

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ (ΣΘΕΤ)****Διαχείριση Τεχνικών Έργων (ΔΧΤ)****ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Η χρήση λογισμικού ως εργαλείο Αποτίμησης και Ανασχεδιασμού κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Η Μεθόδος Ισοδύναμου Πλαισίου (Μ.Ι.Π) με την χρήση Ανελαστικής Στατικής Ανάλυσης και η μέθοδος προσομοίωσης με Πεπερασμένα επιφανειακά στοιχεία με χρήση ελαστικής Ανάλυσης στο λογισμικό SCADA PRO.

ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπων : ΜΠΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή/της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η 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/της 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/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος Εργασίας: «Η χρήση λογισμικού ως εργαλείο Αποτίμησης και Ανασχεδιασμού κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία.
Η Μεθόδος Ισοδύναμου Πλαισίου (Μ.Ι.Π) με την χρήση
Ανελαστικής Στατικής Ανάλυσης και η μέθοδος προσομοίωσης με
Πεπερασμένα επιφανειακά στοιχεία με χρήση ελαστικής Ανάλυσης
στο λογισμικό SCADA PRO.»

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ/ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ

Ονοματεπώνυμο μεταπτυχιακού φοιτητή ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Α.Μ. φοιτητή 131761 Διεύθυνση: ΘΟΥΚΥΔΙΔΟΥ 42, ΑΛΙΜΟΣ ΑΤΤΙΚΗΣ,

Τηλέφωνα: Οικίας 2109827642

Εργασίας 2106068654

Κινητό 6932850000

E-mail pupindo@gmail.com

Επιβλέπων: ΜΠΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Β' Αξιολογητής ΣΦΑΚΙΑΝΑΚΗΣ ΜΑΝΟΛΗΣ

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσοι συνέβαλαν, με οποιονδήποτε τρόπο, στην εκπόνησή της και με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον επιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. **Μπάκο Δημήτρη**, για την επιστημονική του καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές του, την αμέριστη υποστήριξη και την άριστη συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τους συναδέλφους μου από το Τμήμα Ανάπτυξης του **SCADA Pro**, κ. **Κωστοπαναγιώτη Χρήστο** και κ. **Κόπανο Μάρκο**, για τις πολύτιμες τεχνικές τους συμβουλές, την καθοδήγησή τους και τη διαρκή προθυμία τους να με υποστηρίξουν σε ζητήματα που αφορούσαν την ανάπτυξη και τη λειτουργία του λογισμικού.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την εταιρεία **ACE-HELLAS** για την υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας, καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να αξιοποιήσω τις γνώσεις και την επαγγελματική εμπειρία που απέκτησα μέσα από τη συνεργασία μας.

Σύνοψη

Ο Αντισεισμικός σχεδιασμός μέσω της αξιόπιστης αξιολόγησης της ασφάλειας κατασκευών από τοιχοποιία, πρώτα στην πραγματική κατάσταση και στη συνέχεια στην πιθανή κατάσταση μετά την επέμβαση, αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο για την αποτελεσματική μείωση του σεισμικού κινδύνου. Στην Ελλάδα μέχρι πριν λίγα χρόνια το γνωστικό πεδίο της εκπαίδευσης επικεντρωνόταν κυρίως σε έργα οπλισμένου σκυροδέματος και χάλυβα. Τα τελευταία χρόνια όμως δεδομένου του τεράστιου αριθμού υφισταμένων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, σε μια χώρα με μεγάλη σεισμική δραστηριότητα, γίνεται συστηματική προσπάθεια ενημέρωσης και επιμόρφωσης των μηχανικών για την κατανόηση του μηχανισμού της τοιχοποιίας, των κτισμάτων φέρουσας τοιχοποιίας και των μεθόδων αποτίμησης – επέμβασης/ενίσχυσης. Πλέον έχουν θεσμοθετηθεί τα πλαίσια αρχικά με τον Ευρωκώδικα 6 και πρόσφατα με τον Κανονισμό Αποτίμησης Δομητικών Επεμβάσεων Τοιχοποιίας.

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία παρουσιάζεται και αναλύεται η κατασκευή του αριθμητικού μοντέλου στο λογισμικό Scada Pro με την μετάφραση του φυσικού προβλήματος (κτηρίου από τοιχοποιία) μέσω της Μεθόδου του Ισοδύναμου πλαισίου και χρήση της ανελαστικής ανάλυσης αλλά και την προσομοίωση με Πεπερασμένα επιφανειακά στοιχεία με χρήση ελαστικής Ανάλυσης πρώτα στη μηχανική του ερμηνεία και στη συνέχεια στο μαθηματικό μοντέλο. Καταγράφεται η διαδικασία εφαρμογής της ανελαστικής και ελαστικής στατικής ανάλυσης στο πρόγραμμα ,ενώ αναλύονται οι στρατηγικές επεμβάσεων βελτίωσης της συμπεριφοράς του κτηρίου. Επιλέγεται συγκεκριμένο παράδειγμα σύγκρισης των 2 διαφορετικών αναλύσεων.

Στόχος της παρούσης είναι η κατανόηση του μηχανισμού ανάλυσης αποτίμησης και ανασχεδιασμού της φέρουσας τοιχοποιίας μέσα σε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα καθώς καταγράφεται η διαδικασία εφαρμογής διαφορετικών ειδών στατικής ανάλυσης στο πρόγραμμα ,ενώ αναλύονται οι στρατηγικές επεμβάσεων βελτίωσης της συμπεριφοράς του κτηρίου.

Χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας των πληροφοριών τα εξειδικευμένα λογισμικά υπολογισμού τα οποία αναπτύχθηκαν ειδικά για τοιχοποιίες δεν ανήκουν πλέον μόνο σε πολύ έμπειρους χρήστες. Η σχετική απλότητα της χρήσης λογισμικών προφανώς δεν μπορεί να αντικαταστήσει την απαραίτητη εις βάθος γνώση του αντικειμένου, όμως

μπορεί να δώσει τη λάθος ψευδαίσθηση ότι την καθιστά λιγότερο απαραίτητη επιτευχθεί ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα.

Αναλύεται ο μηχανισμός της προσομοίωσης ενός κτηρίου από φέρουσα τοιχοποιία μέσα από ένα λογισμικό και εφαρμόζεται ο κανονισμός (ΚΑΔΕΤ, EC-6) μέσω αυτού. Χρησιμοποιείται ένα case study με το Λογισμικό Ανάλυσης και Διαστασιολόγησης Κτηριακών Κατασκευών SCADA PRO. Αναλύεται ο φορέας ακολουθώντας διαφορετική προσέγγιση με την μέθοδο ισοδύναμου πλαισίου σε σχέση με στην προσομοίωση με την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία μέσω της αξιοποίησης του λογισμικού SCADA Pro, με έμφαση στην εφαρμογή του σύγχρονου κανονιστικού πλαισίου. Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι απαιτήσεις του ΚΑΔΕΤ, του Ευρωκώδικα 6 (EC6) και του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (EC8-3) ενσωματώνονται στο υπολογιστικό περιβάλλον του λογισμικού και μετατρέπονται σε μία ολοκληρωμένη διαδικασία μοντελοποίησης, ανάλυσης, ελέγχου και αξιολόγησης της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων κατασκευών. Σκοπός της εργασίας δεν είναι η συγκριτική αξιολόγηση διαφορετικών μεθόδων ανάλυσης, αλλά η ανάδειξη του SCADA Pro ως εργαλείου που υποστηρίζει τον μηχανικό στην ορθή εφαρμογή των κανονισμών και στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων κατά την αποτίμηση και τον σχεδιασμό επεμβάσεων. Η εφαρμογή πραγματοποιείται σε πραγματικό διώροφο κτίριο φέρουσας τοιχοποιίας του 1930,Γ για την αποτίμηση του κτιρίου αναπτύσσονται δύο διαφορετικά αριθμητικά προσομοιώματα στο ίδιο υπολογιστικό περιβάλλον. Το πρώτο βασίζεται στη Μέθοδο των Πεπερασμένων Επιφανειακών Στοιχείων (Finite Element Method – FEM), όπου οι τοιχοποιίες προσομοιώνονται με επιφανειακά στοιχεία (shell elements) και πραγματοποιούνται ελαστικές αναλύσεις για την εκτίμηση της κατανομής των τάσεων, των μετακινήσεων και των εντατικών μεγεθών. Το δεύτερο βασίζεται στη Μέθοδο Ισοδύναμου Πλαισίου (Equivalent Frame Method – EFM), κατά την οποία οι τοιχοποιίες διαχωρίζονται σε πεσσούς, υπέρθυρα και άκαμπτες ζώνες, επιτρέποντας την εκτέλεση ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover) και την αξιολόγηση της επιτελεστικότητας σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΔΕΤ και του EC8-3. Παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία δημιουργίας των υπολογιστικών μοντέλων, η επιλογή των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών, ο καθορισμός της στάθμης γνώσης και των συντελεστών αξιοπιστίας, η εφαρμογή των φορτίσεων, η εκτέλεση των προβλεπόμενων αναλύσεων και η αξιολόγηση της δομικής επάρκειας τόσο για εντός όσο και για εκτός επιπέδου μηχανισμούς αστοχίας. Παράλληλα, εξετάζονται κατάλληλες τεχνικές ενίσχυσης της κατασκευής, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η αξιοπιστία της αποτίμησης δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις δυνατότητες του λογισμικού, αλλά κυρίως από την ορθή επιλογή του κατάλληλου αριθμητικού προσομοιώματος, την ποιότητα των δεδομένων εισόδου

και τη σωστή εφαρμογή των διατάξεων του ΚΑΔΕΤ και των Ευρωκωδίκων. Το SCADA Pro λειτουργεί ως ολοκληρωμένο εργαλείο που γεφυρώνει τη θεωρία της μηχανικής με την πρακτική εφαρμογή των κανονισμών, υποστηρίζοντας τον μηχανικό στη δημιουργία αξιόπιστων υπολογιστικών μοντέλων, στην τεκμηριωμένη αξιολόγηση της επιτελεσματικότητας και στον σχεδιασμό κατάλληλων επεμβάσεων ενίσχυσης για υφιστάμενες κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία.

Λέξεις-κλειδιά: Μέθοδος Επιφανειακών Πεπερασμένων Στοιχείων· Μέθοδος Ισοδύναμου Πλαισίου· SCADA Pro· Ανελαστική Ανάλυση· Ελαστική Ανάλυση.

Abstract

This diploma thesis investigates the assessment and strengthening design of existing load-bearing masonry structures through the use of the SCADA Pro Masonry software, with particular emphasis on the implementation of the current structural assessment framework. The study examines how the provisions of the Greek Code for the Assessment and Retrofitting of Existing Masonry Structures (KADET), Eurocode 6 (EC6), and Eurocode 8 – Part 3 (EC8-3) are integrated into the software environment and translated into a comprehensive procedure for structural modelling, analysis, verification, and evaluation of the load-bearing capacity of existing masonry buildings. Rather than comparing different analytical approaches, the primary objective is to demonstrate the role of SCADA Pro as a computational tool that enables engineers to apply code provisions consistently and reliably, supporting informed engineering decisions during structural assessment and retrofit design.

The methodology is applied to a real two-storey load-bearing masonry building dating from the 1930s. Two independent numerical models of the same structure are developed within the SCADA Pro environment. The first model is based on the Finite Element Method (FEM), in which the masonry walls are represented by shell elements and subjected to linear elastic analyses for the evaluation of stress distribution, displacements, and internal force resultants. The second model employs the Equivalent Frame Method (EFM), where the masonry walls are idealized into piers, spandrels, and rigid zones, allowing the execution of nonlinear static (pushover) analysis and the assessment of structural performance in accordance with the provisions of KADET and EC8-3.

The thesis presents the complete modelling procedure, including the definition of material mechanical properties, the selection of the appropriate Knowledge Level and confidence factors, the application of design actions, the execution of the required structural analyses, and the evaluation of both in-plane and out-of-plane failure mechanisms. Furthermore, suitable strengthening techniques are examined in accordance with the requirements of the applicable design standards.

The results demonstrate that the reliability of structural assessment depends not only on the capabilities of the computational software but primarily on the appropriate selection

of the numerical modelling approach, the quality of the input data, and the correct implementation of the provisions of KADET and the Eurocodes. SCADA Pro is shown to provide an integrated computational environment that bridges structural engineering theory with practical code implementation, enabling engineers to develop reliable numerical models, perform consistent structural performance assessments, and design technically justified strengthening interventions for existing load-bearing masonry structures.

Keywords: Surface Finite Element Method; Equivalent Frame Method; SCADA Pro; Nonlinear Analysis; Elastic Analysis.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Σύνοψη	4
Περίληψη.....	6
Abstract	8
Κατάλογος Διαγραμμάτων Ροής / εικόνων /Πινάκων	12
1.ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΣΚΟΠΟΣ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	16
1.1 Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας.....	16
1.2 Ο ρόλος του υπολογιστικού λογισμικού στη σύγχρονη μηχανική πρακτική.....	16
1.3 Θεωρητική και κανονιστική θεμελίωση της εργασίας	18
1.4 Μεθοδολογική προσέγγιση και φιλοσοφία της ανάλυσης.....	19
1.5 Επιστημονική συνεισφορά και χρησιμότητα της εργασίας	19
2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ.....	20
2.1 Γενικά χαρακτηριστικά των κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία.....	20
2.2 Υλικά και δομική σύσταση της τοιχοποιίας.....	21
2.2.1 Λιθοσώματα	22
2.2.2 Κονιάματα Δόμησης.....	24
Ασβεστοκονιάματα.....	24
Υδραυλικά κονιάματα	25
Τσιμεντοκονιάματα	25
2.3 Μηχανική συμπεριφορά.....	25
3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ	30
3.1 Έννοια και στόχοι της αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών	30
3.2.Μέθοδοι προσομοίωσης	32
3.2.1Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων.....	33
3.2.1 Μέθοδος Ισοδύναμου Πλαισίου.....	37
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SCADA PRO.....	43
4.1 Γενική Περιγραφή.....	43
4.2 Δομή και Επιμέρους Ενότητες Λογισμικού.....	44
4.3 Κανονιστικό Πλαίσιο	45
4.4 Διαδικασία ανάλυσης στο Scada Pro.....	47
4.5 Ελαστική (Ισοδύναμη) Στατική Ανάλυση σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ.....	51
4.6 Ιδιομορφική Ανάλυση Φάσματος Απόκρισης (Ελαστική Δυναμική Ανάλυση) σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ.....	54

4.7 Η Ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover) με τη χρήση προσομοιώματος ΜΠΠ (γραμμικά στοιχεία).....	57
5 .ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΤΟ SCADA PRO.....	60
5.1 Μοντέλο προς εξέταση	61
5.1.1 Υλικά Κατασκευής.....	64
5.1.2 Παραδοχές.....	69
5.2 Εισαγωγή των δεδομένων τοιχοποιίας στην βιβλιοθήκη του λογισμικού	70
5.3 Δημιουργία φορέα με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method – FEM)	76
5.4 Ελαστική Στατική ανάλυση του μοντέλου με F.E.M.	86
5.5. Ιδιομορφική Ανάλυση Φάσματος Απόκρισης (Ελαστική Δυναμική Ανάλυση) του φορέα με F.E.M.....	90
5.6 Δημιουργία φορέα με την μέθοδο του Ισοδύναμου Πλαισίου.....	95
5.7 Ανελαστική Στατική ανάλυση του μοντέλου με Μ.Ι.Π.....	104
6 ΈΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ	117
6.1.Εντός επιπέδου κάμψη και διάτμηση για Στάθμη Επιτελεστικότητας B- Προσομοίωση με F.E.M.....	120
6.2 Έλεγχοι για εκτός επιπέδου κάμψη και διάτμηση για Στάθμη Επιτελεστικότητας B -Προσομοίωση με F.E.M.....	134
6.3 Έλεγχοι Μ.Ι.Π.....	147
6.3.2 Αντοχή έναντι αστοχίας από διαγώνια ρηγμάτωση.....	147
6.3.3 Αντοχή υπό διατμητική αστοχία ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών.....	148
6.3.4 Αντοχή υπό κάμψη κατά μήκος των οριζόντιων αρμών	150
7. ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ.....	152
7.1Βαθύ αρμολόγημα.....	152
7.2 Εφαρμογή Ενεμάτων (Ομογενοποίηση)	155
7.2.1 για δίστρωτες και μονόστρωτες	156
7.2.3 Για τρίστρωτες.....	158
7.3 Οπλισμένο Επίχρισμα.....	159
7.4 ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος	162
7.5 Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM)	163
7.6 Μεταλλικές ράβδοι.....	164
8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	180

8.1 Σύγκριση μεθόδου Ισοδύναμου πλαισίου με την μέθοδο επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων	180
8.2 Σύγκριση ελαστικής στατικής ανάλυσης με την ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover Analysis),.....	184
Αναφορές	187
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	190

Κατάλογος Διαγραμμάτων Ροής / εικόνων /Πινάκων

Διάγραμμα Ροής 4-0-1 Διαδικασία ανάλυσης στο λογισμικό Scada pro
Διάγραμμα Ροής 4-0-2 Διαδικασία αποτίμησης με την Μ.Ι.Π
Διάγραμμα Ροής 4-0-3 Διαδικασία Αποτίμησης με Πεπερασμένα Επιφανειακά Στοιχεία
Διάγραμμα Ροής 5-0-1 Από το πραγματικό κτίριο στο F.E.M.
Διάγραμμα Ροής 5-0-2 Διακριτοποίηση στο Scada Pro
Διάγραμμα Ροής 6-0-1 Εντός επιπέδου

Εικόνα 3-0-1 Υπολογιστικό πρότυπο ισοδύναμου πλαισίου (Σπυράκος, 2019)
Εικόνα 3-0-2 Καθορισμός ενεργών υψών (Σπυράκος, 2019)
Εικόνα 3-0-3 Ακαμπτες ζώνες
Εικόνα 5-0-1 Ανατολική όψη
Εικόνα 5-0-2 Νότια Όψη
Εικόνα 5-0-3 Δυτική όψη
Εικόνα 5-0-4 Κάτοψη 1 ^ο Ορόφου
Εικόνα 5-0-5 Κάτοψη Ισογείου
Εικόνα 5-0-6 Διαχείριση ιδιοτήτων τοιχοποιίας
Εικόνα 5-0-7 Βιβλιοθήκη λιθοσωμάτων στο Scada Pro
Εικόνα 5-0-8 Βιβλιοθήκη κονιαμάτων στο Scada Pro
Εικόνα 5-0-9 Μέση Θλιπτική Αντοχή
Εικόνα 5-0-10 Γεωμετρικό μοντέλο
Εικόνα 5-0-11 Εσωτερική και εξωτερική παρειά στο Scada Pro
Εικόνα 5-0-12 Ομάδες Πλεγμάτων
Εικόνα 5-0-13 Υπολογισμός Ομάδων Πλεγμάτων
Εικόνα 5-0-14 Χωρικό προσομοίωμα φορέα/μαθηματικό μοντέλο
Εικόνα 5-0-15 Μαθηματικό Μοντέλο
Εικόνα 5-0-16 Μαθηματικό μοντέλο
Εικόνα 5-0-17 Μοντέλο F.E.M.
Εικόνα 5-0-18 Εισαγωγή παραμέτρων ανάλυσης
Εικόνα 5-0-19 Παράμετροι στατικής ελαστικής ανάλυσης
Εικόνα 5-0-20 1 ^η ιδιομορφή κατά X
Εικόνα 5-0-21 14 ^η Ιδιομορφή κατά Z
Εικόνα 5-0-22 Προσομοίωση τοιχοποιίας στο λογισμικό με την Μέθοδο Ισοδύναμου πλαισίου
Εικόνα 5-0-23 Τοιχοποιία EAST PRIMO προσομοιώματος Μ.Ι.Π.

- Εικόνα 5-0-24 Τοιχοποιία EAST ZERO προσομοιώματος Μ.Ι.Π
Εικόνα 5-0-25 Τοιχοποιία NORTH ZERO προσομοιώματος Μ.Ι.Π
Εικόνα 5-0-26 Τοιχοποιία NORTH PRIMO προσομοιώματος Μ.Ι.Π.
Εικόνα 5-0-27 Τοιχοποιία WEST ZERO προσομοιώματος Μ.Ι.Π.
Εικόνα 5-0-28 Τοιχοποιία WEST PRIMO προσομοιώματος Μ.Ι.Π
Εικόνα 5-0-29 Τοιχοποιία SOUTH ZERO προσομοιώματος Μ.Ι.Π.
Εικόνα 5-0-30 Τοιχοποιία SOUTH PRIMO προσομοιώματος Μ.Ι.Π.
Εικόνα 5-0-31 Χρυσική φωτορεαλιστική απεικόνιση με Μ.Ι.Π
Εικόνα 5-0-32 Χωρικό μαθηματικό προσομοίωμα Μ.Ι.Π
Εικόνα 5-0-33 Παράμετροι ανελαστικής στατικής ανάλυσης
Εικόνα 5-0-34 Παράμετροι
Εικόνα 5-0-35 Καμπύλη Ικανότητας κατασκευής
Εικόνα 5-0-36 Διγραμμική καμπύλη Ικανότητας προσομοιώματος
Εικόνα 5-0-37 Στοχευμένη Μετακίνηση προσομοιώματος
Εικόνα 5-0-38 καμπύλη ανελαστικής (Εγχειρίδιο SCADA PRO)
Εικόνα 5-0-39 λόγος λάμδα
Εικόνα 5-0-40 αστοχίες για Σταθμη Επετελεστικότητα Β Βημα 28 $F_x + 0,3 \cdot F_z$ –
Τριγωνική
Εικόνα 5-0-41 Έλεγχοι ανελαστικής
Εικόνα 6-0-1 Τρόποι αστοχίας στοιχείου τοιχοποιίας (α, β, γ) Αστοχία εντός επιπέδου,
(δ) Αστοχία εκτός επιπέδου
Εικόνα 6-0-2 Κάμψη Εντός Επιπέδου Εφελισμός
Εικόνα 6-0-3 Εκτός Επιπέδου Κάμψη κάθετα στον οριζόντιο αρμό
Εικόνα 6-0-4 Εκτός Επιπέδου Κάμψη παράλληλα στον οριζόντιο αρμό
Εικόνα 6-0-5 Διάγραμμα ελέγχου κάμψης εκτός επιπέδου
Εικόνα 6-0-1 Ενίσχυση τοιχοποιίας με βαθύ αρμολόγημα
Εικόνα 6-0-2 Ενίσχυση τοιχοποιίας με ενέματα μάζας
Εικόνα 6-0-3 Ενίσχυση τοιχοποιίας με οπλισμένο επίχρισμα
Εικόνα 7-0-4 Εφελκισμός με ενίσχυση με μεταλλικές ράβδους
Εικόνα 0-5 Κάμψη εκτός επιπέδου παράλληλα στον οριζόντιο αρμό
Εικόνα 0-6 Κάμψη εντός επιπέδου με ενίσχυση
- Πίνακας 2-0-1 Τυπικές Ιδιότητες Λιθοσωμάτων (ΚΑΔΕΤ, 2022)
Πίνακας 2-0-2 Τυπικές ιδιότητες κονιαμάτων (ΚΑΔΕΤ, 2022)
Πίνακας 2-0-3 Ενδεικτικές τιμές θλιπτικής αντοχής κατά ΚΑΔΕΤ (ΚΑΔΕΤ, 2022)
Πίνακας 4-0-1 Αλληλουχία εφαρμογής των κανονισμών
Πίνακας 5-0-1 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες της εξεταζόμενης λιθοδομής
Πίνακας 5-0-2 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες της εξεταζόμενης οπτοπλινθοδομής
Πίνακας 5-0-3 Επίπεδο γνώσης κατά EC 8 (EC8, 2005)
Πίνακας 5-0-4 Στάθμη ποιοτικού ελέγχου γ_M κατά EC6 (EC6, 2006)
Πίνακας 5-0-5 Βαθμός Ελευθερίας shell element
Πίνακας 5-0-6 Τιμές του λόγου q^*/q του Πίνακα 4.1 του ΚΑΔΕΤ
Πίνακας 5-0-7 Τιμές δείκτη συμπεριφοράς q' για στάθμη επιτελεστικότητας Β του Πίνακα 4.3 ΚΑΔΕΤ
Πίνακας 5-0-8 Δεδομένα και αποτελέσματα σεισμικής δράσης (Ελαστική Στατική) χωρικού μοντέλου με F.E.M

*Πίνακας 5-0-9 Δεδομένα και αποτελέσματα σεισμικής δράσης(Ελαστική Δυναμική)
χωρικού μοντέλου με F.E.M*

Πίνακας 5-0-10 Ιδιομορφές προσομοιώματος

Πίνακας 5-0-11 Έλεγχος επάρκειας διατομών σε όρους παραμορφώσεων

Πίνακας 6-0-1 Στάθμες Επιτελεστικότητας

Πίνακας 6-0-2 Συγκριτικός πίνακας των ελέγχων

Πίνακας 6-0-3 Κριτήρια χαρακτηρισμού Πεσσών και Υπέρυθρων

*Πίνακας 6-0-4 Υπολογισμός του θλιβόμενου μήκους D' για τη σχέση 7.3a του
κανονισμού*

Πίνακας 6-0-5 Χαρακτηρισμός Πεσσών και έλεγχοι επάρκειας τοίχου EAST ZERO

Πίνακας 6-0-6 Χαρακτηρισμός Υπέρυθρων και έλεγχοι επάρκειας τοίχου EAST ZERO

Πίνακας 6-0-7 Χαρακτηρισμός Πεσσών και έλεγχοι επάρκειας τοίχου EAST PRIMO

Πίνακας 6-0-8 Χαρακτηρισμός Υπέρυθρων και έλεγχοι επάρκειας τοίχου EAST PRIMO

Πίνακας 6-0-9 Χαρακτηρισμός Πεσσών και έλεγχοι επάρκειας τοίχου SOUTH PRIMO

*Πίνακας 6-0-10 Χαρακτηρισμός Υπέρυθρων και έλεγχοι επάρκειας τοίχου SOUTH
PRIMO*

*Πίνακας 6-0-0-11 κριτήρια ορισμού οριακής στροφής σύμφωνα με το σχ. Σ7.9 ΤΟΥ
ΚΑΔΕΤ(ΚΑΔΕΤ, 2022)*

*Πίνακας 6-0-12 Έλεγχοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΠΕΣΣΟΙ
Τοίχος EAST ZERO*

*Πίνακας 6-0-13 Έλεγχοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΥΠΕΡΥΘΡΑ
Τοίχος EAST ZERO*

*Πίνακας 6-0-14 Έλεγχοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΠΕΣΣΟΙ
Τοίχος EAST PRIMO*

*Πίνακας 6-0-15 Έλεγχοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΥΠΕΡΥΘΡΑ
Τοίχος EAST PRIMO*

*Πίνακας 6-0-16 Έλεγχοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΠΕΣΣΟΙ
Τοίχος SOUTH PRIMO*

*Πίνακας 6-0-17 Έλεγχοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΥΠΕΡΥΘΡΑ
Τοίχος SOUTH PRIMO*

*Πίνακας 0-1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενίσχυσης με μανδύα οπλισμένου
σκυροδέματος*

*Πίνακας 7-0-2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενίσχυσης με Ινοπλέγματα
Ανόργανης Μήτρας (IAM) τεχνική τεκμηρίωση του SCADA Pro*

*Πίνακας 7-0-3 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Κάμψη εκτός επιπέδου //
στον οριζόντιο αρμό*

*Πίνακας 7-0-4 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Κάμψη Εκτός Επιπέδου
κάθετα στον οριζόντιο αρμό*

Πίνακας 7-0-5 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Πίνακας 7-0-6 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Εντός Επιπέδου

Πίνακας 7-0-7 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους – Για Εφελκυσμό

*Πίνακας 7-0-8 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους- Κάμψη εκτός επιπέδου //
στον οριζόντιο αρμό*

Πίνακας 7-0-9 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους – Για Εφελκυσμό

*Πίνακας 7-0-10 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Κάμψη εκτός επιπέδου //
στον οριζόντιο αρμό*

*Πίνακας 7-0-11 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Κάμψη Εκτός Επιπέδου
κάθετα στον οριζόντιο αρμό*

Πίνακας 7-0-12 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους - Για Διάτμηση

Πίνακας 7-0-13 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους – Κάμψη εντός επιπέδου

Πίνακας 7-0-14 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Για Εφελκυσμό

Πίνακας 8-0-1 Κριτήρια προσέγγισης

Πίνακας 8-0-2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Πίνακας 8-0-3 Διαφορές αναλύσεων

1. ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΣΚΟΠΟΣ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

1.1 Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η μελέτη της χρήσης εξειδικευμένου υπολογιστικού λογισμικού ως βασικού εργαλείου για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Η εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι σύγχρονες υπολογιστικές μέθοδοι ενσωματώνονται σε εμπορικό λογισμικό και πώς αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν από τον μελετητή μηχανικό για την εξαγωγή αξιόπιστων και επιστημονικά τεκμηριωμένων συμπερασμάτων.

Η φέρουσα τοιχοποιία παρουσιάζει ιδιαιτερότητες ως προς τη μηχανική της συμπεριφορά, οι οποίες καθιστούν την αναλυτική της προσομοίωση ιδιαίτερα απαιτητική. Παράλληλα, η ανάγκη αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών καθιστά αναγκαία τη χρήση εργαλείων που επιτρέπουν την εφαρμογή κανονιστικών διατάξεων και θεωρητικών προσεγγίσεων με τρόπο πρακτικό και επαναλήψιμο.

1.2 Ο ρόλος του υπολογιστικού λογισμικού στη σύγχρονη μηχανική πρακτική

Η αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών συνιστά μία ιδιαίτερα σύνθετη και απαιτητική διαδικασία της σύγχρονης δομοστατικής μηχανικής, καθώς προϋποθέτει την εις βάθος κατανόηση της πραγματικής μηχανικής συμπεριφοράς ενός φορέα υπό συνδυασμένες δράσεις, με κυρίαρχη τη σεισμική καταπόνηση. Σε αντίθεση με τον σχεδιασμό νέων κατασκευών, όπου οι παράμετροι είναι σε μεγάλο βαθμό ελεγχόμενες, η αποτίμηση βασίζεται σε αβεβαιότητες που σχετίζονται με τα υλικά, τη γεωμετρία, την κατασκευαστική ποιότητα και την ιστορία φόρτισης του φορέα.

Στο πλαίσιο αυτό, η αξιοποίηση εξειδικευμένων υπολογιστικών εργαλείων, όπως το SCADA Pro, αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της σύγχρονης μελετητικής πρακτικής, επιτρέποντας την ανάπτυξη προηγμένων αριθμητικών προσομοιωμάτων που προσεγγίζουν με αυξημένη αξιοπιστία τη συμπεριφορά των κατασκευών.

Ο ρόλος του υπολογιστικού λογισμικού είναι πολυδιάστατος καθώς επιτρέπει τη δημιουργία αξιόπιστων υπολογιστικών προτύπων που προσεγγίζουν τη συμπεριφορά

της κατασκευής με μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Υπερβαίνει την απλή εκτέλεση αριθμητικών υπολογισμών, ενσωματώνοντας θεωρητικά προσομοιώματα, κανονιστικές απαιτήσεις και διαδικασίες ελέγχου επιτελεσματικότητας.

Μέσω της ενσωμάτωσης σύγχρονων κανονιστικών πλαισίων, όπως ο Eurocode 8 (CEN, 2004)), καθίσταται δυνατή η εφαρμογή μεθόδων αποτίμησης βασισμένων στην επιτελεσματικότητα (performance-based assessment), οι οποίες επιτρέπουν την αξιολόγηση της σεισμικής ικανότητας ενός φορέα σε διαφορετικά επίπεδα βλάβης. Τα λογισμικά αυτά παρέχουν τη δυνατότητα εκτέλεσης τόσο γραμμικών όσο και μη γραμμικών αναλύσεων, με ιδιαίτερη έμφαση στις τελευταίες (στατική ανελαστική ανάλυση (pushover) και η δυναμική ανελαστική ανάλυση χρονοϊστορίας), οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες για την αξιόπιστη προσομοίωση της πραγματικής συμπεριφοράς των κατασκευών υπό ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις στην αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών, καθώς επιτρέπουν τη συνεκτίμηση της ανάπτυξης βλαβών, της ρηγμάτωσης και της πλαστικής παραμόρφωσης των δομικών στοιχείων. Μέσω αυτών, καθίσταται δυνατή η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας, της παραμορφωσιμότητας και των μηχανισμών αστοχίας του φορέα, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για τη δομική του επάρκεια.

Παράλληλα, τα υπολογιστικά εργαλεία επιτρέπουν τη διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων ενίσχυσης και επεμβάσεων, όπως η προσθήκη τοιχωμάτων, η ενίσχυση κόμβων ή η χρήση σύνθετων υλικών, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων στον ανασχεδιασμό ενός φορέα.

Στην περίπτωση των κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, η χρήση εξειδικευμένων εργαλείων καθίσταται ακόμη πιο κρίσιμη καθώς η μηχανική συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από έντονη ανομοιογένεια, ανισοτροπία και μη γραμμικότητα ενώ παρουσιάζει περιορισμένη εφελκυστική αντοχή και ευαισθησία στη ρηγμάτωση. Μέσω κατάλληλων προσομοιωμάτων, το λογισμικό υλοποιήσει σύνθετα θεωρητικά σχήματα μέσω απλουστευμένων αλλά αποδεκτών προσεγγίσεων και επιτρέπει την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας και της σεισμικής απόκρισης με αυξημένο βαθμό αξιοπιστίας, υπό την προϋπόθεση ότι οι παραδοχές μοντελοποίησης είναι ορθές και τεκμηριωμένες.

Συνολικά, η ενσωμάτωση του υπολογιστικού λογισμικού στη διαδικασία αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών έχει επιφέρει σημαντική πρόοδο ως προς την ακρίβεια, την αποδοτικότητα και το εύρος των δυνατοτήτων ανάλυσης, καθώς βελτιώνει την ακρίβεια των υπολογισμών, μειώνει τον χρόνο εκτέλεσης των αναλύσεων και ενισχύει την ικανότητα του μηχανικού να αξιολογεί εναλλακτικές λύσεις. Στη σύγχρονη μηχανική πρακτική, το υπολογιστικό λογισμικό δεν αποτελεί απλώς ένα μέσο εκτέλεσης αριθμητικών υπολογισμών, αλλά ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον εντός του οποίου συνδυάζονται θεωρητικά μοντέλα, κανονιστικές απαιτήσεις και μηχανική κρίση.

Βέβαια παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν, τα υπολογιστικά εργαλεία δεν υποκαθιστούν τη μηχανική κρίση. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων εισόδου, την ορθότητα της γεωμετρικής και μηχανικής προσομοίωσης, καθώς και την κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων ανάλυσης. Ο μηχανικός καλείται να αξιολογήσει κριτικά τις παραδοχές του μοντέλου, να ελέγξει τη συμβατότητα των αποτελεσμάτων με τη φυσική συμπεριφορά της κατασκευής και να εντοπίσει πιθανές ασυνέπειες ή αριθμητικές αστάθειες. Ωστόσο, η αποτελεσματική αξιοποίησή του προϋποθέτει υψηλό επίπεδο τεχνικής κατάρτισης και βαθιά κατανόηση των θεωρητικών αρχών που διέπουν τη συμπεριφορά των κατασκευών, επιβεβαιώνοντας ότι το λογισμικό αποτελεί εργαλείο υποστήριξης της μηχανικής κρίσης και όχι υποκατάστατό της (CEN, 2004). Η άκριτη αποδοχή των αποτελεσμάτων μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα και, κατ' επέκταση, σε μη ασφαλείς ή μη οικονομικές επεμβάσεις.

1.3 Θεωρητική και κανονιστική θεμελίωση της εργασίας

Η παρούσα εργασία βασίζεται σε καθιερωμένες θεωρητικές προσεγγίσεις για την ανάλυση και αποτίμηση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, όπως αυτές περιγράφονται στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε συγγράμματα που αποτελούν βασικά σημεία αναφοράς για τη μηχανική της τοιχοποιίας και τη σεισμική ανάλυση, καθώς και στα ισχύοντα κανονιστικά πλαίσια που διέπουν την αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών.

Οι θεωρητικές σχέσεις, οι μηχανισμοί αστοχίας και οι υπολογιστικές παραδοχές που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια αξιοποιούνται όχι ως αυτοσκοπός, αλλά ως αναγκαίο υπόβαθρο για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι αντίστοιχες μέθοδοι

υλοποιούνται στο λογισμικό. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η σύνδεση της θεωρίας με την πρακτική εφαρμογή, στοιχείο κρίσιμο για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

1.4 Μεθοδολογική προσέγγιση και φιλοσοφία της ανάλυσης

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα πτυχιακή εργασία βασίζεται σε μια διαδοχική και συγκριτική προσέγγιση. Αρχικά παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο των εξεταζόμενων μεθόδων ανάλυσης, με έμφαση στις βασικές παραδοχές και στους περιορισμούς τους. Στη συνέχεια, οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται μέσω του λογισμικού SCADA Pro σε συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, με αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας μοντελοποίησης.

Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στη διαδικασία ερμηνείας των αποτελεσμάτων, καθώς στόχος της εργασίας δεν είναι απλώς η παραγωγή αριθμητικών μεγεθών, αλλά η κατανόηση της σημασίας τους για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από διαφορετικές προσεγγίσεις επιτρέπει την ανάδειξη των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών κάθε μεθόδου, καθώς και τον προσδιορισμό του πεδίου εφαρμογής τους.

1.5 Επιστημονική συνεισφορά και χρησιμότητα της εργασίας

Η επιστημονική συνεισφορά της παρούσας πτυχιακής εργασίας έγκειται στην ολοκληρωμένη παρουσίαση της χρήσης ενός σύγχρονου υπολογιστικού εργαλείου για την αποτίμηση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, με τρόπο που συνδυάζει θεωρητική τεκμηρίωση και πρακτική εφαρμογή. Η εργασία φιλοδοξεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο οδηγό για τον μελετητή μηχανικό, αναδεικνύοντας τη σημασία της σωστής χρήσης του λογισμικού και της κριτικής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του. Αναδεικνύεται το μονοπάτι από τον Κανονισμό (ΚΑΔΕΤ, Eurocodes) στην εφαρμογή μέσω ενός σύγχρονου λογισμικού στατικής ανάλυσης.

Παράλληλα, τα συμπεράσματα που προκύπτουν μπορούν να συμβάλουν στη βαθύτερη κατανόηση των δυνατοτήτων και των περιορισμών των επιμέρους μεθόδων ανάλυσης, καθώς και στη διαμόρφωση τεκμηριωμένων επιλογών κατά τη διαδικασία αποτίμησης και ανασχεδιασμού υφιστάμενων κατασκευών.

2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά των κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία

Οι κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία αποτελούν ένα από τα αρχαιότερα και σημαντικότερα δομικά συστήματα στην ιστορία της αρχιτεκτονικής και της πολιτικής μηχανικής (Heyman, 1995). Από τους πρώτους κιόλας πολιτισμούς, η τοιχοποιία χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή κατοικιών, μνημειακών έργων, θρησκευτικών κτιρίων, υποδομών και αμυντικών κατασκευών, χάρη στη διαθεσιμότητα των υλικών, την απλότητα των κατασκευαστικών τεχνικών και τη σημαντική ανθεκτικότητά της στον χρόνο (Lourenço P. , Computations on Historic Masonry Structures. , 2002).

Η δομική αρχή των κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία βασίζεται στην ύπαρξη συνεχών κατακόρυφων τοίχων, οι οποίοι επιτελούν ταυτόχρονα τόσο φέρουσα όσο και χωριστική λειτουργία. Σε αντίθεση με τις πλαισιωτές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα, όπου τα φορτία μεταφέρονται μέσω δοκών και υποστυλωμάτων, στη φέρουσα τοιχοποιία η μεταφορά των φορτίων πραγματοποιείται απευθείας μέσω των τοίχων έως τα θεμέλια (Tomaževič, 1999).

Για πολλούς αιώνες, η τοιχοποιία αποτέλεσε το κυρίαρχο δομικό σύστημα στην οικοδομική δραστηριότητα. Μεγάλο μέρος των ιστορικών κέντρων της Ευρώπης και της Μεσογείου αποτελείται από κτίρια κατασκευασμένα από τοιχοποιία, τα οποία υλοποιήθηκαν με διαφορετικές τεχνικές ανάλογα με την ιστορική περίοδο, τη διαθεσιμότητα των τοπικών υλικών και το επίπεδο των κατασκευαστικών γνώσεων κάθε εποχής (Bruneau, 1994).

Με την εμφάνιση του οπλισμένου σκυροδέματος κατά τον 20ό αιώνα, οι πλαισιωτές κατασκευές αντικατέστησαν σταδιακά τη φέρουσα τοιχοποιία στην κατασκευή πολυώροφων κτιρίων. Παρ' όλα αυτά, η τοιχοποιία εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή κτιρίων μικρού και μεσαίου ύψους, χάρη στις θερμομονωτικές και ηχομονωτικές της ιδιότητες, την πυραντοχή, τη φιλικότητα προς το περιβάλλον και τις σύγχρονες αντισεισμικές κατασκευαστικές τεχνικές (EC6, 2006).

Το ενδιαφέρον για τη φέρουσα τοιχοποιία δεν περιορίζεται μόνο στις νέες κατασκευές, αλλά επεκτείνεται και στο εκτεταμένο υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα. Ειδικότερα, τα ιστορικά κτίρια από τοιχοποιία αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο της αρχιτεκτονικής

κληρονομιάς της Ιταλίας και της Ευρώπης, γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη μελέτη της δομικής τους συμπεριφοράς, της σεισμικής τους τρωτότητας και των τεχνικών ενίσχυσης και αποκατάστασης.

Με εκτεταμένη εφαρμογή σε κτίρια κατοικίας, δημόσια κτίρια και μνημειακές κατασκευές και σε αντίθεση με τα σύγχρονα πλαίσια συστήματα από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα, στη φέρουσα τοιχοποιία τα κατακόρυφα και οριζόντια φορτία παραλαμβάνονται κυρίως από συνεχείς τοιχοπλάκες, οι οποίες λειτουργούν τόσο ως κατακόρυφα όσο και ως οριζόντια φέροντα στοιχεία.

Η ιστορική της εξέλιξη αποκαλύπτει μεγάλη ποικιλία μορφών και τεχνικών, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν βάσει ορισμένων βασικών κριτηρίων. Συγκεκριμένα, η διαφοροποίηση προκύπτει από:

- (i) τη φύση και την προέλευση των υλικών που χρησιμοποιούνται, όπως οι λίθοι και τα κονιάματα,
- (ii) τον βαθμό επεξεργασίας των λίθων, είτε πρόκειται για ακατέργαστους είτε για λαξευμένους ή μηχανικά επεξεργασμένους, και
- (iii) τον τρόπο δόμησης, που περιλαμβάνει τη διάταξη, τον αριθμό των στρώσεων και τη μέθοδο σύνδεσης των επιμέρους στοιχείων

Η τοιχοποιία αποτελεί ένα σύνθετο δομικό σύστημα που συγκροτείται κυρίως από λιθοσώματα, τα οποία μπορεί να είναι φυσικά ή τεχνητά, και από το κονίαμα που εξασφαλίζει τη μεταξύ τους σύνδεση.

Παράλληλα, αξίζει να αναφερθεί και η τοιχοποιία «εν ξηρώ», δηλαδή η κατασκευή χωρίς τη χρήση συνδετικού υλικού, αποκλειστικά με λίθους. Αν και σήμερα εφαρμόζεται κυρίως σε απλές κατασκευές, κατά την αρχαιότητα αποτελούσε βασική μέθοδο δόμησης, χρησιμοποιούμενη τόσο σε σημαντικά έργα, όπως ναοί και οχυρωματικά τείχη, όσο και σε καθημερινές κατασκευές.

2.2 Υλικά και δομική σύσταση της τοιχοποιίας

Η μηχανική απόκριση της τοιχοποιίας επηρεάζεται από την ποιότητα των λιθοσωμάτων, τη σύσταση και την αντοχή του κονιάματος, τη διάταξη των αρμών, καθώς και από την τεχνική δόμησης που εφαρμόστηκε κατά την κατασκευή ((EC6, 2006), (ΚΑΔΕΤ, 2022)). Τονίζεται όμως πως η συμπεριφορά της δεν εξαρτάται

αποκλειστικά από τις ιδιότητες των επιμέρους συστατικών της, αλλά κυρίως από τον τρόπο αλληλεπίδρασής τους και τη γεωμετρική τους διάταξη μέσα στο δομικό σύνολο.

Αποτελείται κατά κανόνα από τέσσερα βασικά συστατικά στοιχεία:

- τα λιθοσώματα (φυσικοί ή τεχνητοί λίθοι),
- το κονίαμα σύνδεσης,
- τους αρμούς,
- τα ενδεχόμενα στοιχεία ενίσχυσης ή σύνδεσης.

Η συνεργασία των παραπάνω στοιχείων καθορίζει τη φέρουσα ικανότητα, τη δυσκαμψία, την πλαστιμότητα και τη συνολική σεισμική συμπεριφορά του δομήματος.

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ (ΚΑΔΕΤ, 2022) και τον Ευρωκώδικα 6 (EC6, 2006) ως τοιχοποιία ορίζεται το δομικό σύνολο που προκύπτει από την τοποθέτηση φυσικών ή τεχνητών λιθοσωμάτων σε κανονικές στρώσεις και τη σύνδεσή τους με κατάλληλο κονίαμα. Η φέρουσα ικανότητα του δομικού στοιχείου προκύπτει από τη συνεργασία όλων των συστατικών μερών και όχι από τις ιδιότητες ενός μόνο υλικού.

Η συμπεριφορά της τοιχοποιίας επηρεάζεται από:

- τον τύπο και την ποιότητα των λιθοσωμάτων,
- τη σύνθεση και την αντοχή του κονιάματος,
- τη γεωμετρία και το πάχος των αρμών,
- την ποιότητα κατασκευής,
- τον βαθμό γήρανσης των υλικών,
- την παρουσία υγρασίας,
- τη γεωμετρία του φορέα,
- τις συνθήκες φόρτισης.

2.2.1 Λιθοσώματα

Τα λιθοσώματα αποτελούν το βασικό δομικό συστατικό της τοιχοποιίας και αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των θλιπτικών τάσεων που αναπτύσσονται στον φορέα. Ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε φυσικούς και τεχνητούς λίθους.

Φυσικοί λίθοι

Οι φυσικοί λίθοι προέρχονται από λατομικές εξορύξεις και χρησιμοποιούνται είτε σε αργολιθοδομές είτε σε λαξευτές λιθοδομές. Στην ελληνική παραδοσιακή δόμηση συναντώνται κυρίως:

- ασβεστόλιθοι,
- ψαμμίτες,
- σχιστόλιθοι,
- γρανίτες,
- ηφαιστειακά πετρώματα.

Η αντοχή τους εξαρτάται από τη γεωλογική τους προέλευση, τον βαθμό αποσάθρωσης, την πορώδη δομή τους και την ύπαρξη ασυνεχειών ή ρωγμών. Οι θλιπτικές αντοχές των φυσικών λίθων παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση, κυμαινόμενες από 20 MPa έως και άνω των 150 MPa (Magenes & Calvi, 1997).

Οι παραδοσιακές λιθοδομές χαρακτηρίζονται από σημαντική ανομοιογένεια λόγω της διαφορετικής μορφής, διάστασης και ποιότητας των λίθων, γεγονός που δημιουργεί αβεβαιότητες κατά την αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών.

Οι φυσικοί λίθοι προέρχονται από λατομεία και χρησιμοποιούνται είτε ακατέργαστοι είτε λαξευμένοι.

Τεχνητά λιθοσώματα

Παράγονται βιομηχανικά με ελεγχόμενες διαδικασίες και παρουσιάζουν σαφώς μικρότερη διασπορά ιδιοτήτων.

Περιλαμβάνουν:

- συμπαγείς οπτόπλινθους,
- διάτρητους οπτόπλινθους,
- τσιμεντόλιθους,
- λιθοσώματα πυριτικής ασβέστου,
- στοιχεία κυψελωτού σκυροδέματος.

Τύπος λιθοσώματος Θλιπτική αντοχή (MPa) Μέτρο ελαστικότητας (GPa)

Αργολιθοδομή	10–50	5–20
Λαξευτή λιθοδομή	30–120	15–50
Συμπαγείς οπτόπλινθοι	15–40	8–20
Διάτρητοι οπτόπλινθοι	5–25	3–12
Τσιμεντόλιθοι	5–20	4–10
Κυψελωτό σκυρόδεμα	2–8	1–4

Πίνακας 2-0-1 Τυπικές Ιδιότητες Λιθοσωμάτων (ΚΑΔΕΤ, 2022)

2.2.2 Κονιάματα Δόμησης

Το κονίαμα αποτελεί το υλικό σύνδεσης των λιθοσωμάτων.

Οι βασικές λειτουργίες του είναι:

1. Η σύνδεση των λιθοσωμάτων.
2. Η εξομάλυνση γεωμετρικών ατελειών.
3. Η μεταφορά των τάσεων.
4. Η στεγανότητα του τοίχου.
5. Η διασφάλιση ομοιόμορφης κατανομής φορτίων.

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ, στις ιστορικές κατασκευές απαντώνται κυρίως:

Ασβεστοκονιάματα

Παρασκευάζονται από:

- ασβέστη,
- άμμο,
- νερό.

Χαρακτηρίζονται από:

- χαμηλή αντοχή,
- μεγάλη παραμορφωσιμότητα,
- καλή συμβατότητα με ιστορικές τοιχοποιίες.

Υδραυλικά κονιάματα

Περιέχουν:

- φυσική ποζολάνη,
- θηραϊκή γη,
- κεραμάλευρο.

Παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα στην υγρασία.

Τσιμεντοκονιάματα

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε νεότερες κατασκευές.

Χαρακτηρίζονται από:

- υψηλή θλιπτική αντοχή,
- αυξημένη δυσκαμψία,
- μικρότερη συμβατότητα με παλαιές λιθοδομές.
- *Τύπος κονιάματος Θλιπτική αντοχή (MPa)*

<i>Τύπος κονιάματος</i>	<i>Θλιπτική αντοχή (MPa)</i>
<i>Ασβεστοκονίαμα</i>	1–3
<i>Ισχυρό ασβεστοκονίαμα</i>	3–5
<i>Υδραυλικό κονίαμα</i>	5–10
<i>Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα</i>	5–15
<i>Τσιμεντοκονίαμα</i>	10–20

Πίνακας 2-0-2 Τυπικές ιδιότητες κονιαμάτων (ΚΑΔΕΤ, 2022)

2.3 Μηχανική συμπεριφορά

Οι κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία χαρακτηρίζονται από σημαντικό βαθμό πολυπλοκότητας και αβεβαιότητας ως προς τη μηχανική τους συμπεριφορά, κυρίως

λόγω της μακροχρόνιας εξέλιξης και των επεμβάσεων που έχουν υποστεί κατά τη διάρκεια ζωής τους. Πολλά κτίρια από τοιχοποιία έχουν δεχθεί διαδοχικές φάσεις συντήρησης, επισκευών, ενισχύσεων, αλλαγών χρήσης και επεκτάσεων, γεγονός που διαφοροποιεί ουσιαστικά την αρχική τους δομική μορφή και επηρεάζει τη συνολική φέρουσα ικανότητά τους (Lourenço P. , Computations on Historic Masonry Structures., 2002)). Η πολυπλοκότητα αυτή καθιστά ιδιαίτερα απαιτητική τη διαδικασία αποτίμησης και προσομοίωσης της συμπεριφοράς τους, ειδικά υπό σεισμικές δράσεις.

Η φέρουσα τοιχοποιία αποτελεί ένα σύνθετο και έντονα ετερογενές δομικό υλικό, το οποίο προκύπτει από τη συνεργασία λιθοσωμάτων και συνδετικού κονιάματος. Τα επιμέρους αυτά υλικά παρουσιάζουν διαφορετικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, οι οποίες μεταβάλλονται ανάλογα με την ιστορική περίοδο κατασκευής, τις τοπικές τεχνικές δόμησης, την ποιότητα των πρώτων υλών και το επίπεδο τεχνογνωσίας κάθε εποχής (Tomaženič, 1999).Ως αποτέλεσμα, η μηχανική συμπεριφορά της τοιχοποιίας δεν μπορεί να θεωρηθεί ομοιογενής ούτε εύκολα προβλέψιμη, καθώς επηρεάζεται από πλήθος αλληλεπιδρώντων παραμέτρων.

Ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας, η οποία εξαρτάται άμεσα τόσο από τα χαρακτηριστικά των λιθοσωμάτων όσο και από τις ιδιότητες του κονιάματος και την ποιότητα της συνεργασίας (EC6, 2006). Η αντοχή αυτή επηρεάζεται από το είδος των μονάδων δόμησης, τη γεωμετρία και τις διαστάσεις τους, το ποσοστό διάτρησης, την απορροφητικότητα, καθώς και από τη σύνθεση, την αντοχή και τη συμβατότητα του κονιάματος (Drysedale, 1994). Παράλληλα, ιδιαίτερα καθοριστικό ρόλο διαδραματίζουν το πάχος και η ποιότητα των αρμών, η σωστή αρμολόγηση, η διαπλοκή των τοιχοσωμάτων και η κατασκευαστική επιμέλεια κατά την τοποθέτηση.

Η συμπεριφορά της τοιχοποιίας επηρεάζεται επίσης από τη μορφή και τη γεωμετρία του τοίχου, τον τύπο της τοιχοδομής, τη διεύθυνση φόρτισης και τις συνθήκες στήριξης. Η παρουσία ανοιγμάτων, εγκοπών, ασυνεχειών, συγκεντρωμένων φορτίων ή τοπικών απομειώσεων της διατομής δημιουργεί περιοχές αυξημένων τάσεων και πιθανές θέσεις έναρξης βλαβών ή ρηγματώσεων (Magenes G. , 2006).

Επιπλέον, η ανομοιογένεια της κατασκευής, που παρατηρείται συχνά σε παραδοσιακές ή ιστορικές τοιχοποιίες, οδηγεί σε μη γραμμική και συχνά μη συμμετρική απόκριση του φορέα υπό σεισμική ή στατική φόρτιση.

Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη φέρουσα ικανότητα της τοιχοποιίας είναι και η ποιότητα κατασκευής. Ανεπαρκής αναλογία μίγματος κονιάματος, κακή συμπύκνωση, ελλιπής πλήρωση αρμών, ακατάλληλη απορρόφηση υγρασίας από τα λιθοσώματα, αποκλίσεις από την κατακόρυφο, καθώς και η κατασκευή υπό δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες, μπορούν να μειώσουν σημαντικά την αντοχή και τη δυσκαμψία της κατασκευής. Παράλληλα, η γήρανση των υλικών, η υγρασία, η διάβρωση και οι επαναλαμβανόμενες σεισμικές καταπονήσεις επιδεινώνουν περαιτέρω τη μηχανική συμπεριφορά των ιστορικών τοιχοποιιών.

Η κατανόηση των παραπάνω παραμέτρων είναι καθοριστικής σημασίας για την ορθή αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία και για την επιλογή κατάλληλων τεχνικών ενίσχυσης και αποκατάστασης. Για τον λόγο αυτό, οι σύγχρονες προσεγγίσεις βασίζονται σε συνδυασμό επιτόπιων ερευνών, εργαστηριακών δοκιμών, ιστορικής τεκμηρίωσης και προηγμένων αριθμητικών αναλύσεων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των σύγχρονων κανονισμών και των διεθνών προτύπων αποτίμησης (EC8, 2005), (ΚΑΔΕΤ, 2022)

Κατά τον ΚΑΔΕΤ, τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας δεν πρέπει να θεωρούνται σταθερές τιμές, αλλά παράμετροι που επηρεάζονται από την ποιότητα κατασκευής, τον βαθμό φθοράς, τις επεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί και το επίπεδο γνώσης του φορέα. Για τον λόγο αυτό, κατά την αποτίμηση υφιστάμενων κτιρίων εφαρμόζονται κατάλληλοι συντελεστές αξιοπιστίας και λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με τα υλικά και τη δομική διάταξη του κτιρίου. Η αξιόπιστη εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών αποτελεί καθοριστικό βήμα για την ορθή προσομοίωση του φορέα με μεθόδους όπως η Μέθοδος Ισοδύναμου Πλαισίου (ΜΠΠ) και η ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία (FEM).

Η γνώση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ορθή αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων κτιρίων. Οι παράμετροι αυτές χρησιμοποιούνται τόσο στις ελαστικές όσο και στις ανελαστικές

αναλύσεις, επηρεάζοντας άμεσα την εκτίμηση της δυσκαμψίας, της αντοχής και της σεισμικής απόκρισης του φορέα.

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ, η αξιολόγηση των μηχανικών χαρακτηριστικών μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω εργαστηριακών και επιτόπιων δοκιμών είτε μέσω εμπειρικών τιμών που προτείνονται από τη βιβλιογραφία και τους ισχύοντες κανονισμούς όταν δεν υπάρχουν επαρκή πειραματικά δεδομένα. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών, ιδιαίτερα ιστορικών ή παραδοσιακών κτιρίων, η άμεση μέτρηση των ιδιοτήτων δεν είναι εφικτή, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη χρήση συντηρητικών παραδοχών και συντελεστών αξιοπιστίας.

Η μηχανική απόκριση της φέρουσας τοιχοποιίας περιγράφεται μέσω ενός συνόλου παραμέτρων που εκφράζουν τόσο την αντοχή όσο και την παραμορφωσιμότητά της. Στις σημαντικότερες από αυτές περιλαμβάνονται η θλιπτική, η εφελκυστική και η διατμητική αντοχή, καθώς και τα ελαστικά χαρακτηριστικά του υλικού, όπως το μέτρο ελαστικότητας, ο λόγος Poisson και το μέτρο διάτμησης. Παράλληλα, καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η ανισότροπη φύση της τοιχοποιίας, καθώς οι μηχανικές της ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με τη διεύθυνση φόρτισης. Από τις παραπάνω ιδιότητες, η μεγαλύτερη και πλέον αξιόπιστη είναι συνήθως η αντοχή σε θλίψη, η οποία αποτελεί το κύριο πλεονέκτημα των κατασκευών από τοιχοποιία. Αντίθετα, η συμπεριφορά σε εφελκυσμό και διάτμηση είναι αισθητά ασθενέστερη, γεγονός που συνδέεται άμεσα με τη δομή και τη διάταξη των αρμών. Οι αρμοί αποτελούν τις περιοχές όπου αναπτύσσονται συχνότερα φαινόμενα αστοχίας, καθώς η ποιότητα και η κατάσταση του κονιάματος επηρεάζουν καθοριστικά τη συνολική ανθεκτικότητα του δομικού συστήματος.

Θλιπτική Αντοχή της Τοιχοποιίας

Η θλιπτική αντοχή αποτελεί τη σημαντικότερη μηχανική ιδιότητα της φέρουσας τοιχοποιίας, δεδομένου ότι οι τοίχοι αναλαμβάνουν κυρίως κατακόρυφα φορτία μέσω ανάπτυξης θλιπτικών τάσεων. Η αντοχή αυτή εκφράζει τη μέγιστη τάση που μπορεί να αναπτυχθεί πριν την αστοχία του υλικού και εξαρτάται από:

- την αντοχή των λιθοσωμάτων,

- την ποιότητα του κονιάματος,
- τη γεωμετρία των αρμών,
- τη διάταξη της τοιχοποιίας,
- το ποσοστό κενών,
- την ποιότητα δόμησης.

Η συμπεριφορά της τοιχοποιίας σε θλίψη δεν είναι γραμμική μέχρι την αστοχία. Αρχικά παρατηρείται σχεδόν γραμμική ελαστική συμπεριφορά, ενώ στη συνέχεια αναπτύσσονται μικρορηγματώσεις στους αρμούς και στα λιθοσώματα, οδηγώντας σταδιακά σε μείωση της δυσκαμψίας και τελικά σε θραύση.

Η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας συμβολίζεται με:

$$f_m$$

και προσδιορίζεται μέσω πειραματικών δοκιμών ή εμπειρικών σχέσεων.

Στις παλαιές λιθοδομές οι τιμές της θλιπτικής αντοχής παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση λόγω της ανομοιογένειας των υλικών. Για παράδειγμα, σε αργολιθοδομές με ασβεστοκονίαμα οι τιμές μπορεί να κυμαίνονται από 1 έως 2 MPa, ενώ σε καλοδομημένες λαξευτές λιθοδομές ενδέχεται να υπερβαίνουν τα 5 MPa.

Είδος τοιχοποιίας	f_m (MPa)
Αργολιθοδομή με ασβεστοκονίαμα	1.0 – 2.5
Λιθοδομή καλής ποιότητας	2.0 – 5.0
Πλινθοδομή συμπαγών οπτόπλινθων	3.0 – 8.0
Οπλισμένη τοιχοποιία	5.0 – 12.0

Πίνακας 2-0-3 Ενδεικτικές τιμές θλιπτικής αντοχής κατά ΚΑΔΕΤ (ΚΑΔΕΤ, 2022)

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

3.1 Έννοια και στόχοι της αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών

Η αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών αποτελεί μία εξειδικευμένη διαδικασία της δομοστατικής μηχανικής, η οποία αποσκοπεί στη διερεύνηση και αξιολόγηση της πραγματικής κατάστασης ενός δομικού φορέα, καθώς και της ικανότητάς του να ανταποκρίνεται με ασφάλεια στις προβλεπόμενες δράσεις και φορτίσεις. Η διαδικασία αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε παλαιές κατασκευές, οι οποίες έχουν κατασκευαστεί με παλαιότερους κανονισμούς ή χωρίς αντισεισμικές προβλέψεις, καθώς και σε ιστορικά κτίρια ή κατασκευές που έχουν υποστεί φθορές, βλάβες ή μεταγενέστερες (EC6, 2006).

Σε γενικό επίπεδο, η αποτίμηση στοχεύει στον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας, της δυσκαμψίας, της ανθεκτικότητας και της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής υπό τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας της. Μέσω της διαδικασίας αυτής επιδιώκεται η αναγνώριση πιθανών αδυναμιών, ανεπαρκειών ή μηχανισμών αστοχίας που μπορούν να επηρεάσουν τη δομική ασφάλεια του φορέα (ΚΑΔΕΤ, 2022)).

Η αποτίμηση δεν περιορίζεται μόνο στην ανάλυση των στατικών και σεισμικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, αλλά περιλαμβάνει και τη συνολική διερεύνηση της κατασκευής. Στο πλαίσιο αυτό εξετάζονται

- η γεωμετρία και η μορφολογία του φορέα,
- τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών,
- η ποιότητα κατασκευής,
- η κατάσταση διατήρησης των δομικών στοιχείων,
- η ύπαρξη βλαβών ή φθορών,
- οι προηγούμενες επεμβάσεις ή αλλαγές χρήσης,
- καθώς και το ιστορικό σεισμικών ή άλλων καταπονήσεων.

Ιδιαίτερα στις κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία, η διαδικασία αποτίμησης παρουσιάζει αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω της ετερογένειας των υλικών και της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει τη μηχανική συμπεριφορά της τοιχοποιίας. Για τον λόγο αυτό απαιτείται συνδυασμός επιτόπιων ερευνών, μη καταστροφικών ελέγχων, εργαστηριακών δοκιμών και υπολογιστικών αναλύσεων, ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστη εκτίμηση της πραγματικής κατάστασης του φορέα (Lourenço P. , Computations on Historic Masonry Structures. , 2002).

Βασικός στόχος της αποτίμησης είναι η διασφάλιση της δομικής ασφάλειας και της προστασίας της ανθρώπινης ζωής. Η αξιολόγηση της σεισμικής επάρκειας επιτρέπει τον εντοπισμό κρίσιμων περιοχών ή ευάλωτων μηχανισμών που ενδέχεται να οδηγήσουν σε τοπική ή γενικευμένη αστοχία κατά τη διάρκεια σεισμικής δράσης. Παράλληλα, η διαδικασία συμβάλλει στον καθορισμό της αναγκαιότητας και του είδους των απαιτούμενων επεμβάσεων ενίσχυσης ή αποκατάστασης.

Ένας ακόμη σημαντικός στόχος είναι η παράταση του χρόνου ζωής της κατασκευής μέσω της έγκαιρης διάγνωσης προβλημάτων και της εφαρμογής κατάλληλων τεχνικών επεμβάσεων. Η αποτίμηση επιτρέπει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με

- τη διατήρηση ή μη του φορέα,
- την αλλαγή χρήσης του κτιρίου,
- την ενίσχυση επιμέρους στοιχείων,
- ή ακόμη και την ανάγκη εκτεταμένης αποκατάστασης.

Στις ιστορικές και διατηρητέες κατασκευές, η αποτίμηση αποκτά επιπλέον πολιτιστική και κοινωνική διάσταση, καθώς συνδέεται άμεσα με τη διατήρηση της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι επεμβάσεις πρέπει να σχεδιάζονται με τρόπο που να εξασφαλίζει τόσο τη δομική ασφάλεια όσο και τη διατήρηση της αυθεντικότητας και των ιστορικών χαρακτηριστικών του μνημείου (ICOMOS, 2003).

Η σύγχρονη φιλοσοφία αποτίμησης βασίζεται στην αρχή ότι κάθε υφιστάμενη κατασκευή αποτελεί μοναδική περίπτωση και πρέπει να αντιμετωπίζεται με εξατομικευμένη προσέγγιση. Η αξιολόγηση δεν στηρίζεται αποκλειστικά σε θεωρητικούς υπολογισμούς, αλλά σε συνδυασμό τεχνικής εμπειρίας, πειραματικών δεδομένων και αναλυτικών μεθόδων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των σύγχρονων κανονισμών αποτίμησης και επεμβάσεων.

3.2.Μέθοδοι προσομοίωσης

Η προσομοίωση ενός δομικού φορέα αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αξιόπιστη στατική και σεισμική ανάλυσή του, καθώς μέσω αυτής επιδιώκεται η όσο το δυνατόν ακριβέστερη αναπαράσταση της πραγματικής συμπεριφοράς της κατασκευής (Lagomarsino, 2013). Η επιλογή του κατάλληλου προσομοιώματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο βαθμός ακρίβειας που απαιτείται στα αποτελέσματα, η γεωμετρία και η μορφολογία του φορέα, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών, οι συνθήκες φόρτισης, καθώς και το είδος της εφαρμοζόμενης ανάλυσης (γραμμική ή μη γραμμική, στατική ή δυναμική). Στην παρούσα διπλωματική ένας φορέας από φέρουσα τοιχοποιίας προσομοιώνεται μέσω 2 κατηγοριών.

- μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method – FEM)
- η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου (Equivalent Frame Method – EFM ή ΜΠΠ)

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method – FEM θεωρείται η ακριβέστερη προσέγγιση για την ανάλυση κατασκευών τοιχοποιίας, καθώς επιτρέπει την αναλυτική προσομοίωση της κατανομής τάσεων και παραμορφώσεων σε ολόκληρο το δομικό σύστημα (Lourenço P. B., Computational strategies for masonry structures, 1996). Μέσω επιφανειακών ή χωρικών πεπερασμένων στοιχείων είναι δυνατή η αποτύπωση σύνθετων φαινομένων, όπως η συγκέντρωση τάσεων γύρω από ανοίγματα, η αλληλεπίδραση μεταξύ τοίχων και διαφραγμάτων, καθώς και οι τοπικοί μηχανισμοί αστοχίας. Η μέθοδος παρουσιάζει υψηλή υπολογιστική αξιοπιστία, απαιτεί όμως αυξημένο χρόνο μοντελοποίησης, σημαντική υπολογιστική ισχύ και εξειδικευμένη γνώση για την ορθή ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Roca, 2010). Από την άλλη με την μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου (Equivalent Frame Method – EFM ή ΜΠΠ η τοιχοποιία προσομοιώνεται μέσω γραμμικών στοιχείων, όπου οι πεσσοί αναπαρίστανται ως κατακόρυφα μέλη και τα υπέρθυρα ως οριζόντια μέλη, τα οποία συνδέονται με άκαμπτες ζώνες ή κόμβους (ΚΑΔΕΤ, 2022). Παρότι η μέθοδος εμφανίζει περιορισμούς ως προς τη γεωμετρική ακρίβεια και την αναπαράσταση τοπικών φαινομένων, χρησιμοποιείται εκτεταμένα στην επαγγελματική πρακτική λόγω της απλότητας εφαρμογής, της ταχύτητας υπολογισμού και της ευκολίας αξιολόγησης των αποτελεσμάτων (Magenes G. &, 1997). Η ΜΠΠ είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε μη γραμμικές στατικές αναλύσεις (pushover), όπου απαιτείται η παρακολούθηση της εξέλιξης των βλαβών και της δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου προσομοίωσης αποτελεί κρίσιμο στάδιο της διαδικασίας αποτίμησης, καθώς επηρεάζει άμεσα τόσο την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων όσο και τη δυνατότητα αναπαράστασης της πραγματικής σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής. Για τον λόγο αυτό, η επιλογή της μεθόδου πρέπει να γίνεται με βάση τη μορφολογία του φορέα, τον επιδιωκόμενο βαθμό ακρίβειας, τη διαθεσιμότητα δεδομένων και τον σκοπό της ανάλυσης.

3.2.1 Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method – FEM) αποτελεί σήμερα τη σημαντικότερη και πλέον διαδεδομένη αριθμητική μέθοδο ανάλυσης τεχνικών κατασκευών, με εφαρμογές που καλύπτουν σχεδόν ολόκληρο το πεδίο της τεχνικής μηχανικής. Η χρήση της εκτείνεται στη στατική, δυναμική, θερμική και σεισμική ανάλυση σύνθετων φορέων, ενώ θεωρείται απαραίτητο εργαλείο για την αποτίμηση και διερεύνηση της συμπεριφοράς υφιστάμενων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία (Σπυράκος, 2019)

Η βασική φιλοσοφία της μεθόδου στηρίζεται στη διακριτοποίηση ενός συνεχούς φυσικού φορέα σε επιμέρους μικρά τμήματα πεπερασμένων διαστάσεων, τα οποία ονομάζονται πεπερασμένα στοιχεία. Η συνολική συμπεριφορά της κατασκευής προκύπτει μέσω της μαθηματικής συναρμογής των επιμέρους στοιχείων και της επίλυσης ενός συστήματος αλγεβρικών εξισώσεων με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η προσομοίωση σύνθετων γεωμετριών, ανομοιογενών υλικών και μη γραμμικών φαινομένων, τα οποία είναι εξαιρετικά δύσκολο ή και αδύνατο να αντιμετωπιστούν με τις κλασικές αναλυτικές μεθόδους.

