



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:

Διαχείριση Τεχνικών Έργων

Διπλωματική Εργασία

Παραμετρική Σεισμική Ανάλυση Κτιρίου μέσω
Ανάπτυξης Λογισμικού με Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη και
Διερεύνησης Εφαρμογών Τεχνητής Νοημοσύνης και
Μηχανικής Μάθησης

Αντώνιος Τομάζος

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Χατζηγεωργίου

Πάτρα, Μάρτιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Παραμετρική Σεισμική Ανάλυση Κτιρίου μέσω
Ανάπτυξης Λογισμικού με Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη και
Διερεύνησης Εφαρμογών Τεχνητής Νοημοσύνης και
Μηχανικής Μάθησης

Αντώνιος Τομάζος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Γεώργιος Χατζηγεωργίου

Καθηγητής

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Νικόλαος Πνευματικός

Αναπληρωτής Καθηγητής

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Πάτρα, Μάρτιος 2026

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου
Δρ. Γεώργιο Χατζηγεωργίου
για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια που μου παρείχε
κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας*

Αφιερώνω τη διπλωματική μου εργασία στην οικογένεια μου

Περίληψη

Το θέμα της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η παραμετρική σεισμική ανάλυση κτιρίου μέσω ανάπτυξης λογισμικού με γραφικό περιβάλλον χρήστη και διερεύνησης εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης. Μία πρακτική εφαρμογή της υφιστάμενης γνώσης στο σχεδιασμό, την αποτίμηση και τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση κτιρίων λαμβάνει ιδιαίτερη αξία όταν συνδυάζεται με τις τρέχουσες ερευνητικές εξελίξεις και ιδιαίτερα με τον ραγδαία αναπτυσσόμενο τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Η εργασία αποσκοπεί σε μια μεθοδική, αναλυτική αλλά και κριτική εφαρμογή του θεωρητικού υπόβαθρου της σεισμικής μηχανικής με την εκπόνηση μιας παραμετρικής μελέτης ενός πενταόροφου κτιρίου γραφείων με τυπικές διαστάσεις και φορτίσεις, σε δύο διαφορετικές ζώνες σεισμικότητας και δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών. Η μελέτη συνίσταται σε γραμμικές δυναμικές αναλύσεις, μη γραμμικές στατικές αναλύσεις pushover και μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας. Τα αποτελέσματα αναλύονται κριτικά, ώστε να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα στον τομέα της σεισμικής μηχανικής. Για τους σκοπούς της εργασίας χρησιμοποιούνται δύο εμπορικά λογισμικά και ένα ακαδημαϊκό, το RUAUMOKO-3D του Πανεπιστημίου Canterbury της Νέας Ζηλανδίας.

Η μεγάλη αξία του λογισμικού RUAUMOKO-3D στη προσομοίωση και μη γραμμική δυναμική ανάλυση κατασκευών, επισκιάζεται από τη δυσκολία εισαγωγής των δεδομένων εφόσον το λογισμικό δεν έχει γραφικό περιβάλλον χρήστη. Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει η παρούσα εργασία με την ανάπτυξη ενός γραφικού περιβάλλοντος χρήστη ειδικά για το RUAUMOKO-3D, ώστε να το καταστήσει εύχρηστο τόσο για ερευνητική, όσο και για επαγγελματική χρήση.

Η μεθοδολογία εκπόνησης της εργασίας αποτελείται από τη βιβλιογραφική επισκόπηση, όπου αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο του σχεδιασμού και της σεισμικής αποτίμησης κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα κατά τους Ευρωκώδικες, καθώς και τα βασικά στοιχεία της μη γραμμικής σεισμικής ανάλυσης. Στη συνέχεια τίθενται οι βάσεις για την ανάπτυξη λογισμικού γραφικού περιβάλλοντος χρήστη σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Με την διερεύνηση των εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης στον κατασκευαστικό τομέα και στην σεισμική μηχανική ολοκληρώνεται η βιβλιογραφική επισκόπηση.

Η μεθοδολογία ανάπτυξης συνίσταται στην εκπόνηση της παραμετρικής σεισμικής μελέτης του κτιρίου, στην ανάπτυξη του κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού Python του γραφικού περιβάλλοντος χρήστη για το λογισμικό RUAUMOKO-3D και την διερεύνηση εφαρμογής αλγορίθμων μηχανικής μάθησης σε Python με βάση την προσομοίωση και την ανάλυση του κτιρίου με το λογισμικό RUAUMOKO-3D.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα διάφορα στάδια της ανάπτυξης της εργασίας αναλύονται και ερμηνεύονται κριτικά, για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Εστιάζεται ιδιαίτερα η συμβολή της τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης στην εκπόνηση τεχνικών μελετών με μεγαλύτερη επιστημονική ακρίβεια, αποτελεσματικότητα, αποδοτικότητα, ταχύτητα και οικονομία.

Λέξεις - Κλειδιά

Σεισμική Ανάλυση Κτιρίων, Τεχνητή Νοημοσύνη, Μηχανική Μάθηση, RUAUMOKO-3D.

Abstract

The subject of the postgraduate dissertation is the parametric seismic analysis of a building through the development of software with a graphical user interface and the investigation of applications of artificial intelligence and machine learning. A practical approach of existing knowledge in the design, evaluation, and dynamic nonlinear analysis of buildings takes on particular value when combined with current research developments, especially the rapidly developing field of artificial intelligence. The dissertation aims to apply the theoretical background of seismic engineering methodically, analytically, and critically by preparing a parametric study of a five-story office building with typical dimensions and loadings in two different seismicity zones and two soil categories. The study consists of linear dynamic analyses, nonlinear static pushover analyses and nonlinear dynamic time-history analyses.

The results are critically analyzed in order to draw useful conclusions in the field of seismic engineering. For the purposes of the dissertation, two commercial software packages and one academic one, RUAUMOKO-3D from the University of Canterbury, New Zealand, are used.

The great value of the RUAUMOKO-3D software for the simulation and nonlinear dynamic analysis of structures is overshadowed by the difficulty of data entry, as it lacks a graphical user interface. This gap is addressed in the present dissertation by developing a graphical user interface for RUAUMOKO-3D that makes it easier to use for both research and professional purposes.

The dissertation methodology comprises a literature review analyzing the theoretical background of the design and seismic assessment of reinforced concrete buildings according to the Eurocodes, as well as the basic elements of nonlinear seismic analysis. The foundations for the development of graphical user interface software in Python are then laid. The literature review concludes by examining the applications of artificial intelligence and machine learning in the construction sector and seismic engineering.

The development methodology consists of preparing a parametric seismic study of the building, developing the graphical user interface for the RUAUMOKO-3D software in Python, and investigating the application of machine learning algorithms in Python, based on simulations and analyses of the building using the RUAUMOKO-3D software.

The results of the dissertation's various stages are analyzed and critically interpreted to draw useful conclusions. Particular focus is placed on the contribution of artificial intelligence and machine learning to the preparation of technical studies with greater scientific accuracy, effectiveness, efficiency, speed and economy.

Keywords

Seismic Analysis of Buildings, Artificial Intelligence, Machine Learning,
RUAUMOKO-3D.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων / Σχεδίων	xii
Κατάλογος Πινάκων	xv
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xvii
1. Εισαγωγή.....	18
1.1. Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας	18
1.2. Μεθοδολογία της Διπλωματικής Εργασίας.....	19
1.3. Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	20
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο - Βιβλιογραφική Επισκόπηση	22
2.1. Στοιχεία Σεισμικού Σχεδιασμού Κτιρίων.....	23
2.1.1. Βασικές Αρχές Σεισμικού Σχεδιασμού	23
2.1.2. Σχεδιασμός Κτιρίων από Ο/Σ με τους Κανονισμούς EC8/EC2.....	26
2.2. Στοιχεία Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων	30
2.2.1. Σεισμική Αποτίμηση με βάση τις Μετακινήσεις	30
2.2.2. Στάθμες Αξιοπιστίας	30
2.2.3. Οριακές Καταστάσεις	31
2.2.4. Κριτήρια Συμμόρφωσης με τον Κανονισμό EC8-3	31
2.3. Στοιχεία Γραμμικής & Μη Γραμμικής Σεισμικής Ανάλυσης Κτιρίων.....	32
2.3.1. Ανασκόπηση Μεθόδων Σεισμικής Ανάλυσης	32
2.3.2. Οι Έννοιες της Γραμμικής και Μη Γραμμικής Ανάλυσης.....	32
2.3.3. Ισοδύναμη Ελαστική Στατική Ανάλυση	34
2.3.4. Ιδιομορφική Φασματική Ανάλυση.....	34
2.3.5. Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση (Pushover).....	35
2.3.6. Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας	36
2.3.7. Δείκτες Βλάβης	37
2.4. Λογισμικό Μη Γραμμικής Ανάλυσης RUAUMOKO-3D	38
2.4.1. Γενική Περιγραφή του Λογισμικού	38
2.4.2. Εισαγωγή Δεδομένων.....	39
2.4.3. Εξαγωγή Αποτελεσμάτων	39
2.4.4. Αναγκαιότητα Ανάπτυξης Λογισμικού Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη	40
2.5. Στοιχεία Ανάπτυξης Λογισμικού Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη.....	40
2.5.1. Επιλογή της Κατάλληλης Γλώσσας Προγραμματισμού.....	40
2.5.2. Η Γλώσσα Προγραμματισμού Python	41
2.5.3. Η Βιβλιοθήκη Γραφικών Διεπαφής Χρήστη (GUI) TKinter	41
2.6. Στοιχεία Τεχνητής Νοημοσύνης	42
2.6.1. Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)	42
2.6.2. Μηχανική Μάθηση (ML).....	43
2.6.3. Κατηγορίες Μηχανικής Μάθησης	44
2.6.4. Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης	45
2.6.5. Εφαρμογή των Αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης	46
2.6.6. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN)	47
2.6.7. Βαθιά Μάθηση (DL)	48
2.6.8. Προβλήματα Εφαρμογής Μοντέλων Μηχανικής Μάθησης.....	49
2.6.9. Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs).....	50

2.6.10. Δημιουργική Τεχνητή Νοημοσύνη (Gen AI).....	50
2.7. Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στον Κατασκευαστικό Τομέα	51
2.7.1. Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στα Τεχνικά Έργα	51
2.7.2. Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Σεισμική Μηχανική.....	53
2.7.3. Παραδείγματα Εφαρμογής της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Σεισμική Μηχανική	54
3. Μεθοδολογία Εκπόνησης της ΜΔΕ.....	56
3.1. Περιγραφή Μεθοδολογίας	56
3.2. Μεθοδολογία Έρευνας	56
3.3. Μεθοδολογία Ανάπτυξης	56
4. Ανάπτυξη Λογισμικού Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη	58
4.1. Δομή του Κώδικα του Λογισμικού	58
4.2. Βιβλιοθήκες του Λογισμικού	58
4.3. Λειτουργικότητα του Λογισμικού.....	58
4.4. Εκτέλεση του Λογισμικού	59
5. Μελέτη Περίπτωσης Σεισμικής Ανάλυσης Κτιρίου	63
5.1. Περιγραφή του Κτιρίου.....	63
5.2. Σχεδιασμός του Κτιρίου με τους Κανονισμούς EC2/EC8	65
5.2.1. Λογισμικό SCADA Pro.....	65
5.2.2. Εισαγωγή Δεδομένων - Γενικές Παράμετροι	65
5.2.3. Γεωμετρία Προσομοιώματος	66
5.2.4. Υποστυλώματα.....	66
5.2.5. Δοκοί	67
5.2.6. Πλάκες.....	68
5.2.7. Θεμελίωση.....	69
5.2.8. Αξονομετρικό Σχέδιο	71
5.2.9. Κατακόρυφα Φορτία	71
5.2.10. Ανάλυση Φέροντος Οργανισμού	72
5.2.11. Ενδεικτικοί Κανονιστικοί Έλεγχοι	79
5.2.12. Σχεδιασμός Ξυλοτύπων.....	83
5.3. Σεισμική Αποτίμηση του Κτιρίου	90
5.3.1. Λογισμικό SEISMOBUILD	90
5.3.2. Εισαγωγή Δεδομένων.....	90
5.3.3. Προσομοίωση Φέροντος Οργανισμού	91
5.3.4. Ιδιομορφική Ανάλυση	103
5.3.5. Στάθμες Επιτελεστικότητας και Αξιοπιστίας.....	105
5.3.6. Σεισμική Δράση	105
5.3.7. Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση Pushover.....	108
5.3.8. Έλεγχοι Αστοχίας.....	114
5.3.9. Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας	121
5.3.10. Έλεγχοι Αστοχίας.....	123
5.4. Μη Γραμμική Ανάλυση του Κτιρίου με το Λογισμικό RUAUMOKO-3D.....	131
5.4.1. Εισαγωγή Δεδομένων.....	131
5.4.2. Αποτελέσματα Αναλύσεων	148
5.4.3. Εφαρμογή Μηχανικής Μάθησης (ML).....	149
6. Συμπεράσματα	155
6.1. Συμπεράσματα Βιβλιογραφικής Επισκόπησης	155
6.2. Συμπεράσματα Ανάπτυξης Λογισμικού Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη	158
6.3. Συμπεράσματα Μελέτης Περίπτωσης Σεισμικής Ανάλυσης Κτιρίου	158

6.4. Συμπεράσματα Εφαρμογής Μηχανικής Μάθησης	162
6.5. Συνεισφορά και Εισηγήσεις Μελλοντικής Έρευνας.....	164
Βιβλιογραφικές Αναφορές	165
Παράρτημα Α: Ρυαυτοκο-3D Δεδομένα για Έδαφος Α.....	170
Παράρτημα Β: Ρυαυτοκο-3D Δεδομένα για Έδαφος Β	186
Παράρτημα Γ: Ενδεικτικά Αποτελέσματα Ανάλυσης	203

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων / Σχεδίων

Σχήμα 1 - Καμπύλες Τέμνουσας Βάσης - Μετακινήσεων - Δρίτσος, 2019	24
Σχήμα 2 - (a) Μηχανισμός Δοκών - (b) Μηχανισμός Μαλακού Ορόφου	25
Σχήμα 3 - Ελαστικό Φάσμα EC8 Οριζόντιας Διεύθυνσης Απόσβεσης 5%.....	26
Σχήμα 4 - Ισοδύναμη Ελαστική Στατική Ανάλυση	27
Σχήμα 5 - Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης Δομικού Στοιχείου από Ο/Σ - Ιγνατάκης & Σέξτος, 2015.....	28
Σχήμα 6 - Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης - Ruaumoko3D User Manual, 2007	29
Εικόνα 7 - Ισοδύναμη Ελαστική Στατική Ανάλυση - Antoniou 2023.....	34
Εικόνα 8 - Ιδιομορφική Φασματική Ανάλυση- Antoniou 2023	34
Εικόνα 9 - Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση (Pushover) - Antoniou 2023.....	35
Εικόνα 10 - Μη Γραμμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας - Antoniou 2023.....	36
Σχήμα 11 - Επιστημονικά Πεδία Τεχνητής Νοημοσύνης - Xiao 2022.....	42
Σχήμα 12 - Παραδοσιακό Σύστημα	44
Σχήμα 13 - Σύστημα Μηχανικής Μάθησης.....	44
Σχήμα 14 - Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο	48
Σχήμα 15 - ASCE: Αναγνώριση και Ταξινόμηση Δονήσεων σε Σήραγγα.....	54
Σχήμα 16 - ASCE: Αναγνώριση & Ταξινόμηση Ρωγμών	55
Εικόνα 17 - R3DGUI - Βασικό παράθυρο	59
Εικόνα 18 - R3DGUI - Βασικές Παράμετροι	60
Εικόνα 19 - R3DGUI - Ιδιότητες Μελών.....	60
Εικόνα 20 - R3DGUI - Απεικόνιση Αρχείου Δεδομένων RUAUMOKO-3D.....	61
Εικόνα 21 - R3DGUI - Γραφική Απεικόνιση Τρισδιάστατου Πλαισίου	61
Εικόνα 22 - R3DGUI - Αποτελέσματα Ανάλυσης.....	62
Σχέδιο 23 - Κάτοψη Τυπικού Ορόφου.....	64
Εικόνα 24 - SCADA Pro - Γενικές Παράμετροι.....	65
Εικόνα 25 - SCADA Pro - Κάτοψη Τυπικού Ορόφου.....	66
Εικόνα 26 - SCADA Pro - Ορισμός Υποστυλώματος.....	66
Εικόνα 27 - SCADA Pro - Ορισμός Πλακοδοκού Γ.....	67
Εικόνα 28 - SCADA Pro - Ορισμός Πλακοδοκού Τ	67
Εικόνα 29 - SCADA Pro - Ορισμός Πλάκας Ορόφου	68
Εικόνα 30 - SCADA Pro - Κάτοψη Πλακών Ορόφου - Στηρίξεις	68
Εικόνα 31 - SCADA Pro - Κάτοψη Πλακών Ορόφου - Γραμμές Διαρροής	69
Εικόνα 32 - SCADA Pro - Ορισμός Μεμονωμένου Πεδίλου.....	69
Εικόνα 33 - SCADA Pro - Κάτοψη Θεμελίωσης.....	70
Εικόνα 34 - SCADA Pro - Αξονομετρικό Σχέδιο Προσομοιώματος.....	71
Εικόνα 35 - SCADA Pro - Φορτία Μπατικών Τοίχων	72
Εικόνα 36 - SCADA Pro - Αξονομετρικό Σχέδιο με Κατακόρυφα Φορτία	72
Εικόνα 37 - SCADA Pro - Παράμετροι Ισοδύναμης Στατικής Ανάλυσης - Ζώνη II - Έδαφος Α	73
Εικόνα 38 - SCADA Pro - Παράμετροι Ισοδύναμης Στατικής Ανάλυσης - Ζώνη III - Έδαφος Α	73
Εικόνα 39 - SCADA Pro - Παράμετροι Ιδιομορφικής Ανάλυσης - Ζώνη II - Έδαφος Α ..	74
Εικόνα 40 - SCADA Pro - Παράμετροι Ιδιομορφικής Ανάλυσης - Ζώνη III - Έδαφος Α.	74
Εικόνα 41 - SCADA Pro - Παράμετροι Ισοδύναμης Στατικής Ανάλυσης - Ζώνη II - Έδαφος Β	75

Εικόνα 42 - SCADA Pro - Παράμετροι Ισοδύναμης Στατικής Ανάλυσης - Ζώνη III - Έδαφος Β	75
Εικόνα 43 - SCADA Pro - Παράμετροι Ιδιομορφικής Ανάλυσης - Ζώνη II - Έδαφος Β ..	76
Εικόνα 44 - SCADA Pro - Παράμετροι Ιδιομορφικής Ανάλυσης - Ζώνη III - Έδαφος Β.	76
Εικόνα 45 - SCADA Pro - Συνδυασμοί Φορτίσεων	77
Σχέδιο 46 - Επίπεδο 0 - Ξυλότυπος Θεμελίωσης.....	84
Σχέδιο 47 - Επίπεδο 1 - Ξυλότυπος 1 ^ο Ορόφου.....	85
Σχέδιο 48 - Επίπεδο 2 - Ξυλότυπος 2 ^ο Ορόφου.....	86
Σχέδιο 49 - Επίπεδο 3 - Ξυλότυπος 3 ^ο Ορόφου.....	87
Σχέδιο 50 - Επίπεδο 4 - Ξυλότυπος 4 ^ο Ορόφου.....	88
Σχέδιο 51 - Επίπεδο 5 - Ξυλότυπος 5 ^ο Ορόφου.....	89
Εικόνα 52 - Seisbuild - EC8-3 - Ελληνικό Παράρτημα.....	90
Εικόνα 53 - Seisbuild - Διαδικασία Αποτίμησης.....	90
Εικόνα 54 - Seisbuild - Κάτοψη Τυπικού Ορόφου.....	96
Εικόνα 55 - Seisbuild - Θεμελίωση	97
Εικόνα 56 - Seisbuild - Οπλισμός Υποστυλωμάτων	97
Εικόνα 57 - Seisbuild - Οπλισμός Πλακοδοκών Γ	98
Εικόνα 58 - Seisbuild - Οπλισμός Πλακοδοκών Τ	99
Εικόνα 59 - Seisbuild - Οπλισμός Πλακών.....	100
Εικόνα 60 - Seisbuild - Οπλισμός Πεδίλων	100
Εικόνα 61 - Seisbuild - Παράμετροι Εδάφους-Θεμελίωσης.....	101
Εικόνα 62 - Seisbuild - Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση Πάκτωσης	101
Εικόνα 63 - Seisbuild - Ρηγματωμένη Δυσκαμψία	101
Εικόνα 64 - Seisbuild - Αξονομετρικά Σχέδια Προσομοιώματος	102
Εικόνα 65 - Seisbuild - Ιδιομορφές Προσομοιώματος	103
Εικόνα 66 - Seisbuild - Στάθμες Επιτελεστικότητας	105
Εικόνα 67 - Seisbuild - Στάθμες Αξιοπιστίας	105
Εικόνα 68 - Seisbuild - Φάσματα Τύπος Εδάφους Α - Ζώνη II	106
Εικόνα 69 - Seisbuild - Φάσματα Τύπος Εδάφους Α - Ζώνη III.....	106
Εικόνα 70 - Seisbuild - Φάσματα Τύπος Εδάφους Β - Ζώνη II.....	107
Εικόνα 71 - Seisbuild - Φάσματα Τύπος Εδάφους Β - Ζώνη III	107
Εικόνα 72 - Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση.....	108
Εικόνα 73 - Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας	121
Εικόνα 74 - R3DGUI - Γεωμετρία Φορέα	135
Εικόνα 75 - FIN-EC - Τετραγωνική Διατομή Υποστυλώματος	136
Εικόνα 76 - FIN-EC - Ελαστικές Ιδιότητες Διατομής Υποστυλώματος.....	136
Εικόνα 77 - FIN-EC - Καθορισμός Οπλισμού Διατομής Υποστυλώματος.....	137
Εικόνα 78 - FIN-EC - Τρισδιάστατο Διάγραμμα N-M Διατομής Υποστυλώματος.....	137
Εικόνα 79 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Υποστυλώματος	137
Εικόνα 80 - FIN-EC - Πλακοδοκός Διατομής Γ	138
Εικόνα 81 - FIN-EC - Ελαστικές Ιδιότητες Πλακοδοκού Διατομής Γ	138
Εικόνα 82 - FIN-EC - Πλακοδοκός Διατομής Τ.....	139
Εικόνα 83 - FIN-EC - Ελαστικές Ιδιότητες Πλακοδοκού Διατομής Τ.....	139
Εικόνα 84 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Γ 2Φ14 / 4Φ14.....	140
Εικόνα 85 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Τ 2Φ14 / 4Φ14.....	140
Εικόνα 86 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Γ 2Φ14+1Φ16 / 4Φ14..	140
Εικόνα 87 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Γ 2Φ14+2Φ16 / 4Φ14..	141
Εικόνα 88 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Τ 2Φ14+2Φ16 / 4Φ14 .	141
Εικόνα 89 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Τ 2Φ14+3Φ16 / 4Φ14 .	141

Εικόνα 90 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού T 2Φ14+3Φ18 / 4Φ14 .142	
Εικόνα 91 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Γ 3Φ14 / 4Φ14.....142	
Εικόνα 92 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού T 3Φ14 / 4Φ14.....142	
Εικόνα 93 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Γ 3Φ14+2Φ16 / 5Φ14..143	
Εικόνα 94 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού T 4Φ14 / 4Φ14.....143	
Εικόνα 95 - RC-Ductility-Designer - Πλαστιμότητα Υποστυλώματος144	
Εικόνα 96 - ML - Πίνακας Συσχέτισης.....152	
Εικόνα 97 - ML - Διάγραμμα Σημαντικότητας Χαρακτηριστικών152	

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 - Παράμετροι Ελαστικού Φάσματος EC8	26
Πίνακας 2 - Βασικά Δομικά Συστήματα EC8.....	27
Πίνακας 3 - Ενδεικτικά Κριτήρια Κανονικότητας EC8.....	27
Πίνακας 4 - Ενδεικτική Διαδικασία Διαστασιολόγησης κατά EC8/EC2	29
Πίνακας 5 - Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων	30
Πίνακας 6 - Οριακές Καταστάσεις EC8-3	31
Πίνακας 7 - Εφαρμογή/Περιορισμοί Μεθόδων Σεισμικής Ανάλυσης.....	32
Πίνακας 8 - Ταξινόμηση Δείκτη Βλάβης.....	37
Πίνακας 9 - Βασικά Δεδομένα RUAUMOKO-3D	39
Πίνακας 10 - Βασικά TKinter Widgets	41
Πίνακας 11 - Συνδυασμοί Φορτίσεων.....	77
Πίνακας 12 - Έλεγχοι για Ζώνη II - Έδαφος A - Ισοδύναμη Στατική Ανάλυση.....	79
Πίνακας 13 - Έλεγχοι για Ζώνη II - Έδαφος A - Ιδιομορφική Ανάλυση	79
Πίνακας 14 - Έλεγχοι για Ζώνη III - Έδαφος A - Ισοδύναμη Στατική Ανάλυση	80
Πίνακας 15 - Έλεγχοι για Ζώνη III - Έδαφος A - Ιδιομορφική Ανάλυση.....	80
Πίνακας 16 - Έλεγχοι για Ζώνη II - Έδαφος B - Ισοδύναμη Στατική Ανάλυση	81
Πίνακας 17 - Έλεγχοι για Ζώνη II - Έδαφος B - Ιδιομορφική Ανάλυση	81
Πίνακας 18 - Έλεγχοι για Ζώνη III - Έδαφος B - Ισοδύναμη Στατική Ανάλυση.....	82
Πίνακας 19 - Έλεγχοι για Ζώνη III - Έδαφος B - Ιδιομορφική Ανάλυση	82
Πίνακας 20 - Υποστυλώματα.....	91
Πίνακας 21 - Δοκοί	93
Πίνακας 22 - Πλάκες.....	95
Πίνακας 23 - Θεμελίωση.....	96
Πίνακας 24 - Ιδιοπερίοδοι Προσομοιώματος.....	103
Πίνακας 25 - Ποσοστά Ενεργών Ιδιομορφικών Μαζών για Έδαφος A	104
Πίνακας 26 - Ποσοστά Ενεργών Ιδιομορφικών Μαζών για Έδαφος B.....	104
Πίνακας 27 - Συνδυασμοί Αναλύσεων Pushover.....	108
Πίνακας 28 - Ενδεικτικές Καμπύλες Ικανότητας - Έδαφος A - Ζώνη II.....	110
Πίνακας 29 - Ενδεικτικές Καμπύλες Ικανότητας - Έδαφος A - Ζώνη III	111
Πίνακας 30 - Ενδεικτικές Καμπύλες Ικανότητας - Έδαφος B - Ζώνη II.....	112
Πίνακας 31 - Ενδεικτικές Καμπύλες Ικανότητας - Έδαφος B - Ζώνη III	113
Πίνακας 32 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος A - Ζώνη II.....	114
Πίνακας 33 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος A - Ζώνη III.....	115
Πίνακας 34 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος B - Ζώνη II	117
Πίνακας 35 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος B - Ζώνη III.....	119
Πίνακας 36 - Τεχνητά Επιταχυνσιογραφήματα - Φάσματα.....	121
Πίνακας 37 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος A - Ζώνη II.....	123
Πίνακας 38 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος A - Ζώνη III.....	124
Πίνακας 39 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος B - Ζώνη II.....	126
Πίνακας 40 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος B - Ζώνη III.....	127
Πίνακας 41 - Συντεταγμένες Κόμβων Φορέα.....	131
Πίνακας 42 - Συνδεσμολογία Μελών Φορέα.....	132
Πίνακας 43 - Δεδομένα από Διάγραμμα N-M Διατομής Υποστυλώματος	144
Πίνακας 44 - Δεδομένα από Διαγράμματα N-M Διατομών Δοκών	144
Πίνακας 45 - Δείκτες Πλαστιμότητας (μ) Διατομών	145
Πίνακας 46 - Κατανομημένο Φορτίο Δοκών	146

Πίνακας 47 - Βάρη Ορόφων	147
Πίνακας 48 - Δείκτες βλάβης Park & Ang για K5 για Τύπο Εδάφους A, B.....	149
Πίνακας 49 - Σύγκριση Αλγορίθμων ML	154

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

AI	Artificial Intelligence
ANN	Artificial Neural Networks
ASCE	American Society of Civil Engineers
BIM	Building Information Modeling
ANN	Artificial Neural Network
DI	Damage Index
DL	Deep Learning
EC2	Eurocode 2
EC8	Eurocode 8
EDA	Exploratory Data Analysis
Gen AI	Generative AI
GUI	Graphical User Interface
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning
k-NN	k-Nearest Neighbors
LLMs	Large Language Models
MAE	Mean Absolute Error
MDOF	Multi Degree of Freedom
ML	Machine Learning
NLP	Natural Language Processing
PCA	Principal Component Analysis
PGA	Peak Ground Acceleration
PGV	Peak Ground Velocity
RMSE	Mean Squared Error
SDOF	Single Degree of Freedom
SHM	Structural Health Monitoring
SVMs	Support Vector Machines
Κ.Α.Δ.Ε.Τ	Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας
ΚΑΝ.ΕΠΕ.	Κανονισμός Επεμβάσεων
ΜΔΕ	Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
Ο/Σ	Οπλισμένο Σκυρόδεμα

1. Εισαγωγή

1.1. Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Ο βασικός σκοπός της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας (ΜΔΕ) είναι μία μεθοδική, πρακτική, αλλά και κριτική εφαρμογή της υφιστάμενης γνώσης στο σχεδιασμό, αποτίμηση και μη γραμμική σεισμική ανάλυση κτιρίων. Για τον σκοπό αυτό εκπονείται παραμετρική μελέτη ενός πενταόροφου κτιρίου γραφείων με τυπικές διαστάσεις και φορτίσεις, σε δύο διαφορετικές ζώνες σεισμικότητας και δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών. Για την παραμετρική μελέτη χρησιμοποιούνται τα εμπορικά λογισμικά SCADA Pro και Seismobuild και το ακαδημαϊκό RUAUMOKO-3D. Η παραμετρική μελέτη περιλαμβάνει γραμμικές δυναμικές αναλύσεις, μη γραμμικές στατικές αναλύσεις pushover και μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας. Τα αποτελέσματα αναλύονται κριτικά, ώστε να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα στον τομέα της σεισμικής μηχανικής.

Αναγνωρίζοντας την ευελιξία του λογισμικού RUAUMOKO-3D στη προσομοίωση κατασκευών και τις δυνατότητες του λογισμικού: α) στην εισαγωγή των δεδομένων που αφορούν τη γεωμετρία του φορέα, τις ιδιότητες των μελών, τα υστερητικά μοντέλα, τις μάζες, του μοντέλου απόσβεσης, των φορτίσεων, των σεισμικών καταγραφών και των ρυθμίσεων της αριθμητικής ανάλυσης, αλλά και β) στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, όπως χρονοϊστορίες κόμβων (μετακινήσεις, στροφές, ταχύτητες, επιταχύνσεις), αποτελέσματα μελών (εντατικά μεγέθη, καμπυλότητες, στροφές πλαστικών αρθρώσεων, υστερητικοί βρόχοι), απαιτήσεις πλαστιμότητας, δείκτες βλάβης, ενεργειακά μεγέθη, συνολικά μεγέθη φορέα (τέμνουσα βάση, μετακινήσεις μεταξύ ορόφων, ιδιομορφές στην περίπτωση ιδιομορφικής ανάλυσης), θεωρήθηκε ιδιαίτερα σημαντικό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτό το λογισμικό από το ευρύτερο ερευνητικό ή επαγγελματικό κοινό.

Ωστόσο, η εισαγωγή των δεδομένων στο RUAUMOKO-3D γίνεται με αρχείο κειμένου όπου κάθε γραμμή του αρχείου πρέπει να περιλαμβάνει τα απαιτούμενα δεδομένα σε αυστηρά προδιαγεγραμμένη σειρά με έντονο το ενδεχόμενο λανθασμένων εισαγωγών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις, ή σε διακοπή της ανάλυσης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του λογισμικού.

Συνεπώς, ο δεύτερος βασικός σκοπός της ΜΔΕ είναι η ανάπτυξη ενός γραφικού περιβάλλοντος χρήστη το οποίο θα επιταχύνει την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό RUAUMOKO-3D, θα μειώσει τον κίνδυνο λαθών και θα βελτιώσει την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, καθιστώντας το RUAUMOKO-3D εύχρηστο, τόσο για ερευνητική, όσο και για επαγγελματική χρήση.

Ο τρίτος βασικός σκοπός της ΜΔΕ αφορά τη διερεύνηση εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης στον κατασκευαστικό τομέα και ειδικότερα στη σεισμική μηχανική. Καθώς η τεχνητή νοημοσύνη εξελίσσεται ραγδαία και υπεισέρχεται σε κάθε επιστημονικό πεδίο η περαιτέρω διερεύνηση εφαρμογής της στη σεισμική μηχανική θα ανακαλύψει το πλεονέκτημα της εκπόνησης τεχνικών μελετών με μεγαλύτερη επιστημονική ακρίβεια, αποτελεσματικότητα, αποδοτικότητα, ταχύτητα και οικονομία.

1.2. Μεθοδολογία της Διπλωματικής Εργασίας

Η μεθοδολογία εκπόνησης της ΜΔΕ είναι η ακόλουθη:

- Με τη βιβλιογραφική επισκόπηση εξετάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο του σχεδιασμού κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα (Ο/Σ), η φιλοσοφία του σεισμικού σχεδιασμού και οι συνθήκες εφαρμογής του. Διερευνώνται οι απαιτήσεις των Ευρωκωδίκων 8 και 2 (EC8, EC2) για το σχεδιασμό κτιρίων από Ο/Σ και οι έννοιες της πλαστιμότητας και του ικανοτικού σχεδιασμού. Όσον αφορά τη σεισμική αποτίμηση κτιρίων εξετάζονται οι στάθμες αξιοπιστίας, οι οριακές καταστάσεις και τα κριτήρια συμμόρφωσης κατά EC8-3. Αναλύονται τα βασικά στοιχεία της μη γραμμικής σεισμικής ανάλυσης. Τίθενται οι βάσεις ανάπτυξης λογισμικού γραφικού περιβάλλοντος χρήστη σε γλώσσα προγραμματισμού Python και τέλος διερευνώνται βιβλιογραφικά οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης στον κατασκευαστικό τομέα και στο πεδίο της σεισμικής μηχανικής.

- Αναπτύσσεται κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού Python για τη δημιουργία ενός γραφικού περιβάλλοντος χρήστη για το λογισμικό RUAUMOKO-3D με τη χρήση της βιβλιοθήκης Γραφικών Διεπαφής Χρήστη TKinter.
- Εκπονείται παραμετρική μελέτη πενταόροφου κτιρίου γραφείων με τυπικές διαστάσεις και φορτίσεις, σε δύο διαφορετικές ζώνες σεισμικότητας (μέτρια και υψηλή) και δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών (Α και Β). Για την παραμετρική μελέτη χρησιμοποιούνται τα λογισμικά πεπερασμένων στοιχείων SCADA Pro, Seismobuild και RUAUMOKO-3D.
- Αναπτύσσεται ροή εργασιών μηχανικής μάθησης (ML pipeline) σε γλώσσα προγραμματισμού Python με βάση την προσομοίωση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου και την ανάλυση του με το λογισμικό RUAUMOKO-3D, χρησιμοποιώντας τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.
- Αναλύονται και ερμηνεύονται κριτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα διάφορα στάδια της ανάπτυξης της ΜΔΕ για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα στο αντικείμενο της σεισμικής μηχανικής.

1.3. Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η ΜΔΕ αποτελείται από έξι κεφάλαια και τα παραρτήματα:

- Στο πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνεται η εισαγωγή.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η ανάπτυξη του θεωρητικού υπόβαθρου και της βιβλιογραφικής επισκόπησης. Παρατίθενται οι βασικές αρχές του αντισεισμικού σχεδιασμού κτιρίων από Ο/Σ σύμφωνα με τους κανονισμούς EC8 και EC2 και θέτονται οι βάσεις της σεισμικής αποτίμησης κτιρίων. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στη σεισμική αποτίμηση με βάση τις μετακινήσεις και στις μεθόδους γραμμικής και μη γραμμικής ανάλυσης κτιρίων. Ακολουθεί μία βασική περιγραφή του λογισμικού RUAUMOKO-3D, όπου τεκμηριώνεται η αναγκαιότητα της δημιουργίας ενός γραφικού περιβάλλοντος χρήστη. Γι' αυτό τον σκοπό τίθενται, στη συνέχεια τα θεμέλια για την ανάπτυξη λογισμικού γραφικού περιβάλλοντος χρήστη σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Τέλος, εκπονείται η βιβλιογραφική έρευνα γενικότερα για την τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση και ειδικότερα για τις εφαρμογές της στον κατασκευαστικό τομέα και στο πεδίο της σεισμικής μηχανικής.

- Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία εκπόνησης της ΜΔΕ η οποία αποτελείται από τη μεθοδολογία έρευνας και τη μεθοδολογία ανάπτυξης.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται το γραφικό περιβάλλον χρήστη για το λογισμικό RUAUMOKO-3D.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο εκπονείται η παραμετρική μελέτη ενός πενταόροφου κτιρίου γραφείων με τυπικές διαστάσεις και φορτίσεις για τέσσερα σενάρια παραμετρικού σχεδιασμού και σεισμικής αποτίμησης, δηλαδή Σεισμικής Ζώνης II ή III και τύπου εδάφους A ή B και διερευνάται η εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.
- Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η σύνοψη των συμπερασμάτων της ΜΔΕ.
- Στα παραρτήματα παρατίθενται, ενδεικτικά αρχεία δεδομένων του λογισμικού RUAUMOKO-3D για την ανάλυση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου, καθώς και ενδεικτικά αποτελέσματα της ανάλυσης.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο - Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Η βιβλιογραφική επισκόπηση αποσκοπεί στην αναζήτηση βιβλιογραφικών πηγών σχετικών με το θέμα της ΜΔΕ με σκοπό την διαμόρφωση μιας εικόνας της παρούσης γνώσης και την ανακάλυψη πιθανών κενών τα οποία θα αποτελέσουν την αφορμή περαιτέρω έρευνας (Παναγιωτακόπουλος, 2017).

Η βιβλιογραφική επισκόπηση συνδυάζεται με την βιβλιογραφική σύνθεση όπου αναλύονται και συγκρίνονται κριτικά τα ευρήματα προηγούμενων ερευνητών με σκοπό τη σύνθεση τους για να προκύψει το θεωρητικό υπόβαθρο της ΜΔΕ.

Στην παρούσα ΜΔΕ η βιβλιογραφική επισκόπηση εκπονείται παράλληλα με τη βιβλιογραφική σύνθεση εστιάζοντας σε βιβλιογραφικές πηγές αναφορικά με το σεισμικό σχεδιασμό κτιρίων από Ο/Σ με βάση τους Ευρωκώδικες 8 και 2, στη σεισμική αποτίμηση κτιρίων με βάση τις μετακινήσεις και στις μη γραμμικές σεισμικές αναλύσεις.

Εφόσον, ένας από τους βασικούς στόχους της εργασίας είναι η ανάπτυξη λογισμικού, αναζητούνται, επίσης εκείνες οι βιβλιογραφικές πηγές που θα συμβάλουν στη συγγραφή του κώδικα του προγράμματος.

Τέλος, γίνεται αναζήτηση, ανάλυση και σύνθεση βιβλιογραφικών πηγών σχετικών με την τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση με στόχο την περαιτέρω έρευνα σε εφαρμογές στον κατασκευαστικό τομέα και ιδιαίτερος στο πεδίο της σεισμικής μηχανικής.

2.1. Στοιχεία Σεισμικού Σχεδιασμού Κτιρίων

2.1.1. Βασικές Αρχές Σεισμικού Σχεδιασμού

Η σεισμική διέγερση έχει πιθανολογικό χαρακτήρα όσον αφορά τη χρονική στιγμή, τη γεωγραφική περιοχή που θα συμβεί, την ένταση και τη διάρκεια της. Πιθανολογικός είναι επίσης και ο προσδιορισμός της σεισμικής επικινδυνότητας μίας γεωγραφικής περιοχής. Κατά το σεισμικό σχεδιασμό κτιρίων, σύμφωνα με τους εκάστοτε κανονισμούς, προσδιορίζεται ένα ελάχιστο επίπεδο - έναντι ενός επιθυμητού επιπέδου σεισμικής προστασίας. Βασικός παράγοντας σχεδιασμού είναι ο «σεισμός σχεδιασμού», ο οποίος αναφέρεται σε σεισμική δράση με καθορισμένη πιθανότητα υπέρβασης για την οποία θα πρέπει να σχεδιαστούν τα κτίρια.

Η φιλοσοφία σεισμικού σχεδιασμού συνίσταται στην επίτευξη τριών στόχων (Αβραμίδης et al. 2017):

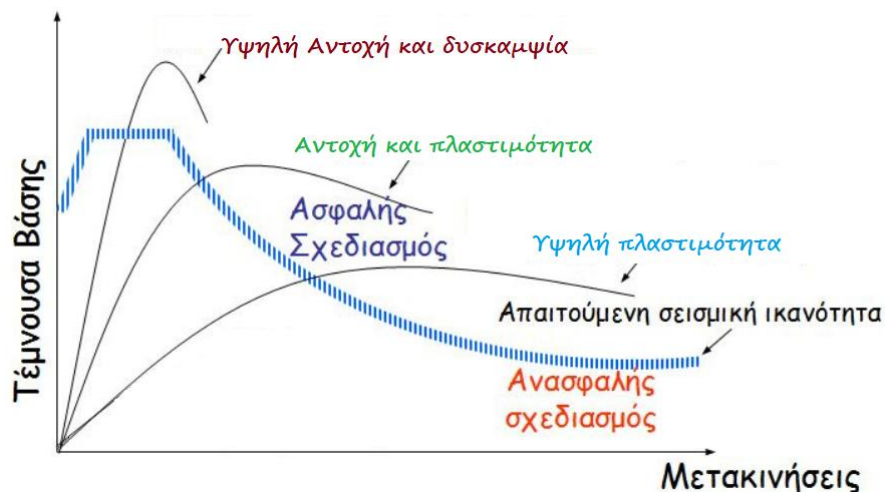
- Το κτίριο δεν θα πρέπει να έχει βλάβες σε φέροντα και μη φέροντα δομικά στοιχεία για μικρής έντασης και συχνούς σεισμούς, παραμένοντας στη ελαστική περιοχή.
- Το κτίριο μπορεί να έχει βλάβες σε μη φέροντα δομικά στοιχεία και μη σημαντικές βλάβες σε φέροντα δομικά στοιχεία που δύνανται να επιδιορθωθούν, σε μέσης έντασης σεισμούς που θα εκδηλωθούν λίγες φορές στη διάρκεια ζωής του.
- Το κτίριο δύνανται να έχει σοβαρές βλάβες σε φέροντα δομικά στοιχεία, σε μεγάλης έντασης σεισμούς που σπανίως θα εκδηλωθούν, με τη βασική προϋπόθεση ότι θα έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα κατά το σχεδιασμό, ώστε η πιθανότητα μερικής ή ολικής κατάρρευσης του κτιρίου να είναι μικρή.

Για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων σεισμικού σχεδιασμού είναι απαραίτητο να ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες (Αβραμίδης et al., 2017):

- Το κτίριο θα πρέπει να έχει επαρκής δυσκαμψία κατάλληλα κατανομημένη στο φέροντα οργανισμό του, ώστε οι μετακινήσεις να είναι μικρές σε σεισμούς μικρής έντασης.
- Τα φέροντα δομικά στοιχεία θα πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή, σε σεισμούς μέτριας έντασης.

- Το κτίριο θα πρέπει να έχει επαρκής πλαστιμότητα (μ), ήτοι ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης, χωρίς σημαντική μείωση της δυσκαμψίας και της αντοχής του στους κύκλους επαναλαμβανόμενης δυναμικής φόρτισης και αποφόρτισης κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμικού συμβάντος, τόσο στα επιμέρους δομικά του στοιχεία, όσο και στο σύνολο του. Σε αυτό το σημείο οι κανονισμοί επισημαίνουν ότι η διαθέσιμη πλαστιμότητα ενός κτιρίου πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από την απαιτούμενη πλαστιμότητα για το σεισμό σχεδιασμού, ώστε να μην υπάρξει κατάρρευση.

Αν θεωρηθεί η σεισμική δράση ως μία δυναμική μετακίνηση που επιβάλλεται στη βάση ενός κτιρίου, μπορούν να σχεδιαστούν οι παρακάτω καμπύλες τέμνουσας βάσης και μετακινήσεων (Δρίτσος, 2019). Οι καμπύλες που είναι πάνω από την καμπύλη απαιτούμενης σεισμικής ικανότητας αντιστοιχούν σε ασφαλή σχεδιασμό.



Σχήμα 1 - Καμπύλες Τέμνουσας Βάσης - Μετακινήσεων - Δρίτσος, 2019

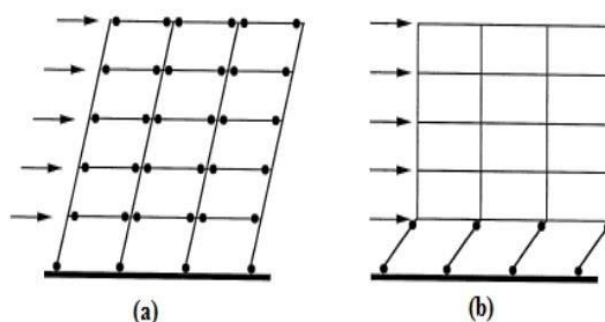
Ο σχεδιασμός νέων κτιρίων, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, βασίζεται στη μέθοδο των δυνάμεων (Πενέλης, 2022). Από γραμμικά φάσματα απόκρισης-επιτάχυνσης των κανονισμών, υπολογίζεται η τέμνουσα βάσης σχεδιασμού, η οποία μειώνεται με τον κατάλληλο συντελεστή συμπεριφοράς (q).

Στη συνέχεια, με την εφαρμογή των απαιτούμενων συντελεστών ασφάλειας, εκτελείται γραμμική ανάλυση του φέροντος οργανισμού και επακολουθεί η διαστασιολόγηση των δομικών του στοιχείων, με βάση τους κανόνες του ικανοτικού σχεδιασμού.

Ο ικανοτικός σχεδιασμός εξασφαλίζει ότι όλοι οι όροφοι θα συμμετέχουν στην ανελαστική συμπεριφορά του κτιρίου, κατά τη διάρκεια του ισχυρού σεισμού, συνεισφέροντας σε μία ομοιόμορφη διασπορά των ανελαστικών παραμορφώσεων. Συγκεκριμένα, τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία θα πρέπει να παραμένουν ελαστικά σε όλους τους ορόφους, εκτός από το τη βάση τους στο επίπεδο της θεμελίωσης.

Με την υπερδιαστασιολόγηση των κατακόρυφων δομικών στοιχείων σε κάμψη (υποστυλώματα ή τοιχώματα) σε σχέση με τα οριζόντια (δοκοί) θα προκληθούν ανελαστικοί μηχανισμοί παραμορφώσεων (πλαστικές αρθρώσεις) στα άκρα των δοκών (μηχανισμός δοκών).

Αν δημιουργηθούν πλαστικές αρθρώσεις στην κεφαλή και στη βάση των κατακόρυφων δομικών στοιχείων ενός ορόφου θα προκύψει ο μηχανισμός του «μαλακού ορόφου» ο οποίος θα επιφέρει αστοχία στο κτίριο.



Σχήμα 2 - (α) Μηχανισμός Δοκών - (β) Μηχανισμός Μαλακού Ορόφου

Ο σεισμικός σχεδιασμός εστιάζει επίσης στην αποφυγή ψαθυρών μορφών αστοχίας (π.χ. διατμητικής αστοχίας), σε ελέγχους αντοχής των δομικών στοιχείων, ελέγχους πλαστιμότητας, ελέγχους αστοχίας κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων, ελέγχους επαρκούς οπλισμού σε κρίσιμες περιοχές, περιορισμού της σχετικής μετακίνησης των ορόφων, κτλ. (Αβραμίδης et al., 2017, Πενέλης, 2022).

2.1.2. Σχεδιασμός Κτιρίων από Ο/Σ με τους Κανονισμούς EC8/EC2

Στη συνέχεια, εξειδικεύεται η προηγούμενη ανάλυση των βασικών αρχών του σεισμικού σχεδιασμού στις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 8 (EC8 - Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών) και Ευρωκώδικα 2 (EC2 - Σχεδιασμός Κατασκευών από Σκυρόδεμα), σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα Εθνικά Προσαρτήματα.

Ο σχεδιασμός ενός κτιρίου από Ο/Σ βασίζεται στις σεισμικές δυνάμεις που καθορίζονται από τη μέγιστη επιτάχυνση απόκρισης του κτιρίου στο σεισμό σχεδιασμού. Με βάση το ελαστικό φάσμα απόκρισης του EC2, απόσβεσης 5% και Τύπου 1 για την Ελλάδα, οι φασματικές επιταχύνσεις διαιρούνται δια του συντελεστή συμπεριφοράς q , ο οποίος εξαρτάται όχι μόνο από το υλικό και τον τύπο του δομικού συστήματος, αλλά και από την κατηγορία πλαστιμότητας και την κανονικότητα του κτιρίου (Ιγνατάκης & Σέξτος, 2015). Οι κατηγορίες πλαστιμότητας κατά τον EC8 διακρίνονται σε χαμηλή (DCL - Ductility Class Low) με $q = 1.5$, μέση (DCM - Ductility Class Medium) με $1.5 < q < 4$ και υψηλή (DCH - Ductility Class High) με $q > 4$. Στην Ελλάδα δεν επιτρέπεται η κατηγορία χαμηλής πλαστιμότητας για το σχεδιασμό κτιρίων από Ο/Σ. Το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων του EC8 στην οριζόντια διεύθυνση απεικονίζεται ως ακολούθως.



Σχήμα 3 - Ελαστικό Φάσμα EC8 Οριζόντιας Διεύθυνσης Απόσβεσης 5%

Η επεξήγηση των παραμέτρων του φάσματος παρέχεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1 - Παράμετροι Ελαστικού Φάσματος EC8

Σύμβολο	Περιγραφή
$S_d(T)$	Φάσμα Σχεδιασμού
T	Ιδιοπερίοδος Γραμμικού Μονοβάθμιου Συστήματος
a_g	Σεισμική Επιτάχυνση Εδάφους. Εξαρτάται από τη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας (I, II, III) και από την Κατηγορία Σπουδαιότητας του Κτιρίου (I, II, III, IV)
S, T_B, T_C, T_D	S : Συντελεστής Εδάφους, T_B, T_C, T_D : Όρια των κλάδων του Ελαστικού Φάσματος. Εξαρτώνται από την κατηγορία του εδάφους (A, B, C, D, E)

Τα βασικότερα δομικά συστήματα κτιρίων από Ο/Σ περιγράφονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 2 - Βασικά Δομικά Συστήματα EC8

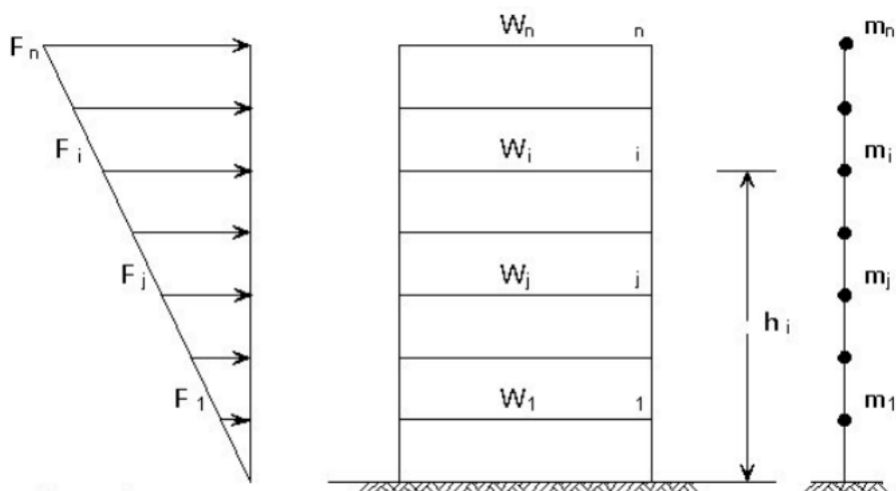
Σύστημα	Ανάληψη Ποσοστού Τέμνουσας Βάσης σε Ελαστική Ανάλυση
Πλαισιακό	Τα πλαίσια δοκών-υποστυλωμάτων αναλαμβάνουν ποσοστό > 65% της Τέμνουσας Βάσης.
Τοιχωματικό	Τα τοιχώματα αναλαμβάνουν ποσοστό > 65% της Τέμνουσας Βάσης.
Διαδικό	Πλαίσια ή τοιχώματα αναλαμβάνουν ποσοστό 50%-65% της Τέμνουσας Βάσης.
Στρεπτικά Εύκαμπτο	Κυριαρχούν οι στρεπτικές ταλαντώσεις περί τον κατακόρυφο άξονα.
Ανεστραμμένο Εκκρεμές	Τουλάχιστον το 50% της μάζας βρίσκεται στο άνω τρίτο του ύψους του κτιρίου.

Βασικοί παράγοντες του σεισμικού σχεδιασμού είναι τα κριτήρια κανονικότητας καθ' ύψος και σε κάτοψη, τα οποία περιγράφονται ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3 - Ενδεικτικά Κριτήρια Κανονικότητας EC8

Κανονικότητα Καθ' Ύψος	Κανονικότητα σε Κάτοψη
Ομοιόμορφη μάζα και δυσκαμψία καθ' ύψος ή ομαλή μείωση από το κατώτερο προς το ανώτερο επίπεδο.	Περίπου συμμετρική κατανομή μάζας και δυσκαμψίας στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις.
Στα πλαισιακά συστήματα δεν πρέπει να υπάρχει έντονη ανομοιομορφία οριζόντιας υπεραντοχής μεταξύ διαδοχικών ορόφων	Περιορισμός της εκκεντρότητας του κέντρου μάζας κάθε ορόφου ως προς το κέντρο δυσκαμψίας.
Τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία συνεχίζονται χωρίς διακοπή καθ' ύψος του αντίστοιχου τμήματος.	Το δομικό σύστημα δεν πρέπει να είναι στρεπτικά ευαίσθητο σε κανένα όροφο.
Περιορισμός του ποσοστού εσοχών από το κατώτερο προς ανώτερο επίπεδο.	Περιορισμός στο λόγο διαστάσεων στις δύο διευθύνσεις και περιορισμός των εσοχών.
	Οι πλάκες θεωρούνται απαραμόρφωτες στο επίπεδο τους.

Στα κτίρια κανονικά καθ' ύψος, με μικρή συμμετοχή των ανώτερων ιδιομορφών (από τη 2^η και πάνω), μπορεί να εφαρμοστεί ισοδύναμη ελαστική στατική ανάλυση, για κάθε οριζόντια διεύθυνση, στην περίπτωση που η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος είναι $T \leq 2$ s και $T \leq 4 \cdot T_C$ και στις δύο διευθύνσεις.

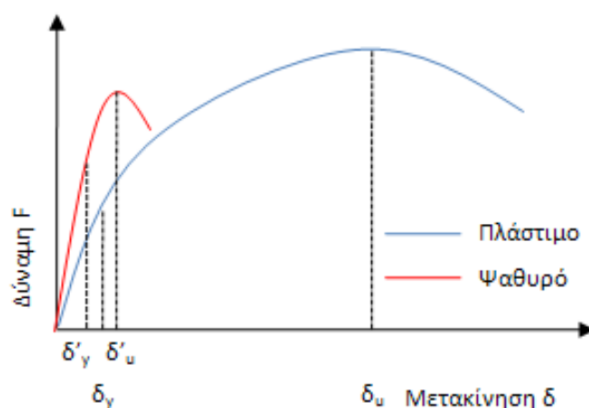


Σχήμα 4 - Ισοδύναμη Ελαστική Στατική Ανάλυση

Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος T για πλαίσια από Ο/Σ υπολογίζεται απλοποιητικά ως $T = 0.075 \cdot H^{3/4}$, όπου H το ύψος του κτιρίου. Η τέμνουσα βάσης υπολογίζεται ως $V_b = S_d(T) \cdot m \cdot \lambda$, όπου $\lambda = 1$ εκτός αν το κτίριο έχει πάνω από δύο ορόφους και $T \leq 2 \cdot T_C$ οπότε τότε $\lambda = 0.85$. Οι σεισμικές δυνάμεις κάθε ορόφου υπολογίζονται ως $F_i = V_b \cdot \frac{h_i \cdot m_i}{\sum h_i \cdot m_i}$. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς η τυχηματική εκκεντρότητα πολλαπλασιάζοντας τις σεισμικές δυνάμεις με το συντελεστή $\delta = 1 + 1.2 \cdot x/L_e$, όπου x είναι η απόσταση του πλέον ακραίου στοιχείου από το κέντρο μάζας του ορόφου και L_e είναι η μεγαλύτερη απόσταση των στοιχείων τα οποία αναλαμβάνουν σεισμικές δυνάμεις. Τα x και L_e θεωρούνται κάθετα στη κατεύθυνση της σεισμικής δράσης (EC8).

Η μη κανονικότητα καθ' ύψος επιβάλλει τη χρήση ιδιομορφικής ανάλυσης και διαφοροποιεί το φάσμα σχεδιασμού με μειωμένο συντελεστή συμπεριφοράς q .

Η αντοχή των δομικών στοιχείων ενός κτιρίου από Ο/Σ θα πρέπει να είναι επαρκής τόσο σε οριακές καταστάσεις αστοχίας (μέγιστη φέρουσα ικανότητα), όσο και σε οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (κανονική χρήση). Η πλαστιμότητα των δομικών στοιχείων, ως η ικανότητα να παραμορφώνονται πλέον του ορίου διαρροής τους, χωρίς να μειώνεται σημαντικά η αντοχή τους, μπορεί να απεικονιστεί στο επόμενο διάγραμμα.



Σχήμα 5 - Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης Δομικού Στοιχείου από Ο/Σ - Ιγνατάκης & Σέξτος, 2015

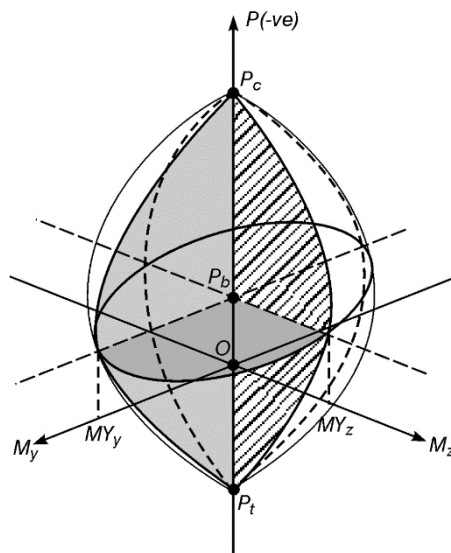
Η γαλάζια καμπύλη αντιστοιχεί σε πλάστιμο δομικό στοιχείο, ενώ η κόκκινη σε ψαθυρό, όπου η αστοχία του τελευταίου συμβαίνει ξαφνικά και άνευ προειδοποίησης, μόλις υπάρξει υπέρβαση της έντασης σε σχέση με την αντοχή. Οι δ_y , δ'_y είναι οι παραμορφώσεις διαρροής και οι δ_u , δ'_u οι οριακές παραμορφώσεις, αντίστοιχα για το πλάστιμο και ψαθυρό δομικό στοιχείο. Εάν η ένταση εκφράζεται ως ροπή χρησιμοποιούνται οι δείκτες πλαστιμότητας μετακινήσεων $\mu_\delta = \delta_u/\delta_y$, καμπυλοτήτων $\mu_\phi = \phi_u/\phi_y$ και στροφών $\mu_\theta = \theta_u/\theta_y$ (Ιγνατάκης & Σέξτος, 2015).

Η διαδικασία διαστασιολόγησης των δομικών στοιχείων από Ο/Σ κατά EC8/EC2 συνοψίζεται ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα (Ιγνατάκης & Σέξτος, 2015).

Πίνακας 4 - Ενδεικτική Διαδικασία Διαστασιολόγησης κατά EC8/EC2

A/A	Περιγραφή
1	Προσδιορισμός των ελάχιστων/μέγιστων οπλισμών των δομικών στοιχείων.
2	Διαστασιολόγηση των πλακών.
3	Διαστασιολόγηση των δοκών σε κάμψη.
4	Διαστασιολόγηση των υποστυλωμάτων σε κάμψη με αξονική δύναμη.
5	Ικανοτικός έλεγχος των κόμβων.
6	Έλεγχος λυγισμού των υποστυλωμάτων.
7	Διαστασιολόγηση των δοκών σε διάτμηση από τις ικανοτικές τέμνουσες.
8	Διαστασιολόγηση των υποστυλωμάτων σε διάτμηση από τις ικανοτικές τέμνουσες και περίσφιξη.
9	Διαστασιολόγηση των κόμβων σε διάτμηση.
10	Διαστασιολόγηση των τοιχωμάτων σε κάμψη με αξονική δύναμη, διάτμηση και περίσφιξη άκρων στο κρίσιμο ύψος.
11	Διαστασιολόγηση των θεμελίων από τα ικανοτικά μεγέθη βάσης των κατακόρυφων στοιχείων.
12	Έλεγχοι λειτουργικότητας.

Για τη διαστασιολόγηση διατομών δομικών στοιχείων (π.χ. δοκοί, υποστυλώματα) που καταπονούνται από ροπή (μονοαξονική ή διαξονική) και αξονική δύναμη χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης, τα οποία προσδιορίζουν τη φέρουσα ικανότητα μιας διατομής Ο/Σ για τη συνδυασμένη δράση (αλληλεπίδραση) ροπής (M) και αξονικής δύναμης (N ή P).



Σχήμα 6 - Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης - Ruaumoko3D User Manual, 2007

Τα σημεία εντός του διαγράμματος θεωρούνται ασφαλή, τα σημεία στην περιφέρεια έχουν οριακή αντοχή και τα σημεία εκτός του διαγράμματος επιφέρουν αστοχία.

2.2. Στοιχεία Σεισμικής Αποτίμησης Κτιρίων

2.2.1. Σεισμική Αποτίμηση με βάση τις Μετακινήσεις

Ενώ ο σχεδιασμός νέων κτιρίων βασίζεται στη μέθοδο των δυνάμεων, οι σύγχρονοι κανονισμοί βασίζουν την αποτίμηση ενός υφιστάμενου κτιρίου στη μέθοδο των μετακινήσεων (Πενέλης, 2022). Με τη μέθοδο των μετακινήσεων υπολογίζεται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου μέσω ανελαστικών στατικών αναλύσεων (pushover), οι οποίες λαμβάνουν υπόψη την ανελαστική παραμόρφωση των άκρων των δομικών στοιχείων του κτιρίου (πλαστικές αρθρώσεις). Εναλλακτική μεν αλλά και ακριβέστερη δε προσέγγιση σεισμικής αποτίμησης που βασίζεται στη μέθοδο των μετακινήσεων είναι η ανελαστική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας (Paragiannopoulos et al, 2021).

2.2.2. Στάθμες Αξιοπιστίας

Για την αποτίμηση ενός υφιστάμενου κτιρίου θα πρέπει να καθοριστούν οι κατάλληλοι συντελεστές ασφάλειας, οι οποίοι καθορίζονται από τις Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων.

Πίνακας 5 - Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων

	Στάθμη Αξιοπιστίας 1	Στάθμη Αξιοπιστίας 2	Στάθμη Αξιοπιστίας 3
Γεωμετρία	Από τα αρχικά κατασκευαστικά σχέδια με δειγματοληπτική οπτική έρευνα ή από πλήρη έρευνα	Από τα αρχικά κατασκευαστικά σχέδια με δειγματοληπτική οπτική έρευνα ή από πλήρη έρευνα	Από τα αρχικά κατασκευαστικά σχέδια με δειγματοληπτική οπτική έρευνα ή από πλήρη έρευνα
Λεπτομέρειες	Προσομοίωση σχεδιασμού σύμφωνα με τη σχετική πρακτική και από περιορισμένη επί τόπου επιθεώρηση	Από μη ολοκληρωμένα λεπτομερή αρχικά κατασκευαστικά σχέδια με περιορισμένη ή εκτεταμένη επί τόπου επιθεώρηση	Από μη ολοκληρωμένα λεπτομερή αρχικά κατασκευαστικά σχέδια με περιορισμένη ή εκτεταμένη επί τόπου επιθεώρηση
Υλικά	Τυπικές τιμές σύμφωνα με τις προδιαγραφές της εποχής της κατασκευής και από περιορισμένους επί τόπου ελέγχους	Από τις αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού με περιορισμένους επί τόπου ελέγχους ή εκτεταμένους επί τόπου ελέγχους	Από τις τεχνικές εκθέσεις των αρχικών δοκιμών με περιορισμένους ή εκτεταμένους επί τόπου ελέγχους
Συντελεστής Αξιοπιστίας	1,35	1,20	1,00

2.2.3. Οριακές Καταστάσεις

Οι Οριακές Καταστάσεις κατά EC8-3 (Στάθμες Επιτελεστικότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.) σχετίζονται με το βαθμό βλάβης του κτιρίου.

Πίνακας 6 - Οριακές Καταστάσεις EC8-3

Περιορισμού Βλαβών (DL)	Πιθανότητα Υπέρβασης 20%/50 Έτη - Περίοδος Επαναφοράς 225 έτη
	Η κατασκευή έχει μόνο ελαφριές βλάβες με τα δομικά στοιχεία να διατηρούν την αντοχή και τη δυσκαμψία τους. Μη δομικά στοιχεία μπορεί να εμφανίσουν διανεμημένη ρηγμάτωση, αλλά οι βλάβες θα μπορούσαν να είναι οικονομικά επισκευάσιμες. Οι μόνιμες μετακινήσεις είναι αμελητέες.
Σημαντικών Βλαβών (SD)	Πιθανότητα Υπέρβασης 10%/50 Έτη - Περίοδος Επαναφοράς 475 έτη
	Η κατασκευή έχει βαριές βλάβες με κάποια απομένουσα πλευρική αντοχή και δυσκαμψία. Κάποια μη δομικά στοιχεία έχουν καταρρεύσει. Παρατηρούνται μέτριες μόνιμες μετακινήσεις.
Οιονεί Κατάρρευσης (NC)	Πιθανότητα Υπέρβασης 2%/50 Έτη - Περίοδος Επαναφοράς 2475 έτη
	Η κατασκευή έχει βαριές βλάβες με χαμηλή απομένουσα πλευρική αντοχή και δυσκαμψία. Η πλειοψηφία των μη δομικών στοιχείων έχει καταρρεύσει. Παρατηρούνται μεγάλες μόνιμες μετακινήσεις.

2.2.4. Κριτήρια Συμμόρφωσης με τον Κανονισμό EC8-3

Τα κριτήρια συμμόρφωσης προσδιορίζονται από την Οριακή Κατάσταση / Στάθμη Επιτελεστικότητας (DL, SD, NC) για την οποία θα γίνει η αποτίμηση.

Ο EC8-3 διακρίνει τα δομικά στοιχεία σε πλάστιμα ή ψαθυρά, κύρια ή δευτερεύοντα.

Οι έλεγχοι κατά EC8-3 περιλαμβάνουν την ικανότητα της παραμόρφωσης των μελών όσον αφορά τη στροφή-χορδή (θ) που είναι η γωνία της εφαπτόμενης στον άξονα του άκρου που διαρρέει με τη χορδή που συνδέει το άκρο του μήκους διάτμησης με το άκρο που διαρρέει. Το μήκος διάτμησης είναι η ροπή προς τη διάτμηση στο άκρο της διατομής.

