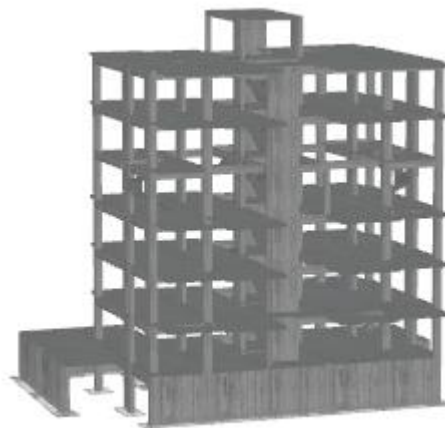




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



## Σεισμική αποτίμηση και οικονομοτεχνική μελέτη 6-όροφης κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος του 2017 στην περιοχή του Χαλανδρίου



Διπλωματική Εργασία  
**Ιωάννης Καραμπάτσος**

EMK ΔΕ 2023 15

Επιβλέπων: Δημήτριος Βαμβάτσικος

Αθήνα, Ιούλιος 2023

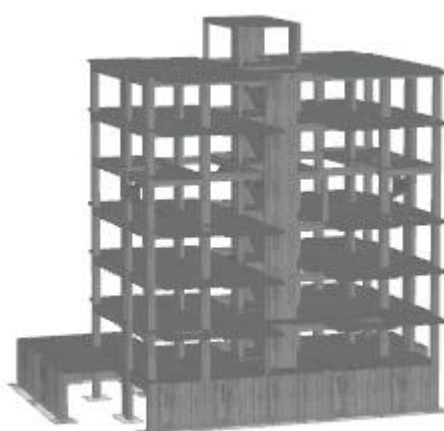




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



## Σεισμική αποτίμηση και οικονομοτεχνική μελέτη 6-όροφης κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος του 2017 στην περιοχή του Χαλανδρίου



Διπλωματική Εργασία  
**Ιωάννης Καραμπάτσος**

EMK ΔΕ 2023 15

Επιβλέπων: Δημήτριος Βαμβάτσικος

Αθήνα, Ιούλιος 2023



---

Copyright © Ιωάννης Καραμπάτσος, 2023  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Ioannis Karampatsos, 2023  
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Ιωάννης Καραμπάτσος (2023)  
Σεισμική αποτίμηση και οικονομοτεχνική μελέτη 6-όροφης κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος του  
2017 στην περιοχή του Χαλανδρίου  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2023 15  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Ioannis Karampatsos (2023)  
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2023 15  
Seismic performance and loss assessment of a 6-story reinforced concrete building constructed in  
2017 at Chalandri  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Δημήτρη Βαμβάτσικο για τη συνεχή παρακολούθηση της εξέλιξης της διπλωματικής εργασίας, καθώς θα ήταν πολύ δύσκολο να αποφευχθούν πολλά λάθη απειρίας χωρίς την καθοδήγηση του.







ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΜΚ ΔΕ 2023 15

## **Σεισμική αποτίμηση και οικονομοτεχνική μελέτη 6-όροφης κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος του 2017 στην περιοχή του Χαλανδρίου**

**Ιωάννης Καραμπάτσος**

Επιβλέπων: Δημήτριος Βαμβάτσικος

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ο Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) θεσμοθετεί κριτήρια για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας κατασκευών και αποτελεί έναν από τους αντισεισμικούς κανονισμούς στην Ελλάδα. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εφαρμόστηκε ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. σε 6-οροφο κτίριο του 2017 στην περιοχή του Χαλανδρίου Αττικής και συγκρίθηκε με διάφορες μεθόδους αποτίμησης.