Στις συμβατικές μεθόδους ανάλυσης, η συμπεριφορά του φορέα περιγράφεται μέσω διαφορικών εξισώσεων ισορροπίας και κατάλληλων οριακών συνθηκών. Η επίλυση των εξισώσεων αυτών είναι εφικτή μόνο για απλοποιημένες γεωμετρίες και σχετικά απλά προβλήματα. Αντιθέτως, στις πραγματικές κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία εμφανίζονται έντονες γεωμετρικές ασυμμετρίες, ανοίγματα, τοπικές ατέλειες, διαφοροποιήσεις υλικών και πολύπλοκες συνθήκες φόρτισης, γεγονός που καθιστά τη χρήση αναλυτικών μεθόδων πρακτικά ανεπαρκή. Για τον λόγο αυτό, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί τη βέλτιστη υπολογιστική προσέγγιση για την αξιόπιστη αποτύπωση της πραγματικής συμπεριφοράς των κατασκευών (Bathe, 1996).

Η διακριτοποίηση του φορέα πραγματοποιείται μέσω κόμβων και στοιχείων. Οι κόμβοι αποτελούν τα σημεία σύνδεσης των πεπερασμένων στοιχείων και φέρουν τους βαθμούς ελευθερίας του προσομοιώματος, όπως μετακινήσεις και στροφές. Η επιλογή της θέσης και της πυκνότητας των κόμβων επηρεάζει καθοριστικά την ακρίβεια της ανάλυσης και ονομάζεται διαδικασία διακριτοποίησης ή πλεγματοποίησης (meshing). Μέσω αυτής, ο συνεχής φορέας μετατρέπεται σε ένα διακριτό αριθμητικό σύστημα κατάλληλο για υπολογιστική επίλυση.

Τα πεπερασμένα στοιχεία διακρίνονται ανάλογα με τη γεωμετρία και τη λειτουργία τους σε γραμμικά, επιφανειακά και χωρικά στοιχεία. Τα γραμμικά στοιχεία χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μοντελοποίηση δοκών, υποστυλωμάτων ή δικτυωμάτων. Τα επιφανειακά στοιχεία, όπως στοιχεία πλάκας ή κελύφους, είναι ιδιαίτερα σημαντικά στην ανάλυση τοιχοποιίας, καθώς μπορούν να αποδώσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την κατανομή τάσεων και παραμορφώσεων εντός του επιπέδου των τοίχων. Τέλος, τα χωρικά στοιχεία τριών διαστάσεων χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται πλήρης τρισδιάστατη προσομοίωση της κατασκευής και διερεύνηση σύνθετων φαινομένων αλληλεπίδρασης (Lourenço P. B., Computational Strategies for Masonry Structures, 1996).

Ιδιαίτερη σημασία στην ανάλυση φέρουσας τοιχοποιίας έχουν τα επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία, καθώς επιτρέπουν την αναπαράσταση της πραγματικής λειτουργίας των τοίχων ως συνεχών δομικών επιφανειών. Μέσω αυτών μπορούν να υπολογιστούν οι εντός και εκτός επιπέδου τάσεις, οι τοπικές συγκεντρώσεις παραμορφώσεων γύρω από ανοίγματα, οι διατμητικές ρηγματώσεις, καθώς και οι μηχανισμοί αστοχίας λόγω κάμψης ή διάτμησης. Επιπλέον, καθίσταται δυνατή η προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ τοίχων, πατωμάτων και διαφραγμάτων, στοιχείο ιδιαίτερα κρίσιμο για τη σεισμική αποτίμηση ιστορικών και υφιστάμενων κτιρίων.

Παράλληλα με τα βασικά πεπερασμένα στοιχεία, τα σύγχρονα λογισμικά ανάλυσης διαθέτουν ειδικά στοιχεία και περιορισμούς που επιτρέπουν την ακριβέστερη αναπαράσταση της κατασκευαστικής πραγματικότητας. Τέτοια στοιχεία είναι τα απαραμόρφωτα διαφράγματα, τα στοιχεία επαφής, τα μη γραμμικά ελατήρια, καθώς και στοιχεία σύνδεσης που λειτουργούν μόνο υπό θλίψη ή μόνο υπό εφελκυσμό. Μέσω αυτών μπορεί να προσομοιωθεί η επαφή τοιχοποιίας-εδάφους, η μερική σύνδεση μεταξύ τοίχων και πατωμάτων ή η σταδιακή απώλεια δυσκαμψίας λόγω ρηγματώσης.

Η επιλογή της κατάλληλης διακριτοποίησης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στάδια κατά την ανάπτυξη ενός αξιόπιστου προσομοιώματος πεπερασμένων στοιχείων. Παρότι στη διεθνή βιβλιογραφία προτείνονται γενικοί κανόνες και κατευθυντήριες οδηγίες για την πυκνότητα και τη μορφή του πλέγματος, η τελική επιλογή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία και την τεχνική κρίση του μηχανικού. Η διαδικασία αυτή επηρεάζεται από τη γεωμετρία του φορέα, το είδος των φορτίσεων, τον αναμενόμενο μηχανισμό αστοχίας, καθώς και τον απαιτούμενο βαθμό ακρίβειας των αποτελεσμάτων (Bathe, 1996). Ένα πυκνό πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια στην αποτύπωση της κατανομής τάσεων και παραμορφώσεων, επιβαρύνει όμως σημαντικά τον υπολογιστικό χρόνο και αυξάνει την πολυπλοκότητα της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων. Αντιθέτως, μια αραιή διακριτοποίηση μειώνει το υπολογιστικό κόστος αλλά ενδέχεται να οδηγήσει σε απώλεια τοπικών φαινομένων και σε μικρότερη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Συνεπώς, απαιτείται ισορροπία μεταξύ υπολογιστικής ακρίβειας και υπολογιστικής αποδοτικότητας, με βάση τις απαιτήσεις της εκάστοτε μελέτης (Cook, 2002).

Στις κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία, η επιλογή των κατάλληλων πεπερασμένων στοιχείων συνδέεται άμεσα με τη φύση και τη λειτουργία κάθε δομικού στοιχείου. Για την προσομοίωση των τοίχων χρησιμοποιούνται κυρίως επιφανειακά στοιχεία κελύφους (shell elements), μικρού ή μεγάλου πάχους, καθώς και χωρικά τρισδιάστατα στοιχεία (solid elements). Τα στοιχεία κελύφους είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά όταν το πάχος του τοίχου είναι μικρό σε σχέση με τις υπόλοιπες γεωμετρικές διαστάσεις, καθώς μπορούν να αποδώσουν με ικανοποιητική ακρίβεια τόσο την εντός όσο και την εκτός επιπέδου συμπεριφορά της τοιχοποιίας. Αντίθετα, τα χωρικά στοιχεία χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου οι διατμητικές παραμορφώσεις αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά την απόκριση του φορέα ή όταν απαιτείται πλήρης τρισδιάστατη προσομοίωση σύνθετων φαινομένων τάσεων και αλληλεπιδράσεων (Lourenço P. B., Computational strategies for masonry structures, 1996).

Για την προσομοίωση των ελκυστήρων χρησιμοποιούνται συνήθως γραμμικά στοιχεία ράβδου, τα οποία μπορούν να παραλάβουν αξονικές δυνάμεις εφελκυσμού και θλίψης. Η επιλογή αυτή είναι αποδεκτή όταν η ανάλυση πραγματοποιείται σε ελαστικό επίπεδο. Ωστόσο, στην πραγματικότητα οι μεταλλικοί ελκυστήρες εμφανίζουν περιορισμένη ικανότητα παραλαβής θλιπτικών φορτίων και ενδέχεται να αστοχήσουν λόγω λυγισμού ακόμη και για μικρές θλιπτικές δράσεις. Για τον λόγο αυτό,

ακριβέστερη προσομοίωση επιτυγχάνεται μέσω ειδικών μη γραμμικών στοιχείων, τα οποία λειτουργούν αποκλειστικά υπό εφελκυσμό. Η χρήση τέτοιων στοιχείων απαιτεί την εφαρμογή ανελαστικής ανάλυσης, ώστε να αποδοθεί ρεαλιστικά η πραγματική μηχανική συμπεριφορά του συστήματος (Roca, 2010).

Αντίστοιχα, για την προσομοίωση διαζωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα, ξύλο ή χάλυβα χρησιμοποιούνται συνήθως γραμμικά στοιχεία δοκού. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να θεωρηθούν είτε ελαστικά είτε ανελαστικά, ανάλογα με το επίπεδο ανάλυσης και τον σκοπό της μελέτης. Στις περισσότερες περιπτώσεις αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών προτιμάται η ελαστοπλαστική προσομοίωση, καθώς επιτρέπει την εκτίμηση της πραγματικής συμπεριφοράς των διαζωμάτων μετά την εμφάνιση διαρροών και τοπικών αστοχιών. Η ελαστική προσομοίωση χρησιμοποιείται κυρίως σε γραμμικές αναλύσεις, όπου στόχος είναι η γενική εκτίμηση της κατανομής των εντατικών μεγεθών.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων αφορά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Όταν ο φορέας προσομοιώνεται με επιφανειακά ή χωρικά στοιχεία, τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρέχονται κυρίως υπό μορφή τάσεων και παραμορφώσεων κατανεμημένων στην επιφάνεια ή στον όγκο των στοιχείων. Για να καταστεί δυνατός ο έλεγχος επάρκειας των δομικών στοιχείων σύμφωνα με τους κανονισμούς, απαιτείται ολοκλήρωση των τάσεων στις κρίσιμες διατομές, ώστε να προκύψουν τα αντίστοιχα εντατικά μεγέθη, όπως η αξονική δύναμη (N), η διατμητική δύναμη (V) και η καμπτική ροπή (M). Αντίθετα, όταν η προσομοίωση πραγματοποιείται με γραμμικά στοιχεία δοκού ή ράβδου, τα εντατικά μεγέθη υπολογίζονται άμεσα από το πρόγραμμα ανάλυσης, γεγονός που απλοποιεί σημαντικά τη διαδικασία ελέγχου.

Συνεπώς, η επιλογή της κατάλληλης διακριτοποίησης και των αντίστοιχων πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αξιοπιστία της ανάλυσης και της αποτίμησης κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Η ορθή μοντελοποίηση απαιτεί βαθιά κατανόηση τόσο της μηχανικής συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων όσο και των αριθμητικών δυνατοτήτων και περιορισμών της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων.

Στην αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματική, καθώς επιτρέπει την ανάλυση μη κανονικών φορέων, την εκτίμηση τοπικών μηχανισμών βλάβης και την

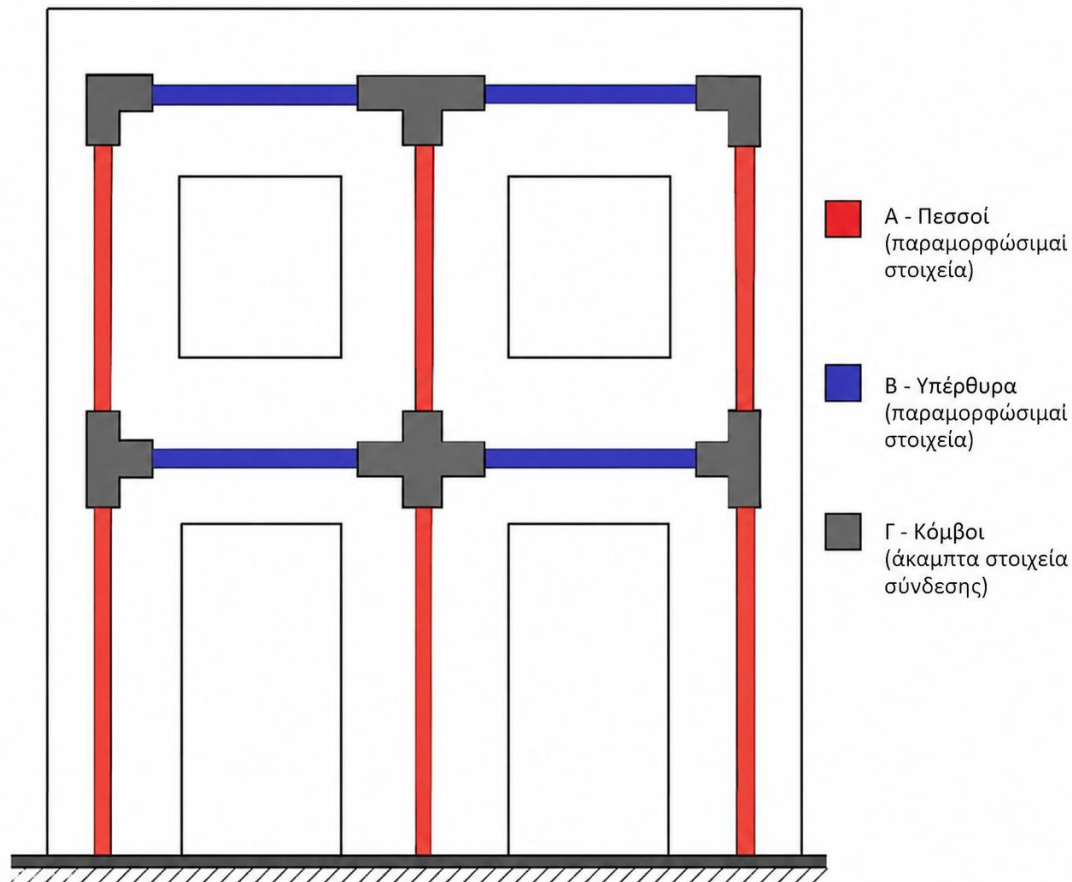
αξιολόγηση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής με αυξημένη ακρίβεια. Ωστόσο, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της μοντελοποίησης, την ορθότητα των μηχανικών χαρακτηριστικών που εισάγονται στο προσομοίωμα και την εμπειρία του μελετητή στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

3.2.1 Μέθοδος Ισοδύναμου Πλαισίου

Η Μέθοδος Ισοδύναμου Πλαισίου (ΜΙΠ) αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές προσομοίωσης κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, ιδιαίτερα στο πεδίο της αποτίμησης και της αντισεισμικής ανάλυσης υφιστάμενων κτιρίων. Η βασική αρχή της μεθόδου συνίσταται στην ιδεατή αναπαράσταση της τοιχοποιίας μέσω ενός συστήματος γραμμικών στοιχείων, τα οποία προσομοιώνουν τη συνολική μηχανική συμπεριφορά του φορέα υπό κατακόρυφες και σεισμικές δράσεις. Με τον τρόπο αυτό η πραγματική, σύνθετη και μη ομοιογενής συμπεριφορά της τοιχοποιίας μετατρέπεται σε ένα απλουστευμένο αλλά επαρκώς αξιόπιστο υπολογιστικό πρότυπο (Σπυράκος, 2019).

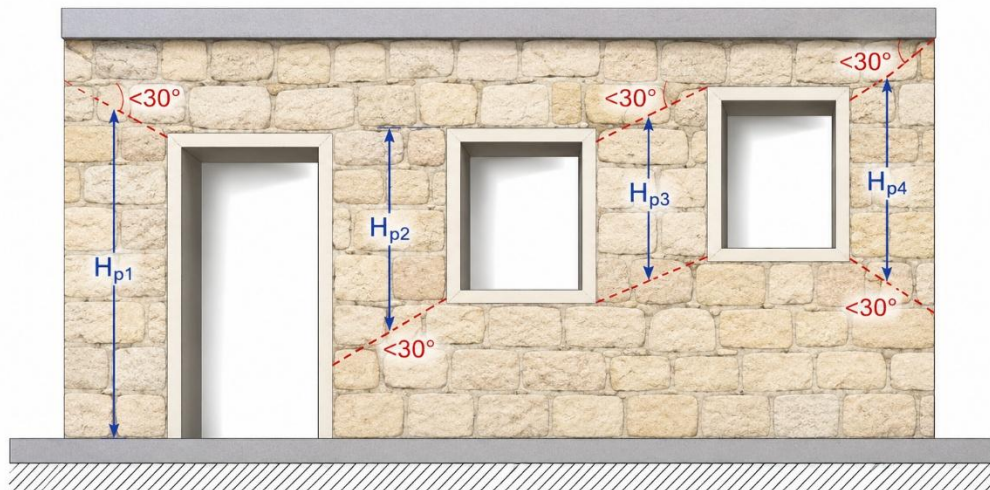
Σύμφωνα με τη μεθοδολογία της ΜΙΠ, κάθε τοίχος διαχωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες δομικών στοιχείων: τους πεσσούς, τα υπέρθυρα και τους κόμβους.

- Πεσσοί
- Υπέρθυρα - Ποδιές
- Κόμβοι



Εικόνα 3-0-1 Υπολογιστικό πρότυπο ισοδύναμου πλαισίου (Σπυράκος, 2019)

Οι πεσσοί αντιστοιχούν στις κατακόρυφες ζώνες της τοιχοποιίας μεταξύ των ανοιγμάτων και αποτελούν τα κύρια φέροντα στοιχεία παραλαβής κατακόρυφων και οριζόντιων δράσεων. Τα υπέρθυρα αποτελούν τις οριζόντιες ζώνες πάνω από τα ανοίγματα και λειτουργούν ως στοιχεία σύζευξης μεταξύ των πεσσών, μεταφέροντας διατμητικές και καμπτικές εντάσεις. Οι πεσσοί και τα υπέρθυρα - ποδιές είναι παραμορφώσιμα στοιχεία. Αντίθετα, οι κόμβοι θεωρούνται περιοχές υψηλής δυσκαμψίας και προσομοιώνονται ως απαραμόρφωτα στοιχεία σύνδεσης, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η συνεργασία μεταξύ πεσσών και υπερθύρων (Σπυράκος, 2019).



Εικόνα 3-0-2 Καθορισμός ενεργών υψών (Σπυράκος, 2019)

Οι σχέσεις αυτές χρησιμοποιούνται στη Μέθοδο Ισοδύναμου Πλαισίου για τον καθορισμό των ενεργών υψών των πεσσών της τοιχοποιίας, ανάλογα με τη γεωμετρία των ανοιγμάτων και των υπερθύρων. Οι εξισώσεις δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις (Σπυράκος, 2019):

$$\begin{aligned} H_{p1} &= H_1 \\ H_{p2} &= \frac{H_1 + H_2}{2} \\ H_{p3} &= H_2 \end{aligned}$$

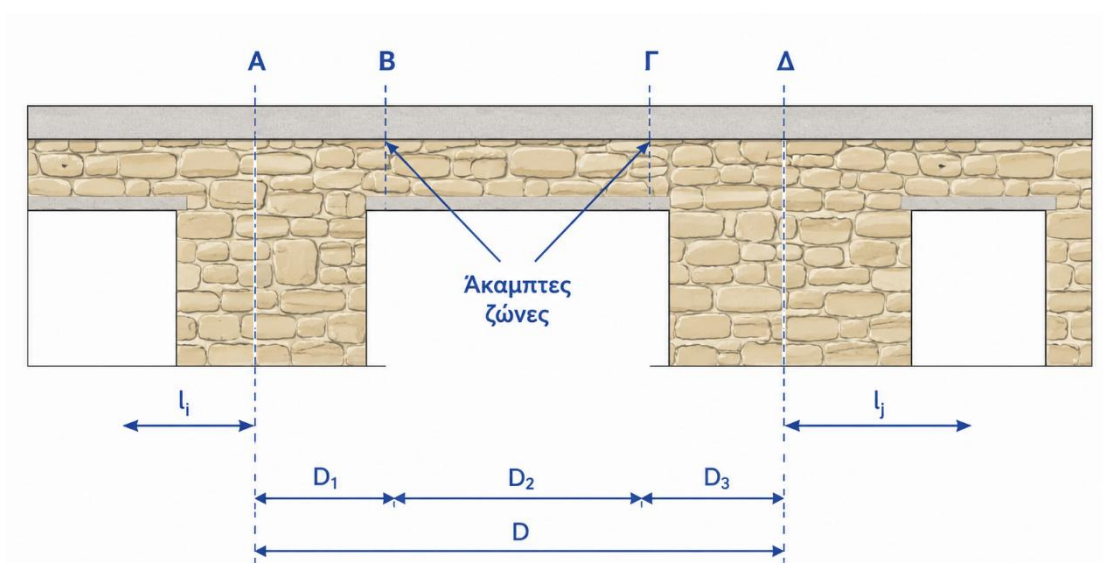
όπου:

- H_{p1}, H_{p2}, H_{p3} = τα ισοδύναμα ύψη των πεσσών,
- H_1, H_2 = τα γεωμετρικά ύψη των γειτονικών ανοιγμάτων ή των επιμέρους τμημάτων του τοίχου.

Οι παραπάνω σχέσεις χρησιμοποιούνται για την ιδεατή διακριτοποίηση του τοίχου σε πεσσούς και υπέρθυρα, με σκοπό τον υπολογισμό της δυσκαμψίας και της

παραμορφωσιακής συμπεριφοράς των επιμέρους στοιχείων του ισοδύναμου πλαισίου. Η επιλογή του κατάλληλου ενεργού ύψους επηρεάζει άμεσα τόσο την καμπτική όσο και τη διατμητική δυσκαμψία των πεσσών και συνεπώς τη συνολική σεισμική απόκριση της κατασκευής από φέρουσα τοιχοποιία (Σπυράκος, 2019).

$$H_{p2} = \frac{H_1 + H_2}{2}$$



Εικόνα 3-0-3 Άκαμπτες ζώνες

Η συγκεκριμένη διακριτοποίηση της τοιχοποιίας δεν αποτελεί απλώς μια μαθηματική απλοποίηση, αλλά βασίζεται στην πραγματική συμπεριφορά των κατασκευών κατά τη σεισμική διέγερση. Μετασεισμικές παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι οι σημαντικότερες βλάβες συγκεντρώνονται κυρίως στις παραμορφώσιμες περιοχές του φορέα, δηλαδή στους πεσσούς και στα υπέρθυρα, όπου αναπτύσσονται έντονες διατμητικές και καμπτικές παραμορφώσεις. Αντίθετα, οι περιοχές σύνδεσης εμφανίζουν συνήθως μικρότερη βλαπτικότητα, γεγονός που δικαιολογεί την παραδοχή των άκαμπτων κόμβων. Η παρατήρηση αυτή αποτέλεσε βασικό θεωρητικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη της μεθόδου και εξηγεί γιατί η ΜΠΠ μπορεί να αναπαράγει με ικανοποιητική ακρίβεια τη σεισμική συμπεριφορά υφιστάμενων κτιρίων τοιχοποιίας.

Η εφαρμογή της Μεθόδου του Ισοδύναμου Πλαισίου προϋποθέτει ότι πληρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις, ώστε η ιδεατοποίηση να μπορεί να αναπαραστήσει με

επάρκεια την πραγματική συμπεριφορά της κατασκευής (ΚΑΔΕΤ, 2022).

Συγκεκριμένα:

- Επαρκής διαφραγματική λειτουργία των πατωμάτων και της στέγης, ώστε οι οριζόντιες δράσεις να κατανέμονται αποτελεσματικά στους φέροντες τοίχους.
- Κανονική διάταξη των ανοιγμάτων, έτσι ώστε κάθε πεσσός να διατηρεί περίπου σταθερό πλάτος από τη στάθμη θεμελίωσης έως τη στέψη του τοίχου, χωρίς σημαντικές μεταβολές της διατομής του.
- Λόγος ύψους προς ελεύθερο μήκος μεγαλύτερος από 2,0, ώστε οι πεσσοί να παρουσιάζουν συμπεριφορά που μπορεί να προσεγγιστεί αξιόπιστα με γραμμικά στοιχεία.

Όταν οι παραπάνω προϋποθέσεις ικανοποιούνται και το κτίριο παρουσιάζει κανονικότητα τόσο σε κάτοψη όσο και καθ' ύψος, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 8, είναι δυνατή η χρήση επίπεδων πλαισίων, όπου κάθε τοίχος αναλύεται ανεξάρτητα. Η προσέγγιση αυτή μειώνει σημαντικά τον υπολογιστικό χρόνο και διευκολύνει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Αντίθετα, όταν η κατασκευή εμφανίζει έντονες γεωμετρικές ασυμμετρίες, ακανόνιστη διάταξη των τοίχων, μεταβολές δυσκαμψίας μεταξύ των ορόφων ή μη επαρκή διαφραγματική λειτουργία των πατωμάτων, η προσομοίωση πρέπει να πραγματοποιείται με χωρικό μοντέλο, στο οποίο όλοι οι τοίχοι και τα επιμέρους δομικά στοιχεία συμμετέχουν ταυτόχρονα στη συνολική ανάλυση. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνονται υπόψη οι τρισδιάστατες αλληλεπιδράσεις των τοίχων, οι στρεπτικές επιδράσεις και η πραγματική κατανομή των σεισμικών φορτίων.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η ευκολία εφαρμογής και η δυνατότητα εύκολης ερμηνείας των αποτελεσμάτων. Σε αντίθεση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, όπου απαιτείται ιδιαίτερα λεπτομερής διακριτοποίηση μέσω επιφανειακών ή χωρικών στοιχείων, η ΜΠΠ χρησιμοποιεί γραμμικά στοιχεία τύπου δοκού ή στύλου, επιτυγχάνοντας σημαντική μείωση των βαθμών ελευθερίας του μοντέλου. Ως αποτέλεσμα, μειώνεται αισθητά το υπολογιστικό κόστος και καθίσταται δυνατή η εφαρμογή μη γραμμικών αναλύσεων ακόμη και σε σύνθετα κτίρια μεγάλης κλίμακας (Σπυράκος, 2019).

Η αξιοπιστία της μεθόδου αυξάνεται σημαντικά όταν εφαρμόζονται μη γραμμικές μέθοδοι ανάλυσης, όπως η ανελαστική στατική ανάλυση (pushover). Μέσω αυτών των αναλύσεων είναι δυνατόν να προσομοιωθεί η σταδιακή ανάπτυξη βλαβών, η δημιουργία ρηγματώσεων και η ανακατανομή των εσωτερικών δυνάμεων μετά την τοπική αστοχία επιμέρους στοιχείων. Έτσι, η μέθοδος μπορεί να αποδώσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη συμπεριφορά της τοιχοποιίας κοντά στην κατάσταση αστοχίας, κάτι ιδιαίτερα σημαντικό για την αποτίμηση υφιστάμενων και ιστορικών κατασκευών.

Η Μέθοδος Ισοδύναμου Πλαισίου εφαρμόζεται σήμερα εκτεταμένα σε εξειδικευμένα λογισμικά στατικής και αντισεισμικής ανάλυσης, όπως το SCADA Pro, ενώ η θεωρητική της βάση έχει ενσωματωθεί σε σύγχρονους κανονισμούς και ερευνητικές οδηγίες για την αποτίμηση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Η ευρεία χρήση της οφείλεται στην ικανότητά της να συνδυάζει ικανοποιητική ακρίβεια με πρακτική υπολογιστική αποδοτικότητα, καθιστώντας τη μία από τις πιο αποτελεσματικές προσεγγίσεις στη σύγχρονη δομοστατική μηχανική.

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SCADA PRO

4.1 Γενική Περιγραφή

Το SCADA Pro αποτελεί ένα σύγχρονο ολοκληρωμένο λογισμικό ανάλυσης και διαστασιολόγησης κτιριακών κατασκευών με στόχο την κάλυψη των αυξανόμενων απαιτήσεων του δομοστατικού σχεδιασμού σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Η ανάπτυξή του συνδέεται με τη μετάβαση από τις παραδοσιακές μεθόδους υπολογισμού σε προηγμένα υπολογιστικά περιβάλλοντα, όπου η ανάλυση, ο σχεδιασμός και η τεκμηρίωση πραγματοποιούνται με ενοποιημένη προσέγγιση της δομοστατικής ανάλυσης και διαστασιολόγησης. Όλα τα στάδια της μελέτης πραγματοποιούνται εντός ενός ενιαίου υπολογιστικού περιβάλλοντος μέσω της δημιουργίας ενός αξιόπιστου υπολογιστικού προτύπου, το οποίο προσομοιώνει με επάρκεια τη γεωμετρία, τις ιδιότητες των υλικών και τις συνθήκες φόρτισης της κατασκευής.

Το λογισμικό αναπτύχθηκε στις αρχές του 1980 από την εταιρεία ACE Hellas (ACE-HELLAS, 2025), οποία δραστηριοποιείται στον τομέα των τεχνικών εφαρμογών για πολιτικούς μηχανικούς. Στο πλαίσιο αυτό, το SCADA Pro έχει διαμορφωθεί ως ένα πολυπαραμετρικό εργαλείο που υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους φερόντων οργανισμών, όπως οπλισμένο σκυρόδεμα, μεταλλικές κατασκευές και φέρουσα τοιχοποιία.

Μέρος των εξειδικευμένων επιμέρους ενοτήτων (modules), είναι και το SCADA Pro Masonry (Φέρουσα Τοιχοποιία), που αποτελεί υπολογιστική εφαρμογή για τη στατική και δυναμική ανάλυση, διαστασιολόγηση και αποτίμηση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Παρέχει ένα ενιαίο περιβάλλον εργασίας, μέσω του οποίου ο μελετητής μπορεί να προσομοιώσει τη συμπεριφορά δομικών συστημάτων, να εκτελέσει αναλύσεις και να πραγματοποιήσει ελέγχους επάρκειας.

Η εφαρμογή καλύπτει τόσο τον σχεδιασμό νέων κατασκευών όσο και την αξιολόγηση υφιστάμενων κτιρίων, ενσωματώνοντας σύγχρονες μεθόδους υπολογισμού και κανονιστικές απαιτήσεις.

Το SCADA Pro Masonry (Φέρουσα Τοιχοποιία) βρίσκει εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα έργων, όπως:

- μελέτη νέων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία,

- αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών,
- ενίσχυση και αποκατάσταση σεισμόπληκτων κτιρίων,
- επεμβάσεις σε διατηρητέα και ιστορικά κτίρια.

4.2 Δομή και Επιμέρους Ενότητες Λογισμικού

Το λογισμικό αποτελείται από επιμέρους λειτουργικές ενότητες που συνεργάζονται μεταξύ τους. Ο πυρήνας του λογισμικού που χρησιμοποιείται σε όλα τα στάδια της μελέτης είναι υπολογιστική μηχανή SCADA Pro Analysis που είναι υπεύθυνη για:

- τη δημιουργία του υπολογιστικού προτύπου του φορέα,
- την εισαγωγή φορτίσεων και συνδυασμών δράσεων,
- την εκτέλεση γραμμικών και μη γραμμικών αναλύσεων,
- την επίλυση του φορέα υπό στατικά και δυναμικά φορτία.

Επιπροσθέτως το εξειδικευμένο πρόσθετο (add-on) για την φέρουσα τοιχοποιία περιλαμβάνει:

- διαστασιολόγηση δομικών στοιχείων (τοίχοι, πεσσοί, υπέρθυρα),
- ελέγχους αντοχής σε θλίψη, διάτμηση και κάμψη,
- ελέγχους λειτουργικότητας (ρηγματώσεις, παραμορφώσεις),
- αξιολόγηση με βάση τις ιδιότητες των υλικών (πλινθοδομή, λιθοδομή, κονιάματα), σύμφωνα με τις απαιτήσεις του EC6.

Το SCADA Pro Masonry ενσωματώνει επίσης τις διατάξεις του Μέρους 3 του Eurocode 8, (EC8, 2005) που αφορούν την αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών.

Οι βασικές δυνατότητες περιλαμβάνουν:

- αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων κτιρίων,
- έλεγχο επιτελεστικότητας υπό σεισμικές δράσεις,
- ανασχεδιασμό με στόχο τη βελτίωση της δομικής συμπεριφοράς.
- Παράλληλα, παρέχεται η δυνατότητα προσομοίωσης επεμβάσεων ενίσχυσης, όπως:
 - εφαρμογή μανδυνών,
 - ενέσεις κονιάματος,

- προσθήκη νέων δομικών στοιχείων ή ενισχύσεων

4.3 Κανονιστικό Πλαίσιο

Η λειτουργία του λογισμικού βασίζεται στους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς (Eurocodes), εξασφαλίζοντας συμμόρφωση με τα ισχύοντα πρότυπα σχεδιασμού.

Ο σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία πραγματοποιείται σύμφωνα με τον Eurocode 6 (EC6, 2006), ο οποίος καθορίζει τις απαιτήσεις αντοχής, λειτουργικότητας και διαστασιολόγησης. Το SCADA Pro αξιοποιεί τις σχέσεις αυτές ώστε να υπολογίσει αυτόματα:

- τις μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας,
- την καμπτική αντοχή εντός επιπέδου,
- την καμπτική αντοχή εκτός επιπέδου,
- τη διατμητική αντοχή,
- την αντοχή σε θλίψη,
- την επίδραση της αξονικής δύναμης,
- την επιρροή της γεωμετρίας και του πάχους των τοίχων.

Ο Ευρωκώδικας 8 – Μέρος 3 αποτελεί τη βάση για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κατασκευών. Στο λογισμικό ενσωματώνονται οι απαιτήσεις του σχετικά με την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης, τη δημιουργία των σεισμικών φορτίσεων, τον υπολογισμό των μετακινήσεων, την αξιολόγηση των στάθμεων επιτελεστικότητας και τον έλεγχο της σεισμικής επάρκειας των πεσσών και των υπέρθυρων. Το Scada Pro εφαρμόζει τον κανονισμό μέσω

- δημιουργίας σεισμικών συνδυασμών,
- ελαστικής στατικής ανάλυσης,
- ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης,
- ελέγχου μετακινήσεων,
- αξιολόγησης στάθμης επιτελεστικότητας,
- ελέγχου πεσσών και υπέρθυρων,
- υπολογισμού απαιτούμενων επεμβάσεων

Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη τα αντίστοιχα Εθνικά Προσαρτήματα, με έμφαση στην εφαρμογή του ελληνικού κανονιστικού πλαισίου και του ΚΑΔΕΤ (ΚΑΔΕΤ, 2022) οποίος εξειδικεύει την εφαρμογή των παραπάνω διαδικασιών στις ελληνικές κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία. Μέσω του SCADA Pro ο χρήστης εισάγει το

επίπεδο γνώσης του κτιρίου, τους αντίστοιχους συντελεστές αξιοπιστίας, τις ιδιότητες των υφιστάμενων υλικών και τις τεχνικές ενίσχυσης που προβλέπεται να εφαρμοστούν. Το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα τις νέες μηχανικές ιδιότητες του ενισχυμένου στοιχείου και επαναλαμβάνει τους ελέγχους επάρκειας σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μία ενιαία υπολογιστική διαδικασία, όπου οι διατάξεις των τριών κανονισμών λειτουργούν συμπληρωματικά και οδηγούν στην τελική αξιολόγηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής παρέχοντας την δυνατότητα γραμμικών ή μη γραμμικών αναλύσεων, προσομοίωση πραγματικής συμπεριφοράς τοιχοποιίας και ενσωμάτωση επεμβάσεων ενίσχυσης.

<i>Βήμα</i>	<i>Ενέργεια στο SCADA Pro</i>	<i>Κανονισμός που εφαρμόζεται</i>
1	Δημιουργία γεωμετρίας	EC6 – EC8
2	Επιλογή υλικών	EC6
3	Ορισμός επιπέδου γνώσης	EC8-3 / ΚΑΔΕΤ
4	Επιλογή μεθόδου προσομοίωσης	EC8-3
5	Δημιουργία μαθηματικού μοντέλου	Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων ή Ισοδύναμο Πλαίσιο
6	Δημιουργία φορτίσεων	EC1
7	Δημιουργία σεισμικών δράσεων	EC8
8	Ανάλυση φορέα	EC8
9	Υπολογισμός εντατικών μεγεθών	FEM Solver
10	Έλεγχοι αντοχής	EC6
11	Έλεγχοι αποτίμησης	EC8-3 / ΚΑΔΕΤ
12	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	EC8-3

Πίνακας 4-0-1 Αλληλουχία εφαρμογής των κανονισμών

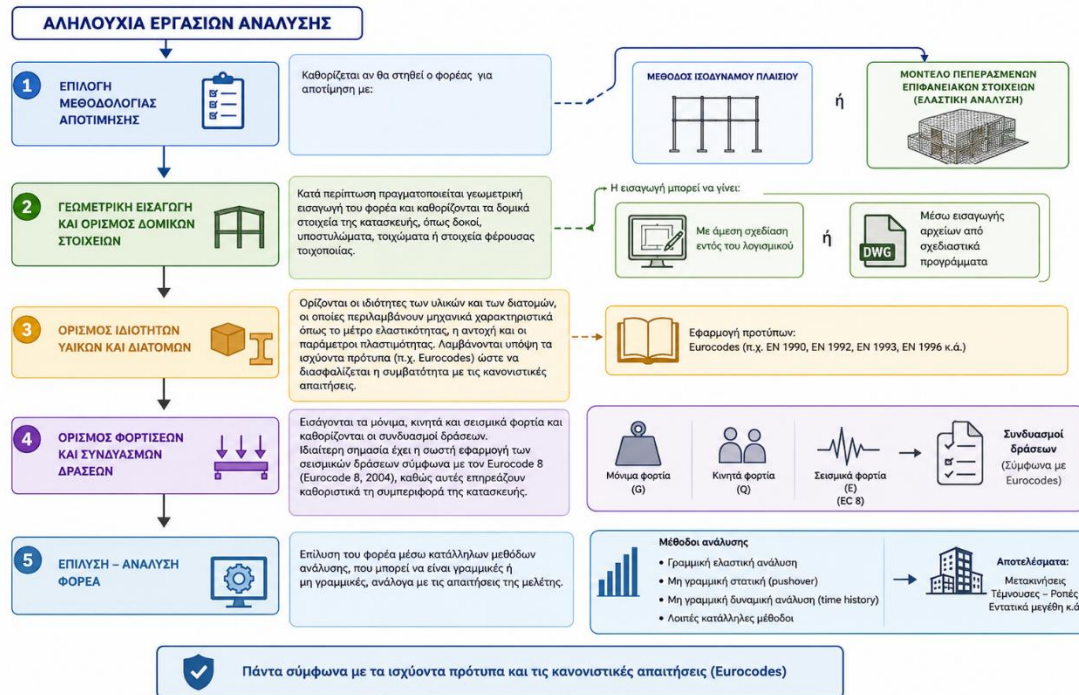
4.4 Διαδικασία ανάλυσης στο Scada Pro

Η διαδικασία ανάλυσης ακολουθεί μία διαδοχική και λογικά δομημένη ροή. Αρχικά επιλέγεται η μεθοδολογία αποτίμησης. Καθορίζεται αν θα στηθεί ο φορέας για αποτίμηση με την μέθοδο Ισοδύναμου πλαισίου ή αν θα δημιουργηθεί ένα μοντέλο με πεπερασμένα επιφανειακά στοιχεία για χρήση ελαστικής ανάλυσης. Κατά περίπτωση λοιπόν πραγματοποιείται γεωμετρική εισαγωγή του φορέα, καθορίζονται τα δομικά στοιχεία της κατασκευής, όπως δοκοί, υποστυλώματα, τοιχώματα ή στοιχεία φέρουσας τοιχοποιίας. Η εισαγωγή μπορεί να γίνει είτε με άμεση σχεδίαση εντός του λογισμικού είτε μέσω εισαγωγής αρχείων από σχεδιαστικά προγράμματα.

Στη συνέχεια, ορίζονται οι ιδιότητες των υλικών και των διατομών, οι οποίες περιλαμβάνουν μηχανικά χαρακτηριστικά όπως το μέτρο ελαστικότητας, η αντοχή και οι παράμετροι πλαστιμότητας. Λαμβάνονται υπόψη τα ισχύοντα πρότυπα, όπως οι Eurocodes, ώστε να διασφαλίζεται η συμβατότητα με τις κανονιστικές απαιτήσεις.

Καθορίζονται φορτίσεις και οι συνδυασμοί συνδυασμοί δράσεων, όπου εισάγονται τα μόνιμα, κινητά και σεισμικά φορτία. Ιδιαίτερη σημασία έχει η σωστή εφαρμογή των σεισμικών δράσεων σύμφωνα με τον Eurocode 8 (EC8, 2005) καθώς αυτές επηρεάζουν καθοριστικά τη συμπεριφορά της κατασκευής.

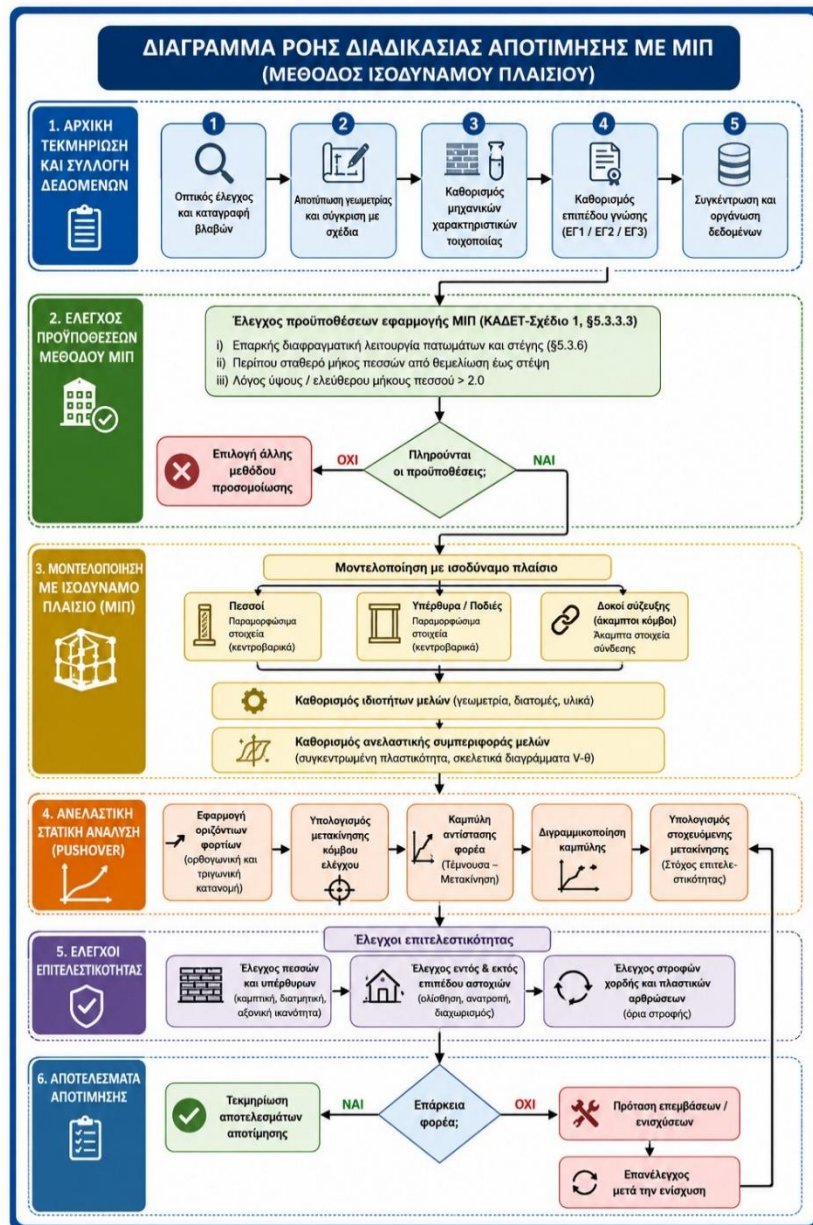
Τέλος ακολουθεί η επίλυση του φορέα μέσω κατάλληλων μεθόδων ανάλυσης, που μπορεί να είναι γραμμικές ή μη γραμμικές, ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτη και αναλύονται στην επόμενη ενότητα.



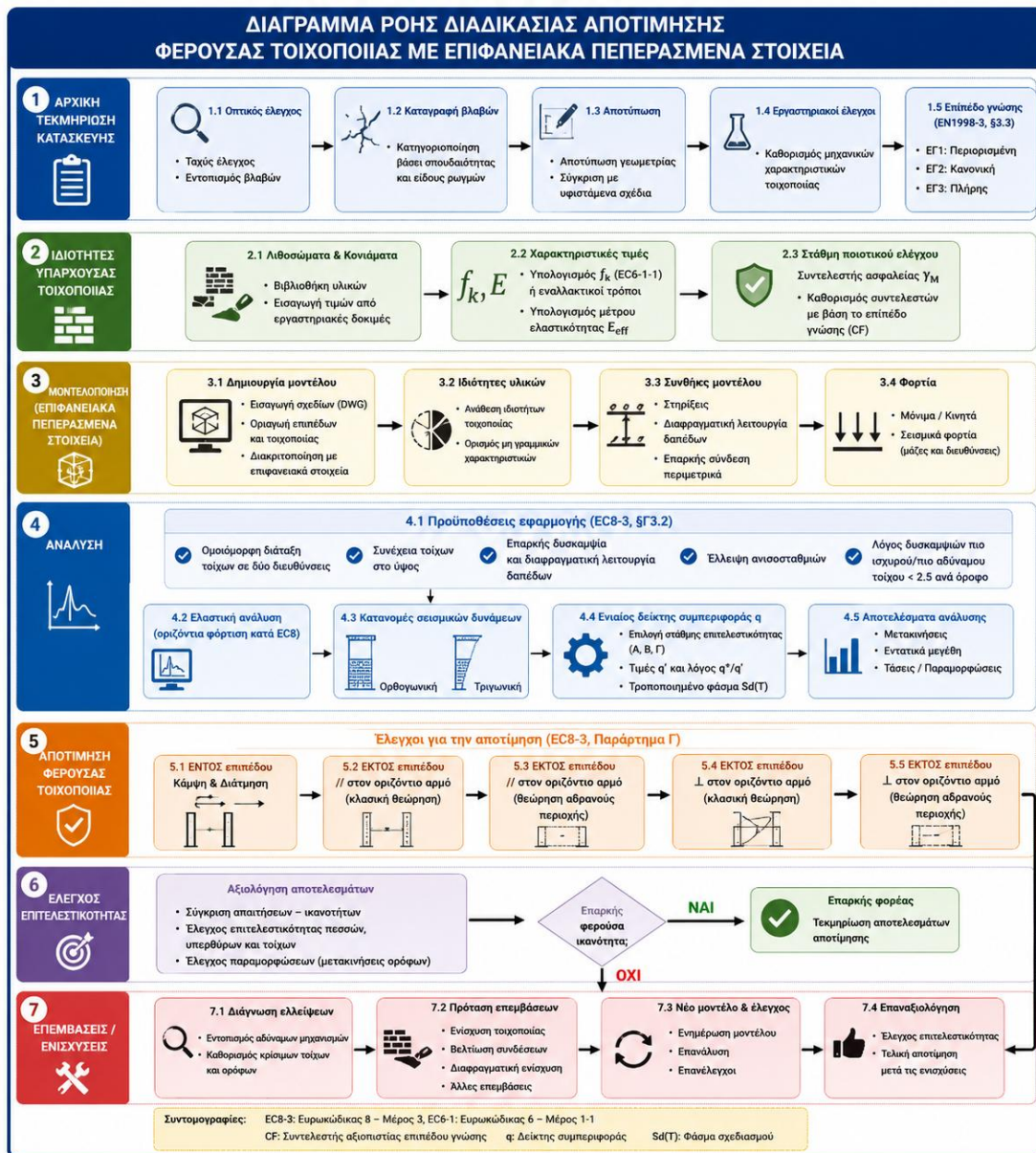
Διάγραμμα Ροής 4-0-1 Διαδικασία ανάλυσης στο λογισμικό Scada pro

Η φιλοσοφία του SCADA Pro δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη διασύνδεση της ανάλυσης με τον σχεδιασμό. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αξιοποιούνται άμεσα για τη διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων, χωρίς την ανάγκη μεταφοράς δεδομένων σε εξωτερικές εφαρμογές. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του χρόνου μελέτης και περιορισμός πιθανών σφαλμάτων.

Στα παρακάτω διαγράμματα ροής σχεδιάζεται η στρατηγική αποτίμησης στο SCADA PRO τόσο με την μέθοδο του Ισοδύναμου πλαισίου καθώς και με τα πεπερασμένα επιφανειακά στοιχεία.



Διάγραμμα Ροής 4-0-2 Διαδικασία αποτίμησης με την Μ.Ι.Π



Διάγραμμα Ροής 4-0-3 Διαδικασία Αποτίμησης με Πεπερασμένα Επιφανειακά Στοιχεία

4.5 Ελαστική (Ισοδύναμη) Στατική Ανάλυση σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ

Η ελαστική ή ισοδύναμη στατική ανάλυση αποτελεί μία από τις βασικότερες μεθόδους αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία. Η μέθοδος βασίζεται στην αντικατάσταση της δυναμικής σεισμικής δράσης από ένα ισοδύναμο σύστημα στατικών οριζόντιων φορτίσεων, το οποίο παράγει παρόμοια εντατικά μεγέθη και μετακινήσεις στον φορέα (EC8, 2005) (Σπυράκος, 2019).

Σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΔΕΤ, η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε κτίρια που παρουσιάζουν ικανοποιητική κανονικότητα σε κάτοψη και καθ' ύψος, ενώ η απόκρισή τους κυριαρχείται από την πρώτη ιδιομορφή ταλάντωσης (ΚΑΔΕΤ, 2022)

Η φιλοσοφία της μεθόδου στηρίζεται στην παραδοχή ότι η σεισμική απόκριση μπορεί να προσεγγιστεί μέσω μιας στατικής κατανομής αδρανειακών δυνάμεων κατά μήκος του ύψους του φορέα. Η προσέγγιση αυτή θεωρείται επαρκής όταν η συμμετοχή των ανώτερων ιδιομορφών είναι περιορισμένη (EN 1998-1, 2022).

Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται προηγουμένως ο προσδιορισμός της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του κτιρίου μέσω ιδιομορφικής ανάλυσης, ώστε να προσδιοριστεί η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού από το ελαστικό φάσμα απόκρισης. (Chopra, 2020). Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνολικής σεισμικής δύναμης που αναπτύσσεται στη βάση του φορέα.

Η συνολική σεισμική τέμνουσα βάσης εκφράζει το άθροισμα όλων των οριζόντιων αδρανειακών δυνάμεων που ενεργούν στην κατασκευή κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης. Στη συνέχεια η δύναμη αυτή κατανέμεται στους επιμέρους ορόφους ανάλογα με τη μάζα τους και το ύψος στο οποίο βρίσκονται.

Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την προσομοίωση της συνολικής συμπεριφοράς του κτιρίου με τρόπο απλό και υπολογιστικά αποδοτικό, χωρίς όμως να λαμβάνονται υπόψη τα μη γραμμικά φαινόμενα που αναπτύσσονται κατά τη δημιουργία βλαβών στην τοιχοποιία.

Η ελαστική στατική ανάλυση παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα λόγω της απλότητας εφαρμογής και του μικρού υπολογιστικού κόστους της, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τα αρχικά στάδια αποτίμησης υφιστάμενων

κατασκευών (Fardis, 2009). Ωστόσο, επειδή βασίζεται σε γραμμική ελαστική συμπεριφορά, δεν είναι σε θέση να αποτυπώσει με ακρίβεια την εξέλιξη των βλαβών, την ανακατανομή των εντάσεων και τους μηχανισμούς αστοχίας που εμφανίζονται μετά τη διαρροή του υλικού. Για τον λόγο αυτό ο EC8-3 προτείνει τη χρήση μη γραμμικών αναλύσεων όταν απαιτείται ακριβέστερη εκτίμηση της σεισμικής ικανότητας ενός φορέα ((EN 1998-1: Eurocode 8, 2022).

Για την εφαρμογή της ελαστικής (ισοδύναμης) στατικής ανάλυσης απαιτείται ο προσδιορισμός της θεμελιώδους ιδιοπερίοδου του φορέα, καθώς η παράμετρος αυτή επηρεάζει άμεσα την τιμή της φασματικής επιτάχυνσης και, κατά συνέπεια, το μέγεθος των σεισμικών δράσεων που λαμβάνονται υπόψη κατά την αποτίμηση. Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ, όταν δεν είναι διαθέσιμα αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης ή όταν απαιτείται μία προκαταρκτική εκτίμηση της δυναμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος μπορεί να προσδιοριστεί μέσω εμπειρικών σχέσεων (ΚΑΔΕΤ, 2022)

Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος T_1 εκτιμάται από τη σχέση:

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4} \quad (\Sigma 5.3) \text{ (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

όπου:

- T_1 = θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου (sec),
- H = συνολικό ύψος του κτιρίου σε μέτρα, μετρούμενο από τη στάθμη θεμελίωσης ή από την άνω επιφάνεια άκαμπτου υπογείου,
- C_t = εμπειρικός συντελεστής που εξαρτάται από τον δομικό τύπο και τα χαρακτηριστικά του φέροντος οργανισμού.

Η παραπάνω σχέση προέρχεται από στατιστική επεξεργασία μετρήσεων πραγματικών κατασκευών και χρησιμοποιείται ευρέως κατά την προκαταρκτική εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης υφιστάμενων κτιρίων ((EN 1998-1: Eurocode 8, 2022)· (Σπυράκος, 2019)).

Στις περιπτώσεις όπου η σεισμική απόκριση ελέγχεται κυρίως από τη μεταφορική συμπεριφορά του φορέα, στις επόμενες σχέσεις λαμβάνεται υπόψη η θεμελιώδης

μεταφορική ιδιοπερίοδος του δομήματος, καθώς αυτή εκφράζει τον κυρίαρχο μηχανισμό ταλάντωσης της κατασκευής (Fardis, 2009)

Εφαρμογή της μεθόδου με κριτήριο ελέγχου τις δυνάμεις

Όταν η αποτίμηση βασίζεται σε ελέγχους εντατικών μεγεθών, η σεισμική τέμνουσα βάσης υπολογίζεται από το τροποποιημένο φάσμα σχεδιασμού μέσω της σχέσης:

$$V_{el} = C_m \cdot S_d(T) \cdot \frac{W}{g} \quad (\Sigma 5.6\alpha) \text{ (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

όπου:

- V_{el} = ελαστική σεισμική τέμνουσα βάσης,
- C_m = συντελεστής δρώσας μάζας,
- $S_d(T)$ = φασματική ολική επιτάχυνση σχεδιασμού που αντιστοιχεί στη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο T ,
- W = συνολικό βάρος του κτιρίου,
- g = επιτάχυνση της βαρύτητας.

Ο συντελεστής δρώσας μάζας C_m λαμβάνεται ίσος με:

$$C_m = 1.0$$

για μονώροφα και διώροφα κτίρια, ενώ:

$$C_m = 0.80$$

για κτίρια με τρεις ή περισσότερους ορόφους (ΚΑΔΕΤ, 2024).

Η μείωση της τιμής του συντελεστή στις πολυώροφες κατασκευές αποσκοπεί στην προσεγγιστική συνεκτίμηση της μη πλήρους συμμετοχής της συνολικής μάζας στην πρώτη ιδιομορφή ταλάντωσης (Lagomarsino & Cattari, 2015).

Β. Εφαρμογή της μεθόδου με κριτήριο ελέγχου τις παραμορφώσεις

Όταν η αποτίμηση πραγματοποιείται με βάση τις αναμενόμενες μετακινήσεις και παραμορφώσεις του φορέα, η ελαστική σεισμική τέμνουσα βάσης υπολογίζεται από το ελαστικό φάσμα απόκρισης σύμφωνα με τη σχέση:

$$V_{el} = C_m \cdot S_e(T) \cdot \frac{W}{g} \quad (\Sigma 5.6\beta) \text{ (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

όπου:

- $S_e(T)$ = ελαστική φασματική επιτάχυνση που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο T ,
- οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν την ίδια έννοια με την προηγούμενη εξίσωση.

Η χρήση του ελαστικού φάσματος επιτρέπει την άμεση εκτίμηση των παραμορφωσιακών απαιτήσεων που επιβάλλει ο σεισμός στην κατασκευή, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό κατά την αποτίμηση υφιστάμενων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία, όπου οι μηχανισμοί βλάβης σχετίζονται άμεσα με τις αναπτυσσόμενες παραμορφώσεις και τις σχετικές μετακινήσεις των τοίχων (EN 1998-3: , 2022)

Στην πράξη, η επιλογή μεταξύ της σχέσης (5.6α) και της σχέσης (5.6β) του ΚΑΔΕΤ εξαρτάται από τη φιλοσοφία της αποτίμησης και από το είδος των κριτηρίων επάρκειας που έχουν υιοθετηθεί. Οι έλεγχοι που βασίζονται στις δυνάμεις εστιάζουν στην αντοχή των δομικών στοιχείων, ενώ οι έλεγχοι που βασίζονται στις παραμορφώσεις επιδιώκουν την αξιολόγηση της πραγματικής σεισμικής συμπεριφοράς και της στάθμης επιτελεστικότητας του φορέα (EN 1998-3: , 2022) (ΚΑΔΕΤ, 2022).

4.6 Ιδιομορφική Ανάλυση Φάσματος Απόκρισης (Ελαστική Δυναμική Ανάλυση) σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ

Η ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης αποτελεί μία προηγμένη μέθοδο ελαστικής δυναμικής ανάλυσης, η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης μιας κατασκευής αξιοποιώντας τα δυναμικά χαρακτηριστικά της, όπως οι ιδιοπερίοδοι και οι ιδιομορφές ταλάντωσης. Σε αντίθεση με την ελαστική στατική ανάλυση, όπου η σεισμική δράση προσεγγίζεται μέσω ισοδύναμων οριζόντιων φορτίων, η συγκεκριμένη μέθοδος εξετάζει τη συνεισφορά κάθε ιδιομορφής στη συνολική συμπεριφορά του φορέα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ακριβέστερη

προσομοίωση της δυναμικής απόκρισης, ιδιαίτερα σε κατασκευές με πολύπλοκη γεωμετρία ή ανομοιόμορφη κατανομή μάζας και δυσκαμψίας ((Σπυράκος, 2019); (ΚΑΔΕΤ, 2022)).

Η διαδικασία της ανάλυσης ξεκινά με τον υπολογισμό των ιδιοτιμών και των αντίστοιχων ιδιομορφών του φορέα. Κάθε ιδιομορφή αντιπροσωπεύει έναν χαρακτηριστικό τρόπο ταλάντωσης της κατασκευής, ενώ η συμβολή της στη συνολική σεισμική απόκριση εκφράζεται μέσω της δρώσας ιδιομορφικής μάζας. Επειδή δεν επηρεάζουν όλες οι ιδιομορφές στον ίδιο βαθμό τη συμπεριφορά του φορέα, κατά την ανάλυση λαμβάνονται υπόψη μόνο εκείνες που παρουσιάζουν ουσιαστική συμμετοχή στη δυναμική απόκριση (European Committee for Standardization (CEN), 2022).

Σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΔΕΤ (§5.5) (ΚΑΔΕΤ, 2022), η επιλογή του αριθμού των ιδιομορφών πρέπει να εξασφαλίζει ότι η δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής αποδίδεται με επαρκή ακρίβεια. Η απαίτηση αυτή θεωρείται ότι ικανοποιείται όταν η αθροιστική συμμετοχή της ενεργού ιδιομορφικής μάζας των ιδιομορφών που συμμετέχουν στην ανάλυση αντιστοιχεί τουλάχιστον στο 75% της συνολικής μάζας του φορέα. Εναλλακτικά, είναι αποδεκτό να συμπεριληφθούν όλες οι ιδιομορφές των οποίων η δρώσα ιδιομορφική μάζα υπερβαίνει το 5% της συνολικής μάζας της κατασκευής ((ΚΑΔΕΤ, 2022), §5.5).

Στην περίπτωση τρισδιάστατων μαθηματικών προσομοιωμάτων, ο παραπάνω έλεγχος δεν πραγματοποιείται συνολικά για ολόκληρο το μοντέλο, αλλά ανεξάρτητα για καθεμία από τις κύριες διευθύνσεις σεισμικής διέγερσης. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ότι η δυναμική απόκριση περιγράφεται ικανοποιητικά τόσο κατά τον άξονα Χ όσο και κατά τον άξονα Υ, γεγονός που αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε κτίρια με εκκεντρότητες, ακανόνιστη κάτοψη ή έντονες στρεπτικές επιδράσεις ((ΚΑΔΕΤ, 2022)).

Όσο αφορά την προσομοίωση με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία στην ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης, η συνολική σεισμική συμπεριφορά του φορέα δεν προκύπτει από μία μόνο μορφή ταλάντωσης, αλλά από τη συνδυασμένη δράση όλων των ιδιομορφών που συμμετέχουν ουσιαστικά στη δυναμική απόκριση της κατασκευής. Για τον λόγο αυτό, μετά τον υπολογισμό των ιδιομορφών απαιτείται η κατάλληλη σύνθεση των επιμέρους αποκρίσεων, ώστε να εκτιμηθούν με ρεαλιστικό

τρόπο τα τελικά σεισμικά μεγέθη, όπως οι μετακινήσεις, οι εσωτερικές δυνάμεις και οι (ΚΑΔΕΤ, 2022).

Για κάθε ιδιομορφή του φορέα υπολογίζεται ανεξάρτητα η χρονική μεταβολή της απόκρισης, η οποία εκφράζει τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσεται η δυναμική συμπεριφορά της συγκεκριμένης ιδιομορφής κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης. Η απόκριση οποιουδήποτε σεισμικού μεγέθους, όπως μια μετακίνηση, μία εσωτερική δύναμη ή μία τάση, προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της ιδιομορφικής τιμής του αντίστοιχου μεγέθους με τη χρονική συνάρτηση απόκρισης της συγκεκριμένης ιδιομορφής (Σπυράκος, 2019)).

Η σχέση αυτή εκφράζεται από την εξίσωση:

$$E_{k,j}(t) = E_{k,j0} \cdot Y_j(t)$$

όπου:

- $E_{k,j}(t)$: στιγμιαία τιμή του εξεταζόμενου σεισμικού μεγέθους για την ιδιομορφή j ,
- $E_{k,j0}$: ιδιομορφική τιμή του ίδιου σεισμικού μεγέθους,
- $Y_j(t)$: χρονική συνάρτηση απόκρισης της ιδιομορφής j .

Αφού υπολογιστούν οι επιμέρους αποκρίσεις για όλες τις ιδιομορφές που συμμετέχουν στην ανάλυση, ακολουθεί ο συνδυασμός τους προκειμένου να προσδιοριστεί η δυσμενέστερη τιμή του εξεταζόμενου μεγέθους. Η μέγιστη σεισμική απόκριση υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη συμβολή κάθε ιδιομορφής, έτσι ώστε να αποδίδεται με μεγαλύτερη αξιοπιστία η πραγματική δυναμική συμπεριφορά της κατασκευής (ΚΑΔΕΤ, 2022)).

Η γενική μορφή της σχέσης είναι:

$$E_{E,k} = \max_t \left[\sum_{j=1}^n E_{k,j}(t) \right] \quad (\Sigma 5.10) \quad (\text{ΚΑΔΕΤ, 2022})$$

όπου:

- $E_{E,k}$ είναι η μέγιστη τιμή του εξεταζόμενου σεισμικού μεγέθους,

- $E_{k,j}$ είναι η συμβολή της ιδιομορφής j ,
- n είναι ο συνολικός αριθμός των ιδιομορφών που έχουν συμπεριληφθεί στην ανάλυση.

Στην πράξη, οι μέγιστες αποκρίσεις των επιμέρους ιδιομορφών δεν εμφανίζονται την ίδια χρονική στιγμή. Για τον λόγο αυτό δεν είναι ορθό να αθροίζονται αλγεβρικά. Αντίθετα, εφαρμόζονται ειδικές μέθοδοι στατιστικού συνδυασμού, όπως η SRSS (Square Root of the Sum of the Squares) και η CQC (Complete Quadratic Combination), οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ των ιδιομορφών. Η μέθοδος SRSS χρησιμοποιείται όταν οι ιδιοπερίοδοι των ιδιομορφών διαφέρουν σημαντικά, ενώ η μέθοδος CQC προτιμάται όταν υπάρχουν γειτονικές ιδιοπερίοδοι και επομένως αυξημένη δυναμική συσχέτιση (ΚΑΔΕΤ, 2022)

Η ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης προσφέρει μεγαλύτερη αξιοπιστία από την ελαστική στατική ανάλυση όταν η σεισμική συμπεριφορά του φορέα επηρεάζεται από περισσότερες της μίας ιδιομορφές ή όταν εμφανίζονται σημαντικές στρεπτικές επιδράσεις. Για τον λόγο αυτό προτείνεται για την αποτίμηση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία με σύνθετη μορφολογία, ακανόνιστη διάταξη φερόντων τοίχων ή ανομοιόμορφη κατανομή δυσκαμψίας, όπου η ακριβής αποτύπωση της δυναμικής συμπεριφοράς αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αξιόπιστη αξιολόγηση της φέρουσας ικανότητας (ΚΑΔΕΤ, 2022) (Σπυράκος, 2019).

4.7 Η Ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover) με τη χρήση προσομοιώματος ΜΠ (γραμμικά στοιχεία).

Η ανελαστική στατική ανάλυση, γνωστή διεθνώς ως Pushover Analysis, αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Σε αντίθεση με την ελαστική στατική ανάλυση, η οποία βασίζεται στη γραμμική συμπεριφορά των υλικών, η ανελαστική ανάλυση επιτρέπει την προσομοίωση της πραγματικής μετελαστικής απόκρισης του φορέα και την παρακολούθηση της σταδιακής εξέλιξης των βλαβών μέχρι την επίτευξη της οριακής κατάστασης αστοχίας (ΚΑΔΕΤ, 2022)). Η μέθοδος περιλαμβάνεται στις προβλεπόμενες διαδικασίες αποτίμησης του ΚΑΔΕΤ και του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 και θεωρείται ιδιαίτερα κατάλληλη για κατασκευές από

φέρουσα τοιχοποιία, καθώς επιτρέπει την αποτύπωση της μη γραμμικής συμπεριφοράς των πεσσών και των υπερθύρων, καθώς και την εκτίμηση των διαθέσιμων αποθεμάτων αντοχής πέραν της ελαστικής (EN 1998-3: , 2022)

Η ανελαστική στατική ανάλυση αποτελεί μία ενδιάμεση προσέγγιση μεταξύ των απλών ελαστικών μεθόδων και των απαιτητικών ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων, συνδυάζοντας ικανοποιητική ακρίβεια με σχετικά περιορισμένες υπολογιστικές απαιτήσεις (Σπυράκος, 2019).

Η μέθοδος βασίζεται στην επιβολή σταδιακά αυξανόμενων οριζόντιων φορτίων στο αριθμητικό μοντέλο της κατασκευής, σύμφωνα με προκαθορισμένη μορφή κατανομής. Κατά τη διαδικασία αυτή ο φορέας εξαναγκάζεται να αναπτύξει σταδιακά ανελαστικές παραμορφώσεις, επιτρέποντας τον εντοπισμό των πρώτων βλαβών και την παρακολούθηση της εξέλιξης των μηχανισμών αστοχίας. Καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη φόρτιση, ο φορέας μεταβαίνει από την ελαστική περιοχή στην ανελαστική συμπεριφορά, με αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της δυσκαμψίας και την ανακατανομή των εντατικών μεγεθών μεταξύ των δομικών στοιχείων (Σπυράκος, 2019).

Το βασικό αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι η καμπύλη ικανότητας (Capacity Curve), η οποία απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της σεισμικής τέμνουσας βάσης και της μετακίνησης του κόμβου ελέγχου. Η καμπύλη αυτή παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη δυσκαμψία του φορέα το σημείο διαρροής, τη μέγιστη αντοχή, την διαθέσιμη πλαστιμότητα και την οριακή κατάσταση αστοχίας (ΚΑΔΕΤ, 2022) (EN 1998-3: , 2022).

Έννοια της Στοχευόμενης Μετακίνησης

Στην ανελαστική στατική ανάλυση η σεισμική απαίτηση δεν εκφράζεται κυρίως μέσω δυνάμεων αλλά μέσω μετακινήσεων. Για τον λόγο αυτό η αξιολόγηση της επάρκειας του φορέα πραγματοποιείται με σύγκριση της διαθέσιμης ικανότητας παραμόρφωσης με τη σεισμική απαίτηση που αντιστοιχεί στον εξεταζόμενο σεισμό. Η σεισμική απαίτηση εκφράζεται μέσω της στοχευόμενης μετακίνησης (Target Displacement), δηλαδή της μετακίνησης που αναμένεται να αναπτυχθεί στη στέψη του φορέα κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης.

Η στοχευόμενη μετακίνηση αποτελεί τη σεισμική απαίτηση σε όρους μετακίνησης και χρησιμοποιείται για τη σύγκριση με τη διαθέσιμη ικανότητα του φορέα. Η μετακίνηση αυτή αντιστοιχεί στη μετακίνηση-στόχο του κόμβου ελέγχου και αποτελεί το βασικό κριτήριο αξιολόγησης της σεισμικής επάρκειας της κατασκευής. (ΚΑΔΕΤ, 2022)

Προκύπτει από το ελαστικό φάσμα απόκρισης μέσω μετασχηματισμού της πραγματικής κατασκευής σε ένα ισοδύναμο σύστημα μίας ελευθερίας κίνησης (ΣΜΕΚ). Η διαδικασία αυτή βασίζεται στη θεμελιώδη παραδοχή ότι η συνολική σεισμική συμπεριφορά του φορέα μπορεί να προσεγγιστεί μέσω ενός ισοδύναμου ταλαντωτή με μία μόνο βαθμίδα ελευθερίας, ο οποίος διαθέτει δυναμικά χαρακτηριστικά ισοδύναμα με εκείνα του πραγματικού συστήματος (ΕΝ 1998-1, Παράρτημα Β).

Η μετατροπή του πραγματικού φορέα σε ισοδύναμο σύστημα μίας ελευθερίας κίνησης αποτελεί κρίσιμο στάδιο της μεθόδου pushover. Το πραγματικό κτίριο αποτελεί σύστημα πολλών βαθμών ελευθερίας (MDOF), στο οποίο κάθε όροφος διαθέτει ανεξάρτητες μετακινήσεις και αδρανειακές ιδιότητες. Για να καταστεί δυνατή η εφαρμογή των φασματικών μεθόδων, το σύστημα αυτό αντικαθίσταται από έναν ισοδύναμο μονοβάθμιο ταλαντωτή (SDOF).

Η διαδικασία περιλαμβάνει:

- Υπολογισμό της πρώτης ιδιομορφής.
- Υπολογισμό της ενεργού μάζας.
- Προσδιορισμό του συντελεστή συμμετοχής.
- Μετασχηματισμό της καμπύλης ικανότητας σε φασματική μορφή.
- Υπολογισμό της μετακίνησης-στόχου.