Επιπλέον έλεγχοι αφορούν τη διατμητική ικανότητα μελών και κόμβων, ελέγχους διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού και ελέγχους θεμελίωσης.

2.3. Στοιχεία Γραμμικής & Μη Γραμμικής Σεισμικής Ανάλυσης Κτιρίων

2.3.1. Ανασκόπηση Μεθόδων Σεισμικής Ανάλυσης

Με βάση την βιβλιογραφική ανάλυση που προηγήθηκε εντός του πλαισίου των σύγχρονων κανονισμών (EC8), διακρίνονται οι παρακάτω κυριότερες μέθοδοι σεισμικής ανάλυσης κτιρίων (Antoniou, 2023):

- I. Ισοδύναμη Ελαστική Στατική Ανάλυση (Lateral Force Analysis).
- II. Ιδιομορφική Φασματική Ανάλυση (Modal Response Spectrum Analysis).
- III. Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση (Nonlinear Static Analysis - Pushover).
- IV. Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας (Nonlinear Time-history Dynamic Analysis).

Κάθε μέθοδος έχει δυνατότητες εφαρμογής (✓) ή περιορισμούς (✗) κατά περίπτωση, όπως για παράδειγμα, διακρίνεται στον παρακάτω πίνακα (Antoniou, 2023).

Πίνακας 7 - Εφαρμογή/Περιορισμοί Μεθόδων Σεισμικής Ανάλυσης

Μέθοδος Ανάλυσης	Μη Κανονικότητα Κτιρίου	Υψηλή Ανελαστική Απαίτηση	Υψηλή Επίδραση Ανώτερων Ιδιομορφών	Σεισμοί Εγγύς Πεδίου
I	✗	✗	✗	✗
II	✓	✗	✓	✗
III	✓	✓	✗	✗
IV	✓	✓	✓	✓

Παρατηρούμε ότι η μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας έχει τις περισσότερες δυνατότητες εφαρμογής κατά περίπτωση.

2.3.2. Οι Έννοιες της Γραμμικής και Μη Γραμμικής Ανάλυσης

Η έννοια της γραμμικότητας υποδηλώνει μία γραμμικά ελαστική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων μιας κατασκευής. Ισχύουν οι βασικοί κανόνες ελαστικότητας, δηλαδή η δυσκαμψία της κατασκευής παραμένει αμετάβλητη και με την αύξηση του φορτίου λαμβάνεται μια γραμμική καμπύλη δύναμης έναντι μετακίνησης. Οι δυσκαμψίες όλων των δομικών στοιχείων συντίθενται κατάλληλα για να σχηματίσουν τον συνολικό μητρώο δυσκαμψίας $[K]$, το οποίο είναι επίσης σταθερό. Το μητρώο $[K]$ αντιστρέφεται μία φορά για την επίλυση της εξίσωσης $\{P\} = [K] \cdot \{\delta\}$ για τον υπολογισμό των κομβικών μετακινήσεων (δ) για τις διαφορετικές περιπτώσεις φόρτισης (Antoniou, 2023).

Οι γραμμικές ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης υποθέτουν μικρές παραμορφώσεις και περιορισμένες βλάβες των δομικών στοιχείων για μία, έστω και κατά προσέγγιση, ελαστική συμπεριφορά όλων των δομικών στοιχείων.

Από την άλλη μεριά, η έννοια της μη γραμμικότητας στις μη γραμμικές αναλύσεις υποδηλώνει ανελαστική απόκριση υλικού ή/και επιρροή γεωμετρικής μη γραμμικότητας:

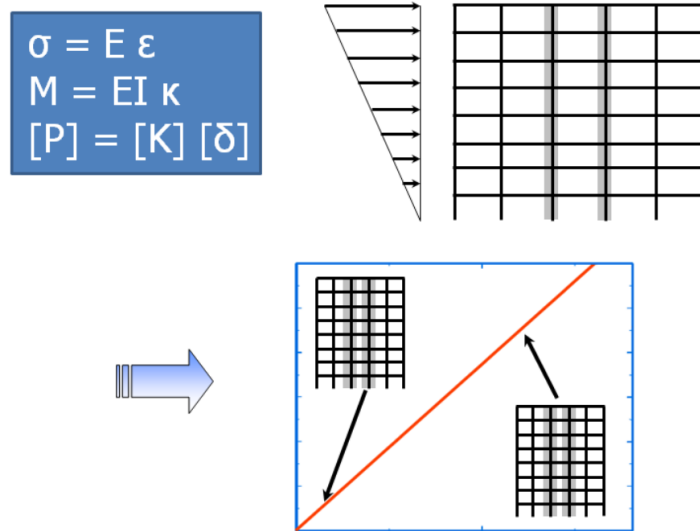
- Οι μη γραμμικότητες του υλικού λαμβάνουν χώρα όταν ο νόμος τάσης-παραμόρφωσης ή δύναμης-μετακίνησης δεν είναι γραμμικός ή/και όταν οι ιδιότητες του υλικού αλλάζουν με τα εφαρμοζόμενα φορτία.
- Οι γεωμετρικές μη γραμμικότητες εμφανίζονται στην περίπτωση μεγάλων μετακινήσεων, μεγάλων στροφών και μεγάλων παραμορφώσεων, όπως για παράδειγμα από φαινόμενα δευτέρας τάξεως P-Δ λόγω των φορτίων βαρύτητας που επιβάλλονται σε μία κατασκευή που παραμορφώνεται πλευρικά (Chopra, 2014).

Σε αυτές τις περιπτώσεις η συμπεριφορά της κατασκευής δεν είναι πλέον γραμμική και ελαστική και οι κανόνες της ελαστικότητας δεν ισχύουν. Οι τάσεις (σ) δεν είναι ανάλογες με τις παραμορφώσεις (ϵ), οι δυνάμεις (P) δεν είναι ανάλογες με τις μετακινήσεις (δ) και οι ροπές κάμψης (M) δεν είναι ανάλογες με τις καμπυλότητες (κ). Κατά τη διάρκεια επιβολής των φορτίων οι δυσκαμψίες τόσο των δομικών στοιχείων όσο και της κατασκευής δεν είναι πλέον σταθερές. Η μη γραμμική ανάλυση του φέροντος οργανισμού ενός κτιρίου γίνεται σε βήματα, εφόσον το μητρώο δυσκαμψίας του μεταβάλλεται σε κάθε βήμα καθώς αναπτύσσονται πλαστικές αρθρώσεις στις θέσεις όπου εμφανίζονται οι δομικές βλάβες. Τυπικές περιπτώσεις εφαρμογής μη γραμμικής ανάλυσης στη σεισμική μηχανική είναι οι ακόλουθες (Antoniou, 2023):

- Σεισμική αποτίμηση και ανασχεδιασμός υφιστάμενων κτιρίων.
- Επαλήθευση του σχεδιασμού νέων κτιρίων.
- Σχεδιασμός υψηλών κτιρίων σε περιοχές υψηλής σεισμικότητας.
- Σχεδιασμός νέων κτιρίων με βάση την απόδοση (performance) με συγκεκριμένες απαιτήσεις του ιδιοκτήτη.
- Αξιολόγηση σεισμικού κινδύνου.

2.3.3. Ισοδύναμη Ελαστική Στατική Ανάλυση

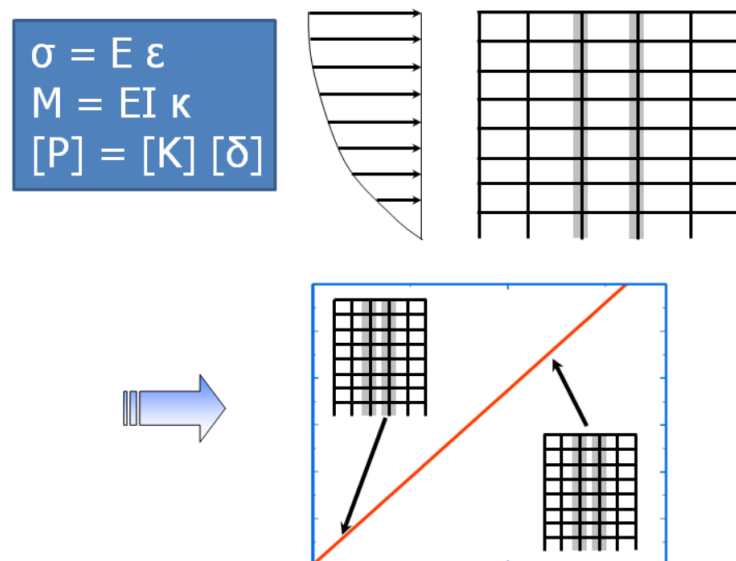
Στην ισοδύναμη ελαστική στατική ανάλυση εφαρμόζεται μία τριγωνική κατανομή πλευρικών δυνάμεων, η οποία θεωρείται ότι προσεγγίζει τη σεισμική φόρτιση προκειμένου να υπολογιστούν οι εσωτερικές δυνάμεις και οι μετακινήσεις του φέροντος οργανισμού του κτιρίου. Παρατηρούμε στην παρακάτω εικόνα ότι η καμπύλη ικανότητας είναι γραμμική.



Εικόνα 7 - Ισοδύναμη Ελαστική Στατική Ανάλυση - Antoniou 2023

2.3.4. Ιδιομορφική Φασματική Ανάλυση

Η ιδιομορφική φασματική ανάλυση είναι και πάλι μία ελαστική ανάλυση με το προφίλ των πλευρικών δυνάμεων να υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη συνεισφορά των ιδιομορφών του φέροντος οργανισμού του κτιρίου.

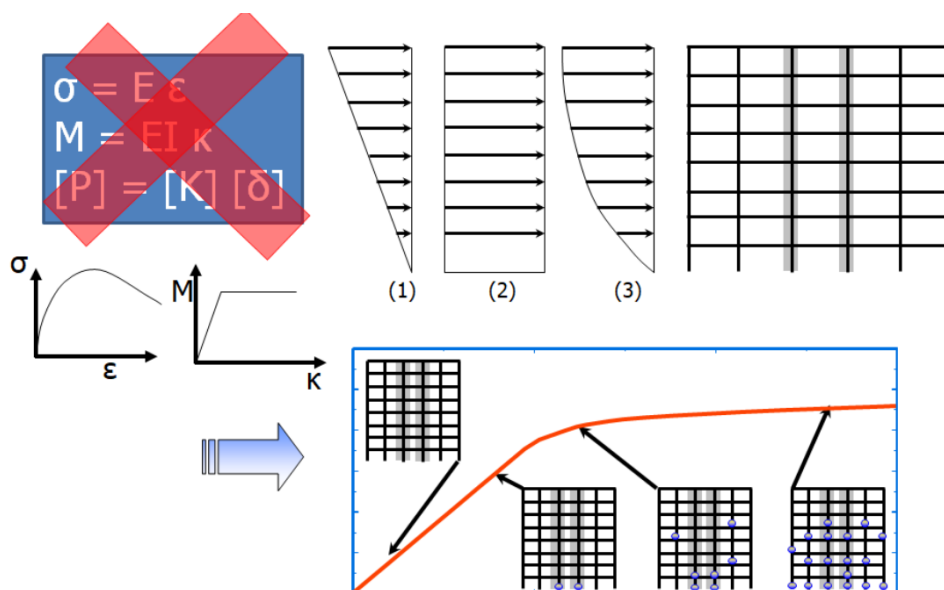


Εικόνα 8 - Ιδιομορφική Φασματική Ανάλυση- Antoniou 2023

Επειδή οι μέγιστες αποκρίσεις των ιδιομορφικών συνιστωσών εμφανίζονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές η επαλληλία τους γίνεται με στατιστικές μεθόδους, όπως για παράδειγμα με τη μέθοδο SRSS, όπου υπολογίζεται η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων κάθε μέγιστης απόκρισης (Μανώλης et al, 2016). Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ένας επαρκής αριθμός ιδιομορφών, προκειμένου να συμπεριληφθεί τουλάχιστον το 90% της συμμετέχουσας μάζας σε κάθε μία από τις δύο ορθογώνιες οριζόντιες διευθύνσεις του κτιρίου (EC8).

2.3.5. Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση (Pushover)

Η μη γραμμική στατική ανάλυση pushover δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού της καμπύλης ικανότητας ενός κτιρίου για μία κατανομή οριζόντιων δυνάμεων (π.χ. ομοιόμορφη ή ιδιομορφική). Ο φέροντας οργανισμός του κτιρίου αναλύεται με μη γραμμικές στατικές αναλύσεις υπό τα κατακόρυφα φορτία (συνήθως του συνδυασμού $G+0,30\cdot Q$), με την σταδιακή και αυξανόμενη επιβολή των οριζόντιων πλευρικών δυνάμεων μέχρις ότου επιτευχθεί μία μετακίνηση στόχος. Η μετακίνηση στόχος της ανάλυσης pushover προσεγγίζει το μέγιστο επίπεδο παραμόρφωσης που αναμένεται κατά τη διάρκεια του σεισμού σχεδιασμού. Οι μη γραμμικές αναλύσεις αφορούν τόσο την ανελαστικότητα του υλικού, όσο και τη γεωμετρική μη γραμμικότητα του φέροντος οργανισμού. Κατά τις σταδιακές αναλύσεις δημιουργούνται πλαστικές αρθρώσεις στα άκρα των μελών όπως φαίνεται και στην επόμενη εικόνα (Αντωνίου, 2023).



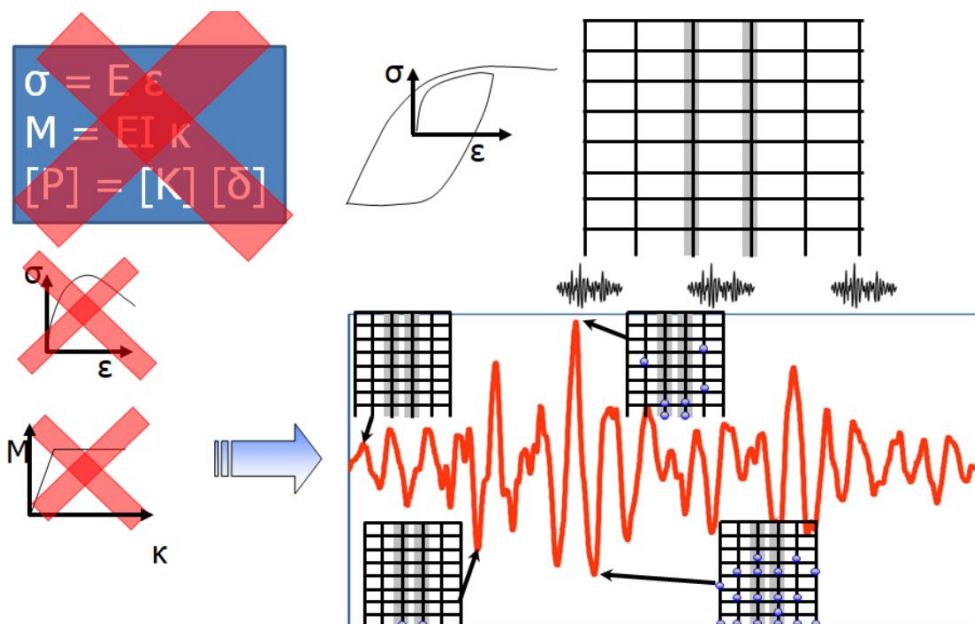
Εικόνα 9 - Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση (Pushover) - Antoniou 2023

Η καμπύλη ικανότητας δεν είναι πλέον γραμμική, αλλά έχει παραβολικό σχήμα καθώς οι μετακινήσεις αυξάνονται δυσανάλογα με το μέγεθος της πλευρικής φόρτισης.

Η μέθοδος βασίζεται στην υπόθεση ότι η απόκριση ενός συστήματος πολλών βαθμών ελευθερίας (Multi Degree of Freedom - MDOF) σχετίζεται άμεσα με την απόκριση ενός ισοδύναμου συστήματος ενός βαθμού ελευθερίας (Single Degree of Freedom - SDOF) (Πενέλης, 2022).

2.3.6. Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας

Με την μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας εκτελείται άμεση ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης με εφαρμογή συγκεκριμένου επιταχυνσιογραφήματος στη βάση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου. Η αριθμητική επίλυση των εξισώσεων πρέπει να επαναλαμβάνεται σε κάθε χρονικό βήμα Δt και έχει μεγάλες υπολογιστικές απαιτήσεις. Το χρονικό βήμα πρέπει να είναι μικρό για να διασφαλίζεται η σύγκλιση, ακρίβεια και ευστάθεια της αριθμητικής επίλυσης (Chopra, 2014). Η μη γραμμική ανάλυση αφορά τόσο την ανελαστικότητα του υλικού, όσο και τη γεωμετρική μη γραμμικότητα του φέροντος οργανισμού. Ο στόχος της μεθόδου είναι η αξιολόγηση της σεισμικής ικανότητας του κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη την παραμορφωσιμότητα, την αντοχή και την υστερητική συμπεριφορά όλων των δομικών στοιχείων του φέροντος οργανισμού που υποβάλλεται σε συγκεκριμένη σεισμική εδαφική κίνηση (Antoniou, 2023).



Εικόνα 10 - Μη Γραμμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας - Antoniou 2023

2.3.7. Δείκτες Βλάβης

Οι δείκτες βλάβης προσδιορίζουν το επίπεδο βλάβης μίας κατασκευής ή ενός δομικού στοιχείου μίας κατασκευής. Ο υπολογισμός ενός δείκτη βλάβης συνήθως βασίζεται σε παραμορφώσεις (μετακινήσεις ή στροφές), συσσωρευση υστερητικής ενέργειας και πλαστικής παραμόρφωσης. Ο δείκτης βλάβης (Damage Index - DI) Park & Ang (1985) είναι γνωστός για την αποτίμηση βλάβης σε δομικά στοιχεία από Ο/Σ υπό σεισμική δράση. Για τον υπολογισμό του δείκτη λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη παραμόρφωση και η συσσωρευμένη υστερητική ενέργεια ενός δομικού στοιχείου υπό ανακυκλιζόμενες φορτίσεις λόγω σεισμικής δράσης ως ακολούθως.

$$DI = \frac{\delta_m}{\delta_u} + \beta \cdot \frac{\int dE}{Q_y \cdot \delta_u}$$

Όπου:

- δ_m : Μέγιστη παραμόρφωση κατά τη διάρκεια της σεισμικής δράσης.
- δ_u : Οριακή παραμόρφωση αστοχίας υπό μονότονη φόρτιση.
- β : Παράμετρος επιρροής της συσσωρευμένης υστερητικής ενέργειας.
- Q_y : Αντοχή διαρροής.
- $\int dE$: Συσσωρευμένη υστερητική ενέργεια.

Η ταξινόμηση του δείκτη βλάβης συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8 - Ταξινόμηση Δείκτη Βλάβης

Τιμή Δείκτη Βλάβης (DI)	Περιγραφή Βλάβης
$0.00 \leq DI < 0.10$	Καμία ή ελάχιστη βλάβη
$0.10 \leq DI < 0.25$	Μικρή βλάβη (μπορεί να επισκευαστεί εύκολα)
$0.25 \leq DI < 0.40$	Μέτρια βλάβη (απαιτεί σημαντικές επισκευές)
$0.40 \leq DI < 1.00$	Σοβαρά Βλάβη (οικονομικά ασύμφορη η επισκευή)
$DI \geq 1.00$	Εκτενή βλάβη ή Κατάρρευση

2.4. Λογισμικό Μη Γραμμικής Ανάλυσης RUAUMOKO-3D

2.4.1. Γενική Περιγραφή του Λογισμικού

Το λογισμικό RUAUMOKO έχει αναπτυχθεί από τον καθηγητή Athol J. Carr στο Πανεπιστήμιο του Canterbury, Νέας Ζηλανδίας με σκοπό τη μη γραμμική ανάλυση κατασκευών υπό σεισμικές ή άλλες δυναμικές διεγέρσεις. Το λογισμικό διατίθεται σε δύο εκδόσεις στην έκδοση RUAUMOKO-2D που αφορά δισδιάστατες κατασκευές και στην έκδοση RUAUMOKO-3D που αφορά τρισδιάστατες κατασκευές. Στη παρούσα ΜΔΕ εστιάζουμε αποκλειστικά στην έκδοση RUAUMOKO-3D (Carr, 2007).

Το RUAUMOKO-3D εκτελεί άμεση ολοκλήρωση των εξισώσεων δυναμικής ισορροπίας τρισδιάστατων πλαισίων λαμβάνοντας υπόψη τις γεωμετρικές μη γραμμικότητες και τις μη γραμμικότητες των υλικών. Μεταξύ άλλων, υποστηρίζει μη γραμμική στατική ανάλυση pushover και μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας υπό σεισμικές διεγέρσεις (επιταχύνσεις ή μετακινήσεις βάσης).

Το RUAUMOKO-3D διαθέτει μία εκτεταμένη βιβλιοθήκη υστερητικών μοντέλων για μέλη από Ο/Σ και χάλυβα, ελατήρια και αποσβεστήρες, υποστηρίζει προηγμένα μοντέλα απόσβεσης και μπορεί να εξάγει λεπτομερή αποτελέσματα της απόκρισης της κατασκευής, όπως εντατικά μεγέθη μελών, στροφές πλαστικών αρθρώσεων, απαιτήσεις πλαστιμότητας και δείκτες βλάβες.

Το RUAUMOKO-3D προορίζεται κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς προσφέροντας πλήρη έλεγχο στη προσομοίωση της κατασκευής από το χρήστη, σε αντίθεση με τα εμπορικά λογισμικά, όπου ο χρήστης έχει περιορισμένες (σε κάποια περισσότερες, σε άλλα πολύ λιγότερες) δυνατότητες επέμβασης στη προσομοίωση της κατασκευής. Πολλά εμπορικά λογισμικά σχεδιασμού και ανάλυσης κατασκευών περιορίζονται αποκλειστικά σε μία «γρήγορη» και σχεδόν αυτοματοποιημένη εισαγωγή δεδομένων, ώστε να ετοιμάσουν ένα «φάκελο στατικής μελέτης» με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς, περιορίζοντας την ελευθερία του μηχανικού να επέμβει στη προσομοίωση της κατασκευής συμβάλλοντας με τις γνώσεις και την εμπειρία του σε μία επιστημονικά τεκμηριωμένη μελέτη που να αντιστοιχεί στις ακριβείς συνθήκες και παραμέτρους, ενός συγκεκριμένου κατασκευαστικού έργου.

2.4.2. Εισαγωγή Δεδομένων

Η εισαγωγή των δεδομένων ενός τρισδιάστατου πλαισίου δίνεται σε μορφή αρχείου κειμένου όπου κάθε γραμμή του αρχείου περιλαμβάνει τα απαιτούμενα δεδομένα σε προδιαγεγραμμένη σειρά. Στο αρχείο δεδομένων, μεταξύ άλλων δίνονται η γεωμετρία του φορέα, οι ιδιότητες των υλικών, τα υστερητικά μοντέλα, οι σεισμικές καταγραφές και οι ρυθμίσεις αριθμητικής ανάλυσης, όπως στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 9 - Βασικά Δεδομένα RUAUMOKO-3D

Δεδομένα	Περιγραφή
Γεωμετρία Φορέα	- Συντεταγμένες Κόμβων (X, Y, Z) - Συνδεσμολογία Μελών - Τοπικοί άξονες και άκαμπτα άκρα μελών
Ιδιότητες Μελών	- Ελαστικές Ιδιότητες (E, G, A, Iy, Iz, J) - Μήκη Πλαστικών Αρθρώσεων - Τύπος Μέλους (Δοκός, Υποστύλωμα, Ελατήριο) - Δεδομένα Διαγραμμμάτων Αλληλεπίδρασης N-M
Υστερητικά Μοντέλα	- Δεδομένα μη Γραμμικότητας Υλικών - Δεδομένα για Δείκτες Βλάβης
Μάζα	- Συγκεντρωμένες Μάζες σε Κόμβους - Κατανεμημένες Μάζες Μελών - Τύπος Μητρώου Μαζών
Απόσβεση	- Μοντέλα Απόσβεσης
Φορτίσεις	- Στατικά Φορτία - Δυναμικά Φορτία - Σεισμικές Διεγέρσεις
Παράμετροι Ανάλυσης	- Τύπος Ανάλυσης (Στατική, Pushover, Δυναμική, Ανάλυση Χρονοϊστορίας) - Χρονικό Βήμα Ολοκλήρωσης - Κριτήρια Σύγκλισης και Έλεγχοι

2.4.3. Εξαγωγή Αποτελεσμάτων

Όταν ολοκληρωθεί το αρχείο κειμένου με τα δεδομένα, τότε στη γραμμή εντολών του λειτουργικού συστήματος του υπολογιστή δίνεται η εντολή εκτέλεσης του λογισμικού προσδιορίζοντας το όνομα του αρχείου δεδομένων και του αρχείου καταγραφής των αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης περιλαμβάνουν χρονοϊστορίες κόμβων (π.χ. μετακινήσεις, στροφές, ταχύτητες, επιταχύνσεις, κτλ.), αποτελέσματα μελών (π.χ. εντατικά μεγέθη, καμπυλότητες, στροφές πλαστικών αρθρώσεων, υστερητικοί βρόχοι, κτλ.), απαιτήσεις πλαστιμότητας, δείκτες βλάβης, ενεργειακά μεγέθη, συνολικά μεγέθη φορέα (π.χ. τέμνουσα βάση, μετακινήσεις μεταξύ ορόφων, ιδιομορφές στην περίπτωση ιδιομορφικής ανάλυσης, κτλ.).

2.4.4. Αναγκαιότητα Ανάπτυξης Λογισμικού Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη

Το λογισμικό RUAUMOKO δεν διαθέτει γραφικό περιβάλλον χρήστη (Γραφική Διεπαφή Χρήστη - Graphical User Interface - GUI). Ο χρήστης θα πρέπει να δημιουργήσει ένα αρχείο κειμένου με τα δεδομένα τοποθετημένα σε αυστηρά προδιαγεγραμμένες θέσεις, χρησιμοποιώντας τις οδηγίες χρήσης του λογισμικού, με έντονο τον κίνδυνο λάθους κατά την εισαγωγή. Το λάθος θα διαπιστωθεί αργότερα κατά την εκτέλεση του προγράμματος, χωρίς πάντα να είναι εύκολο να διακριθεί ποιο ακριβώς ήταν, με αποτέλεσμα ο χρήστης να συγκρίνει εκ νέου τα δεδομένα που εισήγαγε στο αρχείο κειμένου με τις οδηγίες χρήσης του λογισμικού, να κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις και να ξαναδοκιμάσει την εκτέλεση του προγράμματος, ευελπιστώντας να μην υπάρχουν επιπλέον λάθη.

Ένας από τους σκοπούς της παρούσης ΜΔΕ είναι η ανάπτυξη ενός γραφικού περιβάλλοντος χρήστη το οποίο θα επιταχύνει την εισαγωγή των δεδομένων στο RUAUMOKO-3D, θα μειώσει τον κίνδυνο λαθών από το χρήστη και θα βελτιώσει την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, καθιστώντας το RUAUMOKO-3D εύχρηστο, τόσο για ερευνητική, όσο και για επαγγελματική χρήση.

2.5. Στοιχεία Ανάπτυξης Λογισμικού Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη

2.5.1. Επιλογή της Κατάλληλης Γλώσσας Προγραμματισμού

Για την ανάπτυξη του γραφικού περιβάλλοντος χρήστη του λογισμικού RUAUMOKO-3D επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python, με χρήση της βιβλιοθήκης Γραφικών Διεπαφής Χρήστη TKinter, η οποία συμπεριλαμβάνεται στη βασική έκδοση της Python. Η παραπάνω επιλογή κρίθηκε η καταλληλότερη γιατί επιτρέπει ταχεία και ευέλικτη ανάπτυξη λογισμικού, ευρεία συμβατότητα στα πλαίσια της γλώσσας προγραμματισμού Python, χρήση των εκτεταμένων δυνατοτήτων της Python για επεξεργασία αρχείων κειμένου, τα οποία χρησιμοποιεί ευρέως το RUAUMOKO-3D, δυνατότητα κλήσης του RUAUMOKO-3D μέσα από τον κώδικα της Python, δυνατότητες επεξεργασίας και οπτικής απεικόνισης τόσο των δεδομένων όσο και των αποτελεσμάτων των αναλύσεων μέσω των εκτεταμένων βιβλιοθηκών της Python για την Ανάλυση Δεδομένων (Data Analysis).

2.5.2. Η Γλώσσα Προγραμματισμού Python

Η Python είναι μία από τις πιο διαδεδομένες γλώσσες προγραμματισμού για την ανάπτυξη λογισμικού για την Επιστήμη Δεδομένων (Data Science), την Μηχανική Μάθηση (Machine Learning - ML) και την Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence - AI). Διαθέτει ισχυρές βιβλιοθήκες για την ανάπτυξη επιστημονικού λογισμικού όπως: NumPy (για αριθμητικούς υπολογισμούς), SciPy (για επιστημονικές μεθόδους), Pandas (για διαχείριση δεδομένων), Matplotlib / Plotly (για γραφικές απεικονίσεις), Scikit-learn / PyTorch / TensorFlow (για μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη) (Géron, 2022). Συνήθως η χρήση της Python για σκοπούς μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης γίνεται με τη χρήση του διαδραστικού λογισμικού ανάπτυξης κώδικα Jupyter Notebook. Γενικότερα, η Python μπορεί να αποβεί ένα πολύτιμο εργαλείο ανάπτυξης λογισμικού για μηχανικούς (Lin et al, 2022, Steinkamp, 2024, Συρόπουλος & Δήμου, 2024).

2.5.3. Η Βιβλιοθήκη Γραφικών Διεπαφής Χρήστη (GUI) Tkinter

Η βιβλιοθήκη Γραφικών Διεπαφής Χρήστη Tkinter είναι ενσωματωμένη στη γλώσσα προγραμματισμού Python. Παρέχει στον προγραμματιστή ένα σύνολο από γραφικά στοιχεία τα οποία καλούνται widgets. Τα γραφικά στοιχεία απεικονίζουν παράθυρα, κείμενο, εικόνες, πίνακες, κουμπιά, μενού επιλογής, πεδία εισαγωγής κειμένου, κτλ. Ο προγραμματιστής μπορεί να δημιουργήσει εφαρμογές γραφικού περιβάλλοντος χρήστη σε λειτουργικά συστήματα Windows, macOS, Linux, καθώς η βιβλιοθήκη Tkinter είναι συμβατή με διάφορα λειτουργικά συστήματα. Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται κάποια βασικά widgets (Moore, 2021).

Πίνακας 10 - Βασικά Tkinter Widgets

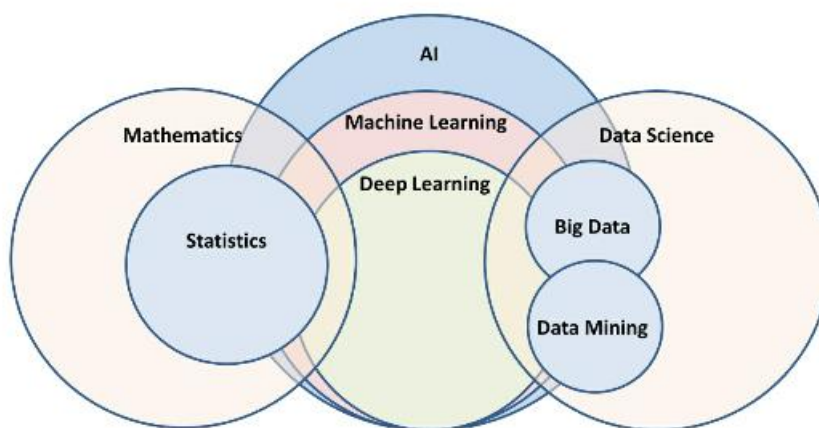
Widget	Λειτουργία	Βιβλιοθήκη
Label	Εμφανίζει Κείμενο	Tkinter
Entry	Εισάγει Δεδομένα	Tkinter
Button	Κουμπί για την εκτέλεση μίας λειτουργίας	Tkinter
Frame	Ομαδοποιεί Widgets	Tkinter
Canvas	Χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση σχημάτων	Tkinter
Text	Κείμενο πολλών γραμμών	Tkinter
Checkbutton	Επιλογή Μοναδικού Στοιχείου	Tkinter
Combobox	Επιλογή από Κατάλογο Επιλογών	TTK
Treeview	Πίνακας Δεδομένων	TTK

Για την εμφάνιση των widgets χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες συναρτήσεις όπως pack() για απλή στοίχιση, grid() για πλέγμα και place() για τοποθέτηση σε απόλυτες συντεταγμένες.

2.6. Στοιχεία Τεχνητής Νοημοσύνης

2.6.1. Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)

Διαχρονικά έχουν διατυπωθεί πολλοί ορισμοί της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence - AI) οι οποίοι, ως επί το πλείστον αντικατόπτριζαν κάθε φορά τις επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις σε αυτό τον τομέα. Ο ορισμός του Feigenbaum τη δεκαετία του 1980 ενέτασσε την τεχνητή νοημοσύνη στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών για τη σχεδίαση ευφών συστημάτων τα οποία έχουν χαρακτηριστικά ανθρώπινης νοημοσύνης (Βλαχάβας et al, 2020). Ωστόσο, το επιστημονικό πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης έχει κατά πολύ διευρυνθεί τόσο στα είδος των προβλημάτων που προσπαθεί να επιλύσει, τόσο και στις μεθόδους και επιστημονικούς στόχους των ερευνητών (Μαρακάκης, 2023). Ο Xiao, 2022 παραθέτει το παρακάτω χαρακτηριστικό διάγραμμα στο οποίο αναπαριστά τους στους κεντρικούς ενσωματωμένους κύκλους τις βασικές υποκατηγορίες της τεχνητής νοημοσύνης, ήτοι τη Μηχανική Μάθηση (Machine Learning - ML) και τη Βαθιά Μάθηση (Deep Learning - DL), ενώ στους παράπλευρους κύκλους οι οποίοι έχουν κοινές επιφάνειες τομής με τον κύκλο της τεχνητής νοημοσύνης, τα επιστημονικά πεδία των Μαθηματικών (Mathematics), Στατιστικής (Statistics), Επιστήμης Δεδομένων (Data Science), Μαζικών Δεδομένων (Big Data) και Εξόρυξης Δεδομένων (Data Mining).



Σχήμα 11 - Επιστημονικά Πεδία Τεχνητής Νοημοσύνης - Xiao 2022

Για τα επιστημονικά πεδία των μαθηματικών και της στατιστικής δεν θα γίνει κάποιο ιδιαίτερο σχόλιο, ωστόσο για τις υπόλοιπα επιστημονικά πεδία κρίνονται απαραίτητες να παρασχεθούν κάποιες διευκρινήσεις.

Η επιστήμη των δεδομένων αφορά τη συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τη λήψη αποφάσεων. Τα μαζικά δεδομένα αποτελούν μεγάλα σύνολα δεδομένων που χαρακτηρίζονται από μεγάλο όγκο, ποικιλία και ταχύτητα δημιουργίας, ήτοι τα 3Vs (Volume, Variety, Velocity). Με την εξόρυξη δεδομένων αποκαλύπτονται ιδιότητες και μοτίβα, που δεν ήταν γνωστά από πριν (EMC, 2015).

Η μηχανική μάθηση ασχολείται με τη δημιουργία συστημάτων τα οποία μαθαίνουν από τα δεδομένα και εκτελούν λειτουργίες για τις οποίες δεν έχουν ρητά προγραμματιστεί, ενώ στη βαθιά μάθηση τα συστήματα ανακαλύπτουν μόνα τους τη κατάλληλη μοντελοποίηση από τα δεδομένα (Βλαχάβας et al, 2020).

Οι τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης οδήγησαν σε ένα διαφορετικό ορισμό από αυτούς των προηγούμενων δεκαετιών. Κεντρικό ρόλο στην τεχνητή νοημοσύνη έχει πλέον η έννοια του «πράκτορα» (agent). Στην καθημερινή μας γλώσσα ένας πράκτορας ενεργεί συνήθως για λογαριασμό κάποιων άλλων. Στην τεχνητή νοημοσύνη οι πράκτορες: α) έχουν αντίληψη του περιβάλλοντος τους, β) μαθαίνουν από τις ενέργειες τους, γ) δημιουργούν στόχους και προσπαθούν να τους πραγματοποιήσουν και δ) προσαρμόζονται σε τυχόν αλλαγές του περιβάλλοντος τους.

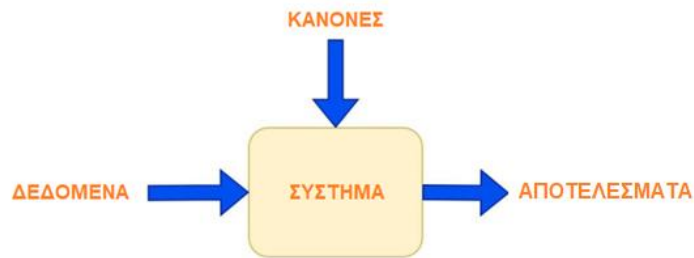
Συνεπώς ο ορισμός της τεχνητής νοημοσύνης προσανατολίζεται προς στην δημιουργία ευφυών πρακτόρων που να λειτουργούν αυτόνομα στο περιβάλλον τους (Μαρακάκης, 2023). Για να γίνει κατανοητή η έννοια του «πράκτορα» ας αναλογιστούμε πως λειτουργεί ένα ρομποτικό σύστημα: μέσα από τους αισθητήρες αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του και ενεργεί με βάση ένα μηχανισμό δράσης.

2.6.2. Μηχανική Μάθηση (ML)

Στη μηχανική μάθηση οι «πράκτορες» τεχνητής νοημοσύνης εκπαιδεύονται ώστε να μπορούν να αναγνωρίζουν μοτίβα στα δεδομένα, να διαπιστώνουν σχέσεις και να κάνουν προβλέψεις χωρίς, ωστόσο, να είναι ρητά προγραμματισμένοι.

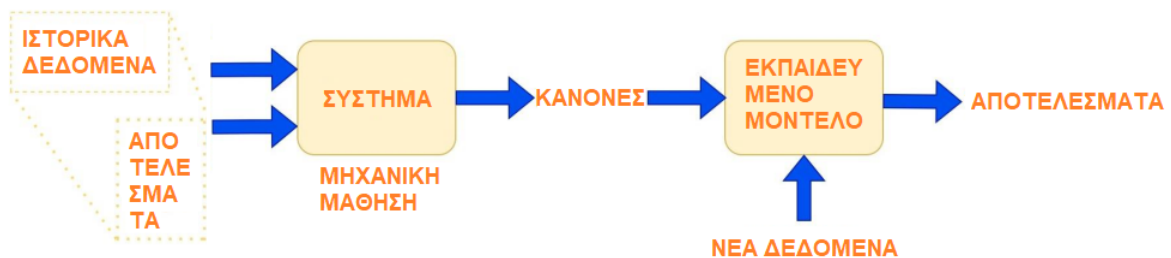
Ένα παραδοσιακό σύστημα πρέπει να είναι ρητά προγραμματισμένο, δηλαδή να διαθέτει τους κανόνες με τους οποίους θα επεξεργαστεί δεδομένα που θα λάβει ως είσοδο για να μπορέσει να εξάγει τα αποτελέσματα.

Η διαδικασία του παραδοσιακού συστήματος φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 12 - Παραδοσιακό Σύστημα

Ένα σύστημα μηχανικής μάθησης δεν χρειάζεται να γνωρίζει εκ των προτέρων τους κανόνες. Στην πραγματικότητα το ίδιο το σύστημα μηχανικής μάθησης παράγει τους κανόνες μετά από την εκπαίδευσή του με αλγόριθμους μηχανικής μάθησης από σύνολα ιστορικών δεδομένων και αντίστοιχων ιστορικών αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια αν λάβει νέα δεδομένα μπορεί να προβλέψει και να εξάγει τα νέα αποτελέσματα.



Σχήμα 13 - Σύστημα Μηχανικής Μάθησης

Συνοψίζοντας τα ευρήματα από τις βιβλιογραφικές πηγές των Clarson, 2025, Deka, 2019, Dhotre et al 2023, Goulet, 2020, McClarren, 2021, Meshram, 2023, Naser, 2023, Xiao, 2022, Διαμαντάρας & Μπότσης, 2019 συνεχίζεται περαιτέρω η ανάλυση του αντικειμένου της μηχανικής μάθησης σε σχέση πάντοτε με το θέμα της ΜΔΕ.

2.6.3. Κατηγορίες Μηχανικής Μάθησης

Οι κυριότερες κατηγορίες μηχανικής μάθησης είναι:

α) Εποπτευόμενη Μάθηση (Supervised Learning)

Ο αλγόριθμος εκπαιδεύεται σε ένα σύνολο δεδομένων όπου κάθε στοιχείο του συνόλου είναι επισημασμένο με μία Ετικέτα (Label). Η εποπτευόμενη μάθηση ασχολείται με προβλήματα Ταξινόμησης (Classification) δηλαδή πρόβλεψης διακριτών τιμών (κατηγοριοποίηση) και προβλήματα Παλινδρόμησης (Regression) δηλαδή πρόβλεψης αριθμητικών τιμών (πραγματικοί αριθμοί).

β) Μη Εποπτευόμενη Μάθηση (Unsupervised Learning)

Στη μη εποπτευόμενη μάθηση τα δεδομένα δεν έχουν ετικέτες. Ο αλγόριθμος αναλαμβάνει να διακρίνει μοτίβα στο σύνολο των δεδομένων χωρίς καθοδήγηση.

γ) Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement Learning)

Ένας «πράκτορας» αλληλοεπιδρά με και εκπαιδεύεται από το περιβάλλον του, με τη μορφή ανταμοιβής ή τιμωρίας ανάλογα με τις αποφάσεις που λαμβάνει.

δ) Ημι-εποπτευόμενη Μάθηση (Semi-supervised Learning)

Συνδυάζει την εποπτευόμενη με την μη εποπτευόμενη μάθηση. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο των δεδομένων που έχει στοιχεία με ετικέτες μαζί με τα υπόλοιπα δεδομένα που δεν έχουν ετικέτες για να μπορέσει να κάνει προβλέψεις.

ε) Αυτό-εποπτευόμενη Μάθηση (Self-supervised Learning)

Είναι μία ειδική κατηγορία μη εποπτευόμενης μάθησης στην οποία ο ίδιος ο αλγόριθμος δημιουργεί ετικέτες στα στοιχεία του συνόλου των δεδομένων.

στ) Μάθηση Μεταφοράς (Transfer Learning)

Αρχικά εκπαιδεύεται ένας αλγόριθμος για μία εργασία και στη συνέχεια η γνώση που αποκτήθηκε χρησιμοποιείται για να εκπαιδευτεί ο αλγόριθμος για μία άλλη σχετική εργασία.

2.6.4. Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης

Βασικοί αλγόριθμοι μηχανικοί μάθησης είναι οι ακόλουθοι:

α) Γραμμική Παλινδρόμηση (Linear Regression)

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη αριθμητικών τιμών που έχουν μία γραμμική συσχέτιση.

β) Λογιστική Παλινδρόμηση (Logistic Regression)

Ο αλγόριθμος ταξινομεί σε δυαδικές κατηγορίες με βάση την πιθανότητα των στοιχείων του συνόλου να ανήκουν στη μία ή στην άλλη κατηγορία.

γ) Δένδρα Απόφασης (Decision Trees)

Χρησιμοποιούνται είτε για ταξινόμηση, είτε για παλινδρόμηση λαμβάνοντας αποφάσεις ακολουθώντας μία ιεραρχική προσέγγιση.

δ) Τυχαία Δάση (Random Forests)

Βασίζονται σε πολλαπλά δένδρα απόφασης.

ε) Μηχανές Διανυσματικής Υποστήριξης (Support Vector Machines - SVMs)

Διαχωρίζουν τα δεδομένα σε δύο κατηγορίες βρίσκοντας το βέλτιστο υπερεπίπεδο (hyperplane). Χρησιμοποιούνται για ταξινομήσεις που απαιτούν υψηλή ακρίβεια.

στ) Κ-Πλησιέστεροι Γείτονες (k-Nearest Neighbors - k-NN)

Ο αλγόριθμος βασίζεται στον υπολογισμό της απόστασης των στοιχείων από τα k πλησιέστερα στοιχεία του συνόλου των δεδομένων.

ζ) Κ-Μέσοι (k-Means)

Είναι ένας αλγόριθμος Συσταδοποίησης (Clustering) ο οποίος χωρίζει το σύνολο των δεδομένων σε k ομάδες (clusters) με βάση την ομοιότητα τους.

η) Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis - PCA)

Χρησιμοποιείται για τη μείωση των διαστάσεων (dimensionality reduction) ενός συνόλου δεδομένων, με τη διατήρηση όσο το δυνατόν περισσότερης πληροφορίας των αρχικών δεδομένων.

2.6.5. Εφαρμογή των Αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης

Για την εφαρμογή των αλγορίθμων σε ένα μοντέλο (model) μηχανικής μάθησης ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

α) Λαμβάνονται τα Δεδομένα (Data) από διάφορες πηγές. Η αξιοπιστία και ποιότητα των δεδομένων είναι καθοριστική για την επιτυχία των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

β) Γίνεται η Προεπεξεργασία (Pre-processing) των δεδομένων ώστε να έρθουν σε μία κατάσταση που να μπορούν να τα επεξεργαστούν οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης. Η διαδικασία μετατροπής των Πρωτογενών Δεδομένων (Raw Data) σε χαρακτηριστικά (features), τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης καλείται Μηχανική Χαρακτηριστικών (Feature Engineering) και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τον καθαρισμό του συνόλου των δεδομένων (dataset) από ακραίες τιμές (outliers), τη διαχείριση των τιμών που λείπουν (missing values), την κανονικοποίηση (normalization) και τη δημιουργία νέων χαρακτηριστικών.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια στατιστικής επεξεργασίας και οπτικοποίησης αναζητούνται συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων και γίνεται η προσπάθεια «κατανόησης» τους με τη διαδικασία της Διερευνητικής Ανάλυσης Δεδομένων (Exploratory Data Analysis - EDA), η οποία θεωρείται πολύ σημαντική για μία επιτυχή επιλογή των κατάλληλων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

γ) Τα δεδομένα Διαχωρίζονται (Split) σε δεδομένα Εκπαίδευσης / Δοκιμής (Train / Test). Τα δεδομένα εκπαίδευσης θα χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση του αλγορίθμου και τα δεδομένα δοκιμής θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της εκπαίδευσης.

δ) Το Μοντέλο μηχανικής μάθησης Εκπαιδεύεται (Model Training) μόνο από τα δεδομένα εκπαίδευσης.

ε) Το Μοντέλο μηχανικής μάθησης Δοκιμάζεται / Επαληθεύεται (Model Testing / Verification) από τα δεδομένα δοκιμής τα οποία δεν έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης.

στ) Ποσοτικοποιείται η απόδοση του μοντέλου μηχανικής μάθησης με Μετρήσεις Απόδοσης (Performance Metrics).

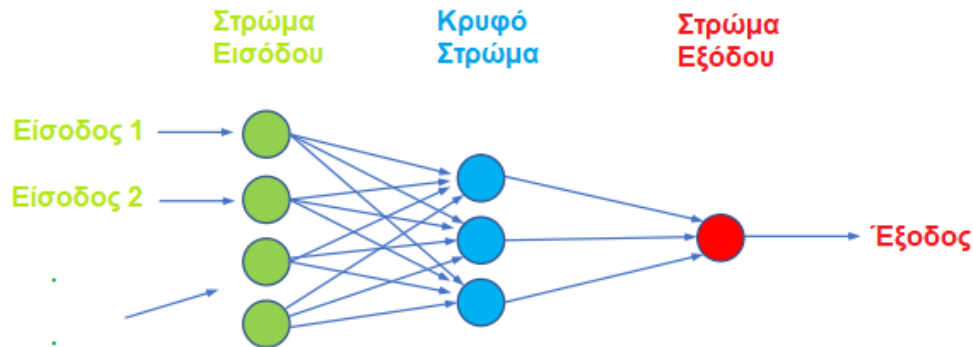
ζ) Οπτικοποιούνται (Visualization) τα δεδομένα εισόδου και εξόδου για την διατύπωση χρήσιμων συμπερασμάτων από την εφαρμογή των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

Η ανωτέρω διαδικασία μπορεί να αυτοματοποιηθεί ως μία ροή εργασιών που συνδέει όλα τα διαδοχικά βήματα της μηχανικής μάθησης η οποία καλείται Ροή Εργασιών Μηχανικής Μάθησης (ML Pipeline).

2.6.6. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN)

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks - ANN) αποτελούνται από επίπεδα (στρώματα - layers) κόμβων διασυνδεδεμένων μεταξύ τους που επεξεργάζονται τα δεδομένα εισόδου και τα μετασχηματίζουν σε δεδομένα εξόδου, μέσω αλληπάλληλων διελεύσεων των δεδομένων μέσα στο δίκτυο.

Ένα τυπικό τεχνητό νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από ένα επίπεδο (στρώμα) εισόδου, ένα κρυφό επίπεδο (στρώμα) και ένα επίπεδο (στρώμα) εξόδου.



Σχήμα 14 - Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο

Η έννοια του «νευρώνα» παραπέμπει στους βιολογικούς νευρώνες του ανθρώπινου εγκεφάλου (Διαμαντάρας, 2007). Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός τεχνητού νευρώνα είναι:

α) Οι Συνδέσεις (Connections) οι οποίες χαρακτηρίζονται από ένα Βάρος (Weight). Η τιμή που λαμβάνεται στην είσοδο της σύνδεσης πολλαπλασιάζεται με το βάρος.

β) Ο Αθροιστής (Adder) προσθέτει τις τιμές εισόδου που έχουν ήδη πολλαπλασιαστεί με τα βάρη.

γ) Η Συνάρτηση Ενεργοποίησης (Activation Function) η οποία προσδιορίζει την έξοδο του νευρώνα.

δ) Το Κατώφλι (Threshold) ενεργοποίησης, το οποίο προσδιορίζει πότε θα ενεργοποιηθεί ο νευρώνας.

2.6.7. Βαθιά Μάθηση (DL)

Στη βαθιά μάθηση (Deep Learning - DL) τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν πολλαπλά επίπεδα και βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλους όγκους δεδομένων, όπως στην επεξεργασία φυσικής γλώσσας, στην αναγνώριση ομιλίας και στη μηχανική όραση. Ωστόσο, με την αύξηση του αριθμού των κρυφών επιπέδων των τεχνητών νευρωνικών δικτύων αυξάνεται η υπολογιστική πολυπλοκότητα, συνεπώς απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς και ανάπτυξη βελτιωμένων αλγορίθμων για την υλοποίηση της βαθιάς μάθησης (Xiao, 2022).

2.6.8. Προβλήματα Εφαρμογής Μοντέλων Μηχανικής Μάθησης

Όσοι ερευνητές επιθυμούν να εφαρμόσουν την Μηχανική Μάθηση ή τη Βαθιά Μάθηση στο επιστημονικό πεδίο τους θα πρέπει να γνωρίζουν τα προβλήματα και τους κινδύνους που ελλοχεύουν για πιθανή εξαγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων. Θα πρέπει να δώσουν ιδιαίτερη έμφαση σε θέματα όπως της Μηχανικής Χαρακτηριστικών (Feature Engineering), της Μεροληψίας (Bias), της Υπερπροσαρμογής (Overfitting) και της Υποπροσαρμογής (Underfitting) (Huyen, 2022).

- Η Μηχανική των Χαρακτηριστικών έχει να κάνει με τα ίδια τα δεδομένα. Είναι αξιόπιστα; Έχουν ελλιπείς τιμές; Μήπως είναι πολύ συσχετισμένα μεταξύ τους; Έχουν θόρυβο (δηλαδή περιλαμβάνουν περιττά δεδομένα); Η κλιμάκωση (scaling) και κανονικοποίηση (normalization) προσαρμόζει τις αριθμητικές τιμές σε μία κοινή κλίμακα και διευκολύνει την απόδοση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.
- Στην περίπτωση της Μεροληψίας τα δεδομένα που ελήφθησαν δεν είναι αντιπροσωπευτικά του πληθυσμού, οπότε τα συμπεράσματα που θα προκύψουν δεν θα είναι ακριβή.
- Στην περίπτωση της Υπερπροσαρμογής ένα περίπλοκο μοντέλο εκπαιδύτηκε υπερβολικά καλά στα δεδομένα εκπαίδευσης, συμπεριέλαβε ακόμη και το θόρυβο. Οπότε έχει μεν υψηλή ακρίβεια σε δεδομένα εκπαίδευσης αλλά χαμηλή σε νέα και άγνωστα δεδομένα.
- Η Υποπροσαρμογή είναι το αντίθετο της Υπερπροσαρμογής. Είτε το μοντέλο μηχανικής μάθησης είναι πολύ απλό, είτε η ποσότητα των δεδομένων δεν είναι αρκετή, οπότε σε αυτές τις περιπτώσεις το μοντέλο μηχανικής μάθησης έχει χαμηλή ακρίβεια.

2.6.9. Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (LLMs)

Τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα (Large Language Models - LLMs) δημιουργούν νέο κείμενο με βάση το κείμενο της προτροπής (prompt) του χρήστη (Alammar & Grootendorst, 2024). Εκπαιδεύονται από ένα τεραστίου μεγέθους όγκο δεδομένων από το διαδίκτυο, επιστημονικών άρθρων και διαλόγων, ώστε να κατανοούν, να παράγουν κείμενο και να απαντούν στον χρήστη με τη χρήση βαθιάς μάθησης και της Επεξεργασίας Φυσικής Γλώσσας (Natural Language Processing - NLP). Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας αφορά την αλληλεπίδραση των υπολογιστών με τον άνθρωπο μέσω της ανθρώπινης φυσικής γλώσσας (Lee, 2025, Tunstall et al, 2022).

2.6.10. Δημιουργική Τεχνητή Νοημοσύνη (Gen AI)

Η δημιουργική τεχνητή νοημοσύνη (Generative AI) έχει την ικανότητα να παράγει εντελώς νέο περιεχόμενο με βάση τις προδιαγραφές που δίνει ο χρήστης (Kumar, 2024). Το περιεχόμενο μπορεί να είναι κείμενο, εικόνα, ήχος, βίντεο ή και κώδικας γλώσσας προγραμματισμού.

Υπάρχουν, ωστόσο, περιορισμοί και προκλήσεις που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη χρήση της δημιουργικής τεχνητής νοημοσύνης, όπως οι μεγάλες υπολογιστικές απαιτήσεις, η ποιότητα και ο ρεαλισμός των εξαγόμενων, θέματα ηθικής, προκατάληψης και δικαιοσύνης, καθώς και θέματα ερμηνευσιμότητας (interpretability) και εξηγησιμότητας (explainability) του τρόπου με τον οποίο παράγονται τα εξαγόμενα (Munn & Pitman, 2022).

2.7. Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στον Κατασκευαστικό Τομέα

2.7.1. Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στα Τεχνικά Έργα

Συνοψίζοντας τις έρευνες των Baine, 2024, Cecconi et al, 2025, Kampelopoulos et al, 2025, Kumar, 2024, Lagaros & Plevris, 2022, Mosalam & Gao, 2024, Nehdi et al, 2024, Noronha et al, 2023, Pinard, 2024, Sacks et al, 2018, Seaton, 2021, Stolz, 2024, Sun et al 2021, Zhang et al, 2021 προκύπτουν οι παρακάτω συνηθέστερες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στον κατασκευαστικό τομέα:

α) Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού Κατασκευών

Ο σχεδιασμός των κατασκευών μπορεί να βελτιστοποιηθεί με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης μέσα από την διερεύνηση αρχιτεκτονικών, περιβαλλοντικών και κατασκευαστικών δεδομένων αναφορικά με την θέση του τεχνικού έργου.

β) Διαχείριση Τεχνικών Έργων

Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στη διαχείριση ενός τεχνικού έργου μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα των διαφόρων ομάδων του έργου διευκολύνοντας την επικοινωνία των ομάδων και αυτοματοποιώντας τις διεργασίες σχεδιασμού και εκτέλεσης του έργου με την ταυτόχρονη αξιοποίηση της τεχνολογίας BIM (Building Information Modeling), η οποία ψηφιοποιεί τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες της κατασκευής.

Εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να παρακολουθούν την πορεία των εργασιών, την τήρηση των προθεσμιών, να εντοπίζουν πιθανές καθυστερήσεις ή αποκλίσεις από τα καθορισμένα χρονοδιαγράμματα και τους προϋπολογισμούς.

Η παραδοσιακή διαχείριση κινδύνων, που βασίζεται στην υποκειμενική κρίση ειδικών, μπορεί επίσης να γίνει αποτελεσματικότερη με τα εργαλεία που προσφέρει η τεχνητή νοημοσύνη.

Η διασφάλιση ποιότητας και ασφάλειας των τεχνικών έργων μπορεί να ενισχυθεί με τη χρήση της τεχνικής νοημοσύνης με τεχνικές αναγνώρισης εικόνας, οι οποίες μπορούν να ανιχνεύσουν κακοτεχνίες και ρωγμές ή να εντοπίσουν αν οι εργαζόμενοι είναι εξοπλισμένοι με Μέσα Ατομικής Προστασίας στο εργοτάξιο.

Η ρομποτική μπορεί να συμβάλλει στην αποτελεσματικότητα και ασφάλεια της εκτέλεσης των τεχνικών έργων με την χρήση ρομποτικών βραχιόνων, μη επανδρωμένων κατασκευαστικών οχημάτων και ιπτάμενων συσκευών (drones).

γ) Παρακολούθηση της Δομικής Ακεραιότητας των Κατασκευών

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να συμβάλλει στη παρακολούθηση της Δομικής Ακεραιότητας των Κατασκευών (Structural Health Monitoring - SHM) μέσω της ανάλυσης των δεδομένων που συλλέγονται από αισθητήρες οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στις κατασκευές. Από την ανάλυση μπορεί να προβλεφθούν πιθανές δομικές αστοχίες πριν να συμβούν, ώστε να γίνει προληπτική συντήρηση και αποφυγή των αστοχιών.

δ) Ενεργειακή Διαχείριση Κτιρίων

Με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να βελτιστοποιηθεί η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων με την ανάλυση δεδομένων από την ενεργειακή κατανάλωση, τις καιρικές συνθήκες και την διαχρονική πληρότητα κατοίκησης του κτιρίου.

Τα συστήματα Θέρμανσης, Εξαερισμού και Κλιματισμού (Heating, Ventilation, Air Conditioning - HVAC) και φωτισμού μπορούν να προσαρμόζουν τη λειτουργία τους σύμφωνα με τις προβλέψεις μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και των λειτουργικών εξόδων του κτιρίου.

ε) Γεωτεχνική Μηχανική

Με τη χρήση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης προσαρμοσμένων στη γεωτεχνική μηχανική, τα οποία συνδυάζουν την ανάλυση ιστορικών γεωλογικών δεδομένων με επί τόπου μετρήσεις και δορυφορικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μπορεί να γίνει πρόβλεψη αστοχιών γεωτεχνικών έργων, πρόβλεψη καθιζήσεων, κατολισθήσεων και ρευστοποίησης εδάφους.

στ) Περιβαλλοντική Μηχανική

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από ανθρωπογενείς δραστηριότητες μπορούν να εκτιμηθούν με την ανάλυση και παρακολούθηση περιβαλλοντικών δεδομένων (π.χ. ποιότητα αέρα, νερού, ηχορύπανση, κτλ.) μέσω μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης.

ζ) Διαχείριση Κυκλοφορίας Οχημάτων

Μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να βελτιώσουν την κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων και να συμβάλουν στην ασφάλεια της οδικής κυκλοφορίας και στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων από μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο.

η) Πολεοδομικός και Χωροταξικός Σχεδιασμός

Μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αναλύσουν δημογραφικές τάσεις, οικιστικές ανάγκες και απαιτήσεις υποδομών, προς ένα αειφόρο πολεοδομικό και χωροταξικό σχεδιασμό.

Παρά την πληθώρα των εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης στον κατασκευαστικό τομέα οι Nehdi et al, 2024, δίνουν έμφαση και σε πιθανές προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν για μία επιτυχή ενσωμάτωση και βέλτιστη αξιοποίηση της. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν: α) θέματα ποιότητας και διαθεσιμότητας δεδομένων για επαρκή λήψη αποφάσεων, β) θέματα διαλειτουργικότητας και ενσωμάτωσης των μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης με υπάρχοντα λογισμικά, γ) ηθικά ζητήματα, όπως προκατάληψη και μεροληψία κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, δ) θέματα ασφάλειας, απορρήτου και διαχείρισης προσωπικών δεδομένων και ε) ανεπάρκεια στην ερμηνευσιμότητα (interpretability) και επεξηγησιμότητα (explainability) των μοντέλων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη εμπιστοσύνης λόγω της αδιαφάνειας και περιπλοκότητάς του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης.

2.7.2. Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Σεισμική Μηχανική

Συνοψίζοντας τις έρευνες των Amezquita-Sanchez et al, 2020, Demertzis et al 2023, Hong, 2024, Hong, 2023, Nehdi et al, 2024, Reddy et al, 2025, Subramanya, 2025, Thai, 2022, Xie et al, 2020 προκύπτουν οι συνηθέστερες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης σεισμική μηχανική ως ακολούθως:

α) Ανάλυση Σεισμικού Κινδύνου

Μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να επεξεργαστούν εδαφικές μετακινήσεις και επιταχύνσεις για διάφορα ιστορικά σεισμικά συμβάντα συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην ανάλυση του σεισμικού κινδύνου μίας περιοχής.

β) Εκτίμηση Σεισμικής Ευπάθειας Κατασκευών

Με την ανάλυση δεδομένων των δομικών στοιχείων κατασκευών, μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να εκτιμήσουν τη σεισμική ευπάθεια και να προτείνουν τον βέλτιστο ανασχεδιασμό για την ενίσχυση της σεισμικής ανθεκτικότητας των κατασκευών.

γ) Ανίχνευση Βλαβών σε Κατασκευές μετά από Σεισμικό Συμβάν

Η ανίχνευση βλαβών μπορεί να γίνει από επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων των δομικών στοιχείων κατασκευών μετά από ένα σεισμικό συμβάν, αναγνωρίζοντας και ταξινομώντας τους τρόπους αστοχίας με χρήση μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης.

δ) Προσομοίωση και Παραμετρική Διερεύνηση της Σεισμικής Απόκρισης Κατασκευών

Με τη βοήθεια της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να γίνει η βέλτιστη προσομοίωση και η παραμετρική διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης κατασκευών συμβάλλοντας σε έναν ασφαλέστερο και οικονομικότερο σχεδιασμό.

2.7.3. Παραδείγματα Εφαρμογής της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Σεισμική Μηχανική

Τα ακόλουθα δύο παραδείγματα εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στη σεισμική μηχανική λαμβάνονται από την έρευνα του οργανισμού American Society of Civil Engineers (ASCE): AI for Detecting Structural Problems (<https://www.asce.org>).

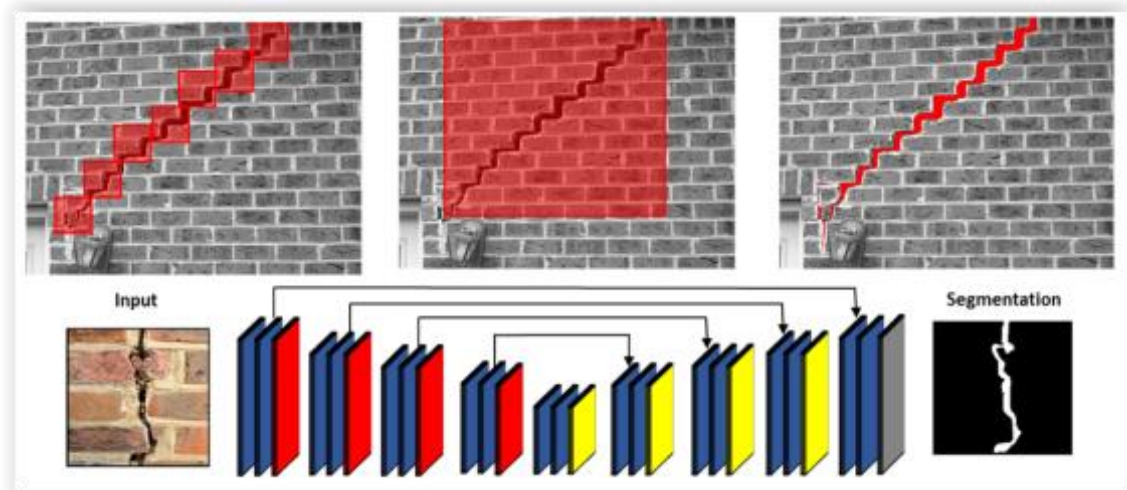
A) Σε υποθαλάσσια οδική σήραγγα στη Κωνσταντινούπολη, η οποία βρίσκεται σε απόσταση 16 χιλιομέτρων από ένα μεγάλο ρήγμα, έχει εγκατασταθεί ένα δίκτυο από επιταχυνσιογράφους. Η ταξινόμηση των δονήσεων σε σεισμογενείς ή άλλες αιτίες γίνεται με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.



Σχήμα 15 - ASCE: Αναγνώριση και Ταξινόμηση Δονήσεων σε Σήραγγα

Β) Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να συμβάλουν στην αναγνώριση και ταξινόμηση ρωγμών με την ανάλυση δεδομένων σε ψηφιακές εικόνες.

Τα μοντέλα εκπαιδεύονται με ψηφιακές εικόνες διαφόρων τύπων ρωγμών οι οποίες είναι κατάλληλα επεξεργασμένες και στη συνέχεια είναι σε θέση να αναγνωρίζουν νέες ρωγμές και να τις παρακολουθούν πως εξελίσσονται στο χρόνο συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στις επιθεωρήσεις τεχνικών έργων.



Σχήμα 16 - ASCE: Αναγνώριση & Ταξινόμηση Ρωγμών

3. Μεθοδολογία Εκπόνησης της ΜΔΕ

3.1. Περιγραφή Μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία εκπόνησης της ΜΔΕ είναι η διαδικασία που ακολουθείται για την ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με το θέμα της εργασίας.

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τη μεθοδολογία έρευνας και τη μεθοδολογία ανάπτυξης.

3.2. Μεθοδολογία Έρευνας

Η μεθοδολογία έρευνας αφορά τη βιβλιογραφική έρευνα, τη διαδικτυακή έρευνα, τη σύνοψη των ευρημάτων και την ανάλυση, σύνθεση και κριτική παρουσίαση τους.

3.3. Μεθοδολογία Ανάπτυξης

Η μεθοδολογία ανάπτυξης περιλαμβάνει:

- Την ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος χρήστη του λογισμικού RUAUMOKO-3D σε γλώσσα προγραμματισμού Python με τη χρήση της βιβλιοθήκης Γραφικών Διεπαφής Χρήστη TKinter.
- Τον παραμετρικό σχεδιασμό του φέροντος οργανισμού ενός κτιρίου γραφείων με τυπικές διαστάσεις και φορτίσεις, με τη χρήση του εμπορικού λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων SCADA Pro. Ο αρχικός σχεδιασμός γίνεται για μέτρια ζώνη σεισμικότητας με έδαφος τύπου A και στη συνέχεια ο σχεδιασμός ελέγχεται για υψηλή ζώνη σεισμικότητας με έδαφος τύπου A, μέτρια ζώνη σεισμικότητας με έδαφος τύπου B και υψηλή ζώνη σεισμικότητας με έδαφος τύπου B.
- Την παραμετρική σεισμική αποτίμηση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου με το εμπορικό λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων SeisMobuild. Η σεισμική αποτίμηση γίνεται για τα τέσσερα ανωτέρω σενάρια, ήτοι μέτρια ή υψηλή ζώνη σεισμικότητας και τύπο εδάφους A ή B και για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας (DL, SD, NC). Για τις σεισμικές αποτιμήσεις χρησιμοποιούνται μη γραμμικές στατικές αναλύσεις pushover και μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας με τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα που βασίζονται στα φάσματα του EC8.

