

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΡΙΩΡΟΦΗΣ ΣΕΙΣΜΟΠΛΗΚΤΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΟΝ ΤΥΡΝΑΒΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΝΤΑΝΑΣΗ ΑΘΑΝΑΣΙΑ

Πολιτικός Μηχανικός, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου (2023), athanasiantann@gmail.com

Περίληψη

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Αποτίμηση και ενίσχυση τριώροφης σεισμόπληκτης κατοικίας στον Τύρναβο Θεσσαλίας», πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, το ακαδημαϊκό έτος 2022-2023. Η εργασία αποτελείται από το θεωρητικό υπόβαθρο που βασίστηκε, την αποτίμηση και την ενίσχυση της υφιστάμενης κατασκευής αξιολογώντας σε κάθε στάδιο τα αποτελέσματα της αντίστοιχης διαδικασίας. Αντικείμενο της μελέτης αποτελεί η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της υφιστάμενης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα και η ενίσχυση αυτής με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε η Ανελαστική Στατική Ανάλυση (pushover) σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 και τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Η μελέτη υλοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος FespaC&FespaR έκδοση 8.10.22 της εταιρείας LH Λογισμικής. Η μελέτη πραγματοποιείται για σεισμόπληκτο κτήριο σπουδαιότητας II (συνήθη κτήρια) για στάθμη επιτελεστικότητας B2 («Προστασία Ζωής») και Γ1 («Αποφυγή Κατάρρευσης»). Τέλος, το υφιστάμενο κτήριο χρήζει ενίσχυσης. Εφαρμόζονται οι μέθοδοι ενίσχυσης στα δομικά στοιχεία, πραγματοποιείται η αποτίμηση με τα ενισχυόμενα μέλη και αξιολογούνται τα αποτελέσματα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε μία χώρα, όπως η Ελλάδα, που ευρίσκεται σε μία έντονα σεισμική περιοχή, οι γνώσεις μας για τη σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών δοκιμάζονται κάθε φορά που ερχόμαστε αντιμέτωποι με έναν ισχυρό σεισμό.[2]

Σκοπός της αποτίμησης υφισταμένου κτηρίου είναι η εκτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητάς του και ο έλεγχος ικανοποίησης των ελαχίστων υποχρεωτικών απαιτήσεων που επιβάλλονται από τους ισχύοντες Κανονισμούς. Στην Ελλάδα η αποτίμηση και η ενίσχυση γίνεται με βάση το Μέρος 3 του Ευρωκώδικα 8 και από τον Κανονισμό Επεμβάσεων.[4]

Οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού είναι συνδυασμοί αφενός μιας στάθμης επιτελεστικότητας και αφετέρου μιας σεισμικής δράσης, με δεδομένη «ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του κτηρίου» (σεισμός σχεδιασμού).[4]

$\alpha_g / \alpha_{g,ref}$	Στάθμη Επιτελεστικότητας Φέροντος Οργανισμού		
	A «Περιορισμένες Βλάβες»	B «Σημαντικές Βλάβες»	Γ «Οιονεί Κατάρρευση»
1.80	A0	B0	Γ0
1.30	A1 ⁺	B1 ⁺	Γ1 ⁺
1.00	A1	B1	Γ1
0.75	A2 ⁺	B2 ⁺	Γ2 ⁺
0.60	A2	B2	Γ2
0.45	A3 ⁺	B3 ⁺	Γ3 ⁺
0.35	A3	B3	Γ3
0.25	A4 ⁺	B4 ⁺	Γ4 ⁺
<0.25	A4	B4	Γ4

- $\alpha_{g,ref}$ είναι η οριζόντια εδαφική επιτάχυνση αναφοράς, που ορίζεται με πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης 10% στα 50 χρόνια συμβατικής ζωής του έργου.
- α_g είναι η οριζόντια εδαφική επιτάχυνση.

Πίνακας 1: Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού Φέροντος Οργανισμού.[4]

Στην παράγραφο 2.2.2 του Κανονισμού Επεμβάσεων (3^η αναθεώρηση 2022) ορίζονται οι στάθμες επιτελεστικότητας συναρτήσει του βαθμού βλάβης ως εξής:

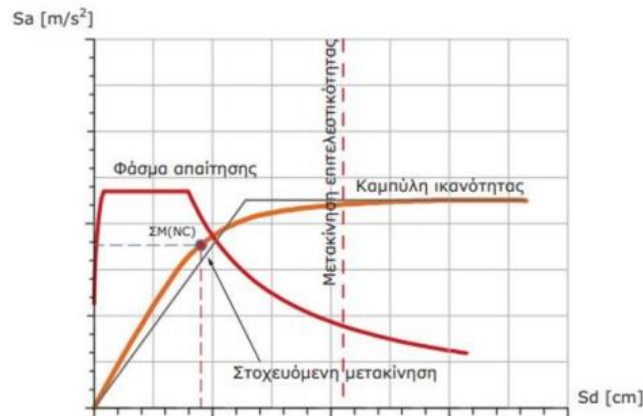
- 1) «Περιορισμένες βλάβες» (Α)
- 2) «Σημαντικές βλάβες» (Β)
- 3) «Οιονεί κατάρρευση» (Γ)

Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ.) που αφορά δράσεις ή αντιστάσεις, εκφράζει την επάρκεια των πληροφοριών περί του υφισταμένου κτηρίου και λαμβάνεται υπόψη κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό. Η Σ.Α.Δ. δεν είναι αναγκαστικώς ενιαία για ολόκληρο το κτήριο. Προσδιορίζονται επιμέρους Σ.Α.Δ. για τις διάφορες επιμέρους κατηγορίες πληροφοριών. Διακρίνονται τρεις Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων:

- i. «Υψηλή»
- ii. «Ικανοποιητική»
- iii. «Ανεκτή»

Βασικός στόχος της ανελαστικής στατικής ανάλυσης είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν το κτήριο υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός. Για κατ' εξοχήν πλάστιμα στοιχεία, οι τιμές των παραμορφώσεων αυτών συγκρίνονται απευθείας με τις αντίστοιχες τιμές σχεδιασμού.[4],[1]

Ο έλεγχος γίνεται με βάση τις μετακινήσεις. Πιο αναλυτικά, για το γεγονός, αν η ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής για τη συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας είναι μεγαλύτερη από τη στοχευόμενη. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιλαμβάνει τον έλεγχο της θέσης της στοχευόμενης μετατόπισης, δηλαδή αν βρίσκεται αριστερά της διακεκομμένης γραμμής που συμβολίζει τη μετακίνηση για την αστοχία του πρώτου μέλους της κατασκευής, γεγονός που θα σήμαινε την επάρκειά της. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα όπου ικανοποιεί την συγκεκριμένη απαίτηση.[5]



Εικόνα 1: Διάγραμμα τελικού ελέγχου επάρκειας κατασκευής.[5]

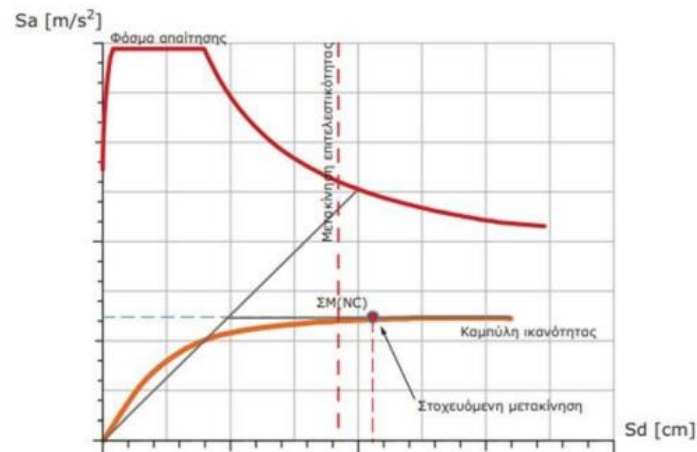
Ακολουθεί ο έλεγχος σε επίπεδο μέλους. Πραγματοποιείται η εύρεση της στοχευόμενης μετακίνησης της κατασκευής, υπολογίζονται ξεχωριστά για κάθε μέλος οι γωνίες στροφής-χορδής που αντιστοιχούν στο βήμα επίλυσης όπου παρατηρείται η μετακίνηση αυτή. Ο λόγος της τιμής αυτής, προς την αντίστοιχη τιμή που ορίζει το κριτήριο επιτελεστικότητας, είναι ο συντελεστής επάρκειας της κάθε στάθμης επιτελεστικότητας και αυτό ισχύει για τον έλεγχο επάρκειας σε κάμψη. Αντίθετα, ο λόγος της τέμνουσας του μέλους που αντιστοιχεί στη στοχευόμενη μετακίνηση προς την διατμητική αντοχή του μέλους, είναι ο λόγος επάρκειας σε διάτμηση και αφορά μόνο τη στάθμη επιτελεστικότητας Αποφυγή Κατάρρευσης (NC).