Κατ' αρχήν έγινε ο πρωτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος ή και ταχύς οπτικός έλεγχος έτσι ώστε να υπάρξει μια πρώτη εικόνα της ανάγκης του κτιρίου για επιπλέον αντισεισμικό έλεγχο. Στη συνέχεια με τον τρίτοβάθμιο προσεισμικό έλεγχο έγινε προσέγγιση της πραγματικής συμπεριφοράς της κατασκευής κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ωστόσο αυτός, αποτελεί μια χρονοβόρο και λεπτομερή διαδικασία σε σχέση με τον δευτεροβάθμιο. Εφαρμόστηκε μέσω της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover) με χρήση του λογισμικού SEISMOBUILD της SEISMOSOFT, το οποίο κάνει χρήση του ΚΑΝ.ΕΠΕ και του ΕΚ-8. Η διαδικασία αυτή για την αποκόμιση μιας ευρύτερης εικόνας σεισμικής αποτίμησης έγινε και με τους κανονισμούς του ΕΚ-8. Κατόπιν συγκρίθηκε με 2 δευτεροβάθμιες μεθόδους προσεισμικού ελέγχου, οι οποίες έχουν τα πλεονεκτήματα να είναι πιο απλές και γρήγορες. Χρησιμοποιήθηκαν η μέθοδος του κ. Δρίτσου και η μέθοδος ταχείας αποτίμησης του κ. Βουγιούκα. Η πρώτη κατατάσσει τα κτίρια σε σειρά προτεραιότητας για περαιτέρω έλεγχο με βάση συγκεκριμένα κριτήρια και μια τελική βαθμολογία, ενώ η δεύτερη εκτιμάει την αθροιστική αντοχή σε όρους τέμνουσας βάσης των κατακόρυφων δομικών στοιχείων.

Τέλος έγινε μια οικονομική αποτίμηση των ζημιών που επρόκειτο να προκληθούν από τις διάφορες εντάσεις σεισμού και με συνεκτίμηση της καμπύλης επικινδυνότητας εκτιμήθηκε το μέσο ετήσιο κόστος απωλειών. Για την διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το αμερικάνικο πρόγραμμα PERFORMANCE ASSESSMENT CALCULATION TOOL (PACT) της FEMA P-58, στο οποίο έγιναν αλλαγές των κοστολογίων προκειμένου να προσεγγιστούν όσο το δυνατόν καλύτερα οι Ελληνικές τιμές.





NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES



DIPLOMA THESIS  
EMK ΔΕ 2023 15

Seismic performance and loss assessment for a 6-story reinforced concrete building  
constructed in 2017 at Chalandri

**Ioannis Karampatzos**

Supervisor: Dimitrios Vamvatsikos

### **ABSTRACT**

The Regulation of Interventions (KAN.EPE) establishes criteria for assessing the structural capacity of structures and is one of the seismic codes of Greece. Herein, KAN.EPE was applied to a 6-story building constructed in 2017 in the area of Chalandri, Attica and it was compared to various evaluation methods.

Firstly, a preliminary seismic assessment or rapid visual screening, was conducted to obtain an initial understanding of the building's need for further seismic evaluation. Subsequently, a detailed seismic assessment was performed to approach the actual behavior of the structure via KAN.EPE. However, this process is time-consuming compared to the secondary seismic assessment. The assessment was carried out using the Pushover analysis through the use of the SEISMOBUILD software developed by SEISMOSOFT, which incorporates the KAN.EPE and EC-8 provisions. This process was also conducted according to EC-8 to gain a broader perspective on seismic evaluation. Following that, a comparison was made with two secondary seismic assessment methods, which are simpler and faster. Specifically, the methods proposed by Dr. Dritsos and Dr. Bougioukas were utilized. The first method ranks the buildings based on specific criteria and provides a final score to prioritize further evaluation, while the second method assesses the aggregated capacity of the vertical structural elements in terms of base shear.

