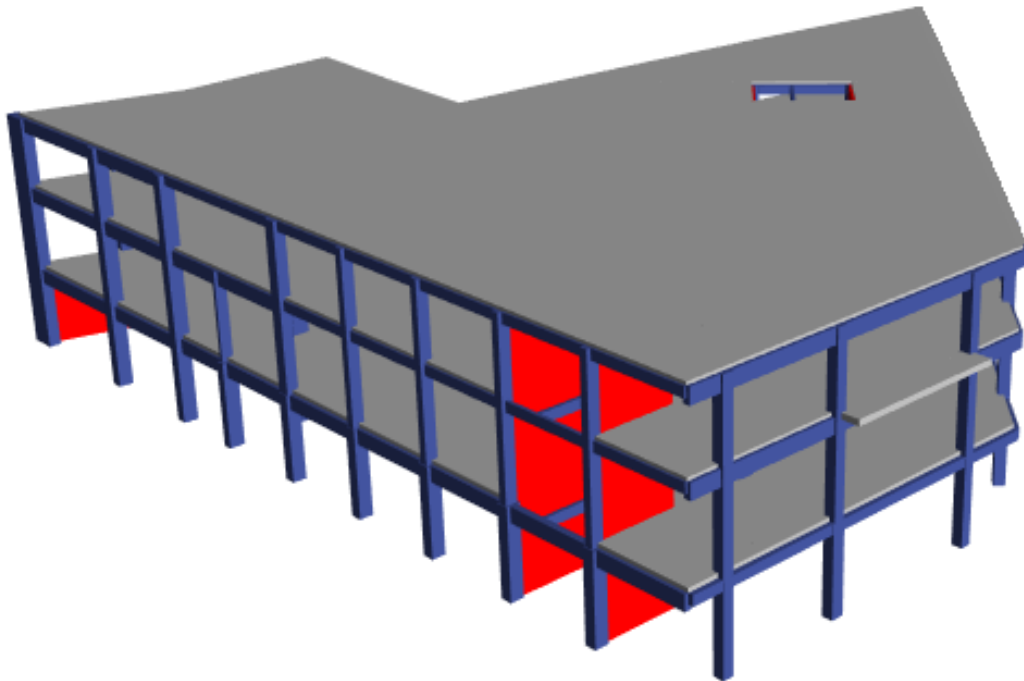




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Αποτίμηση σεισμικής επάρκειας και ενίσχυση
υφιστάμενης κατασκευής με βάση τον
ΚΑΝ.ΕΠΕ.



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνα Μ. Αγγελή
Επιβλέπων: Εμμανουήλ Βουγιούκας

Αθήνα, Μάρτιος 2018

Αγγελή Μ. Κ. (2018)
Αποτίμηση σεισμικής επάρκειας και ενίσχυση υφιστάμενης κατασκευής με βάση
τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.
Διπλωματική Εργασία
Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Angeli M. K. (2018)
Evaluation of seismic adequacy and reinforcement of an existing building based on
KAN.EPE. (Greek Code for Structural Interventions)
Diploma Thesis
Institute of reinforced concrete, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	1
Abstract.....	3
Ευχαριστίες.....	5
1 Εισαγωγή.....	7
2 Βασικές έννοιες Αντισεισμικού Σχεδιασμού.....	9
2.1 Εισαγωγή.....	9
2.2 Πλαστιμότητα.....	9
2.3 Πλαστικές αρθρώσεις.....	10
2.4 Στάθμες επιτελεστικότητας.....	12
2.5 Καμπύλη ικανότητας.....	12
2.6 Καμπύλη F-δ δομικού στοιχείου ή διατομής.....	13
2.7 Πλάστιμα και ψαθυρά στοιχεία.....	15
2.8 Στάθμες επιτελεστικότητας κατασκευής.....	17
2.9 Έλεγχος στοχευόμενης ικανότητας.....	18
2.10 Υπολογισμός στοχευόμενης μετακίνησης.....	18
2.11 Διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τη σεισμική αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών, μέσω στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover).....	19
2.11.1 Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ.).....	19
2.11.2 Βασικές παραδοχές της μεθόδου.....	20
2.11.3 Προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου.....	21
2.11.4 Καθορισμός κόμβου ελέγχου.....	21
2.11.5 Εξιδανικευμένη καμπύλη δύναμης-μετακίνησης.....	21
2.11.6 Υπολογισμός καμπυλότητας $(1/r)_y$ και ροπής M_y στη διαρροή.....	22
2.11.7 Υπολογισμός γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή (θ_y).....	22
2.11.8 Υπολογισμός γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία ($\theta_u-\theta_{pl}$).....	23
2.11.9 Παραμόρφωση κατά την αστοχία από τέμνουσα.....	24
2.11.10 Ενεργός δυσκαμψία στοιχείου.....	25
3 Περιγραφή και προσομοίωση υφιστάμενης κατασκευής.....	27
3.1 Εισαγωγή.....	27
3.2 Μορφολογία κτιρίου.....	28
3.3 Εργασία αποτύπωσης και έλεγχος υλικών.....	30
3.4 Προσομοίωση φορέα.....	31
3.4.1 Ορισμός υλικών.....	31
3.4.2 Ορισμός δοκών και υποστυλωμάτων.....	33
3.4.3 Ορισμός τοιχωμάτων και πλακών.....	34
3.4.4 Στηρίξεις φορέα.....	35
3.4.5 Καθορισμός κατακόρυφων φορτίων.....	36
3.4.6 Καθορισμός οριζόντιων φορτίων.....	36
3.4.7 Ορισμός ταλαντούμενης μάζας.....	38
3.4.8 Προσομοίωση πλαστικών αρθρώσεων.....	39
3.4.8.1 Δοκοί.....	39
3.4.8.2 Ορθογωνικά υποστυλώματα.....	40
3.4.8.3 Κυκλικά υποστυλώματα.....	42
3.4.8.4 Τοιχεία.....	47

4	Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου.....	49
4.1	Εισαγωγή.....	49
4.2	Ιδιομορφική ανάλυση κατασκευής.....	49
4.3	Επιλογή στάθμης επιτελεστικότητας αποτίμησης.....	52
4.4	Έλεγχος ικανοποίησης προϋποθέσεων εφαρμογής της στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover).....	52
4.5	Εφαρμογή της στατικής ανελαστικής ανάλυσης στην κατασκευή.....	52
4.6	Αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων.....	58
4.6.1	Διεύθυνση Χ.....	58
4.6.2	Διεύθυνση Υ.....	61
4.6.3	Γενικά συμπεράσματα από τις αναλύσεις.....	64
5	Ενίσχυση και αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου.....	65
5.1	Εισαγωγή.....	65
5.2	Στρατηγικές και συστήματα επεμβάσεων.....	65
5.3	Μέθοδος ενίσχυσης του κτιρίου.....	67
5.4	Αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων (pushover) ενισχυμένης κατασκευής.....	69
5.4.1	Διεύθυνση Χ.....	70
5.4.2	Διεύθυνση Υ.....	71
5.5	Έλεγχος τοιχείων έναντι τέμνουσας.....	73
5.6	Προσδιορισμός κέντρου στροφής πριν και μετά την ενίσχυση.....	74
6	Συμπεράσματα.....	77
7	Βιβλιογραφία.....	79
	Παράρτημα Α. Πίνακες υπολογισμού γωνίας στροφής χορδής στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος κατά την αστοχία και πλαστικής γωνίας στροφής κατά την καμπτική αστοχία,στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη,σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	81
	Παράρτημα Β. Πίνακες πλαστικών αρθρώσεων.....	83

Αποτίμηση σεισμικής επάρκειας και ενίσχυση υφιστάμενης κατασκευής με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Αγγελή Μ. Κ. (Επιβλέπων: Βουγιούκας Ε.)

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αποτίμηση της σεισμικής επάρκειας ενός υφιστάμενου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις του Ελληνικού Κανονισμού Επεμβάσεων.(ΚΑΝ.ΕΠΕ.) Πιο συγκεκριμένα, έγινε μία εκτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του κτιρίου και διερευνήθηκε, έτσι, η ανάγκη ή όχι ενίσχυσής του, με χρήση της μεθόδου της στατικής ανελαστικής ανάλυσης.(pushover) Η προσομοίωση της κατασκευής, καθώς και όλες οι αναλύσεις, πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό ETABS v15.2.0. Πιο αναλυτικά:

Στο κεφάλαιο 1, παρουσιάζεται το αντικείμενο της εργασίας και ο κανονισμός που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της κατασκευής.

Στο κεφάλαιο 2, γίνεται μία θεωρητική προσέγγιση του αντικειμένου της αποτίμησης της σεισμικής επάρκειας μίας κατασκευής, αναλύοντας ορισμένες βασικές έννοιες των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών και κάνοντας αναφορά σε σχετικές διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται η μορφολογία της κατασκευής που πρόκειται να μελετηθεί και ο τρόπος εισαγωγής της στο λογισμικό. Γίνεται επίσης αναφορά, στον τρόπο προσομοίωσης των πλαστικών αρθρώσεων, σε υποστυλώματα κυκλικής διατομής,

Στο κεφάλαιο 4, περιγράφεται αναλυτικά και εφαρμόζεται στο υπό μελέτη κτίριο η στατική ανελαστική ανάλυση και γίνεται αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του. Μέσω αυτής, τεκμηριώνεται η ανάγκη λήψης μέτρων για την ενίσχυση του κτιρίου.

Στο κεφάλαιο 5, αναφέρονται οι τρόποι ενίσχυσης μίας κατασκευής, επιλέγεται ο καταλληλότερος εξ' αυτών για το υπό εξέταση κτίριο και επαναλαμβάνονται όσα έγιναν στο κεφάλαιο 4, ώστε να ελεγχθεί αν το κτίριο έχει φτάσει το επιθυμητό επίπεδο. Πραγματοποιείται, επίσης, έλεγχος έναντι τέμνουσας στα τοιχεία και προσδιορισμός του κέντρου στροφής της κατασκευής.

Στο κεφάλαιο 6, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν σχετικά με την αντιμετώπιση του προβλήματος που μελετήθηκε και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της συμπεριφοράς του κτιρίου.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF REINFORCED CONCRETE
DIPLOMA THESIS

Evaluation of seismic adequacy and reinforcement of an existing building based on KAN.EPE.

Angeli M. K. (Supervised by Vougioukas E.)

Abstract

This diploma thesis, deals with the evaluation of the seismic adequacy of an existing building made of reinforced concrete, according to the applicable regulations of the Greek Code for Structural Interventions. (KAN.EPE.) Specifically, the carrying capacity of the building was assessed and then the need for reinforcement was investigated, using the method of pushover analysis. The simulation of the building as well as the analysis, were performed using the software ETABS v15.2.0. In more details:

In chapter 1, the subject of the thesis is described, as well as the code used for the analysis.

In chapter 2, a theoretical approach of the evaluation of the seismic capacity is carried out, by analyzing certain terms of the current anti-seismic codes and mentioning relevant provisions of KAN.EPE.

In chapter 3, the morphology of the examined building and its simulation in the software is presented. A method for the simulation of plastic hinges on circular columns is also mentioned.

In chapter 4, pushover analysis is described and applied on the examined building, followed by the evaluation of its carrying capacity. Through this process, the need to take reinforcement measures also emerges.

In chapter 5, alternative ways of structures' reinforcement are mentioned, while the most appropriate of them is chosen and then the process of chapter 4 is repeated, in order to check if the building has reached the desired performance point. Some additional checks are performed on shear walls and the center of rigidity is also calculated.

In chapter 6, the conclusions of the thesis are presented, while commenting the results about the building's behaviour.

Ευχαριστίες

Αρχικά,θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Εμμανουήλ Βουγιούκα,επιβλεποντα της διπλωματικής μου εργασίας,για την καθοδήγησή του και τις γνώσεις που μου μετέφερε καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π. κ.Ιωάννη Καπογιάννη,για τη βοήθεια του σε θέματα λογισμικού.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ,οφείλω και στους Δημήτρη Αγγελή και Κυριακή Χατζοπούλου,που μου παρείχαν με μεγάλη χαρά τη μελέτη και όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και διευκρινήσεις,σχετικά με το κτίριο που μελετήθηκε.

Τέλος,το μεγαλύτερο ευχαριστώ πηγαίνει στην οικογένεια και τους φίλους μου,για τη διαρκή στήριξη και αγάπη τους.

1 Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας, αποτελεί η προσομοίωση και αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς ενός υφιστάμενου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο σχεδιάστηκε το 1973. Σκοπός της αποτίμησης, είναι η εκτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητας του κτιρίου και ο έλεγχος ικανοποίησης των ελάχιστων υποχρεωτικών απαιτήσεων που επιβάλλονται από τους Κανονισμούς. Η συμπεριφορά του κτιρίου εξετάστηκε με τη μέθοδο της στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover) και στη συνέχεια προτάθηκε τρόπος ενίσχυσής του. Ο έλεγχος και η πρόταση ενίσχυσης, έγιναν σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Επεμβάσεων. (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ., λαμβάνει υπ' όψιν τις ιδιαιτερότητες των υφιστάμενων ελληνικών κανονισμών και συνδέει τις απαιτήσεις αντοχής αυτών, με τους σύγχρονους κανονισμούς. (ευρωκώδικες) Σκοπός του, είναι η θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων δομημάτων και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό σχεδιασμό τους, καθώς και για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις.



Σχήμα 1.1 Εξωτερική άποψη του κτιρίου που μελετήθηκε

2 Βασικές έννοιες Αντισεισμικού Σχεδιασμού

2.1 Εισαγωγή

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών με στάθμες επιτελεστικότητας (Performance Based Design), βασίζεται στην αρχή του καθορισμού ενός αποδεκτού επιπέδου ζημιών (στάθμης επιτελεστικότητας), δηλαδή στον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου σεισμικής ικανότητας, ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης της σεισμικής δόνησης σχεδιασμού. Εξετάζεται, έτσι, ο πραγματικός τρόπος που θα συμπεριφερθεί η κατασκευή σε διάφορα επίπεδα ισχύος της σεισμικής δόνησης σχεδιασμού και το αντίστοιχο αναμενόμενο επίπεδο ζημιών, σε αντίθεση με την κλασική μεθοδολογία σχεδιασμού των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών (μέθοδος των δυνάμεων), όπου εξετάζεται η συμπεριφορά της κατασκευής μέχρι να αρχίσουν οι ζημιές (ελαστική απόκριση) και δεν ασχολείται με το τι συμβαίνει μετά.

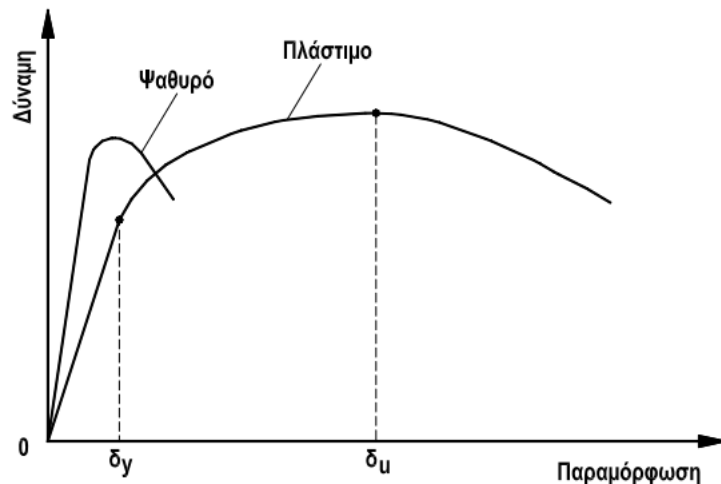
Η μεθοδολογία των σταθμών επιτελεστικότητας, εφαρμόζεται κυρίως για τον έλεγχο και την ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών και αποτελεί το βασικό κορμό των κανονισμών επεμβάσεων. (π.χ. EC8-3, ΚΑΝ.ΕΠΕ., FEMA 365, ATC-40 κλπ) Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της, είναι η γνώση του τρόπου συμπεριφοράς της κατασκευής και πέραν της ελαστικής περιοχής, δηλαδή μετά την εμφάνιση των ζημιών, ως την οιονεί κατάρρευση.

2.2 Πλαστιμότητα

Ο όρος πλαστιμότητα, μπορεί να αναφέρεται σε ένα υλικό, μία κατασκευή ή ακόμα και σε ένα μέλος της κατασκευής και αφορά την ικανότητα τους να υπόκεινται σε πλαστικές παραμορφώσεις, χωρίς απώλεια της φέρουσας ικανότητάς τους. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της, εξαρτάται από το υλικό της κατασκευής και από το στατικό σύστημα. Υλικά με μικρή πλαστιμότητα, χαρακτηρίζονται ως ψαθυρά (π.χ. άοπλο σκυρόδεμα), ενώ υλικά με μεγάλη πλαστιμότητα, χαρακτηρίζονται ως όλκιμα. (π.χ. χάλυβας) Η πλαστιμότητα, εκφράζει την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και καθορίζει το αν μία κατασκευή θα καταρρεύσει στην περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού ή θα απορροφήσει την ενέργειά του, μετατρέποντάς την σε πλαστική παραμόρφωση, χωρίς να θραύεται και χωρίς να μειώνεται η φέρουσα ικανότητά της.

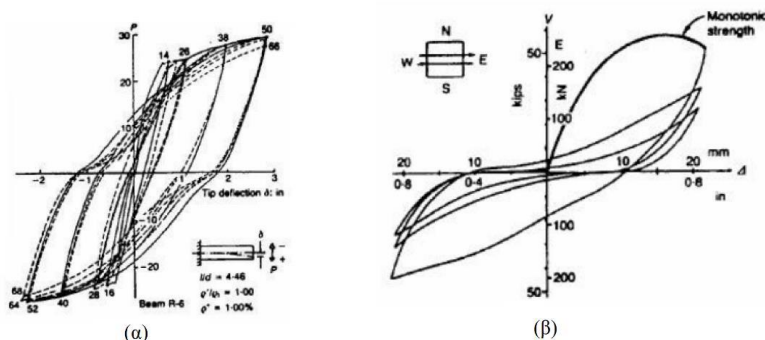
Η πλαστιμότητα μιας πραγματικής κατασκευής, είναι δύσκολο να υπολογισθεί ή ακόμα και να εκτιμηθεί με κάποιο τρόπο. Αυτό, οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι δεν υπάρχουν καθιερωμένες μέθοδοι ή κανονισμοί στους οποίους να υπεισέρχεται άμεσα ως φυσικό μέγεθος. Έτσι, σε επίπεδο κατασκευής, η πλαστιμότητά της εξασφαλίζεται μέσω της πλάστιμης συμπεριφοράς των μελών της.

Για μονοτονική φόρτιση, ένα μέλος έχει πλάστιμη συμπεριφορά όταν παρατηρείται αύξηση των παραμορφώσεων, χωρίς σημαντική μείωση της αντοχής του. Αντίθετα, ένα ψαθυρό μέλος αστοχεί απότομα, μόλις αναλάβει το μέγιστο φορτίο του.



Σχήμα 2.1 Συμπεριφορά ψαθυρού και πλάστιμου μέλους [4]

Για ανακυκλιζόμενη φόρτιση, η οποία είναι χαρακτηριστικό της σεισμικής διέγερσης, οι βρόγχοι υστέρησης δύναμης-παραμόρφωσης ενός μέλους με πλάστιμη συμπεριφορά, είναι σχεδόν σταθεροί ως προς το πλάτος και τη μέγιστη δύναμη, για σταθερό εύρος των κύκλων παραμόρφωσης. Αντίθετα, σε μέλη με ψαθυρή συμπεριφορά, παρατηρείται σημαντική μείωση της φέρουσας ικανότητας και της δυσκαμψίας τους, μετά από λίγους (δύο ή τρεις) κύκλους φόρτισης.

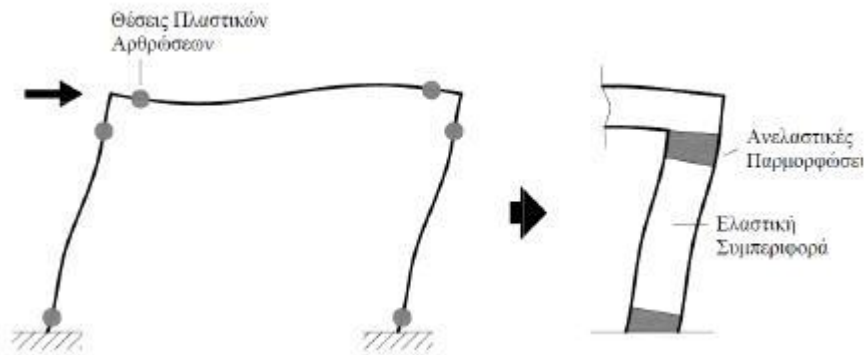


Σχήμα 2.2 Βρόγχοι υστέρησης για (α) πλάστιμη και (β) ψαθυρή συμπεριφορά [4]

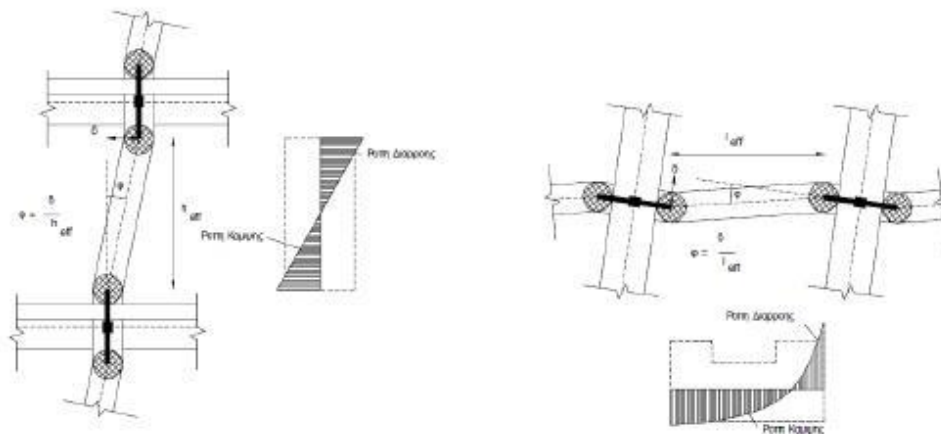
2.3 Πλαστικές αρθρώσεις

Οι κατασκευές, γενικά, σχεδιάζονται έτσι ώστε να συμπεριφερθούν πλαστικά για σεισμικές φορτίσεις. Σκοπός, δηλαδή, είναι η ανάπτυξη σημαντικών ανελαστικών παραμορφώσεων στα μέλη, οι οποίες συμβάλλουν στην απορρόφηση της σεισμικής διέγερσης. Κατά την αποτίμηση υφισταμένων κτιρίων, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα του κτιρίου να απορροφήσει ενέργεια μέσω των ανελαστικών παραμορφώσεων των μελών (πλαστιμότητα), ώστε να προκύψουν ακριβή συμπεράσματα για την ικανότητά του. Έτσι, κατά την εφαρμογή ανελαστικών αναλύσεων απαιτείται η άμεση προσομοίωση της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων, σε όλο το φάσμα της απόκρισής τους. Οι ανελαστικές παραμορφώσεις, αναπτύσσονται στα μέλη μίας κατασκευής, όταν αυτά διαρρεύσουν. Η

εμφάνιση των διαρροών, συνδέεται με την αντοχή των μελών. Όταν η ένταση σε μία διατομή ενός μέλους ξεπεράσει την αντοχή της, τότε το μέλος διαρρέει. Οι θέσεις όπου αναμένεται να αναπτυχθούν ανελαστικές παραμορφώσεις, εντοπίζονται στα άκρα των δοκών και στις κορυφές και βάσεις των υποστυλωμάτων, καθώς και σε περιοχές μεγάλου συγκεντρωμένου φορτίου. Κατά την επιβολή μιας αυξανόμενης έντασης σε μία κατασκευή, τα μέλη της σταδιακά διαρρέουν, δηλαδή μεγαλώνουν τα τμήματα στα άκρα του μέλους, που επιτρέπουν ανελαστική συμπεριφορά. Έτσι, τα μέλη μίας κατασκευής υπό σεισμική φόρτιση αναμένεται να αναπτύξουν ανελαστικές παραμορφώσεις σε περιοχές πεπερασμένου μήκους, οι οποίες αναφέρονται ως πλαστικές αρθρώσεις. Κατά το σχηματισμό τους, συντελείται ανακατανομή της έντασης στην κατασκευή και έτσι το φορτίο που μπορεί να αντισταθεί μία πλαστική κατασκευή, αυξάνεται.



Σχήμα 2.3 Πιθανές θέσεις σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων [4]



Σχήμα 2.4 Πλαστικές αρθρώσεις και διαγράμματα ροπών [4]

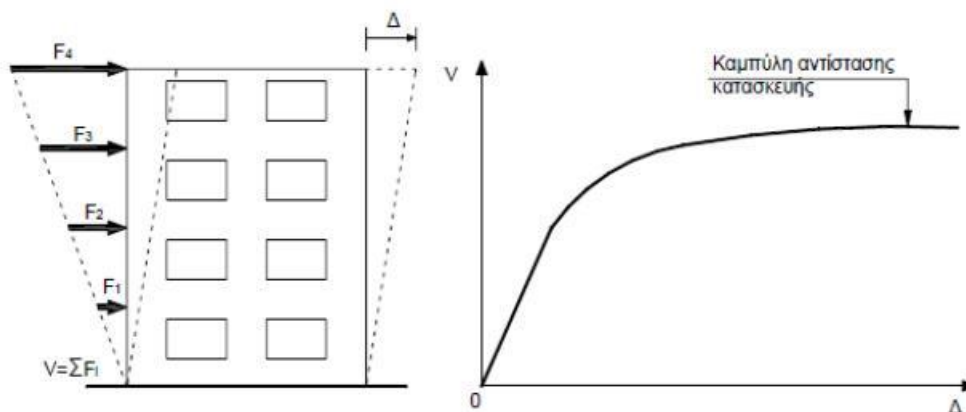
2.4 Στάθμες επιτελεστικότητας

Όλοι οι κανονισμοί ορίζουν, με μικροδιαφορές, τρεις βασικές στάθμες επιτελεστικότητας για το φέροντα οργανισμό και τα μη-φέροντα στοιχεία, ανάλογα με το επίπεδο βλαβών. Οι στάθμες αυτές, είναι οι εξής:

- ✓ Άμεση Χρήση (Immediate Occupancy) : Το επίπεδο βλαβών του φέροντα οργανισμού στη στάθμη αυτή, είναι τέτοιο ώστε καμία λειτουργία να μη διακόπτεται μετά ή κατά τη διάρκεια του σεισμού. Επιτρέπονται, έτσι, μόνο μερικές αραιές τριχοειδείς ρωγμές καμπτικού χαρακτήρα, οι οποίες δεν επηρεάζουν την ικανότητα της κατασκευής να φέρει τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία της. Ο κίνδυνος τραυματισμού ατόμων από τις βλάβες, είναι αμελητέος. Στα μη-φέροντα στοιχεία, επιτρέπονται μικρές μόνο βλάβες, οι οποίες δεν επηρεάζουν τις βασικές λειτουργίες. (στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. αναφέρεται ως 'Περιορισμένες βλάβες (Α)')
- ✓ Προστασία Ζωής (Life Safety) : Στη στάθμη αυτή, αναμένεται να εμφανιστούν βλάβες στο φέροντα οργανισμό, οι οποίες είναι επισκευάσιμες και δεν αποτελούν ατία απώλειας της στατικής ευστάθειας της κατασκευής ή σοβαρού τραυματισμού ατόμων ή σημαντικών ζημιών σε αντικείμενα που βρίσκονται στην κατασκευή. Για την επαναχρησιμοποίηση της κατασκευής μετά το σεισμό, απαιτείται να επικευστούν οι βλάβες. Στα μη-φέροντα στοιχεία αναμένονται βλάβες, οι οποίες όμως δεν αποτελούν κίνδυνο, για άτομα εντός ή εκτός της κατασκευής. (στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. αναφέρεται ως 'Σημαντικές βλάβες (Β)')
- ✓ Οικονομική Κατάρρευση (Structural Stability) : Στον φέροντα οργανισμό, αναμένεται να εμφανιστούν εκτεταμένες, μη-επισκευάσιμες καταπλεονόνητες βλάβες. Ο φέρον οργανισμός, έχει ακόμα την ικανότητα να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του, αλλά η οριζόντια δυσκαμψία και η ικανότητα αντίστασης σε οριζόντια φορτία, έχουν μειωθεί σημαντικά, με αποτέλεσμα η κατασκευή να μη διαθέτει άλλα περιθώρια ασφάλειας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης. Υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης σε μετασεισμούς και σοβαρού τραυματισμού ατόμων. Για την επαναχρησιμοποίηση της κατασκευής, απαιτούνται εκτεταμένες επιδιορθώσεις, ενώ είναι πιθανόν να μην είναι δυνατή η επισκευή της. Στα μη-φέροντα στοιχεία, αναμένονται επίσης σημαντικές βλάβες. (στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. αναφέρεται ως 'Οικονομική κατάρρευση (Γ)')

2.5 Καμπύλη ικανότητας

Ο καθορισμός των διάφορων σταθμών επιτελεστικότητας, γίνεται πάνω στην καμπύλη ικανότητας της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη μη-γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετακίνησης της κορυφής. Η κατασκευή της καμπύλης ικανότητας, γίνεται με υπολογισμό της ανελαστικής μετακίνησης της κορυφής, για διάφορες τιμές του οριζόντιου φορτίου, με δεδομένη κατανομή φορτίων στους ορόφους.



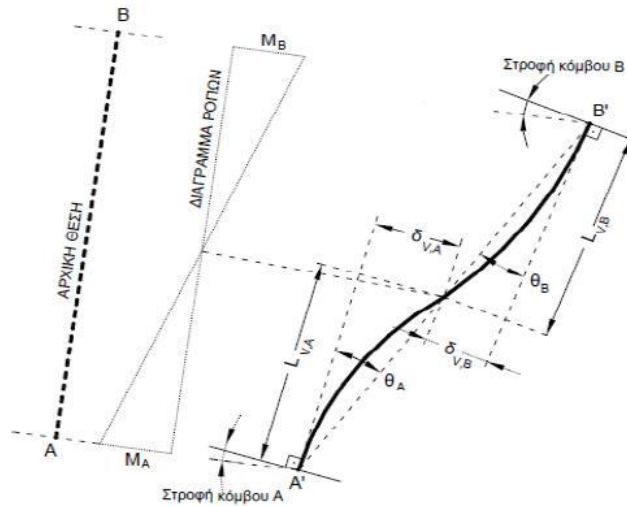
Σχήμα 2.5 Καμπύλη ικανότητας πολυώροφου κτιρίου [4]

Ως κατανομή των φορτίων καθ' ύψος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τριγωνική κατανομή, η ομοιόμορφη, η 1^η ιδιομορφή ή και συνδυασμοί με συμμετοχή ανωτέρων ιδιομορφών. Για την κατασκευή της καμπύλης ικανότητας, γίνονται πολλές στατικές επιλύσεις με σταδιακή αύξηση της τέμνουσας βάσης και υπολογισμός της μετακίνησης κορυφής σε κάθε βήμα. (μεθοδολογία pushover), λαμβάνοντας υπ' όψιν τη μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων που έχουν διαρρεύσει σε κάθε βήμα.

2.6 Καμπύλη F-δ δομικού στοιχείου ή διατομής

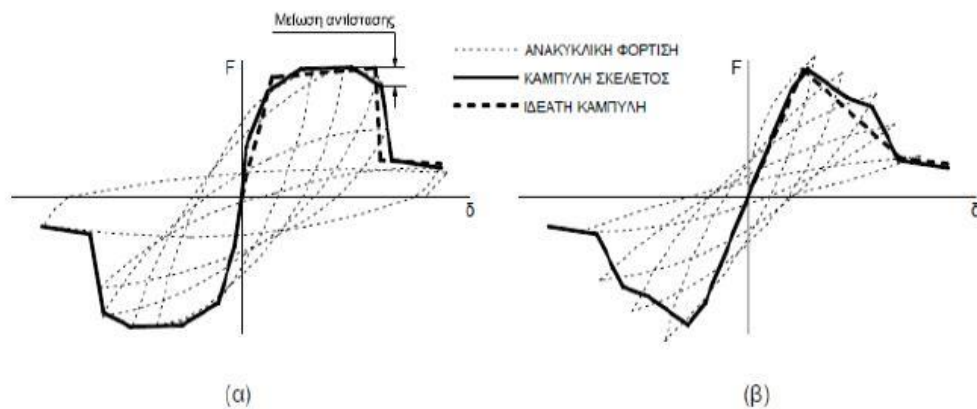
Το πρώτο βήμα για την κατασκευή της καμπύλης ικανότητας, είναι ο καθορισμός των νόμων που διέπουν την ανελαστική συμπεριφορά των μελών της κατασκευής, οι οποίοι περιγράφονται μέσω διαγραμμάτων F-δ (εντατικά μεγέθη-παραμορφώσεις ή σχετικές μετακινήσεις.)

Σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, όπου οι καμπτικές και οι διατμητικές παραμορφώσεις συνυπάρχουν και οι στροφές των ακραίων διατομών των στοιχείων επηρεάζονται και από την εξόλκευση των οπλισμών στις αγκυρώσεις, η καταλληλότερη επιλογή F και δ, είναι η ροπή κάμψης και η γωνία στροφής χορδής θ στα άκρα του στοιχείου. Η γωνία θ, ορίζεται ως το σημείο μηδενισμού των ροπών, δηλαδή ως η γωνία στροφής της χορδής που ενώνει τη βάση με την κορυφή ενός θεωρητικού προβόλου, με μήκος ίσο με το διατμητικό μήκος L_v . Έτσι, ισχύει: $\theta = \delta_v / L_v$ και $L_v = M / V$, όπου δ_v είναι η μετατόπιση στην κορυφή του θεωρητικού προβόλου.



Σχήμα 2.6 Ορισμός γωνίας στροφής χορδής θ [4]

Η κατασκευή των διαγραμμάτων F- δ των στοιχείων, έχει συνήθως ιδεατή πολυγωνική μορφή, η οποία βασίζεται στη σπονδυλωτή καμπύλη (backbone curve) της συμπεριφοράς σε ανακυκλική φόρτιση. (Σχήμα 2.7)



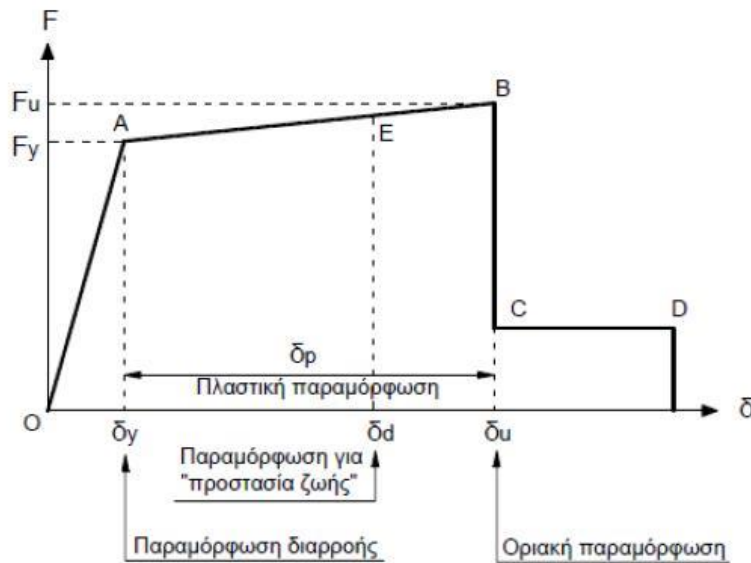
Σχήμα 2.7 Καμπύλες F- δ δομικών στοιχείων για (α) καμπτική και (β) διατμητική συμπεριφορά [4]

Η γενική μορφή του διαγράμματος F- δ , λαμβάνεται συνήθως με την ιδεατή μορφή του Σχήματος 2.8 και οι κλάδοι του ορίζονται ως εξής:

- ✓ Τμήμα OA: Αντιπροσωπεύει την ελαστική συμπεριφορά μέχρι το θεωρητικό σημείο διαρροής. Η κλίση της ευθείας, ορίζει την τέμνουσα δυσκαμψία που λαμβάνεται στην ελαστική ανάλυση. Εάν η παραμόρφωση δίνεται σε όρους στροφής χορδής, η τιμή της στροφής διαρροής θ_y , θα πρέπει να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη εκτός από την καμυλότητα διαρροής C_y και τη συμμετοχή των διατμητικών παραμορφώσεων και της πιθανής ολίσθησης του οπλισμού στις αγκυρώσεις.
- ✓ Τμήμα AB: Αντιπροσωπεύει τη μετελαστική συμπεριφορά του στοιχείου, μέχρι τη θεωρητική αστοχία. (Σημείο B) Το σημείο B, ορίζεται από την οριακή παραμόρφωση αστοχίας δ_u , που ορίζεται ως η παραμόρφωση για την οποία έχει

συμβεί ουσιαστική μείωση της ικανότητας παραλαβής φορτίων. Συνήθως, το σημείο αυτό αντιστοιχεί σε μείωση της αντοχής κατά 20% σε σύγκριση με τη μέγιστη τιμή της. Πολλές φορές η κλίση του κλάδου AB λαμβάνεται οριζόντια και έτσι η αντίσταση διαρροής F_y , μπορεί να ληφθεί ίση με την οριακή αντίσταση F_u , για τον κρίσιμο τρόπο αστοχίας. Η παραμόρφωση $\delta_p = \delta_u - \delta_y$, καθορίζει την ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης της διατομής.