Η προσέγγιση αυτή προτείνεται τόσο από τον Ευρωκώδικα 8 όσο και από τον ΚΑΔΕΤ για την αποτίμηση υφιστάμενων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία (ΕΝ 1998-1: Eurocode 8, 2022) (ΚΑΔΕΤ, 2022)

5. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΤΟ SCADA PRO

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάζεται η διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής αριθμητικών προσομοιωμάτων για κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία μέσω του λογισμικού SCADA Pro. Αναλύεται η μετάβαση από ένα πραγματικό δομικό σύστημα στο υπολογιστικό του ισοδύναμο, παρουσιάζοντας αναλυτικά τόσο τη μηχανική θεώρηση όσο και τη μαθηματική διατύπωση του προβλήματος. Στο πλαίσιο αυτό, διερευνώνται δύο διαφορετικές προσεγγίσεις προσομοίωσης: αφενός η Μέθοδος του Ισοδύναμου Πλαισίου, σε συνδυασμό με ανελαστική στατική ανάλυση, και αφετέρου η προσομοίωση με πεπερασμένα επιφανειακά στοιχεία, μέσω ελαστικής ανάλυσης. Καταγράφονται αναλυτικά τα στάδια δημιουργίας των αντίστοιχων υπολογιστικών μοντέλων, οι παραδοχές που υιοθετούνται, καθώς και η διαδικασία εκτέλεσης των αναλύσεων στο περιβάλλον του λογισμικού. Η διαδικασία μοντελοποίησης μπορεί να θεωρηθεί ως μία ακολουθία μετασχηματισμών που οδηγούν από το πραγματικό δομικό σύστημα στο αριθμητικό του ισοδύναμο.

Το πραγματικό κτίριο αποτελείται από:

- τοίχους,
- πατώματα,
- στέγη,
- θεμελίωση,
- ανοίγματα,
- υλικά με μεταβλητές ιδιότητες.

Το υπολογιστικό μοντέλο αποτελεί μία ιδεατή αναπαράσταση αυτών των στοιχείων μέσω μαθηματικών σχέσεων και πεπερασμένων στοιχείων. Στόχος της διαδικασίας είναι η επίτευξη μιας ισορροπίας μεταξύ:

- ακρίβειας,
- υπολογιστικού κόστους,
- διαθεσιμότητας δεδομένων.

Η υπερβολικά απλοποιημένη προσομοίωση μπορεί να οδηγήσει σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα, ενώ η υπερβολικά σύνθετη προσομοίωση συχνά εισάγει αβεβαιότητες που δεν μπορούν να υποστηριχθούν από τα διαθέσιμα δεδομένα.

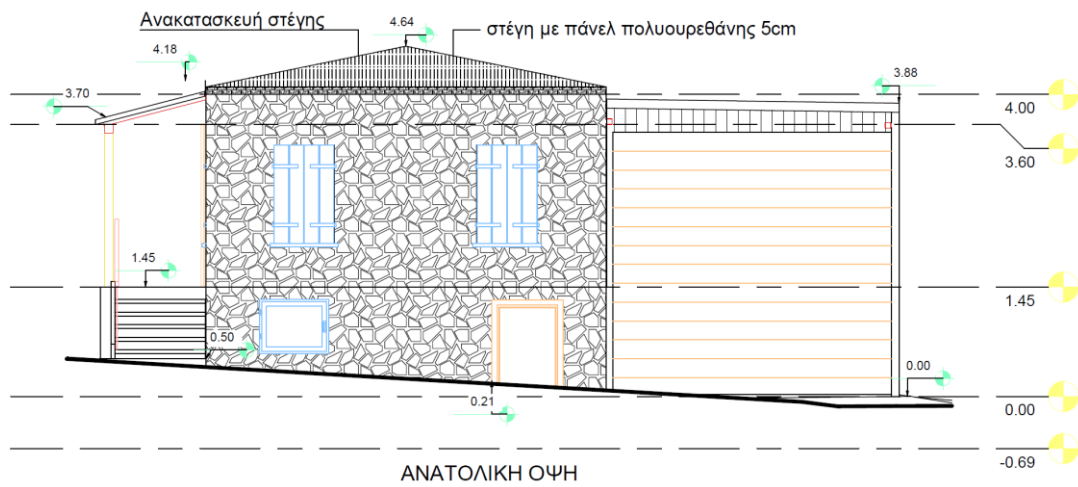
5.1 Μοντέλο προς εξέταση

Το εξεταζόμενο κτίριο είναι τυπικό κτίριο φέρουσας τοιχοποιίας κατασκευής 1930. Βρίσκεται στην κοινότητα Τραγάνας Λοκρίδος, Δήμου Λοκρών στην Περιφεριακή ενότητα Φθιώτιδος της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδος. Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει κατασκευαστεί από Φέρουσα τοιχοποιία από λίθους λαξευτούς (ισόγειο και πρώτος).

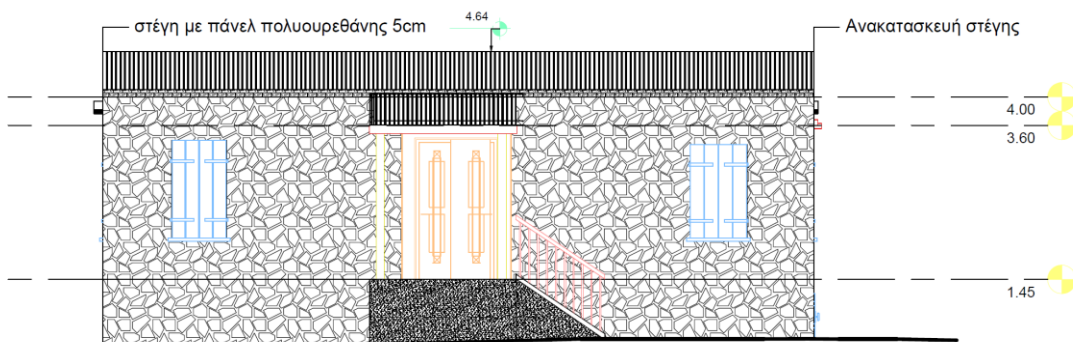
Ως κάτοψη το κτίριο είναι ορθογωνικής γεωμετρίας διαστάσεων 10μέτρα επί 5,30 μέτρα με ύψος ισογείου 2,12μέτρα και ύψος πρώτου 2,55μέτρα. Η ξύλινη στέγη έχει αντικατασταθεί από μεταλλικό δικτύωμα κοιλοδοκών.

Όλες οι τοιχοποιίες του κτιρίου είναι διπλής στρώσης με αργολιθοδομές. Οι τοιχοποιίες έχουν πάχος 54εκατοστά ενώ οι δύο εσωτερικές τοιχοποιίες στην μικρή διεύθυνση κτιρίου στο ισόγειο έχουν κατασκευαστεί μεταγενέστερα από οπτοπλινθοδομές 12cm. Αυτές δεν θα ληφθούν υπόψιν στο προσομοίωμα καθώς στην ουσία αποτελούν απλές τοιχοπληρώσεις και δευτερεύοντα στοιχεία.

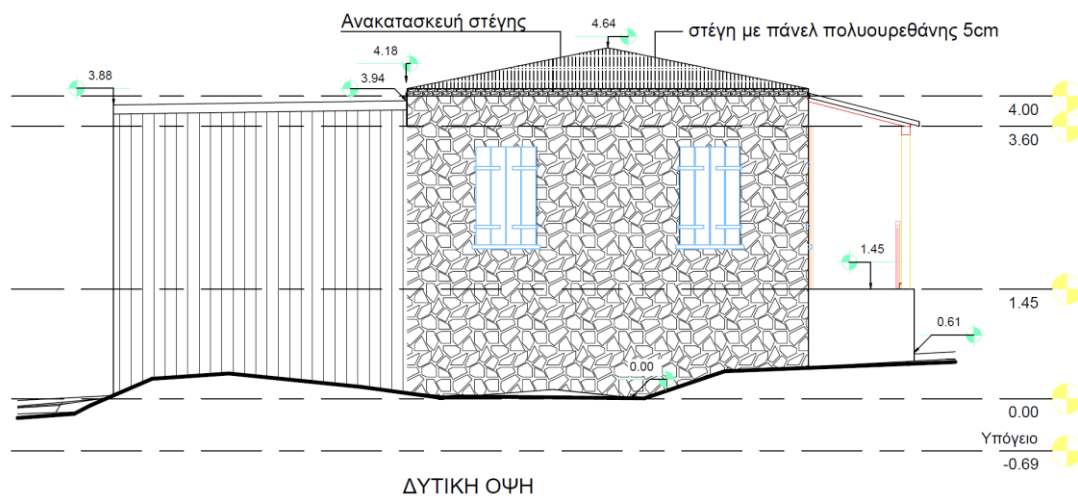
Το πάτωμα του ισογείου είναι ξύλινο. Αποτελείται από παράλληλα διατεταγμένες ξύλινες δοκούς, οι οποίες εδράζονται εντός της φέρουσας τοιχοποιίας. Επάνω στις δοκούς αυτές διαμορφώνεται το δάπεδο μέσω ξύλινου σανιδώματος, το οποίο στερεώνεται μηχανικά με καρφιά, δημιουργώντας ένα ενιαίο δομικό σύστημα. Η συγκεκριμένη κατασκευαστική διάταξη είναι χαρακτηριστική των παραδοσιακών κτηρίων από φέρουσα τοιχοποιία, όπου τα ξύλινα πατώματα λειτουργούν ως στοιχεία μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων προς τους περιμετρικούς τοίχους.



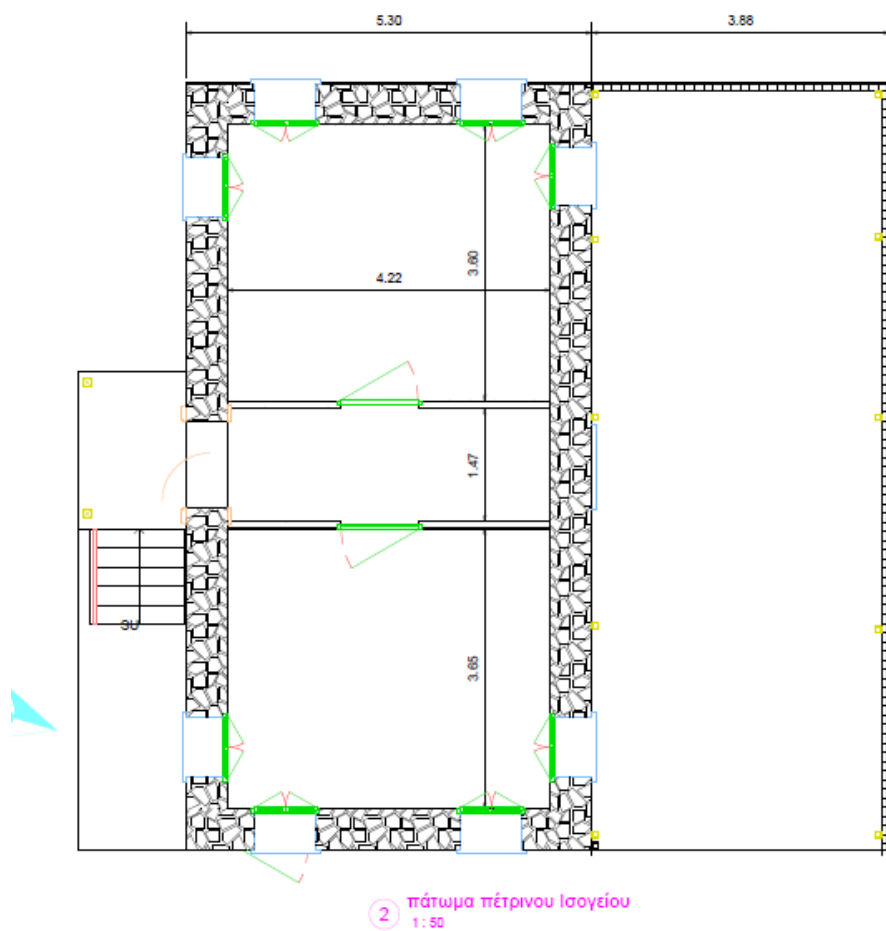
Εικόνα 5-0-1 Ανατολική όψη



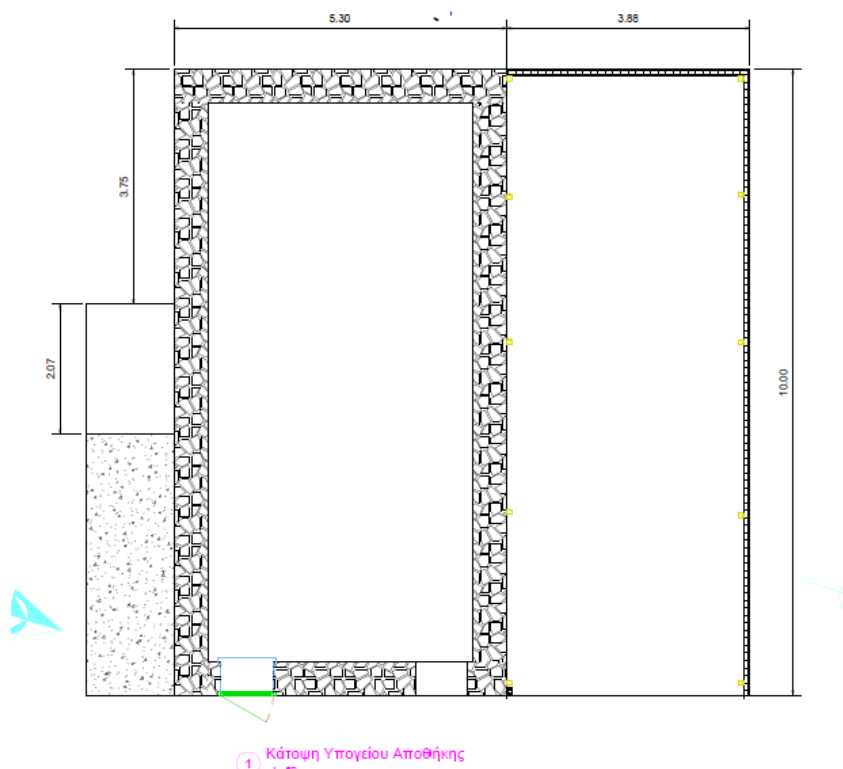
Εικόνα 5-0-2 Νότια Όψη



Εικόνα 5-0-3 Δυτική όψη



Εικόνα 5-0-4 Κάτοψη 1º Ορόφου



Εικόνα 5-0-5 Κάτοψη Ισογείου

5.1.1 Υλικά Κατασκευής

Φέρουσες τοιχοποιίες (κατά ΚΑΔΕΤ)

Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου αποτελείται από δίστρωτη τοιχοποιία με διάτονα λιθοσώματα με τα μηχανικά χαρακτηριστικά της να παρουσιάζονται στον πίνακα.

Κατηγορία	Παράμετρος	Τιμή	Τεχνικός σχολιασμός
Γενικά	Πάχος Λίθινου τοίχου	0.54 m	Μεγάλο πάχος που αυξάνει τη δυσκαμψία και τη φέρουσα ικανότητα.
Λιθοσώματα	Θλιπτική αντοχή	15.29 N/mm ²	Υψηλή αντοχή φυσικών λαξευτών λίθων.
Λιθοσώματα	Αηγμένη αντοχή f_b	14.53 N/mm ²	Χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς του EC6.

Κονίαμα	Θλιπτική αντοχή	2.22 N/mm ²	Αντιστοιχεί σε σχετικά ασθενές παραδοσιακό κονίαμα.
Τοιχοποιία	Χαρακτηριστική αντοχή f_k	2.98 N/mm ²	Κύρια παράμετρος για τον έλεγχο θλίψης της τοιχοποιίας.
Τοιχοποιία	Διατμητική αντοχή f_{vko}	0.10 N/mm ²	Χαμηλή τιμή, τυπική για άοπλη λιθοδομή.
Τοιχοποιία	Καμπτική αντοχή f_{xk1}	0.10 N/mm ²	Αντοχή σε κάμψη κάθετα στους οριζόντιους αρμούς.
Τοιχοποιία	Καμπτική αντοχή f_{xk2}	0.20 N/mm ²	Αντοχή σε κάμψη παράλληλα στους οριζόντιους αρμούς.
Τοιχοποιία	Μέτρο Ελαστικότητας E	2.38 GPa	Εκφράζει τη συνολική δυσκαμψία της τοιχοποιίας.
Τοιχοποιία	Μέτρο Διάτμησης G	1.19 GPa	Παράμετρος σημαντική για σεισμικές αναλύσεις.

Πίνακας 5-0-1 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες της εξεταζόμενης λιθοδομής

Η εξεταζόμενη λιθοδομή παρουσιάζει ικανοποιητική θλιπτική αντοχή λόγω της χρήσης λαξευτών φυσικών λίθων. Η σχετικά χαμηλή διατμητική αντοχή αποτελεί το κρίσιμο μέγεθος για τη σεισμική συμπεριφορά, γεγονός που δικαιολογεί τη διενέργεια αναλύσεων αποτίμησης σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και το EN 1998-3.

Το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας υπολογίστηκε από την σχέση $E = 800 \cdot f_{wc}$

Θλιπτική Αντοχή

Ο υπολογισμός της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας πραγματοποιείται σύμφωνα με τη διατύπωση της παραγράφου 6.2.4.1 του Κ.Α.Δ.Ε.Τ., η οποία αναφέρεται σε δίστρωτες λιθοδομές με διάτονα λιθοσώματα. Η σχέση αυτή

χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συνολικής αντοχής της τοιχοποιίας σε θλίψη, συσχετίζοντας τις μηχανικές ιδιότητες των συστατικών υλικών και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δομής της λιθοδομής. Η επιλογή της συγκεκριμένης εξίσωσης βασίζεται στην τυπολογία της εξεταζόμενης κατασκευής και στις απαιτήσεις του κανονιστικού πλαισίου για την αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία.

Η θλιπτική αντοχή της υπολογίσθηκε από την σχέση:

$$f_{wc} = \xi \cdot \left[\left\{ \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_{bc}} - f_0 \right\} + \lambda \cdot f_{mc} \right] \quad (6.3 \text{ ΚΑΔΕΤ}) \quad (\text{ΚΑΔΕΤ, 2022})$$

όπου:

- f_{bc} : η θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων που συνθέτουν την τοιχοποιία.
- f_{mc} : η θλιπτική αντοχή του συνδετικού κονιάματος.
- f_0 : εμπειρικός συντελεστής που εκφράζει τον βαθμό κατεργασίας και τη μορφή των λίθων. Για λιθοδομές από κατεργασμένους λίθους λαμβάνει τιμές από 0,50 έως 1,00, ενώ για αργολιθοδομές κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 1,50 και 2,50.
- λ : συντελεστής που αποτυπώνει τον βαθμό συνάφειας και συνεργασίας μεταξύ λιθοσώματος και κονιάματος. Η τιμή του εξαρτάται από την τραχύτητα της επιφάνειας των λίθων και λαμβάνεται ίση με 0,50 για τραχείς λίθους και 0,10 για ιδιαίτερα λείες επιφάνειες.
- ξ : διορθωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη δυσμενή επίδραση του αυξημένου πάχους των αρμών κονιάματος στη θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας. Η τιμή του υπολογίζεται από τη σχέση: $\xi = 1/[1+3.5(k-k_0)]$, με $k (\geq 0.30)$ ο λόγος όγκου κονιάματος προς τον όγκο της τοιχοποιίας (V_m/V_w) και $k_0=0.30$.

Λαμβάνεται $\xi=1$

Διατμητική Αντοχή

Η αντίσταση της τοιχοποιίας σε διατμητικές καταπονήσεις που οδηγούν σε ολίσθηση κατά μήκος των αρμών εκτιμάται σύμφωνα με τη σχέση που προβλέπεται στην

παράγραφο 6.5.2 του Κ.Α.Δ.Ε.Τ., η οποία είναι συμβατή με τις αντίστοιχες διατάξεις του Ευρωκώδικα 6.

$$f_v = f_{v0} + \mu \sigma \leq 0.065 f_{bc}$$

Η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας εξαρτάται από τη συνοχή των αρμών και από το επίπεδο της θλιπτικής τάσης που δρα κάθετα στο επίπεδο ολίσθησης.

Στη σχέση αυτή:

- f_v η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας,
- f_{v0} η διατμητική αντοχή υπό μηδενική ορθή θλιπτική τάση,
- μ ο φαινόμενος συντελεστής τριβής μεταξύ των επιφανειών ολίσθησης,
- σ είναι η κατακόρυφη θλιπτική τάση που δρα στην τοιχοποιία,
- f_{bc} είναι η θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων.

Σύμφωνα με τις κατευθύνσεις του Κ.Α.Δ.Ε.Τ., όταν δεν είναι διαθέσιμα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών ή άλλες αξιόπιστες πληροφορίες για τα υλικά της κατασκευής, ο συντελεστής τριβής μπορεί να θεωρηθεί ίσος με $\mu = 0,40$, τιμή η οποία υιοθετείται και από τον Ευρωκώδικα 6. Παράλληλα, η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας χωρίς την επίδραση θλιπτικών τάσεων λαμβάνεται ίση με $f_{v0} = 0,10$ MPa. Με βάση τις παραπάνω παραδοχές, η εξίσωση προσδιορισμού της διατμητικής αντοχής απλοποιείται ως εξής:

$$f_v = 0,10 + 0,40 \cdot \sigma$$

με την προϋπόθεση ότι η υπολογιζόμενη τιμή δεν υπερβαίνει το ανώτατο όριο που θέτει ο κανονισμός σε συνάρτηση με τη θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων. Η σχέση αυτή αποτυπώνει τη βελτίωση της διατμητικής συμπεριφοράς της τοιχοποιίας λόγω της παρουσίας θλιπτικών τάσεων, οι οποίες αυξάνουν την τριβή μεταξύ των δομικών στοιχείων και περιορίζουν την πιθανότητα ολίσθησης κατά μήκος των αρμών.

οπτοπλινθοδομή θλιπτική αντοχή οπτοπλινθοδομής

Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες της εξεταζόμενης οπτοπλινθοδομής

Πάχος οπτοπλινθοδομής	0.12m
$f_{bc,οπτ}$	8 N/mm ²
$f_{mc\ \alpha}$	1 N/mm ²
$F_{w,οπτ}$	0,5
Μέτρο Ελαστικότητας E	1,38 N/mm ²
	1,10 GPa

Πίνακας 5-0-2 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες της εξεταζόμενης οπτοπλινθοδομής

Για την οπτοπλινθοδομή η θλιπτική αντοχή υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$f_{w,οπτ} = [f_{mc} + 0.40 \cdot (f_{bc} - f_{mc})] \cdot \left(1 - 0.8 \cdot a^{\frac{1}{3}}\right) \quad (6.1 \text{ ΚΑΔΕΤ}) \quad (\text{ΚΑΔΕΤ}, 2022)$$

Όπου

$f_{bc,οπτ}=8 \text{ MPa,}$

$f_{mc}=1 \text{ MPa,}$

$\alpha=0.50.$

Σκυροδέματα

Η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος στο διάζωμα του πρώτου ορόφου είναι $f_{ck}=12\text{MPa}$. Συνεπώς η κατηγορία σκυροδέματος προέκυψε C12/15 με μέτρο ελαστικότητας $E_c=27 \text{ GPa}$.

Μέση θλιπτική αντοχή υφιστάμενων σκυροδεμάτων

12.00 MPa

Ξυλεία (κατά EC5)

Η Φυσική ξυλεία υφιστάμενων μελών κατηγορίας είναι C24

5.1.2 Παραδοχές

Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων για Αποτίμηση & Ενίσχυση

Ανεκτή Στάθμη Αξιοπιστίας με $\gamma_m = \gamma_w = 1.5$.

Σοβαρότητα και ένταση βλαβών

Έντονες και εκτεταμένες βλάβες ή/και επεμβάσεις και $\gamma_{Ed} = 1.10$ (Πίνακας Σ4.1 ΚΑΔΕΤ).

Φορτία

Ειδικά βάρη

Οπλισμένο σκυρόδεμα KN/m ³	25.0
Οπτοπλινθοδομές KN/m ³	15.0
Λιθοδομές KN/m ³	22.0

Μόνιμα φορτία

Επικαλύψεις στέγης KN/m ²	1.3
---	-----

Ωφέλιμα φορτία

Άνεμος κατακόρυφου επιφανείας KN/m ²	1.40
Χιόνι KN/m ²	0.30

Σεισμικότητα

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ($\alpha_g=0.24$)	II
Κατηγορία σπουδαιότητας ($\gamma_1=1.20$)	$\Sigma 3$
Κατηγορία εδάφους ($S=1.2$)	B
Συντελεστής συνδυασμού δράσεων	$\psi_2=0.30$
Συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς: $q=2$	

5.2 Εισαγωγή των δεδομένων τοιχοποιίας στην βιβλιοθήκη του λογισμικού

Η διαδικασία προσομοίωσης στο SCADA Pro ξεκινά με την εισαγωγή των γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του φορέα. Το λογισμικό διαθέτει ενσωματωμένη βιβλιοθήκη τοιχοποιίας, η οποία περιλαμβάνει προκαθορισμένους τύπους δομικών υλικών και τοιχοποιιών σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ισχυόντων κανονισμών, παρέχοντας στον μελετητή τη δυνατότητα επιλογής ή τροποποίησης των χαρακτηριστικών τους ανάλογα με τα δεδομένα της υπό εξέταση κατασκευής.

Καταχωρείται λοιπόν με βάση τα μηχανικά χαρακτηριστικά ο τύπος της υπάρχουσας τοιχοποιίας για την δίστρωτη τοιχοποιία με διάτονα λιθοσώματα καθώς και για την υπάρχουσα οπτοπλινθοδομή. Μετά την επιλογή του κατάλληλου λιθοσώματος και του αντίστοιχου κονιάματος, το πρόγραμμα υπολόγισε αυτόματα τις μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας και δημιούργησε τον νέο τύπο τοίχου, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για τη μοντελοποίηση των φερόντων στοιχείων του κτιρίου.

Επιλέγεται ο τύπος της τοιχοποιίας (δίστρωτη για τον λίθινο τοίχο) ενώ παράλληλα προσδιορίζονται τα δομικά υλικά που τη συνθέτουν, όπως τα λιθοσώματα και το κονίαμα.

Ιδιότητες Τοιχοποιίας

Λιθινός Τοίχος διαστρωτός 54cm

Όνομα

Λιθινός Τοίχος διαστρωτός 54cm

Τύπος

Φέρουσα

Διπλός τοίχος

Λιθόσωμα

Λιθοσωμα Τραγάνα

Πάχος (cm)

27

$f_b=15.2900$

$f_{bc}=14.5300$

$\epsilon=25.00$

Κονίαμα

Τσιμεντοκονίαμα Υφιστάμενο

Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως $f_m=0.7500$

Αντηρίδες

?

L1

0

t_1 (cm)

0

t_2 (cm)

0

Σκαφοειδής τοίχος

Συνολικό πλάτος λωρίδων κονιάματος g (cm)

0

$t_{ef}=27.00$

$k=0.45$

$f_k=2.7849$

Λιθόσωμα

Λιθοσωμα Τραγάνα

Πάχος (cm)

27

$f_b=15.2900$

$f_{bc}=14.5300$

$\epsilon=25.00$

Κονίαμα

Τσιμεντοκονίαμα Υφιστάμενο

Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως $f_m=0.7500$

Αντηρίδες

?

L1

0

t_1 (cm)

0

t_2 (cm)

0

$t_{ef}=27.00$

$k=0.45$

$f_k=2.7849$

Σκυρόδεμα πληρώσεως

f_{ck} (N/mm²)

20

Πάχος (cm)

0

Επίπεδο Γνώσης

ΕΓ1:Περιορισμένη

Στάθμη Ποιοτικού ελέγχου

1

Δεδομένα για Κριτήριο Αστοχίας Τάσεων - Αποτίμηση

Εφελκυστική Αντοχή f_{wt} (N/mm²)

0

Αντοχή σε ίση διαξονική Θλίψη (N/mm²)

0

Τύπος

Υφιστάμενη

Μανδύας

Πάχος (cm)

0

Μονόπλευρος

Σκυρόδεμα

C20/25

Χάλυβας

S500

Φ 8 / 10 cm

$f_{Rd0,c}$ (MPa)=

0.00

Αγκύρωση

Χωρίς πρόσθετη μέριμνα

Κατακόρυφοι Αρμολί πλήρεις (§3.6.2)

Οριζόντιος Αρμός πάχους >15 mm

Πάχος (Ισοδύναμο) (cm)

54

Ειδικό Βάρος (KN/m³)

25

Θλιπτική Αντοχή f_k (N/mm²)

2.98

Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)

800

2.38

Αρχική διατμητική Αντοχή f_{vk0} (N/mm²)

0.1

Μέγιστη διατμητική Αντοχή f_{vkmax} (N/mm²)

0.68805

Καμπτική Αντοχή f_{xk1} (N/mm²)

0.1

Καμπτική Αντοχή f_{xk2} (N/mm²)

0.2

Μέση Θλιπτική Αντοχή f_m (N/mm²)

0

Βιβλιοθήκη Λιθοσωμάτων Κονιαμάτων

Εισαγωγή από βιβλιοθήκη Χρήστη

Νέο

Καταχώρηση

Έξοδος

Εικόνα 5-0-6 Διαχείριση ιδιοτήτων τοιχοποιίας

Λιθοσώματα - Κονιάματα

Λιθοσώματα

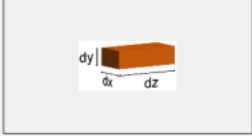
Λιθοσώμα Τραγάνα

Όνομα: Λιθοσώμα Τραγάνα

Τύπος: Λαξευτοί φυσικοί λίθοι

Κατηγορία: II ? Ομάδα: 1 ?

Υπολογισμός Αντοχής από διαστάσεις



dx	dy	dz	δ
300	184	270	1.052 ?

Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} : 14.53

Ειδικό βάρος ϵ (KN/m³): 25 Νέο

Θλιπτική Αντοχή f_b (N/mm²): 15.29 Καταχώρηση

Εισαγωγή από βιβλιοθήκη Χρήστη

Εικόνα 5-0-7 Βιβλιοθήκη λιθοσωμάτων στο Scada Pro

Κονιάματα

Τσιμεντοκονίαμα- ΥΦΙΣΣΤΑΜΕΝΟ

Όνομα: Τσιμεντοκονίαμα- ΥΦΙΣΣΤΑΜΕΝΟ

Τύπος: Λεπτής στρώσεως ?

Αντοχή: M2 ?

Θλιπτική Αντοχή f_m (N/mm²): 2.22

Νέο Καταχώρηση

Εισαγωγή από βιβλιοθήκη Χρήστη



Έξοδος

Εικόνα 5-0-8 Βιβλιοθήκη κονιαμάτων στο Scada Pro

Μετά τον καθορισμό των ιδιοτήτων της τοιχοποιίας, ο επιλεγμένος τύπος μπορεί να αποδοθεί στους τοίχους του φορέα. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η ομοιόμορφη διαχείριση των δεδομένων και η συνέπεια των παραδοχών που χρησιμοποιούνται κατά

την ανάλυση και αποτίμηση της κατασκευής. Η χρήση της βιβλιοθήκης τοιχοποιίας συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του χρόνου μοντελοποίησης και στη βελτίωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, ιδιαίτερα σε εφαρμογές αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΚΑΔΕΤ και των Ευρωκωδίκων ενώ περιορίζει τα σφάλματα εισαγωγής και επιτρέπει την άμεση σύνδεση των χαρακτηριστικών των υλικών με τις διαδικασίες ανάλυσης και αποτίμησης που εφαρμόζονται στο SCADA Pro.

Επίσης μέσα από την βιβλιοθήκη της τοιχοποιίας καθορίζονται οι παραμέτροι που σχετίζονται με την αξιοπιστία των διαθέσιμων δεδομένων (Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων) και την ποιότητα των υλικών, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών.

Για υφιστάμενες κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία, η επιλογή της στάθμης αξιοπιστίας αντικαθίσταται από τον καθορισμό του Επιπέδου Γνώσης (Knowledge Level – KL), όπως ορίζεται στον Eurocode 8 -3 §3.3 (EC8, 2005)

Οι διαθέσιμες κατηγορίες είναι:

Επίπεδο Γνώσης Περιγραφή		Συντελεστής Εμπιστοσύνης (CF)
EF1	Περιορισμένη γνώση	1,35
EF2	Κανονική γνώση	1,20
EF3	Πλήρης γνώση	1,00

Πίνακας 5-0-3 Επίπεδο γνώσης κατά EC 8 (EC8, 2005)

Η επιλογή υψηλότερου επιπέδου γνώσης προϋποθέτει εκτενέστερη συλλογή στοιχείων, επιτόπιες αυτοψίες, γεωμετρικές αποτυπώσεις, εργαστηριακές δοκιμές και διερεύνηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας. Αντίθετα, όταν τα διαθέσιμα δεδομένα είναι περιορισμένα, εφαρμόζονται μεγαλύτεροι συντελεστές εμπιστοσύνης, οι οποίοι οδηγούν σε συντηρητικότερη αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας.

Παράλληλα, για νέες κατασκευές ή επεμβάσεις σε φέρουσα τοιχοποιία, ορίζεται η Στάθμη Ποιοτικού Ελέγχου, σύμφωνα με τον Eurocode 6 και το Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα (EC6, 2006). Η επιλογή αυτή επηρεάζει τον μερικό συντελεστή ασφαλείας του υλικού γ_M , ο οποίος χρησιμοποιείται κατά τον υπολογισμό των αντοχών σχεδιασμού της τοιχοποιίας.

		1	2	3
	Τοιχοποιία από:			
A	Λιθοσώματα Κατηγορίας I, κονίαμα με μελέτη συνθέσεως	1,7	2,0	2,2
B	Λιθοσώματα Κατηγορίας I, προδιαγεγραμμένο κονίαμα	2,0	2,2	2,5
Γ	Λιθοσώματα Κατηγορίας II, οποιοδήποτε κονίαμα	2,2	2,5	2,7

Πίνακας 5-0-4 Στάθμη ποιοτικού ελέγχου γ_M κατά EC6 (EC6, 2006)

Ο συντελεστής ασφαλείας γ_M εκφράζει τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με:

- τις μηχανικές ιδιότητες των λιθοσωμάτων,
- την ποιότητα του κονιάματος,
- τη διαδικασία κατασκευής,
- την ομοιομορφία της τοιχοποιίας,
- την αξιοπιστία του ποιοτικού ελέγχου κατά την εκτέλεση του έργου.

Κατά συνέπεια, η ορθή επιλογή του επιπέδου γνώσης και της στάθμης ποιοτικού ελέγχου αποτελεί κρίσιμο βήμα στη διαδικασία αποτίμησης και διαστασιολόγησης, καθώς επηρεάζει άμεσα τις αντοχές που χρησιμοποιούνται στους ελέγχους επάρκειας και, τελικά, τα συμπεράσματα σχετικά με την ασφάλεια και τη σεισμική συμπεριφορά του φορέα.

Τέλος μπορεί στο λογισμικό να εισαχθεί η Μέση Θλιπτική αντοχή χειροκίνητα ή να αφήσει ο μελετητής 0 και αυτή να υπολογιστεί αυτόματα βασισμένο στην θλιπτική αντοχή f_k σύμφωνα με τις επιταγές του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Πάχος (Ισοδύναμο) (cm)	54
Ειδικό Βάρος (KN/m ³)	25
Θλιπτική Αντοχή f_k (N/mm ²)	2.98
Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	800
Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	2.38
Αρχική διατμητική Αντοχή f_{vk0} (N/mm ²)	0.1
Μέγιστη διατμητική Αντοχή f_{vkmax} (N/mm ²)	0.68805
Καμπτική Αντοχή f_{xk1} (N/mm ²)	0.1
Καμπτική Αντοχή f_{xk2} (N/mm ²)	0.2
Μέση Θλιπτική Αντοχή f_m (N/mm ²)	0

Εικόνα 5-0-9 Μέση Θλιπτική Αντοχή

Η σχέση μεταξύ της μέσης θλιπτικής αντοχής f_m και της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής f_k λαμβάνεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., συγκεκριμένα από το Παράρτημα 4.1 (§2.β), όπου χρησιμοποιείται για τις τοιχοπληρώσεις.

Η διάταξη του ΚΑΝ.ΕΠΕ. δίνει:

$$f_m = \min(1.5 f_k, f_k + 0.50 \text{ MPa})$$

Δηλαδή, η μέση θλιπτική αντοχή f_m λαμβάνεται ως η μικρότερη από τις δύο ακόλουθες τιμές:

- $1.5 f_k$
- $f_k + 0.50 \text{ MPa}$

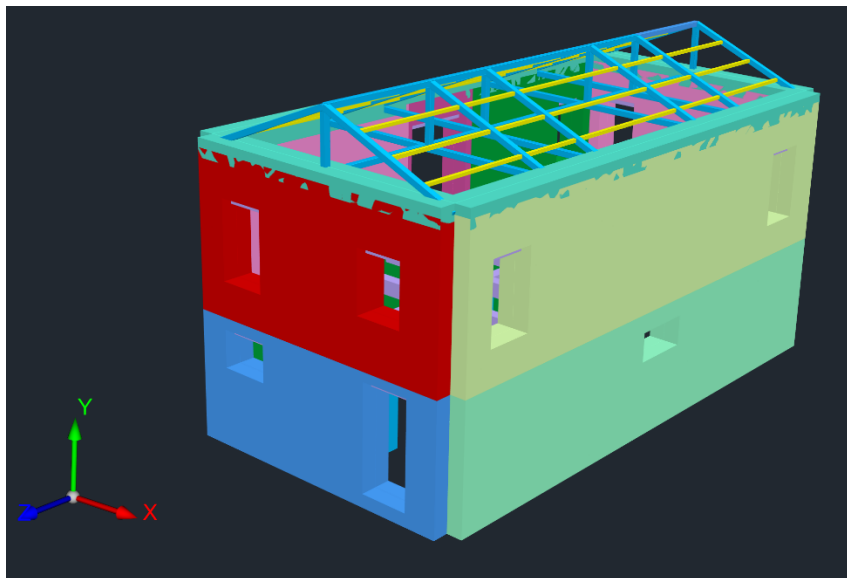
όπου:

- f_m = μέση θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας
- f_k = χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας

5.3 Δημιουργία φορέα με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method – FEM)

Στο περιβάλλον του SCADA Pro χρησιμοποιείται η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων κυρίως για την ελαστική αποτίμηση υφιστάμενων κτιρίων, επιτρέποντας την προσομοίωση της πραγματικής γεωμετρίας και της κατανομής των τάσεων με μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με απλουστευμένες μεθόδους ανάλυσης.

Η διαδικασία μοντελοποίησης ξεκινά με τη δημιουργία και τον καθορισμό των γενικών στοιχείων της κατασκευής, όπως οι μονάδες μέτρησης, οι στάθμες του κτιρίου και οι κανονισμοί σχεδιασμού που θα εφαρμοστούν. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η γεωμετρική μόρφωση του φορέα στο περιβάλλον του SCADA στο οποίο αποτυπώνονται οι τοίχοι, τα ανοίγματα, τα πατώματα και η στέγη ενώ κάθε άνοιγμα εισάγεται με τις πραγματικές του διαστάσεις και θέση.



Εικόνα 5-0-10 Γεωμετρικό μοντέλο

Ακολουθεί στην συνέχεια η ανάθεση στα επιμέρους στοιχεία των μηχανικών ιδιοτήτων της τοιχοποιίας όπως αυτή ορίστηκε στην βιβλιοθήκη. Πλέον ο μελετητής προχωρά στον καθορισμό των επιφανειών μέσω πεπερασμένων στοιχείων.

Το SCADA Pro χρησιμοποιεί κυρίως επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία τύπου κελύφους (shell elements), τα οποία μπορούν να προσομοιώσουν ταυτόχρονα:

- εντός επιπέδου παραμορφώσεις,

- εκτός επιπέδου κάμψη,
- διατμητικές παραμορφώσεις,
- αλληλεπίδραση μεταξύ γειτονικών τοίχων.



Διάγραμμα Ροής 5-0-1 Από το πραγματικό κτίριο στο F.E.M.

Η δυνατότητα αυτή καθιστά τα shell elements ιδιαίτερα κατάλληλα για την ανάλυση τοιχοποιίας, καθώς η σεισμική απόκριση των τοίχων περιλαμβάνει συνδυασμό

αξονικών, καμπτικών και διατμητικών φαινομένων. Τα shell elements αποτελούν δισδιάστατα στοιχεία με πεπερασμένο πάχος τα οποία χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση λεπτότοιχων δομικών στοιχείων. Στην περίπτωση της τοιχοποιίας κάθε τοίχος αντιμετωπίζεται ως μία συνεχής επιφάνεια η οποία διαθέτει:

- πραγματικό πάχος,
- πραγματικές μηχανικές ιδιότητες,
- πραγματική γεωμετρία.

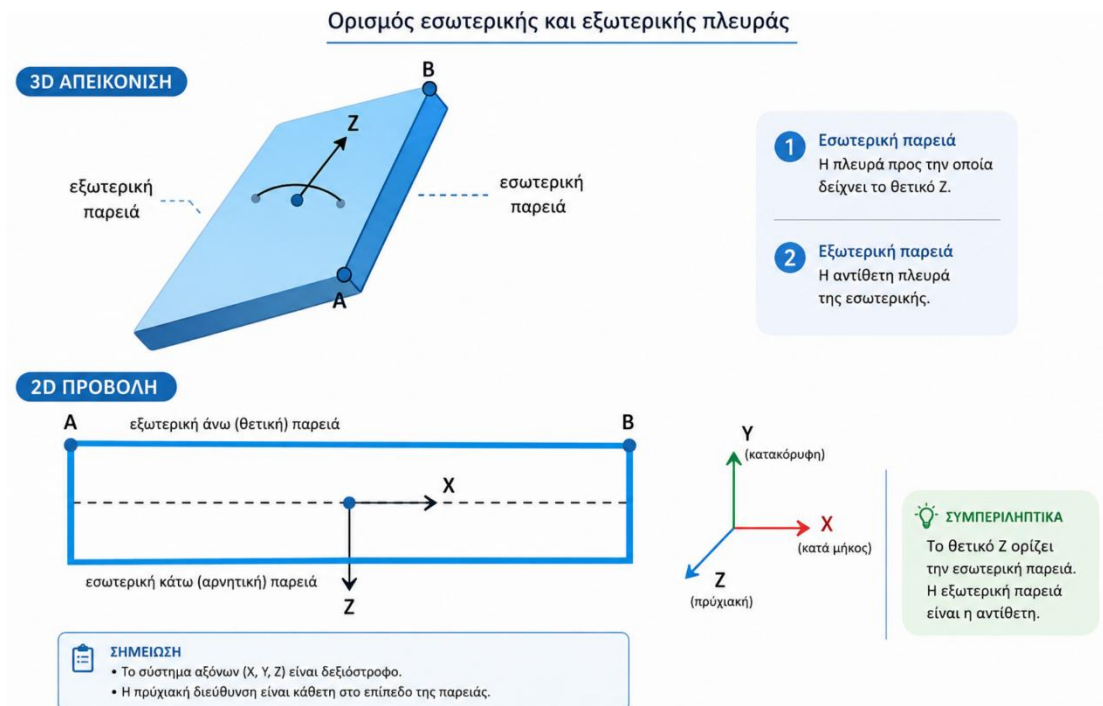
Όσο φορά τους βαθμούς Ελευθερίας (Degrees of Freedom) κάθε κόμβος ενός shell element διαθέτει συνήθως έξι βαθμούς ελευθερίας:

<i>Βμός Ελευθερίας</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>Φυσική Ερμηνεία</i>
U_x	Μετακίνηση κατά τον άξονα X	Γραμμική μετατόπιση του κόμβου στη διεύθυνση X.
U_y	Μετακίνηση κατά τον άξονα Y	Γραμμική μετατόπιση του κόμβου στη διεύθυνση Y.
U_z	Μετακίνηση κατά τον άξονα Z	Γραμμική μετατόπιση του κόμβου στη διεύθυνση Z.
R_x	Περιστροφή περί τον άξονα X	Στροφή του κόμβου γύρω από τον άξονα X.
R_y	Περιστροφή περί τον άξονα Y	Στροφή του κόμβου γύρω από τον άξονα Y.
R_z	Περιστροφή περί τον άξονα Z	Στροφή του κόμβου γύρω από τον άξονα Z.

Πίνακας 5-0-5 Βαθμός Ελευθερίας shell element

Η ύπαρξη των έξι βαθμών ελευθερίας επιτρέπει στο μαθηματικό μοντέλο να προσομοιώνει με ρεαλισμό τόσο τις εντός επιπέδου όσο και τις εκτός επιπέδου παραμορφώσεις της φέρουσας τοιχοποιίας, καθώς και τα φαινόμενα κάμψης, διάτμησης και στρέψης που αναπτύσσονται κατά τη φόρτιση της κατασκευής. Οι βαθμοί αυτοί επιτρέπουν στο πρόγραμμα να αποδώσει πλήρως την τρισδιάστατη συμπεριφορά της κατασκευής.

Στο λογισμικό Scada Pro η θετική και αρνητική παρειά του επιφανειακού στοιχείου απεικονίζονται σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5-0-11 Εσωτερική και εξωτερική παρειά στο Scada Pro

Μετά την εισαγωγή του φορέα στο περιβάλλον εργασίας του Scada δημιουργείται η ομάδα των πλεγμάτων. Παράγεται το υπολογιστικό πλέγμα καθώς η συνεχής γεωμετρία της κατασκευής διακριτοποιείται σε μεγάλο αριθμό μικρότερων στοιχείων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω κόμβων. Επιλέγεται για κάθε πλέγμα η ποιότητας της τοιχοποιίας όπως αυτή ορίστηκε στην βιβλιοθήκη και αυτόματα ενημερώνονται τα αντίστοιχα πεδία E_{xx} , G_{xy} και το ειδικό βάρος ϵ .

Δημιουργία Ομάδων Πλεγμάτων

Περιγραφή: **ALEKSANDROS**

Στοιχείο: Plate

Υλικό: Τοιχοποιία

Ποιότητα: Λίθινος Τοίχος

☒ Ισοτροπικό ☐ Ορθοτροπικό

Γωνία: 0

Ks (MPa/cm)

☐ X 0 ☒ Y 0.25 ☐ Z 0

Πυκνότητα: 0.15

Πλάτος (cm): 15

Πάχος (cm): 54

Περιγραφές Ομάδων Πλεγμάτων

☐ Επιφάν. Πλέγματος ☐ Επιπεδότητα

Ομάδα	Περιγραφή	Πλάτος (cm)	Πάχος (cm)
1	ALEKSANDROS		
1P S1(1)		36	
2P S2		36	
3P S3(1)		36	
4P S4(2)		36	
5P S5(2)		36	
6P S6(2)		36	
7P S7(2)		36	
8P S8		36	
9P S9		36	

Ενοποίηση

Εξισώσεις:

$E_{xx} = 2.227953485$ $G_{xy} = 0.891181394$

$E_{yy} = 2.227953485$ $\epsilon = 26$

$E_{zz} = 0$ $atx \cdot 10^{-5} = 1$

$\nu_{xy}(0.1-0.3) = 0.25$ $aty \cdot 10^{-5} = 1$

$\nu_{xz}(0.1-0.3) = 0.25$ $abx \cdot 10^{-5} = 1$

$\nu_{yz}(0.1-0.3) = 0.2$

$E_{xx} \cdot \nu_{xz} = E_{yy} \cdot \nu_{xy}$

Ενημέρωση

Διαγραφή

Νέο

OK

Εξόδος

Απομόνωση

Επιλογή όλων

Ορατό

Μη ορατό

Χάλυβας Οπλισμού: S220

Επικάλυψη mm: Ανω 0 Κάτω 0

Εικόνα 5-0-12 Ομάδες Πλεγμάτων

Το SCADA Pro προχωρά αυτόματα στη δημιουργία των αντίστοιχων ομάδων πλέγματος (Mesh Groups), οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη διακριτοποίηση των επιφανειών σε πεπερασμένα στοιχεία.

Στο παράθυρο διαλόγου «Περιγραφές Ομάδων Πλεγμάτων», το λογισμικό δημιουργεί αυτόματα την ομάδα «ALEKSANDROS», η οποία αντιστοιχεί στο επιφανειακό στοιχείο που έχει προηγουμένως οριστεί. Παράλληλα δημιουργούνται και οι αντίστοιχες υποομάδες, μία για κάθε παρειά του στοιχείου, επιτρέποντας τον σαφή διαχωρισμό μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας.

Με την επιλογή της ομάδας «ALEKSANDROS», συμπληρώνονται αυτόματα οι βασικές παράμετροι του πλέγματος, οι οποίες έχουν ήδη καθοριστεί κατά τη φάση εισαγωγής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται:

- Η πυκνότητα του πλέγματος (Mesh Density), η οποία καθορίζει το επίπεδο διακριτοποίησης της επιφάνειας.
- Το πλάτος (Width) του στοιχείου.
- Το πάχος (Thickness) της τοιχοποιίας.

Οι τιμές αυτές εξασφαλίζουν την γεωμετρική συνέπεια μεταξύ του φυσικού φορέα και του αριθμητικού προσομοιώματος. (Κωστοπαναγιώτης Χρήστος -ACE HELLAS,

2023). Η βασική αρχή της Finite Element Method είναι η αντικατάσταση ενός συνεχούς φορέα από ένα σύνολο πεπερασμένων στοιχείων και ονομάζεται διακριτοποίηση (discretization). Το πραγματικό δομικό στοιχείο αντικαθίσταται από κόμβους, στοιχεία και σχέσεις συμβατότητας.

Όσο αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων τόσο το αριθμητικό μοντέλο προσεγγίζει καλύτερα τη συμπεριφορά του πραγματικού φορέα επιτυγχάνοντας ακρίβεια και σταθερότητα λύσης.

Τέλος υπολογίζονται τα πλέγματα και οι υποομάδες επιτρέποντας την ακριβέστερη αποτύπωση των συγκεντρώσεων τάσεων που αναπτύσσονται γύρω από τα υπέρθυρα, τους πεσσούς και τις γωνίες των ανοιγμάτων. Η ορθή προσομοίωση των ανοιγμάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική στις υφιστάμενες κατασκευές, καθώς οι περισσότερες σεισμικές βλάβες εμφανίζονται σε περιοχές όπου παρατηρούνται έντονες μεταβολές της δυσκαμψίας και της κατανομής των τάσεων.

Υπολογισμός Ομάδων Πλεγμάτων

1 ALEKSANDROS

Αριθμός	Ορατό	Χρώμα	σ
1 S1(2)	☒	6	X
2 S2(1)	☒	27	Z
3 S3(2)	☒	11	X
4 S4(2)	☒	3	Z
5 S5	☒	36	Z
6 S6	☒	28	X
7 S7(2)	☒	8	X
8 S8(1)	☒	36	Z
9 S9(1)	☒	8	Z
10 S10	☒	9	Z

☐ Εντοπισμός

Υπολογισμός

Φορά

Προσανατολισμός

Αρχή Τέλος

X

Y

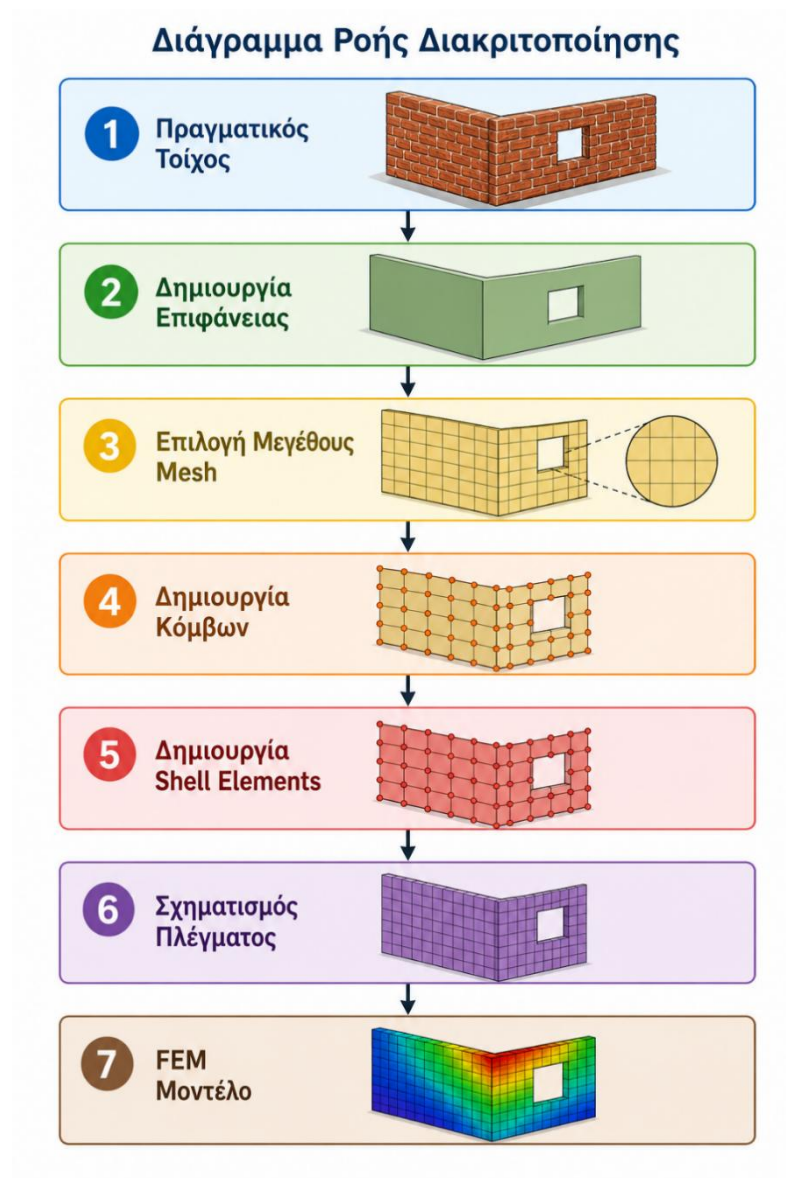
Z

Ακύρωση - Διαγραφή

Εικόνα 5-0-13 Υπολογισμός Ομάδων Πλεγμάτων

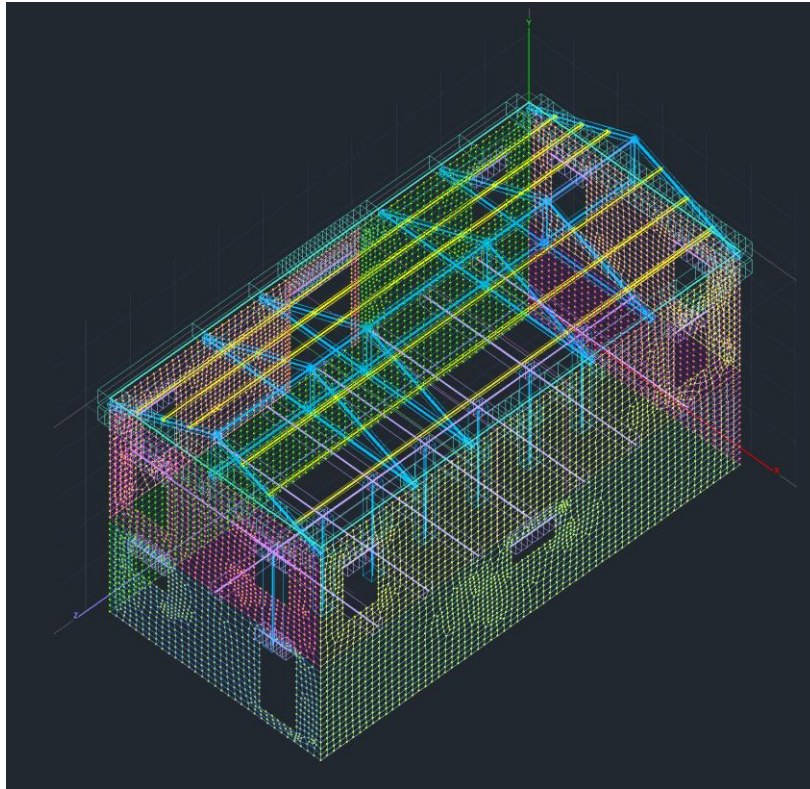
Μετά τη δημιουργία των επιφανειών των τοίχων, το SCADA Pro παράγει αυτόματα το υπολογιστικό πλέγμα με το τελικό αποτέλεσμα να είναι ένα πλέγμα εκατοντάδων ή χιλιάδων πεπερασμένων στοιχείων που προσεγγίζουν τη γεωμετρία του πραγματικού φορέα. Η διαδικασία περιλαμβάνει:

- Αναγνώριση επιφανειών.
- Καθορισμό μεγέθους στοιχείων.
- Δημιουργία κόμβων.
- Σύνδεση στοιχείων.
- Έλεγχο ποιότητας.

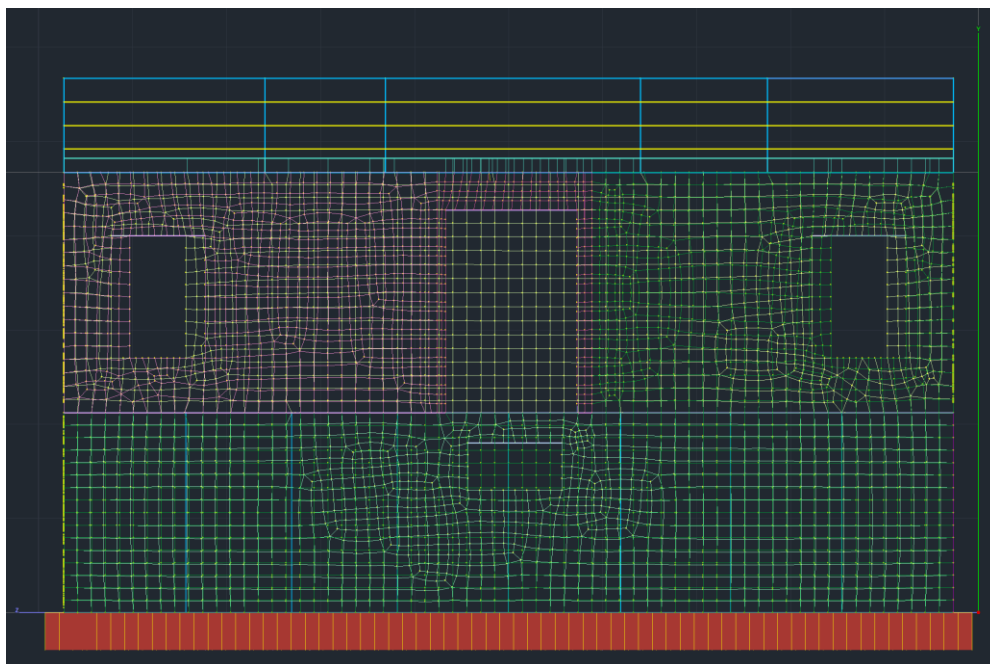


Διάγραμμα Ροής 5-0-2 Διακριτοποίηση στο Scada Pro

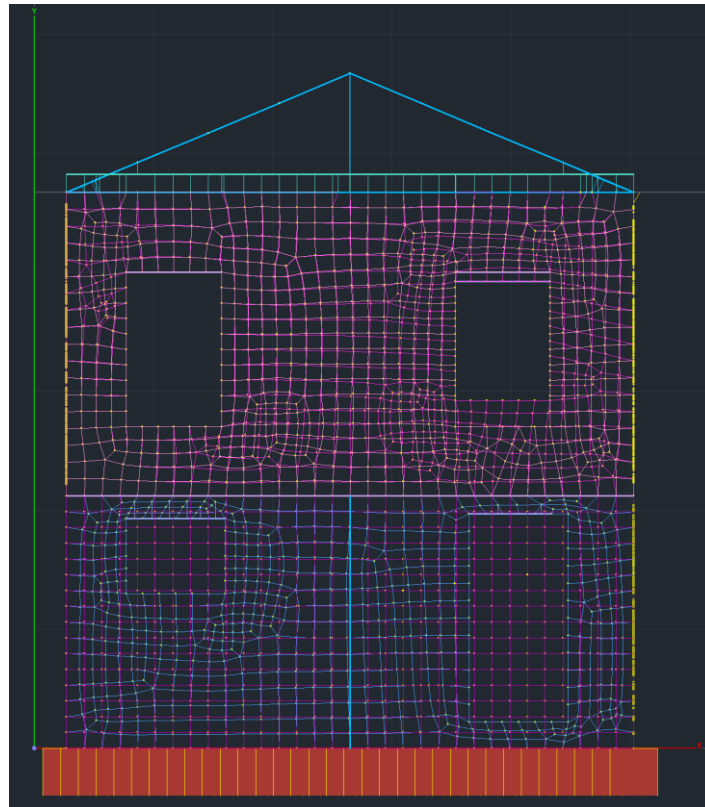
Τονίζεται ότι χρησιμοποιούνται τριγωνικά και τετραγωνικά στοιχεία στην μόρφωση των πλεγμάτων.



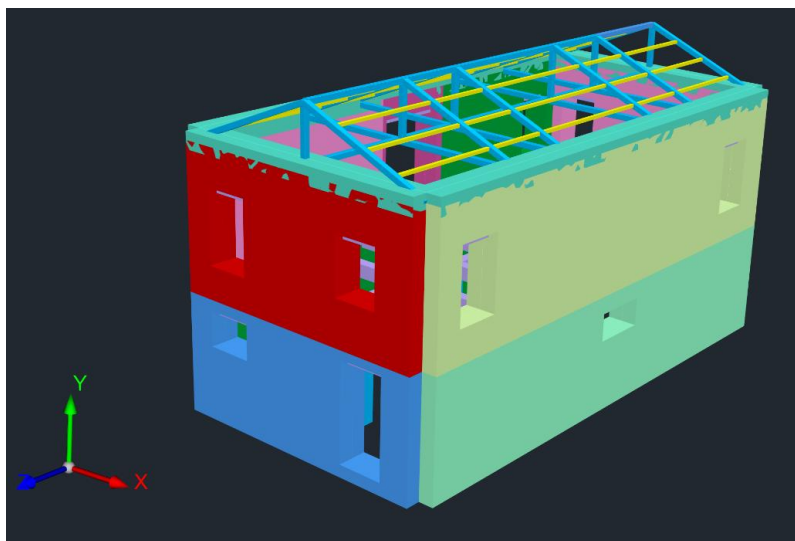
Εικόνα 5-0-14 Χωρικό προσομοίωμα φορέα/μαθηματικό μοντέλο



Εικόνα 5-0-15 Μαθηματικό Μοντέλο



Εικόνα 5-0-16 Μαθηματικό μοντέλο



Εικόνα 5-0-17 Μοντέλο F.E.M.

Συμπερασματικά η διαδικασία αυτή αποτελεί ουσιαστικό στάδιο της δημιουργίας του μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων, καθώς μέσω της κατάλληλης διακριτοποίησης επιτυγχάνεται η ακριβέστερη αναπαράσταση της κατανομής των τάσεων και των παραμορφώσεων στα στοιχεία της φέρουσας τοιχοποιίας. Η επιλογή της πυκνότητας του πλέγματος επηρεάζει άμεσα τόσο την ακρίβεια των αποτελεσμάτων όσο και τον

απαιτούμενο υπολογιστικό χρόνο της ανάλυσης. Για τον λόγο αυτό επιλέγεται συνήθως ένα πλέγμα επαρκώς λεπτό ώστε να αποδίδει ικανοποιητικά τη μηχανική συμπεριφορά του φορέα, χωρίς να οδηγεί σε υπερβολική αύξηση του αριθμού των βαθμών ελευθερίας του μοντέλου. Η ακρίβεια της λύσης εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα του πλέγματος, τη γεωμετρία των στοιχείων και την ορθή επιλογή του μεγέθους τους (Zienkiewicz, 2005)

5.4 Ελαστική Στατική ανάλυση του μοντέλου με F.E.M.

Μετά την εισαγωγή των γεωμετρικών δεδομένων, των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας και των φορτίσεων, εκτελείται ιδιομορφική ανάλυση και στη συνέχεια εφαρμόζονται οι ισοδύναμες σεισμικές φορτίσεις σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 (ACE-Hellas, 2024).

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος οφείλουν να τηρούνται οι εξής προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου Ανάλυσης ((EN 1998-3: , 2022)§Γ3.2):

- Τοίχοι ομοιόμορφα διαταγμένοι και στις δύο οριζόντιες σεισμικές διευθύνσεις,
- Οι τοίχοι να παρουσιάζουν συνέχεια στο ύψος,
- Τα δάπεδα να έχουν επαρκή δυσκαμψία εντός του επιπέδου τους και να είναι επαρκώς περιμετρικά συνδεδεμένα ώστε να εξασφαλίζεται η διαφραγματική λειτουργία.
- Έλλειψη ανισοσταθμιών,
- Λόγος δυσκαμψιών εντός επιπέδου του πιο ισχυρού τοίχου προς τον πιο αδύναμο τοίχο < 2.5 , για κάθε όροφο.

Για την εκτίμηση της σεισμικής απόκρισης του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε η ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση σύμφωνα με την παράγραφο 5.4 του ΚΑΔΕ όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 4.5 του παρόντος. Οι δύο οριζόντιες συνιστώσες του λαμβάνονται παράλληλες με τις δύο κύριες διευθύνσεις του κτηρίου και οι σεισμικές δυνάμεις εφαρμόζονται σαν στατικά φορτία επάνω στην κατασκευή.

Παράμετροι EC8

Σεισμική Περιοχή

Σεισμικές Περιοχές

Ζώνη II a 0.24 *g

ΚΑΝΕΠΕ
ΚΑΔΕΤ 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 4 - 531.00

Δυναμική Ανάλυση

Ιδιοτιμές 70 Ακρίβεια 0.001 CQC (10%)

Συντελεστές Συμμετοχής Φάσματος Απόκρισης

PFx 0 PFy 0 PFz 0

Φάσμα

Φάσμα Απόκρισης Σχεδιασμού Κλάση Πλαστιμότητας DCM

ζ(%) 5 Οριζόντιο b0 2.5 Κατακόρυφο b0 3

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

Είδος Κατασκευής q

Τοιχοποιία (ΚΑΔΕ) qx 2 qy 2 qz 2

Τύπος Κατασκευής

X Πλαισιακοί Φορείς τύπου a Z Πλαισιακοί Φορείς τύπου a

Εκκεντρότητες

e τιχ 0.05 *Lx Sd (T) Sd (TX) 1

e τιζ 0.05 *Lz Sd (TY) 1 Sd (TZ) 1

Ανοίγματα

X ενα Χ Χωρίς εσοχές

Z ενα Z Χωρίς εσοχές

Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου

Μέθοδος Υπολογισμού X Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

EC8-1 § 4.3.3.2.2 (3) Z Δύσκαμπτα χωρικά πλαίσια από Σκυρόδεμα

Οριο Σχετικής Μετακίνησης ορόφου 0.005 Κτίρια με πλάστιμα μη-φέξ Τοιχεία ΚΑΝΕΠΕ ΚΑΔΕΤ

Είδος Κατανομής Ορθογωνική Χαρακτηρισμός Σεισμοπλήκτων ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΑΛΛΑΓΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Default OK Cancel

Εικόνα 5-0-18 Εισαγωγή παραμέτρων ανάλυσης

Ορίστηκαν οι παράμετροι της ανάλυσης

Ζώνη II,

Σπουδαιότητα II,

Έδαφος B

Επιλέγεται Τοιχοποιία ΚΑΔΕΤ και το λογισμικό υπολογίζει σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ το q
Κατανομή σεισμικών δυνάμεων επιλέγεται Ορθογωνική

Παράμετροι Ελαστικής

☒ Υπολογισμός σταθερής τιμής μήκους διάτμησης H_0

Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων

Ανεκτή

Έκταση Βλαβών για τον υπολογισμό του γ_{Ed} (Σ.4.1)

Ελαφρές & Τοπικές Βλάβες-Επεμβάσεις

Μέθοδος Υπολογισμού - Ανάλυσης / Επιτελεστικότητα

Καθολικός Δείκτης συμπεριφοράς(q) - B (SD)

Τιμές του δείκτη συμπεριφοράς q'

Διαζωματικές με οριζοντια διαζωματα μονον

Δεν υπάρχουν ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στι

OK ΦΑΣΜΑΤΑ Cancel

Εικόνα 5-0-19 Παράμετροι στατικής ελαστικής ανάλυσης

Ορίζεται η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων η έκταση των βλαβών για τον υπολογισμό του γ_{Ed} ενώ για τον υπολογισμό του δείκτη συμπεριφοράς q' όπως ορίζονται στον Πίνακα 4.1 του ΚΑΔΕΤ επιλέγοντας στάθμη επιτελεστικότητας B

Πίνακας 4.1: Τιμές του λόγου q^*/q' αναλόγως του στόχου επανελέγχου

Στάθμη επιτελεστικότητας		
Περιορισμένες βλάβες (Α)	Σημαντικές βλάβες (Β)	Οιονεί κατάρρευση (Γ)
0,6 πάντως δε $1,0 < q^* < 1,2$	1,0	1,4

Πίνακας 5-0-6 Τιμές του λόγου q^*/q του Πίνακα 4.1 του ΚΑΔΕΤ

Πίνακας Σ 4.3 : Τιμές του δείκτη συμπεριφοράς q' για την στάθμη επιτελεστικότητας B (σημαντικές βλάβες)

ΤΟΙΧΟΔΟΜΕΣ	ΟΥΣΙΩΔΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ (ΚΑΙ ΦΘΟΡΕΣ) ΣΕ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
	ΝΑΙ	ΟΧΙ
ΑΟΠΛΕΣ	1,20	1,50
ΔΙΑΖΩΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΖΩΜΑΤΑ ΜΟΝΟΝ	1,50	2,00
ΔΙΑΖΩΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΔΙΑΖΩΜΑΤΑ	2,00	2,50

Πίνακας 5-0-7 Τιμές δείκτη συμπεριφοράς q' για στάθμη επιτελεστικότητας B του Πίνακα 4.3 ΚΑΔΕΤ

Ο συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς q υπολογίστηκε 2.