- Την παραμετρική μη γραμμική δυναμική ανάλυση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου με το λογισμικό RUAUMOKO-3D για τον υπολογισμό των δεικτών βλάβης Park & Ang των δομικών στοιχείων του φέροντος οργανισμού.
- Την ανάπτυξη ροής εργασιών μηχανικής μάθησης (ML pipeline) σε γλώσσα προγραμματισμού Python με βάση την προσομοίωση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου και την ανάλυση του με το λογισμικό RUAUMOKO-3D, χρησιμοποιώντας τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.
- Την επεξεργασία, ανάλυση και κριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων όλων των ανωτέρω, με σκοπό εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

4. Ανάπτυξη Λογισμικού Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη

4.1. Δομή του Κώδικα του Λογισμικού

Το λογισμικό που αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python για τους σκοπούς της ΜΔΕ καλείται R3DGUI και αφορά τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση τρισδιάστατων πλαισίων από Ο/Σ με το RUAUMOKO-3D. Η δομή του κώδικα περιλαμβάνει:

- Εισαγωγή Βιβλιοθηκών
- Καθορισμός Κεντρικού Παραθύρου
- Ορισμός Καθολικών Μεταβλητών
- Ορισμός Συναρτήσεων
- Διάταξη Γραφικών Αντικειμένων
- Μενού Επιλογών
- Αρχή Κύριου Κώδικα
- Τέλος Κύριου Κώδικα

4.2. Βιβλιοθήκες του Λογισμικού

Οι βιβλιοθήκες Python που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες: os, math, time, subprocess, matplotlib, numpy, tkinter.

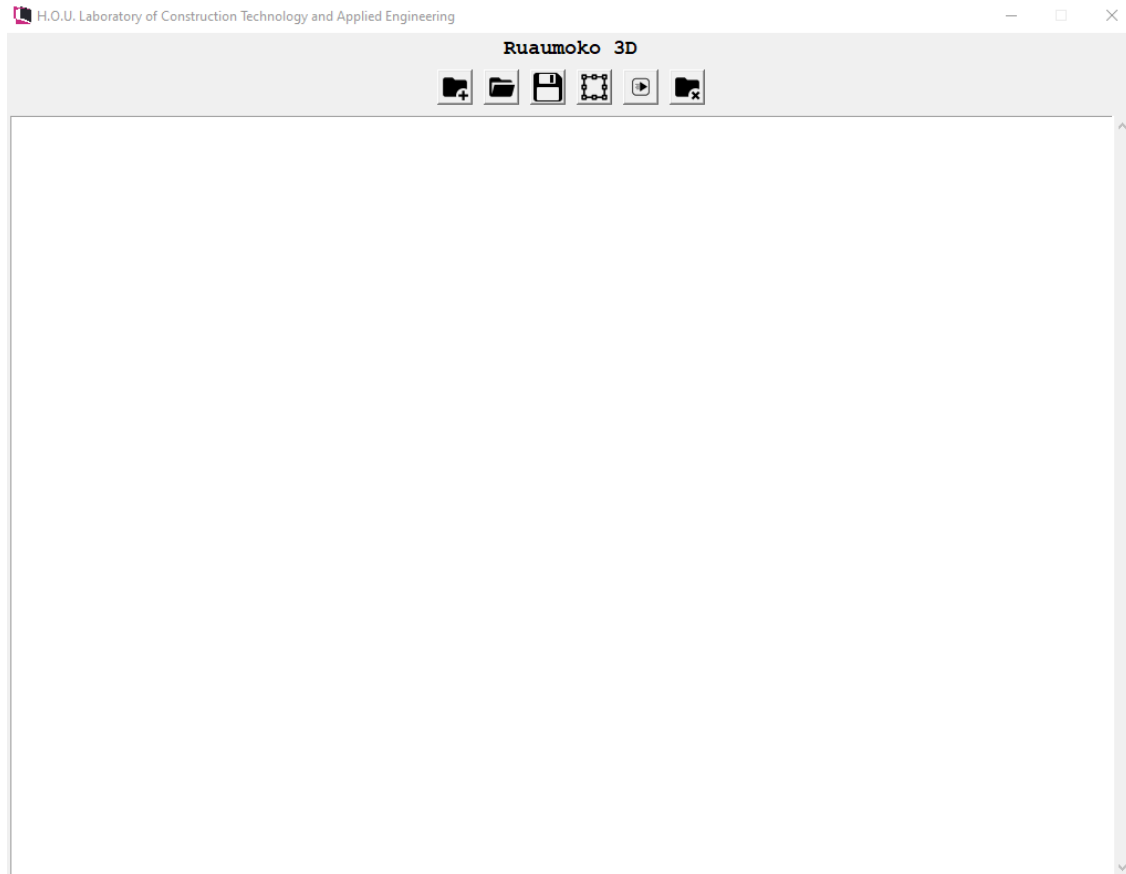
4.3. Λειτουργικότητα του Λογισμικού

- Ορισμός Βασικών Παραμέτρων του Τρισδιάστατου Πλαισίου
- Ορισμός Ιδιοτήτων Μελών
- Ορισμός Μελών
- Γραφική Απεικόνιση του Πλαισίου
- Ανάλυση Πλαισίου
- Απεικόνιση Αποτελεσμάτων

Το λογισμικό R3DGUI διαθέτει ενσωματωμένο κειμενογράφο, ώστε να δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να παρέμβει τροποποιώντας τα δεδομένα που δημιούργησε το R3DGUI για το RUAUMOKO-3D κατά την κρίση του.

4.4. Εκτέλεση του Λογισμικού

Το βασικό παράθυρο το οποίο εμφανίζεται κατά την εκτέλεση του R3DGUI απεικονίζεται ως ακολούθως.



Εικόνα 17 - R3DGUI - Βασικό παράθυρο

Τα εικονίδια στο μέσο της κορυφής του κεντρικού παραθύρου, από αριστερά προς τα δεξιά αντιστοιχούν στις παρακάτω λειτουργίες:

- Δημιουργία νέου μοντέλου
- Άνοιγμα υπάρχοντος μοντέλου
- Αποθήκευση του μοντέλου μετά από αλλαγές
- Ανάλυση του μοντέλου από το RUAUMOKO-3D με αντίστοιχη προβολή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης
- Γραφική Απεικόνιση του μοντέλου
- Κλείσιμο του μοντέλου

Κατά τη δημιουργία ενός νέου μοντέλου δίνονται οι βασικές παράμετροι ως ακολούθως.

Εικόνα 18 - R3DGUI - Βασικές Παράμετροι

Το R3DGUI δημιουργεί αυτόματα το τρισδιάστατο πλαίσιο, υπολογίζει τον αριθμό των κόμβων και των μελών, καθώς και τις συντεταγμένες κάθε κόμβου. Στη συνέχεια εισάγονται οι ιδιότητες των μελών σύμφωνα με την αριθμό των ιδιοτήτων που εισήχθη αρχικά στις Βασικές Παραμέτρους.

Εικόνα 19 - R3DGUI - Ιδιότητες Μελών

Η αντιστοίχιση των ιδιοτήτων των μελών για κάθε μέλος γίνεται με γραφικό τρόπο.

Με την ολοκλήρωση της γραφικής εισαγωγής όλων των απαιτούμενων δεδομένων ολοκληρώνεται η σύνταξη του αρχείου δεδομένων για το RUAUMOKO-3D και εμφανίζεται στον κειμενογράφο του R3DGUI. Ο χρήστης μπορεί να επεμβεί στο αρχείο δεδομένων για τυχόν τροποποιήσεις. Με την επιλογή της λειτουργίας της γραφικής απεικόνισης εμφανίζεται το τρισδιάστατο πλαίσιο του μοντέλου.

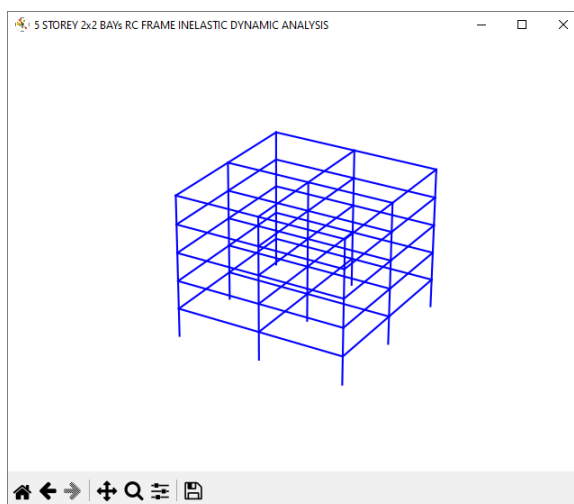
```

H.O.U. Laboratory of Construction Technology and Applied Engineering
Ruaumoko 3D
5 STOREY 2x2 BAYS RC FRAME INELASTIC DYNAMIC ANALYSIS
2 1 1 2 2 0 0 0 0 0 0 ! Control Parameters, p.7
1 0 0 0 1 0 0 0 0 ! EQ Components Transformation, p.11
54 105 62 9 1 9 9.81 5.0 5.0 0.01 15.0 1.0 ! Frame and Time-history, p.12
0 10 10 10 0.15 0.15 0.15 ! Output and Plotting Options, p.12
-0.8 0.6 0.0 -0.4 -0.2 1.0 ! Plot Transformation, p.13
0 0 ! Iteration Control, p.14

NODES 110, p.16
1 0.00 0.00 0.00 1 1 1 1 1 1 0 0 ! Level 0
2 5.00 0.00 0.00 1 1 1 1 1 1 0 0
3 10.00 0.00 0.00 1 1 1 1 1 1 0 0
4 0.00 5.00 0.00 1 1 1 1 1 1 0 0
5 5.00 5.00 0.00 1 1 1 1 1 1 0 0
6 10.00 5.00 0.00 1 1 1 1 1 1 0 0
7 0.00 10.00 0.00 1 1 1 1 1 1 0 0
8 5.00 10.00 0.00 1 1 1 1 1 1 0 0
9 10.00 10.00 0.00 1 1 1 1 1 1 0 0
10 0.00 0.00 3.00 2 2 0 0 0 2 14 0 ! Level 1
11 5.00 0.00 3.00 2 2 0 0 0 2 14 0
12 10.00 0.00 3.00 2 2 0 0 0 2 14 0
13 0.00 5.00 3.00 2 2 0 0 0 2 14 0
14 5.00 5.00 3.00 0 0 0 0 0 0 0 1
15 10.00 5.00 3.00 2 2 0 0 0 2 14 0
16 0.00 10.00 3.00 2 2 0 0 0 2 14 0
17 5.00 10.00 3.00 2 2 0 0 0 2 14 0
18 10.00 10.00 3.00 2 2 0 0 0 2 14 0
19 0.00 0.00 6.00 2 2 0 0 0 2 23 0 ! Level 2
20 5.00 0.00 6.00 2 2 0 0 0 2 23 0
21 10.00 0.00 6.00 2 2 0 0 0 2 23 0
22 0.00 5.00 6.00 2 2 0 0 0 2 23 0
23 5.00 5.00 6.00 0 0 0 0 0 0 0 1
24 10.00 5.00 6.00 2 2 0 0 0 2 23 0
25 0.00 10.00 6.00 2 2 0 0 0 2 23 0
26 5.00 10.00 6.00 2 2 0 0 0 2 23 0
27 10.00 10.00 6.00 2 2 0 0 0 2 23 0
28 0.00 0.00 9.00 2 2 0 0 0 2 32 0 ! Level 3
29 5.00 0.00 9.00 2 2 0 0 0 2 32 0

```

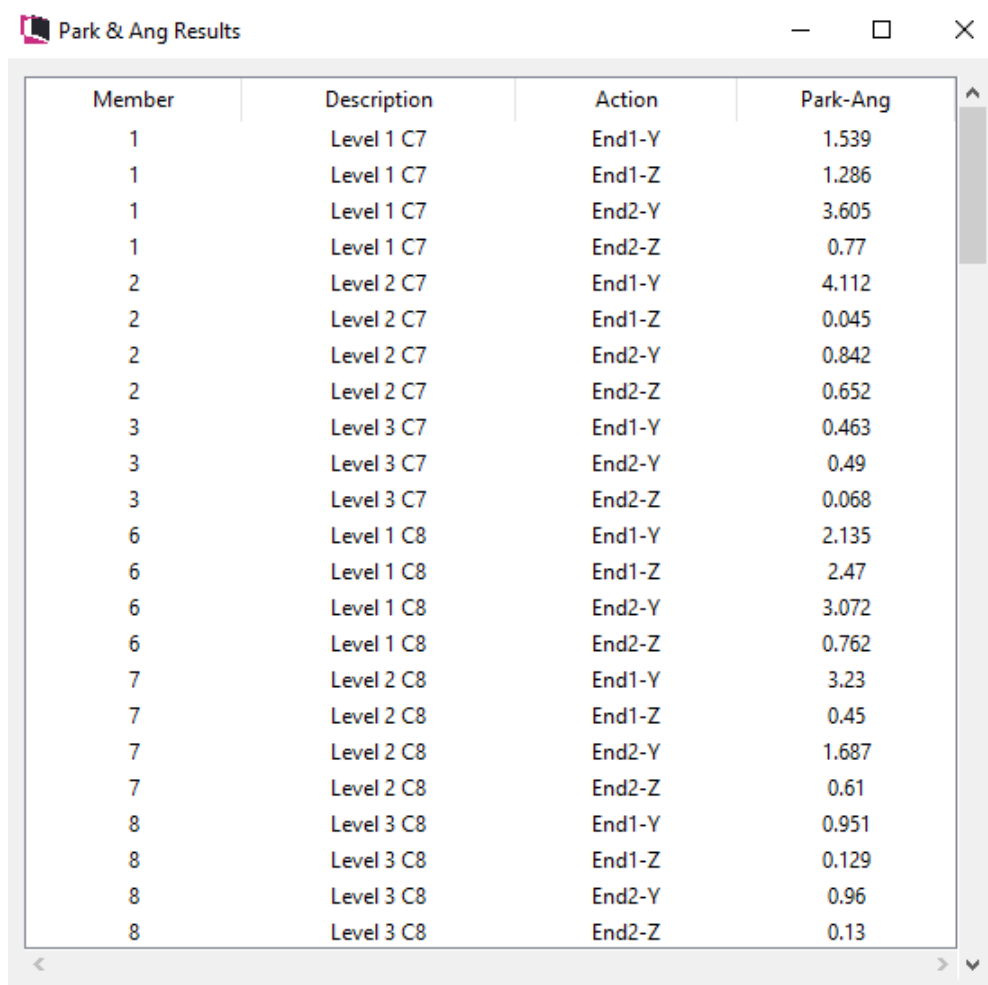
Εικόνα 20 - R3DGUI - Απεικόνιση Αρχείου Δεδομένων RUAUMOKO-3D



Εικόνα 21 - R3DGUI - Γραφική Απεικόνιση Τρισδιάστατου Πλαισίου

Η γραφική απεικόνιση του τρισδιάστατου πλαισίου έχει δυνατότητες περιστροφής μετακινώντας το δείκτη με το ποντίκι και έχοντας πατημένο το αριστερό πλήκτρο του ποντικού, μεγέθυνσης, μετακίνησης, αποθήκευσης της εικόνας.

Επιλέγοντας τη λειτουργία της ανάλυσης μπορούμε να δούμε επιλεκτικά αποτελέσματα μετά την ολοκλήρωση της όπως, για παράδειγμα, τους δείκτες βλάβης Park & Ang των μελών του φορέα.



Member	Description	Action	Park-Ang
1	Level 1 C7	End1-Y	1.539
1	Level 1 C7	End1-Z	1.286
1	Level 1 C7	End2-Y	3.605
1	Level 1 C7	End2-Z	0.77
2	Level 2 C7	End1-Y	4.112
2	Level 2 C7	End1-Z	0.045
2	Level 2 C7	End2-Y	0.842
2	Level 2 C7	End2-Z	0.652
3	Level 3 C7	End1-Y	0.463
3	Level 3 C7	End2-Y	0.49
3	Level 3 C7	End2-Z	0.068
6	Level 1 C8	End1-Y	2.135
6	Level 1 C8	End1-Z	2.47
6	Level 1 C8	End2-Y	3.072
6	Level 1 C8	End2-Z	0.762
7	Level 2 C8	End1-Y	3.23
7	Level 2 C8	End1-Z	0.45
7	Level 2 C8	End2-Y	1.687
7	Level 2 C8	End2-Z	0.61
8	Level 3 C8	End1-Y	0.951
8	Level 3 C8	End1-Z	0.129
8	Level 3 C8	End2-Y	0.96
8	Level 3 C8	End2-Z	0.13

Εικόνα 22 - R3DGUI - Αποτελέσματα Ανάλυσης

5. Μελέτη Περίπτωσης Σεισμικής Ανάλυσης Κτιρίου

5.1. Περιγραφή του Κτιρίου

Η μελέτη περίπτωσης αφορά ένα υποθετικό πενταόροφο κτίριο γραφείων συμμετρικό σε κάτοψη και όψη. Ο φέροντας οργανισμός αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα (Ο/Σ) κατηγορίας C20/25 και οπλισμού (διαμήκους/εγκάρσιου) B500C.

Η κατηγορία σπουδαιότητας του κτιρίου θεωρείται II (σύνηθες κτίριο).

Ο παραμετρικός σχεδιασμός του κτιρίου θα γίνει για τη σεισμική ζώνη II, ωστόσο θα ελεγχθεί και για τη σεισμική ζώνη III.

Κατά τον παραμετρικό σχεδιασμό ο τύπος εδάφους αρχικά θεωρείται A (π.χ. βράχος) και στη συνέχεια ο σχεδιασμός θα ελεγχθεί για τύπο B (π.χ. αποθέσεις πυκνού αμμοχάλικου μεγάλου πάχους).

Οι διαστάσεις της κάτοψης ενός τυπικού ορόφου είναι 10,50x10,50 m και το ύψος μεταξύ δύο διαδοχικών ορόφων θεωρείται στα 3 m.

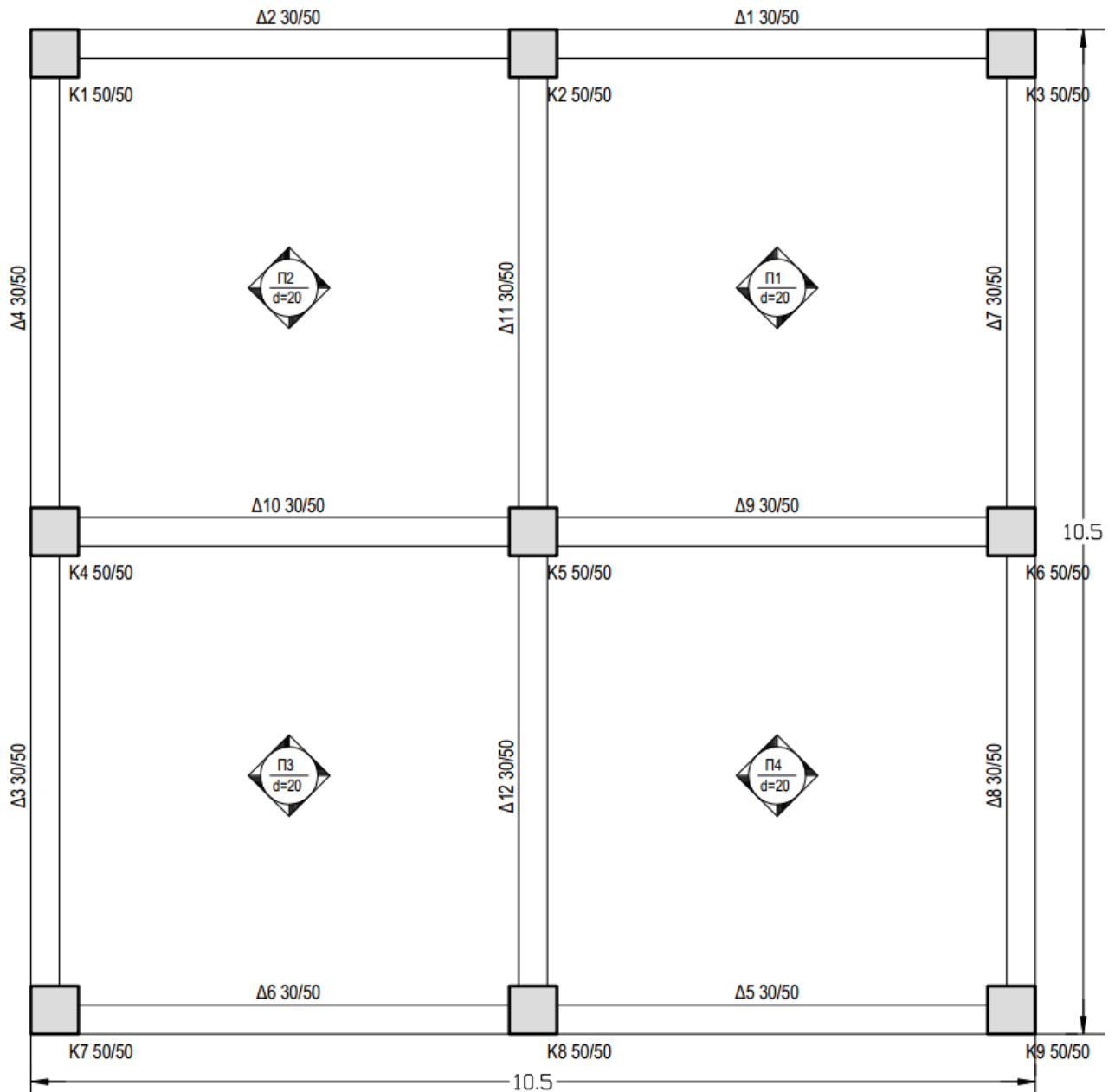
Το δομικό σύστημα είναι πλαισιακό και αποτελείται από πλαίσια δοκών/υποστυλωμάτων και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Τα υποστυλώματα έχουν διαστάσεις 50x50 cm και οι δοκοί 30/50 cm. Το άνοιγμα των δοκών είναι 4,50 m.

Οι πλάκες είναι συμπαγείς με πάχος 20 cm, διαστάσεων 5x5 m.

Οι όροφοι θεωρούνται ανοικτού πλάνου, ώστε να μπορούν να διαμορφωθούν με ελαφρά διαχωριστικά γραφείων. Μπατική τοιχοποιία επί των δοκών έχουν μόνο εξωτερικές πλευρές.

Η θεμελίωση αποτελείται από μεμονωμένα πέδιλα διαστάσεων 2x2 m και ύψους 0,80 m.

Η κάτοψη ενός τυπικού ορόφου παρατίθεται στο ακόλουθο σχέδιο.



Σχέδιο 23 - Κάτοψη Τυπικού Ορόφου

5.2. Σχεδιασμός του Κτιρίου με τους Κανονισμούς EC2/EC8

5.2.1. Λογισμικό SCADA Pro

Ο σχεδιασμός του φέροντος οργανισμού του κτιρίου γίνεται με το λογισμικό SCADA Pro της εταιρίας ACE-Hellas (<https://www.scadapro.com>). Το SCADA Pro βασίζεται στη μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων και έχει δυνατότητες σχεδιασμού, αποτίμησης και ενίσχυσης κτιριακών κατασκευών από συνήθη υλικά (π.χ. Ο/Σ, χάλυβα, σύμμικτες κατασκευές, φέρουσα τοιχοποιία, ξύλο, κτλ.). Υποστηρίζει όλους τους Ελληνικούς Κανονισμούς, τους Ευρωκώδικες με τα αντίστοιχα Εθνικά Προσαρτήματα, ΚΑΝ.ΕΠΕ., Κ.Α.Δ.Ε.Τ., κτλ. με δυνατότητες γραμμικής δυναμικής ανάλυσης και μη γραμμικής στατικής ανάλυσης pushover.

5.2.2. Εισαγωγή Δεδομένων - Γενικές Παράμετροι

Αρχικά ορίζονται οι γενικές παράμετροι του έργου, όπως τα υλικά και ο κανονισμός που θα χρησιμοποιηθούν. Επιλέγονται οι Ευρωκώδικες (EC) με τα Ελληνικά Προσαρτήματα (Greek), η κατηγορία σκυροδέματος C20/25 και οπλισμού B500C (κύριος/συνδετήρες). Οι συντελεστές ασφάλειας καθορίζονται σύμφωνα με τον επιλεγμένο κανονισμό. Ακολουθούν ενδεικτικές εικόνες του λογισμικού κατά την γραφική εισαγωγή των δεδομένων για την ανάλυση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου.

Γενικές Παράμετροι

Άλλες Παράμετροι Οθόνη Σχέδιο Απεικόνιση

Γενικά Στοιχεία Έργου Υλικά - Κανονισμός

Κανονισμός EC

Προσάρτημα Greek

Βιβλιοθήκη Σιδηρών Διατομών Euro Metric

Σκυροδέμα

Θεμελίωση C20/25

Ανωδομή C20/25

Χάλυβας

Κύριος B500C

Συνδετήρες B500C

Μεταλλικά

Μελή - Στοιχεία S275(Fe430)

Μεταλλική Πλάκα S275(Fe430)

Κοχλίες 4.8

Συγκόλληση S275(Fe430)

Ξύλινα C14

Συντελεστές Ασφάλειας

Αστοχίας Λειτουργικ.

γ_{M0} 1 γ_{M1} 1 γ_{M2} 1.25 γ_{M3} 1.25

γ_{M4} 1 γ_{M5} 1 γ_{M7} 1.1

γ_c 1.5 1

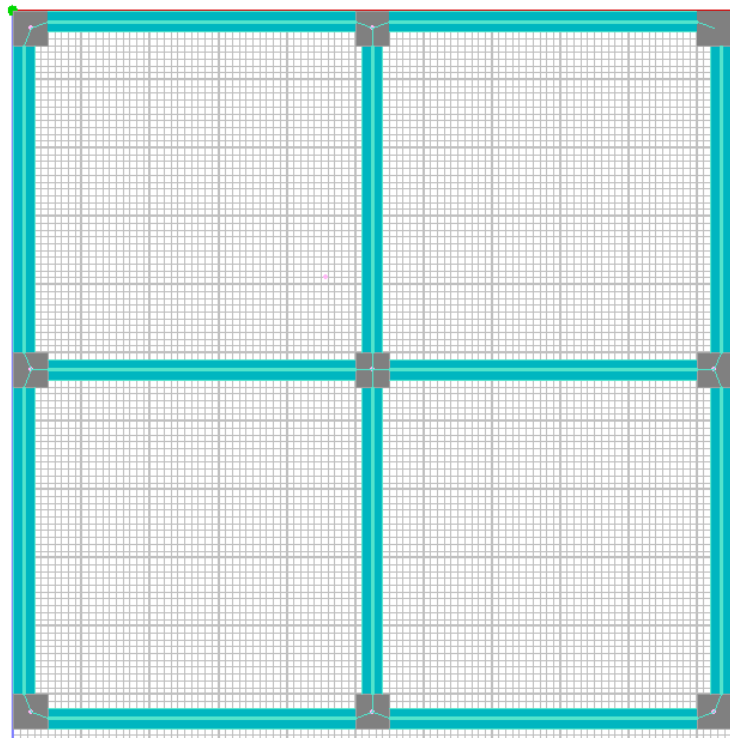
γ_s 1.15 1

OK Cancel Apply Help

Εικόνα 24 - SCADA Pro - Γενικές Παράμετροι

5.2.3. Γεωμετρία Προσομοιώματος

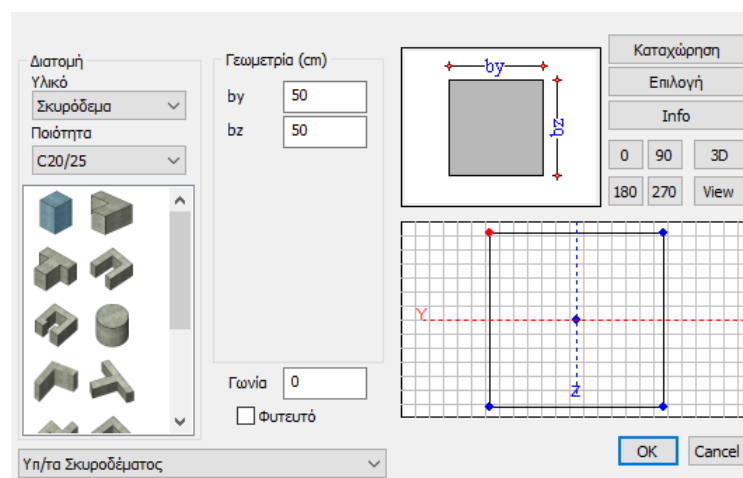
Στη συνέχεια ορίζεται η γεωμετρία του προσομοιώματος του φέροντος οργανισμού του κτιρίου ανά όροφο. Σχεδιάζονται τα υποστυλώματα, οι δοκοί και οι πλάκες χρησιμοποιώντας τα εργαλεία σχεδιασμού του λογισμικού SCADA Pro σε προκαθορισμένο κάρναβο.



Εικόνα 25 - SCADA Pro - Κάτοψη Τυπικού Ορόφου

5.2.4. Υποστυλώματα

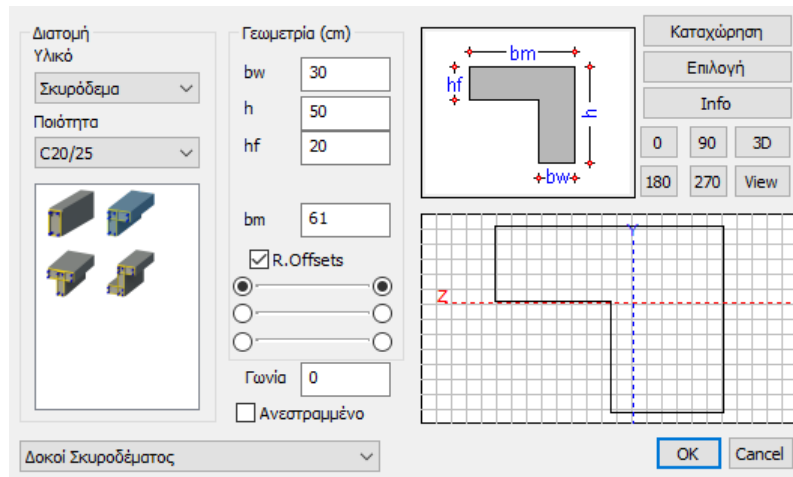
Τα υποστυλώματα ορίζονται επιλέγοντας τον τύπο της διατομής και τις διαστάσεις τους.



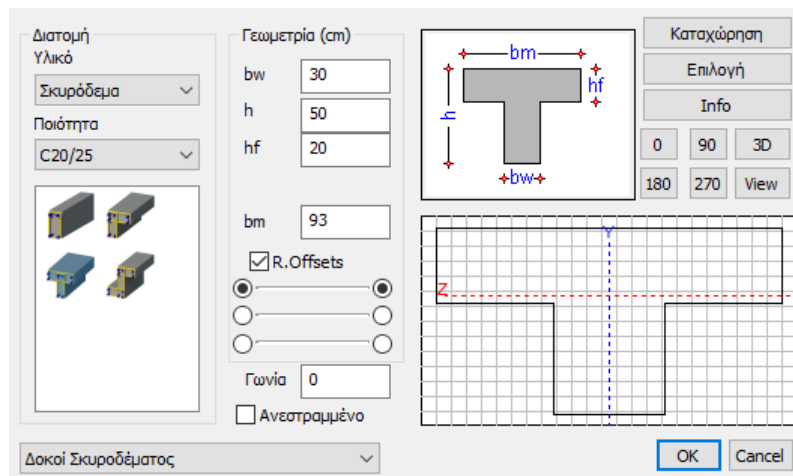
Εικόνα 26 - SCADA Pro - Ορισμός Υποστυλώματος

5.2.5. Δοκοί

Οι δοκοί ορίζονται επιλέγοντας τον τύπο της διατομής και τις διαστάσεις τους. Το συνεργαζόμενο πλάτος στις πλακοδοκούς υπολογίζεται αυτόματα από το λογισμικό.



Εικόνα 27 - SCADA Pro - Ορισμός Πλακοδοκού Γ



Εικόνα 28 - SCADA Pro - Ορισμός Πλακοδοκού T

5.2.6. Πλάκες

Ορίζονται τα στοιχεία των πλακών και στη συνέχεια το λογισμικό προσδιορίζει τις πλάκες ανά όροφο, τις διαστάσεις τους, τις συνθήκες στήριξης και τα κατακόρυφα φορτία που πρέπει να μεταφερθούν στις δοκούς από τις γραμμές διαρροής των πλακών.

The screenshot shows the 'Γενικά' (General) settings for a slab in SCADA Pro. The interface includes the following sections:

- Γενικά (General):**
 - Αριθμός (Number): 1
 - Συμπαγής (Compact):
 - Δύο Διευθύνσεων (Two Directions):
 - Πάχος (cm) (Thickness): 20
 - Ιδιο Βάρος (kN/m²) (Self-weight): 5
 - Χαλυβδόφυλλο (Steel sheet):
- Zoellner-Sandwich - Μικτή (Mixed):**
 - Πάχος (cm) (Thickness):

hs	ho	hu
20	8	5
 - Πλάτη (cm) (Width):

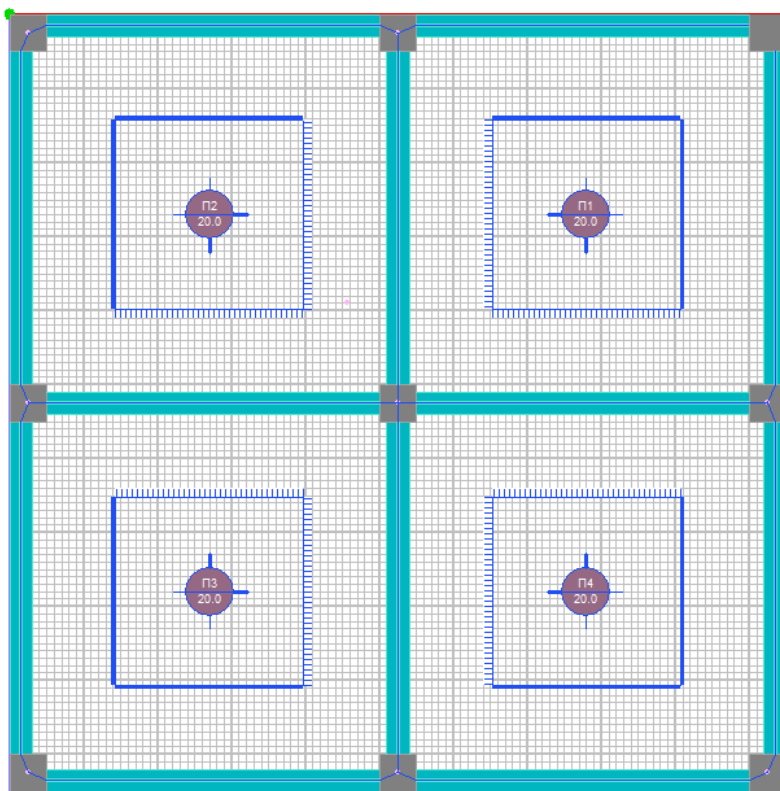
Διεύθυνση (Direction)	Δοκοί (Beams)	Κενά (Gaps)
1	20	50
2	20	50
 - Ακέραια Κενά (Integer Gaps):
- Γεωμετρία (Geometry):**
 - Διαστάσεις (m) (Dimensions):

Διαστάση (Dimension)	Μήτρος (Length)
L1	5
L2	5
 - Συντελεστές Marcus (Marcus Coefficients):

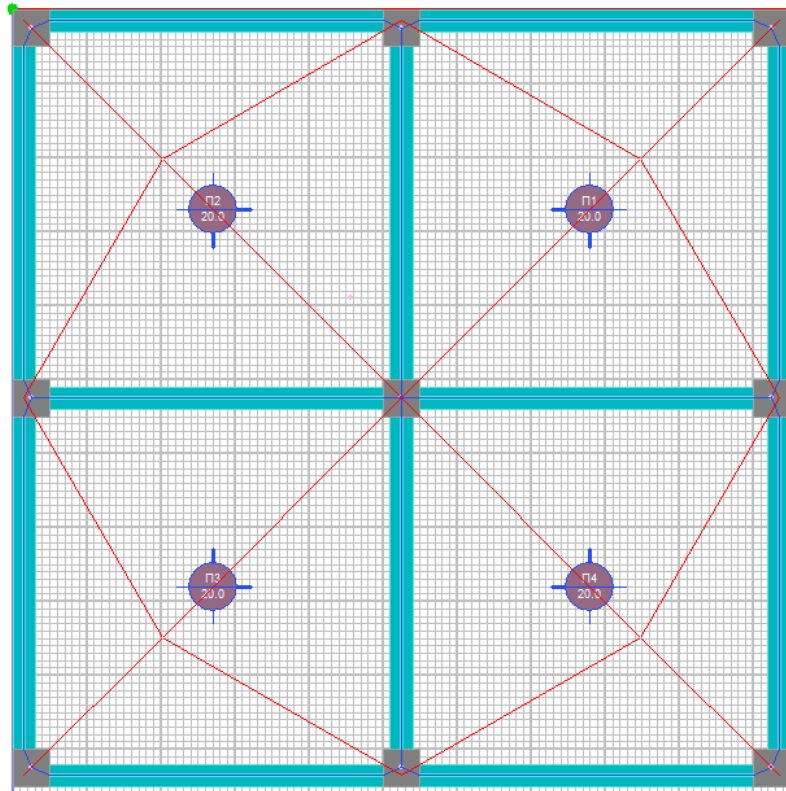
Κατεύθυνση (Direction)	q L1-1	q L1-2
L1	0.5	0
L2	0.5	0
- Μετατροπή σε επιφανειακά (Convert to surface):**
 - 2D:
 - 3D:

Buttons: Default, OK, Cancel.

Εικόνα 29 - SCADA Pro - Ορισμός Πλάκας Ορόφου



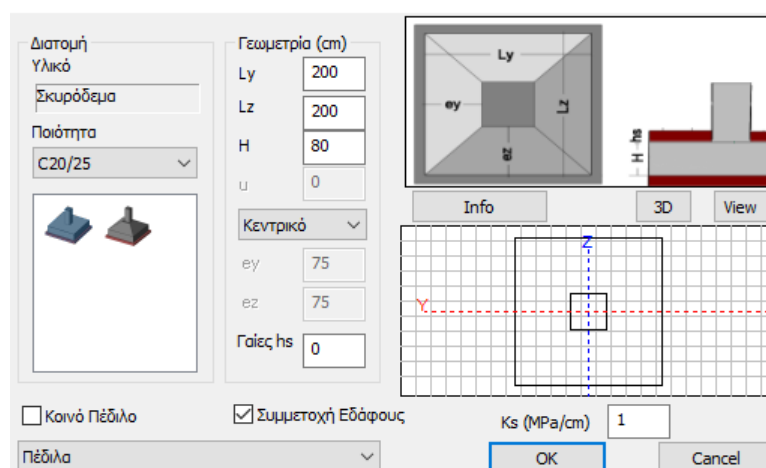
Εικόνα 30 - SCADA Pro - Κάτοψη Πλακών Ορόφου - Στηρίξεις



Εικόνα 31 - SCADA Pro - Κάτοψη Πλακών Ορόφου - Γραμμές Διαρροής

5.2.7. Θεμελίωση

Η θεμελίωση ορίζεται επιλέγοντας τον τύπο της θεμελίωσης, ήτοι μεμονωμένα τετραγωνικά πέλδια και δίνοντας τις θέσεις τους στην κάτοψη και τις διαστάσεις τους.

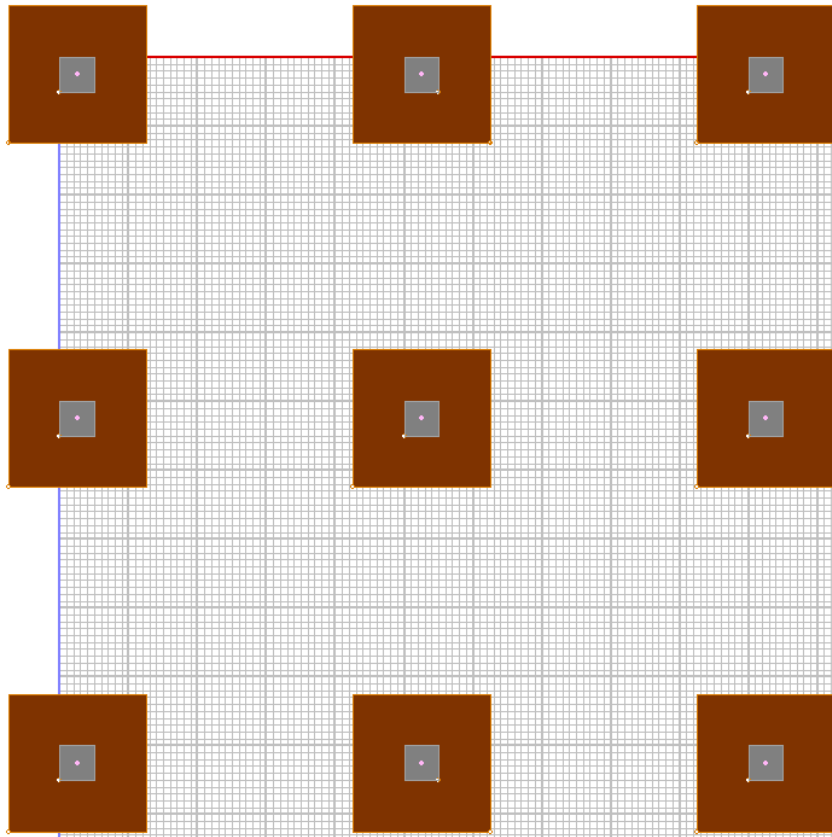


Εικόνα 32 - SCADA Pro - Ορισμός Μεμονωμένου Πεδύλου

Το SCADA Pro λαμβάνει υπόψη στην ανάλυση τη θεμελίωση επί ελαστικού εδάφους κάπως απλοποιημένα, επιλέγοντας «Συμμετοχή Εδάφους» και ορίζοντας μία σταθερά ελατηρίου K_s μεταξύ συνήθως των τιμών 0.5 - 1.0 MPa/cm.

Εφόσον γίνεται παραμετρικός σχεδιασμός αρχικά για τη θεμελίωση σε τύπο εδάφους A (π.χ. βράχος) απενεργοποιείται η συμμετοχή του εδάφους στην ανάλυση, οπότε οι στηρίξεις θεωρούνται πακτώσεις.

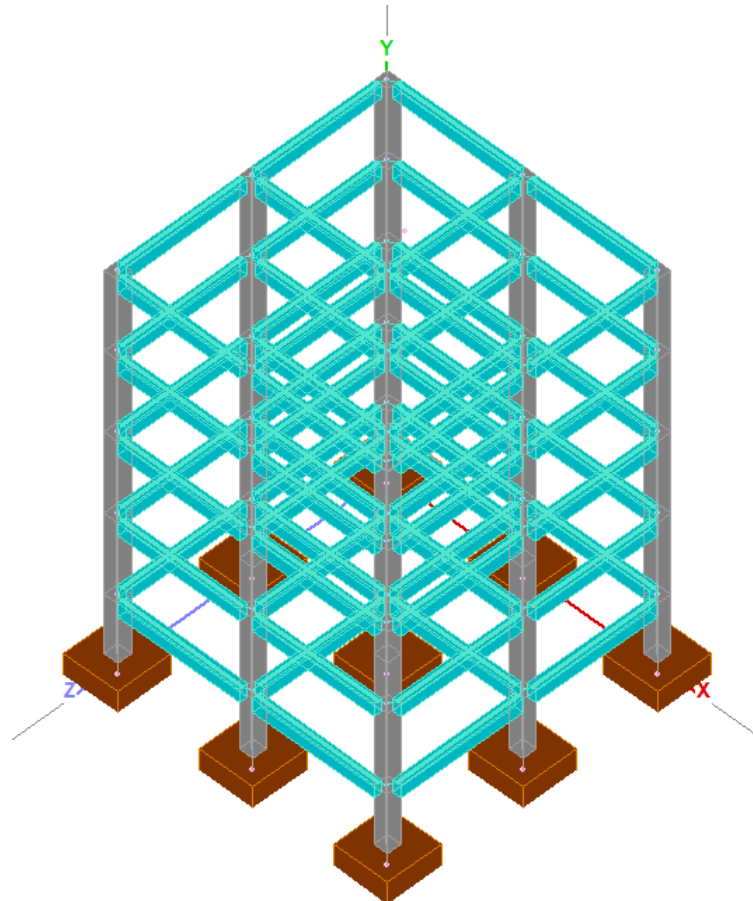
Στη συνέχεια όταν ο σχεδιασμός ελέγχεται για τύπο εδάφους B (π.χ. αποθέσεις πυκνού αμμοχάλικου μεγάλου πάχους) ενεργοποιείται η συμμετοχή του εδάφους στην ανάλυση και ορίζεται η σταθερά ελατηρίου $K_s = 1.0$ MPa/cm.



Εικόνα 33 - SCADA Pro - Κάτοψη Θεμελίωσης

5.2.8. Αξονομετρικό Σχέδιο

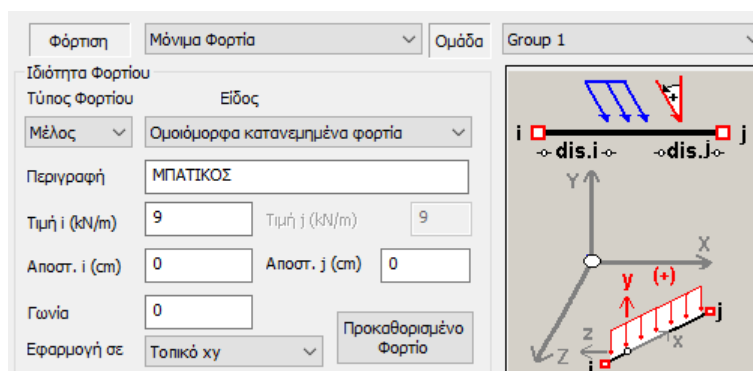
Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής της γεωμετρίας και των διαστάσεων των δομικών στοιχείων του φέροντος οργανισμού το λογισμικό δημιουργεί το αξονομετρικό σχέδιο του προσομοιώματος.



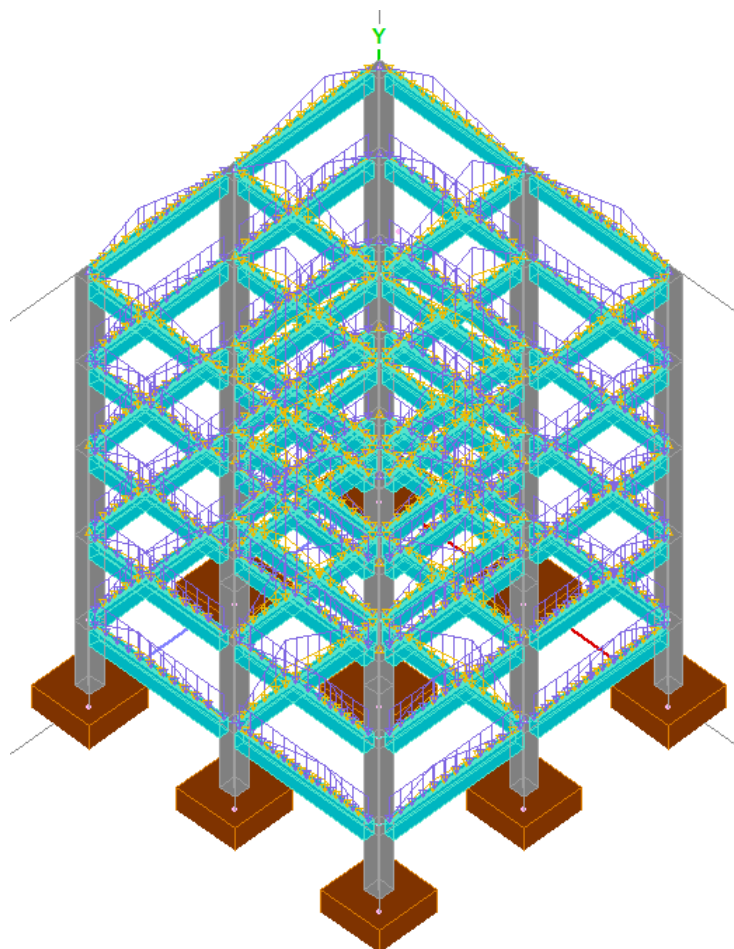
Εικόνα 34 - SCADA Pro - Αξονομετρικό Σχέδιο Προσομοιώματος

5.2.9. Κατακόρυφα Φορτία

Τα ίδια βάρη των δομικών στοιχείων (π.χ. υποστυλώματα, δοκοί, πλάκες) υπολογίζονται από το λογισμικό, καθώς και τα μόνιμα και κινητά φορτία των πλακών τα οποία μεταφέρονται στις δοκούς με βάση τις γραμμές διαρροής των πλακών. Τα φορτία των τοίχων επί των δοκών ορίζονται ξεχωριστά και εφαρμόζονται στις εξωτερικές δοκούς των ορόφων του προσομοιώματος (εκτός του τελευταίου ορόφου). Για τον υπολογισμό αυτών των φορτίων θεωρείται για μπατικό τοίχο ίδιο βάρος $G = 3.60 \text{ KN/m}^2$ επί το ύψος του τοίχου 2.50 m, ήτοι κατανεμημένο φορτίο 9.00 KN/m.



Εικόνα 35 - SCADA Pro - Φορτία Μπατικών Τοίχων



Εικόνα 36 - SCADA Pro - Αξονομετρικό Σχέδιο με Κατακόρυφα Φορτία

5.2.10. Ανάλυση Φέροντος Οργανισμού

Το προς ανάλυση κτίριο είναι συμμετρικό και πληροί τα κριτήρια κανονικότητάς κατά EC8. Η φασματική ανάλυση υλοποιείται τόσο με την ισοδύναμη ελαστική στατική ανάλυση όσο και με την ιδιομορφική ανάλυση. Εφόσον γίνεται παραμετρική ανάλυση, οι παράμετροι της ανάλυσης κατά EC8 ορίζονται για σεισμικές ζώνες II και III και για τύπους εδάφους A και B, όπου στις περιπτώσεις του τύπου εδάφους B ενεργοποιείται και η συμμετοχή του εδάφους στην ελαστική ανάλυση.

Παράμετροι EC8

Σεισμική Περιοχή Σεισμικές Περιοχές Ζώνη II a 0.24 *g ΚΑΝΕΠΕ a 0.24 *g ΚΑΔΕΤ a 0.24 *g Σπουδαιότητα Ζώνη II γ ₁ 1		Χαρακτηριστικές Περίοδοι Τύπος Φάσματος Οριζόντιο Κατακόρ. Τύπος 1 S,avg 1 0.9 Εδαφος TB(S) 0.15 0.05 A TC(S) 0.4 0.15 TD(S) 2.5 1		Επίπεδα ΧΖ εφαρμογής της σεισμικής δύναμης Κάτω 0 - 0.00 Ανω 5 - 1500.00	
Φάσμα Φάσμα Απόκρισης Σχεδιασμού Κλάση Πλασιμότητας DCM ζ(%) 5 Οριζόντιο b ₀ 2.5 Κατακόρυφο b ₀ 3 Φάσμα Απόκρισης Ενημέρωση Φάσματος S _d (T) >= 0.2 a*g Είδος Κατασκευής q Σκυρόδεμα ax 3.9 ay 1.5 az 3.9 Τύπος Κατασκευής X Σύστημα Πλαισίων Z Σύστημα Πλαισίων		Εκκεντρότητες e π _x 0.05 π _{Lx} e π _z 0.05 π _{Lz} S _d (T) S _d (TX) 1 S _d (TY) 1 S _d (TZ) 1		Ανοίγματα Εσοχές X ενα Χ Χωρίς εσοχές Z ενα Z Χωρίς εσοχές	
Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου Μέθοδος Υπολογισμού X Δύσακαμπα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα EC8-1 § 4.3.3.2.2 (3) Z Δύσακαμπα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα		Οριο Σχετικής Μετακίνησης ορόφου 0.005 Κτίρια με πλάσματα μη-φέρ Τοιχεία ΚΑΝΕΠΕ		Είδος Κατανομής Τριγωνική ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ	

Default OK Cancel

Εικόνα 37 - SCADA Pro - Παράμετροι Ισοδύναμης Στατικής Ανάλυσης - Ζώνη II - Έδαφος Α

Παράμετροι EC8

Σεισμική Περιοχή Σεισμικές Περιοχές Ζώνη III a 0.36 *g ΚΑΝΕΠΕ a 0.36 *g ΚΑΔΕΤ a 0.36 *g Σπουδαιότητα Ζώνη II γ ₁ 1		Χαρακτηριστικές Περίοδοι Τύπος Φάσματος Οριζόντιο Κατακόρ. Τύπος 1 S,avg 1 0.9 Εδαφος TB(S) 0.15 0.05 A TC(S) 0.4 0.15 TD(S) 2.5 1		Επίπεδα ΧΖ εφαρμογής της σεισμικής δύναμης Κάτω 0 - 0.00 Ανω 5 - 1500.00	
Φάσμα Φάσμα Απόκρισης Σχεδιασμού Κλάση Πλασιμότητας DCM ζ(%) 5 Οριζόντιο b ₀ 2.5 Κατακόρυφο b ₀ 3 Φάσμα Απόκρισης Ενημέρωση Φάσματος S _d (T) >= 0.2 a*g Είδος Κατασκευής q Σκυρόδεμα ax 3.9 ay 1.5 az 3.9 Τύπος Κατασκευής X Σύστημα Πλαισίων Z Σύστημα Πλαισίων		Εκκεντρότητες e π _x 0.05 π _{Lx} e π _z 0.05 π _{Lz} S _d (T) S _d (TX) 1 S _d (TY) 1 S _d (TZ) 1		Ανοίγματα Εσοχές X ενα Χ Χωρίς εσοχές Z ενα Z Χωρίς εσοχές	
Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου Μέθοδος Υπολογισμού X Δύσακαμπα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα EC8-1 § 4.3.3.2.2 (3) Z Δύσακαμπα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα		Οριο Σχετικής Μετακίνησης ορόφου 0.005 Κτίρια με πλάσματα μη-φέρ Τοιχεία ΚΑΝΕΠΕ		Είδος Κατανομής Τριγωνική ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ	

Default OK Cancel

Εικόνα 38 - SCADA Pro – Παράμετροι Ισοδύναμης Στατικής Ανάλυσης - Ζώνη III - Έδαφος Α

Παράμετροι EC8

Σεισμική Περιοχή
Χαρακτηριστικές Περίοδοι
Επίπεδα ΧΖ εφαρμογής της σεισμικής δύναμης

Σεισμικές Περιοχές

Ζώνη II a 0.24 *g

KANEPΕ ΚΑΔΕΤ a 0.24 *g

Σπουδαιότητα

Ζώνη II γι 1

Τύπος Φάσματος

Τύπος 1	S,avg	Οριζόντιο	Κατακόρ.
1	1	0.15	0.9
Εδαφος	TB(S)	0.15	0.05
A	TC(S)	0.4	0.15
	TD(S)	2.5	1

Κάτω 0 - 0.00

Ανω 5 - 1500.00

Φάσμα

Φάσμα Απόκρισης Σχεδιασμού Κλάση Πλασμιότητας DCM

ζ(%) 5 Οριζόντιο b0 2.5 Κατακόρυφο b0 3

Φάσμα Απόκρισης Ενημέρωση Φάσματος Sd(T) >= 0.2 a*g

Είδος Κατασκευής

Σκυρόδεμα q

qx 3.9 qy 1.5 qz 3.9

Τύπος Κατασκευής

X Σύστημα Πλαισίων Z Σύστημα Πλαισίων

Εκκεντρότητες

e πx 0.05 *Lx

e πz 0.05 *Lz

Sd (T)

Sd (TX) 1

Sd (TY) 1

Sd (TZ) 1

Δυναμική Ανάλυση

Ιδιοτιμές 15 Ακρίβεια 0.001 CQC

Συντελεστές Συμμετοχής Φάσματος Απόκρισης

PFx 0 PFy 0 PFz 0

Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου

Μέθοδος Υπολογισμού X Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Ιδιομορφική Ανάλυση Z Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Οριο Σχετικής Μετακίνησης ορόφου 0.005 Κτίρια με πλάσιμα μη-φέρ

Είδος Κατανομής Τριγωνική

Ανοίγματα

X ενα Χωρίς εσοχές

Z ενα Χωρίς εσοχές

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Default OK Cancel

Εικόνα 39 - SCADA Pro - Παράμετροι Ιδιομορφικής Ανάλυσης - Ζώνη II - Έδαφος A

Παράμετροι EC8

Σεισμική Περιοχή
Χαρακτηριστικές Περίοδοι
Επίπεδα ΧΖ εφαρμογής της σεισμικής δύναμης

Σεισμικές Περιοχές

Ζώνη III a 0.36 *g

KANEPΕ ΚΑΔΕΤ a 0.36 *g

Σπουδαιότητα

Ζώνη II γι 1

Τύπος Φάσματος

Τύπος 1	S,avg	Οριζόντιο	Κατακόρ.
1	1	0.15	0.9
Εδαφος	TB(S)	0.15	0.05
A	TC(S)	0.4	0.15
	TD(S)	2.5	1

Κάτω 0 - 0.00

Ανω 5 - 1500.00

Φάσμα

Φάσμα Απόκρισης Σχεδιασμού Κλάση Πλασμιότητας DCM

ζ(%) 5 Οριζόντιο b0 2.5 Κατακόρυφο b0 3

Φάσμα Απόκρισης Ενημέρωση Φάσματος Sd(T) >= 0.2 a*g

Είδος Κατασκευής

Σκυρόδεμα q

qx 3.9 qy 1.5 qz 3.9

Τύπος Κατασκευής

X Σύστημα Πλαισίων Z Σύστημα Πλαισίων

Εκκεντρότητες

e πx 0.05 *Lx

e πz 0.05 *Lz

Sd (T)

Sd (TX) 1

Sd (TY) 1

Sd (TZ) 1

Δυναμική Ανάλυση

Ιδιοτιμές 15 Ακρίβεια 0.001 CQC

Συντελεστές Συμμετοχής Φάσματος Απόκρισης

PFx 0 PFy 0 PFz 0

Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου

Μέθοδος Υπολογισμού X Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Ιδιομορφική Ανάλυση Z Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Οριο Σχετικής Μετακίνησης ορόφου 0.005 Κτίρια με πλάσιμα μη-φέρ

Είδος Κατανομής Τριγωνική

Ανοίγματα

X ενα Χωρίς εσοχές

Z ενα Χωρίς εσοχές

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Default OK Cancel

Εικόνα 40 - SCADA Pro - Παράμετροι Ιδιομορφικής Ανάλυσης - Ζώνη III - Έδαφος A

Παράμετροι EC8

Σεισμική Περιοχή Σεισμικές Περιοχές Ζώνη II a 0.24 *g ΚΑΝΕΠΕ a 0.24 *g ΚΑΔΕΤ Σπουδαιότητα Ζώνη II γ ₁ 1		Χαρακτηριστικές Περίοδοι Τύπος Φάσματος Τύπος 1 S _{v,avg} 1.2 0.9 Εδαφος B TB(S) 0.15 0.05 TC(S) 0.5 0.15 TD(S) 2.5 1		Επίπεδα ΧΖ εφαρμογής της σεισμικής δύναμης Κάτω 0 - 0.00 Άνω 5 - 1500.00	
Φάσμα Φάσμα Απόκρισης Σχεδιασμού Κλάση Πλασσιμότητας DCM ζ(%) 5 Οριζόντιο b ₀ 2.5 Κατακόρυφο b ₀ 3 Φάσμα Απόκρισης Ενημέρωση Φάσματος S _d (T) >= 0.2 a*g Είδος Κατασκευής Σκυρόδεμα q α _x 3.9 α _y 1.5 α _z 3.9 Τύπος Κατασκευής X Σύστημα Πλαισίων Z Σύστημα Πλαισίων		Εκκεντρότητες e π _x 0.05 π _{Lx} e π _z 0.05 π _{Lz} S _d (T) S _d (T _X) 1 S _d (T _Y) 1 S _d (T _Z) 1		Ανοίγματα Εσοχές X ενα Χ Χωρίς εσοχές Z ενα Z Χωρίς εσοχές	
Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου Μέθοδος Υπολογισμού EC8-1 § 4.3.3.2.2 (3) X Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα Z Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα		Οριο Σχετικής Μετακίνησης ορόφου 0.005 Κτίρια με πλάσμα μη-φέρε Τοιχεία ΚΑΝΕΠΕ Είδος Κατανομής Τριγωνική ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ		Default OK Cancel	

Εικόνα 41 - SCADA Pro - Παράμετροι Ισοδύναμης Στατικής Ανάλυσης - Ζώνη II - Έδαφος B

Παράμετροι EC8

Σεισμική Περιοχή Σεισμικές Περιοχές Ζώνη III a 0.36 *g ΚΑΝΕΠΕ a 0.36 *g ΚΑΔΕΤ Σπουδαιότητα Ζώνη II γ ₁ 1		Χαρακτηριστικές Περίοδοι Τύπος Φάσματος Τύπος 1 S _{v,avg} 1.2 0.9 Εδαφος B TB(S) 0.15 0.05 TC(S) 0.5 0.15 TD(S) 2.5 1		Επίπεδα ΧΖ εφαρμογής της σεισμικής δύναμης Κάτω 0 - 0.00 Άνω 5 - 1500.00	
Φάσμα Φάσμα Απόκρισης Σχεδιασμού Κλάση Πλασσιμότητας DCM ζ(%) 5 Οριζόντιο b ₀ 2.5 Κατακόρυφο b ₀ 3 Φάσμα Απόκρισης Ενημέρωση Φάσματος S _d (T) >= 0.2 a*g Είδος Κατασκευής Σκυρόδεμα q α _x 3.9 α _y 1.5 α _z 3.9 Τύπος Κατασκευής X Σύστημα Πλαισίων Z Σύστημα Πλαισίων		Εκκεντρότητες e π _x 0.05 π _{Lx} e π _z 0.05 π _{Lz} S _d (T) S _d (T _X) 1 S _d (T _Y) 1 S _d (T _Z) 1		Ανοίγματα Εσοχές X ενα Χ Χωρίς εσοχές Z ενα Z Χωρίς εσοχές	
Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου Μέθοδος Υπολογισμού EC8-1 § 4.3.3.2.2 (3) X Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα Z Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα		Οριο Σχετικής Μετακίνησης ορόφου 0.005 Κτίρια με πλάσμα μη-φέρε Τοιχεία ΚΑΝΕΠΕ Είδος Κατανομής Τριγωνική ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ		Default OK Cancel	

Εικόνα 42 - SCADA Pro - Παράμετροι Ισοδύναμης Στατικής Ανάλυσης - Ζώνη III - Έδαφος B

Παράμετροι EC8

Σεισμική Περιοχή

Σεισμικές Περιοχές

Ζώνη II a 0.24 *g
KANEPETE
KADET a 0.24 *g

Σπουδαιότητα
Ζώνη II γι 1

Χαρακτηριστικές Περίοδοι

Τύπος Φάσματος	Οριζόντιο	Κατακόρ.
Τύπος 1	S,avg 1.2	0.9
Εδαφος	TB(S) 0.15	0.05
B	TC(S) 0.5	0.15
	TD(S) 2.5	1

Επίπεδα ΧΖ εφαρμογής της σεισμικής δύναμης

Κάτω 0 - 0.00 Άνω 5 - 1500.00

Δυναμική Ανάλυση

Ιδιοτιμές 15 Ακρίβεια 0.001 CQC

Συντελεστές Συμμετοχής Φάσματος Απόκρισης

PFx 0 PFy 0 PFz 0

Φάσμα

Φάσμα Απόκρισης Σχεδιασμού Κλάση Πλασιμότητας DCM

ζ(%) 5 Οριζόντιο b0 2.5 Κατακόρυφο b0 3

Φάσμα Απόκρισης Ενημέρωση Φάσματος Sd(T) >= 0.2 a*g

Είδος Κατασκευής

Σκυρόδεμα q ax 3.9 ay 1.5 az 3.9

Τύπος Κατασκευής

X Σύστημα Πλαισίων Z Σύστημα Πλαισίων

Εκκεντρότητες

e πχ 0.05 *Lx Sd (TX) 1

e πz 0.05 *Lz Sd (TY) 1

Sd (TZ) 1

Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου

Μέθοδος Υπολογισμού X Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Ιδιομορφική Ανάλυση Z Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Όριο Σχετικής Μετακίνησης ορόφου 0.005 Κτίρια με πλάσμα μη-φέρ

Είδος Κατανομής Τριγωνική

Ανοίγματα Εσοχές

X ενα Χ Χωρίς εσοχές

Z ενα Z Χωρίς εσοχές

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Default OK Cancel

Εικόνα 43 - SCADA Pro - Παράμετροι Ιδιομορφικής Ανάλυσης - Ζώνη II - Έδαφος B

Παράμετροι EC8

Σεισμική Περιοχή

Σεισμικές Περιοχές

Ζώνη III a 0.36 *g
KANEPETE
KADET a 0.36 *g

Σπουδαιότητα
Ζώνη II γι 1

Χαρακτηριστικές Περίοδοι

Τύπος Φάσματος	Οριζόντιο	Κατακόρ.
Τύπος 1	S,avg 1.2	0.9
Εδαφος	TB(S) 0.15	0.05
B	TC(S) 0.5	0.15
	TD(S) 2.5	1

Επίπεδα ΧΖ εφαρμογής της σεισμικής δύναμης

Κάτω 0 - 0.00 Άνω 5 - 1500.00

Δυναμική Ανάλυση

Ιδιοτιμές 15 Ακρίβεια 0.001 CQC

Συντελεστές Συμμετοχής Φάσματος Απόκρισης

PFx 0 PFy 0 PFz 0

Φάσμα

Φάσμα Απόκρισης Σχεδιασμού Κλάση Πλασιμότητας DCM

ζ(%) 5 Οριζόντιο b0 2.5 Κατακόρυφο b0 3

Φάσμα Απόκρισης Ενημέρωση Φάσματος Sd(T) >= 0.2 a*g

Είδος Κατασκευής

Σκυρόδεμα q ax 3.9 ay 1.5 az 3.9

Τύπος Κατασκευής

X Σύστημα Πλαισίων Z Σύστημα Πλαισίων

Εκκεντρότητες

e πχ 0.05 *Lx Sd (TX) 1

e πz 0.05 *Lz Sd (TY) 1

Sd (TZ) 1

Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου

Μέθοδος Υπολογισμού X Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Ιδιομορφική Ανάλυση Z Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Όριο Σχετικής Μετακίνησης ορόφου 0.005 Κτίρια με πλάσμα μη-φέρ

Είδος Κατανομής Τριγωνική

Ανοίγματα Εσοχές

X ενα Χ Χωρίς εσοχές

Z ενα Z Χωρίς εσοχές

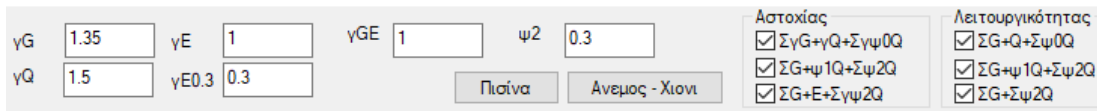
ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Default OK Cancel

Εικόνα 44 - SCADA Pro - Παράμετροι Ιδιομορφικής Ανάλυσης - Ζώνη III - Έδαφος B

Οι συνδυασμοί των φορτίσεων ορίζονται σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα και τον αντίστοιχο πίνακα.