- ✓ Τμήμα CD: Αντιπροσωπεύει την απομένουσα ικανότητα του στοιχείου. Συνήθως, μετά την παραμόρφωση αστοχίας δ_u , η ικανότητα ενός μέλους να παραλάβει σεισμικά φορτία μειώνεται σημαντικά, χωρίς όμως να μηδενίζεται και έτσι μπορεί να συνεχίσει να παραλαμβάνει κατακόρυφα φορτία. Στο σημείο D, θεωρείται ότι το στοιχείο χάνει την ικανότητα να παραλαμβάνει και κατακόρυφα φορτία. Η τιμή της απομένουσας αντοχής, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Συνήθως, λαμβάνεται με το 20% της οριακής αντοχής.
- ✓ Στάθμες επιτελεστικότητας E: Στην καμπύλη F- δ του δομικού στοιχείου, ορίζονται οι στάθμες επιτελεστικότητας, με βάση τις αντίστοιχες παραμορφώσεις δ_d . Στο Σχήμα 2.8, το σημείο E αντιστοιχεί στη στάθμη επιτελεστικότητας 'Προστασία Ζωής'. Ο ορισμός των σταθμών επιτελεστικότητας, δίνεται στους διάφορους κανονισμούς, ανάλογα με το είδος του στοιχείου (δοκός, υποστύλωμα, κτλ), τον τρόπο αστοχίας (πλάστιμος ή ψαθυρός) και την κατηγοριοποίηση του στοιχείου σε πρωτεύον ή δευτερεύον.



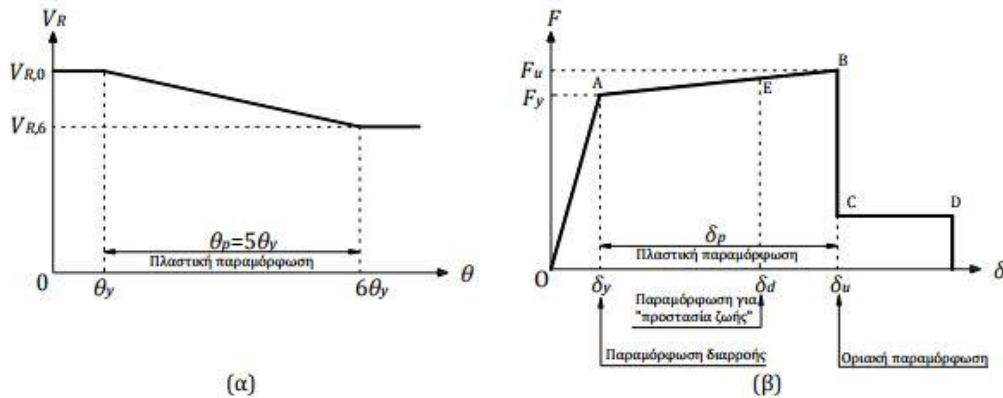
Σχήμα 2.8 Ιδεατή καμπύλη F- δ δομικών στοιχείων [4]

2.7 Πλάστιμα και ψαθυρά στοιχεία

Σε περιπτώσεις πλάστιμων στοιχείων, η αστοχία σε κάμψη, προηγείται της αστοχίας σε διάτμηση. Κρίσιμες είναι οι παραμορφώσεις και έτσι ο ορισμός των σταθμών επιτελεστικότητας, γίνεται σε όρους παραμορφώσεων. Αντίθετα, σε ψαθυρά στοιχεία, όπου η αστοχία σε διάτμηση προηγείται της κάμψης, ο ορισμός γίνεται σε όρους δυνάμεων.

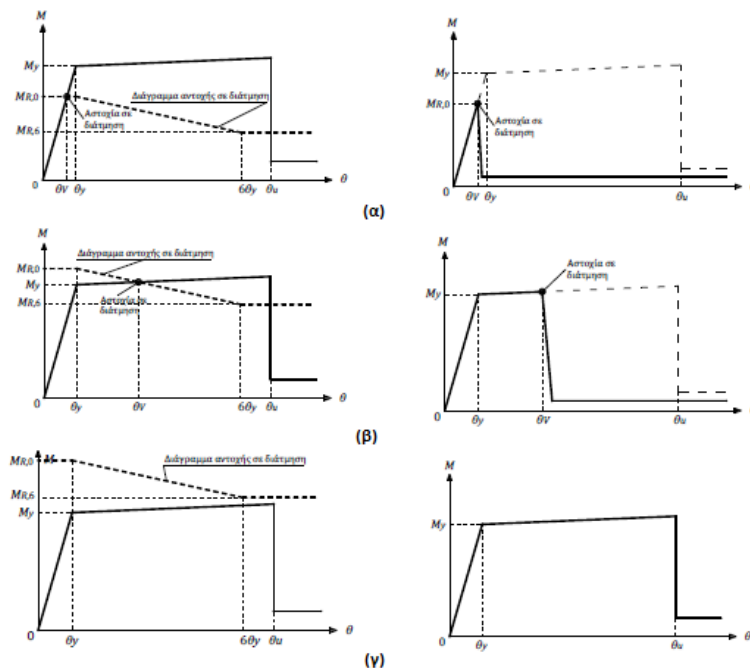
Για τον καθορισμό του τελικού διαγράμματος F- δ , πρέπει να ελεγχθεί αν η αστοχία σε τέμνουσα, προηγείται της αστοχίας σε κάμψη. Για αυτό, καθορίζεται η αρχική

διατμητική αντοχή $V_{R,0}$ και ο τρόπος που μειώνεται μετά τη διαρροή σε κάμψη. Η μείωση της διατμητικής αντοχής μετά τη διαρροή σε κάμψη, είναι ανάλογη της πλαστιμότητας στροφών μ_θ . Επομένως, ο έλεγχος πρέπει να γίνεται για την τέμνουσα αντοχής που αντιστοιχεί στην εκάστοτε μ_θ , δηλαδή στην εκάστοτε στροφή χορδής θ . Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ., η μείωση της αντοχής σε τέμνουσα εφαρμόζεται για γωνίες στροφής $\theta_y < \theta < 6\theta_y$. (Σχήμα 2.9(α)) Για στροφές μεγαλύτερες από $6\theta_y$, η αντοχή σε τέμνουσα θεωρούμε ότι παραμένει σταθερή.



Σχήμα 2.9 (α) Μεταβολή της αντοχής σε τέμνουσα V_R , με τη γωνία στροφής χορδής θ , (β) Μετατροπή του διαγράμματος, σε διάγραμμα ροπής-στροφής χορδής $M_R-\theta$ [4]

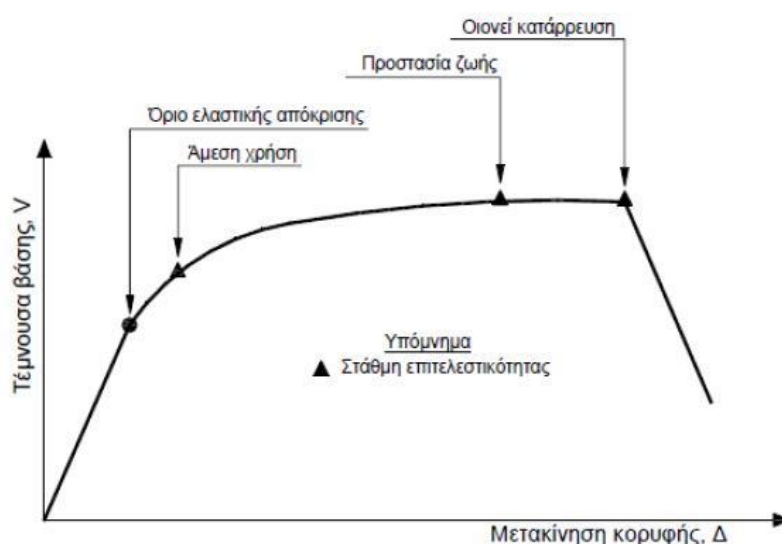
Για τον καθορισμό του τελικού διαγράμματος $M-\theta$, μετατρέπουμε το διάγραμμα $V_R-\theta$ σε διάγραμμα $M_R-\theta$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9, όπου $M_R = V_R L_V$. Στη συνέχεια, τοποθετείται το διάγραμμα $M_R-\theta$, πάνω στο $M-\theta$, που περιγράφει τη συμπεριφορά σε κάμψη. Με τον τρόπο αυτό, διακρίνονται οι τρεις διαφορετικές περιπτώσεις του Σχήματος 2.10.



Σχήμα 2.10 (α) Αστοχία σε διάτμηση, πριν τη διαρροή σε κάμψη και αντίστοιχο διάγραμμα $M-\theta$ (β) Αστοχία σε διάτμηση, μετά τη διαρροή σε κάμψη, αλλά πριν την αστοχία σε κάμψη και αντίστοιχο διάγραμμα $M-\theta$, (γ) Αστοχία μόνο σε κάμψη και αντίστοιχο διάγραμμα $M-\theta$. [4]

2.8 Στάθμες επιτελεστικότητας κατασκευής

Αφού καθοριστούν οι καμπύλες F- δ που περιγράφουν τη συμπεριφορά των στοιχείων της κατασκευής και οι στάθμες επιτελεστικότητας κάθε στοιχείου πάνω στην αντίστοιχη καμπύλη, είναι πλέον δυνατό να κατασκευαστεί η καμπύλη ικανότητας όλης της κατασκευής και να τοποθετηθούν πάνω σε αυτή τα σημεία που αντιστοιχούν στις διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας συνολικά για την κατασκευή, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.11. Ο καθορισμός των σημείων επιτελεστικότητας πάνω στην καμπύλη ικανότητας, δεν είναι γενικά προφανής, καθώς μια στάθμη επιτελεστικότητας της κατασκευής ως σύνολο, δεν προκύπτει αναγκαστικά από τη μετακίνηση κορυφής που αντιστοιχεί στη στιγμή που το πρώτο στοιχείο της κατασκευής, φτάνει στην αντίστοιχη στάθμη. Αυτό, συμβαίνει διότι η κατασκευή αποτελείται από πολλά στοιχεία και είναι πιθανόν ένα μικρό ποσοστό των στοιχείων να έχει περάσει κάποια στάθμη επιτελεστικότητας, αλλά η κατασκευή ως σύνολο να βρίσκεται ακόμη κάτω από την αντίστοιχη στάθμη.



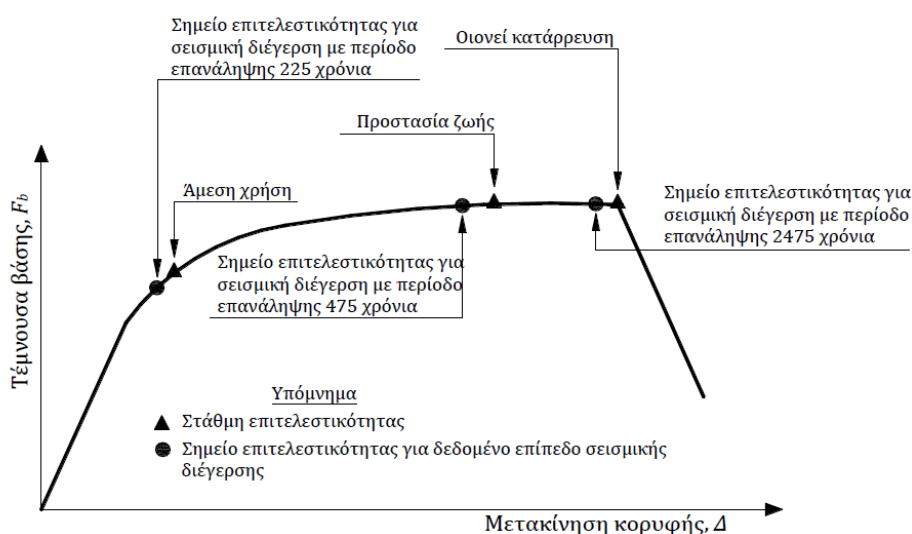
Σχήμα 2.11 Ορισμός σταθμών επιτελεστικότητας, πάνω στην καμπύλη ικανότητας [4]

Για το λόγο αυτό, γίνεται ο διαχωρισμός των στοιχείων σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα. Ως πρωτεύοντα, ορίζονται τα στοιχεία που συμβάλλουν στην αντοχή και την ευστάθεια της κατασκευής υπό σεισμικά φορτία, ενώ όλα τα υπόλοιπα χαρακτηρίζονται ως δευτερεύοντα. Για κάθε επίπεδο επιτελεστικότητας, οι επιτρεπόμενες παραμορφώσεις και οι αναμενόμενες βλάβες που αντιστοιχούν στα δευτερεύοντα στοιχεία, είναι μεγαλύτερες από αυτές των πρωτεύοντων. Έτσι, ο μηχανικός έχει τη δυνατότητα να ορίσει κάποια μέλη της κατασκευής στα οποία έχει υπερβληθεί η επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας ως δευτερεύοντα, μετατοπίζοντας έτσι το αντίστοιχο σημείο επιτελεστικότητας της κατασκευής προς τα δεξιά, στη μετακίνηση Δ , που αντιστοιχεί στο σημείο που το πρώτο πρωτεύον στοιχείο φτάνει στην αντίστοιχη στάθμη επιτελεστικότητας.

2.9 Έλεγχος στοχευόμενης ικανότητας

Για να ελεγχθεί αν μία κατασκευή ικανοποιεί κάποια στάθμη επιτελεστικότητας, πρέπει να ελεγχθεί αν για το σεισμό σχεδιασμού με την αντίστοιχη περίοδο επανάληψης, η αναμενόμενη μετακίνηση της κατασκευής (στοχευόμενη μετακίνηση-target displacement), αντιστοιχεί σε σημείο επιτελεστικότητας πάνω στην καμπύλη ικανότητας, που βρίσκεται πριν την αντίστοιχη στάθμη επιτελεστικότητας.

Για τη στοχευόμενη μετακίνηση που αντιστοιχεί σε κάποια στάθμη σεισμικής δόνησης, μπορεί να ελεγχθεί σε ποιο σημείο της δικής του καμπύλης F-δ, βρίσκεται κάποιο στοιχείο. Στοιχεία στα οποία υπάρχει υπέρβαση της επιθυμητής στάθμης επιτελεστικότητας, πρέπει να ενισχυθούν και να επαναληφθεί η διαδικασία.



Σχήμα 2.12 Σύγκριση σημείου επιτελεστικότητας για το σεισμό σχεδιασμού και αντίστοιχες στάθμες επιτελεστικότητας [4]

2.10 Υπολογισμός στοχευόμενης μετακίνησης

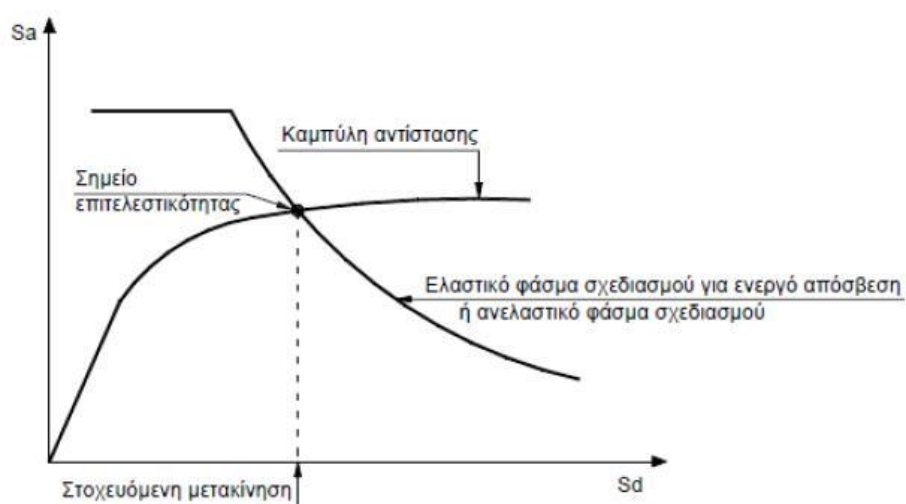
Ο ακριβέστερος τρόπος υπολογισμού της στοχευόμενης μετακίνησης, είναι με μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας, μέθοδος που γενικά απαιτεί εξειδικευμένα προγράμματα και σημαντικό υπολογιστικό χρόνο, ενώ τα αποτελέσματα δεν είναι κατ' ανάγκη αξιόπιστα, καθώς εξαρτώνται από την επιλογή της σεισμικής δράσης. Απλοποιητικά, μπορεί να χρησιμοποιηθούν άλλες προσεγγιστικές μέθοδοι, όπως η μέθοδος των συντελεστών ή η στατική μη γραμμική ανάλυση (pushover), η ακρίβεια των οποίων είναι όμως αμφισβητήσιμη.

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με αυτές τις 'στατικές' μεθόδους, δεν είναι γενικά ικανοποιητική. Αυτό οφείλεται, στο γεγονός ότι βασίζονται στην απόκριση ενός ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος και ο υπολογισμός της απόκρισης της κατασκευής σε κάθε όροφο, γίνεται με βάση την παραμόρφωση της, για συγκεκριμένη κατανομή φορτίων καθ' ύψος.

Η γενική φιλοσοφία υπολογισμού που ακολουθείται, είναι ότι για τη στοχευόμενη μετακίνηση, η ικανότητα της κατασκευής να παραλαμβάνει σεισμικά φορτία (capacity), πρέπει να είναι ίδια με την αντίστοιχη απαίτηση, σύμφωνα με το φάσμα

σχεδιασμού.(demand) Το σημείο επιτελεστικότητας,δηλαδή,προκύπτει ως το σημείο τομής του φάσματος ικανότητας της κατασκευής σε μορφή ADRS και του ανελαστικού φάσματος,επίσης σε μορφή ADRS,για την αντίστοιχη πλαστιμότητα ή του ελαστικού φάσματος για την ενεργό απόσβεση.(Σχήμα 2.13)

Αφού υπολογιστεί η αναμενόμενη μετακίνηση της κορυφής της κατασκευής,σημειώνεται στην καμπύλη ικανότητας το αντίστοιχο σημείο επιτελεστικότητας,για τη συγκεκριμένη σεισμική διέγερση.Η διαδικασία αυτή,επαναλαμβάνεται για όλες τις στάθμες επιτελεστικότητας για τις οποίες γίνεται έλεγχος.Διαπιστώνεται,έτσι,αν έχει υπερβληθεί ή όχι κάποιος στόχος σεισμικής ικανότητας.



Σχήμα 2.13 Προσδιορισμός της στοχευόμενης μετακίνησης του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος [4]

2.11 Διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τη σεισμική αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών,μέσω στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover)

Η αποτίμηση υφιστάμενων δομημάτων,ακολουθεί γενικά τα εξής βήματα:

- ✓ Συλλογή στοιχείων (έρευνα του ιστορικού του δομήματος)
- ✓ Ανάλυση
- ✓ Έλεγχος οριακών καταστάσεων

2.11.1 Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ.)

Στις υφιστάμενες κατασκευές,οι αριθμητικές τιμές των δεδομένων που υπεισέρχονται στην αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό,ενδέχεται να υπόκεινται σε σφάλματα,σημαντικότερα από ότι στην περίπτωση νέων κατασκευών.Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων,εκφράζει την επάρκεια των πληροφοριών περί του υφισταμένου κτιρίου και λαμβάνεται υπ'όψιν κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό.Εφαρμόζεται και για την πληρότητα της αποτύπωσης του φέροντος οργανισμού και των τοιχοπληρώσεων.

Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ., διακρίνονται οι εξής Σ.Α.Δ.:

- ✓ Υψηλή
- ✓ Ικανοποιητική
- ✓ Ανεκτή

Γενικά, προσδιορίζονται επιμέρους Σ.Α.Δ. για τις διάφορες κατηγορίες πληροφοριών (π.χ. υλικά και γεωμετρία) και τελικά για την ανάλυση, χρησιμοποιείται η δυσμενέστερη από αυτές.

Οι επιπτώσεις της αβεβαιότητας στις αριθμητικές τιμές των δεδομένων ή στην αποτύπωση, λαμβάνονται υπόψη στις δράσεις ή τις αντιστάσεις, αφού μέσω της Σ.Α.Δ., ορίζονται και οι συντελεστές ασφαλείας που θα ληφθούν υπόψη στις αναλύσεις.

2.11.2 Βασικές παραδοχές της μεθόδου

Κύριος στόχος της ανελαστικής στατικής ανάλυσης, είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία, όταν το κτίριο υπόκειται στη σεισμική δράση, για την οποία γίνεται η αποτίμηση. Οι βασικές παραδοχές της μεθόδου, είναι οι εξής:

- ✓ Στη στατική ανελαστική ανάλυση, το προσομοίωμα του κτιρίου θα συνεκτιμά με άμεσο τρόπο, τα μη-γραμμικά χαρακτηριστικά του νόμου δύναμης-παραμόρφωσης των δομικών στοιχείων.
- ✓ Το προσομοίωμα αυτό, θα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία κατανομημένα κατά τρόπο ανάλογο με τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, τα οποία θα αυξάνονται μονότονα, εν γένει μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο δεν είναι πλέον σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Από την ανάλυση αυτή, προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου, η οποία εν γένει χαράσσεται σε όρους τέμνουσας βάσης-μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου του κτιρίου (κόμβος ελέγχου), το οποίο συνήθως λαμβάνεται στην κορυφή του. Η καμπύλη αυτή, αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας.
- ✓ Αφού επιλεγεί η σεισμική δράση αποτίμησης, ο έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας γίνεται για τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου που αντιστοιχεί στη σεισμική αυτή δράση. Ελέγχεται ότι για τη μετακίνηση αυτή, η παραμόρφωση (γωνία στροφής κατά ή μετά τη διαρροή) των πλαστικών δομικών στοιχείων, δε συνεπάγεται βαθμό βλάβης μεγαλύτερο από εκείνον που γίνεται ανεκτός, για τη σκοπούμενη στάθμη επιτελεστικότητας του κτιρίου.
- ✓ Όταν δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου (στοχευόμενη μετακίνηση δ_i) που προκαλείται από τη σεισμική δράση αποτίμησης, μπορεί να εκτιμηθεί με βάση το φάσμα μετακινήσεων που αντιστοιχεί σε πλαστιμότητα, συμβατή με τη μετακίνηση του κτιρίου.
- ✓ Για τον προσδιορισμό της στοχευόμενης μετακίνησης, επιτρέπεται η χρήση ευρέως αποδεκτών μεθόδων.

2.11.3 Προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου

- Η στατική ανελαστική μέθοδος, συνίσταται να εφαρμόζεται σε κτίρια, όπου:
- ✓ Διασφαλίζεται τουλάχιστον 'Ικανοποιητική' Σ.Α.Δ.
 - ✓ Η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν είναι σημαντική. Αν η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών είναι σημαντική, τότε επιτρέπεται να εφαρμόζεται η στατική ανελαστική ανάλυση σε συνδυασμό όμως με μία συμπληρωματική δυναμική ελαστική ανάλυση. Στην περίπτωση αυτή, διεξάγονται όλοι οι έλεγχοι και με τις δύο μεθόδους, ενώ επιτρέπεται μία αύξηση κατά 25% των τιμών των παραμέτρων που υπεισέρχονται στα κριτήρια ελέγχου και των δύο μεθόδων.

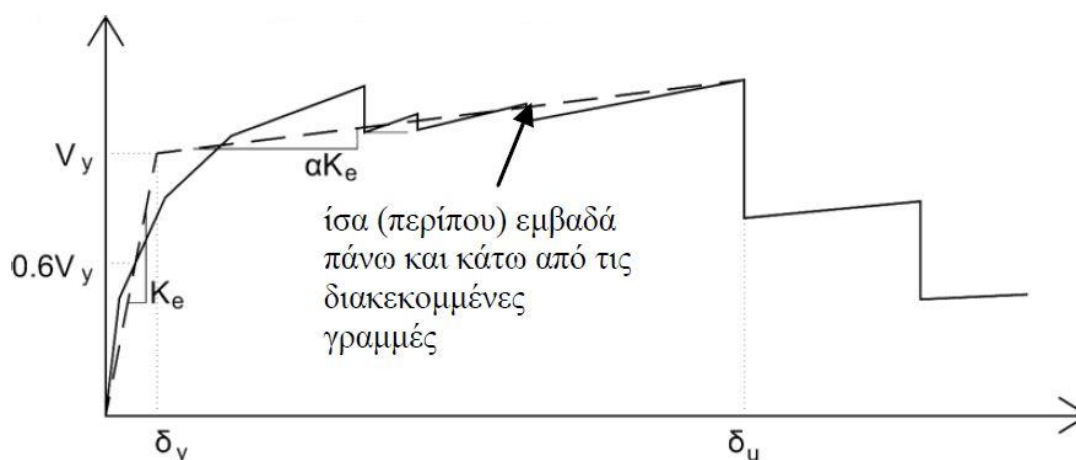
2.11.4 Καθορισμός κόμβου ελέγχου

Ο κόμβος ελέγχου της στοχευόμενης μετακίνησης, θα λαμβάνεται εν γένει στο κέντρο μάζας της οροφής του κτιρίου. Για κτίρια με σοφίτες ή μικρούς οικίσκους στο δώμα, ο κόμβος ελέγχου θα λαμβάνεται στην οροφή του πλήρους υποκειμένου ορόφου. Η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου θα υπολογίζεται από την ανάλυση του προσομοιώματος, για τα οριζόντια στατικά φορτία.

2.11.5 Εξιδανικευμένη καμπύλη δύναμης-μετακίνησης

Η μη-γραμμική σχέση δύναμης-μετακίνησης, που συνδέει την τέμνουσα βάσης και τη μετακίνηση του κόμβου ελέγχου, μετατρέπεται σε μια εξιδανικευμένη καμπύλη για τον υπολογισμό της ισοδύναμης πλευρικής δυσκαμψίας K_e και της αντίστοιχης δύναμης διαρροής V_y του κτιρίου.

Η εξιδανικευμένη καμπύλη αντίστασης, συνίσταται να είναι διγραμμική με κλίση πρώτου κλάδου K_e και κλίση δεύτερου κλάδου ίση με αK_e . Οι δύο ευθείες που συνθέτουν τη διγραμμική καμπύλη, μπορεί να προσδιορίζονται γραφικά, με κριτήριο την ισότητα των εμβαδών των χωρίων, που προκύπτουν εκατέρωθεν της εξιδανικευμένης καμπύλης.



Σχήμα 2.14 Εξιδανίκευση μίας σχηματικής καμπύλης αντίστασης, με διγραμμική καμπύλη [1]

2.11.6 Υπολογισμός καμπυλότητας $(1/r)_y$ και ροπής M_y στη διαρροή

Οι σχέσεις που περιλαμβάνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον υπολογισμό των ανελαστικών χαρακτηριστικών ενός στοιχείου, ισχύουν γενικά για διατομές με σταθερό πλάτος θλιβόμενης ζώνης. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό της καμπυλότητας και της ροπής διαρροής, είναι η παρακάτω:

- ✓ Αν η διαρροή της διατομής, οφείλεται σε διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού $\rightarrow (1/r)_y = \frac{f_y}{E_s(1-\xi_y)d}$
- ✓ Αν η διαρροή οφείλεται σε μη-γραμμικότητα των παραμορφώσεων του θλιβόμενου σκυροδέματος $\rightarrow (1/r)_y = \frac{\varepsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1,8f_c}{E_c \xi_y d}$ και λαμβάνεται η μικρότερη εκ των δύο τιμή
- ✓ Ύψος θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή, ανηγμένο στο στατικό ύψος $d \rightarrow \xi_y = (\alpha^2 A^2 + 2\alpha B)^{1/2} - \alpha A$, όπου $\alpha = E_s/E_c$ και τα A, B προσδιορίζονται ανάλογα με το αν η διαρροή ελέγχεται από τον εφελκόμενο οπλισμό ή από το θλιβόμενο σκυροδέμα.

I. Διαρροή λόγω χάλυβα

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + \frac{N}{bdf_y} \quad \text{και} \quad B = \rho + \rho' \delta' + 0,5\rho_v(1 + \delta') + \frac{N}{bdf_y}$$

II. Διαρροή λόγω παραμορφώσεων σκυροδέματος

$$A = \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{\varepsilon_c E_s b d} \approx \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{1,8\alpha b d f_c} \quad \text{και} \quad B = \rho + \rho' \delta' + 0,5\rho_v(1 + \delta')$$

Όπου ρ, ρ' και ρ_v , είναι τα ποσοστά του εφελκόμενου, του θλιβόμενου και του μεταξύ τους καταναμημένου οπλισμού (ανηγμένα στο bd), $\delta' = d'/d$, όπου d' η απόσταση από το κέντρο του θλιβόμενου οπλισμού μέχρι την ακραία θλιβόμενη ίνα σκυροδέματος, b το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης και N το αξονικό φορτίο. (θετικό σε θλίψη)

- ✓ Με δεδομένη την καμπυλότητα στη διαρροή, η αντίστοιχη ροπή M_y , προκύπτει ως:

$$\frac{M_y}{bd^3} = (1/r)_y \left\{ E_c \frac{\xi_y^2}{2} \left[0,5(1 + \delta') - \frac{\xi_y}{3} \right] + \left[(1 - \xi_y)\rho + (\xi_y - \delta')\rho' + \frac{\rho_v}{6}(1 - \delta') \right] (1 - \delta') \frac{E_s}{2} \right\}$$

2.11.7 Υπολογισμός γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή (θ_y)

Η γωνία στροφής χορδής στη διαρροή, δίνεται από τη γενική σχέση $\theta_y = \theta_{fl} + \theta_{sh} + \theta_{slip}$, όπου ο όρος θ_{fl} εκφράζει την παραμόρφωση λόγω κάμψης, ο όρος θ_{sh} την παραμόρφωση λόγω διάτμησης και ο όρος θ_{slip} την παραμόρφωση λόγω ολίσθησης του οπλισμού, από την περιοχή αγκύρωσής του.

Οι σχέσεις που προτείνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τον υπολογισμό της γωνίας στροφής χορδής, είναι οι εξής:

- ✓ Για δοκούς ή υποστυλώματα →

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0,0014 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{(1/r)_y d b f_y}{8 \sqrt{f_c}}$$

- ✓ Για τοιχώματα → $\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0,0013 + \frac{(1/r)_y d b f_y}{8 \sqrt{f_c}}$

Όπου L_s , είναι το διατμητικό μήκος του δομικού στοιχείου και λαμβάνεται:

- ✓ Ως το μισό του καθαρού ανοίγματος της δοκού, σε δοκούς που συνδέονται και στα δύο άκρα με κατακόρυφα στοιχεία
- ✓ Ως το συνολικό καθαρό άνοιγμα της δοκού, σε δοκούς που συνδέονται με κατακόρυφο στοιχείο μόνο στο ένα άκρο
- ✓ Ως το μισό του καθαρού ύψους μέσα στο υπ'όψιν κατακόρυφο επίπεδο κάμψης, σε υποστυλώματα
- ✓ Διαφορετικό σε κάθε όροφο για τοιχώματα και ίσο με το μισό της απόστασης της διατομής βάσης ορόφου από την κορυφή του τοιχώματος στο κτίριο

Επίσης, όπου a_v , είναι συντελεστής, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα, εάν η τέμνουσα που προκαλεί λοξή ρηγματώση του στοιχείου V_{R1} , υπολείπεται της τέμνουσας V_{Mu} ($=M_y/L_s$) κατά την καμπτική διαρροή και ίσος με μηδέν, εάν είναι μεγαλύτερη. Η τέμνουσα V_{R1} , δίνεται από τη σχέση του EC2

$$\rightarrow V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{(1/3)} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d, \text{ όπου } C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c, k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

$$(d \text{ σε mm}), \rho_l = \frac{A_{s1}}{b_w d} \leq 0,02, k_1 = 0,15, \sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0,2 f_{cd} \text{ (MPa)}, h \text{ το ύψος της}$$

διατομής, z ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων ($\approx 0,9d$), d_b η μέση διάμετρος ράβδου του εφελκόμενου οπλισμού.

Τέλος, αν ισχύει ότι $V_R < V_{Mu}$, τότε καθοριστική της διαρροής είναι η διάτμηση και για την παραμόρφωση και τη ροπή στη διαρροής ισχύουν οι σχέσεις:

$$\theta_y = \frac{V_R}{V_{Mu}} \theta_{y \text{ κάμψης}} \text{ και } M_y = \frac{V_R}{V_{Mu}} M_{y \text{ κάμψης}}.$$

2.11.8 Υπολογισμός γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία ($\theta_u - \theta_{pl}$)

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., είναι δυνατή η εμπειρική εκτίμηση της διαθέσιμης τιμής της πλαστικής γωνίας στροφής ή της συνολικής γωνίας στροφής χορδής στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, συναρτήσει των γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των στοιχείων και των οπλισμών τους. Ως τέτοιες σχέσεις, επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται οι παρακάτω, εάν οι διαμήκεις οπλισμοί είναι νευροχάλυβες.

- ✓ Μέση τιμή της γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία δοκών ή υποστυλωμάτων →

$$\theta_{um} = 0,016 * (0,3^v) * \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} * (a_s)^{0,35} * 25^{(\alpha \rho_s f_{yw} / f_c)} * (1,25^{100 \rho_d})$$

Όπου $\alpha_s (=M/Vh=L_s/h)$ είναι ο λόγος διάτμησης, ω και ω' το μηχανικό ποσοστό του εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού (ο ενδιάμεσος διαμήκης οπλισμός μεταξύ εφελκόμενου και θλιβόμενου πέλματος, θεωρείται ως εφελκόμενος), $v=N/bhf_c$, $\rho_s (=A_{sh}/b_w s_h)$ το γεωμετρικό ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στη διεύθυνση της φόρτισης, ρ_d το γεωμετρικό ποσοστό τυχόν δισδιαγώνιου οπλισμού και α ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφυξης, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με μηδέν όταν οι συνδετήρες δεν κλείνουν με άγκυτρο προς το εσωτερικό του σκυροδέματος.

$$\text{Αλλιώς, ισχύει: } \alpha = \alpha_n \alpha_s, \text{ με } \alpha_s = \left(1 - \frac{s_b}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s_h}{2h_c}\right) \text{ και } \alpha_n = 1 - \sum_i^n \frac{b_i^2}{6A_0} = 1 - \frac{\sum b_i^2}{6b_c h_c}$$

όπου b_i , είναι η μεταξύ απόσταση των περιμετρικών ράβδων που συνδέονται με συνδετήρες, s_h η καθαρή απόσταση των συνδετήρων, b_c και h_c οι διαστάσεις της διατομής του πυρήνα (αποστάσεις από κέντρο βάρους σε κέντρο βάρους συνδετήρων περιμέτρου) και n ο αριθμός τμήσεων του συνδετήρα.

✓ Μέση τιμή του πλαστικού τμήματος της μέσης γωνίας στροφής χορδής →

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_u - \theta_y = 0,0145 * (0,25)^v * \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} \right]^{0,3} * (f_c)^{0,2} * (\alpha_s)^{0,35} * 25^{(\alpha \rho_s f_{yw} / f_c)} * (1,275^{100 \rho_d})$$

Για στοιχεία διαστασιολογημένα και κατασκευασμένα πριν το 1985, με χρήση νευροχαλύβων, οι τιμές που υπολογίζονται με βάση τα ανωτέρω, χρειάζεται να διαιρεθούν με το 1,20.

Τέλος, σε στοιχεία που έχουν διαστασιολογηθεί και κατασκευαστεί πριν το 1985 με χρήση λείων ράβδων, η μέση τιμή της γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία θ_{um} , χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί με το 0,95.

2.11.9 Παραμόρφωση κατά την αστοχία από τέμνουσα

Εάν κάποιο στοιχείο αστοχήσει από τέμνουσα προτού διαρρεύσει σε κάμψη ($V_R < V_{My}$), τότε επιτρέπεται να λαμβάνεται πλαστική γωνία στροφής στο άκρο του μετά την εξάντληση της διατμητικής αντοχής, ίση με το 40% της αντίστοιχης γωνίας στροφής χορδής, στην καμπτική διαρροή θ_y . Επιπλέον, κατά τις μετελαστικές ανακυκλίσεις, η σταδιακή εξασθένηση της αντίστασης V_R σε τέμνουσα, ενδέχεται να προκαλέσει αστοχία από τέμνουσα ακόμα και στην περίπτωση που αρχικά ίσχυε $V_R > V_{Mu}$. Για να ληφθεί επαρκώς υπόψη το ενδεχόμενο αυτό, απαιτείται η εκτίμηση της εξασθένησης αυτής, συναρτήσει του απαιτούμενου για το σχεδιασμό δείκτη πλαστιμότητας επιβαλλόμενων μετακινήσεων $\mu_s = \mu_\theta = \theta_u / \theta_y$. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ., επιτρέπει να εκτιμάται η εξασθένηση αυτή με εμπειρικές μεθόδους.