$$\lambda = \theta / \theta_{lim}$$

$$\lambda = V / VR$$

Στην περίπτωση που κάποιοι έλεγχοι επάρκειας υπερβούν τη μονάδα, η κατασκευή δεν πληροί τον καθολικό έλεγχο επάρκειας. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται επανασχεδιασμός του φορέα σε περίπτωση νέου δομήματος ή ενίσχυση σε περίπτωση υφιστάμενου. Ο στόχος επιτυγχάνεται με την εκπλήρωση όλων των στόχων επιτελεστικότητας και γίνεται ως εξής:

- Με την αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής μέσω αύξησης των διαστάσεων των διατομών και του οπλισμού.
- Με την αύξηση της διατιθέμενης πλαστιμότητας της κατασκευής μέσω της καλύτερης περίσφιξης των διατομών.[5],[1]



Εικόνα 2: Διάγραμμα μη ικανοποίησης του ελέγχου επάρκειας.[5]

Αρχικά, πρέπει να τονιστεί ότι δεν μπορούμε να αποφύγουμε τις βλάβες στις κατασκευές έστω και αν ο σχεδιασμός είχε γίνει σύμφωνα με τους πιο σύγχρονους Κανονισμούς με άρτια μελέτη και κατασκευή. Το γεγονός αυτό, δεν οφείλεται μόνο στο βαθμό αξιοπιστίας των δεδομένων και ιδιαίτερα των σεισμικών ή στις παραδοχές εξιδανίκευσης και τις προσεγγίσεις του αναλυτικού προσομοιώματος. Επιπλέον, η φιλοσοφία των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών, επιτρέπει τις βλάβες όχι μόνο στα μη-φέροντα στοιχεία αλλά στο ίδιο το δομικό σύστημα. Επιπρόσθετα, αξίζει να τονιστεί ότι ο χρόνος διάρκειας κατασκευής του έργου είναι τεράστιος. Επίσης, πάνω από το 50% των διώροφων και τριώροφων κτηρίων έχουν χρόνο περάτωσης 10 χρόνια.[2]

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ότι συχνά οι ιδιοκτήτες κυρίως διώροφων οικοδομών φροντίζουν την αποπεράτωση του ορόφου που κατοικούν σε αντίθεση με το ισόγειο που παραμένει αδιαμόρφωτο. Εξάιρεση αποτελεί η περιοχή του συνήθως έκκεντρου κλιμακοστασίου μαζί με την είσοδο για τον όροφο, όπου χτίζονται οι τοιχοπληρώσεις αυξάνοντας έτσι ακόμη περισσότερο την ασυμμετρία κατανομής των δυσκαμψιών στο ισόγειο. Έτσι δημιουργείται:

- η περίπτωση μαλακού ορόφου και
- η δυσμενέστερη από σεισμικής απόψεως κατανομή των δυσκαμψιών

Επίσης, τα κτήρια με πυλωτή, όπου έχουμε την δημιουργία μαλακού ορόφου είναι ευάλωτα σε έναν ισχυρό σεισμό. Συμπληρώνουμε ότι τα «κοντά» υποστυλώματα καταπονούνται με μεγαλύτερη διατμητική ένταση λόγω της μεγαλύτερης δυσκαμψίας τους αλλά έχουν και

μικρότερη διατμητική αντοχή. Βέβαια, μπορούν να εμφανιστούν βλάβες λόγω δυσμενούς επίδρασης των τοιχοπληρώσεων στα περιβάλλοντα δομικά στοιχεία. Επίσης, βλάβες παρουσιάζονται όταν κατά τον σεισμό γίνεται πρόσκρουση με γειτονικό κτήριο ή εμφανίζονται προβλήματα στην θεμελίωση. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι μία κατηγορία βλαβών που δημιουργούνται στις κατασκευές οφείλεται στην επίδραση περιβαλλοντικών δράσεων, όπως για παράδειγμα οξείδωση των οπλισμών και αποφλοίωση του σκυροδέματος επικάλυψης.[2]

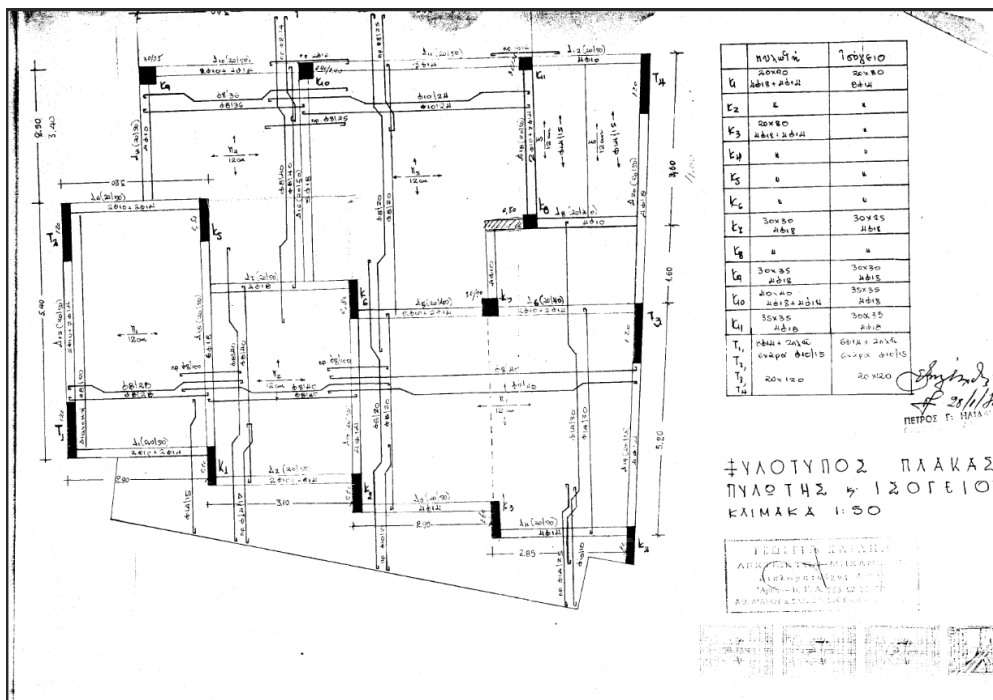
Η επιλογή της κατάλληλης λύσης για την επισκευή ή την ενίσχυση μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα απαιτεί να χρησιμοποιηθούν νέα υλικά και νέες τεχνολογίες σε συνδυασμό με τροποποιημένα παραδοσιακά υλικά. Συνοπτικά, στα υποστυλώματα διακρίνουμε δύο ειδών μεθόδους επισκευής: α) με χρήση ρητινενέσεων ή επισκευαστικών κονιαμάτων β) με καθαίρεση και αποκατάσταση των περιοχών βλάβης και η ενίσχυσή τους, βασίζεται σε δύο τεχνικές που αφορούν την ενεργή περίσφιγξη του στοιχείου και την αύξηση της διατομής του υποστυλώματος με νέες στρώσεις σκυροδέματος και νέους οπλισμούς, κατασκευάζοντας ένα μανδύα γύρω από το αρχικό στοιχείο. Η ενίσχυση με περίσφιξη επιτυγχάνεται είτε με χρήση μεταλλικού κλωβού είτε με χρήση Ινοπλισμένων Πολυμερών. Επίσης, ενίσχυση υποστυλωμάτων γίνεται και με την τεχνική της κατασκευής μανδύων σε υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος και επιτυγχάνει την αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητάς. Περιληπτικά, η ενίσχυση των δοκών γίνεται με κατασκευής μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα που αποτελεί την καταλληλότερη μέθοδο για αύξηση της διατμητικής και καμπτικής αντοχής, με χρήση χιαστί κολάρων και με χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή. Συνεχίζοντας, η ενίσχυση των τοιχωμάτων επιτυγχάνεται με την τεχνική της περίσφιγξης και την τεχνική των μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος. Προχωρώντας, ο τρόπος ενίσχυσης των στοιχείων θεμελίωσης στοχεύει στην αύξηση της επιφάνειας της βάσης των πεδίων ή των πεδילוδοκών μιας κατασκευής και εφαρμόζεται η τεχνική των μανδύων για ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου (υποστυλώματος ή τοιχώματος) ή η περιμετρική εκσκαφή κάτω από το παλιό πέδιλο με προσωρινή στήριξη σ' αυτήν την περιοχή, η οποία γίνεται με μεταλλικές διατομές Ι που ενσωματώνονται στο νέο στοιχείο.[2]