Συνδυασμοί Στε Φορτίσεων



Εικόνα 45 - SCADA Pro - Συνδυασμοί Φορτίσεων

Πίνακας 11 - Συνδυασμοί Φορτίσεων

ΕΙΔΟΣ	ΔΙΕΥ-ΘΥΝΣΗ	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8	LC9
ΣΕΝΑΡΙΟ		EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static
ΦΟΡΤΙΣΗ		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΤΥΠΟΣ		G	Q	EX	EZ	ERX	ERX	ERZ	ERZ	EY
1	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.35	1.50						
2	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.50						
3	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	0.30	1.00		0.30	
4	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	0.30	1.00		0.30	-0.30
5	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	-0.30	1.00		-0.30	0.30
6	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	-0.30	1.00		-0.30	-0.30
7	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	0.30	-1.00		0.30	0.30
8	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	0.30	-1.00		0.30	-0.30
9	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	-0.30	-1.00		-0.30	0.30
10	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	-0.30	-1.00		-0.30	-0.30
11	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	0.30	1.00		0.30	0.30
12	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	0.30	1.00		0.30	-0.30
13	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	-0.30	1.00		-0.30	0.30
14	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	-0.30	1.00		-0.30	-0.30
15	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	0.30	-1.00		0.30	0.30
16	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	0.30	-1.00		0.30	-0.30
17	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	-0.30	-1.00		-0.30	0.30
18	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	-0.30	-1.00		-0.30	-0.30
19	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	0.30		1.00	0.30	0.30
20	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	0.30		1.00	0.30	-0.30
21	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	-0.30		1.00	-0.30	0.30
22	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	-0.30		1.00	-0.30	-0.30
23	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	0.30		-1.00	0.30	0.30
24	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	0.30		-1.00	0.30	-0.30
25	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	-0.30		-1.00	-0.30	0.30
26	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	-0.30		-1.00	-0.30	-0.30
27	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	0.30		1.00	0.30	0.30
28	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	0.30		1.00	0.30	-0.30
29	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	-0.30		1.00	-0.30	0.30
30	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+X	1.00	0.30	1.00	-0.30		1.00	-0.30	-0.30
31	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	0.30		-1.00	0.30	0.30
32	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	0.30		-1.00	0.30	-0.30
33	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	-0.30		-1.00	-0.30	0.30
34	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-X	1.00	0.30	-1.00	-0.30		-1.00	-0.30	-0.30
35	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	0.30	1.00	0.30		1.00	0.30
36	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	0.30	1.00	0.30		1.00	-0.30
37	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	-0.30	1.00	-0.30		1.00	0.30
38	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	-0.30	1.00	-0.30		1.00	-0.30
39	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	0.30	-1.00	0.30		-1.00	0.30
40	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	0.30	-1.00	0.30		-1.00	-0.30
41	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	-0.30	-1.00	-0.30		-1.00	0.30
42	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	-0.30	-1.00	-0.30		-1.00	-0.30
43	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	0.30	1.00		0.30	1.00	0.30
44	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	0.30	1.00		0.30	1.00	-0.30
45	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	-0.30	1.00		-0.30	1.00	0.30
46	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	-0.30	1.00		-0.30	1.00	-0.30
47	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	0.30	-1.00		0.30	-1.00	0.30
48	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	0.30	-1.00		0.30	-1.00	-0.30

ΕΙΔΟΣ		ΔΙΕΥ- ΘΥΝΣΗ	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8	LC9
ΣΕΝΑΡΙΟ			EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static	EC8 Greek Static
ΦΟΡΤΙΣΗ			1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΤΥΠΟΣ			G	Q	EX	EZ	ERX	ERY	ERZ	ERX	EY
49	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	-0.30	-1.00		-0.30	-1.00		0.30
50	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	-0.30	-1.00		-0.30	-1.00		-0.30
51	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	0.30	1.00	0.30			1.00	0.30
52	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	0.30	1.00	0.30			1.00	-0.30
53	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	-0.30	1.00	-0.30			1.00	0.30
54	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	-0.30	1.00	-0.30			1.00	-0.30
55	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	0.30	-1.00	0.30			-1.00	0.30
56	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	0.30	-1.00	0.30			-1.00	-0.30
57	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	-0.30	-1.00	-0.30			-1.00	0.30
58	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	-0.30	-1.00	-0.30			-1.00	-0.30
59	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	0.30	1.00		0.30		1.00	0.30
60	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	0.30	1.00		0.30		1.00	-0.30
61	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	-0.30	1.00		-0.30		1.00	0.30
62	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	+Z	1.00	0.30	-0.30	1.00		-0.30		1.00	-0.30
63	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	0.30	-1.00		0.30		-1.00	0.30
64	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	0.30	-1.00		0.30		-1.00	-0.30
65	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	-0.30	-1.00		-0.30		-1.00	0.30
66	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-Z	1.00	0.30	-0.30	-1.00		-0.30		-1.00	-0.30
67	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30		0.30		1.00
68	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30		0.30		-1.00
69	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	-0.30	0.30		-0.30		1.00
70	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	-0.30	0.30		-0.30		-1.00
71	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30		0.30		1.00
72	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30		0.30		-1.00
73	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	-0.30	-0.30		-0.30		1.00
74	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	-0.30	-0.30		-0.30		-1.00
75	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30			0.30	1.00
76	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30			0.30	-1.00
77	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	-0.30	0.30			-0.30	1.00
78	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	-0.30	0.30			-0.30	-1.00
79	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30			0.30	1.00
80	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30			0.30	-1.00
81	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	-0.30	-0.30			-0.30	1.00
82	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	-0.30	-0.30			-0.30	-1.00
83	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	0.30		0.30	0.30		1.00
84	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	0.30		0.30	0.30		-1.00
85	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	-0.30		0.30	-0.30		1.00
86	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	-0.30		0.30	-0.30		-1.00
87	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	0.30		-0.30	0.30		1.00
88	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	0.30		-0.30	0.30		-1.00
89	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	-0.30		-0.30	-0.30		1.00
90	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	-0.30		-0.30	-0.30		-1.00
91	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	0.30		0.30		0.30	1.00
92	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	0.30		0.30		0.30	-1.00
93	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	-0.30		0.30		-0.30	1.00
94	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	0.30	-0.30		0.30		-0.30	-1.00
95	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	0.30		-0.30		0.30	1.00
96	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	0.30		-0.30		0.30	-1.00
97	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	-0.30		-0.30		-0.30	1.00
98	ΑΣΤΟΧΙΑΣ	-	1.00	0.30	-0.30	-0.30		-0.30		-0.30	-1.00
99	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙ- ΚΟΤΗΤΑΣ	-	1.00	1.00							
100	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙ- ΚΟΤΗΤΑΣ	-	1.00	0.50							
101	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙ- ΚΟΤΗΤΑΣ	-	1.00	0.30							

Το λογισμικό λαμβάνει υπόψη τη διαφραγματική λειτουργία των πλακών κατά την ελαστική ανάλυση. Με το πέρας της ανάλυσης υπολογίζονται τα εντατικά μεγέθη και οι μετακινήσεις του προσομοιώματος του φέροντος οργανισμού, γίνονται οι απαιτούμενοι έλεγχοι κατά τους κανονισμούς (π.χ. έλεγχοι κανονικότητας, έλεγχοι σχετικής μετακίνησης ορόφων, ικανοτικοί έλεγχοι, κτλ.) και στη συνέχεια ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός με την τελική διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων.

5.2.11. Ενδεικτικοί Κανονιστικοί Έλεγχοι

Πίνακας 12 - Έλεγχοι για Ζώνη II - Έδαφος Α - Ισοδύναμη Στατική Ανάλυση

Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας					
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)					Ικανοποιείται
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου					
a/a Στάθμης	Συν/κο Ύψος (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds = q \cdot de$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο = 0.005
1	3.000	13.43	3.000	0.0022	Ικανοποιείται
2	6.000	19.30	3.000	0.0032	Ικανοποιείται
3	9.000	17.00	3.000	0.0028	Ικανοποιείται
4	12.000	12.32	3.000	0.0021	Ικανοποιείται
5	15.000	06.58	3.000	0.0011	Ικανοποιείται

Πίνακας 13 - Έλεγχοι για Ζώνη II - Έδαφος Α - Ιδιομορφική Ανάλυση

Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας					
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)					Ικανοποιείται
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου					
a/a Στάθμης	Συν/κο Ύψος (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds = q \cdot de$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο = 0.005
1	3.000	10.96	3.000	0.0018	Ικανοποιείται
2	6.000	15.49	3.000	0.0026	Ικανοποιείται
3	9.000	13.34	3.000	0.0022	Ικανοποιείται
4	12.000	09.43	3.000	0.0016	Ικανοποιείται
5	15.000	04.95	3.000	0.0008	Ικανοποιείται

Πίνακας 14 - Έλεγχοι για Ζώνη ΙΙΙ - Έδαφος Α - Ισοδύναμη Στατική Ανάλυση

Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας					
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)					Ικανοποιείται
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου					
a/a Στάθμης	Συν/κο Ύψος (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds = q \cdot de$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο = 0.005
1	3.000	20.14	3.000	0.0034	Ικανοποιείται
2	6.000	28.90	3.000	0.0048	Ικανοποιείται
3	9.000	25.55	3.000	0.0043	Ικανοποιείται
4	12.000	18.49	3.000	0.0031	Ικανοποιείται
5	15.000	09.87	3.000	0.0016	Ικανοποιείται

Πίνακας 15 - Έλεγχοι για Ζώνη ΙΙΙ - Έδαφος Α - Ιδιομορφική Ανάλυση

Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας					
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)					Ικανοποιείται
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου					
a/a Στάθμης	Συν/κο Ύψος (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds = q \cdot de$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο = 0.005
1	3.000	16.45	3.000	0.0018	Ικανοποιείται
2	6.000	23.25	3.000	0.0026	Ικανοποιείται
3	9.000	20.03	3.000	0.0022	Ικανοποιείται
4	12.000	14.16	3.000	0.0016	Ικανοποιείται
5	15.000	07.42	3.000	0.0008	Ικανοποιείται

Παρατηρούμε ότι όλοι οι έλεγχοι ικανοποιούνται για τον τύπο εδάφους Α και για τις δύο σεισμικές ζώνες, τόσο με την ισοδύναμη στατική φασματική ανάλυση όσο και με την ιδιομορφική φασματική ανάλυση.

Πίνακας 16 - Έλεγχοι για Ζώνη II - Έδαφος Β - Ισοδύναμη Στατική Ανάλυση

Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας					
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)					Ικανοποιείται
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου					
a/a Στάθμης	Συν/κο Ύψος (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds = q \cdot de$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο = 0.005
1	3.000	21.82	3.000	0.0036	Ικανοποιείται
2	6.000	29.95	3.000	0.0050	Ικανοποιείται
3	9.000	26.75	3.000	0.0045	Ικανοποιείται
4	12.000	19.73	3.000	0.0033	Ικανοποιείται
5	15.000	11.15	3.000	0.0019	Ικανοποιείται

Πίνακας 17 - Έλεγχοι για Ζώνη II - Έδαφος Β - Ιδιομορφική Ανάλυση

Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας					
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)					Ικανοποιείται
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου					
a/a Στάθμης	Συν/κο Ύψος (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds = q \cdot de$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο = 0.005
1	3.000	17.24	3.000	0.0029	Ικανοποιείται
2	6.000	23.39	3.000	0.0039	Ικανοποιείται
3	9.000	20.50	3.000	0.0034	Ικανοποιείται
4	12.000	14.80	3.000	0.0025	Ικανοποιείται
5	15.000	08.20	3.000	0.0014	Ικανοποιείται

Παρατηρούμε ότι όλοι οι έλεγχοι ικανοποιούνται για τον τύπο εδάφους Β και για τη σεισμική ζώνη II, τόσο με την ισοδύναμη στατική φασματική ανάλυση όσο και με την ιδιομορφική φασματική ανάλυση.

Πίνακας 18 - Έλεγχοι για Ζώνη III - Έδαφος Β - Ισοδύναμη Στατική Ανάλυση

Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας					
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)					Ικανοποιείται
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου					
α/α Στάθμης	Συν/κο Ύψος (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds = q \cdot de$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο = 0.005
1	3.000	32.72	3.000	0.0055	Δεν Ικανοποιείται
2	6.000	44.90	3.000	0.0075	Δεν Ικανοποιείται
3	9.000	40.10	3.000	0.0067	Δεν Ικανοποιείται
4	12.000	29.60	3.000	0.0049	Ικανοποιείται
5	15.000	16.72	3.000	0.0028	Ικανοποιείται

Παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος σχετικής μετακίνησης του 1^{ου}, 2^{ου} και 3^{ου} ορόφου.

Πίνακας 19 - Έλεγχοι για Ζώνη III - Έδαφος Β - Ιδιομορφική Ανάλυση

Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας					
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X					Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο					Ικανοποιείται
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)					Ικανοποιείται
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου					
α/α Στάθμης	Συν/κο Ύψος (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds = q \cdot de$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο = 0.005
1	3.000	25.86	3.000	0.0043	Δεν Ικανοποιείται
2	6.000	35.08	3.000	0.0059	Δεν Ικανοποιείται
3	9.000	30.75	3.000	0.0051	Δεν Ικανοποιείται
4	12.000	22.19	3.000	0.0037	Ικανοποιείται
5	15.000	12.30	3.000	0.0021	Ικανοποιείται

Με την ιδιομορφική ανάλυση, παρατηρούμε ότι δεν ικανοποιείται ο έλεγχος σχετικής μετακίνησης του 2^{ου} και του 3^{ου} ορόφου, κάπως οριακά.

Γενικά, στις περιπτώσεις μη ικανοποίησης του ελέγχου σχετικής μετακίνησης ορόφων απαιτείται επανασχεδιασμός του φέροντος οργανισμού (π.χ. με αύξηση των διατομών των υποστυλωμάτων), ώστε να αυξηθεί η οριζόντια δυσκαμψία του φέροντος οργανισμού.

Όσον αφορά τον παραμετρικό σχεδιασμό, παρατηρούμε ότι οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων είναι μεγαλύτερες για τύπο εδάφους Β από τις αντίστοιχες για τύπο εδάφους Α για την ίδια σεισμική ζώνη. Δηλαδή, η συμμετοχή του εδάφους στην ανάλυση συνέβαλε σε μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις ορόφων.

Αντίστοιχα, οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων για τον ίδιο τύπο εδάφους είναι μεγαλύτερες για τη σεισμική ζώνη ΙΙΙ από τη ζώνη ΙΙ. Άρα, η μεγαλύτερη τέμνουσα βάση της σεισμικής ζώνης ΙΙΙ προκάλεσε μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις ορόφων σε σχέση με αυτές της ζώνης ΙΙ.

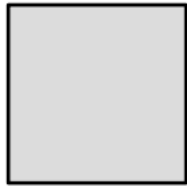
Τέλος, με τις ιδιομορφικές αναλύσεις προέκυψαν γενικά μικρότερες σχετικές μετακινήσεις ορόφων από αυτές των αντίστοιχων ισοδύναμων στατικών αναλύσεων.

5.2.12. Σχεδιασμός Ξυλότυπων

Μετά την ολοκλήρωση της διαστασιολόγησης προκύπτουν οι οπλισμοί των δομικών στοιχείων και σχεδιάζονται οι ξυλότυποι των ορόφων.

Δεν υπήρξε διαφοροποίηση στους οπλισμούς για τα τέσσερα σενάρια παραμετρικού σχεδιασμού, ήτοι σεισμικής ζώνης ΙΙ ή ΙΙΙ και τύπου εδάφους Α ή Β. Στις περιπτώσεις όμως που δεν πληρείται ο έλεγχος σχετικής μετακίνησης ορόφου, ο σχεδιασμός με τις υπάρχουσες διαστάσεις διατομών, δεν μπορεί να γίνει αποδεκτός κατά EC8.

Στη συνέχεια απεικονίζονται οι ξυλότυποι κάθε επιπέδου, της θεμελίωσης και από τον 1^ο έως τον 5^ο όροφο.



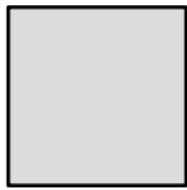
IF1 200/200
Υ Ø14mm/10 L Ø14mm/10



IF2 200/200
Υ Ø14mm/10 L Ø14mm/10



IF3 200/200
Υ Ø14mm/10 L Ø14mm/10



IF4 200/200
Υ Ø14mm/10 L Ø14mm/10



IF5 200/200
Υ Ø14mm/10 L Ø14mm/10



IF6 200/200
Υ Ø14mm/10 L Ø14mm/10



IF7 200/200
Υ Ø14mm/10 L Ø14mm/10

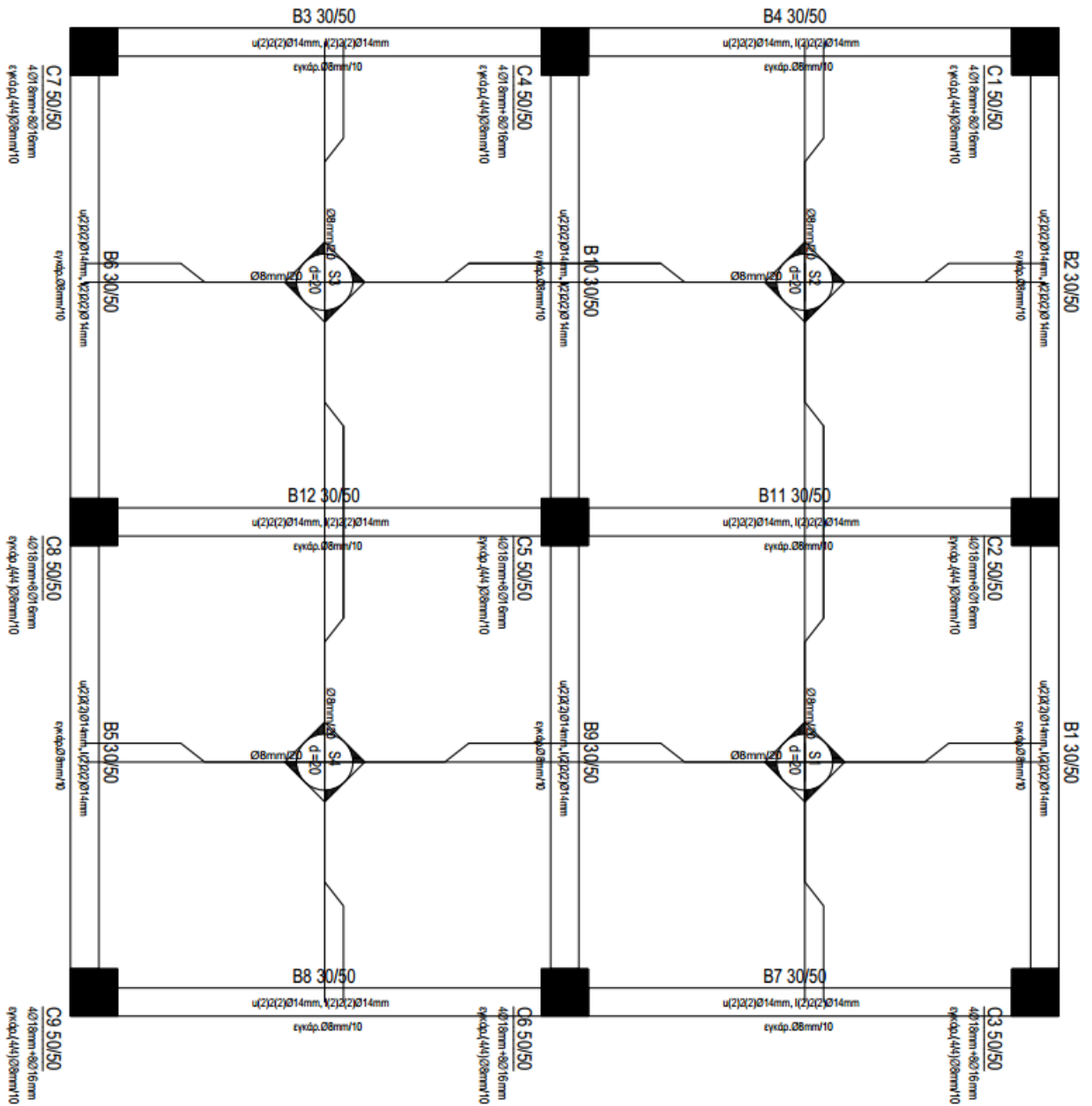


IF8 200/200
Υ Ø14mm/10 L Ø14mm/10

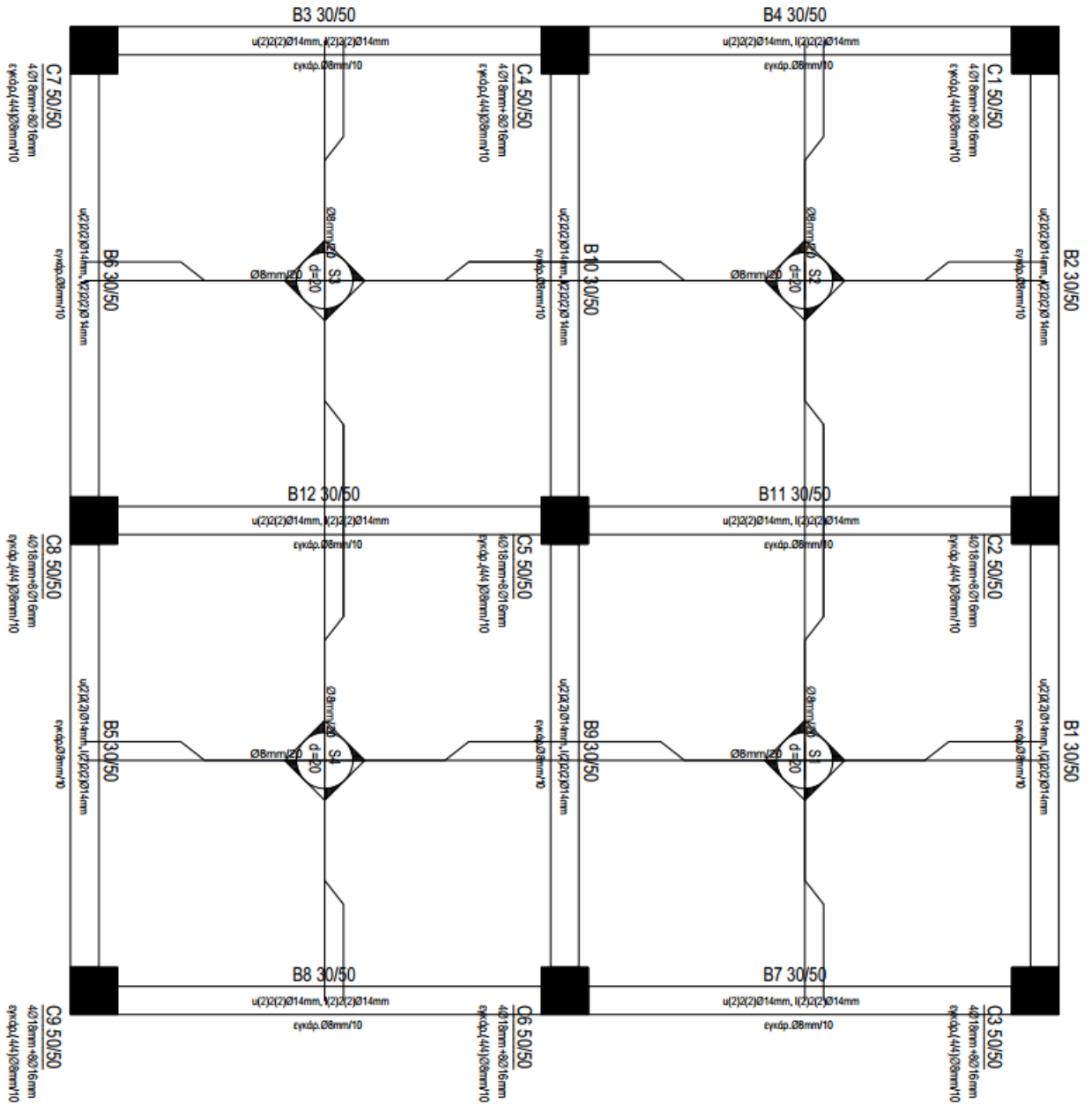


IF9 200/200
Υ Ø14mm/10 L Ø14mm/10

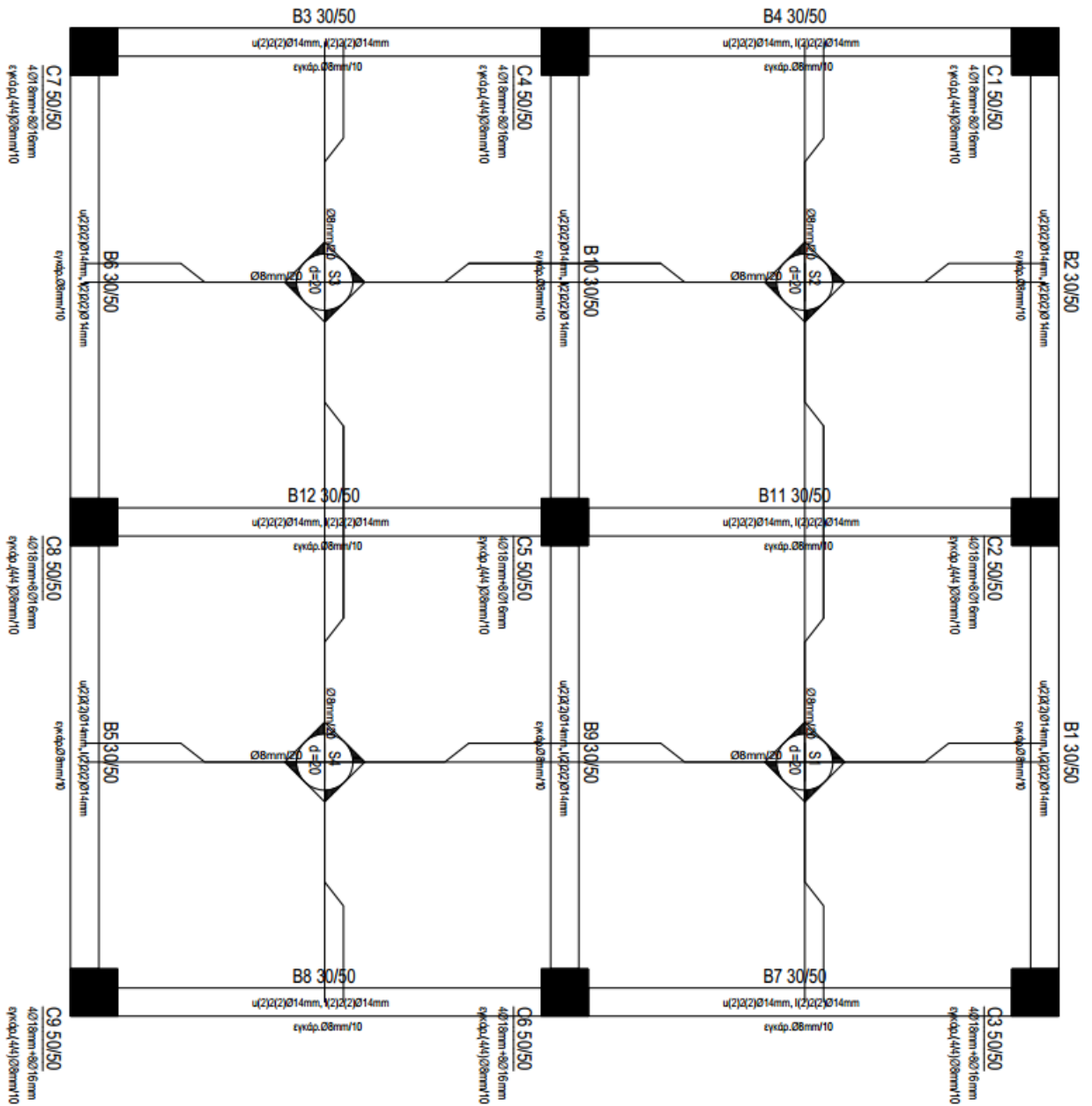
Σχέδιο 46 - Επίπεδο 0 - Ξυλότυπος Θεμελίωσης



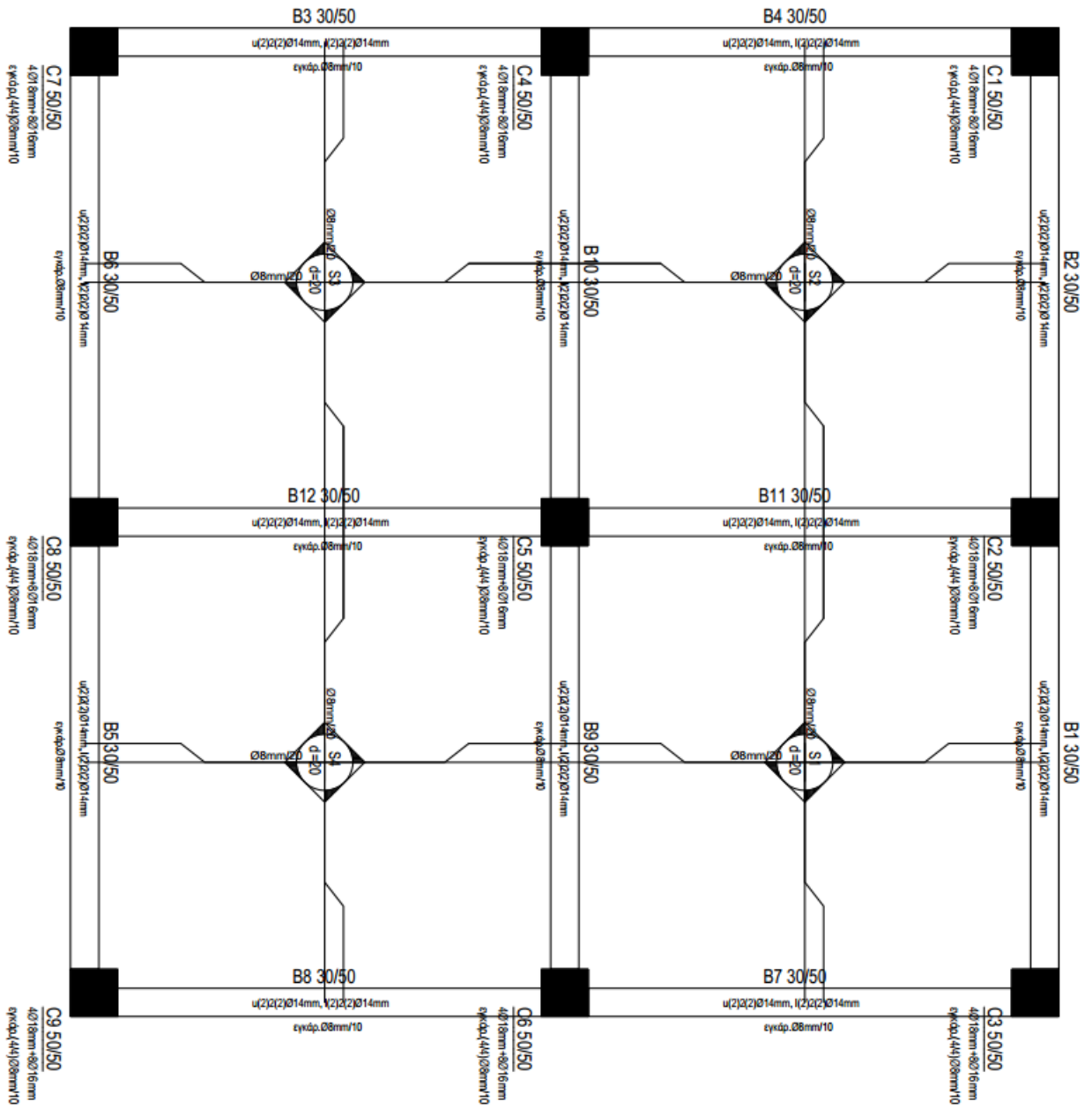
Σχέδιο 47 - Επίπεδο 1 - Ξυλότυπος 1^ο Ορόφου



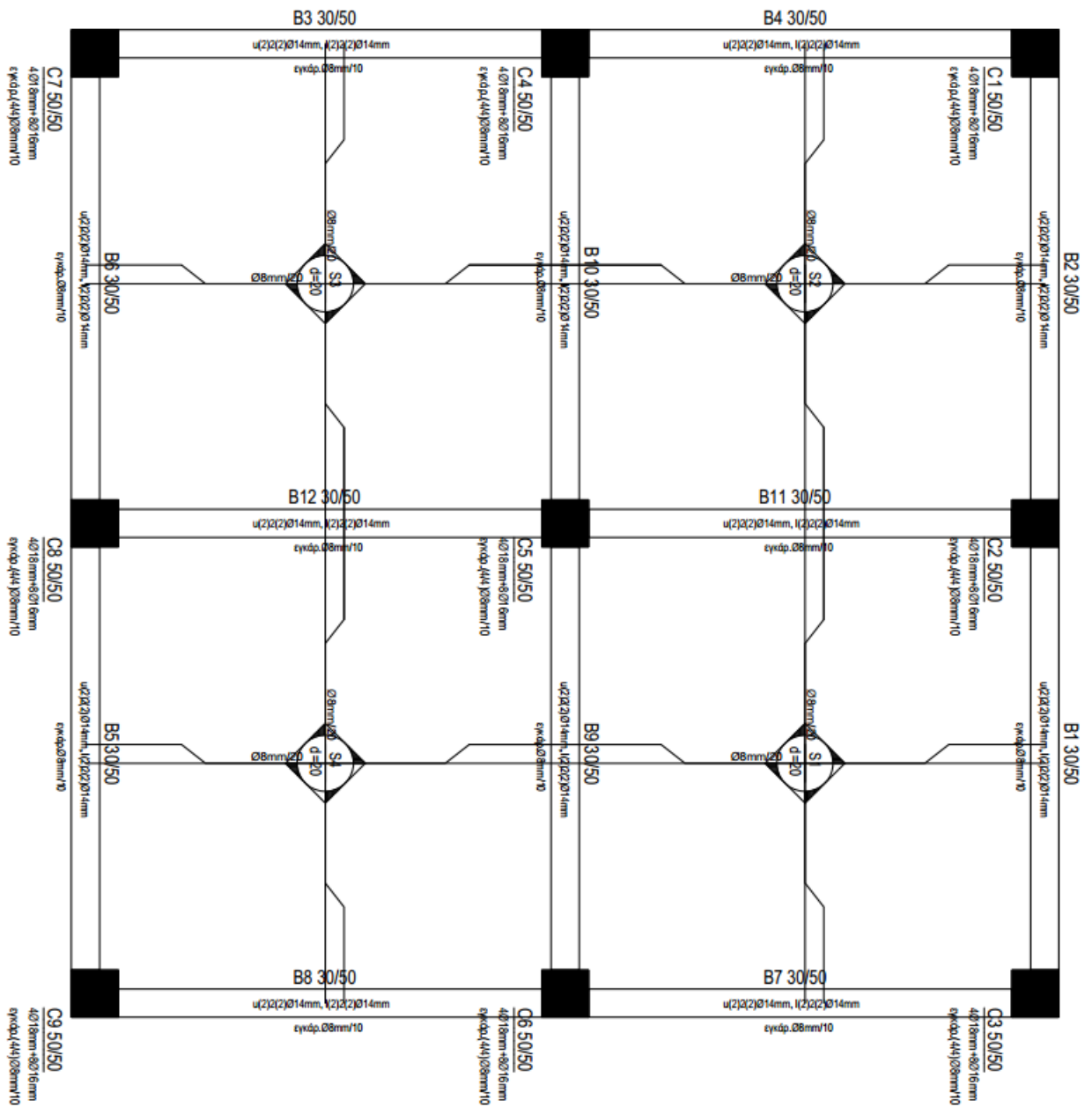
Σχέδιο 48 - Επίπεδο 2 - Ξυλότυπος 2^ο Ορόφου



Σχέδιο 49 - Επίπεδο 3 - Ξυλότυπος 3^{ου} Ορόφου



Σχέδιο 50 - Επίπεδο 4 - Ξυλότυπος 4^ο Ορόφου



Σχέδιο 51 - Επίπεδο 5 - Ξυλότυπος 5^{ος} Ορόφου

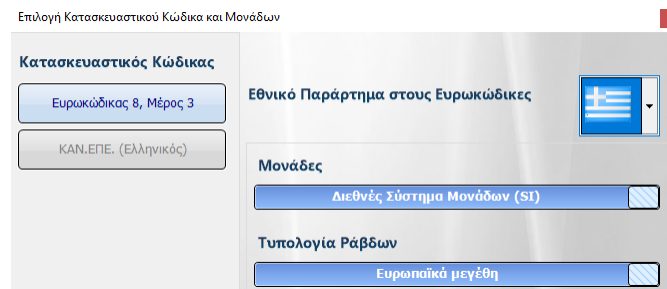
5.3. Σεισμική Αποτίμηση του Κτιρίου

5.3.1. Λογισμικό SEISMOBUILD

Η σεισμική αποτίμηση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου γίνεται με το λογισμικό Seismobuild της εταιρίας Seismosoft (<https://seismosoft.com>). Το Seismobuild βασίζεται στη μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων με δυνατότητες σεισμικής ανάλυσης, αποτίμησης και ενίσχυσης κτιριακών κατασκευών από Ο/Σ. Υποστηρίζει ιδιομορφική ανάλυση, μη γραμμική στατική ανάλυση pushover και μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη γεωμετρική μη γραμμικότητα, όσο και την μη γραμμικότητα των υλικών. Για την σεισμική αποτίμηση, μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε τον Ευρωκώδικα 8, Μέρος 3 (EC8-3) με τα Ελληνικά Παραρτήματα είτε τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ακολουθούν ενδεικτικές εικόνες του λογισμικού κατά την γραφική εισαγωγή των δεδομένων για την ανάλυση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου.

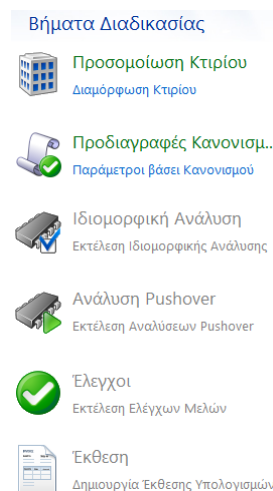
5.3.2. Εισαγωγή Δεδομένων

Κατά την εκκίνηση του λογισμικού επιλέγεται ο Κανονισμός που θα χρησιμοποιηθεί στο έργο, στη συγκεκριμένη περίπτωση ο EC8-3 με το Ελληνικό Παράρτημα.



Εικόνα 52 - Seismobuild - EC8-3 - Ελληνικό Παράρτημα

Τα βήματα που ακολουθούνται για την αποτίμηση ενός κτιρίου είναι τα επόμενα..



Εικόνα 53 - Seismobuild - Διαδικασία Αποτίμησης

5.3.3. Προσομοίωση Φέροντος Οργανισμού

Αρχικά ορίζονται οι κατηγορίες σκυροδέματος (C20/25) και χάλυβα (B500C) του φέροντος οργανισμού και στη συνέχεια για κάθε στάθμη (όροφο) δίνονται ως δεδομένα η θέση, οι διαστάσεις, ο οπλισμός και η επικάλυψη των δομικών στοιχείων (π.χ. υποστυλώματα, δοκοί, πλάκες, θεμελίωση, κτλ.). Τα ίδια βάρη υπολογίζονται από το λογισμικό. Τα μόνιμα και κινητά φορτία των πλακών επίσης υπολογίζονται από το λογισμικό και στη συνέχεια μεταφέρονται στις δοκούς. Τα φορτία των τοίχων επί των δοκών εισάγονται ξεχωριστά ως κατανομημένα φορτία. Για τον υπολογισμό αυτών των φορτίων θεωρείται για μπατικό τοίχο ίδιο βάρος $G = 3.60 \text{ KN/m}^2$ επί το ύψος του τοίχου.

Το λογισμικό υπολογίζει τα συνεργαζόμενα πλάτη των πλακοδοκών και λαμβάνει υπόψη τον οπλισμό των πλακών που βρίσκεται μέσα στα συνεργαζόμενα πλάτη. Υπολογίζει επίσης τις μάζες κάθε στάθμης και λαμβάνει υπόψη τη διαφραγματική λειτουργία των πλακών κατά την ανάλυση. Τα δεδομένα που απαιτούνται από λογισμικό Seisbuild για την αποτίμηση του φέροντος οργανισμού προέρχονται από την προηγούμενη φάση του σχεδιασμού με το λογισμικό SCADA Pro (π.χ. ξυλότυποι). Τα δεδομένα που χρειάζεται να εισαχθούν στο Seisbuild συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 20 - Υποστυλώματα

ΣΤΑΘΜΗ	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	COLUMN	bx mm	by mm	ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ
1	K1	C1	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K2	C2	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K3	C3	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K4	C4	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K5	C5	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K6	C6	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K7	C7	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K8	C8	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K9	C9	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
2	K1	C1	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K2	C2	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K3	C3	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K4	C4	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K5	C5	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K6	C6	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K7	C7	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K8	C8	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K9	C9	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10

ΣΤΑΘΜΗ	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	COLUMN	bx mm	by mm	ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ
3	K1	C1	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K2	C2	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K3	C3	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K4	C4	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K5	C5	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K6	C6	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K7	C7	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K8	C8	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K9	C9	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
4	K1	C1	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K2	C2	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K3	C3	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K4	C4	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K5	C5	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K6	C6	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K7	C7	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K8	C8	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K9	C9	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
5	K1	C1	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K2	C2	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K3	C3	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K4	C4	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K5	C5	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K6	C6	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K7	C7	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K8	C8	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10
	K9	C9	500	500	4Φ18+8Φ16	4Φ8/10

Πίνακας 21 - Δοκοί

ΣΤΑΘΜΗ	ΔΟΚΟΣ	ΒΕΑΜ	b mm	h mm	d mm	bef ₁ mm	bef ₂ mm	b _{tot} mm	ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΑΣΜΟΣ	ΑΡΧΗ	ΜΕΣΟΝ	ΤΕΛΟΣ	ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΑΣΜΟΣ	h ΑΝΩ ΔΟΚΟΥ m	G ΤΟΙΧΟΥ KN/m ²	ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΙΧΟΥ KN/m
1	Δ1	B1	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	3Φ14	3Φ14	3Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	5Φ14	Φ8/10			
	Δ2	B2	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	3Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	5Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ3	B3	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	3Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	5Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ4	B4	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	3Φ14	3Φ14	3Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	5Φ14	Φ8/10			
	Δ5	B5	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	3Φ14	3Φ14	3Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	5Φ14	Φ8/10			
	Δ6	B6	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	3Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	5Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
Δ7	B7	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	3Φ14	3Φ14	3Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00	
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	5Φ14	Φ8/10				
Δ8	B8	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	3Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00	
								ΚΑΤΩ	5Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ9	B9	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	4Φ14	2Φ14	2Φ14+3Φ18	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ10	B10	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14+3Φ18	2Φ14	4Φ14	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ11	B11	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	4Φ14	2Φ14	2Φ14+3Φ18	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ12	B12	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14+3Φ18	2Φ14	4Φ14	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
2	Δ1	B1	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	3Φ14	3Φ14	3Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	5Φ14	Φ8/10			
	Δ2	B2	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	3Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	5Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ3	B3	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	3Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	5Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ4	B4	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	3Φ14	3Φ14	3Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	5Φ14	Φ8/10			
	Δ5	B5	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	3Φ14	3Φ14	3Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	5Φ14	Φ8/10			
	Δ6	B6	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	3Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	5Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
Δ7	B7	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	3Φ14	3Φ14	3Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00	
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	5Φ14	Φ8/10				
Δ8	B8	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	3Φ14+2Φ16	3Φ14	3Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00	
								ΚΑΤΩ	5Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ9	B9	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	3Φ14	2Φ14	2Φ14+3Φ18	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ10	B10	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14+3Φ18	2Φ14	3Φ14	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ11	B11	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	3Φ14	2Φ14	2Φ14+3Φ18	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ12	B12	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14+3Φ18	2Φ14	3Φ14	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				

ΣΤΑΘΜΗ	ΛΟΚΟΣ	ΒΕΑΜ	b mm	h mm	d mm	bef ₁ mm	bef ₂ mm	b _{tot} mm	ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΑΣΜΟΣ	ΑΡΧΗ	ΜΕΣΟΝ	ΤΕΛΟΣ	ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΑΣΜΟΣ	h ΑΝΩ ΛΟΚΟΥ	G ΤΟΙΧΟΥ KN/m ²	ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΙΧΟΥ KN/m
3	Δ1	B1	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	2Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ2	B2	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	2Φ14+2Φ16	2Φ14	2Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ3	B3	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	2Φ14+2Φ16	2Φ14	2Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ4	B4	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	2Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ5	B5	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	2Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ6	B6	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	2Φ14+2Φ16	2Φ14	2Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
4	Δ7	B7	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	2Φ14+2Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ8	B8	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	2Φ14+2Φ16	2Φ14	2Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ9	B9	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	3Φ14	2Φ14	2Φ14+3Φ16	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ10	B10	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14+3Φ16	2Φ14	3Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ11	B11	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	3Φ14	2Φ14	2Φ14+3Φ16	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ12	B12	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14+3Φ16	2Φ14	3Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
4	Δ1	B1	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	2Φ14+1Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ2	B2	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	2Φ14+1Φ16	2Φ14	2Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ3	B3	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	2Φ14+1Φ16	2Φ14	2Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ4	B4	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	2Φ14+1Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ5	B5	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	2Φ14+1Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ6	B6	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	2Φ14+1Φ16	2Φ14	2Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
Δ7	B7	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	2Φ14+1Φ16	Φ8/10	0.50	3.60	9.00	
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ8	B8	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	2Φ14+1Φ16	2Φ14	2Φ14	Φ8/10	0.50	3.60	9.00	
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ9	B9	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	2Φ14+2Φ16	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ10	B10	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14+2Φ16	2Φ14	2Φ14	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ11	B11	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	2Φ14+2Φ16	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				
Δ12	B12	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14+2Φ16	2Φ14	2Φ14	Φ8/10				
								ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10				

ΣΤΑΘΜΗ	ΛΟΚΟΣ	ΒΕΑΜ	b mm	h mm	d mm	bef ₁ mm	bef ₂ mm	b _{tot} mm	ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΑΡΧΗ	ΜΕΣΟΝ	ΤΕΛΟΣ	ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ	h ΑΝΩ ΔΟΚΟΥ	G ΤΟΙΧΟΥ KN/m ²	ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΙΧΟΥ KN/m
5	Δ1	B1	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	3Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ2	B2	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	3Φ14	2Φ14	2Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ3	B3	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	3Φ14	2Φ14	2Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ4	B4	300	500	200		331	631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	3Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ5	B5	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	3Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ6	B6	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	3Φ14	2Φ14	2Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ7	B7	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	3Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ8	B8	300	500	200	331		631	ΑΝΩ	3Φ14	2Φ14	2Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ9	B9	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	3Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ10	B10	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	3Φ14	2Φ14	2Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ11	B11	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	2Φ14	2Φ14	3Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			
	Δ12	B12	300	500	200	331	331	962	ΑΝΩ	3Φ14	2Φ14	2Φ14	Φ8/10			
									ΚΑΤΩ	4Φ14	4Φ14	4Φ14	Φ8/10			

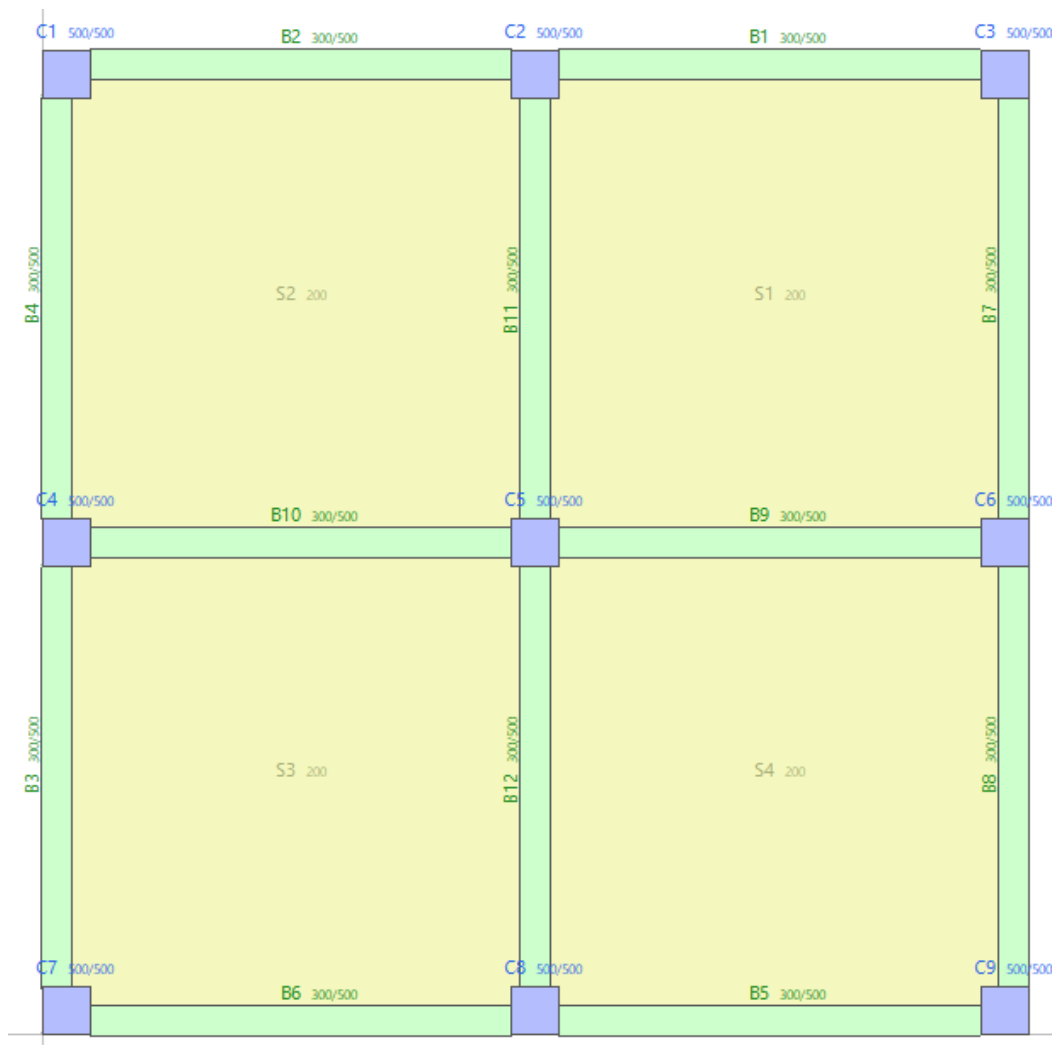
Πίνακας 22 - Πλάκες

ΣΤΑΘΜΗ	ΠΛΑΚΑ	SLAB	d mm	ΟΠΛΙΣΜΟΣ X	ΟΠΛΙΣΜΟΣ Y
1	Π1	S1	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π2	S2	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π3	S3	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π4	S4	200	Φ8/20	Φ8/20
2	Π1	S1	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π2	S2	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π3	S3	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π4	S4	200	Φ8/20	Φ8/20
3	Π1	S1	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π2	S2	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π3	S3	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π4	S4	200	Φ8/20	Φ8/20
4	Π1	S1	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π2	S2	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π3	S3	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π4	S4	200	Φ8/20	Φ8/20
5	Π1	S1	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π2	S2	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π3	S3	200	Φ8/20	Φ8/20
	Π4	S4	200	Φ8/20	Φ8/20

Πίνακας 23 - Θεμελίωση

ΣΤΑΘΜΗ	ΠΕΔΙΛΟ	FOOTING	b _x	b _y	h	ΟΠΛΙΣΜΟΣ X	ΟΠΛΙΣΜΟΣ Y
0	Π1	F1	2000	2000	800	Φ14/10	Φ14/10
	Π2	F2	2000	2000	800	Φ14/10	Φ14/10
	Π3	F3	2000	2000	800	Φ14/10	Φ14/10
	Π4	F4	2000	2000	800	Φ14/10	Φ14/10
	Π5	F5	2000	2000	800	Φ14/10	Φ14/10
	Π6	F6	2000	2000	800	Φ14/10	Φ14/10
	Π7	F7	2000	2000	800	Φ14/10	Φ14/10
	Π8	F8	2000	2000	800	Φ14/10	Φ14/10
	Π9	F9	2000	2000	800	Φ14/10	Φ14/10

Στη συνέχεια ορίζονται στο λογισμικό οι θέσεις, οι διαστάσεις και οι οπλισμοί των δομικών στοιχείων του φέροντος οργανισμού ανά στάθμη ορόφου και της θεμελίωσης.



Εικόνα 54 - Seisbuild - Κάτοψη Τυπικού Ορόφου



Εικόνα 55 - Seismobuild - Θεμελίωση

Ακολουθούν ενδεικτικά παραδείγματα ορισμού διαστάσεων και οπλισμού των δομικών στοιχείων του φέροντος οργανισμού.

$\rho_{tot} = 1,05\%$ ($\rho_{min} = 0,20\%$, $\rho_{max} = 8,00\%$)

Διαμήκης Οπλισμός

Γωνίες: 4 / 18mm

Ανω/κάτω πλευρές: 4 / 16mm

Αριστερά/δεξιά πλευρές: 4 / 16mm

Πρόσθετες Ράβδοι: Χωρίς

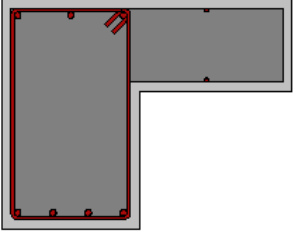
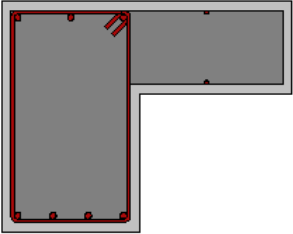
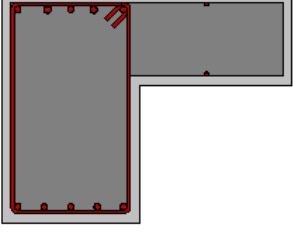
Εγκάρσιος Οπλισμός

Συνδέτηρες: 8mm / 10 cm

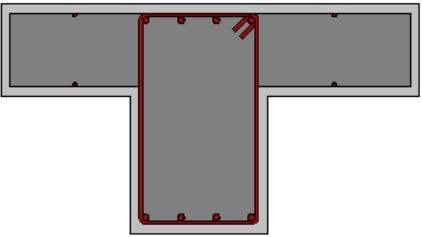
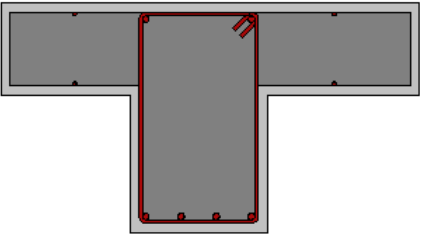
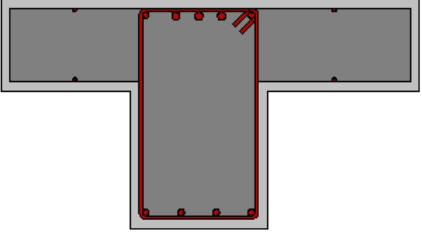
Αρ. σκελών κατά: Ύψος 4 / Πλάτος 4

Συνδέτηρες Σχήματος Ρόμβου

Εικόνα 56 - Seismobuild - Οπλισμός Υποστυλωμάτων

<p> <input checked="" type="radio"/> Αρχ <input type="radio"/> Μέσο <input type="radio"/> Τέλ </p> 	<p>Όρια Εφελκυστικού Οπλισμού - EC2, 9.2.1.1</p> <p> ρ_t (Αρχ) = 0,32% ($\rho_{min} = 0,13\%$, $\rho_{max} = 4,00\%$) ρ_t (Μέσο) = 0,43% ($\rho_{min} = 0,13\%$, $\rho_{max} = 4,00\%$) ρ_t (Τέλ) = 0,60% ($\rho_{min} = 0,13\%$, $\rho_{max} = 4,00\%$) </p> <p>Διαμήκης Οπλισμός</p> <table border="1"> <tbody> <tr><td>Αρχή/άνω:</td><td>3</td><td>14mm</td></tr> <tr><td>Αρχή/πλευρικά:</td><td>0</td><td>12mm</td></tr> <tr><td>Αρχή/κάτω:</td><td>4</td><td>14mm</td></tr> <tr><td>Μέσο/άνω:</td><td>3</td><td>14mm</td></tr> <tr><td>Μέσο/πλευρικά:</td><td>0</td><td>12mm</td></tr> <tr><td>Μέσο/κάτω:</td><td>4</td><td>14mm</td></tr> <tr><td>Τέλος/άνω:</td><td>3</td><td>14mm</td></tr> <tr><td>Τέλος/πλευρικά:</td><td>0</td><td>12mm</td></tr> <tr><td>Τέλος/κάτω:</td><td>5</td><td>14mm</td></tr> </tbody> </table> <p> Αρχή/Προσθ. Ράβδοι : Χωρίς Μέσο/Προσθ. Ράβδοι : Χωρίς Τέλος/Προσθ. Ράβδοι : 2@16mm </p>	Αρχή/άνω:	3	14mm	Αρχή/πλευρικά:	0	12mm	Αρχή/κάτω:	4	14mm	Μέσο/άνω:	3	14mm	Μέσο/πλευρικά:	0	12mm	Μέσο/κάτω:	4	14mm	Τέλος/άνω:	3	14mm	Τέλος/πλευρικά:	0	12mm	Τέλος/κάτω:	5	14mm
Αρχή/άνω:	3	14mm																										
Αρχή/πλευρικά:	0	12mm																										
Αρχή/κάτω:	4	14mm																										
Μέσο/άνω:	3	14mm																										
Μέσο/πλευρικά:	0	12mm																										
Μέσο/κάτω:	4	14mm																										
Τέλος/άνω:	3	14mm																										
Τέλος/πλευρικά:	0	12mm																										
Τέλος/κάτω:	5	14mm																										
<p> <input type="radio"/> Αρχ <input checked="" type="radio"/> Μέσο <input type="radio"/> Τέλ </p> 	<p>Εγκάρσιος Οπλισμός</p> <p> Εγκάρσιος αρχή: 8mm / 10 cm Εγκάρσιος μέσο: 8mm / 10 cm Εγκάρσιος τέλος: 8mm / 10 cm </p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Εγκ. αρχή - Αρ. σκελών κατά:</td> <td>Ύψος</td> <td>2</td> <td>Πλάτος</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Εγκ. μέσο - Αρ. σκελών κατά:</td> <td>Ύψος</td> <td>2</td> <td>Πλάτος</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Εγκ. τέλος - Αρ. σκελών κατά:</td> <td>Ύψος</td> <td>2</td> <td>Πλάτος</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Εγκ. αρχή - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2	Εγκ. μέσο - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2	Εγκ. τέλος - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2												
Εγκ. αρχή - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2																								
Εγκ. μέσο - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2																								
Εγκ. τέλος - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2																								
<p> <input type="radio"/> Αρχ <input type="radio"/> Μέσο <input checked="" type="radio"/> Τέλ </p> 	<p>Πρόσθετο Μόνιμο Φορτίο G' (στην κατεύθυνση Z)</p> <p>G' (kN/m) -9,000</p> <p>Κατανεμημένα φορτία</p> <p><i>Τα φορτία ορίστηκαν</i></p>																											

Εικόνα 57 - Seisbuild - Οπλισμός Πλακοδοκών Γ

<p> <input checked="" type="radio"/> Αρχ <input type="radio"/> Μέσο <input type="radio"/> Τέλ </p> 	<p>Όρια Εφελκυστικού Οπλισμού - EC2, 9.2.1.1</p> <p> ρ_t (Αρχ) = 0,43% ($\rho_{min} = 0,13\%$, $\rho_{max} = 4,00\%$) ρ_t (Μέσο) = 0,43% ($\rho_{min} = 0,13\%$, $\rho_{max} = 4,00\%$) ρ_t (Τέλ) = 0,74% ($\rho_{min} = 0,13\%$, $\rho_{max} = 4,00\%$) </p> <p>Διαμήκης Οπλισμός</p> <table border="1"> <tbody> <tr><td>Αρχή/άνω:</td><td>4</td><td>14mm</td></tr> <tr><td>Αρχή/πλευρικά:</td><td>0</td><td>12mm</td></tr> <tr><td>Αρχή/κάτω:</td><td>4</td><td>14mm</td></tr> <tr><td>Μέσο/άνω:</td><td>2</td><td>14mm</td></tr> <tr><td>Μέσο/πλευρικά:</td><td>0</td><td>12mm</td></tr> <tr><td>Μέσο/κάτω:</td><td>4</td><td>14mm</td></tr> <tr><td>Τέλος/άνω:</td><td>2</td><td>14mm</td></tr> <tr><td>Τέλος/πλευρικά:</td><td>0</td><td>12mm</td></tr> <tr><td>Τέλος/κάτω:</td><td>4</td><td>14mm</td></tr> </tbody> </table> <p> Αρχή/Προσθ. Ράβδοι : Χωρίς Μέσο/Προσθ. Ράβδοι : Χωρίς Τέλος/Προσθ. Ράβδοι : 3@18mm </p>	Αρχή/άνω:	4	14mm	Αρχή/πλευρικά:	0	12mm	Αρχή/κάτω:	4	14mm	Μέσο/άνω:	2	14mm	Μέσο/πλευρικά:	0	12mm	Μέσο/κάτω:	4	14mm	Τέλος/άνω:	2	14mm	Τέλος/πλευρικά:	0	12mm	Τέλος/κάτω:	4	14mm
Αρχή/άνω:	4	14mm																										
Αρχή/πλευρικά:	0	12mm																										
Αρχή/κάτω:	4	14mm																										
Μέσο/άνω:	2	14mm																										
Μέσο/πλευρικά:	0	12mm																										
Μέσο/κάτω:	4	14mm																										
Τέλος/άνω:	2	14mm																										
Τέλος/πλευρικά:	0	12mm																										
Τέλος/κάτω:	4	14mm																										
<p> <input type="radio"/> Αρχ <input checked="" type="radio"/> Μέσο <input type="radio"/> Τέλ </p> 	<p>Εγκάρσιος Οπλισμός</p> <p> Εγκάρσιος αρχή: 8mm / 10 cm Εγκάρσιος μέσο: 8mm / 10 cm Εγκάρσιος τέλος: 8mm / 10 cm </p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Εγκ. αρχή - Αρ. σκελών κατά:</td> <td>Ύψος</td> <td>2</td> <td>Πλάτος</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Εγκ. μέσο - Αρ. σκελών κατά:</td> <td>Ύψος</td> <td>2</td> <td>Πλάτος</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Εγκ. τέλος - Αρ. σκελών κατά:</td> <td>Ύψος</td> <td>2</td> <td>Πλάτος</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Εγκ. αρχή - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2	Εγκ. μέσο - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2	Εγκ. τέλος - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2												
Εγκ. αρχή - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2																								
Εγκ. μέσο - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2																								
Εγκ. τέλος - Αρ. σκελών κατά:	Ύψος	2	Πλάτος	2																								
<p> <input type="radio"/> Αρχ <input type="radio"/> Μέσο <input checked="" type="radio"/> Τέλ </p> 	<p>Πρόσθετο Μόνιμο Φορτίο G' (στην κατεύθυνση Z)</p> <p>G' (kN/m) -9,000</p> <p>Κατανεμημένα φορτία</p> <p><i>Τα φορτία ορίστηκαν</i></p>																											

Εικόνα 58 - Seisbuild - Οπλισμός Πλακοδοκών T

Μοντελοποίηση ως Ακαμπτο Διάφραγμα

Οπλισμός

Γωνία(°) μεταξύ τοπικών X'-Y' και καθολικών αξόνων X-Y:

Κάτω οπλισμός ανοίγματος:

Κατά τον άξονα X': / cm

Κατά τον άξονα Y': / cm

Φορτία

Μόνιμα Φορτία (G, G') και Κινητά Φορτία (Q):

G (kN/m²): Αυτόματος Υπολογισμός

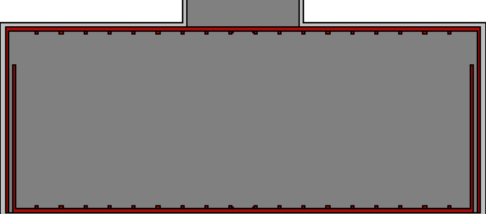
G' (kN/m²):

Q (kN/m²):

S (kN/m²):

Τύπος Φορτισμένης Περιοχής
(απαιτείται μόνο από ASCE 41-23 και TBDY)

Εικόνα 59 - Seismobuild - Οπλισμός Πλακών



Κάτω - Κατά τον άξονα X': / cm

Κάτω - Κατά τον άξονα Y': / cm

'Ανω - Κατά τον άξονα X: / cm

'Ανω - Κατά τον άξονα Y: / cm

Εικόνα 60 - Seismobuild - Οπλισμός Πεδίων

Το Seismobuild λαμβάνει υπόψη στην ανάλυση τη θεμελίωση επί ελαστικού εδάφους ορίζοντας τις βασικές παραμέτρους εδάφους-θεμελίωσης, για παράδειγμα μέτρο διάτμησης (G), συντελεστής Poisson (ν) και ειδική μάζα του εδάφους (ρ). Με βάση αυτές τις παραμέτρους το λογισμικό υπολογίζει σταθερές αξονικών και στρωφικών ελατήριων στις βάσεις των πεδίων της θεμελίωσης. Ο χρήστης δεν έχει τη δυνατότητα να ελέγξει αυτές τις σταθερές ελατηρίων, παρά μόνο να αλλάξει τις βασικές παραμέτρους.

Εφόσον γίνεται παραμετρική σεισμική αποτίμηση αρχικά για τη θεμελίωση σε τύπο εδάφους A απενεργοποιείται η προσομοίωση συμμετοχής του εδάφους στην ανάλυση, οπότε οι στηρίξεις θεωρούνται πακτώσεις.

Στη συνέχεια όταν η σεισμική αποτίμηση γίνεται για τύπο εδάφους B ενεργοποιείται η προσομοίωση συμμετοχής του εδάφους στην ανάλυση.