Η διατμητική αντοχή V_R ενός δομικού στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος, το οποίο υποβάλλεται σε ανακυκλιζόμενες παραμορφώσεις μειώνεται ανάλογα με το μέγεθος του πλαστικού τμήματος της γωνίας στροφής χορδής, στη διατομή της μέγιστης ροπής. Αν το μέγεθος αυτό αναχθεί στο μέγεθος της γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή στο ίδιο σημείο, προκύπτει $\mu_\theta^{pl} = \mu_\theta - 1$. Το πλαστικό τμήμα του δείκτη πλαστιμότητας γωνίας στροφής χορδής $\mu_\theta^{pl} = \mu_\theta - 1$, ισούται με το λόγο $\theta_{um}^{pl} / \theta_y$. Η διατμητική αντοχή δομικού στοιχείου, όπως αυτή καθορίζεται από τη διαρροή των συνδετήρων, επιτρέπεται να θεωρείται πως μειώνεται με την τιμή του μ_θ^{pl} , ως ακολούθως: (μονάδες MN και m)

$$V_R = \frac{h-x}{2L_s} \min(N; 0,55A_c f_c) + (1 - 0,05 \min(5, \mu \theta^{pl})) [0,16 \max(0,5; 100 \rho_{tot}) (1 - 0,16 \min(5; a_s)) \sqrt{f_c A_c} + V_w]$$

όπου h είναι το ύψος της διατομής (ίσο με τη διάμετρο D στις κυκλικές διατομές), x το ύψος της θλιβόμενης ζώνης, N το αξονικό φορτίο (θετικό για θλίψη, μηδενικό για εφελκυσμό), A_c το εμβαδόν διατομής του σκυροδέματος, ίσο με $b_w d$ σε διατομές με ορθογωνικό κορμό πάχους b_w και στατικό ύψος d ή με $\pi D_c^2/4$ (όπου D_c η διάμετρος του πυρήνα της διατομής εντός των συνδετήρων) σε κυκλικές διατομές, ρ_{tot} το συνολικό ποσοστό του διαμήκους οπλισμού και V_w η συμβολή του εγκάρσιου οπλισμού στη διατμητική αντοχή, για την οποία ισχύει:

- ✓ Για διατομές με ορθογωνικό κορμό πάχους $b_w \rightarrow V_w = \rho_w b_w z f_{yw}$, όπου ρ_w είναι το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού, z ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων (ίσος με $d-d'$ σε υποστυλώματα, δοκούς και τοιχώματα διατομής T ή H ή με $0,8h$ σε τοιχώματα ορθογωνικής διατομής) και f_{yw} η τάση διαρροής του εγκάρσιου οπλισμού.
- ✓ Για κυκλικές διατομές $\rightarrow V_w = \frac{\pi}{2} \frac{A_{sw}}{s} f_{yw} (D - 2c)$, όπου A_{sw} είναι το εμβαδόν της διατομής ενός κυκλικού συνδετήρα, s η απόσταση μεταξύ διαδοχικών συνδετήρων και c η επικάλυψη του οπλισμού.

2.11.10 Ενεργός δυσκαμψία στοιχείου

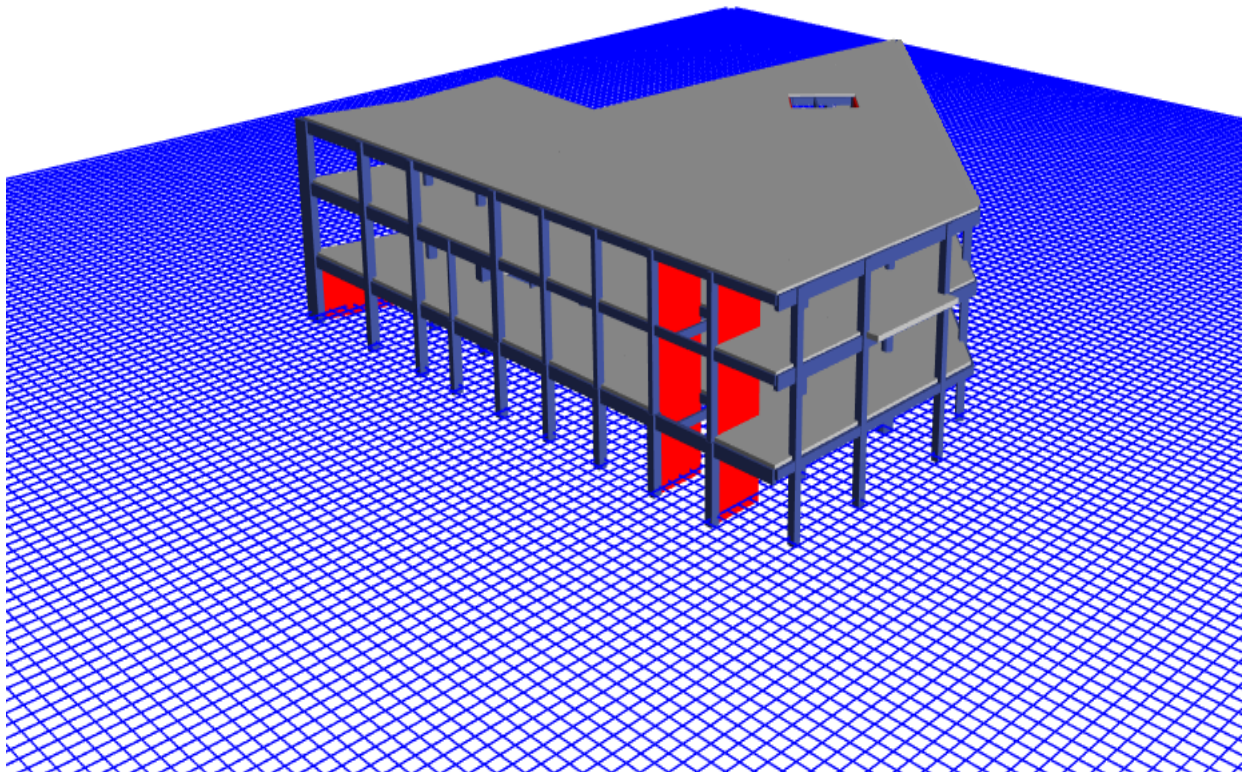
Η ενεργός δυσκαμψία του εκάστοτε φέροντος στοιχείου, υπολογίζεται από τη σχέση $K = \frac{M_y L_s}{3\theta_y}$, όπου M_y είναι η ροπή διαρροής του στοιχείου, L_s το διατμητικό μήκος του και θ_y η γωνία στροφής χορδής στη διαρροή.

Η ενεργός δυσκαμψία, λαμβάνεται ίση με το μέσο όρο των τιμών των ακραίων διατομών του στοιχείου σε περίπτωση συμμετρικού σχήματος διατομής και οπλισμού. Στην περίπτωση μη συμμετρικού σχήματος ή οπλισμού, ισούται με το μέσο όρο των τιμών των δυσκαμψιών, για αρνητική και θετική φορά της έντασης. (κάμψης)

3 Περιγραφή και προσομοίωση υφιστάμενης κατασκευής

3.1 Εισαγωγή

Το κτίριο που μελετήθηκε, είναι ένα υπάρχον κτίριο στην περιοχή της Νέας Ιωνίας Αττικής. Κατασκευάστηκε το 1973, με φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα, σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος του 1954 και τον Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959. Πρόκειται για ένα πρώην βιομηχανικό κτίριο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως Κλωστοϋφαντουργία και στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε, ενώ πλέον υπάρχουν σκέψεις αξιοποίησης του.

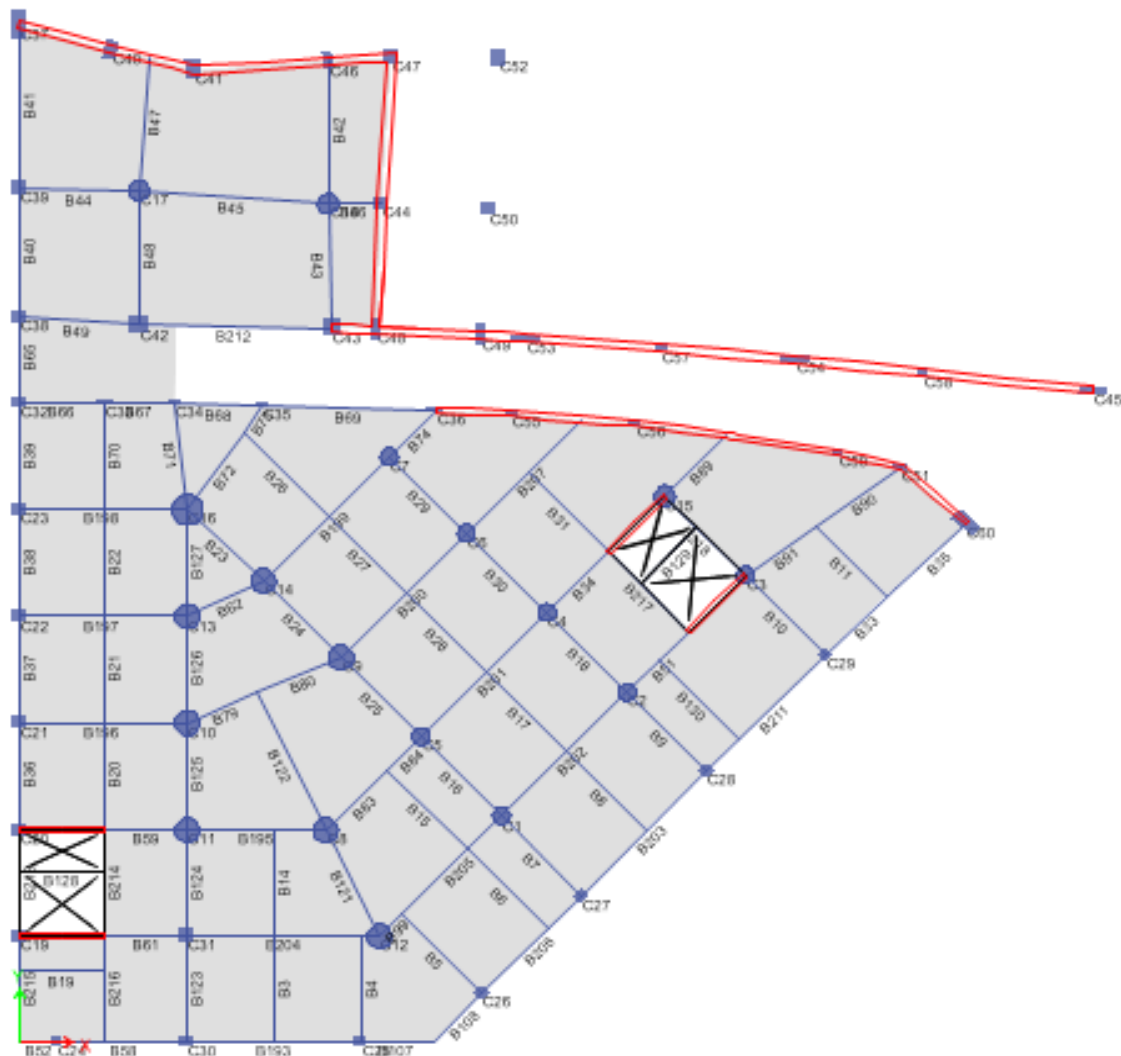


Σχήμα 3.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα

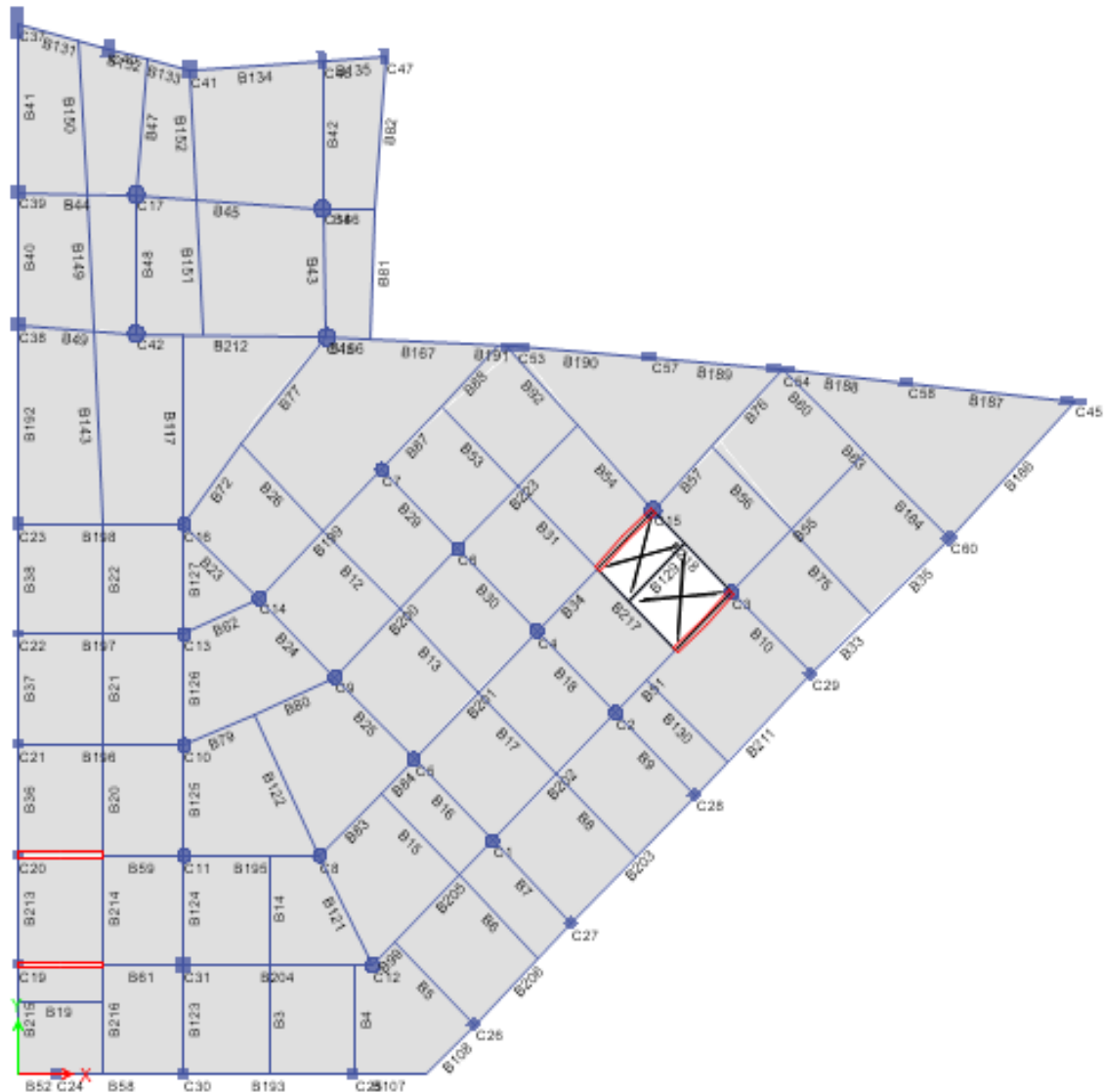
3.2 Μορφολογία κτιρίου

Το κτίριο είναι μία διάροφη κατασκευή με ένα υπόγειο, συνολικής επιφάνειας περί τα 4150 m². Οι κατόψεις, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα, διαφέρουν ως ένα βαθμό από όροφο σε όροφο και δεν υπάρχει συμμετρία κατά κανέναν άξονα. Επιπλέον, υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις διαστάσεις και τους οπλισμούς των μελών της κατασκευής από όροφο σε όροφο.

Στο υπόγειο, υπάρχουν ισχυρά τοιχώματα σε μικρό σχετικά τμήμα της περιμέτρου του, γεγονός που δεν αποκλείει το σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων σε κάποια από τα μέλη του. Πρόκειται, δηλαδή, για ένα "εν μέρη ισόγειο", καθώς δεν περιβάλλεται εξ'ολοκλήρου από περιμετρικά τοιχώματα και επομένως θεωρήθηκε ότι δέχεται κανονικά σεισμική δύναμη. Σε αυτή τη στάθμη, υπάρχουν επίσης 2 πυρήνες ασανσέρ. Τα υποστυλώματα του υπογείου είναι κυκλικά και ορθογωνικά, μεγάλων διαστάσεων, ικανά να φέρουν τα κατακόρυφα φορτία της ανοδωμής.



Σχήμα 3.2 Κάτοψη οροφής υπογείου



Σχήμα 3.4 Κάτοψη οροφής 1^{ου} ορόφου

3.3 Εργασία αποτύπωσης και έλεγχος υλικών

Το 2010,πραγματοποιήθηκε αποτύπωση των ξυλοτύπων του συγκεκριμένου κτιρίου,έπειτα από αυτοψία που έγινε σε αυτό.Διαπιστώθηκε επίσης,ότι το κτίριο δεν έχει υποστεί καθιζήσεις,δεν έχει ρηγματώσεις οι οποίες να υποδηλώνουν στατική ανεπάρκεια και δεν παρουσιάζει αποκλίσεις από την κατακόρυφο,ούτε και έντονες παραμορφώσεις.Για τον έλεγχο της ποιότητας του σκυροδέματος,πραγματοποιήθηκε πυρηνοληψία σε διάφορες θέσεις με συνδυασμό των μη καταστροφικών μεθόδων της κρουσιμέτρησης και της εξόλκευσης.Συγκεκριμένα,έγιναν έλεγχοι σε 6

υποστυλώματα, 1 τοιχείο και 6 πλάκες σε κάθε στάθμη. Ακόμη, έγιναν διερευνητικές τομές σε διάφορα σημεία του κτιρίου, για να επιτευχθεί η αποκάλυψη του οπλισμού σε πλάκες, δοκούς και υποστυλώματα. Από τους παραπάνω ελέγχους, διαπιστώθηκε ότι το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας B225 (αντίστοιχη της σημερινής κατηγορίας C16/20), ο χάλυβας των διαμήκων οπλισμών των πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων είναι St III (αντίστοιχη της κατηγορίας S400), ενώ η ποιότητα του χάλυβα των οπλισμών διάτμησης είναι η St I. (αντίστοιχη της κατηγορίας S220) Αξίζει επίσης να σημειωθεί, ότι όλα τα παραπάνω ευρήματα βρίσκονται σε μεγάλη συμφωνία και με την αρχική μελέτη της κατασκευής.

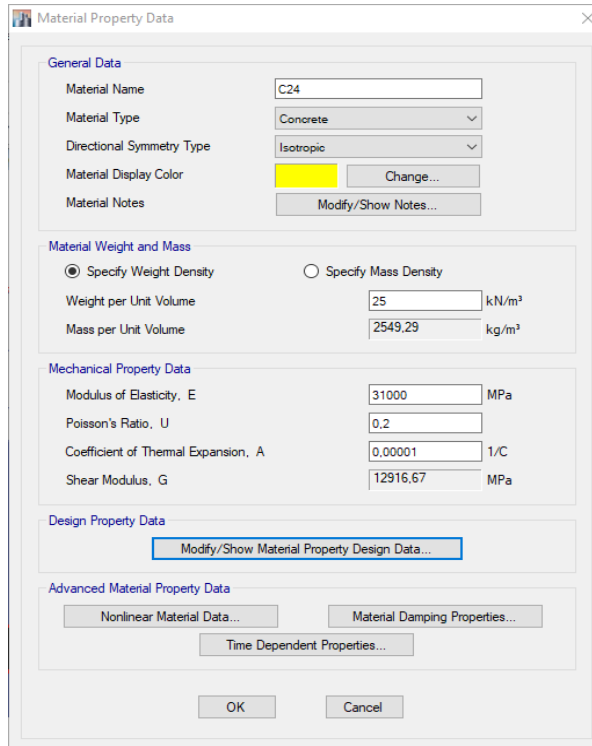
3.4 Προσομοίωση φορέα

Για την προσομοίωση και ανάλυση του φορέα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ETABS 2015 v15.2.0 της εταιρείας Computers & Structures. Αρχικά, δημιουργήθηκε ένας τρισδιάστατος κάρναβος, βασιζόμενος στα σχέδια που προέκυψαν από την αποτύπωση του φορέα. Ορίστηκαν τα απαιτούμενα υλικά και όλα τα δομικά στοιχεία του φορέα, (πλάκες, δοκάρια, υποστυλώματα, τοιχεία) και προσομοιώθηκαν με τα ανάλογα κατά περίπτωση πεπερασμένα στοιχεία. Ορίστηκε επίσης η διαφραγματική λειτουργία των πλακών και οι στηρίξεις της κατασκευής. Τέλος, δόθηκαν τα κατακόρυφα και οριζόντια φορτία που επιβάλλονται στην κατασκευή και τα απαραίτητα στοιχεία για να καθοριστεί η ανελαστική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων.

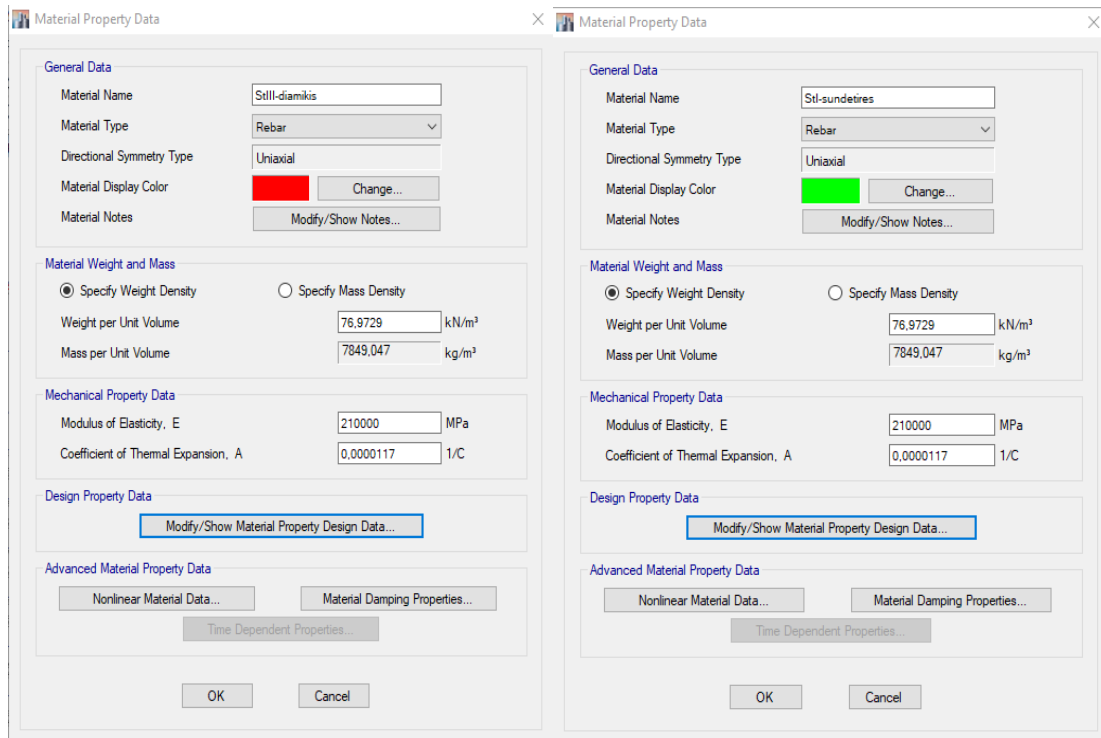
3.4.1 Ορισμός Υλικών

Στα πλαίσια των υπολογισμών και σε ότι αφορά τα υλικά της κατασκευής, χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των χαρακτηριστικών τους αντοχών, όπως προβλέπεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.. Θεωρήθηκε <<Υψηλή>> στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων, υπό την προϋπόθεση ότι σε φάση οριστικής μελέτης θα πραγματοποιηθούν όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι για την εξασφάλιση της, καθώς οι έλεγχοι που αναφέρονται στην παράγραφο 3.3 δεν επαρκούν. Επίσης, σε ότι αφορά τα γεωμετρικά δεδομένα, θεωρήθηκε και εκεί <<Υψηλή>> στάθμη αξιοπιστίας, καθώς μέσω της αποτύπωσης, φάνηκε ότι τα σχέδια της αρχικής μελέτης έχουν εφαρμοστεί χωρίς τροποποιήσεις.

Επομένως, για τα υλικά θα ισχύει: $\gamma_m=1$, $\gamma_c=1,35$ και $\gamma_s=1,05$. Το σκυρόδεμα, ορίστηκε με μέση θλιπτική αντοχή $f_{cm}=24$ MPa, μέτρο ελαστικότητας $E_{cm}=31$ GPa και ειδικό βάρος 25 kN/m³. Επιπλέον, ο χάλυβας των διαμήκων οπλισμών ορίστηκε με όριο διαρροής $f_y=420$ MPa και ο χάλυβας των συνδετήρων με $f_y=220$ MPa, ενώ και οι δύο ορίστηκαν με μέτρο ελαστικότητας $E_{sm}=210$ GPa. Η εισαγωγή των υλικών στο λογισμικό, γίνεται μέσω της εντολής: Define→Material Properties→Add New Material



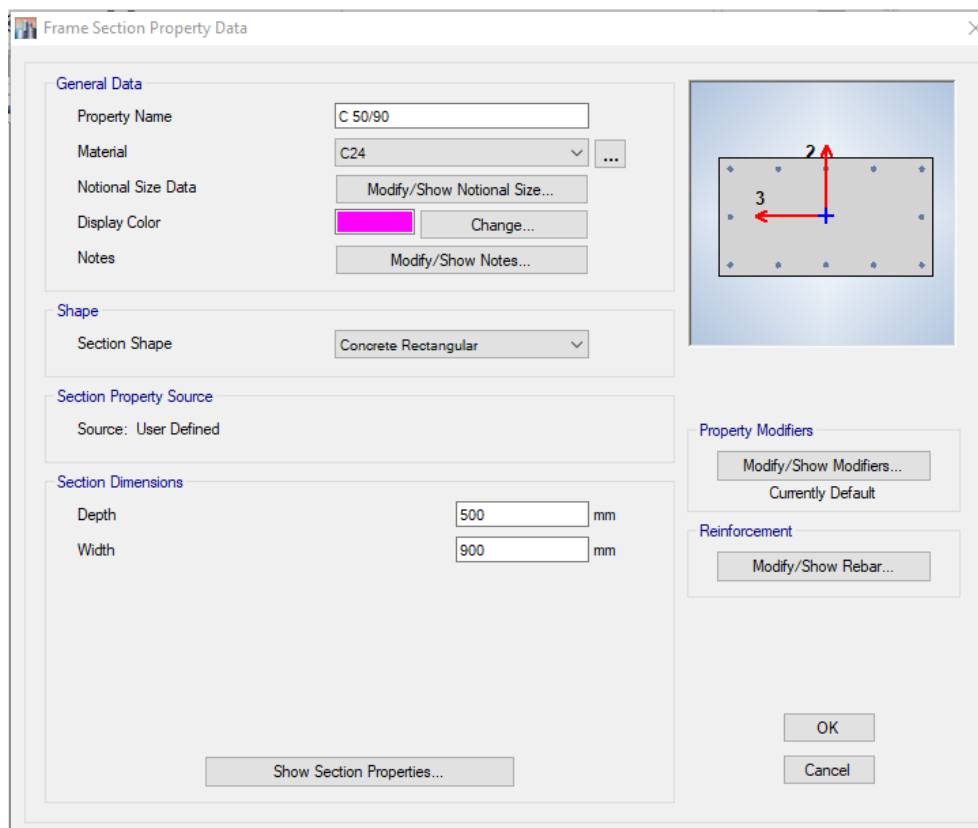
Σχήμα 3.5 Ορισμός σκυροδέματος



Σχήμα 3.6 Ορισμός χάλυβα διαμήκων οπλισμών Σχήμα 3.7 Ορισμός χάλυβα συνδετήρων

3.4.2 Ορισμός δοκών και υποστυλωμάτων

Οι δοκοί και τα υποστυλώματα του φορέα, προσομοιώθηκαν με γραμμικά-ραβδωτά πεπερασμένα στοιχεία πλαισίου έξι βαθμών ελευθερίας. Οι διατομές τους είναι ορθογωνικές, ενώ υπάρχουν και αρκετά κυκλικά υποστυλώματα. Οι διαστάσεις των στοιχείων και οι οπλισμοί τους, μειώνονται κατά βάση από όροφο σε όροφο και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία. Όλοι οι δοκοί και τα υποστυλώματα, έχουν συνδετήρες Φ8/300 και επικάλυψη ίση με 30 mm. Ο ορισμός τους στο ETABS, γίνεται μέσω της εντολής: Define→Section Properties→Frame Sections→Add New Property



Σχήμα 3.8 Ορισμός διαστάσεων διατομής υποστυλώματος

Η διαδικασία εισαγωγής των διαστάσεων μίας διατομής, είναι η ίδια είτε πρόκειται για δοκό είτε για υποστυλώμα. (Σχήμα 3.8) Η μόνη διαφοροποίηση, είναι στην επιλογή Modify/Show Rebar, όπου επιλέγεται ο τύπος του γραμμικού στοιχείου (δοκός ή υποστυλώμα) και ορίζονται ανάλογα τα στοιχεία για το υλικό και τη διάταξη του οπλισμού της διατομής.

Σχήμα 3.9 Ορισμός οπλισμών διατομής υποστρώματος

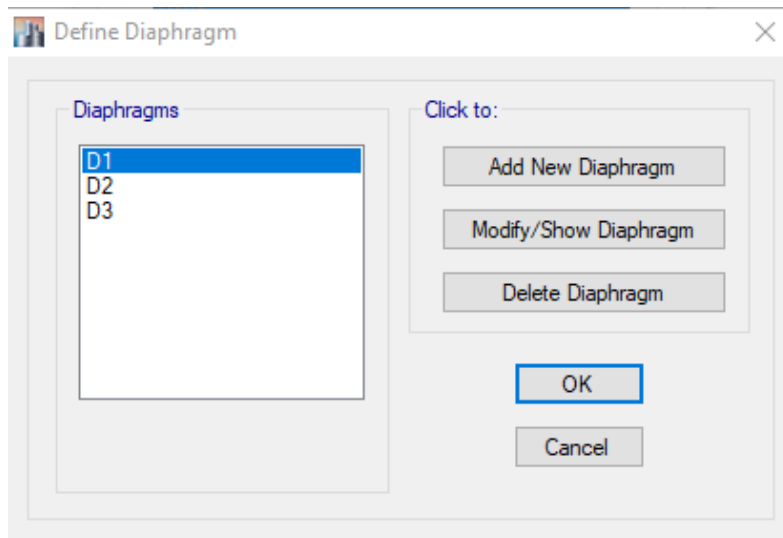
3.4.3 Ορισμός τοιχωμάτων και πλακών

Τα τοιχεία και οι πλάκες της κατασκευής, ορίστηκαν ως επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία. Συγκεκριμένα για τα τοιχεία, καθώς είναι ρηγματωμένα, θεωρήθηκε απομειωμένη δυσκαμψία στο $0,5EI$, σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Είναι οπλισμένα με εσχάρα $\Phi 10/200$, έχουν κρυφοκολώνες με οπλισμό $4\Phi 20 + 6\Phi 20$ και συνδετήρες $\Phi 10/100$. Η εισαγωγή τους στο λογισμικό έγινε μέσω της εντολής: Define → Section Properties → Wall Sections → Add New Property και η απομείωση της δυσκαμψίας από την επιλογή Modifiers, όπου ορίστηκαν οι συντελεστες m11, m22 και m12 ίσοι με 0,5.

Σε ότι αφορά τις πλάκες, εφόσον προσομοιώνονται με επιφανειακά στοιχεία, λαμβάνεται αυτόματα υπόψη το ίδιο βάρος τους και επιπλέον, τα φορτία που εισάγονται σε αυτές, μοιράζονται απ'ευθείας στις δοκούς, μέσω των δυσκαμψιών των στοιχείων. Έχουν πάχος 15cm και ορίζονται από την εντολή: Define → Section Properties → Slab Sections → Add New Property.

Οι πλάκες, είναι επίσης απαραίτητες για να οριστεί η διαφραγματική λειτουργία του φορέα. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται η ίση μετακίνηση όλων των σημείων στο επίπεδο του κάθε ορόφου. Επιπλέον, μπορούμε πλέον να θεωρήσουμε τρεις βαθμούς ελευθερίας ανά όροφο: δύο μετακινήσεις και μία στροφή. Επομένως, αφού επιλεγθούν όλοι οι κόμβοι του κάθε ορόφου, ακολουθείται η εντολή:

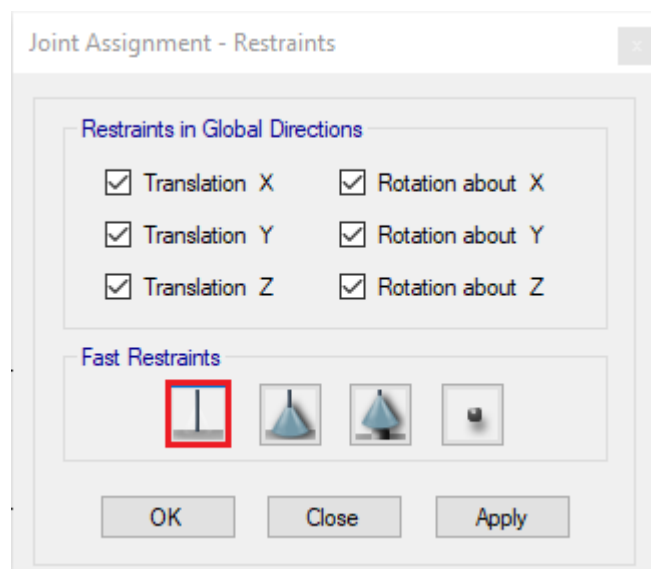
Assign → Shell → Diaphragms → Modify/Show Definitions → Add New Diaphragm



Σχήμα 3.10 Ορισμός διαφραγμάτων

3.4.4 Στηρίξεις φορέα

Οι στηρίξεις του φορέα επί του εδάφους θεωρήθηκαν πλήρεις πακτώσεις, καθώς δεν υπήρχαν περεταίρω στοιχεία για τη θεμελίωση της κατασκευής. Αυτό πραγματοποιήθηκε, μέσω της εντολής: Assign→Joint→Restrains, αφού πρώτα επιλέχθηκαν όλοι οι κόμβοι στη στάθμη της θεμελίωσης.



Σχήμα 3.11 Ορισμός πακτώσεων

3.4.5 Καθορισμός κατακόρυφων φορτίων

Τα κατακόρυφα φορτία που επιβάλλονται στην κατασκευή, όπως προκύπτουν από τα σχέδια της αρχικής μελέτης, είναι τα εξής:

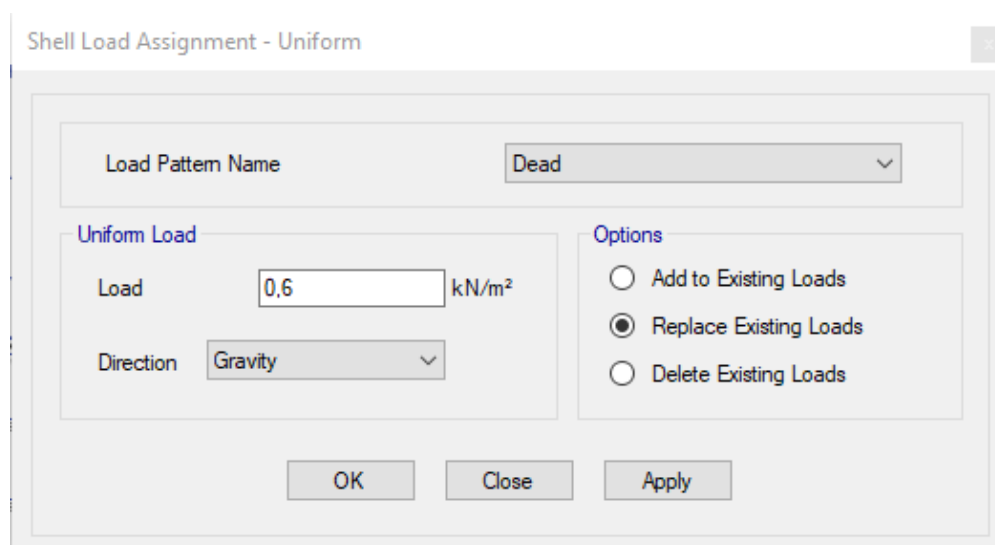
Μόνιμα:

- Ίδιο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος 25.00 kN/m³
- Επικάλυψη δαπέδων 0.60 kN/m²
- Δρομική οπτοπλινθοδομή 4.00 kN/m
- Μπατική οπτοπλινθοδομή 8.00 kN/m

Κινητά:

- Δαπέδων 5.00 kN/m²
- Εξωστών & Κλιμάκων 5.00 kN/m²

Από τα παραπάνω φορτία, το ίδιο βάρος υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό, σύμφωνα με τις διατομές και τα ειδικά βάρη των υλικών που έχουν εισαχθεί. Για τα υπόλοιπα, επιλέγονται οι πλάκες και εισάγονται τα φορτία σε αυτές, με την εντολή: Assign → Shell Loads → Uniform. Μέσω των πλακών, τα φορτία αυτά, μοιράζονται απ' ευθείας στις δοκούς, ανάλογα με τις δυσκαμψίες τους.