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

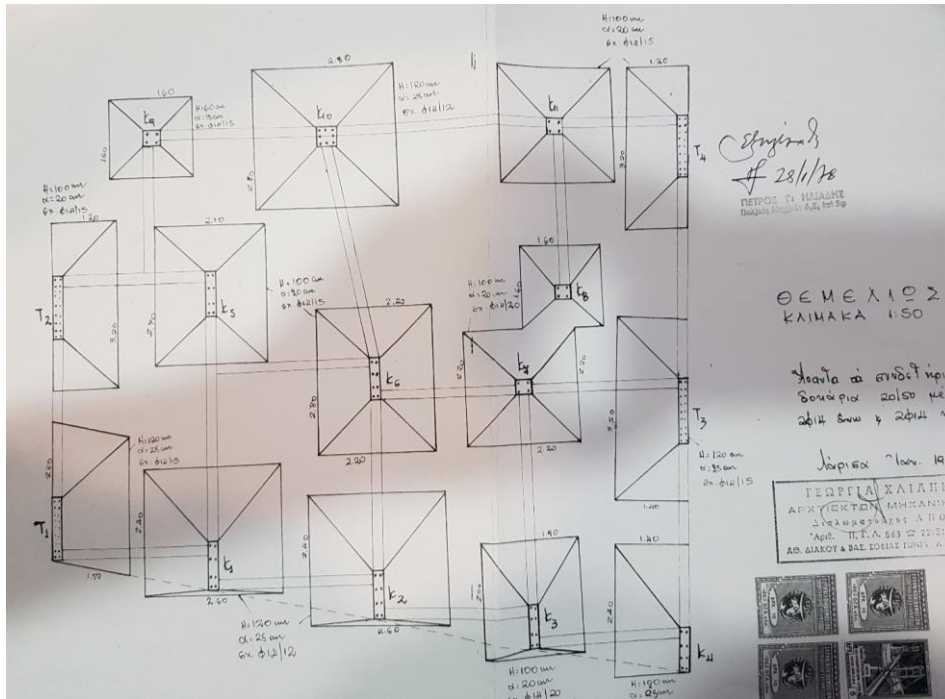
Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί μία σεισμόπληκτη κατασκευή στον Τύρναβο, Θεσσαλίας. Πρόκειται για ένα υφιστάμενο κτήριο οπλισμένου σκυροδέματος, το οποίο αποτελείται από ισόγειο-πυλωτή και δύο ορόφους. Το έτος κατασκευής του κτηρίου είναι το 1978. Η μελέτη του υφιστάμενου κτηρίου έγινε σύμφωνα με τον Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος του 1954 και του Αντισεισμικού Κανονισμού Οικοδομικών Έργων του 1959. Το συγκεκριμένο κτήριο έπειτα από τον σεισμό της Ελασσόνας, που πραγματοποιήθηκε στις 3 Μαρτίου 2021 και ήταν μεγέθους 6.3 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, υπέστη σοβαρές βλάβες και καθίσταται ως σεισμόπληκτο. Επίσης, ο φέρων οργανισμός του κτηρίου αποτελείται από δοκούς, υποστυλώματα και τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος και ο οργανισμός πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή.



Εικόνα 3: Υφιστάμενο κτήριο.




Εικόνα 4: Ευλότυπος ισογείου υφιστάμενης κατασκευής.



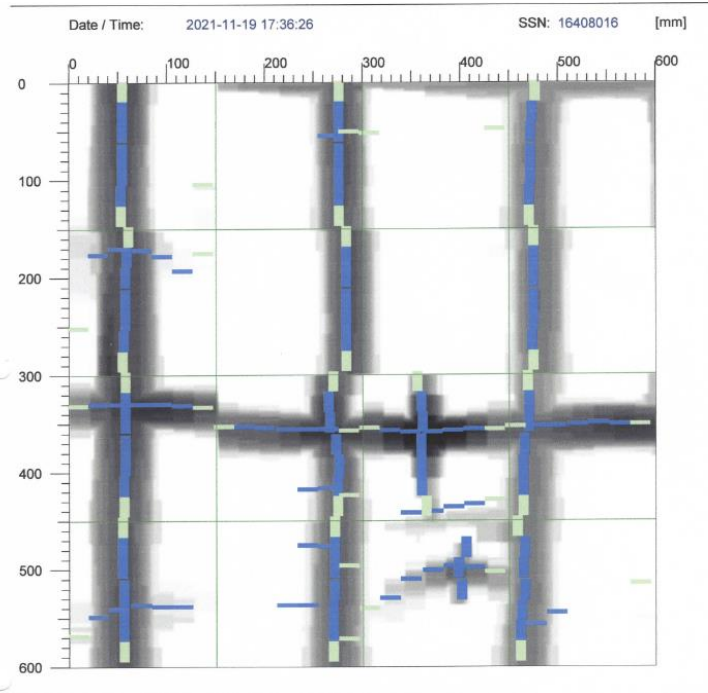
Εικόνα 5: Ξυλότυπος θεμελίωσης υφιστάμενης κατασκευής

Με βάση τον ξυλότυπο, το στατικό τεύχος της μελέτης και μετρήσεις που έγιναν στο υφιστάμενο κτήριο αντλούνται οι παραδοχές περί φορτίων και ποιότητας των υλικών.

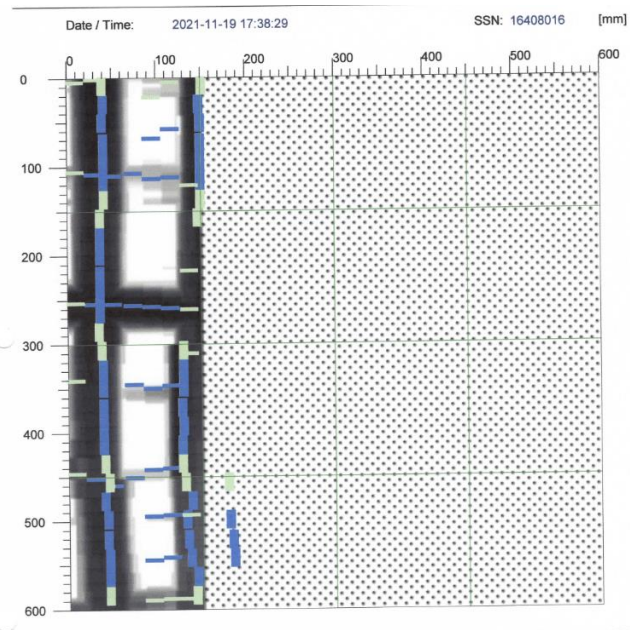
 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ Τηλ. 2410 / 661818, 2410 / 661919		Αριθμός Προσωπικού	276							
		Ημερομηνία Έκδοσης	12/11/2021							
ΑΝΑΦΟΡΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΠΥΡΗΝΩΝ ΕΚΥΡΩΔΕΜΑΤΟΣ κατ' Ε-7 ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΛΕΙ ΤΗΝ ΕΠΙΘΕΤΗ ΤΟΥ ΥΠΕΚΘΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ										
Πελάτης Customer	Γ. ΡΟΥΠΑΚΙΔΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ Ο.Ε.									
Περιγραφή Δείγματος Sample Description	ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ ΠΥΡΗΝΕΣ ΕΚΔΗΡΜΕΝΟΥ ΕΚΥΡΩΔΕΜΑΤΟΣ									
Κωδικός Δείγματος Sample Code Nr	1522-1524									
Έργο Project	ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΚΥΡΩΔΕΜΑΤΟΣ ΥΦΕΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ, ΚΟΛΟΒΕΤΣΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ, 5ΤΟΝ ΤΥΡΝΑΒΟ Ν. ΛΑΡΙΣΣΑΣ									
Θέση Δειγματοληψίας Job Location	ΤΟΙΧΙΟ Κ12, ΤΟΙΧΙΟ Κ11, ΤΟΙΧΙΟ Κ7									
Ημερομηνία Εκσυρθείσης Concrete Date	-									
Ημερομηνία Δειγματοληψίας Date Sampled	8/11/2021									
Ημερομηνία Δοκιμής Test Date	12/11/2021									
A/A	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D (cm)	ΥΨΟΣ H (cm)	ΒΑΡΟΣ ΠΥΡΗΝΑ (kg)	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΕΙΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΠΥΡΗΝΑ (kg/m ³)	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ (kN)					
1522	10,00	10,10	1905	2402	175,2					
1523	10,00	10,10	1913	2412	163,9					
1524	10,00	10,10	1898	2393	171,4					
A/A	Αντοχή πυρήνα (MPa)	H/D	L1	L2	L4	L2xL4	L1xL2xL4 4	Αντοχή καλίνδρου 15x30cm (MPa)	L3	Αντοχή εδάφους 15cm (MPa)
1522	22,3	1,01	0,852	0,959	1,03	0,988	0,842	18,8	1,217	22,9
1523	20,9	1,01	0,852	0,959	1,03	0,988	0,842	17,6	1,224	21,5
1524	21,8	1,01	0,852	0,959	1,03	0,988	0,842	18,4	1,220	22,4
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΚΥΡΩΔΕΜΑΤΟΣ ΥΦΕΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ										
x_G = 22,3 MPa			s = 0,7 MPa			f_{tr} = 21,2 MPa				
Σύμφωνα με την Εγκύκλιο Ε-7, η παρτίδα σκυροδέματος που αντιπροσωπεύεται από τους ανωτέρω παρήγες, ανήκει στην κατηγορία σκυροδέματος C 16/20.										