Finally, an economic assessment of the damages that may be caused by the various levels of seismic intensity and by introducing the seismic hazard curve, the average annual loss was estimated. The US software PERFORMANCE ASSESSMENT CALCULATION TOOL (PACT) of FEMA P-58 was used for this process, with modifications made to the costs in order to approximate the Greek values as closely as possible.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>14</b>
1.1	Γενικά.....	14
1.2	Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος – Ταχύς Οπτικός Έλεγχος.....	14
1.3	Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος .....	16
1.3.1	Μέθοδος Δρίτσου Σ. ....	16
1.3.2	Μέθοδος Ταχείας Αποτίμησης Βουγιούκα Ε.....	21
1.4	Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).....	23
1.5	Ευρωκώδικας 8.....	24
<b>2</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΕΑ .....</b>	<b>26</b>
2.1	Γενικά Χαρακτηριστικά Φορέα.....	26
2.2	Προσομοίωση Φορέα.....	26
<b>3</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ.....</b>	<b>29</b>
3.1	Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος – Ταχύς Οπτικός Έλεγχος.....	29
3.2	Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος .....	30
3.2.1	Μέθοδος Δρίτσου Σ. ....	30
3.2.2	Μέθοδος Ταχείας Αποτίμησης Ε. Βουγιούκα.....	36
3.3	Τριτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος .....	38
3.3.1	ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	38
3.3.1.1	Ιδιομορφική Ανάλυση.....	38
3.3.1.2	Ανελαστική Στατική Ανάλυση.....	40
3.3.2	Ευρωκώδικας 8.....	47
3.4	Σύγκριση Μεθόδων - Συμπεράσματα .....	49
<b>4</b>	<b>ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....</b>	<b>52</b>
4.1	Εκτίμηση Τρωτότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	52
4.2	Τιμές Επισκευών .....	54
4.3	Εκτίμηση Σεισμικών Απωλειών κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	56
4.4	Εκτίμηση Σεισμικών Απωλειών κατά ΕΚ-8.....	66
4.5	Συμπεράσματα.....	70
<b>5</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>71</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΞΥΛΟΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΙΧΙΩΝ .....</b>	<b>73</b>

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενικά

Στην παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε σεισμική αποτίμηση 6-όροφης κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος στην περιοχή του Χαλανδρίου Αττικής. Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα και το θεωρητικό υπόβαθρο κάθε μεθόδου που εφαρμόστηκε για την αποτίμηση. Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες για την προσομοίωση του φορέα, ενώ στο 3<sup>ο</sup> γίνεται η εφαρμογή των μεθόδων του 1<sup>ου</sup> κεφαλαίου. Τέλος έγινε οικονομοτεχνική μελέτη για διάφορα σεισμικά σενάρια, τα αποτελέσματα και συμπεράσματα της οποίας παρουσιάζονται στο τελευταίο (4<sup>ο</sup>) κεφάλαιο.

## 1.2 Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος – Ταχύς Οπτικός Έλεγχος

Σκοπός του πρωτοβαθμίου προσεισμικού ελέγχου ή Ταχέως Οπτικού Ελέγχου (ΤΟΕ) είναι η καταγραφή των κτιρίων δημόσιας και κοινωφελούς χρήσης και η πρώτη αποτίμηση της σεισμικής τους ικανότητας, προκειμένου να καθοριστούν οι προτεραιότητες σε εθνικό επίπεδο για τον περαιτέρω έλεγχο και τη λήψη μέτρων προστασίας. Η μέθοδος είναι σχετικά απλή και γρήγορη, καθώς χρειάζεται μόνο να συμπληρωθεί ένα ειδικό δελτίο ελέγχου, να σχεδιαστεί η κάτοψη, μια τομή και να επισυναφθεί μια φωτογραφία της όψης του στο έντυπο έτσι ώστε οι μηχανικοί που θα κάνουν τον έλεγχο να έχουν τις σωστές πληροφορίες για το εκάστοτε κτίριο. Τα πεδία συμπλήρωσης του δελτίου κατανέμονται σε 5 ενότητες. Συγκεκριμένα:

- Ενότητα Α : Περιλαμβάνει την ταυτότητα του κτιρίου, γεωγραφικά στοιχεία, τα στοιχεία του χρήστη, του ιδιοκτήτη και του αρμόδιου φορέα, καθώς και τον μέγιστο αριθμό προσώπων που συναθροίζονται στο κτίριο.
- Ενότητα Β : Περιλαμβάνει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κτιρίου όπως αριθμό υπέργειων ορόφων, υπογείων, την επιφάνεια του κτιρίου, το έτος κατασκευής, το έτος τελευταίας προσθήκης και τη σπουδαιότητα του κτιρίου κατά ΕΑΚ 2000.
- Ενότητα Γ: Εδώ περιέχονται σεισμολογικά και γεωτεχνικά στοιχεία της περιοχής, όπως η Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας κατά ΕΑΚ 2003 και κατά το χρόνο μελέτης του κτιρίου, καθώς και η κατηγορία εδάφους κατά ΕΑΚ 2000.
- Ενότητα Δ : Περιλαμβάνει τη διάκριση του δομικού τύπου του κτιρίου σύμφωνα με το δομικό σύστημα. Για παράδειγμα κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα, χάλυβα ή σύμμικτο καθώς και τους

εφαρμοσθέντες αντισεισμικούς κανονισμούς προκειμένου να ενταχθεί σε κατηγορία σύμφωνα με τον Πίνακα 1-1.