Εικόνα 61 - SeisMobuild - Παράμετροι Εδάφους-Θεμελίωσης

Εικόνα 62 - SeisMobuild - Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση Πάκτωσης

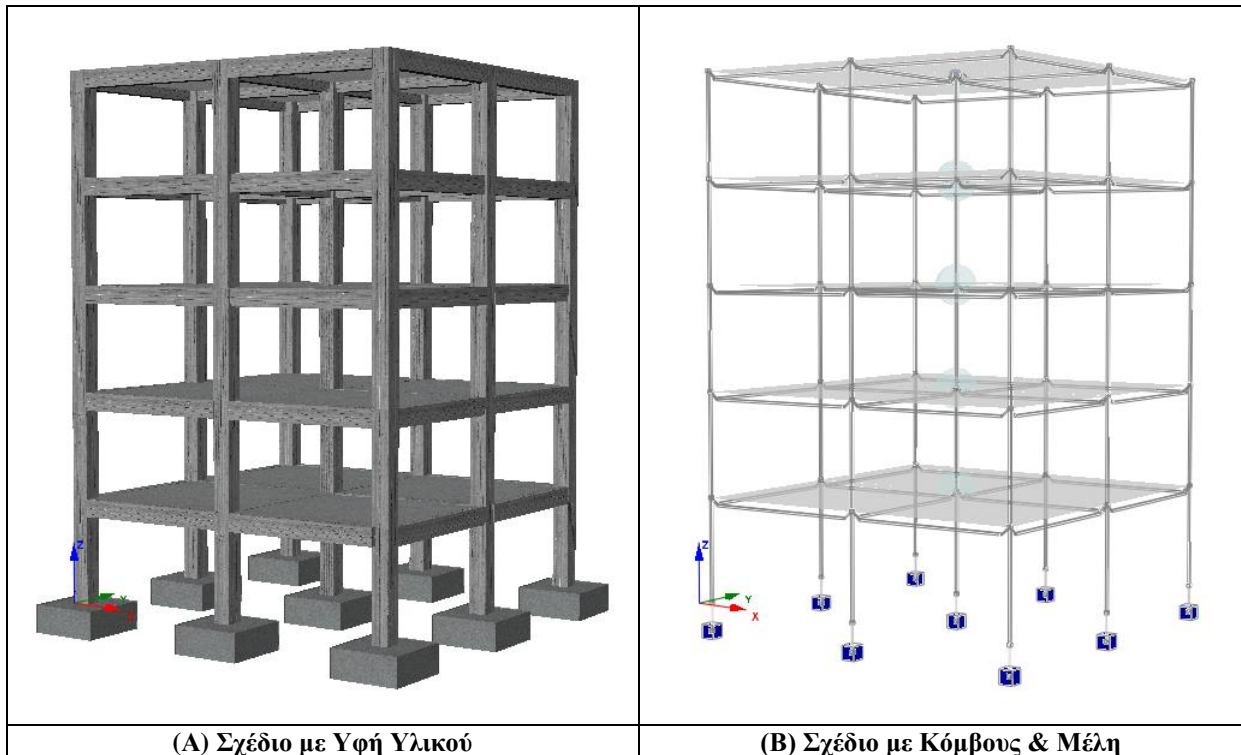
Λόγω ρηγματώσης του σκυροδέματος η δυσκαμψία των διατομών των δομικών στοιχείων του προσομοιώματος του φέροντος οργανισμού θεωρείται μειωμένη κατά 50%.

Εικόνα 63 - SeisMobuild – Ρηγματωμένη Δυσκαμψία

Το αξονομετρικό σχέδιο του προσομοιώματος του φέροντος οργανισμού παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες, με υφή υλικού στο σχέδιο A (αριστερά) και με τους κόμβους και τα μέλη δομικών στοιχείων του προσομοιώματος στο σχέδιο B (δεξιά).

Το λογισμικό υπολογίζει τα κέντρα μάζας και δυσκαμψίας κάθε ορόφου. Στο σχέδιο B τα κέντρα μάζας απεικονίζονται ως ανοικτόχρωμες γκρι σφαίρες και τα κέντρα δυσκαμψίας ως σκουρόχρωμες γκρι σφαίρες. Εφόσον πρόκειται για συμμετρικό φέροντα οργανισμό, τα κέντρα μάζας και δυσκαμψίας συμπίπτουν.

Στο σχέδιο B, η γκρι σφαίρα στο κέντρο του ανωτέρου επιπέδου του προσομοιώματος είναι κόμβος ελέγχου για τις μη γραμμικές στατικές αναλύσεις Pushover.



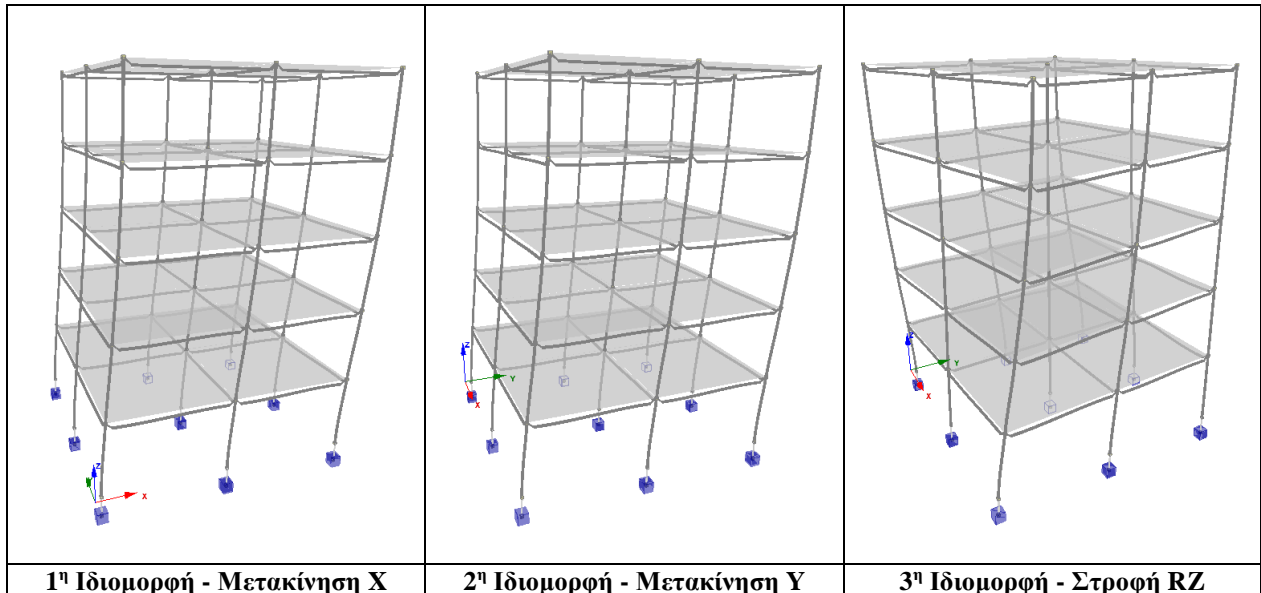
(A) Σχέδιο με Υφή Υλικού

(B) Σχέδιο με Κόμβους & Μέλη

Εικόνα 64 - Seismobuild - Αξονομετρικά Σχέδια Προσομοιώματος

5.3.4. Ιδιομορφική Ανάλυση

Με την ολοκλήρωση της ιδιομορφικής ανάλυσης αποτυπώνονται οι τρεις πρώτες ιδιομορφές ως ακολούθως.



Εικόνα 65 - SeisMobuild - Ιδιομορφές Προσομοιώματος

Οι 15 πρώτες ιδιοπερίοδοι παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 24 - Ιδιοπερίοδοι Προσομοιώματος

Ιδιομορφή	Έδαφος A	Έδαφος B	Διαφορά
	Περίοδος (Sec)	Περίοδος (Sec)	
1	0.84	0.87	4%
2	0.84	0.87	4%
3	0.79	0.81	3%
4	0.27	0.27	0%
5	0.27	0.27	0%
6	0.25	0.26	4%
7	0.15	0.15	0%
8	0.15	0.15	0%
9	0.14	0.14	0%
10	0.10	0.12	20%
11	0.11	0.11	0%
12	0.10	0.11	10%
13	0.09	0.11	22%
14	0.08	0.10	25%
15	0.08	0.10	25%

Συγκρίνοντας τις ιδιοπεριόδους για την περίπτωση εδάφους τύπου A (προσομοίωση θεμελίωσης με πακτώσεις) με την περίπτωση εδάφους τύπου B (προσομοίωση θεμελίωσης με αξονικά και στροφικά ελατήρια) παρατηρούμε ότι οι ιδιοπερίοδοι για τύπο εδάφους B είναι γενικά μεγαλύτεροι, ήτοι το προσομοίωμα του φέροντος οργανισμού είναι πιο «εύκαμπτο», δεδομένης της ίδιας μάζας του φέροντος οργανισμού.

Τα ποσοστά ενεργών ιδιομορφικών μαζών είναι τα ακόλουθα.

Πίνακας 25 - Ποσοστά Ενεργών Ιδιομορφικών Μαζών για Έδαφος Α

Ιδιομορφή	Περίοδος (Sec)	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
1	0.84	46%	36%	0%	4%	6%	0%
2	0.84	36%	45%	0%	5%	4%	2%
3	0.79	1%	1%	0%	0%	0%	81%
4	0.27	6%	5%	0%	16%	20%	0%
5	0.27	5%	6%	0%	20%	16%	0%
6	0.25	0%	0%	0%	0%	0%	10%
7	0.15	2%	2%	0%	1%	2%	0%
8	0.15	2%	2%	0%	2%	1%	0%
9	0.14	0%	0%	0%	0%	0%	4%
10	0.10	1%	1%	0%	3%	4%	0%
11	0.11	1%	1%	0%	4%	3%	0%
12	0.10	0%	0%	0%	0%	0%	2%
13	0.09	0%	0%	58%	0%	0%	0%
14	0.08	0%	0%	0%	10%	8%	0%
15	0.08	0%	0%	20%	0%	0%	0%
		99%	99%	79%	66%	64%	99%

Πίνακας 26 - Ποσοστά Ενεργών Ιδιομορφικών Μαζών για Έδαφος Β

Ιδιομορφή	Περίοδος (Sec)	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
1	0.87	42%	34%	0%	7%	8%	0%
2	0.87	33%	42%	0%	8%	7%	1%
3	0.81	0%	0%	0%	0%	0%	75%
4	0.27	6%	4%	0%	12%	15%	0%
5	0.27	4%	6%	0%	15%	12%	0%
6	0.26	0%	0%	0%	0%	0%	9%
7	0.15	2%	1%	0%	0%	1%	0%
8	0.15	1%	2%	0%	1%	0%	0%
9	0.14	0%	0%	0%	0%	0%	3%
10	0.12	0%	0%	83%	0%	0%	0%
11	0.11	0%	0%	0%	14%	18%	0%
12	0.11	0%	0%	0%	18%	14%	0%
13	0.11	0%	0%	0%	0%	0%	0%
14	0.10	1%	1%	0%	0%	0%	0%
15	0.10	0%	0%	10%	0%	0%	0%
		90%	90%	93%	76%	75%	89%

Παρατηρούμε ότι η συμμετοχή των ανωτέρων ιδιομορφών (από τη 2^η και πάνω) είναι σημαντική, συνεπώς δεν ενδείκνυται η εφαρμογή της ισοδύναμης στατικής φασματικής ανάλυσης, αλλά απαιτείται η εφαρμογή της ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης.

5.3.5. Στάθμες Επιτελεστικότητας και Αξιοπιστίας

Επιλέγονται για τους ελέγχους και οι τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.

Στάθμες Επιτελεστικότητας	Επιλογή μίας ή περισσότερων στάθμων επιτελεστικότητας για εφαρμογή στους ελέγχους	
<input checked="" type="checkbox"/> Στάθμη Επιτελεστικότητας Περιορισμένες Βλάβες (DL)	Πιθανότητα Υπέρβασης 20% / 50 έτη - Περίοδος Επαναφοράς 225 έτη	Η κατασκευή έχει μόνο ελαφριές βλάβες με τα δομικά στοιχεία να διατηρούν την αντοχή και τη δυσκαμψία τους. Τα μη δομικά στοιχεία μπορεί να παρουσιάζουν κατανεμημένη ρηγάτωση, αλλά οι βλάβες μπορεί να είναι οικονομικά επισκευάσιμες. Οι μόνιμες μετακινήσεις είναι αμελητέες.
<input checked="" type="checkbox"/> Στάθμη Επιτελεστικότητας Σημαντικές Βλάβες (SD)	Πιθανότητα Υπέρβασης 10% / 50 έτη - Περίοδος Επαναφοράς 475 έτη	Η κατασκευή έχει βαριές βλάβες με κάποια απομένουσα πλευρική αντοχή και δυσκαμψία. Κάποια μη δομικά στοιχεία έχουν καταρρεύσει. Παρατηρούνται μέτριες μόνιμες μετακινήσεις.
<input checked="" type="checkbox"/> Στάθμη Επιτελεστικότητας Οισοί Κατάρρευση (NC)	Πιθανότητα Υπέρβασης 2% / 50 έτη - Περίοδος Επαναφοράς 2475 έτη	Η κατασκευή έχει βαριές βλάβες με χαμηλή απομένουσα πλευρική αντοχή και δυσκαμψία. Η πλειοψηφία των μη δομικών στοιχείων έχει καταρρεύσει. Παρατηρούνται μεγάλες μόνιμες μετακινήσεις.

Εικόνα 66 - SeisMobuild - Στάθμες Επιτελεστικότητας

Επιλέγεται η Στάθμη Αξιοπιστίας 3 με Συντελεστή Αξιοπιστίας 1 (υψηλή αξιοπιστία δεδομένων) εφόσον ο σχεδιασμός του κτιρίου εκπονήθηκε εξ αρχής σύμφωνα με τους κανονισμούς EC2/EC8.

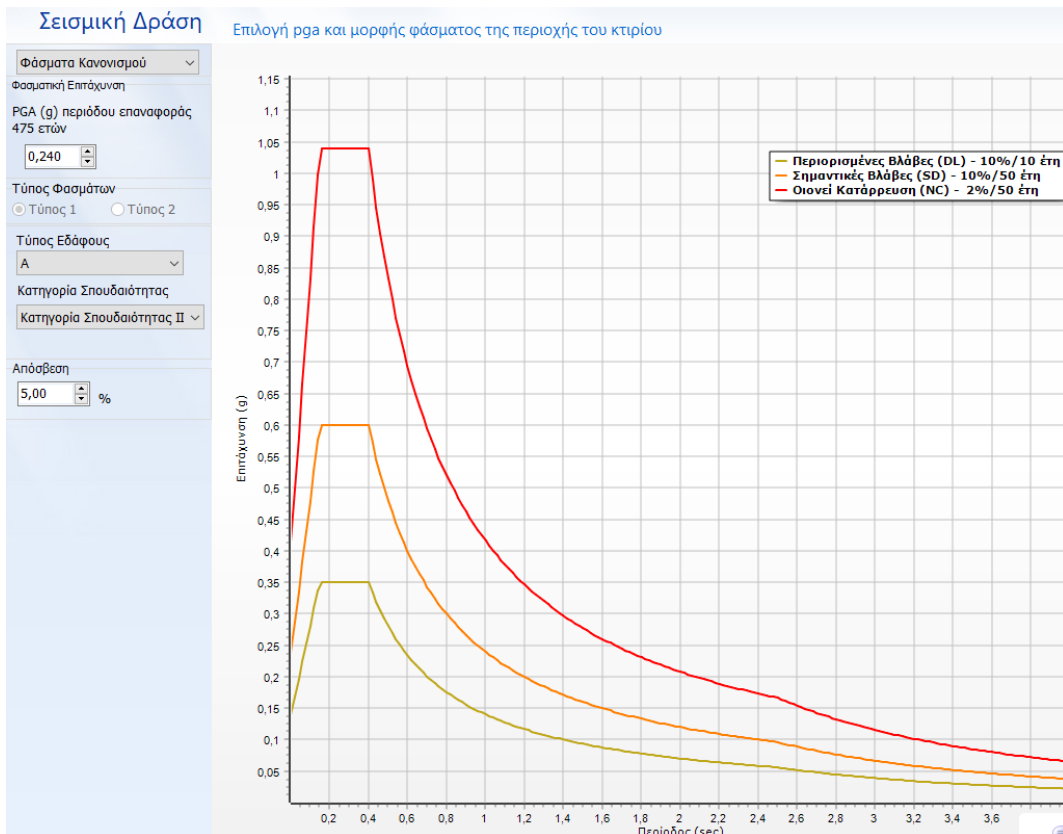
	Στάθμη Αξιοπιστίας 1	Στάθμη Αξιοπιστίας 2	Στάθμη Αξιοπιστίας 3
Γεωμετρία	Από τα αρχικά κατασκευαστικά σχέδια με δειγματοληπτική οπτική έρευνα ή από πλήρη έρευνα	Από τα αρχικά κατασκευαστικά σχέδια με δειγματοληπτική οπτική έρευνα ή από πλήρη έρευνα	Από τα αρχικά κατασκευαστικά σχέδια με δειγματοληπτική οπτική έρευνα ή από πλήρη έρευνα
Λεπτομέρειες	Προσομοίωση σχεδιασμού σύμφωνα με τη σχετική πρακτική και από περιορισμένη επί τόπου επιθεώρηση	Από μη ολοκληρωμένα λεπτομερή αρχικά κατασκευαστικά σχέδια με περιορισμένη επί τόπου επιθεώρηση ή από εκτεταμένη επί τόπου επιθεώρηση	Από λεπτομερή αρχικά κατασκευαστικά σχέδια με περιορισμένη επί τόπου επιθεώρηση ή από εκτεταμένη επί τόπου επιθεώρηση
Υλικά	Τυπικές τιμές σύμφωνα με τις προδιαγραφές της εποχής της κατασκευής και από περιορισμένους επί τόπου ελέγχους	Από τις αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού με περιορισμένους επί τόπου ελέγχους ή εκτεταμένους επί τόπου ελέγχους	Από τις τεχνικές εκθέσεις των αρχικών δοκιμών με περιορισμένους ή εκτεταμένους επί τόπου ελέγχους
Συντελεστής Αξιοπιστίας	ΣΕ = 1,35	ΣΕ = 1,20	ΣΕ = 1,00

Εικόνα 67 - SeisMobuild - Στάθμες Αξιοπιστίας

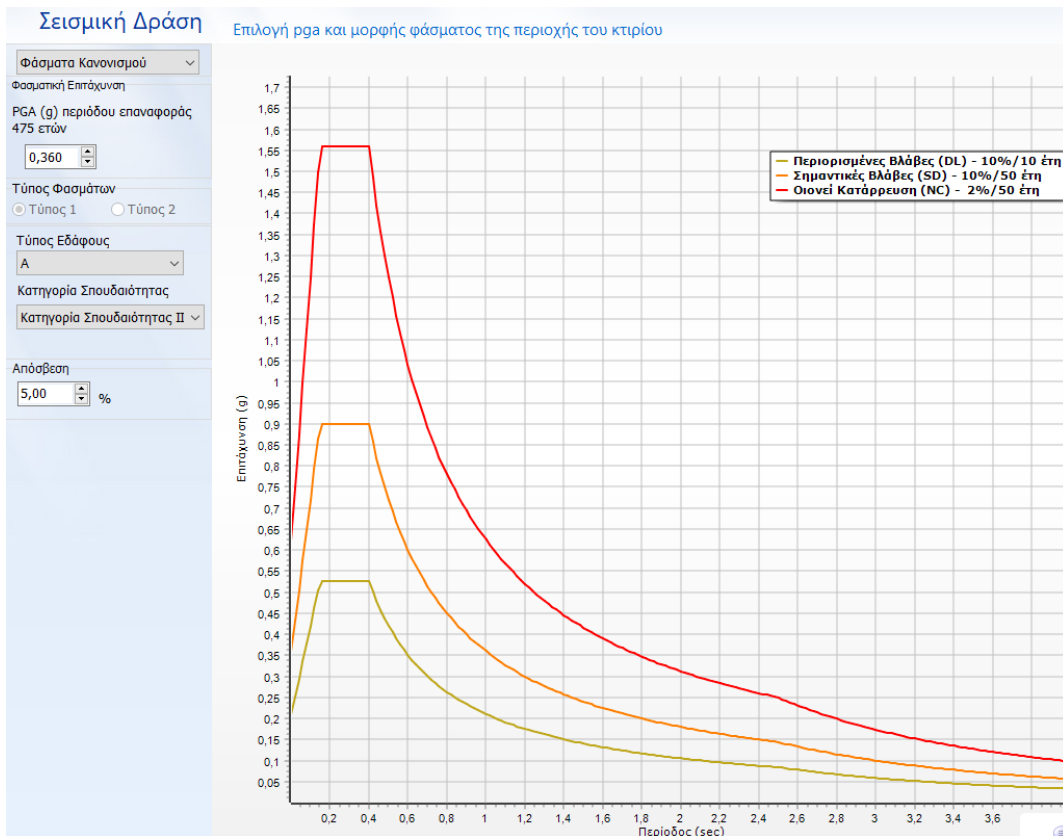
5.3.6. Σεισμική Δράση

Επιλέγονται για τη σεισμική δράση τα φάσματα του EC8 για τις τέσσερις περιπτώσεις παραμετρικής ανάλυσης:

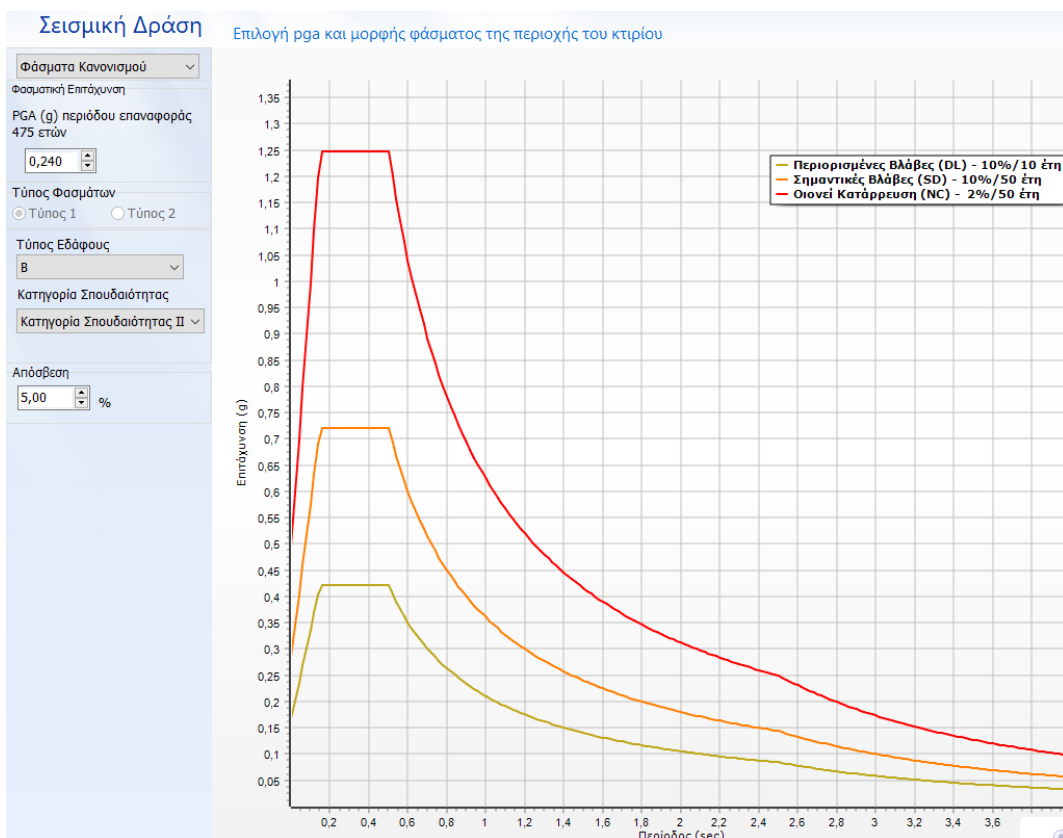
- Τύπος Εδάφους A - Σεισμική Ζώνη II
- Τύπος Εδάφους A - Σεισμική Ζώνη III
- Τύπος Εδάφους B - Σεισμική Ζώνη II
- Τύπος Εδάφους B - Σεισμική Ζώνη III



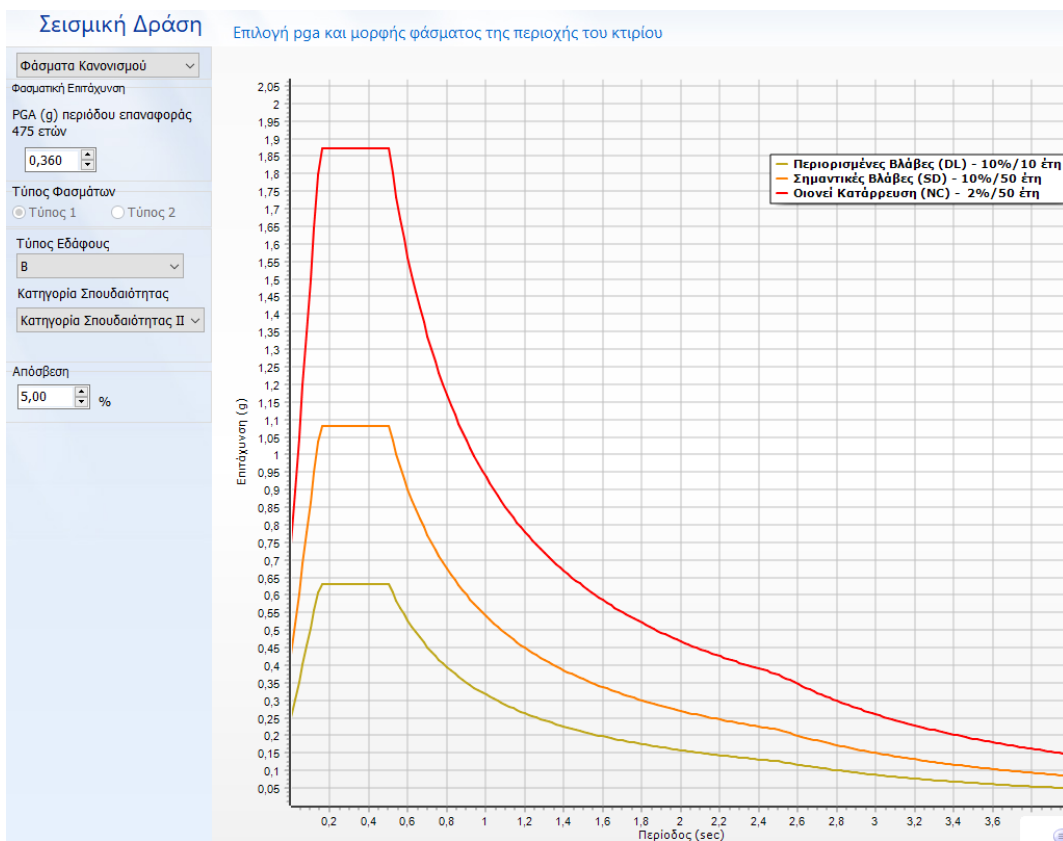
Εικόνα 68 - Seismobuild - Φάσματα Τύπος Εδάφους A - Ζώνη II



Εικόνα 69 - Seismobuild - Φάσματα Τύπος Εδάφους A - Ζώνη III



Εικόνα 70 - Seismobuild - Φάσματα Τύπος Εδάφους B - Ζώνη II



Εικόνα 71 - Seismobuild - Φάσματα Τύπος Εδάφους B - Ζώνη III

5.3.7. Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση Pushover

Επιλέγεται η μη γραμμική στατική ανάλυση pushover.

Τύπος Ανάλυσης Επιλογή Γραμμικών ή μη γραμμικών μεθόδων για τις αναλύσεις

Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση

Εικόνα 72 - Μη Γραμμική Στατική Ανάλυση

Οι συνδυασμοί αναλύσεων μη γραμμικής ανάλυσης pushover περιλαμβάνουν ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή, μονή και διπλή εκκεντρότητα (προκύπτουν 144 αναλύσεις).

Πίνακας 27 - Συνδυασμοί Αναλύσεων Pushover

<p>Κατανομή</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Ομοιόμορφη</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Ιδιομορφική</p> <p>Μονοαξονική/ Διαξονική</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Μονοαξονική</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Διαξονική</p> <p>Τυχηματική Εκκεντρότητα</p> <p><input type="checkbox"/> Χωρίς Εκκεντρότητα</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Μονή Εκκεντρότητα (eccX/eccY)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Διπλή Εκκεντρότητα (eccX+eccY)</p> <p>Αριθμός Αναλύσεων: 144</p>			<table border="1"> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ X + eccY</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ X - eccY</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- X + eccY</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- X - eccY</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ Y + eccX</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ Y - eccX</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- Y + eccX</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- Y - eccX</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ X + eccY</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ X - eccY</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- X + eccY</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- X - eccY</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ Y + eccX</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ Y - eccX</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- Y + eccX</td></tr> <tr><td>Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- Y - eccX</td></tr> </table>			Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	+ X + eccY	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	+ X - eccY	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	- X + eccY	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	- X - eccY	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	+ Y + eccX	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	+ Y - eccX	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	- Y + eccX	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	- Y - eccX	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	+ X + eccY	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	+ X - eccY	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	- X + eccY	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	- X - eccY	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	+ Y + eccX	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	+ Y - eccX	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	- Y + eccX	Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	- Y - eccX																																																																																																																																																
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	+ X + eccY																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	+ X - eccY																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	- X + eccY																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	- X - eccY																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	+ Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	+ Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	- Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	- Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	+ X + eccY																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	+ X - eccY																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	- X + eccY																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	- X - eccY																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	+ Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	+ Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	- Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Μονοαξονική Με Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	- Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ X + 0.3Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ X + 0.3Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ X - 0.3Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ X - 0.3Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- X + 0.3Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- X + 0.3Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- X - 0.3Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- X - 0.3Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ 0.3X + Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ 0.3X + Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ 0.3X - Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ 0.3X - Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- 0.3X + Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- 0.3X + Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- 0.3X - Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- 0.3X - Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ X + 0.3Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ X + 0.3Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ X - 0.3Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ X - 0.3Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- X + 0.3Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- X + 0.3Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- X - 0.3Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- X - 0.3Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ 0.3X + Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ 0.3X + Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ 0.3X - Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ 0.3X - Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- 0.3X + Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- 0.3X + Y - eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- 0.3X - Y + eccX</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- 0.3X - Y - eccX</td></tr> </table>			Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ X + 0.3Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ X + 0.3Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ X - 0.3Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ X - 0.3Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- X + 0.3Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- X + 0.3Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- X - 0.3Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- X - 0.3Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ 0.3X + Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ 0.3X + Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ 0.3X - Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ 0.3X - Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- 0.3X + Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- 0.3X + Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- 0.3X - Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- 0.3X - Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ X + 0.3Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ X + 0.3Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ X - 0.3Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ X - 0.3Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- X + 0.3Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- X + 0.3Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- X - 0.3Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- X - 0.3Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ 0.3X + Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ 0.3X + Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ 0.3X - Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ 0.3X - Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- 0.3X + Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- 0.3X + Y - eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- 0.3X - Y + eccX	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- 0.3X - Y - eccX	<table border="1"> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ X + eccY + 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ X - eccY + 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ X + eccY - 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ X - eccY - 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- X + eccY + 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- X + eccY - 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- X - eccY + 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- X - eccY - 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ 0.3X + eccY + Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ 0.3X + eccY - Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ 0.3X - eccY + Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>+ 0.3X - eccY - Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- 0.3X + eccY + Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- 0.3X + eccY - Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- 0.3X - eccY + Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ομοιόμορφη</td><td>- 0.3X - eccY - Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ X + eccY + 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ X - eccY + 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ X + eccY - 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ X - eccY - 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- X + eccY + 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- X + eccY - 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- X - eccY + 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- X - eccY - 0.3Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ 0.3X + eccY + Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ 0.3X + eccY - Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ 0.3X - eccY + Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>+ 0.3X - eccY - Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- 0.3X + eccY + Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- 0.3X + eccY - Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- 0.3X - eccY + Y</td></tr> <tr><td>Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y</td><td>Ιδιομορφική</td><td>- 0.3X - eccY - Y</td></tr> </table>			Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ X + eccY + 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ X - eccY + 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ X + eccY - 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ X - eccY - 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- X + eccY + 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- X + eccY - 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- X - eccY + 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- X - eccY - 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ 0.3X + eccY + Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ 0.3X + eccY - Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ 0.3X - eccY + Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ 0.3X - eccY - Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- 0.3X + eccY + Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- 0.3X + eccY - Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- 0.3X - eccY + Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- 0.3X - eccY - Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ X + eccY + 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ X - eccY + 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ X + eccY - 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ X - eccY - 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- X + eccY + 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- X + eccY - 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- X - eccY + 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- X - eccY - 0.3Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ 0.3X + eccY + Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ 0.3X + eccY - Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ 0.3X - eccY + Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ 0.3X - eccY - Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- 0.3X + eccY + Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- 0.3X + eccY - Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- 0.3X - eccY + Y	Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- 0.3X - eccY - Y
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ X + 0.3Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ X + 0.3Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ X - 0.3Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ X - 0.3Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- X + 0.3Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- X + 0.3Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- X - 0.3Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- X - 0.3Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ 0.3X + Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ 0.3X + Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ 0.3X - Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	+ 0.3X - Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- 0.3X + Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- 0.3X + Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- 0.3X - Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ομοιόμορφη	- 0.3X - Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ X + 0.3Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ X + 0.3Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ X - 0.3Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ X - 0.3Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- X + 0.3Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- X + 0.3Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- X - 0.3Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- X - 0.3Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ 0.3X + Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ 0.3X + Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ 0.3X - Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	+ 0.3X - Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- 0.3X + Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- 0.3X + Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- 0.3X - Y + eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά X	Ιδιομορφική	- 0.3X - Y - eccX																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ X + eccY + 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ X - eccY + 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ X + eccY - 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ X - eccY - 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- X + eccY + 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- X + eccY - 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- X - eccY + 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- X - eccY - 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ 0.3X + eccY + Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ 0.3X + eccY - Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ 0.3X - eccY + Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	+ 0.3X - eccY - Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- 0.3X + eccY + Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- 0.3X + eccY - Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- 0.3X - eccY + Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ομοιόμορφη	- 0.3X - eccY - Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ X + eccY + 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ X - eccY + 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ X + eccY - 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ X - eccY - 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- X + eccY + 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- X + eccY - 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- X - eccY + 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- X - eccY - 0.3Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ 0.3X + eccY + Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ 0.3X + eccY - Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ 0.3X - eccY + Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	+ 0.3X - eccY - Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- 0.3X + eccY + Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- 0.3X + eccY - Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- 0.3X - eccY + Y																																																																																																																																																																																																			
Διαξονική Με Εκκεντρότητα Κατά Y	Ιδιομορφική	- 0.3X - eccY - Y																																																																																																																																																																																																			

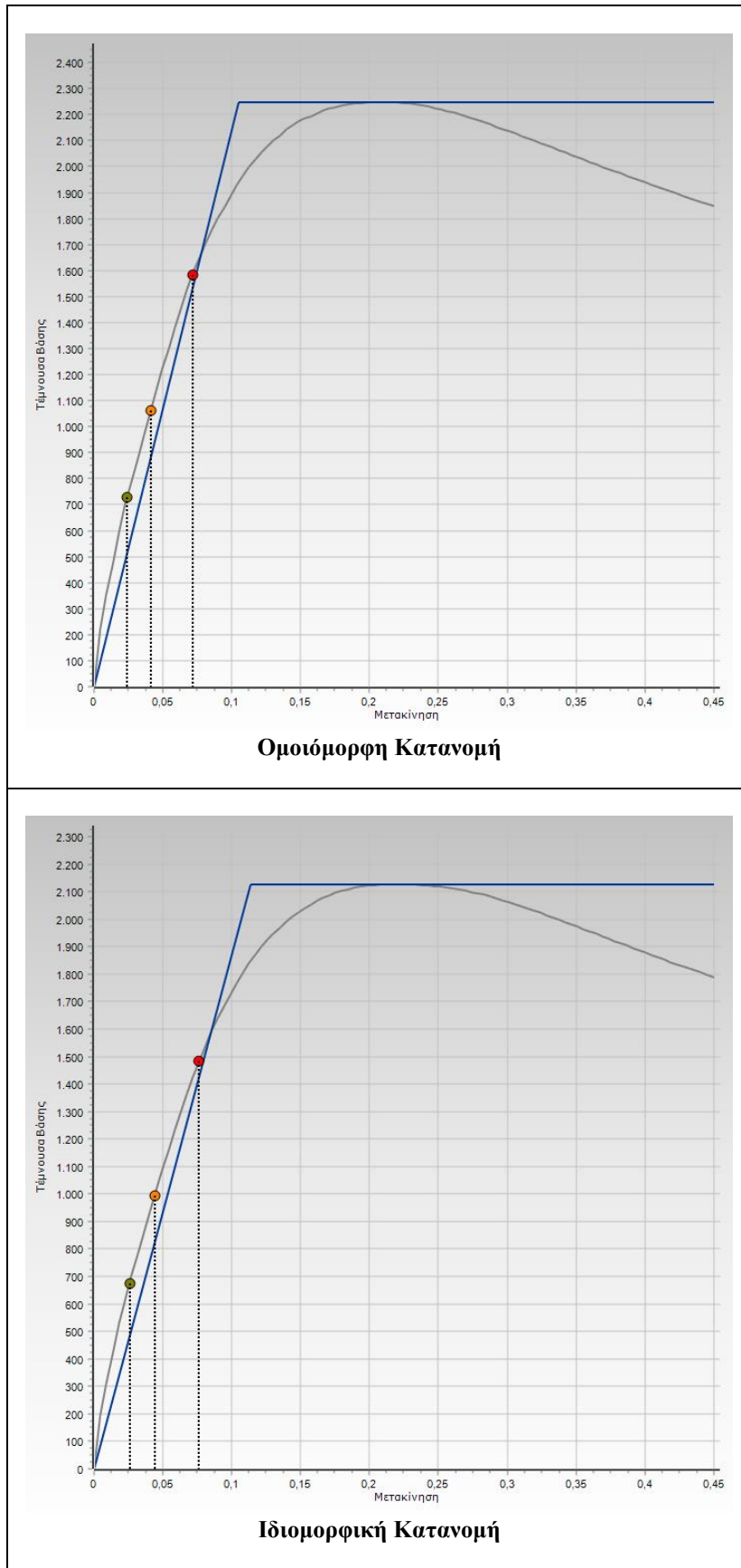
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ X + eccY + 0.3Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ X + eccY + 0.3Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ X - eccY + 0.3Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ X - eccY + 0.3Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ X + eccY + 0.3Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ X + eccY + 0.3Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ X - eccY + 0.3Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ X - eccY + 0.3Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ X + eccY - 0.3Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ X + eccY - 0.3Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ X - eccY - 0.3Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ X - eccY - 0.3Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ X + eccY - 0.3Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ X + eccY - 0.3Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ X - eccY - 0.3Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ X - eccY - 0.3Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- X + eccY + 0.3Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- X + eccY + 0.3Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- X - eccY + 0.3Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- X - eccY + 0.3Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- X + eccY - 0.3Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- X + eccY - 0.3Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- X - eccY - 0.3Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- X - eccY - 0.3Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ 0.3X + eccY + Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ 0.3X + eccY + Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ 0.3X - eccY + Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ 0.3X - eccY + Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ 0.3X + eccY - Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ 0.3X + eccY - Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ 0.3X - eccY - Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ 0.3X - eccY - Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ 0.3X + eccY - Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ 0.3X + eccY - Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$+ 0.3X - eccY - Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$+ 0.3X - eccY - Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X + eccY + Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X + eccY + Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X - eccY + Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X - eccY + Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X + eccY - Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X + eccY - Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X - eccY - Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X - eccY - Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X + eccY + Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X + eccY + Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X - eccY + Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X - eccY + Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X + eccY - Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X + eccY - Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X - eccY - Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X - eccY - Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X + eccY + Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X + eccY + Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X - eccY + Y + eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X - eccY + Y + eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X + eccY - Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X + eccY - Y - eccX$
Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ομοιόμορφη	$- 0.3X - eccY - Y - eccX$	Διαξονική Με Διπλή Εκκεντρότητα	Ιδιομορφική	$- 0.3X - eccY - Y - eccX$

Μετά την ολοκλήρωση των $144 \cdot 4 = 576$ μη γραμμικών στατικών αναλύσεων pushover για τις τέσσερις περιπτώσεις παραμετρικής ανάλυσης, προκύπτουν οι αντίστοιχες καμπύλες ικανότητας.

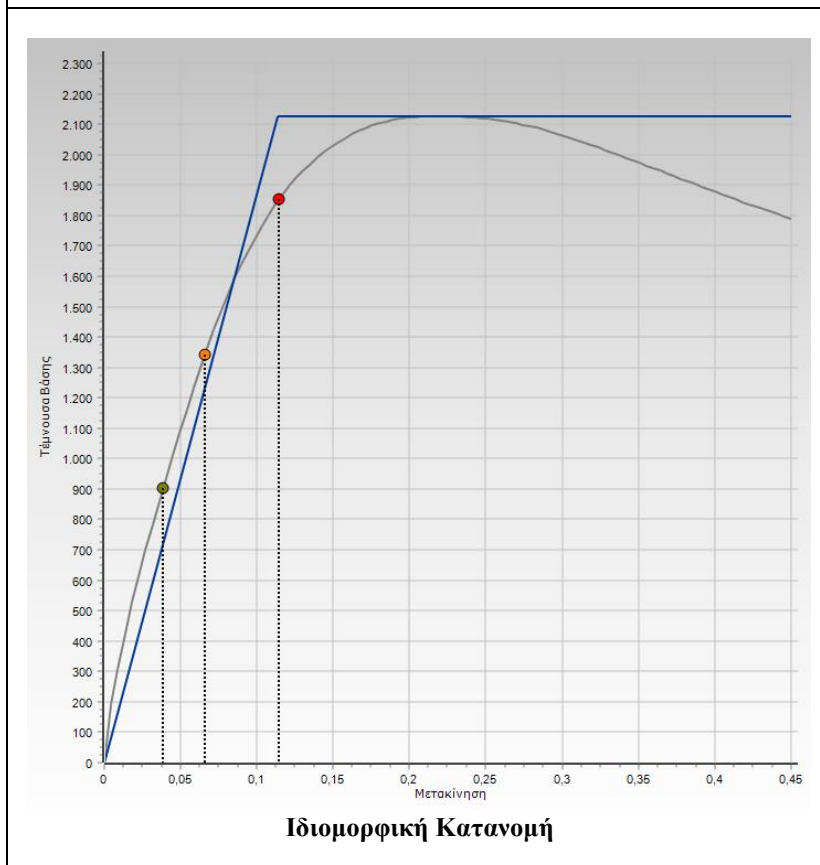
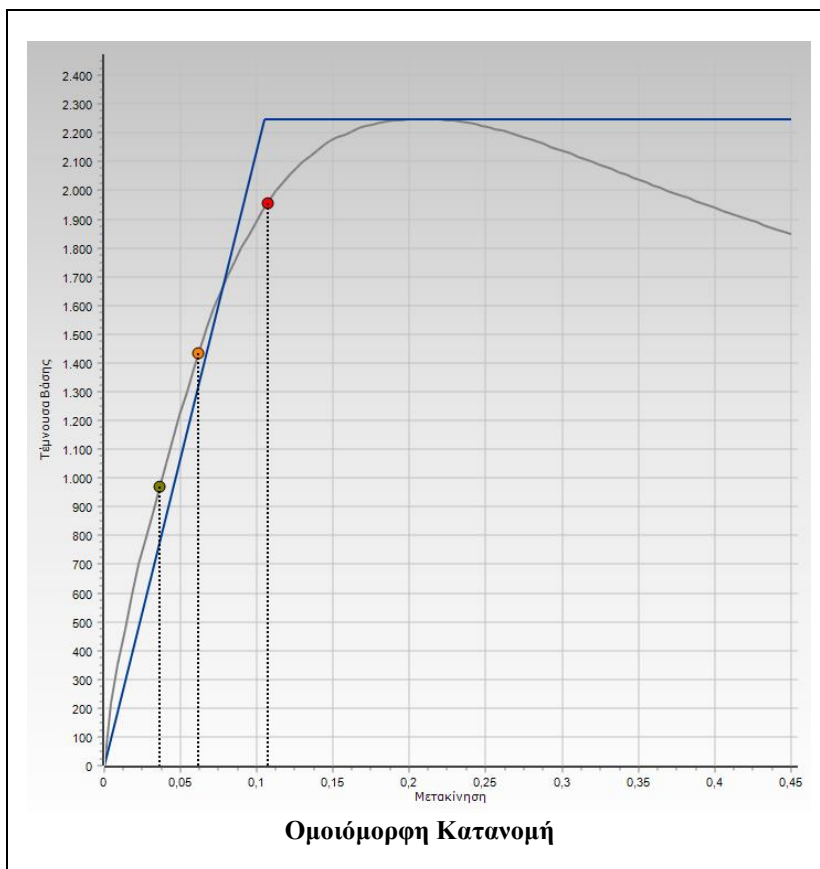
Ενδεικτικά, επιλέγονται προς απεικόνιση οι καμπύλες ικανότητας για τους συνδυασμούς: Ομοιόμορφη $+X+eccY$ και Ιδιομορφική $+X+eccY$, για τύπους εδάφους A, B και Σεισμικές Ζώνες II, III.

Πάνω σε κάθε καμπύλη ικανότητας εμφανίζονται τα σημεία στα οποία αντιστοιχούν οι στοχευμένες μετακινήσεις για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας με διαφορετικό χρώμα: Με πράσινο χρώμα το σημείο που αντιστοιχεί στη στάθμη DL, με πορτοκαλί το σημείο που αντιστοιχεί στη στάθμη SD και με κόκκινο το σημείο που αντιστοιχεί στη στάθμη NC.

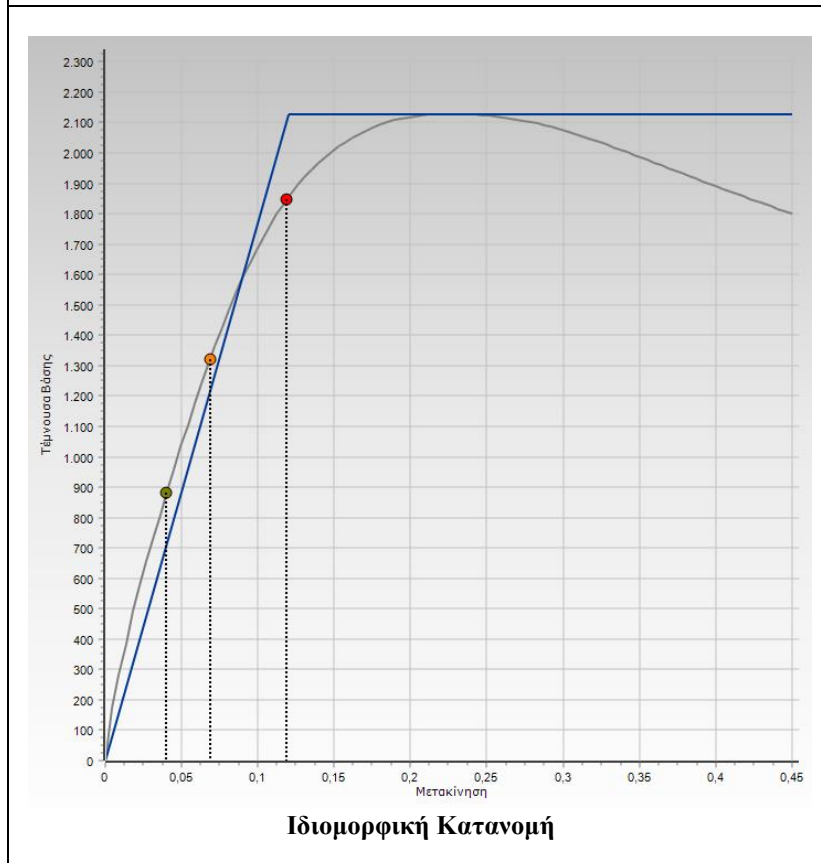
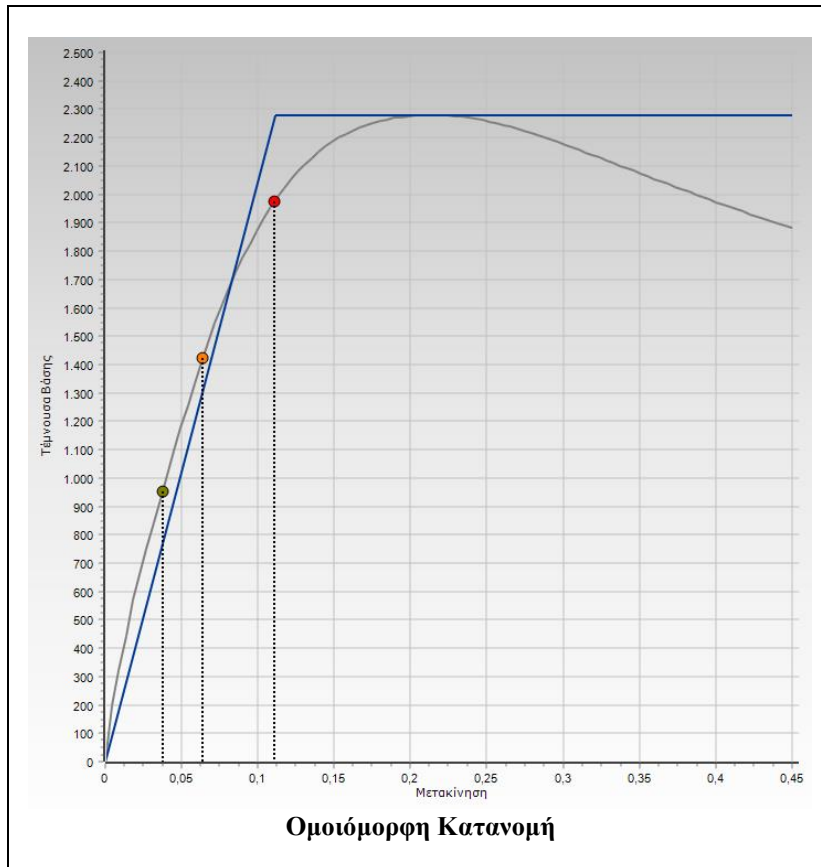
Πίνακας 28 - Ενδεικτικές Καμπύλες Ικανότητας - Έδαφος Α - Ζώνη ΙΙ



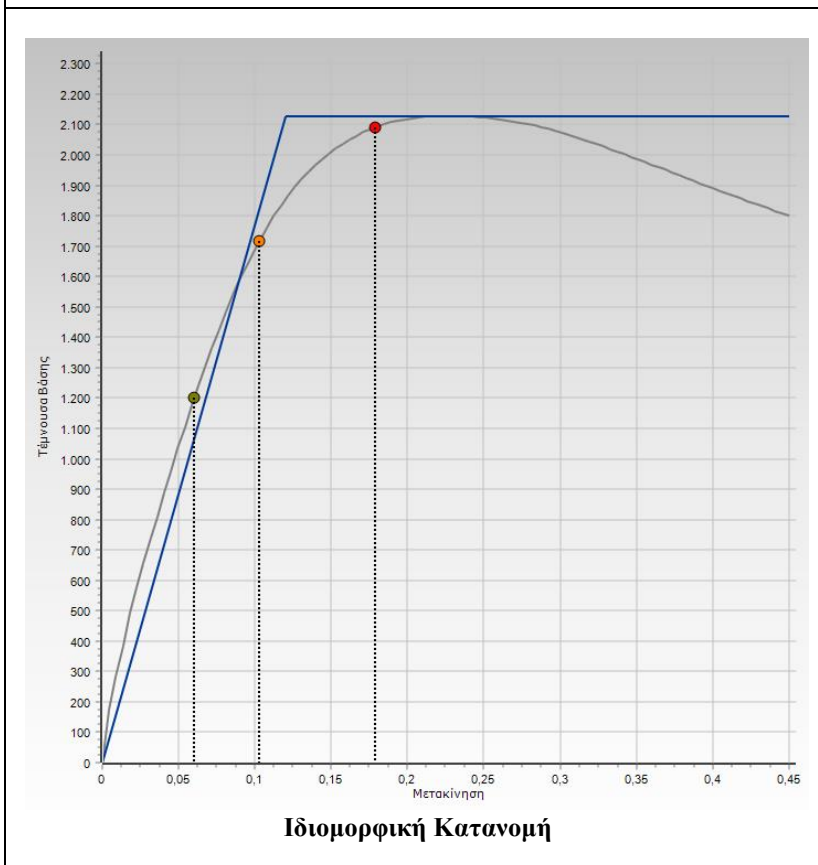
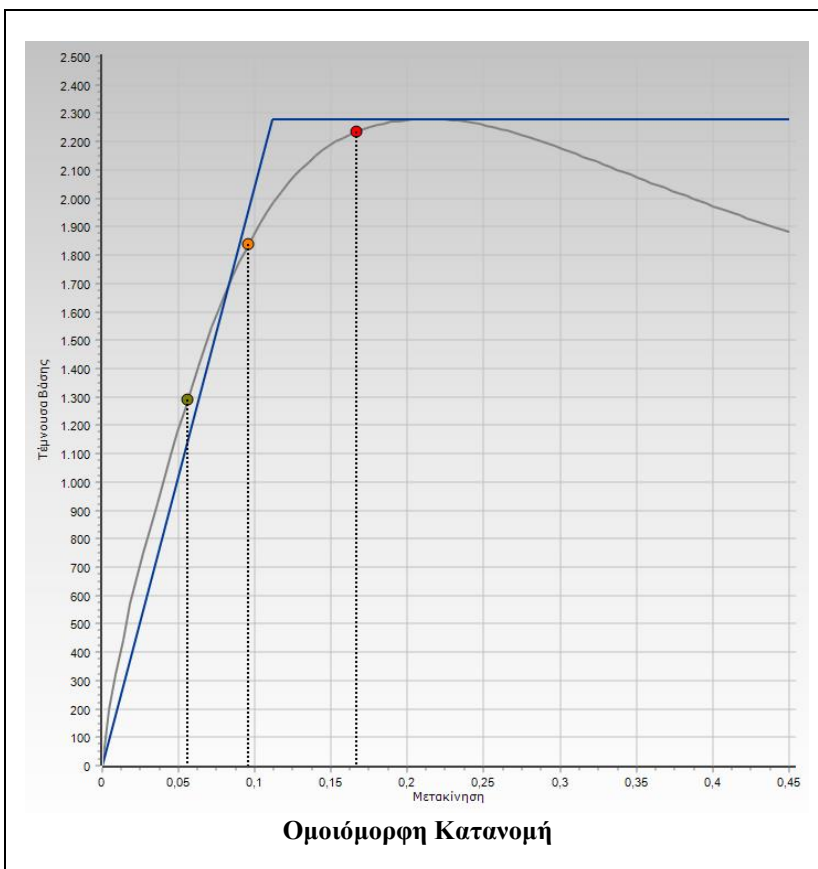
Πίνακας 29 - Ενδεικτικές Καμπύλες Ικανότητας - Έδαφος Α - Ζώνη III



Πίνακας 30 - Ενδεικτικές Καμπύλες Ικανότητας - Έδαφος Β - Ζώνη ΙΙ



Πίνακας 31 - Ενδεικτικές Καμπύλες Ικανότητας - Έδαφος Β - Ζώνη III



5.3.8. Έλεγχοι Αστοχίας

Για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας δημιουργούνται οι περιβάλλουσες όλων των μη γραμμικών στατικών αναλύσεων pushover και εκτελείται ο υπολογισμός του λόγου Απαίτησης προς Ικανότητα για τα δομικά στοιχεία του προσομοιώματος του φέροντος οργανισμού. Συγκεκριμένα γίνεται τόσο ο έλεγχος Στροφής/Χορδής όσο και των Διατμητικών Δυνάμεων. Στους επόμενους πίνακες απεικονίζονται ενδεικτικά οι έλεγχοι για εκείνα τα δομικά στοιχεία που εμφανίζουν το μεγαλύτερο λόγο Απαίτησης προς Ικανότητα, με ταξινόμηση από το μεγαλύτερο λόγο προς τον μικρότερο.

Πίνακας 32 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος Α - Ζώνη II

Στάθμη	Έλεγχος Στροφής/Χορδής					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	3	Τέλ	0,002517	0,007269	0,346279
	δοκός Β6	3	Αρχ	0,002303	0,007126	0,323249
	δοκός Β5	3	Τέλ	0,002337	0,007233	0,323121
	δοκός Β8	3	Αρχ	0,002422	0,007498	0,322998
	δοκός Β8	2	Τέλ	0,002353	0,007354	0,319906
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	2	Τέλ	0,005207	0,034581	0,150586
	δοκός Β12	1	Αρχ	0,003119	0,020721	0,150512
	δοκός Β7	1	Τέλ	0,003447	0,022945	0,150221
	δοκός Β11	1	Τέλ	0,003110	0,020735	0,149978
	δοκός Β8	1	Αρχ	0,003426	0,022956	0,149256
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β12	1	Αρχ	0,008083	0,037099	0,217863
	δοκός Β11	1	Τέλ	0,008046	0,037008	0,217409
	δοκός Β12	2	Αρχ	0,008073	0,037181	0,217133
	δοκός Β11	2	Τέλ	0,008041	0,037065	0,216942
	δοκός Β7	2	Τέλ	0,008771	0,041056	0,213625

Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	2	Αρχ	124,655273	186,998596	0,666611
	δοκός Β4	2	Αρχ	124,450505	187,256317	0,664600
	δοκός Β8	2	Τέλ	123,981030	186,614390	0,664370
	δοκός Β4	1	Αρχ	123,828936	187,208164	0,661451
	δοκός Β3	2	Τέλ	123,142826	186,962835	0,658649
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	2	Αρχ	151,974331	190,420626	0,798098
	δοκός Β8	2	Τέλ	151,266406	190,272819	0,794997
	δοκός Β4	1	Αρχ	151,853364	191,075790	0,794728
	δοκός Β4	2	Αρχ	151,396369	190,771942	0,793599
	δοκός Β8	1	Τέλ	150,280771	190,058571	0,790708
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β4	1	Αρχ	186,123123	198,772068	0,936365
	δοκός Β3	1	Τέλ	184,875682	197,496193	0,936097
	δοκός Β7	1	Αρχ	183,648377	196,956512	0,932431
	δοκός Β7	2	Αρχ	183,454490	196,800526	0,932185
	δοκός Β8	1	Τέλ	183,182688	196,762524	0,930984

Πίνακας 33 - Έλεγχου Αστοχίας - Έδαφος Α - Ζώνη III

Στάθμη	Έλεγχος Στροφής/Χορδής					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β8	2	Τέλ	0,003245	0,007639	0,424845
	δοκός Β7	2	Αρχ	0,003226	0,007629	0,422834
	δοκός Β8	1	Τέλ	0,003219	0,007673	0,419488
	δοκός Β7	1	Αρχ	0,003195	0,007665	0,416841
	δοκός Β3	1	Τέλ	0,003131	0,007699	0,406649
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	2	Τέλ	0,007624	0,031956	0,238592
	δοκός Β7	1	Τέλ	0,005144	0,021694	0,237119
	δοκός Β12	1	Αρχ	0,004515	0,019172	0,235515
	δοκός Β8	1	Αρχ	0,005107	0,021721	0,235107
	δοκός Β11	1	Τέλ	0,004502	0,019186	0,234661
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β4	1	Τέλ	0,014203	0,032081	0,442728
	δοκός Β3	1	Αρχ	0,014197	0,032241	0,440341
	δοκός Β12	1	Αρχ	0,013003	0,029682	0,438098
	δοκός Β11	1	Τέλ	0,012973	0,029670	0,437240
	δοκός Β7	1	Τέλ	0,014239	0,032627	0,436411

Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	2	Αρχ	144,415521	189,372068	0,762602
	δοκός Β8	2	Τέλ	143,626485	189,220952	0,759041
	δοκός Β4	1	Αρχ	143,859903	189,939180	0,757400
	δοκός Β4	2	Αρχ	143,563017	189,585791	0,757246
	δοκός Β7	1	Αρχ	143,033366	189,510814	0,754750
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β4	1	Αρχ	176,468024	196,290437	0,899015
	δοκός Β7	2	Αρχ	174,695107	194,535516	0,898011
	δοκός Β7	1	Αρχ	174,378210	194,609463	0,896042
	δοκός Β3	1	Τέλ	175,132783	195,571661	0,895492
	δοκός Β8	2	Τέλ	173,910104	194,307404	0,895026
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β4	1	Τέλ	222,053309	204,750674	1,084506
	δοκός Β4	1	Αρχ	216,167748	201,948930	1,070408
	δοκός Β3	1	Τέλ	215,212838	202,389413	1,063360
	δοκός Β2	1	Αρχ	217,413928	205,214534	1,059447
	δοκός Β3	1	Αρχ	218,886086	207,018008	1,057329
	δοκός Β7	1	Αρχ	213,620062	202,687744	1,053937
	δοκός Β8	1	Τέλ	213,445650	202,687906	1,053075
	δοκός Β7	1	Τέλ	217,922422	206,941733	1,053062
	δοκός Β8	1	Αρχ	217,555907	207,031074	1,050837
	δοκός Β2	1	Τέλ	211,914422	202,204230	1,048022
	δοκός Β1	1	Αρχ	211,069462	203,050100	1,039495
	δοκός Β12	1	Αρχ	212,068754	205,008100	1,034441
	δοκός Β11	1	Τέλ	211,720849	205,018682	1,032691
	δοκός Β1	1	Τέλ	214,145842	207,440659	1,032323
	δοκός Β6	1	Αρχ	213,665290	207,327993	1,030567
	δοκός Β4	2	Τέλ	212,063427	205,857947	1,030144
	δοκός Β6	1	Τέλ	209,331377	203,222664	1,030059
	δοκός Β5	1	Αρχ	208,993913	203,240773	1,028307
	δοκός Β5	1	Τέλ	212,989599	207,405005	1,026926
	δοκός Β4	2	Αρχ	207,642887	202,482890	1,025484
	δοκός Β3	2	Τέλ	207,107642	203,290643	1,018776
	δοκός Β7	2	Αρχ	206,886848	203,346606	1,017410
	δοκός Β8	2	Τέλ	206,170266	203,408598	1,013577
	δοκός Β2	2	Αρχ	208,394029	206,363553	1,009839
	δοκός Β11	1	Αρχ	202,778306	200,840294	1,009650
	δοκός Β12	1	Τέλ	202,636310	200,854086	1,008873
	δοκός Β2	2	Τέλ	204,403596	202,713148	1,008339
	δοκός Β7	2	Τέλ	208,911505	207,850647	1,005104
	δοκός Β10	1	Αρχ	206,444785	205,549013	1,004358
δοκός Β8	2	Αρχ	208,500553	207,970548	1,002548	
δοκός Β1	2	Αρχ	203,864258	203,498493	1,001797	
δοκός Β6	2	Τέλ	203,884874	203,551223	1,001639	
δοκός Β9	1	Τέλ	205,373264	205,143494	1,001120	

Πίνακας 34 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος Β - Ζώνη ΙΙ

Στάθμη	Έλεγχος Στροφής/Χορδής					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαιτήση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β8	2	Τέλ	0,003073	0,007577	0,405498
	δοκός Β8	1	Τέλ	0,003078	0,007604	0,404822
	δοκός Β7	2	Αρχ	0,003058	0,007573	0,403760
	δοκός Β7	1	Αρχ	0,003072	0,007611	0,403577
	δοκός Β5	2	Αρχ	0,002978	0,007554	0,394254
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαιτήση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	1	Τέλ	0,005169	0,021701	0,238214
	δοκός Β8	1	Αρχ	0,005128	0,021728	0,235992
	δοκός Β7	2	Τέλ	0,005058	0,021828	0,231704
	δοκός Β12	1	Αρχ	0,004455	0,019237	0,231588
	δοκός Β11	1	Τέλ	0,004441	0,019259	0,230573
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαιτήση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	1	Τέλ	0,014046	0,032828	0,427867
	δοκός Β4	1	Τέλ	0,013879	0,032464	0,427521
	δοκός Β3	1	Αρχ	0,013883	0,032630	0,425456
	δοκός Β8	1	Αρχ	0,013955	0,033087	0,421751
	δοκός Β12	1	Αρχ	0,012692	0,030132	0,421211
Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαιτήση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	2	Αρχ	140,954890	188,887565	0,746237
	δοκός Β4	1	Αρχ	141,074182	189,461323	0,744607
	δοκός Β7	1	Αρχ	140,812146	189,123403	0,744552
	δοκός Β8	1	Τέλ	139,983490	188,601534	0,742218
	δοκός Β8	2	Τέλ	140,013947	188,713054	0,741941
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαιτήση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β4	1	Αρχ	174,101360	195,650557	0,889859
	δοκός Β7	1	Αρχ	172,758877	194,152273	0,889811
	δοκός Β7	2	Αρχ	172,495042	194,014578	0,889083
	δοκός Β8	1	Τέλ	172,199199	193,886412	0,888145
	δοκός Β3	1	Τέλ	172,640273	194,747832	0,886481

Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
NC	δοκός Β4	1	Τέλ	221,467821	204,833537	1,081209
	δοκός Β2	1	Αρχ	218,753649	205,106675	1,066536
	δοκός Β4	1	Αρχ	214,919283	202,093530	1,063464
	δοκός Β3	1	Αρχ	218,368483	207,091157	1,054456
	δοκός Β3	1	Τέλ	214,009579	202,960363	1,054440
	δοκός Β7	1	Τέλ	218,028085	206,974620	1,053405
	δοκός Β8	1	Αρχ	217,604026	207,064835	1,050898
	δοκός Β7	1	Αρχ	212,955340	202,928893	1,049409
	δοκός Β2	1	Τέλ	212,069112	202,272206	1,048434
	δοκός Β8	1	Τέλ	212,219096	202,855534	1,046159
	δοκός Β6	1	Αρχ	215,589410	207,200923	1,040485
	δοκός Β1	1	Αρχ	211,279547	203,109713	1,040224
	δοκός Β1	1	Τέλ	215,291805	207,358071	1,038261
	δοκός Β5	1	Τέλ	214,633869	207,294767	1,035404
	δοκός Β6	1	Τέλ	210,153759	203,249147	1,033971
	δοκός Β5	1	Αρχ	209,707263	203,241336	1,031814
	δοκός Β4	2	Τέλ	212,159916	205,888159	1,030462
	δοκός Β12	1	Αρχ	211,135740	205,177644	1,029039
	δοκός Β11	1	Τέλ	210,699419	205,202708	1,026787
	δοκός Β4	2	Αρχ	206,747480	202,613492	1,020403
	δοκός Β2	2	Αρχ	209,999068	206,187601	1,018485
	δοκός Β7	2	Αρχ	206,555248	203,432250	1,015352
	δοκός Β3	2	Τέλ	206,098719	203,417234	1,013182
	δοκός Β8	2	Τέλ	205,713447	203,502025	1,010867
	δοκός Β2	2	Τέλ	204,683270	202,763663	1,009467
	δοκός Β10	1	Αρχ	207,245816	205,554542	1,008228
	δοκός Β7	2	Τέλ	209,465262	207,827653	1,007880
	δοκός Β6	2	Τέλ	204,588961	203,568685	1,005012
	δοκός Β8	2	Αρχ	208,975941	207,953402	1,004917
	δοκός Β9	1	Τέλ	205,981204	205,162109	1,003992
	δοκός Β1	2	Αρχ	204,055971	203,551293	1,002479
	δοκός Β5	2	Αρχ	203,833192	203,606349	1,001114

Πίνακας 35 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος Β - Ζώνη ΙΙΙ

Στάθμη	Έλεγχος Στροφής/Χορδής					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β8	1	Τέλ	0,004457	0,008013	0,556257
	δοκός Β8	2	Τέλ	0,004418	0,007974	0,554110
	δοκός Β7	1	Αρχ	0,004427	0,008009	0,552792
	δοκός Β7	2	Αρχ	0,004384	0,007970	0,550115
	δοκός Β5	1	Αρχ	0,004312	0,007972	0,540875
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	1	Τέλ	0,011674	0,026729	0,436751
	δοκός Β4	1	Τέλ	0,011613	0,026609	0,436419
	δοκός Β3	1	Αρχ	0,011626	0,026766	0,434356
	δοκός Β12	1	Αρχ	0,010639	0,024532	0,433694
	δοκός Β11	1	Τέλ	0,010610	0,024498	0,433102
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β7	1	Τέλ	0,023917	0,028136	0,850072
	δοκός Β12	1	Αρχ	0,021335	0,025385	0,840471
	δοκός Β11	1	Τέλ	0,021232	0,025268	0,840295
	δοκός Β8	1	Αρχ	0,023705	0,028246	0,839222
	δοκός Β4	1	Τέλ	0,023026	0,027862	0,826428
Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β4	1	Αρχ	166,538009	193,791945	0,859365
	δοκός Β7	1	Αρχ	165,407263	192,546437	0,859051
	δοκός Β7	2	Αρχ	165,127298	192,350753	0,858470
	δοκός Β8	1	Τέλ	164,637989	192,322929	0,856050
	δοκός Β8	2	Τέλ	164,234129	192,093598	0,854969
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β4	1	Τέλ	209,245021	206,249922	1,014522
	δοκός Β4	1	Αρχ	203,767645	202,813258	1,004706
	δοκός Β2	1	Αρχ	206,182940	206,683561	0,997578
	δοκός Β3	1	Τέλ	202,605665	203,188107	0,997133
	δοκός Β7	1	Αρχ	202,113595	203,022627	0,995523

Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαιτηση	Ικανότητα	Λόγος
NC	δοκός Β4	1	Αρχ	232,286420	191,259604	1,214509
	δοκός Β3	1	Τέλ	231,561384	191,300293	1,210460
	δοκός Β4	1	Τέλ	238,120714	197,238124	1,207275
	δοκός Β2	1	Τέλ	231,832035	192,289530	1,205640
	δοκός Β1	1	Αρχ	230,901682	192,174897	1,201518
	δοκός Β2	1	Αρχ	237,770614	198,187804	1,199724
	δοκός Β3	1	Αρχ	236,358085	197,392897	1,197399
	δοκός Β7	1	Αρχ	230,244941	192,316787	1,197217
	δοκός Β7	1	Τέλ	235,159738	196,557557	1,196391
	δοκός Β8	1	Αρχ	235,261637	196,701457	1,196034
	δοκός Β8	1	Τέλ	230,185590	192,670532	1,194711
	δοκός Β6	1	Αρχ	234,823692	197,550084	1,188679
	δοκός Β1	1	Τέλ	235,714721	198,357219	1,188334
	δοκός Β5	1	Τέλ	234,629742	197,767261	1,186393
	δοκός Β5	1	Αρχ	229,709226	193,651742	1,186198
	δοκός Β6	1	Τέλ	229,613030	193,938225	1,183949
	δοκός Β12	1	Αρχ	231,708820	198,428632	1,167719
	δοκός Β11	1	Τέλ	231,743195	198,577632	1,167016
	δοκός Β10	1	Αρχ	231,576202	199,356872	1,161616
	δοκός Β11	1	Αρχ	226,518517	195,210435	1,160381
	δοκός Β12	1	Τέλ	226,294021	195,279998	1,158818
	δοκός Β9	1	Τέλ	230,116221	198,900647	1,156941
	δοκός Β10	1	Τέλ	225,206237	196,142127	1,148179
	δοκός Β9	1	Αρχ	223,659785	195,803958	1,142264
	δοκός Β4	2	Τέλ	229,871696	203,086898	1,131888
	δοκός Β2	2	Αρχ	228,958611	203,446329	1,125401
	δοκός Β4	2	Αρχ	223,625830	199,546342	1,120671
	δοκός Β3	2	Τέλ	222,955087	199,374937	1,118270
	δοκός Β2	2	Τέλ	222,786174	199,993262	1,113968
	δοκός Β1	2	Αρχ	222,123456	199,804727	1,111703
	δοκός Β7	2	Αρχ	221,931360	199,910536	1,110153
	δοκός Β8	2	Τέλ	221,704060	199,715573	1,110099
	δοκός Β7	2	Τέλ	226,086808	204,510265	1,105503
	δοκός Β8	2	Αρχ	226,059861	204,651625	1,104608
	δοκός Β6	2	Τέλ	221,176590	200,360213	1,103895
	δοκός Β5	2	Αρχ	220,922372	200,145996	1,103806
	δοκός Β3	2	Αρχ	226,209874	205,399939	1,101314
	δοκός Β12	2	Αρχ	223,392750	202,946284	1,100748
	δοκός Β6	2	Αρχ	225,336921	204,948231	1,099482
	δοκός Β5	2	Τέλ	225,012798	205,046204	1,097376
	δοκός Β11	2	Τέλ	222,524927	203,174274	1,095242
	δοκός Β1	2	Τέλ	225,029354	205,767465	1,093610
	δοκός Β9	2	Τέλ	220,445600	202,982850	1,086031
	δοκός Β10	2	Αρχ	221,030754	203,633795	1,085433
	δοκός Β11	2	Αρχ	214,079547	197,349184	1,084775
δοκός Β12	2	Τέλ	213,894020	197,374021	1,083699	
δοκός Β10	2	Τέλ	212,727376	197,805858	1,075435	
δοκός Β9	2	Αρχ	210,838883	197,499408	1,067542	

5.3.9. Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας

Η μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας πραγματοποιείται με το λογισμικό Seisbuild με τη χρήση επτά (7) τεχνητών επιταχυνσιογραφήματων ανά σεισμική ζώνη και τύπο εδάφους, τα οποία βασίζονται στα φάσματα του EC8 σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα.