Εικόνα 6: Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη πυρήνων σκυροδέματος κατ' Ε-7.

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι σύμφωνα με την Εγκύκλιο Ε-7, η παρτίδα σκυροδέματος που αντιπροσωπεύεται από τους ανωτέρω πυρήνες, ανήκει στην κατηγορία σκυροδέματος C16/20.



Εικόνα 7: Αποτύπωση υφιστάμενου οπλισμού.
Υποστύλωμα Κ2.



Εικόνα 8: Αποτύπωση υφιστάμενου οπλισμού.
Υποστύλωμα Κ2.

Οι παραπάνω εικόνες αναφέρονται σε μία δοκιμή που έγινε με το όργανο ελέγχου FERROSCANPS 200 (HILTI) και παρουσιάζει τον έλεγχο βάθους επικάλυψης οπλισμού σε στοιχεία από σκυρόδεμα καθώς και την αποτύπωση των υφιστάμενων ράβδων οπλισμού. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον παλιό ξυλότυπο (εικόνα: 4) απεικονίζει τον οπλισμό στο υποστύλωμα Κ2 του ισόγειου. Ο οριζόντιος οπλισμός του υποστυλώματος είναι Φ6, ενώ ο κατακόρυφος οπλισμός Φ12. Σύμφωνα λοιπόν με τις παραπάνω εικόνες επιβεβαιώθηκαν οι οπλισμοί που φαίνονται στους ξυλοτύπους της παλαιάς μελέτης, ο δε εγκάρσιος οπλισμός που δεν αναφερόταν τους ξυλοτύπους, προέκυψε απ' την αποτύπωση ότι είναι Φ6/300.

Ακόμη, σύμφωνα με τα δεδομένα μελέτης της κατασκευής εντοπίζεται ότι η ποιότητα του χάλυβα είναι StI. Με βάση τα σημερινά δεδομένα εκτιμάται ποιότητας S220. Τα φορτία της υφιστάμενης κατασκευής είναι τα εξής:

MONIMA ΦΟΡΤΙΑ	
gc Επικάλυψη:	
Πρόβολος	1.00 KN/m ²
Πλάκα	1.50 KN/m ²
gd Μόνιμο Κατανεμημένο:	
Πρόβολος	0.75 KN/m ²
Πλάκα	0.75 KN/m ²
gb Κονίαμα:	
Πρόβολος	0.00 KN/m ²
Πλάκα	0.00 KN/m ²
ΦΟΡΤΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ	
q Κινητό:	
Πρόβολος	5.00 KN/m ²
Πλάκα	2.00 KN/m ²

Πίνακας 2: Φορτία υφιστάμενης κατασκευής.

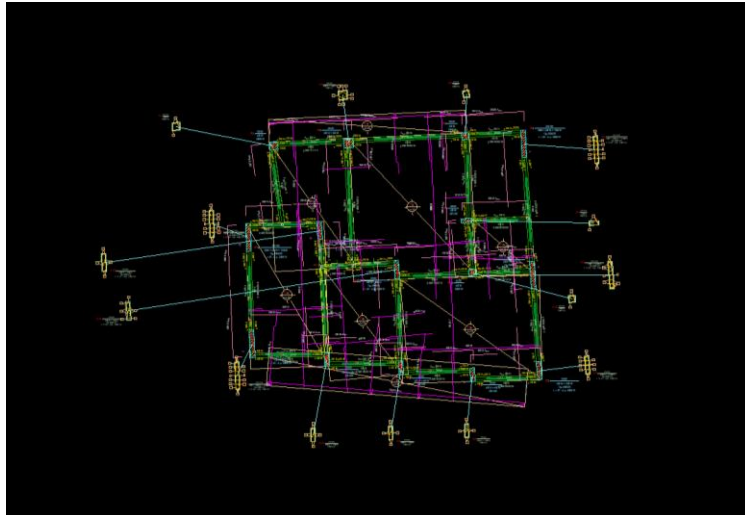
Σύμφωνα με τα δεδομένα του κτηρίου η επιτρεπόμενη τάση του εδάφους είναι $\sigma_{επ.} = 250 \text{ KN/m}^2$. Επίσης, ο δείκτης εδάφους προκύπτει $K_s = 45000 \text{ KN/m}^3$.

Η Ελλάδα είναι μία σεισμογενής χώρα και γι' αυτό τον λόγο υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I, II και III, τα όρια των οποίων φαίνονται στον Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας, ο οποίος αναθεωρήθηκε και οι τροποποιήσεις του αναγράφονται στο ΦΕΚ1154/Β' 12.8.2003. Συγκεκριμένα, η κατασκευή που μελετάμε βρίσκεται στη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας I, με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $agR = 0,16g$.

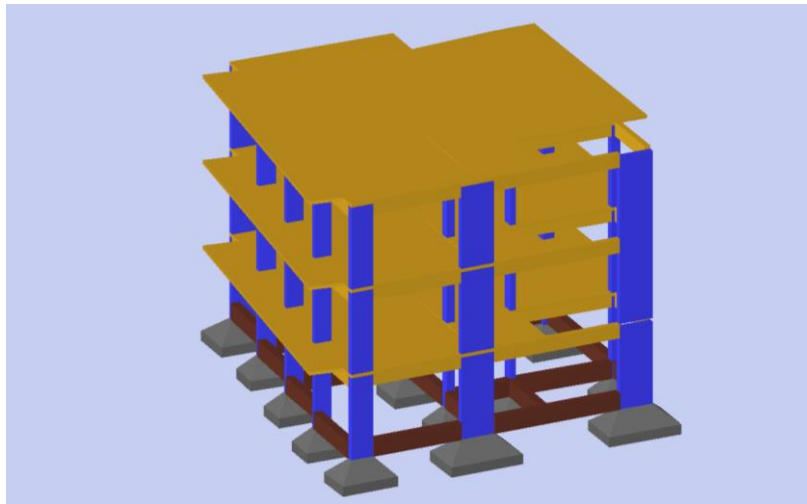
Το υφιστάμενο κτήριο ανήκει στην κατηγορία σπουδαιότητας II (συνήθη κτήρια) με συντελεστή σπουδαιότητας $\gamma_I = 1.00$. Στην συγκεκριμένη υφιστάμενη κατασκευή, με βάση τα δεδομένα των ξυλοτύπων, πυρήνων και στατικών μελετών που διαθέτουμε από παλαιά η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων λήφθηκε «Ικανοποιητική».

3. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

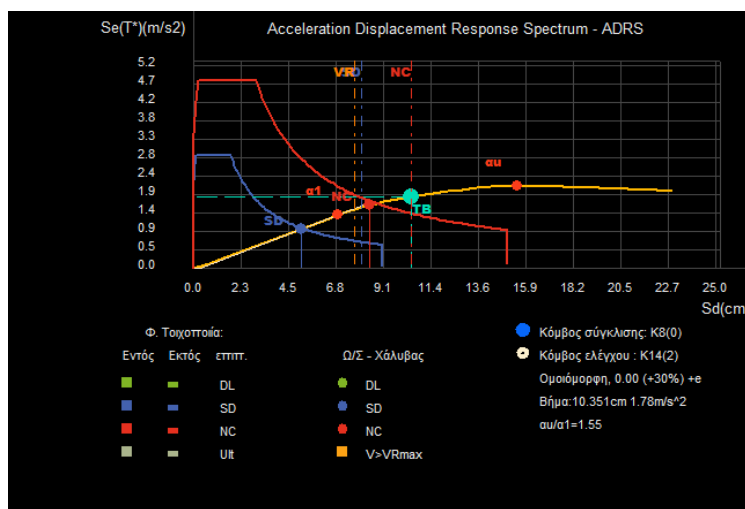
Η παρακάτω όπλιση του κτηρίου που αποτέλεσε εργαλείο και με ελάχιστες τροποποιήσεις εισήγαμε τους πραγματικούς υφιστάμενους οπλισμούς σύμφωνα με τους οποίους θα γίνει η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής.



Εικόνα 9: Ξυλότυπος ισογείου.
Απεικόνιση με το λογισμικό FespaC & FespaR έκδοση 8.1.0.22



Εικόνα 10: Τρισδιάστατη απεικόνιση κτηρίου.
Απεικόνιση με το λογισμικό FespaC & FespaR έκδοση 8.1.0.22



Εικόνα 11: Διάγραμμα Απαιτήσης-Ικανότητας.
Απεικόνιση με το λογισμικό FespaC & FespaR έκδοση 8.1.0.22

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η μπλε κουκίδα που αντιστοιχεί σε στοχευόμενη μετακίνηση για τη στάθμη SD είναι πιο αριστερά από την αντίστοιχη διακεκομμένη γραμμή η οποία αντιστοιχεί στην ικανότητα μετακίνησης του κτηρίου για τη στάθμη SD. Ακόμη, βλέπουμε στα διαγράμματα ότι η γαλάζια κουκίδα, η οποία αντιστοιχεί σε στοχευόμενη μετακίνηση για τη στάθμη NC είναι πιο αριστερά από την αντίστοιχη διακεκομμένη γραμμή, που αντιστοιχεί στην ικανότητα μετακίνησης του κτηρίου της στάθμης αυτής. Τέλος, παρατηρείται ότι έχουμε διατμητική αστοχία του κτηρίου, καθώς η διακεκομμένη γραμμή VR (διατμητική αστοχία) στο διάγραμμα ADRS βρίσκεται πριν από την κουκίδα της στοχευόμενης μετακίνησης της στάθμης επιτελεστικότητας NC και από αυτό συμπεραίνουμε ότι απαιτείται ενίσχυση του κτηρίου.