Τα ισοδύναμα σεισμικά φορτία εφαρμόζονται κατανεμημένα καθ' ύψος (ορθογωνική κατανομή) της τοιχοποιίας σε αντίθεση με τις πλαισιακές κατασκευές όπου εφαρμόζονται συγκεντρωμένα στις στάθμες των ορόφων. Αυτό συμβαίνει διότι εν αντιθέσει με τις πλαισιακές κατασκευές όπου το μεγαλύτερο μέρος της μάζας είναι συγκεντρωμένο στις στάθμες των ορόφων, στις κατασκευές από τοιχοποιία το κατακόρυφο φορτίο της κατασκευής οφείλεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στο ίδιο βάρος της τοιχοποιίας και δεν μπορεί να θεωρηθεί συγκεντρωμένο σε ένα σημείο. Για την υλοποίηση λοιπόν της ως άνω κατανομής, επιβάλλονται επικόμβιες δυνάμεις στο πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων ανάλογες της επιμεριζόμενης μεταφορικής μάζας που αντιστοιχεί ανά κόμβο.

Ο υπολογισμός της ιδιοπεριόδου έγινε με την ακριβή μέθοδο της ιδιομορφικής ανάλυσης.

Η ελαστική τιμή της σεισμικής τέμνουσας υπολογίστηκε ως εξής:

$$V_0 = C_m \cdot \frac{W}{g} \cdot S_e(T) \quad (\Sigma 5.6\beta) \text{ (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

Όπου,

M: η συνολική ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής

C_m : Συντελεστής δρώσας μάζας, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με:

1.0 για μονώροφα και διώροφα κτίρια,

0.8 για τρεις ή παραπάνω ορόφους.

$S_e(T)$: Η φασματική ολική επιτάχυνση που αντιστοιχεί στη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο T_a

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = \gamma_1 \cdot a_{gR} \cdot S \cdot 2,5$$

W/g : η μάζα του δομήματος (=συνολικό βάρος του κτιρίου ανηγμένο προς την επιτάχυνση της βαρύτητας)

					Σελίδα : 1		
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ							
ΣΕΝΑΡΙΟ :							
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ							
Κλάση Πλαστιμότητας		DCM					
Τύπος Φάσματος		Τύπος 1					
Ζωνη Σεισμικής επικινδυνότητας		II					
Επιτάχυνση Βαρύτητας g (m/sec2)		9.810					
Σεισμική Επιτάχυνση εδάφους agR		0.240 * 9.810 = 2.3544					
Σύστημα κτιρίου κατά X							
Σύστημα κτιρίου κατά Z							
Κατηγορία Εδάφους		B					
Χαρακτηριστικές Περίοδοι Φάσματος		TB=0.15 TC=0.50 TD=2.50(sec)					
Συντελεστής-Κατηγορία Σπουδαιότητας		γi=1.000 - Σ2					
Συντελεστής Σεισμικής Συμπεριφοράς		qx=2.000 - qz=2.000 - qy=2.000					
Συντελεστής Φασματικής Ενίσχυσης		βο=2.50					
Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης		ξ=5.000%					
α/α Στάθμης	Υψόμετρο (m)	Διαστάσεις Κατόψεων		Συντ.ψ2 Φορτ.2	Τυχηματικές Εκκ/τες		
		Llx (m)	Llz (m)		etix(m)	etiz(m)	
0	0.000	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475	
1	2.120	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475	
2	3.000	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475	
3	4.670	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475	
4	5.310	2.400	9.500	0.300	0.120	0.475	
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: etix = 0.050 * Llx, etiz = 0.050 * Llz							
Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου							
Διεύθυνση Ix		Tlx (sec) = 0.2624	Rd(T) = 3.5316				
Διεύθυνση Ilz		TIlz (sec) = 0.2624	Rd(T) = 3.5316				
Διεύθυνση y		Tv (sec) = 0.0307	Rd(T) = 2.1724				
Καθ'ύψος Κατανομή Σεισμικής Δύναμης (Τέμνουσα-Ροπή)							
α/α Στάθμ.	Υψόμ. (m)	ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ		ΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (KNm)			
		ΦΟΡΤ. 3-I (Kn)	ΦΟΡΤ. 4-II (Kn)	ΦΟΡΤ. 5-I Από maxez	ΦΟΡΤ. 6-I Από minez	ΦΟΡΤ. 7-I Από maxex	ΦΟΡΤ. 8-I Από minex
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	2.120	372.507	372.507	131.488	-131.488	60.005	-60.005
2	3.000	35.930	35.930	18.050	-18.050	8.553	-8.553
3	4.670	118.161	118.161	93.031	-93.031	46.721	-46.721
4	5.310	13.460	13.460	12.055	-12.055	3.045	-3.045

Πίνακας 5-0-8 Δεδομένα και αποτελέσματα σεισμικής δράσης(Ελαστική Στατική) χωρικού μοντέλου με F.E.M

5.5. Ιδιομορφική Ανάλυση Φάσματος Απόκρισης (Ελαστική Δυναμική Ανάλυση) του φορέα με F.E.M.

Στο λογισμικό **SCADA Pro**, η ιδιομορφική ανάλυση εκτελείται αμέσως μετά την ολοκλήρωση της μαθηματικής προσομοίωσης του φορέα. Το πρόγραμμα επιλύει το πρόβλημα ιδιοτιμών και υπολογίζει αυτόματα τις ιδιοπεριόδους, τις ιδιοσυχνότητες, τις μορφές ταλάντωσης, καθώς και τα ποσοστά συμμετοχής της μάζας για κάθε ιδιομορφή. Επιπλέον, παρουσιάζεται η σωρευτική συμμετοχή της ιδιομορφικής μάζας ανά

διεύθυνση, επιτρέποντας στον μηχανικό να αξιολογήσει εάν ο αριθμός των ιδιομορφών που έχουν ληφθεί υπόψη είναι επαρκής σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΚΑΔΕΤ.

Εφόσον η σωρευτική συμμετοχή της μάζας δεν καλύπτει τις απαιτήσεις του κανονισμού, ο αριθμός των ιδιομορφών αυξάνεται μέχρι να επιτευχθεί η απαιτούμενη ακρίβεια της ανάλυσης (Σπυράκος, 2019).

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ							
ΣΕΝΑΡΙΟ :							
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ							
Κλάση Πλαστιμότητας		DCM					
Τύπος Φάσματος		Τύπος 1					
Ζωνη Σεισμικής επικινδυνότητας		II					
Επιτάχυνση Βαρύτητας g (m/sec2)		9.810					
Σεισμική Επιτάχυνση εδάφους agR		0.240 * 9.810 = 2.3544					
Σύστημα κτιρίου κατά Χ							
Σύστημα κτιρίου κατά Ζ							
Κατηγορία Εδάφους		B					
Χαρακτηριστικές Περίοδοι Φάσματος		TB=0.15 TC=0.50 TD=2.50(sec)					
Συντελεστής-Κατηγορία Σπουδαιότητας		γI=1.000 - Σ2					
Συντελεστής Σεισμικής Συμπεριφοράς		αχ=2.000 - αz=2.000 - αy=2.000					
Συντελεστής Φασματικής Ενίσχυσης		β0=2.50					
Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης		ξ=5.000%					
α/α Στάθμης	Υψόμετρο	Διαστάσεις Κατόψεων		Συντ.ψ2 Φορτ.2	Τυχηματικές Εκκ/τες		
	(m)	Llx (m)	Llz (m)		etix(m)	etiz(m)	
0	0.000	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475	
1	2.120	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475	
2	3.000	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475	
3	4.670	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475	
4	5.310	2.400	9.500	0.300	0.120	0.475	
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: etix = 0.050 * Llx, etiz = 0.050 * Lllz							
Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου							
Διεύθυνση lx		Tlx (sec) =	0.1269	Rd(T) =	3.2776		
Διεύθυνση llz		Tllz (sec) =	0.0476	Rd(T) =	2.4069		
Διεύθυνση y		Tv (sec) =	0.0225	Rd(T) =	1.9696		
Καθ' ύψος Κατανομή Σεισμικής Δύναμης (Τέμνουσα-Ροπή)							
α/α Στάθμ.	Υψόμ. (m)	ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ		ΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (KNm)			
		ΦΟΡΤ. 3-I (Kn)	ΦΟΡΤ. 4-II (Kn)	ΦΟΡΤ. 5-I Από maxez	ΦΟΡΤ. 6-I Από minez	ΦΟΡΤ. 7-I Από maxex	ΦΟΡΤ. 8-I Από minex
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	2.120	334.306	245.368	112.764	-112.764	6.661	-6.661
2	3.000	31.977	23.467	15.574	-15.574	4.070	-4.070
3	4.670	127.268	93.443	97.145	-97.145	33.960	-33.960
4	5.310	14.599	10.721	12.673	-12.673	2.342	-2.342

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΩΝ									
ΣΕΝΑΡΙΟ :		ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΟΜΟΣΗΜΑ ΣΤΡΕΠΤΙΚΑ ΖΕΥΓΗ (EC8)							
Έλεγχος Διαφορές Μαζών και Ακαμψιών Σταθμών Κτιρίου § 4.2.3.3.									
a/a Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Συν.Μάζα KN/g	Συνολικές Ακαμψίες $K_i \cdot 10^3$ (KNm)		Διαφορές Μαζών - Ακαμψιών $(M_i+1-M_i)/M_i - (K_i+1-K_i)/K_i$				
			(Ki-X)	(Ki-Z)	(ΔMi)	(ΔKi-X)	(ΔKi-Z)		
1	2.120	120.050	6.053	9.459					
2	3.000	11.490	0.000	0.000	ελ. 0.90	ελ. 1.00	ελ. 1.00		
3	4.670	45.694	0.000	0.000	αυξ. 2.97	αυξ. 0.00	αυξ. 0.00		
4	5.310	5.240	3.566	3.566	ελ. 0.88	αυξ. 0.00	αυξ. 0.00		
Ο Έλεγχος ικανοποιεί τα Κριτήρια Κανονικότητας						NAI			
						OXI		✓	
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:		Μάζες : Η Αύξηση πρέπει ≤ 0.35 - Η Ελάττωση πρέπει ≤ 0.50 Ακαμψίες : Η Αύξηση πρέπει ≤ 0.35 - Η Ελάττωση πρέπει ≤ 0.50							
Κέντρο Βάρους - Κέντρο Ακαμψίας									
a/a Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Κέντρο Βάρους		Κέντρο Ακαμψίας		Απόσταση			
		X Συντ.(m)	Z Συντ.(m)	X Συντ.(m)	Z Συντ.(m)	K.B - K.A (m)			
1	2.120	2.6752	4.8994	2.6500	5.2662	0.3677			
2	3.000	2.7875	5.0760	0.0000	0.0000	5.7910			
3	4.670	2.7061	4.9967	0.0000	0.0000	5.6824			
4	5.310	2.5492	5.0212	2.6500	5.0931	0.1238			
Σεισμική Τέμνουσα Τοιχωμάτων § 5.1.2.									
Σεισμική Τέμνουσα Τοιχωμάτων							Στάθμη Αναφοράς		0 0.000(m)
a/a Στάθμης	Συνδ/μος	Τέμνουσα Τοιχ./Συνολική Τέμν. = nvx			Ικαν. Έλεγχος	Συνδ/μος	Τέμνουσα Τοιχ./Συνολική Τέμν. = nvz		
		Τέμνουσα Τοιχωμάτων	Συνολική Τέμνουσα	nvx			Τέμνουσα Τοιχωμάτων	Συνολική Τέμνουσα	nvz
1 ***	3	0.000	7.803	0.00	NAI	35	0.000	2.597	0.00
2	0	0.000	0.000	0.00		0	0.000	0.000	0.00
3	0	0.000	0.000	0.00		0	0.000	0.000	0.00
4	3	0.000	4.953	0.00		35	0.000	18.488	0.00
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:		*** = Στάθμη ελέγχου nv από κανονισμό							
Προσαύξηση Ροπής (§4.4.2.3)									
Διεύθυνση X:								NAI	
Διεύθυνση Z:								NAI	
Έλεγχος Κανονικότητας σε Κάτωση § 4.2.3.2									
a/a Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Lx (m)	Lz (m)	Συντ. $\lambda < 4$ L_{max}/L_{min}	ΣA_i (m ²)	$A_{i,max}$ (m ²)	Ao	$A_{i,max}/A_o$	Κανονικότητα
1	2.120	4.80	9.50	1.979	0.00	0.00		0.00	Ικανοποιείται
2	3.000	4.80	9.50	1.979	0.00	0.00		0.00	Ικανοποιείται
3	4.670	4.80	9.50	1.979	0.00	0.00		0.00	Ικανοποιείται
4	5.310	2.40	9.50	3.958	0.00	0.00		0.00	Ικανοποιείται
Κανονικότητα σε Κάτωση				§ 4.2.3.2		Διεύθυνση X			
a/a Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Συντ. r $\sqrt{\Sigma K_t / \Sigma k_{\perp}}$	$\geq$	Συντ. I_s $\sqrt{I_0 / \text{mass}}$	Εκκεντρότητα e_o (m)	Κανονικότητα			
1	2.120	1.867		0.000	0.367	Ικανοποιείται			
2	3.000	0.000		0.000	5.076	Δεν Ικανοποιείτ.			
3	4.670	0.000		0.000	4.997	Δεν Ικανοποιείτ.			
4	5.310	3.235		0.000	0.072	Ικανοποιείται			

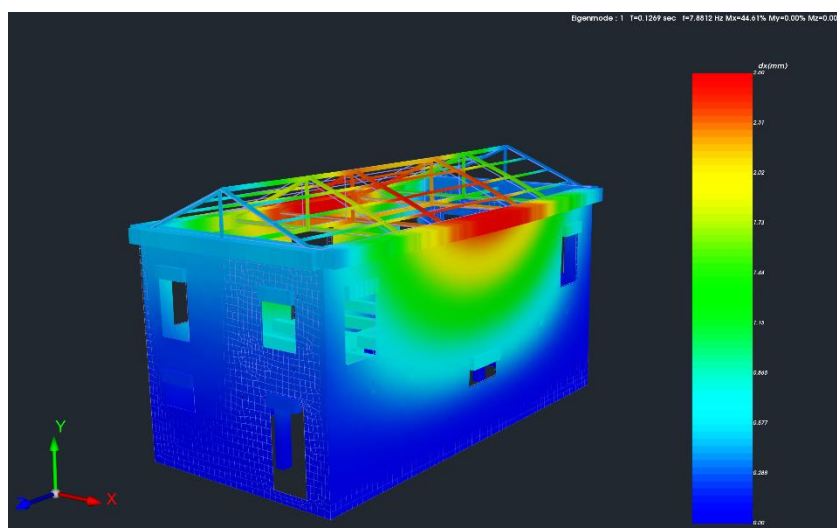
Το κτίριο είναι στρεπτικά ευαίσθητο ($r < I_s$)						Ναι
Κανονικότητα σε Κάτοψη				§ 4.2.3.2	Διεύθυνση Z	
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Συντ. r $\sqrt{K_t/\Sigma k_{\dots}}$	$\geq$	Συντ. I_s $\sqrt{I_0/mass}$	Εκκεντρότητα $e_o(m)$	Κανονικότητα
1	2.120	2.334		0.000	0.025	Ικανοποιείται
2	3.000	0.000		0.000	2.788	Δεν Ικανοποιείτ.
3	4.670	0.000		0.000	2.706	Δεν Ικανοποιείτ.
4	5.310	3.235		0.000	0.101	Ικανοποιείται
Το κτίριο είναι στρεπτικά ευαίσθητο ($r < I_s$)						Ναι
Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας						
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας				Δεν Ικανοποιείτ.		
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας				Δεν Ικανοποιείτ.		
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X				Ικανοποιείται		
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z				Ικανοποιείται		
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο				Δεν Ικανοποιείτ.		
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)				Δεν Ικανοποιείτ.		
Έλεγχος Επιρροών 2ας Τάξεως				Διεύθυνση X		§ 4.4.2.2(2),(3),(4)
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Κατακόρυφα Φορτία	Σχετική Μετ/ση d_e (mm)	Οριζόντια Δύναμη (KN)	θ_x	Έλεγχος 2ας Τάξης Πλαισίων
1- 5	2.120	12.025	0.5950	7.803	0.0009	ΕΠ.(<=0.1)
2- 3	3.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	ΕΠ.(<=0.1)
3- 3	4.670	0.000	0.0000	0.000	0.0000	ΕΠ.(<=0.1)
4-31	5.310	6.772	0.0246	4.953	0.0001	ΕΠ.(<=0.1)
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: ΕΠ = Επιτρέπεται, για $\theta_x \leq 0.1$ ΕΠΣ = Επιτρέπεται με επαύξηση σεισμικής έντασης, για $0.1 < \theta_x \leq 0.2$ ΑΠ = Απαγορεύεται, για $\theta_x > 0.3$						
Έλεγχος Επιρροών 2ας Τάξεως				Διεύθυνση Z		§ 4.4.2.2(2),(3),(4)
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Κατακόρυφα Φορτία	Σχετική Μετ/ση d_e (mm)	Οριζόντια Δύναμη (KN)	θ_z	Έλεγχος 2ας Τάξης Πλαισίων
1-39	2.120	12.025	0.1582	2.597	0.0007	ΕΠ.(<=0.1)
2-35	3.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	ΕΠ.(<=0.1)
3-35	4.670	0.000	0.0000	0.000	0.0000	ΕΠ.(<=0.1)
4-37	5.310	6.772	0.7225	18.488	0.0008	ΕΠ.(<=0.1)
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: ΕΠ = Επιτρέπεται, για $\theta_z \leq 0.1$ ΕΠΣ = Επιτρέπεται με επαύξηση σεισμικής έντασης, για $0.1 < \theta_z \leq 0.2$ ΑΠ = Απαγορεύεται, για $\theta_z > 0.3$						
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης ορόφου			Διεύθυνση X		§ 4.4.3.2(1)	
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Σχετική Μετ/ση $d_s = q \cdot d_e$ (mm)	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $d_r \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο=0.005	
1	2.120	1.1901	2.120	0.0003	Ικανοποιείται	
2	3.000	0.0000	0.880	0.0000	Ικανοποιείται	
3	4.670	0.0000	1.670	0.0000	Ικανοποιείται	
4	5.310	0.0492	0.640	0.0000	Ικανοποιείται	
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης ορόφου			Διεύθυνση Z		§ 4.4.3.2(1)	
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Σχετική Μετ/ση $d_s = q \cdot d_e$ (mm)	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $d_r \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο=0.005	
1	2.120	0.3164	2.120	0.0001	Ικανοποιείται	
2	3.000	0.0000	0.880	0.0000	Ικανοποιείται	
3	4.670	0.0000	1.670	0.0000	Ικανοποιείται	
4	5.310	1.4449	0.640	0.0011	Ικανοποιείται	

Πίνακας 5-0-9 Δεδομένα και αποτελέσματα σεισμικής δράσης(Ελαστική Δυναμική) χωρικού μοντέλου με F.E.M

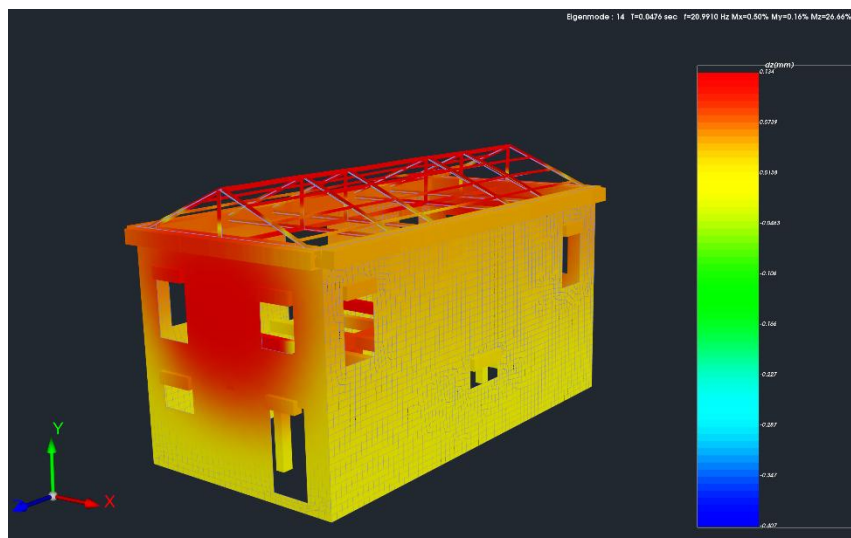
Εξάγονται από τον φορέα στοιχεία για τις ιδιομορφές της κατασκευής καθώς και το ποσοστό συμμετοχής της μάζας του κτιρίου σε κάθε μια από αυτές

ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ			
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος (sec)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΡΩΣΑΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ
X	1η	0.127	44.61%
Z	14Η	0.048	26.66%

Πίνακας 5-0-10 Ιδιομορφές προσομοιώματος



Εικόνα 5-0-20 1^η ιδιομορφή κατά X



Εικόνα 5--0-21 1^η Ιδιομορφή κατά Z

Το κτίριο για τους εξής φορτικούς συνδυασμούς:

- $1.35G + 1.5Q$
- $G + 0.3Q + E_x + 0.3E_y$
- $G + 0.3Q + 0.3E_x + E_y$
- $G + 0.3Q$

5.6 Δημιουργία φορέα με την μέθοδο του Ισοδύναμου Πλαισίου

Το λογισμικό SCADA Pro δίνει την δυνατότητα στον μελετητή να προσομοιώσει την κατασκευή μέσω της Μεθόδου του Ισοδύναμου Πλαισίου (Equivalent Frame Method – EFM ή Μέθοδος Ισοδύναμου Πλαισίου – ΜΙΠ), η οποία εφαρμόζεται εκτενώς στη διεθνή πρακτική και είναι πλήρως συμβατή με τις απαιτήσεις του ΚΑΔΕΤ και του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (EC8-3) για την αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών από τοιχοποιία. Η μέθοδος έχει αναλυθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 3.2.1.

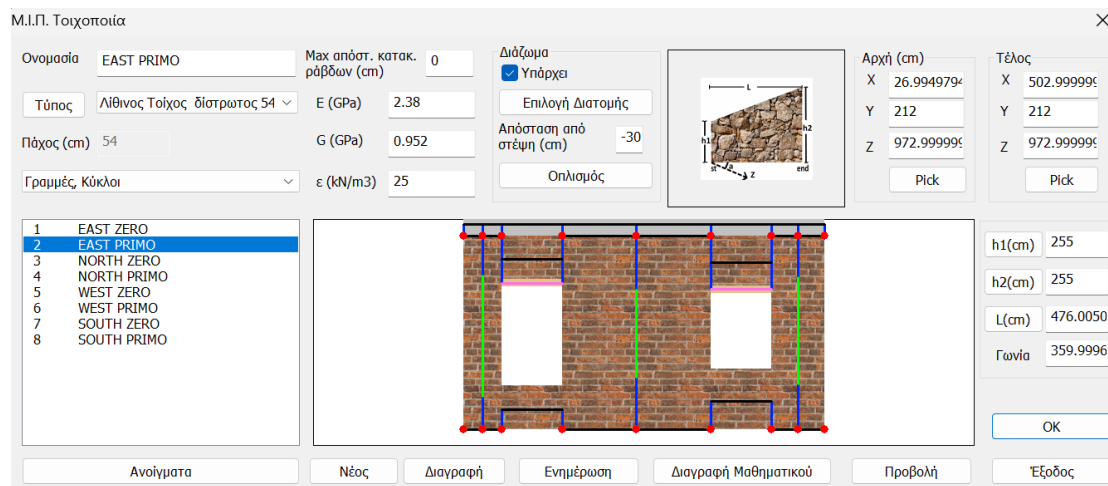
Στο περιβάλλον του SCADA Pro Μ.Ι.Π, κάθε τοίχος δεν προσομοιώνεται ως συνεχές επιφανειακό πεπερασμένο στοιχείο, αλλά ιδεατοποιείται ως επίπεδο ισοδύναμο πλαίσιο αποτελούμενο από γραμμικά στοιχεία δοκού και υποστυλώματος. Η διαδικασία βασίζεται στη γεωμετρία του τοίχου και των ανοιγμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την αυτόματη αναγνώριση των επιμέρους δομικών τμημάτων της τοιχοποιίας. Συγκεκριμένα, το πρόγραμμα διακρίνει τρεις βασικές κατηγορίες στοιχείων όπως αυτές καθορίζονται από την Μέθοδο του Ισοδύναμου πλαισίου:

- Πεσσούς (Piers), οι οποίοι αποτελούν τα κατακόρυφα φέροντα τμήματα μεταξύ των ανοιγμάτων και παραλαμβάνουν κυρίως αξονικές δυνάμεις, καμπτικές ροπές και τέμνουσες. Τοποθετούνται στον κεντροβαρικό άξονα των αντίστοιχων τμημάτων του τοίχου. Στο Scada Pro για την ορθή σύνδεσή τους τα υπόλοιπα στοιχεία του μοντέλου εφαρμόζονται άκαμπτες εκκεντρότητες (Rigid Offsets), οι οποίες υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα με βάση τη γεωμετρία του τοίχου, το πάχος της τοιχοποιίας και τη θέση των ανοιγμάτων. Με τον τρόπο αυτό διατηρείται η πραγματική γεωμετρική σχέση μεταξύ των επιμέρους στοιχείων, χωρίς να μεταβάλλεται η παραμορφωσιμότητα του φέροντος οργανισμού.
- Υπέρθυρα και ποδιές (Spandrels), τα οποία αντιστοιχούν στα οριζόντια τμήματα της τοιχοποιίας επάνω ή κάτω από τα ανοίγματα και λειτουργούν ως στοιχεία σύνδεσης μεταξύ των πεσσών. Στο Scada Pro τα στοιχεία αυτά τοποθετούνται επίσης στον κεντροβαρικό άξονά τους και αποτελούν τα οριζόντια παραμορφώσιμα μέλη του ισοδύναμου πλαισίου. Κατά τη σεισμική φόρτιση συμβάλλουν σημαντικά στη μεταφορά των διατμητικών δυνάμεων μεταξύ των γειτονικών πεσσών και επηρεάζουν καθοριστικά τη συνολική δυσκαμψία του τοίχου.
- Δοκούς σύζευξης ή άκαμπτες συνδέσεις (Rigid Links/Coupling Beams), οι οποίες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τη μεταφορά των εσωτερικών δυνάμεων μεταξύ πεσσών και υπέρθυρων. Για τη σύνδεση των κατακόρυφων και οριζόντιων στοιχείων δημιουργούνται αυτόματα δοκοί σύζευξης μεγάλης δυσκαμψίας. Τα στοιχεία αυτά θεωρούνται πρακτικά άκαμπτα και αβαρή καθώς θεωρούνται πρακτικά απαραμόρφωτες, ενώ στο SCADA Pro προσομοιώνονται συνήθως ως στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος με πολύ υψηλή δυσκαμψία. Η λειτουργία τους δεν είναι να παραλαμβάνουν σημαντικές παραμορφώσεις, αλλά να εξασφαλίζουν τη σωστή μεταφορά των εντατικών μεγεθών μεταξύ πεσσών και υπερθύρων, διατηρώντας τη γεωμετρία και τη συμβατότητα των μετακινήσεων του ισοδύναμου πλαισίου.

Μετά την ολοκλήρωση της γεωμετρικής εισαγωγής, το SCADA Pro δημιουργεί αυτόματα το αριθμητικό μοντέλο του φορέα. Όλοι οι τοίχοι συνδέονται σε ένα ενιαίο

τρισεδιάστατο χωρικό σύστημα, στο οποίο εισάγονται τα χαρακτηριστικά των υλικών, οι μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας, οι στάθμες γνώσης (Knowledge Levels) σύμφωνα με τον EC8-3, καθώς και οι μόνιμες, κινητές και σεισμικές δράσεις που προβλέπονται από τους ισχύοντες κανονισμούς. Η μεταφορά των κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων προς τους πεσσούς και τα υπέρθυρα πραγματοποιείται αυτόματα, ενώ λαμβάνεται υπόψη η λειτουργία των οριζόντιων διαφραγμάτων και η συνεργασία όλων των φερόντων τοίχων του κτιρίου.

Για τον σχηματισμό του μοντέλου γίνεται ο σχηματισμός των τοίχων του μοντέλου. Καθορίζεται λοιπόν ο τύπος το διάζωμα και η γεωμετρία του κάθε τοίχου. Από την βιβλιοθήκη της τοιχοποιίας επιλέγεται η τοιχοποιία όπως αυτή σχηματίστηκε αφού ορίστηκε το λιθόσωμα το κονίαμα και οι αντοχές σε θλίψη και εφελκισμό(βλέπε 5.1.1 Πίνακας 5-0-1.



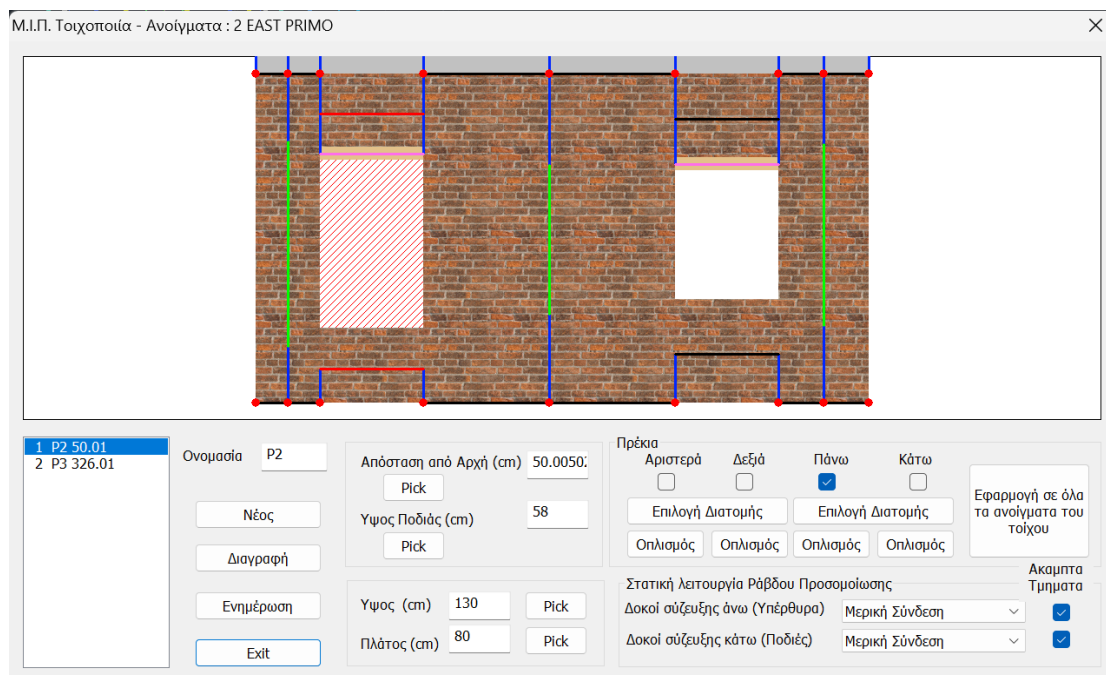
Εικόνα 5-0-22 Προσομοίωση τοιχοποιίας στο λογισμικό με την Μέθοδο Ισοδύναμου πλαισίου

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής των τοίχων, ακολουθεί ο ορισμός των ανοιγμάτων (θυρών και παραθύρων), τα οποία αποτελούν κρίσιμο στοιχείο της γεωμετρικής και στατικής προσομοίωσης του φορέα. Στο περιβάλλον SCADA PRO η διαδικασία πραγματοποιείται με τρόπο αντίστοιχο με τον καθορισμό των τοίχων και περιλαμβάνει τη συμπλήρωση των απαραίτητων γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών κάθε ανοίγματος. (HELLAS, 2026). Ειδικότερα, για κάθε άνοιγμα καθορίζονται:

- Γεωμετρία, όπου εισάγονται οι διαστάσεις, η θέση και η στάθμη του ανοίγματος επί του τοίχου.

- Πρέκια, στα οποία ορίζονται τα χαρακτηριστικά του υπέρθυρου στοιχείου (υλικό, διαστάσεις και τύπος), ώστε να ληφθεί υπόψη η συμβολή του στη μεταφορά των κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων.
- Στατική λειτουργία ράβδου, μέσω της οποίας προσδιορίζεται ο τρόπος με τον οποίο το υπέρθυρο προσομοιώνεται στο αριθμητικό μοντέλο, επηρεάζοντας τη δυσκαμψία και τη συνολική συμπεριφορά του τοίχου.

Η σωστή εισαγωγή των ανοιγμάτων είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επηρεάζει άμεσα την αυτόματη αναγνώριση των πεσσών και των υπέρθυρων από το πρόγραμμα κατά την εφαρμογή της Μεθόδου του Ισοδύναμου Πλαισίου (Equivalent Frame Method – EFM). Με βάση τη γεωμετρία των ανοιγμάτων, το SCADA Pro διαχωρίζει τον τοίχο στα επιμέρους δομικά στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν στη στατική ανάλυση, εξασφαλίζοντας μία ρεαλιστική αναπαράσταση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής με μικρό υπολογιστικό κόστος και αξιόπιστα αποτελέσματα.



Εικόνα 5-0-23 Τοιχοποιία EAST PRIMO προσομοιώματος M.I.P.

Στο στάδιο αυτό κάθε τοίχος μετατρέπεται σε ένα σύνολο γραμμικών στοιχείων, τα οποία αναπαριστούν τη μηχανική συμπεριφορά του κατά τη στατική και σεισμική

ανάλυση.

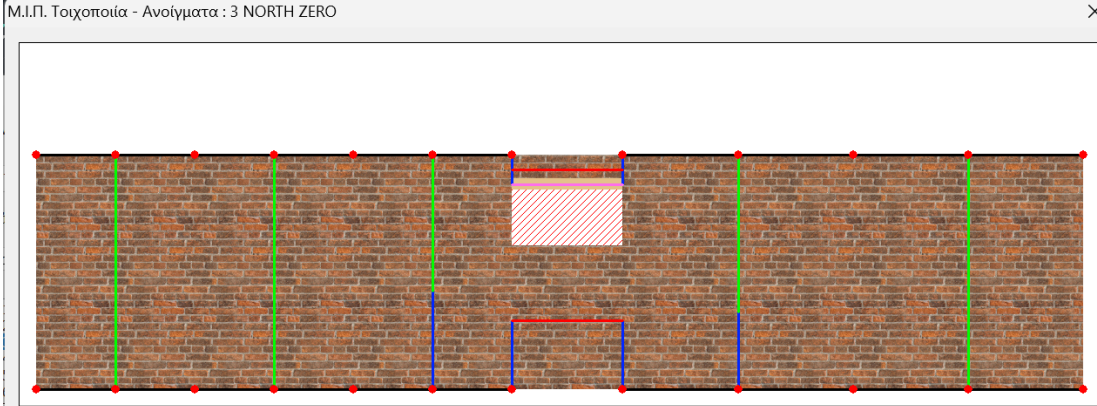
Μ.Ι.Π. Τοιχοποιία - Ανοίγματα : 1 EAST ZERO



1 P1 50.01	Ονομασία	P1	Απόσταση από Αρχή (cm)	50.0050:	Πρέκια	Αριστερά	Δεξιά	Πάνω	Κάτω	Εφαρμογή σε όλα τα ανοίγματα του τοίχου
2 TH1 338.01			Pick			☐	☐	☒	☐	
	Νέος		Υψος Ποδιάς (cm)	130	Επιλογή Διατομής	Επιλογή Διατομής				
	Διαγραφή		Pick		Οπλισμός	Οπλισμός	Οπλισμός	Οπλισμός		
	Ενημέρωση		Υψος (cm)	63	Pick	Στατική λειτουργία Ράβδου Προσομοίωσης				Ακαμπτα Τμήματα
	Exit		Πλάτος (cm)	83	Pick	Δοκοί σύζευξης άνω (Υπέρθυρα)				Μερική Σύνδεση
						Δοκοί σύζευξης κάτω (Ποδιές)				Μερική Σύνδεση

Εικόνα 5-0-24 Τοιχοποιία EAST ZERO προσομοιώματος Μ.Ι.Π

Μ.Ι.Π. Τοιχοποιία - Ανοίγματα : 3 NORTH ZERO



1 P4 430.00	Ονομασία	P4	Απόσταση από Αρχή (cm)	430	Πρέκια	Αριστερά	Δεξιά	Πάνω	Κάτω	Εφαρμογή σε όλα τα ανοίγματα του τοίχου
			Pick			☐	☐	☒	☐	
	Νέος		Υψος Ποδιάς (cm)	130	Επιλογή Διατομής	Επιλογή Διατομής				
	Διαγραφή		Pick		Οπλισμός	Οπλισμός	Οπλισμός	Οπλισμός		
	Ενημέρωση		Υψος (cm)	50	Pick	Στατική λειτουργία Ράβδου Προσομοίωσης				Ακαμπτα Τμήματα
	Exit		Πλάτος (cm)	100	Pick	Δοκοί σύζευξης άνω (Υπέρθυρα)				Μερική Σύνδεση
						Δοκοί σύζευξης κάτω (Ποδιές)				Μερική Σύνδεση

Εικόνα 5-0-25 Τοιχοποιία NORTH ZERO προσομοιώματος Μ.Ι.Π

Μ.Ι.Π. Τοιχοποιία - Ανοίγματα : 4 NORTH PRIMO

1 P5 50.00
2 P6 796.00

Ονομασία P5

Απόσταση από Αρχή (cm) 50.0000
Pick

Υψος Ποδιάς (cm) 58
Pick

Υψος (cm) 130
Pick

Πλάτος (cm) 80
Pick

Πρέκια
Αριστερά Δεξιά Πάνω Κάτω

Επιλογή Διατομής Επιλογή Διατομής

Οπλισμός Οπλισμός Οπλισμός Οπλισμός

Εφαρμογή σε όλα τα ανοίγματα του τοίχου

Ακαμπτα Τμήματα

Στατική λειτουργία Ράβδου Προσομοίωσης

Δοκοί σύζευξης άνω (Υπέρθυρα) Μερική Σύνδεση

Δοκοί σύζευξης κάτω (Ποδιές) Μερική Σύνδεση

Exit

Εικόνα 5-0-26 Τοιχοποιία NORTH PRIMO προσομοιώματος Μ.Ι.Π.

Μ.Ι.Π. Τοιχοποιία - Ανοίγματα : 5 WEST ZERO

1 P5 50.00
2 P6 796.00

Ονομασία

Απόσταση από Αρχή (cm) 0
Pick

Υψος Ποδιάς (cm) 0
Pick

Υψος (cm) 0
Pick

Πλάτος (cm) 0
Pick

Πρέκια
Αριστερά Δεξιά Πάνω Κάτω

Επιλογή Διατομής Επιλογή Διατομής

Οπλισμός Οπλισμός Οπλισμός Οπλισμός

Εφαρμογή σε όλα τα ανοίγματα του τοίχου

Ακαμπτα Τμήματα

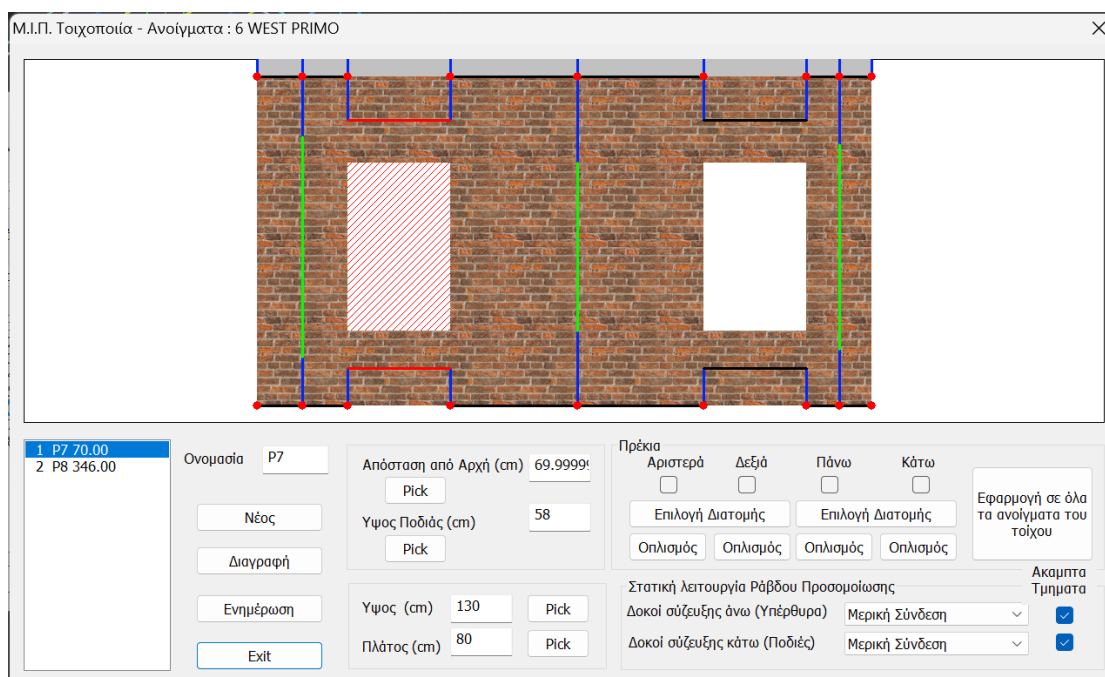
Στατική λειτουργία Ράβδου Προσομοίωσης

Δοκοί σύζευξης άνω (Υπέρθυρα) Πλήρης Σύνδεση

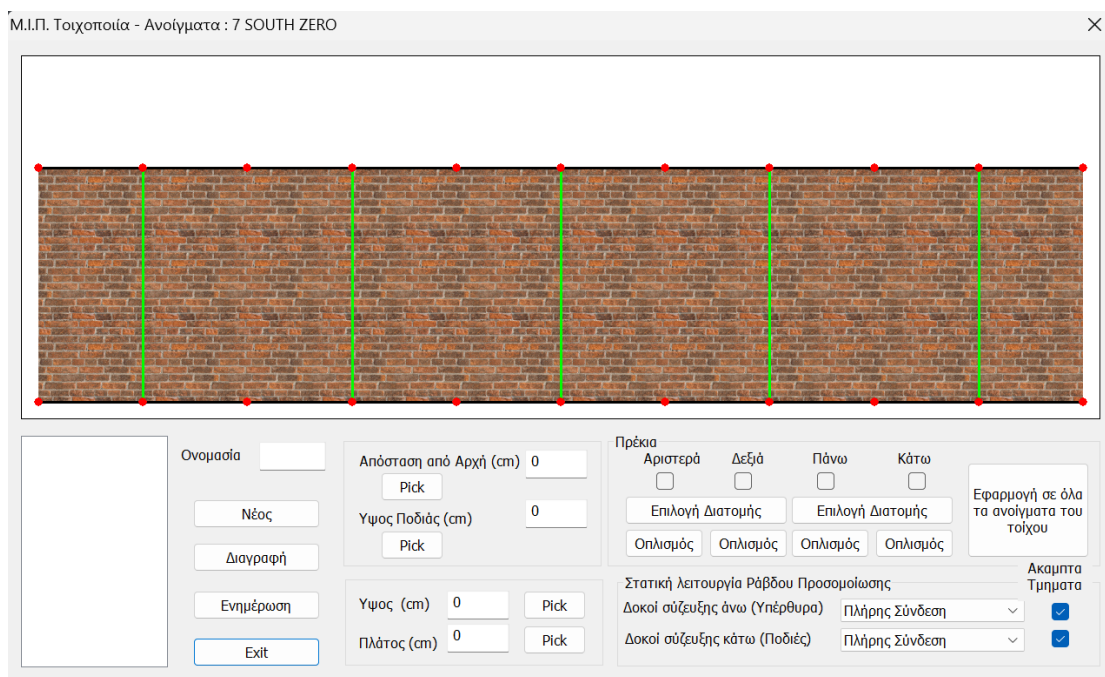
Δοκοί σύζευξης κάτω (Ποδιές) Πλήρης Σύνδεση

Exit

Εικόνα 5-0-27 Τοιχοποιία WEST ZERO προσομοιώματος Μ.Ι.Π.



Εικόνα 5-0-28 Τοιχοποιία WEST PRIMO προσομοιώματος Μ.Ι.Π



Εικόνα 5-0-29 Τοιχοποιία SOUTH ZERO προσομοιώματος Μ.Ι.Π.

Μ.Ι.Π. Τοιχοποιία

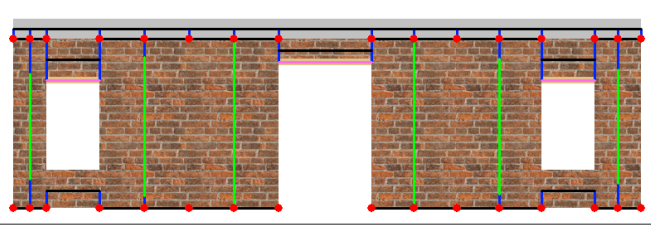
Όνομασία: SOUTH PRIMO Μακ. απόστ. κατακ. ράβδων (cm): 0

Τύπος: Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54 E (GPa): 2.38 Διάζωμα: ☒ Υπάρχει

Πάχος (cm): 54 G (GPa): 0.952 Επιλογή Διατομής:  Αρχή (cm): X: 27, Y: 212, Z: 27 Τέλος: X: 26.994979, Y: 212, Z: 972.999999

Γραμμές, Κύκλοι: ε (kN/m³): 25 Απόσταση από στέψη (cm): -30 Οπλισμός:

1 EAST ZERO
2 EAST PRIMO
3 NORTH ZERO
4 NORTH PRIMO
5 WEST ZERO
6 WEST PRIMO
7 SOUTH ZERO
8 **SOUTH PRIMO**

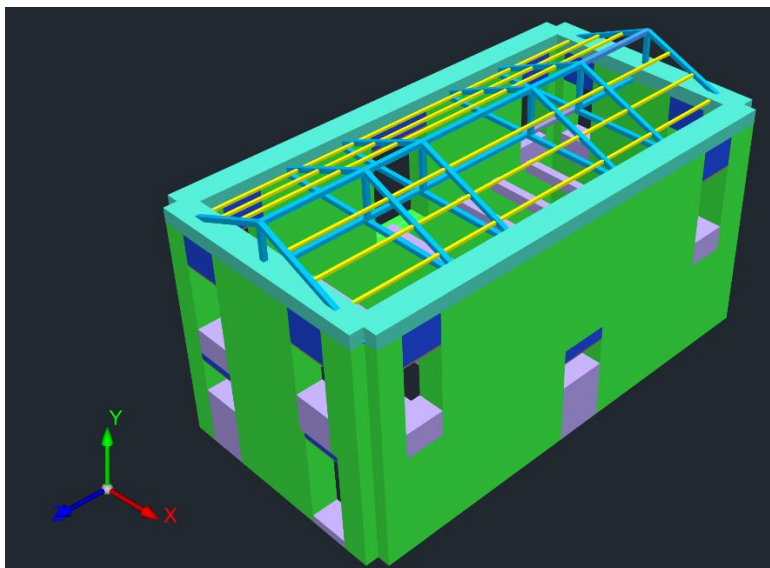


h1(cm): 255 h2(cm): 255 L(cm): 945.9999 Γωνία: 269.9993

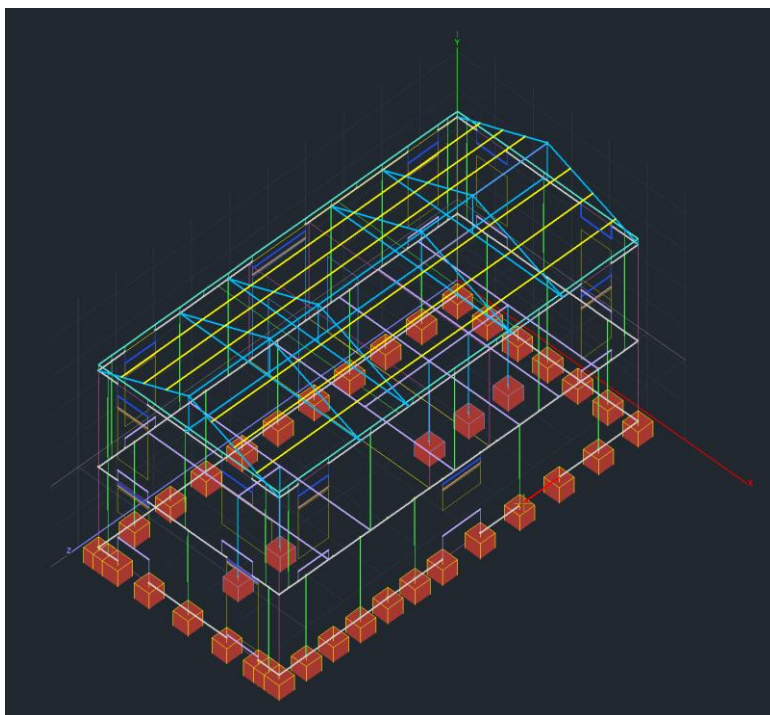
Εικόνα 5-0-30 Τοιχοποιία SOUTH PRIMO προσομοιώματος Μ.Ι.Π.

Μετά την ολοκλήρωση της μαθηματικής προσομοίωσης του φορέα με τη Μέθοδο του Ισοδύναμου Πλαισίου (Equivalent Frame Method), η διαδικασία συνεχίζεται με τα υπόλοιπα στάδια του υπολογιστικού μοντέλου. Στο στάδιο αυτό εισάγονται τα δομικά στοιχεία που δεν αποτελούν μέρος της τοιχοποιίας, όπως οι πλάκες των ορόφων, ενώ παράλληλα ορίζονται όλες οι απαραίτητες φορτίσεις του φορέα. Συγκεκριμένα, καταχωρούνται τα μόνιμα φορτία, τα κινητά φορτία χρήσης, καθώς και οι υπόλοιπες δράσεις που προβλέπονται από τους ισχύοντες κανονισμούς. Οι πλάκες συμβάλλουν στη μεταφορά των φορτίων προς τους φέροντες τοίχους και, ανάλογα με τη διαφραγματική τους λειτουργία, επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική κατανομή των σεισμικών δράσεων στο κτίριο.

Αφού ολοκληρωθεί η εισαγωγή όλων των φορτίσεων και των συνδυασμών τους το μοντέλο είναι έτοιμο για το στάδιο της εφαρμογής της ανελαστικής στατικής ανάλυσης.



Εικόνα 5-0-31 Χρική φωτορεαλιστική απεικόνιση με Μ.Ι.Π



Εικόνα 5-0-32 Χωρικό μαθηματικό προσομοίωμα Μ.Ι.Π

5.7 Ανελαστική Στατική ανάλυση του μοντέλου με Μ.Ι.Π.

Με την ενσωμάτωση της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover Analysis) στο προσομοίωμα εφαρμόζεται σταδιακά αυξανόμενη πλευρική φόρτιση, με αποτέλεσμα την προοδευτική ανάπτυξη βλαβών στους πεσσούς και στα υπέρθυρα. Το πρόγραμμα προσομοιώνει τη σταδιακή υποβάθμιση της δυσκαμψίας των στοιχείων, εντοπίζει τον μηχανισμό αστοχίας του φορέα και υπολογίζει την καμπύλη ικανότητας (Capacity Curve), από την οποία προσδιορίζεται η διαθέσιμη σεισμική ικανότητα της κατασκευής. Στη συνέχεια, η καμπύλη αυτή συγκρίνεται με τη σεισμική απαίτηση μέσω της μετακίνησης-στόχου (Target Displacement), όπως προβλέπεται από τον ΚΑΔΕΤ και τον EC8-3. Η διαδικασία επιτρέπει τον έλεγχο των επιπέδων επιτελεστικότητας της κατασκευής που χρησιμοποιούνται στον ΚΑΔΕΤ (EN 1998-3: , 2022) και αξιολογείται εάν το υφιστάμενο κτίριο ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του επιθυμητού επιπέδου επιτελεστικότητας ή εάν απαιτούνται επεμβάσεις ενίσχυσης.

Εισάγονται οι παράμετροι της ανελαστικής

Εικόνα 5-0-33 Παράμετροι ανελαστικής στατικής ανάλυσης

Υπολογισμός Στοχευόμενης κατά:

Το πεδίο αφορά : Μέλη Τοιχοποιίας / Λοιπά μέλη
(μπετό, μεταλλικά)

Υπολογισμός Στοχευόμενης κατά	EC8	M.I.Π. Τοιχοποιία		Λοιπά μέλη
Καμπύλες ικανότητας	ΚΑΝ.ΕΠΕ. EC8	Πλαστικός αρθρώσεις και στα δύο άκρα ☒		☐
☒ Με βαθμιαία απώλεια αντοχής		Εναπομένουσα αντοχή ☒		☐
Μέγιστος αριθμός καμπυλών	15	$V_{res} =$	0.5 * V_{Rd}	0.25 * V_{Rd}
Ποσοστό V_{max} για καμπύλη	20 %	$\theta_{max} =$	1.5 * θ_u	1.5 * θ_u

Επιλογή Καμπύλων ικανότητας με
Πτωτικούς Κλάδους

Εναπομένουσα αντοχή μετά την πλαστικοποίηση

Εικόνα 5-0-34 Παράμετροι

Η επιλογή «Με βαθμιαία απώλεια αντοχής» ενεργοποιεί την προσομοίωση της προοδευτικής υποβάθμισης της φέρουσας ικανότητας των στοιχείων της τοιχοποιίας μετά την έναρξη της αστοχίας. Αντί η αντοχή να μηδενίζεται στιγμιαία, το πρόγραμμα δημιουργεί διαδοχικούς πτωτικούς κλάδους (descending branches), οι οποίοι αποτυπώνουν ρεαλιστικότερα τη μετα-ελαστική συμπεριφορά του φορέα.

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, υπολογίζεται αρχικά η πρώτη καμπύλη ικανότητας. Όταν ένα άκρο πεσσού ή υπέρθυρου φτάσει στην κατάσταση αστοχίας, το πρόγραμμα θεωρεί ότι στο σημείο αυτό σχηματίζεται πλαστική άρθρωση. Στη συνέχεια το στοιχείο αποκτά μειωμένη δυσκαμψία και εκτελείται νέα επαναληπτική ανάλυση, από την οποία προκύπτει ο επόμενος πτωτικός κλάδος της καμπύλης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού της ανάλυσης.

Η παράμετρος «Μέγιστος αριθμός καμπυλών» καθορίζει το ανώτατο πλήθος επαναλήψεων που θα πραγματοποιήσει το πρόγραμμα κατά τη δημιουργία των διαδοχικών πτωτικών κλάδων της καμπύλης ικανότητας.

Κάθε νέα καμπύλη αντιστοιχεί σε μία νέα κατάσταση βλαβών του φορέα, μετά τον σχηματισμό επιπλέον πλαστικών αρθρώσεων ή την υποβάθμιση ήδη αστοχημένων στοιχείων. Με τον τρόπο αυτό προσομοιώνεται σταδιακά η εξέλιξη της σεισμικής βλάβης μέχρι την τελική κατάσταση αστοχίας του δομήματος.

Η παράμετρος «Ποσοστό V_{max} για καμπύλη» καθορίζει το όριο τερματισμού της τελικής καμπύλης ικανότητας, με βάση τη μείωση της τέμνουσας βάσης του φορέα.

Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας του αριθμητικού μοντέλου και την επιβολή των μόνιμων κατακόρυφων φορτίων, εφαρμόζονται στο προσομοίωμα οριζόντια φορτία, τα οποία προσομοιώνουν τη σεισμική δράση. Τα φορτία αυτά κατανέμονται καθ' ύψος σύμφωνα με προκαθορισμένα πρότυπα κατανομής, ώστε να προσεγγίζουν την πραγματική κατανομή των αδρανειακών δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.

Η επιβολή των οριζόντιων φορτίων πραγματοποιείται μονοτονικά, μέσω διαδοχικών αυξήσεων του φορτίου (load increments). Σε κάθε βήμα της ανάλυσης υπολογίζεται η απόκριση του φορέα, ενώ η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου η κατασκευή φθάσει στην οριακή της κατάσταση και δεν είναι πλέον ικανή να παραλάβει με ασφάλεια τα κατακόρυφα φορτία λειτουργίας.

Κατά την εξέλιξη της φόρτισης, όταν κάποιο δομικό στοιχείο φτάσει στην αντοχή του, θεωρείται ότι σχηματίζεται πλαστική άρθρωση. Το SCADA Pro ενημερώνει αυτόματα το υπολογιστικό μοντέλο, μειώνοντας τη δυσκαμψία του συγκεκριμένου στοιχείου και ανακατανέμοντας τις εσωτερικές δυνάμεις στα υπόλοιπα μέλη του φορέα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να σχηματιστεί ο πλήρης μηχανισμός αστοχίας.

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΚΑΔΕΤ και του EC8-3, η ανελαστική στατική ανάλυση εκτελείται με τουλάχιστον δύο διαφορετικές κατανομές οριζόντιων φορτίων:

- Ορθογωνική (Uniform Pattern), όπου οι οριζόντιες δυνάμεις κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλους τους ορόφους.
- Τριγωνική (Triangular Pattern), όπου οι οριζόντιες δυνάμεις αυξάνονται προοδευτικά με το ύψος του κτιρίου, προσεγγίζοντας την κατανομή των αδρανειακών δυνάμεων της πρώτης ιδιομορφής.

Η τελική αξιολόγηση της κατασκευής βασίζεται στη δυσμενέστερη απόκριση που προκύπτει από τις δύο αυτές κατανομές.

Υπολογισμός της μετακίνησης του κόμβου ελέγχου

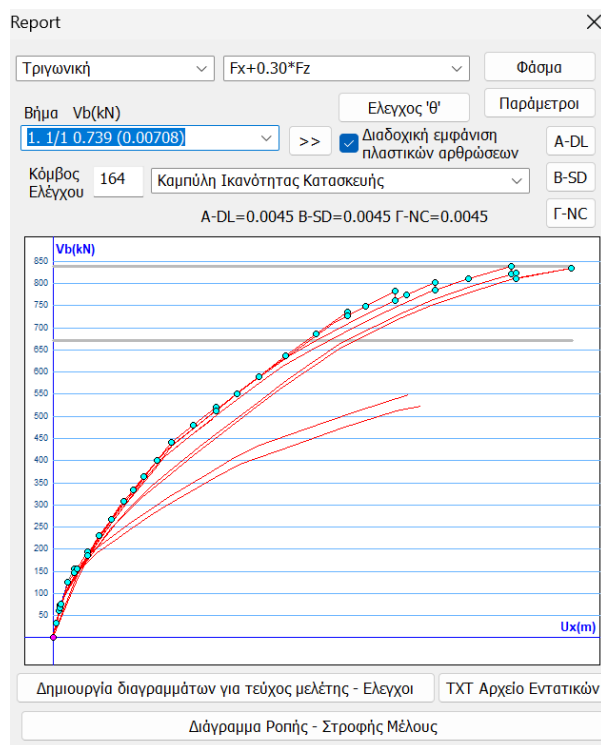
Σε κάθε στάδιο της επαυξητικής φόρτισης υπολογίζεται η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου (Control Node), ο οποίος συνήθως επιλέγεται στη στέψη του φορέα ή στο κέντρο μάζας της ανώτερης στάθμης. Η μετακίνηση του κόμβου αυτού αποτελεί το βασικό μέγεθος με το οποίο περιγράφεται η συνολική σεισμική απόκριση της κατασκευής.

Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται λαμβάνοντας υπόψη την αρχική απομειωμένη δυσκαμψία του φορέα, όπως προβλέπεται από τον ΚΑΔΕΤ. Η απομείωση αυτή αποσκοπεί στη ρεαλιστικότερη προσομοίωση της συμπεριφοράς των υφιστάμενων κατασκευών, λαμβάνοντας υπόψη την ύπαρξη ρηγματώσεων, τις ατέλειες των υλικών και τις ήδη υπάρχουσες βλάβες.

Κατά την εξέλιξη της ανελαστικής ανάλυσης δημιουργούνται διαδοχικοί πτωτικοί κλάδοι, καθώς αυξάνονται οι βλάβες στα δομικά στοιχεία. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου η τέμνουσα βάσης μειωθεί κάτω από ένα προκαθορισμένο ποσοστό της μέγιστης τιμής που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της φόρτισης (V_{max}). Συνήθως χρησιμοποιείται τιμή 20%, σύμφωνα με τις προτεινόμενες ρυθμίσεις του λογισμικού.

Εάν ένας τελευταίος πτωτικός κλάδος βρίσκεται εξ ολοκλήρου κάτω από το όριο αυτό, δεν λαμβάνεται υπόψη στη χάραξη της τελικής καμπύλης ικανότητας. Ως εκ τούτου, η καμπύλη ολοκληρώνεται στο τελευταίο σημείο όπου η τέμνουσα βάσης παραμένει μεγαλύτερη από το επιλεγμένο ποσοστό του V_{max} . Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η συμπερίληψη τμημάτων της απόκρισης που αντιστοιχούν σε πρακτικά πλήρη απώλεια της φέρουσας ικανότητας του φορέα.

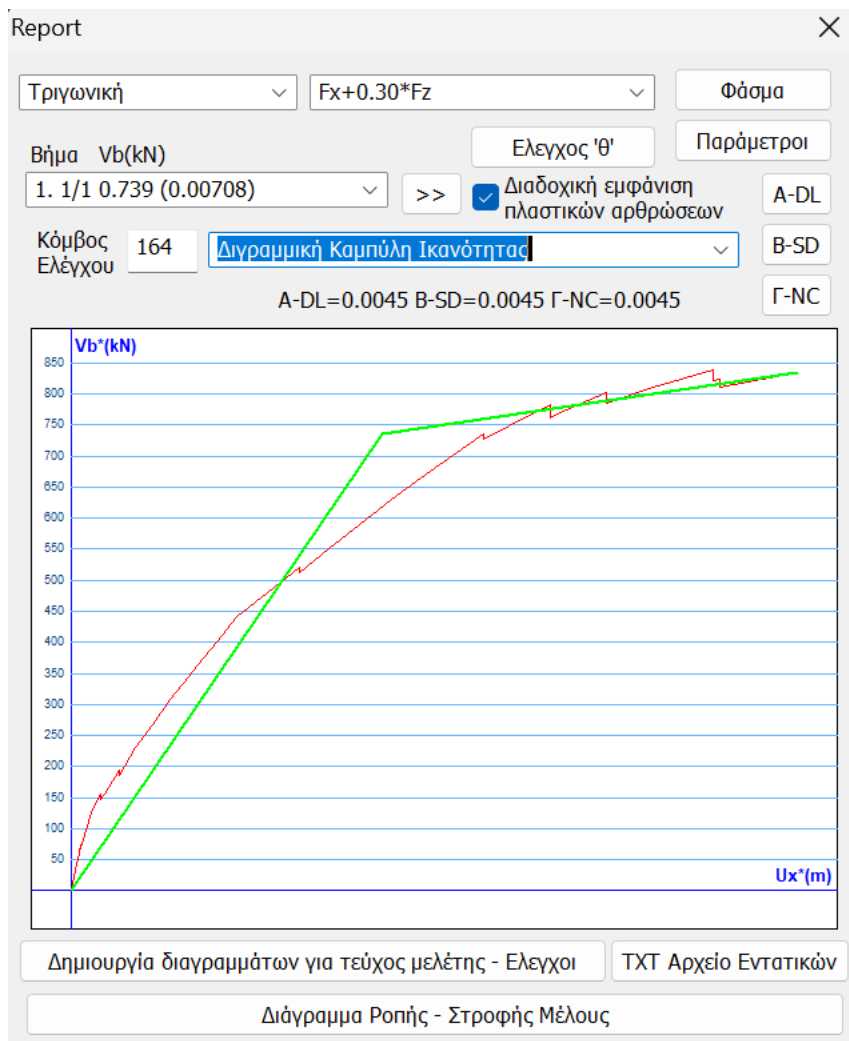
Μετά την ολοκλήρωση της επαυξητικής φόρτισης και την καταγραφή της απόκρισης του φορέα, το SCADA Pro δημιουργεί την καμπύλη ικανότητας (Capacity Curve), η οποία απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της τέμνουσας βάσης και της μετακίνησης του κόμβου ελέγχου. Η καμπύλη αυτή εκφράζει τη συνολική ανελαστική συμπεριφορά του κτιρίου και αποτελεί το βασικό μέγεθος για την αποτίμηση της σεισμικής του ικανότητας



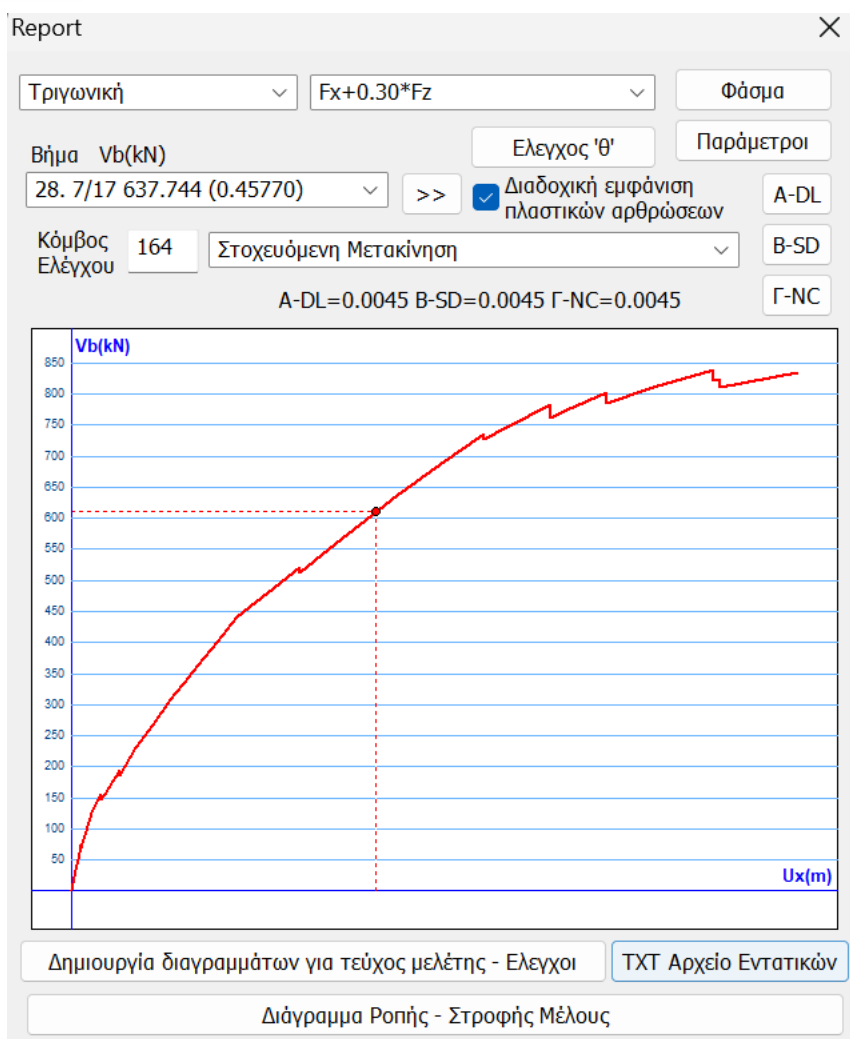
Εικόνα 5-0-35 Καμπύλη Ικανότητας κατασκευής

Κατά τη δημιουργία της καμπύλης λαμβάνεται υπόψη η βαθμιαία απώλεια αντοχής των στοιχείων της τοιχοποιίας. Κάθε φορά που σχηματίζονται νέες πλαστικές αρθρώσεις και μειώνεται η δυσκαμψία του φορέα, δημιουργείται ένας νέος πτωτικός κλάδος της καμπύλης, ο οποίος αποτυπώνει τη σταδιακή υποβάθμιση της φέρουσας ικανότητας μετά την έναρξη της αστοχίας. Με τον τρόπο αυτό προσομοιώνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια η πραγματική μετασεισμική συμπεριφορά της κατασκευής.

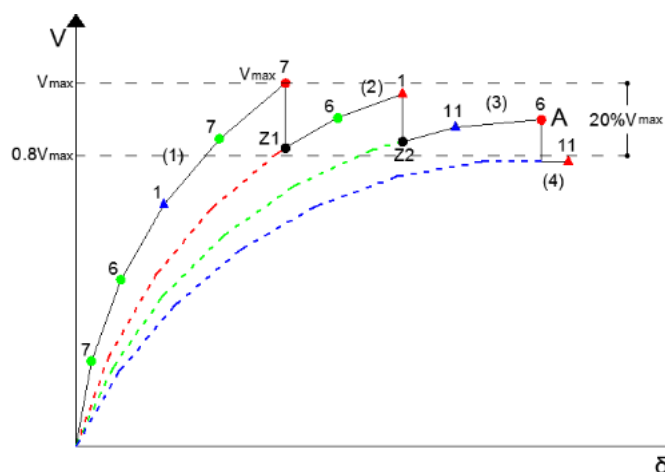
Στη συνέχεια, η πρωτογενής καμπύλη ικανότητας εξιδανικεύεται σε μία διγραμμική καμπύλη (Bilinear Capacity Curve). Η εξιδανίκευση αυτή επιτρέπει την αντικατάσταση της πραγματικής ανελαστικής απόκρισης από ένα ισοδύναμο διγραμμικό μοντέλο, το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του σημείου διαρροής, της διαθέσιμης πλαστικότητας και της στοχευόμενης μετακίνησης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΚΑΔΕΤ και του EC8-3.



Εικόνα 5-0-36 Διγραμμική καμπύλη Ικανότητας προσομοιόματος



Εικόνα 5-0-37 Στοχευόμενη Μετακίνηση προσομοιώματος



Εικόνα 5-0-38 καμπύλη ανελαστικής (Εγχειρίδιο SCADA PRO)

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, για κάθε βήμα φόρτισης και για κάθε άκρο όλων των μελών που συμμετέχουν στο μαθηματικό πρότυπο, το πρόγραμμα υπολογίζει τον λόγο αξιοποίησης λ (lambda) οριζόμενος ως το πηλίκο της διαθέσιμης αντοχής του στοιχείου προς το αντίστοιχο εντατικό μέγεθος που αναπτύσσεται κατά την ανάλυση. Η διαθέσιμη αντοχή προσδιορίζεται ως η ελάχιστη τιμή μεταξύ των τεσσάρων επιμέρους αντοχών που αντιστοιχούν στους πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας, δηλαδή στις τρεις μορφές αστοχίας εντός επιπέδου και στη μία μορφή αστοχίας εκτός επιπέδου. Η μικρότερη από αυτές θεωρείται κρίσιμη και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του λόγου φόρτισης.

Εικόνα 5-0-39 λόγος λάμδα

Όσο ο λόγος λ παραμένει μικρότερος της μονάδας, το στοιχείο θεωρείται ότι διαθέτει επαρκή φέρουσα ικανότητα, ενώ τιμές που προσεγγίζουν ή υπερβαίνουν τη μονάδα υποδηλώνουν ότι το στοιχείο πλησιάζει ή έχει φθάσει στην οριακή του κατάσταση.