Τύπος Ανάλυσης Επιλογή Γραμμικών ή μη γραμμικών μεθόδων για τις αναλύσεις

Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση

Δημιουργία Τεχνητών Επιταχ. Τεχνητά Επιταχυνσιογραφήματα για Δυναμική Ανάλυση

Μέθοδος Δημιουργίας
 Δημιουργία Τεχνητού Επιταχυνσιογραφήματος

Τυχαίο σύνολο γωνιών φάσης με πλάτη υπολογισμένα με συνάρτηση πικνωτότητας φασματικής ισχύος (Gasparini & Vanmarcke).

Αριθμός Τεχνητών Επιταχυσμάτων: 7

Ρυθμίσεις Φάσματος
 Μικρότερη περίοδος προσαρμογής στο στοχευόμενο φάσμα (sec): 0,020
 Μεγαλύτερη περίοδος προσαρμογής στο στοχευόμενο φάσμα (sec): 3,000

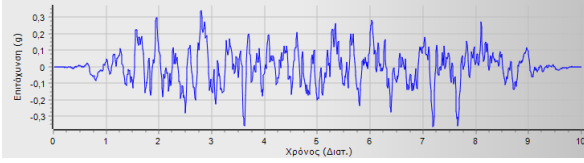
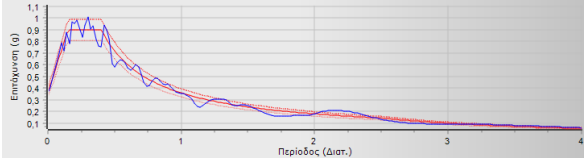
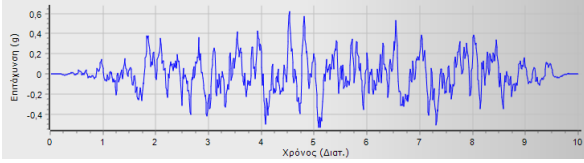
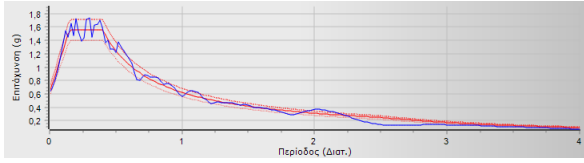
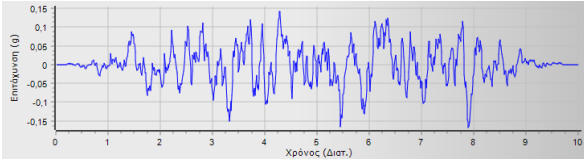
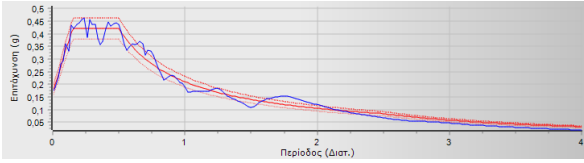
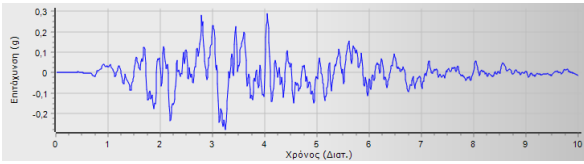
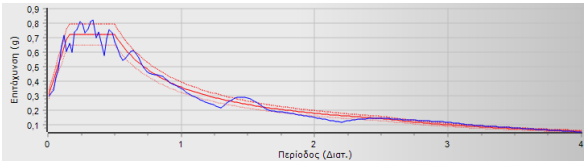
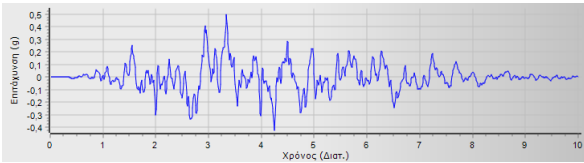
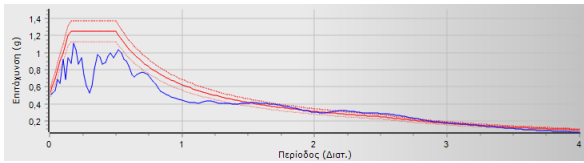
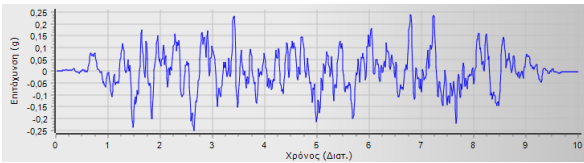
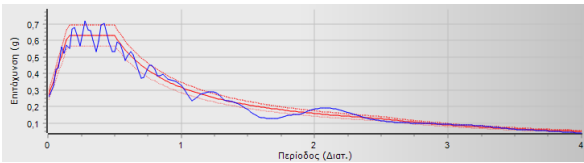
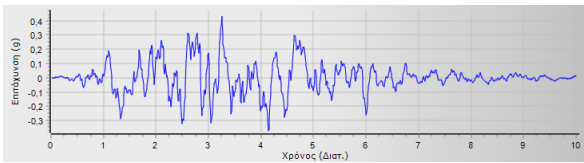
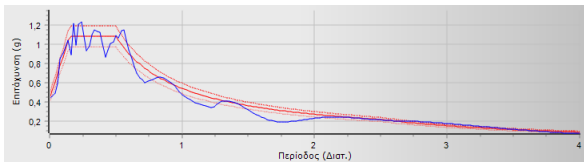
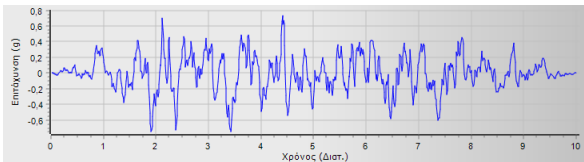
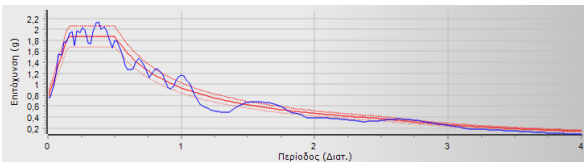
Ρυθμίσεις Επιταχυνσιογραφήματος
 Χρονικό βήμα dt (sec): 0,010
 Διάρκεια (sec): 10,000

Εικόνα 73 - Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται ενδεικτικά επιταχυνσιογράφηματα με τα αντίστοιχα μεμονωμένα φάσματα από τα οποία παράγονται, για κάθε Στάθμη Επιτελεστικότητας (ΣΕ), Τύπο Εδάφους (Ε) και Σεισμική Ζώνη (Ζ).

Πίνακας 36 - Τεχνητά Επιταχυνσιογραφήματα - Φάσματα

ΣΕ	Ε	Ζ	Χρονοϊστορία Επιτάχυνσης	Φάσμα
DL	A	II		
SD	A	II		
NC	A	II		
DL	A	III		

ΣΕ	E	Z	Χρονοϊστορία Επιτάχυνσης	Φάσμα
SD	A	III		
NC	A	III		
DL	B	II		
SD	B	II		
NC	B	II		
DL	B	III		
SD	B	III		
NC	B	III		

Οι μη γραμμικές αναλύσεις ιστορίας πραγματοποιούνται για κάθε οριζόντια διεύθυνση X, Y, για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας (DL, SD, NC), για τους τύπους εδάφους A, B και για τις Σεισμικές Ζώνες II, III, ήτοι εκτελούνται σύνολο $7 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 = 168$ αναλύσεις.

5.3.10. Έλεγχοι Αστοχίας

Από τις περιβάλλουσες των μη γραμμικών δυναμικών αναλύσεων υπολογίζεται ο λόγος Απαιτήσης προς Ικανότητα για Στροφή/Χορδή και Διατμητικών Δυνάμεων για τα δομικά στοιχεία του προσομοιώματος του φέροντος οργανισμού. Στους επόμενους πίνακες απεικονίζονται ενδεικτικά οι έλεγχοι για εκείνα τα δομικά στοιχεία που εμφανίζουν το μεγαλύτερο λόγο Απαιτήσης προς Ικανότητα, με ταξινόμηση από το μεγαλύτερο λόγο προς τον μικρότερο.

Πίνακας 37 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος A - Ζώνη II

Στάθμη	Έλεγχος Στροφής/Χορδής					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαιτήση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός B7	3	Τέλ	0,002517	0,007269	0,346279
	δοκός B6	3	Αρχ	0,002303	0,007126	0,323249
	δοκός B5	3	Τέλ	0,002337	0,007233	0,323121
	δοκός B8	3	Αρχ	0,002422	0,007498	0,322998
	δοκός B8	2	Τέλ	0,002353	0,007354	0,319906
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαιτήση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός B7	2	Τέλ	0,005207	0,034581	0,150586
	δοκός B12	1	Αρχ	0,003119	0,020721	0,150512
	δοκός B7	1	Τέλ	0,003447	0,022945	0,150221
	δοκός B11	1	Τέλ	0,003110	0,020735	0,149978
	δοκός B8	1	Αρχ	0,003426	0,022956	0,149256
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαιτήση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός B12	1	Αρχ	0,008083	0,037099	0,217863
	δοκός B11	1	Τέλ	0,008046	0,037008	0,217409
	δοκός B12	2	Αρχ	0,008073	0,037181	0,217133
	δοκός B11	2	Τέλ	0,008041	0,037065	0,216942
	δοκός B7	2	Τέλ	0,008771	0,041056	0,213625

Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτελ.
	δοκός Β4	1	Αρχ	108,546415	185,350101	0,585629
	δοκός Β7	1	Αρχ	108,109951	185,266339	0,583538
	δοκός Β4	2	Αρχ	107,866632	185,321000	0,582053
	δοκός Β7	2	Αρχ	107,652419	185,261247	0,581084
	δοκός Β1	1	Αρχ	105,383149	184,918318	0,569890
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτελ.
	δοκός Β3	1	Τέλ	136,515456	189,008361	0,722272
	δοκός Β3	2	Τέλ	136,265400	189,031789	0,720860
	δοκός Β8	1	Τέλ	135,879874	188,702610	0,720074
	δοκός Β8	2	Τέλ	135,586766	188,738525	0,718384
	δοκός Β4	1	Τέλ	140,597767	199,471424	0,704852
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος
	δοκός Β4	1	Τέλ	188,979576	205,877481	0,917923
	δοκός Β4	2	Τέλ	187,531051	205,524674	0,912450
	δοκός Β7	1	Τέλ	186,052473	204,998851	0,907578
	δοκός Β7	2	Τέλ	184,462773	204,594274	0,901603
	δοκός Β3	2	Τέλ	176,694951	196,668596	0,898440

Πίνακας 38 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος Α - Ζώνη ΙΙΙ

Στάθμη	Έλεγχος Στροφής/Χορδής					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ.
	δοκός Β7	2	Τέλ	0,002247	0,006754	0,332755
	δοκός Β8	2	Αρχ	0,002591	0,007822	0,331272
	δοκός Β4	1	Τέλ	0,002552	0,007706	0,331230
	δοκός Β1	2	Τέλ	0,002551	0,007708	0,330967
	δοκός Β5	1	Τέλ	0,002533	0,007685	0,329622
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ.
	δοκός Β7	1	Τέλ	0,004826	0,009103	0,530112
	δοκός Β8	1	Τέλ	0,004242	0,008056	0,526541
	δοκός Β4	1	Τέλ	0,004804	0,009150	0,525050
	δοκός Β3	1	Τέλ	0,004233	0,008081	0,523801
	δοκός Β3	2	Τέλ	0,004238	0,008098	0,523383
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ.
	δοκός Β9	1	Τέλ	0,008275	0,009267	0,892943
	δοκός Β1	1	Τέλ	0,008573	0,009639	0,889447
	δοκός Β5	1	Τέλ	0,008584	0,009698	0,885092
	δοκός Β12	1	Αρχ	0,008829	0,010090	0,875005
	δοκός Β8	1	Αρχ	0,005892	0,006810	0,865205

Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ
	δοκός Β3	1	Τέλ	126,811080	187,699587	0,675607
	δοκός Β3	2	Τέλ	126,272266	187,684690	0,672789
	δοκός Β8	1	Τέλ	126,088796	187,512476	0,672429
	δοκός Β8	2	Τέλ	125,582647	187,509104	0,669742
	δοκός Β4	1	Αρχ	125,036718	187,316831	0,667515
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ
	δοκός Β3	2	Τέλ	165,783862	194,095856	0,854134
	δοκός Β3	1	Τέλ	165,516682	193,900532	0,853616
	δοκός Β8	1	Τέλ	164,954414	193,543070	0,852288
	δοκός Β8	2	Τέλ	164,804052	193,643637	0,851069
	δοκός Β4	1	Τέλ	172,888062	203,537753	0,849415
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ
	δοκός Β1	1	Τέλ	220,273514	204,857708	1,075251
	δοκός Β5	1	Τέλ	219,653347	204,887595	1,072068
	δοκός Β1	2	Τέλ	218,550996	205,096408	1,065601
	δοκός Β5	2	Τέλ	217,870371	205,135856	1,062078
	δοκός Β7	1	Τέλ	215,139636	205,186368	1,048508
	δοκός Β2	1	Αρχ	215,367771	205,489321	1,048073
	δοκός Β4	1	Τέλ	215,120432	205,329278	1,047685
	δοκός Β3	1	Αρχ	214,956107	205,299287	1,047038
	δοκός Β7	2	Τέλ	214,141751	205,381585	1,042653
	δοκός Β4	2	Τέλ	213,647900	205,569836	1,039296
	δοκός Β3	2	Αρχ	213,472180	205,505784	1,038765
	δοκός Β2	2	Αρχ	213,333581	205,771818	1,036748
	δοκός Β8	1	Αρχ	213,025114	205,525545	1,036490
	δοκός Β6	1	Αρχ	212,401825	205,606928	1,033048
	δοκός Β9	1	Τέλ	210,721234	204,660585	1,029613
	δοκός Β8	2	Αρχ	211,145120	205,767771	1,026133
	δοκός Β6	2	Αρχ	210,056543	205,957403	1,019903
δοκός Β9	2	Τέλ	208,572900	204,744492	1,018698	
δοκός Β11	1	Τέλ	206,079364	205,245495	1,004063	
δοκός Β12	1	Αρχ	206,091515	205,371039	1,003508	

Πίνακας 39 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος Β - Ζώνη ΙΙ

Στάθμη	Έλεγχος Στροφής/Χορδής					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτε
	δοκός Β8	1	Αρχ	0,002269	0,006688	0,339198
	δοκός Β6	1	Αρχ	0,002295	0,006812	0,336930
	δοκός Β3	1	Αρχ	0,002273	0,006749	0,336819
	δοκός Β2	1	Αρχ	0,002629	0,007807	0,336796
	δοκός Β7	1	Τέλ	0,002639	0,007848	0,336242
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτε
	δοκός Β2	1	Αρχ	0,004711	0,009124	0,516286
	δοκός Β6	1	Αρχ	0,004659	0,009078	0,513269
	δοκός Β4	1	Τέλ	0,004516	0,009050	0,499016
	δοκός Β3	1	Αρχ	0,004485	0,008999	0,498352
	δοκός Β7	1	Τέλ	0,004487	0,009006	0,498208
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτε
	δοκός Β3	1	Αρχ	0,008873	0,009555	0,928549
	δοκός Β12	1	Αρχ	0,008333	0,009160	0,909701
	δοκός Β8	1	Αρχ	0,008704	0,009658	0,901298
	δοκός Β11	1	Τέλ	0,009851	0,011158	0,882901
	δοκός Β3	2	Αρχ	0,008313	0,009727	0,854571
Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτε
	δοκός Β3	1	Τέλ	123,900722	186,973142	0,662666
	δοκός Β8	1	Τέλ	123,521622	186,815491	0,661196
	δοκός Β2	1	Τέλ	123,468821	187,010397	0,660224
	δοκός Β6	1	Τέλ	123,165069	186,886602	0,659036
	δοκός Β4	1	Τέλ	130,166306	199,110834	0,653738
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτε
	δοκός Β2	1	Αρχ	172,168157	203,627024	0,845507
	δοκός Β6	1	Αρχ	170,158860	203,053817	0,837999
	δοκός Β1	1	Αρχ	161,762307	193,075103	0,837821
	δοκός Β5	1	Αρχ	160,395819	192,526262	0,833111
	δοκός Β4	1	Τέλ	168,339741	203,029858	0,829138

Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ
	δοκός B3	1	Αρχ	223,357787	204,783732	1,090701
	δοκός B8	1	Αρχ	220,940316	204,871961	1,078431
	δοκός B3	2	Αρχ	219,034688	205,260658	1,067105
	δοκός B8	2	Αρχ	216,062879	205,454768	1,051632
	δοκός B12	1	Αρχ	213,722242	205,151900	1,041776
	δοκός B6	1	Αρχ	213,887053	205,700661	1,039798
	δοκός B2	1	Αρχ	213,720039	205,694834	1,039015
	δοκός B4	1	Τέλ	210,047271	206,051514	1,019392
	δοκός B7	1	Τέλ	209,690303	206,058297	1,017626
	δοκός B12	2	Αρχ	209,027384	205,474752	1,017290
	δοκός B2	2	Αρχ	207,774589	206,498729	1,006179
	δοκός B6	2	Αρχ	207,675090	206,514594	1,005619
	δοκός B4	1	Αρχ	203,800223	202,863681	1,004617

Πίνακας 40 - Έλεγχοι Αστοχίας - Έδαφος B - Ζώνη III

Στάθμη	Έλεγχος Στροφής/Χορδής					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ
	δοκός B2	1	Αρχ	0,003984	0,008842	0,450545
	δοκός B6	1	Αρχ	0,003917	0,008765	0,446849
	δοκός B5	1	Τέλ	0,003865	0,008768	0,440763
	δοκός B1	1	Τέλ	0,003848	0,008755	0,439570
SD	δοκός B2	2	Αρχ	0,003795	0,008743	0,434066
	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ
	δοκός B9	1	Τέλ	0,007934	0,010356	0,766190
	δοκός B12	1	Αρχ	0,007847	0,010330	0,759659
	δοκός B11	1	Τέλ	0,007610	0,010402	0,731564
δοκός B6	1	Αρχ	0,007144	0,009916	0,720446	
δοκός B2	1	Αρχ	0,007093	0,009941	0,713582	

Στάθμη	Έλεγχος Στροφής/Χορδής					
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ
	δοκός B3	1	Αρχ	0,011674	0,008917	1,309159
	δοκός B5	1	Τέλ	0,011522	0,008911	1,292928
	δοκός B2	1	Αρχ	0,011348	0,008920	1,272140
	δοκός B8	1	Αρχ	0,011440	0,009005	1,270350
	δοκός B6	1	Αρχ	0,011272	0,009049	1,245723
	δοκός B1	1	Τέλ	0,011162	0,008996	1,240782
	δοκός B7	1	Τέλ	0,011139	0,008997	1,238167
	δοκός B12	1	Αρχ	0,010860	0,008771	1,238140
	δοκός B10	1	Αρχ	0,010778	0,008748	1,232016
	δοκός B9	1	Τέλ	0,010750	0,008812	1,219869
	δοκός B4	1	Τέλ	0,010919	0,009015	1,211195
	δοκός B3	2	Αρχ	0,010885	0,009098	1,196434
	δοκός B5	2	Τέλ	0,010765	0,009096	1,183472
	δοκός B11	1	Τέλ	0,010375	0,008834	1,174472
	δοκός B8	2	Αρχ	0,010633	0,009207	1,154897
	δοκός B7	2	Τέλ	0,010539	0,009142	1,152891
	δοκός B2	2	Αρχ	0,010486	0,009137	1,147664
	δοκός B12	2	Αρχ	0,010174	0,008920	1,140518
	δοκός B1	2	Τέλ	0,010449	0,009167	1,139898
	δοκός B9	2	Τέλ	0,010101	0,008961	1,127258
	δοκός B6	2	Αρχ	0,010347	0,009190	1,125941
	δοκός B10	2	Αρχ	0,009995	0,008912	1,121486
	δοκός B4	2	Τέλ	0,010274	0,009185	1,118596
	δοκός B11	2	Τέλ	0,009909	0,008937	1,108815
	δοκός B4	1	Αρχ	0,009659	0,009417	1,025744
	δοκός B6	1	Τέλ	0,009643	0,009472	1,017980
	δοκός B12	1	Τέλ	0,008877	0,008727	1,017178
	δοκός B12	2	Τέλ	0,008689	0,008616	1,008482
	δοκός B3	1	Τέλ	0,009923	0,009860	1,006382
	δοκός B7	1	Αρχ	0,009480	0,009441	1,004152
	δοκός B5	1	Αρχ	0,009849	0,009822	1,002657
	δοκός B10	1	Τέλ	0,008748	0,008725	1,002654
Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
DL	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτ
	δοκός B2	1	Αρχ	158,368823	201,664359	0,785309
	δοκός B1	1	Αρχ	148,973735	190,753733	0,780974
	δοκός B6	1	Αρχ	156,021913	200,877601	0,776701
	δοκός B5	1	Αρχ	147,434101	190,415159	0,774277
δοκός B2	1	Τέλ	147,503112	190,524594	0,774195	

Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
SD	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτε
	δοκός Β2	1	Αρχ	207,027929	206,616917	1,001989
	δοκός Β4	1	Τέλ	206,989544	206,624148	1,001768
	δοκός Β6	1	Αρχ	206,471945	206,613947	0,999313
	δοκός Β7	1	Τέλ	205,741578	206,688072	0,995421
	δοκός Β3	1	Αρχ	204,351866	206,928777	0,987547
NC	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτε
	δοκός Β5	1	Τέλ	235,697054	201,757194	1,168221
	δοκός Β2	1	Αρχ	235,627127	201,875236	1,167192
	δοκός Β3	1	Αρχ	233,840781	201,622310	1,159796
	δοκός Β6	1	Αρχ	233,463133	202,106848	1,155147
	δοκός Β4	1	Τέλ	233,535702	202,443821	1,153583
	δοκός Β1	1	Τέλ	233,160374	202,224063	1,152980
	δοκός Β7	1	Τέλ	233,235943	202,407544	1,152309
	δοκός Β5	2	Τέλ	233,234550	202,814737	1,149988
	δοκός Β8	1	Αρχ	232,802667	202,933952	1,147184
	δοκός Β2	2	Αρχ	232,503393	203,052391	1,145041
	δοκός Β3	2	Αρχ	231,463117	202,685157	1,141984
	δοκός Β7	2	Τέλ	230,945659	203,231370	1,136368
	δοκός Β6	2	Αρχ	230,725377	203,491414	1,133833
	δοκός Β4	2	Τέλ	230,606744	203,508035	1,133158
	δοκός Β1	2	Τέλ	230,262501	203,327102	1,132473
	δοκός Β8	2	Αρχ	229,977160	203,894982	1,127920
	δοκός Β10	1	Αρχ	226,858097	202,472199	1,120441
	δοκός Β9	1	Τέλ	224,985209	202,268467	1,112310
	δοκός Β12	1	Αρχ	224,079321	202,354395	1,107361
	δοκός Β11	1	Τέλ	224,829407	203,055336	1,107232
	δοκός Β10	2	Αρχ	223,321107	203,399906	1,097941
	δοκός Β9	2	Τέλ	221,969669	203,018059	1,093349
	δοκός Β4	2	Αρχ	218,095338	200,453712	1,088008
δοκός Β12	2	Αρχ	220,720655	203,226719	1,086081	
δοκός Β11	2	Τέλ	220,925279	203,553866	1,085341	
δοκός Β2	2	Τέλ	217,375471	200,508498	1,084121	

Στάθμη	Έλεγχος Διατμητικών Δυνάμεων					
	Μέλος	Όροφος	Άκρο	Απαίτηση	Ικανότητα	Λόγος Επιτε
NC	δοκός Β6	1	Τέλ	218,593862	201,897284	1,082698
	δοκός Β4	1	Αρχ	218,144403	201,562092	1,082269
	δοκός Β1	1	Αρχ	218,045664	202,016101	1,079348
	δοκός Β6	2	Τέλ	217,623318	202,084791	1,076891
	δοκός Β2	1	Τέλ	217,173725	201,860215	1,075862
	δοκός Β1	2	Αρχ	217,296065	202,026969	1,075579
	δοκός Β5	1	Αρχ	216,692988	201,995075	1,072764
	δοκός Β5	2	Αρχ	216,200567	202,052883	1,070020
	δοκός Β3	1	Τέλ	216,049281	202,107638	1,068981
	δοκός Β8	1	Τέλ	215,779194	202,120996	1,067574
	δοκός Β8	2	Τέλ	215,639555	202,008137	1,067480
	δοκός Β3	2	Τέλ	214,947639	202,143228	1,063343
	δοκός Β7	2	Αρχ	213,778459	202,001184	1,058303
	δοκός Β7	1	Αρχ	213,871823	202,291196	1,057247
	δοκός Β10	1	Τέλ	209,690633	200,882871	1,043845
	δοκός Β10	2	Τέλ	207,865784	199,155604	1,043736
	δοκός Β9	1	Αρχ	207,747253	200,528731	1,035997
	δοκός Β11	1	Αρχ	207,851947	200,668025	1,035800
	δοκός Β9	2	Αρχ	205,945516	198,905143	1,035396
	δοκός Β11	2	Αρχ	206,149657	199,130007	1,035252
	δοκός Β12	2	Τέλ	205,852200	199,170005	1,033550
	δοκός Β5	3	Τέλ	208,245561	201,740266	1,032246
	δοκός Β7	3	Τέλ	208,077158	201,743602	1,031394
	δοκός Β12	1	Τέλ	207,161588	200,993553	1,030688
	δοκός Β1	3	Τέλ	207,414036	201,757962	1,028034
	δοκός Β2	3	Αρχ	207,416493	201,841547	1,027620
	δοκός Β3	3	Αρχ	207,155972	201,720818	1,026944
	δοκός Β6	3	Αρχ	206,506233	201,839458	1,023121
	δοκός Β4	3	Τέλ	205,755150	201,859722	1,019298
	δοκός Β8	3	Αρχ	203,743949	202,199750	1,007637

5.4. Μη Γραμμική Ανάλυση του Κτιρίου με το Λογισμικό RUAUMOKO-3D

5.4.1. Εισαγωγή Δεδομένων

Η εισαγωγή των δεδομένων για το λογισμικό RUAUMOKO-3D γίνεται σε αρχείο κειμένου. Συνοψίζονται, στη συνέχεια, τα απαραίτητα δεδομένα για την προσομοίωση του φέροντα οργανισμού του κτιρίου για την ανάλυση με το RUAUMOKO-3D.

Η γεωμετρία του φορέα καθορίζεται από την αρίθμηση και τις συντεταγμένες των κόμβων και την αρίθμηση και συνδεσμολογία των μελών (κόμβος αρχής με κόμβο τέλους) σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 41 - Συντεταγμένες Κόμβων Φορέα

NODE	X	Y	Z	LEVEL
1	0.00	0.00	0.00	0
2	5.00	0.00	0.00	0
3	10.00	0.00	0.00	0
4	0.00	5.00	0.00	0
5	5.00	5.00	0.00	0
6	10.00	5.00	0.00	0
7	0.00	10.00	0.00	0
8	5.00	10.00	0.00	0
9	10.00	10.00	0.00	0
10	0.00	0.00	3.00	1
11	5.00	0.00	3.00	1
12	10.00	0.00	3.00	1
13	0.00	5.00	3.00	1
14	5.00	5.00	3.00	1
15	10.00	5.00	3.00	1
16	0.00	10.00	3.00	1
17	5.00	10.00	3.00	1
18	10.00	10.00	3.00	1
19	0.00	0.00	6.00	2
20	5.00	0.00	6.00	2
21	10.00	0.00	6.00	2
22	0.00	5.00	6.00	2
23	5.00	5.00	6.00	2
24	10.00	5.00	6.00	2
25	0.00	10.00	6.00	2
26	5.00	10.00	6.00	2
27	10.00	10.00	6.00	2
28	0.00	0.00	9.00	3

NODE	X	Y	Z	LEVEL
29	5.00	0.00	9.00	3
30	10.00	0.00	9.00	3
31	0.00	5.00	9.00	3
32	5.00	5.00	9.00	3
33	10.00	5.00	9.00	3
34	0.00	10.00	9.00	3
35	5.00	10.00	9.00	3
36	10.00	10.00	9.00	3
37	0.00	0.00	12.00	4
38	5.00	0.00	12.00	4
39	10.00	0.00	12.00	4
40	0.00	5.00	12.00	4
41	5.00	5.00	12.00	4
42	10.00	5.00	12.00	4
43	0.00	10.00	12.00	4
44	5.00	10.00	12.00	4
45	10.00	10.00	12.00	4
46	0.00	0.00	15.00	5
47	5.00	0.00	15.00	5
48	10.00	0.00	15.00	5
49	0.00	5.00	15.00	5
50	5.00	5.00	15.00	5
51	10.00	5.00	15.00	5
52	0.00	10.00	15.00	5
53	5.00	10.00	15.00	5
54	10.00	10.00	15.00	5

Πίνακας 42 - Συνδεσμολογία Μελών Φορέα

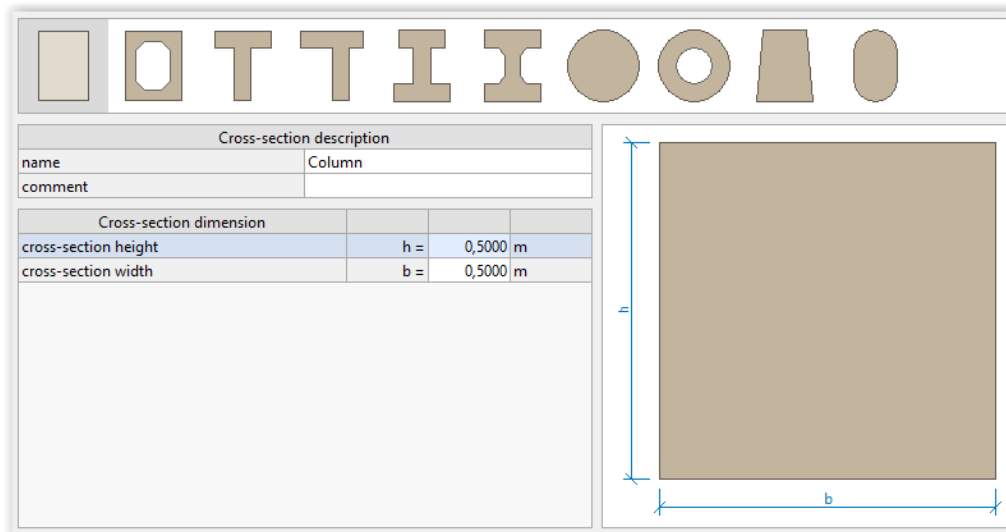
ELEMENT	START	END	NAME	LEVEL
1	1	10	C7	1
2	10	19	C7	2
3	19	28	C7	3
4	28	37	C7	4
5	37	46	C7	5
6	2	11	C8	1
7	11	20	C8	2
8	20	29	C8	3
9	29	38	C8	4
10	38	47	C8	5
11	3	12	C9	1
12	12	21	C9	2
13	21	30	C9	3

ELEMENT	START	END	NAME	LEVEL
14	30	39	C9	4
15	39	48	C9	5
16	4	13	C4	1
17	13	22	C4	2
18	22	31	C4	3
19	31	40	C4	4
20	40	49	C4	5
21	5	14	C5	1
22	14	23	C5	2
23	23	32	C5	3
24	32	41	C5	4
25	41	50	C5	5
26	6	15	C6	1
27	15	24	C6	2
28	24	33	C6	3
29	33	42	C6	4
30	42	51	C6	5
31	7	16	C1	1
32	16	25	C1	2
33	25	34	C1	3
34	34	43	C1	4
35	43	52	C1	5
36	8	17	C2	1
37	17	26	C2	2
38	26	35	C2	3
39	35	44	C2	4
40	44	53	C2	5
41	9	18	C3	1
42	18	27	C3	2
43	27	36	C3	3
44	36	45	C3	4
45	45	54	C3	5
46	10	11	B6	1
47	11	12	B5	1
48	13	14	B10	1
49	14	15	B9	1
50	16	17	B2	1
51	17	18	B1	1
52	10	13	B3	1
53	13	16	B4	1
54	11	14	B11	1
55	14	17	B12	1

ELEMENT	START	END	NAME	LEVEL
56	12	15	B8	1
57	15	18	B7	1
58	19	20	B6	2
59	20	21	B5	2
60	22	23	B10	2
61	23	24	B9	2
62	25	26	B2	2
63	26	27	B1	2
64	19	22	B3	2
65	22	25	B4	2
66	20	23	B11	2
67	23	26	B12	2
68	21	24	B8	2
69	24	27	B7	2
70	28	29	B6	3
71	29	30	B5	3
72	31	32	B10	3
73	32	33	B9	3
74	34	35	B2	3
75	35	36	B1	3
76	28	31	B3	3
77	31	34	B4	3
78	29	32	B11	3
79	32	35	B12	3
80	30	33	B8	3
81	33	36	B7	3
82	37	38	B6	4
83	38	39	B5	4
84	40	41	B10	4
85	41	42	B9	4
86	43	44	B2	4
87	44	45	B1	4
88	37	40	B3	4
89	40	43	B4	4
90	38	41	B11	4
91	41	44	B12	4
92	39	42	B8	4
93	42	45	B7	4
94	46	47	B6	5
95	47	48	B5	5
96	49	50	B10	5
97	50	51	B9	5

Για τον καθορισμό των ιδιοτήτων των μελών απαιτείται ο υπολογισμός των ελαστικών ιδιοτήτων των διατομών των υποστυλωμάτων και δοκών, ο υπολογισμός στοιχείων από τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης N-M των διατομών και ο υπολογισμός του δείκτη πλαστιμότητας (μ) των διατομών.

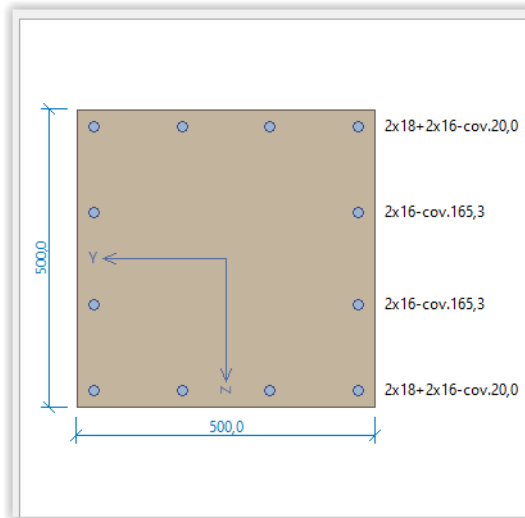
Ο υπολογισμός των ελαστικών ιδιοτήτων και η απεικόνιση των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης N-M των διατομών πραγματοποιείται με το λογισμικό FIN-EC-2026 (www.finesoftware.eu) ως ακολούθως.



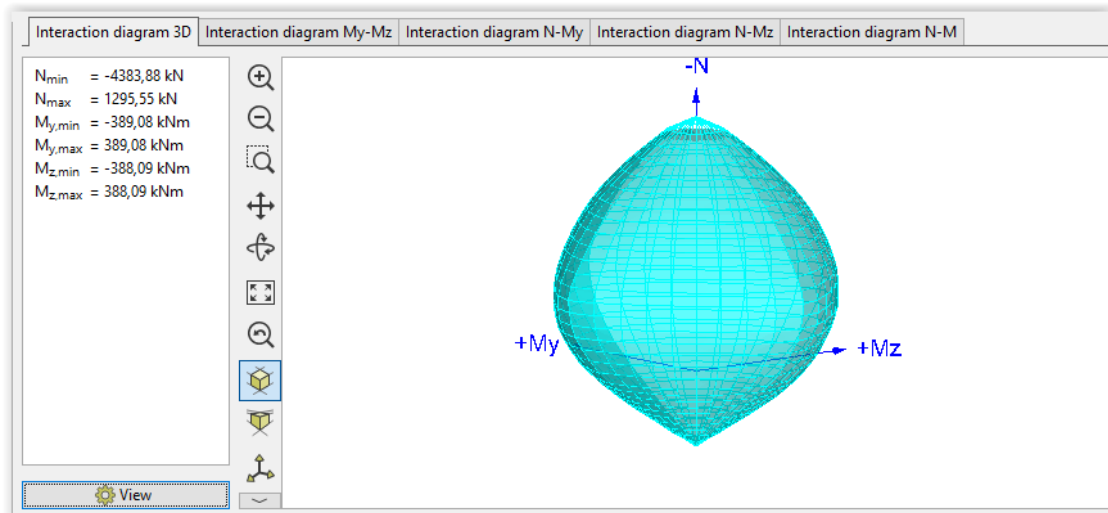
Εικόνα 75 - FIN-EC - Τετραγωνική Διατομή Υποστυλώματος

Column	
Cross-section dimension	
cross-section height	h = 0,5000 m
cross-section width	b = 0,5000 m
Cross-sectional characteristics	
cross-sectional area	A = 250,000000E-03 m ²
cross-section perimeter	P = 2,000000000 m
distance of centroid from left edge of min. cross-section envelope	Y _{cg} = 0,250000000 m
distance of centroid from bottom edge of min. cross-section envelope	Z _{cg} = 0,250000000 m
moment of inertia w.r.t. horizontal centroidal axis	I _y = 5,20833333E-03 m ⁴
moment of inertia w.r.t. vertical centroidal axis	I _z = 5,20833333E-03 m ⁴
mixed moment of inertia w.r.t. centroidal axes	D _{yz} = 0,00000000E+00 m ⁴
inclination of principal centroidal axes	φ = 0,0 °
radius of gyration normal to horizontal centroidal axis	i _y = 0,144337567 m
radius of gyration normal to vertical centroidal axis	i _z = 0,144337567 m
rigidity moment in simple torsion	I _k = 10,4166667E-03 m ⁴
polar moment of inertia	I _p = 10,4166667E-03 m ⁴
polar moment of inertia	i _p = 0,204124145 m
y-coordinate of shear center in centroidal coordinate system	y _{sc} = 0,000000000 m
z-coordinate of shear center in centroidal coordinate system	z _{sc} = 0,000000000 m
shear area due to shear force in direction of Y-axis	A _y = 208,333333E-03 m ²
shear area due to shear force in direction of Z-axis	A _z = 208,333333E-03 m ²
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal y-axis at upper edge of cross-section	W _{y1} = 20,8333333E-03 m ³
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal y-axis at bottom edge of cross-section	W _{y2} = -20,8333333E-03 m ³
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal z-axis at right edge of cross-section	W _{z1} = -20,8333333E-03 m ³
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal z-axis at left edge of cross-section	W _{z2} = 20,8333333E-03 m ³

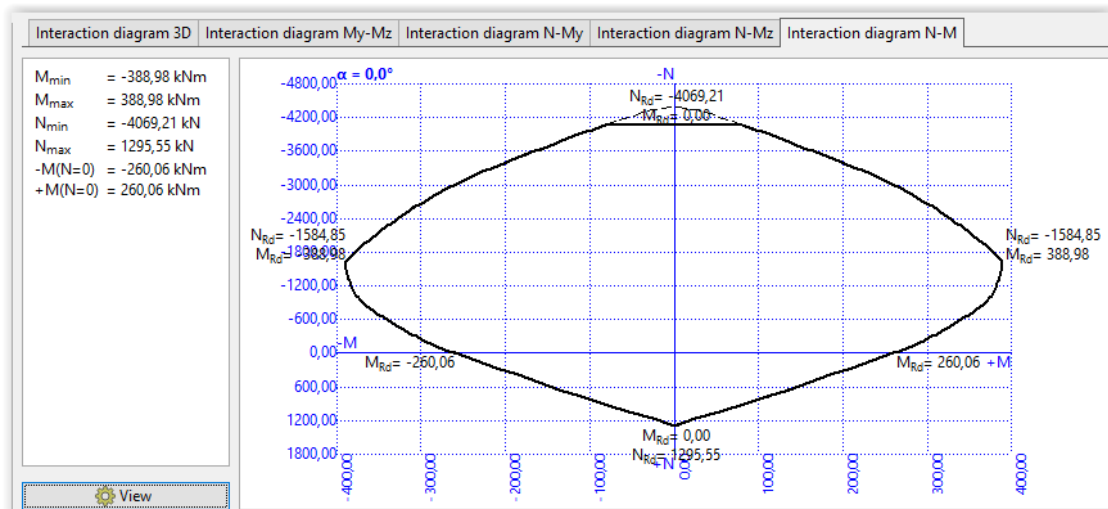
Εικόνα 76 - FIN-EC - Ελαστικές Ιδιότητες Διατομής Υποστυλώματος



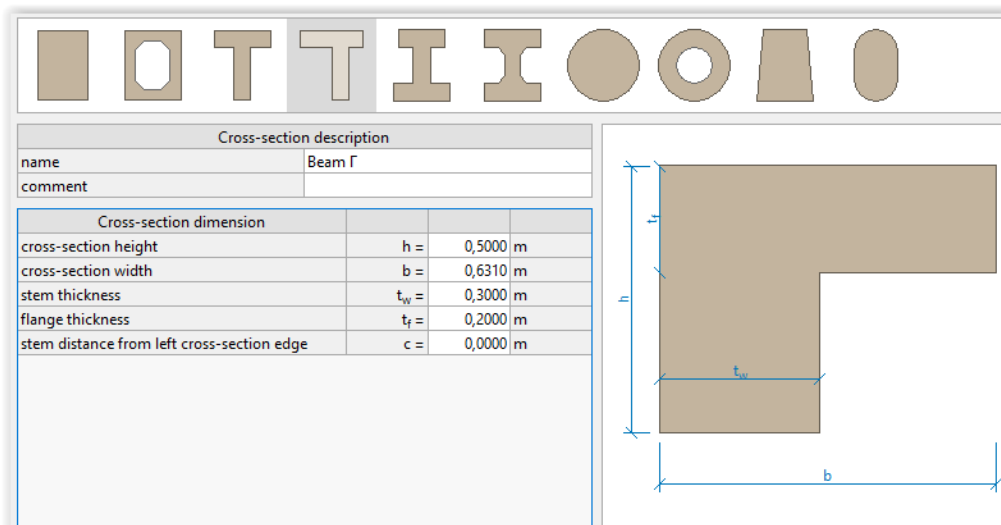
Εικόνα 77 - FIN-EC - Καθορισμός Οπλισμού Διατομής Υποστύλωματος



Εικόνα 78 - FIN-EC - Τρισδιάστατο Διάγραμμα N-M Διατομής Υποστύλωματος



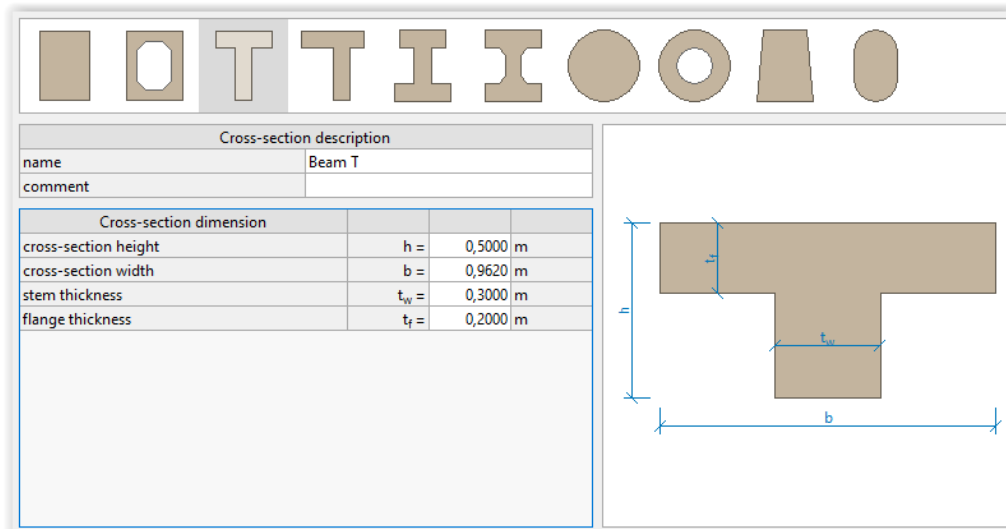
Εικόνα 79 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Υποστύλωματος



Εικόνα 80 - FIN-EC - Πλακοδοκός Διατομής Γ

Beam Γ	
Cross-section dimension	
cross-section height	h = 0,5000 m
cross-section width	b = 0,6310 m
stem thickness	t_w = 0,3000 m
flange thickness	t_f = 0,2000 m
Cross-sectional characteristics	
cross-sectional area	A = 216,200000E-03 m ²
cross-section perimeter	P = 2,262000000 m
distance of centroid from left edge of min. cross-section envelope	y_{cg} = 0,246605458 m
distance of centroid from bottom edge of min. cross-section envelope	z_{cg} = 0,295929695 m
moment of inertia w.r.t. horizontal centroidal axis	I_y = 4,37908480E-03 m ⁴
moment of inertia w.r.t. vertical centroidal axis	I_z = 6,30126481E-03 m ⁴
mixed moment of inertia w.r.t. centroidal axes	D_{yz} = 2,17362280E-03 m ⁴
inclination of principal centroidal axes	ϕ = 33,1 °
radius of gyration normal to horizontal centroidal axis	i_y = 0,142319311 m
radius of gyration normal to vertical centroidal axis	i_z = 0,170720636 m
moment of inertia w.r.t. principal Y-axis	I_{yh} = 2,96355323E-03 m ⁴
moment of inertia w.r.t. principal Z-axis	I_{zh} = 7,71679638E-03 m ⁴
radius of gyration normal to principal Y-axis	i_{yh} = 0,117078870 m
radius of gyration normal to principal Z-axis	i_{zh} = 0,188925541 m
rigidity moment in simple torsion	I_k = 5,11419517E-03 m ⁴
polar moment of inertia	I_p = 10,6803496E-03 m ⁴
polar moment of inertia	i_p = 0,222261832 m
y-coordinate of shear center in centroidal coordinate system	y_{sc} = 0,000000000 m
z-coordinate of shear center in centroidal coordinate system	z_{sc} = 0,000000000 m
shear area due to shear force in direction of Y-axis	A_y = 158,202797E-03 m ²
shear area due to shear force in direction of Z-axis	A_z = 157,459241E-03 m ²
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal y-axis at upper edge of cross-section	W_{y1} = 21,4587066E-03 m ³
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal y-axis at bottom edge of cross-section	W_{y2} = -14,7977201E-03 m ³
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal z-axis at right edge of cross-section	W_{z1} = -16,3927010E-03 m ³
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal z-axis at left edge of cross-section	W_{z2} = 25,5520087E-03 m ³

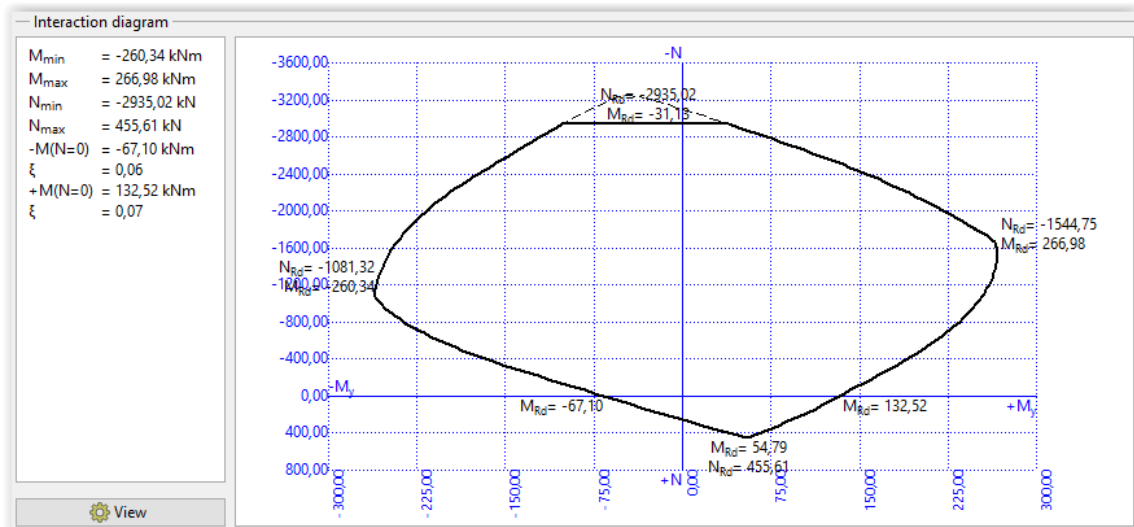
Εικόνα 81 - FIN-EC - Ελαστικές Ιδιότητες Πλακοδοκού Διατομής Γ



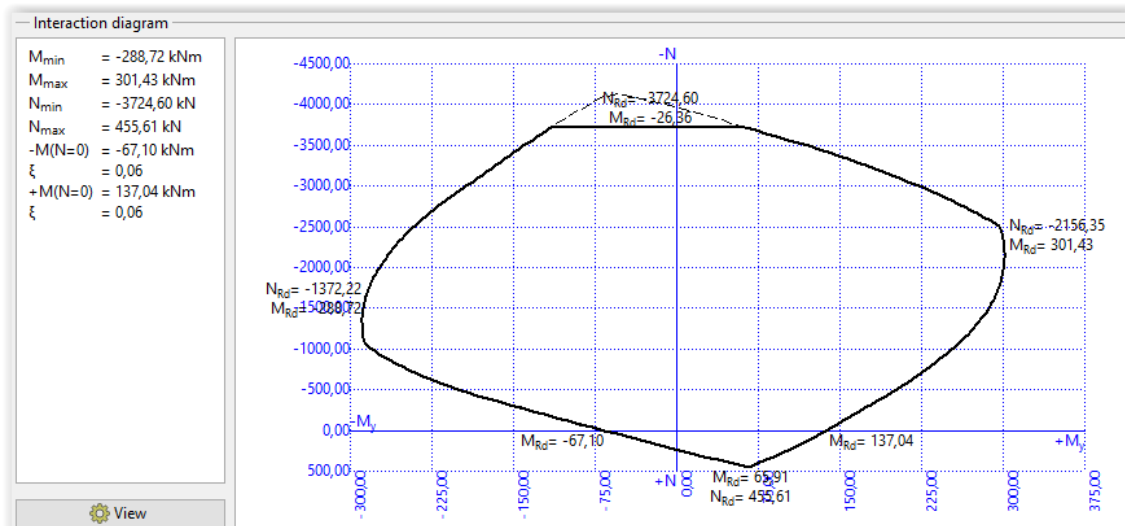
Εικόνα 82 - FIN-EC - Πλακοδοκός Διατομής T

Beam T	
Cross-section dimension	
cross-section height	h = 0,5000 m
cross-section width	b = 0,9620 m
stem thickness	t _w = 0,3000 m
flange thickness	t _f = 0,2000 m
Cross-sectional characteristics	
cross-sectional area	A = 282,400000E-03 m ²
cross-section perimeter	P = 2,924000000 m
distance of centroid from left edge of min. cross-section envelope	y _{cg} = 0,481000000 m
distance of centroid from bottom edge of min. cross-section envelope	z _{cg} = 0,320325779 m
moment of inertia w.r.t. horizontal centroidal axis	I _y = 5,14866336E-03 m ⁴
moment of inertia w.r.t. vertical centroidal axis	I _z = 15,5129521E-03 m ⁴
mixed moment of inertia w.r.t. centroidal axes	D _{yz} = 0,00000000E+00 m ⁴
inclination of principal centroidal axes	φ = 0,0 °
radius of gyration normal to horizontal centroidal axis	i _y = 0,135025223 m
radius of gyration normal to vertical centroidal axis	i _z = 0,234376940 m
rigidity moment in simple torsion	I _k = 7,69545854E-03 m ⁴
polar moment of inertia	I _p = 20,6616155E-03 m ⁴
polar moment of inertia	i _p = 0,270489114 m
y-coordinate of shear center in centroidal coordinate system	y _{sc} = 0,000000000 m
z-coordinate of shear center in centroidal coordinate system	z _{sc} = 0,000000000 m
shear area due to shear force in direction of Y-axis	A _y = 243,910790E-03 m ²
shear area due to shear force in direction of Z-axis	A _z = 179,155571E-03 m ²
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal y-axis at upper edge of cross-section	W _{y1} = 28,6555485E-03 m ³
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal y-axis at bottom edge of cross-section	W _{y2} = -16,0732095E-03 m ³
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal z-axis at right edge of cross-section	W _{z1} = -32,2514597E-03 m ³
cross-sectional modulus w.r.t. centroidal z-axis at left edge of cross-section	W _{z2} = 32,2514597E-03 m ³

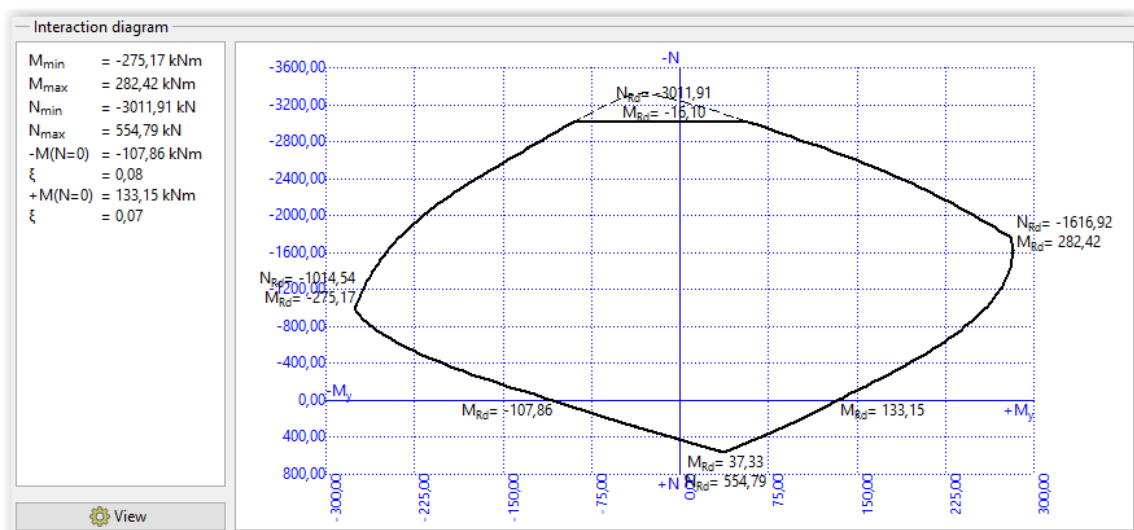
Εικόνα 83 - FIN-EC - Ελαστικές Ιδιότητες Πλακοδοκού Διατομής T



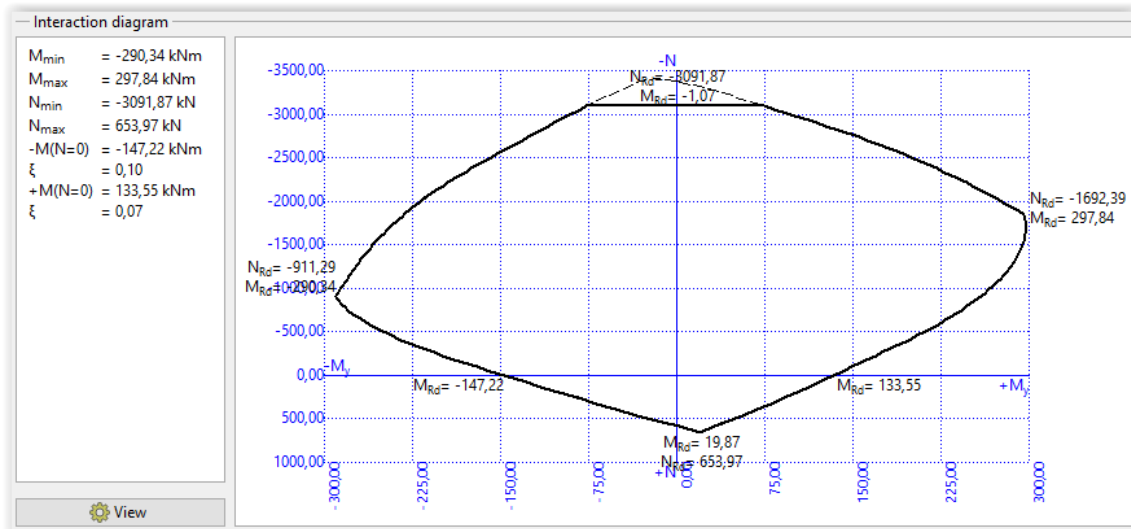
Εικόνα 84 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Γ 2Φ14 / 4Φ14



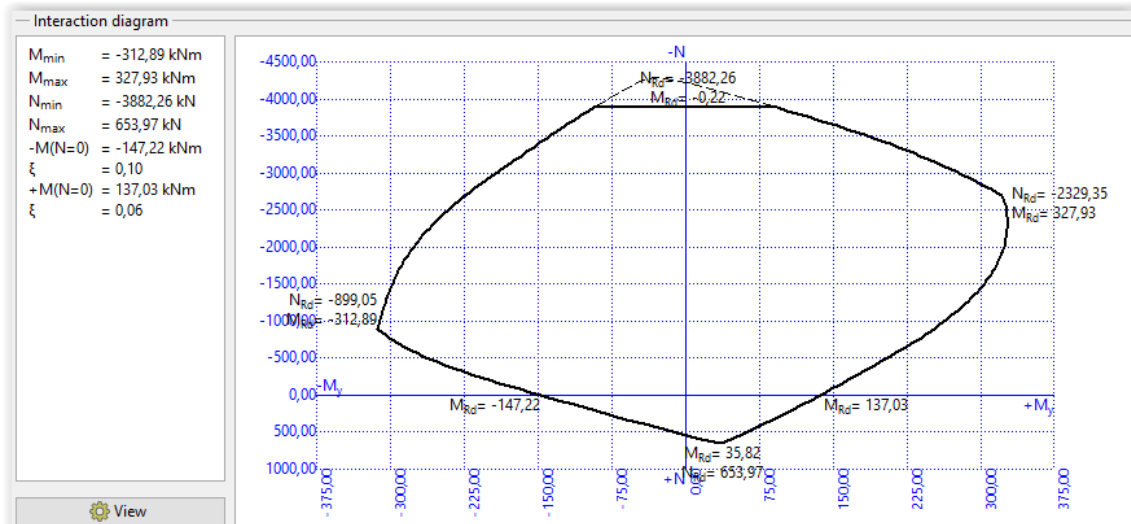
Εικόνα 85 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Τ 2Φ14 / 4Φ14



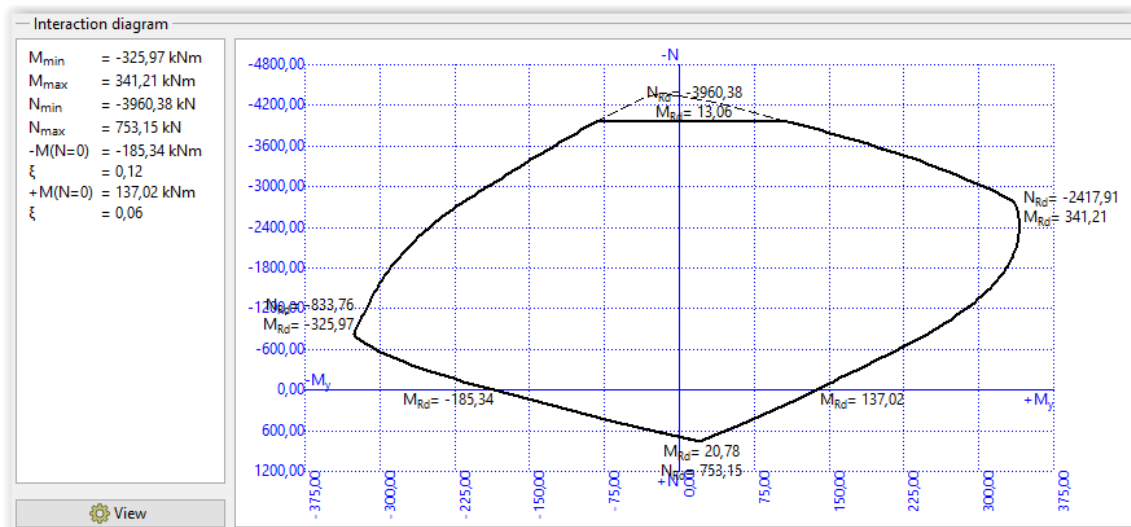
Εικόνα 86 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Γ 2Φ14+1Φ16 / 4Φ14



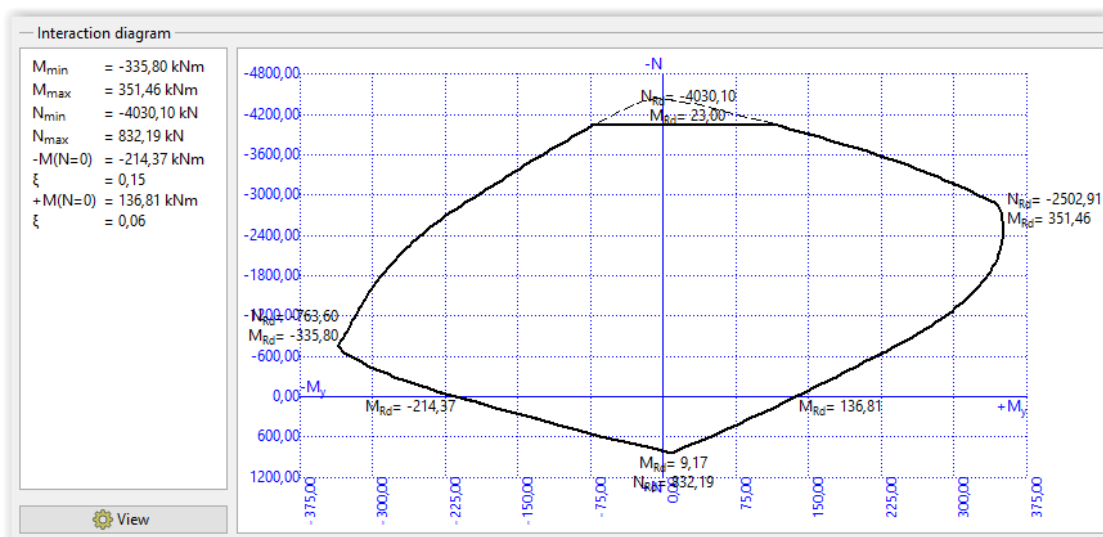
Εικόνα 87 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Γ 2Φ14+2Φ16 / 4Φ14



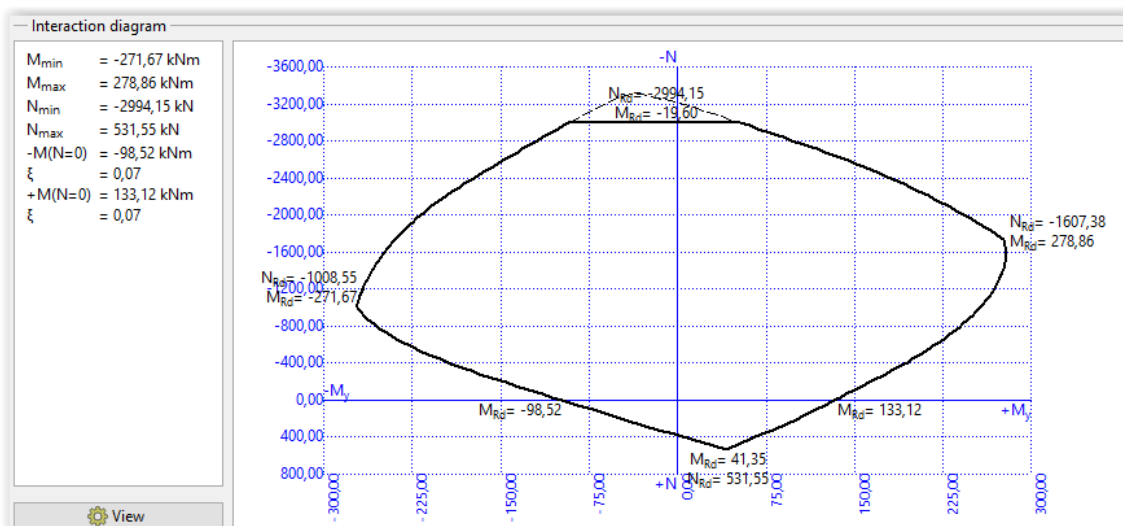
Εικόνα 88 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Τ 2Φ14+2Φ16 / 4Φ14



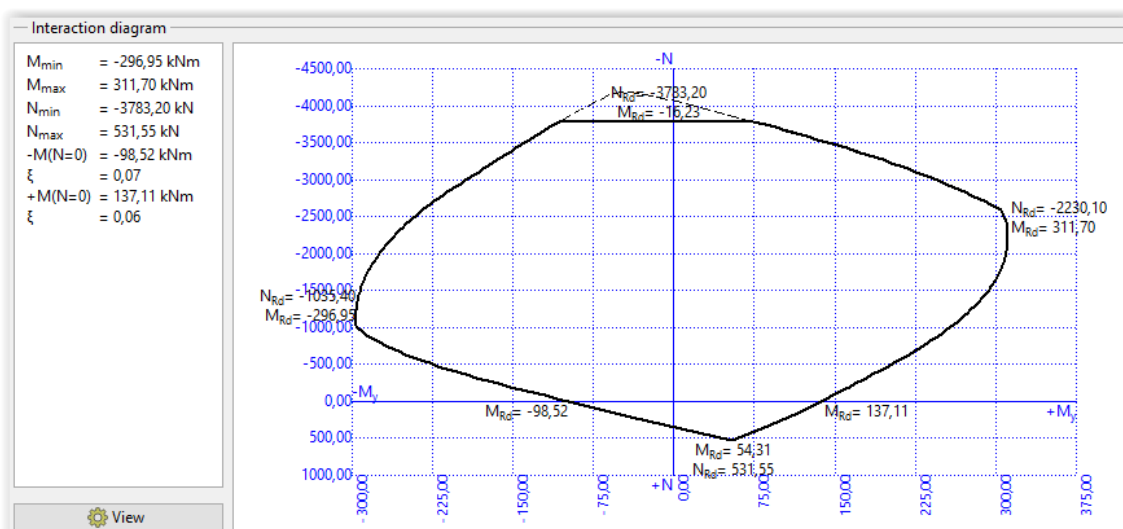
Εικόνα 89 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Τ 2Φ14+3Φ16 / 4Φ14



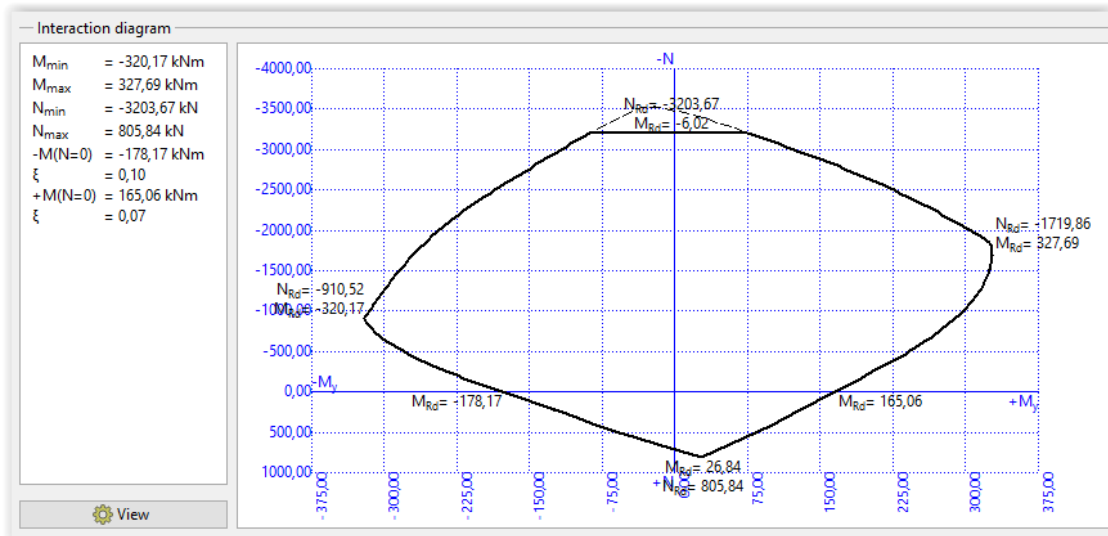
Εικόνα 90 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Τ 2Φ14+3Φ18 / 4Φ14



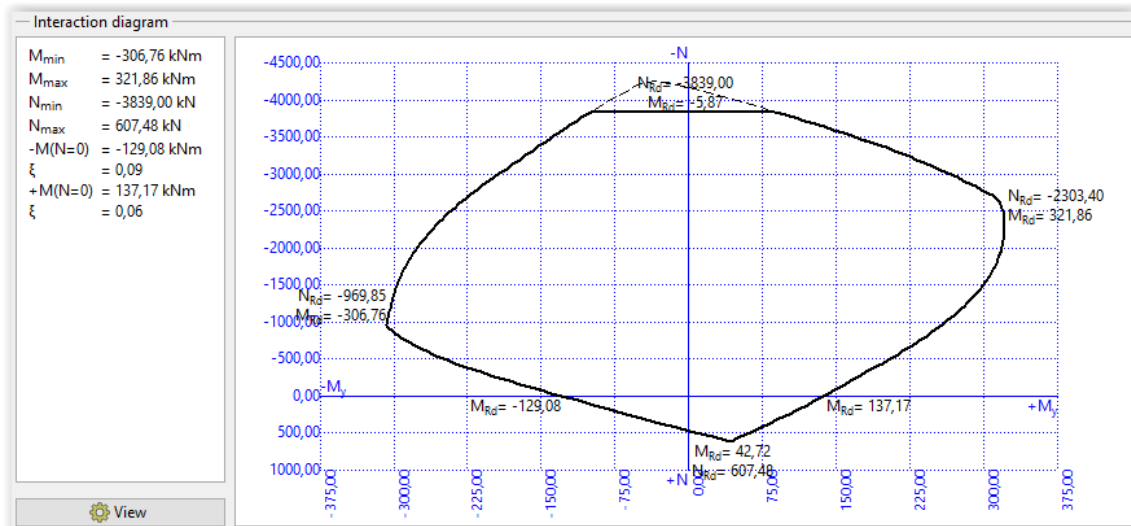
Εικόνα 91 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Γ 3Φ14 / 4Φ14



Εικόνα 92 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Τ 3Φ14 / 4Φ14



Εικόνα 93 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Γ 3Φ14+2Φ16 / 5Φ14



Εικόνα 94 - FIN-EC - Διάγραμμα N-M Διατομής Πλακοδοκού Τ 4Φ14 / 4Φ14

Τα δεδομένα που απαιτούνται από τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης N-M για τις ιδιότητες των μελών συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες.