- Ενότητα Ε : Η ενότητα αυτή περιέχει στοιχεία για την τρωτότητα της κατασκευής, όπως για παράδειγμα, αν έγινε μελέτη χωρίς αντισεισμικό κανονισμό, αν έχει αυξηθεί η σπουδαιότητα λόγω αλλαγής της χρήσης του κτιρίου, αν υπήρξαν προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, αν βρίσκεται σε κακή κατάσταση λόγω ελλιπούς συντήρησης κακοτεχνιών και καθιζήσεων, αν υπάρχει κίνδυνος κρούσης με γειτονικά κτίρια, αν υπάρχει μαλακός όροφος, αν έχει μη κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη, αν έχει μεγάλο ύψος, αν είναι μη κανονικό καθ' ύψος η οριζοντίως, αν υπάρχει ενδεχόμενο στρέψης και αν υπάρχουν κοντά υποστυλώματα.

Αφού συμπληρωθεί το έντυπο ακολουθεί ο υπολογισμός του τελικού βαθμού σύμφωνα με τον οποίο το κτίριο κατατάσσεται σε προτεραιότητα περαιτέρω ελέγχου. Πρώτα επιλέγεται ο δομικός τύπος του φέροντος οργανισμού σύμφωνα με τον Πίνακα 1-1 και κατόπιν αθροίζονται οι συντελεστές για τον συγκεκριμένο δομικό τύπο από όπου προκύπτει και η τελική βαθμολογία (Πίνακας 1-2).

Πίνακας 1-1: Πίνακας δομικών τύπων φέροντος οργανισμού κτιρίων σύμφωνα με τον Πρωτοβάθμιο Προσεισμικό Έλεγχο

<b>Δ.Τ.</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ (Φ.Ο.)</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΣΘΕΝΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ/ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ</b>
ΟΣα	Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, παλαιότερα	Χωρίς Κανονισμούς, ή Αντισεισμικός Κανονισμός 1959 (Α/Σ '59) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ '54) Ουσιαστικώς, κτίρια μέχρι το 1985
ΟΣβ	Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, νεότερα	Α/Σ '59 με πρόσθετα άρθρα 1985 (Α/Σ '85) Κ/Σ '54 Ουσιαστικώς, κτίρια της περιόδου 1986 έως και 1995 – 2000
ΟΣγ	Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, σύγχρονα	Α/Σ: ΝΕΑΚ Κ/Σ: ΝΕΚΟΣ Σύγχρονα κτίρια, με το πλαίσιο των σύγχρονων Κανονισμών

Πίνακας 1-2: Πίνακας βαθμολόγησης κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ		
	ΟΣα	ΟΣβ	ΟΣγ
Βασική Βαθμολογία, αναλόγως Δομικού Τύπου	6.0	7.0	8.0
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας I	-0.5	-0.1	-0.5
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας II ή III	-1.5	-1.5	-1.0
Έδαφος κατηγορίας B (για αποδεδειγμένως A: - 0.1)	-0.3	-0.3	-0.3
Έδαφος κατηγορίας Γ ή Δ	-0.6	-0.6	-0.6
Έδαφος Γ ή Δ και άνω των 5 ορόφων	-0.8	-0.8	-0.8
Έδαφος κατηγορίας Χ	-0.8	-0.8	-0.8
Χωρίς Αντισεισμικό Κανονισμό	-0.5	-	-
Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα	-1.0	-0.5	-0.5
Κακή κατάσταση	-0.5	-0.5	-0.5
Κρούση με γειτονικά κτίρια	-0.5	-0.5	-
Pilotis ή/και Κοντά Υποστυλώματα	-1.5	-1.5	-0.5
Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	0.5	0.5	-
Μεγάλο ύψος	-1.0	-0.5	-0.5
Μη κανονικότητα σε τομή	-1.0	-0.5	-0.5
Μη κανονικότητα σε κάτοψη	-1.0	-0.5	-0.5
Στρέψη (έντονη)	-0.5	-0.5	-0.5
Ένταση λειτουργίας	0.2 ή 0.5	0.2 ή 0.5	0.2 ή 0.5
Αριθμός χρηστών $\leq 9$	-0.2	-0.2	-0.2
Αριθμός χρηστών 10-99	-0.4	-0.4	-0.4
Αριθμός χρηστών $\geq 10$	-0.6	-0.6	-0.6