Η αξιολόγηση της αντοχής πραγματοποιείται εξετάζοντας τέσσερις διαφορετικούς μηχανισμούς αστοχίας, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τις σημαντικότερες μορφές συμπεριφοράς της φέρουσας τοιχοποιίας υπό σεισμική δράση. Για τις **εντός επιπέδου καταπονήσεις** εξετάζονται τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί:

- η αστοχία λόγω κάμψης,
- η διατμητική ολίσθηση κατά μήκος των οριζόντιων αρμών,
- η διατμητική αστοχία λόγω διαγώνιας ρηγμάτωσης.

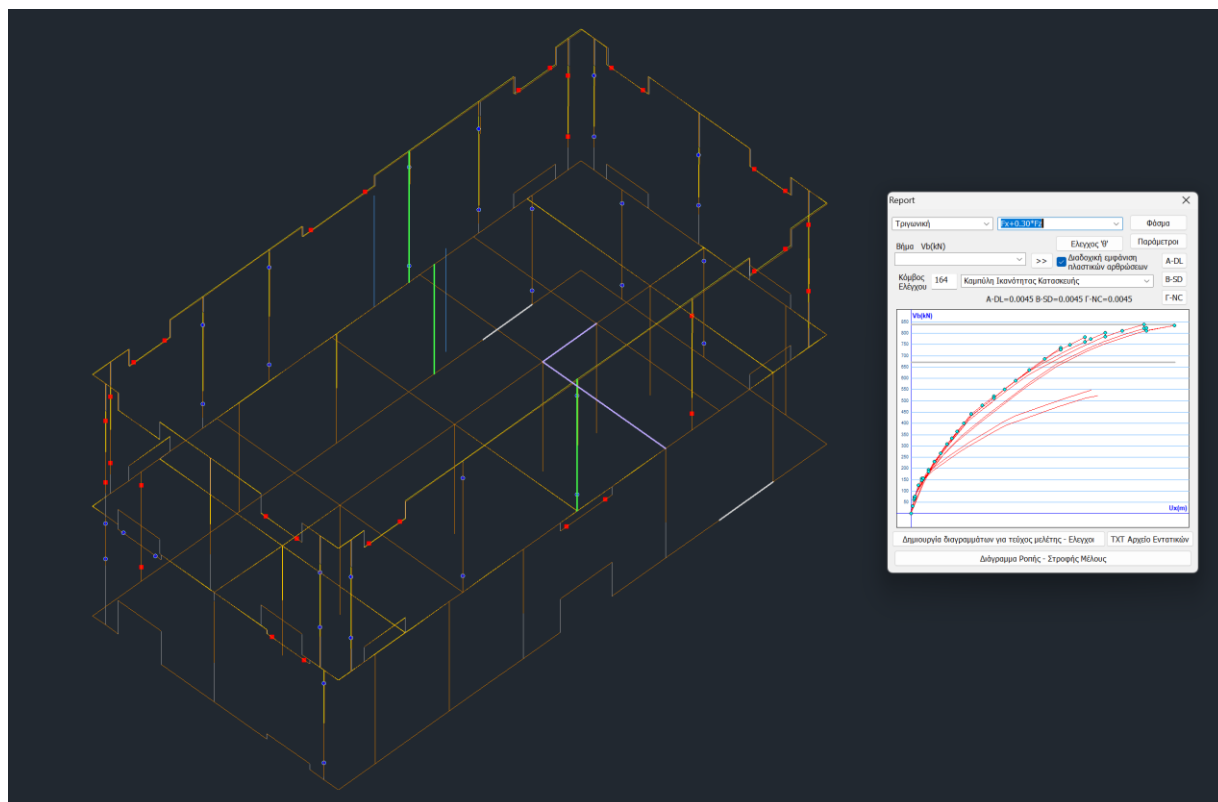
Παράλληλα, για τις **εκτός επιπέδου δράσεις** εξετάζεται η αστοχία λόγω κάμψης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών, η οποία αποτελεί ιδιαίτερα κρίσιμο μηχανισμό σε τοίχους με ανεπαρκή εγκάρσια στήριξη ή περιορισμένη συνεργασία με τα πατώματα.

Οι μηχανισμοί αστοχίας αναλύονται στο επόμενο Κεφάλαιο

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της ανάλυσης στο προσομοίωμα αντλούνται τα εξής

Ενδεικτικά για την $Fx+0,30 \cdot Fz$ – Τριγωνική

Για την Στάθμη Επιτελεστικότητα Β στο Βήμα 28 παραθέτονται οι αστοχίες που φαίνονται στον παρακάτω χωρικό φορέα.



Εικόνα 5-0-40 αστοχίες για Σταθμη Επιτελεστικότητας Β Βήμα 28 $Fx+0,3 \cdot Fz$ – Τριγωνική

Ελεγχτοι										
	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	DL			SD			NC		
		Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ	Δ	Κ	Σ
1	$Fx+0.30 \cdot Fz$ - Τριγωνική	22	42	64	20	12	32	20	12	32
9	$-Fx+0.30 \cdot Fz$ - Τριγωνική	18	2	20	18	2	20	18	2	20
17	$Fz+0.30 \cdot Fx$ - Τριγωνική	18	0	18	18	0	18	18	0	18
25	$-Fz+0.30 \cdot Fx$ - Τριγωνική	24	32	56	24	22	46	24	22	46
101	$Fx+0.30 \cdot Fz$ - Ορθογωνική	24	36	60	23	16	39	22	16	38
109	$-Fx+0.30 \cdot Fz$ - Ορθογωνική	24	36	60	20	19	39	20	18	38
117	$Fz+0.30 \cdot Fx$ - Ορθογωνική	18	0	18	18	0	18	18	0	18
125	$-Fz+0.30 \cdot Fx$ - Ορθογωνική	24	32	56	24	12	36	24	10	34

Εικόνα 5-0-41 Έλεγχοι ανελαστικής

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΩΝ										
ΣΕΝΑΡΙΟ :		ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ								
Είδος Ανάλυσης - Κατανομής :					F _x +0.30*F _z - Τριγωνική (1)					
Κανονισμός για τον υπολογισμό της στοχεύουσας μετακίνησης ΚΑΝ.ΕΠΕ.										
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΦΟΡΕΑ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ										
		C0	C1	C2	C3	Se(T) (m/sec2)	Te (sec)			
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)		1.20	3.88	1.00	1.00	5.23	0.09			
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)		1.20	3.88	1.00	1.00	5.23	0.09			
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)		1.20	3.88	1.00	1.00	5.23	0.09			
		Στοχευόμενη Μετακίνηση dt(cm)		Συνολική Μετακίνηση dm(cm)		λόγος λ=dt/dm	ΕΠΑΡΚΕΙΑ			
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)		0.45		1.07		0.42	NAI			
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)		0.45		1.07		0.42	NAI			
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)		0.45		1.07		0.42	NAI			
ΟΧΙ* : ΑΣΤΟΧΙΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ										
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ (mrad)										
ΥΠΕΡΘΥΡΑ - ΠΟΔΙΕΣ		F _x +0.30*F _z - Τριγωνική (1)								
ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=1.5)										
Αστοχία από κάμψη										(1)
Διατμητική αστοχία ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών										(2)
Διατμητική αστοχία λόγω διαγώνιας ρηγμάτωσης										(3)
ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=2.0)										
Αστοχία από κάμψη κατά μήκος των οριζόντιων αρμών										(4)
Μέλος	Κόμβος	Περιορισμένες Βλάβες (A - DL)			Σημαντικές Βλάβες (B - SD)			Οιονεί Κατάρρευση (Γ - NC)		
		θd	θc=θy	Επαρκεί	θd	θc= θu/γRd	Επαρκεί	θd	θc=4/3* θu/γRd	Επαρκεί
237	170	-0.22	0.00	OXI	-0.22	1.67	NAI	-0.22	2.22	NAI
					0.132			0.099		
	174	-0.22	0.00	OXI	-0.22	5.98	NAI	-0.22	7.97	NAI
				(1)	0.037		(1)	0.028		(1)
241	175	-0.30	0.00	OXI*	-0.30	3.80	OXI*	-0.30	5.07	OXI*
					0.079			0.059		
	179	-0.30	0.00	OXI*	-0.30	3.80	OXI*	-0.30	5.07	OXI*
					0.079			0.059		
267	190	-0.36	0.00	OXI*	-0.36	3.90	OXI*	-0.36	5.20	OXI*
					0.093			0.070		
	193	-0.36	0.00	OXI*	-0.36	3.90	OXI*	-0.36	5.20	OXI*
					0.093			0.070		
301	211	0.00	0.00	OXI*	0.00	10.67	OXI*	0.00	14.22	OXI*

					0.000			0.000		
	207	0.00	0.00	OXI*	0.00	10.67	OXI*	0.00	14.22	OXI*
					0.000			0.000		
335	220	0.15	0.00	OXI*	0.15	6.25	OXI*	0.15	8.33	OXI*
					0.024			0.018		
	218	0.15	0.00	OXI*	0.15	6.25	OXI*	0.15	8.33	OXI*
					0.024			0.018		
339	232	0.15	0.00	OXI*	0.15	10.67	OXI*	0.15	14.22	OXI*
					0.014			0.011		
	229	0.15	0.00	OXI*	0.15	10.67	OXI*	0.15	14.22	OXI*
					0.014			0.011		
379	253	-1.23	0.00	OXI*	-1.23	4.84	OXI*	-1.23	6.45	OXI*
					0.253			0.190		
	249	-1.23	0.00	OXI*	-1.23	4.84	OXI*	-1.23	6.45	OXI*
					0.253			0.190		
383	258	-1.26	0.00	OXI*	-1.26	4.95	OXI*	-1.26	6.60	OXI*
					0.255			0.191		
	255	-1.26	0.00	OXI*	-1.26	4.95	OXI*	-1.26	6.60	OXI*
					0.255			0.191		
453	280	0.17	0.00	OXI*	0.17	10.67	OXI*	0.17	14.22	OXI*
					0.016			0.012		
	283	0.17	0.00	OXI*	0.17	10.67	OXI*	0.17	14.22	OXI*
					0.016			0.012		
457	288	0.16	0.00	OXI*	0.16	10.67	OXI*	0.16	14.22	OXI*
					0.015			0.011		
	292	0.16	0.00	OXI*	0.16	10.67	OXI*	0.16	14.22	OXI*
					0.015			0.011		
459	296	0.17	0.00	OXI*	0.17	9.17	OXI*	0.17	12.23	OXI*
					0.018			0.014		
	299	0.17	0.00	OXI*	0.17	9.17	OXI*	0.17	12.23	OXI*
					0.018			0.014		
OXI* : ΑΣΤΟΧΙΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ										
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ (mrad)										
ΠΕΣΣΟΙ		Fx+0.30*Fz - Τριγωνική (1)								
ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=1.5)										
Αστοχία από κάμψη										(1)
Διατμητική αστοχία ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών										(2)
Διατμητική αστοχία λόγω διαγώνιας ρηγμάτωσης										(3)
ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=2.0)										
Αστοχία από κάμψη κατά μήκος των οριζόντιων αρμών										(4)
Μέλος	Κόμβος	Περιορισμένες Βλάβες (A - DL)			Σημαντικές Βλάβες (B - SD)			Οιονεί Κατάρρευση (Γ - NC)		
		θd	θc=θγ	Επαρκεί	θd	θc= θu/γRd	Επαρκεί	θd	θc=4/3* θu/γRd	Επαρκεί

231	166	0.11	0.00	OXI	0.11	0.40	NAI	0.11	0.53	NAI
					0.286			0.215		
	169	0.11	0.00	OXI	0.11	0.54	NAI	0.11	0.71	NAI
				(1)	0.212		(1)	0.159		(1)
235	177	0.02	0.00	OXI	0.02	1.67	NAI	0.02	2.22	NAI
					0.011			0.008		
	180	0.02	0.00	OXI	0.02	4.74	NAI	0.02	6.31	NAI
				(1)	0.004		(1)	0.003		(1)
257	169	0.15	0.00	OXI*	0.15	2.42	OXI*	0.15	3.23	OXI*
					0.063			0.047		
	183	0.15	0.00	OXI*	0.15	2.42	OXI*	0.15	3.23	OXI*
					0.063			0.047		
261	192	0.09	0.00	OXI	0.09	1.16	NAI	0.09	1.55	NAI
					0.077			0.058		
	194	0.09	0.00	OXI	0.09	1.43	NAI	0.09	1.90	NAI
				(1)	0.062		(1)	0.047		(1)
325	215	0.09	0.00	OXI	0.09	0.80	NAI	0.09	1.06	NAI
					0.112			0.084		
	217	0.09	0.00	OXI	0.09	0.80	NAI	0.09	1.06	NAI
				(1)	0.112		(1)	0.084		(1)
327	6	0.10	0.00	OXI	0.10	1.67	NAI	0.10	2.22	NAI
					0.062			0.046		
	221	0.10	0.00	OXI	0.10	1.80	NAI	0.10	2.39	NAI
				(1)	0.057		(1)	0.043		(1)
329	7	0.17	0.00	OXI	0.17	1.67	NAI	0.17	2.22	NAI
					0.099			0.074		
	224	0.17	0.00	OXI	0.17	1.96	NAI	0.17	2.62	NAI
				(1)	0.084		(1)	0.063		(1)
331	226	0.24	0.00	OXI*	0.24	4.59	OXI*	0.24	6.12	OXI*
					0.053			0.040		
	228	0.24	0.00	OXI*	0.24	4.59	OXI*	0.24	6.12	OXI*
					0.053			0.040		
357	239	0.08	0.00	OXI	0.08	1.67	NAI	0.08	2.22	NAI
					0.046			0.035		
	8	0.08	0.00	OXI	0.08	1.86	NAI	0.08	2.48	NAI
				(1)	0.042		(1)	0.031		(1)
359	242	0.08	0.00	OXI	0.08	1.67	NAI	0.08	2.22	NAI
					0.047			0.035		
	244	0.08	0.00	OXI	0.08	1.96	NAI	0.08	2.61	NAI
				(1)	0.040		(1)	0.030		(1)
373	246	0.85	0.00	OXI*	0.85	2.39	OXI*	0.85	3.19	OXI*
					0.356			0.267		
	248	0.85	0.00	OXI*	0.85	2.39	OXI*	0.85	3.19	OXI*
					0.356			0.267		
375	251	1.16	0.00	OXI	1.16	1.67	NAI	1.16	2.22	NAI
					0.697			0.523		
	254	1.16	0.00	OXI	1.16	3.05	NAI	1.16	4.07	NAI
				(1)	0.381		(1)	0.285		(1)

377	257	0.98	0.00	OXI	0.98	1.32	NAI	0.98	1.75	NAI
					0.743			0.557		
	259	0.98	0.00	OXI	0.98	1.32	NAI	0.98	1.75	NAI
				(1)	0.743		(1)	0.557		(1)
407	261	0.07	0.00	OXI	0.07	1.67	NAI	0.07	2.22	NAI

					0.039			0.030		
	9	0.07	0.00	OXI	0.07	4.32	NAI	0.07	5.76	NAI
				(4)	0.015		(4)	0.011		(4)
415	275	0.03	0.00	OXI*	0.03	10.13	OXI*	0.03	13.50	OXI*
					0.003			0.002		
	276	0.03	0.00	OXI*	0.03	10.13	OXI*	0.03	13.50	OXI*
					0.003			0.002		
441	277	0.95	0.00	OXI*	0.95	2.13	OXI*	0.95	2.84	OXI*
					0.446			0.335		
	279	0.95	0.00	OXI*	0.95	2.13	OXI*	0.95	2.84	OXI*
					0.446			0.335		
443	11	0.58	0.00	OXI	0.58	1.36	NAI	0.58	1.82	NAI
					0.426			0.319		
	284	0.58	0.00	OXI	0.58	5.63	NAI	0.58	7.50	NAI
				(4)	0.103		(4)	0.077		(4)
445	12	0.39	0.00	OXI	0.39	1.67	NAI	0.39	2.22	NAI
					0.232			0.174		
	287	0.39	0.00	OXI	0.39	6.16	NAI	0.39	8.22	NAI
				(4)	0.063		(4)	0.047		(4)
447	290	0.27	0.00	OXI	0.27	1.67	NAI	0.27	2.22	NAI
					0.164			0.123		
	293	0.27	0.00	OXI	0.27	2.09	NAI	0.27	2.78	NAI
				(1)	0.131		(1)	0.098		(1)
449	13	0.26	0.00	OXI	0.26	1.67	NAI	0.26	2.22	NAI
					0.157			0.118		
	295	0.26	0.00	OXI	0.26	3.34	NAI	0.26	4.45	NAI
				(4)	0.079		(4)	0.059		(4)
451	298	0.17	0.00	OXI*	0.17	2.21	OXI*	0.17	2.95	OXI*
					0.078			0.058		
	300	0.17	0.00	OXI*	0.17	2.21	OXI*	0.17	2.95	OXI*
					0.078			0.058		

Πίνακας 5-0-11 Έλεγχος επάρκειας διατομών σε όρους παραμορφώσεων

6 ΈΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Η αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία, η οποία αποσκοπεί στην εκτίμηση της πραγματικής σεισμικής ικανότητας του δομήματος και στον εντοπισμό πιθανών αδυναμιών του φέροντος οργανισμού. η αξιολόγηση πραγματοποιείται μέσω του ελέγχου των δομικών στοιχείων που συμμετέχουν ενεργά στην παραλαβή των σεισμικών δράσεων, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις αντοχές όσο και τις παραμορφωσιακές τους δυνατότητες (CEN, 2005a).

Στις κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία, τα βασικά στοιχεία που αντιστέκονται στις εντός επιπέδου σεισμικές δράσεις είναι οι πεσσοί και τα υπέρθυρα. Οι πεσσοί αποτελούν τα κατακόρυφα τμήματα των τοίχων μεταξύ των ανοιγμάτων, ενώ τα υπέρθυρα λειτουργούν ως στοιχεία σύνδεσης μεταξύ γειτονικών πεσσών, συμβάλλοντας στη μεταφορά των σεισμικών δυνάμεων και στη συνολική δυσκαμψία του φορέα (Σπυράκος, 2019). Η συμπεριφορά των στοιχείων αυτών επηρεάζει καθοριστικά τη συνολική απόκριση της κατασκευής και για τον λόγο αυτό αποτελούν το βασικό αντικείμενο των ελέγχων αποτίμησης.

Μετά την ολοκλήρωση της στατικής ανάλυσης προσδιορίζονται τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται σε κάθε δομικό στοιχείο. Οι τιμές αυτές συγκρίνονται με τις διαθέσιμες αντοχές που υπολογίζονται βάσει των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας, της γεωμετρίας των στοιχείων και των παραμέτρων που προβλέπονται από τον ΚΑΔΕΤ (ΚΑΔΕΤ, 2022) και τον Ευρωκώδικα 6 (EC6, 2006)

Οι έλεγχοι πραγματοποιούνται σε επίπεδο διατομής και αφορούν κυρίως δύο κατηγορίες μηχανισμών αστοχίας. Η πρώτη σχετίζεται με τη συνδυασμένη δράση αξονικής δύναμης και κάμψης. Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται η ικανότητα της τοιχοποιίας να παραλάβει τις αναπτυσσόμενες θλιπτικές τάσεις χωρίς να επέλθει θραύση λόγω υπέρβασης της θλιπτικής αντοχής ή λόγω ανάπτυξης υπερβολικών εκκεντροτήτων φόρτισης. Η καμπτοθλιπτική συμπεριφορά είναι ιδιαίτερα σημαντική

σε τοίχους μεγάλου ύψους ή σε περιοχές όπου οι σεισμικές δράσεις προκαλούν σημαντικές ροπές κάμψης (ΚΑΔΕΤ, 2022)

Η δεύτερη κατηγορία αφορά τη διατμητική συμπεριφορά της τοιχοποιίας. Η διατμητική αστοχία αποτελεί έναν από τους πλέον συχνούς μηχανισμούς βλάβης σε υφιστάμενα κτίρια από άοπλη τοιχοποιία και συνδέεται είτε με την ανάπτυξη λοξών διαγώνιων ρωγμών είτε με την ολίσθηση κατά μήκος των οριζόντιων αρμών κονιάματος. Η διαθέσιμη διατμητική αντοχή εξαρτάται από την ποιότητα της τοιχοποιίας, τη θλιπτική τάση που δρα στη διατομή, την αρχική διατμητική αντοχή των αρμών και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του στοιχείου (CEN, 2005b).

Για κάθε πεσσό και υπέρθυρο εξετάζονται όλοι οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας και προσδιορίζεται εκείνος που οδηγεί στη μικρότερη διαθέσιμη αντοχή. Ο μηχανισμός αυτός θεωρείται κρίσιμος και καθορίζει τη συνολική φέρουσα ικανότητα του στοιχείου. Μέσω της διαδικασίας αυτής καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός των πλέον ευάλωτων περιοχών της κατασκευής και η αξιολόγηση της συνολικής σεισμικής συμπεριφοράς του φορέα (Σπυράκος, 2019)

Πέραν των ελέγχων αντοχής, ο EC8-3 εισάγει την έννοια των Στάθμεων Επιτελεστικότητας, οι οποίες συνδέουν την ένταση της σεισμικής δράσης με το αποδεκτό επίπεδο βλαβών και καθορίζονται στον ΚΑΔΕΤ. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στις αρχές του επιτελεστικού σχεδιασμού και επιτρέπει την αξιολόγηση της κατασκευής με κριτήριο όχι μόνο την αποφυγή αστοχίας αλλά και τη λειτουργική της κατάσταση μετά τον σεισμό (ΚΑΔΕΤ, 2022).

Σύμφωνα με τον EC8-3 και ΚΑΔΕΤ(2.3.2) (EN 1998-3: , 2022), η αξιολόγηση της επάρκειας δεν πραγματοποιείται μόνο σε όρους αντοχής αλλά και σε όρους επιτελεστικότητας. Για τον λόγο αυτό οι έλεγχοι εκτελούνται για τρεις διαφορετικές στάθμες επιτελεστικότητας:

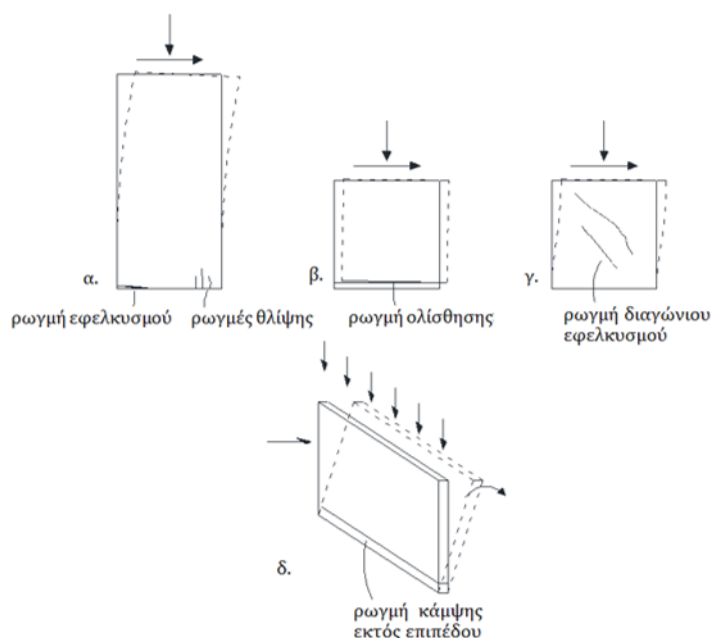
ΣΤΑΘΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

A	Άμεση χρήση μετά τον σεισμό (Operational)
B	Προστασία ζωής – Σημαντικές βλάβες χωρίς κατάρρευση (Life Safety)
Γ	Οριακή κατάσταση αποφυγής κατάρρευσης (Near Collapse)

Πίνακας 6-0-1 Στάθμες Επιτελεστικότητας

Οι έλεγχοι επάρκειας γίνονται σε επίπεδο διατομής πεσσών/υπέρθυρων και σε όρους δυνάμεων (Στάθμη Επιτελεστικότητας) και παραμορφώσεων (στάθμη επιτελεστικότητας Β ή Γ). Στην παρούσα εργασία η αποτίμηση πραγματοποιήθηκε για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας Β, η οποία αποτελεί τη συνήθη απαίτηση για κτίρια κατοικίας και συνάδει με τη φιλοσοφία του ΚΑΔΕΤ για την προστασία της ανθρώπινης ζωής κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού (ΚΑΔΕΤ, 2022). Η επιλογή αυτή επιτρέπει την εμφάνιση ελεγχόμενων βλαβών στον φέροντα οργανισμό, χωρίς όμως να τίθεται σε κίνδυνο η συνολική ευστάθεια της κατασκευής.

Οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας που μπορεί να εμφανιστούν σε ένα στοιχείο τοιχοποιίας παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



*Εικόνα 6-0-1 Τρόποι αστοχίας στοιχείου τοιχοποιίας
(α, β, γ) Αστοχία εντός επιπέδου, (δ) Αστοχία εκτός επιπέδου*

Ακολουθώντας τις διατάξεις του ΚΑΔΕΤ ΚΑΙ ΤΟΥ EC6 για την αποτίμηση της κατασκευής εκτελούνται οι εξής έλεγχοι:

- Έλεγχος κάμψης εντός επιπέδου και διάτμησης
- Έλεγχος κάμψης εκτός επιπέδου παράλληλα προς τον οριζόντιο αρμό (κλασική θεώρηση)
- Έλεγχος κάμψης εκτός επιπέδου παράλληλα προς τον οριζόντιο αρμό (θεώρηση αδρανούς περιοχής)

- Έλεγχος κάμψης εκτός επιπέδου κάθετα προς τον οριζόντιο αρμό (κλασική θεώρηση)
- Έλεγχος κάμψης εκτός επιπέδου κάθετα προς τον οριζόντιο αρμό (θεώρηση αδρανούς περιοχής)

Έλεγχος	Διεύθυνση φόρτισης	Είδος αστοχίας	Παραδοχή
Κάμψη εντός επιπέδου & διάτμηση	Εντός επιπέδου τοίχου	Κάμψη ή διάτμηση	Έλεγχος πεσσών και υπέρθυρων
Κάμψη εκτός επιπέδου // αρμών	Εκτός επιπέδου	Καμπτική αστοχία	Κλασική ενεργός διατομή
Κάμψη εκτός επιπέδου // αρμών	Εκτός επιπέδου	Καμπτική αστοχία	Με αδρανή περιοχή
Κάμψη εκτός επιπέδου $\perp$ αρμών	Εκτός επιπέδου	Καμπτική αστοχία	Κλασική ενεργός διατομή
Κάμψη εκτός επιπέδου $\perp$ αρμών	Εκτός επιπέδου	Καμπτική αστοχία	Με αδρανή περιοχή

Πίνακας 6-0-2 Συγκριτικός πίνακας των ελέγχων

6.1.Εντός επιπέδου κάμψη και διάτμηση για Στάθμη Επιτελεστικότητας B- Προσομοίωση με F.E.M

Κατά τον έλεγχο της εντός επιπέδου συμπεριφοράς, το πρόγραμμα εξετάζει τις εντατικές καταστάσεις που αναπτύσσονται σε κάθε πεσσό και υπέρθυρο και για κάθε συνδυασμό φόρτισης αποδίδει τον αντίστοιχο χαρακτηρισμό της κρίσιμης μορφής αστοχίας. Ανάλογα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών, ένα στοιχείο μπορεί να ταξινομηθεί σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

- Εκκεντρότητα, όταν η θέση της συνισταμένης θλιπτικής δύναμης οδηγεί σε δυσμενή κατανομή τάσεων στη διατομή.
- Εφελκυσμός, όταν αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις που υπερβαίνουν την πολύ περιορισμένη εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας.

- Κάμψη, όταν η διαθέσιμη καμπτική αντοχή του στοιχείου δεν επαρκεί για την παραλαβή των αναπτυσσόμενων ροπών.
- Διάτμηση, όταν η αναπτυσσόμενη τέμνουσα δύναμη υπερβαίνει τη διαθέσιμη διατμητική αντοχή του στοιχείου, οδηγώντας σε πιθανή διαγώνια ρηγμάτωση ή ολίσθηση κατά μήκος των (Σπυράκος, 2019) (ΚΑΔΕΤ, 2022).

Το λογισμικό αναγνωρίζει Πεσσούς και υπέρθυρα σε κάθε τοίχο. Για κάθε δομικό στοιχείο υπολογίζονται οι εντατικές καταπονήσεις και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες αντοχές της τοιχοποιίας. Η διαδικασία γίνεται για κάθε συνδυασμό δράσεων, γεγονός που επιτρέπει την αναλυτική αποτύπωση της συμπεριφοράς όλων των επιμέρους στοιχείων του φορέα. Με αυτόν τον τρόπο ο μελετητής μπορεί να εντοπίσει με ακρίβεια τα πλέον ευάλωτα σημεία της κατασκευής και να σχεδιάσει στοχευμένες επεμβάσεις ενίσχυσης μόνο όπου αυτές απαιτούνται, χωρίς να επιβαρύνεται αδικαιολόγητα το σύνολο του φορέα (ΚΑΔΕΤ, 2024).

Εξετάζονται κυρίως δύο μηχανισμοί αστοχίας:

- Καμπτική αστοχία, η οποία προκαλείται από τον συνδυασμό αξονικής δύναμης και ροπής κάμψης.
- Διατμητική αστοχία, η οποία μπορεί να εκδηλωθεί είτε με ολίσθηση κατά μήκος των αρμών είτε με διαγώνιο εφελκυσμό της τοιχοποιίας.

Για κάθε πεσσό ή υπέρθυρο το πρόγραμμα προσδιορίζει τον επικρατέστερο μηχανισμό αστοχίας και υπολογίζει τον αντίστοιχο λόγο επάρκειας. Αρχικά χαρακτηρίζει τους Πεσσούς και τα υπέρθυρα (Πίνακας 6-0-1).

ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ

Εξετάζει τη σχέση μεταξύ της καμπτικής ροπής και της αξονικής δύναμης μέσω της εκκεντρότητας φόρτισης. Η εκκεντρότητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$e = \frac{M_d}{N_d}$$

όπου:

- e : εκκεντρότητα της αξονικής δύναμης,
- M_d : σχεδιαστική καμπτική ροπή,
- N_d : σχεδιαστική αξονική δύναμη.

Εφόσον η εκκεντρότητα υπερβαίνει το μισό του πάχους της διατομής του στοιχείου, δηλαδή:

$$e > \frac{t}{2}$$

όπου t είναι το πάχος του τοίχου, το πρόγραμμα χαρακτηρίζει το στοιχείο ως αστοχία λόγω εκκεντρότητας (ΕΚΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ) καθώς δεν αναπτύσσεται θλιβόμενη ζώνη στη διατομή, επομένως ο συγκεκριμένος έλεγχος θεωρείται ανεπαρκής.

ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

Εάν η αξονική δύναμη είναι εφελκυστική

$$N_d > 0$$

(με τη σύμβαση του SCADA Pro ότι οι θετικές τιμές αντιστοιχούν σε εφελκυσμό) το στοιχείο χαρακτηρίζεται ως αστοχία λόγω Εφελκισμού και ο έλεγχος διακόπτεται, καθώς η άοπλη τοιχοποιία θεωρείται πρακτικά ανίσχυρη σε άμεσο εφελκυσμό.

ΔΙΑΤΜΗΣΗ ή ΚΑΜΨΗ

Το λογισμικό υπολογίζει τη διατμητική ικανότητα του πεσσού/υπέρθυρου σε όρους τέμνουσας V_f για δύο διαφορετικούς μηχανισμούς αστοχίας, οι οποίοι συμβολίζονται ως V_{f1} και V_{f2} . Η μικρότερη από τις δύο τιμές θεωρείται η κρίσιμη διαθέσιμη αντοχή του στοιχείου.

Ο χαρακτηρισμός του μηχανισμού αστοχίας πραγματοποιείται αυτόματα από το πρόγραμμα ως εξής:

- Αν $V_{f1} > V_{f2}$, τότε ο πεσσός ή το υπέρθυρο χαρακτηρίζεται ως στοιχείο που αστοχεί σε διάτμηση.
- Αν $V_{f2} > V_{f1}$, τότε το στοιχείο χαρακτηρίζεται ως στοιχείο που αστοχεί σε κάμψη.

Κριτήριο	Μαθηματική σχέση	Χαρακτηρισμός
Εκκεντρότητα	$e = \frac{M_d}{N_d}$, με $e > \frac{t}{2}$	Εκκεντρότητα
Εφελκυσμός	$N_d > 0$	Εφελκυσμός
Διάτμηση	$V_{f1} > V_{f2}$	Διάτμηση
Κάμψη	$V_{f2} > V_{f1}$	Κάμψη

Πίνακας 6-0-3 Κριτήρια χαρακτηρισμού Πεσσών και Υπέρθυρων

Με τον τρόπο αυτό το SCADA Pro προσδιορίζει τον επικρατέστερο μηχανισμό αστοχίας κάθε δομικού στοιχείου, ώστε να εφαρμοστούν και τα κατάλληλα κριτήρια ελέγχου ανάλογα με τη στάθμη επιτελεστικότητας.

Υπολογίζονται από το λογισμικό τα παρακάτω μεγέθη:

Ικανοτική τέμνουσα V_f και διατμητική αντίσταση V_n

Υπολογίζεται αρχικά η ικανοτική τέμνουσα V_f με βάση την εξίσωση (Κ.Α.Δ.Ε.Τ.):

$$V_f = \frac{L \cdot N}{2 \cdot H_0} (1 - 1.15 \cdot v_d) \quad \text{§7.2.1 σχέση 7.2β (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

Όπου:

το Κατακόρυφο θλιπτικό αξονικό φορτίο N προκύπτει, για την διατομή που εξετάζεται, μετά την ολοκλήρωση της κατακόρυφης θλιπτικής αξονικής δύναμης N_{yy} από όλα τα πεπερασμένα στοιχεία που αποτελούν τη διατομή.

Το Ύψος H_0 προσδιορίζεται από το σημείο μηδενισμού της εκκεντρότητας του θλιπτικού αξονικού φορτίου. Καθορίζεται από τις συννοριακές συνθήκες του τοίχου, δηλαδή από τις εκκεντρότητες στην κορυφή και τη βάση του. Στην περίπτωση που ο τοίχος είναι πακτωμένος στη βάση του και ελεύθερος σε περιστροφή στην κορυφή του, τότε $H_0 = H$, ενώ όταν και στα δυο άκρα είναι πακτωμένος τότε $H_0 = H/2$.

Στο SCADA Pro ο υπολογισμός του H_0 γίνεται αφού πρώτα υπολογιστούν οι εκκεντρότητες στα δυο άκρα του τοίχου. Έτσι υπάρχει η περίπτωση το H_0 να υπερβαίνει το ύψος του τοίχου, αν π.χ. οι εκκεντρότητες σε κορυφή και βάση είναι ομόσημες (ένα όριο έχει υιοθετηθεί στο πρόγραμμα έτσι ώστε $H_0 \leq 2 \cdot H$).

Δυσμενής διατομή

Ο έλεγχος επάρκειας εξετάζεται στο άκρο του τοίχου στο οποίο εξαντλείται η καμπτική ικανότητα. Στο SCADA Pro ως δυσμενής διατομή λαμβάνεται είτε η βάση του τοίχου, είτε η κορυφή του, αναλόγως σε ποια εμφανίζεται μεγαλύτερη καμπτική ροπή στον εκάστοτε φορτικό συνδυασμό.

Φέρουσα ικανότητα έναντι τέμνουσας

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η διατμητική αντίσταση V_n με βάση την εξίσωση (Κ.Α.Δ.Ε.Τ.):

$$V_n = f_{vd} \cdot L' \cdot t \quad \text{\S 7.2.2 σχέση 7.3α (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

Όπου

Θλιβόμενο μήκος L'

Για το θλιβόμενο μήκος L' το οποίο στο SCADA Pro αλλά και στη συνέχεια αναφέρεται σαν D' ισχύει το παρακάτω σχήμα. Η διατομή δεν έχει εξαντλήσει ακόμα την καμπτική της ικανότητα (ελαστικές συνθήκες), οπότε η θλιπτική τάση είναι γραμμική.

Από τη στιγμή της έναρξης ρηγμάτωσης της διατομής και μετά, το θλιβόμενο μήκος D' γίνεται μικρότερο του μήκους D . Η τιμή που λαμβάνει εξαρτάται από την εκκεντρότητα του θλιπτικού αξονικού φορτίου ($e = M/N$), και είναι ίση με:

- αν η εκκεντρότητα είναι

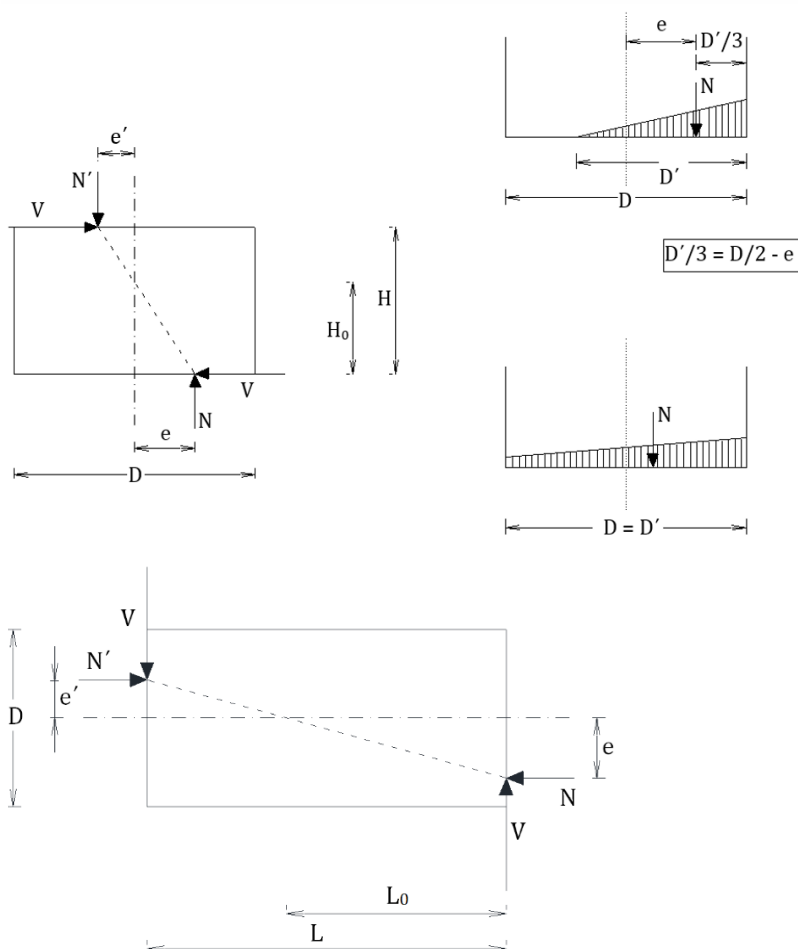
$$e \leq \frac{D}{6} \quad \text{τότε } D' = D.$$

- αν η εκκεντρότητα είναι

$$\frac{D}{6} < e < \frac{D}{2} \quad \text{τότε } D' < D \text{ και δίνεται από τη σχέση } D' = 3 \cdot (0.5 \cdot D - e).$$

- ένα κάτω όριο τίθεται στο μήκος λυγισμού. Αυτό καθορίζεται από την οριακή κατάσταση της θλίψης στη θλιβόμενη ζώνη. Δηλαδή το θλιβόμενο ορθογώνιο έχει σχηματιστεί και το D' λαμβάνει τιμή ίση με το μήκος του ορθογωνίου,

$$\text{δηλαδή} \quad D' \geq \frac{N}{0.85 \cdot f_d \cdot t}.$$



Πίνακας 6-0-4 Υπολογισμός του θλιβόμενου μήκους D' για τη σχέση 7.3α του κανονισμού

Για τον υπολογισμό του e , εκτός του N (έγινε αναφορά για τον τρόπο υπολογισμού του N στην προηγούμενη παράγραφο), χρειάζεται να υπολογιστεί και η εντός επιπέδου ροπή M που αναπτύσσεται στη διατομή.

Στο SCADA Pro η M υπολογίζεται μέσω ολοκλήρωσης σε όλα τα πεπερασμένα στοιχεία που αποτελούν τη διατομή, του γινομένου της θλιπτικής αξονικής δύναμης N_{yy} που υπολογίζεται σε κάθε στοιχείο επί του μοχλοβραχίονα μεταξύ του κεντροειδούς του στοιχείου και του κέντρου της διατομής.

Εξέταση υπερθύρων

Όσον αφορά τα υπέρθυρα ισχύουν τα παρακάτω

Αλλαγές στη σχέση υπολογισμού του V_f

Η σχέση υπολογισμού του V_f για τα υπέρθυρα παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$V_f = \frac{D \cdot N}{2 \cdot L_0} (1 - 1.15 \cdot v_d)$$

και αφορά την οριακή τέμνουσα που αναπτύσσεται ως προς κατακόρυφη διατομή του υπέρθυρου.

Θλιπτικό αξονικό φορτίο N (οριζόντιο)

Το αξονικό φορτίο N είναι οριζόντιο και όχι κατακόρυφο και η προς εξέταση διατομή είναι ως προς το κατακόρυφο ύψος του υπέρθυρου. Το N προκύπτει, για την διατομή που εξετάζεται, μετά την ολοκλήρωση της οριζόντιας θλιπτικής αξονικής δύναμης N_{xx} από όλα τα πεπερασμένα στοιχεία που αποτελούν τη διατομή.

Μήκος L_0

Το L_0 είναι οριζόντια απόσταση και προσδιορίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως το H_0 για έναν πεσσό, δηλαδή από το σημείο μηδενισμού της εκκεντρότητας του οριζόντιου αξονικού φορτίου έως τη δυσμενή διατομή του υπέρθυρου.

Δυσμενής διατομή

Ο έλεγχος επάρκειας εξετάζεται στην κατακόρυφη παρειά του υπέρθυρου, στην οποία εξαντλείται η καμπτική ικανότητα, είτε στην αριστερή είτε στη δεξιά πλευρά του.

Αντίστοιχες προσαρμογές πρέπει να γίνουν και για τον υπολογισμό του V_n .

Όσο αφορά την φέρουσα ικανότητα ενός στοιχείου τοιχοποιίας αυτή υπολογίζεται είτε σε όρους σχετικής μετατόπισης (drift), είτε σε όρους δυνάμεως (τέμνουσα δύναμη), αναλόγως τη στάθμη επιτελεστικότητας.

Το drift (δ) υπολογίζεται από τις μετατοπίσεις και στροφές στα άκρα του στοιχείου τοιχοποιίας (άνω και κάτω άκρα για τους πεσσούς και αριστερά και δεξιά άκρα για τα υπέρθυρα). Ο υπολογισμός γίνεται βάσει της σχέσης¹:

$$\delta = \frac{|u_j - u_i|}{\Delta} + \frac{|\varphi_j + \varphi_i|}{2}$$

όπου:

δ = σχετική μετατόπιση (drift) του στοιχείου τοιχοποιίας.

u_j, u_i = οριζόντιες (για πεσσούς) / κατακόρυφες (για υπέρθυρα) μετατοπίσεις στα άκρα του στοιχείου τοιχοποιίας.

φ_j, φ_i = στροφές (ως προς άξονα κάθετο στο επίπεδο του τοίχου, drilling) στα άκρα του στοιχείου τοιχοποιίας.

Δ = μήκος (ισούται με το ύψος H για πεσσούς ή με το μήκος L για υπέρθυρα).

Στάθμη επιτελεστικότητας A :

Για τη στάθμη επιτελεστικότητας A, η φέρουσα ικανότητα ισούται με την μικρότερη

τιμή για την τέμνουσα δύναμη που υπολογίζεται από τις σχέσεις $V_f = \frac{D \cdot N}{2 \cdot H_0} \cdot (1 - 1.15 \cdot v_d)$

§7.2.1 σχέση 7.2β (ΚΑΔΕΤ, 2022) και την $V_v = f_{vd} \cdot L' \cdot t$ §7.2.2 σχέση 7.3α (ΚΑΔΕΤ, 2022)

Αυτή η τιμή συγκρίνεται με την τέμνουσα δύναμη που αναπτύσσεται στο στοιχείο και που υπολογίζεται από την ανάλυση.

Στάθμη επιτελεστικότητας B:

Για τη στάθμη επιτελεστικότητας B, η φέρουσα ικανότητα ισούται με σχετική μετατόπιση ίση με:

$0.008 \cdot H_0/D$, για στοιχείο υπό αξονική δύναμη και κάμψη,

ή

0.004 , για στοιχείο υπό τέμνουσα,

Αυτή η τιμή συγκρίνεται με την σχετική μετατόπιση που υπολογίζεται από την ανάλυση για αυτή τη στάθμη επιτελεστικότητας B .

Στάθμη επιτελεστικότητας Γ:

Για τη στάθμη επιτελεστικότητας Γ, η φέρουσα ικανότητα ισούται με σχετική μετατόπιση ίση με:

$4/3 \cdot (0.008 \cdot H_0/D)$, για στοιχείο υπό αξονική δύναμη και κάμψη,

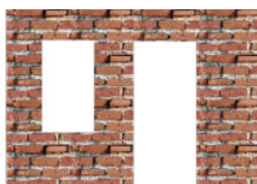
ή,

$4/3 \cdot (0.004)$, για στοιχείο υπό τέμνουσα.

Αυτή η τιμή συγκρίνεται με την σχετική μετατόπιση (Drift) που υπολογίζεται από την ανάλυση για αυτή τη στάθμη επιτελεστικότητας Γ.

Παρουσιάζονται παρακάτω οι έλεγχοι για το χωρικό προσομοίωμα με F.E.M. για τους τοίχους EAST ZERO, EAST PRIMO και SOUTH PRIMO.

Τοίχος : EAST ZERO	Αποτίμηση
--------------------	-----------



Διαστάσεις : Μήκος (l) =4.76(m) Ύψος (h) =2.12(m)

Είδος : Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{eq} (cm) = 54.00

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20 ΚΑΔΕΤ

Στάθμη Επιτελεστικότητας : B - SD

Επίπεδο Γνώσης: ΕΓ1:Περιορισμένη $CF_m = 1.35$

Στάθμη Αξιπιστίας Δεδομένων: Ανεκτή

Αντοχές Τοιχοποιίας :

Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Μέση θλιπτική αντοχή f_m (N/mm²) = 3.48

Αρχική χαρακτ.διατμ.αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Αρχική μέση διατμ.αντοχή f_{vm0} (N/mm²) = 0.15

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkmx} (N/mm²) = 0.23

Εφελκυστική Αντοχή f_{wt} (N/mm²) = 0.00

Στοιχεία και Χαρακτηρισμός Πεσσών												
α/α	Ύψος (cm)	Πάχος (cm)	Διατμητική αντοχή στοιχείου υπό αξονική δύναμη και κάμψη					Διατμητική αντοχή στοιχείου υπό διάτμηση			Χαρακτηρισμός	Συνδ
			H ₀ (cm)	D (cm)	N (kN)	V _d (x10 ⁻³)	V _f (kN)	D' (cm)	f _{vd} (kPa)	V _v (kN)		
1	212.0	54.0	106.0	50.0	-83.8	107.0	17.3	50.0	216.7	58.5	Κάμψη	15
2	212.0	54.0	106.0	205.0	-195.9	61.0	176.1	190.3	168.8	173.5	Διάτμηση	13
3	212.0	54.0	106.0	55.0	-52.3	60.7	12.6	48.5	172.4	45.2	Κάμψη	3

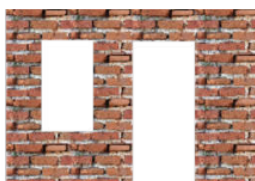
Έλεγχοι Επάρκειας Πεσσών σε όρους δυνάμεων ή παραμορφώσεων													
α/α	Έλεγχος σε όρους δυνάμεων			Έλεγχος σε όρους παραμορφώσεων					Έλεγχος σε Εφελκυσμό				Επάρκεια
	V _{ed} (kN)	V (kN)	V _{ed} / V	u _i (mm)	u _i (mm)	δ _{ed} (mrad)	δ _u (mrad)	δ _{ed} / δ _u	Σu v	N _{ed} (kN)	N _{Rd} (kN)	N _{ed} /N _{Rd}	
1				-0.37	0.00	0.25	11.31	0.02	14	5.1			Όχι
2				0.41	0.00	0.28	2.67	0.11					Ναι
3				0.42	0.00	0.29	10.28	0.03	7	10.1			Όχι

Πίνακας 6-0-5 Χαρακτηρισμός Πεσσών και έλεγχοι επάρκειας τοίχων EAST ZERO

[illegible][illegible]

Πίνακας 6-0-6 Χαρακτηρισμός Υπερύθρων και έλεγχοι επάρκειας τοίχου EAST ZERO

Τοίχος : EAST PRIMO	Αποτίμηση
---------------------	-----------



Διαστάσεις : Μήκος (l) =4.76(m) Ύψος (h) =2.55(m)

Είδος : Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{ef} (cm) = 54.00

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20 ΚΑΔΕΤ

Στάθμη Επιτελεστικότητας : B - SD

Επίπεδο Γνώσης: ΕΓ1:Περιορισμένη $CF_m = 1.35$

Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων: Ανεκτή

Αντοχές Τοιχοποιίας :

Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Μέση θλιπτική αντοχή f_m (N/mm²) = 3.48

Αρχική χαρακτ.διατμ.αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Αρχική μέση διατμ.αντοχή f_{vm0} (N/mm²) = 0.15

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkm} (N/mm²) = 0.23

Εφελκυστική Αντοχή f_{wt} (N/mm²) = 0.00

Στοιχεία και Χαρακτηρισμός Πεσσών

α/α	Ύψος (cm)	Πάχος (cm)	Διατμητική αντοχή στοιχείου υπό αξονική δύναμη και κάμψη					Διατμητική αντοχή στοιχείου υπό διάτμηση			Χαρακτηρισμός	Συνδ
			H ₀ (cm)	D (cm)	N (kN)	v _d (x10 ⁻³)	V _f (kN)	D' (cm)	f _{vd} (kPa)	V _v (kN)		
1	255.0	54.0	127.5	50.0	-1.1	1.4	0.2	0.1	613.5	0.3	Κάμψη	13
2	255.0	54.0	127.5	196.0	-13.7	4.5	10.4	1.0	613.5	3.4	Διάτμηση	13
3	255.0	54.0	127.5	70.0	-0.8	0.8	0.2	0.1	613.5	0.2	Διάτμηση	15

Έλεγχοι Επάρκειας Πεσσών σε όρους δυνάμεων ή παραμορφώσεων

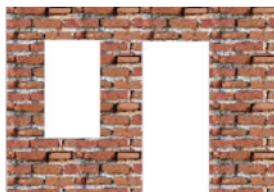
α/α	Έλεγχος σε όρους δυνάμεων			Έλεγχος σε όρους παραμορφώσεων					Έλεγχος σε Εφελκυσμό				Επάρκεια
	V _{ed} (kN)	V (kN)	V _{ed} / V	u _i (mm)	u _i (mm)	δ _{ed} (mrad)	δ _u (mrad)	δ _{ed} / δ _u	Συ v	N _{ed} (kN)	N _{Ed} (kN)	N _{ed} / N _{Ed}	
1				0.81	0.35	0.26	13.60	0.02	4	1.0			Οχι
2				0.80	0.36	0.26	2.67	0.10					Ναι
3				-0.78	-0.37	0.23	2.67	0.09	16	0.2			Οχι

Πίνακας 6-0-7 Χαρακτηρισμός Πεσσών και έλεγχοι επάρκειας τοίχων EAST PRIMO

[illegible][illegible]

Πίνακας 6-0-8 Χαρακτηρισμός Υπέρυθρων και έλεγχοι επάρκειας τοίγων EAST PRIMO

Τοίχος : SOUTH PRIMO	Αποτίμηση
----------------------	-----------



Διαστάσεις : Μήκος (l) =9.46(m) Ύψος (h) =2.55(m)

Είδος : Λιθινός Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{ef} (cm) = 54.00

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20 ΚΑΔΕΤ

Στάθμη Επιτελεστικότητας : B - SD

Επίπεδο Γνώσης: ΕΓ1:Περιορισμένη $CF_m = 1.35$

Στάθμη Αξιπιστίας Δεδομένων: Ανεκτή

Αντοχές Τοιχοποιίας :

Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Μέση θλιπτική αντοχή f_m (N/mm²) = 3.48

Αρχική χαρακτ.διατμ.αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Αρχική μέση διατμ.αντοχή f_{vm0} (N/mm²) = 0.15

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vmax} (N/mm²) = 0.23

Εφελκυστική Αντοχή f_{wt} (N/mm²) = 0.00

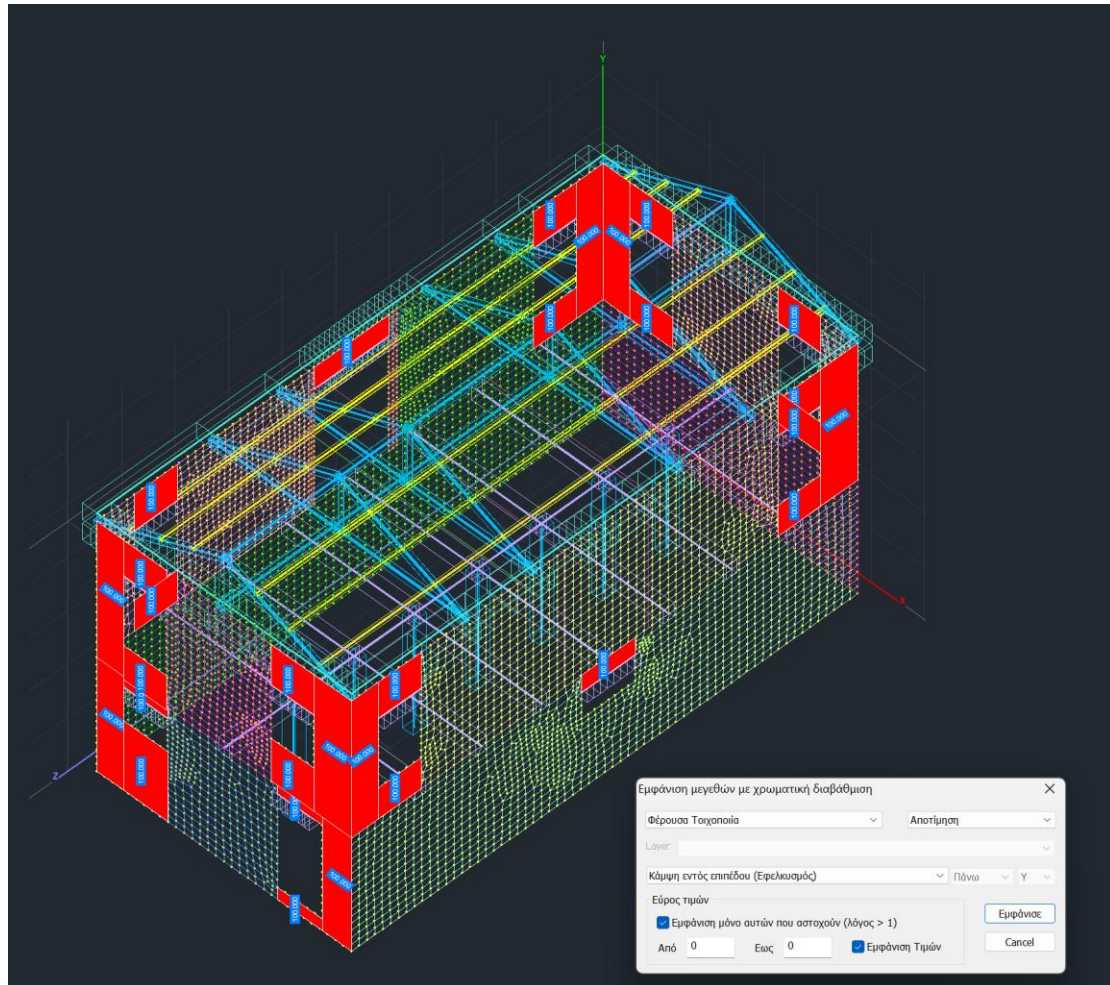
Στοιχεία και Χαρακτηρισμός Πεσσών												
α/α	Ύψος (cm)	Πάχος (cm)	Διατμητική αντοχή στοιχείου υπό αξονική δύναμη και κάμψη					Διατμητική αντοχή στοιχείου υπό διάτμηση			Χαρακτηρισμός	Συνδ
			H ₀ (cm)	D (cm)	N (kN)	V _d (x10 ⁻³)	V _f (kN)	D' (cm)	f _{vd} (kPa)	V _v (kN)		
1	255.0	54.0	127.5	50.0	-14.5	18.5	2.8	50.0	114.1	30.8	Κάμψη	35
2	255.0	54.0	127.5	269.6	-140.1	33.2	142.4	255.5	133.2	183.8	Κάμψη	35
3	255.0	54.0	127.5	256.0	-142.8	35.6	137.5	246.0	135.6	180.1	Κάμψη	41
4	255.0	54.0	127.5	70.0	-22.9	20.9	6.1	70.0	116.8	44.2	Κάμψη	47

Έλεγχοι Επάρκειας Πεσσών σε όρους δυνάμεων ή παραμορφώσεων													
α/α	Έλεγχος σε όρους δυνάμεων			Έλεγχος σε όρους παραμορφώσεων					Έλεγχος σε Εφελκυσμό				Επάρκεια
	V _{ed} (kN)	V (kN)	V _{ed} / V	u _i (mm)	u _i (mm)	δ _{ed} (mrad)	δ _u (mrad)	δ _{ed} / δ _u	Συ ν	N _{ed} (kN)	N _{Rd} (kN)	N _{ed} /N _{Rd}	
1				0.36	0.11	0.14	13.60	0.01	24	0.1			Όχι
2				0.35	0.09	0.15	2.52	0.06					Ναι
3				-0.34	-0.08	0.15	2.66	0.05					Ναι
4				-0.35	-0.11	0.13	9.71	0.01					Ναι

Πίνακας 6-0-9 Χαρακτηρισμός Πεσσών και έλεγχοι επάρκειας τοίχων SOUTH PRIMO

[illegible][illegible]

Πίνακας 6-0-10 Χαρακτηρισμός Υπέρυθρων και έλεγχοι επάρκειας τοίχου SOUTH PRIMO



Εικόνα 6-0-2 Κάμψη Εντός Επιπέδου Εφελισμός

6.2 Έλεγχοι για εκτός επιπέδου κάμψη και διάτμηση για Στάθμη Επιτελεστικότητα Β -Προσομοίωση με F.E.M

Η εκτός επιπέδου συμπεριφορά αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους ελέγχους κατά την αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, καθώς μεγάλος αριθμός σεισμικών αστοχιών οφείλεται στην ανατροπή ή στην καμπτική αστοχία των τοίχων υπό δράσεις κάθετες στο επίπεδό τους. Οι μηχανισμοί αυτοί εμφανίζονται κυρίως σε τοίχους με ανεπαρκή σύνδεση με τα εγκάρσια τοιχώματα ή τα πατώματα, καθώς και σε στοιχεία με μεγάλη λυγηρότητα.

Σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ, ο έλεγχος εκτός επιπέδου πραγματοποιείται σε όρους αντοχής και παραμόρφωσης, λαμβάνοντας υπόψη τις γεωμετρικές διαστάσεις του

τοίχου, τις συνθήκες στήριξης, τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας και τη διεύθυνση της κάμψης.

Στο Scada Pro οι έλεγχοι παρουσιάζονται για κάμψη παράλληλα στον κατακόρυφο αρμό και αντίστοιχα παράλληλα στον οριζόντιο αρμό.

Οι τελικές γωνιακές παραμορφώσεις που παρουσιάζονται έχουν πολλαπλασιαστεί με αυξητικούς συντελεστές με βάση τα παρακάτω:

Για τον έλεγχο των κριτηρίων επιτελεσματικότητας Β και Γ απαιτούνται οι ανελαστικές μετακινήσεις (d_{inel}) του κτιρίου.

Η σχέση που συνδέει τις πρώτες με τις δεύτερες δίνεται στα σχόλια της παραγράφου 5.4.4 του Κ.Α.Δ.Ε.Τ.

$$\frac{d_{inel}}{d_{el}} = 1 \quad \text{για } T \geq T_c \quad (\Sigma.5.3) \text{ (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

$$\frac{d_{inel}}{d_{el}} = \frac{1.0 + (q - 1) \frac{T_c}{T}}{q} \quad \text{για } T < T_c \quad (\Sigma.5.4) \text{ (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

Υπολογίζεται ένας συντελεστής ανά κατεύθυνση και χρησιμοποιείται αντίστοιχα ανάλογα με το είδος του σεισμικού συνδυασμού (κατά x ή κατά z)

Γίνεται υπολογισμός της αναμενόμενης ανελαστικής μετακίνησης d_{ed} (d_{inel}), βάσει της αντίστοιχης που υπολογίζεται από την γραμμική ελαστική ανάλυση d (d_{el})

Για να ελέγξει την εκτός επιπέδου συμπεριφορά των τοίχων, το SCADA Pro υπολογίζει αρχικά τους δύο κόμβους με την μέγιστη και την ελάχιστη μετακίνηση αντίστοιχα και στην περίπτωση της εκτός επιπέδου κάμψης παράλληλα στον κατακόρυφο το d_{ed} προκύπτει από την διαφορά των δύο μετακινήσεων δια την οριζόντια απόστασή τους L ενώ στην εκτός επιπέδου παράλληλα στον οριζόντιο αρμό δια την κατακόρυφη απόσταση H_0 .

Για τον έλεγχο της εκτός επιπέδου συμπεριφοράς των τοίχων, το SCADA Pro προσδιορίζει αρχικά τους δύο κόμβους που παρουσιάζουν τη μέγιστη και την ελάχιστη μετακίνηση. Από τις μετακινήσεις αυτές υπολογίζεται η απαιτούμενη γωνιακή παραμόρφωση δ_{ed} η οποία αποτελεί το βασικό μέγεθος για τον έλεγχο της παραμορφωσιακής επάρκειας.

Στην περίπτωση εκτός επιπέδου κάμψης με άξονα περιστροφής παράλληλο προς τον κατακόρυφο αρμό του τοίχου, η τιμή του δ_{ed} προκύπτει από τη διαφορά των δύο μετακινήσεων, διαιρούμενη με την οριζόντια απόσταση (L) μεταξύ των αντίστοιχων κόμβων:

$$\delta = \frac{|u_j - u_i|}{L}$$

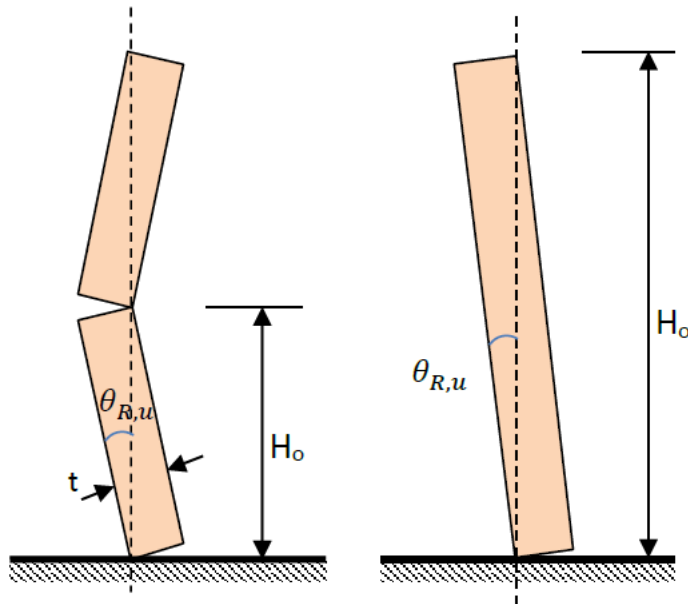
Αντίθετα, στην περίπτωση εκτός επιπέδου κάμψης με άξονα περιστροφής παράλληλο προς τον οριζόντιο αρμό, το δ_{ed} υπολογίζεται από τη διαφορά των ίδιων μετακινήσεων, διαιρούμενη με την κατακόρυφη απόσταση H_0

$$\delta = \frac{|u_j - u_i|}{H_0}$$

όπου:

- δ = σχετική οριζόντια μετακίνηση (ή γωνιακή παραμόρφωση),
- u_i = οριζόντια μετακίνηση του σημείου στήριξης του τοίχου,
- u_j = μέγιστη οριζόντια μετακίνηση του κρίσιμου κόμβου,
- H_0 = κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του σημείου στήριξης και του κόμβου με τη μέγιστη μετακίνηση.
- L = οριζόντια απόσταση μεταξύ του σημείου στήριξης και του κόμβου με τη μέγιστη μετακίνηση.

Και στις δύο περιπτώσεις Αντίστοιχα υπολογίζονται και οι στροφές αστοχίας.



Σχ. Σ 7.9: Κριτήρια ορισμού οριακής στροφής $\theta_{R,u}$

Πίνακας 6-0-0-11 κριτήρια ορισμού οριακής στροφής σύμφωνα με το σχ. Σ7.9 ΤΟΥ ΚΑΔΕΤ(ΚΑΔΕΤ, 2022)

$$\theta_{R,u} = \frac{t}{H_0} \text{ (Σ 7.9) (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

όπου:

$\theta_{R,u}$ = διαθέσιμη στροφή ανατροπής (rad),

t = πάχος του τοίχου (m),

H_0 = απόσταση του σημείου μέγιστης μετακίνησης από την ακμή αστοχίας ή ανατροπής (m).

Η εξίσωση εκφράζει τη μέγιστη διαθέσιμη στροφή που μπορεί να αναπτύξει το τμήμα της τοιχοποιίας κατά την εκτός επιπέδου κάμψη, πριν την εκδήλωση μηχανισμού ανατροπής. Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται στους παραμορφωσιακούς ελέγχους και συγκρίνεται με την απαιτούμενη στροφή που προκύπτει από την ανάλυση του φορέα.

Τέλος καθ' υπόδειξη του ΚΑΔΕΤ αν δεν υπάρχουν ακριβή διαθέσιμα στοιχεία η στροφή αστοχίας λαμβάνεται ως η μικρότερη από τις δύο ακόλουθες τιμές:

$$\theta_u = \min(\theta_{u,1}, \theta_{u,2}) \text{ (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

$$\text{όπου: } \theta_{u,1} = 0.003 \cdot \frac{H_0}{t} \text{ (}\Sigma 7.10\alpha\text{)}$$

$$\text{και } \theta_{u,2} = \theta_{R,u} \left(1 - \frac{F_y}{F_{Rd}}\right) \text{ (}\Sigma 7.10\beta\text{)}$$

όπου:

θ_u = διαθέσιμη στροφή αστοχίας,

$\theta_{u,1}$ = στροφή αστοχίας που εξαρτάται από τη γεωμετρία του τοίχου,

$\theta_{u,2}$ = στροφή αστοχίας που λαμβάνει υπόψη το επίπεδο φόρτισης,

$\theta_{R,u}$ = στροφή ανατροπής του τοίχου,

H_0 = απόσταση του σημείου μέγιστης μετακίνησης από την ακμή ανατροπής,

t = πάχος του τοίχου,

F_y = εφαρμοζόμενη κατακόρυφη δύναμη,

F_{Rd} = διαθέσιμη αντοχή του τοίχου σε κατακόρυφο φορτίο.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω ελέγχων του προσομοιώματος με πεπερασμένα επιφανειακά στοιχεία για τους τοίχους EAST ZERO, EAST PRIMO και SOUTH PRIMO ενώ παρέχεται με χρωματική διαβάθμιση οι έλεγχοι στο τριασδιάστατο προσομοίωμα.

