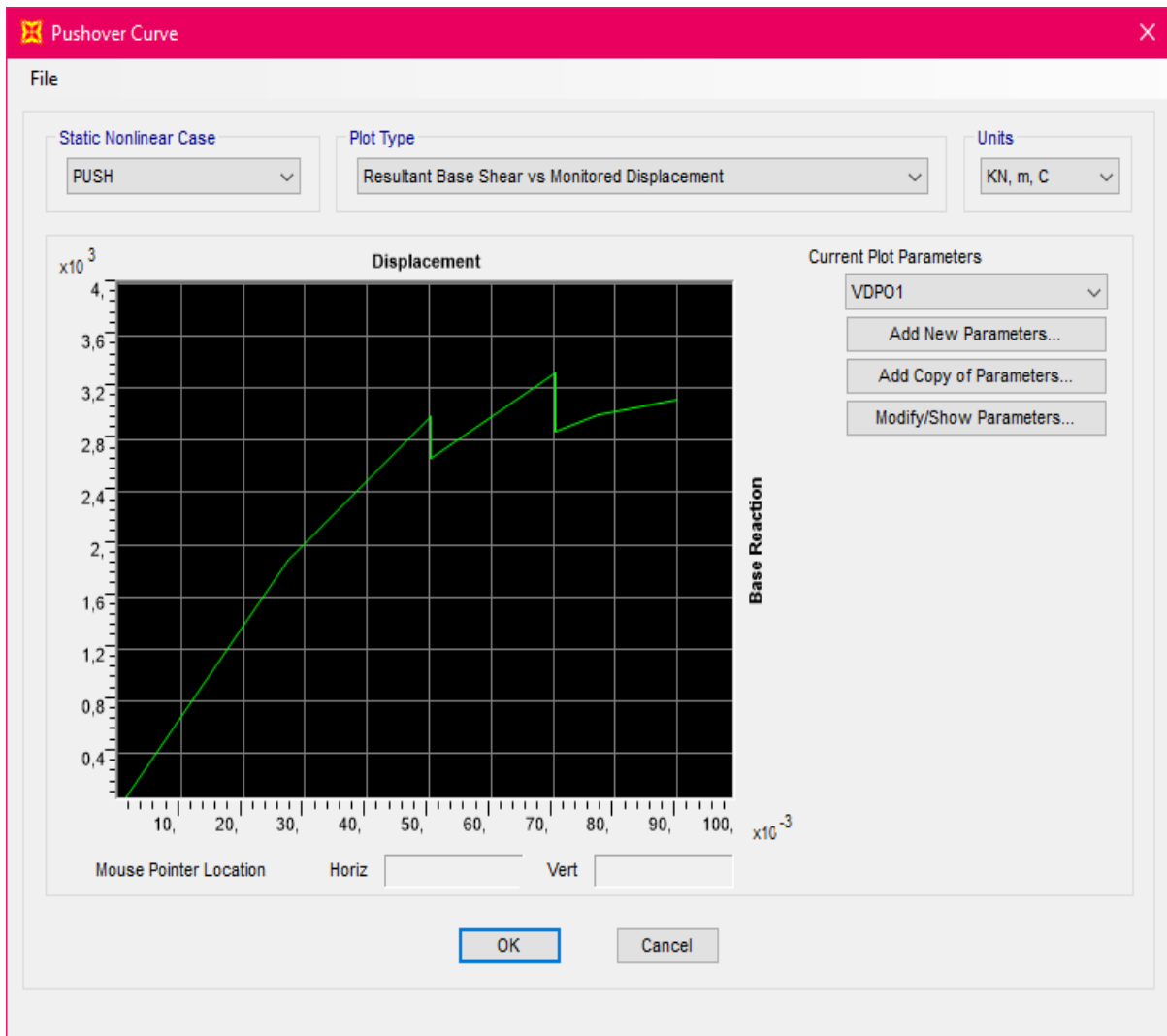
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ανάλυσης push over σε πλαίσια με εκκεντρότητα όπως αυτά τα εξήγαγε το πρόγραμμα SAP2000.

ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ

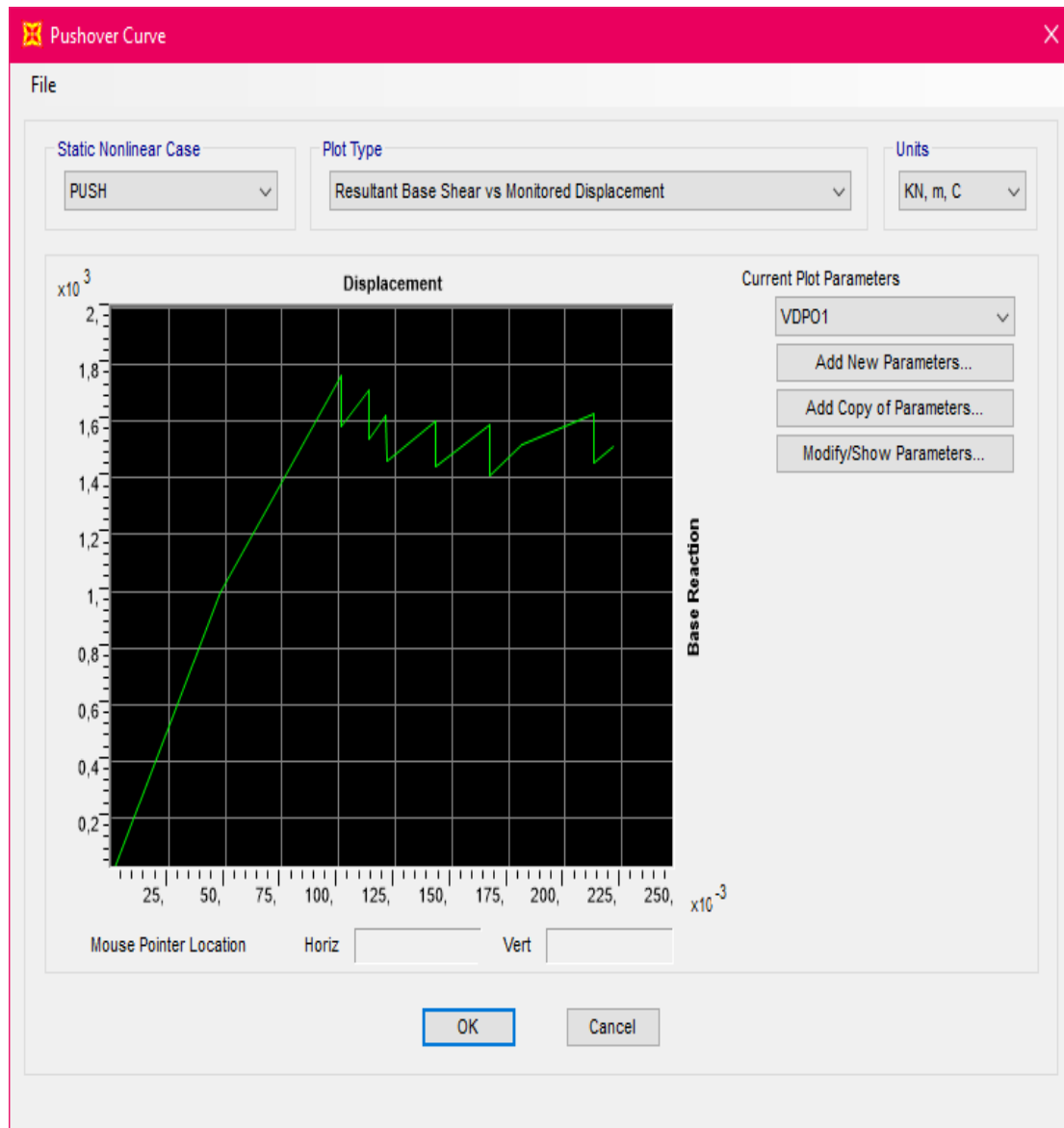
Διώροφο πλαίσιο:



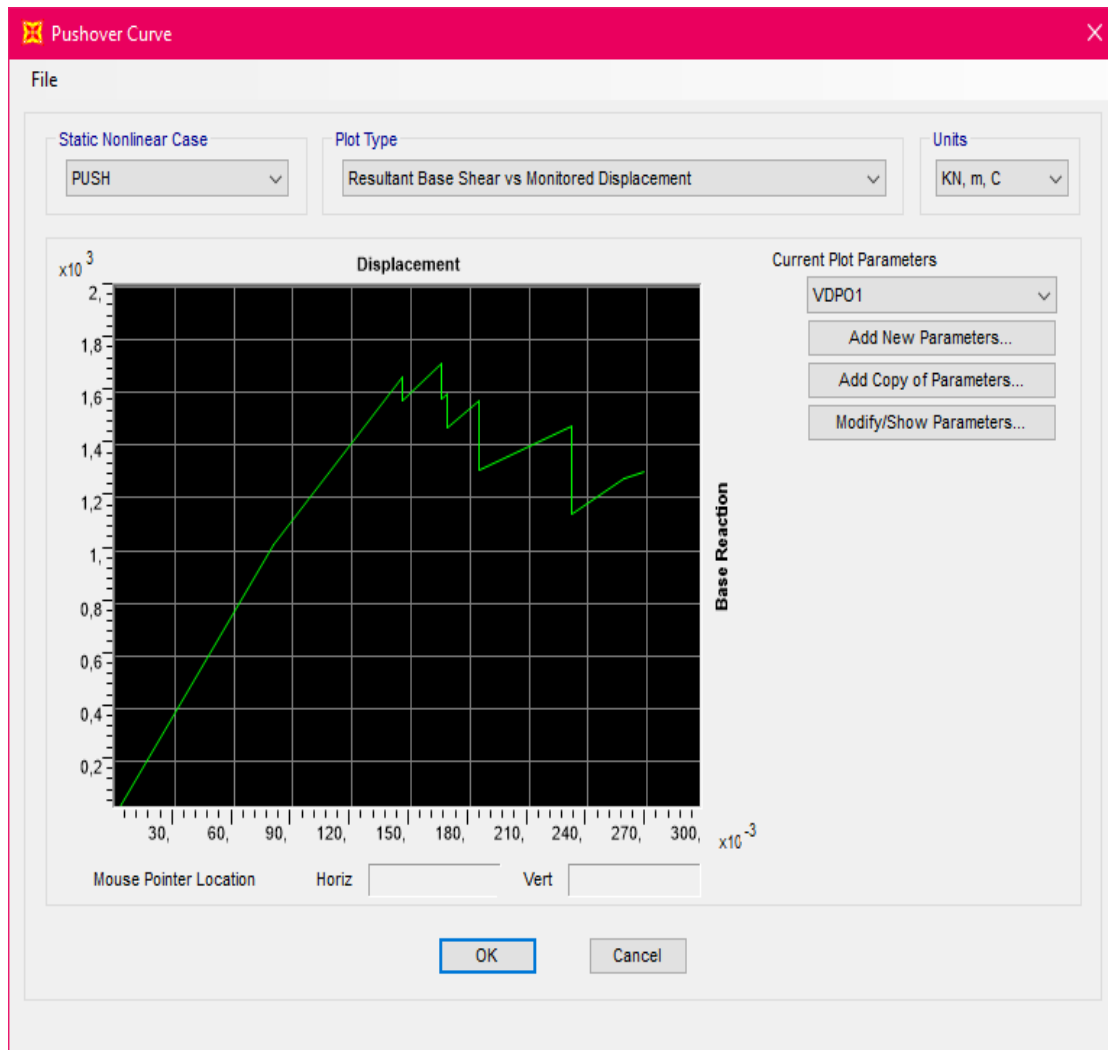
Τριώροφο πλαίσιο:



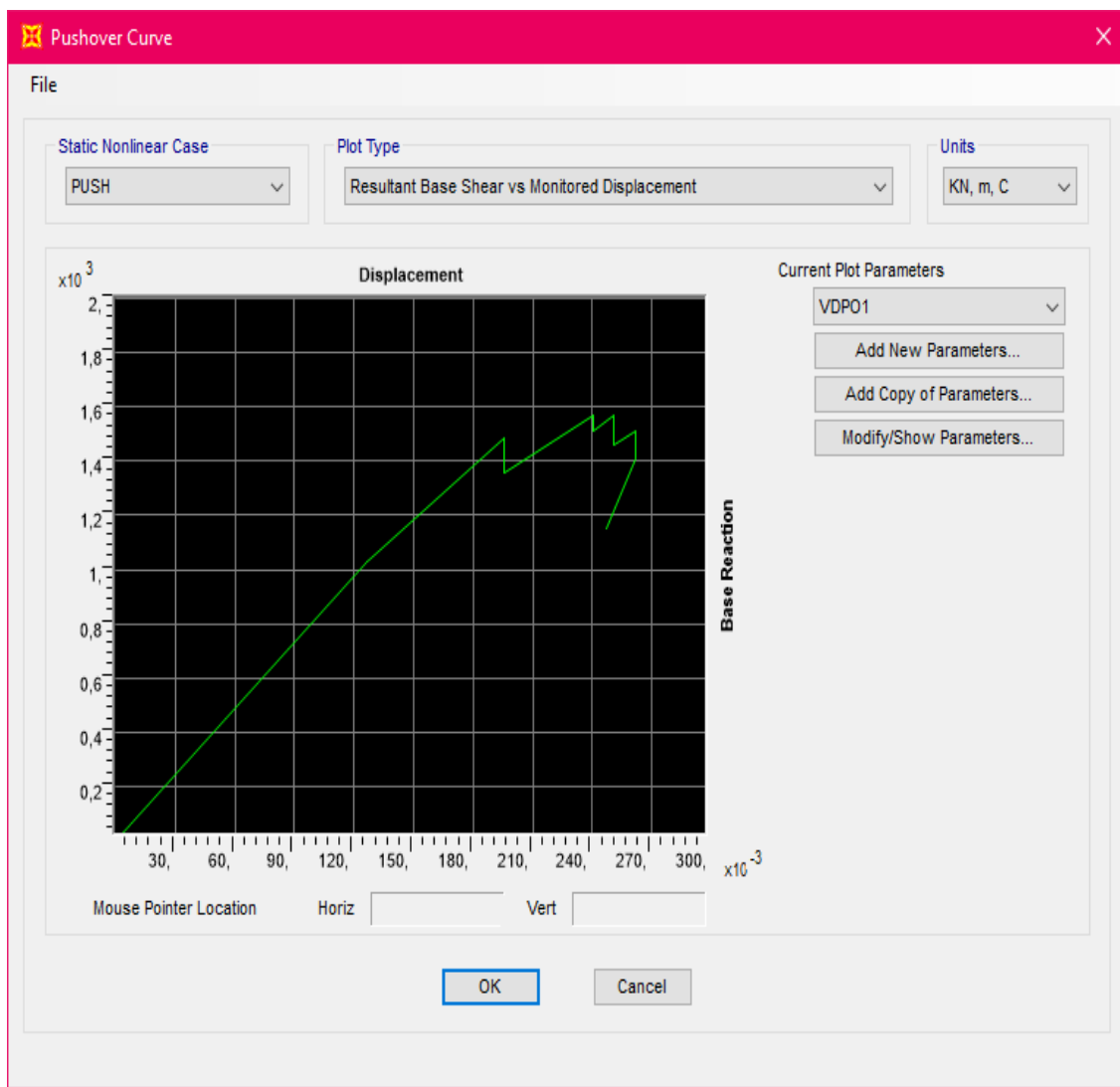
Εξώροφο πλαίσιο:



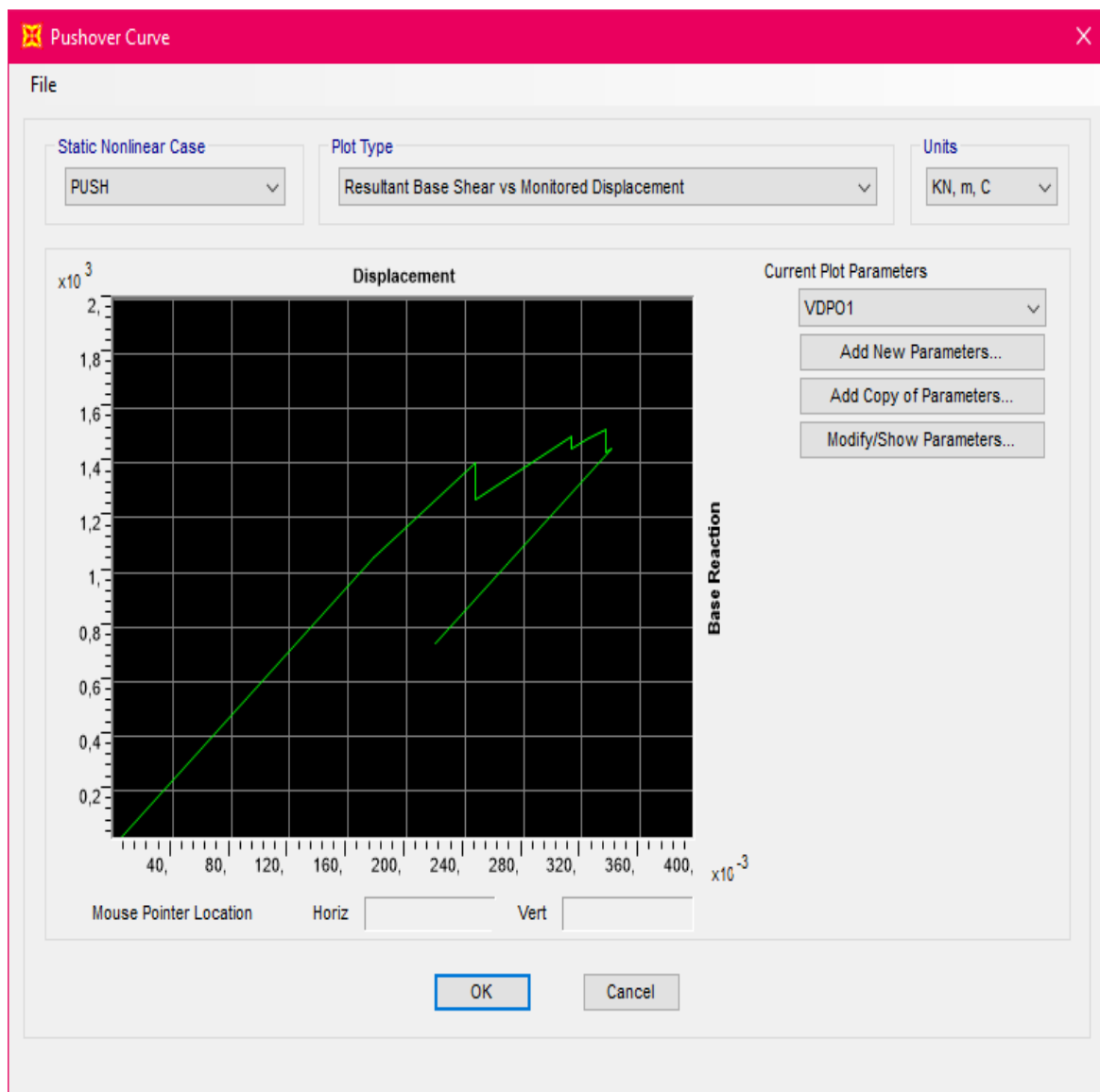
Εννιαώροφο πλαίσιο:



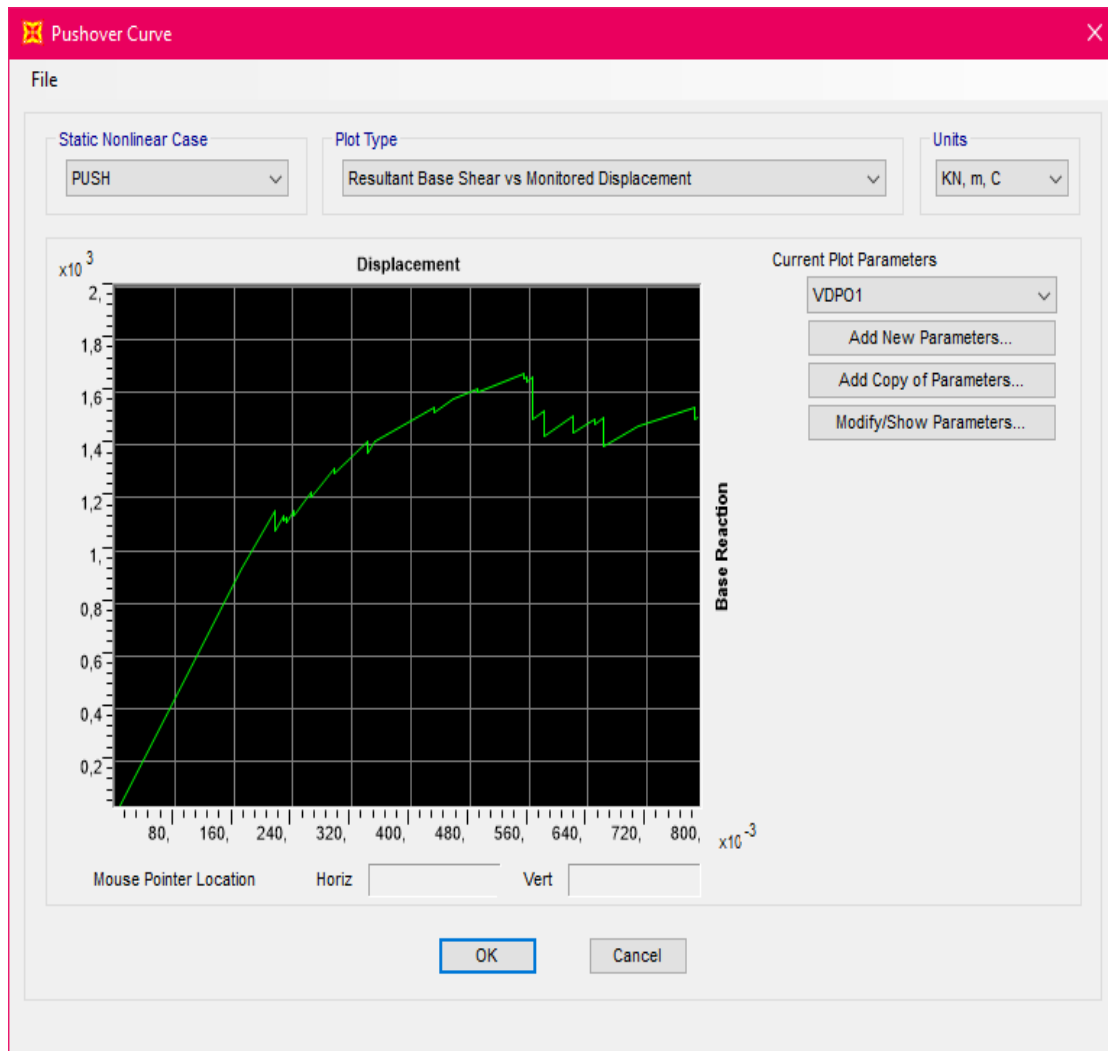
Δωδεκαώροφο πλαίσιο:



Δεκαπεντάωροφο πλαίσιο:



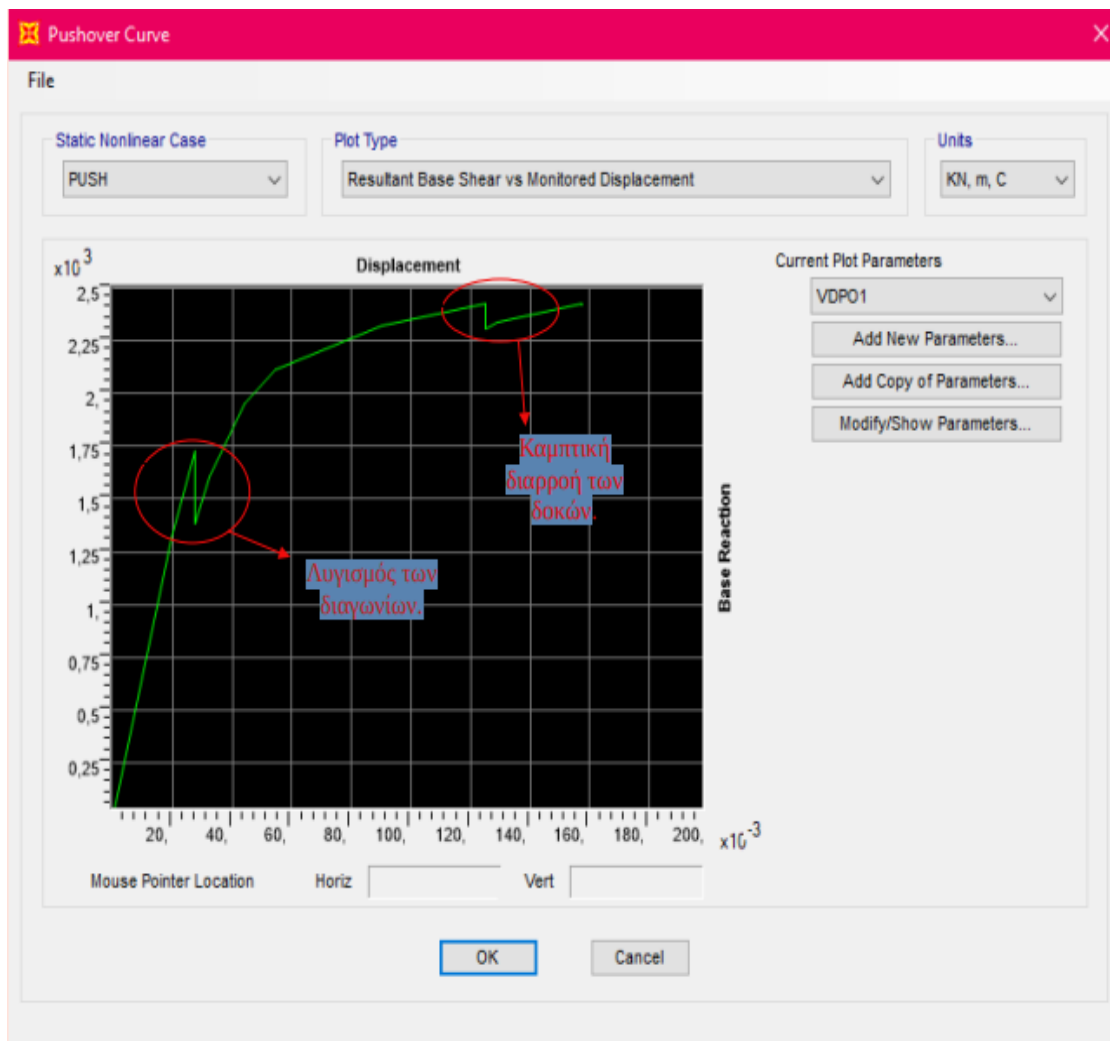
Δεκαεπτάωροφο πλαίσιο:



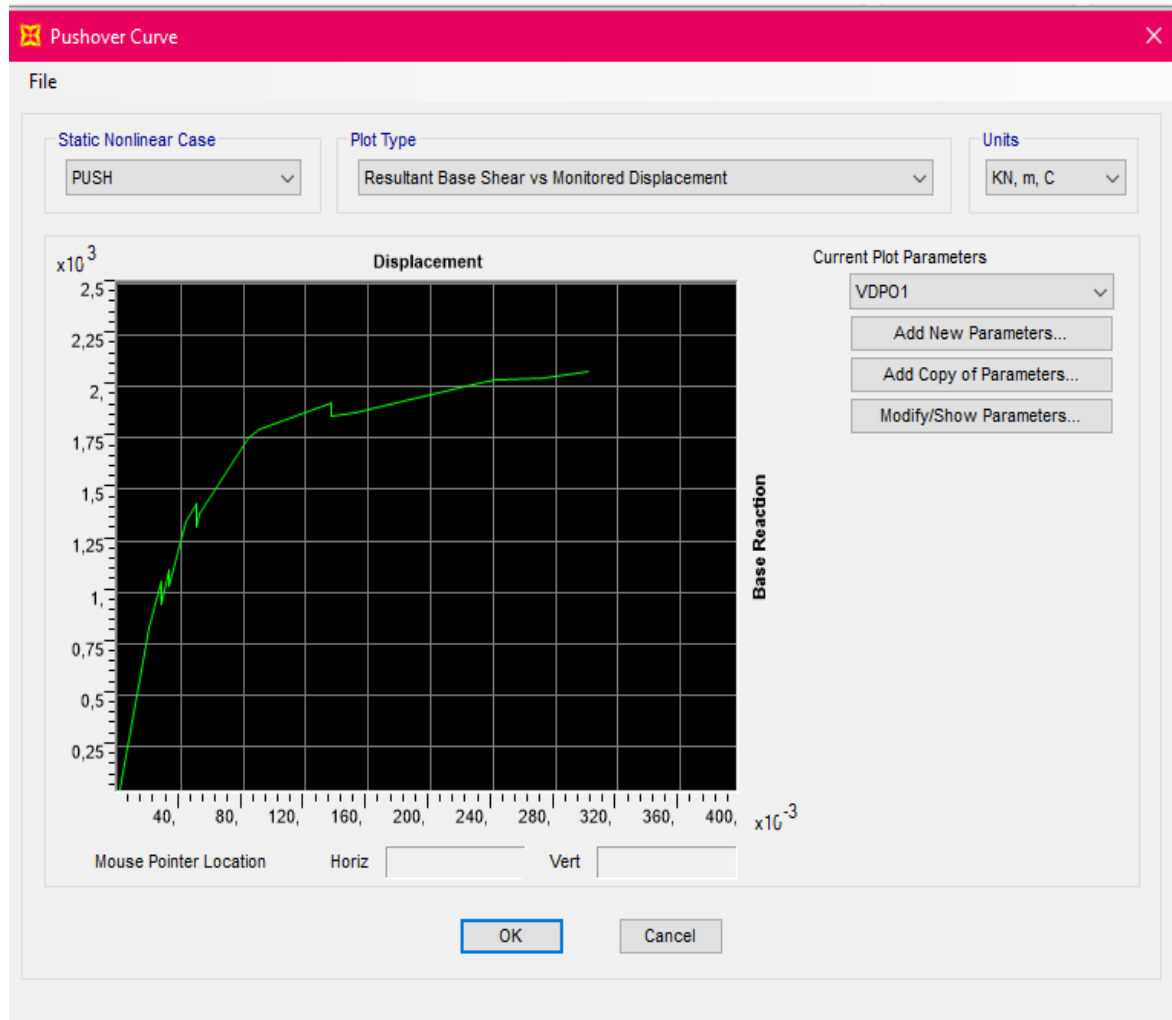
ΠΛΑΙΣΙΑ ΧΩΡΙΣ ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ανάλυσης push over σε πλαίσια χωρίς εκκεντρότητα όπως αυτά τα εξήγαγε το πρόγραμμα SAP2000. Ενδεικτικά βλέπουμε στο διώροφο πλαίσιο σε τι οφείλονται τα σπασίματα που δημιουργούνται στην καμπύλη του διαγράμματος.

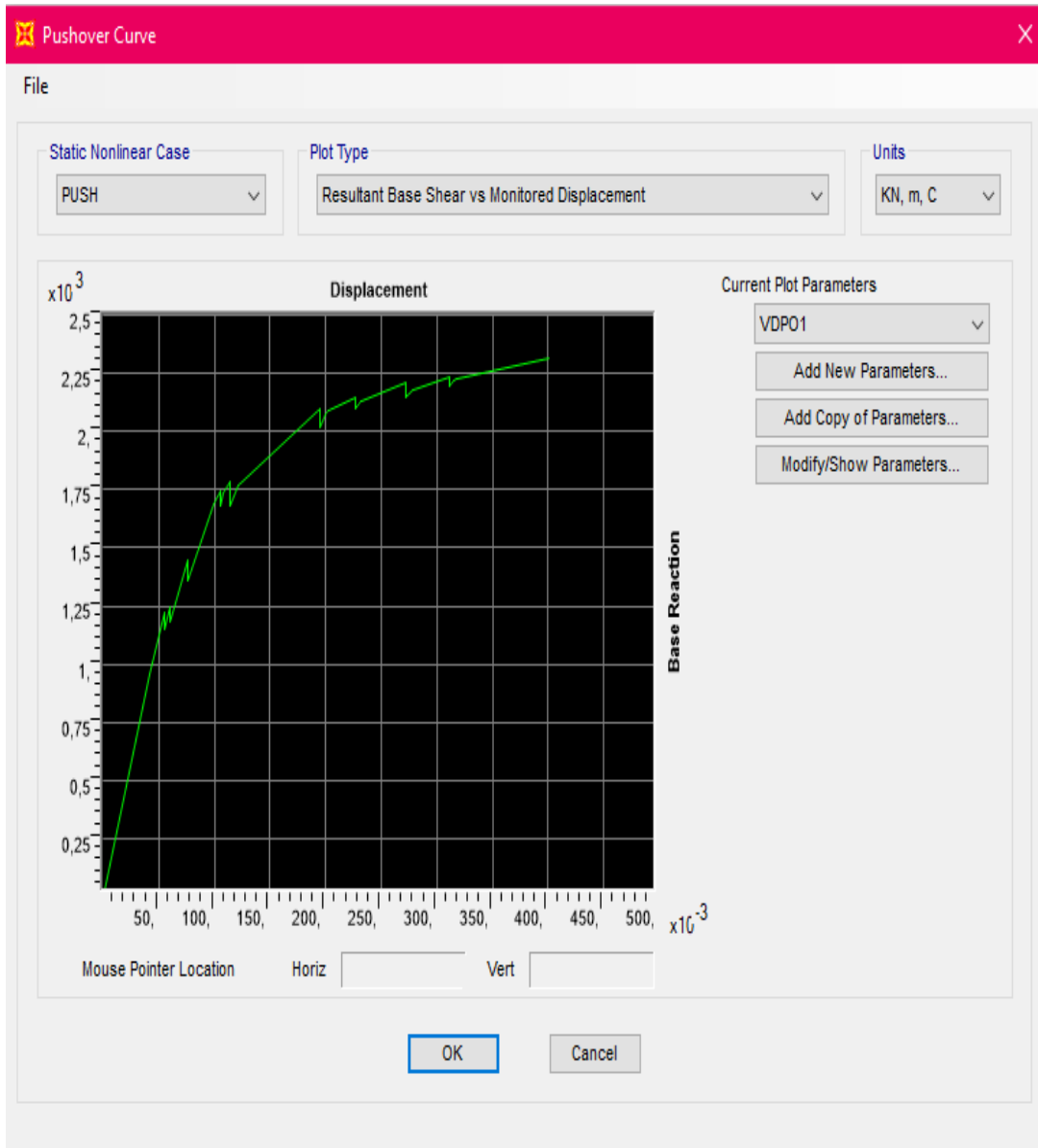
Διώροφο πλαίσιο:



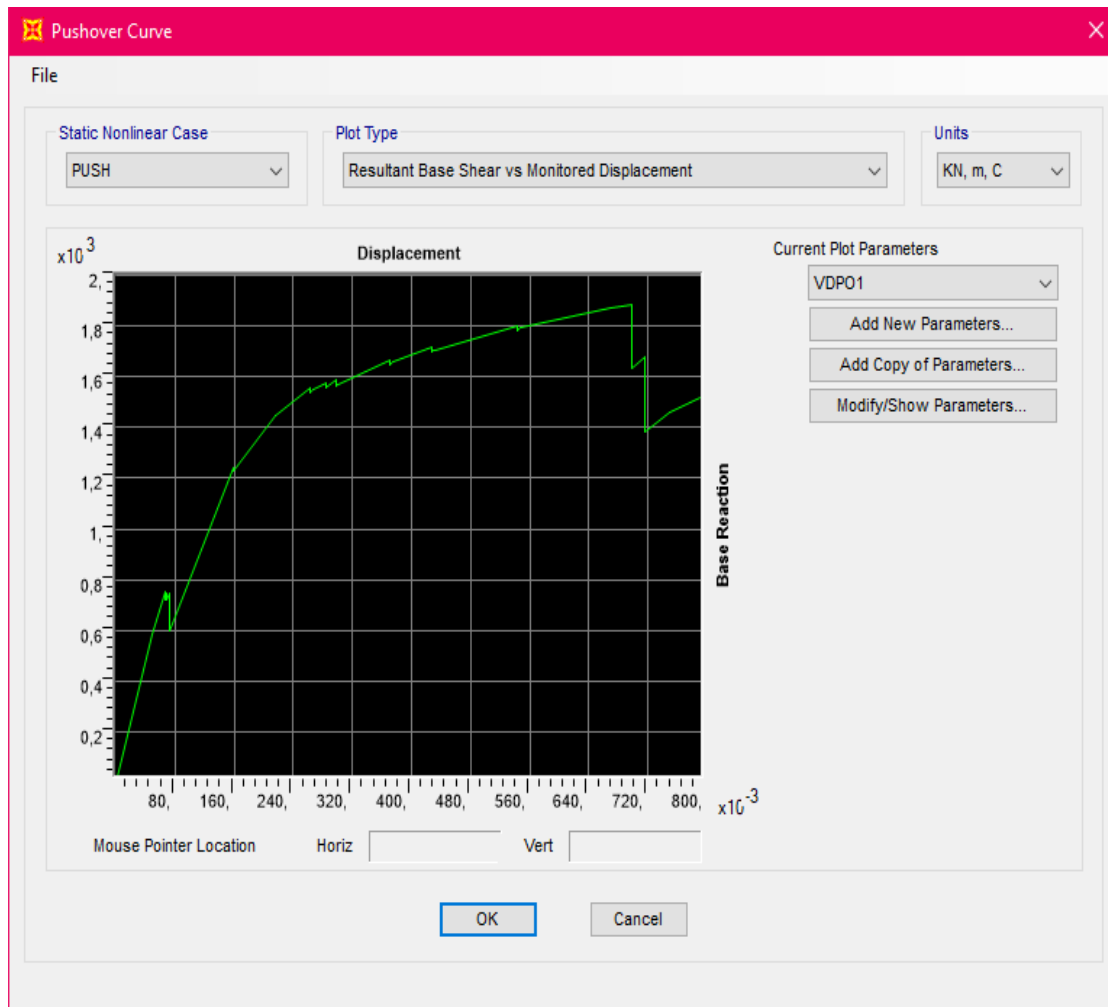
Τριώροφο πλαίσιο:



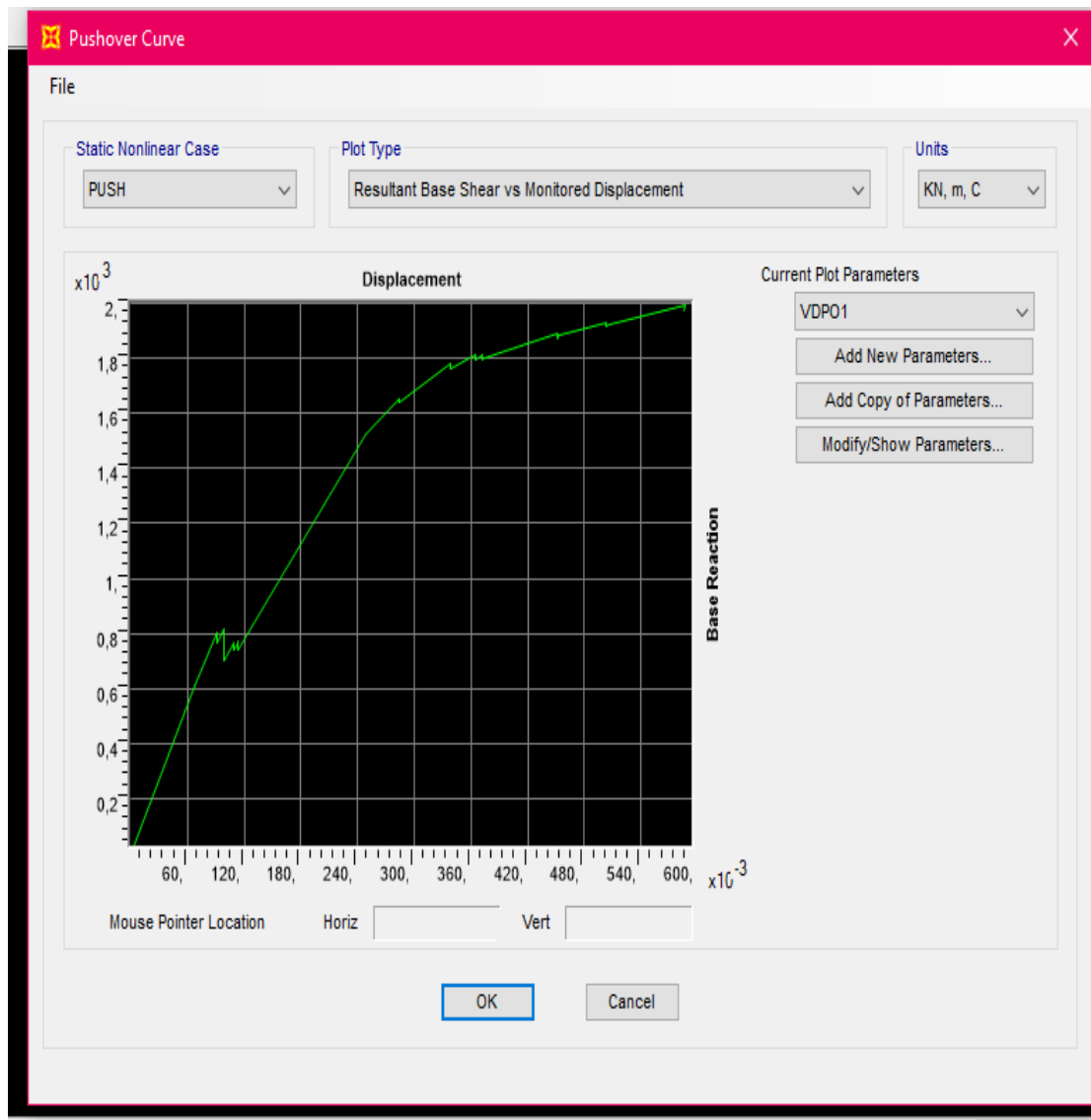
Εξάωροφο πλαίσιο:



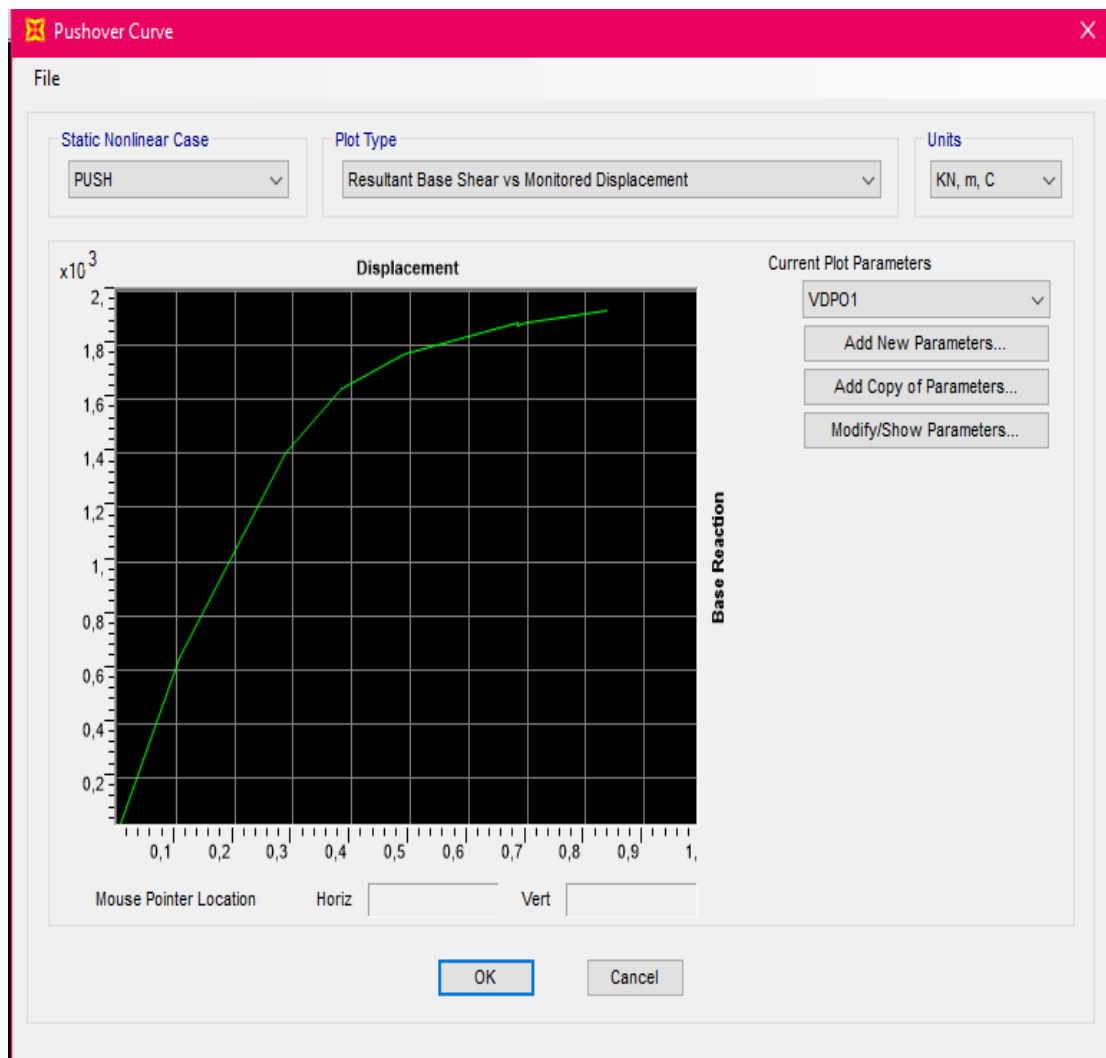
Εννιαώροφο πλαίσιο:



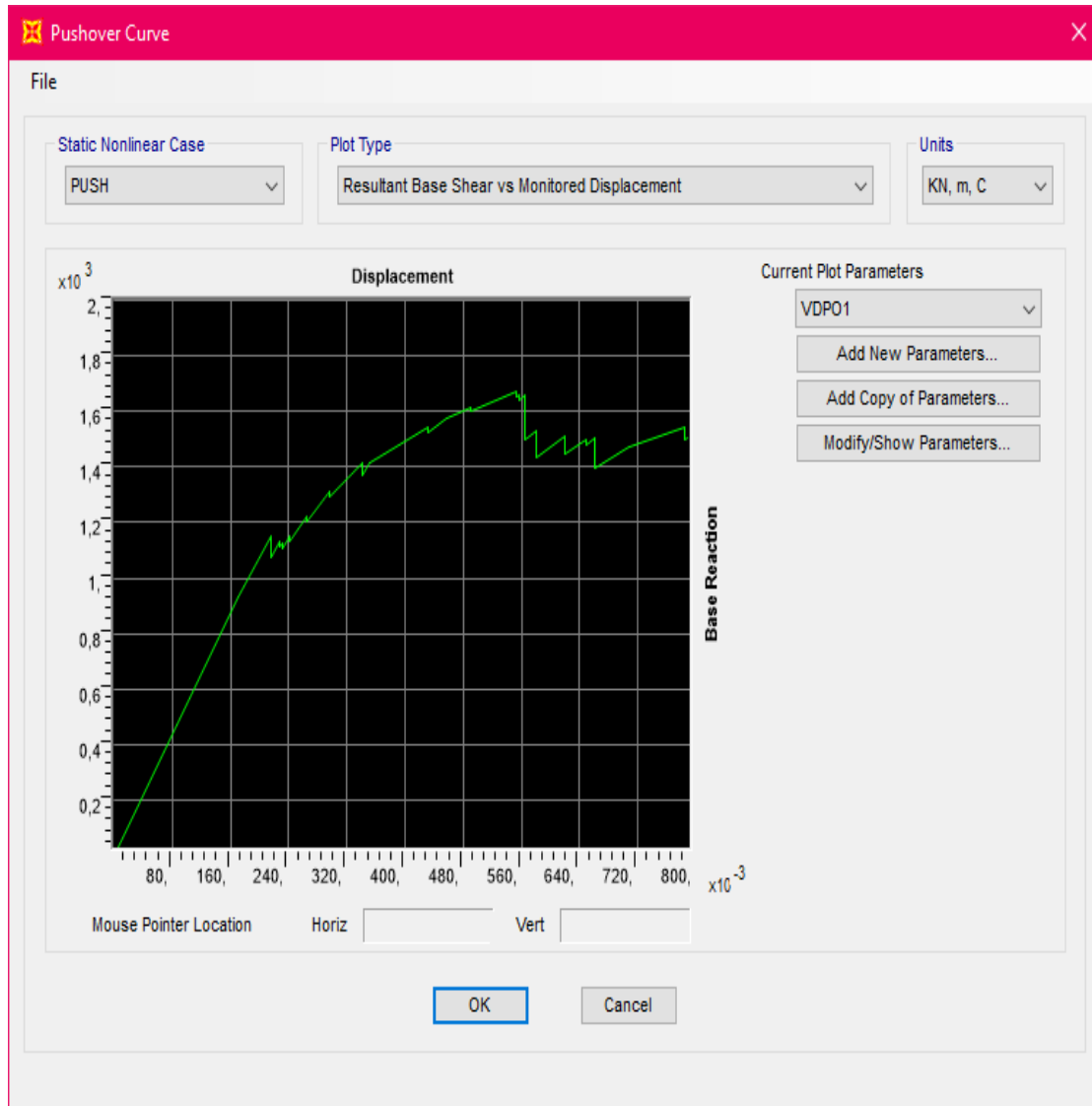
Δωδεκαώροφο πλαίσιο:



Δεκαπεντάωροφο πλαίσιο:

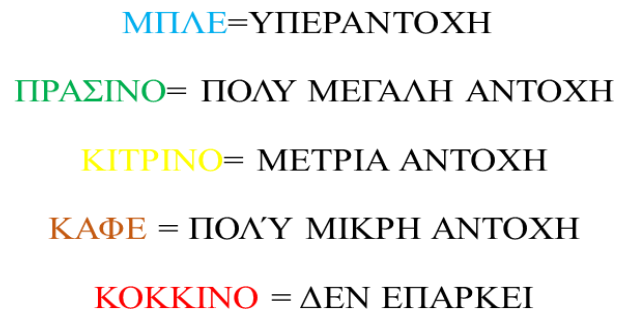


Δεκαεπτάωροφο πλαίσιο:



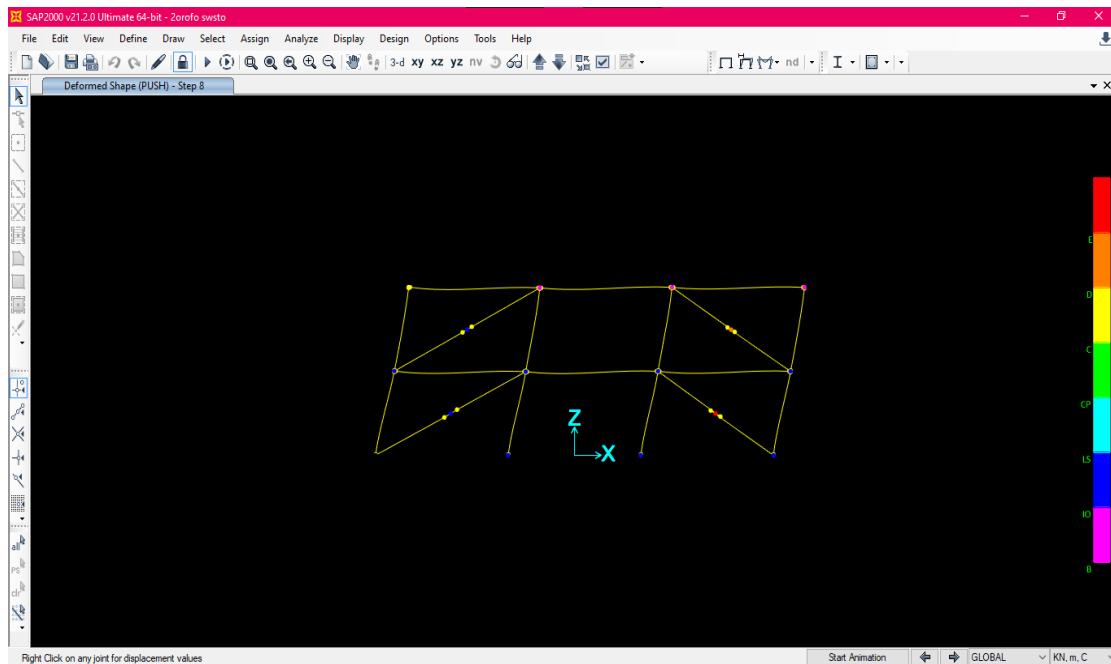
7.3 Παράδειγμα κατάρρευσης μελών στα πλαίσια χωρίς εκκεντρότητα .

Παρακάτω φαίνεται η κλίμακα που χαρακτηρίζει τη κατάσταση που βρίσκεται ένα μέλος μιας κατασκευής.



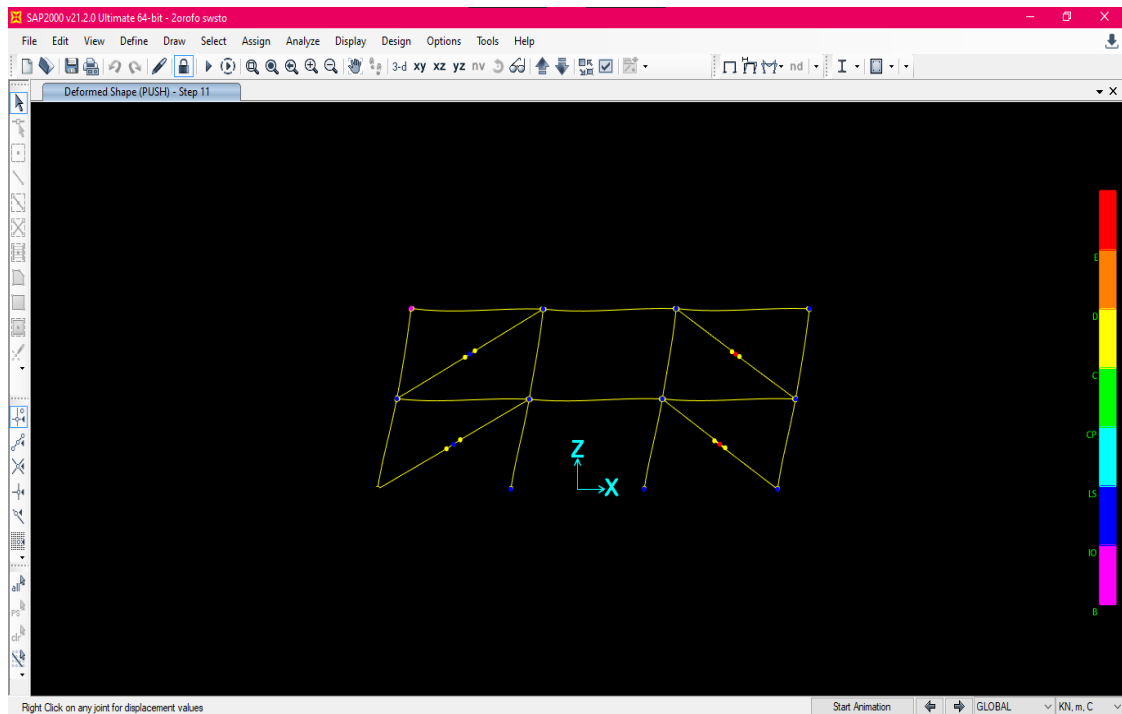
Τα μέλη τα οποία χρωματίζονται με το μπλε ή το πράσινο χρώμα αντιστοιχούν σε επάρκεια των μελών αυτών.

Αρχικά παρατηρούμε πως στο 8ο βήμα αστοχεί η διαγώνιος στο πρώτο όροφο του πλαισίου και στη δεξιά του πλευρά.



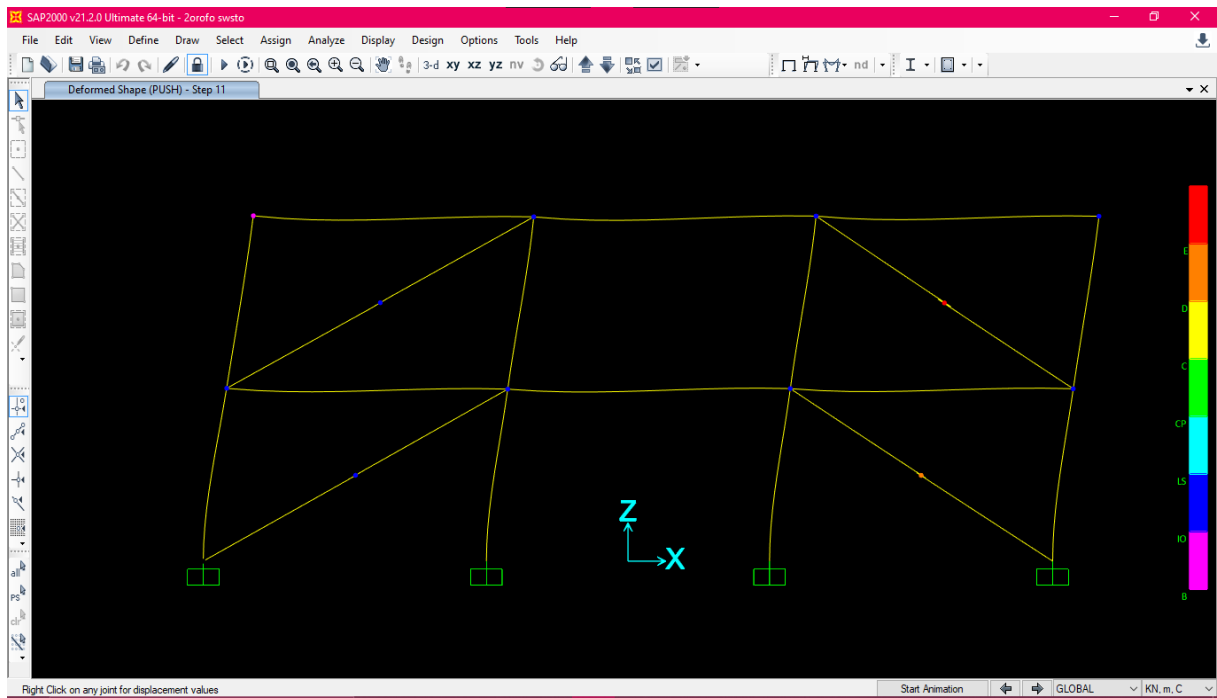
Εικόνα 7-1: Διώροφο πλαίσιο χωρίς εκκεντρότητα το οποίο έχει δεχθεί pushover (υπερωθητική) ανάλυση σε όλα του τα μέλη (δοκούς, υποστυλώματα, διαγώνιες στηρίξεις).

Έπειτα παρατηρούμε πως μετά από 3 βήματα, στο 11ο βήμα δηλαδή, έχουμε αστοχία και δεύτερου μέλους όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα, το οποίο βρίσκεται στο δεύτερο όροφο του πλαισίου στη δεξιά του πλευρά



Εικόνα 7-2: Κατάρρευση δεύτερου μέλους.

Εδώ παρατηρούμε καλύτερη συμπεριφορά του πλαισίου που εξετάζουμε, διότι έχουμε αστοχία ενός μόνο μέλους, στο δεύτερο όροφο του πλαισίου στο δεξιό μέρος του, όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7-3: Διώροφο πλαίσιο χωρίς εκκεντρότητα το οποίο έχει δεχθεί pushover (υπερωθητική) ανάλυση μόνο στις δοκούς και στις διαγώνιες του.