Πίνακας 1-3: Πίνακας κατάταξης κτιρίου για περαιτέρω έλεγχο με βάση τη βαθμολογία του

Βαθμολογία	Κατηγορία
$\tau.β \leq 4$	Υψηλή προτεραιότητα περαιτέρω ελέγχου
$4 < \tau.β < 5.5$	Μέση προτεραιότητα περαιτέρω ελέγχου
$\tau.β \geq 5.5$	Χαμηλή προτεραιότητα περαιτέρω ελέγχου

### 1.3 Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος

Ο Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος στοχεύει στη γρήγορη και απλή διαδικασία αποτίμησης. Δεν είναι πάντοτε ακριβής, ωστόσο είναι αρκετά χρήσιμος στη σύγκριση μεταξύ κτιρίων, καθώς μπορεί να δώσει μια πιο ακριβή εικόνα από τον Πρωτοβάθμιο για την ικανότητα αυτών.

#### 1.3.1 Μέθοδος Δρίτσου Σ.

Στόχος του δευτεροβαθμίου αυτού προσεισμικού ελέγχου είναι να κατατάξει τα κτίρια σε σειρά προτεραιότητας για επιπλέον αντισεισμικό έλεγχο. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει προσεγγιστικούς υπολογισμούς χωρίς να χρειάζεται μοντελοποίηση του φορέα, όπως συμβαίνει στις πλήρεις μελέτες ενός τριτοβάθμιου. Χρειάζονται απλώς κάποια βασικά χαρακτηριστικά αυτού. Το τελικό αποτέλεσμα του ελέγχου αυτού είναι ένας "δείκτης" που ονομάζεται «Δείκτης Προτεραιότητας Ελέγχου λ» του κτιρίου.



Ο δείκτης αυτός δεν διαθέτει απόλυτα αντικειμενική σημασία αλλά υποδεικνύει τη σειρά προτεραιότητας για την τρίτη φάση του όλου εγχειρήματος (τριτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος) δηλαδή τη σύνταξη μελετών αποτίμησης και ανασχεδιασμού (ενίσχυσης) περιορισμένου αριθμού κτιρίων ανάλογα με τις οικονομικές δυνατότητες του εκάστοτε αρμοδίου φορέα.

Για την μέθοδο είναι αναγκαίο να βρεθεί η οποιαδήποτε τεκμηρίωση υπάρχει για την κατασκευή του κτιρίου, ιδιαίτερα τα στατικά και αρχιτεκτονικά σχέδια. Τα στοιχεία τρωτότητας που επηρεάζουν καθοριστικά τη σεισμική συμπεριφορά ενός κτιρίου συνοψίζονται σε 13 κριτήρια. Ακολουθώντας, συμπληρώνεται ο Πίνακας Κριτηρίων, βαθμολογώντας τα 13 αυτά κριτήρια (Πίνακας 1-4) ως προς το βαθμό επιβάρυνσης της σεισμικής ικανότητας. Ο βαθμός που αποδίδεται σε κάθε κριτήριο προκύπτει ως συνδυασμός προσεγγιστικών υπολογισμών, παραμέτρων κάθε στοιχείου τρωτότητας και εκτίμησης του Μηχανικού. Παίρνει ακέραιες τιμές από το 5 έως το 1 με ασήμαντη και σημαντική επιρροή στην φέρουσα ικανότητα, αντιστοίχως.