Σχήμα 3.12 Επιβολή μόνιμων φορτίων

3.4.6 Καθορισμός οριζόντιων φορτίων

Στα οριζόντια φορτία, περιλαμβάνεται η φόρτιση λόγω σεισμού σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8.(EC-8) Το κτίριο που εξετάζεται, βρίσκεται στην Αθήνα, είναι κατασκευασμένο επί εδάφους κατηγορίας A και είναι κτίριο συνήθους

σπουδαιότητας.Επομένως,επιλέχθηκαν οι παράμετροι σεισμικής δράσης,που φαίνονται παρακάτω.

Ζώνη	a_{gR}/g
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36

Σχήμα 3.13 Ζώνες σεισμικής επικυδινότητας και μέγιστες σεισμικές επιταχύνσεις

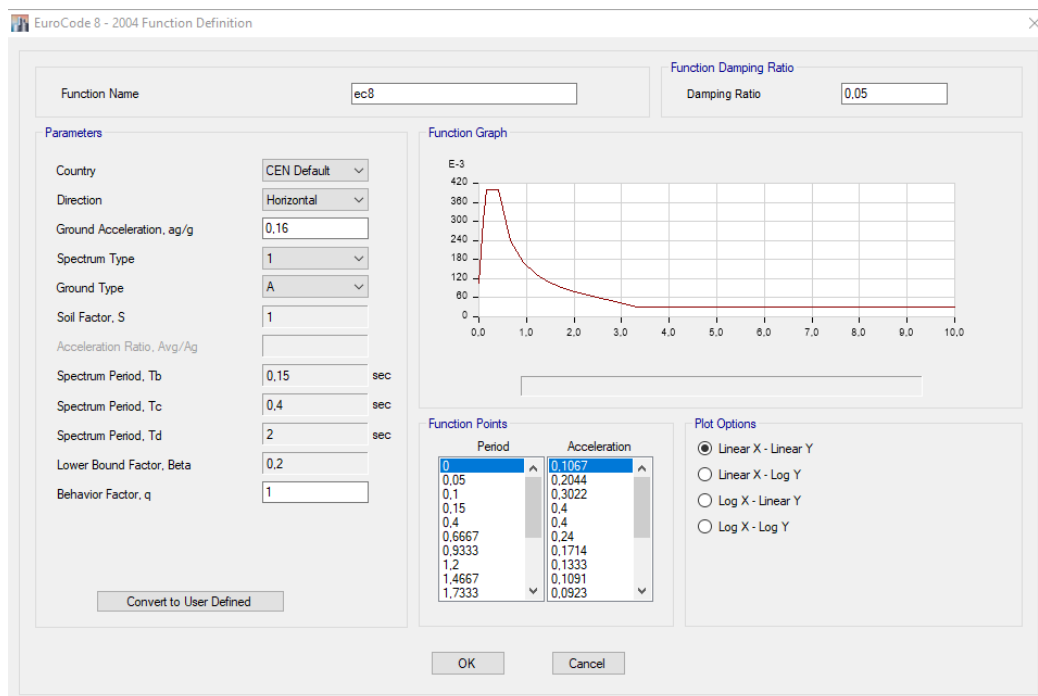
Κατηγορία εδάφους	S	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)
A	1.00	0.15	0.40	2.50
B	1.20	0.15	0.50	2.50
C	1.15	0.20	0.60	2.50
D	1.35	0.20	0.80	2.50
E	1.40	0.15	0.50	2.50

Σχήμα 3.14 Κατηγορίες εδάφους και παράμετροι του οριζόντιου ελαστικού φάσματος του EC-8

Κατηγορία σπουδαι- ότητας	γ_i	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.

Σχήμα 3.15 Κατηγορίες και συντελεστές σπουδαιότητας

Εισάγοντας τις παραπάνω παραμέτρους στο ETABS, μέσω της εντολής: Define→Functions→Response Spectrum→Add New Function, προκύπτει το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του Ευρωκώδικα 8.

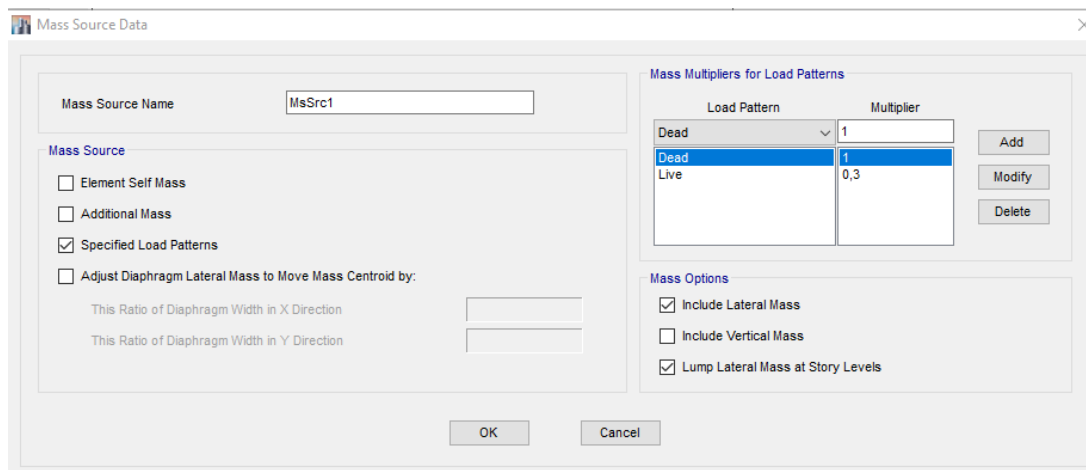


Σχήμα 3.16 Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού EC-8

3.4.7 Ορισμός ταλαντούμενης μάζας

Η μάζα της κατασκευής που θα χρησιμοποιηθεί από το πρόγραμμα, προκύπτει σύμφωνα με τον κανονισμό από τα κατακόρυφα φορτία $G+0,3Q$ και εισάγεται στο λογισμικό, με την εντολή: Define→Mass Source→Modify/Show Mass Source.

Το λογισμικό, μετατρέπει τα φορτία του συνδυασμού σε επικόμβιες μάζες και υπολογίζει έτσι τις ιδιομορφές του κτιρίου.



Σχήμα 3.17 Ορισμός ταλαντούμενης μάζας, κατά τη διάρκεια του σεισμού

3.4.8 Προσομοίωση πλαστικών αρθρώσεων

Προκειμένου να εισαχθούν στο λογισμικό οι πλαστικές αρθρώσεις, ορίστηκε σε κάθε διατομή, όπου αναμένεται να σχηματιστεί πλαστική άρθρωση, ο νόμος που διέπει την ανελαστική συμπεριφορά της. Ορίστηκε, δηλαδή, για τα άκρα των δοκών και των υποστυλωμάτων, το διάγραμμα ροπών-στροφών (M-θ), πάνω στο οποίο σημειώθηκαν και τα σημεία στα οποία αντιστοιχούν οι διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας. Στις δοκούς και στα ορθογωνικά υποστυλώματα, η ιδεατή καμπύλη παραμόρφωσης M-θ καθώς και οι στάθμες επιτελεστικότητας Άμεση Χρήση (AX), Προστασία Ζωής (ΠΖ) και Οιονεί Κατάρρευση (ΟΚ) συμπληρώθηκαν σύμφωνα με το κεφάλαιο 7 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Επίσης, θεωρήθηκε γενικά ότι η απομένουσα αντοχή είναι ίση με το 25% της ροπής διαρροής, για παραμορφώσεις έως και 1,5θ_u.

Σε ότι αφορά τις στροφές των στάθμων επιτελεστικότητας, προσδιορίστηκαν ως εξής:

- AX → σημείο διαρροής της διατομής, όπου $\theta_{pl}=0$
- ΠΖ → σημείο όπου $\theta_{pl} = \frac{(\theta_y + \theta_u)}{2\gamma_{Rd}} - \theta_y$
- ΟΚ → σημείο όπου $\theta_{pl} = \frac{\theta_u}{\gamma_{Rd}} - \theta_y$, με $\gamma_{Rd}=1,8$

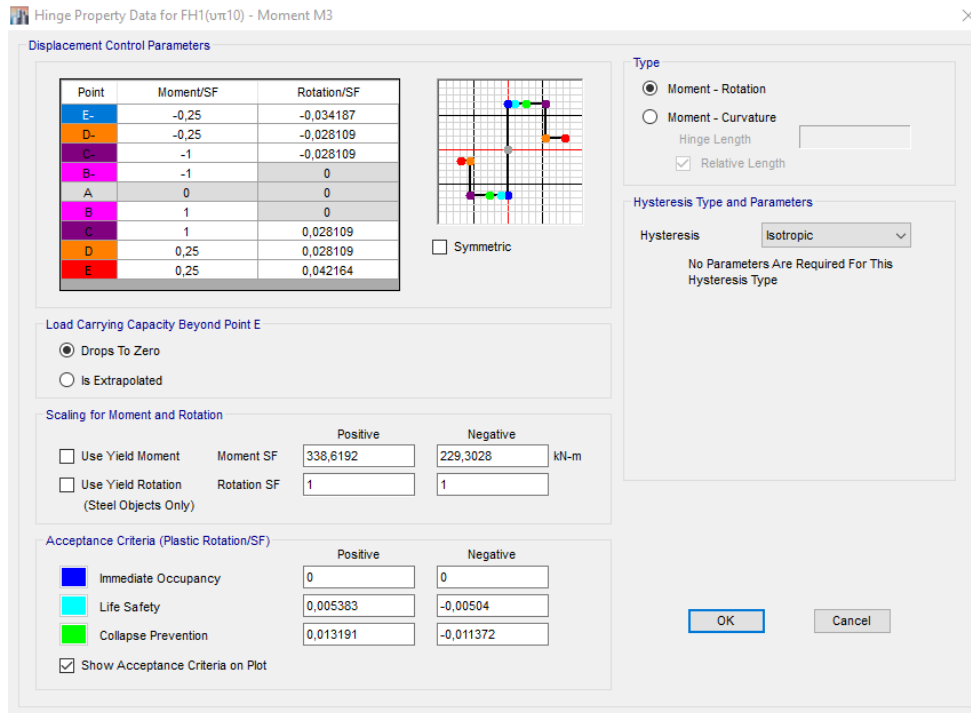
3.4.8.1 Δοκοί

Στις δοκούς, οι πλαστικές αρθρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν, είναι τύπου M3, καθώς κρίσιμη είναι η αστοχία λόγω κάμψης περί τον τοπικό άξονα 3. (κύριος άξονας) Αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την κάθε δοκό, παρατίθενται στο Παράρτημα Β, στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

Ο ορισμός των πλαστικών αρθρώσεων στο ETABS, έγινε μέσω της εντολής: Define → Section Properties → Frame/Wall Nonlinear Hinges → Add New Property και επιλογή της πλαστικής άρθρωσης τύπου M3.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.18, είναι απαραίτητο να εισαχθεί η ροπή διαρροής, καθώς επίσης και η ροπή αντοχής και η απομένουσα ροπή αντοχής, ανηγμένες ως προς τη ροπή διαρροής.

Τέλος, για να δοθεί η εκάστοτε πλαστική άρθρωση στα δύο άκρα κάποιου δοκαριού, χρησιμοποιήθηκε η εντολή: Assign → Hinges, αφού πρώτα επιλέχθηκε το αντίστοιχο δοκάρι.



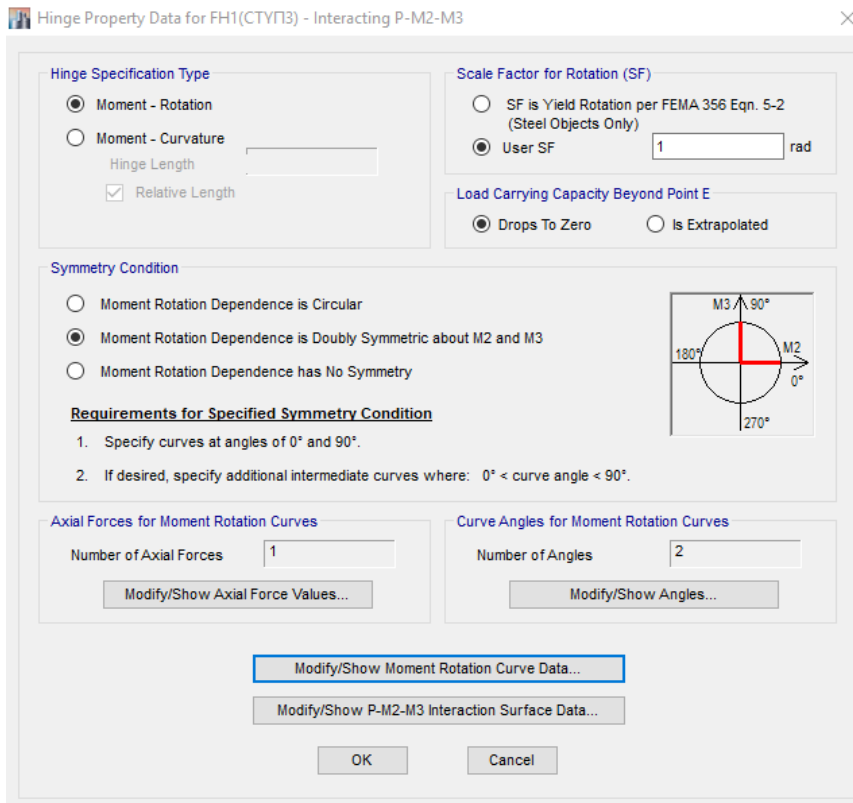
Σχήμα 3.18 Ορισμός πλαστικής άρθρωσης δοκού

3.4.8.2 Ορθογωνικά υποστυλώματα

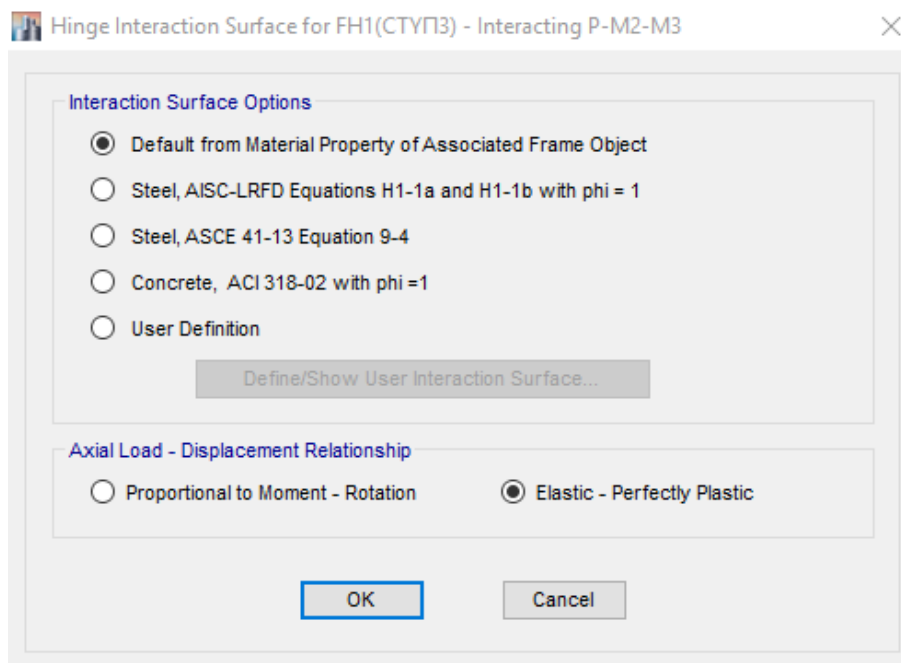
Στα υποστυλώματα, γενικά, ορίστηκαν πλαστικές αρθρώσεις τύπου P-M2-M3, αφού κρίσιμη είναι η αστοχία λόγω αλληλεπίδρασης αξονικής δύναμης και διαξονικής κάμψης, περί τους τοπικούς άξονες 2 και 3. Επίσης, θεωρήθηκε απλοποιητικά, ότι το κάθε υποστυλώμα διατηρεί σταθερή καθ' ύψος την αξονική του δύναμη. Η δύναμη αυτή, προσδιορίστηκε από τη γραμμική ανάλυση G+0,3Q και θεωρήθηκε ίση με το μέσο όρο της αξονικής δύναμης του άνω και κάτω άκρου, του κάθε υποστυλώματος.

Ειδικότερα για τα ορθογωνικά υποστυλώματα, ο υπολογισμός του διαγράμματος M-θ, έγινε όπως ακριβώς και στις δοκούς, με χρήση των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Οι σχέσεις αυτές, έχουν διατυπωθεί για μονοαξονική κάμψη μίας διατομής. Επομένως, εφόσον τα υποστυλώματα υποβάλλονται σε διαξονική κάμψη, οι παραπάνω σχέσεις λύθηκαν δύο φορές, μία για κάθε διεύθυνση. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε υποστυλώμα, παρατίθενται στο Παράρτημα Β, στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

Για την εισαγωγή της άρθρωσης στο λογισμικό, επιλέγει αρχικά η διπλή συμμετρία της διατομής, εισάγεται η αξονική δύναμη που δέχεται το κάθε υποστυλώμα και ορίζεται το διάγραμμα M-θ, όπως και στις δοκούς. Τέλος, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.20, ορίζεται και η επιφάνεια αλληλεπίδρασης μέσω της επιλογής Default from Material Property of Associated Frame Object, καθώς έχει γίνει ακριβής προσομοίωση των διατομών των υποστυλωμάτων.



Σχήμα 3.19 Ορισμός πλαστικής άρθρωσης υποστυλώματος



Σχήμα 3.20 Ορισμός επιφάνειας αλληλεπίδρασης

3.4.8.3 Κυκλικά υποστυλώματα

Στα κυκλικά υποστυλώματα, το διάγραμμα M-θ προσδιορίστηκε με διαφορετικό τρόπο, καθώς οι σχέσεις που δίνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. ισχύουν για διατομές οπλισμένου σκυροδέματος με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε, βασίστηκε στη διδακτορική διατριβή 'Αντοχή και ικανότητα παραμόρφωσης μελών οπλισμένου σκυροδέματος με ή χωρίς ενίσχυση' του Διονύσιου Ε. Μπισκίνη.

Αρχικά, υπολογίστηκε για κάθε διατομή, το διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων. Ο υπολογισμός του, είναι γενικά πολυπλοκότερος απ' ό,τι σε μέλη ορθογωνικής διατομής, λόγω της γεωμετρίας και της κατανομής του διαμήκους οπλισμού, καθώς το πλάτος είναι μεταβαλλόμενο καθ' ύψος και ο οπλισμός είναι ομοιόμορφα κατανομημένος στην περίμετρο. Έτσι, η επίλυση καθίσταται δυνατή, μόνο με χρήση επαναληπτικής διαδικασίας.

Για τον υπολογισμό της ροπής και της καμπυλότητας στη διαρροή, έγιναν οι εξής παραδοχές:

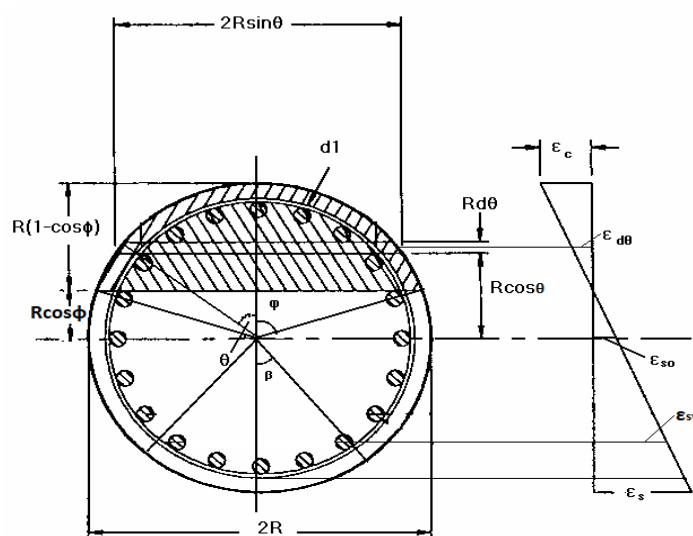
- i. Επιπεδότητα διατομών
- ii. Ομοιόμορφη κατανομή του διαμήκους οπλισμού σε δακτύλιο με ακτίνα $R-d_1$, εφόσον υπάρχουν τουλάχιστον έξι ράβδοι σε ίσες περίπου αποστάσεις στην περίμετρο του κύκλου
- iii. Ελαστική-απολύτως πλαστική συμπεριφορά του χάλυβα οπλισμού
- iv. Παραβολική σχέση σ - ϵ για το σκυρόδεμα, μέχρι την αντοχή του f_c , σε παραμόρφωση $\epsilon_{co}=2\%$, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\sigma_c = f_c \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^n \right] = f_c \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{0,002} \right)^2 \right] = f_c \left(\frac{\epsilon_c}{0,002} \right) \left(2 - \frac{\epsilon_c}{0,002} \right), 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{co} = 0,002$$

$$\sigma_c = f_{cd}, 0,002 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$$

- v. Κριτήριο διαρροής, ανάλογα με το αν διαρρέει πρώτα ο διαμήκους οπλισμός στο ακραίο 1/3 της εφελκόμενης ζώνης ή η παραμόρφωση της ακραίας θλιβόμενης ίνας του σκυροδέματος, φτάνει το 3%.

- Διαρροή διαμήκους οπλισμού, στο ακραίο 1/3 της εφελκόμενης ζώνης



Σχήμα 3.21 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κυκλικής διατομής και παραμορφώσεις καθ' ύψος [5]

Από το διάγραμμα των παραμορφώσεων και από όμοια τρίγωνα προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\frac{\varepsilon_{d\theta}}{R \cos \theta - R \cos \phi} = \frac{\varepsilon_c}{R(1 - \cos \phi)} \rightarrow \varepsilon_{d\theta} = \varepsilon_c \frac{\cos \theta - \cos \phi}{1 - \cos \phi}$$

$$\frac{\varepsilon_c}{R(1 - \cos \phi)} = \frac{\varepsilon_s}{R \cos \phi + R - d_1} \rightarrow \varepsilon_c = \varepsilon_s \frac{1 - \cos \phi}{1 + \cos \phi - \frac{d_1}{R}}$$

$$\frac{\varepsilon_s}{R \cos \phi + R - d_1} = \frac{\varepsilon_{sy}}{R \cos \phi + (R - d_1) \cos \beta} \rightarrow \varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} \left(\frac{1 + \cos \phi - \frac{d_1}{R}}{\cos \phi + (1 - \frac{d_1}{R}) \cos \beta} \right)$$

$$\frac{\varepsilon_{so}}{R \cos \phi} = \frac{\varepsilon_{sy}}{R \cos \phi + (R - d_1) \cos \beta} \rightarrow \varepsilon_{so} = \left(\frac{f_y}{E_s} \right) \frac{\cos \phi}{\cos \phi + (1 - \frac{d_1}{R}) \cos \beta}$$

όπου, η γωνία β φαίνεται στο Σχήμα 3.21 και ορίζει την περιοχή στην οποία ο εφελκόμενος χάλυβας έχει ξεπεράσει το όριο διαρροής. Θεωρείται ότι έχει πλαστικοποιηθεί το 1/3 του εφελκόμενου χάλυβα, καθώς έτσι επιτυγχάνεται η καλύτερη μέση συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα και έτσι προκύπτει ότι $\beta = \frac{1}{3}(\pi - \phi)$.

Για τον υπολογισμό της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος, αρκεί να ολοκληρωθούν οι τάσεις του σκυροδέματος από $\theta=0$ έως $\theta=\phi$, σε στοιχειώδη λωρίδα της διατομής, με στοιχειώδες πλάτος $Rd\theta$. Έτσι, προκύπτει:

$$N_c = \int_0^{\phi} A_{d\theta} \sigma_c d\theta, \text{ όπου } A_{d\theta} = (2R \sin \theta)(Rd\theta) \text{ και } \sigma_c = f_c \left(\frac{\varepsilon_{d\theta}}{0,002} \right) \left(2 - \frac{\varepsilon_{d\theta}}{0,002} \right)$$

Ο διαμήκης σπλισμός που ορίζεται από τη γωνία β και έχει διαρρεύσει, έχει τάση f_y και δίνει συνολική δύναμη N_{s2} . Ο υπόλοιπος σπλισμός, που ορίζεται από τη γωνία $\pi - \beta$, θεωρείται ελαστικός με μέση παραμόρφωση ε_{so} και δίνει συνολική δύναμη N_{s1} . Έτσι, ισχύει:

$$N_{s1} = E_s \varepsilon_{so} A_s \frac{\pi - \beta}{\pi} \text{ και } N_{s2} = f_y A_s \frac{\beta}{\pi}, \text{ όπου } A_s \text{ είναι το συνολικό εμβαδόν του}$$

διαμήκους σπλισμού.

Επομένως, για αξονική δύναμη N της διατομής, η εξίσωση ισοδυναμίας μορφώνεται ως εξής: $N_c + N_{s1} + N_{s2} = N$. Η επίλυση της γίνεται με επαναληπτική διαδικασία και από αυτή προκύπτει η γωνία ϕ και κατά συνέπεια η θέση του ουδέτερου άξονα της

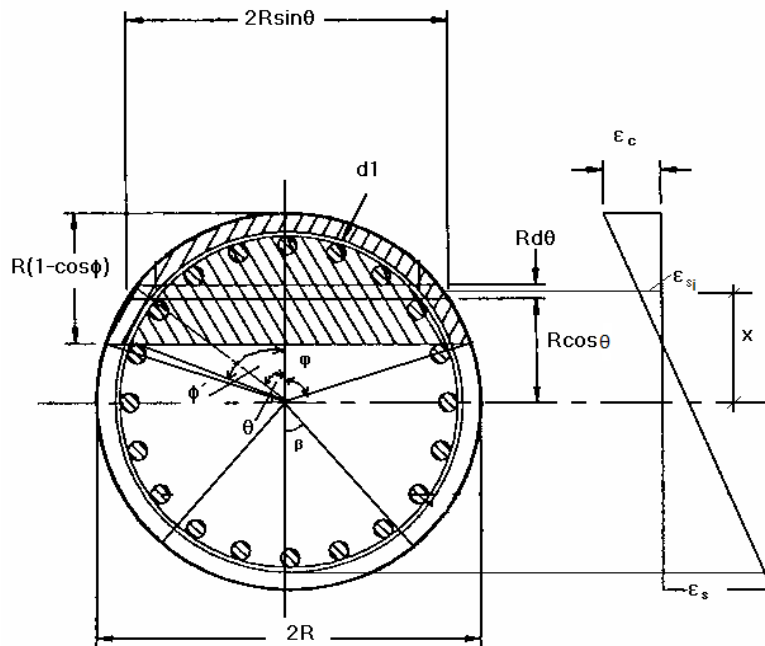
διατομής, αλλά και η καμπυλότητα στη διαρροή $\varphi_{sy} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d}$.

Για τον υπολογισμό της ροπής διαρροής, απαιτείται ολοκλήρωση των ροπών που προκαλούν τα στοιχειώδη τμήματα της διατομής. Από το Σχήμα 3.22, προκύπτουν οι εξής σχέσεις:

$$\cos \phi' (R - d_1) = \cos \phi R \rightarrow \cos \phi' = \frac{R}{R - d_1} \cos \phi \text{ (όπου το } \phi \text{ είναι γνωστό από πριν)}$$

$$\frac{\varepsilon_{si}}{R \cos \theta - R \cos \phi'} = \frac{\varepsilon_s}{R + R \cos \phi'} \rightarrow \varepsilon_{si} = \varepsilon_s \frac{\cos \theta - \cos \phi'}{1 + \cos \phi'}$$

$$x = (R - d_1) \cos \theta$$



Σχήμα 3.22 Υπολογισμός ροπής διαρροής κυκλικής διατομής [5]

Για τον υπολογισμό της ροπής που προκαλεί ο χάλυβας, λαμβάνεται μια λωρίδα της διατομής, στοιχειώδους πάχους $Rd\theta$, σε θέση που ορίζεται από την επικεντρική γωνία. Στη θέση αυτή, ο χάλυβας έχει παραμόρφωση ϵ_{si} και τάση $\sigma_s = \min(f_y, E_s \epsilon_{si})$, όπου για τον οπλισμό που βρίσκεται εντός του κυκλικού τόξου γωνίας β , λαμβάνεται $\sigma_s = f_y$. Από ολοκλήρωση στο σύνολο της διατομής, από $\theta=0$ έως $\theta=\pi$, προκύπτει η

συνολική ροπή που οφείλεται στον χάλυβα: $M_{sy} = \int_0^{\pi} \sigma_s A_{sd} x d\theta$, με $A_{sd\theta} = \left(\frac{d\theta}{2\pi}\right) A_s$

Η ροπή που οφείλεται στις θλιπτικές τάσεις του σκυροδέματος, προκύπτει με ολοκλήρωση της ροπής, που δίνουν στοιχειώδη τμήματα εμβαδού $A d\theta$ και δίνεται από

τη σχέση $M_{cy} = \int_0^{\phi} \sigma_c A d\theta$ και η συνολική ροπή M_y , θεωρείται ως το άθροισμα των

M_{sy} και M_{cy} .

- Παραμόρφωση ακραίας θλιβόμενης ίνας σκυροδέματος $\epsilon_c = 3\text{‰}$

Η διαδικασία υπολογισμού, είναι η ίδια με αυτή που ακολουθήθηκε προηγουμένως, με μόνη διαφορά ότι όλες οι παραμορφώσεις ανάχθηκαν στην παραμόρφωση $\epsilon_c = 3\text{‰}$. Έτσι, τα μεγέθη $\epsilon_{d\theta}$ και ϵ_{so} , δίνονται πλέον από τις σχέσεις:

$$\epsilon_{d\theta} = 0,003 \frac{(\cos \theta - \cos \phi)}{1 - \cos \phi}$$

$$\epsilon_{so} = 0,003 \frac{1 + \cos \phi - \frac{d_1}{R}}{1 - \cos \phi}$$

Πάλι, προκύπτει η γωνία ϕ , η θέση του ουδέτερου άξονα και η καμπυλότητα διαρροής $\phi_y = \frac{0,003 + \varepsilon}{d}$.

Όμοια, υπολογίζεται και η ροπή διαρροής M_y και για αυτή την περίπτωση. Τελικά, η πραγματική καμπυλότητα και ροπή διαρροής, είναι η ελάχιστη των δύο παραπάνω περιπτώσεων που επιλύθηκαν.

- Καμπυλότητα στην αστοχία

Η καμπυλότητα στην αστοχία, θεωρήθηκε ότι προκύπτει κατά την εξάντληση της μέγιστης παραμόρφωσης του περισφυγμένου σκυροδέματος. Σε αυτή την οριακή κατάσταση, κρίσιμο μέγεθος είναι η παραμόρφωση στην οποία αστοχεί το περισφυγμένο σκυρόδεμα $\varepsilon_{cu,c}$. Για τον υπολογισμό της, χρησιμοποιήθηκε το προσομοίωμα περίσφυξης που προτείνεται στη διδακτορική διατριβή που αναφέρθηκε προηγουμένως. Για την αντοχή του περισφυγμένου σκυροδέματος, υιοθετήθηκε η σχέση των Newman K. και Newman J.B. (1971), ενώ η βράχυνση αστοχίας του, προέκυψε έπειτα από πειραματικές μετρήσεις.

$$f_{cc} = f_c \left[1 + 3,7 \left(\frac{\alpha \rho_{sx} f_{yw}}{f_c} \right)^{0,86} \right]$$

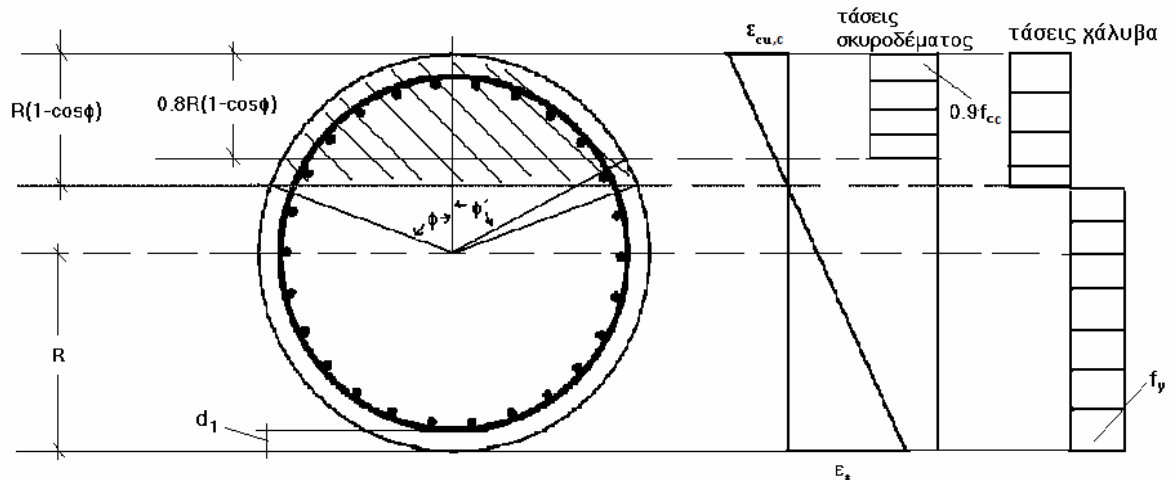
$$\varepsilon_{cu,c} = 0,0035 + \left(\frac{10}{h_c} \right)^2 + 0,4 \frac{\alpha \rho_{sx} f_{yw}}{f_{cc}}$$

Όπου: α = συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφυξης, όπου για κυκλικές διατομές

δίνεται από τη σχέση $\alpha = \left(1 - \frac{S_h}{2D_c} \right)^2$, S_h = απόσταση μεταξύ διαδοχικών

συνδετήρων, D_c = διάμετρος περισφυγμένου πυρήνα, ρ_{sx} = ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού και h_c = ύψος περισφυγμένου πυρήνα σκυροδέματος, ως τον άξονα των συνδετήρων.

Για τον υπολογισμό, λοιπόν, της $\varepsilon_{cu,c}$, χρησιμοποιήθηκε η αντοχή και η παραμόρφωση του περισφυγμένου σκυροδέματος και ως διατομή ελήφθη ο περισφυγμένος πυρήνας, εώς τη μέση γραμμή του συνδετήρα. Κατά την ανάλυση της διατομής, θεωρήθηκε ότι έχει συμβεί πλήρης πλαστικοποίηση των υλικών.



Σχήμα 3.23 Ανάλυση κυκλικής διατομής, στο στάδιο εξάντλησης της $\varepsilon_{cu,c}$ [5]

Ο χάλυβας, δίνει συνολική δύναμη $N_s = f_y A_s \frac{(2\phi - \pi)}{\pi}$, λόγω της ομοιόμορφης

κατανομής του και της πλήρους πλαστικοποίησής του.

Για τον υπολογισμό της θλιπτικής δύναμης του σκυροδέματος, ελήφθη ορθογωνική κατανομή τάσεων στο 80% του ύψους της θλιβόμενης ζώνης, ίση με τάση 90% της f_c . Η κατανομή αυτή, επιτρέπεται και από τον Ευρωκώδικα 2 (παράγραφος 3.1.7), ως εναλλακτική της πραγματικής κατανομής. Το εμβαδόν A_{cc} , στο οποίο ασκείται αυτή η κατανομή τάσεων, προκύπτει από τη γεωμετρία της διατομής ίσο με

$$A_{cc} = \frac{(R - d_1)^2}{2} (2\phi' - \sin 2\phi') = \frac{(R - d_1)^2}{2} (2\phi' - 2 \sin \phi' \cos \phi') = (R - d_1)^2 \phi' - (R - d_1)^2 \sin \phi' \cos \phi'$$

και επομένως η δύναμη λόγω θλιπτικών τάσεων στο σκυρόδεμα είναι:

$N_c = 0,9 f_{cc} (R - d_1)^2 (\phi' - \sin \phi' \cos \phi')$, όπου από γεωμετρία προκύπτει ότι

$$\cos \phi' = \frac{R - [0,8R(1 - \cos \phi)]}{R} = \frac{0,2R + 0,8R \cos \phi}{R} = 0,2 + 0,8 \cos \phi$$

Εξισώνοντας το άθροισμα των N_s και N_c με την αξονική δύναμη N που ασκείται στη διατομή, προκύπτει με επαναληπτική διαδικασία η γωνία ϕ και επομένως το ύψος της θλιβόμενης ζώνης και η αντίστοιχη καμπυλότητα ϕ_u .

Επομένως, με όλα τα παραπάνω, είναι δυνατό να προσδιοριστεί το διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων. Το επόμενο βήμα, για τον ορισμό του διαγράμματος $M-\theta$, είναι η εύρεση της παραμόρφωσης μέλους κυκλικής διατομής, στη διαρροή και στην καμπτική αστοχία.