[illegible]

Πίνακας 6-0-12 Έλεγχος σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΠΕΣΣΟΙ Τοίχος EAST ZERO

[illegible]

Πίνακας 6-0-13 Έλεγχοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΥΠΕΡΥΘΡΑ Τοίχος EAST ZERO

[illegible]

Πίνακας 6-0-14 Έλεγχτοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΠΕΣΣΟΙ Τοίχος EAST PRIMO

[illegible][illegible]

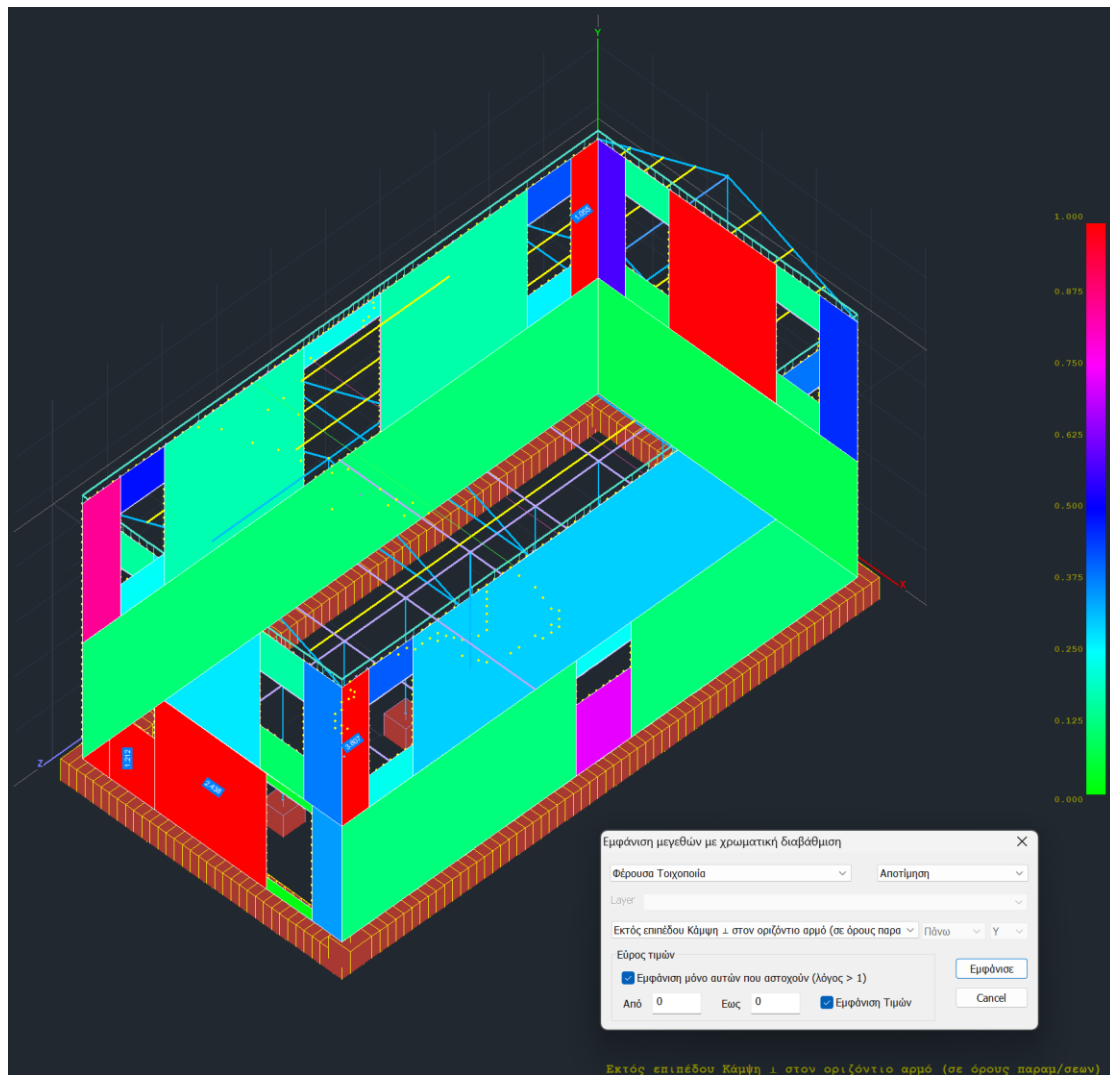
Πίνακας 6-0-15 Έλεγχοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΥΠΕΡΥΘΡΑ Τοίχος EAST PRIMO

[illegible]

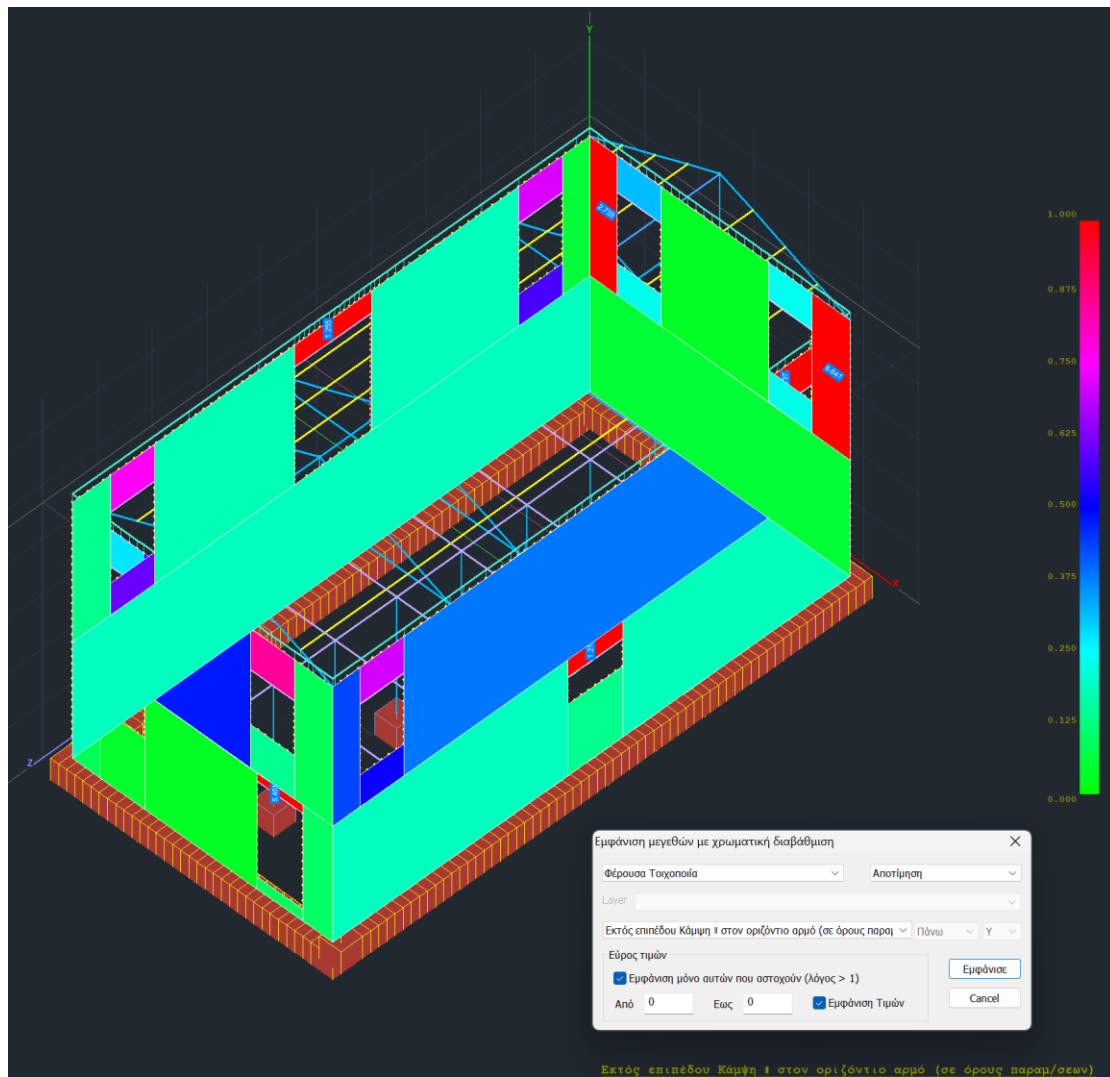
Πίνακας 6-0-16 Έλεγχοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας – ΠΕΣΣΟΙ Τοίχος SOUTH PRIMO

[illegible]

Πίνακας 6-0-17 Έλεγχοι σε κάμψη εκτός επιπέδου -Έλεγχος επάρκειας - ΥΠΕΡΥΘΡΑ Τοίχος SOUTH PRIMO



Εικόνα 6-0-3 Εκτός Επιπέδου Κάμψη κάθετα στον οριζόντιο αρμό



Εικόνα 6-0-4 Εκτός Επιπέδου Κάμψη παραλληλα στον οριζόντιο αρμό

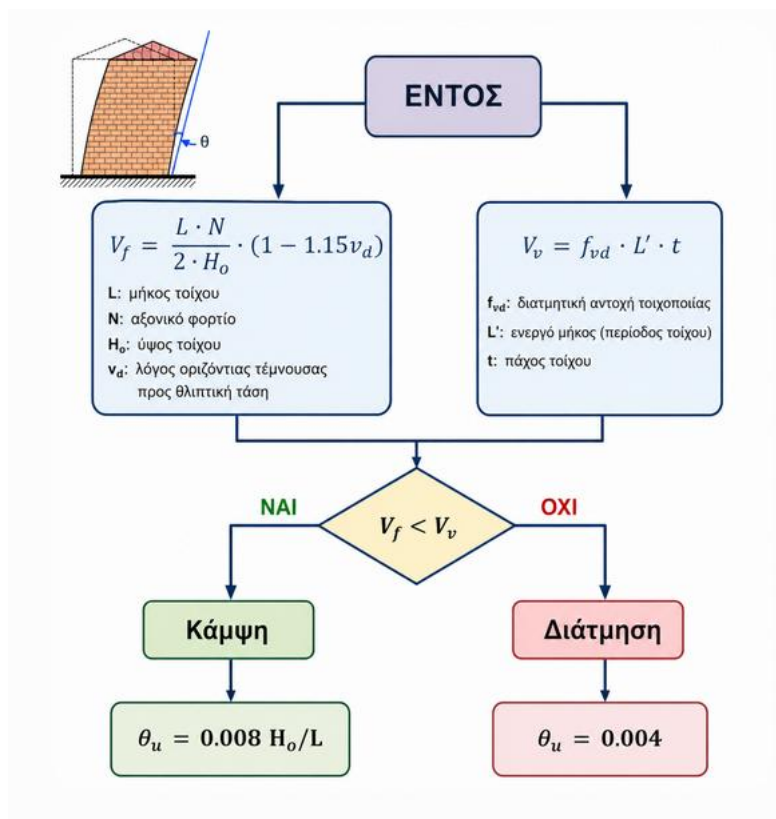
6.3 Έλεγχοι Μ.Ι.Π

6.3.1. Αντοχή υπό Αξονική Δύναμη και Κάμψη

Υπολογίζεται η Ικανοτική τέμνουσα V_f και η διατμητική αντίσταση V_v όπως έχουν καθοριστεί σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ στην παράγραφο 6.1 της παρούσης.

$$V_f = \frac{L \cdot N}{2 \cdot H_o} (1 - 1.15 \cdot v_d) \quad \text{§7.2.1 σχέση 7.2β (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$

$$V_v = f_{vd} \cdot L' \cdot t \quad \text{§7.2.2 σχέση 7.3α (ΚΑΔΕΤ, 2022)}$$



Διάγραμμα Ροής 6-0-1 Εντός επιπέδου

6.3.2 Αντοχή έναντι αστοχίας από διαγώνια ρηγμάτωση

Η αστοχία λόγω **διαγώνιας εφελκυστικής ρηγμάτωσης** αποτελεί έναν από τους βασικούς μηχανισμούς αστοχίας των στοιχείων από άοπλη φέρουσα τοιχοποιία όταν αυτά υπόκεινται σε έντονες διατμητικές δράσεις. Ο μηχανισμός αυτός χαρακτηρίζεται

από τη δημιουργία διαγώνιων ρωγμών που διατρέχουν τόσο τα λιθοσώματα όσο και τους αρμούς κονιάματος και συνήθως οδηγεί σε ψαθυρή μορφή αστοχίας.

Σύμφωνα με τον **ΚΑΔΕΤ** διατμητική αντοχή που αντιστοιχεί στον μηχανισμό της διαγώνιας εφελκυστικής ρηγμάτωσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_{vd,t} = \sqrt{f_{wtd}(f_{wtd} + \nu_d f_d)} \quad (\Sigma.7.2)$$

όπου:

- $f_{vd,t}$ = διατμητική αντοχή λόγω διαγώνιας εφελκυστικής ρηγμάτωσης,
- f_{wtd} = εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας,
- ν_d = ανηγμένη αξονική θλιπτική τάση,
- f_d = θλιπτική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας.

Η εξίσωση δείχνει ότι η διατμητική αντοχή αυξάνεται με την αύξηση της θλιπτικής τάσης που δρα επί της τοιχοποιίας. Η παρουσία μέτριας αξονικής θλίψης περιορίζει την ανάπτυξη των κύριων εφελκυστικών τάσεων και συνεπώς βελτιώνει την αντίσταση έναντι διαγώνιας ρηγμάτωσης. Αντίθετα, όταν η θλιπτική φόρτιση είναι μικρή ή ανύπαρκτη, η αστοχία εμφανίζεται σε χαμηλότερες τιμές διατμητικής φόρτισης λόγω της περιορισμένης εφελκυστικής αντοχής του υλικού.

Στο SCADA Pro, κατά την αποτίμηση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ, η παραπάνω σχέση εφαρμόζεται αυτόματα για κάθε πεσσό και υπέρθυρο. Το λογισμικό υπολογίζει τη διαθέσιμη διατμητική αντοχή V_{dt} και τη συγκρίνει με τη διατμητική απαίτηση που προκύπτει από την ανάλυση, ώστε να αξιολογηθεί η επάρκεια του στοιχείου έναντι διαγώνιας εφελκυστικής αστοχίας.

6.3.3 Αντοχή υπό διατμητική αστοχία ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών

Στο SCADA Pro, ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται αυτόματα για κάθε πεσσό και υπέρθυρο. Το λογισμικό υπολογίζει την τιμή της διατμητικής αντοχής V_{ds} σύμφωνα με τις σχέσεις του ΚΑΔΕΤ και τη συγκρίνει με τη διατμητική απαίτηση που προκύπτει από την ανάλυση. Εφόσον η απαίτηση υπερβαίνει τη διαθέσιμη αντοχή, ο πεσσός

χαρακτηρίζεται ότι αστοχεί λόγω διατμητικής ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών, ενώ σε διαφορετική περίπτωση θεωρείται επαρκής.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Αποτίμησης και Δομητικών Επεμβάσεων Τοιχοποιίας (ΚΑΔΕΤ, Παράρτημα Σ, Σχέση Σ7.3β), η μέση διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας έναντι ολίσθησης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_{vd} = f_{vm0} + 0.4 \frac{N}{L t} \leq 0.065 f_b \quad (\Sigma.7.3\beta)$$

όπου:

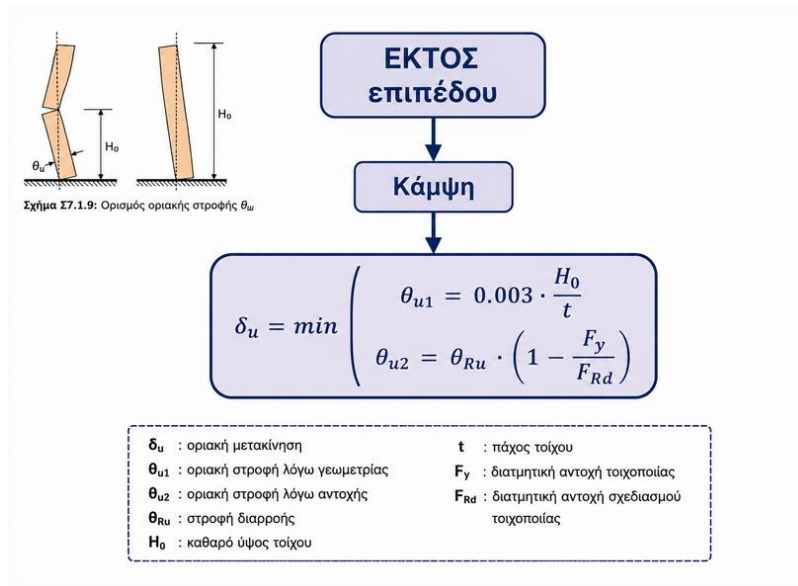
- f_{vd} = μέση διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας,
- f_{vm0} = διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας χωρίς την επίδραση αξονικού φορτίου,
- N = αξονική θλιπτική δύναμη,
- L = ενεργό μήκος του πεσσού,
- t = πάχος του τοίχου,
- f_b = κανονικοποιημένη θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων.

Η διαθέσιμη διατμητική αντοχή του στοιχείου υπολογίζεται από:

$$V_{ds} = f_{vd} t L \quad (\Sigma.7.4)$$

V_{ds} = διατμητική αντοχή του τοίχου έναντι ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών

6.3.4 Αντοχή υπό κάμψη κατά μήκος των οριζόντιων αρμών



Εικόνα 6-0-5 Διάγραμμα ελέγχου κάμψης εκτός επιπέδου

Η αντοχή της τοιχοποιίας σε κάμψη κατά μήκος των οριζόντιων αρμών αφορά την εκτός επιπέδου καμπτική συμπεριφορά του τοίχου, όταν η κάμψη αναπτύσσεται γύρω από τον οριζόντιο άξονα. Στην περίπτωση αυτή οι οριζόντιοι αρμοί αποτελούν τις ασθενέστερες επιφάνειες της τοιχοποιίας και η αστοχία προκαλείται από την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στους αρμούς, ενώ παράλληλα αναπτύσσονται θλιπτικές τάσεις στην απέναντι πλευρά της διατομής.

Στο **SCADA Pro**, ο έλεγχος εφαρμόζεται αυτόματα κατά την αποτίμηση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ. Για κάθε πεσσό υπολογίζεται αρχικά η μέση θλιπτική τάση από την αξονική δύναμη, στη συνέχεια προσδιορίζεται η ροπή αντοχής της κρίσιμης διατομής και τέλος η αντίστοιχη τέμνουσα αντοχή F_{yR} . Η διαθέσιμη αντοχή συγκρίνεται με τις απαιτήσεις που προκύπτουν από την ανάλυση και καθορίζεται η επάρκεια του στοιχείου έναντι εκτός επιπέδου καμπτικής αστοχίας

Σύμφωνα με τον **ΚΑΔΕΤ** η ροπή αντοχής της κρίσιμης διατομής υπολογίζεται από:

$$M_{Rd1,o} = \frac{1}{2} \ell t_w^2 \sigma_0 \left(1 - \frac{\sigma_0}{f_d} \right) \quad (\Sigma.7.6\alpha)$$

όπου:

- $M_{Rd1,o}$ = ροπή αντοχής της διατομής ως προς τον οριζόντιο άξονα,
- ℓ = μήκος του τοίχου,

- t_w = πάχος της τοιχοποιίας,
- σ_0 = μέση θλιπτική τάση λόγω του αξονικού φορτίου,
- f_d = θλιπτική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας.

Η μέση θλιπτική τάση προσδιορίζεται από:

$$\sigma_0 = \frac{N_{sd}}{\ell t_w} \quad (\Sigma.7.6\beta)$$

όπου:

- N_{sd} = αξονική δύναμη σχεδιασμού που δρα στη διατομή.

Η αντίστοιχη αντοχή σε τέμνουσα δύναμη που αντιστοιχεί στην καμπτική αστοχία υπολογίζεται από:

$$F_{yR} = \frac{M_{Rd1,o}}{H_0} \quad (\Sigma.7.7)$$

όπου:

- F_{yR} = διαθέσιμη τέμνουσα αντοχή λόγω καμπτικής αστοχίας,
- H_0 = μήκος διάτμησης του τοίχου, δηλαδή η απόσταση από την κρίσιμη διατομή όπου αναπτύσσεται η μέγιστη ροπή έως το σημείο μηδενισμού της

7. ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ -ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Οι διαθέσιμες τεχνικές επεμβάσεων ενσωματώνονται στο αριθμητικό μοντέλο, επιτρέποντας την εκτίμηση της μεταβολής της φέρουσας ικανότητας, της δυσκαμψίας και της συνολικής σεισμικής συμπεριφοράς του φορέα (ΥΠΕΝ, 2023· CEN, 2022).

Το λογισμικό της παρούσης εργασίας υποστηρίζει τις ακόλουθες μεθόδους ενίσχυσης:

- Βαθύ αρμολόγημα και ενέματα, επεμβάσεις που στοχεύουν στην αποκατάσταση των μηχανικών χαρακτηριστικών της υφιστάμενης τοιχοποιίας.
- Οπλισμένο επίχρισμα, το οποίο είναι διαθέσιμο αποκλειστικά κατά την εφαρμογή της Μεθόδου του Ισοδύναμου Πλαισίου (Μ.Ι.Π.).
- Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος, μονής ή διπλής όψης
- Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM – Fabric Reinforced Cementitious Matrix, FRCM
- Μεταλλικές ράβδοι ενίσχυσης

Η ενσωμάτωση των παραπάνω τεχνικών στο υπολογιστικό μοντέλο επιτρέπει στον μελετητή να αξιολογήσει ποσοτικά την αποτελεσματικότητα κάθε επέμβασης, να συγκρίνει εναλλακτικά σενάρια ενίσχυσης και να επιλέξει τη βέλτιστη λύση, με γνώμονα τις απαιτήσεις των σύγχρονων κανονισμών αποτίμησης και ανασχεδιασμού κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία (Σπυράκος, 2023· ΥΠΕΝ, 2023).

7.1 Βαθύ αρμολόγημα

Το βαθύ αρμολόγημα αποτελεί τεχνική τοπικής αλλά ουσιαστικής ενίσχυσης της φέρουσας τοιχοποιίας, η οποία βασίζεται στην απομάκρυνση του παλαιού και υποβαθμισμένου κονιάματος των αρμών σε σημαντικό βάθος και στην αντικατάστασή του με νέο συμβατό κονίαμα υψηλότερων μηχανικών χαρακτηριστικών. Με τον τρόπο

αυτό επιτυγχάνεται βελτίωση της συνάφειας μεταξύ των λιθοσωμάτων, αύξηση της συνοχής της τοιχοποιίας και ενίσχυση της θλιπτικής της αντοχής. (ΚΑΔΕΤ, 2022)

$$f_{cs} = f_{c0} \left[1 + k \frac{V_{KA}}{V_{\Sigma YN}} \right]$$

Όπου:

f_{cs} : η θλιπτική αντοχή της ενισχυμένης τοιχοποιίας

f_{c0} : η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας πριν από την ενίσχυση

V_{KA} : ο όγκος του κονιάματος αρμολογήματος

$V_{\Sigma YN}$: ο συνολικός όγκος του υφιστάμενου κονιάματος

k : εμπειρική σταθερά

Ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, η σταθερά k μπορεί να λαμβάνεται ίση με 1,50.

Δεν επιφέρει ουσιαστική μεταβολή σε άλλες παραμέτρους αντοχής, όπως η εφελκυστική ή η διατμητική αντοχή, εκτός εάν συνδυαστεί με πρόσθετες επεμβάσεις ενίσχυσης.

Σε επίπεδο εφαρμογής, το βαθύ αρμολόγημα εφαρμόζεται συνήθως όταν οι αρμοί είναι σαθροί, αποπλυμένοι ή ασθενείς, αλλά τα λιθοσώματα διατηρούν ικανοποιητική αντοχή. Η επέμβαση μπορεί να γίνει μονόπλευρα ή αμφίπλευρα· η αμφίπλευρη εφαρμογή θεωρείται αποτελεσματικότερη, επειδή αυξάνει τον όγκο αντικατάστασης και βελτιώνει περισσότερο τη συνοχή της τοιχοποιίας.

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου εξαρτάται από το βάθος επέμβασης, το ποσοστό του κονιάματος που αντικαθίσταται, την ποιότητα του νέου κονιάματος και τη συμβατότητά του με τα υφιστάμενα υλικά. Λαμβάνεται υπόψη η αναλογία του όγκου του νέου κονιάματος που εισάγεται στους αρμούς προς τον συνολικό όγκο του υφιστάμενου κονιάματος. Επειδή η παρέμβαση πραγματοποιείται εντός των ήδη

υπαρχόντων αρμών, ως πάχος εφαρμογής θεωρείται το βάθος στο οποίο εκτείνεται το νέο αρμολόγημα. Στην περίπτωση που η εργασία πραγματοποιείται και στις δύο όψεις της τοιχοποιίας, το συνολικό βάθος εφαρμογής προκύπτει ως το διπλάσιο του βάθους που εφαρμόζεται σε κάθε πλευρά. Ενδεικτικά, εάν το νέο κονίαμα τοποθετηθεί σε βάθος 50 mm από κάθε όψη του τοίχου, τότε το συνολικό πάχος εφαρμογής θεωρείται ίσο με 100 mm.

Σε περιπτώσεις όπου εφαρμόζονται ταυτόχρονα περισσότερες από μία τεχνικές ενίσχυσης, η τελική βελτιωμένη αντοχή προκύπτει από σταθμισμένη σύνθεση των επιμέρους συνεισφορών. Συγκεκριμένα, η νέα αντοχή υπολογίζεται ως ο λόγος του αθροίσματος των επιμέρους βελτιωμένων αντοχών, πολλαπλασιασμένων με το αντίστοιχο πάχος εφαρμογής κάθε επέμβασης, προς το συνολικό πάχος εφαρμογής όλων των ενισχύσεων.

Στο Scada δίνεται αυτό το αθροιστικό πάχος εφαρμογής

Εικόνα 6-0-1 Ενίσχυση τοιχοποιίας με βαθύ αρμολόγημα

Για την ενίσχυση λαμβάνεται υπόψη η νέα θλιπτική αντοχή όπου αυτή υπεισέρχεται.

$$E_{wc} \approx 1300 \left(1 - \frac{f_{wc}}{5} \right) f_{wc} + 140 f_{wc}^2 [MPa]$$

με πεδίο εφαρμογής:

$$1 \text{ MPa} < f_{wc} < 3 \text{ MPa}$$

f_{wc} η αυξημένη θλιπτική αντοχή (f_{cs})

7.2 Εφαρμογή Ενεμάτων (Ομογενοποίηση)

Στο Scada Pro υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής ενεμάτων. Κατά την προσομοίωση επέμβασης ενίσχυσης με ενέματα, ο μελετητής καλείται να ορίσει τα χαρακτηριστικά του υλικού πλήρωσης και της υφιστάμενης τοιχοποιίας ώστε το λογισμικό να υπολογίσει τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του δομήματος σύμφωνα με τις προβλέψεις του ΚΑΔΕΤ.

Αρχικά, ο χρήστης επιλέγει το υλικό του ενέματος από τη βιβλιοθήκη υλικών που είναι ενσωματωμένη στο πρόγραμμα. Η βιβλιοθήκη περιλαμβάνει προϊόντα τριών πιστοποιημένων κατασκευαστών, με αποτέλεσμα η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του ενέματος $f_{gr,c}$ να συμπληρώνεται αυτόματα από τη βάση δεδομένων του λογισμικού. Εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα εργαστηριακά αποτελέσματα ή τεχνικά φυλλάδια διαφορετικού προϊόντος, η τιμή αυτή μπορεί να εισαχθεί απευθείας από τον χρήστη.

Στη συνέχεια, στο παράθυρο ορισμού της επέμβασης, καθορίζεται ο τύπος της τοιχοποιίας, δηλαδή εάν πρόκειται για μονόστρωτη, δίστρωτη ή τρίστρωτη κατασκευή. Η επιλογή αυτή επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο το SCADA Pro εφαρμόζει τις σχέσεις του ΚΑΔΕΤ για την εκτίμηση της νέας θλιπτικής αντοχής της ομογενοποιημένης τοιχοποιίας.

Για τις περιπτώσεις μονόστρωτης και δίστρωτης τοιχοποιίας απαιτείται επιπλέον η εισαγωγή του ποσοστού κενών n . Η παράμετρος αυτή εκφράζει τον λόγο του όγκου του ενέματος που απαιτείται για την πλήρωση των εσωτερικών κενών προς τον συνολικό όγκο του κονιάματος της τοιχοποιίας. Η τιμή του n αποτελεί κρίσιμο μέγεθος, καθώς χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα για τον υπολογισμό του βαθμού ομογενοποίησης που επιτυγχάνεται μετά την επέμβαση.

Παράλληλα, ο μελετητής ορίζει τους συντελεστές f_0 και λ , οι οποίοι σχετίζονται με τη μορφολογία και την ποιότητα της υφιστάμενης τοιχοποιίας. Οι παράμετροι αυτές αξιοποιούνται από τους αλγόριθμους του SCADA Pro για την εφαρμογή των ημειμπειρικών σχέσεων του ΚΑΔΕΤ και τον υπολογισμό της αναθεωρημένης θλιπτικής αντοχής, του μέτρου ελαστικότητας και των λοιπών μηχανικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν μετά την ενίσχυση.

Η τελική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας μετά την εφαρμογή ενεμάτων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_{wc,f} = f_{wc,0} + \Delta f_0 + \lambda n f_{grc}$$

Όπου:

- $f_{wc,f}$: τελική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας μετά την επέμβαση με ενέματα.
- $f_{wc,0}$: αρχική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας πριν από την εφαρμογή της ενίσχυσης.
- n : λόγος του όγκου του εισαγόμενου ενέματος προς τον συνολικό όγκο του κονιάματος της τοιχοποιίας.
- f_{grc} : θλιπτική αντοχή του ενέματος.
- λ : συντελεστής συνάφειας μεταξύ λιθοσώματος και κονιάματος.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, το πρόγραμμα ενημερώνει αυτόματα τις ιδιότητες του υλικού της τοιχοποιίας και τις χρησιμοποιεί σε όλους τους επόμενους ελέγχους αποτίμησης και ανασχεδιασμού, τόσο στη Μέθοδο Ισοδύναμου Πλαισίου (ΜΙΠ) όσο και στα μοντέλα πεπερασμένων επιφανειακών στοιχείων (FEM).

7.2.1 για δίστρωτες και μονόστρωτες

Το Scada Pro ενσωματώνει τις παρακάτω ημιεμπειρικές σχέσεις που χρησιμοποιούνται στον ΚΑΔΕΤ για την εκτίμηση της αύξησης της θλιπτικής αντοχής μετά από επεμβάσεις έγχυσης ενεμάτων σε υφιστάμενες κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία. Βασίζονται στην παραδοχή ότι η πλήρωση των εσωτερικών κενών και ρωγμών βελτιώνει τη συνοχή μεταξύ των επιμέρους δομικών στοιχείων, μειώνει τις ασυνέχειες του υλικού και οδηγεί σε αποτελεσματικότερη κατανομή των θλιπτικών τάσεων. Ως αποτέλεσμα, η τοιχοποιία αποκτά μεγαλύτερη ομοιογένεια και αυξημένη φέρουσα ικανότητα έναντι θλιπτικών φορτίσεων.

Η μέση θλιπτική αντοχή της ομογενοποιημένης τοιχοποιίας μετά την εφαρμογή ενεμάτων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_{wcs} = f_{wc0} \left[1 + 0.013 \left(100 \frac{G_{gr}}{G_0} \right)^3 \right]$$

όπου:

- f_{wcs} = μέση θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας μετά την επέμβαση (MPa)
- f_{wc0} = αρχική μέση θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας πριν την έγχυση (MPa)
- G_{gr} = συνολικό βάρος του ενέματος που εισάγεται στην τοιχοποιία
- G_0 = αρχικό βάρος της τοιχοποιίας

Η εξίσωση αυτή εκφράζει τη βελτίωση της θλιπτικής αντοχής ως συνάρτηση του ποσοστού του ενέματος που προστίθεται σε σχέση με το συνολικό βάρος της κατασκευής. Όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του ενέματος που διεισδύει στα εσωτερικά κενά της τοιχοποιίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναμενόμενη αύξηση της αντοχής.

Εναλλακτικά, η θλιπτική αντοχή μετά την εφαρμογή ενεμάτων μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τον όγκο του ενέματος που εισάγεται:

$$f_{wcs} = f_{wc0} \left[1 + \left(15 \frac{V_{gr}}{V_0} \right)^2 \right]$$

όπου:

- f_{wcs} = μέση θλιπτική αντοχή της ομογενοποιημένης τοιχοποιίας μετά την έγχυση
- f_{wc0} = αρχική μέση θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας
- V_{gr} = όγκος του ενέματος που εισάγεται στα κενά της τοιχοποιίας
- V_0 = αρχικός όγκος της τοιχοποιίας

Η σχέση αυτή συνδέει την αύξηση της θλιπτικής αντοχής με το ποσοστό πλήρωσης των εσωτερικών κενών της τοιχοποιίας. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος V_{gr}/V_0 , τόσο πληρέστερη είναι η ομογενοποίηση του δομικού στοιχείου και συνεπώς τόσο μεγαλύτερη η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του. Η Νέα Εφελκυστική αντοχή είναι ίδια με την παλιά Δεν δίνει επαύξηση του Μέρους Ελαστικότητας ούτε αύξηση της διατμητικής αντοχής.

7.2.3 Για τρίστρωτες

Μία επιπλέον ημιεμπειρική σχέση που προτείνεται στον ΚΑΔΕΤ και χρησιμοποιείται στο Scada Pro για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας μετά από επέμβαση με ενέματα είναι η εξής

$$f_{wcs} = f_{wc0} \left(1 + 1.25 \cdot \frac{V_{gr}}{V_0} \cdot \frac{\sqrt{f_{gr,c}}}{f_{wc0}} \right)$$

όπου:

- f_{wcs} = μέση θλιπτική αντοχή της ομογενοποιημένης τοιχοποιίας μετά την εφαρμογή του ενέματος (MPa)
- f_{wc0} = αρχική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας πριν από την επέμβαση (MPa)
- V_0 = αρχικός όγκος της τοιχοποιίας
- V_{gr} = όγκος του ενέματος που εισάγεται στο εσωτερικό της τοιχοποιίας
- $f_{gr,c}$ = μέση θλιπτική αντοχή του ενέματος (MPa)

Λαμβάνει υπόψη τόσο την ποσότητα του ενέματος που εισάγεται όσο και τη μηχανική ποιότητα του ίδιου του υλικού πλήρωσης. Η εξίσωση συσχετίζει την τελική θλιπτική αντοχή της ομογενοποιημένης τοιχοποιίας με τον λόγο του όγκου του ενέματος προς τον συνολικό όγκο της κατασκευής, καθώς και με τη θλιπτική αντοχή του ενέματος. Από τη σχέση προκύπτει ότι η αποτελεσματικότητα της επέμβασης αυξάνεται όταν επιτυγχάνεται μεγαλύτερη πλήρωση των εσωτερικών κενών και όταν χρησιμοποιούνται ενέματα υψηλότερης αντοχής. Ωστόσο, η βελτίωση εξαρτάται και από την αρχική ποιότητα της τοιχοποιίας, καθώς κατασκευές με χαμηλότερη αρχική αντοχή εμφανίζουν συνήθως μεγαλύτερο βαθμό ενίσχυσης μετά την εφαρμογή της τεχνικής.

Η ενίσχυση δίνει Εφελκυστική αντοχή, ίση με την παλιά, δεν επαυξάνει το Μέτρο Ελαστικότητας αλλά αυξάνει την διατμητική αντοχή.

Εικόνα 6-0-2 Ενίσχυση τοιχοποιίας με ενέματα μάζας

Επηρεάζει κάμψη εντός, κάμψη εκτός και την πρώτη διάτμηση για τρίστρωτες.

7.3 Οπλισμένο Επίχρισμα

Με την μέθοδο του Ισοδύναμου πλαισίου το Scada Pro δίνει την δυνατότητα για ενίσχυση της τοιχοποιίας με οπλισμένο επίχρισμα. Η επέμβαση με οπλισμένο επίχρισμα αποτελεί μία από τις πλέον αποτελεσματικές τεχνικές ενίσχυσης κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Στη μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου η επίδρασή της αποδίδεται μέσω της αναβάθμισης των μηχανικών χαρακτηριστικών των γραμμικών στοιχείων του προσομοιώματος (πεσσοί και υπέρθυρα), οδηγώντας σε αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας του φορέα.

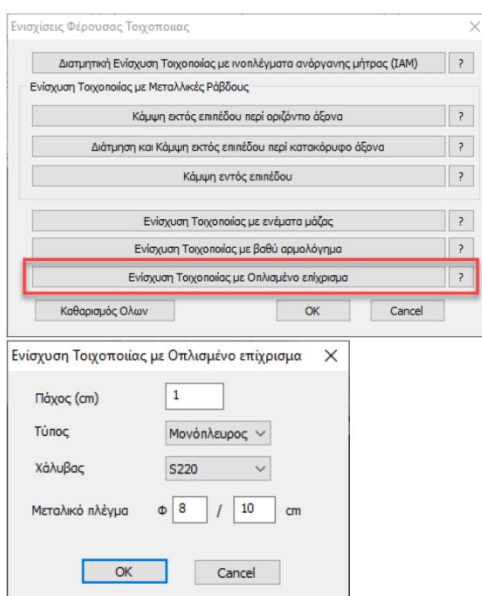
Μετά την ολοκλήρωση της αποτίμησης του υφιστάμενου φορέα, ο μηχανικός μπορεί να εισαγάγει την επέμβαση οπλισμένου επιχρίσματος και να επαναλάβει την ανάλυση. Το λογισμικό αναπροσαρμόζει τις ιδιότητες της τοιχοποιίας και εκτελεί νέα ανελαστική στατική ανάλυση (pushover), επιτρέποντας τη σύγκριση:

- της καμπύλης ικανότητας πριν και μετά την ενίσχυση,
- των μετακινήσεων στόχου,
- των δεικτών ανεπάρκειας,
- της στάθμης επιτελεστικότητας.

Η επίδραση του οπλισμένου επιχρίσματος δεν προσομοιώνεται ως ξεχωριστό δομικό στοιχείο. Αντίθετα, η ενίσχυση λαμβάνεται υπόψη μέσω της τροποποίησης των μηχανικών χαρακτηριστικών των πεσσών και των υπερθύρων που αποτελούν το ισοδύναμο πλαίσιο. Συγκεκριμένα, αυξάνονται:

- η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας f_m ,
- η διατμητική αντοχή f_{vk} ,
- το μέτρο ελαστικότητας E ,
- το μέτρο διάτμησης G ,
- η πλαστιμότητα και η ενεργειακή απορρόφηση των στοιχείων

ενώ παρατηρείται μείωση των αναμενόμενων βλαβών στους πεσσούς και στα υπέρθυρα.



Εικόνα 6-0-3 Ενίσχυση τοιχοποιίας με οπλισμένο επίχρισμα

Η αύξηση της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας λόγω εφαρμογής οπλισμένου επιχρίσματος μπορεί να εκτιμηθεί στο Scada Pro σύμφωνα τη σχέση

$$f_w = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \left(k \cdot \rho \cdot \frac{2}{3} \cdot f_{yd} + f_{w,f} \right) \quad (\text{Σπυράκος, 2019})$$

Στην προηγούμενη σχέση χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες παράμετροι:

- $1/\gamma_{Rd} \approx 0,80$, συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη μείωση της διαθέσιμης αντοχής.
- k , συντελεστής που εξαρτάται από τη διάταξη του μανδύα και λαμβάνει τιμή 1 όταν εφαρμόζεται μονόπλευρο οπλισμένο επίχρισμα και 2 όταν το επίχρισμα τοποθετείται και στις δύο όψεις του τοίχου.
- $f_{w,f}$, αρχική θλιπτική αντοχή της υφιστάμενης τοιχοποιίας πριν από την επέμβαση.
- $\rho = \rho_v = \rho_h$, ποσοστό οπλισμού του επιχρίσματος, το οποίο θεωρείται ίδιο τόσο στην κατακόρυφη (ρ_v) όσο και στην οριζόντια (ρ_h) διεύθυνση.

Η ενεργός διατομή του ενισχυμένου στοιχείου θεωρείται ότι έχει πλασματικό πάχος ίσο με το άθροισμα του πάχους της αρχικής τοιχοποιίας και του πάχους του οπλισμένου επιχρίσματος. Επιπλέον, η τάση διαρροής του οπλισμού του μανδύα συμβολίζεται με f_{yd} .

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές, για στοιχεία με αμφίπλευρο οπλισμένο επίχρισμα, η ροπή αντοχής ως προς οριζόντιο άξονα που βρίσκεται στο επίπεδο του τοίχου προσεγγίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$M_R = \frac{1}{2} l t_w^2 \sigma_0 \left(1 - \frac{\sigma_0}{f_c} \right) + 2 A_v f_{yd} t_w$$

όπου:

- M_R : ροπή αντοχής της ενισχυμένης διατομής.
- t_w : συνολικό πάχος του στοιχείου, συμπεριλαμβανομένου του πάχους των επιχρισμάτων.
- l : οριζόντια διάσταση του στοιχείου στο επίπεδο του τοίχου.
- A_v : εμβαδόν του κατακόρυφου οπλισμού του επιχρίσματος ανά όψη και ανά μέτρο μήκους.
- σ_0 : μέση θλιπτική τάση που αναπτύσσεται στη διατομή του τοιχοποιημένου στοιχείου.
- f_c : θλιπτική αντοχή του σύνθετου στοιχείου μετά την ενίσχυση.
- f_{yd} : σχεδιαστική τάση διαρροής του χάλυβα του οπλισμένου επιχρίσματος.

Η παραπάνω εξίσωση εκφράζει τη συνολική καμπτική αντοχή ως άθροισμα δύο επιμέρους συνιστωσών: της συμβολής της ίδιας της τοιχοποιίας μέσω της θλιπτικής ζώνης και της πρόσθετης αντοχής που προσφέρει ο κατακόρυφος οπλισμός του μανδύα. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή αμφίπλευρου οπλισμένου επιχρίσματος αυξάνει σημαντικά την ικανότητα του τοίχου να παραλαμβάνει καμπτικές καταπονήσεις, βελτιώνοντας παράλληλα τη συνολική σεισμική συμπεριφορά του φορέα.

Ο παραπάνω τύπος είναι για την κάμψη εκτός επιπέδου περί οριζόντιο άξονα και f_c είναι η αρχική θλιπτική αντοχή. Αύξηση τέμνουσας που αντιστοιχεί στην παραπάνω ροπή.

7.4 ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος

Η ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος αποτελεί μία από τις αποτελεσματικότερες και πλέον διαδεδομένες τεχνικές αναβάθμισης της φέρουσας ικανότητας κατασκευών από τοιχοποιία. Η μέθοδος εφαρμόζεται με την προσθήκη στρώσης οπλισμένου σκυροδέματος στη μία ή και στις δύο όψεις του τοίχου, με κατάλληλη σύνδεση του νέου μανδύα με την υφιστάμενη τοιχοποιία μέσω μεταλλικών συνδέσμων ή αγκυρίων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της θλιπτικής, καμπτικής και διατμητικής αντοχής, καθώς και της συνολικής δυσκαμψίας του φορέα, βελτιώνοντας ουσιαστικά τη σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής (ΟΑΣΠ, 2024· CEN, 2022).

Στο SCADA Pro ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την επέμβαση και να καθορίσει τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του μανδύα. Το λογισμικό λαμβάνει υπόψη τη συμβολή του νέου στοιχείου στους ελέγχους κάμψης, διάτμησης και θλίψης, αναπροσαρμόζοντας αυτόματα τις ιδιότητες των ενισχυμένων στοιχείων σύμφωνα με τη μεθοδολογία του ΚΑΔΕΤ και τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3, επιτρέποντας την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της επέμβασης τόσο σε επίπεδο επιμέρους στοιχείων όσο και σε επίπεδο συνολικού φορέα.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Παρουσιάζει εξαιρετική πρόσφυση με την υφιστάμενη τοιχοποιία και με τα περισσότερα δομικά υλικά, εξασφαλίζοντας αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ παλαιού και νέου φορέα.	Προκαλεί σημαντική αύξηση του ιδίου βάρους της κατασκευής, με αποτέλεσμα την αύξηση τόσο των μόνιμων όσο και των σεισμικών φορτίων.

Αυξάνει σημαντικά τη θλιπτική, εφελκυστική, διατμητική και καμπτική αντοχή των στοιχείων της τοιχοποιίας.	Απαιτεί εκτεταμένες εργασίες επέμβασης, οι οποίες συνεπάγονται αυξημένο χρόνο κατασκευής και υψηλό οικονομικό κόστος.
Βελτιώνει σημαντικά τη δυσκαμψία και τη συνολική φέρουσα ικανότητα του φέροντος οργανισμού.	Η εφαρμογή του μεταβάλλει την αρχιτεκτονική μορφή και τις όψεις του κτιρίου, γεγονός που περιορίζει τη χρήση του σε διατηρητέα ή ιστορικά κτίρια.
Όταν εφαρμόζεται σε μεγάλο μέρος ή στο σύνολο της κατασκευής, συμβάλλει στη δημιουργία περισσότερο μονολιθικής συμπεριφοράς, βελτιώνοντας την κατανομή των σεισμικών δράσεων και την παγκόσμια σεισμική απόκριση του φορέα.	Εάν δεν εφαρμοστούν κατάλληλες λεπτομέρειες κατασκευής, μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα συγκέντρωσης υγρασίας στη διεπιφάνεια μεταξύ του μανδύα και της υφιστάμενης τοιχοποιίας, με δυσμενείς επιπτώσεις στη μακροχρόνια ανθεκτικότητα.
Παρέχει υψηλή ανθεκτικότητα και μεγάλη διάρκεια ζωής, όταν σχεδιάζεται και κατασκευάζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ισχυόντων κανονισμών.	Η αύξηση της δυσκαμψίας ενδέχεται να μεταβάλει τη δυναμική συμπεριφορά του κτιρίου και να προκαλέσει ανακατανομή των σεισμικών εντατικών μεγεθών, γεγονός που απαιτεί πλήρη επανέλεγχο της κατασκευής.

Πίνακας 0-1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενίσχυσης με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος

7.5 Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM)

Η ενίσχυση φέρουσας τοιχοποιίας με Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM) (Textile Reinforced Mortar – TRM ή Fabric Reinforced Cementitious Matrix – FRCM) αποτελεί μία από τις πλέον σύγχρονες και αποτελεσματικές τεχνικές επεμβάσεων για την αποκατάσταση και τη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κατασκευών από τοιχοποιία. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στη συνεργασία πλεγμάτων υψηλής αντοχής (ίνες υάλου, βασάλτη, άνθρακα ή PBO) με ανόργανη μήτρα τσιμεντοειδούς ή ασβεστοκονιαματικής βάσης, εξασφαλίζοντας υψηλή συμβατότητα με τα υφιστάμενα δομικά υλικά και ιδιαίτερα με τις παραδοσιακές τοιχοποιίες (Triantafyllou, 2016).

Στο SCADA Pro, η ενίσχυση με IAM έχει ενσωματωθεί ως διαθέσιμη μέθοδος επεμβάσεων για κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία. Ο μελετητής μπορεί να επιλέξει το είδος του ινοπλέγματος, να καθορίσει τις μηχανικές ιδιότητές του και να ορίσει τις περιοχές στις οποίες εφαρμόζεται η επέμβαση. Με βάση τα χαρακτηριστικά του συστήματος ενίσχυσης, το πρόγραμμα αναπροσαρμόζει αυτόματα τις μηχανικές ιδιότητες του αντίστοιχου τοίχου και πραγματοποιεί τους απαιτούμενους ελέγχους σύμφωνα με τις διατάξεις του.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενίσχυσης με Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μικρό ίδιο βάρος, χωρίς ουσιαστική αύξηση των μόνιμων φορτίων της κατασκευής.	Υψηλό κόστος προμήθειας υλικών και εφαρμογής σε σχέση με συμβατικές τεχνικές ενίσχυσης.
Υψηλή εφελκυστική αντοχή, η οποία συμβάλλει στη βελτίωση της καμπτικής και διατμητικής συμπεριφοράς της τοιχοποιίας.	Περιορισμένη παραμόρφωση μέχρι την αστοχία, γεγονός που μειώνει την ικανότητα ανάπτυξης πλαστικής συμπεριφοράς.
Ανθεκτικότητα στη διάβρωση και αυξημένη διάρκεια ζωής του συστήματος ενίσχυσης.	Η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης εξαρτάται σημαντικά από τη σωστή αγκύρωση των άκρων του ινοπλέγματος.
Εύκολη και σχετικά γρήγορη εφαρμογή με περιορισμένες απαιτήσεις εργοταξιακού εξοπλισμού.	Στα συστήματα που χρησιμοποιούν οργανική ρητίνη (FRP), η αντοχή μειώνεται σημαντικά σε υψηλές θερμοκρασίες ή σε συνθήκες πυρκαγιάς λόγω υποβάθμισης της ρητίνης.
Δεν επιβαρύνουν τη φέρουσα κατασκευή με πρόσθετα φορτία βαρύτητας.	Απαιτείται ιδιαίτερα προσεκτική προετοιμασία του υποστρώματος για την εξασφάλιση επαρκούς συνεργασίας μεταξύ τοιχοποιίας και συστήματος ενίσχυσης.
Το μικρό πάχος της επέμβασης διατηρεί τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και επιτρέπει την εφαρμογή ακόμη και σε διατηρητέες ή ιστορικές κατασκευές.	Τα σύνθετα υλικά εμφανίζουν σχεδόν γραμμικά ελαστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση, χωρίς σημαντική προειδοποίηση πριν από την αστοχία.

Πίνακας 7-0-2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενίσχυσης με Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM) τεχνική τεκμηρίωση του SCADA Pro

7.6 Μεταλλικές ράβδοι

Στην ενίσχυση με μεταλλικές ράβδους γίνεται έλεγχος της εφελκυστικής αντοχής των στοιχείων της τοιχοποιίας. Κατά τον υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη η συμβολή των μεταλλικών ράβδων στην παραλαβή των εφελκυστικών τάσεων, γεγονός που οδηγεί σε βελτιωμένη συμπεριφορά του στοιχείου έναντι ρηγμάτωσης και αστοχίας λόγω εφελκυσμού.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται αποτελέσματα ελέγχων μετά την ενίσχυση.

Τοίχος : EAST ZERO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση σε κάμψη εκτός επιπέδου παράλληλα στον οριζόντιο αρμό

Πλήθος ράβδων ανά εφελκυσόμενη παρειά = 4

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **955.00**

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 13.00

Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 150.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

[illegible][illegible]

Πίνακας 7-0-3 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Κάμψη εκτός επιπέδου // στον οριζόντιο άξονα

Τοίχος : EAST ZERO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση σε κάμψη εκτός επιπέδου κάθετα στον οριζόντιο αρμό

Πλήθος ράβδων ανά εφελκυσόμενη παρειά = 4

Μέση τάση διαρροής Fsy (MPa) = **955.00**

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 13.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 150.00

[illegible][illegible]

Πίνακας 7-0-4 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Κάμψη Εκτός Επιπέδου κάθετα στον οριζόντιο άξονα

Τοίχος : EAST ZERO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση για Διάτμηση

Πλήθος ράβδων ανά εφελκούμενη παρειά = 4
Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 13.00
Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 150.00

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **955.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

[illegible][illegible]

Πίνακας 7-0-5 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Τοίχος : EAST ZERO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση σε κάμψη εντός επιπέδου

Πλήθος ράβδων ανά εφελκυσόμενη παρειά = 4

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **955.00**

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 13.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 150.00

[illegible][illegible]

Πίνακας 7-0-6 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Εντός Επιπέδου

Τοίχος : EAST ZERO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση για Εμφελκυσμό

Πλήθος ράβδων ανά εφελκούμενη παρειά = 4
Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 13.00
Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 150.00

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **955.00**

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 13.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 150.00

[illegible][illegible]

Πίνακας 7-0-7 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους – Για Εφελκυσμό

Τοίχος : EAST PRIMO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση σε κάμψη εκτός επιπέδου παράλληλα στον οριζόντιο αρμό

Πλήθος ράβδων ανά εφελκυσόμενη παρειά = 4

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **957.00**

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 7.40

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 7.06

Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 107.00

[illegible][illegible]

Πίνακας 7-0-8 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους- Κάμψη εκτός επιπέδου // στον οριζοντιο αριθμό

Τοίχος : EAST PRIMO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση για Εφελκυσμό

Πλήθος ράβδων ανά εφελκούμενη παρειά = 4
Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 7.40
Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 107.00

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = 957.00
Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 7.06

Έλεγχος Πεσσών						
α/α	N_{Ed} (kN)	F_y (kN)	N_{Ed}/F_y	Επάρκεια	Συνδυασμός	Ράβδοι
1	0.97	56.48	0.017	Ναι	4	4
2						
3	0.18	56.48	0.003	Ναι	16	4

Έλεγχος Υπέρθρων						
α/α	N_{Ed} (kN)	F_y (kN)	N_{Ed}/F_y	Επάρκεια	Συνδυασμός	Ράβδοι
1	23.00	28.24	0.814	Ναι	15	4
2	9.89	28.24	0.350	Ναι	15	4
3	27.88	28.24	0.987	Ναι	4	4
4	15.55	28.24	0.551	Ναι	4	4

Πίνακας 7-0-9 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους – Για Εφελκυσμό

Τοίχος : SOUTH PRIMO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση σε κάμψη εκτός επιπέδου παράλληλα στον οριζόντιο αρμό

Πλήθος ράβδων ανά εφελκόμενη παρειά = 4

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = 955.00

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 13.00

Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 150.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

Έλεγχος Πεσσών											
α/α	Μήκος (cm)	Πάχος (cm)	M_{Ed} (kNm)	N_{Ed} (kN)	x (m)	$\rho_{t,v}$ (m)	M_{Rd} (kNm)	M_{Ed}/M_{Rd}	Επάρκεια	Συνδ.	Ράβδοι
1	50.0	54.0	0.00	-27.52	0.31	0.12	19.90	0.000	Ναι	1	4
2	269.6	54.0	0.00	-180.25	0.13	0.85	57.89	0.000	Ναι	1	4
3	256.0	54.0	0.00	-175.22	0.14	0.80	56.42	0.000	Ναι	1	4
4	70.0	54.0	0.00	-4.17	0.13	0.18	19.80	0.000	Ναι	1	4

Έλεγχος Υπέρθρων											
α/α	Μήκος (cm)	Πάχος (cm)	M_{Ed} (kNm)	N_{Ed} (kN)	x (m)	$\rho_{t,v}$ (m)	M_{Rd} (kNm)	M_{Ed}/M_{Rd}	Επάρκεια	Συνδ.	Ράβδοι
1	58.0	54.0	0.00	2.11	0.15	0.14	18.20	0.000	Ναι	1	4
2	67.0	54.0	0.00	1.19	0.12	0.17	18.77	0.000	Ναι	1	4
3	40.0	54.0	0.00	-1.04	0.27	0.08	16.68	0.000	Ναι	1	4
4	58.0	54.0	0.00	1.32	0.15	0.14	18.32	0.000	Ναι	1	4
5	67.0	54.0	0.00	3.61	0.12	0.17	18.35	0.000	Ναι	1	4

Πίνακας 7-0-10 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Κάμψη εκτός επιπέδου // στον οριζόντιο αρμό

Τοίχος : SOUTH PRIMO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση σε κάμψη εκτός επιπέδου κάθετα στον οριζόντιο αρμό

Πλήθος ράβδων ανά εφελκόμενη παρειά = 4

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = 1013.00

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 10.00

Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 114.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Έλεγχος Πεσσών											
α/ α	Μήκος (cm)	Πάχος (cm)	M_{Ed} (kNm)	N_{Ed} (kN)	x (m)	$p_{f,h}$ (m)	M_{Rd} (kNm)	M_{Ed}/M_{Rd}	Επάρκεια	Συνδ.	Ράβδοι
1	50.0	54.0	0.00	-27.52	0.04	0.80	23.70	0.000	Ναι	1	4
2	269.6	54.0	0.00	-180.25	0.14	0.80	54.16	0.000	Ναι	1	4
3	256.0	54.0	0.00	-175.22	0.13	0.80	53.34	0.000	Ναι	1	4
4	70.0	54.0	0.00	-4.17	0.02	0.80	18.00	0.000	Ναι	1	4

Έλεγχος Υπέρθρων											
α/ α	Μήκος (cm)	Πάχος (cm)	M_{Ed} (kNm)	N_{Ed} (kN)	x (m)	$p_{f,h}$ (m)	M_{Rd} (kNm)	M_{Ed}/M_{Rd}	Επάρκεια	Συνδ.	Ράβδοι
1	58.0	54.0	0.00	-7.75	0.10	0.22	17.63	0.000	Ναι	3	4
2	67.0	54.0	0.00	-10.42	0.11	0.22	18.13	0.000	Ναι	3	4
3	40.0	54.0	0.00	-1.04	0.04	0.42	16.91	0.000	Ναι	1	4
4	58.0	54.0	0.00	-12.63	0.11	0.22	18.53	0.000	Ναι	3	4
5	67.0	54.0	0.00	-6.80	0.10	0.22	17.45	0.000	Ναι	3	4

Πίνακας 7-0-11 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Κάμψη Εκτός Επιπέδου κάθετα στον οριζόντιο αρμό

Τοίχος : SOUTH PRIMO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση για Διάτμηση

Πλήθος ράβδων ανά εφελκυσόμενη παρειά = 4

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **1013.00**

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 10.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 114.00

[illegible][illegible]

Πίνακας 7-0-12 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους - Για Διάτμηση

Τοίχος : SOUTH PRIMO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση σε κάμψη εντός επιπέδου

Πλήθος ράβδων ανά εφελκυσόμενη παρειά = 6

Μέση τάση διαρροής Fsy (MPa) = **1013.00**

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 10.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 114.00

[illegible][illegible]

Πίνακας 7-0-13 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους – Κάμψη εντός επιπέδου

Τοίχος : SOUTH PRIMO
Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους
Ενίσχυση για Εφελκυσμό

Πλήθος ράβδων ανά εφελκούμενη παρειά = 4

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **955.00**

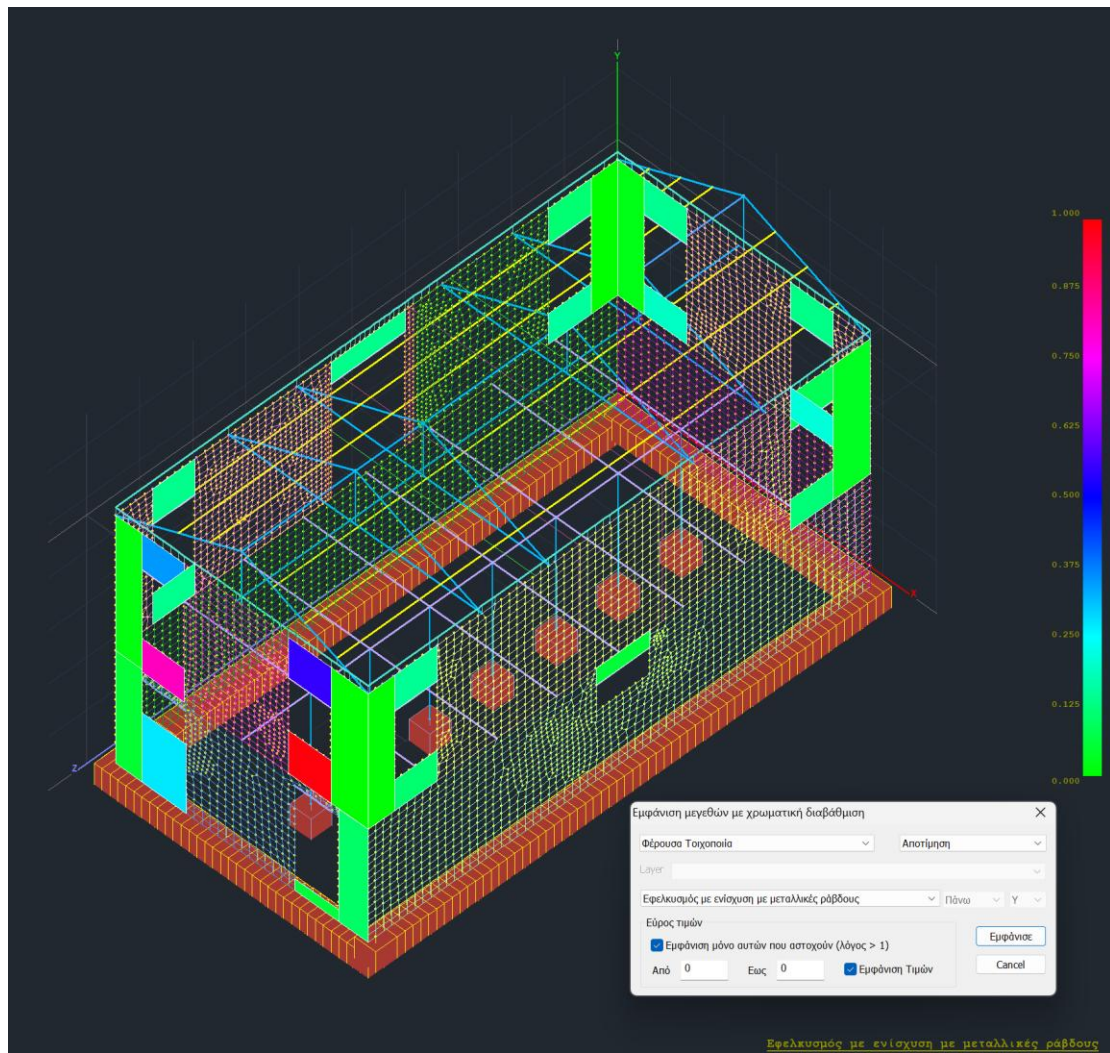
Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 13.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

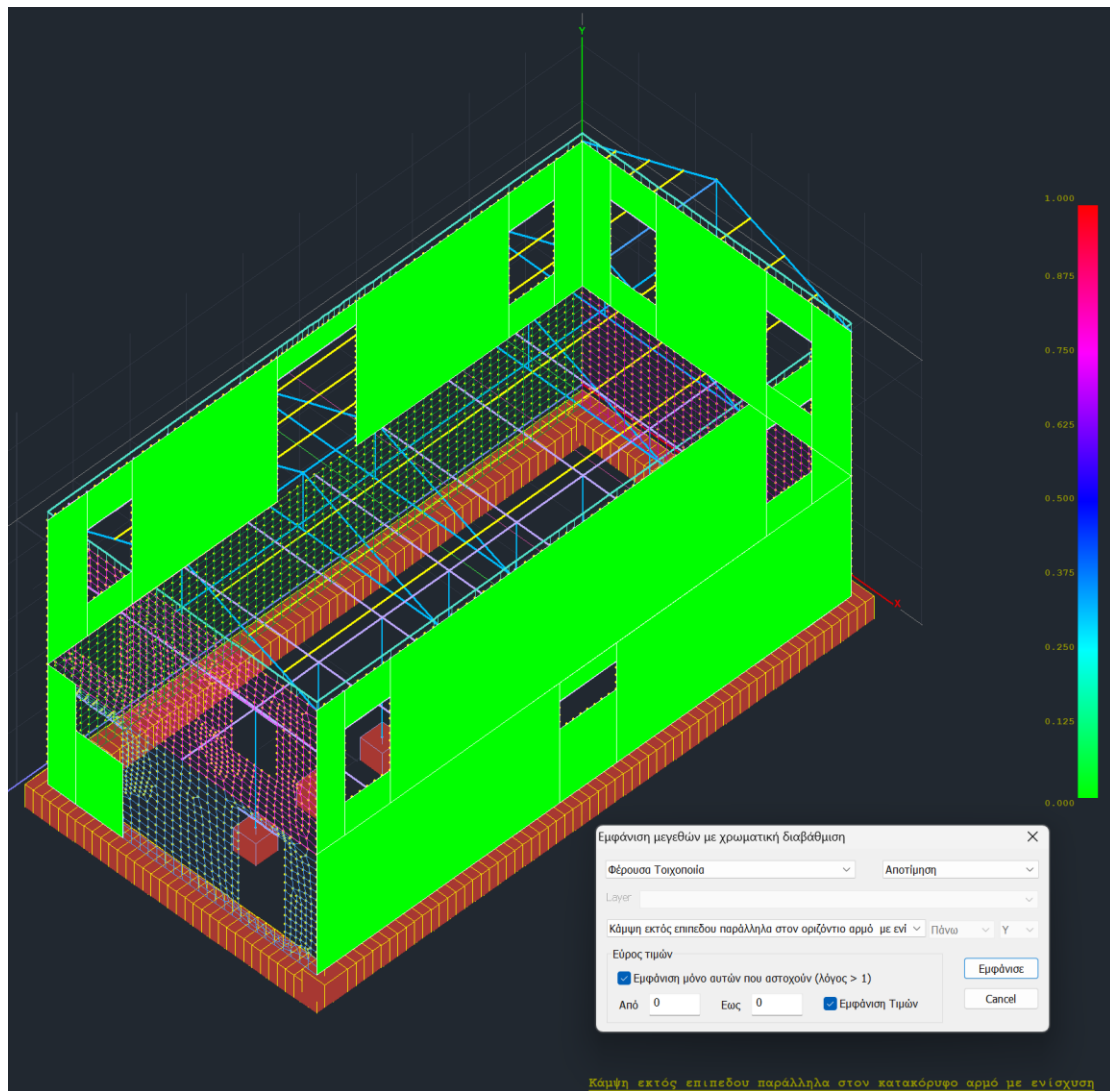
Μέτρο Ελαστικότητας E_s (GPa) = 150.00

[illegible][illegible]

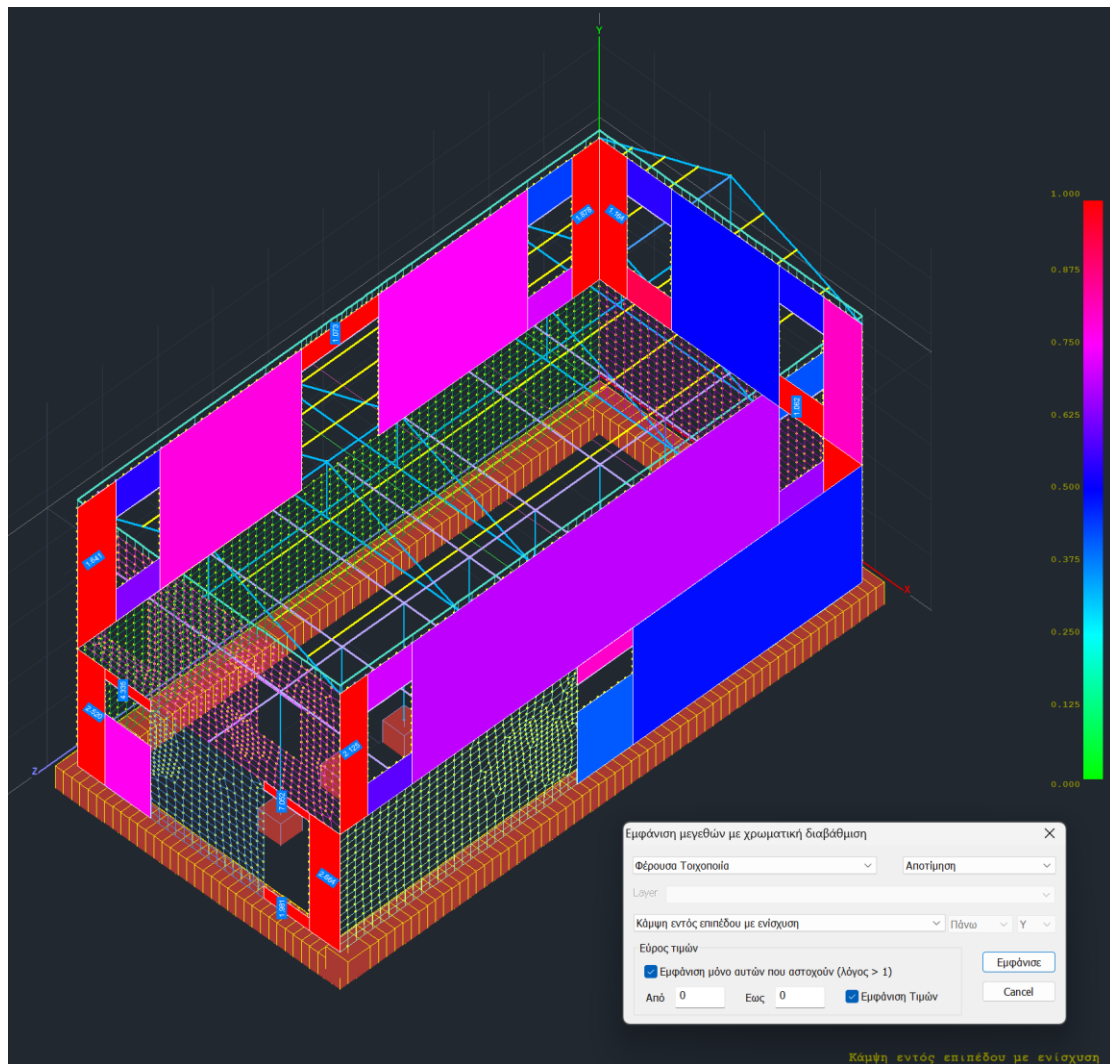
Πίνακας 7-0-14 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους -Για Εφελκυσμό



Εικόνα 7-0-4 Εφελκυσμός με ενίσχυση με μεταλλικές ράβδους



Εικόνα 0-5 Κάμψη εκτός επιπέδου παράλληλα στον οριζόντιο αρμό



Εικόνα 0-6 Κάμψη εντός επιπέδου με ενίσχυση

8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο μελετητής έχει την δυνατότητα να προσεγγίσει την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία με δύο διαφορετικές αριθμητικές προσεγγίσεις μέσω του λογισμικού SCADA Pro . Στόχος της παρούσης δεν είναι να μελετηθεί η σεισμική επάρκεια ενός υφιστάμενου φορέα ως ένα case study που διερευνάται η σεισμική επάρκεια του αλλά διερευνάται ο τρόπος που οι υπολογιστικές μέθοδοι ανάλυσης ενσωματώνονται σε ένα εξειδικευμένο εμπορικό λογισμικό, όπως το Scada Pro και ο τρόπος αξιοποίησης από τον μελετητή μηχανικό για την εξαγωγή αξιόπιστων και επιστημονικά τεκμηριωμένων συμπερασμάτων σχετικά με τη σεισμική συμπεριφορά κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Παράλληλα, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι θεωρητικές διατάξεις και οι κανονιστικές απαιτήσεις του Κανονισμού Αποτίμησης και Δομητικών Επεμβάσεων Τοιχοποιίας (ΚΑΔΕΤ) και του Ευρωκώδικα μετασχηματίζονται σε συγκεκριμένες διαδικασίες μοντελοποίησης, υπολογισμού και ελέγχου μέσα στο λογισμικό. Εξετάζεται, επομένως, η σύνδεση μεταξύ του κανονιστικού πλαισίου και της πρακτικής εφαρμογής του, αναδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο οι θεωρητικές εξισώσεις, τα κριτήρια επιτελεστικότητας, οι έλεγχοι αντοχής και παραμορφώσεων, καθώς και οι απαιτήσεις αποτίμησης υλοποιούνται υπολογιστικά και παρουσιάζονται στον χρήστη μέσω του SCADA Pro. Παρουσιάζεται η μετάβαση από το θεωρητικό κανονιστικό πλαίσιο στην καθημερινή μελετητική πρακτική, συμβάλλοντας στην καλύτερη κατανόηση τόσο των δυνατοτήτων όσο και των περιορισμών του λογισμικού κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία.

8.1 Σύγκριση μεθόδου Ισοδύναμου πλαισίου με την μέθοδο επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων

Αναπτύχθηκαν στην παρούσα οι εξής μέθοδοι

- η Μέθοδος του Ισοδύναμου Πλαισίου (Equivalent Frame Method – EFM), η οποία συνδυάζεται με ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover Analysis), και

- η μέθοδος των επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method – FEM), η οποία βασίζεται κυρίως στην ελαστική στατική ή δυναμική ανάλυση.