Πίνακας 1-4: Κριτήρια σεισμικής επιβάρυνσης

α/α	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ	Βαθμός Επιβάρυνσης					Συντελεστής βαρύτητας $s_i$
		β <sub>i</sub>					
		0 (max)	1	2	3	4	
1	Βλάβες στατικής ανεπάρκειας						0.1
2	Οξείδωση οπλισμών						0.1
3	Μέγεθος ανηγμένου αξονικού φορτίου						0.05
4	Κανονικότητα κάτοψης						0.05
5	Κατανομή δυσκαμψίας σε κάτοψη- στρέψη						0.1
6	Κανονικότητα σε τομή/όψη						0.05
7	Κατανομή δυσκαμψίας καθ' ύψος						0.15
8	Κατανομή μάζας καθ' ύψος						0.05
9	Κοντά υποστυλώματα						0.15
10	Κατακόρυφες ασυνέχειες						0.05
11	Διαδρομή και μεταφορά δυνάμεων						0.05
12	Γειτονικά κτήρια						0.05
13	Κακοτεχνίες, Τραυματισμοί						0.05

Η διαδικασία αποτελείται από 3 βήματα :

1<sup>ο</sup> ΒΗΜΑ : Προσδιορισμός Σεισμικής Απαιτήσης  $V_{req}$  ( $V_{req,x}$  ,  $V_{req,y}$ )

Σε κάθε κύρια διεύθυνση, προσδιορίζεται με βάση το φάσμα σχεδιασμού του ΕΚ8-1 (ΕΝ 1998-1:2004), το συνολικό μέγεθος των σεισμικών φορτίων (η τέμνουσα βάσης σχεδιασμού) του κτιρίου.

$$V_{Req} = MS_d(T) \quad (1-1)$$

όπου:

- M : προκύπτει από μόνιμα G και κινητά Q φορτία, για τον συνδυασμό φόρτισης  $G + \psi_2 Q$  .
- T : η ιδιοπερίοδος της κατασκευής, εκτιμάται προσεγγιστικά κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. (βλ. παρ.1 του Παραρτήματος Δ).
- $\gamma_i$  : λαμβάνεται  $\gamma_i = 1.00$
- $S_d(T)$  : Η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού .

- α: λαμβάνεται η τιμή για στάθμη επιτελεστικότητας Β «Σημαντικές Βλάβες» .

### 2ο ΒΗΜΑ: Προσδιορισμός Σεισμικής Αντίστασης VR ( $V_{R,x} - V_{R,y}$ )

Για την ίδια κύρια διεύθυνση προσδιορίζεται η συνολική σεισμική αντίσταση του κτιρίου σε όρους τέμνουσας βάσης ( $V_R$ ) κατ' εφαρμογή μιας προσεγγιστικής διαδικασίας. Η βασική της λογική εκφράζεται από τη σχέση

$$V_R = \beta V_{R0} \quad (1-2)$$

όπου:

- $V_{R0}$  : είναι η μέσω προσεγγιστικών υπολογισμών προκύπτουσα τέμνουσα αντοχής στη βάση του κτιρίου, χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη τυχόν αρνητική επιρροή από οποιοδήποτε από τα κριτήρια (1) έως (13) ( $V_{R0,x}$ ,  $V_{R0,y}$ ) .

Ο τρόπος προσδιορισμού της  $V_{R0}$  είναι ο ίδιος για όλα τα υπό εξέταση κτίρια και συναρτάται με τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα για τον προσδιορισμό της αντοχής των στοιχείων του φορέα.

- $\beta$  : είναι ο μειωτικός συντελεστής επιρροής των κριτηρίων (1) έως (13) στην τέμνουσα αντοχής στη βάση του κτιρίου, που λαμβάνει υπ' όψη του τον συντελεστή βαρύτητας κάθε κριτηρίου ( $\sigma_i$ ) και το βαθμό που έλαβε κάθε κριτήριο στο υπό εξέταση κτίριο ( $\beta_i$ ).