Στάθμη επιτελεστικότητας SD

1. Στοχευόμενη μετακίνηση dt			
X:	+6.0cm -5.6cm	$0^\circ-30^\circ-270^\circ +eZ$, Ιδιομορφική $180^\circ+30^\circ-90^\circ -eZ$, Ιδιομορφική	Z: +4.0cm -3.7cm
			$90^\circ-30^\circ-180^\circ +eX$, Ιδιομορφική $270^\circ+30^\circ-0^\circ -eX$, Ιδιομορφική
2. Στοχευόμενη πλαστιμότητα (για ανασχεδιασμό)			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s) =$	0.78	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστιμότητας	$q_u (=q_n) =$	1.00	
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας	$\max \mu_d =$	1.00	$270^\circ-30^\circ-180^\circ -eX$, Ιδιομορφική
3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)			
Πλαστιμότητας $q_u (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_u)$	$q_u =$	1.04	$q_s =$ 1.10
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q =$	$q_u \cdot q_s =$	1.14
			$180^\circ-30^\circ-270^\circ -eZ$, Ομοιάμορφη
4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_d =$	μ_d / q_u	1.00
	$= 1.00 / 1.00 =$		$270^\circ-30^\circ-180^\circ -eX$, Ιδιομορφική
5. Ικανότητα επιτάχυνσης για $\lambda_{max} = 1$			
	$\max a_g (SD) =$	0.145	$0^\circ-30^\circ-270^\circ -eZ$, Ιδιομορφική
6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]			
Περίοδος επαναφοράς SD	$\max T_R (SD) = (0.145/0.160)^{2.4} \cdot 475 =$	376 έτη	> 140 (ok)
			[EC8-2 (A.3)]
Πιθανότητα υπέρβασης SD σε 50 έτη	$P(SD) = 1 - e^{-50/376} =$	12.46%	< 30% (ok)
			[EC8-1§2.1(1)]
Στόχος που ικανοποιείται:	B2 : P(SD) < 50%		[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για την στάθμη επιτελεστικότητας SD (Προστασία Ζωής). Απεικόνιση με το λογισμικό FespaC & FespaR έκδοση 8.1.0.22

Στάθμη επιτελεστικότητας NC

1. Στοχευόμενη μετακίνηση dt			
X:	+9.8cm	$0^\circ-30^\circ-270^\circ +eZ$, Ιδιομορφική	Z:
	-9.5cm	$180^\circ+30^\circ-90^\circ -eZ$, Ιδιομορφική	+6.6cm
			-6.3cm
			$90^\circ-30^\circ-180^\circ +eX$, Ιδιομορφική
			$270^\circ+30^\circ-0^\circ -eX$, Ιδιομορφική
2. Στοχευόμενη πλαστιμότητα (για ανασχεδιασμό)			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s) =$	1.43	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστιμότητας	$q_u (=q_n) =$	1.05	
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας	max $\mu_d =$	1.05	$0^\circ+30^\circ-90^\circ +eZ$, Ομοιόμορφη
3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)			
Πλαστιμότητας $q_u (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_u)$	$q_u =$	1.13	$q_s =$ 1.29
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	min q =	$q_u \cdot q_s =$	1.47
			$180^\circ+30^\circ-90^\circ -eZ$, Ομοιόμορφη
4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_1 =$	μ_d / q_u	
	$= 1.04 / 1.04 =$	1.00	$270^\circ-30^\circ-180^\circ -eX$, Ιδιομορφική
5. Ικανότητα επιτάχυνσης για $\lambda_{max} = 1$			
	max a_g (NC) =	0.191	$0^\circ-30^\circ-270^\circ -eZ$, Ιδιομορφική
	max a_g (VR) =	0.120	$270^\circ-30^\circ-180^\circ -eX$, Ιδιομορφική
6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]			
	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{1/k} \therefore \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$		[EC8-2 (A.3)]
Περίοδος επαναφοράς NC	max T_R (NC) =	$(0.191/0.160)^{2.4} \cdot 475 =$	725 έτη > 475 (ok)
Περίοδος επαναφοράς VR	max T_R (VR) =	$(0.120/0.160)^{2.4} \cdot 475 =$	239 έτη < 475 !
	$P = 1 - e^{-T_u/\max T_R}$		[EC8-1§2.1(1)]
Πιθανότητα υπέρβασης NC σε 50 έτη	P(NC) =	$1 - e^{-50/725} =$	6.67% < 10% (ok)
Πιθανότητα υπέρβασης VR σε 50 έτη	P(VR) =	$1 - e^{-50/239} =$	18.84% > 10% !
Στόχος που ικανοποιείται:	G2 : P(NC), P(VR) < 50%		[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

Πίνακας 4: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για την στάθμη επιτελεστικότητας NC (Αποφυγή Κατάρρευσης).

Απεικόνιση με το λογισμικό FespaC & FespaR έκδοση 8.1.0.22

Η έκδοση του λογισμικού είχε τις διατάξεις της 2^{ης} έκδοσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ, ωστόσο έγιναν συγκρίσεις και με τους στόχους της 3^{ης} έκδοσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Οι παραπάνω πίνακες είναι με βάση τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2^η αναθεώρηση 2017). Με βάση τα αποτελέσματα της αποτίμησης του κτηρίου διαπιστώθηκε ανεπάρκεια του φορέα για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC (Αποφυγή Κατάρρευσης) με στόχο Γ1 για κτήρια σπουδαιότητας II.

Από τους πίνακες αντλούμε τις εξής πληροφορίες:

- η στάθμη επιτελεστικότητας SD (Σημαντικές Βλάβες) επιτυγχάνεται για σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης σε 50 έτη 12.46 % < 50% και περίοδο επαναφοράς 376 έτη >140 έτη που σημαίνει ότι ικανοποιείται ο στόχος B2.
- για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC (Αποφυγή Κατάρρευσης) δεν ικανοποιείται ο στόχος Γ1. Παρατηρούμε διατημητική αστοχία του κτηρίου για σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης σε 50 έτη 18.84 % > 10% και περίοδο επαναφοράς 239 έτη < 475 έτη.
- ο φορέας χρειάζεται κάποιο είδος ενίσχυσης, αν όχι συνολικά, τουλάχιστον στα μέλη που εμφάνισαν ανεπάρκειες.

Κατά την πρόσφατη αναθεώρηση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (3^η αναθεώρηση 2022) ορίζονται περισσότερες σεισμικές κλάσεις σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες. Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω για στάθμη επιτελεστικότητας SD «Σημαντικές Βλάβες» συμπεραίνουμε ότι το κτήριο επιτυγχάνει τον στόχο B2+ που αντιστοιχεί σε σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης 20% στα 50 έτη (περίοδο επαναφοράς 225 έτη). Για τη στάθμη επιτελεστικότητας NC (Αποφυγή Κατάρρευσης) επιτυγχάνεται, ο στόχος G2+ που αντιστοιχεί και πάλι σε σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης 20% στα 50 έτη (περίοδο

επαναφοράς 225 έτη), ο οποίος είναι όμως χαμηλότερος απ' τον ελάχιστο απαιτούμενο που για κτήρια κατηγορίας σπουδαιότητας II είναι ο Γ1 (σεισμός με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη και περίοδο επαναφοράς 475 έτη). Συμπερασματικά λοιπόν, το κτήριο χρειάζεται ενίσχυση.