Οι δύο μέθοδοι στηρίζονται στις ίδιες κανονιστικές διατάξεις (ΚΑΔΕΤ και EC8-3) και στην παρούσα εργασία αναλύθηκε η μετάφρασή τους από τον κανονισμό στο χωρικό προσομοίωμα. Ωστόσο παρά την ίδια κανονιστική αφετηρία διαφέρουν σημαντικά τόσο ως προς τη μαθηματική προσομοίωση όσο και ως προς τη διαδικασία αποτίμησης, τα παραγόμενα αποτελέσματα και τον τρόπο με τον οποίο ο μηχανικός λαμβάνει τις τελικές αποφάσεις. Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται οι κύριες διαφορές προσέγγισης

<i>Κριτήριο</i>	<i>Μέθοδος Πλαισίου (M.I.P.)</i>	<i>Ισοδύναμου Μέθοδος Στοιχείων (FEM)</i>
<i>Προσομοίωση</i>	Πεσσοί – Υπέρθυρα	Επιφανειακά στοιχεία (Shells)
<i>Μαθηματικό μοντέλο</i>	Ραβδωτό	Δισδιάστατο συνεχές
<i>Είδος ανάλυσης</i>	Ανελαστική στατική (Pushover)	Ελαστική στατική ή δυναμική
<i>Βαθμοί ελευθερίας</i>	Λίγοι	Πολύ μεγάλος αριθμός
<i>Χρόνος ανάλυσης</i>	Μικρός	Μεγαλύτερος
<i>Υπολογιστικό κόστος</i>	Χαμηλό	Υψηλό
<i>Πολυπλοκότητα μοντέλου</i>	Μικρή	Μεγάλη
<i>Απεικόνιση τάσεων</i>	Όχι αναλυτικά	Πλήρης
<i>Ρωγμές</i>	Έμμεσα	Άμεσα μέσω κατανομής τάσεων
<i>Έλεγχοι ΚΑΔΕΤ</i>	Αυτόματα	Μέσω αποτελεσμάτων FEM
<i>Πλαστικές αρθρώσεις</i>	Ναι	Όχι

<i>Pushover</i>	Ναι	Όχι
<i>Capacity Curve</i>	Ναι	Όχι
<i>Performance Point</i>	Ναι	Όχι
<i>Target Displacement</i>	Ναι	Όχι
<i>Κατανομή τάσεων</i>	Όχι	Ναι
<i>Παραμορφώσεις</i>	Συνολικές	Τοπικές και συνολικές
<i>Τοπικά φαινόμενα</i>	Περιορισμένα	Πολύ καλή προσομοίωση
<i>Ακρίβεια</i>	Ικανοποιητική	Πολύ υψηλή

Πίνακας 8-0-1 Κριτήρια προσέγγισης

Η Μέθοδος του Ισοδύναμου Πλαισίου προσεγγίζει την τοιχοποιία ως σύστημα διακριτών δομικών στοιχείων, αποτελούμενο από πεσσούς, υπέρθυρα και άκαμπτες ζώνες σύνδεσης. Η ιδεατοποίηση αυτή μειώνει σημαντικά τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας του μοντέλου, επιτρέποντας την εφαρμογή ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover Analysis) με σχετικά μικρό υπολογιστικό κόστος. Με την μέθοδο αυτή το λογισμικό βοηθά τον μελετητή να εφαρμόσει τους κανονισμούς δίνοντας την δυνατότητα να καθορίσει την Καμπύλη Ικανότητας, την Διγραμμική Καμπύλη και να διερευνήσει την Στοχευόμενη Μετακίνηση ενώ μαθαίνει για τις Πλαστικές Αρθρώσεις του φορέα και τον μηχανισμό αστοχίας. Ο μηχανικός γνωρίζει όχι μόνο πού αστοχεί ο φορέας αλλά και πότε δημιουργείται κάθε βλάβη κατά την εξέλιξη του σεισμού.

Η προσομοίωση με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία που ενσωματώνεται στο SCADA Pro επιτρέπει τη λεπτομερή διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Η γεωμετρία του φορέα αναπαρίσταται μέσω πλέγματος επιφανειακών στοιχείων (shell elements), γεγονός που καθιστά δυνατή την καταγραφή της απόκρισης σε κάθε επιμέρους περιοχή του τοίχου και όχι μόνο σε προκαθορισμένες κρίσιμες διατομές. Η λεπτομερής αυτή απεικόνιση επιτρέπει στον μελετητή να αναγνωρίσει τοπικές συγκεντρώσεις τάσεων, να αξιολογήσει τη συμπεριφορά γύρω από ανοίγματα ή γεωμετρικές ασυνέχειες και να εξετάσει με μεγαλύτερη ακρίβεια την επίδραση των επιμέρους δομικών χαρακτηριστικών στην απόκριση του φορέα. Η ανάλυση αποδίδει ένα μεγάλο εύρος αποτελεσμάτων, τα οποία

συμβάλλουν στην πληρέστερη αξιολόγηση της κατασκευής. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται οι κατανομές των κανονικών και διατμητικών τάσεων, οι χάρτες παραμορφώσεων, οι μετακινήσεις των κόμβων, καθώς και τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στα επιφανειακά στοιχεία, όπως οι ροπές κάμψης, και οι τέμνουσες. Για τον λόγο αυτό, η μέθοδος θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματική σε περιπτώσεις σύνθετων κατασκευών ή όταν απαιτείται αναλυτική διερεύνηση συγκεκριμένων περιοχών.

Παρά τα σημαντικά αυτά πλεονεκτήματα, η εφαρμογή της μεθόδου στο πλαίσιο της ελαστικής ανάλυσης δεν περιγράφει την προοδευτική εξέλιξη της βλάβης κατά τη διάρκεια μιας ισχυρής σεισμικής διέγερσης. Δεν προσομοιώνεται η σταδιακή υποβάθμιση της δυσκαμψίας ούτε ο διαδοχικός σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων, στοιχεία που χαρακτηρίζουν την πραγματική ανελαστική συμπεριφορά της τοιχοποιίας.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από τον σκοπό της μελέτης. Όταν ζητούμενο είναι η συνολική αποτίμηση της σεισμικής επιτελεστικότητας σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και τον EC8-3, η Μέθοδος του Ισοδύναμου Πλαισίου αποτελεί την πλέον κατάλληλη επιλογή. Αντίθετα, όταν απαιτείται λεπτομερής διερεύνηση τοπικών φαινομένων, όπως συγκεντρώσεις τάσεων, συμπεριφορά γύρω από ανοίγματα ή αξιολόγηση συγκεκριμένων επεμβάσεων, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων προσφέρει σαφώς πληρέστερη εικόνα.

Η συνδυασμένη αξιοποίηση των δύο προσεγγίσεων μέσα στο SCADA Pro επιτρέπει την ολοκληρωμένη αξιολόγηση τόσο της συνολικής όσο και της τοπικής συμπεριφοράς του φορέα, παρέχοντας στον μελετητή ένα αξιόπιστο υπόβαθρο για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό της κατασκευής. Επομένως, οι δύο μέθοδοι δεν πρέπει να θεωρούνται ανταγωνιστικές αλλά συμπληρωματικές.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

<i>Μέθοδος</i>	<i>Πλεονεκτήματα</i>	<i>Μειονεκτήματα</i>
<i>Μ.Ι.Π.</i>	Μικρός χρόνος ανάλυσης, αυτόματη αποτίμηση, Pushover, EC8-3, Capacity Curve	Απλουστευμένη προσομοίωση

<i>FEM</i>	Μεγάλη ακρίβεια, τοπικά φαινόμενα, χάρτες τάσεων	Μεγάλος χρόνος, δύσκολη ερμηνεία
------------	---	-------------------------------------

Πίνακας 8-0-2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

8.2 Σύγκριση ελαστικής στατικής ανάλυσης με την ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover Analysis),

Στο πλαίσιο της αποτίμησης υφιστάμενων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, το SCADA Pro υποστηρίζει δύο διαφορετικές προσεγγίσεις ανάλυσης: την ελαστική στατική ανάλυση με προσομοίωση μέσω επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων (FEM) και την ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover Analysis), η οποία εφαρμόζεται στη Μέθοδο του Ισοδύναμου Πλαισίου (Equivalent Frame Method – EFM). Παρότι και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της σεισμικής συμπεριφοράς, διαφέρουν ουσιαστικά ως προς τη φιλοσοφία, τη διαδικασία υπολογισμού και τα αποτελέσματα που παράγουν.

Η ελαστική στατική ανάλυση προϋποθέτει ότι ο φορέας παραμένει εντός του ελαστικού πεδίου καθ' όλη τη διάρκεια της φόρτισης.(Σπυράκος ,2019). Αντίθετα, η ανελαστική στατική ανάλυση επιτρέπει την προοδευτική ανάπτυξη βλαβών και την ανακατανομή των εντατικών μεγεθών μετά την υπέρβαση της αντοχής επιμέρους στοιχείων. Για τον λόγο αυτό, οι δύο μέθοδοι εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες κατά την αποτίμηση υφιστάμενων κτιρίων.

Χαρακτηριστικό	Ελαστική Ανάλυση (FEM)	Στατική Ανελαστική Ανάλυση (Pushover)	Στατική
Παραδοχή υλικού	Ελαστική συμπεριφορά	Ελαστική και ανελαστική συμπεριφορά	
Προσομοίωση	Επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία	Ισοδύναμο πλαίσιο (πεσσοί–υπέρθυρα)	
Σταδιακή εξέλιξη βλαβών	Όχι	Ναι	
Ανακατανομή δυνάμεων	Όχι	Ναι	
Πλαστικές αρθρώσεις	Όχι	Ναι	

Χαρακτηριστικό	Ελαστική Ανάλυση (FEM)	Στατική Ανελαστική Ανάλυση (Pushover)	Στατική
Καμπύλη ικανότητας	Όχι	Ναι	
Σημείο επιτελεστικότητας	Όχι	Ναι	
Στοχευόμενη μετακίνηση	Όχι	Ναι	
Παραμορφωσιακοί έλεγχοι	Περιορισμένοι	Πλήρεις	
Υπολογιστικό κόστος	Μεγαλύτερο	Μικρότερο	
Χρόνος επίλυσης	Μεγαλύτερος	Μικρότερος	
Τοπική κατανομή τάσεων	Πολύ αναλυτική	Προσεγγιστική	
Συνολική σεισμική συμπεριφορά	Έμμεση αξιολόγηση	Άμεση αξιολόγηση	

Πίνακας 8-0-3 Διαφορές αναλύσεων

Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων γίνεται εμφανής ήδη από τη διαδικασία μοντελοποίησης. Στην ελαστική στατική ανάλυση ο φορέας διακριτοποιείται σε επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία και η επίλυση πραγματοποιείται με βάση τη θεωρία της ελαστικότητας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται κυρίως ως χάρτες τάσεων, παραμορφώσεων, μετακινήσεων και εσωτερικών δυνάμεων, επιτρέποντας την αναλυτική διερεύνηση της απόκρισης κάθε περιοχής του τοίχου.

Αντίθετα, στην ανελαστική στατική ανάλυση η τοιχοποιία ιδεοποιείται ως ισοδύναμο πλαίσιο αποτελούμενο από πεσσούς, υπέρθυρα και άκαμπτες ζώνες σύνδεσης. Η σεισμική φόρτιση εφαρμόζεται σταδιακά, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται διαδοχικά μηχανισμοί αστοχίας και να σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας το πρόγραμμα ενημερώνει συνεχώς τη δυσκαμψία του φορέα, δημιουργώντας την καμπύλη ικανότητας και υπολογίζοντας το σημείο επιτελεστικότητας.

Η βασική διαφορά είναι ότι η ελαστική ανάλυση περιγράφει πώς κατανέμονται τα εντατικά μεγέθη σε μία δεδομένη κατάσταση φόρτισης, ενώ η ανελαστική ανάλυση περιγράφει πώς εξελίσσεται η συμπεριφορά της κατασκευής έως την οριακή της κατάσταση.

Το SCADA Pro αποδίδει διαφορετικό τύπο αποτελεσμάτων για κάθε μέθοδο. Στην ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία παρέχονται λεπτομερείς κατανομές τάσεων, μετακινήσεων και παραμορφώσεων, καθώς και μεγέθη όπως οι κύριες τάσεις, οι ισοδύναμες τάσεις και οι διευθύνσεις πιθανής ρηγμάτωσης. Τα αποτελέσματα αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την αναγνώριση τοπικών αδυναμιών και τη διερεύνηση της συμπεριφοράς επιμέρους περιοχών της κατασκευής. Αντίθετα, η ανελαστική στατική ανάλυση παράγει αποτελέσματα που σχετίζονται με τη συνολική σεισμική απόκριση του φορέα. Η καμπύλη ικανότητας, η στοχευόμενη μετακίνηση, το σημείο επιτελεστικότητας και η ακολουθία σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων επιτρέπουν την αξιολόγηση της διαθέσιμης φέρουσας και παραμορφωσιακής ικανότητας σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΚΑΔΕΤ και του EC8-3

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, προκύπτει ότι για εφαρμογές αποτίμησης σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ και τον Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3, η ανελαστική στατική ανάλυση αποτελεί την καταλληλότερη επιλογή για την αξιολόγηση της συνολικής σεισμικής συμπεριφοράς και τον σχεδιασμό επεμβάσεων. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων λειτουργεί συμπληρωματικά, προσφέροντας αναλυτική εικόνα της τοπικής μηχανικής απόκρισης και επιτρέποντας την επαλήθευση κρίσιμων περιοχών της κατασκευής.

Συνεπώς, η συνδυασμένη αξιοποίηση των δύο μεθόδων μέσα στο SCADA Pro προσφέρει μία ολοκληρωμένη διαδικασία αποτίμησης. Η ανελαστική στατική ανάλυση χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συνολικής σεισμικής επιτελεστικότητας και της διαθέσιμης ικανότητας του φορέα, ενώ η ελαστική ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία συμπληρώνει την αξιολόγηση μέσω της λεπτομερούς διερεύνησης των τοπικών εντατικών μεγεθών και παραμορφώσεων. Η συνδυαστική αυτή προσέγγιση οδηγεί σε ασφαλέστερα συμπεράσματα και σε τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία.

Αναφορές

- ACE-HELLAS. (2025). *ACE HELLAS*. Ανάκτηση από www.ace-hellas.gr: www.ace-hellas.gr
- Bathe, K. J. (1996). *Finite Element Procedures*. Prentice Hall. *Prentice Hall*.
- Bruneau, M. (1994). State-of-the-Art Report on Seismic Performance of Unreinforced Masonry Buildings. *Journal of Structural Engineering*.
- CEN. (2004).
- Chopra, A. K. (2020). *Dynamics of Structures (5th ed.)*. Pearson.
- Cook, R. D. (2002). *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. Wiley.
- Drysdale, R. H. (1994). *Masonry Structures: Behavior and Design*. Prentice Hall.
- EC6. (2006). Ευρωκώδικας 6 Μέρος 1-1: Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία.
- EC8. (2005). Ευρωκώδικας 8 Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών - Μέρος 1 :Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια.
- EN 1998-1: Eurocode 8. (2022).
- EN 1998-3: . (2022). Στο E. C. Standardization, *Assessment and Retrofitting of Buildings*.
- Fardis, M. N. (2009). *Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings*. Springer.
- HELLAS, K. X.-A. (2026). *Τοιχοποιία με τη μέθοδο ισοδυνάμου πλαισίου*. ace hellas.
- Heyman, J. (1995). *The Stone Skeleton: Structural Engineering of Masonry*.
- ICOMOS. (2003). *Principles for the Analysis Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*.
- Lagomarsino, S. P. (2013). "TREMURI program: An equivalent frame model for the nonlinear seismic analysis of masonry buildings." . *Engineering Structures*, 56,, σσ. 1787–1799.
- Lourenço, P. (2002). *Computations on Historic Masonry Structures*.
- Lourenço, P. (2002). *Computations on Historic Masonry Structures*. .
- Lourenço, P. B. (1996). *Computational strategies for masonry structures*. Delft University Press.
- Lourenço, P. B. (1996). *Computational Strategies for Masonry Structures*. Delft University Press.
- Magenes, G. &. (1997). "In-plane seismic response of brick masonry walls." . *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, σσ. 1091–1112.

- Magenes, G. (2006). Masonry Building Design in Seismic Areas. *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*.
- Roca, P. C. (2010). "Structural analysis of masonry historical constructions. Classical and advanced approaches." . *Archives of Computational Methods in Engineering*, σσ. 299–325.
- Tomaževič, M. (1999). *Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings*.
- Triantafyllou, T. C.–1. (2016). Materials and StructuresTextile Fibre Composites in Civil Engineering. . *Woodhead Publishing*.
- Zienkiewicz, O. &. (2005). *The Finite Element Method*.
- ΚΑΔΕΤ. (2022). *Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας*.
- Κωστοπαναγιώτης Χρήστος -ACE HELLAS. (2023). *Εγχειρίδιο SCADA Pro Masonry – Αποτίμηση Κτιρίου από Φέρουσα Τοιχοποιία*.
- Σπυράκος, Κ. (2019). *ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ*. ΑΘΗΝΑ: ΕΡΓΟΝΟΜΟΣ ΙΚΕ.

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.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ

ΣΕΝΑΡΙΟ :

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Κλάση Πλαστιμότητας	DCM
Τύπος Φάσματος	Τύπος 1
Ζωνη Σεισμικής επικινδυνότητας	II
Επιτάχυνση Βαρύτητας g (m/sec ²)	9.810
Σεισμική Επιτάχυνση εδάφους agR	0.240 * 9.810 = 2.3544
Σύστημα κτιρίου κατά X	
Σύστημα κτιρίου κατά Z	
Κατηγορία Εδάφους	B
Χαρακτηριστικές Περίοδοι Φάσματος	TB=0.15 TC=0.50 TD=2.50(sec)
Συντελεστής-Κατηγορία Σπουδαιότητας	γ _i =1.000 - Σ2
Συντελεστής Σεισμικής Συμπεριφοράς	q _x =2.000 - q _z =2.000 - q _y =2.000
Συντελεστής Φασματικής Ενίσχυσης	β _o =2.50
Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης	ξ=5.000%

α/α Στάθμης	Υψόμετρο	Διαστάσεις Κατόψεων		Συντ.ψ2 Φορτ.2	Τυχνηματικές Εκκ/τες	
	(m)	Llx (m)	Llz (m)		etix(m)	etiz(m)
0	0.000	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475
1	2.120	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475
2	3.000	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475
3	4.670	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475
4	5.310	2.400	9.500	0.300	0.120	0.475
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: etix = 0.050 * Llx, etiz = 0.050 * Llz						

Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου

Διεύθυνση lx	Tlx (sec) =	0.2624	Rd(T) =	3.5316	
Διεύθυνση llz	Tllz (sec) =	0.2624	Rd(T) =	3.5316	
Διεύθυνση y	Tv (sec) =	0.0092	Rd(T) =	1.6396	

Καθ'ύψος Κατανομή Σεισμικής Δύναμης (Τέμνουσα-Ροπή)

α/α Στάθμ.	Υψόμ. (m)	ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ		ΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ (KNm)			
		ΦΟΡΤ. 3-I (Kn)	ΦΟΡΤ. 4-II (Kn)	ΦΟΡΤ.5-I Από maxez	ΦΟΡΤ. 6-I Από minez	ΦΟΡΤ. 7-I Από maxex	ΦΟΡΤ. 8-I Από minex
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	2.120	262.742	262.742	122.566	-122.566	54.137	-54.137
2	3.000	35.575	35.575	16.801	-16.801	7.455	-7.455
3	4.670	220.461	220.461	104.672	-104.672	52.561	-52.561
4	5.310	28.748	28.748	13.655	-13.655	3.450	-3.450

[illegible]

[illegible]

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΩΝ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

ΣΕΝΑΡΙΟ :

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (EC8)

Έλεγχος Διαφοράς Μαζών και Ακαμψιών Σταθμών Κτιρίου

§4.2.3.3.

α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Συν.Μάζα KN/g	Συνολικές Ακαμψίες $K_i \cdot 10^3$ (KNm)		Διαφορές Μαζών - Ακαμψιών $(M_{i+1}-M_i)/M_i - (K_{i+1}-K_i)/K_i$		
			(K _i -X)	(K _i -Z)	(ΔM _i)	(ΔK _i -X)	(ΔK _i -Z)
1	2.120	120.050	6.053	9.459			
2	3.000	11.490	0.000	0.000	ελ. 0.90	ελ. 1.00	ελ. 1.00
3	4.670	45.694	0.000	0.000	αυξ. 2.97	αυξ. 0.00	αυξ. 0.00
4	5.310	5.240	3.566	3.566	ελ. 0.88	αυξ. 0.00	αυξ. 0.00

Ο Έλεγχος ικανοποιεί τα Κριτήρια Κανονικότητας

NAI

OXI

✓

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: Μάζες : Η Αύξηση πρέπει ≤ 0.35 - Η Ελάττωση πρέπει ≤ 0.50
 Ακαμψίες : Η Αύξηση πρέπει ≤ 0.35 - Η Ελάττωση πρέπει ≤ 0.50

Κέντρο Βάρους - Κέντρο Ακαμψίας

α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Κέντρο Βάρους		Κέντρο Ακαμψίας		Απόσταση Κ.Β - Κ.Α (m)
		X Συντ.(m)	Z Συντ.(m)	X Συντ.(m)	Z Συντ.(m)	
1	2.120	2.6752	4.8994	2.6500	5.2662	0.3677
2	3.000	2.7875	5.0760	0.0000	0.0000	5.7910
3	4.670	2.7061	4.9967	0.0000	0.0000	5.6824
4	5.310	2.5492	5.0212	2.6500	5.0931	0.1238

Σεισμική Τέμνουσα Τοιχωμάτων

§ 5.1.2.

Σεισμική Τέμνουσα Τοιχωμάτων						Στάθμη Αναφοράς		0 0.000(m)		
α/α Στάθμης	Συνδ /μος	Τέμνουσα Τοιχ./Συνολική Τέμν. = nvx			Ικαν. Έλεγ χος	Συνδ /μος	Τέμνουσα Τοιχ./Συνολική Τέμν. = nvz			Ικαν. Έλε γχος
		Τέμνουσα Τοιχωμάτων	Συνολική Τέμνουσα	nvx			Τέμνουσα Τοιχωμάτων	Συνολική Τέμνουσα	nvz	
1 ***	3	0.000	9.214	0.00	NAI	35	0.000	4.090	0.00	NAI
2	0	0.000	0.000	0.00		0	0.000	0.000	0.00	
3	0	0.000	0.000	0.00		0	0.000	0.000	0.00	
4	3	0.000	4.542	0.00		35	0.000	12.057	0.00	

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: *** = Στάθμη ελέγχου nv από κανονισμό

Προσαύξηση Ροπής (§4.4.2.3)

Διεύθυνση X:	NAI
Διεύθυνση Z:	NAI

Έλεγχος Κανονικότητας σε Κάτοψη

§ 4.2.3.2

α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Lx (m)	Lz (m)	Συντ. $\lambda < 4$ Lmax/Lmin	ΣAi (m ²)	Ai,max (m ²)	Ao	Ai,max/ Ao	Κανονικότητα
1	2.120	4.80	9.50	1.979	0.00	0.00	45.6	0.00	Ικανοποιείται
2	3.000	4.80	9.50	1.979	0.00	0.00	45.6	0.00	Ικανοποιείται
3	4.670	4.80	9.50	1.979	0.00	0.00	45.6	0.00	Ικανοποιείται
4	5.310	2.40	9.50	3.958	0.00	0.00	22.8	0.00	Ικανοποιείται

Κανονικότητα σε Κάτοψη

§ 4.2.3.2

Διεύθυνση X

α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Συντ. r sqrt (ΣKt/Σκ _z)	>=	Συντ. Is sqrt (IO/mass)	Εκκεντρότητα ε _o (m)	Κανονικότητα
1	2.120	1.867		0.000	0.367	Ικανοποιείται
2	3.000	0.000		0.000	5.076	Δεν Ικανοποιείτ.
3	4.670	0.000		0.000	4.997	Δεν Ικανοποιείτ.
4	5.310	3.235		0.000	0.072	Ικανοποιείται

						Σελίδα : 5
Το κτίριο είναι στρεπτικά ευαίσθητο ($r < I_s$)						Ναι

Κανονικότητα σε Κάτοψη				§ 4.2.3.2	Διεύθυνση Z	
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Συντ. r sqrt ($\Sigma K_t/\Sigma k_{_}$)	>=	Συντ. I_s sqrt ($I_0/mass$)	Εκκεντρότητα $\epsilon_o(m)$	Κανονικότητα
1	2.120	2.334		0.000	0.025	Ικανοποιείται
2	3.000	0.000		0.000	2.788	Δεν Ικανοποιείτ.
3	4.670	0.000		0.000	2.706	Δεν Ικανοποιείτ.
4	5.310	3.235		0.000	0.101	Ικανοποιείται
Το κτίριο είναι στρεπτικά ευαίσθητο ($r < I_s$)						Ναι

Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας	
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας	Δεν Ικανοποιείτ.
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας	Δεν Ικανοποιείτ.
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X	Ικανοποιείται
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z	Ικανοποιείται
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο	Δεν Ικανοποιείτ.
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)	Δεν Ικανοποιείτ.

Έλεγχος Επιρροών 2ας Τάξεως				Διεύθυνση X		§ 4.4.2.2(2),(3),(4)
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Κατακόρυφα Φορτία	Σχετική Μετ/ση de (mm)	Οριζόντια Δύναμη (KN)	θ_x	Έλεγχος 2ας Τάξης Πλαισίων
1- 3	2.120	12.172	0.7033	9.214	0.0009	ΕΠ.(≤ 0.1)
2- 3	3.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	ΕΠ.(≤ 0.1)
3- 3	4.670	0.000	0.0000	0.000	0.0000	ΕΠ.(≤ 0.1)
4-23	5.310	5.983	0.0359	4.542	0.0001	ΕΠ.(≤ 0.1)
ΕΠ = Επιτρέπεται, για $\theta_x \leq 0.1$ ΕΠΣ = Επιτρέπεται με επαύξηση σεισμικής έντασης, για $0.1 < \theta_x \leq 0.2$ ΑΠ = Απαγορεύεται, για $\theta_x > 0.3$						

Έλεγχος Επιρροών 2ας Τάξεως				Διεύθυνση Z		§ 4.4.2.2(2),(3),(4)
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Κατακόρυφα Φορτία	Σχετική Μετ/ση de (mm)	Οριζόντια Δύναμη (KN)	θ_z	Έλεγχος 2ας Τάξης Πλαισίων
1-35	2.120	12.172	0.2462	4.090	0.0007	ΕΠ.(≤ 0.1)
2-35	3.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	ΕΠ.(≤ 0.1)
3-35	4.670	0.000	0.0000	0.000	0.0000	ΕΠ.(≤ 0.1)
4-53	5.310	5.983	0.5488	12.057	0.0009	ΕΠ.(≤ 0.1)
ΕΠ = Επιτρέπεται, για $\theta_z \leq 0.1$ ΕΠΣ = Επιτρέπεται με επαύξηση σεισμικής έντασης, για $0.1 < \theta_z \leq 0.2$ ΑΠ = Απαγορεύεται, για $\theta_z > 0.3$						

Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης ορόφου			Διεύθυνση X	§ 4.4.3.2(1)	
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds=q*de$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr*v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο=0.005
1	2.120	1.4066	2.120	0.0003	Ικανοποιείται
2	3.000	0.0000	0.880	0.0000	Ικανοποιείται
3	4.670	0.0000	1.670	0.0000	Ικανοποιείται
4	5.310	0.0718	0.640	0.0001	Ικανοποιείται

Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης ορόφου			Διεύθυνση Z	§ 4.4.3.2(1)	
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds=q*de$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr*v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο=0.005
1	2.120	0.4923	2.120	0.0001	Ικανοποιείται
2	3.000	0.0000	0.880	0.0000	Ικανοποιείται
3	4.670	0.0000	1.670	0.0000	Ικανοποιείται
4	5.310	1.0976	0.640	0.0009	Ικανοποιείται

Υπολογισμός Σεισμικού Αρμού

§ 4.4.2.7(1),(2),(3)

$$\Delta = \Delta_{\text{υπολ.}} \cdot q$$

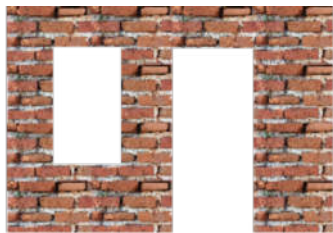
	Δx (cm)		Δz (cm)
Διεύθυνση X	0.61	Διεύθυνση Z	0.24

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:

Υπολογισμός μέγιστων σεισμικών μετακινήσεων του κτιρίου σε περίπτωση εμβολισμού υποστυλωμάτων από πλάκες ή άλλα στοιχεία του παρακείμενου κτιρίου. Οι μετακινήσεις πολλαπλασιάστικαν με τον συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς q .

Τοίχος : EAST ZERO

Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) = 4.76(m) Ύψος (h) = 2.12(m)

Είδος : Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{ef} (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m³) = 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m³) = 2.38

Καμπτική αντοχή f_{yk1} (N/mm²) = 0.10

Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Καμπτική αντοχή f_{yk2} (N/mm²) = 0.20

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkmax} (N/mm²) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm²) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rdo,c}$ (MPa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m ³)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm ²)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm ²)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm ²)	2.98	3.86

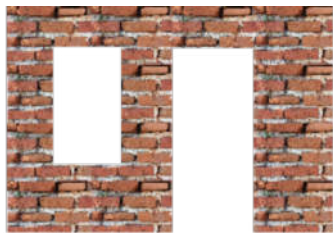
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm ²)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20

ΚΑΔΕΤ

Τοίχος : EAST PRIMO

Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) = 4.76(m) Ύψος (h) = 2.55(m)

Είδος : Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{ef} (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m³) = 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m³) = 2.38

Καμπτική αντοχή f_{yk1} (N/mm²) = 0.10

Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Καμπτική αντοχή f_{yk2} (N/mm²) = 0.20

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkmax} (N/mm²) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm²) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rdo,c}$ (MPa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m ³)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm ²)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm ²)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm ²)	2.98	3.86

Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm ²)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20

ΚΑΔΕΤ

Έλεγχος σε Κάμψη - Έλεγχος Επάρκειας

Έλεγχος σε κάμψη εκτός επιπέδου κάθετα στον οριζόντιο αρμό

[illegible]

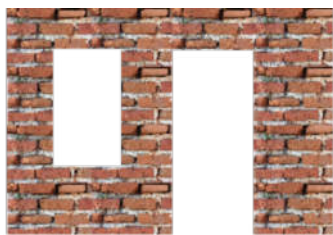
Έλεγχος σε Κάμψη - Έλεγχος Επάρκειας

Έλεγχος σε κάμψη εκτός επιπέδου παράλληλα στον οριζόντιο αρμό

[illegible]

Τοίχος : NORTH ZERO

Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) = 9.46(m) Ύψος (h) = 2.12(m)

Είδος : Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{ef} (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m³) = 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m³) = 2.38

Καμπτική αντοχή f_{yk1} (N/mm²) = 0.10

Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Καμπτική αντοχή f_{yk2} (N/mm²) = 0.20

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkmax} (N/mm²) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm²) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rdo,c}$ (MPa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m ³)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm ²)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm ²)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm ²)	2.98	3.86

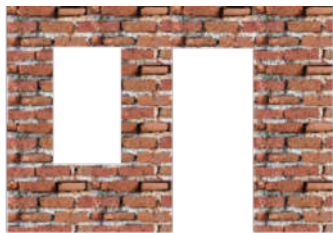
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm ²)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20

ΚΑΔΕΤ

Τοίχος : NORTH PRIMO

Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) = 9.46(m) Ύψος (h) = 2.55(m)

Είδος : Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{ef} (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m³) = 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m³) = 2.38

Καμπτική αντοχή f_{yk1} (N/mm²) = 0.10

Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Καμπτική αντοχή f_{yk2} (N/mm²) = 0.20

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkmax} (N/mm²) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm²) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rdo,c}$ (MPa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m ³)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm ²)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm ²)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm ²)	2.98	3.86

Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm ²)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20

ΚΑΔΕΤ

Έλεγχος σε Κάμψη - Έλεγχος Επάρκειας

Έλεγχος σε κάμψη εκτός επιπέδου κάθετα στον οριζόντιο αρμό

[illegible]

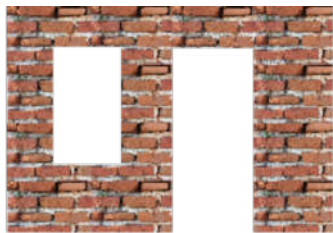
Έλεγχος σε Κάμψη - Έλεγχος Επάρκειας

Έλεγχος σε κάμψη εκτός επιπέδου παράλληλα στον οριζόντιο αρμό

[illegible]

Τοίχος : WEST ZERO

Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) = 4.76(m) Ύψος (h) = 2.12(m)

Είδος : Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{ef} (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m³) = 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m³) = 2.38

Καμπτική αντοχή f_{yk1} (N/mm²) = 0.10

Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Καμπτική αντοχή f_{yk2} (N/mm²) = 0.20

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkmax} (N/mm²) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm²) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rdo,c}$ (MPa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

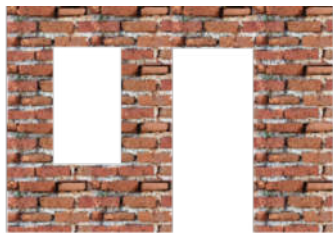
Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m ³)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm ²)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm ²)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm ²)	2.98	3.86
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm ²)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20

ΚΑΔΕΤ

Τοίχος : WEST PRIMO

Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) = 4.76(m) Ύψος (h) = 2.55(m)

Είδος : Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{ef} (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m³) = 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m³) = 2.38

Καμπτική αντοχή f_{yk1} (N/mm²) = 0.10

Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Καμπτική αντοχή f_{yk2} (N/mm²) = 0.20

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkmax} (N/mm²) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυροδέματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm²) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Μανδύας Σκυροδέματος

Ποιότητα Σκυροδέματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rdo,c}$ (MPa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m ³)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm ²)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm ²)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm ²)	2.98	3.86

Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm ²)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20

ΚΑΔΕΤ

Έλεγχος σε Κάμψη - Έλεγχος Επάρκειας	
--------------------------------------	--

Έλεγχος σε κάμψη εκτός επιπέδου κάθετα στον οριζόντιο αρμό

[illegible]

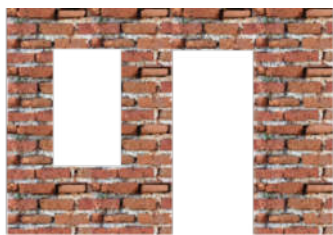
Έλεγχος σε Κάμψη - Έλεγχος Επάρκειας	
--------------------------------------	--

Έλεγχος σε κάμψη εκτός επιπέδου παράλληλα στον οριζόντιο αρμό

[illegible]

Τοίχος : SOUTH ZERO

Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) = 9.46(m) Ύψος (h) = 2.12(m)

Είδος : Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{ef} (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m³) = 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m³) = 2.38

Καμπτική αντοχή f_{yk1} (N/mm²) = 0.10

Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Καμπτική αντοχή f_{yk2} (N/mm²) = 0.20

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkmax} (N/mm²) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm²) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rdo,c}$ (MPa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m ³)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm ²)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm ²)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm ²)	2.98	3.86

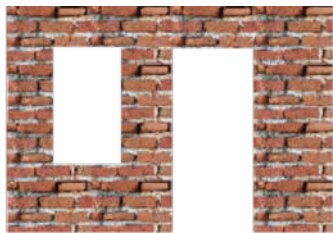
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm ²)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20

ΚΑΔΕΤ

Τοίχος : SOUTH PRIMO

Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) =9.46(m) Ύψος (h) =2.55(m)

Είδος : Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος : Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος t_{ef} (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m³) = 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m³) = 2.38

Καμπτική αντοχή f_{yk1} (N/mm²) = 0.10

Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk0} (N/mm²) = 0.10

Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm²) = 2.98

Καμπτική αντοχή f_{yk2} (N/mm²) = 0.20

Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkmax} (N/mm²) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm²) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rdo,c}$ (MPa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ϵ (KN/m ³)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm ²)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm ²)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm ²)	2.98	3.86

Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm ²)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.20

ΚΑΔΕΤ

Έλεγχος σε Κάμψη - Έλεγχος Επάρκειας

Έλεγχος σε κάμψη εκτός επιπέδου κάθετα στον οριζόντιο αρμό

[illegible]

Έλεγχος σε Κάμψη - Έλεγχος Επάρκειας

Έλεγχος σε κάμψη εκτός επιπέδου παράλληλα στον οριζόντιο αρμό

[illegible]

Τοίχος : EAST ZERO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση για Εφελκυσμό

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **955.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

Έλεγχος Πεσσών

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων	
-------------------	--

[illegible]

Τοίχος : EAST PRIMO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση για Εφελκυσμό

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **957.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 7.06

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 7.06

Έλεγχος Πεσσών	
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12
13	14
15	16
17	18
19	20
21	22
23	24
25	26
27	28
29	30
31	32
33	34
35	36
37	38
39	40
41	42
43	44
45	46
47	48
49	50
51	52
53	54
55	56
57	58
59	60
61	62
63	64
65	66
67	68
69	70
71	72
73	74
75	76
77	78
79	80
81	82
83	84
85	86
87	88
89	90
91	92
93	94
95	96
97	98
99	100

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων	
-------------------	--

[illegible]

Τοίχος : NORTH ZERO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση για Διάτμηση

Μέση τάση διαρροής Fsy (MPa) = **1013.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Έλεγχος Πεσσών

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων	
-------------------	--

[illegible]

Τοίχος : NORTH PRIMO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση για Εφελκυσμό

Μέση τάση διαρροής Fsy (MPa) = **1013.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Έλεγχος Πεσών

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων

[illegible]

Τοίχος : WEST PRIMO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση για Διάτμηση

Μέση τάση διαρροής Fsy (MPa) = **1013.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Έλεγχος Πεσών

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων	
1	Επικύρωση
2	Επικύρωση
3	Επικύρωση
4	Επικύρωση
5	Επικύρωση
6	Επικύρωση
7	Επικύρωση
8	Επικύρωση
9	Επικύρωση
10	Επικύρωση
11	Επικύρωση
12	Επικύρωση
13	Επικύρωση
14	Επικύρωση
15	Επικύρωση
16	Επικύρωση
17	Επικύρωση
18	Επικύρωση
19	Επικύρωση
20	Επικύρωση
21	Επικύρωση
22	Επικύρωση
23	Επικύρωση
24	Επικύρωση
25	Επικύρωση
26	Επικύρωση
27	Επικύρωση
28	Επικύρωση
29	Επικύρωση
30	Επικύρωση
31	Επικύρωση
32	Επικύρωση
33	Επικύρωση
34	Επικύρωση
35	Επικύρωση
36	Επικύρωση
37	Επικύρωση
38	Επικύρωση
39	Επικύρωση
40	Επικύρωση
41	Επικύρωση
42	Επικύρωση
43	Επικύρωση
44	Επικύρωση
45	Επικύρωση
46	Επικύρωση
47	Επικύρωση
48	Επικύρωση
49	Επικύρωση
50	Επικύρωση
51	Επικύρωση
52	Επικύρωση
53	Επικύρωση
54	Επικύρωση
55	Επικύρωση
56	Επικύρωση
57	Επικύρωση
58	Επικύρωση
59	Επικύρωση
60	Επικύρωση
61	Επικύρωση
62	Επικύρωση
63	Επικύρωση
64	Επικύρωση
65	Επικύρωση
66	Επικύρωση
67	Επικύρωση
68	Επικύρωση
69	Επικύρωση
70	Επικύρωση
71	Επικύρωση
72	Επικύρωση
73	Επικύρωση
74	Επικύρωση
75	Επικύρωση
76	Επικύρωση
77	Επικύρωση
78	Επικύρωση
79	Επικύρωση
80	Επικύρωση
81	Επικύρωση
82	Επικύρωση
83	Επικύρωση
84	Επικύρωση
85	Επικύρωση
86	Επικύρωση
87	Επικύρωση
88	Επικύρωση
89	Επικύρωση
90	Επικύρωση
91	Επικύρωση
92	Επικύρωση
93	Επικύρωση
94	Επικύρωση
95	Επικύρωση
96	Επικύρωση
97	Επικύρωση
98	Επικύρωση
99	Επικύρωση
100	Επικύρωση

[illegible]

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ

ΣΕΝΑΡΙΟ :

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Κλάση Πλαστιμότητας	DCM
Τύπος Φάσματος	Τύπος 1
Ζωνη Σεισμικής επικινδυνότητας	II
Επιτάχυνση Βαρύτητος g (m/sec ²)	9.810
Σεισμική Επιτάχυνση εδάφους agR	0.240 * 9.810 = 2.3544
Σύστημα κτιρίου κατά Χ	Σύστημα Πλαισίων
Σύστημα κτιρίου κατά Ζ	Σύστημα Πλαισίων
Κατηγορία Εδάφους	B
Χαρακτηριστικές Περίοδοι Φάσματος	TB=0.15 TC=0.50 TD=2.50(sec)
Συντελεστής-Κατηγορία Σπουδαιότητας	γ _i =1.000 - Σ2
Συντελεστής Σεισμικής Συμπεριφοράς	
Συντελεστής Φασματικής Ενίσχυσης	β ₀ =2.50
Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης	ξ=5.000%

α/α Στάθμης	Υψόμετρο	Διαστάσεις Κατόψεων		Συντ.ψ2 Φορτ.2	Τυχηματικές Εκκ/τες	
	(m)	Llx (m)	Llz (m)		etix(m)	etiz(m)
0	0.000	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475
1	2.120	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475
2	4.670	4.800	9.500	0.300	0.240	0.475

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: etix = 0.050 * Llx, etiz = 0.050 * Lllz

Ιδιοπερίοδοι Κτιρίου από Δυναμική Ανάλυση

α/α Ιδιομορφής	Κυκλική Συχνότητα ω (Rad/sec)	Συχνότητα f (Hz)	Περίοδος T (sec)
1	7.3686E+001	1.1728E+001	8.5269E-002
2	1.0754E+002	1.7115E+001	5.8428E-002
3	1.1444E+002	1.8213E+001	5.4906E-002
4	1.8952E+002	3.0163E+001	3.3153E-002
5	2.3504E+002	3.7407E+001	2.6733E-002
6	2.5962E+002	4.1320E+001	2.4202E-002
7	3.0300E+002	4.8224E+001	2.0737E-002
8	3.1071E+002	4.9452E+001	2.0222E-002
9	3.2625E+002	5.1924E+001	1.9259E-002
10	3.4558E+002	5.5001E+001	1.8181E-002

Συντελεστές Συμμετοχής Ιδιομορφών

α/α Ιδιομορφής	Διευθύνσεις στο Κύριο Σύστημα Συντεταγμένων		
	Κατά Χ	Κατά Ζ	Κατά Υ
1	-1.0947E+001	-5.4571E-002	-1.6003E-001
2	1.7761E+000	-5.5528E-002	-6.6767E+000
3	-1.1845E+000	2.6173E-002	-8.7122E+000
4	4.9822E+000	8.5800E-003	-2.5421E-001
5	5.2227E-001	4.7612E-002	5.0651E+000
6	-8.2502E-001	-7.8725E-002	1.9915E+000
7	1.1004E-001	-1.0521E+001	6.8001E-002
8	3.3282E-002	4.3756E+000	2.1376E-002
9	2.1975E-002	-1.2747E+000	-1.3372E-001
10	-2.6127E-001	-1.2534E+000	-1.9889E-001

					Σελίδα : 2	
Συντελεστές Συμμετοχής Μαζών ανά Διεύθυνση						
Κατά Χ = 1.0		Κατά Υ = 1.0			Κατά Ζ = 1.0	
Δρώσες Ιδιομορφικές Μάζες			Συνολική Μάζα =		150.293	(kN/g)
α/α Ιδιομορφής	ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΜΑΖΕΣ					
	Κατά Χ	%	Κατά Υ	%	Κατά Ζ	%
1	119.83	79.73	0.00	0.00	0.03	0.02
2	3.15	2.10	0.00	0.00	44.58	29.66
3	1.40	0.93	0.00	0.00	75.90	50.50
4	24.82	16.52	0.00	0.00	0.06	0.04
5	0.27	0.18	0.00	0.00	25.65	17.07
6	0.68	0.45	0.01	0.00	3.97	2.64
7	0.01	0.01	110.70	73.65	0.00	0.00
8	0.00	0.00	19.15	12.74	0.00	0.00
9	0.00	0.00	1.62	1.08	0.02	0.01
10	0.07	0.05	1.57	1.05	0.04	0.03
ΣΥΝΟΛΑ:	150.25	99.97	133.05	88.53	150.25	99.97
Πίνακας Τιμών Φάσματος Απόκρισης Επιταχύνσεων			Αριθμός Σημείων =		39	
α/α Σημείου Εισαγωγής	Περίοδος (sec)	ΤΙΜΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ				
		Τιμή x	Τιμή y	Τιμή z		
1	0.00	1.88	1.41	1.88		
2	0.05	2.83	4.24	2.83		
3	0.10	3.77	4.24	3.77		
4	0.15	4.71	4.24	4.71		
5	0.20	4.71	3.18	4.71		
6	0.25	4.71	2.54	4.71		
7	0.30	4.71	2.12	4.71		
8	0.35	4.71	1.82	4.71		
9	0.40	4.71	1.59	4.71		
10	0.45	4.71	1.41	4.71		
11	0.50	4.71	1.27	4.71		
12	0.55	4.28	1.16	4.28		
13	0.60	3.92	1.06	3.92		
14	0.65	3.62	0.98	3.62		
15	0.70	3.36	0.91	3.36		
16	0.75	3.14	0.85	3.14		
17	0.80	2.94	0.79	2.94		
18	0.85	2.77	0.75	2.77		
19	0.90	2.62	0.71	2.62		
20	0.95	2.48	0.67	2.48		
21	1.00	2.35	0.64	2.35		
22	1.10	2.14	0.53	2.14		
23	1.20	1.96	0.44	1.96		
24	1.30	1.81	0.38	1.81		
25	1.40	1.68	0.32	1.68		
26	1.50	1.57	0.28	1.57		
27	1.60	1.47	0.25	1.47		
28	1.70	1.38	0.22	1.38		
29	1.80	1.31	0.20	1.31		
30	1.90	1.24	0.18	1.24		
31	2.00	1.18	0.16	1.18		
32	2.25	1.05	0.13	1.05		

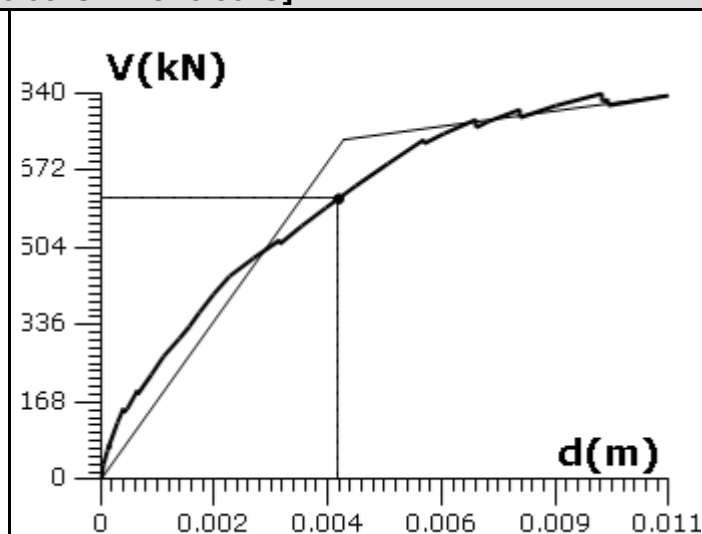
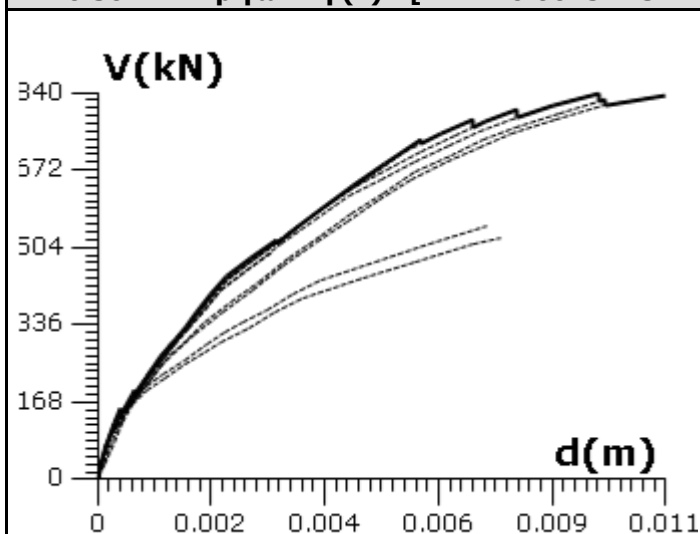
				Σελίδα : 3
33	2.50	0.94	0.10	0.94
34	2.75	0.78	0.08	0.78
35	3.00	0.65	0.07	0.65
36	3.25	0.56	0.06	0.56
37	3.50	0.48	0.05	0.48
38	3.75	0.42	0.05	0.42
39	4.00	0.37	0.04	0.37
Στάθμες Επιτελεστικότητας - Ελαστικά Φάσματα				
Ζωή σχεδιασμού (έτη)	50	Εκθέτης κ		3.00
	Περίοδοι Επαναφοράς		Πιθανότητα Υπέρβασης	
	TR(έτη)	TLR(έτη)	PR(έτη)	PLR((έτη)
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	475	475	10	10
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	475	475	10	10
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	475	475	10	10
Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων :		Ανεκτή	γg=	1.50
Εκταση Βλαβών :		Ελαφρές & Τοπικές Βλάβες-Επεμβάσεις	γsd=	1.05
Κόμβος Ελέγχου :		164	4.67m	
A/A Ανάλυση	Είδος Ανάλυσης - Κατανομής	Τέμνουσα Βάσης (KN)	Μέγιστη Μετακίνηση (m)	Λόγος Υπεραντοχής
1	Τριγωνική Fx+0.30*Fz	834.153	0.011	1129.091
9	Τριγωνική -Fx+0.30*Fz	347.268	0.004	93.028
17	Τριγωνική Fz+0.30*Fx	453.230	0.004	249.372
25	Τριγωνική -Fz+0.30*Fx	430.338	0.004	567.348
101	Ορθογωνική Fx+0.30*Fz	637.761	0.010	755.243
109	Ορθογωνική -Fx+0.30*Fz	538.461	0.005	138.852
117	Ορθογωνική Fz+0.30*Fx	549.412	0.002	367.904
125	Ορθογωνική -Fz+0.30*Fx	543.150	0.002	696.957
Ελάχιστος Λόγος Υπεραντοχής X			(2)	93.028
Ελάχιστος Λόγος Υπεραντοχής Z			(3)	249.372

Καρπύλη Αντίστασης Κατασκευής - Ελαστικό Φάσμα Ικανότητας **του Μονοβάθμιου Συστήματος**

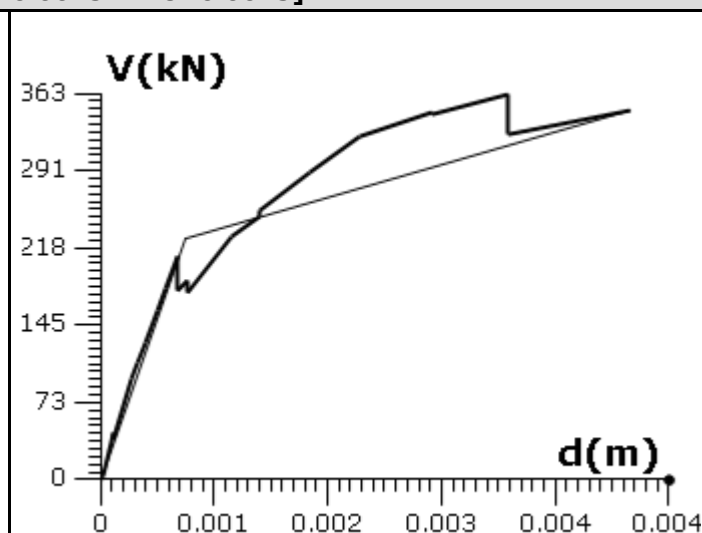
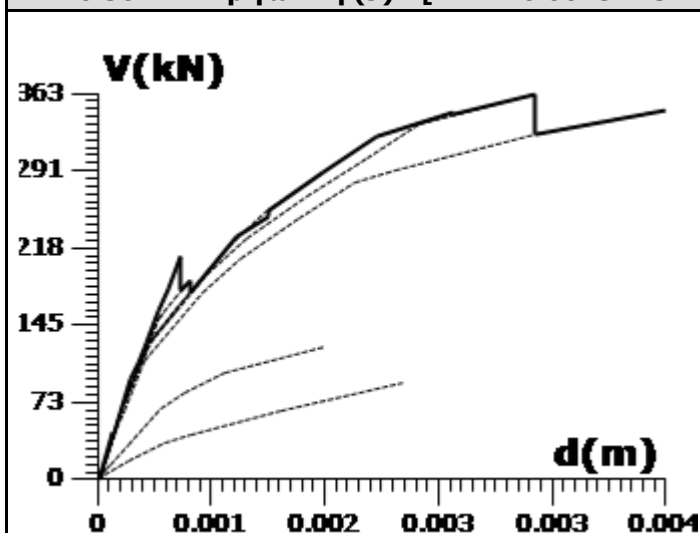
Κόμβος Ελέγχου

164 (4.67m)

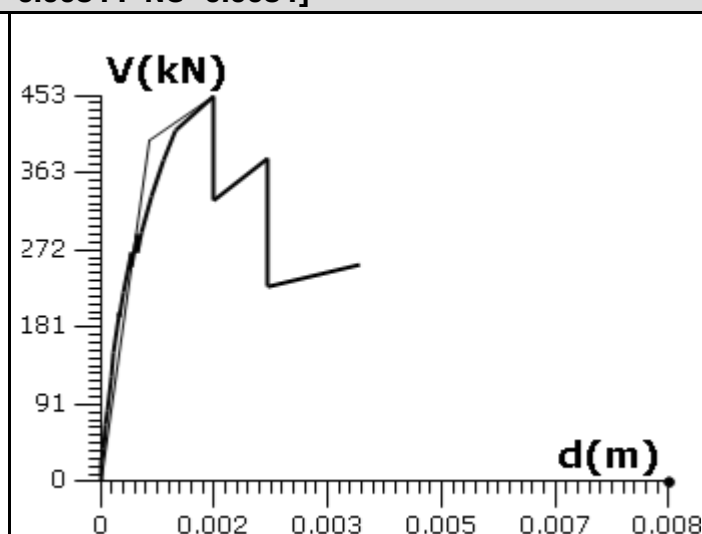
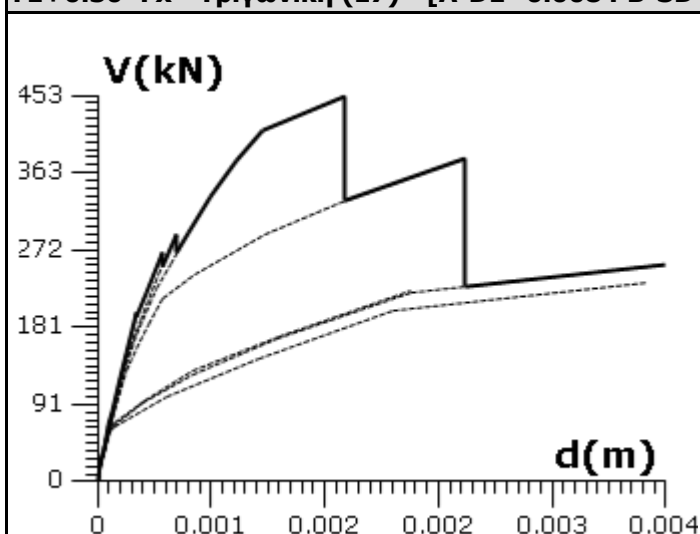
$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική (1) [A-DL=0.0045 B-SD=0.0045 Γ-NC=0.0045]



$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική (9) [A-DL=0.0045 B-SD=0.0045 Γ-NC=0.0045]



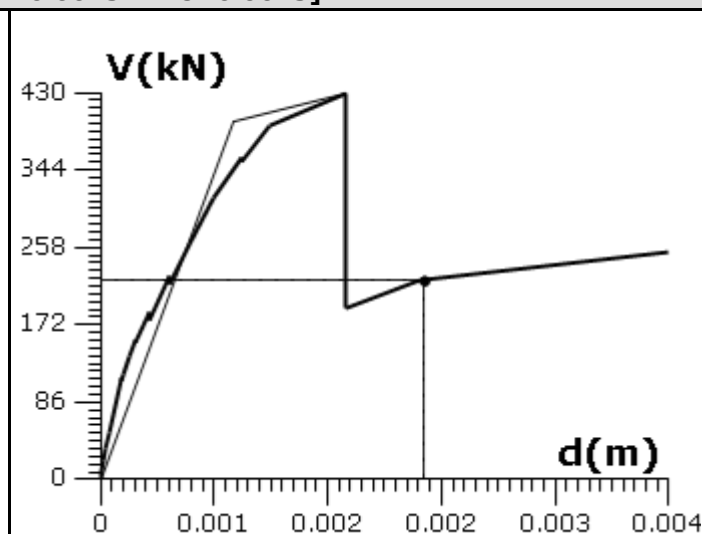
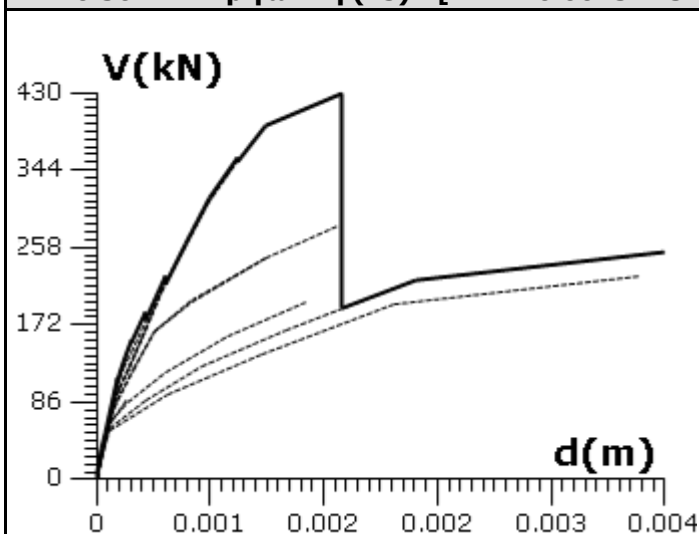
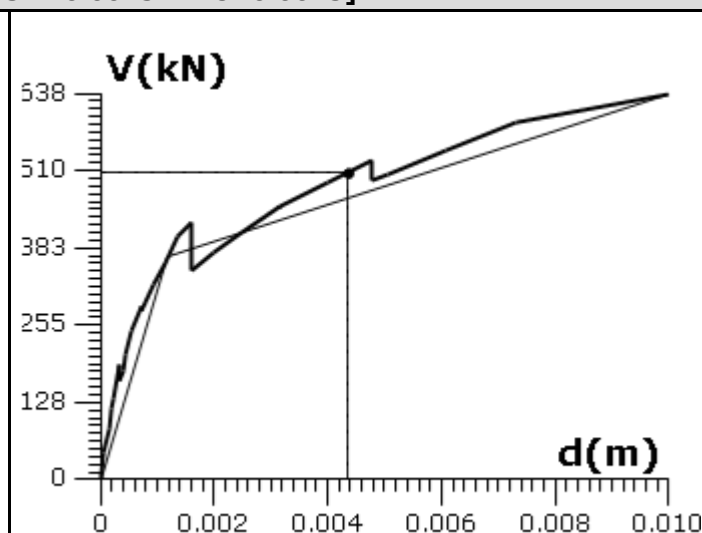
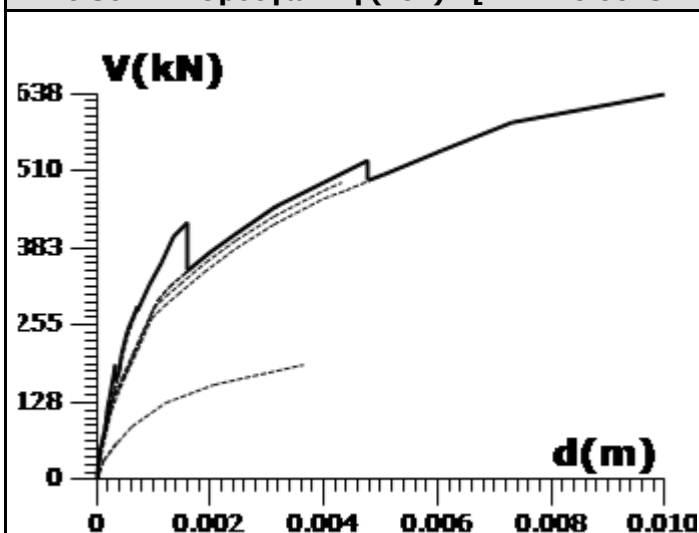
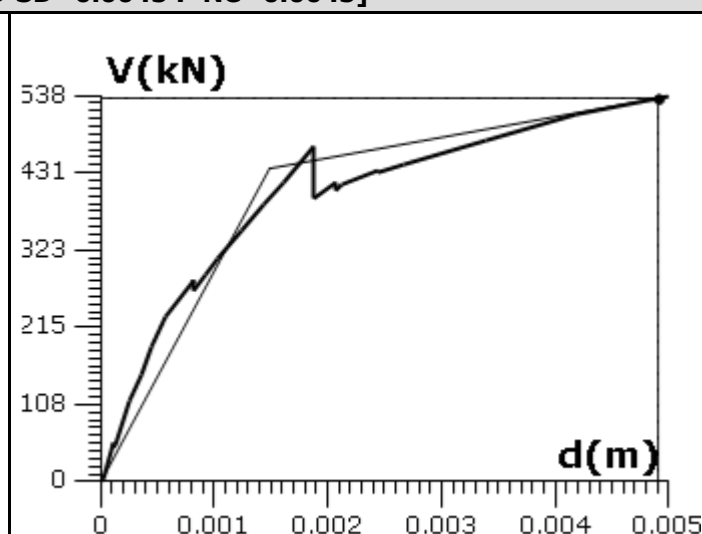
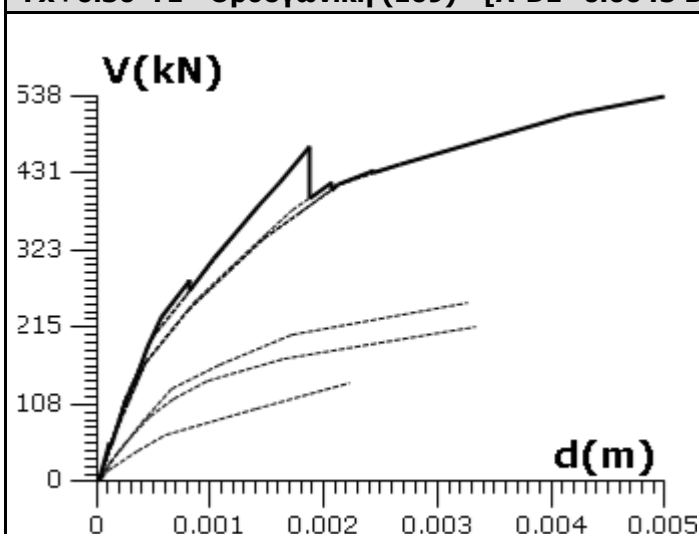
$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική (17) [A-DL=0.0084 B-SD=0.0084 Γ-NC=0.0084]



Καρπύλη Αντίστασης Κατασκευής - Ελαστικό Φάσμα Ικανότητας του Μονοβάθμιου Συστήματος

Κόμβος Ελέγχου

164 (4.67m)

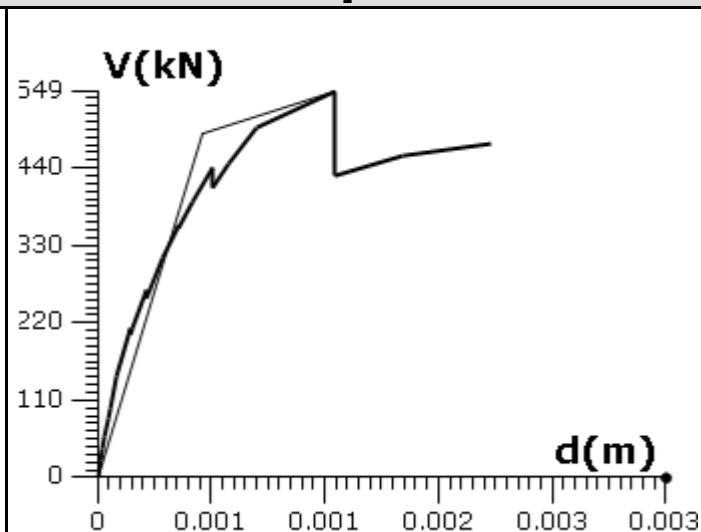
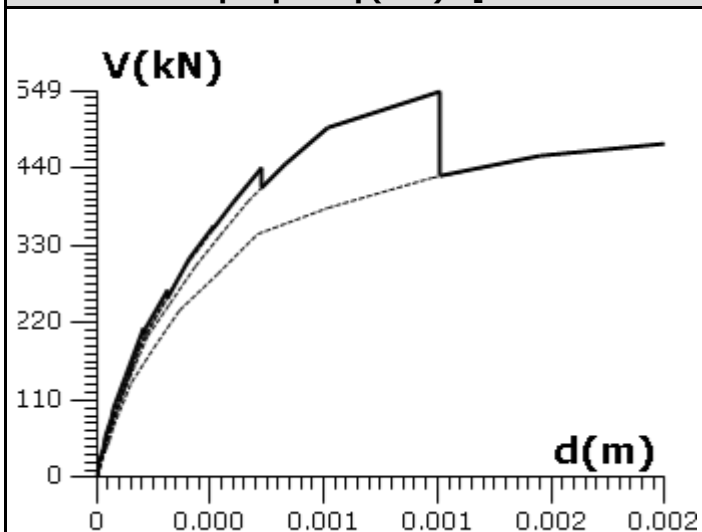
 $-F_z + 0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική (25) [A-DL=0.0023 B-SD=0.0023 Γ-NC=0.0023]

 $F_x + 0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική (101) [A-DL=0.0045 B-SD=0.0045 Γ-NC=0.0045]

 $-F_x + 0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική (109) [A-DL=0.0045 B-SD=0.0045 Γ-NC=0.0045]


Καρπύλη Αντίστασης Κατασκευής - Ελαστικό Φάσμα Ικανότητας του Μονοβάθμιου Συστήματος

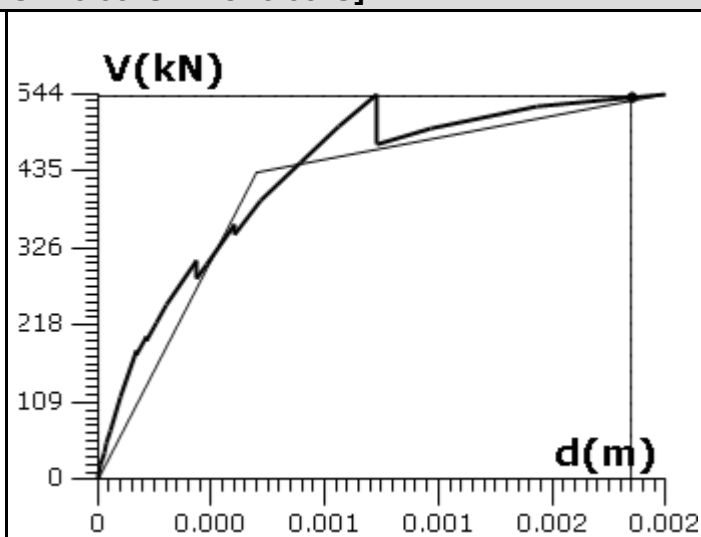
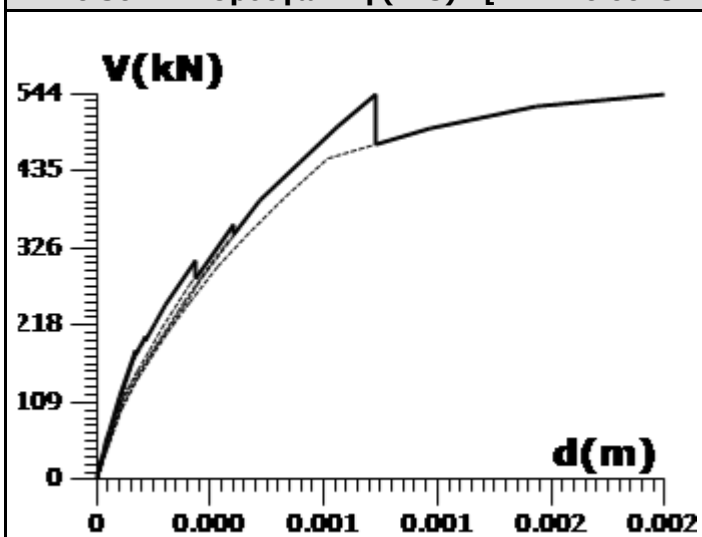
Κόμβος Ελέγχου

164 (4.67m)

Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική (117) [A-DL=0.0034 B-SD=0.0034 Γ-NC=0.0034]



-Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική (125) [A-DL=0.0023 B-SD=0.0023 Γ-NC=0.0023]

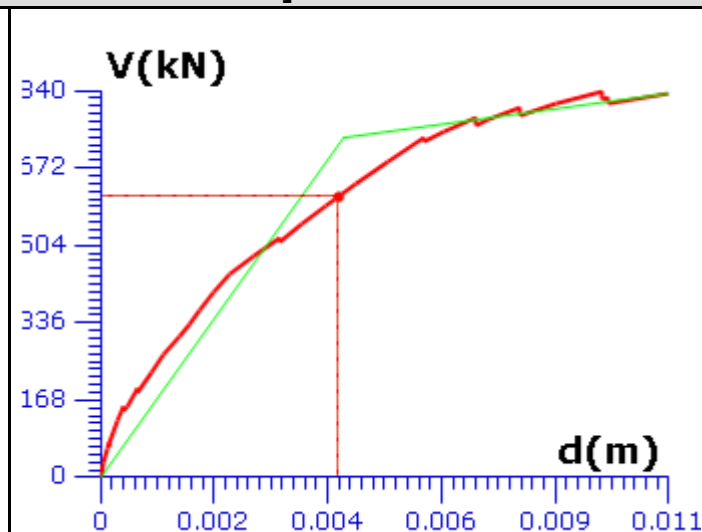
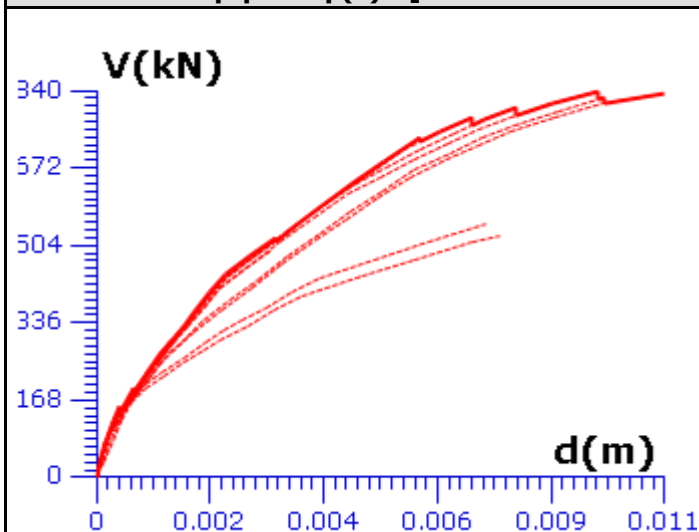


Καρπύλη Αντίστασης Κατασκευής - Ελαστικό Φάσμα Ικανότητας **του Μονοβάθμιου Συστήματος**