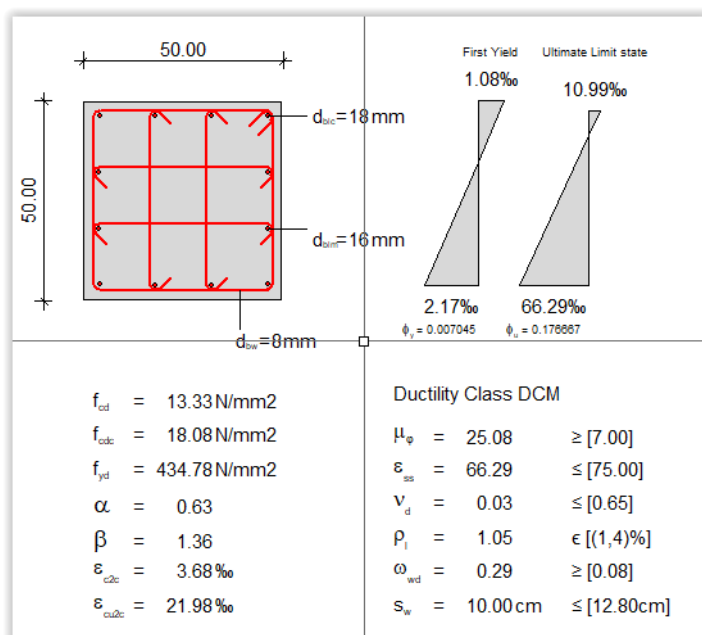
Πίνακας 43 - Δεδομένα από Διάγραμμα N-M Διατομής Υποστυλώματος

No	bx	by	ΟΠΛΙΣΜΟΣ	PC	PB	MBz	Mby	PT
1	500	500	4Φ18+8Φ16	-4383.88	-1584.85	388.98	388.98	1295.55

Πίνακας 44 - Δεδομένα από Διαγράμματα N-M Διατομών Δοκών

No	b	h	d	bef	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΟΠΛΙΣΜΟΣ A / K	M _{Yz+}	M _{Yz-}
1	300	500	200	631	Γ	2Φ14 / 4Φ14	266.98	-260.34
2	300	500	200	962	T	2Φ14 / 4Φ14	301.43	-288.72
3	300	500	200	631	Γ	2Φ14+1Φ16 / 4Φ14	282.42	-275.17
4	300	500	200	631	Γ	2Φ14+2Φ16 / 4Φ14	297.84	-290.34
5	300	500	200	962	T	2Φ14+2Φ16 / 4Φ14	327.93	-312.89
6	300	500	200	962	T	2Φ14+3Φ16 / 4Φ14	341.21	-325.97
7	300	500	200	962	T	2Φ14+3Φ18 / 4Φ14	351.46	-335.80
8	300	500	200	631	Γ	3Φ14 / 4Φ14	278.86	-271.67
9	300	500	200	962	T	3Φ14 / 4Φ14	311.70	-296.95
10	300	500	200	631	Γ	3Φ14+2Φ16 / 5Φ14	327.69	-320.17
11	300	500	200	962	T	4Φ14 / 4Φ14	321.86	-306.76

Για τον υπολογισμό του δείκτη πλαστιμότητας στρωφών (μ) των διατομών χρησιμοποιείται το λογισμικό RC Ductility Designer 2026 της εταιρίας GRSOFT Structural Engineering (<https://ductility.eu>). Ενδεικτικά απεικονίζονται τα αποτελέσματα υπολογισμού του λογισμικού για τα υποστυλώματα.



Εικόνα 95 - RC-Ductility-Designer - Πλαστιμότητα Υποστυλώματος

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 45 - Δείκτες Πλαστιμότητας (μ) Διατομών

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	b_x	b_y	ΟΠΛΙΣΜΟΣ	μ
1	500	500	4Φ18+8Φ16	25
ΔΟΚΟΙ	b	h	ΟΠΛΙΣΜΟΣ Α / Κ	μ
1	300	500	2Φ14 / 4Φ14	7.5
2	300	500	2Φ14+1Φ16 / 4Φ14	8.5
3	300	500	2Φ14+2Φ16 / 4Φ14	10
4	300	500	2Φ14+3Φ16 / 4Φ14	11
5	300	500	2Φ14+3Φ18 / 4Φ14	11.5
6	300	500	3Φ14 / 4Φ14	8.5
7	300	500	3Φ14+2Φ16 / 5Φ14	10
8	300	500	4Φ14 / 4Φ14	9.5

Το μήκος των πλαστικών αρθρώσεων λαμβάνεται ως το μισό του ύψους της διατομής ενός δομικού στοιχείου (Paulay & Priestley, 1992). Το μήκος των πλαστικών αρθρώσεων εισάγεται στο λογισμικό ανηγμένο στο μήκος του δομικού στοιχείου, για παράδειγμα για τα υποστυλώματα εισάγεται ως $0.50/2/3 = 0.08333$ και για τις δοκούς ως $0.50/2/5 = 0.05$.

Οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας (E) και του μέτρου διάτμησης (G) του σκυροδέματος υπολογίζονται μειωμένες κατά 50% λόγω της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος. Συνεπώς εισάγονται ως $E = 0.5 \cdot 30000000 = 15000000$ KPa και $G = 0.5 \cdot 12500000 = 6250000$ KPa.

Τα άκρα των υποστυλωμάτων και των δοκών που βρίσκονται μέσα σε κόμβο θεωρούνται άκαμπτα, συνεπώς εισάγονται στο λογισμικό για κάθε δομικό στοιχείο άκαμπτα άκρα μήκους $0.50/2 = 0.25$ m, όπου χρειάζεται.

Τα ίδια βάρη των δομικών στοιχείων, τα μόνιμα και κινητά φορτία των πλακών και τα φορτία των τοίχων εισάγονται στο λογισμικό αφού πρώτα υπολογιστούν ξεχωριστά από τον χρήστη. Για την απλοποίηση των υπολογισμών και εφόσον οι πλάκες είναι τετραγωνικές, τα μόνιμα και κινητά φορτία κάθε πλάκας μοιράζονται ισόποσα στις περιμετρικές της πλάκας δοκούς, ως κατανεμημένα φορτία. Με αυτό τον τρόπο οι εσωτερικές δοκοί έχουν διπλάσιο κατανεμημένο φορτίο από τις εξωτερικές.

Το ίδιο βάρος ενός δομικού στοιχείου ανά μέτρο προκύπτει από το γινόμενο του ειδικού βάρους του σκυροδέματος επί την επιφάνεια της διατομής του. Για παράδειγμα, για τα υποστυλώματα διατομής 50x50 (Elements 1 έως 45) το κατακόρυφο αξονικό φορτίο προκύπτει $-25 \cdot 0.50 \cdot 0.50 = -6.25$ KN/m.

Για τις δοκούς το κατανεμημένο φορτίο υπολογίζεται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 46 - Κατανεμημένο Φορτίο Δοκών

ELEMENT	ΔΟΚΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ G+030-Q (KN/m)	ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΙΧΟΥ (KN/m)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (KN/m)
46	B6	-9.97	-9.00	-18.97
47	B5	-9.97	-9.00	-18.97
48	B10	-17.69		-17.69
49	B9	-17.69		-17.69
50	B2	-9.97	-9.00	-18.97
51	B1	-9.97	-9.00	-18.97
52	B3	-9.97	-9.00	-18.97
53	B4	-9.97	-9.00	-18.97
54	B11	-17.69		-17.69
55	B12	-17.69		-17.69
56	B8	-9.97	-9.00	-18.97
57	B7	-9.97	-9.00	-18.97
58	B6	-9.97	-9.00	-18.97
59	B5	-9.97	-9.00	-18.97
60	B10	-17.69		-17.69
61	B9	-17.69		-17.69
62	B2	-9.97	-9.00	-18.97
63	B1	-9.97	-9.00	-18.97
64	B3	-9.97	-9.00	-18.97
65	B4	-9.97	-9.00	-18.97
66	B11	-17.69		-17.69
67	B12	-17.69		-17.69
68	B8	-9.97	-9.00	-18.97
69	B7	-9.97	-9.00	-18.97
70	B6	-9.97	-9.00	-18.97
71	B5	-9.97	-9.00	-18.97
72	B10	-17.69		-17.69
73	B9	-17.69		-17.69
74	B2	-9.97	-9.00	-18.97
75	B1	-9.97	-9.00	-18.97
76	B3	-9.97	-9.00	-18.97
77	B4	-9.97	-9.00	-18.97
78	B11	-17.69		-17.69
79	B12	-17.69		-17.69
80	B8	-9.97	-9.00	-18.97
81	B7	-9.97	-9.00	-18.97
82	B6	-9.97	-9.00	-18.97
83	B5	-9.97	-9.00	-18.97

ELEMENT	ΔΟΚΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ G+030-Q (KN/m)	ΦΟΡΤΙΟ ΤΟΙΧΟΥ (KN/m)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (KN/m)
84	B10	-17.69		-17.69
85	B9	-17.69		-17.69
86	B2	-9.97	-9.00	-18.97
87	B1	-9.97	-9.00	-18.97
88	B3	-9.97	-9.00	-18.97
89	B4	-9.97	-9.00	-18.97
90	B11	-17.69		-17.69
91	B12	-17.69		-17.69
92	B8	-9.97	-9.00	-18.97
93	B7	-9.97	-9.00	-18.97
94	B6	-9.97		-9.97
95	B5	-9.97		-9.97
96	B10	-17.69		-17.69
97	B9	-17.69		-17.69
98	B2	-9.97		-9.97
99	B1	-9.97		-9.97
100	B3	-9.97		-9.97
101	B4	-9.97		-9.97
102	B11	-17.69		-17.69
103	B12	-17.69		-17.69
104	B8	-9.97		-9.97
105	B7	-9.97		-9.97

Το βάρος κάθε ορόφου λαμβάνονται από τον υπολογισμό του λογισμικού SCADA Pro κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου ως ακολούθως:

Πίνακας 47 - Βάρη Ορόφων

ΟΡΟΦΟΣ	ΜΑΖΑ (KN/g)	ΒΑΡΟΣ (KN)	ΜΑΖΑ (Στροφική) $I=M \cdot L^2/6$ (KN/g·m ²)	ΒΑΡΟΣ (Στροφικό) (KN·m ²)
1	130.165	1277	$130.165 \cdot 10.5^2/6=2391.78$	23463
2	130.165	1277	$130.165 \cdot 10.5^2/6=2391.78$	23463
3	130.165	1277	$130.165 \cdot 10.5^2/6=2391.78$	23463
4	130.165	1277	$130.165 \cdot 10.5^2/6=2391.78$	23463
5	88.539	869	$88.539 \cdot 10.5^2/6=1626.90$	15960

Εφόσον πραγματοποιείται παραμετρική ανάλυση, για τη θεμελίωση σε τύπο εδάφους A οι στηρίξεις των υποστυλωμάτων στο επίπεδο της θεμελίωσης θεωρούνται πακτώσεις.

Στην περίπτωση της ανάλυσης για τύπο εδάφους B, για να ληφθεί υπόψη στην ανάλυση η θεμελίωση επί ελαστικού εδάφους εισάγονται οι τιμές των σταθερών των αξονικών και στρωφικών ελατήριων στις βάσεις των πέλδων της θεμελίωσης, οι οποίες πρέπει να υπολογιστούν από το χρήστη.

Για τον υπολογισμό των σταθερών των ελατηρίων χρησιμοποιούνται οι παρακάτω σχέσεις (Γκαζέτας et al, 2017) για τετραγωνικό θεμέλιο διαστάσεων BxB σε ομοιογενή ημίχωρο, όπου $B = 2 \cdot b \Rightarrow b = B/2 = 2/2 = 1$ m, μέτρο διάτμησης $G = 50000$ KPa και συντελεστής Poisson $\nu = 0.3$.

$$\text{Σταθερά κατακόρυφου ελατηρίου: } K_V = \frac{4.54 \cdot G \cdot b}{1-\nu} = \frac{4.54 \cdot 50000 \cdot 1}{1-0.3} = 324286 \text{ KN/m}$$

$$\text{Σταθερά οριζόντιου ελατηρίου: } K_H = \frac{9 \cdot G \cdot b}{2-\nu} = \frac{9 \cdot 50000 \cdot 1}{2-0.3} = 264706 \text{ KN/m}$$

$$\text{Σταθερά στρωφικού ελατηρίου: } K_\theta = \frac{3.6 \cdot G \cdot b}{1-\nu} = \frac{3.6 \cdot 50000 \cdot 1}{1-0.3} = 257143 \text{ KN/rad}$$

$$\text{Σταθερά στρεπτικού ελατηρίου: } K_T = 8.3 \cdot G \cdot b^3 = 8.3 \cdot 50000 \cdot 1^3 = 415000 \text{ KN/rad}$$

Τα τελικά δεδομένα για το RUAUMOKO-3D παρατίθενται στα Παραρτήματα της ΜΔΕ για τύπο εδάφους A και B.

5.4.2. Αποτελέσματα Αναλύσεων

Για τη δοκιμή της μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας χρησιμοποιήθηκε δείγμα επιταχυσιογραφημάτων που συνοδεύει το RUAUMOKO-3D, συγκεκριμένα των σεισμών IMPERIAL VALLEY Earthquake MAY 18 1940, El Centro - East-West component και El Centro - North-South component τόσο για τύπο εδάφους A όσο και για τύπο εδάφους B.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρατίθενται επιλεκτικά οι δείκτες βλάβης Park & Ang για το μεσαίο υποστύλωμα K5.

Πίνακας 48 - Δείκτες βλάβης Park & Ang για K5 για Τύπο Εδάφους A, B

K5		A	B
21	End1-Z	1.341	2.263
21	End2-Z	1.416	1.433
21	End1-Y	1.728	2.508
21	End2-Y	3.198	3.381
22	End1-Z	1.404	1.355
22	End2-Z	1.304	1.223
22	End1-Y	3.003	3.076
22	End2-Y	1.220	1.359
23	End1-Z	0.447	0.602
23	End2-Z	0.569	0.697
23	End1-Y	1.037	1.039
23	End2-Y	0.822	0.922
24	End1-Z	0.073	0.238
24	End2-Z	0.144	0.383
24	End1-Y	0.276	0.289
24	End2-Y	0.260	0.316

Παρατηρούμε ότι οι δείκτες είναι υψηλοί στους δύο πρώτους ορόφους, τόσο στην κορυφή, όσο και στη βάση των υποστυλωμάτων και γενικά είναι υψηλότεροι για τον τύπο εδάφους B από τον τύπο εδάφους A.

5.4.3. Εφαρμογή Μηχανικής Μάθησης (ML)

Για την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης με βάση την προσομοίωση του φέροντα οργανισμού του κτιρίου και την ανάλυση με το RUAUMOKO-3D ακολουθείται η παρακάτω Ροή Εργασιών Μηχανικής Μάθησης (ML Pipeline):

- Ορισμός Προβλήματος και Κατανόηση Δεδομένων (Problem Definition and Data Understanding).
- Εξερευνητική Ανάλυση Δεδομένων και Προεπεξεργασία (Exploratory Data Analysis - EDA & Preprocessing).
- Βασικά Μοντέλα και Αρχική Αξιολόγηση (Baseline Models & Initial Evaluation).
- Βελτίωση Μοντέλου και Πειραματικός Σχεδιασμός (Model Improvement & Experimental Design).
- Τελική Σύγκριση, Ερμηνεία και Θέματα Ανάπτυξης (Final Comparison, Interpretation & Deployment Considerations).

Με πρότυπο το αρχείο δεδομένων του RUAUMOKO-3D για τύπο εδάφους A, πραγματοποιείται μία σειρά από μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας, για έναν συγκεκριμένο αριθμό τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων συλλέγονται οι δείκτες βλάβης Park & Ang, με στόχο τη δημιουργία ενός συνόλου δεδομένων (dataset), στο οποίο εφαρμόζεται η ροή εργασιών μηχανικής μάθησης. Συγκεκριμένα, τα παρακάτω βήματα υλοποιούνται σε Python Jupyter Notebook:

- Παραγωγή ενός συνόλου τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων. Ο αριθμός των επιταχυνσιογραφημάτων ορίζεται από το χρήστη (η αρχική τιμή είναι 100).
- Υπολογισμός PGA, PGV και Arias Intensity.
- Μετατροπή των τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων σε μορφή BERG για να χρησιμοποιηθούν από το RUAUMOKO-3D.
- Δημιουργία αρχείων δεδομένων RUAUMOKO-3D τύπου DAT.
- Εκτέλεση RUAUMOKO-3D για κάθε αρχείο δεδομένων.
- Ανάγνωση των τιμών Weighted Mean Park-Ang από τα αρχεία αποτελεσμάτων τύπου WRI.
- Δημιουργία του συνόλου δεδομένων και βασική ανάλυση μηχανικής μάθησης.

Η παραγωγή των τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων γίνεται με στοχαστική μέθοδο τυχαίων φάσεων στο πεδίο συχνοτήτων (Manolis & Koliopoulos, 2001, Πιτιλάκης, 2010), ωστόσο αυτά τα επιταχυνσιογραφήματα δεν είναι φασματικά προσαρμοσμένα στον EC8 και παράγονται αποκλειστικά και μόνο για το παράδειγμα εφαρμογής της μηχανικής μάθησης. Περαιτέρω ανάλυση επί του θέματος ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσης ΜΔΕ.

Το σύνολο δεδομένων περιλαμβάνει για κάθε επιταχυνσιογράφημα και για κάθε αντίστοιχη μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας τα κάτωθι:

α) Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (Peak Ground Acceleration - PGA)

Είναι η μέγιστη απόλυτη τιμή επιτάχυνσης του επιταχυνσιογραφήματος εκφραζόμενη σε μονάδες g ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

$$\text{PGA} = \max |a(t)|$$

Όπου, $a(t)$ η εδαφική επιτάχυνση ως συνάρτηση του χρόνου.

β) Μέγιστη Εδαφική Ταχύτητα (Peak Ground Velocity - PGV)

$$v(t) = \int_0^t a(\tau) d\tau, \text{ PGV} = \max |v(t)|$$

Όπου, $v(t)$ η εδαφική ταχύτητα ως συνάρτηση του χρόνου σε m/s.

γ) Ένταση Arias (Arias Intensity)

Η Ένταση Arias (I_A) είναι ένα μέτρο της έντασης της σεισμικής εδαφικής κίνησης που βασίζεται στη διαρκώς μεταβαλλόμενη επιτάχυνση εδάφους κατά τη διάρκεια ενός σεισμικού συμβάντος και λαμβάνει υπόψη τόσο το μέγεθος των εδαφικών επιταχύνσεων, όσο και τη διάρκεια της σεισμική διέγερσης (Bozorgnia & Bertero, 2004).

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^T a^2(t) dt$$

Όπου, $a(t)$ η εδαφική επιτάχυνση ως συνάρτηση του χρόνου, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ και T η συνολική διάρκεια του επιταχυνσιογραφήματος. Η ένταση Arias έχει μονάδες ταχύτητας (m/s) και αυξάνεται σημαντικά για μεγάλες τιμές εδαφικών επιταχύνσεων επειδή ο υπολογισμός της βασίζεται στο τετράγωνο των επιταχύνσεων. Επίσης, όταν αυξάνεται η διάρκεια της σεισμικής διέγερσης, αυξάνεται και η ένταση Arias.

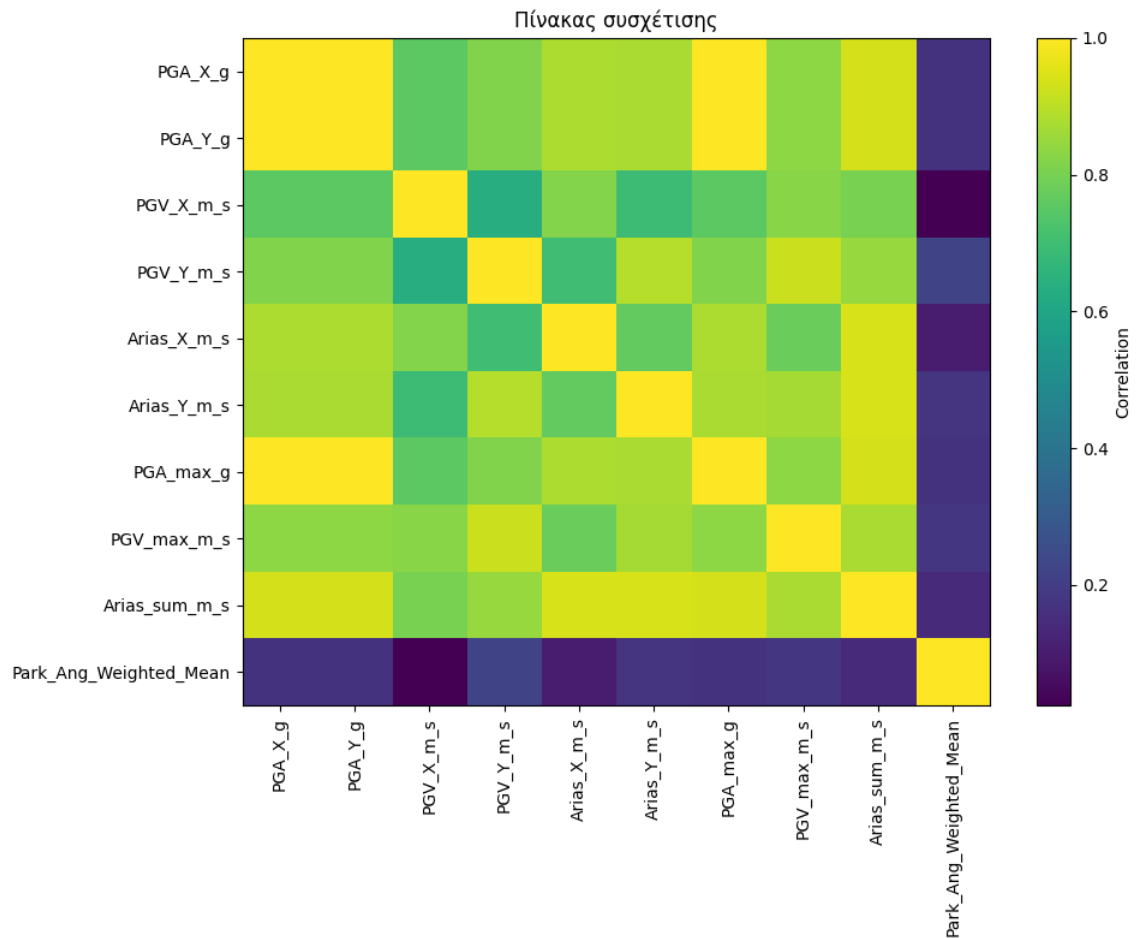
δ) Σταθμισμένος Δείκτης Park & Ang (Weighted Mean Park & Ang)

Με την ολοκλήρωση της ανάλυσης για κάθε επιταχυνσιογράφημα το RUAUMOKO-3D υπολογίζει μεταξύ άλλων τους δείκτες βλάβης Park & Ang στα άκρα κάθε δομικού στοιχείου του φέροντος οργανισμού. Στη συνέχεια υπολογίζει ένα σταθμισμένο δείκτη, ο οποίος δεν είναι ένας απλός μέσος όρος, αλλά σταθμισμένος με ένα βάρος W , το οποίο σχετίζεται με την υστερητική ενέργεια κάθε δομικού στοιχείου.

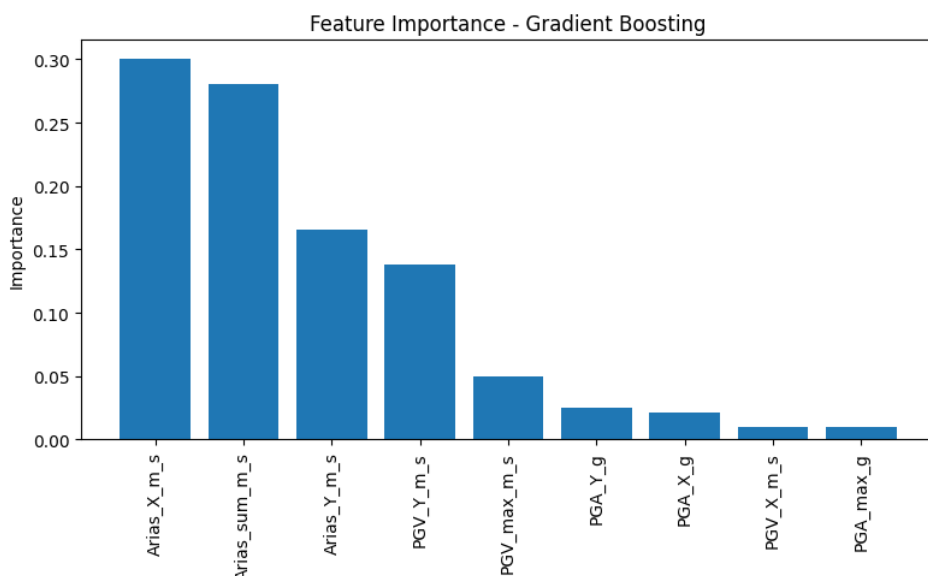
$$DI_{WM} = \frac{\sum_{i=1}^N DI_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^N W_i}$$

Με τον σταθμισμένο δείκτη Park & Ang μπορούμε να έχουμε δυνητικά μία συνολική εικόνα του επιπέδου σεισμικής βλάβης του φορέα για κάθε επιταχυνσιογράφημα.

Μετά την ολοκλήρωση της ροής εργασιών μηχανικής μάθησης μπορούμε να εστιάσουμε στον πίνακα συσχέτισης και στο διάγραμμα σημαντικότητας των χαρακτηριστικών.



Εικόνα 96 - ML - Πίνακας Συσχέτισης



Εικόνα 97 - ML - Διάγραμμα Σημαντικότητας Χαρακτηριστικών

Διακρίνεται ότι ο σταθμισμένος δείκτης Park & Ang έχει θετική συσχέτιση με PGA, PGV και ένταση Agias, γεγονός που είναι λογικό. Σε σεισμικές διεγέρσεις μεγαλύτερης έντασης προκύπτουν και μεγαλύτεροι δείκτες βλάβης. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) εμφανίζει την υψηλότερη συσχέτιση (κοντά στη μονάδα) με τον δείκτη βλάβης, συγκριτικά με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά.

Κατά την εξερευνητική ανάλυση δεδομένων (EDA) ως σημαντικότερο χαρακτηριστικό σε σχέση με το σταθμισμένο δείκτη Park & Ang προκύπτει η ένταση Agias, γεγονός που είναι επίσης λογικό, διότι η ένταση Agias, λαμβάνει υπόψη τόσο το μέγεθος των εδαφικών επιταχύνσεων, όσο και τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης.

Η ροή εργασιών μηχανικής μάθησης ολοκληρώνεται με τη δοκιμή διαφόρων αλγορίθμων και τη μέτρηση της απόδοσης τους στο κατά πόσο μπορούν να προβλέψουν, με βάση την εκπαίδευση τους, το σταθμισμένο δείκτη Park & Ang, του συγκεκριμένου φέροντος οργανισμού, από τα χαρακτηριστικά ενός νέου επιταχυνσιογραφήματος.

Επειδή το σύνολο δεδομένων (dataset) θεωρείται γενικά μικρό (100 εγγραφές), δοκιμάζονται οι αλγόριθμοι Linear Regression (γραμμική παλινδρόμηση), Ridge Regression (είναι μία βελτίωση της γραμμικής παλινδρόμησης, η οποία περιορίζει την υπερπροσαρμογή - overfitting), Lasso Regression (βελτιωμένη γραμμική παλινδρόμηση, που βοηθά στον εντοπισμό των σημαντικότερων χαρακτηριστικών), Random Forest (βασίζεται σε δένδρα απόφασης και θεωρείται αποδοτική σε μη γραμμικές και πολύπλοκες σχέσεις δεδομένων) και Gradient Boosting (βασίζεται σε δένδρα απόφασης με καλή προσαρμογή ακρίβεια σε μη γραμμικά προβλήματα). Οι ανωτέρω αλγόριθμοι ανήκουν σε εκείνη την ομάδα αλγορίθμων, που θεωρείται ότι αποδίδει σε μικρά σύνολα δεδομένων. Από την άλλη μεριά για να εφαρμοστούν, για παράδειγμα, νευρωνικά δίκτυα, το σύνολο δεδομένων θα έπρεπε να είναι κατά πολύ μεγαλύτερο.

Ως μέτρα απόδοσης των αλγορίθμων χρησιμοποιούνται το Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (Mean Absolute Error - MAE), η Τετραγωνική Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Root Mean Squared Error - RMSE) και ο Συντελεστής Προσδιορισμού (Coefficient of Determination - R^2). Ένα μοντέλο θεωρείται ότι είναι αποδοτικό εάν έχει μικρό MAE, μικρό RMSE και μεγάλο R^2 .

Οι αλγόριθμοι ταξινομούνται ανάλογα με το μέτρο απόδοσης τους στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 49 - Σύγκριση Αλγορίθμων ML

Ταξινόμηση	ML Model	MAE	RMSE	R ²
4	Gradient Boosting	0.755369	1.518148	0.346438
3	Random Forest	0.769201	1.468091	0.388826
1	Ridge	0.928124	1.923395	-0.049048
2	Lasso	0.955792	1.941699	-0.069110
0	Linear Regression	0.967477	1.950685	-0.079029

Από τον ανωτέρω πίνακα διακρίνουμε ότι οι γραμμικοί αλγόριθμοι αποτυγχάνουν εντελώς (πολύ μεγάλες τιμές MAE, RMSE και αρνητικές τιμές R², γεγονός που είναι απόλυτα λογικό εφόσον ασχολούμαστε με μη γραμμικές αναλύσεις, τόσο στο υλικό όσο και στη γεωμετρία του φορέα. Οι μη γραμμικοί αλγόριθμοι συμπεριφέρονται κάπως καλύτερα, όχι όμως και τόσο ικανοποιητικά. Για παράδειγμα, ικανοποιητικές τιμές για το R² θα έπρεπε να είναι μεταξύ 0.7 και 0.9.

Με βάση την ανωτέρω ανάλυση μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση με αλγόριθμους που να μπορούν να ανταπεξέλθουν σε υψηλές μη γραμμικότητες και πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών, ενώ το μέγεθος του συνόλου των δεδομένων θα πρέπει σαφώς να αυξηθεί κατά πολύ περισσότερο, ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει σε πολύ πιο απαιτητικούς αλγόριθμους (π.χ. σε νευρωνικά δίκτυα).

Ο αριθμός των χαρακτηριστικών μπορεί επίσης να αυξηθεί συμπεριλαμβάνοντας περισσότερα χαρακτηριστικά από σεισμικά συμβάντα ή από δεδομένα και αποτελέσματα μη γραμμικών δυναμικών αναλύσεων αναφορικά με το φέροντα οργανισμό.

Τέλος, συνίσταται να χρησιμοποιηθούν πραγματικά επιταχυνσιογραφήματα ως πηγή δεδομένων για την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης, προερχόμενα από διεθνείς ή εθνικές βάσεις δεδομένων (βάσεις καταγραφών ισχυρών σεισμικών κινήσεων) όπως για παράδειγμα η Engineering Strong-Motion Database (<https://esm-db.eu/#/home>) και η PEER Ground Motion Database (<https://peer.berkeley.edu/databases>). Με αυτό τον τρόπο τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από τη ροή εργασιών μηχανικής μάθησης θα είναι ακόμη πιο ρεαλιστικά, συγκρινόμενα με αυτά που προέκυψαν με τη χρήση τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων, όσον αφορά την έρευνα στο πεδίο της σεισμικής μηχανικής.

6. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα της έρευνας συνοψίζονται και ερμηνεύονται κριτικά με σκοπό την τεκμηρίωση της συνεισφοράς της ΜΔΕ στο πεδίο της σεισμικής μηχανικής.

6.1. Συμπεράσματα Βιβλιογραφικής Επισκόπησης

Αρχικά, συνοψίζονται τα συμπεράσματα της βιβλιογραφικής επισκόπησης ως ακολούθως.

Η φιλοσοφία του σεισμικού σχεδιασμού κτιρίων στοχεύει σε μικρές βλάβες σε μικρής έντασης και συχνούς σεισμούς, σε βλάβες που μπορούν να επιδιορθωθούν σε μέσης έντασης σεισμούς και σε σοβαρές βλάβες, αλλά χωρίς κατάρρευση σε μεγάλης έντασης σεισμούς. Το κτίριο θα πρέπει να διαθέτει επαρκή δυσκαμψία, αντοχή και πλαστιμότητα για έναν ασφαλή σχεδιασμό. Με τον ικανοτικό σχεδιασμό εξασφαλίζεται ότι όλοι οι όροφοι θα συμμετέχουν στην ανελαστική συμπεριφορά του κτιρίου, κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού, με τους ανελαστικούς μηχανισμούς παραμορφώσεων (πλαστικές αρθρώσεις) να δημιουργούνται στα άκρα των δοκών, ενώ τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία να παραμένουν ελαστικά σε όλους τους ορόφους, εκτός από το τη βάση τους στο επίπεδο της θεμελίωσης.

Ενώ ο σχεδιασμός νέων κτιρίων βασίζεται στη μέθοδο των δυνάμεων, στην αποτίμηση ενός υφιστάμενου κτιρίου χρησιμοποιείται η μέθοδος των μετακινήσεων με την οποία υπολογίζεται η καμπύλη ικανότητας του κτιρίου μέσω ανελαστικών στατικών αναλύσεων (pushover), λαμβάνοντας υπόψη την ανελαστική παραμόρφωση των άκρων των δομικών στοιχείων του κτιρίου (πλαστικές αρθρώσεις). Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας, η οποία θα οδηγήσει σε ακριβέστερη σεισμική αποτίμηση.

Η έννοια της μη γραμμικότητας, στις μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις, υποδηλώνει την ανελαστική απόκριση υλικού και την επιρροή της γεωμετρικής μη γραμμικότητας, δηλαδή μεγάλες μετακινήσεις, στροφές και παραμορφώσεις του φορέα, οπότε δεν ισχύουν οι κανόνες της ελαστικότητας. Οι τάσεις (σ) δεν είναι ανάλογες με τις παραμορφώσεις (ϵ), οι δυνάμεις (P) δεν είναι ανάλογες με τις μετακινήσεις (δ) και οι ροπές κάμψης (M) δεν είναι ανάλογες με τις καμπυλότητες (κ). Η μη γραμμική ανάλυση του φορέα πρέπει να γίνεται σε βήματα εφόσον το μητρώο δυσκαμψίας του μεταβάλλεται συνεχώς, καθώς αναπτύσσονται πλαστικές αρθρώσεις στις θέσεις όπου εμφανίζονται οι δομικές βλάβες.

Οι δείκτες βλάβης (π.χ. δείκτης Park & Ang) μπορούν να προσδιορίσουν το επίπεδο βλάβης ενός φορέα ή ενός δομικού στοιχείου του φορέα. Ο υπολογισμός ενός δείκτη βλάβης βασίζεται σε παραμορφώσεις (μετακινήσεις ή στροφές), συσσώρευση υστερητικής ενέργειας και πλαστικής παραμόρφωσης.

Το ραγδαίως αναπτυσσόμενο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και μηχανικής μάθησης (ML), υπεισέρχεται διαρκώς σε κάθε άλλο επιστημονικό πεδίο, συμπεριλαμβανομένου και αυτού της σεισμικής μηχανικής και γενικότερα του κατασκευαστικού τομέα.

Οι τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης δίνουν ένα κεντρικό ρόλο στην έννοια του «πράκτορα» (agent) ο οποίος έχει αντίληψη του περιβάλλοντος του, μαθαίνει από τις ενέργειες του, δημιουργεί στόχους και προσπαθεί να τους πραγματοποιήσει και προσαρμόζεται σε τυχόν αλλαγές του περιβάλλοντος του.

Στη μηχανική μάθηση οι «πράκτορες» τεχνητής νοημοσύνης εκπαιδεύονται ώστε να μπορούν να αναγνωρίζουν μοτίβα στα δεδομένα, να διαπιστώνουν σχέσεις και να κάνουν προβλέψεις χωρίς, ωστόσο, να είναι ρητά προγραμματισμένοι.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες κατηγορίες μηχανικής μάθησης με αντίστοιχους αλγόριθμους, ωστόσο, σημαντικό ρόλο για την επιτυχή αξιοποίηση τους παίζουν τα ίδια τα δεδομένα που τροφοδοτούν τα μοντέλα μηχανικής μάθησης. Η μηχανική χαρακτηριστικών (feature engineering) αναλαμβάνει την μετατροπή των πρωτογενών δεδομένων (raw data) σε χαρακτηριστικά (features), τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης. Η διερευνητική ανάλυση δεδομένων (EDA) χρησιμοποιείται για την επιτυχή επιλογή των κατάλληλων αλγόριθμων μηχανικής μάθησης για συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων (dataset). Η ροή εργασιών μηχανικής μάθησης (ML pipeline) συνδέει όλα τα διαδοχικά βήματα εφαρμογής της μηχανικής μάθησης σε ένα σύνολο δεδομένων.

Οι ερευνητές που επιθυμούν να εφαρμόσουν την μηχανική μάθηση στο επιστημονικό τους πεδίο θα πρέπει να γνωρίζουν τα προβλήματα και τους κινδύνους που ελλοχεύουν για πιθανή εξαγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη μηχανική χαρακτηριστικών και στα προβλήματα μεροληψίας (bias), δηλαδή ενός μη αντιπροσωπευτικού στον πληθυσμό συνόλου δεδομένων, υπερπροσαρμογής (overfitting), δηλαδή υπερβολικά καλής εκπαίδευσης του μοντέλου μηχανικής μάθησης και υποπροσαρμογής (underfitting), δηλαδή χαμηλής απόδοσης του μοντέλου.

Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στη διαχείριση τεχνικών έργων μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα των ομάδων των έργων. Εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να παρακολουθούν την πορεία των εργασιών, την τήρηση των προθεσμιών και να εντοπίζουν αποκλίσεις από τα χρονοδιαγράμματα και τους προϋπολογισμούς. Η διαχείριση κινδύνων μπορεί να γίνει αποτελεσματικότερη και η διασφάλισή της ποιότητας και της ασφάλειας των τεχνικών έργων μπορεί να βελτιωθεί.

Μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να εφαρμοστούν στην ανάλυση σεισμικού κινδύνου, στην εκτίμηση της σεισμικής ευπάθειας των κατασκευών, στην ανίχνευση βλαβών και στη προσομοίωση και παραμετρική διερεύνηση της σεισμικής απόκρισης κατασκευών.

Η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στον κατασκευαστικό τομέα περιλαμβάνει και προκλήσεις όπως θέματα ποιότητας και διαθεσιμότητας δεδομένων για επαρκή λήψη αποφάσεων, θέματα διαλειτουργικότητας και ενσωμάτωσης των μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης με υπάρχοντα συστήματα, ηθικά ζητήματα (προκατάληψη και μεροληψία κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων), θέματα ασφάλειας, απορρήτου και διαχείρισης προσωπικών δεδομένων και θέματα ανεπάρκειας στην ερμηνευσιμότητα (interpretability) και επεξηγησιμότητα (explainability) των μοντέλων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη εμπιστοσύνης λόγω της αδιαφάνειας και περιπλοκότητάς του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης.

6.2. Συμπεράσματα Ανάπτυξης Λογισμικού Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη

Συνοψίζονται, στη συνέχεια, τα συμπεράσματα της ανάπτυξης λογισμικού γραφικού περιβάλλοντος χρήστη για το RUAUMOKO-3D σε γλώσσα προγραμματισμού Python.

Οι βιβλιοθήκες Python που χρησιμοποιούνται είναι: os, math, time, subprocess, matplotlib, numpy, tkinter. Η δομή του κώδικα περιλαμβάνει: 1) Εισαγωγή βιβλιοθηκών, 2) Καθορισμό του κεντρικού παραθύρου, 3) Ορισμό των καθολικών μεταβλητών, 4) Ορισμό συναρτήσεων, 5) Διάταξη γραφικών αντικειμένων, 6) Μενού επιλογών, 7) Αρχή κύριου κώδικα, 8) Τέλος κύριου κώδικα.

Στη λειτουργικότητα του λογισμικού περιλαμβάνονται: 1) Ορισμός βασικών παραμέτρων του τρισδιάστατου πλαισίου, 2) Ορισμός ιδιοτήτων μελών, 3) Ορισμός μελών, 4) Τρισδιάστατη γραφική απεικόνιση του πλαισίου, 5) Ανάλυση του πλαισίου με το RUAUMOKO-3D, 6) Απεικόνιση αποτελεσμάτων.

Το λογισμικό διαθέτει ενσωματωμένο κειμενογράφο, ώστε να δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να παρέμβει στα δεδομένα του RUAUMOKO-3D πριν ή μετά την ανάλυση.

6.3. Συμπεράσματα Μελέτης Περίπτωσης Σεισμικής Ανάλυσης Κτιρίου

Συνοψίζονται τα συμπεράσματα της μελέτης περίπτωσης παραμετρικής σεισμικής ανάλυσης του φέροντος οργανισμού ενός κτιρίου γραφείων με τα λογισμικά SCADA Pro, Seismobuild και RUAUMOKO-3D.

Για τον παραμετρικό σεισμικό σχεδιασμό του κτιρίου με το λογισμικό SCADA Pro η εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου έγινε με γραφικό τρόπο, εισάγοντας τις γενικές παραμέτρους υλικών και ανάλυσης, τη γεωμετρία του φέροντος οργανισμού και τις διαστάσεις δομικών στοιχείων χωρίς κάποιον ιδιαίτερο υπολογισμό από το χρήστη. Οι τοίχοι υπολογίστηκαν από το χρήστη ως κατανεμημένο φορτίο επί των δοκών.

Ωστόσο, δεν υπήρξε δυνατότητα κάποιας ουσιαστικής επέμβασης από το χρήστη στο προσομοίωμα που δημιούργησε το λογισμικό και η προσομοίωση της θεμελίωσης επί ελαστικού εδάφους στην περίπτωση του εδάφους τύπου Β ήταν υπερβολικά απλοποιημένη.

Μετά το πέρας της ανάλυσης οι κανονιστικοί έλεγχοι για τη σεισμική ζώνη II και τύπο εδάφους A ικανοποιούνται πλήρως, εφόσον αυτές οι συνθήκες αποτελούσαν και τη βάση του σχεδιασμού. Παρεμπιπτόντως, προέκυψε ότι οι έλεγχοι επίσης ικανοποιούνται και για τη σεισμική ζώνη III για τον τύπο εδάφους A. Οι κανονιστικοί έλεγχοι ικανοποιούνται τόσο με τη χρήση της ισοδύναμης στατικής φασματικής ανάλυσης όσο και με τη χρήση της ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης.

Στην περίπτωση του τύπου εδάφους B όλοι οι κανονιστικοί έλεγχοι ικανοποιούνται για τη σεισμική ζώνη II, είτε την ισοδύναμη στατική φασματική ανάλυση είτε με την ιδιομορφική φασματική ανάλυση.

Στην περίπτωση, όμως της σεισμικής ζώνης III, με τύπο εδάφους B δεν ικανοποιούνται οι έλεγχοι σχετικής μετακίνησης κάποιων ορόφων είτε με την ισοδύναμη στατική φασματική ανάλυση, είτε με την ιδιομορφική φασματική ανάλυση. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται επανασχεδιασμός (π.χ. με αύξηση των διατομών των υποστυλωμάτων), ώστε να αυξηθεί η οριζόντια δυσκαμψία του φέροντος οργανισμού.

Με τις ιδιομορφικές φασματικές αναλύσεις προέκυψαν γενικά μικρότερες σχετικές μετακινήσεις ορόφων από αυτές των αντίστοιχων ισοδύναμων στατικών φασματικών αναλύσεων.

Παρατηρήθηκε, ωστόσο, ότι η συμμετοχή των ανωτέρων ιδιομορφών (από τη 2^η και πάνω) είναι σημαντική, συνεπώς δεν ενδείκνυται η εφαρμογή της ισοδύναμης στατικής φασματικής ανάλυσης, αλλά απαιτείται η εφαρμογή της ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης.

Οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων είναι μεγαλύτερες για τύπο εδάφους B από τις αντίστοιχες για τύπο εδάφους A για την ίδια σεισμική ζώνη. Η συμμετοχή του εδάφους στην ανάλυση συνέβαλε σε μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις ορόφων. Αντίστοιχα, οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων για τον ίδιο τύπο εδάφους είναι μεγαλύτερες για τη σεισμική ζώνη III από τη ζώνη II. Η μεγαλύτερη τέμνουσα βάσης της ζώνης III προκάλεσε μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις ορόφων σε σχέση με αυτές της ζώνης II.

Μετά την ολοκλήρωση των διαστασιολογήσεων από το SCADA Pro προέκυψαν οι οπλισμοί των δομικών στοιχείων και οι ξυλότυποι των ορόφων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι δεν υπήρξε διαφοροποίηση στους οπλισμούς για τα τέσσερα σενάρια παραμετρικού σχεδιασμού, ήτοι σεισμικής ζώνης II ή III και τύπου εδάφους A ή B.

Αυτό το γεγονός προκαλεί προβληματισμούς για την οικονομικότητα του σχεδιασμού των επαγγελματικών λογισμικών ανάλυσης κατασκευών. Βέβαια, στις περιπτώσεις που δεν πληρείται ο έλεγχος σχετικής μετακίνησης ορόφου, ο σχεδιασμός με τις αρχικές διαστάσεις διατομών, δεν μπορεί να γίνει αποδεκτός κατά EC8.

Για τον παραμετρική σεισμική αποτίμηση του κτιρίου με το λογισμικό SeisMobuild επιλέχθηκε ο Κανονισμός EC8-3 με το Ελληνικό Παράρτημα και η εισαγωγή των δεδομένων του κτιρίου έγινε με γραφικό τρόπο, εισάγοντας εκτός από τη γεωμετρία του φέροντος οργανισμού, τις διαστάσεις των δομικών στοιχείων και τις γενικές παραμέτρους υλικών, τους σπλισμούς των δομικών στοιχείων όπως αυτοί υπολογίστηκαν από το λογισμικό SCADA Pro κατά τη φάση του σχεδιασμού.

Οι τοίχοι υπολογίστηκαν από το χρήστη ως κατανεμημένο φορτίο επί των δοκών. Και πάλι, δεν υπήρξε δυνατότητα κάποιας ουσιαστικής επέμβασης από το χρήστη στο προσομοίωμα που δημιούργησε το λογισμικό. Η προσομοίωση της θεμελίωσης επί ελαστικού εδάφους, στην περίπτωση του εδάφους τύπου B, έγινε από το λογισμικό ορίζοντας τις βασικές παραμέτρους εδάφους-θεμελίωσης, όπως μέτρο διάτμησης, συντελεστή Poisson και ειδική μάζα του εδάφους. Με βάση αυτές τις παραμέτρους το λογισμικό υπολόγισε τις σταθερές αξονικών και στροφικών ελατήριων στις βάσεις των πέδιλων της θεμελίωσης, χωρίς ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα να ελέγξει αυτές τις τιμές των σταθερών ελατηρίων, παρά μόνο να μπορεί γενικά να αλλάξει τις βασικές παραμέτρους.

Κατά την ιδιομορφική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε από το λογισμικό SeisMobuild, συγκρίνοντας τις ιδιοπεριόδους που προέκυψαν για την περίπτωση εδάφους τύπου A (προσομοίωση θεμελίωσης με πακτώσεις) σε σχέση με την περίπτωση εδάφους τύπου B (προσομοίωση θεμελίωσης με αξονικά και στροφικά ελατήρια) προκύπτει ότι οι ιδιοπεριόδοι για τύπο εδάφους B είναι γενικά μεγαλύτεροι, ήτοι το προσομοίωμα του φέροντος οργανισμού είναι πιο «εύκαμπτο», δεδομένης της ίδιας μάζας του φέροντος οργανισμού.

Πραγματοποιήθηκαν 576 μη γραμμικές στατικές αναλύσεις pushover από το λογισμικό SeisMobuild, με ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή, μονή και διπλή εκκεντρότητα, για τα τέσσερα σενάρια παραμετρικής αποτίμησης, ήτοι σεισμικής ζώνης II ή III και τύπου εδάφους A ή B και για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας (DL, SD, NC).

Στους ελέγχους Στροφής/Χορδής δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση του Λόγου Απαιτήσης προς Ικανότητα και για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας. Οι λόγοι ήταν γενικά χαμηλοί με κάποια εξαίρεση δοκών του πρώτου ορόφου που έφτασαν περίπου στο $0.85 < 1$ στη στάθμη επιτελεστικότητας NC, για έδαφος B και ζώνη III. Και σε αυτή την περίπτωση τίθενται προβληματισμοί της οικονομικότητας του αρχικού σχεδιασμού. Οι έλεγχοι διατμητικών δυνάμεων, για έδαφος A και ζώνη II ικανοποιούνται πλήρως για όλες τις στάθμες επιτελεστικότητας. Για έδαφος A και ζώνη III υπήρξαν οριακές υπερβάσεις μόνο στη στάθμη NC, σε δοκούς του πρώτου και δεύτερου ορόφου, ωστόσο, γενικά οι λόγοι ήταν πολύ κοντά στη μονάδα. Για έδαφος B και ζώνη II υπήρξαν οριακές υπερβάσεις μόνο στη στάθμη NC και πάλι πολύ κοντά στη μονάδα σε δοκούς του πρώτου και δεύτερου ορόφου. Για έδαφος B και ζώνη III υπήρξαν μόνο δύο οριακές υπερβάσεις σε δύο δοκούς του πρώτου ορόφου στη στάθμη SD κοντά στη μονάδα και αρκετές υπερβάσεις σε δοκούς του πρώτου και δεύτερου ορόφου στη στάθμη NC, με μέγιστη υπέρβαση 20% σε κάποιες περιπτώσεις.

Παρεμπιπτόντως, δεν υπήρξε καμία υπέρβαση του Λόγου Απαιτήσης προς Ικανότητα σε ελέγχους Στροφής/Χορδής και Διατμητικών Δυνάμεων σε κανένα υποστυλώμα και για τα τέσσερα σενάρια του παραμετρικού σχεδιασμού και B και για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας (DL, SD, NC).

Πραγματοποιήθηκαν 168 μη γραμμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας από το λογισμικό SeisMobuild για κάθε οριζόντια διεύθυνση X, Y, για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας (DL, SD, NC), για τους τύπους εδάφους A, B και για τις σεισμικές ζώνες II, III. Χρησιμοποιήθηκαν επτά (7) τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα ανά σεισμική ζώνη και τύπο εδάφους, τα οποία βασίστηκαν στα φάσματα του EC8.

Δεν υπήρξε καμία ιδιαίτερη διαφοροποίηση στους ελέγχους Στροφής/Χορδής και Διατμητικών Δυνάμεων σε σχέση με τις μη γραμμικές στατικές αναλύσεις pushover. Οι υπερβάσεις του Λόγου Απαιτήσης προς Ικανότητα αφορούσαν κυρίως τις διατμητικές δυνάμεις δοκών του πρώτου και δεύτερου ορόφου στη στάθμη NC και ήταν σχεδόν παραπλήσιες με τις αναλύσεις pushover. Καμία υπέρβαση δεν παρατηρήθηκε σε υποστυλώματα.

Η εισαγωγή των δεδομένων του φέροντος οργανισμού στο λογισμικό μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης RUAUMOKO-3D δίνεται σε αρχείο κειμένου, όπου κάθε γραμμή περιλαμβάνει τα απαιτούμενα δεδομένα σε προδιαγεγραμμένη σειρά. Στο αρχείο δεδομένων, δίνονται η γεωμετρία του φορέα, οι ιδιότητες των μελών, τα υστερητικά μοντέλα, οι μάζες, το μοντέλο απόσβεσης, οι φορτίσεις, οι σεισμικές καταγραφές και οι ρυθμίσεις αριθμητικής ανάλυσης. Για την προσομοίωση της θεμελίωσης επί ελαστικού εδάφους ορίζονται από το χρήστη οι σταθερές αξονικών και στροφικών ελατήριων.

Παρέχεται μεγάλη ευελιξία στο χρήστη στο να προσομοιώσει τον φέροντα οργανισμό κατά την κρίση του, ωστόσο, η χειροκίνητη εισαγωγή των στοιχείων εγκυμονεί μεγάλες πιθανότητες λαθών, τα οποία με δυσκολία θα διορθωθούν στη συνέχεια. Στα αποτελέσματα της ανάλυσης περιλαμβάνονται: α) χρονοϊστορίες κόμβων, όπως μετακινήσεις, στροφές, ταχύτητες, επιταχύνσεις, β) αποτελέσματα μελών, όπως εντατικά μεγέθη, καμπυλότητες, στροφές πλαστικών αρθρώσεων, υστερητικοί βρόχοι, γ) απαιτήσεις πλαστιμότητας, δείκτες βλάβης, ενεργειακά μεγέθη, συνολικά μεγέθη φορέα, όπως τέμνουσα βάση, μετακινήσεις μεταξύ ορόφων, ιδιοπερίοδοι και ιδιομορφές στην περίπτωση ιδιομορφικής ανάλυσης.

Εφόσον δίνεται απόλυτος έλεγχος στον χρήστη στην προσομοίωση της κατασκευής, ο μηχανικός μπορεί να συμβάλει με τις γνώσεις και την εμπειρία του σε μία επιστημονικά τεκμηριωμένη μελέτη, που να αντιστοιχεί στις ακριβείς συνθήκες και παραμέτρους ενός συγκεκριμένου κατασκευαστικού έργου, με δυνατότητες ακριβέστερης ανάλυσης και οικονομικότερου σχεδιασμού σε σχέση με τα εμπορικά λογισμικά.

6.4. Συμπεράσματα Εφαρμογής Μηχανικής Μάθησης

Η πρακτική εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στη ΜΔΕ αφορούσε την ανάπτυξη ροής εργασιών μηχανικής μάθησης (ML pipeline) σε γλώσσα προγραμματισμού Python με βάση την προσομοίωση του φέροντος οργανισμού του κτιρίου και την ανάλυση του με το λογισμικό RUAUMOKO-3D με τη χρήση τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων.

Από τα αποτελέσματα των μη γραμμικών δυναμικών αναλύσεων συλλέχθηκαν οι δείκτες βλάβης Park & Ang για τη δημιουργία ενός συνόλου δεδομένων το οποίο διέθετε τα εξής χαρακτηριστικά: μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA), μέγιστη εδαφική ταχύτητα (PGV), ένταση Arias και σταθμισμένο δείκτη βλάβης Park & Ang για κάθε ανάλυση.

Μετά την ολοκλήρωση της ροής εργασιών μηχανικής μάθησης από τον πίνακα συσχέτισης και το διάγραμμα σημαντικότητας των χαρακτηριστικών προέκυψε ότι ο σταθμισμένος δείκτης βλάβης Park & Ang έχει θετική συσχέτιση με PGA, PGV και ένταση Arias, δηλαδή σε σεισμικές διεγέρσεις μεγαλύτερης έντασης προκύπτουν και μεγαλύτεροι δείκτες βλάβης.

Από την εξερευνητική ανάλυση δεδομένων (EDA) ως σημαντικότερο χαρακτηριστικό σε σχέση με το σταθμισμένο δείκτη Park & Ang προέκυψε η ένταση Arias που συνάδει με το γεγονός ότι η ένταση Arias, λαμβάνει υπόψη τόσο το μέγεθος των εδαφικών επιταχύνσεων, όσο και τη διάρκεια της σεισμική διέγερσης.

Δοκιμάστηκαν πέντε αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης τρεις που προορίζονται κυρίως για γραμμικές σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών (Linear Regression, Ridge Regression, Lasso Regression) και δύο που προορίζονται για μη γραμμικές και πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών (Random Forest, Gradient Boosting).

Χρησιμοποιήθηκαν ως μέτρα απόδοσης των αλγορίθμων το Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (MAE), η Τετραγωνική Ρίζα του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (RMSE) και ο Συντελεστής Προσδιορισμού (R^2).

Προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι γραμμικοί αλγόριθμοι αποτυγχάνουν (πολύ μεγάλες τιμές MAE, RMSE και αρνητικές τιμές R^2) στο να προβλέψουν, το σταθμισμένο δείκτη βλάβης Park & Ang. Οι μη γραμμικοί αλγόριθμοι συμπεριφέρθηκαν κάπως καλύτερα, όχι όμως αρκετά ικανοποιητικά. Συνεπώς, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση με αλγόριθμους που να μπορούν να ανταπεξέλθουν σε υψηλές μη γραμμικότητες και πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών, ενώ το μέγεθος του συνόλου των δεδομένων θα πρέπει να αυξηθεί κατά πολύ περισσότερο, τόσο σε αριθμό χαρακτηριστικών, όσο και σε πλήθος επιταχυνσιογραφήματων και αντίστοιχων μη γραμμικών δυναμικών αναλύσεων. Επίσης, συνίσταται να χρησιμοποιηθούν πραγματικά επιταχυνσιογραφήματα ως πηγή δεδομένων για την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης για ακόμη πιο ρεαλιστικά συμπεράσματα, όσον αφορά την έρευνα στο πεδίο της σεισμικής μηχανικής.

6.5. Συνεισφορά και Εισηγήσεις Μελλοντικής Έρευνας

Τα συμπεράσματα της ΜΔΕ συνίστανται σε μία πρακτική εφαρμογή της υφιστάμενης γνώσης στο σχεδιασμό, αποτίμηση και στη δυναμική μη γραμμική ανάλυση κτιρίων. Πέρα από μια μεθοδική, αναλυτική αλλά και κριτική εφαρμογή του θεωρητικού υπόβαθρου του τομέα της σεισμικής μηχανικής η ΜΔΕ συνεισφέρει στην ανάπτυξη ενός γραφικού περιβάλλοντος χρήστη για το λογισμικό RUAUMOKO-3D, το οποίο προορίζεται μεν κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς, αλλά προσφέρει δε πλήρη έλεγχο στη προσομοίωση της κατασκευής από το χρήστη, σε αντίθεση με τα εμπορικά λογισμικά, όπου ο χρήστης έχει περιορισμένες δυνατότητες επέμβασης στη προσομοίωση και ανάλυση της κατασκευής.

Η ανάπτυξη του γραφικού περιβάλλοντος χρήστη επιταχύνει την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό RUAUMOKO-3D, μειώνει τον κίνδυνο λαθών από το χρήστη και βελτιώνει την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, καθιστώντας το RUAUMOKO-3D εύχρηστο, τόσο για ερευνητική, όσο και για επαγγελματική χρήση, προσφέροντας στο μηχανικό τη δυνατότητα συμβάλει με τις γνώσεις και την εμπειρία του σε μία επιστημονικά τεκμηριωμένη τεχνική μελέτη, που να αντιστοιχεί στις ακριβείς συνθήκες ενός κατασκευαστικού έργου με τη δυνατότητα ενός οικονομικότερου σχεδιασμού σε σχέση με τα εμπορικά λογισμικά.

Η αξιοποίηση του λογισμικού RUAUMOKO-3D, από τους μελλοντικούς ερευνητές μπορεί επίσης να οδηγήσει σε ανάπτυξη μεθοδολογιών σχεδιασμού που να βασίζονται σε δείκτες βλάβης, τους οποίους μπορεί να υπολογίσει το λογισμικό.

Τέλος, με αρωγό το ραγδαίως αναπτυσσόμενο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης, το οποίο υπεισέρχεται συνεχώς σε κάθε άλλο επιστημονικό πεδίο, συμπεριλαμβανομένου και αυτού της σεισμικής μηχανικής και των αντισεισμικών κατασκευών, οι μηχανικοί θα μπορούν να εκπονούν τεχνικές μελέτες μεγαλύτερης επιστημονικής ακρίβειας, αποτελεσματικότερα, αποδοτικότερα, ταχύτερα και πιο οικονομικά.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Διαδικτυακές Αναφορές

ASCE: AI for Detecting Structural Problems (31η Δεκεμβρίου 2025). Ανακτήθηκε από

<https://www.asce.org>

FIN EC 2026 Documentation (31η Δεκεμβρίου 2025). Ανακτήθηκε από

www.finesoftware.eu

PEER Ground Motion Database (31η Δεκεμβρίου 2025). Ανακτήθηκε από

<https://peer.berkeley.edu/databases>

Python 3.13 Documentation (31η Δεκεμβρίου 2025). Ανακτήθηκε από

<https://docs.python.org/3>

RC Ductility Designer 2026 Documentation (31η Δεκεμβρίου 2025). Ανακτήθηκε από

<https://ductility.eu>

SCADA Pro Documentation (31η Δεκεμβρίου 2025). Ανακτήθηκε από

<https://www.scadapro.com>

Seismobuild Documentation (31η Δεκεμβρίου 2025). Ανακτήθηκε από

<https://seismosoft.com>

Strong-Motion Database (31η Δεκεμβρίου 2025). Ανακτήθηκε από

<https://esm-db.eu/#/home>

Κανονισμοί

ΕΛΟΤ EN1992:2005 Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα.

Εθνικό Προσάρτημα - ΕΛΟΤ EN1992:2005.

ΕΛΟΤ EN1998:2005 Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών.

Εθνικό Προσάρτημα - ΕΛΟΤ EN1998:2005.

ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κανονισμός Επεμβάσεων, Ο.Α.Σ.Π. 3η Αναθεώρηση 2022.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Alammar, J., & Grootendorst, M. (2024). *Hands-on large language models: language understanding and generation*. O'Reilly Media, Inc.
- Amezquita-Sanchez, J. P., Valtierra-Rodriguez, M., & Adeli, H. (2020). Machine learning in structural engineering. *Scientia Iranica. Transaction A, Civil Engineering*, 27(6), 2645-2656.
- Antoniou, S. (2023). *Seismic retrofit of existing reinforced concrete buildings*. John Wiley & Sons.
- Bainey, K. (2024). *AI-driven project management: Harnessing the power of artificial intelligence and ChatGPT to achieve peak productivity and success*. John Wiley & Sons.
- Bozorgnia, Y., & Bertero, V. V. (2004). *Earthquake engineering: from engineering seismology to performance-based engineering*. CRC press.
- Carr, A. J. (2007). RUAUMOKO Manual: User Manual for the 3 Dimensional Version Ruaumoko 3D. *University of Canterbury, Christchurch, NZ*.
- Cecconi, F. R., Khodabakhshian, A., & Rampini, L. (2025). *Building Tomorrow: Unleashing the Potential of Artificial Intelligence in Construction*. Springer Nature Switzerland.
- Chopra, A. K. (2014). *Dynamics of structures*. 4th ed., Pearson Prentice Hall.
- Clarson, J. (2025). *Civil engineering data analytics: Machine learning for structural monitoring failure prediction and performance optimization*. Independently published.
- Deka, P. C. (2019). *A primer on machine learning applications in civil engineering*. CRC Press.
- Demertzis, K., Kostinakis, K., Morfidis, K., & Iliadis, L. (2023). An interpretable machine learning method for the prediction of R/C buildings' seismic response. *Journal of Building Engineering*, 63, 105493.
- Dhotre, P. S., Mahalle, P. N., Mane, D. T., & Jain, R. K. (2023). *Data Science for Civil Engineering: A Beginner's Guide*. CRC Press.
- EMC Education Services (Ed.). (2014). *Data science and big data analytics: discovering, analyzing, visualizing and presenting data*. John Wiley & Sons.
- Géron, A. (2022). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. O'Reilly Media, Inc.
- Goulet, J. A. (2020). *Probabilistic machine learning for civil engineers*. MIT press.
- Hong, W. K. (2024). *AI-Based Optimized Design of Structural Frames: With Application to Practical Building Designs*. CRC Press.
- Hong, W. K. (2023). *Artificial Intelligence-Based Design of Reinforced Concrete Structures: Artificial Neural Networks for Engineering Applications*. Elsevier.
- Hong, W. K. (2023). *Artificial Neural Network-based Optimized Design of Reinforced Concrete Structures*. CRC press.

- Huyen, C. (2022). *Designing machine learning systems*. O'Reilly Media, Inc.
- Kampelopoulos, D., Tsanoua, A., Vrochidis, S., & Kompatsiaris, I. (2025). A review of LLMs and their applications in the architecture, engineering and construction industry. *Artificial Intelligence Review*, 58(8), 250.
- Kumar, R. (2024). *What is Generative AI?*. Independently published.
- Kumar, R. (2024). *AI for Construction Industry*. Independently published.
- Lagaros, N. D., & Plevris, V. (2022). Artificial intelligence (AI) applied in civil engineering. *Applied Sciences*, 12(15), 7595.
- Lee, R. (2025). Natural language processing. In *Natural Language Processing: A Textbook with Python Implementation*. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Lin, J. W. B., Aizenman, H., Espinel, E. M. C., Gunnerson, K., & Liu, J. (2022). *An introduction to Python programming for scientists and engineers*. Cambridge University Press.
- Manolis, G. D., & Koliopoulos, P. K. (2001). *Stochastic structural dynamics in earthquake engineering*. WIT Press.
- McClarren, R. G. (2021). *Machine Learning for Engineers*. Springer International Publishing.
- Meshram, K. (2023). *Machine learning applications in civil engineering*. Elsevier.
- Moore, A. (2021). *Python GUI Programming with Tkinter* (Vol. 15). Packt Publishing.
- Mosalam, K. M., & Gao, Y. (2024). *Artificial intelligence in vision-based structural health monitoring*. Cham, Switzerland: Springer.
- Munn, M., & Pitman, D. (2022). *Explainable AI for practitioners*. O'Reilly Media, Inc.
- Naser, M. Z. (2023). *Machine learning for civil and environmental engineers: a practical approach to data-driven analysis, explainability, and causality*. John Wiley & Sons.
- Nehdi, M. L., Arora, H. C., Kumar, K., Damaševičius, R., & Kumar, A. (2024). *Artificial intelligence applications for sustainable construction*. Elsevier.
- Noronha, H., Jain, R., Udipi, P. (2023). *AI in Civil Engineering and Construction*. Yashas Publications.
- Papagiannopoulos, G. A., Hatzigeorgiou, G. D., & Beskos, D. E. (2021). *Seismic design methods for steel building structures*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Paulay, T., & Priestley, M. N. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings* (Vol. 768). New York: Wiley.
- Pinard, D. (2024). *Building the Future: Uses of AI in Construction*. Independently published.
- Reddy, C., Reddy, N., Kumar, P., Dasthagir, Y., Subhakesavulu, A. (2025) *AI in Structural Engineering*. AQUA Publication.
- Seaton, H. (2021). *The construction technology handbook*. John Wiley & Sons.

- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. John Wiley & Sons.
- Steinkamp, V. (2025). *Python For Engineering and Scientific Computing: Practical Applications with NumPy, SciPy, Matplotlib, and More*. Packt Publishing.
- Stolz, A. (2024). *The future of construction: Artificial intelligence in the construction industry - from the beginnings to the revolution*.
- Subramanya, R. (2025). *AI in Structural Engineering: Leveraging Structural Data for Safer Buildings*. Praveen Publications.
- Sun, H., Burton, H. V., & Huang, H. (2021). Machine learning applications for building structural design and performance assessment: State-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*, 33, 101816.
- Thai, H. T. (2022, April). Machine learning for structural engineering: A state-of-the-art review. In *Structures* (Vol. 38, pp. 448-491). Elsevier.
- Tunstall, L., Von Werra, L., & Wolf, T. (2022). *Natural language processing with transformers*. O'Reilly Media, Inc.
- Xiao, P. (2022). *Artificial intelligence programming with python: from zero to hero*. John Wiley & Sons.
- Xie, Y., Ebad Sichani, M., Padgett, J. E., & DesRoches, R. (2020). The promise of implementing machine learning in earthquake engineering: A state-of-the-art review. *Earthquake spectra*, 36(4), 1769-1801.
- Zhang, L., Pan, Y., Wu, X., & Skibniewski, M. J. (2021). *Artificial intelligence in construction engineering and management* (Vol. 163). Singapore: Springer.
- Αβραμίδης, Ι., Αθανατοπούλου, Α., Μορφίδης, Κ., & Σέξτος, Α. (2017). *Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κτιρίων Ο/Σ και Αριθμητικά Παραδείγματα Ανάλυσης & Διαστασιολόγησης*. 2η Έκδοση, Εκδόσεις Σοφία.
- Βλαχάβας, Ι., Κεφαλάς, Π., Βασιλειάδης, Ν., Κόκκορας, Φ., Σακελλαρίου, Η. (2020). *Τεχνητή Νοημοσύνη*. 4η Έκδοση, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας.
- Γκαζέτας, Γ., Γαρίνη, Ε., Αναστασόπουλος, Ι., Γερολύμος, Ν. (2017). *Αλληλεπίδραση Εδάφους-Θεμελίου-Κατασκευής*. Εκδόσεις Τσότρας.
- Διαμαντάρας, Κ., Μπότσης, Δ. (2019) *Μηχανική Μάθηση*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Διαμαντάρας, Κ. (2007) *Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Δρίτσος, Σ. (2019). *Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα*. 3η Έκδοση, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ιγνατάκης, Χ., & Σέξτος, Α. (2016). *Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8*. Εκδόσεις Κάλλιπος.
- Μανώλης, Γ., Κολιόπουλος, Π., & Παναγιωτόπουλος, Χ. (2016). *Δυναμική των κατασκευών*. Εκδόσεις Κάλλιπος.
- Μαρακάκης, Μ. (2023). *AI Τεχνητή Νοημοσύνη*. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.

Παναγιωτακόπουλος, Χ., Σαρρής Μ. (2017). *Η Εκπόνηση μίας Επιστημονικής Εργασίας με τη Χρήση των Τ.Π.Ε.* Εκδόσεις ΙΩΝ.

Πενέλης, Γ. (2022). *Κτίρια από Σκυρόδεμα σε Σεισμογενείς Περιοχές.* 2η Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Πιτιλάκης, Κ. (2010). *Γεωτεχνική σεισμική μηχανική.* Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Συρόπουλος, Α., Δήμου, Α. (2024). *Python για Μηχανικούς.* Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Παράρτημα Α: Ruaumoko-3D Δεδομένα για Έδαφος Α

```

5 STOREY 2x2 BAYS RC FRAME INELASTIC DYNAMIC ANALYSIS - SOIL A
2 1 1 2 2 0 0 0 0 0 0      ! Control Parameters, p.7
1 0 0  0 1 0  0 0 0      ! EQ Components Transformation, p.11
54 105 62 9 1 9 9.81 5.0 5.0 0.01 21.0 1.0 ! Frame and Time-history, p.12
0 10 10 10 0.15 0.15 0.15      ! Output and Plotting Options, p.12
-0.8 0.6 0.0 -0.4 -0.2 1.0      ! Plot Transformation, p.13
0 0      ! Iteration Control, p.14

NODES      !10, p.16
1      0.00  0.00  0.00  1 1 1 1 1 1  0  0 ! Level 0
2      5.00  0.00  0.00  1 1 1 1 1 1  0  0
3      10.00 0.00  0.00  1 1 1 1 1 1  0  0
4      0.00  5.00  0.00  1 1 1 1 1 1  0  0
5      5.00  5.00  0.00  1 1 1 1 1 1  0  0
6      10.00 5.00  0.00  1 1 1 1 1 1  0  0
7      0.00  10.00 0.00  1 1 1 1 1 1  0  0
8      5.00  10.00 0.00  1 1 1 1 1 1  0  0
9      10.00 10.00 0.00  1 1 1 1 1 1  0  0
10     0.00  0.00  3.00  2 2 0 0 0 2  14 0 ! Level 1
11     5.00  0.00  3.00  2 2 0 0 0 2  14 0
12     10.00 0.00  3.00  2 2 0 0 0 2  14 0
13     0.00  5.00  3.00  2 2 0 0 0 2  14 0
14     5.00  5.00  3.00  0 0 0 0 0 0  0  1
15     10.00 5.00  3.00  2 2 0 0 0 2  14 0
16     0.00  10.00 3.00  2 2 0 0 0 2  14 0
17     5.00  10.00 3.00  2 2 0 0 0 2  14 0
18     10.00 10.00 3.00  2 2 0 0 0 2  14 0
19     0.00  0.00  6.00  2 2 0 0 0 2  23 0 ! Level 2
20     5.00  0.00  6.00  2 2 0 0 0 2  23 0
21     10.00 0.00  6.00  2 2 0 0 0 2  23 0
22     0.00  5.00  6.00  2 2 0 0 0 2  23 0
23     5.00  5.00  6.00  0 0 0 0 0 0  0  1
24     10.00 5.00  6.00  2 2 0 0 0 2  23 0
25     0.00  10.00 6.00  2 2 0 0 0 2  23 0
26     5.00  10.00 6.00  2 2 0 0 0 2  23 0
27     10.00 10.00 6.00  2 2 0 0 0 2  23 0
28     0.00  0.00  9.00  2 2 0 0 0 2  32 0 ! Level 3
29     5.00  0.00  9.00  2 2 0 0 0 2  32 0
30     10.00 0.00  9.00  2 2 0 0 0 2  32 0
31     0.00  5.00  9.00  2 2 0 0 0 2  32 0
32     5.00  5.00  9.00  0 0 0 0 0 0  0  1
33     10.00 5.00  9.00  2 2 0 0 0 2  32 0
34     0.00  10.00 9.00  2 2 0 0 0 2  32 0
35     5.00  10.00 9.00  2 2 0 0 0 2  32 0
36     10.00 10.00 9.00  2 2 0 0 0 2  32 0
37     0.00  0.00  12.00 2 2 0 0 0 2  41 0 ! Level 4
38     5.00  0.00  12.00 2 2 0 0 0 2  41 0
39     10.00 0.00  12.00 2 2 0 0 0 2  41 0
40     0.00  5.00  12.00 2 2 0 0 0 2  41 0
41     5.00  5.00  12.00 0 0 0 0 0 0  0  1
42     10.00 5.00  12.00 2 2 0 0 0 2  41 0
43     0.00  10.00 12.00 2 2 0 0 0 2  41 0
44     5.00  10.00 12.00 2 2 0 0 0 2  41 0
45     10.00 10.00 12.00 2 2 0 0 0 2  41 0
46     0.00  0.00  15.00 2 2 0 0 0 2  50 0 ! Level 5
47     5.00  0.00  15.00 2 2 0 0 0 2  50 0
48     10.00 0.00  15.00 2 2 0 0 0 2  50 0
49     0.00  5.00  15.00 2 2 0 0 0 2  50 0
50     5.00  5.00  15.00 0 0 0 0 0 0  0  1
51     10.00 5.00  15.00 2 2 0 0 0 2  50 0
52     0.00  10.00 15.00 2 2 0 0 0 2  50 0
53     5.00  10.00 15.00 2 2 0 0 0 2  50 0
54     10.00 10.00 15.00 2 2 0 0 0 2  50 0

DRIFT ANGLE      !10a, p.18
5 14 23 32 41 50

```

ELEMENTS		!11, p.19					
1	1	1	10	0	0	+X	1 ! Level 1 C7
2	2	10	19	0	0	+X	1 ! Level 2 C7
3	2	19	28	0	0	+X	1 ! Level 3 C7
4	2	28	37	0	0	+X	1 ! Level 4 C7
5	2	37	46	0	0	+X	1 ! Level 5 C7
6	1	2	11	0	0	+X	1 ! Level 1 C8
7	2	11	20	0	0	+X	1 ! Level 2 C8
8	2	20	29	0	0	+X	1 ! Level 3 C8
9	2	29	38	0	0	+X	1 ! Level 4 C8
10	2	38	47	0	0	+X	1 ! Level 5 C8
11	1	3	12	0	0	+X	1 ! Level 1 C9
12	2	12	21	0	0	+X	1 ! Level 2 C9
13	2	21	30	0	0	+X	1 ! Level 3 C9
14	2	30	39	0	0	+X	1 ! Level 4 C9
15	2	39	48	0	0	+X	1 ! Level 5 C9
16	1	4	13	0	0	+X	1 ! Level 1 C4
17	2	13	22	0	0	+X	1 ! Level 2 C4
18	2	22	31	0	0	+X	1 ! Level 3 C4
19	2	31	40	0	0	+X	1 ! Level 4 C4
20	2	40	49	0	0	+X	1 ! Level 5 C4
21	1	5	14	0	0	+X	1 ! Level 1 C5
22	2	14	23	0	0	+X	1 ! Level 2 C5
23	2	23	32	0	0	+X	1 ! Level 3 C5
24	2	32	41	0	0	+X	1 ! Level 4 C5
25	2	41	50	0	0	+X	1 ! Level 5 C5
26	1	6	15	0	0	+X	1 ! Level 1 C6
27	2	15	24	0	0	+X	1 ! Level 2 C6
28	2	24	33	0	0	+X	1 ! Level 3 C6
29	2	33	42	0	0	+X	1 ! Level 4 C6
30	2	42	51	0	0	+X	1 ! Level 5 C6
31	1	7	16	0	0	+X	1 ! Level 1 C1
32	2	16	25	0	0	+X	1 ! Level 2 C1
33	2	25	34	0	0	+X	1 ! Level 3 C1
34	2	34	43	0	0	+X	1 ! Level 4 C1
35	2	43	52	0	0	+X	1 ! Level 5 C1
36	1	8	17	0	0	+X	1 ! Level 1 C2
37	2	17	26	0	0	+X	1 ! Level 2 C2
38	2	26	35	0	0	+X	1 ! Level 3 C2
39	2	35	44	0	0	+X	1 ! Level 4 C2
40	2	44	53	0	0	+X	1 ! Level 5 C2
41	1	9	18	0	0	+X	1 ! Level 1 C3
42	2	18	27	0	0	+X	1 ! Level 2 C3
43	2	27	36	0	0	+X	1 ! Level 3 C3
44	2	36	45	0	0	+X	1 ! Level 4 C3
45	2	45	54	0	0	+X	1 ! Level 5 C3
46	8	10	11	0	0	+Y	1 ! Level 1 B6
47	7	11	12	0	0	+Y	1 ! Level 1 B5
48	12	13	14	0	0	+Y	1 ! Level 1 B10
49	11	14	15	0	0	+Y	1 ! Level 1 B9
50	4	16	17	0	0	+Y	1 ! Level 1 B2
51	3	17	18	0	0	+Y	1 ! Level 1 B1
52	5	10	13	0	0	+X	1 ! Level 1 B3
53	6	13	16	0	0	+X	1 ! Level 1 B4
54	13	11	14	0	0	+X	1 ! Level 1 B11
55	14	14	17	0	0	+X	1 ! Level 1 B12
56	10	12	15	0	0	+X	1 ! Level 1 B8
57	9	15	18	0	0	+X	1 ! Level 1 B7
58	20	19	20	0	0	+Y	1 ! Level 2 B6
59	19	20	21	0	0	+Y	1 ! Level 2 B5
60	24	22	23	0	0	+Y	1 ! Level 2 B10
61	23	23	24	0	0	+Y	1 ! Level 2 B9
62	16	25	26	0	0	+Y	1 ! Level 2 B2
63	15	26	27	0	0	+Y	1 ! Level 2 B1
64	17	19	22	0	0	+X	1 ! Level 2 B3
65	18	22	25	0	0	+X	1 ! Level 2 B4
66	25	20	23	0	0	+X	1 ! Level 2 B11
67	26	23	26	0	0	+X	1 ! Level 2 B12
68	22	21	24	0	0	+X	1 ! Level 2 B8
69	21	24	27	0	0	+X	1 ! Level 2 B7
70	32	28	29	0	0	+Y	1 ! Level 3 B6
71	31	29	30	0	0	+Y	1 ! Level 3 B5

72	36	31	32	0	0	+Y	1 ! Level 3 B10
73	35	32	33	0	0	+Y	1 ! Level 3 B9
74	28	34	35	0	0	+Y	1 ! Level 3 B2
75	27	35	36	0	0	+Y	1 ! Level 3 B1
76	29	28	31	0	0	+X	1 ! Level 3 B3
77	30	31	34	0	0	+X	1 ! Level 3 B4
78	37	29	32	0	0	+X	1 ! Level 3 B11
79	38	32	35	0	0	+X	1 ! Level 3 B12
80	34	30	33	0	0	+X	1 ! Level 3 B8
81	33	33	36	0	0	+X	1 ! Level 3 B7
82	44	37	38	0	0	+Y	1 ! Level 4 B6
83	43	38	39	0	0	+Y	1 ! Level 4 B5
84	48	40	41	0	0	+Y	1 ! Level 4 B10
85	47	41	42	0	0	+Y	1 ! Level 4 B9
86	40	43	44	0	0	+Y	1 ! Level 4 B2
87	39	44	45	0	0	+Y	1 ! Level 4 B1
88	41	37	40	0	0	+X	1 ! Level 4 B3
89	42	40	43	0	0	+X	1 ! Level 4 B4
90	49	38	41	0	0	+X	1 ! Level 4 B11
91	50	41	44	0	0	+X	1 ! Level 4 B12
92	46	39	42	0	0	+X	1 ! Level 4 B8
93	45	42	45	0	0	+X	1 ! Level 4 B7
94	56	46	47	0	0	+Y	1 ! Level 5 B6
95	55	47	48	0	0	+Y	1 ! Level 5 B5
96	60	49	50	0	0	+Y	1 ! Level 5 B10
97	59	50	51	0	0	+Y	1 ! Level 5 B9
98	52	52	53	0	0	+Y	1 ! Level 5 B2
99	51	53	54	0	0	+Y	1 ! Level 5 B1
100	53	46	49	0	0	+X	1 ! Level 5 B3
101	54	49	52	0	0	+X	1 ! Level 5 B4
102	61	47	50	0	0	+X	1 ! Level 5 B11
103	62	50	53	0	0	+X	1 ! Level 5 B12
104	58	48	51	0	0	+X	1 ! Level 5 B8
105	57	51	54	0	0	+X	1 ! Level 5 B7
PROPS							
1 FRAME							
2 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25							
15000000 6250000 0.25 0.0104167 0.0052083 0.0052083 0.208333 0.208333 0 0 0 !14b, p.27							
0 0.25 0 0.25 0 0 0 0 !14c, p.27							
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28							
0.0833 0.0833 0.0833 0.0833 !14e,p .28							
-6.25 0 0 0 0 0 !14h, p.30							
0 0 1.5 1 1 !14j, p.33							
-4383.88 -1584.85 388.98 388.98 1295.55 !14jj, p.34							
-4383.88 -1584.85 388.98 388.98 1295.55 !14jjj, p.34							
1 25.00 0.8 !14p, p.45							
0.5 0 1 1 !14q, p.45							
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45							
25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 !14rr, p.45							
2 FRAME							
2 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25							
15000000 6250000 0.25 0.0104167 0.0052083 0.0052083 0.208333 0.208333 0 0 0 !14b, p.27							
0.25 0.25 0.25 0.25 0 0 0 0 !14c, p.27							
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28							
0.0833 0.0833 0.0833 0.0833 !14e,p .28							
-6.25 0 0 0 0 0 !14h, p.30							
0 0 1.5 1 1 !14j, p.33							
-4383.88 -1584.85 388.98 388.98 1295.55 !14jj, p.34							
-4383.88 -1584.85 388.98 388.98 1295.55 !14jjj, p.34							
1 25.00 0.8 !14p, p.45							
0.5 0 1 1 !14q, p.45							
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45							
25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 !14rr, p.45							
3 FRAME							
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25							
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27							
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27							
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28							

```
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

4 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

5 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

6 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

7 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45
```

```
8 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

9 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

10 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

11 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
321.86 -306.76 10000 -10000 !14ii, p.32
351.46 -335.8 10000 -10000 !14iii, p.32
1 9.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
9.5 9.5 11.5 11.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

12 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
351.46 -335.8 10000 -10000 !14ii, p.32
321.86 -306.76 10000 -10000 !14iii, p.32
1 9.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
```

```
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11.5 11.5 9.5 9.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

13 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
321.86 -306.76 10000 -10000 !14ii, p.32
351.46 -335.8 10000 -10000 !14iii, p.32
1 9.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
9.5 9.5 11.5 11.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

14 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
351.46 -335.8 10000 -10000 !14ii, p.32
321.86 -306.76 10000 -10000 !14iii, p.32
1 9.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11.5 11.5 9.5 9.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

15 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

16 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

17 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
```

```

278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

18 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

19 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

20 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

21 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

22 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28

```

```
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

23 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
351.46 -335.8 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 11.5 11.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

24 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
351.46 -335.8 10000 -10000 !14ii, p.32
311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11.5 11.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

25 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
351.46 -335.8 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 11.5 11.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

26 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
351.46 -335.8 10000 -10000 !14ii, p.32
311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11.5 11.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45
```

27 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
297.84 -290.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

28 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
297.84 -290.34 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

29 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
297.84 -290.34 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

30 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
297.84 -290.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

31 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
297.84 -290.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45

```
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

32 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
297.84 -290.34 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

33 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
297.84 -290.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

34 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
297.84 -290.34 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

35 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
341.21 -325.97 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 11 11 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

36 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
341.21 -325.97 10000 -10000 !14ii, p.32
```

```

311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11 11 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

37 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
341.21 -325.97 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 11 11 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

38 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
341.21 -325.97 10000 -10000 !14ii, p.32
311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11 11 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

39 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
282.42 -275.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

40 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
282.42 -275.17 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

41 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28

```

```
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
282.42 -275.17 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

42 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
282.42 -275.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

43 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
282.42 -275.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

44 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
282.42 -275.17 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

45 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
282.42 -275.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45
```

```

46 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
282.42 -275.17 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

47 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
301.43 -288.72 10000 -10000 !14ii, p.32
327.93 -312.89 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

48 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.93 -312.89 10000 -10000 !14ii, p.32
301.43 -288.72 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

49 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
301.43 -288.72 10000 -10000 !14ii, p.32
327.93 -312.89 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

50 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.93 -312.89 10000 -10000 !14ii, p.32
301.43 -288.72 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45

```

```
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

51 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

52 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

53 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

54 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

55 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
```

```
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

56 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

57 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

58 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

59 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
301.43 -288.72 10000 -10000 !14ii, p.32
311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

60 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
```

```

0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
301.43 -288.72 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

61 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
301.43 -288.72 10000 -10000 !14ii, p.32
311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

62 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
301.43 -288.72 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

WEIGHTS !30, p.130
14 1277.00 1277.00 0.00 0.00 0.00 23463.00
23 1277.00 1277.00 0.00 0.00 0.00 23463.00
32 1277.00 1277.00 0.00 0.00 0.00 23463.00
41 1277.00 1277.00 0.00 0.00 0.00 23463.00
50 869.00 869.00 0.00 0.00 0.00 15960.00

LOADS
1 0 0 0 0 0 0
50 0 0 0 0 0 0

EQUAKE EL40NSC.EQB !33a, p.133
0 1 0.01 1.00 -1 !33b, p.134

EQUAKE EL40EWC.EQB !33a, p.133
0 1 0.01 1.00 -1 !33b, p.134

```

Παράρτημα Β: Ruaumoko-3D Δεδομένα για Έδαφος Β

```

5 STOREY 2x2 BAYs RC FRAME INELASTIC DYNAMIC ANALYSIS - SOIL B
2 1 1 2 2 0 0 0 0 0 0      ! Control Parameters, p.7
1 0 0  0 1 0  0 0 0      ! EQ Components Transformation, p.11
63 114 63 9 1 9 9.81 5.0 5.0 0.01 21.0 1.0 ! Frame and Time-history, p.12
0 10 10 10 0.15 0.15 0.15      ! Output and Plotting Options, p.12
-0.8 0.6 0.0 -0.4 -0.2 1.0      ! Plot Transformation, p.13
0 0      ! Iteration Control, p.14

NODES      !10, p.16
1      0.00  0.00  0.00  0.00  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ! Level 0
2      5.00  0.00  0.00  0.00  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3      10.00 0.00  0.00  0.00  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4      0.00  5.00  0.00  0.00  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5      5.00  5.00  0.00  0.00  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6      10.00 5.00  0.00  0.00  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7      0.00  10.00 0.00  0.00  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
8      5.00  10.00 0.00  0.00  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9      10.00 10.00 0.00  0.00  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
10     0.00  0.00  3.00  2 2 0 0 0 2 14 0 ! Level 1
11     5.00  0.00  3.00  2 2 0 0 0 2 14 0
12     10.00 0.00  3.00  2 2 0 0 0 2 14 0
13     0.00  5.00  3.00  2 2 0 0 0 2 14 0
14     5.00  5.00  3.00  0 0 0 0 0 0 0 1
15     10.00 5.00  3.00  2 2 0 0 0 2 14 0
16     0.00  10.00 3.00  2 2 0 0 0 2 14 0
17     5.00  10.00 3.00  2 2 0 0 0 2 14 0
18     10.00 10.00 3.00  2 2 0 0 0 2 14 0
19     0.00  0.00  6.00  2 2 0 0 0 2 23 0 ! Level 2
20     5.00  0.00  6.00  2 2 0 0 0 2 23 0
21     10.00 0.00  6.00  2 2 0 0 0 2 23 0
22     0.00  5.00  6.00  2 2 0 0 0 2 23 0
23     5.00  5.00  6.00  0 0 0 0 0 0 0 1
24     10.00 5.00  6.00  2 2 0 0 0 2 23 0
25     0.00  10.00 6.00  2 2 0 0 0 2 23 0
26     5.00  10.00 6.00  2 2 0 0 0 2 23 0
27     10.00 10.00 6.00  2 2 0 0 0 2 23 0
28     0.00  0.00  9.00  2 2 0 0 0 2 32 0 ! Level 3
29     5.00  0.00  9.00  2 2 0 0 0 2 32 0
30     10.00 0.00  9.00  2 2 0 0 0 2 32 0
31     0.00  5.00  9.00  2 2 0 0 0 2 32 0
32     5.00  5.00  9.00  0 0 0 0 0 0 0 1
33     10.00 5.00  9.00  2 2 0 0 0 2 32 0
34     0.00  10.00 9.00  2 2 0 0 0 2 32 0
35     5.00  10.00 9.00  2 2 0 0 0 2 32 0
36     10.00 10.00 9.00  2 2 0 0 0 2 32 0
37     0.00  0.00  12.00 2 2 0 0 0 2 41 0 ! Level 4
38     5.00  0.00  12.00 2 2 0 0 0 2 41 0
39     10.00 0.00  12.00 2 2 0 0 0 2 41 0
40     0.00  5.00  12.00 2 2 0 0 0 2 41 0
41     5.00  5.00  12.00 0 0 0 0 0 0 0 1
42     10.00 5.00  12.00 2 2 0 0 0 2 41 0
43     0.00  10.00 12.00 2 2 0 0 0 2 41 0
44     5.00  10.00 12.00 2 2 0 0 0 2 41 0
45     10.00 10.00 12.00 2 2 0 0 0 2 41 0
46     0.00  0.00  15.00 2 2 0 0 0 2 50 0 ! Level 5
47     5.00  0.00  15.00 2 2 0 0 0 2 50 0
48     10.00 0.00  15.00 2 2 0 0 0 2 50 0
49     0.00  5.00  15.00 2 2 0 0 0 2 50 0
50     5.00  5.00  15.00 0 0 0 0 0 0 0 1
51     10.00 5.00  15.00 2 2 0 0 0 2 50 0
52     0.00  10.00 15.00 2 2 0 0 0 2 50 0
53     5.00  10.00 15.00 2 2 0 0 0 2 50 0
54     10.00 10.00 15.00 2 2 0 0 0 2 50 0
55     0.00  0.00  -1.00 1 1 1 1 1 1 0 0 ! Level Soil
56     5.00  0.00  -1.00 1 1 1 1 1 1 0 0
57     10.00 0.00  -1.00 1 1 1 1 1 1 0 0
58     0.00  5.00  -1.00 1 1 1 1 1 1 0 0
59     5.00  5.00  -1.00 1 1 1 1 1 1 0 0

```

60	10.00	5.00	-1.00	1	1	1	1	1	1	0	0
61	0.00	10.00	-1.00	1	1	1	1	1	1	0	0
62	5.00	10.00	-1.00	1	1	1	1	1	1	0	0
63	10.00	10.00	-1.00	1	1	1	1	1	1	0	0
DRIFT ANGLE !10a, p.18											
5 14 23 32 41 50											
ELEMENTS !11, p.19											
1	1	1	10	0	0	+X	1	!	Level 1	C7	
2	2	10	19	0	0	+X	1	!	Level 2	C7	
3	2	19	28	0	0	+X	1	!	Level 3	C7	
4	2	28	37	0	0	+X	1	!	Level 4	C7	
5	2	37	46	0	0	+X	1	!	Level 5	C7	
6	1	2	11	0	0	+X	1	!	Level 1	C8	
7	2	11	20	0	0	+X	1	!	Level 2	C8	
8	2	20	29	0	0	+X	1	!	Level 3	C8	
9	2	29	38	0	0	+X	1	!	Level 4	C8	
10	2	38	47	0	0	+X	1	!	Level 5	C8	
11	1	3	12	0	0	+X	1	!	Level 1	C9	
12	2	12	21	0	0	+X	1	!	Level 2	C9	
13	2	21	30	0	0	+X	1	!	Level 3	C9	
14	2	30	39	0	0	+X	1	!	Level 4	C9	
15	2	39	48	0	0	+X	1	!	Level 5	C9	
16	1	4	13	0	0	+X	1	!	Level 1	C4	
17	2	13	22	0	0	+X	1	!	Level 2	C4	
18	2	22	31	0	0	+X	1	!	Level 3	C4	
19	2	31	40	0	0	+X	1	!	Level 4	C4	
20	2	40	49	0	0	+X	1	!	Level 5	C4	
21	1	5	14	0	0	+X	1	!	Level 1	C5	
22	2	14	23	0	0	+X	1	!	Level 2	C5	
23	2	23	32	0	0	+X	1	!	Level 3	C5	
24	2	32	41	0	0	+X	1	!	Level 4	C5	
25	2	41	50	0	0	+X	1	!	Level 5	C5	
26	1	6	15	0	0	+X	1	!	Level 1	C6	
27	2	15	24	0	0	+X	1	!	Level 2	C6	
28	2	24	33	0	0	+X	1	!	Level 3	C6	
29	2	33	42	0	0	+X	1	!	Level 4	C6	
30	2	42	51	0	0	+X	1	!	Level 5	C6	
31	1	7	16	0	0	+X	1	!	Level 1	C1	
32	2	16	25	0	0	+X	1	!	Level 2	C1	
33	2	25	34	0	0	+X	1	!	Level 3	C1	
34	2	34	43	0	0	+X	1	!	Level 4	C1	
35	2	43	52	0	0	+X	1	!	Level 5	C1	
36	1	8	17	0	0	+X	1	!	Level 1	C2	
37	2	17	26	0	0	+X	1	!	Level 2	C2	
38	2	26	35	0	0	+X	1	!	Level 3	C2	
39	2	35	44	0	0	+X	1	!	Level 4	C2	
40	2	44	53	0	0	+X	1	!	Level 5	C2	
41	1	9	18	0	0	+X	1	!	Level 1	C3	
42	2	18	27	0	0	+X	1	!	Level 2	C3	
43	2	27	36	0	0	+X	1	!	Level 3	C3	
44	2	36	45	0	0	+X	1	!	Level 4	C3	
45	2	45	54	0	0	+X	1	!	Level 5	C3	
46	8	10	11	0	0	+Y	1	!	Level 1	B6	
47	7	11	12	0	0	+Y	1	!	Level 1	B5	
48	12	13	14	0	0	+Y	1	!	Level 1	B10	
49	11	14	15	0	0	+Y	1	!	Level 1	B9	
50	4	16	17	0	0	+Y	1	!	Level 1	B2	
51	3	17	18	0	0	+Y	1	!	Level 1	B1	
52	5	10	13	0	0	+X	1	!	Level 1	B3	
53	6	13	16	0	0	+X	1	!	Level 1	B4	
54	13	11	14	0	0	+X	1	!	Level 1	B11	
55	14	14	17	0	0	+X	1	!	Level 1	B12	
56	10	12	15	0	0	+X	1	!	Level 1	B8	
57	9	15	18	0	0	+X	1	!	Level 1	B7	
58	20	19	20	0	0	+Y	1	!	Level 2	B6	
59	19	20	21	0	0	+Y	1	!	Level 2	B5	
60	24	22	23	0	0	+Y	1	!	Level 2	B10	
61	23	23	24	0	0	+Y	1	!	Level 2	B9	
62	16	25	26	0	0	+Y	1	!	Level 2	B2	
63	15	26	27	0	0	+Y	1	!	Level 2	B1	

64	17	19	22	0	0	+X	1 ! Level 2 B3
65	18	22	25	0	0	+X	1 ! Level 2 B4
66	25	20	23	0	0	+X	1 ! Level 2 B11
67	26	23	26	0	0	+X	1 ! Level 2 B12
68	22	21	24	0	0	+X	1 ! Level 2 B8
69	21	24	27	0	0	+X	1 ! Level 2 B7
70	32	28	29	0	0	+Y	1 ! Level 3 B6
71	31	29	30	0	0	+Y	1 ! Level 3 B5
72	36	31	32	0	0	+Y	1 ! Level 3 B10
73	35	32	33	0	0	+Y	1 ! Level 3 B9
74	28	34	35	0	0	+Y	1 ! Level 3 B2
75	27	35	36	0	0	+Y	1 ! Level 3 B1
76	29	28	31	0	0	+X	1 ! Level 3 B3
77	30	31	34	0	0	+X	1 ! Level 3 B4
78	37	29	32	0	0	+X	1 ! Level 3 B11
79	38	32	35	0	0	+X	1 ! Level 3 B12
80	34	30	33	0	0	+X	1 ! Level 3 B8
81	33	33	36	0	0	+X	1 ! Level 3 B7
82	44	37	38	0	0	+Y	1 ! Level 4 B6
83	43	38	39	0	0	+Y	1 ! Level 4 B5
84	48	40	41	0	0	+Y	1 ! Level 4 B10
85	47	41	42	0	0	+Y	1 ! Level 4 B9
86	40	43	44	0	0	+Y	1 ! Level 4 B2
87	39	44	45	0	0	+Y	1 ! Level 4 B1
88	41	37	40	0	0	+X	1 ! Level 4 B3
89	42	40	43	0	0	+X	1 ! Level 4 B4
90	49	38	41	0	0	+X	1 ! Level 4 B11
91	50	41	44	0	0	+X	1 ! Level 4 B12
92	46	39	42	0	0	+X	1 ! Level 4 B8
93	45	42	45	0	0	+X	1 ! Level 4 B7
94	56	46	47	0	0	+Y	1 ! Level 5 B6
95	55	47	48	0	0	+Y	1 ! Level 5 B5
96	60	49	50	0	0	+Y	1 ! Level 5 B10
97	59	50	51	0	0	+Y	1 ! Level 5 B9
98	52	52	53	0	0	+Y	1 ! Level 5 B2
99	51	53	54	0	0	+Y	1 ! Level 5 B1
100	53	46	49	0	0	+X	1 ! Level 5 B3
101	54	49	52	0	0	+X	1 ! Level 5 B4
102	61	47	50	0	0	+X	1 ! Level 5 B11
103	62	50	53	0	0	+X	1 ! Level 5 B12
104	58	48	51	0	0	+X	1 ! Level 5 B8
105	57	51	54	0	0	+X	1 ! Level 5 B7
106	63	55	1	0	0	+X	1 ! Level Soil
107	63	56	2	0	0	+X	1 ! Level Soil
108	63	57	3	0	0	+X	1 ! Level Soil
109	63	58	4	0	0	+X	1 ! Level Soil
110	63	59	5	0	0	+X	1 ! Level Soil
111	63	60	6	0	0	+X	1 ! Level Soil
112	63	61	7	0	0	+X	1 ! Level Soil
113	63	62	8	0	0	+X	1 ! Level Soil
114	63	63	9	0	0	+X	1 ! Level Soil

PROPS

1 FRAME

2 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25

15000000 6250000 0.25 0.0104167 0.0052083 0.0052083 0.208333 0.208333 0 0 0 !14b, p.27

0 0.25 0 0.25 0 0 0 0 !14c, p.27

0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28

0.0833 0.0833 0.0833 0.0833 !14e, p.28

-6.25 0 0 0 0 0 !14h, p.30

0 0 1.5 1 1 !14j, p.33

-4383.88 -1584.85 388.98 388.98 1295.55 !14jj, p.34

-4383.88 -1584.85 388.98 388.98 1295.55 !14jjj, p.34

1 25.00 0.8 !14p, p.45

0.5 0 1 1 !14q, p.45

0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45

25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 !14rr, p.45

```
2 FRAME
2 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.25 0.0104167 0.0052083 0.0052083 0.208333 0.208333 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0.25 0.25 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.0833 0.0833 0.0833 0.0833 !14e,p .28
-6.25 0 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 1.5 1 1 !14j, p.33
-4383.88 -1584.85 388.98 388.98 1295.55 !14jj, p.34
-4383.88 -1584.85 388.98 388.98 1295.55 !14jjj, p.34
1 25.00 0.8 !14p, p.45
0.5 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 25.0 !14rr, p.45

3 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

4 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

5 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

6 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
```

```

0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

7 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

8 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

9 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

10 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

11 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
321.86 -306.76 10000 -10000 !14ii, p.32

```

```
351.46 -335.8 10000 -10000 !14iii, p.32
1 9.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
9.5 9.5 11.5 11.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

12 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
351.46 -335.8 10000 -10000 !14ii, p.32
321.86 -306.76 10000 -10000 !14iii, p.32
1 9.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11.5 11.5 9.5 9.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

13 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
321.86 -306.76 10000 -10000 !14ii, p.32
351.46 -335.8 10000 -10000 !14iii, p.32
1 9.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
9.5 9.5 11.5 11.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

14 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
351.46 -335.8 10000 -10000 !14ii, p.32
321.86 -306.76 10000 -10000 !14iii, p.32
1 9.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11.5 11.5 9.5 9.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

15 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

16 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
```

```
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

17 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

18 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

19 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

20 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45
```

```
21 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
327.69 -320.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

22 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.69 -320.17 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

23 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
351.46 -335.8 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 11.5 11.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

24 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
351.46 -335.8 10000 -10000 !14ii, p.32
311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11.5 11.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

25 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
351.46 -335.8 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
```

```
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 11.5 11.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

26 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
351.46 -335.8 10000 -10000 !14ii, p.32
311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11.5 11.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

27 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
297.84 -290.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

28 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
297.84 -290.34 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

29 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
297.84 -290.34 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

30 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
```

```
297.84 -290.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

31 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
297.84 -290.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

32 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
297.84 -290.34 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

33 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
297.84 -290.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

34 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
297.84 -290.34 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

35 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
```

```

0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
341.21 -325.97 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 11 11 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

36 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
341.21 -325.97 10000 -10000 !14ii, p.32
311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11 11 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

37 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
341.21 -325.97 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 11 11 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

38 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
341.21 -325.97 10000 -10000 !14ii, p.32
311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
1 8.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
11 11 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

39 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
282.42 -275.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

```

40 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
282.42 -275.17 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

41 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
282.42 -275.17 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

42 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
282.42 -275.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

43 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
282.42 -275.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

44 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
282.42 -275.17 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45

```

0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

45 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
282.42 -275.17 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

46 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -18.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
282.42 -275.17 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

47 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
301.43 -288.72 10000 -10000 !14ii, p.32
327.93 -312.89 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

48 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.93 -312.89 10000 -10000 !14ii, p.32
301.43 -288.72 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

49 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 1 !14i, p.31
301.43 -288.72 10000 -10000 !14ii, p.32

```

```
327.93 -312.89 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 10 10 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

50 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
327.93 -312.89 10000 -10000 !14ii, p.32
301.43 -288.72 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
10 10 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

51 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

52 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

53 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

54 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
```

```
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

55 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

56 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

57 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
266.98 -260.34 10000 -10000 !14ii, p.32
278.86 -271.67 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

58 FRAME
1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
15000000 6250000 0.2162 0.0106803 0.0043791 10 10 0.1582028 0 0 0 !14b, p.27
0.25 0.25 0 0 0 0 0 0 !14c, p.27
0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
0 -9.97 0 0 0 0 !14h, p.30
0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
278.86 -271.67 10000 -10000 !14ii, p.32
266.98 -260.34 10000 -10000 !14iii, p.32
1 7.5 0.8 !14p, p.45
0.25 0 1 1 !14q, p.45
0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45
```

59 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
 15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
 0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
 0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
 0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
 0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
 0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
 301.43 -288.72 10000 -10000 !14ii, p.32
 311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
 1 7.5 0.8 !14p, p.45
 0.25 0 1 1 !14q, p.45
 0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
 7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

60 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
 15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
 0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
 0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
 0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
 0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
 0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
 311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
 301.43 -288.72 10000 -10000 !14iii, p.32
 1 7.5 0.8 !14p, p.45
 0.25 0 1 1 !14q, p.45
 0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
 8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

61 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
 15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
 0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
 0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
 0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
 0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
 0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
 301.43 -288.72 10000 -10000 !14ii, p.32
 311.7 -296.95 10000 -10000 !14iii, p.32
 1 7.5 0.8 !14p, p.45
 0.25 0 1 1 !14q, p.45
 0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
 7.5 7.5 8.5 8.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

62 FRAME

1 0 0 2 4 1 1 0 0 !14a, p.25
 15000000 6250000 0.2824 0.0206616 0.0051487 10 10 0.243911 0 0 0 !14b, p.27
 0.25 0.25 0 0 0 0 0 !14c, p.27
 0.01 0.01 0.01 0.01 !14d, p.28
 0.05 0.05 0 0 !14e, p.28
 0 -17.69 0 0 0 0 !14h, p.30
 0 0 0 0 0 1 !14i, p.31
 311.7 -296.95 10000 -10000 !14ii, p.32
 301.43 -288.72 10000 -10000 !14iii, p.32
 1 7.5 0.8 !14p, p.45
 0.25 0 1 1 !14q, p.45
 0 0 0 0 0.05 0.05 !14r, p.45
 8.5 8.5 7.5 7.5 20.00 20.00 20.00 20.00 !14rr, p.45

63 SPRING

1 0 0 0 0 0 !15a, p.47
 324286.00 264706.00 264706.00 415000.00 257143.00 257143.00 0 0 0 !15b, p.48

WEIGHTS !30, p.130

14	1277.00	1277.00	0.00	0.00	0.00	23463.00
23	1277.00	1277.00	0.00	0.00	0.00	23463.00
32	1277.00	1277.00	0.00	0.00	0.00	23463.00
41	1277.00	1277.00	0.00	0.00	0.00	23463.00
50	869.00	869.00	0.00	0.00	0.00	15960.00

LOADS

1 0 0 0 0 0 0
50 0 0 0 0 0 0

EQUAKE EL40NSC.EQB !33a, p.133
0 1 0.01 1.00 -1 !33b, p.134

EQUAKE EL40EWC.EQB !33a, p.133
0 1 0.01 1.00 -1 !33b, p.134

Παράρτημα Γ: Ενδεικτικά Αποτελέσματα Ανάλυσης

```

RRRR U U A U U MM MM 000 K K 000
R R U U A A U U M M M M O O K K O O
RRRR U U A A U U M M M O O KKKK O O
R R U U AAAAA U U M M O O K K O O
R R UUU A A UUU M M 000 K K 000

```

Inelastic Time-History Analysis of Three-Dimensional Framed Structures
Athol J. Carr, University of Canterbury, NEW ZEALAND

COPYRIGHT (c) Athol J. Carr 1980-2008. All Rights Reserved.
Compilation Date : 26 JANUARY 2008

STRUCTURE

5 STOREY 2x2 BAYS RC FRAME INELASTIC DYNAMIC ANALYSIS

ANALYSIS OPTIONS

Analysis Model : In-Elastic Analysis
Time Variation : Time-history - Newmark (Beta = 0.25)
Mass Matrix : Diagonal Mass Model
Damping Matrix : Linear variation with frequency
Geometry Model : Small Displacement Analysis
Eigenvalues : Householder QR Algorithm used
Earthquake Excitation with 2 Time-acceleration Inputs

EXCITATION DIRECTION COSINES

Component	1	2	3
X	1.000	0.000	0.000
Y	0.000	1.000	0.000
Z	0.000	0.000	0.000

STRUCTURAL DATA

Number of Space Dimensions 3
Number of Equations per Node 6
Number of Nodes 54
No.Apparent Degrees of Freedom 324
Number of Members 105
Number of Member Sections 62
Number of Mode Shapes Required 9
Acceleration of Gravity 9.810
Pictures of Displaced Frame YES
% Critical Damping Mode 1 = 5.00
% Critical Damping Mode 9 = 5.00

TIME-HISTORY DATA

Integration Time-Step 0.01000 Seconds
Duration of Excitation 21.000 Seconds
Excitation Multiplier 1.000E+00
Print-file Output Interval 0 Time Steps
DYNAPLOT Output Interval 10 Time Steps
Stiffness Output Interval 0 Time Steps
ScreenPlot Output Interval 10 Time Steps
ScreenPlot Multiplier 10.000
Plot Max. X displacement 0.150
Plot Max. Y displacement 0.150
Plot Max. Z displacement 0.150
Max. Cycles of Newton-Raphson 0

Max. Cycles Damping Iteration 1
Iteration Force Limit Norm 1.000E-04

NATURAL FREQUENCIES

MODE	Frequency	Period	% Damping	Damped Freq
1	1.524E+00	6.563E-01	5.000E+00	1.522E+00
2	1.524E+00	6.563E-01	5.000E+00	1.522E+00
3	2.181E+00	4.586E-01	5.000E+00	2.178E+00
4	4.854E+00	2.060E-01	5.000E+00	4.848E+00
5	4.854E+00	2.060E-01	5.000E+00	4.848E+00
6	6.876E+00	1.454E-01	5.000E+00	6.867E+00
7	8.859E+00	1.129E-01	5.000E+00	8.847E+00
8	8.859E+00	1.129E-01	5.000E+00	8.847E+00
9	1.232E+01	8.117E-02	5.000E+00	1.230E+01
10	1.337E+01	7.479E-02	5.000E+00	1.335E+01
11	1.337E+01	7.479E-02	5.000E+00	1.335E+01
12	1.756E+01	5.693E-02	5.000E+00	1.754E+01
13	1.756E+01	5.693E-02	5.000E+00	1.754E+01
14	1.838E+01	5.442E-02	5.000E+00	1.835E+01
15	2.391E+01	4.182E-02	5.000E+00	2.388E+01

DAMAGE INDICES

=====

- N = Number of Inelastic Cycles
 1 = Curvature
 2 = Park & Ang
 3 = Bracci et al
 4 = Roufaiel & Meyer
 5 = Cosenza & Manfredi (Ductility)
 6 = Banon and Veneziano
 7 = Krawinkler and Zohrei
 8 = Dissipated Energy

Member	Action	N	1	2	3	4	5	6	7	8
1	End1-Z	4	1.346	1.364	1.218	1.836	1.360	1.338	7.774	3.95E+00
1	End2-Z	6	2.244	2.248	1.718	2.587	2.296	2.249	13.499	8.73E-01
1	End1-Y	3	1.406	1.424	1.329	1.705	1.423	1.399	9.595	3.99E+00
1	End2-Y	2	0.669	0.674	0.557	1.014	0.655	0.646	2.145	1.10E+00
2	End1-Z	3	2.463	2.466	1.822	2.683	2.524	2.471	13.265	7.24E-01
2	End2-Z	3	0.413	0.415	0.359	0.550	0.388	0.385	0.737	5.52E-01
2	End1-Y	1	0.786	0.786	0.729	0.763	0.777	0.761	1.227	5.84E-02
2	End2-Y	4	3.752	3.757	2.113	4.127	3.866	3.785	37.420	1.16E+00
3	End1-Z	0	0.040	0.040	0.090	0.005	0.000	0.010	0.000	4.10E-03
3	End2-Z	2	0.191	0.192	0.168	0.191	0.157	0.159	0.076	1.33E-01
3	End1-Y	2	4.387	4.395	3.725	3.032	4.528	4.433	16.742	1.71E+00
3	End2-Y	4	0.794	0.795	0.739	0.835	0.785	0.770	3.083	2.74E-01
6	End1-Z	5	1.459	1.479	1.307	1.747	1.478	1.453	13.528	3.35E+00
6	End2-Z	3	0.843	0.849	0.837	1.371	0.836	0.823	5.537	1.09E+00
6	End1-Y	2	1.885	1.909	1.697	2.012	1.922	1.887	9.675	3.93E+00
6	End2-Y	4	3.858	3.877	2.385	3.185	3.977	3.895	30.546	3.04E+00
7	End1-Z	3	0.345	0.346	0.488	0.473	0.317	0.315	0.799	3.00E-01
7	End2-Z	4	0.703	0.708	0.672	1.029	0.691	0.681	2.996	7.58E-01
7	End1-Y	5	3.686	3.702	2.394	3.118	3.798	3.720	29.471	2.82E+00
7	End2-Y	3	1.485	1.508	1.320	1.523	1.505	1.480	7.884	4.00E+00
8	End1-Z	1	0.086	0.086	0.537	0.189	0.048	0.056	0.101	6.32E-02
8	End2-Z	2	0.201	0.202	0.316	0.235	0.167	0.170	0.199	2.02E-01
8	End1-Y	1	1.073	1.081	0.670	1.354	1.076	1.058	3.140	1.36E+00
8	End2-Y	1	0.927	0.933	0.683	1.294	0.924	0.909	1.424	1.22E+00
9	End2-Z	0	0.048	0.048	0.004	0.010	0.008	0.017	0.000	9.80E-03
9	End1-Y	0	0.183	0.183	0.213	0.195	0.149	0.151	0.065	1.35E-01
9	End2-Y	0	0.150	0.150	0.173	0.150	0.114	0.118	0.044	1.30E-01
11	End1-Z	2	1.210	1.225	1.109	1.832	1.218	1.199	3.938	3.35E+00
11	End2-Z	4	0.465	0.468	0.290	0.783	0.443	0.439	2.324	7.64E-01

11	End1-Y	2	1.544	1.562	1.314	1.509	1.567	1.539	4.688	3.87E+00
11	End2-Y	7	3.307	3.310	2.934	2.531	3.403	3.331	20.638	7.49E-01
12	End1-Z	2	0.471	0.472	0.692	0.840	0.449	0.442	2.973	1.90E-01
12	End2-Z	3	0.412	0.414	0.274	0.360	0.387	0.384	0.452	4.91E-01
12	End1-Y	5	4.544	4.546	3.351	3.153	4.692	4.592	24.560	4.03E-01
12	End2-Y	5	0.682	0.689	0.828	1.930	0.668	0.661	6.206	1.62E+00
13	End2-Z	1	0.163	0.163	0.222	0.133	0.128	0.131	0.061	1.35E-01
13	End2-Y	1	0.403	0.405	0.430	0.467	0.379	0.374	0.524	2.73E-01
16	End1-Z	3	1.178	1.193	1.083	1.598	1.186	1.167	5.700	4.28E+00
16	End2-Z	3	1.720	1.732	1.051	1.945	1.750	1.717	3.639	3.48E+00
16	End1-Y	2	1.372	1.384	1.239	1.632	1.387	1.363	6.556	3.56E+00
16	End2-Y	2	0.703	0.707	0.804	1.130	0.690	0.680	3.264	1.29E+00
17	End1-Z	2	0.938	0.948	0.799	1.267	0.936	0.922	2.333	2.51E+00
17	End2-Z	4	0.948	0.957	0.818	1.049	0.946	0.931	3.237	2.40E+00
17	End1-Y	3	0.598	0.602	0.726	0.958	0.581	0.574	3.168	1.13E+00
17	End2-Y	4	3.604	3.605	2.231	3.004	3.713	3.634	25.347	3.15E-01
18	End1-Z	1	0.258	0.262	0.130	0.293	0.227	0.234	0.216	8.08E-01
18	End2-Z	2	0.587	0.591	0.430	0.733	0.570	0.563	0.798	9.48E-01
18	End1-Y	4	2.976	2.979	2.426	2.622	3.058	2.994	16.897	7.17E-01
18	End2-Y	6	0.550	0.552	0.565	0.731	0.531	0.523	3.120	4.52E-01
19	End2-Z	0	0.048	0.048	0.000	0.010	0.008	0.022	0.000	2.72E-02
19	End2-Y	1	0.101	0.101	0.408	0.146	0.063	0.066	0.034	4.22E-02
21	End1-Z	3	1.322	1.341	1.223	1.514	1.335	1.314	6.273	4.19E+00
21	End2-Z	4	1.401	1.416	1.044	1.580	1.417	1.393	9.616	3.40E+00
21	End1-Y	2	1.710	1.728	1.558	1.661	1.739	1.708	5.340	4.09E+00
21	End2-Y	4	3.185	3.198	2.501	2.728	3.276	3.208	18.295	2.83E+00
22	End1-Z	4	1.393	1.404	0.928	1.632	1.409	1.384	6.723	2.38E+00
22	End2-Z	4	1.294	1.304	0.872	1.541	1.306	1.283	2.999	2.14E+00
22	End1-Y	5	2.992	3.003	2.487	2.626	3.075	3.011	19.903	2.33E+00
22	End2-Y	4	1.204	1.220	1.125	1.463	1.213	1.194	10.472	3.53E+00
23	End1-Z	2	0.442	0.447	0.340	0.527	0.419	0.418	0.531	1.07E+00
23	End2-Z	2	0.565	0.569	0.474	0.651	0.547	0.541	1.213	8.20E-01
23	End1-Y	2	1.031	1.037	0.842	1.364	1.032	1.014	2.949	1.24E+00
23	End2-Y	1	0.817	0.822	0.760	1.175	0.809	0.797	1.357	1.16E+00
24	End1-Z	1	0.073	0.073	0.147	0.066	0.034	0.045	0.016	7.02E-02
24	End2-Z	1	0.142	0.144	0.230	0.151	0.107	0.115	0.068	2.48E-01
24	End1-Y	1	0.275	0.276	0.317	0.375	0.244	0.243	0.164	2.15E-01
24	End2-Y	1	0.258	0.260	0.340	0.361	0.227	0.228	0.171	2.85E-01
26	End1-Z	3	1.671	1.684	0.981	1.994	1.699	1.667	4.619	3.66E+00
26	End2-Z	3	1.180	1.191	0.959	1.276	1.188	1.168	2.917	3.06E+00
26	End1-Y	3	1.257	1.271	1.131	1.587	1.268	1.247	7.055	3.91E+00
26	End2-Y	5	2.376	2.380	1.619	3.419	2.434	2.383	35.627	9.55E-01
27	End1-Z	5	0.941	0.950	0.733	1.121	0.938	0.924	2.754	2.26E+00
27	End2-Z	5	0.778	0.785	0.814	0.981	0.768	0.758	3.390	1.99E+00
27	End1-Y	6	2.497	2.498	1.483	3.108	2.559	2.505	26.362	1.97E-01
27	End2-Y	5	1.142	1.148	0.852	1.342	1.148	1.127	4.403	1.48E+00
28	End1-Z	3	0.424	0.426	0.240	0.504	0.400	0.396	0.852	5.17E-01
28	End2-Z	3	0.841	0.845	0.684	1.537	0.834	0.820	2.105	1.02E+00
28	End1-Y	3	0.316	0.316	0.630	0.559	0.287	0.283	1.673	1.10E-01
28	End2-Y	2	0.596	0.598	0.560	0.844	0.579	0.570	1.501	5.66E-01
29	End2-Z	0	0.050	0.050	0.035	0.014	0.010	0.023	0.001	2.76E-02
29	End2-Y	0	0.136	0.136	0.438	0.216	0.100	0.102	0.062	5.62E-02
31	End1-Z	3	1.583	1.600	1.326	2.002	1.607	1.579	8.323	3.76E+00
31	End2-Z	2	0.639	0.646	0.587	0.894	0.623	0.618	1.665	1.63E+00
31	End1-Y	3	1.677	1.693	1.389	2.054	1.706	1.674	10.351	3.35E+00
31	End2-Y	5	0.985	0.989	0.716	1.567	0.984	0.966	9.725	9.04E-01
32	End1-Z	4	1.012	1.014	1.017	1.763	1.013	0.993	11.965	3.79E-01
32	End2-Z	1	0.482	0.485	0.272	0.709	0.461	0.455	0.649	5.39E-01
32	End1-Y	2	0.558	0.561	0.530	0.632	0.540	0.532	1.271	5.65E-01
32	End2-Y	3	4.530	4.532	4.388	2.685	4.677	4.578	16.433	3.51E-01
33	End2-Z	1	0.057	0.057	0.208	0.077	0.017	0.028	0.018	3.08E-02
33	End1-Y	1	4.623	4.634	5.075	2.581	4.774	4.674	19.210	2.27E+00
33	End2-Y	2	0.693	0.695	0.658	0.887	0.680	0.668	1.760	4.03E-01
36	End1-Z	4	1.550	1.570	1.277	2.188	1.573	1.546	7.597	3.30E+00

36	End2-Z	4	0.815	0.823	0.791	1.258	0.807	0.796	5.874	1.31E+00
36	End1-Y	2	1.722	1.747	1.528	2.113	1.752	1.722	6.267	4.13E+00
36	End2-Y	4	3.895	3.908	2.946	3.010	4.016	3.932	21.814	2.10E+00
37	End1-Z	3	0.758	0.761	0.807	0.961	0.748	0.735	3.518	3.78E-01
37	End2-Z	2	0.634	0.638	0.704	1.015	0.619	0.610	1.289	6.70E-01
37	End1-Y	4	4.819	4.832	3.244	3.334	4.979	4.874	22.039	2.12E+00
37	End2-Y	3	1.285	1.306	1.212	1.673	1.297	1.277	6.417	3.68E+00
38	End1-Z	0	0.111	0.111	0.596	0.254	0.074	0.077	0.102	4.50E-02
38	End2-Z	1	0.110	0.110	0.237	0.225	0.073	0.080	0.086	1.01E-01
38	End1-Y	1	0.930	0.938	0.697	0.934	0.927	0.913	0.978	1.45E+00
38	End2-Y	1	0.745	0.753	0.617	0.973	0.735	0.726	0.961	1.44E+00
39	End1-Y	0	0.044	0.044	0.000	0.000	0.005	0.015	0.000	1.02E-02
39	End2-Y	0	0.118	0.118	0.000	0.082	0.081	0.086	0.015	9.13E-02
41	End1-Z	2	1.856	1.870	1.281	1.569	1.892	1.855	3.743	3.00E+00
41	End2-Z	2	0.795	0.799	0.732	1.201	0.786	0.774	2.318	9.84E-01
41	End1-Y	2	1.415	1.433	1.309	1.765	1.432	1.408	5.355	4.01E+00
41	End2-Y	5	2.581	2.581	1.540	3.674	2.647	2.590	23.275	7.23E-02
42	End1-Z	0	0.383	0.384	0.490	0.508	0.357	0.352	0.304	2.41E-01
42	End2-Z	4	0.720	0.723	0.718	0.771	0.708	0.696	1.752	5.84E-01
42	End1-Y	3	3.154	3.155	1.796	3.013	3.244	3.175	12.882	1.91E-01
42	End2-Y	6	1.006	1.014	0.739	1.199	1.006	0.990	5.539	1.80E+00
43	End2-Z	1	0.127	0.128	0.103	0.107	0.091	0.095	0.073	8.52E-02
43	End1-Y	1	0.238	0.239	0.211	0.245	0.206	0.206	0.099	1.54E-01
43	End2-Y	1	0.465	0.467	0.490	0.538	0.442	0.437	0.882	3.99E-01
46	End1-Z	2	1.352	1.359	1.148	1.715	1.391	1.311	5.181	2.45E+00
46	End2-Z	4	9.214	9.216	5.358	7.848	10.309	9.484	107.210	5.44E-01
47	End1-Z	3	9.172	9.173	6.246	7.828	10.262	9.440	115.542	1.44E-01
47	End2-Z	6	6.167	6.172	4.416	5.747	6.741	6.303	46.559	1.50E+00
48	End1-Z	3	1.923	1.931	1.113	2.320	2.011	1.908	11.403	2.97E+00
48	End2-Z	2	7.251	7.253	6.507	6.080	7.986	7.431	47.234	6.47E-01
49	End1-Z	2	7.423	7.426	6.647	5.903	8.179	7.611	46.491	6.88E-01
49	End2-Z	4	5.624	5.628	3.630	5.144	6.064	5.733	39.157	1.67E+00
50	End1-Z	2	2.757	2.769	1.575	3.209	2.953	2.767	13.933	3.65E+00
50	End2-Z	2	10.145	10.148	8.612	7.001	11.365	10.456	81.568	5.73E-01
51	End1-Z	2	9.173	9.177	7.888	6.637	10.263	9.442	71.798	7.01E-01
51	End2-Z	3	4.532	4.541	3.065	4.680	4.925	4.607	25.410	2.63E+00
52	End1-Z	3	6.340	6.342	3.562	5.848	6.934	6.482	45.477	5.03E-01
52	End2-Z	1	1.495	1.496	0.814	1.910	1.561	1.439	2.723	2.17E-01
53	End1-Z	0	0.119	0.119	0.002	0.002	0.002	0.013	0.000	1.20E-03
53	End2-Z	2	0.479	0.480	0.492	0.505	0.421	0.403	0.928	3.58E-01
54	End1-Z	1	1.134	1.139	0.694	1.453	1.150	1.080	1.861	1.09E+00
55	End2-Z	3	1.003	1.008	0.540	1.287	1.004	0.945	5.120	9.52E-01
56	End1-Z	0	0.855	0.857	0.887	1.058	0.838	0.792	1.116	7.95E-01
56	End2-Z	0	0.119	0.119	0.002	0.002	0.002	0.023	0.000	5.23E-03
57	End1-Z	0	0.118	0.118	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	4.69E-03
57	End2-Z	0	0.330	0.331	0.308	0.298	0.255	0.249	0.148	2.06E-01
58	End1-Z	1	7.024	7.025	7.309	4.955	7.693	7.192	48.199	4.42E-01
58	End2-Z	1	2.546	2.546	2.141	2.453	2.752	2.532	8.223	3.51E-02
59	End1-Z	2	2.393	2.395	1.994	2.329	2.579	2.375	9.913	3.85E-01
59	End2-Z	1	0.267	0.268	0.105	0.206	0.185	0.188	0.112	2.52E-01
60	End1-Z	3	6.411	6.413	4.435	5.565	6.927	6.548	63.311	7.06E-01
60	End2-Z	2	2.093	2.094	1.876	2.612	2.239	2.062	11.441	2.31E-01
61	End1-Z	0	0.396	0.397	0.337	0.344	0.315	0.302	0.203	1.78E-01
61	End2-Z	0	0.208	0.209	0.152	0.150	0.133	0.137	0.053	1.48E-01
62	End1-Z	2	7.250	7.255	5.456	6.342	7.944	7.427	64.543	1.58E+00
62	End2-Z	1	2.830	2.831	2.430	2.685	3.074	2.829	9.840	1.55E-01
63	End1-Z	1	0.685	0.687	0.719	0.806	0.643	0.602	1.349	3.75E-01
63	End2-Z	1	1.730	1.735	0.862	2.152	1.811	1.699	6.818	1.77E+00
64	End2-Z	1	0.177	0.177	0.035	0.072	0.067	0.078	0.018	4.10E-02
65	End2-Z	0	0.101	0.101	0.001	0.001	0.001	0.013	0.000	2.42E-03
66	End1-Z	0	0.270	0.271	0.205	0.195	0.173	0.174	0.079	9.91E-02
67	End2-Z	1	0.309	0.311	0.152	0.240	0.217	0.223	0.126	2.49E-01

Weighted Damage Indices	Mean N	1	2	3	4	5	6	7	Total Eh
	3	1.710	1.716	1.386	1.700	1.781	1.707	10.572	1.96E+02

ANALYSIS STATISTICS

=====

Structural Data:

Number of Nodal Points 54
 Number NOMINAL Degrees of Freedom 324
 Number Static Degrees of Freedom 150
 Number Dynamic Degrees of Freedom (with mass) 15

Renumbering of Degrees of Freedom:

Original Stiffness Profile Length 4854
 Optimum Stiffness Profile Length 4532
 RMS Semi-Bandwidth of Stiffness matrix. 34.6

Memory Data REAL words (@ 4 Bytes/INTEGER):

Number of INTEGERS per REAL word. 2
 Static Stiffness Matrix Size 4515
 Damping Matrix Size 11325
 Mass Matrix Size 150
 Flexibility Matrix-Modal Analysis 11325
 Excitation Data (Accelerograms) 4202
 INTEGER Words of Memory Used 96562
 INTEGER Words of Memory Available 63000000

Scratch Disk Data:

Number of Disk Segments Used 2516
 Number of INTEGERS/(Disk Segment) 128

Newton-Raphson Iteration:

Number of Excitation Time-steps 2100
 Number of Excitation Points 2100
 Number of Different Stiffnesses 1943
 Number of steps with iteration 0
 Total number of N-R iterations 0

Non-Rayleigh Damping Matrix Iteration:

Number of damping iterations 2100
 No. steps with maximum iteration. 2100

Data to DYNAPLOT post-processor file:

File Name: DXTDE-A-ELCENTRO.RES
 Number of Nodal Points 54
 Number of Members. 105
 Time Step (Time units) 1.000E-01

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.