$a_g / a_{g,ref}$	Στάθμη Επιτελεσματικότητας Φέροντος Οργανισμού		
	A «Περιορισμένες Βλάβες»	B «Σημαντικές Βλάβες»	Γ «Οιονεί Κατάρρευση»
1.80	A0	B0	Γ0
1.30	A1⁺	B1⁺	Γ1⁺
1.00	A1	B1	Γ1
0.75	A2⁺	B2⁺	Γ2⁺
0.60	A2	B2	Γ2
0.45	A3⁺	B3⁺	Γ3⁺
0.35	A3	B3	Γ3
0.25	A4⁺	B4⁺	Γ4⁺
<0.25	A4	B4	Γ4

Πίνακας 5: Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού Φέροντος Οργανισμού ΚΑΝ.ΕΠΕ.[4]

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	$a_g / a_{g,ref}$
2475	2%	1.80
975	5%	1.30
475	10%	1.00
225	20%	0.75
135	30%	0.60
70	50%	0.45
40	70%	0.35
20	90%	0.25
<20	>90%	<0.25

Πίνακας 6: Ενδεικτική συσχέτιση περιόδου επαναφοράς και πιθανότητας υπέρβασης της σεισμικής δράσης με την αντίστοιχη ανηγμένη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση. ΚΑΝ.ΕΠΕ.[4]

4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης αποτίμησης ο φορέας της υφιστάμενης κατασκευής παρουσιάζει ανάγκες ενίσχυσης έναντι διάτμησης. Σημειώνεται ότι, στα παρακάτω δομικά στοιχεία που θα αναφερθούν, η αρίθμηση τους διατυπώνεται με βάση τον ξυλότυπο της αποτίμησης του προγράμματος FESPA (βλέπε εικόνα: 9,12). Συγκεκριμένα, αστόχησαν τα εξής μέλη δοκών:

- Στο ισόγειο: Δ5.1 (0), Δ6.1 (0), Δ11.1(0), και Δ16.1(0)
- Στον Α' όροφο: Δ5.1 (1), Δ6.1 (1) και Δ11.1(1)

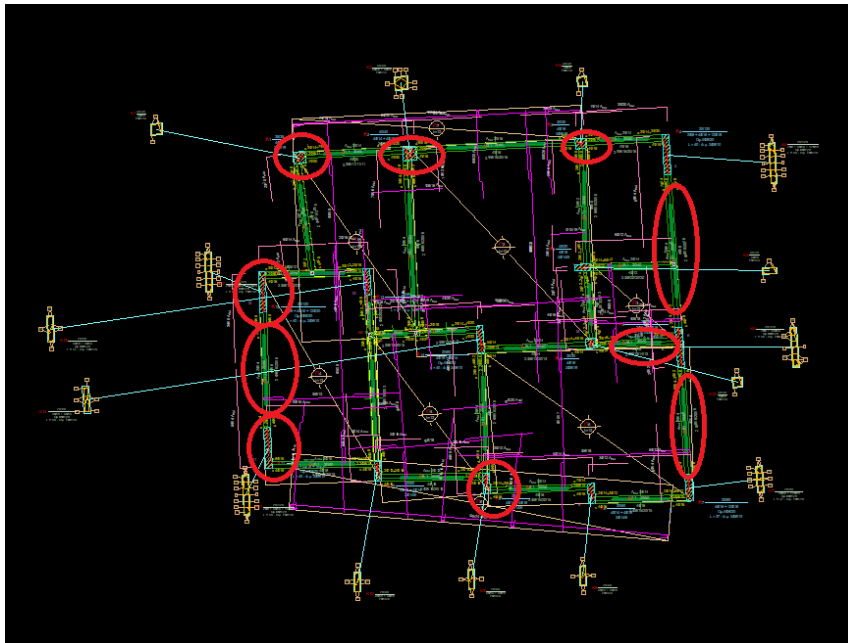
Επίσης, παρατηρούμε ότι η δοκός Δ11.1(2) στους λόγους επάρκειας πλησιάζει την μονάδα και είναι αναγκαίο να ενισχυθεί έναντι διάτμησης. Τα αναφερόμενα οριζόντια στοιχεία του φέροντα οργανισμού θα ενισχυθούν με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP).

Σημειώνουμε ότι δεν χρειάστηκαν ενισχύσεις στην θεμελίωση.

Επίσης, τα μέλη των υποστυλωμάτων που αστόχησαν έναντι διάτμησης είναι τα εξής:

- Στο ισόγειο: K1 (0), K2(0), K3(0)
- Στον Α' όροφο: K1 (1), K2(1), K3(1)

Ακόμη, παρατηρώντας τα αποτελέσματα της αποτίμησης διαπιστώνουμε ότι το υποστύλωμα K3(2) του Β' ορόφου πλησιάζει στους λόγους επάρκειας την μονάδα και συνεπώς θα ενισχυθεί. Τα παραπάνω υποστυλώματα θα ενισχυθούν με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP). Επιπροσθέτως, με βάση τα στοιχεία που έχουμε από την κατάσταση του σεισμόπληκτου κτηρίου και κυρίως το φωτογραφικό υλικό, που απεικονίζεται παρακάτω, χρήζουν ενίσχυση τα υποστυλώματα K9 (0), K11(0) και K12(0) (αρίθμηση σύμφωνα με την εικόνα 9,12). Στην εικόνα 12 φαίνονται (κάτοψη ισογείου) φαίνονται τα στοιχεία που ενισχύθηκαν.



Εικόνα 12: Κάτοψη ισογείου με τα στοιχεία που χρειάζονται ενίσχυση.
Λογισμικό FespaC & FespaR έκδοση 8.1.0.22



Εικόνα 13: Υποστύλωμα Ισογείου K11.



Εικόνα 14: Υποστόλωμα Ισογείου Κ11.

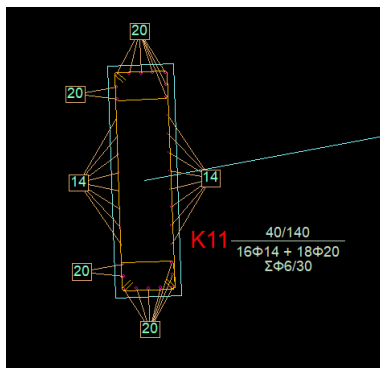


Εικόνα 15: Υποστόλωμα Ισογείου Κ12.



Εικόνα 16: Υποστυλώμα Ισογείου K9.

Τα υποστυλώματα K11 και K12 που είδαμε στις παραπάνω φωτογραφίες (αρίθμηση υποστυλωμάτων βλέπε εικόνα: 9,12) θα ενισχυθούν με μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Το υποστυλώμα K11 ενισχύεται με μανδύα 10 εκατοστά εκτοξευόμενου σκυροδέματος C25/30 και το μέλος χαρακτηρίζεται ως Ενισχυόμενο. Η υφιστάμενη διατομή του υποστυλώματος K11 είχε διαστάσεις 20/120. Η διατομή με την εφαρμογή ενίσχυσης μανδύα 10 εκατοστών εκτοξευόμενου σκυροδέματος έχει πλέον διαστάσεις 40/140 και διαθέτει ράβδους οπλισμού 16Φ14 + 18Φ20.

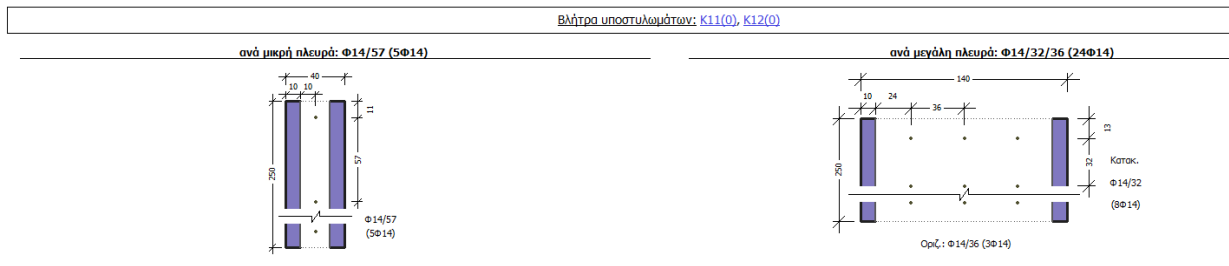


Εικόνα 17: Διατομή ενισχυόμενου υποστυλώματος K11.
Λογισμικό FespaC & FespaR έκδοση 8.1.0.22

Επίσης το υποστυλώμα K9 (αρίθμηση υποστυλωμάτων βλέπε εικόνα: 9,12) όπως είδαμε στις παραπάνω εικόνες θα ενισχυθεί με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP).