- Παραμόρφωση μέλους στη διαρροή

Η γωνία στροφής χορδής στη διαρροή υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση, η οποία προτείνεται στη σχετική διδακτορική διατριβή και αναπτύχθηκε έπειτα από πειραματικές διαδικασίες:

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0,0027 \max[0, (1 - \frac{2L_s}{15D})] + \frac{\phi_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad (f_y, f_c \text{ σε MPa})$$

- Παραμόρφωση μέλους στην καμπτική αστοχία

Η σχέση υπολογισμού της γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία, υιοθετεί το προσομοίωμα υπολογισμού της καμπυλότητας στην αστοχία, όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω και έχει τη μορφή:

$$\theta_u = \theta_{y, fl} + \theta_{y, sh} + \theta_{u, slip} + \theta_u^{pl} = \theta_{y, fl} + \theta_{y, sh} + \theta_{u, slip} + (\phi_{cu} - \phi_y) L_{pl} (1 - \frac{0,5L_{pl}}{L_s})$$

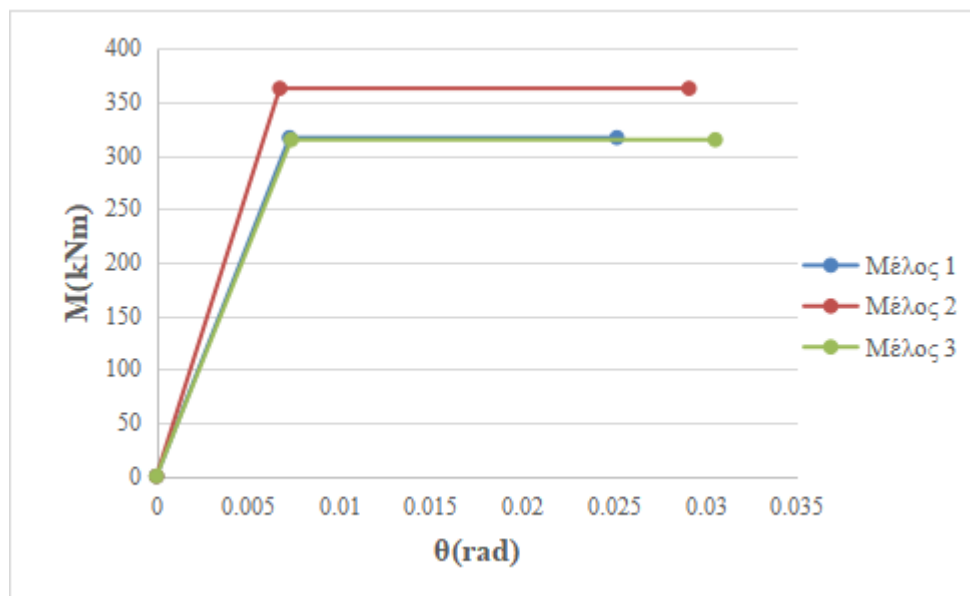
$$\rightarrow \theta_u = \phi_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0,0027 \max[0, (1 - \frac{2L_s}{15D})] + \frac{\phi_{cu} d_b f_y}{16\sqrt{f_c}} + (\phi_{cu} - \phi_y) L_{pl} (1 - \frac{0,5L_{pl}}{L_s}), \text{ όπου}$$

το μήκος της πλαστικής άρθρωσης L_{pl} , εξαρτάται από τον τύπο της διατομής του μέλους και το είδος της φόρτισης. Έτσι, για κυκλική διατομή και ανακυκλιζόμενη

φόρτιση, προκύπτει ότι $L_{pl} = 0,09L_s + \frac{2D}{3}$

Τέλος, στο Σχήμα 3.24 παρουσιάζεται ενδεικτικά το διάγραμμα $M-\theta$, τριών μελών οπλισμένου σκυροδέματος. Και τα τρία, είναι κατασκευασμένα από την ίδια ποιότητα

σκυροδέματος και χάλυβα, έχουν το ίδιο μήκος, είναι οπλισμένα με τα ίδια διαμήκη σίδερα και τον ίδιο οπλισμό διάτμησης και δέχονται την ίδια αξονική δύναμη. Η μεταξύ τους διαφορά, είναι ότι το πρώτο μέλος έχει κυκλική διατομή διαμέτρου $D=0,65\text{m}$ (μέλος 1), το δεύτερο έχει τετραγωνική διατομή διαστάσεων $D \times D$ (μέλος 2) και το τρίτο έχει τετραγωνική διατομή διαστάσεων $(\frac{D}{2}\sqrt{\pi}) \times (\frac{D}{2}\sqrt{\pi})$, ίσου εμβαδού με την κυκλική διατομή του πρώτου μέλους. (μέλος 3) Όπως φαίνεται και στο σχετικό διάγραμμα, τα αποτελέσματα για τα μέλη 1 και 3, σχεδόν ταυτίζονται.

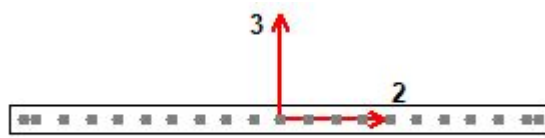


Σχήμα 3.24 Διαγράμματα ροπής-στροφής χορδής, για διαφορετικές διατομές υποστυλωμάτων

Σε ότι αφορά την εισαγωγή των πλαστικών αρθρώσεων στο λογισμικό, αυτή γίνεται όπως ακριβώς και στα ορθογωνικά υποστυλώματα, με μόνη διαφορά ότι εδώ επιλέχθηκε το Moment Rotation Dependence in Circular. (Σχήμα 3.19)

3.4.8.4 Τοιχεία

Στα τοιχεία, αναμένεται σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων στη βάση τους. Για την προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς τους, επιλέχθηκε η μέθοδος Wall Fiber Hinge (P-M3), σύμφωνα με την οποία τα τοιχεία έχουν τη δυνατότητα ανάπτυξης πλαστικής άρθρωσης έναντι ροπής κάμψης, στον ισχυρό άξονα. Με τη μέθοδο αυτή, το τοιχείο χωρίζεται κατά μήκος σε ίνες (fibers), οι οποίες έχουν οριστεί να έχουν το υλικό του σκυροδέματος και τον οπλισμό κάμψης που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές. Όταν το υλικό κάποιας ίνας φτάσει την τάση διαρροής, λόγω των ορθών τάσεων που αναπτύσσονται από την οριζόντια φόρτιση, τότε αυτή πλαστικοποιείται και η διαδικασία συνεχίζεται, με μειωμένη πλέον τη δυσκαμψία του τοιχείου. Η παραπάνω διαδικασία, συνεχίζεται ώσπου κάποια ίνα να ξεπεράσει τα ανεκτά όρια παραμόρφωσης. Για τη συνολική αντοχή του τοιχείου, θα ελεγχθεί παρακάτω, αν η τέμνουσα που αναπτύσσεται σε αυτό είναι ανεκτή σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.



Σχήμα 3.25 Προσομοίωση ανελαστικής συμπεριφοράς τοιχωμάτων, με τη μέθοδο Wall Fiber Hinge

Για τον ορισμό των πλαστικών αρθρώσεων των τοιχωμάτων στο λογισμικό, αρχικά ορίστηκε ο οπλισμός του κάθε τοιχείου μέσω της εντολής Assign→Shell→Reinforcement for Wall Hinge και στη συνέχεια δόθηκε η πλαστική άρθρωση στο εκάστοτε τοιχείο με την εντολή Assign→Shell→Wall Hinge.

Rebar Material

Material Flexure: Still-diamikis
 Material Shear: St-hundetires
 Bar Clear Cover: 30 mm

Layout

Geometry

Start X (mm)	Start Y (mm)	End X (mm)	End Y (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)	Start Zone Ratio	End Zone Ratio
0	10400	4150	10400	4150	400	0.15	0.15

Reinforcement

Flexural Detail

Station	Bar Size	Bar Spacing (mm)	Number of Bars
Start	20	140	4
Center	10	200	14
End	20	140	4

Flexural Detail (Additional Individual Bar)

Material	Distance (mm)	Area (mm ²)
*		

Shear/Confinement Detail

Station	Bar Size	Bar Spacing (mm)	Confined
Start	10	100	Yes
Center	10	100	No
End	10	100	Yes

OK Cancel

Σχήμα 3.26 Ορισμός οπλισμού τοιχωμάτων

Συμπληρώνοντας, λοιπόν, όλα τα παραπάνω στοιχεία, έχει αποτυπωθεί πλήρως η συμπεριφορά των δομικών στοιχείων, όπως προβλέπεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

4 Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, μελετάται η συμπεριφορά της κατασκευής με τη μέθοδο της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης (pushover), προκειμένου να εξεταστεί η ανελαστική απόκρισή της. Αποτέλεσμα της συγκεκριμένης ανάλυσης, είναι ο σχηματισμός του διαγράμματος τέμνουσας βάσης-μετακίνησης κορυφής. Μέσω αυτού, ελέγχεται η επάρκεια του κτιρίου με βάση τη στοχευόμενη μετακίνηση, για στάθμη επιτελεστικότητας 'Προστασία Ζωής' και καθορίζεται το κατά πόσο η κατασκευή χρήζει ή όχι ενίσχυσης.

4.2 Ιδιομορφική ανάλυση κατασκευής

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η ιδιομορφική ανάλυση της κατασκευής από την οποία υπολογίστηκαν οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιομορφές της, καθώς και το ποσοστό συνολικής μάζας, που ενεργοποιείται σε κάθε ιδιομορφή. Οι παραμετροί της ιδιομορφικής ανάλυσης, ορίζονται στο ETABS από την εντολή: Define → Modal Cases → Modify/Show Case και ορίζεται ο αριθμός των ιδιομορφών που θα ληφθεί, στην επιλογή Maximum Number of Modes.

Modal Case Data

General

Modal Case Name: Modal [Design...]

Modal Case SubType: Eigen [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: MsSrc1

P-Delta/Nonlinear Stiffness

Use Preset P-Delta Settings: None [Modify/Show...]

Use Nonlinear Case (Loads at End of Case NOT Included)

Nonlinear Case: []

Loads Applied

Advanced Load Data Does NOT Exist Advanced

Other Parameters

Maximum Number of Modes: 20

Minimum Number of Modes: 1

Frequency Shift (Center): 0 cyc/sec

Cutoff Frequency (Radius): 0 cyc/sec

Convergence Tolerance: 1E-09

Allow Auto Frequency Shifting

OK Cancel

Σχήμα 4.1 Ορισμός ιδιομορφικής ανάλυσης

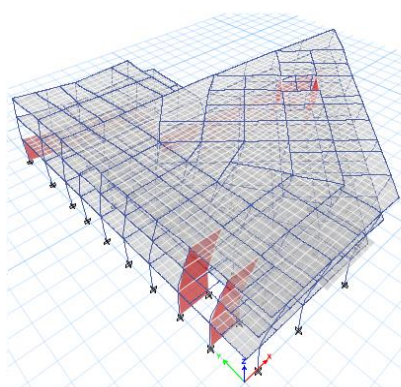
Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2, απαιτούνται 18 ιδιομορφές κατά x και 11 κατά y, για να ενεργοποιηθεί ποσοστό μάζας μεγαλύτερο του 90%, σε κάθε διεύθυνση αντίστοιχα. Επιπλέον, φαίνεται ότι το κτίριο έχει μεγαλύτερη ιδιοπερίοδο στη διεύθυνση y και άρα είναι πιο εύκαμπτο σε αυτή τη διεύθυνση, οπότε αναμένεται να εμφανιστούν μεγαλύτερες μετακινήσεις σε αυτή. Επίσης, παρατηρώντας τη μεγάλη τιμή που λαμβάνει ο συντελεστής στοφών RZ (>0,2), εξάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχει εκκεντρότητα ανάμεσα στο κέντρο μάζας και το κέντρο δυσκαμψίας της κατασκευής. Τέλος, στα Σχήματα 4.4-4.6, παρουσιάζεται ενδεικτικά η παραμορφωμένη γεωμετρία του φορέα, βάσει των τριών πρώτων ιδιομορφών.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RZ
Modal	1	0,37	0,0101	0,5931	0	0,0101	0,5931	0	0,0001
Modal	2	0,293	0,071	0,0014	0	0,0811	0,5945	0	0,4969
Modal	3	0,257	0,5394	0,0101	0	0,6205	0,6046	0	0,1344
Modal	4	0,114	0,0004	0,0169	0	0,6209	0,6214	0	0,0132
Modal	5	0,097	0,0042	0,0886	0	0,6251	0,71	0	0,000003455
Modal	6	0,09	0,0019	0,0105	0	0,6269	0,7205	0	0,0016
Modal	7	0,085	0,005	0,0106	0	0,632	0,7311	0	0,0294
Modal	8	0,083	0,0158	0,0101	0	0,6477	0,7412	0	0,0187
Modal	9	0,062	0,0089	0,00003031	0	0,6566	0,7412	0	0,0074
Modal	10	0,062	0,102	0,00002608	0	0,7587	0,7413	0	0,0771
Modal	11	0,049	0,0014	0,1706	0	0,76	0,9119	0	0,003
Modal	12	0,049	0,0001	0,027	0	0,7602	0,9389	0	0,0005
Modal	13	0,045	0,0004	0,000003064	0	0,7606	0,9389	0	0,0006
Modal	14	0,044	0,00003977	0,000001358	0	0,7606	0,9389	0	0,0001
Modal	15	0,044	0,0000228	0,0001	0	0,7606	0,939	0	0,00004219
Modal	16	0,043	0	0,0007	0	0,7606	0,9396	0	0,000003379
Modal	17	0,035	0,0217	0,0049	0	0,7823	0,9445	0	0,0218
Modal	18	0,026	0,1494	0,0038	0	0,9317	0,9484	0	0,1176

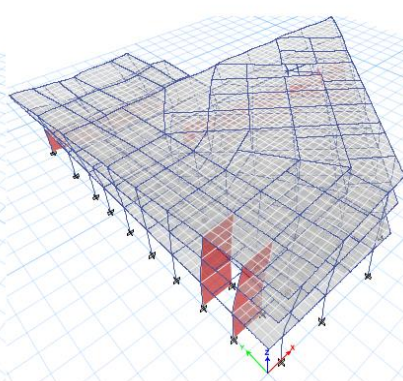
Σχήμα 4.2 Ποσοστά ενεργοποιούμενης μάζας ιδιομορφών

TABLE: Modal Direction Factors					
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ
		sec			
Modal	1	0,37	0,018	0,982	0
Modal	2	0,293	0,148	0,002	0
Modal	3	0,257	0,832	0,016	0
Modal	4	0,114	0,039	0,416	0
Modal	5	0,097	0,078	0,906	0
Modal	6	0,09	0,054	0,493	0
Modal	7	0,085	0,056	0,043	0
Modal	8	0,083	0,224	0,031	0
Modal	9	0,062	0,036	0,006	0
Modal	10	0,062	0,712	0,051	0
Modal	11	0,049	0,016	0,932	0
Modal	12	0,049	0,01	0,814	0
Modal	13	0,045	0,754	0,001	0
Modal	14	0,044	0,158	0,002	0
Modal	15	0,044	0	0,003	0
Modal	16	0,043	0,001	0,965	0
Modal	17	0,035	0,522	0,042	0
Modal	18	0,026	0,506	0,012	0

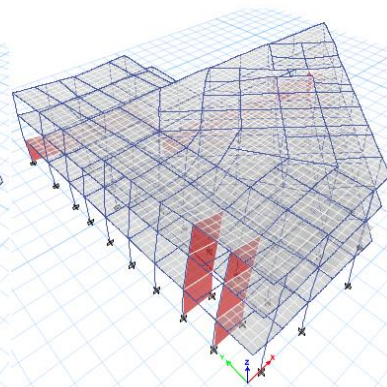
Σχήμα 4.3 Συντελεστές κατεύθυνσης ιδιομορφών



Σχήμα 4.4 1^η ιδιομορφή κατά y



Σχήμα 4.5 2^η ιδιομορφή στροφική



Σχήμα 4.6 3^η ιδιομορφή κατά x

4.3 Επιλογή στάθμης επιτελεστικότητας αποτίμησης

Για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής, επιλέχθηκε η στάθμη επιτελεστικότητας B1. Έτσι, σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. και για τη σεισμική δράση αποτίμησης, ο φέρων οργανισμός του κτιρίου, επιτρέπεται να υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες, αλλά επισκευάσιμες βλάβες. Σε αυτή την κατάσταση, τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων, είναι μετρίου μεγέθους και ο φέρων οργανισμός, μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριας έντασης. Σε αυτή τη στάθμη επιτελεστικότητας, δίνεται πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης 10% σε 50 έτη, η οποία αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 475 έτη.

4.4 Έλεγχος ικανοποίησης προϋποθέσεων εφαρμογής της στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover)

Όπως έχει αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 2, βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή της στατικής ανελαστικής ανάλυσης σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., είναι να διασφαλίζεται τουλάχιστον <<Ικανοποιητική>> Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων και η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών να μην είναι σημαντική. Στο κτίριο που μελετάται, έχει επιλεγεί <<Υψηλή>> Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων, επομένως η πρώτη προϋπόθεση ικανοποιείται. Σε ότι αφορά την επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2, η θεμελιώδης ιδιομορφή ανά διεύθυνση, ενεργοποιεί μεγάλο ποσοστό της συνολικής μάζας της κατασκευής (≈60%). Επίσης, οι ιδιομορφές αυτές έχουν ιδιοπερίόδους μικρότερες από 1 sec, γεγονός που επιτρέπει να θεωρηθεί ότι η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν είναι σημαντική.

4.5 Εφαρμογή της στατικής ανελαστικής ανάλυσης στην κατασκευή

Η επιβολή των φορτίων για την εκτέλεση της ανάλυσης pushover, περιλαμβάνει δύο φάσεις.

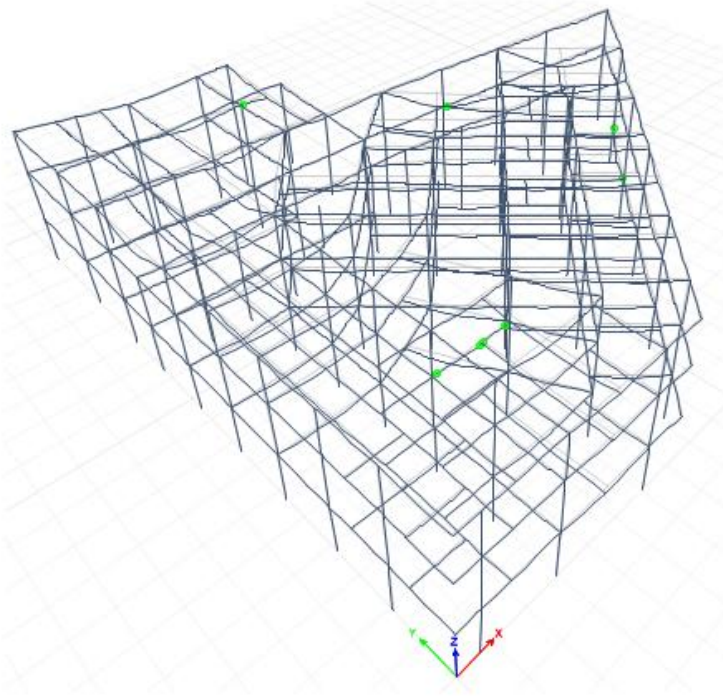
Αρχικά, πραγματοποιείται στατική ανελαστική ανάλυση, για την επιβολή των κατακόρυφων φορτίων, υπό μηδενικές αρχικές συνθήκες, προκειμένου να ελεγχθεί αν η κατασκευή είναι σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία της. Τα κατακόρυφα φορτία, λαμβάνονται από τον οιονεί μόνιμο συνδυασμό φόρτισης G+0,3Q. Ο συνδυασμός φόρτισης, εισάγεται στο λογισμικό με την εντολή Define→Load Cases→Add New Case. Επιλέχθηκε να ασκηθεί όλο το φορτίο, εφόσον είναι γνωστό (Load Application→Full Load) και να αποθηκευτεί μόνο το τελευταίο στάδιο της φόρτισης. (Results Saved→Final State Only)

Σχήμα 4.7 Καθορισμός παραμέτρων κατακόρυφης φόρτισης

Εκτελείται, επομένως, η ανάλυση και προκύπτει ότι το κτίριο είναι σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του, αφού τα στοιχεία που έχουν μπει στην πλαστική ζώνη, είναι ελάχιστα. (Σχήμα 4.8)

Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1298	0	0	0	0	1298	0	0	0	1298
1	0	5345,2474	1298	0	0	0	0	1298	0	0	0	1298
2	0	10690,4947	1298	0	0	0	0	1298	0	0	0	1298
3	0	16035,7421	1298	0	0	0	0	1298	0	0	0	1298
4	0	21380,9895	1298	0	0	0	0	1298	0	0	0	1298
5	0	22893,192	1297	1	0	0	0	1298	0	0	0	1298
6	0	33102,06	1296	2	0	0	0	1296	2	0	0	1298
7	0	38447,3073	1296	2	0	0	0	1296	2	0	0	1298
8	0	47315,1782	1293	5	0	0	0	1294	4	0	0	1298
9	0	53452,4736	1290	8	0	0	0	1290	8	0	0	1298

Σχήμα 4.8 Σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων λόγω κατακόρυφων φορτίων



Σχήμα 4.9 Παραμορφωμένη εικόνα και σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων στα 'πράσινα σημεία'

Επομένως, το επόμενο βήμα θα είναι η στατική ανελαστική ανάλυση, για την επιβολή του οριζόντιου σεισμικού φορτίου, για την οποία θεωρείται ως σημείο εκκίνησης το πέρας της ανελαστικής επιβολής των κατακόρυφων φορτίων. Μέσω αυτής της ανάλυσης, εξετάζεται η συμπεριφορά του φορέα υπό τη δράση φορτίων βαρύτητας και μονοτονικά αυξανόμενων οριζόντιων φορτίων. Αποτέλεσμά της, είναι η δημιουργία της καμπύλης ικανότητας του κτιρίου, στην οποία φαίνεται η μεταβολή της τέμνουσας βάσης συναρτήσει της μετακίνησης του κόμβου ελέγχου.

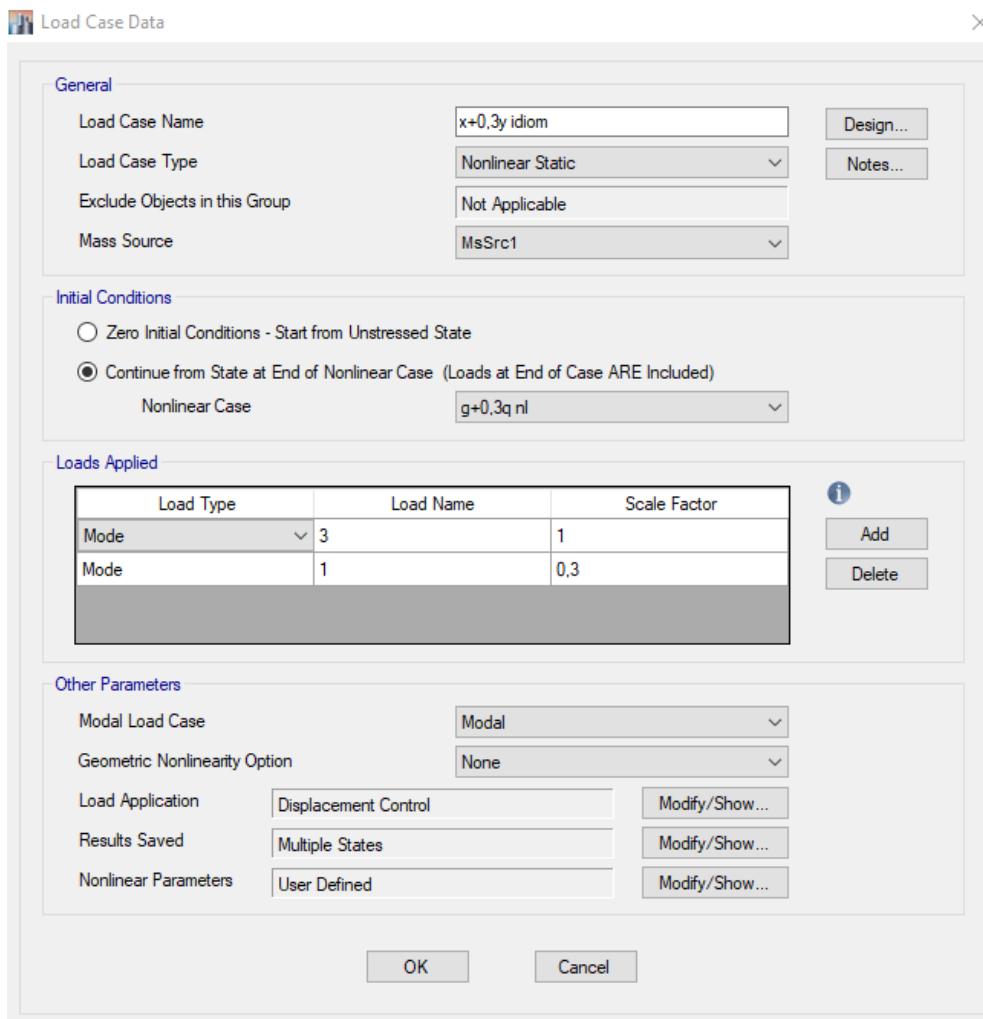
Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (EC 8-1), για την αποτίμηση της συμπεριφοράς ενός κτιρίου μέσω της ανάλυσης pushover, απαιτείται η εφαρμογή τουλάχιστον δύο διαφορετικών καθ' ύψος κατανομών φόρτισης, ώστε να λαμβάνεται κατά το δυνατόν υπ' όψιν η μεταβολή του τρόπου κατανομής των φορτίων, λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς ορισμένων περιοχών του φορέα, αλλά και λόγω της επιρροής των ανώτερων ιδιομορφών. Τα οριζόντια στατικά φορτία, θα εφαρμόζονται στη στάθμη κάθε διαφράγματος, σύμφωνα με την κατανομή των αδρανειακών φορτίων του σεισμού. Ως πρώτη κατανομή, επιλέχθηκε η ομοιόμορφη κατανομή και ως δεύτερη η ιδιομορφική. Στην ομοιόμορφη κατανομή, τα οριζόντια φορτία είναι ανάλογα μόνο της μάζας του κάθε ορόφου, ενώ στην ιδιομορφική υιοθετούν το σχήμα της πρώτης ιδιομορφής στη θεωρούμενη διεύθυνση. Έτσι, στη διεύθυνση x τα οριζόντια φορτία είναι ανάλογα της 3^{ης} ιδιομορφής, που είναι η κύρια μεταφορική σε αυτή τη διεύθυνση, ενώ στην y, είναι ανάλογα της 1^{ης} ιδιομορφής, που αντίστοιχα είναι η κύρια μεταφορική στη διεύθυνση y. Επιπλέον, όπως ορίζεται και στον ΚΑΝ.ΕΠΕ., τα φορτία πρέπει να εφαρμόζονται σε δύο αντίθετες διευθύνσεις (θετική-αρνητική) και γίνεται επίσης η θεώρηση της ταυτόχρονης δράσης του σεισμού στις δύο κύριες διευθύνσεις x και y σε ποσοστά 100% και 30%. Έτσι, προέκυψαν οι 16 διαφορετικές αναλύσεις pushover, που φαίνονται στο Σχήμα 4.10.

ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ
X+0,3Y	X+0,3Y
X-0,3Y	X-0,3Y
-X+0,3Y	-X+0,3Y
-X-0,3Y	-X-0,3Y
Y+0,3X	Y+0,3X
Y-0,3X	Y-0,3X
-Y+0,3X	-Y+0,3X
-Y-0,3X	-Y-0,3X

Σχήμα 4.10 Αναλύσεις pushover ανά κατανομή οριζόντιων φορτίων

Ορίστηκαν,λοιπόν,οι περιπτώσεις στατικής ανελαστικής ανάλυσης,για τους διάφορους συνδυασμούς.Οι αναλύσεις είναι μη γραμμικές και σε όλες τις περιπτώσεις,η οριζόντια φόρτιση ξεκινάει από την αρχική κατακόρυφη φόρτιση $q+0,3q_{nl}$.Στο Load Type,επιλέχθηκε το 'Acceleration' για την ομοιόμορφη κατανομή και το 'Mode' για την ιδιομορφική.Ενδεικτικά,παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.11-4.12,μια ομοιόμορφη και μία ιδιομορφική φόρτιση.

Σχήμα 4.11 Ορισμός ομοιόμορφης κατανομής οριζόντιων φορτίων



Σχήμα 4.12 Ορισμός ιδιομορφικής κατανομής οριζόντιων φορτίων

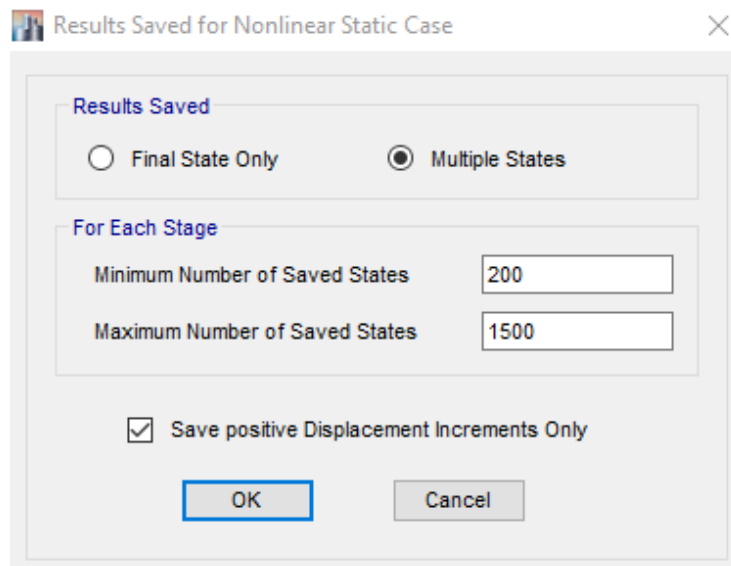
Ορίστηκε, επίσης, η φόρτιση της κατασκευής να γίνει μέσω ελεγχόμενης μετακίνησης (Displacement Control) του κόμβου ελέγχου του κτιρίου, αφού έτσι παρέχεται επαρκής εικόνα της ανελαστικής απόκρισης του και μετά την υπέρβαση της μέγιστης τέμνουσας βάσης που μπορεί να αναπτυχθεί. Ως κόμβος ελέγχου, επιλέχθηκε το κέντρο του διαφράγματος του τελευταίου ορόφου. (Α' όροφος) Έπειτα από δοκιμές, δόθηκε ελεγχόμενη μετακίνηση 40mm στη διεύθυνση x και 50mm στη διεύθυνση y, η οποία είναι λίγο μεγαλύτερη από τη μετακίνηση για την οποία έχουμε κατάρρευση του φορέα, σε κάθε διεύθυνση.

Τέλος, ορίστηκαν οι παράμετροι που απαιτούνται για την εκτέλεση των αναλύσεων pushover. Η σημασία της κάθε παραμέτρου, δίνεται παρακάτω:

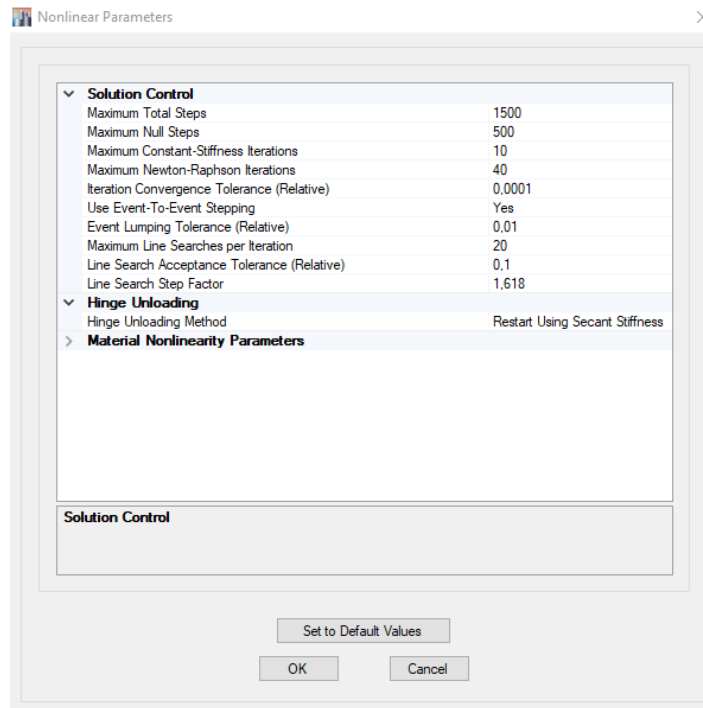
- **Minimum Number of Saved States:** Καθορίζει τα σημεία κατά τα οποία γίνεται αποθήκευση των αποτελεσμάτων. Τα σημεία αποθήκευσης, προκύπτουν από τη διαίρεση της μετακίνησης στόχου, προς τον ελάχιστο αριθμό βημάτων αποθήκευσης. Η επιλογή του, απαιτεί σχετική διερεύνηση, καθώς αν ο αριθμός είναι πολύ μικρός, ενδέχεται να μην υπάρχουν αρκετά σημεία για την ικανοποιητική μάρφωση της καμπύλης ικανότητας του φορέα, ενώ αν είναι πολύ μεγάλος, τότε τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιήσουν μεγάλο αποθηκευτικό χώρο στο δίσκο και η ανάγνωση τους από το πρόγραμμα θα είναι δυσχερής.

- Maximum Total Steps: Είναι ο μέγιστος αριθμός βημάτων κατά την ανάλυση και καθορίζει τη διάρκεια της ανάλυσης
- Maximum Null Steps: Τα βήματα αυτά εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επίλυσης, όταν επιχειρείται αποφόρτιση μιας πλαστικής άρθρωσης ή όταν η σύγκλιση δεν επέρχεται και απαιτείται μικρότερο βήμα ανάλυσης.
- Maximum Constant-Stiffness Iterations: Οι επαναλήψεις που πραγματοποιούνται με σκοπό να επιτευχθεί η ισορροπία, σε κάθε βήμα της ανάλυσης. Στο κάθε βήμα, επιχειρείται πρώτα η προσέγγιση σταθερής δυσκαμψίας.
- Maximum Newton-Raphson Iterations: Εάν η ισορροπία δεν επιτευχθεί με την παραπάνω διαδικασία, τότε αυτή επαναλαμβάνεται με τη μέθοδο Newton-Raphson. Αν αποτύχει και αυτή η προσέγγιση, τότε διαιρείται το βήμα και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.
- Iteration Convergence Tolerance (Relative): Είναι η αριθμητική ανοχή, που δίνει το πρόγραμμα στην παραπάνω επαναληπτική διαδικασία. Αφορά το σφάλμα που επιτρέπεται μεταξύ της δρώσας και της υπολογισθείσας δύναμης σε κάθε επανάληψη, για την επίτευξη σύγκλισης.
- Use Event-To-Event Stepping: Καθορίζει το αν θα πραγματοποιηθεί ομαδοποίηση των διαρροών που συμβαίνουν για ίδια περίπου μετακίνηση (No) ή αν για κάθε διαρροή θα ξεκινάει καινούριο βήμα της ανάλυσης. (Yes)
- Hinge Unloading Method: Καθορίζει τη μέθοδο αποφόρτισης των πλαστικών αρθρώσεων και της ανακατανομής της έντασης. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος 'Restart Using Secant Stiffness', σύμφωνα με την οποία όταν κάποιο στοιχείο αστοχήσει, επαναλαμβάνεται η διαδικασία, λαμβάνοντας υπόψιν τη μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων που έχουν διαρρεύσει.

Οι υπόλοιποι παράμετροι, αφορούν την αναλυτική προσέγγιση του προβλήματος και περιγράφονται στο εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος.