7.4 Πίνακας διατομών πλαισίων.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες με τις διατομές που χρησιμοποιήθηκαν για όλα τα πλαίσια και για τα πλαίσια με εκκεντρότητα αλλά και για τα πλαίσια χωρίς εκκεντρότητα.

ΠΛΑΙΣΙΑ ΟΡΟΦΟΙ		ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ
		HEB (υποστυλώματα)-ΙΡΕ (δοκοί)-TUBO-D (διαγώνιες στηρίξεις)	
1	2	450-450-244.5x5.4 (1-2)	0.14515
2	3	450-450-244.5x5.4 (1-3)	0.21033
3	6	360-360-244.5x5.4 (1), 360-360-219.1x5 (2-4), 360-360-193.7x4.5 (5-6)	0.53044
4	9	600-360-244.5x5.4 (1), 360-360-219.1x5 (2-4), 360-360-193.7x4.5 (5-9)	0.80862
5	12	600-360-298.5x5.9 (1), 360-360-219.1x4.5 (2-4), 360-360-193.7x4.5 (5-12)	1.15484
6	15	700-400-298.5x5.9 (1), 500-400-244.5x5.4 (2), 400-360-244.5x5.4 (3), 400-360-219.1x5 (4), 360-360-193.7x4.5 (5-15)	1.4876
7	17	700-400-168.3x4 (1), 650-400-168.3x4 (2), 600-400-168.3x4 (3), 550-400-168.3x4 (4), 500-400-168.3x4 (5), 450-400-168.3x4 (6-7), 400-400-168.3x4 (8-11), 360-400-159x4 (12-14), 360-400-152.4x4 (15), 360-360-152.4x4 (16-17)	1.64666

Εικόνα 7-4: Πίνακας διατομών και ιδιοπεριόδων πλαισίων με εκκεντρότητα.

ΠΛΑΙΣΙΑ ΟΡΟΦΟΙ		ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ (sec)
		HEB (υποστυλώματα)-ΙΡΕ (δοκοί)-TUBO-D (διαγώνιες στηρίξεις)	
1	2	300-330-193.7x4.5(1), 300-360-193.7x4.5(2)	0.17239
2	3	320-330-168.3x4(1-2), 320-300-168.3x4(3)	0.27486
3	6	360-360-219.1x5(1-2), 340-330-193.7x4.5(3-4), 340-330-159x4(4-6)	0.50516
4	9	500-360-159x4(1), 400-360-159x4(2), 360-330-159x4(3), 360-330-152.4x4(4-6), 340-330-152.4x4(7), 300-330-139.7x4(8), 300-330-114.3x3.6(9)	0.85801
5	12	700-450-152.4x4, 550-450-152.4x4(2-4), 360-360-152.4x4(5-8), 320-330-152.4x4(9-10), 320-330-127x4(11), 300-330-114.3x3.6(12)	1.10588
6	15	700-500-159x4(1), 550-360-159x4(2-3), 500-360-159x4(4), 450-360-159x4(5-8), 360-360-152.4x4(9), 360-330-152.4x4(10-12), 320-330-152.4x4(13), 320-330-127x4(14), 320-330-114.3x3.6(15)	1.50658
7	17	700-400-159x4(1), 600-360-159x4(2), 550-360-159x4(3-4), 450-360-159x4(5-6), 450-330-159x4(7-8), 360-330-159x4(9-10), 360-330-152.4x4(11-13), 320-330-152.4x4(14), 320-330-127x4(15-16), 320-330-114.3x3.6(17)	1.79912

Εικόνα 7-5: Πίνακας διατομών και ιδιοπεριόδων πλαισίων χωρίς εκκεντρότητα.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Από τις πιο πάνω αναλύσεις ολοκληρώθηκε η εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων:

- 1) Οι διατομές των πλαισίων τοποθετούνται με συγκεκριμένη σειρά. Πάντα ξεκινάμε με μεγάλες διατομές στη βάση των πλαισίων και ανάλογα τον αριθμό των ορόφων καταλήγουμε σε μικρότερες διατομές στους ανώτερους ορόφους. Αυτό συμβαίνει για να αποφύγουμε το επιπλέον βάρος που θα δώσει αρνητικά αποτελέσματα στην κατασκευή και θα οδηγήσει στην κατάρρευση της.
- 2) Η ιδιοπερίοδος κάθε πλαισίου είναι πάντα σχεδόν ίση με το υπό δεκαπλάσιο του αριθμού των ορόφων και αυτό συμβαίνει ανεξαρτήτως εκκεντρότητας ή όχι. Για παράδειγμα στο τριώροφο πλαίσιο με εκκεντρότητα η ιδιοπερίοδος είναι $T=0,21033$ ενώ στο τριώροφο πλαίσιο χωρίς εκκεντρότητα η ιδιοπερίοδος είναι $T=0,27486$
- 3) Επίσης βλέπουμε πως η ιδιοπερίοδος (T) των πλαισίων χωρίς εκκεντρότητα είναι πάντοτε μεγαλύτερη από αυτή των πλαισίων με εκκεντρότητα.
- 4) Οι καμπύλες push over (υπερωθητικής ανάλυσης) είναι αντίστοιχες με αυτές του ύψους των πλαισίων, ενώ παρατηρούμε επίσης πως στα πλαίσια μικρότερων υψών οι καμπύλες είναι μικρότερης κλίσης από ότι στα πλαίσια που αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα ύψη.
- 5) Τέλος η στοχευμένη μετακίνηση διαμορφώνεται ανάλογα με το ύψος που έχει το κάθε πλαίσιο ενώ τα πολυώροφα πλαίσια έχουν μεγαλύτερη στοχευμένη μετακίνηση από αυτά που αντιστοιχούν σε πλαίσια με λιγότερους ορόφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) FEMA 356 (2000). Federal emergency management agency: Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Report No. FEMA-, 356.
- 2) SAP2000 (2010). Static and dynamic finite element analysis of structures- vers14.2.2. Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- 3) EN 1998-1 : 2004 (Ευρωκώδικας 8 : Αντισεισμικός Σχεδιασμός)
- 4) EN 1993-1-1 : 2005 (Ευρωκώδικας 3 : Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα)
- 5) Διδακτορική διατριβή κ. Νικόλαου Καλαπόδη με θέμα «Αντισεισμικός σχεδιασμός επίπεδων μεταλλικών διασυνδεδεμένων πλαισίων με χρήση τριών νέων μεθόδων».
- 6) Προσομοίωση κατασκευών σε προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή (εφαρμογές με το πρόγραμμα SAP2000), Εμμανουήλ Κίρτας, Γεώργιος Παναγόπουλος.
- 7) Μεταλλικές κατασκευές, Ανδρέας χρ. Γιαννόπουλος
- 8) Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων ,Αβραμίδης Ιωάννης, Αθανατοπούλου Ασημίνα, Μορφίδης Κωνσταντίνος.
- 9) Βουγιούκας Βουγιούκας, Ε. (2010) «Σχεδιασμός Σχεδιασμός κτιρίων κτιρίων σκυροδέματος σκυροδέματος με EC2 & EC8» Ημερίδα Ημερίδα ΤΕΕ, Λάρισα.
- 10) Elghazouli A. (2009) “Seismic design of buildings to Eurocode 8”, Elghazouli A, ed., Spon Press.
- 11) Κόλιας, Β., Παναγιωτάκος, Τ. (2010) «Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών, Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις, Κανόνες για Κτίρια. Κύριες Διατάξεις και Διαφορές από ΕΑΚ & ΕΚΩΣ» ΕΣΠΕΡΙΔΑ Ι.Ο.Κ. - Αθήνα 6/12/2010 - ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ ΒΔΣ, 1, 2 και 8.
- 12) Fardis MN (2009) “Seismic Design, Assessment and Retrofit of Concrete Buildings, based on Eurocode 8”, Springer.

- 13) Panagiotakos, T. B. and M.N. Fardis (2004) “Seismic Performance of RC Frames Designed to Eurocode 8 or to the Greek Codes 2000”, Bulletin of Earthquake Engineering, No 2, 221–259, 2004.
- 14) Φαρδής Μ. (2006) «Προοπτικές για τον Αντισεισμικό Σχεδιασμό Κτιρίων Οπλισμένου υροδέματος», 5ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη.
- 15) <https://www.runet.gr/documents/SteelSectionsEC3GRE.pdf>
- 16) Διπλωματική εργασία κ. Λουκόπουλου Κωνσταντίνου με θέμα «Σχεδιασμός και σύγκριση μεταλλικού και σύμμικτου φορέα».