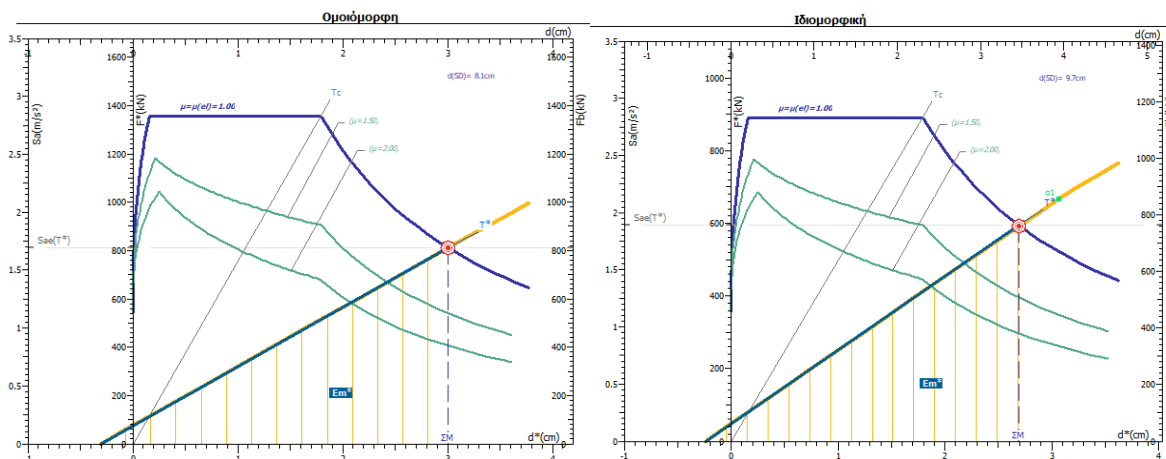
Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται οι λεπτομέρειες των βλήτρων. Συγκεκριμένα, για τα υποστυλώματα K11(0) και K12(0) που ενισχύονται με μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 εκατοστών προτείνονται ανά παρειά βλήτρα 5Φ14 ανά μικρή πλευρά 20 εκατοστών υφιστάμενου και 24Φ14 ανά μεγάλη πλευρά 120 εκατοστών υφιστάμενου τοιχώματος.

Λεπτομέρειες προτεινόμενων βλήτρων ανά παρειά

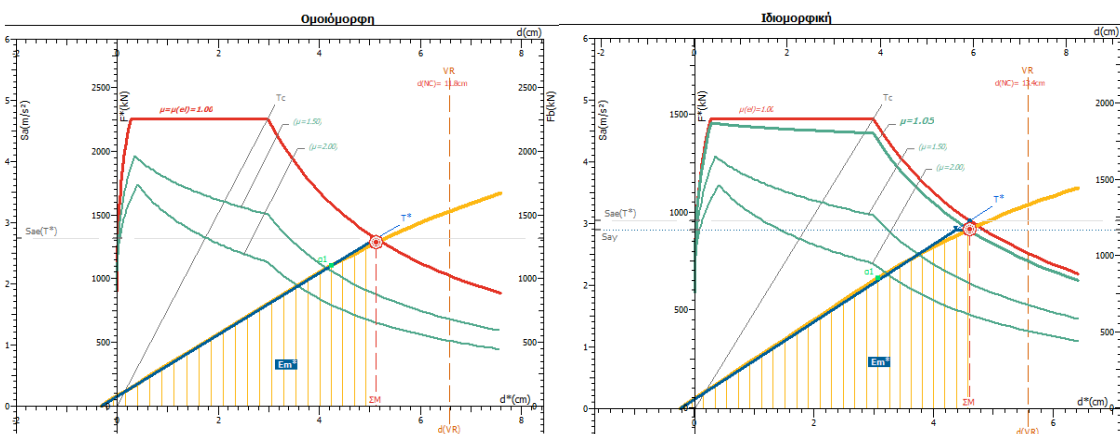


Εικόνα 18: Λεπτομέρειες τοποθετούμενων βλήτρων. Λογισμικό FespaC & FespaR έκδοση 8.1.0.22

Μετά την ενίσχυση των μελών, όπως θα διαπιστώσουμε στα παρακάτω διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας [EC8, Παρ. Β], το κτήριο είναι επαρκές. Παρατηρώντας τα διαγράμματα, βλέπουμε ότι τόσο στην στάθμη επιτελεστικότητας SD (Προστασία Ζωής), τόσο και στην στάθμη επιτελεστικότητας NC (Αποφυγή Κατάρρευσης), η διακεκομμένη γραμμή SD και η διακεκομμένη γραμμή VR αντίστοιχα βρίσκονται πιο δεξιά από την στοχευόμενη μετακίνηση, γεγονός που υποδηλώνει την επάρκεια της κατασκευής μας.



Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 270°-30%·180° -eX.



Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. NC, κατεύθυνση 270°-30%·180° -eX.

Η έκδοση του λογισμικού είχε τις διατάξεις της 2^{ης} έκδοσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ, ωστόσο έγιναν συγκρίσεις και με τους στόχους της 3^{ης} έκδοσης του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Για τον ενισχυόμενο φορέα οι παρακάτω συγκεντρωτικοί πίνακες των στάθμων επιτελεστικότητας με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2^η αναθεώρηση 2017) δείχνουν ότι ικανοποιείται ο στόχος B2 με πιθανότητα

υπέρβασης SD 50% στα 50 έτη. Πιο αναλυτικά, λαμβάνουμε πιθανότητα υπέρβασης 10.46% μικρότερη από το 50%. Ακόμη, με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (3^η αναθεώρηση 2022), ικανοποιείται ο στόχος B2+ που αντιστοιχεί σε σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης 20% στα 50 έτη και οριακά δεν ικανοποιείται ο στόχος B1 που αντιστοιχεί σε σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη (έχουμε πιθανότητα 10.46% > 10%). Στην περίπτωση της στάθμης NC, για τον ενισχυόμενο φορέα επιτυγχάνεται ο στόχος Γ1 για σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2^η αναθεώρηση 2017) καθώς λαμβάνουμε πιθανότητα υπέρβασης VR 8.37 % μικρότερη του 10%. Το ίδιο ισχύει και για τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (3^η αναθεώρηση 2022), όπου επιτυγχάνεται ο στόχος Γ1 καθώς λαμβάνουμε πιθανότητα υπέρβασης VR 8.37 % < 10%. Δεν επιτυγχάνεται ο στόχος Γ1+ που αντιστοιχεί σε πιθανότητα υπέρβασης 5% στα 50 έτη. Δεδομένου όμως ότι η ελάχιστη απαίτηση για κτήριο σπουδαιότητας II είναι οι στόχοι B2 και Γ1, συμπεραίνουμε ότι το ενισχυμένο κτήριο πληροί τους στόχους σχεδιασμού.

Στάθμη επιτελεστικότητας SD

1. Στοχευόμενη μετακίνηση dt			
X:	+5.6cm -5.2cm	$0^\circ-30^\circ-270^\circ +eZ, \text{Ιδιομορφική}$ $180^\circ+30^\circ-90^\circ -eZ, \text{Ιδιομορφική}$	Z:
			+3.9cm -3.6cm $90^\circ-30^\circ-180^\circ +eX, \text{Ιδιομορφική}$ $270^\circ+30^\circ-0^\circ +eX, \text{Ιδιομορφική}$
2. Στοχευόμενη πλαστιμότητα (για ανασχεδιασμό)			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	$T^*(s) =$	0.75	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστιμότητας	$q_u (=q_n) =$	1.00	
Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας	$\max \mu_d =$	1.00	$270^\circ-30^\circ-180^\circ -eX, \text{Ιδιομορφική}$
3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)			
Πλαστιμότητας $q_u (=q_n)$ και υπεραντοχής $q_s (=q_u)$	$q_u =$	1.00	$q_s = 1.10$
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	$\min q =$	$q_u \cdot q_s =$	1.10
			$0^\circ+30^\circ-90^\circ +eZ, \text{Ομοιόμορφη}$
4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	$\max C_d =$ $= 1.00 / 1.00 =$	$\mu_d / q_u =$ 1.00	$270^\circ-30^\circ-180^\circ -eX, \text{Ιδιομορφική}$
5. Ικανότητα επιτάχυνσης για $\lambda_{\max} = 1$			
	$\max a_g (SD) =$	0.157	$0^\circ+30^\circ-90^\circ +eZ, \text{Ιδιομορφική}$
6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]			
Περίοδος επαναφοράς SD	$\max a_g / a_{gR} = (\max T_R / T_{LR})^{2/k} \therefore \max T_R = (\max a_g / a_{gR})^k \cdot T_{LR}$ $\max T_R (SD) = (0.157/0.160)^{2 \cdot 4} \cdot 475 =$	453 έτη	> 140 (ok) [EC8-2 (A.3)]
Πιθανότητα υπέρβασης SD σε 50 έτη	$P(SD) = 1 - e^{-50/\max T_R}$	10.46%	< 30% (ok) [EC8-1§2.1(1)]
Στόχος που ικανοποιείται:	$B2 : P(SD) < 50\%$		[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

Πίνακας 7: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Απαίτησης-Ικανότητας των 32 αναλύσεων. Στάθμη επιτελεστικότητας SD. Ενισχυμένος φορέας κατασκευής. Λογισμικό FespaC & FespaR έκδοση 8.1.0.22