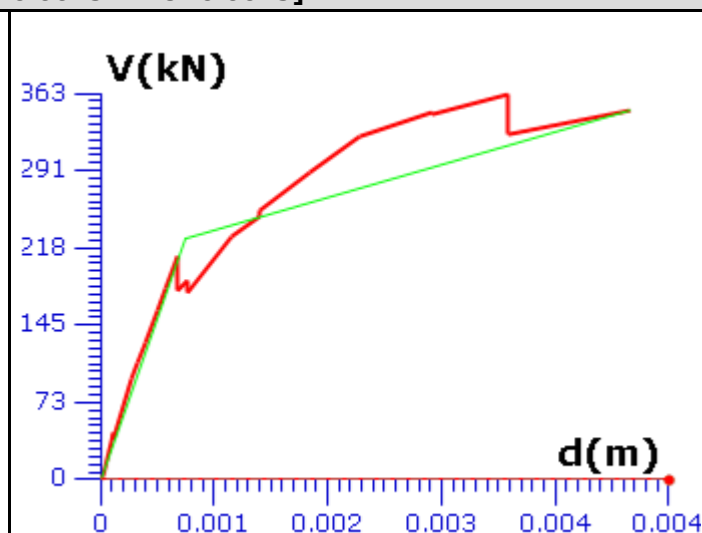
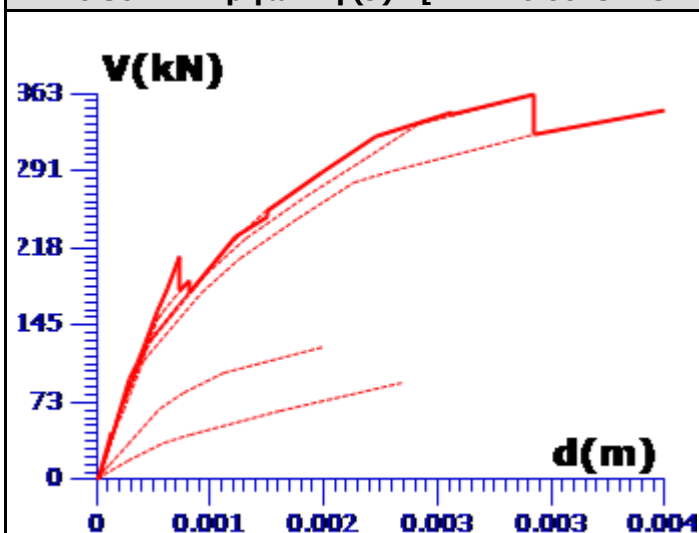
Κόμβος Ελέγχου

164 (4.67m)

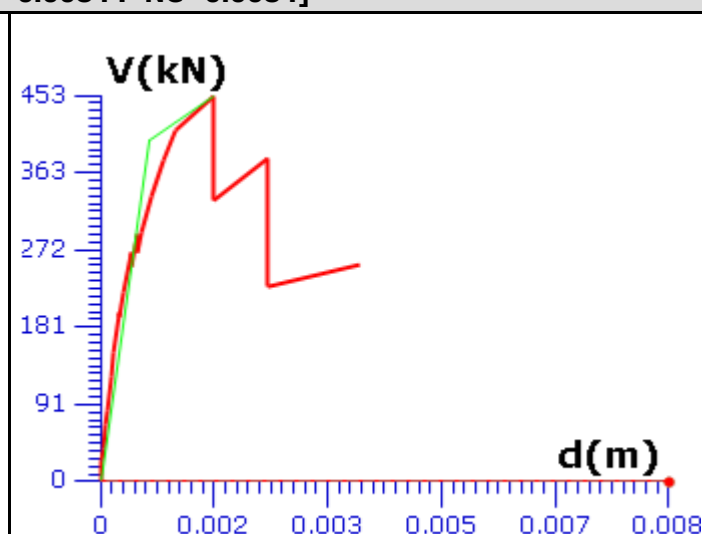
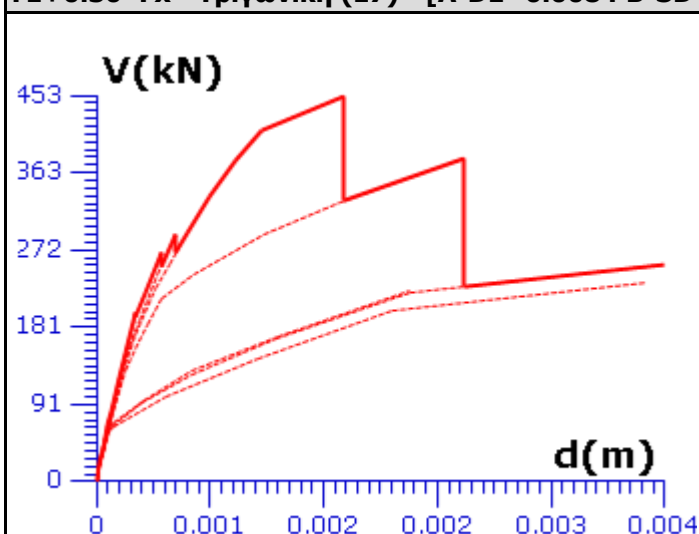
$F_x + 0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική (1) [A-DL=0.0045 B-SD=0.0045 Γ-NC=0.0045]



$-F_x + 0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική (9) [A-DL=0.0045 B-SD=0.0045 Γ-NC=0.0045]



$F_z + 0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική (17) [A-DL=0.0084 B-SD=0.0084 Γ-NC=0.0084]

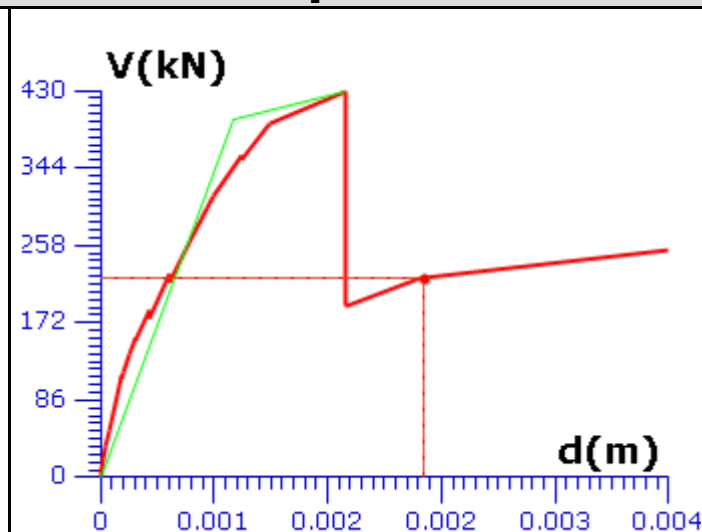
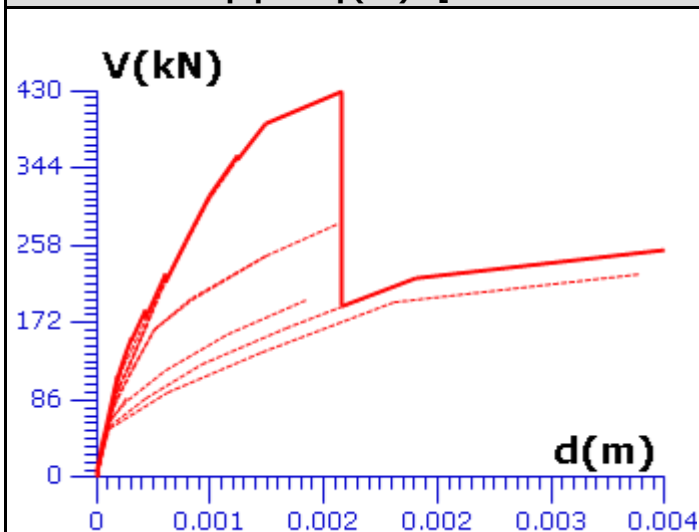


Καρπύλη Αντίστασης Κατασκευής - Ελαστικό Φάσμα Ικανότητας **του Μονοβάθμιου Συστήματος**

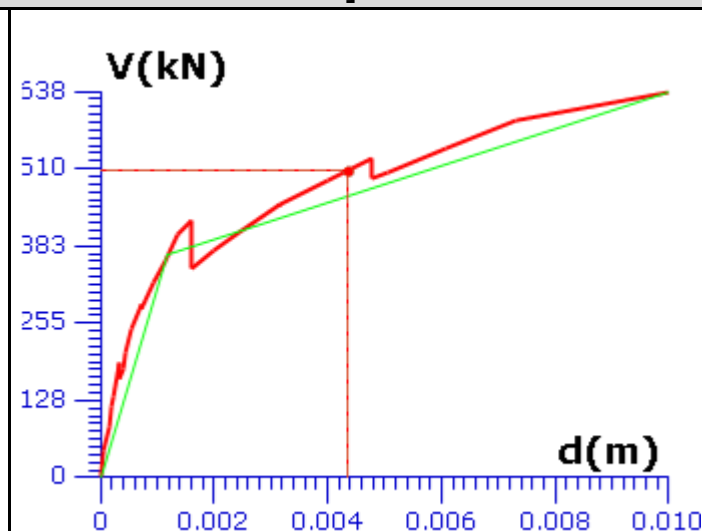
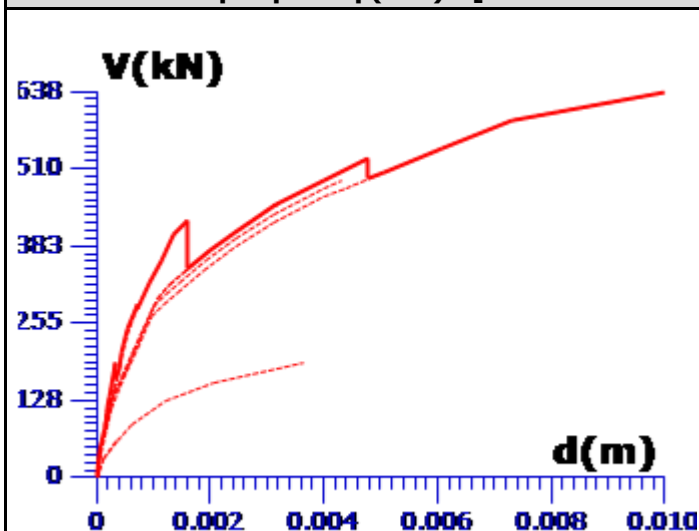
Κόμβος Ελέγχου

164 (4.67m)

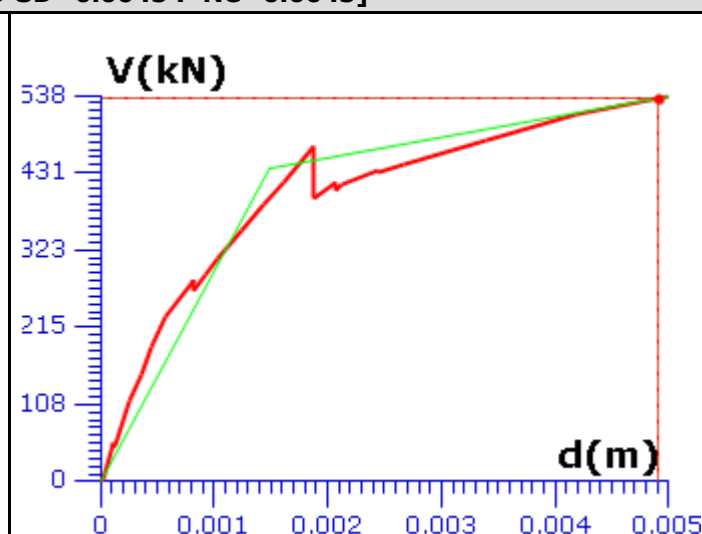
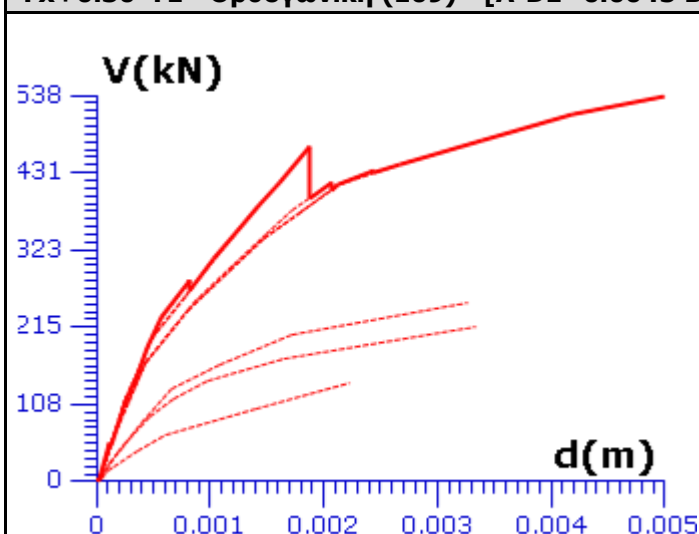
-Fz+0.30*Fx - Τριγωνική (25) [A-DL=0.0023 B-SD=0.0023 Γ-NC=0.0023]



Fx+0.30*Fz - Ορθογωνική (101) [A-DL=0.0045 B-SD=0.0045 Γ-NC=0.0045]



-Fx+0.30*Fz - Ορθογωνική (109) [A-DL=0.0045 B-SD=0.0045 Γ-NC=0.0045]

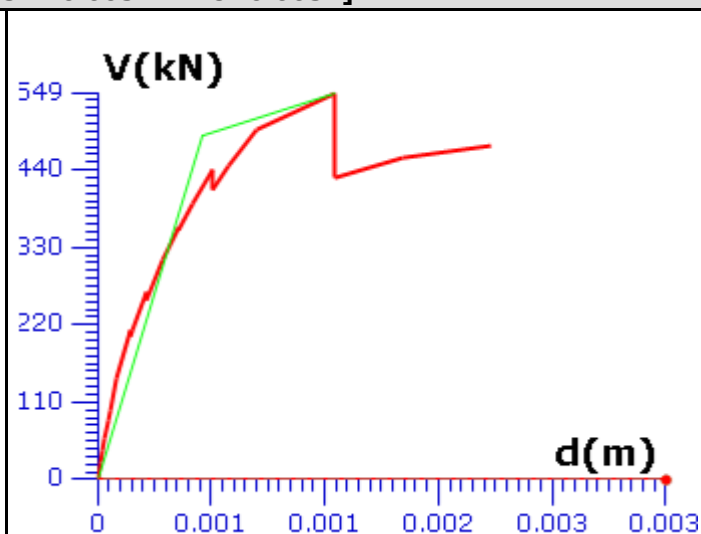
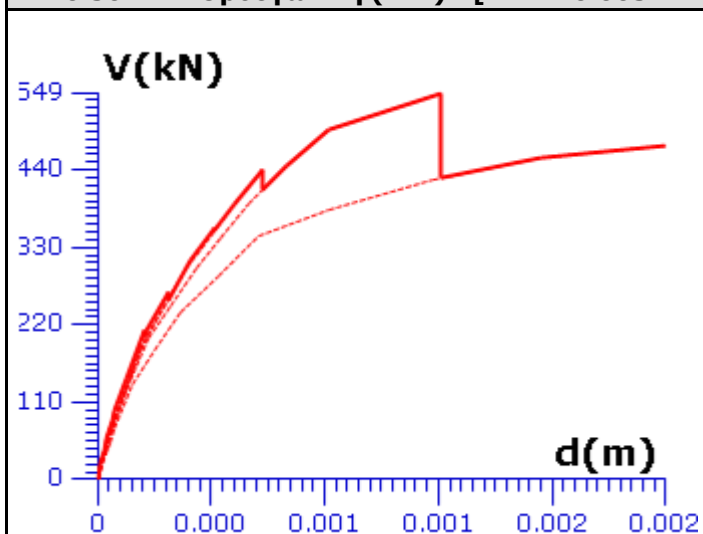


Καρπύλη Αντίστασης Κατασκευής - Ελαστικό Φάσμα Ικανότητας του Μονοβάθμιου Συστήματος

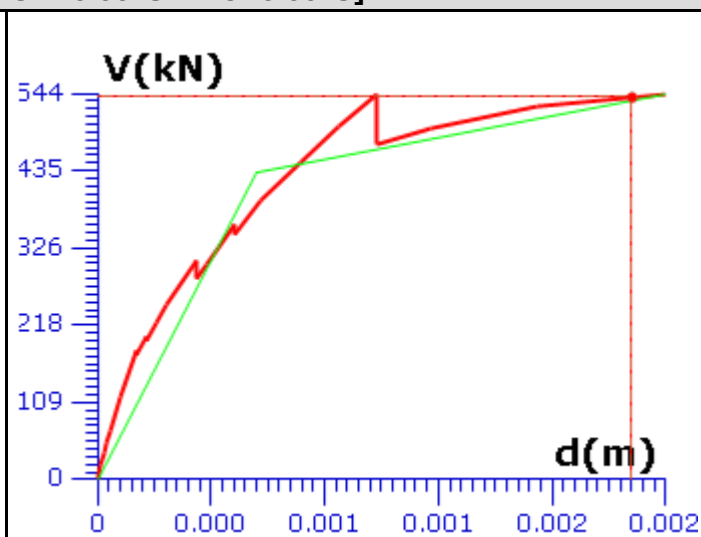
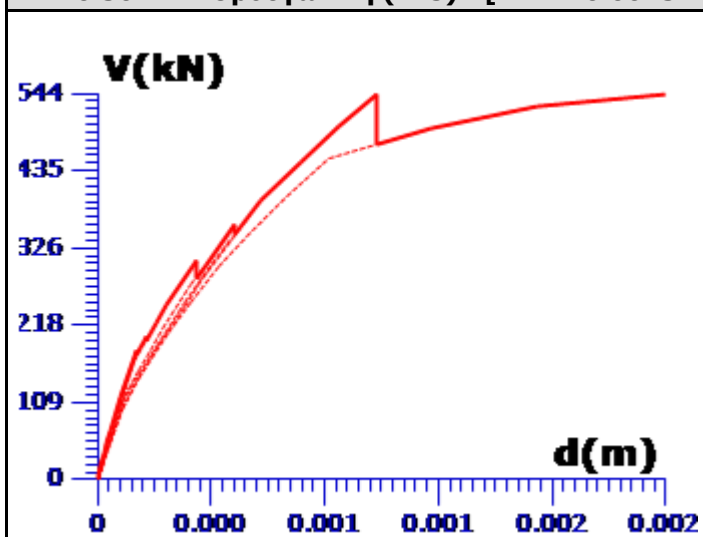
Κόμβος Ελέγχου

164 (4.67m)

Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική (117) [A-DL=0.0034 B-SD=0.0034 Γ-NC=0.0034]



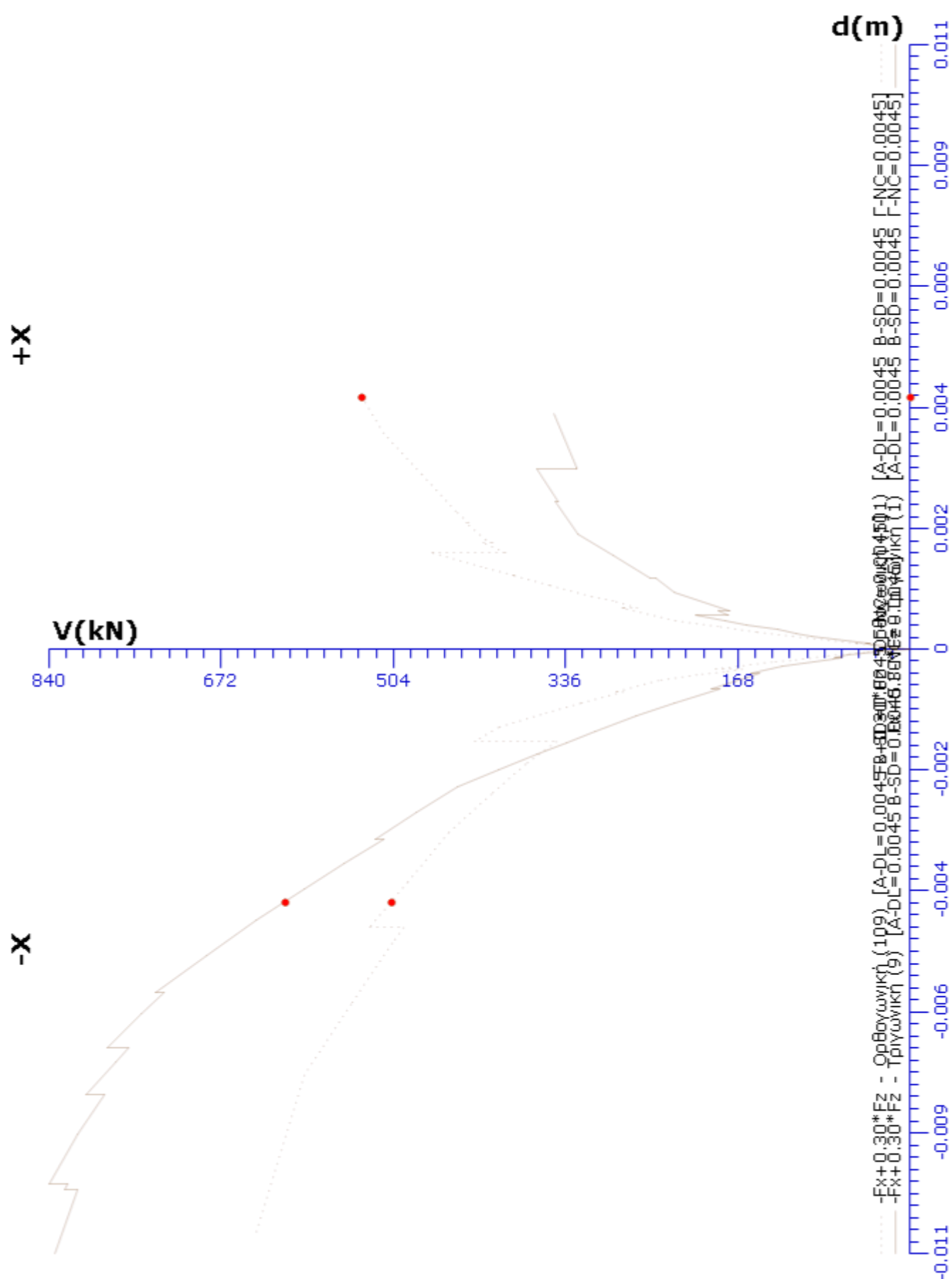
-Fz+0.30*Fx - Ορθογωνική (125) [A-DL=0.0023 B-SD=0.0023 Γ-NC=0.0023]



Καρπύλη Αντίστασης Κατασκευής - Ελαστικό Φάσμα Ικανότητας του Μονοβάθμιου Συστήματος

Κόμβος Ελέγχου

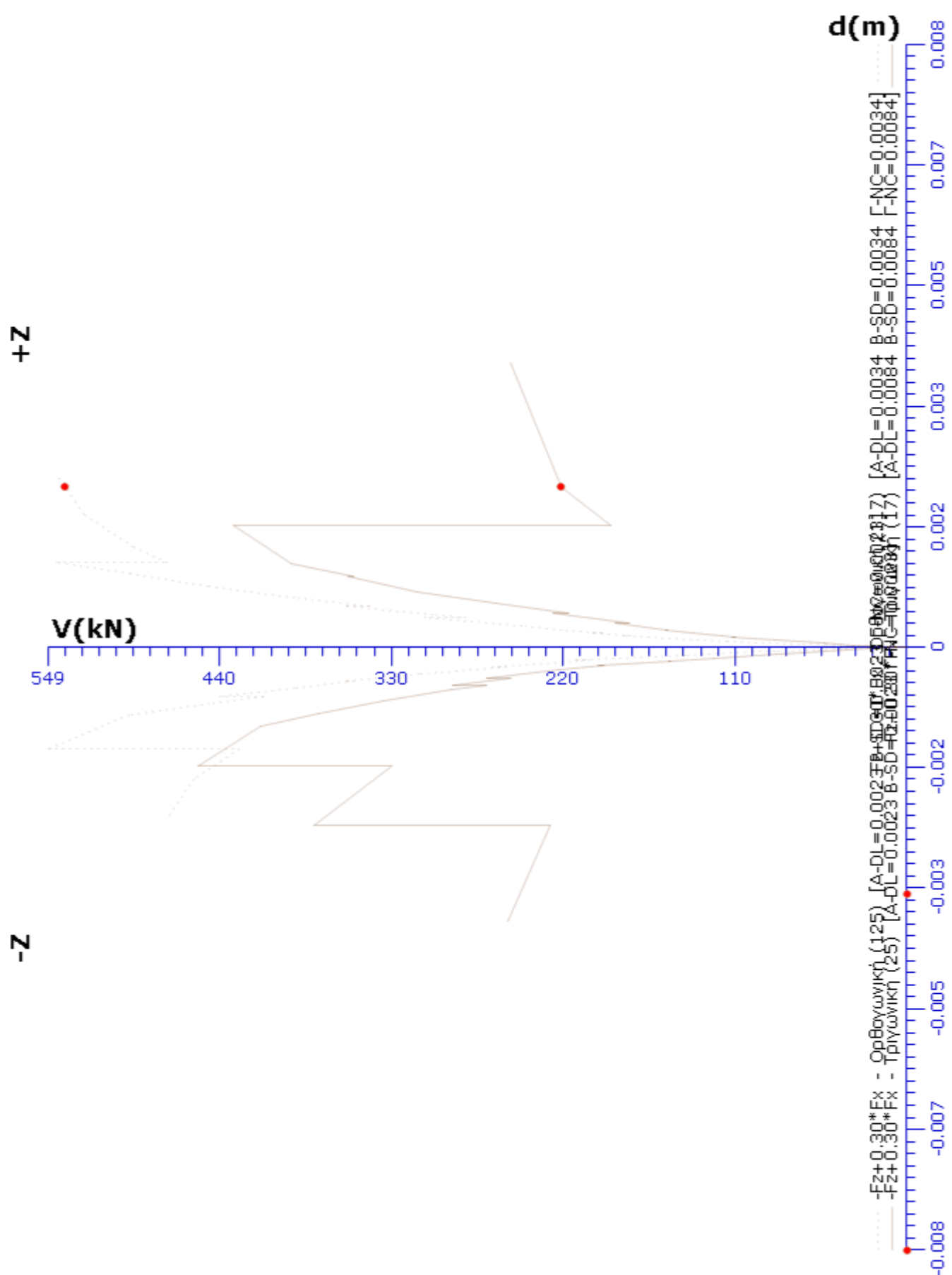
164 (4.67m)



Καρπύλη Αντίστασης Κατασκευής - Ελαστικό Φάσμα Ικανότητας του Μονοβάθμιου Συστήματος

Κόμβος Ελέγχου

164 (4.67m)



**ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΥΠΕΡΒΑΣΗ ΟΡΙΟΥ
ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

Αριθμ. Ανάλυσης	Είδος Ανάλυσης	Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)		Σημαντικές Βλάβες (B-SD)		Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	
		Δοκοί	Στύλοι	Δοκοί	Στύλοι	Δοκοί	Στύλοι
1	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	22	42	20	12	20	12
9	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική	18	2	18	2	18	2
17	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	18	0	18	0	18	0
25	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Τριγωνική	24	32	24	22	24	22
101	$F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	24	36	23	16	22	16
109	$-F_x+0.30 \cdot F_z$ - Ορθογωνική	24	36	20	19	20	18
117	$F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	18	0	18	0	18	0
125	$-F_z+0.30 \cdot F_x$ - Ορθογωνική	24	32	24	12	24	10

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΩΝ

ΣΕΝΑΡΙΟ :

ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ

Είδος Ανάλυσης - Κατανομής :

 $F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική (1)

Κανονισμός για τον υπολογισμό της στοχεύουσας μετακίνησης :

ΚΑΝ.ΕΠΕ.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΦΟΡΕΑ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

	C0	C1	C2	C3	Se(T) (m/sec ²)	Te (sec)
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	1.20	3.88	1.00	1.00	5.23	0.09
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	1.20	3.88	1.00	1.00	5.23	0.09
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	1.20	3.88	1.00	1.00	5.23	0.09
	Στοχευόμενη Μετακίνηση dt(cm)		Συνολική Μετακίνηση dm(cm)		λόγος $\lambda=dt/dm$	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	0.45		1.07		0.42	ΝΑΙ
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	0.45		1.07		0.42	ΝΑΙ
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	0.45		1.07		0.42	ΝΑΙ

ΟΧΙ* : ΑΣΤΟΧΙΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ (mrad)

ΥΠΕΡΘΥΡΑ - ΠΟΔΙΕΣ

 $F_x+0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική (1)

ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=1.5)

Αστοχία από κάμψη

(1)

Διατμητική αστοχία ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών

(2)

Διατμητική αστοχία λόγω διαγώνιας ρηγμάτωσης

(3)

ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=2.0)

Αστοχία από κάμψη κατά μήκος των οριζόντιων αρμών

(4)

Μέλος	Κόμβος	Περιορισμένες Βλάβες (A - DL)			Σημαντικές Βλάβες (B - SD)			Οιονεί Κατάρρευση (Γ - NC)		
		θd	θc=θy	Επαρκεί	θd	θc=θu/γRd	Επαρκεί	θd	θc=4/3*θu/γRd	Επαρκεί
237	170	-0.22	0.00	ΟΧΙ	-0.22	1.67	ΝΑΙ	-0.22	2.22	ΝΑΙ
					0.132			0.099		
	174	-0.22	0.00	ΟΧΙ	-0.22	5.98	ΝΑΙ	-0.22	7.97	ΝΑΙ
					(1)			0.028		
241	175	-0.30	0.00	ΟΧΙ*	-0.30	3.80	ΟΧΙ*	-0.30	5.07	ΟΧΙ*
					0.079			0.059		
	179	-0.30	0.00	ΟΧΙ*	-0.30	3.80	ΟΧΙ*	-0.30	5.07	ΟΧΙ*
					0.079			0.059		
267	190	-0.36	0.00	ΟΧΙ*	-0.36	3.90	ΟΧΙ*	-0.36	5.20	ΟΧΙ*
					0.093			0.070		
	193	-0.36	0.00	ΟΧΙ*	-0.36	3.90	ΟΧΙ*	-0.36	5.20	ΟΧΙ*
					0.093			0.070		
301	211	0.00	0.00	ΟΧΙ*	0.00	10.67	ΟΧΙ*	0.00	14.22	ΟΧΙ*

										Σελίδα : 14
					0.000			0.000		
	207	0.00	0.00	OXI*	0.00	10.67	OXI*	0.00	14.22	OXI*
					0.000			0.000		
335	220	0.15	0.00	OXI*	0.15	6.25	OXI*	0.15	8.33	OXI*
					0.024			0.018		
	218	0.15	0.00	OXI*	0.15	6.25	OXI*	0.15	8.33	OXI*
					0.024			0.018		
339	232	0.15	0.00	OXI*	0.15	10.67	OXI*	0.15	14.22	OXI*
					0.014			0.011		
	229	0.15	0.00	OXI*	0.15	10.67	OXI*	0.15	14.22	OXI*
					0.014			0.011		
379	253	-1.23	0.00	OXI*	-1.23	4.84	OXI*	-1.23	6.45	OXI*
					0.253			0.190		
	249	-1.23	0.00	OXI*	-1.23	4.84	OXI*	-1.23	6.45	OXI*
					0.253			0.190		
383	258	-1.26	0.00	OXI*	-1.26	4.95	OXI*	-1.26	6.60	OXI*
					0.255			0.191		
	255	-1.26	0.00	OXI*	-1.26	4.95	OXI*	-1.26	6.60	OXI*
					0.255			0.191		
453	280	0.17	0.00	OXI*	0.17	10.67	OXI*	0.17	14.22	OXI*
					0.016			0.012		
	283	0.17	0.00	OXI*	0.17	10.67	OXI*	0.17	14.22	OXI*
					0.016			0.012		
457	288	0.16	0.00	OXI*	0.16	10.67	OXI*	0.16	14.22	OXI*
					0.015			0.011		
	292	0.16	0.00	OXI*	0.16	10.67	OXI*	0.16	14.22	OXI*
					0.015			0.011		
459	296	0.17	0.00	OXI*	0.17	9.17	OXI*	0.17	12.23	OXI*
					0.018			0.014		
	299	0.17	0.00	OXI*	0.17	9.17	OXI*	0.17	12.23	OXI*
					0.018			0.014		
OXI* : ΑΣΤΟΧΙΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ										
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ (mrad)										
ΠΕΣΣΟΙ			F _x +0.30*F _z - Τριγωνική (1)							
ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=1.5)										
Αστοχία από κάμψη										(1)
Διατμητική αστοχία ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών										(2)
Διατμητική αστοχία λόγω διαγώνιας ρηγμάτωσης										(3)
ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=2.0)										
Αστοχία από κάμψη κατά μήκος των οριζόντιων αρμών										(4)
Μέλος	Κόμβος	Περιορισμένες Βλάβες (A - DL)			Σημαντικές Βλάβες (B - SD)			Οιονεί Κατάρρευση (Γ - NC)		
		θd	θc=θy	Επαρκεί	θd	θc= θu/γRd	Επαρκεί	θd	θc=4/3* θu/γRd	Επαρκεί

									Σελίδα : 15	
231	166	0.11	0.00	OXI	0.11	0.40	NAI	0.11	0.53	NAI
					0.286			0.215		
	169	0.11	0.00	OXI	0.11	0.54	NAI	0.11	0.71	NAI
				(1)	0.212		(1)	0.159		(1)
235	177	0.02	0.00	OXI	0.02	1.67	NAI	0.02	2.22	NAI
					0.011			0.008		
	180	0.02	0.00	OXI	0.02	4.74	NAI	0.02	6.31	NAI
				(1)	0.004		(1)	0.003		(1)
257	169	0.15	0.00	OXI*	0.15	2.42	OXI*	0.15	3.23	OXI*
					0.063			0.047		
	183	0.15	0.00	OXI*	0.15	2.42	OXI*	0.15	3.23	OXI*
					0.063			0.047		
261	192	0.09	0.00	OXI	0.09	1.16	NAI	0.09	1.55	NAI
					0.077			0.058		
	194	0.09	0.00	OXI	0.09	1.43	NAI	0.09	1.90	NAI
				(1)	0.062		(1)	0.047		(1)
325	215	0.09	0.00	OXI	0.09	0.80	NAI	0.09	1.06	NAI
					0.112			0.084		
	217	0.09	0.00	OXI	0.09	0.80	NAI	0.09	1.06	NAI
				(1)	0.112		(1)	0.084		(1)
327	6	0.10	0.00	OXI	0.10	1.67	NAI	0.10	2.22	NAI
					0.062			0.046		
	221	0.10	0.00	OXI	0.10	1.80	NAI	0.10	2.39	NAI
				(1)	0.057		(1)	0.043		(1)
329	7	0.17	0.00	OXI	0.17	1.67	NAI	0.17	2.22	NAI
					0.099			0.074		
	224	0.17	0.00	OXI	0.17	1.96	NAI	0.17	2.62	NAI
				(1)	0.084		(1)	0.063		(1)
331	226	0.24	0.00	OXI*	0.24	4.59	OXI*	0.24	6.12	OXI*
					0.053			0.040		
	228	0.24	0.00	OXI*	0.24	4.59	OXI*	0.24	6.12	OXI*
					0.053			0.040		
357	239	0.08	0.00	OXI	0.08	1.67	NAI	0.08	2.22	NAI
					0.046			0.035		
	8	0.08	0.00	OXI	0.08	1.86	NAI	0.08	2.48	NAI
				(1)	0.042		(1)	0.031		(1)
359	242	0.08	0.00	OXI	0.08	1.67	NAI	0.08	2.22	NAI
					0.047			0.035		
	244	0.08	0.00	OXI	0.08	1.96	NAI	0.08	2.61	NAI
				(1)	0.040		(1)	0.030		(1)
373	246	0.85	0.00	OXI*	0.85	2.39	OXI*	0.85	3.19	OXI*
					0.356			0.267		
	248	0.85	0.00	OXI*	0.85	2.39	OXI*	0.85	3.19	OXI*
					0.356			0.267		
375	251	1.16	0.00	OXI	1.16	1.67	NAI	1.16	2.22	NAI
					0.697			0.523		
	254	1.16	0.00	OXI	1.16	3.05	NAI	1.16	4.07	NAI
				(1)	0.381		(1)	0.285		(1)
377	257	0.98	0.00	OXI	0.98	1.32	NAI	0.98	1.75	NAI
					0.743			0.557		
	259	0.98	0.00	OXI	0.98	1.32	NAI	0.98	1.75	NAI
				(1)	0.743		(1)	0.557		(1)
407	261	0.07	0.00	OXI	0.07	1.67	NAI	0.07	2.22	NAI

									Σελίδα : 16
					0.039			0.030	
	9	0.07	0.00	OXI	0.07	4.32	NAI	0.07	5.76
				(4)	0.015		(4)	0.011	
415	275	0.03	0.00	OXI*	0.03	10.13	OXI*	0.03	13.50
					0.003			0.002	
	276	0.03	0.00	OXI*	0.03	10.13	OXI*	0.03	13.50
					0.003			0.002	
441	277	0.95	0.00	OXI*	0.95	2.13	OXI*	0.95	2.84
					0.446			0.335	
	279	0.95	0.00	OXI*	0.95	2.13	OXI*	0.95	2.84
					0.446			0.335	
443	11	0.58	0.00	OXI	0.58	1.36	NAI	0.58	1.82
					0.426			0.319	
	284	0.58	0.00	OXI	0.58	5.63	NAI	0.58	7.50
				(4)	0.103		(4)	0.077	
445	12	0.39	0.00	OXI	0.39	1.67	NAI	0.39	2.22
					0.232			0.174	
	287	0.39	0.00	OXI	0.39	6.16	NAI	0.39	8.22
				(4)	0.063		(4)	0.047	
447	290	0.27	0.00	OXI	0.27	1.67	NAI	0.27	2.22
					0.164			0.123	
	293	0.27	0.00	OXI	0.27	2.09	NAI	0.27	2.78
				(1)	0.131		(1)	0.098	
449	13	0.26	0.00	OXI	0.26	1.67	NAI	0.26	2.22
					0.157			0.118	
	295	0.26	0.00	OXI	0.26	3.34	NAI	0.26	4.45
				(4)	0.079		(4)	0.059	
451	298	0.17	0.00	OXI*	0.17	2.21	OXI*	0.17	2.95
					0.078			0.058	
	300	0.17	0.00	OXI*	0.17	2.21	OXI*	0.17	2.95
					0.078			0.058	

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΩΝ

ΣΕΝΑΡΙΟ :

ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ

Είδος Ανάλυσης - Κατανομής :

 $-F_x + 0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική (9)

Κανονισμός για τον υπολογισμό της στοχεύουσας μετακίνησης :

ΚΑΝ.ΕΠΕ.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΦΟΡΕΑ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

	C0	C1	C2	C3	Se(T) (m/sec ²)	Te (sec)
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	1.20	3.88	1.00	1.00	5.23	0.09
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	1.20	3.88	1.00	1.00	5.23	0.09
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	1.20	3.88	1.00	1.00	5.23	0.09
	Στοχευόμενη Μετακίνηση dt(cm)		Συνολική Μετακίνηση dm(cm)		λόγος $\lambda = dt/dm$	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Περιορισμένες Βλάβες (A-DL)	0.45		0.42		1.07	ΟΧΙ
Σημαντικές Βλάβες (B-SD)	0.45		0.42		1.07	ΟΧΙ
Οιονεί Κατάρρευση (Γ-NC)	0.45		0.42		1.07	ΟΧΙ

ΟΧΙ* : ΑΣΤΟΧΙΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ (mrad)

ΥΠΕΡΘΥΡΑ - ΠΟΔΙΕΣ

 $-F_x + 0.30 \cdot F_z$ - Τριγωνική (9)

ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=1.5)

Αστοχία από κάμψη

(1)

Διατμητική αστοχία ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών

(2)

Διατμητική αστοχία λόγω διαγώνιας ρηγμάτωσης

(3)

ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=2.0)

Αστοχία από κάμψη κατά μήκος των οριζόντιων αρμών

(4)

Μέλος	Κόμβος	Περιορισμένες Βλάβες (A - DL)			Σημαντικές Βλάβες (B - SD)			Οιονεί Κατάρρευση (Γ - NC)		
		θd	θc=θy	Επαρκεί	θd	θc=θu/γRd	Επαρκεί	θd	θc=4/3*θu/γRd	Επαρκεί
241	175	0.01	0.00	ΟΧΙ*	0.01	3.75	ΟΧΙ*	0.01	5.00	ΟΧΙ*
					0.002			0.002		
	179	0.01	0.00	ΟΧΙ*	0.01	3.75	ΟΧΙ*	0.01	5.00	ΟΧΙ*
					0.002			0.002		
301	211	0.00	0.00	ΟΧΙ*	0.00	10.67	ΟΧΙ*	0.00	14.22	ΟΧΙ*
					0.000			0.000		
	207	0.00	0.00	ΟΧΙ*	0.00	10.67	ΟΧΙ*	0.00	14.22	ΟΧΙ*
					0.000			0.000		
335	220	0.00	0.00	ΟΧΙ*	0.00	5.68	ΟΧΙ*	0.00	7.57	ΟΧΙ*
					0.001			0.001		
	218	0.00	0.00	ΟΧΙ*	0.00	5.68	ΟΧΙ*	0.00	7.57	ΟΧΙ*
					0.001			0.001		
339	232	0.00	0.00	ΟΧΙ*	0.00	9.97	ΟΧΙ*	0.00	13.29	ΟΧΙ*

										Σελίδα : 18
					0.000			0.000		
	229	0.00	0.00	OXI*	0.00	9.97	OXI*	0.00	13.29	OXI*
					0.000			0.000		
379	253	0.00	0.00	OXI*	0.00	4.59	OXI*	0.00	6.11	OXI*
					0.001			0.001		
	249	0.00	0.00	OXI*	0.00	4.59	OXI*	0.00	6.11	OXI*
					0.001			0.001		
383	258	0.00	0.00	OXI*	0.00	5.27	OXI*	0.00	7.03	OXI*
					0.001			0.001		
	255	0.00	0.00	OXI*	0.00	5.27	OXI*	0.00	7.03	OXI*
					0.001			0.001		
453	280	0.00	0.00	OXI*	0.00	10.67	OXI*	0.00	14.22	OXI*
					0.000			0.000		
	283	0.00	0.00	OXI*	0.00	10.67	OXI*	0.00	14.22	OXI*
					0.000			0.000		
457	288	0.00	0.00	OXI*	0.00	10.67	OXI*	0.00	14.22	OXI*
					0.000			0.000		
	292	0.00	0.00	OXI*	0.00	10.67	OXI*	0.00	14.22	OXI*
					0.000			0.000		
459	296	0.00	0.00	OXI*	0.00	9.67	OXI*	0.00	12.90	OXI*
					0.000			0.000		
	299	0.00	0.00	OXI*	0.00	9.67	OXI*	0.00	12.90	OXI*
					0.000			0.000		
OXI* : ΑΣΤΟΧΙΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ										
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ (mrad)										
ΠΕΣΣΟΙ			-Fx+0.30*Fz - Τριγωνική (9)							
ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΝΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=1.5)										
Αστοχία από κάμψη (1)										
Διατμητική αστοχία ολίσθησης κατά μήκος των οριζόντιων αρμών (2)										
Διατμητική αστοχία λόγω διαγώνιας ρηγμάτωσης (3)										
ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (γRd=2.0)										
Αστοχία από κάμψη κατά μήκος των οριζόντιων αρμών (4)										
Μέλος	Κόμβος	Περιορισμένες Βλάβες (A - DL)			Σημαντικές Βλάβες (B - SD)			Οιονεί Κατάρρευση (Γ - NC)		
		θd	θc=θy	Επαρκεί	θd	θc=θu/γRd	Επαρκεί	θd	θc=4/3*θu/γRd	Επαρκεί
261	192	0.00	0.00	OXI*	0.00	5.46	OXI*	0.00	7.28	OXI*
					0.000			0.000		
	194	0.00	0.00	OXI*	0.00	5.46	OXI*	0.00	7.28	OXI*
					0.000			0.000		

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Συνδ: 1 = +1.35Lc1+1.50Lc2 (Αστοχίας)
 Συνδ: 2 = +1.35Lc1+1.50Lc2+0.75Lc8 (Αστοχίας)
 Συνδ: 3 = +1.35Lc1+1.50Lc2+0.75Lc9 (Αστοχίας)
 Συνδ: 4 = +1.35Lc1+1.50Lc2+0.75Lc10 (Αστοχίας)
 Συνδ: 5 = +1.35Lc1+1.50Lc8 (Αστοχίας)
 Συνδ: 6 = +1.35Lc1+1.05Lc2+1.50Lc8 (Αστοχίας)
 Συνδ: 7 = +1.35Lc1+1.50Lc9 (Αστοχίας)
 Συνδ: 8 = +1.35Lc1+1.05Lc2+1.50Lc9 (Αστοχίας)
 Συνδ: 9 = +1.35Lc1+1.50Lc10 (Αστοχίας)
 Συνδ: 10 = +1.35Lc1+1.05Lc2+1.50Lc10 (Αστοχίας)
 Συνδ: 11 = +1.00Lc1+0.50Lc2 (Αστοχίας)
 Συνδ: 12 = +1.00Lc1+0.20Lc8 (Αστοχίας)
 Συνδ: 13 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.20Lc8 (Αστοχίας)
 Συνδ: 14 = +1.00Lc1+0.20Lc9 (Αστοχίας)
 Συνδ: 15 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.20Lc9 (Αστοχίας)
 Συνδ: 16 = +1.00Lc1+0.20Lc10 (Αστοχίας)
 Συνδ: 17 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.20Lc10 (Αστοχίας)
 Συνδ: 18 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4+1.00Lc5+0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 19 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4+1.00Lc5+0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 20 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4+1.00Lc5-0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 21 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4+1.00Lc5-0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 22 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4-1.00Lc5+0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 23 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4-1.00Lc5+0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 24 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4-1.00Lc5-0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 25 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3+0.30Lc4-1.00Lc5-0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 26 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3-0.30Lc4+1.00Lc5-0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 27 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3-0.30Lc4+1.00Lc5-0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 28 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3-0.30Lc4+1.00Lc5+0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 29 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3-0.30Lc4+1.00Lc5+0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 30 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3-0.30Lc4-1.00Lc5-0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 31 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3-0.30Lc4-1.00Lc5-0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 32 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3-0.30Lc4-1.00Lc5+0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 33 = +1.00Lc1+0.30Lc2+1.00Lc3-0.30Lc4-1.00Lc5+0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 34 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3+0.30Lc4-1.00Lc5+0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 35 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3+0.30Lc4-1.00Lc5+0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 36 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3+0.30Lc4-1.00Lc5-0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 37 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3+0.30Lc4-1.00Lc5-0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 38 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3+0.30Lc4+1.00Lc5+0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 39 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3+0.30Lc4+1.00Lc5+0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 40 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3+0.30Lc4+1.00Lc5-0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 41 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3+0.30Lc4+1.00Lc5-0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 42 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3-0.30Lc4-1.00Lc5-0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 43 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3-0.30Lc4-1.00Lc5-0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 44 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3-0.30Lc4-1.00Lc5+0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 45 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3-0.30Lc4-1.00Lc5+0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 46 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3-0.30Lc4+1.00Lc5-0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 47 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3-0.30Lc4+1.00Lc5-0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 48 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3-0.30Lc4+1.00Lc5+0.30Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 49 = +1.00Lc1+0.30Lc2-1.00Lc3-0.30Lc4+1.00Lc5+0.30Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 50 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.30Lc3+1.00Lc4+0.30Lc5+1.00Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 51 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.30Lc3+1.00Lc4+0.30Lc5+1.00Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 52 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.30Lc3+1.00Lc4-0.30Lc5+1.00Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 53 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.30Lc3+1.00Lc4-0.30Lc5+1.00Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 54 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.30Lc3+1.00Lc4+0.30Lc5-1.00Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 55 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.30Lc3+1.00Lc4+0.30Lc5-1.00Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 56 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.30Lc3+1.00Lc4-0.30Lc5-1.00Lc6+0.30Lc7 (Αστοχίας)
 Συνδ: 57 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.30Lc3+1.00Lc4-0.30Lc5-1.00Lc6-0.30Lc7 (Αστοχίας)

[illegible]

Συνδ:118 = +1.00Lc1+1.00Lc8 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:119 = +1.00Lc1+0.70Lc2+1.00Lc8 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:120 = +1.00Lc1+1.00Lc9 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:121 = +1.00Lc1+0.70Lc2+1.00Lc9 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:122 = +1.00Lc1+1.00Lc10 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:123 = +1.00Lc1+0.70Lc2+1.00Lc10 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:124 = +1.00Lc1+0.50Lc2 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:125 = +1.00Lc1+0.20Lc8 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:126 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.20Lc8 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:127 = +1.00Lc1+0.20Lc9 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:128 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.20Lc9 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:129 = +1.00Lc1+0.20Lc10 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:130 = +1.00Lc1+0.30Lc2+0.20Lc10 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:131 = +1.00Lc1+0.30Lc2 (Λειτουργικότητα)
Συνδ:132 = +1.00Lc1 (Λειτουργικότητα)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΩΝ

ΣΕΝΑΡΙΟ :

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΟΜΟΣΗΜΑ ΣΤΡΕΠΤΙΚΑ ΖΕΥΓΗ (EC8)

Έλεγχος Διαφοράς Μαζών και Ακαμψιών Σταθμών Κτιρίου

§4.2.3.3.

α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Συν.Μάζα KN/g	Συνολικές Ακαμψίες $Ki \cdot 10^4$ (KNm)		Διαφορές Μαζών - Ακαμψιών $(Mi+1-Mi)/Mi - (Ki+1-Ki)/Ki$		
			(Ki-X)	(Ki-Z)	(ΔMi)	(ΔKi-X)	(ΔKi-Z)
1	2.120	132.274	3.030	3.030			
2	3.000	12.620	0.000	0.000	ελ. 0.90	ελ. 1.00	ελ. 1.00
3	4.670	40.390	30.345	9.371	αυξ. 2.20	αυξ. 0.00	αυξ. 0.00
4	5.310	3.833	10.147	3.134	ελ. 0.90	ελ. 0.66	ελ. 0.66

Ο Έλεγχος ικανοποιεί τα Κριτήρια Κανονικότητας

NAI			
OXI			✓

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: Μάζες : Η Αύξηση πρέπει ≤ 0.35 - Η Ελάττωση πρέπει ≤ 0.50
 Ακαμψίες : Η Αύξηση πρέπει ≤ 0.35 - Η Ελάττωση πρέπει ≤ 0.50

Κέντρο Βάρους - Κέντρο Ακαμψίας

α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Κέντρο Βάρους		Κέντρο Ακαμψίας		Απόσταση Κ.Β - Κ.Α (m)
		X Συντ.(m)	Z Συντ.(m)	X Συντ.(m)	Z Συντ.(m)	
1	2.120	2.6668	4.8886	2.6500	5.1497	0.2616
2	3.000	2.7348	4.8880	0.0000	0.0000	5.6010
3	4.670	2.7333	4.9936	2.6381	5.2281	0.2531
4	5.310	2.6500	5.0000	2.6505	5.0607	0.0607

Σεισμική Τέμνουσα Τοιχωμάτων

§ 5.1.2.

Σεισμική Τέμνουσα Τοιχωμάτων							Στάθμη Αναφοράς		0 0.000(m)	
α/α Στάθμης	Συνδ/ μος	Τέμνουσα Τοιχ./Συνολική Τέμν. = nvx			Ικαν. Έλεγ χος	Συνδ/ μος	Τέμνουσα Τοιχ./Συνολική Τέμν. = nvz			Ικαν. Έλεγ χος
		Τέμνουσα Τοιχωμάτων	Συνολική Τέμνουσα	nvx			Τέμνουσα Τοιχωμάτων	Συνολική Τέμνουσα	nvz	
1 ***	18	0.000	1.819	0.00	NAI	50	0.000	0.122	0.00	NAI
2	0	0.000	0.000	0.00		0	0.000	0.000	0.00	
3	18	0.000	16.417	0.00		50	0.000	15.503	0.00	
4	18	0.000	0.862	0.00		50	0.000	12.433	0.00	

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: *** = Στάθμη ελέγχου nv από κανονισμό

Προσαύξηση Ροπής (§4.4.2.3)

Διεύθυνση X:	NAI
Διεύθυνση Z:	NAI

Έλεγχος Κανονικότητας σε Κάτοψη

§ 4.2.3.2

α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Lx (m)	Lz (m)	Συντ. $\lambda < 4$ L_{max}/L_{min}	ΣAi (m ²)	Ai,max (m ²)	Ao	Ai,max/Ao	Κανονικότητα
1	2.120	4.80	9.50	1.979	0.00	0.00		0.00	Ικανοποιείται
2	3.000	4.80	9.50	1.979	0.00	0.00		0.00	Ικανοποιείται
3	4.670	4.80	9.50	1.979	0.00	0.00		0.00	Ικανοποιείται
4	5.310	2.40	9.50	3.958	0.00	0.00		0.00	Ικανοποιείται

Κανονικότητα σε Κάτοψη

§ 4.2.3.2

Διεύθυνση X

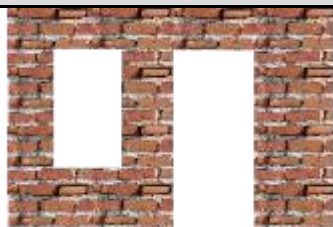
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Συντ. r $\sqrt{\Sigma K_t / \Sigma k_{_}}$	>=	Συντ. I_s $\sqrt{I_0 / \text{mass}}$	Εκκεντρότητα ε_o (m)	Κανονικότητα
1	2.120	2.384		0.000	0.261	Ικανοποιείται
2	3.000	0.000		0.000	4.888	Δεν Ικανοποιείτ.
3	4.670	6.029		0.000	0.235	Ικανοποιείται
4	5.310	5.839		0.000	0.061	Ικανοποιείται

						Σελίδα : 87
Το κτίριο είναι στρεπτικά ευαίσθητο ($r < I_s$)						Ναι
Κανονικότητα σε Κάτοψη				§ 4.2.3.2	Διεύθυνση Z	
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Συντ. r sqrt ($\Sigma K_t / \Sigma k_{\perp}$)	>=	Συντ. I_s sqrt (I_O / mass)	Εκκεντρότητα $\varepsilon_o(m)$	Κανονικότητα
1	2.120	2.384		0.000	0.017	Ικανοποιείται
2	3.000	0.000		0.000	2.735	Δεν Ικανοποιείτ.
3	4.670	3.350		0.000	0.095	Ικανοποιείται
4	5.310	3.245		0.000	0.000	Ικανοποιείται
Το κτίριο είναι στρεπτικά ευαίσθητο ($r < I_s$)						Ναι
Αποτελέσματα Ελέγχων Κανονικότητας						
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Μάζας				Δεν Ικανοποιείτ.		
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω κατανομής Ακαμψίας				Δεν Ικανοποιείτ.		
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά X				Ικανοποιείται		
Έλεγχος Κανονικότητας λόγω Μορφολογίας κατά Z				Ικανοποιείται		
Κανονικότητα Κάτοψης συνολικά για όλο το κτίριο				Δεν Ικανοποιείτ.		
Κανονικότητα Καθ' Ύψος (συνολικά)				Δεν Ικανοποιείτ.		
Έλεγχος Επιρροών 2ας Τάξεως				Διεύθυνση X		§ 4.4.2.2(2),(3),(4)
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Κατακόρυφα Φορτία	Σχετική Μετ/ση d_e (mm)	Οριζόντια Δύναμη (KN)	θ_x	Έλεγχος 2ας Τάξης Πλαισίων
1-20	2.120	3.969	0.2557	1.819	0.0004	ΕΠ.(≤ 0.1)
2-18	3.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	ΕΠ.(≤ 0.1)
3-20	4.670	30.420	0.0579	16.417	0.0001	ΕΠ.(≤ 0.1)
4-20	5.310	17.782	0.0309	0.862	0.0016	ΕΠ.(≤ 0.1)
ΕΠ = Επιτρέπεται, για $\theta_x \leq 0.1$ ΕΠΣ = Επιτρέπεται με επαύξηση σεισμικής έντασης, για $0.1 < \theta_x \leq 0.2$ ΑΠ = Απαγορεύεται, για $\theta_x > 0.3$						
Έλεγχος Επιρροών 2ας Τάξεως				Διεύθυνση Z		§ 4.4.2.2(2),(3),(4)
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Κατακόρυφα Φορτία	Σχετική Μετ/ση d_e (mm)	Οριζόντια Δύναμη (KN)	θ_z	Έλεγχος 2ας Τάξης Πλαισίων
1-52	2.120	3.969	0.0641	0.122	0.0016	ΕΠ.(≤ 0.1)
2-50	3.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000	ΕΠ.(≤ 0.1)
3-52	4.670	30.420	0.1207	15.503	0.0002	ΕΠ.(≤ 0.1)
4-54	5.310	17.782	0.2150	12.433	0.0008	ΕΠ.(≤ 0.1)
ΕΠ = Επιτρέπεται, για $\theta_z \leq 0.1$ ΕΠΣ = Επιτρέπεται με επαύξηση σεισμικής έντασης, για $0.1 < \theta_z \leq 0.2$ ΑΠ = Απαγορεύεται, για $\theta_z > 0.3$						
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης ορόφου				Διεύθυνση X	§ 4.4.3.2(1)	
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds = q \cdot d_e$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο=0.005	
1	2.120	0.4091	2.120	0.0001	Ικανοποιείται	
2	3.000	0.0000	0.880	0.0000	Ικανοποιείται	
3	4.670	0.0926	1.670	0.0000	Ικανοποιείται	
4	5.310	0.0494	0.640	0.0000	Ικανοποιείται	
Έλεγχος Σχετικής Μετακίνησης ορόφου				Διεύθυνση Z	§ 4.4.3.2(1)	
α/α Στάθμης	Συν/κο Υψός (m)	Σχετική Μετ/ση (mm) $ds = q \cdot d_e$	Ύψος Ορόφου (m)	Συντελεστής $dr \cdot v/h$	Έλεγχος Ορόφου Όριο=0.005	
1	2.120	0.1026	2.120	0.0000	Ικανοποιείται	
2	3.000	0.0000	0.880	0.0000	Ικανοποιείται	
3	4.670	0.1931	1.670	0.0001	Ικανοποιείται	
4	5.310	0.3439	0.640	0.0003	Ικανοποιείται	

			Σελίδα : 88
Υπολογισμός Σεισμικού Αρμού			§ 4.4.2.7(1),(2),(3)
$\Delta = \Delta_{υπολ.} \cdot q$			
	Δx (cm)		Δz (cm)
Διεύθυνση X	0.22	Διεύθυνση Z	0.14
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ: Υπολογισμός μέγιστων σεισμικών μετακινήσεων του κτιρίου σε περίπτωση εμβολισμού υποστυλωμάτων από πλάκες ή άλλα στοιχεία του παρακείμενου κτιρίου. Οι μετακινήσεις πολλαπλασιάστικαν με τον συντελεστή σεισμικής συμπεριφοράς q.			

Τοίχος : 1. EAST ZERO

Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) 4.76(m) Ύψος (h) 2.12(m)

Είδος Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος tef (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ε (KN/m3) 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m3) = 2.38 Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm2) = 2.98
 Καμπτική αντοχή f_{xk1} (N/mm2) = 0.10 Καμπτική αντοχή f_{xk2} (N/mm2) = 0.20
 Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk} (N/mm2) = 0.10 Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkm} (N/mm2) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm2) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Ποιότητα Χάλυβα :

Είδος :

Πάχος t (cm) =

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rd,c}$ (MPa) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ε (KN/m3)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm2)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm2)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm2)	2.98	3.86
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm2)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας $\gamma_M = 1.50$ ΚΑΔΕΤ

Τοίχος : 1. EAST ZERO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση σε κάμψη εντός επιπέδου

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **955.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

Έλεγχος Πεσσών	
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

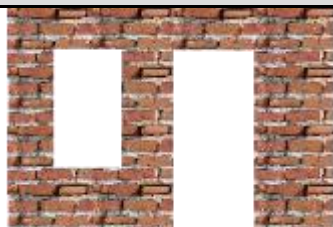
[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων

[illegible]

Τοίχος : 2. EAST PRIMO

Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) 4.76(m) Ύψος (h) 2.55(m)

Είδος Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος tef (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ε (KN/m3) 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m3) = 2.38 Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm2) = 2.98Καμπτική αντοχή f_{xk1} (N/mm2) = 0.10 Καμπτική αντοχή f_{xk2} (N/mm2) = 0.20Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk} (N/mm2) = 0.10 Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkm} (N/mm2) = 0.69
☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Πάχος t (cm) =

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm2) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Ποιότητα Χάλυβα :

Είδος :

Πάχος t (cm) =

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rd,c}$ (MPa) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ε (KN/m3)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm2)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm2)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm2)	2.98	3.86
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm2)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας $\gamma_M = 1.50$ ΚΑΔΕΤ

Τοίχος : 2. EAST PRIMO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση σε κάμψη εντός επιπέδου

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **955.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 12.3

Έλεγχος Πεσσών	
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων

[illegible]

Τοίχος : 2. EAST PRIMO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση για Εφελκυσμό

Μέση τάση διαρροής Fsy (MPa) = **1013.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

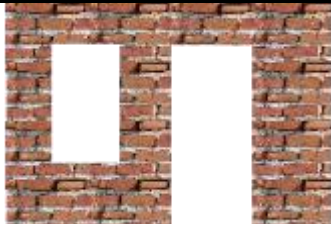
Έλεγχος Πεσσών	
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων	
1	Επικύρωση
2	Επικύρωση
3	Επικύρωση
4	Επικύρωση
5	Επικύρωση
6	Επικύρωση
7	Επικύρωση
8	Επικύρωση
9	Επικύρωση
10	Επικύρωση
11	Επικύρωση
12	Επικύρωση
13	Επικύρωση
14	Επικύρωση
15	Επικύρωση
16	Επικύρωση
17	Επικύρωση
18	Επικύρωση
19	Επικύρωση
20	Επικύρωση
21	Επικύρωση
22	Επικύρωση
23	Επικύρωση
24	Επικύρωση
25	Επικύρωση
26	Επικύρωση
27	Επικύρωση
28	Επικύρωση
29	Επικύρωση
30	Επικύρωση
31	Επικύρωση
32	Επικύρωση
33	Επικύρωση
34	Επικύρωση
35	Επικύρωση
36	Επικύρωση
37	Επικύρωση
38	Επικύρωση
39	Επικύρωση
40	Επικύρωση
41	Επικύρωση
42	Επικύρωση
43	Επικύρωση
44	Επικύρωση
45	Επικύρωση
46	Επικύρωση
47	Επικύρωση
48	Επικύρωση
49	Επικύρωση
50	Επικύρωση
51	Επικύρωση
52	Επικύρωση
53	Επικύρωση
54	Επικύρωση
55	Επικύρωση
56	Επικύρωση
57	Επικύρωση
58	Επικύρωση
59	Επικύρωση
60	Επικύρωση
61	Επικύρωση
62	Επικύρωση
63	Επικύρωση
64	Επικύρωση
65	Επικύρωση
66	Επικύρωση
67	Επικύρωση
68	Επικύρωση
69	Επικύρωση
70	Επικύρωση
71	Επικύρωση
72	Επικύρωση
73	Επικύρωση
74	Επικύρωση
75	Επικύρωση
76	Επικύρωση
77	Επικύρωση
78	Επικύρωση
79	Επικύρωση
80	Επικύρωση
81	Επικύρωση
82	Επικύρωση
83	Επικύρωση
84	Επικύρωση
85	Επικύρωση
86	Επικύρωση
87	Επικύρωση
88	Επικύρωση
89	Επικύρωση
90	Επικύρωση
91	Επικύρωση
92	Επικύρωση
93	Επικύρωση
94	Επικύρωση
95	Επικύρωση
96	Επικύρωση
97	Επικύρωση
98	Επικύρωση
99	Επικύρωση
100	Επικύρωση

[illegible]

	Σελίδα : 101
Τοίχος : 3. NORTH ZERO	Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) 9.46(m) Ύψος (h) 2.12(m)

Είδος Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος tef (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ε (KN/m3) 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m3) = 2.38 Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm2) = 2.98
 Καμπτική αντοχή f_{xk1} (N/mm2) = 0.10 Καμπτική αντοχή f_{xk2} (N/mm2) = 0.20
 Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk} (N/mm2) = 0.10 Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkm} (N/mm2) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm2) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rd0,c}$ (MPa) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ε (KN/m3)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm2)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm2)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm2)	2.98	3.86
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm2)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.50 ΚΑΔΕΤ

Τοίχος : 3. NORTH ZERO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση σε κάμψη εντός επιπέδου

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 10.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Έλεγχος Πεσσών	
----------------	--

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων

[illegible]

Τοίχος : 3. NORTH ZERO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση για Εφελκυσμό

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **1013.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

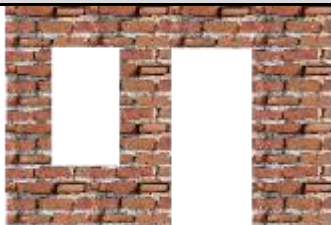
Έλεγχος Πεσσών

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων

[illegible]

	Σελίδα : 106
Τοίχος : 4. NORTH PRIMO	Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) 9.46(m) Ύψος (h) 2.55(m)

Είδος Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος tef (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ε (KN/m3) 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m3) = 2.38 Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm2) = 2.98
 Καμπτική αντοχή f_{xk1} (N/mm2) = 0.10 Καμπτική αντοχή f_{xk2} (N/mm2) = 0.20
 Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk} (N/mm2) = 0.10 Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkm} (N/mm2) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm2) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rd,c}$ (MPa) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ε (KN/m3)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm2)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm2)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm2)	2.98	3.86
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm2)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.50 ΚΑΔΕΤ

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **1013.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

[illegible][illegible]

Τοίχος : 4. NORTH PRIMO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση σε κάμψη εντός επιπέδου

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **1013.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Έλεγχος Πεσσών	
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων

[illegible]

Τοίχος : 4. NORTH PRIMO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση για Εφελκυσμό	
------------------------	--

Μέση τάση διαρροής F_{sy} (MPa) = **1013.00**

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

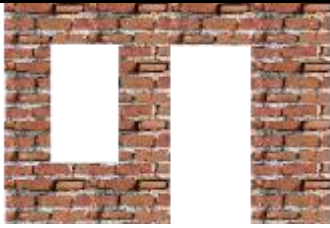
Έλεγχος Πεσσών

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων	
-------------------	--

[illegible]

	Σελίδα : 111
Τοίχος : 5. WEST ZERO	Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) 4.76(m) Ύψος (h) 2.12(m)

Είδος Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος tef (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ε (KN/m3) 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m3) = 2.38 Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm2) = 2.98
 Καμπτική αντοχή f_{xk1} (N/mm2) = 0.10 Καμπτική αντοχή f_{xk2} (N/mm2) = 0.20
 Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk} (N/mm2) = 0.10 Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkm} (N/mm2) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm2) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rd,c}$ (MPa) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

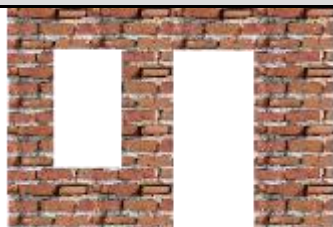
Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ε (KN/m3)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm2)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm2)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm2)	2.98	3.86
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm2)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.50 ΚΑΔΕΤ

	Σελίδα : 116
Τοίχος : 7. SOUTH ZERO	Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) 9.46(m) Ύψος (h) 2.12(m)

Είδος Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος tef (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ε (KN/m3) 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m3) = 2.38 Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm2) = 2.98
 Καμπτική αντοχή f_{xk1} (N/mm2) = 0.10 Καμπτική αντοχή f_{xk2} (N/mm2) = 0.20
 Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk} (N/mm2) = 0.10 Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkm} (N/mm2) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm2) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rd0,c}$ (MPa) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ε (KN/m3)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm2)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm2)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm2)	2.98	3.86
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm2)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.50 ΚΑΔΕΤ

Τοίχος : 7. SOUTH ZERO

Ενίσχυση Τοιχοποιίας με μεταλλικές ράβδους

Ενίσχυση σε κάμψη εντός επιπέδου

Εμβαδόν διατομής ράβδου (mm²) = 10.00

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

Εφελκυστική αντοχή διαρροής F_y (kN) = 10.1

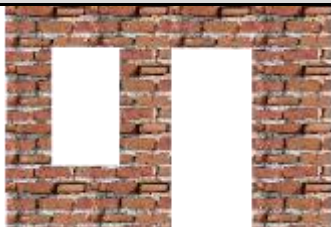
Έλεγχος Πεσσών	
----------------	--

[illegible]

Έλεγχος Υπέρθυρων

[illegible]

	Σελίδα : 121
Τοίχος : 8. SOUTH PRIMO	Αποτίμηση



Διαστάσεις : Μήκος (l) 9.46(m) Ύψος (h) 2.55(m)

Είδος Λίθινος Τοίχος δίστρωτος 54cm

Τύπος Διπλός τοίχος

Ισοδύναμο Πάχος tef (cm) = 54.00

Ειδικό Βάρος ε (KN/m3) 25.00

Μέτρο Ελαστικότητας E (KN/m3) = 2.38 Θλιπτική αντοχή f_k (N/mm2) = 2.98
 Καμπτική αντοχή f_{xk1} (N/mm2) = 0.10 Καμπτική αντοχή f_{xk2} (N/mm2) = 0.20
 Αρχική διατμητική αντοχή f_{vk} (N/mm2) = 0.10 Μέγιστη διατμητική αντοχή f_{vkm} (N/mm2) = 0.69

☒ Κατακόρυφοι αρμοί πλήρεις (&3.6.2)

Σκυρόδεμα πληρώσεως

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Θλιπτική Αντοχή f_{ck} (N/mm2) =

Μανδύας Σκυρόδεματος

Ποιότητα Σκυρόδεματος :

Είδος :

Πλέγμα : Φ /

Αρχική Διατμητική Αντοχή μανδύα $f_{Rd,c}$ (MPa) =

Πάχος t (cm) =

Μέτρο Ελαστικότητας E (Gpa) =

Ποιότητα Χάλυβα :

Πάχος t (cm) =

Συστατικά Τοιχοποιίας

Λιθοσώματα		
Όνομα	Λιθόσωμα Τραγάνα	Λιθόσωμα Τραγάνα
Πάχος (cm)	27.00	27.00
Τύπος	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Λαξευτοί φυσικοί λίθοι
Κατηγορία	II	II
Ομάδα	1	1
Ειδικό Βάρος ε (KN/m3)	25.00	25.00
Μέση θλιπτική αντοχή f_{bc} (N/mm2)	14.53	14.53
Θλιπτική αντοχή f_b (N/mm2)	15.29	15.29
Αντηρίδες (cm)		
Συντελεστής K		0.45
Χαρακτηριστική αντοχή f_k (N/mm2)	2.98	3.86
Κονιάματα		
Όνομα	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ	Τσιμεντοκονίαμα ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ
Τύπος	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως	Γενικής εφαρμογής με μελέτη συνθέσεως
Θλιπτική αντοχή f_m (N/mm2)	2.22	2.22

Συντελεστής ασφάλειας γ_M = 1.50 ΚΑΔΕΤ