$$\beta = \sum \frac{\sigma_i \beta_i}{\beta_i} \quad (1-3)$$

### 3ο ΒΗΜΑ: Προσδιορισμός Δείκτη Προτεραιότητας Ελέγχου

Ο Δείκτης Προτεραιότητας Ελέγχου  $\lambda$  της κατασκευής προκύπτει με βάση τον λόγο,

$$V_{req}/V_R = V_{req}/\beta V_{R0} \quad (1-4)$$

και ανά διεύθυνση ως,

$$\lambda_x = \frac{V_{req,x} + 0,30V_{req,y}}{V_{R,x} + 0,30V_{R,y}} \quad (1-5)$$

$$\lambda_y = \frac{V_{req,y} + 0,30V_{req,x}}{V_{R,y} + 0,30V_{R,x}} \quad (1-6)$$

Ενώ,

$$V_{R,x} = \beta V_{R0,x} \quad (1-7)$$

$$V_{R,y} = \beta V_{R0,y} \quad (1-8)$$

οπότε ο τελικός Δείκτης Προτεραιότητας Ελέγχου είναι,

$$\lambda = 100 \max\{\lambda_x, \lambda_y\} \quad (1-9)$$

Στις περιπτώσεις που κατ' εκτίμηση του Μηχανικού ο κρίσιμος όροφος είναι διαφορετικός από τη βάση του κτιρίου, ο Δείκτης Προτεραιότητας Ελέγχου θα προσδιορίζεται με βάση τα δεδομένα αυτής της στάθμης.

### Προσεγγιστικός Προσδιορισμός $V_{R0}$

Μία πολύ απλή αλλά αρκετά προσεγγιστική διαδικασία που προσωρινά θα μπορούσε να επιλεγεί με τα ελάχιστα κατά το δυνατόν δεδομένα είναι η εξής,

Αν  $V_{Ri}$  η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναληφθεί από κάθε κατακόρυφο στοιχείο, η μέσω υπολογισμών προκύπτουσα τέμνουσα αντοχής  $V_{R0}$ , μπορεί να ληφθεί :

$$V_{R0} = \alpha_1 \sum V_{Ri}^{\text{υποστ.}} + \alpha_2 \sum V_{Ri}^{\text{τοιχ.}} + \alpha_3 \sum V_{Ri}^{\text{κοντ.υποστ.}} + \alpha_4 \sum V_{Ri}^{\text{τοιχοπλ.}} \quad (1-10)$$

Ο προσδιορισμός των τιμών των συντελεστών  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  και  $\alpha_3$  και των αντίστοιχων τιμών  $V_{Ri}$ , αποτελεί αντικείμενο επιστημονικής διερεύνησης για μια αξιόπιστη τελική διατύπωση. Σε μια αρχική διερεύνηση θα μπορούσε να ληφθεί όπως στον Πίνακα 1-5.

Πίνακας 1-5: Πίνακας συντελεστών  $\alpha$ , για διάφορους τύπους κτιρίων

$\alpha_1 = 0,50$	$\alpha_2 = 0,70$	$\alpha_3 = 0,85$	<b>όταν υπάρχουν υποστυλώματα, τοιχώματα και κοντά υποστυλώματα</b>
$\alpha_1 = 0,70$	$\alpha_2 = 0,85$		<b>όταν υπάρχουν υποστυλώματα και τοιχώματα και δεν υπάρχουν κοντά υποστυλώματα</b>
$\alpha_1 = 0,70$	$\alpha_3 = 0,85$		<b>όταν ο φορέας είναι πλαίσιακός χωρίς τοιχώματα και υπάρχουν κοντά υποστυλώματα</b>
$\alpha_1 = 0,85$			<b>Όταν ο φορέας είναι πλαίσιακός χωρίς την παρουσία τοιχωμάτων ή κοντών υποστυλωμάτων</b>

Ο υπολογισμός των διατμητικών αντοχών  $V_{Ri}$  των κατακόρυφων στοιχείων μπορεί να ληφθεί από τις σχέσεις που προτείνονται στο Παράρτημα 7Γ του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Αν διατίθενται δεδομένα για οπλισμούς των κατακόρυφων στοιχείων ο υπολογισμός των διατμητικών αντοχών  $V_{Ri}$  μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$V_{Ri} = \min(V_{Rd}, V_m) \quad (1-11)$$

Όπου ,

- $V_{Rd}$  η διατμητική αντοχή του κατακόρυφου μέλους που μπορεί να ληφθεί από τις σχέσεις που προτείνονται στο Παράρτημα 7Γ του ΚΑΝ.ΕΠΕ.
- $V_m$  η τέμνουσα στην φάση καμπτικής αστοχίας του μέλους, με

$$V_m = M_R / L_s \quad (1-12)$$

$M_R$ , η ροπή αντοχής του κατακόρυφου στοιχείου στον πόδα του υπό εξέταση κρίσιμου ορόφου (συνήθως στην θεμελίωση).