Σχήμα 4.13 Καθορισμός παραμέτρων οριζόντιας φόρτισης

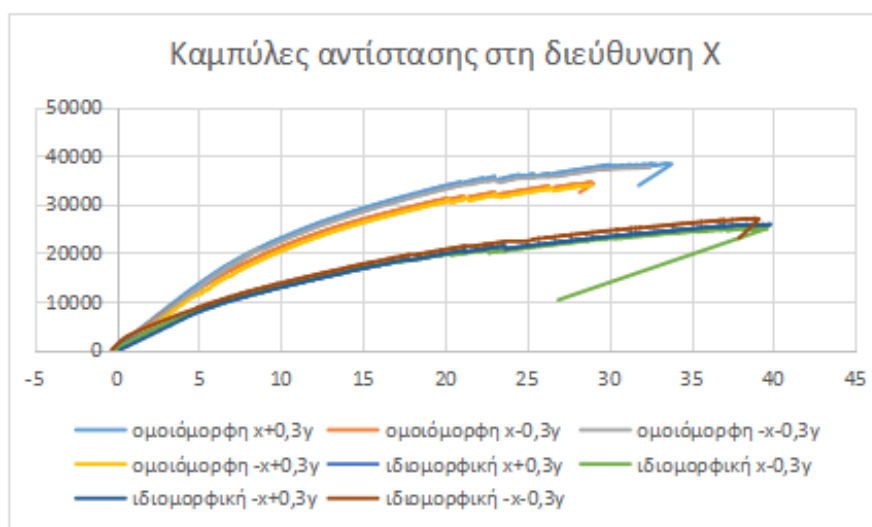


Σχήμα 4.14 Καθορισμός παραμέτρων οριζόντιας φόρτισης

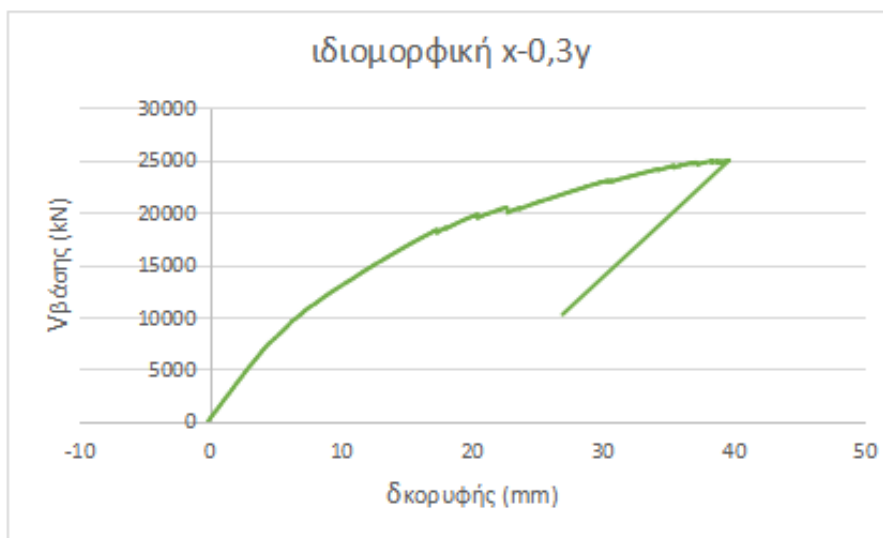
4.6 Αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων

Παρακάτω, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι καμπύλες αντίστασης ανά διεύθυνση, για όλες τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν. Από αυτές, χρησιμοποιήθηκε τελικά η δυσμενέστερη περίπτωση ανά διεύθυνση, δηλαδή αυτή που αντέχει τη μικρότερη τέμνουσα βάσης και προσδιορίστηκε για κάθε μία το σημείο επιτελεστικότητας με βάση τον FEMA 440.

4.6.1 Διεύθυνση X



Σχήμα 4.15 Καμπύλες αντίστασης για αναλύσεις στη διεύθυνση X



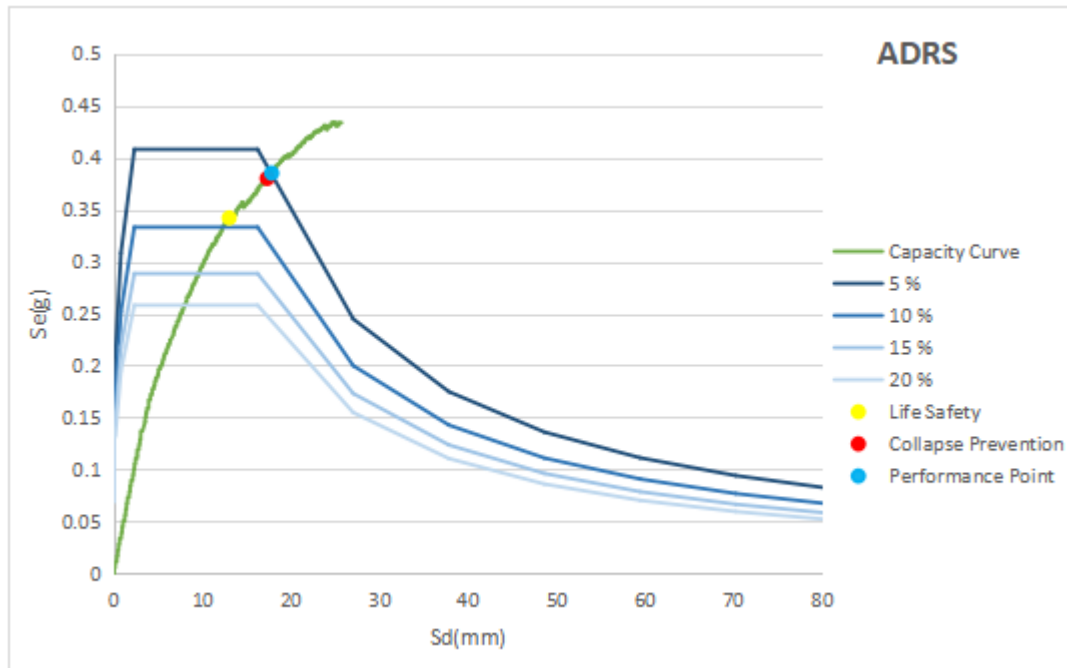
Σχήμα 4.16 Δυσμενέστερος συνδυασμός φόρτισης στη διεύθυνση X

Δυσμενέστερος συνδυασμός φόρτισης για τη διεύθυνση X, είναι ο $x=0,3\gamma$ με ιδιομορφική κατανομή των οριζόντιων φορτίων. Έγινε εξαγωγή των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης ανάλυσης, με την παραδοχή του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σύμφωνα με τον FEMA 440 και προέκυψε έτσι το σημείο επιτελεστικότητας. (Σχήμα 4.24) Πάνω σε αυτή την καμπύλη, ορίστηκαν επίσης οι στάθμες επιτελεστικότητας σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Η στάθμη 'Οιονεί Κατάρρευση', ορίζεται ως το σημείο (d_u) που στην κατασκευή εμφανίζεται το πρώτο μέλος που φτάνει την αντίστοιχη στάθμη, η στάθμη 'Προστασία Ζωής' ως το σημείο που ένα μέλος φτάνει στο $0,75d_u$ και η στάθμη 'Άμεση Χρήση' ως το σημείο που κάποιο μέλος της κατασκευής φτάνει σε αυτή τη στάθμη. Επομένως, με βάση το Σχήμα 4.23, οι στάθμες επιτελεστικότητας κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., είναι οι εξής:

- ✓ Οιονεί Κατάρρευση: 17,3 mm
- ✓ Προστασία Ζωής: 12,98 mm
- ✓ Άμεση Χρήση: 0 mm

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement											
Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
mm	kN										
0,2	0	1290	8	0	0	0	1290	8	0	0	1298
-5,3	8414,6327	1275	23	0	0	0	1275	23	0	0	1298
-10,3	13240,2345	1236	62	0	0	0	1244	54	0	0	1298
-17,3	18075,9073	1154	143	0	1	0	1159	135	3	1	1298
-25,1	21032,558	1076	218	0	1	3	1083	193	15	7	1298
-35	24348,3202	991	300	0	3	4	1000	242	38	18	1298
-39,6	24998,5947	948	335	1	8	6	962	265	43	28	1298
-26,9	10256,6159	948	335	1	8	6	962	265	42	29	1298

Σχήμα 4.17 Σταδιακή ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων κατά X



Σχήμα 4.18 Καμπύλη ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος κατά X (ADRS)

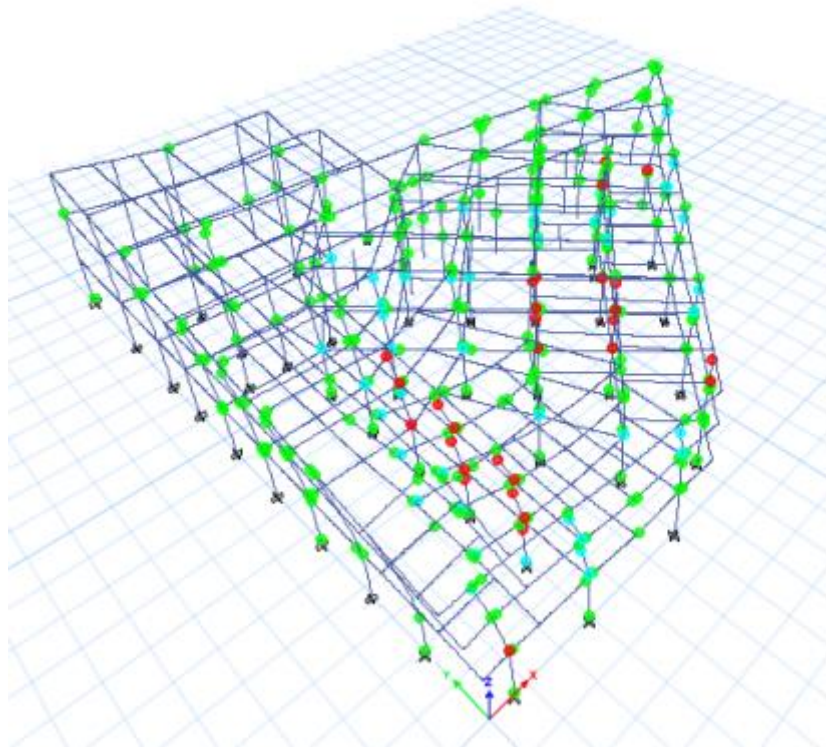
Όπως φαίνεται, λοιπόν, στο Σχήμα 4.18, οι στάθμες Ο.Κ. και Π.Ζ., είναι πριν από το σημείο επιτελεστικότητας της κατασκευής και επομένως η κατασκευή δεν επαρκεί στη διεύθυνση X.

Τέλος, στο Σχήμα 4.19 φαίνεται η κατάσταση του κτιρίου τη στιγμή της κατάρρευσης και οι πλαστικές αρθρώσεις που έχουν σχηματιστεί. Με πράσινο χρώμα, συμβολίζονται οι πλαστικές αρθρώσεις που έχουν δημιουργηθεί, με γαλάζιο οι πλαστικές αρθρώσεις που έχουν ξεπεράσει τη στάθμη 'Προστασία Ζωής' και με κόκκινο αυτές που έχουν ξεπεράσει τη στάθμη 'Οιονεί Κατάρρευση'. Τα στοιχεία της κατασκευής που έχουν ξεπεράσει την επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας Π.Ζ., είναι τα εξής υποστυλώματα:

Υπόγειο: C11, C31

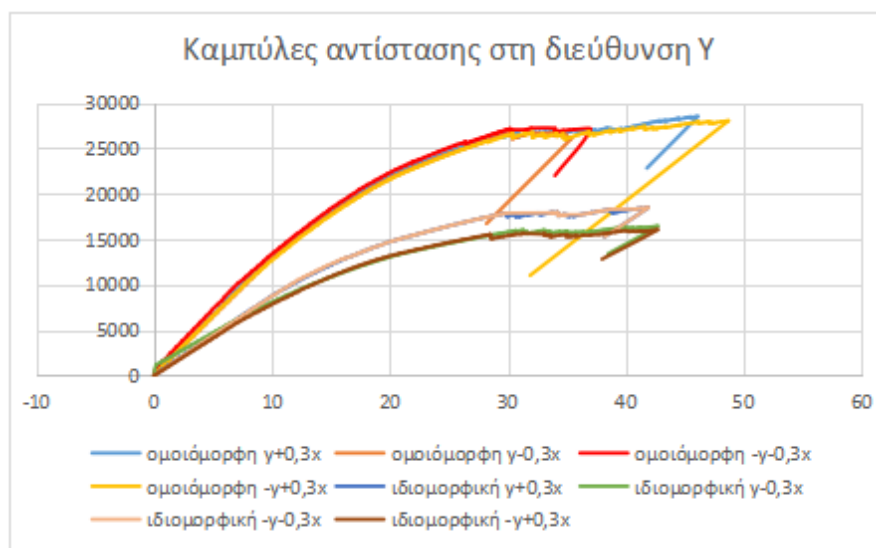
Ισόγειο: C1, C2, C4, C5, C10, C11, C24, C31

Ά Οροφος: C1, C3, C5, C11, C26, C31

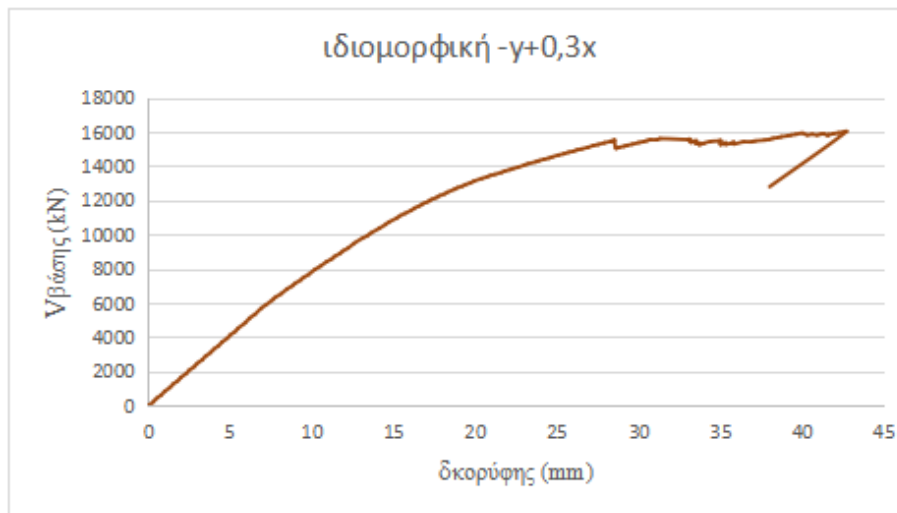


Σχήμα 4.19 Πλαστικές αρθρώσεις τη στιγμή της κατάρρευσης

4.6.2 Διεύθυνση Y



Σχήμα 4.20 Καμπύλες αντίστασης για αναλύσεις στη διεύθυνση Y



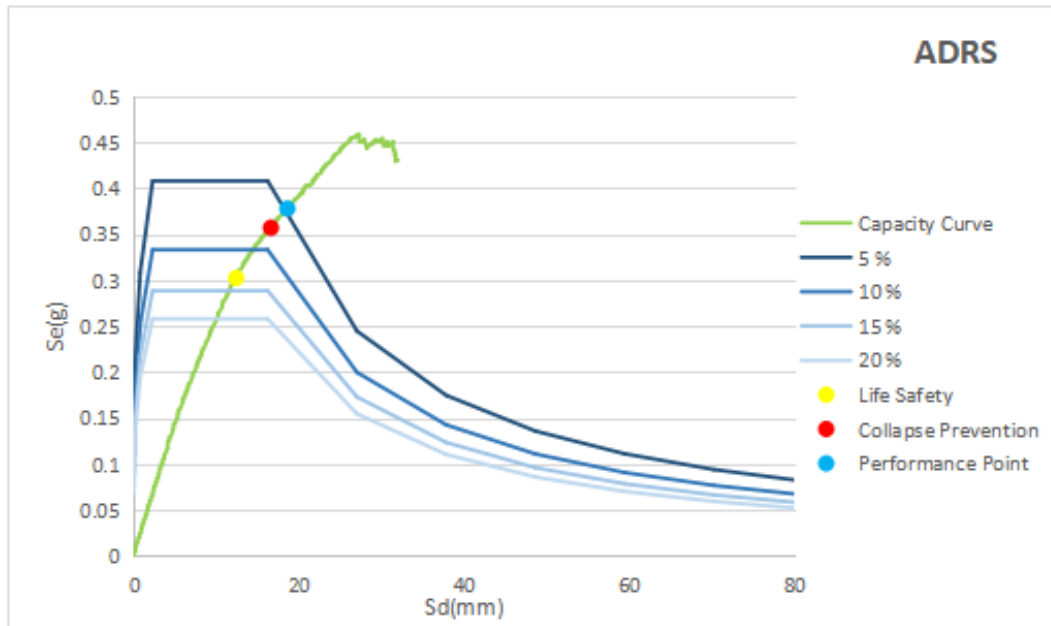
Σχήμα 4.21 Δυσμενέστερος συνδυασμός φόρτισης στη διεύθυνση Y

Δυσμενέστερος συνδυασμός φόρτισης σε αυτή τη διεύθυνση, είναι ο $-y+0,3x$, για ιδιομορφική κατανομή των οριζόντιων φορτίων. Όπως και στη διεύθυνση X, έγινε και πάλι εξαγωγή των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης ανάλυσης, με την παραδοχή του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος, σύμφωνα με τον FEMA 440. Πάνω στην καμπύλη αυτή, ορίστηκε το σημείο επιτελεστικότητας της κατασκευής και οι στάθμες επιτελεστικότητας σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., οι οποίες με βάση το Σχήμα 4.34 είναι οι εξής:

- ✓ Οιονεί Κατάρρευση: 16,6 mm
- ✓ Προστασία Ζωής: 12,45 mm
- ✓ Άμεση Χρήση: 0 mm

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement											
Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
mm	kN										
-0,0223	0	1290	8	0	0	0	1290	8	0	0	1298
-5	4113,2107	1287	11	0	0	0	1287	11	0	0	1298
-16,6	11686,3583	1203	95	0	0	0	1208	89	0	1	1298
-25,1	14656,3003	1109	189	0	0	0	1117	171	7	3	1298
-30	15382,849	1048	243	0	7	0	1052	214	21	11	1298
-35	15499,1734	1032	250	0	16	0	1035	229	15	19	1298
-42,7	16030,651	1002	278	0	17	1	1006	255	13	24	1298
-38	12800	1002	278	0	17	1	1006	254	12	26	1298

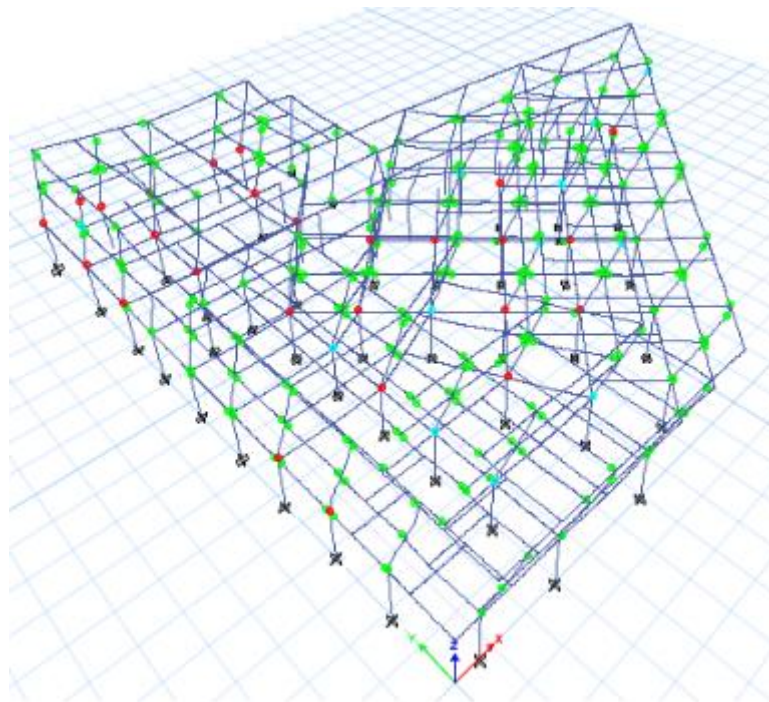
Σχήμα 4.22 Σταδιακή ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων κατά Y



Σχήμα 4.23 Καμπύλη ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος κατά Y (ADRS)

Πάλι, οι στάθμες Ο.Κ. και Π.Ζ. είναι πριν από το σημείο επιτελεστικότητας της κατασκευής και επομένως η κατασκευή δεν επαρκεί, ούτε και στη διεύθυνση Y. Τα στοιχεία που έχουν ξεπεράσει την επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας Π.Ζ. είναι και εδώ υποστυλώματα και είναι τα εξής:

Ισόγειο: C1,C2,C4,C5,C6,C7,C8,C10,C14,C15,C20,C21,C40,C42,C43,C41,C37,C60
Α Όροφος: C39



Σχήμα 4.24 Πλαστικές αρθρώσεις τη στιγμή της κατάρρευσης

4.6.3 Γενικά συμπεράσματα από τις αναλύσεις

Κάποια γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τις παραπάνω αναλύσεις,είναι τα εξής:

- Η τέμνουσα βάσης που αναπτύσσεται πριν από την κατάρρευση κατά την επιβολή των οριζόντιων φορτίων με ιδιομορφική κατανομή,είναι αρκετά μικρότερη από ότι με ομοιόμορφη και στις δύο διευθύνσεις.
- Ευαίσθητη διεύθυνση είναι η y ,όπου το κτίριο καταρρέει για μικρότερη τέμνουσα βάσης και διαθέτει μικρότερη δυσκαμψία.
- Το κτίριο αναπτύσσει πολύ μικρή πλαστιμότητα και στις δύο διευθύνσεις και συμπεριφέρεται σχεδόν ελαστικά ως την κατάρρευση,όπου θεωρείται πως η κατασκευή δεν μπορεί να φέρει πλέον τα κατακόρυφα φορτία της και η ανάλυση σταματάει.Αυτό λογικά ωφείλεται στο σχεδιασμό των διατομών με βάση παλαιότερους κανονισμούς,οι οποίοι δε λάμβαναν υπόψιν την πλαστιμότητα.
- Πολλοί δοκοί γενικά διαρρέουν και στις δύο διευθύνσεις,χωρίς όμως να υπερβαίνουν την οριακή αντοχή και παραμόρφωσή τους,αφού όπου έχουν σχηματιστεί πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των δοκών,η τιμή της πλαστικής στροφής είναι σε αποδεκτά επίπεδα.(κάτω της στάθμης 'Προστασία Ζωής') Αυτό είναι γενικά αναμενόμενο,αφού στις παλαιότερες κατασκευές οι δοκοί σχεδιάζονταν και διαστασιολογούνταν με τρόπο ώστε να αναπτύσσουν πολύ μεγάλες αντοχές,κυρίως λόγω των μεγάλων διαστάσεων της διατομής τους.
- Υπάρχουν διαρροές υποστρωμάτων και στις δύο διευθύνσεις,αλλά και αστοχίες,αφού πολλά από αυτά υπερβαίνουν τη στάθμη 'Προστασία Ζωής' αλλά και την 'Οιονεί Κατάρρευση'.Γενικά,παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερες βλάβες,σε σχέση με τα δοκάρια,γεγονός που ωφείλεται κυρίως στο ότι η διαστασιολόγησή τους γινόταν με βασικό κριτήριο την αντοχή τους έναντι αξονικών-κατακόρυφων φορτίων και παρουσίαζαν μειωμένες αντοχές σε σχέση με τις δοκούς.Επίσης,δεν πραγματοποιούνταν ικανοτικός σχεδιασμός.
- Τα τοιχώματα,συμπεριφέρονται στην πλειοψηφία τους ελαστικά και στις δύο διευθύνσεις,ενώ σε λιγοστά παρατηρείται σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων στη βάση τους.Η τιμή της πλαστικής στροφής σε αυτά,είναι σε αποδεκτά επίπεδα.
- Το κτίριο δεν μπορεί,τελικά,να φέρει το σεισμό σχεδιασμού σε καμία διεύθυνση με βάση το σημερινό κανονισμό και επομένως χρειάζεται ενίσχυση.

5 Ενίσχυση και αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου

5.1 Εισαγωγή

Από τα αποτελέσματα του κεφαλαίου 4, προέκυψε ότι το κτίριο δεν παρουσιάζει την απαιτούμενη σεισμική συμπεριφορά, ώστε να κριθεί επαρκές έναντι του σεισμού σχεδιασμού και επομένως χρειάζεται να ενισχυθεί. Στο παρόν κεφάλαιο, προτείνεται τρόπος ενίσχυσης της κατασκευής και επαναλαμβάνεται η διαδικασία του κεφαλαίου 4, ώστε να διαπιστωθεί αν η ενισχυμένη πλέον κατασκευή επαρκεί.

5.2 Στρατηγικές και συστήματα επεμβάσεων

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., γίνεται η διάκριση των όρων 'επέμβαση', 'επισκευή' και 'ενίσχυση', ως εξής:

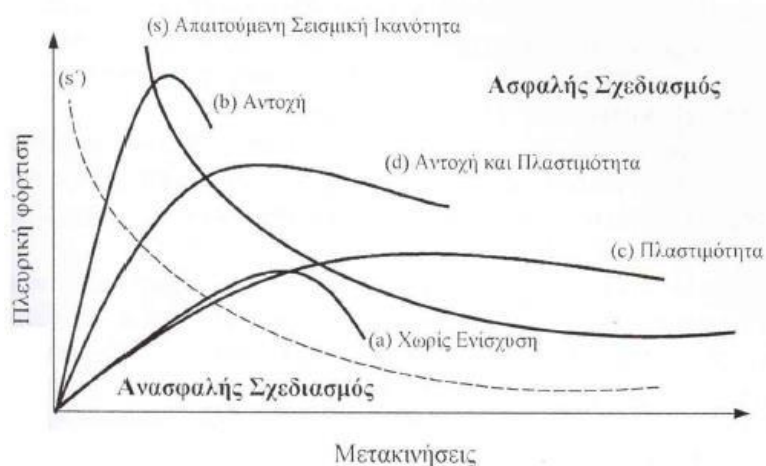
- ✓ Με τον όρο δομητική επέμβαση, νοείται οποιαδήποτε εργασία που έχει ως αποτέλεσμα τη στοχευόμενη μεταβολή των υφισταμένων μηχανικών χαρακτηριστικών ενός στοιχείου ή δομήματος και έχει ως συνέπεια την τροποποίηση της απόκρισής του.
- ✓ Με τον όρο επισκευή, νοείται η διαδικασία επέμβασης σε ένα δόμημα που έχει βλάβες από οποιαδήποτε αιτία, η οποία αποκαθιστά τα προ βλάβης μηχανικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του δομήματος και το επαναφέρει στην αρχική του φέρουσα ικανότητα.
- ✓ Με τον όρο ενίσχυση, νοείται η διαδικασία επέμβασης σε ένα δόμημα με ή χωρίς βλάβες, η οποία αυξάνει τη φέρουσα ικανότητα ή πλαστιμότητα του στοιχείου ή φορέα, σε στάθμη υψηλότερη από αυτή του αρχικού.

Κάθε επέμβαση σε υφιστάμενη κατασκευή, με ή χωρίς βλάβες, αποσκοπεί στην επίτευξη του στόχου ανασχεδιασμού και υλοποιείται με την προσθήκη νέων υλικών ή στοιχείων σε υφιστάμενα δομήματα. Ανάλογα με το μέγεθος της ανεπάρκειας της κατασκευής έναντι του στόχου, εφαρμόζονται ενισχύσεις σε καθολικό ή τοπικό επίπεδο. Εφόσον προκύψει από την προμελέτη ότι οι επιλογές είναι ικανοποιητικές, δηλαδή ότι η ενισχυμένη πλέον κατασκευή ανταποκρίνεται στους στόχους ανασχεδιασμού που έχουν τεθεί, ακολουθεί η οριστική μελέτη, που περιλαμβάνει τον πλήρη σχεδιασμό των προτεινόμενων επεμβάσεων.

Η στρατηγική των επεμβάσεων, είναι η βασική προσέγγιση που υιοθετείται για τη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς μιας κατασκευής ή για τη μείωση της διακινδύνευσης σε αποδεκτά όρια, ενώ το σύστημα των επεμβάσεων, είναι η συγκεκριμένη μέθοδος επεμβάσεων που χρησιμοποιείται για την επίτευξη της στρατηγικής που έχει επιλεγεί. Προκειμένου μια κατασκευή να επιδείξει αξιόπιστη σεισμική συμπεριφορά, πρέπει να διαθέτει ένα πλήρες σύστημα ανάληψης των σεισμικών φορτίων, το οποίο να είναι ικανό να περιορίζει τις μετακινήσεις σε μεγέθη που αντιστοιχούν σε αποδεκτά επίπεδα βλαβών, για την επιδιωκόμενη στάθμη επιτελεσματικότητας της κατασκευής. Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την

αποδοτικότητα του συστήματος ανάληψης σεισμικών φορτίων, είναι: (α) η μάζα, η δυσκαμψία, η απόσβεση και η διαμόρφωση του φέροντος και του μη-φέροντος οργανισμού, (β) η ικανότητα παραμόρφωσης των στοιχείων του φέροντος και του μη-φέροντος οργανισμού και (γ) η ενέργεια και ο χαρακτήρας της σεισμικής διέγερσης στην οποία υποβάλλεται η κατασκευή.

Αν θεωρηθεί ότι το μέγεθος της μέγιστης αναπτυσσόμενης ενέργειας παραμόρφωσης λόγω σεισμού αποτελεί μέτρο της σεισμικής αντίστασης της κατασκευής, τότε γίνεται να χαραχθεί μία καμπύλη υπερβολικής μορφής που αναπαριστά την απαιτούμενη σεισμική ικανότητα. Έτσι, η καμπύλη αυτή υποδηλώνει το όριο μεταξύ της ασφαλούς και της ανασφαλούς επιλογής της λύσης ενίσχυσης. Δηλαδή, μια κατασκευή θεωρείται ασφαλής όταν η καμπύλη που αναπαριστά τη συμπεριφορά της, επεκτείνεται στην περιοχή πάνω από την καμπύλη (s) που απεικονίζει τον ασφαλή σχεδιασμό. Σε αντίθετη περίπτωση, απαιτείται ενίσχυση.



Σχήμα 5.1 Στρατηγικές ενίσχυσης [9]

Διακρίνονται, έτσι, οι παρακάτω τέσσερις στρατηγικές αντισεισμικής ενίσχυσης, ανάλογα με την επιδιωκόμενη σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής:

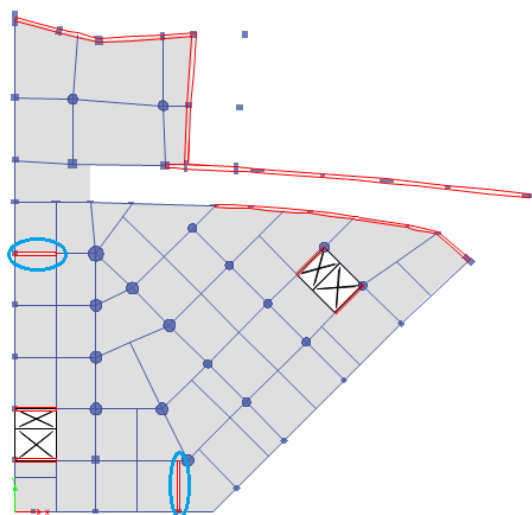
- ✓ Τοπικές επεμβάσεις στο φορέα → Η κατασκευή διαθέτει τα βασικά στοιχεία ενός επαρκούς συστήματος ανάληψης σεισμικών φορτίων, στερείται όμως ορισμένων κατασκευαστικών λεπτομερειών, που είναι απαραίτητες για τη βελτιστοποίηση του συστήματος και την εξασφάλιση της επιθυμητής λειτουργίας του.
- ✓ Αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής → Είναι στρατηγικές που εφαρμόζονται κατά κανόνα ταυτόχρονα, καθώς τα περισσότερα συστήματα που αυξάνουν την αντοχή μίας κατασκευής (π.χ. προσθήκη τοιχωμάτων ή πλαισίων), αυξάνουν και τη δυσκαμψία της. Εξαίρεση αποτελούν τα τοπικά μέτρα ενίσχυσης (π.χ. χρήση μεταλλικών ελασμάτων ή ινοπλισμένων πολυμερών), τα οποία αυξάνουν την αντοχή συγκεκριμένων στοιχείων, χωρίς να μεταβάλλουν σημαντικά τη δυσκαμψία τους.
- ✓ Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης της κατασκευής → Αποτελεί σχετικά νέα μέθοδο. Επιτυγχάνεται κυρίως με επιβολή εξωτερικής περισφιγξης σε υφιστάμενα στοιχεία, τοπική απομείωση της δυσκαμψίας, τροποποίηση στοιχείων του φέροντος οργανισμού ώστε να μεταβληθούν οι προβλεπόμενοι μηχανισμοί αστοχίας ή και παροχή επιπλέον στήριξης σε περιοχές που αστοχούν, λόγω υπερβολικών μετακινήσεων. Οι μέθοδοι αυτές, απαιτούν πολύ μικρότερη αρχιτεκτονική παρέμβαση στο κτίριο. Με την επιβολή εξωτερικής περισφιγξης σε

υποστυλώματα, επιτυγχάνεται αύξηση της πλαστιμότητας, με χρήση μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος, μεταλλικών μανδύων ή μανδύων από σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών. Η στρατηγική της αύξησης της ικανότητας παραμόρφωσης, είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν το πλήθος των στοιχείων που απαιτούν τροποποιήσεις είναι σχετικά μικρό, καθώς η συγκεκριμένη στρατηγική μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά δαπανηρή και να προκαλέσει σημαντικές δυσχέρειες στη χρήση του κτιρίου, κατά τη διάρκεια των εργασιών ενίσχυσης.

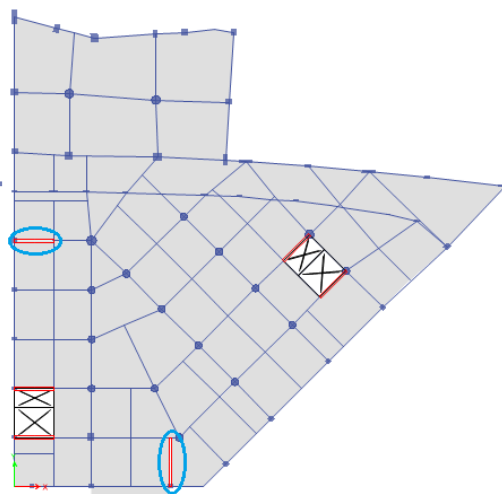
- ✓ Μείωση της σεισμικής απαίτησης της κατασκευής (π.χ. σεισμική μόνωση) → Έχει ως στόχο την επιβολή μεταβολών στην υφιστάμενη κατασκευή, ώστε να μειωθούν οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις και παραμορφώσεις λόγω σεισμού. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω εγκατάστασης συστημάτων σεισμικής μόνωσης και απορρόφησης ενέργειας και μέσω μείωσης της μάζας της κατασκευής (π.χ. απομάκρυνση μη-φερόντων στοιχείων, όπως επικαλύψεις), η οποία οδηγεί σε μείωση των αδρανειακών δυνάμεων και της συνολικής απαίτησης σε μετακίνηση της κατασκευής. Τα συστήματα σεισμικής μόνωσης και απορρόφησης ενέργειας, παρέχουν προστασία στο φέροντα οργανισμό αλλά και στα περιεχόμενά του, η εγκατάστασή τους όμως είναι αρκετά δαπανηρή.

5.3 Μέθοδος ενίσχυσης του κτιρίου

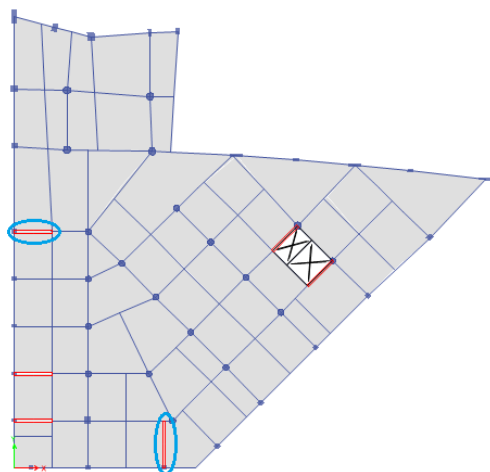
Σύμφωνα με το κεφάλαιο 4, τα στοιχεία που υπερβαίνουν την επιθυμητή στάθμη επιτελεσματικότητας, είναι υποστυλώματα, από τα οποία σχεδόν όλα αστοχούν διατμητικά. Προκειμένου, λοιπόν, να ενισχυθεί η κατασκευή και αντί να πραγματοποιηθεί επεμβάση ξεχωριστά σε κάθε ένα υποστυλώμα, επιλέχθηκε να τοποθετηθούν δύο νέα τοιχώματα, ένα στη διεύθυνση X και ένα στην Y, στις θέσεις που φαίνονται στα σχήματα 5.1, 5.2 και 5.3.