Στάθμη επιτελεστικότητα NC

1. Στοιχειώμενη μετακίνηση dt			
X:	+9.2cm -8.8cm	0°-30°·270° +eZ, Ιδιομορφική 180°+30°·90° -eZ, Ιδιομορφική	Z: +6.4cm -6.1cm
			90°-30°·180° -eX, Ιδιομορφική 270°+30°·0° +eX, Ιδιομορφική
2. Στοιχειώμενη πλαστιμότητα (για ανασχεδιασμό)			
Περίοδος μονοβάθμιου συστήματος	T*(s) =	0.80	
Συντελεστής συμπεριφοράς πλαστιμότητας	q _y (=q _η) =	1.06	
Παράγοντας στοιχειώμενης πλαστιμότητας	max μ _d =	1.06	270°+30°·0° +eX, Ιδιομορφική
3. Διαθέσιμος συντελεστής συμπεριφοράς q (για αποτίμηση)			
Πλαστιμότητας q _y (=q _η) και υπεραντοχής q _s (=q _υ)	q _y =	1.06	q _s = 1.33
Διαθέσιμος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς	min q =	q _y · q _s	= 1.41
			0°+30°·90° +eZ, Ομοιόμορφη
4. Επιρροή ανελαστικής συμπεριφοράς, [ΚΑΝΕΠΕ, §5.7.4.2]			
Λόγος ανελαστικών μετατοπίσεων	max C ₁ =	1.05 / 1.05	μ _d / q _s = 1.00
			270°-30°·180° -eX, Ιδιομορφική
5. Ικανότητα επιτάχυνσης για λ_{max} = 1			
	max a _g (NC) =	0.200	0°+30°·90° +eZ, Ιδιομορφική
	max a _g (VR) =	0.173	0°-30°·270° -eZ, Ιδιομορφική
6. Στόχοι αποτίμησης, [ΚΑΝΕΠΕ, §2.2.1]			
	max a _g / a _{gR} = (max T _R / T _{LR}) ^{2.4} ·	max T _R = (max a _g / a _{gR}) ^k · T _{LR}	[EC8-2 (A.3)]
Περίοδος επαναφοράς NC	max T _R (NC) = (0.200/0.160) ^{2.4} · 475 =	815 έτη	> 475 (ok)
Περίοδος επαναφοράς VR	max T _R (VR) = (0.173/0.160) ^{2.4} · 475 =	572 έτη	> 475 (ok)
		P = 1 - e ^{-T_R/max T_R}	[EC8-1§2.1(1)]
Πιθανότητα υπέρβασης NC σε 50 έτη	P(NC) = 1 - e ^{-50/815} =	5.95%	< 10% (ok)
Πιθανότητα υπέρβασης VR σε 50 έτη	P(VR) = 1 - e ^{-50/572} =	8.37%	< 10% (ok)
Στόχοι που ικανοποιούνται:	G1 : P(NC), P(VR) < 10%	και	G2 : P(NC), P(VR) < 50%
			[ΚΑΝΕΠΕ Πίν. 2.1]

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Απαιτήσης-Ικανότητας των 32 αναλύσεων. Στάθμη επιτελεστικότητας NC. Ενισχυμένος φορέας κατασκευής. Λογισμικό FespaC & FespaR έκδοση 8.1.0.22

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας το αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η αποτίμηση και η ενίσχυση ενός τριώροφου σεισμόπληκτου κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα στον Τύρναβο, Θεσσαλίας. Με την βοήθεια του λογισμικού FESPA, της εταιρείας LH ΛΟΓΙΣΜΙΚΗΣ, έγινε η αποτίμηση της υφιστάμενης κατασκευής. Στόχος της ανελαστικής ανάλυσης είναι η αποτίμηση της υφιστάμενης κατασκευής, η εκτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητας της και ο έλεγχος ικανοποίησης των ελάχιστων υποχρεωτικών απαιτήσεων που επιβάλλονται από τους ισχύοντες κανονισμούς. Τα αποτελέσματα της στατικής ανελαστικής ανάλυσης (pushover) του κτηρίου έδειξαν την ανεπάρκεια του κτηρίου έναντι διάτμησης, ικανοποιώντας τον στόχο B2 αλλά αποτυγχάνοντας την επίτευξη του στόχου G1 για συνήθη κτήρια κατηγορίας σπουδαιότητας II. Τα αποτελέσματα αυτά, σχολιάστηκαν με βάση την 2^η και 3^η Αναθεώρηση του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Τέλος, ενισχύοντας το κτήριο με μανδύες εκτοξευόμενου σκυροδέματος και ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) καταφέραμε να επιτύχουμε την επάρκεια του κτηρίου, ικανοποιώντας τους στόχους B2 και G1 με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Διονύσης Μπισκίνης, Σεισμική αποτίμηση και στρατηγικές επέμβασης. Σημειώσεις μαθήματος Επισκευές και ενισχύσεις δομικών κατασκευών ακαδημαϊκού έτους 2022- 2023, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
- [2] Στέφανος Δρίτσος, Επισκευές και ενισχύσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα, γ' έκδοση αναθεωρημένη, Πάτρα, 2005. Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, Σημειώσεις μαθήματος Ενισχύσεις και επισκευές κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2015. Ενισχύσεις – Επισκευές κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, Σημειώσεις μαθήματος

- Ενισχύσεις και επισκευές κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2020.
- [3] ΟΑΣΠ (2017): «Κανονισμός Επεμβάσεων – ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2017», 2η Αναθεωρημένη Έκδοση, Αθήνα.
- [4] ΟΑΣΠ (2022): «Κανονισμός Επεμβάσεων – ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2022», 3η Αναθεωρημένη Έκδοση, Αθήνα.
- [5] ΛΗΛογισμική, «Pushover – θεωρητικά στοιχεία», Αθήνα (2013) «Αποτίμηση στατικής επάρκειας υφιστάμενης κατασκευής σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2012», Αθήνα. «Ευρωκώδικες ΚΑΝ.ΕΠΕ. το επίσημο εγχειρίδιο αναφοράς», Αθήνα 2018 Fespa R, Προσθήκη ορόφου και ενισχύσεις σε υφιστάμενη κατασκευή Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου στη νέα κατάσταση σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ 2012 Αθήνα, Δεκέμβριος 2012
- [6] Μιχαήλ Φαρδής, Αντισεισμικός σχεδιασμός κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2005
- [7] Αμερικανική Οδηγία FEMA 306, Βλάβες “Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings”
- [8] ΟΑΣΠ (2001): «Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000». Αθήνα
- [9] ΦΕΚ 1154 Β’ 12.08.2003: «Τροποποίηση διατάξεων του “Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ-2000” λόγω αναθεώρησης του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας»
- [10] [https://el.wikipedia.org/wiki/Σεισμός_της_Ελασσόνας_\(2021\)](https://el.wikipedia.org/wiki/Σεισμός_της_Ελασσόνας_(2021))
- [11] ΦΕΚ 455B/25-02-2014 Σεισμόπληκτων
- [12] Κοσμόπουλος Αντώνης, «Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς και ενίσχυση μηχανικών σε κάτοψη κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος», Διδακτορική διατριβή, 2005, Πάτρα
- [13] Χρήστος Ιγνατάκης, Αντισεισμικές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα στην Ελλάδα. Στο 30 χρόνια μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης – Μνήμες και προοπτική, Πολυτεχνική σχολή Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2008.
- [14] Ιωάννης Ν. Δουδούμης, ομότιμος καθηγητής τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. Η Εξέλιξη των Αντισεισμικών Κανονισμών και ο Ρόλος του Σεισμού της Θεσσαλονίκης το 1978 (The Development of the Anti-seismic Regulations and the Role of Thessaloniki Earthquake 1978).
- [15] Α.Ι. Κάππος, 2009. Ανάλυση κτηρίου πριν και μετά την επέμβαση. Available: http://library.tee.gr/digital/m2472/m2472_kappos.pdf
- [16] Στάθμες και Στόχοι Επιτελεστικότητας. Available: <http://www.episkevesold.civil.upatras.gr/English/notes/7.pdf>
- [17] Πενέλης Γ., Κάππος Α., (1990) “Αντισεισμικές Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα” Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- [18] Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., (2000) “Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος – ΕΚΩΣ 2000”. Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Αθήνα.
- [19] CEB Bulletin No 162, (1983) “Assessment of Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading”, Paris.
- [20] Τριανταφύλλου Θ., (1998) “Προηγμένες Τεχνολογίες Υλικών και Κατασκευών”, Εκδόσεις Παν.Πατρών, Πάτρα.
- [21] Dritsos S., Georgakopoulou M., (1999) “Concrete Jacketing for Seismic Strengthening”, CD Proc. of fib Symposium 1999: Structural Concrete-The Bridge Between People, Paper No 395, Prague
- [22] Ευρωκώδικας 8 (2004). Αντισεισμικός Σχεδιασμός - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, EN 1998-1

7. ΕΠΙΒΛΕΨΗ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Μπισκίνη Διονύσιου. Καθόλη την διάρκεια του κύκλου σπουδών, καθώς και την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας υπήρξε πηγή έμπνευσης με τις γνώσεις που προσέφερε και η βοήθεια και καθοδήγηση ήταν πολύτιμη.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες αποδίδονται στην LH Λογισμική, που μου παραχώρησε την ακαδημαϊκή έκδοση του λογισμικού στατικού προγράμματος FespaC&FespaR έκδοση 8.1.0.22, με την συμβολή του οποίου προέκυψε η επίλυση και τα αποτελέσματα του φορέα του υφιστάμενου κτηρίου.