Σχήμα 5.2 Κάτοψη οροφής υπογείου



Σχήμα 5.3 Κάτοψη οροφής ισόγειου

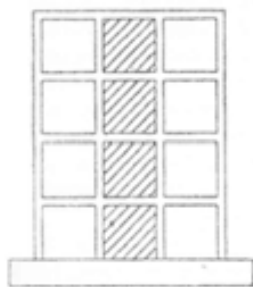


Σχήμα 5.4 Κάτοψη οροφής 1^{ου} ορόφου

Γενικά, η προσθήκη νέων τοιχωμάτων σε μία κατασκευή, προκαλεί αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της και κατά συνέπεια μείωση της ιδιοπεριόδου της. Η αύξηση της αντοχής οδηγεί σε επιπλέον αύξηση της σεισμικής δύναμης που απαιτείται ώστε να προκληθούν βλάβες στην κατασκευή, αφού η ενισχυμένη κατασκευή μπορεί για μεγαλύτερα φορτία να μην υποστεί βλάβες, ενώ η αύξηση της δυσκαμψίας οδηγεί σε μείωση της απαίτησης σε μετακίνηση, η οποία μπορεί να μην είναι μεγάλη, αλλά είναι ικανή να μεταβάλλει σημαντικά τη συμπεριφορά κάποιων στοιχείων. Επιπλέον, η παρουσία των τοιχωμάτων μειώνει τις μετακινήσεις κατά τη σεισμική διέγερση και αλλάζει τον τρόπο μεταφοράς του φορτίου εντός της κατασκευής, οδηγώντας τη σεισμική δύναμη σε αυτά και ανακουφίζοντας τα αδύναμα στοιχεία, ενώ παρατηρείται και μείωση των βλαβών σε δευτερεύοντα στοιχεία. Τα νέα τοιχώματα, μπορούν είτε να κατασκευαστούν επί τόπου από έγχυτο, εκτοξευόμενο ή αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, είτε να είναι προκατασκευασμένα. (panels)

Κρίσιμο σημείο του συγκεκριμένου τρόπου ενίσχυσης, είναι η θεμελίωση των τοιχωμάτων, καθώς η κατασκευή επιβαρύνεται με επιπλέον βάρος. Τα νέα τοιχώματα, καλούνται να μεταφέρουν στο έδαφος μεγάλες ροπές και δυνάμεις, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αρκετά μεγάλες ανατροπής στη στάθμη θεμελίωσης. Η ενίσχυση και κατά συνέπεια η αύξηση της αντοχής της θεμελίωσης, μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

- ✓ Με αύξηση του μεγέθους του πεδίλου, αυξάνοντας έτσι το βάρος του και την αντίσταση του εδάφους και επομένως μεταβάλλοντας τον τρόπο μεταβίβασης των κατακόρυφων φορτίων και ροπών στο έδαφος.
- ✓ Συνδέοντας το πέδιλο με τα διπλανά του, με δύσκαμπτα μέλη ή με συνδετήρια δοκό.
- ✓ Χρησιμοποιώντας μικροπασσάλους, αγκύρια ή άλλη τεχνική, με στόχο την αποφυγή του 'σηκώματος' της θεμελίωσης



Σχήμα 5.5 Ενίσχυση κατασκευής με προσθήκη τοιχωμάτων

Στα νέα τοιχώματα που προστέθηκαν στην υπό μελέτη κατασκευή, χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30 και χάλυβας ποιότητας B500C. Το οριζόντιο τοίχωμα, έχει διαστάσεις 420x30 cm και το κάθετο 520x30 cm. Η διαστασιολόγησή τους, έγινε έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 2 και έτσι τοποθετήθηκε σε αυτά κατακόρυφος οπλισμός Φ10/100 σε κάθε παρειά, οπλισμός 10Φ20 ανά περισφυγμένο άκρο, οριζόντιος οπλισμός Φ10/300 και συνδετήρες Φ10/100.

5.4 Αποτελέσματα στατικών ανελαστικών αναλύσεων (pushover) ενισχυμένης κατασκευής

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η προσθήκη των νέων τοιχωμάτων οδηγεί στη μείωση της ιδιοπεριόδου της κατασκευής. Οι νέες ιδιοπερίοδοι των τριών πρώτων ιδιομορφών, που παρουσιάστηκαν και στο κεφάλαιο 4, φαίνονται στο Σχήμα 5.5. Η 1^η ιδιομορφή παραμένει μεταφορική κατά y, η 2^η στροφική και η 3^η μεταφορική κατά x.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RZ
		sec							
Modal	1	0,289	0,0201	0,5547	0	0,0201	0,5547	0	0,0797
Modal	2	0,282	0,0113	0,0623	0	0,0314	0,617	0	0,5218
Modal	3	0,239	0,5947	0,0316	0	0,6261	0,6486	0	0,0236

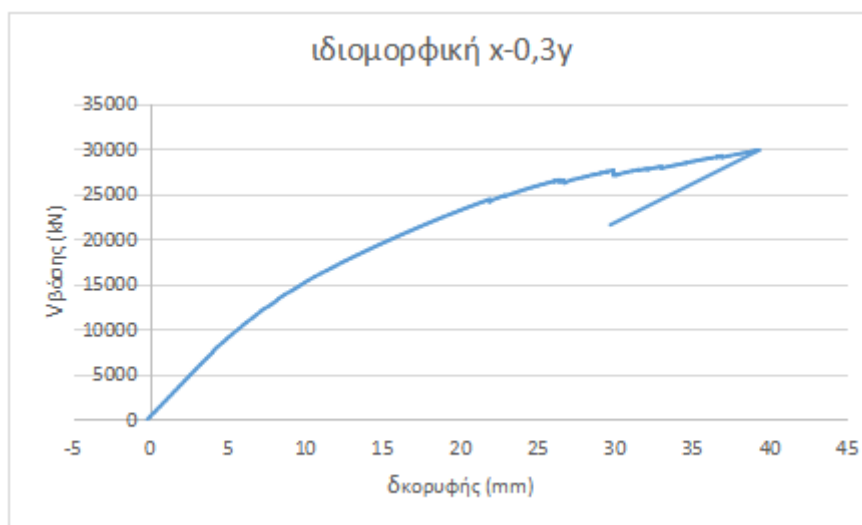
Σχήμα 5.6 Ποσοστά ενεργοποιούμενης μάζας ιδιομορφών

TABLE: Modal Direction Factors					
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ
		sec			
Modal	1	0,289	0,029	0,889	0
Modal	2	0,282	0,034	0,102	0
Modal	3	0,239	0,933	0,049	0

Σχήμα 5.7 Συντελεστές κατεύθυνσης ιδιομορφών

Οι αναλύσεις pushover ορίστηκαν όπως ακριβώς και στο κεφάλαιο 4 και παρακάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες αντίστασης που προέκυψαν από τις αναλύσεις x-0,3y και -y+0,3x, με ιδιομορφική κατανομή του σεισμικού φορτίου. Τα σημεία επιτελεσματικότητας των αναλύσεων, προσδιορίστηκαν και πάλι βάσει του FEMA 440.

5.4.1 Διεύθυνση X



Σχήμα 5.8 Καμπύλη ικανότητας για την ιδιομορφική φόρτιση x-0,3y

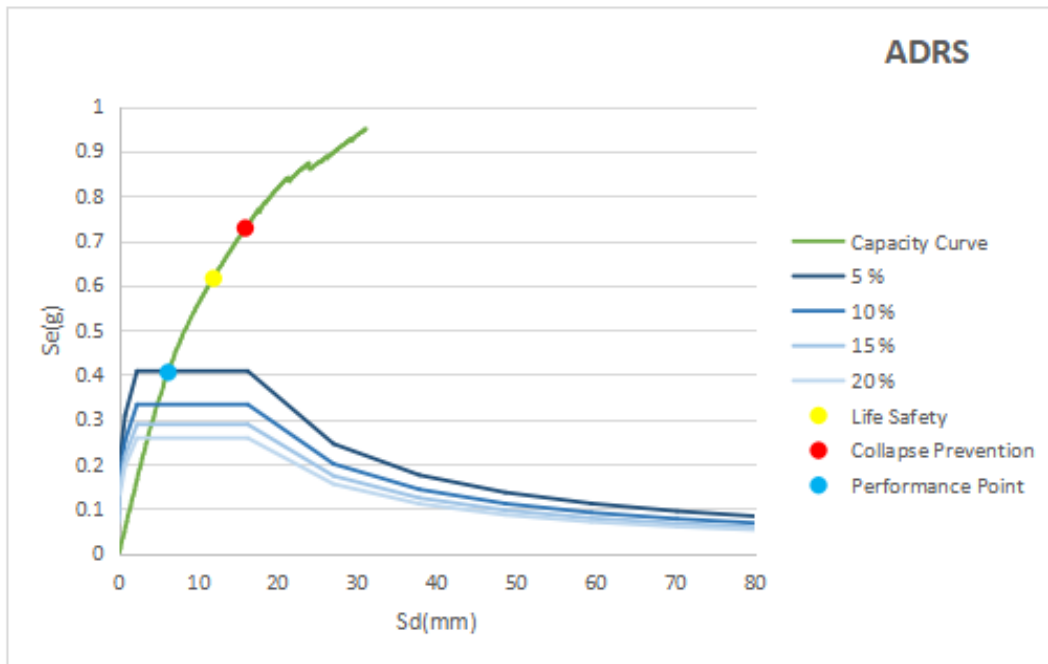
Με βάση το Σχήμα 5.9, ορίστηκαν οι στάθμες επιτελεστικότητας σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., οι οποίες είναι οι εξής:

- ✓ Οιονεί Κατάρρευση: 15,9 mm
- ✓ Προστασία Ζωής: 11,9 mm
- ✓ Άμεση Χρήση: 0 mm

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement											
Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
mm	kN										
0,2	0	1283	9	0	0	0	1284	8	0	0	1292
-5,1	9188,7113	1276	16	0	0	0	1276	16	0	0	1292
-15,9	20225,407	1167	125	0	0	0	1173	117	1	1	1292
-35,9	28862,0764	925	360	0	3	4	935	309	29	19	1292
-39,1	29760,1578	906	378	0	4	4	912	318	40	22	1292
-29,7	21547,965	906	378	0	4	4	912	317	40	23	1292

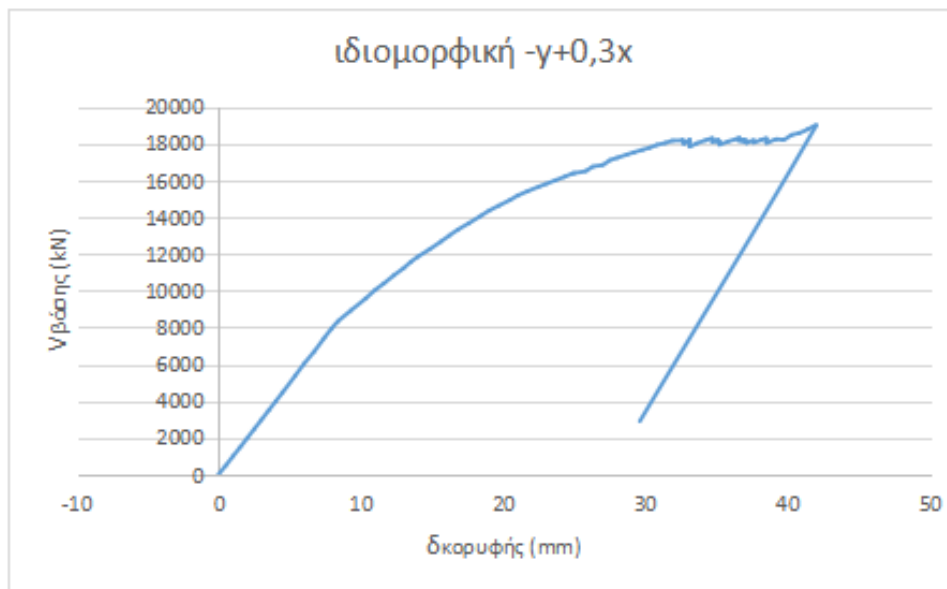
Σχήμα 5.9 Σταδιακή ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων κατά X

Τα σημεία αυτά, αποτυπώθηκαν πάνω στην καμπύλη ικανότητας του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.10, από όπου τελικά προκύπτει ότι ο ενισχυμένος φορέας επαρκεί, εφόσον η στάθμη επιτελεστικότητας 'Προστασία Ζωής', βρίσκεται μετά το σημείο επιτελεστικότητας της κατασκευής.



Σχήμα 5.10 Καμπύλη ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος κατά X (ADRS)

5.4.2 Διεύθυνση Y



Σχήμα 5.11 Καμπύλη ικανότητας για την ιδιομορφική φόρτιση -γ+0,3x

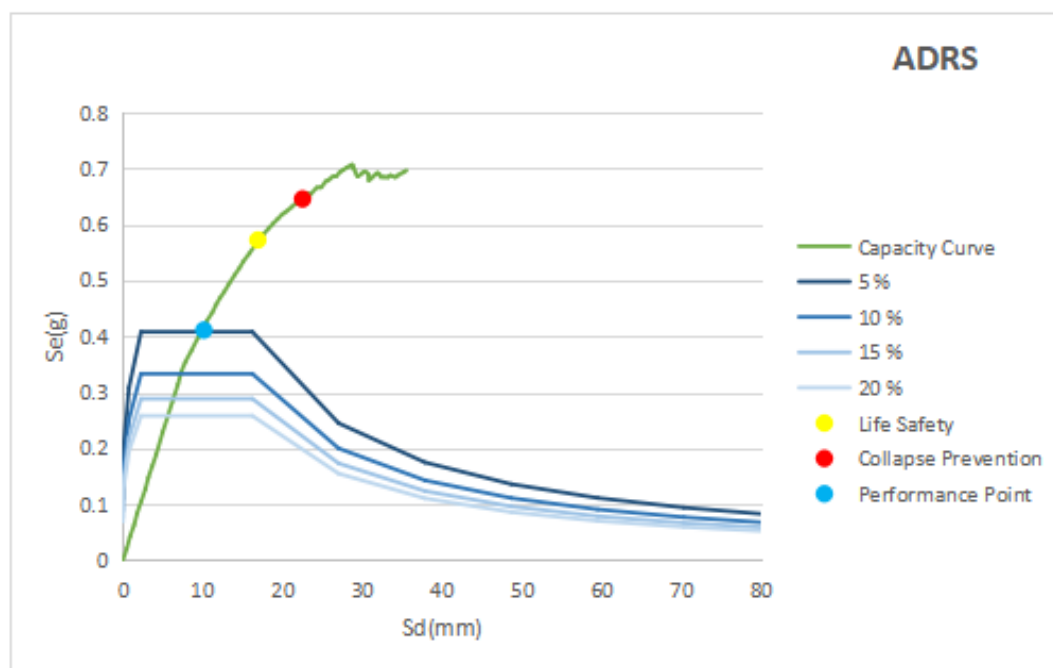
Με βάση το Σχήμα 5.12, ορίστηκαν οι στάθμες επιτελεστικότητας σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., οι οποίες είναι οι εξής:

- ✓ Οιονεί Κατάρρευση: 22,5 mm
- ✓ Προστασία Ζωής: 16,9 mm
- ✓ Άμεση Χρήση: 0 mm

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement											
Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
mm	kN										
0,02881	0	1283	9	0	0	0	1283	9	0	0	1292
-5,4	5406,7958	1238	54	0	0	0	1245	47	0	0	1292
-15,6	12669,5458	1122	170	0	0	0	1130	158	4	0	1292
-22,5	15666,0306	1067	225	0	0	0	1073	195	23	1	1292
-35,1	18212,8127	994	279	0	19	0	1001	251	17	23	1292
-41,9	18992,5188	960	310	1	14	7	969	255	33	35	1292
-29,6	2903,2744	960	310	1	14	7	969	255	33	35	1292

Σχήμα 5.12 Σταδιακή ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων κατά Y

Τα σημεία αυτά, αποτυπώθηκαν και πάλι πάνω στην καμπύλη ικανότητας του ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.13, από όπου τελικά προκύπτει ότι ο ενισχυμένος φορέας επαρκεί και σε αυτή τη διεύθυνση, εφόσον η στάθμη επιτελεστικότητας 'Προστασία Ζωής', βρίσκεται μετά το σημείο επιτελεστικότητας της κατασκευής.

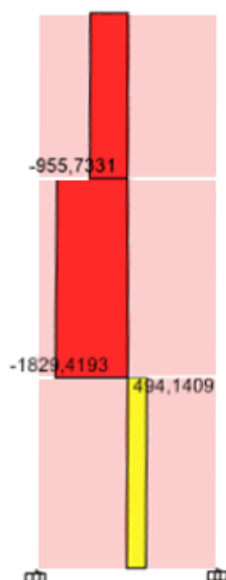


Σχήμα 5.13 Καμπύλη ικανότητας ισοδύναμου μονοβαθμίου συστήματος κατά Y (ADRS)

Η συμπεριφορά του ενισχυμένου κτιρίου παραμένει σε γενικές γραμμές η ίδια, αυξάνεται όμως η τέμνουσα βάρσης που μπορεί να αναλάβει και στις δύο διευθύνσεις. Έτσι, η κατασκευή τελικά επαρκεί μετά την ενίσχυση, έναντι της προβλεπόμενης σεισμικής δράσης.

5.5 Έλεγχος τοιχείων έναντι τέμνουσας

Η προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς των τοιχωμάτων με τη μέθοδο Wall Fiber Hinge, αφορά την αντοχή σε κάμψη του στοιχείου και δεν έχει πρόβλεψη για αστοχία έναντι τέμνουσας δύναμης, καθώς θεωρεί ότι το τοίχωμα μπορεί να αναπτύξει τέμνουσα χωρίς να αστοχεί. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε έλεγχος στα τοιχεία σύμφωνα με το Παράρτημα 7Γ του ΚΑΝ.ΕΠΕ., για την τέμνουσα δύναμη που αναπτύσσεται τη στιγμή που η κατασκευή φτάνει στο σημείο επιτελεστικότητας της.



Σχήμα 5.14 Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων του τοιχείου W30, κατά την ιδιομορφική ανάλυση x-0,3y

Σύμφωνα λοιπόν με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., η διατμητική αντοχή V_R τοιχώματος, δεν μπορεί να ξεπεράσει την οριακή τιμή που αντιστοιχεί σε αστοχία του κορμού σε λοξή θλίψη $V_{R,max}$. Η $V_{R,max}$, υπολογίστηκε για όλα τα τοιχώματα σύμφωνα με τη σχέση:

$$V_{R,max} = 0,85(1 - 0,06 \min(5; \mu\theta^{pl})) \left(1 + 1,8 \min\left(0,15; \frac{N}{A_c f_c}\right)\right) (1 + 0,25 \max(1,75; 100 \rho_{tot})) (1 - 0,2 \min(2; a_s) \sqrt{f_c} b_w z$$

όπου: N → αξονικό φορτίο (θετικό για θλίψη, μηδενικό για εφελκυσμό)

A_c → εμβαδόν διατομής σκυροδέματος, ίσο με $b_w d$, για διατομή με ορθογωνικό κορμό πάχους b_w και στατικό ύψος d

f_c → θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (MPa)

ρ_{tot} → συνολικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού (εφελκυόμενου, θλιβόμενου και ενδιάμεσου)

α_s → λόγος διάτμησης

z → μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων, ίσος με $0,8h$ για τοιχώματα ορθογωνικής διατομής (όπου h , είναι το ύψος της διατομής)

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.14, η μέγιστη τέμνουσα που αναπτύσσεται στο τοιχείο W30 είναι ίση με περίπου 1830 kN. ($=V_R$) Το συγκεκριμένο τοιχείο, έχει διαστάσεις 420x30 cm και οπλισμό $\Phi 10/100$ ανά παρειά και έτσι η αντοχή του σε τέμνουσα με βάση την παραπάνω σχέση, είναι ίση με $V_{R,max}=3108,63$ kN. Επομένως το τοιχείο επαρκεί έναντι διάτμησης, αφού $V_{R,max} > V_R$. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τα υπόλοιπα τοιχεία, καθώς επίσης και για τα ίδια τοιχεία για την ιδιομορφική ανάλυση -y+0,3x, από όπου εξήχθη το συμπέρασμα επαρκούς αντοχής τους έναντι διάτμησης. Άρα, δεν απαιτείται ενίσχυση των τοιχείων για αυτού του είδους την καταπόνηση.

5.6 Προσδιορισμός κέντρου στροφής πριν και μετά την ενίσχυση

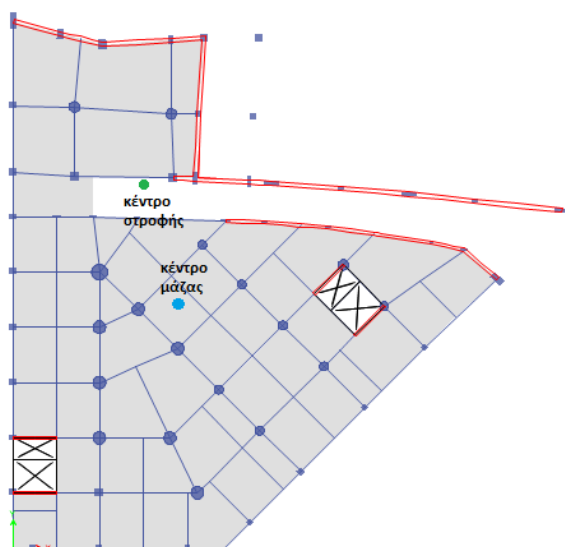
Ο προσδιορισμός του κέντρου στροφής, έγινε θεωρώντας ότι ταυτίζεται με το κέντρο δυνάμεων ανά διάφραγμα, με βάση τις παρακάτω σχέσεις:

$$X = \frac{\sum(X_i * F_{yi})}{\sum(F_{yi})}$$

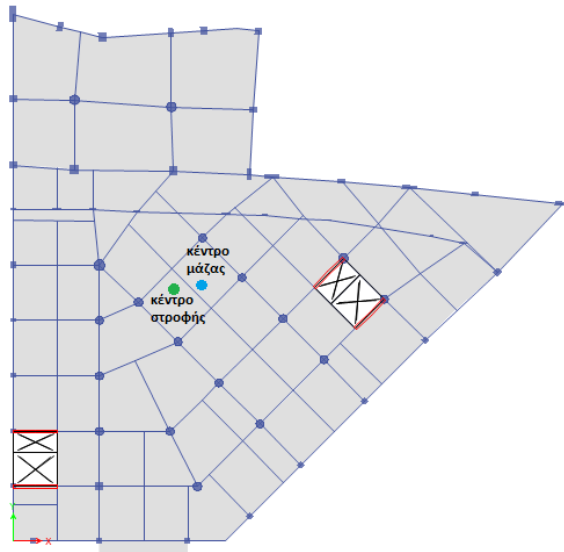
$$Y = \frac{\sum(Y_i * F_{xi})}{\sum(F_{xi})}$$

όπου X_i, Y_i είναι οι συντεταγμένες του εκάστοτε κατακόρυφου στοιχείου στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων και F_{yi}, F_{xi} οι αντίστοιχες τέμνουσες δυνάμεις. Η διαδικασία αυτή, πραγματοποιήθηκε τόσο για τον αρχικό, όσο και για τον ενισχυμένο φορέα.

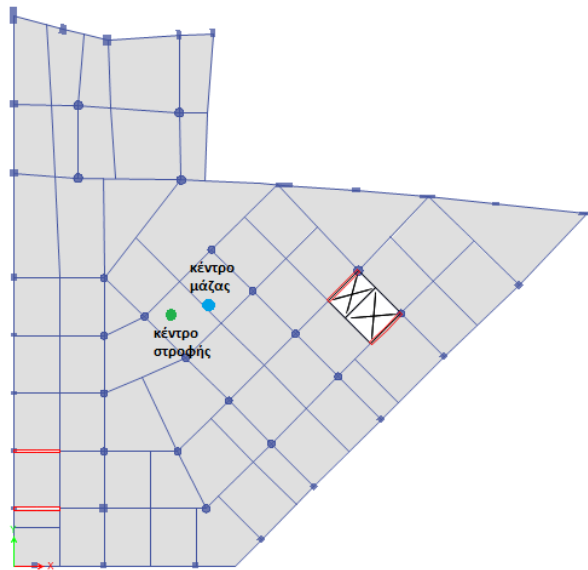
● Αρχικός φορέας



Οροφή Υπογείου		
	X(m)	Y(m)
κέντρο μάζας	15,536	23,089
κέντρο στροφής	11,981	34,583

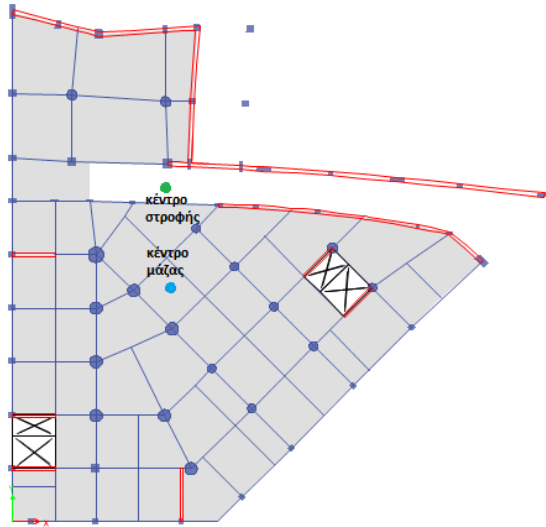


Οροφή Ισογείου		
	X(m)	Y(m)
κέντρο μάζας	17,737	24,318
κέντρο στροφής	15,184	23,771

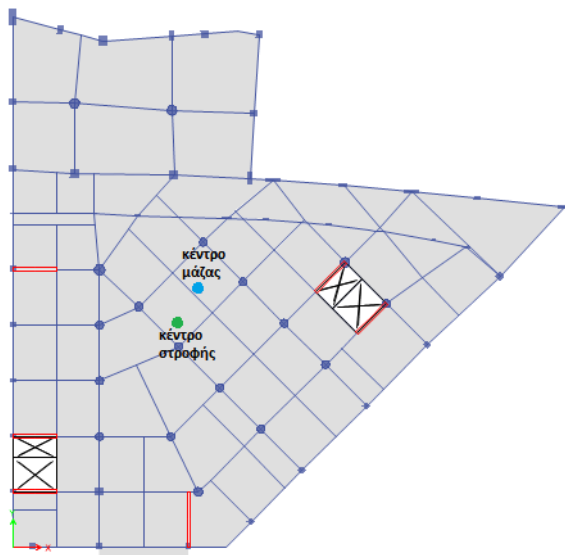


Οροφή Α Ορόφου		
	X(m)	Y(m)
κέντρο μάζας	17,640	23,596
κέντρο στροφής	14,271	22,742

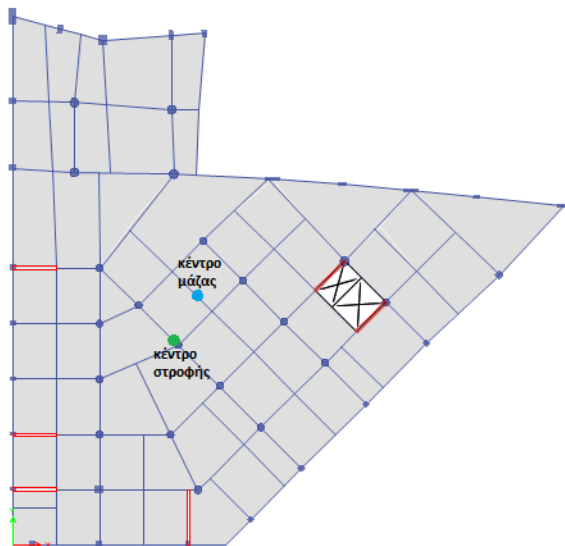
● Ενισχυμένος φορέας



Οροφή Υπογείου		
	X(m)	Y(m)
κέντρο μάζας	15,390	22,884
κέντρο στροφής	14,836	32,660



Οροφή Ισογείου		
	X(m)	Y(m)
κέντρο μάζας	17,486	24,243
κέντρο στροφής	15,461	21,071



Οροφή Α Ορόφου		
	X(m)	Y(m)
κέντρο μάζας	17,281	23,538
κέντρο στροφής	14,818	18,861

6 Συμπεράσματα

Θέμα μελέτης του Πολιτικού Μηχανικού στην Ελλάδα, αποτελούν και οι προ του 1984 κατασκευές, οπότε και έγινε η πρώτη βασική τροποποίηση του Αντισεισμικού Κανονισμού του 1959. Οι κατασκευές αυτές, υστερούσαν σημαντικά από πλευράς σεισμικής επάρκειας σε σχέση με τις σημερινές, καθώς έως τότε δεν υπήρχαν καταγραφές έντονης σεισμικής δραστηριότητας όπως σήμερα, με αποτέλεσμα οι τότε ισχύοντες κανονισμοί να ήταν πιο ελαστικοί. Έτσι, κρίνεται σε μεγάλο βαθμό αναγκαία η αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών αυτών, καθώς και η επέμβαση-ενίσχυσή τους, εάν βέβαια κριθεί αναγκαία. Με το θέμα αυτό ασχολήθηκε και η παρούσα διπλωματική εργασία, αντικείμενο της οποίας ήταν η μελέτη της σεισμικής συμπεριφοράς ενός υφιστάμενου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο μελετήθηκε και κατασκευάστηκε το 1973.

Ο φορέας αναλύθηκε με βάση σύγχρονα κανονιστικά κείμενα, όπως ο ΚΑΝ.ΕΠΕ., οι αντίστοιχοι Ευρωκώδικες και οι Αμερικάνικες οδηγίες του FEMA. Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, η μέθοδος της στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover), με σκοπό να ελεγχθεί η μετελαστική συμπεριφορά του φορέα.

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με στόχο τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής, η οποία κρίθηκε τελικά ανεπαρκής, έναντι της επιλεγθείσας στάθμης επιτελεστικότητας 'Προστασία Ζωής'. Σύμφωνα με τις αναλύσεις αυτές, υπήρξαν πολλές αστοχίες σε υποστυλώματα, οι οποίες οφείλονται στην ελλιπή διαστασιολόγησή τους σε σχέση με τις σημερινές απαιτήσεις, ενώ η συμπεριφορά των δοκών και των τοιχωμάτων ήταν ικανοποιητική. Επιπλέον, φάνηκε ότι το κτίριο αδυνατεί να μπει σε μία οιονεί πλαστική ζώνη, αφού πολλά γραμμικά στοιχεία δεν έχουν τον απαραίτητο, κατά τα σημερινά δεδομένα, οπλισμό διάτμησης και περίσφυξης και έτσι αστοχούν ψαθυρά. Δεν μπορούν, επομένως, να αναπτύξουν πλαστικές παραμορφώσεις, που θα οδηγούσαν σε ανάπτυξη μετακινήσεων στην κατασκευή συνολικά.

Λόγω λοιπόν των παραπάνω, αποφασίστηκε να ενισχυθεί το κτίριο με δύο τοιχεία, ένα κατά τη διεύθυνση X και ένα κατά την Y, σε θέσεις που δεν θα επιρέαζαν τόσο την αρχιτεκτονική του κτιρίου. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που εξήχθησαν μετά την ενίσχυση της κατασκευής, κρίθηκαν ικανοποιητικά για την επάρκεια του κτιρίου και έτσι υιοθετήθηκε αυτός ο τρόπος ενίσχυσης, καθώς επετεύχθη τέτοια αύξηση της αντοχής του κτιρίου, ώστε να είναι ικανό να φέρει με ασφάλεια τα στατικά και σεισμικά του φορτία. Επιβεβαιώθηκε επίσης και η επάρκεια των τοιχωμάτων έναντι τέμνουσας, καθώς το μοντέλο προσομοίωσης τους, αφορούσε μόνο την αντοχή τους σε κάμψη.

Σε ότι αφορά τα κέντρα στροφής των διαφραγμάτων της κατασκευής, φάνηκε ότι απομακρύνθηκαν ελαφρώς από τα κέντρα μάζας μετά την ενίσχυση, στο ισόγειο και τον α' όροφο, ενώ πλησίασαν στο υπόγειο. Τα τοιχεία δίνουν, γενικά, εκκεντρότητα στο κτίριο, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται επιπλέον εντάσεις λόγω στροφής του, με τις μεγαλύτερες από αυτές να αναπτύσσονται στα στοιχεία που απέχουν περισσότερο από το κέντρο στροφής.

Τέλος, παρ' ότι το υπό μελέτη κτίριο έχει κατασκευαστεί με παλαιούς κανονισμούς, παρουσιάζει σε γενικές γραμμές σχετικά καλή αντισεισμική συμπεριφορά, ενώ με μία μικρού εύρους επέμβαση, θα μπορέσει να ανταπεξέλθει και στα σύγχρονα αντισεισμικά δεδομένα.

7 Βιβλιογραφία

- [1] ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2012) <<Κανονισμός Επεμβάσεων>>,Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα
- [2] ΕΚΩΣ (2000) <<Ελληνικός κανονισμός ωπλισμένου σκυροδέματος>>, Ο.Α.Σ.Π.,Αθήνα
- [3] ΕΑΚ (2000) <<Ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός>>,Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα
- [4] Ψυχάρης Ι.Ν. (2010) <<Σημειώσεις αντισεισμικής τεχνολογίας:Τεύχος 2>>, Πανεπιστημιακές σημειώσεις,Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,Αθήνα
- [5] Μπισκίνης Δ.Ε. (2007) <<Αντοχή και ικανότητα παραμόρφωσης μελών οπλισμένου σκυροδέματος,με ή χωρίς ενίσχυση>>,Διδακτορική Διατριβή, Πάνεπιστήμιο Πάτρας
- [6] Γιάννακας Ν.Χ. (2009) <<Συμβολή στην αντιμετώπιση των εκκρεμών προβλημάτων διαστασιολόγησης των φορέων κυκλικής διατομής>>, Διδακτορική Διατριβή,Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- [7] Βουγιούκας Ε.&Στάμος Α. (2016) <<Επιρροή της διαξονικότητας στις καμπυλότητες διαρροής και αστοχίας και στις γωνίες στροφής-χορδής και πλαστικής στροφής>>,Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος,Θεσσαλονίκη
- [8] Κίρτας Ε.&Παναγόπουλος Γ. (2015) <<Προσομοίωση κατασκευών σε προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή>>,Σέρρες
- [9] Σπυράκος Κ. (2004) <<Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία>> Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας,Αθήνα
- [10] Λουράντος Κ.Α. (2015) <<Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα,μελετημένο το 1961>>,Διπλωματική Εργασία,Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,Αθήνα
- [11] Πετρουλάς Ε. (2016) <<Αποτίμηση φέρουσας ικανότητας και πρόταση ενίσχυσης ξενοδοχειακής μονάδας κατασκευασμένης το 1961>>,Διπλωματική Εργασία,Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,Αθήνα
- [12] Fardis M.N.,Carvalho E.,Elnashai A.,Faccioli E.,Pinto P.E.&Plumier A. (2011) <<Οδηγός σχεδιασμού σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8>>, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- [13] Computers&Structures Inc. (2005) <<CSI Analysis Reference Manual>>, Berkeley,California
- [14] Fahjan Y.M.,Kubin J.&Tan M.T. (2010) <<Nonlinear analysis methods for reinforced concrete buildings with shear walls>>,ECCE
- [15] El-Tawil S.&Deierlein G.G. (2001) <<Nonlinear analysis of mixed steel-concrete frames. I:Element formulation & II:Implementation and Verification>>,Journal of Structural Engineering

Παράρτημα Α. Πίνακες υπολογισμού γωνίας στροφής χορδής στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος κατά την αστοχία και πλαστικής γωνίας στροφής κατά την καμπτική αστοχία, στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη, σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Οι Πίνακες αφορούν ανακυκλιζόμενη φόρτιση και στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη πλάτους b και με κατασκευαστικές λεπτομέρειες για αντισεισμικότητα (κατά τις αντιλήψεις και διατάξεις που εφαρμόζονται στην Ελλάδα μετά το 1985), πάντως δε με σιδηροπλισμούς με νευρώσεις.

Σε στοιχεία χωρίς αντισεισμικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες (δηλαδή κατασκευασμένα με βάση τα ισχύοντα στην Ελλάδα προ του 1985) τίθεται $\alpha_{\omega_w}=0$ αν οι συνδετήρες δεν είναι κλειστοί προς τα μέσα, ενώ επί πλέον οι τιμές των Πινάκων για τη μέση τιμή γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία θ_u , ή για τη μέση τιμή πλαστικής γωνίας στροφής στην αστοχία, θ_u^{pl} , χρειάζεται να πολλαπλασιαστούν επί 0,833 στην περίπτωση σιδηροπλισμών με νευρώσεις. Στην περίπτωση λείων χαλύβων, οι τιμές των Πινάκων για τη μέση τιμή γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία θ_u , χρειάζεται να πολλαπλασιαστούν επί 0,79 και για τη μέση τιμή πλαστικής γωνίας στροφής στην αστοχία, θ_u^{pl} επί 0,75.

Οι σχετικοί Πίνακες, αφορούν μέσες τιμές των γωνιών στροφής.

Τέλος, για παλαιότερους ψαθυρότερους χάλυβες, οι υπόψη μέσες τιμές των Πινάκων χρειάζεται να πολλαπλασιαστούν επί τελικόν συντελεστήν 0,6 για τον υπολογισμό της γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία θ_u , ή 0,5 για τον υπολογισμό της πλαστικής γωνίας στροφής στην αστοχία θ_u^{pl} .

1) Γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία

Μέση τιμή γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία, θ_u (%) - Δοκοί & Υποστυλώματα								
$f_{\omega^*} / (\omega + \omega_s)$ (MPa)	5	10	15	20	25	30	35	40
$M/Vh = \alpha_s$								
1	2,3	2,7	2,9	3,1	3,3	3,4	3,5	3,6
2	2,9	3,4	3,7	4,0	4,2	4,3	4,5	4,6
3	3,3	3,9	4,3	4,6	4,8	5,0	5,2	5,3
4	3,7	4,3	4,7	5,0	5,3	5,5	5,7	5,9
5	4,0	4,7	5,1	5,5	5,7	6,0	6,2	6,4
6	4,3	5,0	5,4	5,8	6,1	6,4	6,6	6,8

Μέση τιμή γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία, θ_u (%) - Τοιχώματα								
$f_{\omega^*} / (\omega + \omega_s)$ (MPa)	5	10	15	20	25	30	35	40
$M/Vh = \alpha$								
1	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1
2	1,7	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
3	1,9	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9	3,0	3,1
4	2,1	2,5	2,7	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4
5	2,3	2,7	3,0	3,2	3,3	3,5	3,6	3,7
6	2,5	2,9	3,2	3,4	3,5	3,7	3,8	3,9

Διορθωτικός συντελεστής τιμής θ_u λόγω ανηγμένου αξονικού φορτίου $\nu = N/bh\xi$							
$\nu =$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$\lambda_{\nu} =$	1,00	0,89	0,79	0,70	0,62	0,55	0,49

Διορθωτικός συντελεστής τιμής θ_u λόγω ενεργού ογκομετρικού μηχανικού ποσοστού οπλισμού περίσφιξης						
$\alpha_{\omega_w} =$	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
$\lambda_{\alpha_{\omega_w}} =$	1,00	1,08	1,17	1,27	1,33	1,38

Διορθωτικός συντελεστής τιμής θ_u λόγω δισδιαγώνιου σπλισμού ρ_d % ανά διεύθυνση				
ρ_d (%) =	0	0,5	1	1,5
$\lambda_{\rho d}$ =	1,00	1,12	1,25	1,40

2) Πλαστική γωνία στροφής κατά την αστοχία

Μέση τιμή πλαστικής γωνίας στροφής στην αστοχία θ_u^{pl} (%) - Δοκοί & Υποστυλώματα - $f_c=25\text{MPa}$									
$\omega^*/(\omega+\omega_v)$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$M/Vh = L_v/h$									
1	1,7	2,1	2,4	2,6	2,7	2,9	3,0	3,2	3,3
2	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,7	3,9	4,0	4,2
3	2,5	3,1	3,5	3,8	4,0	4,3	4,5	4,6	4,8
4	2,8	3,4	3,8	4,2	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3
5	3,0	3,7	4,1	4,5	4,8	5,1	5,3	5,6	5,8
6	3,2	3,9	4,4	4,8	5,1	5,4	5,7	5,9	6,1

Μέση τιμή πλαστικής γωνίας στροφής στην αστοχία θ_u^{pl} (%) - Τοιχώματα - $f_c=25\text{MPa}$									
$\omega^*/(\omega+\omega_v)$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$M/Vh = L_v/h$									
1	0,9	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8
2	1,2	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3
3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
4	1,5	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9	3,0
5	1,7	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2
6	1,8	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,2	3,3	3,4

Διορθωτικός συντελεστής τιμής θ_u^{pl} λόγω θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος f_c							
f_c =	10	15	20	25	30	35	40
λ_{f_c} =	0,83	0,90	0,96	1,00	1,04	1,07	1,10

Διορθωτικός συντελεστής τιμής θ_u^{pl} λόγω ανηγμένου αξονικού φορτίου $v = N/bh f_c$							
v =	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
λ_v =	1,00	0,87	0,76	0,66	0,57	0,50	0,44

Διορθωτικός συντελεστής τιμής θ_u^{pl} λόγω ενεργού ογκομετρικού μηχανικού ποσοστού σπλισμού περίσφιγξης						
$\alpha\omega_w$ =	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
$\lambda_{\alpha\omega_w}$ =	1,00	1,08	1,17	1,27	1,33	1,38

Διορθωτικός συντελεστής τιμής θ_u^{pl} λόγω δισδιαγώνιου σπλισμού ρ_d % ανά διεύθυνση				
ρ_d (%) =	0	0,5	1	1,5
$\lambda_{\rho d}$ =	1,00	1,13	1,28	1,44

Παράρτημα Β. Πίνακες πλαστικών αρθρώσεων

(I) ΔΟΚΟΙ

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οπλισμοί δοκαριών

Υπόγειο								Ισόγειο								Α΄ Όροφος							
				Αριστερό Άκρο		Δεξί Άκρο						Αριστερό Άκρο		Δεξί Άκρο						Αριστερό Άκρο		Δεξί Άκρο	
ΔΟΚΟΣ	L (m)	b (mm)	h (mm)	Astop (mm ²)	Asbot (mm ²)	Astop (mm ²)	Asbot (mm ²)	ΔΟΚΟΣ	L (m)	b (mm)	h (mm)	Astop (mm ²)	Asbot (mm ²)	Astop (mm ²)	Asbot (mm ²)	ΔΟΚΟΣ	L (m)	b (mm)	h (mm)	Astop (mm ²)	Asbot (mm ²)	Astop (mm ²)	Asbot (mm ²)
B215	5,2	350	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B215	5,2	200	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B215	5,2	200	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B213	5,2	350	750	314,159	314,159	314,159	314,159	B213	5,2	200	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B213	5,2	200	500	314,159	314,159	314,159	314,159
B36	5,25	350	750	314,159	314,159	314,159	314,159	B36	5,25	200	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B36	5,25	200	500	314,159	314,159	314,159	314,159
B37	5,25	350	750	314,159	314,159	314,159	314,159	B37	5,25	200	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B37	5,25	200	500	314,159	314,159	314,159	314,159
B38	5,23	350	750	314,159	314,159	314,159	314,159	B38	5,23	200	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B38	5,23	200	500	314,159	314,159	314,159	314,159
B39	5,23	350	750	534,071	615,752	534,071	615,752	B39	5,23	250	750	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796	B192	9,46	250	500	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796
B65	4,23	250	750	710,000	804,248	710,000	804,248	B65	4,23	250	750	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796	B40	6,3	350	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B40	6,3	350	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B40	6,3	400	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B41	8	350	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B41	8	350	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B41	8	400	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B216	5,2	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B216	5,2	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B216	5,2	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B214	5,2	250	500	496,372	678,584	496,372	678,584
B214	5,2	250	500	496,372	678,584	496,372	678,584	B214	5,2	250	500	496,372	678,584	496,372	678,584	B20	5,25	250	500	314,159	314,159	314,159	314,159
B20	5,25	250	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B20	5,25	250	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B21	5,25	250	500	314,159	314,159	314,159	314,159
B21	5,25	250	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B21	5,25	250	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B22	5,23	250	500	314,159	314,159	314,159	314,159
B22	5,23	250	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B22	5,23	250	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B143	9,22	250	500	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796
B70	5,23	250	500	314,159	314,159	314,159	314,159	B140	4,21	250	500	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796	B149	6,51	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B48	6,6	350	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B141	3,94	250	500	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796	B150	7,27	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B47	6,5	350	750	1166,531	1273,345	1166,531	1273,345	B48	6,6	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B48	6,6	350	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B123	5,2	300	500	911,062	1005,310	911,062	1005,310	B47	6,5	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B47	6,5	350	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B124	5,2	300	500	392,699	392,699	392,699	392,699	B123	5,2	250	500	911,062	1005,310	911,062	1005,310	B123	5,2	250	500	911,062	1005,310	911,062	1005,310
B125	5,25	300	500	392,699	392,699	392,699	392,699	B124	5,2	250	500	392,699	392,699	392,699	392,699	B124	5,2	250	500	392,699	392,699	392,699	392,699
B126	5,25	300	500	392,699	392,699	392,699	392,699	B125	5,25	250	500	392,699	392,699	392,699	392,699	B125	5,25	250	500	392,699	392,699	392,699	392,699
B127	5,23	300	500	392,699	392,699	392,699	392,699	B126	5,25	250	500	392,699	392,699	392,699	392,699	B126	5,25	250	500	392,699	392,699	392,699	392,699
B71	5,26	350	750	911,062	1005,310	911,062	1005,310	B127	5,23	250	500	392,699	392,699	392,699	392,699	B127	5,23	250	500	392,699	392,699	392,699	392,699
B3	5,2	250	500	911,062	1005,310	911,062	1005,310	B71	5,26	350	750	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796	B117	9,02	350	500	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796
B14	5,2	250	500	911,062	1005,310	911,062	1005,310	B146	3,79	350	750	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796	B151	6,45	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B43	6,1	350	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B3	5,2	250	500	911,062	1005,310	911,062	1005,310	B152	6,13	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B42	7	350	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B14	5,2	250	500	911,062	1005,310	911,062	1005,310	B43	6,1	350	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B4	5,2	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B43	6,1	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B42	7	350	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B121	5,81	300	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B42	7	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B81	6,18	350	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B122	7,5	300	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B168	6,18	400	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B82	7,2	350	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B5	5,5	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B169	7,45	400	750	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B3	5,2	250	500	911,062	1005,310	911,062	1005,310
B6	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B4	5,2	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B14	5,2	250	500	911,062	1005,310	911,062	1005,310
B15	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B121	5,81	300	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B4	5,2	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B7	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B122	7,5	300	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B121	5,81	350	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B16	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B5	5,5	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B122	7,5	350	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B25	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B6	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B5	5,5	250	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B24	5,3	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B15	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B6	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690
B23	5,09	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B7	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B15	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B8	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B16	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B7	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690
B17	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B25	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B16	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B28	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B24	5,3	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B25	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B27	5,3	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B23	5,09	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B24	5,3	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B26	5,8	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B8	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B23	5,09	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690
B9	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B17	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B8	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690
B18	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B28	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B17	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B30	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B27	5,3	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B13	5,4	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B29	5,3	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B26	5,8	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B12	5,4	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B130	5,5																						

B52	2,08	500	500	1256,637	763,407	1256,637	763,407	B217	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B217	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B58	6,08	500	500	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B31	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B31	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B19	4,15	250	500	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796	B173	4,23	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B53	5,20	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690
B61	4	350	750	1112,124	1407,434	1112,124	1407,434	B10	5,5	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B10	5,5	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B59	4	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B218	5,5	400	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345	B218	5,5	600	500	1165,531	1272,345	1165,531	1272,345
B196	8,15	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B54	10,25	400	750	2287,079	3455,752	2287,079	3455,752	B54	10,25	600	500	2287,079	3455,752	2287,079	3455,752
B197	8,15	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B11	4,8	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B75	5,50	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487
B198	8,15	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B180	5,70	250	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B184	11,53	600	500	2393,894	3455,752	2393,894	3455,752
B66	4,15	300	750	1137,257	942,478	1137,257	942,478	B178	5,25	250	500	688,009	769,690	688,009	769,690	B52	2,08	350	750	1256,637	763,407	1256,637	763,407
B67	3,43	300	750	1137,257	942,478	1137,257	942,478	B161	4,2	200	750	1137,257	942,478	1137,257	942,478	B58	6,08	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566
B49	5,8	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B184	11,53	450	750	2393,894	3455,752	2393,894	3455,752	B19	4,15	250	500	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796
B212	9,4	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B52	2,08	350	750	1256,637	763,407	1256,637	763,407	B61	4	350	750	1112,124	1407,434	1112,124	1407,434
B44	5,79	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B58	6,08	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B59	4	350	750	1325,752	1781,283	1325,752	1781,283
B45	9,21	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B19	4,15	250	500	1451,416	1570,796	1451,416	1570,796	B197	8,15	350	750	1658,761	2199,115	1658,761	2199,115
B46	2,6	350	750	1765,575	1256,637	1765,575	1256,637	B61	4	350	750	1112,124	1407,434	1112,124	1407,434	B198	8,15	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115
B193	8,4	500	500	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B59	4	350	750	1325,752	1781,283	1325,752	1781,283	B49	5,8	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115
B204	9,3	350	750	1658,761	2199,115	1658,761	2199,115	B196	8,15	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B44	5,79	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115
B195	6,7	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B197	8,15	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B131	4,6	350	750	565,487	678,584	565,487	678,584
B79	8,12	350	750	1658,761	2199,115	1658,761	2199,115	B198	8,15	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B193	8,4	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566
B62	4,08	350	750	1658,761	2199,115	1658,761	2199,115	B219	7,69	250	750	1658,761	2199,115	1658,761	2199,115	B204	9,3	500	500	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115
B72	6,25	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B66	4,15	200	750	1137,257	942,478	1137,257	942,478	B195	6,7	500	500	841,947	1077,566	841,947	1077,566
B107	3,5	500	500	1112,124	461,814	804,248	461,814	B67	3,43	200	750	1137,257	942,478	1137,257	942,478	B107	3,5	350	750	1112,124	461,814	804,248	461,814
B108	3,4	500	500	804,248	461,814	1112,124	461,814	B49	5,8	550	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B108	3,4	350	750	804,248	461,814	1112,124	461,814
B206	6,8	500	500	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B212	9,4	550	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B206	6,8	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566
B99	8,36	350	750	1658,761	2199,115	1658,761	2199,115	B85	7,20	550	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B99	8,36	500	500	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115
B83	6,52	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B44	5,79	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B83	6,52	500	500	923,628	1077,566	923,628	1077,566
B203	8,6	500	500	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B45	9,21	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B79	8,12	600	500	1658,761	2199,115	1658,761	2199,115
B202	8,6	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B64	7,80	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B62	4,08	350	750	1658,761	2199,115	1658,761	2199,115
B201	8,6	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B131	4,6	400	750	565,487	678,584	565,487	678,584	B203	8,6	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566
B200	8,6	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B132	4,16	400	750	565,487	678,584	565,487	678,584	B202	8,6	500	500	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283
B199	8,6	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B134	6,51	400	750	565,487	678,584	565,487	678,584	B201	8,6	500	500	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283
B211	8,1	500	500	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B135	3,11	400	750	565,487	678,584	565,487	678,584	B200	8,6	500	500	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283
B33	4,05	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B136	5,2	400	750	565,487	678,584	565,487	678,584	B72	11,36	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115
B129	3,9	200	500	496,372	565,487	496,372	565,487	B193	8,4	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B211	8,1	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566
B2	4,05	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B204	9,3	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B33	4,05	500	500	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283
B207	7,9	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B195	6,7	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B2	4,05	500	500	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283
B74	3,2	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B79	8,12	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B223	8,25	500	500	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283
B115	9,42	500	500	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B62	4,08	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B74	8,84	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115
B91	12,26	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B72	6,25	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B115	9,42	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566
B89	4,2	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B1	5,11	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B224	9,23	500	500	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115
								B107	3,5	350	750	1112,124	461,814	804,248	461,814	B186	8,93	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566
								B108	3,4	350	750	804,248	461,814	1112,124	461,814	B188	6,2	350	750	688,009	769,690	688,009	769,690
								B206	6,8	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B189	6,5	350	750	688,009	769,690	688,009	769,690
								B99	8,36	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B190	6,6	350	750	688,009	769,690	688,009	769,690
								B83	6,52	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115	B166	9,4	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115
								B203	8,6	350	750	841,947	1077,566	841,947	1077,566	B212	9,4	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115
								B202	8,6	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B46	2,6	350	750	2199,115	1256,637	2199,115	1256,637
								B201	8,6	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B134	6,51	350	750	565,487	678,584	565,487	678,584
								B200	8,6	350	750	1420,000	1781,283	1420,000	1781,283	B135	3,11	350	750	565,487	678,584	565,487	678,584
								B199	8,6	350	750	1765,575	2199,115	1765,575	2199,115								
								B211	8,1	350	700	841,947	1077,566	841,947	1077,566								
								B33	4,05	350	700	1420,000	1781,283	1									

B140 B141 B19 B211 B115 B186 B187	228,674	0,03820	0	0,00721	0,01782	285,190	0,03419	0	0,00626	0,01576	228,674	0,03820	0	0,00721	0,01782	285,190	0,03419	0	0,00626	0,01576
B48 B47 B43 B42 B196 B197 B198 B219 B49 B212 B85 B44 B45 B204 B72 B1 B99 B83 B199 B171 B91 B64 B79	478,961	0,03689	0	0,00689	0,01713	606,094	0,03397	0	0,00626	0,01570	478,962	0,03689	0	0,00689	0,01714	606,094	0,03419	0	0,00632	0,01582
B123 B3 B14 B6 B7 B23 B8 B26 B9 B29 B32 B130 B10 B11 B178 B173	126,530	0,03765	0	0,00691	0,01737	146,292	0,03751	0	0,00709	0,01751	126,909	0,03765	0	0,00688	0,01734	146,800	0,03495	0	0,00635	0,01606
B124 B125 B126 B127	70,420	0,03647	0	0,00693	0,01706	72,210	0,03647	0	0,00711	0,01724	70,420	0,03647	0	0,00693	0,01706	72,210	0,03685	0	0,00721	0,01745
B172	37,863	0,02028	0	0,00436	0,00999	68,046	0,02051	0	0,00354	0,00924	37,863	0,02028	0	0,00436	0,00999	68,046	0,02051	0	0,00354	0,00924
B54 B184	637,895	0,04596	0	0,00857	0,02133	942,382	0,03798	0	0,00639	0,01694	637,895	0,04596	0	0,00857	0,02133	942,382	0,03874	0	0,00660	0,01736
B179	21,104	0,01216	0	0,00258	0,00596	39,512	0,01443	0	0,00276	0,00677	21,104	0,01216	0	0,00258	0,00596	39,512	0,01253	0	0,00223	0,00571
B161 B58 B66 B206	236,448	0,03238	0	0,00647	0,01546	283,410	0,03200	0	0,00635	0,01524	236,448	0,03238	0	0,00647	0,01546	283,410	0,03229	0	0,00643	0,01540
B52	165,980	0,01937	0	0,00411	0,00949	215,263	0,02507	0	0,00449	0,01145	165,980	0,01937	0	0,00411	0,00949	215,263	0,02431	0	0,00427	0,01103
B67 B68 B69 B221 B153 B222 B156 B157 B158 B159 B160	196,087	0,02621	0	0,00549	0,01277	263,586	0,02925	0	0,00585	0,01398	196,087	0,02621	0	0,00549	0,01277	263,586	0,02963	0	0,00596	0,01419
B131 B132 B134 B135 B136	159,277	0,03191	0	0,00654	0,01540	193,237	0,02879	0	0,00572	0,01372	159,277	0,03191	0	0,00654	0,01540	193,237	0,02887	0	0,00574	0,01376
B193 B195 B203 B188 B189 B190	213,265	0,03735	0	0,00745	0,01783	260,699	0,03393	0	0,00659	0,01602	213,265	0,03735	0	0,00745	0,01783	260,699	0,03381	0	0,00656	0,01595
B62 B224 B183	391,226	0,03203	0	0,00650	0,01540	605,758	0,02836	0	0,00525	0,01313	391,226	0,03203	0	0,00650	0,01540	605,758	0,02887	0	0,00539	0,01341
B107 B108	246,971	0,02165	0	0,00356	0,00958	131,760	0,03400	0	0,00732	0,01676	243,102	0,02165	0	0,00360	0,00961	131,760	0,03533	0	0,00769	0,01750
B202 B201 B200 B223	389,337	0,04022	0	0,00771	0,01888	494,003	0,03533	0	0,00647	0,01629	389,337	0,04022	0	0,00771	0,01888	494,003	0,03533	0	0,00647	0,01629
B74	282,219	0,02811	0	0,00621	0,01402	494,586	0,02507	0	0,00480	0,01177	282,219	0,02811	0	0,00621	0,01402	494,586	0,02507	0	0,00480	0,01177
B191	202,670	0,02355	0	0,00530	0,01185	318,262	0,02355	0	0,00470	0,01124	202,670	0,02355	0	0,00530	0,01185	318,262	0,02317	0	0,00459	0,01103

Ά Όροφος																				
ΔΟΚΟΣ	Αριστερό άκρο M ⁻ (ορθογωνική)					Αριστερό άκρο M ⁺ (πλακοδοκός)					Δεξί άκρο M ⁻ (ορθογωνική)					Δεξί άκρο M ⁺ (πλακοδοκός)				
	My	θ _υ ^{pl}	I.O.	L.S.	C.P.	My	θ _υ ^{pl}	I.O.	L.S.	C.P.	My	θ _υ ^{pl}	I.O.	L.S.	C.P.	My	θ _υ ^{pl}	I.O.	L.S.	C.P.
B213 B36 B37 B38 B20 B21 B22 B124 B125 B126 B127	61,549	0,03647	0	0,00694	0,01707	63,158	0,03874	0	0,00776	0,01852	61,549	0,03647	0	0,00694	0,01707	63,158	0,03874	0	0,00776	0,01852
B215 B216 B149 B150 B48 B47 B117 B151 B152 B43 B42 B4 B121 B122 B5	204,557	0,03874	0	0,00648	0,01724	228,695	0,03912	0	0,00691	0,01778	204,427	0,03874	0	0,00648	0,01724	228,695	0,03912	0	0,00691	0,01778
B40 B41 B81 B82 B61 B59	319,097	0,03419	0	0,00661	0,01611	384,947	0,03191	0	0,00615	0,01501	319,097	0,03419	0	0,00661	0,01611	384,947	0,03191	0	0,00615	0,01501
B214 B15 B16 B25 B24 B17 B13 B12 B18 B30 B130 B217 B31 B10 B75 B78	88,955	0,03760	0	0,00703	0,01748	106,618	0,03533	0	0,00658	0,01640	88,955	0,03760	0	0,00703	0,01748	106,618	0,03533	0	0,00658	0,01640
B192 B143 B202 B201 B200 B223	247,767	0,05204	0	0,00921	0,02367	301,538	0,04406	0	0,00727	0,01951	247,767	0,05204	0	0,00921	0,02367	301,538	0,04406	0	0,00727	0,01951
B123 B3 B14 B131 B195 B83 B134 B135 B132	158,187	0,03723	0	0,00713	0,01747	188,155	0,03419	0	0,00642	0,01592	158,187	0,03723	0	0,00713	0,01747	188,155	0,03419	0	0,00642	0,01592

B6 B7 B23 B8 B26 B9 B29 B53	120,849	0,03988	0	0,00753	0,01860	138,673	0,03571	0	0,00659	0,01650	120,849	0,03988	0	0,00753	0,01860	138,673	0,03571	0	0,00659	0,01650
B197 B198 B49 B44 B72 B74 B166 B212 B196 B199 B45	477,513	0,03988	0	0,00745	0,01853	605,743	0,03533	0	0,00641	0,01622	477,513	0,03988	0	0,00745	0,01853	605,743	0,03533	0	0,00641	0,01622
B58 B19 B193 B107 B108 B206 B203 B211 B33 B2 B115 B186	237,733	0,03912	0	0,00780	0,01867	274,231	0,03533	0	0,00689	0,01671	237,088	0,03912	0	0,00781	0,01868	274,231	0,03533	0	0,00689	0,01671
B204 B99 B79 B224 B55	301,301	0,05204	0	0,00924	0,02370	385,320	0,04368	0	0,00707	0,01920	301,301	0,05204	0	0,00924	0,02370	385,320	0,04368	0	0,00707	0,01920
B218 B188 B189 B190 B187	195,508	0,03533	0	0,00685	0,01666	220,447	0,03419	0	0,00663	0,01613	195,508	0,03533	0	0,00685	0,01666	220,447	0,03419	0	0,00663	0,01613
B54 B184	404,015	0,05432	0	0,00891	0,02400	598,202	0,04558	0	0,00646	0,01912	404,015	0,05432	0	0,00891	0,02400	598,202	0,04558	0	0,00646	0,01912
B52 B46	205,198	0,02051	0	0,00450	0,01019	276,941	0,02735	0	0,00515	0,01274	205,198	0,02051	0	0,00450	0,01019	276,941	0,02735	0	0,00515	0,01274
B62	353,503	0,03191	0	0,00663	0,01549	605,639	0,02735	0	0,00481	0,01241	353,503	0,03191	0	0,00663	0,01549	605,639	0,02735	0	0,00481	0,01241

(II) ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά, οπλισμοί και παράμετροι πλαστικών αρθρώσεων κυκλικών υποστυλωμάτων, όπως εισήχθησαν στο λογισμικό

	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	L(m)	D(m)	As(mm ²)	N	My	θ _{u^{pl}}	I.O.	L.S.	C.P.
Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	C1 C2 C4 C5 C6	3,8	0,65	3141,592	340,25	366,809	0,013	0	0,0015	0,0045
	C3 C11	3,8	0,65	3141,592	209,18	348,805	0,013	0	0,0015	0,0045
	C7 C16	3,8	0,65	4398,229	488,17	480,007	0,00358	0	0,001789	0,003577
	C8 C9 C10 C14	3,8	0,65	3769,911	349,90	417,509	0,01	0	0,0025	0,0045
	C12 C13	3,8	0,65	4398,229	310,29	460,481	0,00358	0	0,001789	0,003577
	C15	3,8	0,8	6333,450	241,72	615,059	0,012	0	0,0015	0,0038
	C17 C18 C42 C43	3,8	0,8	4398,229	481,24	649,981	0,00299	0	0,001498	0,002995
ΙΣΟΓΕΙΟ	C1 C2 C4 C5 C6 C7	4,6	0,75	3141,592	705,77	512,978	0,00234	0	0,00117	0,00234
	C3	4,6	0,75	3769,911	337,48	510,717	0,014	0	0,0017	0,005
	C8 C9 C10	4,6	0,75	4398,229	756,71	632,303	0,0116	0	0,00125	0,0038
	C11 C13	4,6	0,75	4398,229	558,92	603,220	0,0116	0	0,00125	0,038
	C12 C14	4,6	0,8	5026,548	662,25	742,883	0,0105	0	0,00135	0,0035
	C15	4,6	0,9	6333,450	469,44	989,094	0,00309	0	0,001543	0,003086
	C16 C17 C18	4,6	0,9	5026,548	880,24	923,036	0,01	0	0,0016	0,0035
ΥΠΟΓΕΙΟ	C1 C2 C4 C5 C6 C7	4,4	0,85	3769,911	1089,12	754,987	0,00215	0	0,001076	0,002152
	C3	4,4	0,85	4398,229	548,13	721,770	0,012	0	0,0016	0,0046
	C8 C9 C10 C11 C12 C13 C14	4,4	1,2	5026,548	1069,20	1438,696	0,012	0	0,0016	0,0046
	C15	4,4	1	6333,450	640,63	1187,911	0,00284	0	0,00142	0,002839
	C16	4,4	1,5	6911,503	1377,50	2501,508	0,017	0	0,0071	0,0071
	C17 C18	4,4	1	5026,548	1255,05	1157,703	0,017	0	0,0071	0,0071

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά, οπλισμοί και παράμετροι πλαστικών αρθρώσεων ορθογωνικών υποστυλωμάτων, όπως εισήχθησαν στο λογισμικό

	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	L (m)	b _x (m)	b _y (m)	As,top=As,bot (mm ²)	As,ενδ (mm ²)	N	Σεισμός κατά Χ→Κάμψη περί Υ (M3)					Σεισμός κατά Υ→Κάμψη περί Χ (M2)				
								My	θ _{u^{pl}}	I.O.	L.S.	C.P.	My	θ _{u^{pl}}	I.O.	L.S.	C.P.
Α΄ ΟΡΟΦΟΣ	C19 C20	3,8	600	400	763,407	508,938	33,02	132,308	0,037	0	0,006	0,015	206,777	0,031	0	0,0054	0,014
	C21 C22	3,8	600	400	763,407	508,938	197,26	158,501	0,037	0	0,006	0,015	246,502	0,031	0	0,0054	0,014
	C24 C25 C26 C27 C28 C29 C30	3,8	550	550	763,407	508,938	242,14	237,174	0,032	0	0,0055	0,014	237,174	0,032	0	0,0055	0,014
	C38 C39	3,8	750	650	1269,203	1017,876	250,90	440,802	0,00274	0	0,00137	0,00274	505,862	0,00251	0	0,00126	0,00251
	C53 C54	3,8	1450	400	1781,283	508,938	393,54	332,839	0,038	0	0,007	0,018	615,188	0,01720	0	0,00342	0,00819
	C23	3,8	600	650	1017,876	508,938	293,89	358,615	0,03	0	0,0056	0,014	307,818	0,02	0	0,0025	0,008
	C31	3,8	750	750	1570,796	1884,956	308,30	613,493	0,00229	0	0,00114	0,00229	613,493	0,00229	0	0,00114	0,00229

	C40	3,8	600	900	763,407	1017,876	173,44	433,410	0,00225	0	0,00112	0,00225	303,467	0,00237	0	0,00119	0,00237
	C41	3,8	800	950	763,407	1017,876	245,24	494,733	0,025	0	0,004	0,01	442,192	0,03	0	0,0057	0,014
	C46	3,8	400	900	763,407	1017,876	197,71	391,337	0,00208	0	0,00104	0,00208	195,497	0,00330	0	0,00165	0,00330
	C47	3,8	500	750	763,407	1017,876	119,26	335,267	0,00244	0	0,00122	0,00244	234,152	0,00273	0	0,00136	0,00273
	C57	3,8	800	400	763,407	508,938	199,78	161,622	0,00329	0	0,00165	0,00329	340,325	0,00240	0	0,00120	0,00240
	C58	3,8	650	350	763,407	0	240,65	124,738	0,042	0	0,0074	0,019	222,144	0,027	0	0,0046	0,012
	C37	3,8	650	1500	763,407	1526,814	183,19	728,625	0,0331	0	0,0067	0,0159	399,723	0,00179	0	0,0009	0,00178
	C60	3,8	600	650	763,407	508,938	419,30	334,595	0,029	0	0,005	0,013	307,474	0,03	0	0,005	0,014
	C45	3,8	1350	350	1520,531	0	187,28	205,986	0,044	0	0,008	0,02	415,986	0,02031	0	0,00424	0,00988
ΙΣΟΓΕΙΟ	C19 C20	4,6	600	400	942,478	628,319	80,31	167,396	0,039	0	0,0066	0,017	262,021	0,034	0	0,0061	0,016
	C24 C25 C26 C27 C28 C29 C30	4,6	550	550	942,478	628,319	509,93	333,531	0,03	0	0,005	0,014	333,531	0,03	0	0,005	0,014
	C21 C22	4,6	600	400	942,478	628,319	420,50	218,967	0,035	0	0,005	0,014	340,431	0,03	0	0,0048	0,013
	C32 C35 C55 C56	4,6	600	200	1256,637	0	174,19	65,072	0,05220	0	0,00638	0,02088	244,061	0,025	0	0,0035	0,01
	C33 C36	4,6	850	200	1570,796	0	163,05	87,643	0,05449	0	0,00640	0,02153	303,639	0,02163	0	0,00390	0,00991
	C38 C39	4,6	750	650	1256,637	1256,637	501,34	554,298	0,00295	0	0,00147	0,00295	604,202	0,00271	0	0,00135	0,00271
	C42 C43	4,6	850	850	1570,796	1884,956	936,14	1000,68	0,00256	0	0,00128	0,00256	1000,685	0,00256	0	0,00128	0,00256
	C53 C54	4,6	1450	400	1884,956	1256,637	623,46	411,633	0,038	0	0,007	0,018	973,070	0,01995	0	0,00396	0,00950
	C23	4,6	600	650	942,478	628,319	545,40	414,525	0,03	0	0,005	0,014	380,822	0,03	0	0,005	0,014
	C31	4,6	750	750	1570,796	1884,956	636,89	777,428	0,00274	0	0,00137	0,00274	777,428	0,00274	0	0,00137	0,00274
	C34	4,6	700	200	1570,796	0	160,03	76,826	0,05358	0	0,00676	0,02165	261,401	0,02277	0	0,00364	0,00996
	C40	4,6	600	900	1256,637	1256,637	369,79	688,062	0,00244	0	0,00122	0,00244	448,333	0,00271	0	0,00136	0,00271
	C41	4,6	800	950	1256,637	1256,637	510,50	795,924	0,00236	0	0,00118	0,00236	665,381	0,00254	0	0,00127	0,00254
	C46	4,6	500	900	1256,637	1256,637	423,35	691,086	0,00245	0	0,00123	0,00245	375,180	0,00319	0	0,00159	0,00319
	C47	4,6	700	750	1256,637	1256,637	307,21	548,258	0,00265	0	0,00133	0,00265	509,639	0,00275	0	0,00138	0,00275
	C49	4,6	450	1150	1256,637	2513,274	272,94	737,802	0,00345	0	0,00173	0,00345	403,387	0,0228	0	0,00446	0,0108
	C50	4,6	700	600	1256,637	628,319	289,75	385,351	0,00272	0	0,00136	0,00272	422,651	0,00277	0	0,00138	0,00277
	C52	4,6	700	750	1256,637	1256,637	167,53	505,482	0,00262	0	0,00131	0,00262	469,758	0,00272	0	0,00136	0,00272
	C57	4,6	800	400	1570,796	628,319	402,53	300,361	0,038	0	0,006	0,014	518,044	0,024	0	0,0039	0,01
	C58	4,6	650	350	1256,637	0	439,67	204,081	0,038	0	0,006	0,014	342,163	0,024	0	0,003	0,0099
	C59	4,6	400	200	942,478	0	174,86	45,165	0,049	0	0,00619	0,01980	111,131	0,03120	0	0,00452	0,01319
	C37	4,6	650	1500	1256,637	2513,274	415,92	1069,99	0,0025	0	0,00125	0,0025	658,852	0,00157	0	0,0008	0,00157
	C51	4,6	750	200	1884,956	628,319	216,55	88,339	0,04784	0	0,00580	0,01909	361,753	0,02216	0	0,00364	0,00980
	C60	4,6	600	650	942,478	628,319	731,38	461,253	0,00268	0	0,00134	0,00268	423,894	0,00284	0	0,00142	0,00284
	C45	4,6	1350	350	1570,796	628,319	407,83	265,699	0,021	0	0,004	0,0097	694,619	0,0044	0	0,0021	0,0044
ΥΠΟΓΕΙΟ	C19 C20	4,4	700	600	1256,637	628,319	220,77	368,517	0,00296	0	0,00148	0,00296	403,267	0,00271	0	0,00135	0,00271
	C21 C22 C23	4,4	700	600	1256,637	628,319	714,60	485,649	0,00278	0	0,00139	0,00278	538,223	0,00284	0	0,00142	0,00284
	C24 C25 C26 C27 C28 C29	4,4	550	550	942,478	628,319	766,08	394,378	0,00307	0	0,00153	0,00307	390,084	0,00307	0	0,00153	0,00307
	C38 C39	4,4	750	650	1570,796	1256,637	743,98	649,763	0,00297	0	0,00148	0,00297	719,313	0,00274	0	0,00137	0,00274
	C42 C43	4,4	900	900	1570,796	1884,956	963,85	1058,42	0,00241	0	0,00120	0,00241	1058,420	0,00241	0	0,00120	0,00241
	C47 C52	4,4	700	750	1256,637	1256,637	159,70	503,022	0,00258	0	0,00129	0,00258	467,465	0,00268	0	0,00134	0,00268
	C48 C49	4,4	450	1150	1256,637	2513,274	94,06	649,155	0,0033	0	0,00166	0,0033	371,439	0,023	0	0,0046	0,011
	C53 C54	4,4	1450	400	1884,956	1256,637	171,80	340,034	0,021	0	0,0045	0,01	776,301	0,0037	0	0,0018	0,0037
	C55 C56	4,4	600	300	1256,637	0	34,40	123,356	0,05	0	0,008	0,022	218,777	0,028	0	0,0045	0,012
	C30	4,4	650	550	1256,637	628,319	787,37	452,096	0,00304	0	0,00152	0,00304	508,538	0,00303	0	0,00152	0,00303
	C31	4,4	800	800	1884,956	2513,274	1001,81	1052,07	0,00258	0	0,00129	0,00258	1052,072	0,00258	0	0,00129	0,00258
	C32	4,4	800	500	1256,637	628,319	299,92	317,466	0,00308	0	0,00154	0,00308	488,351	0,00256	0	0,00128	0,00256
	C33	4,4	850	300	1570,796	628,319	328,54	204,850	0,041	0	0,0056	0,017	453,491	0,02299	0	0,00405	0,01043
	C34	4,4	700	300	1570,796	628,319	283,39	186,925	0,04121	0	0,00572	0,01717	388,374	0,02448	0	0,00393	0,01073
	C35	4,4	650	300	1256,637	628,319	422,25	164,554	0,03753	0	0,00496	0,01538	401,692	0,00312	0	0,00156	0,00312
	C36	4,4	900	300	1570,796	628,319	105,76	181,075	0,024	0	0,0047	0,0114	400,593	0,0051	0	0,00256	0,0051
	C40	4,4	600	900	1256,637	1256,637	140,26	603,379	0,00238	0	0,00119	0,00238	392,224	0,00291	0	0,00146	0,00291
	C44	4,4	700	600	1256,637	1256,637	27,19	360,121	0,00294	0	0,00147	0,00294	425,160	0,00269	0	0,00134	0,00269
	C41	4,4	800	950	1256,637	1256,637	220,40	679,868	0,00230	0	0,00115	0,00230	567,815	0,00246	0	0,00123	0,00246
	C46	4,4	500	900	942,478	1884,956	130,19	481,664	0,00209	0	0,00105	0,00209	337,584	0,00303	0	0,00151	0,00303
	C50	4,4	700	600	1256,637	628,319	333,06	395,850	0,00300	0	0,00150	0,00300	434,741	0,00274	0	0,00137	0,00274
	C57	4,4	800	400	1570,796	628,319	40,65	244,749	0,00373	0	0,00187	0,00373	383,265	0,00218	0	0,00109	0,00218
	C58	4,4	600	400	1256,637	628,319	37,47	200,889	0,041	0	0,007	0,018	289,226	0,031	0	0,005	0,014
	C59	4,4	400	300	942,478	628,319	32,50	109,945	0,043	0	0,006	0,018	153,920	0,039	0	0,006	0,017

	C37	4,4	650	1500	1256,637	3141,593	356,95	1004,63	0,02	0	0,0039	0,0094	714,264	0,00276	0	0,00138	0,00276
	C51	4,4	750	300	1256,637	628,319	45,83	144,420	0,044	0	0,0067	0,019	332,223	0,028	0	0,005	0,013
	C60	4,4	1350	650	1570,796	1256,637	586,59	630,876	0,00248	0	0,00124	0,00248	994,856	0,00166	0	0,00083	0,00166
	C45	4,4	1350	350	1570,796	1256,637	139,25	250,419	0,04	0	0,006	0,017	699,080	0,02266	0	0,00462	0,01091