Το μήκος διάτμησης  $L_s$  προσεγγιστικά μπορεί να ληφθεί,

$$L_s = L_k / 2 \quad (1-13)$$

Για υποστυλώματα (κανονικά ή κοντά),  $L_s$  είναι το καθαρό ύψος τους στον υπό έλεγχο κρίσιμο όροφο, στην διεύθυνση του σεισμού.

Για τοιχώματα,  $L_k$  είναι η απόσταση της διατομής βάσης του τοιχώματος (στον υπό έλεγχο κρίσιμο όροφο) από την κορυφή του τοιχώματος στο κτίριο.

#### ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΥ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ορίζεται σεισμική κατηγορία (Κ) δευτεροβαθμίου προσεισμικού ελέγχου κτιρίου ο μέγιστος στόχος αποτίμησης που μπορεί να εξασφαλίσει ένα κτίριο για στάθμη επιτελεστικότητας Β («Σημαντικές Βλάβες» κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.), εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία του δευτεροβαθμίου προσεισμικού ελέγχου.

Προκειμένου να γίνει η κατάταξη του κτιρίου σε σεισμική κατηγορία δευτεροβαθμίου προσεισμικού ελέγχου, προσδιορίζεται ο συντελεστής  $\delta$  ως εξής:

$$\delta = \min\{1/\lambda_x, 1/\lambda_y\} \quad (1-14)$$

Ακολούθως, προσδιορίζεται η σεισμική κατηγορία δευτεροβαθμίου προσεισμικού ελέγχου που ανήκει το κτίριο σύμφωνα με τον Πίνακα 1-6.

Πίνακας 1-6: Σεισμική κατηγορία κτιρίου για τιμές του  $\delta$ , σύμφωνα με το δευτεροβάθμιο προσεισμικό έλεγχο του Σ.Δρίτσου

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	$\delta$	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (Κ)
2475	2%	$1.80 \leq \delta$	K0
975	5%	$1.30 \leq \delta < 1.80$	K1+
475	10%	$1.00 \leq \delta < 1.30$	K1
225	20%	$0.75 \leq \delta < 1.00$	K2+
135	30%	$0.60 \leq \delta < 0.75$	K2
70	50%	$0.45 \leq \delta < 0.60$	K3+
40	70%	$0.35 \leq \delta < 0.45$	K3
20	90%	$0.25 \leq \delta < 0.35$	K4+
<20	>90%	$\delta < 0.25$	K4

### 1.3.2 Μέθοδος Ταχείας Αποτίμησης Βουγιούκα Ε.

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί διαδικασία ταχείας αποτίμησης της σεισμικής ικανότητας των κτιρίων, χρησιμοποιώντας τον ΚΑΝ.ΕΠΕ για να υπολογίσει την διατμητική και καμπτική αντοχή των κατακορύφων στοιχείων. Αφορά κυρίως σε κτίρια που έχουν μελετηθεί και κατασκευαστεί πριν το 1985, τα οποία έχουν ισχυρά δοκάρια και αδύναμα υποστυλώματα και στα οποία ισχύει συνήθως ο μηχανισμός αστοχίας του εύκαμπτου ισογείου. Στη μέθοδο αυτή αθροίζονται όλες οι μέγιστες αντοχές των υποστυλωμάτων και τοιχίων και η συνολική δύναμη θεωρείται η τέμνουσα βάσης του κτιρίου για κάθε διεύθυνση ξεχωριστά. Η μέθοδος είναι ακόμα πιο απλή από αυτή του κ. Δρίτσου και πραγματοποιείται εύκολα και γρήγορα.

Η ροπή διαρροής ενός κατακορύφου δομικού στοιχείου σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ υπολογίζεται από την σχέση 1-14:

$$M_y = \left(\frac{1}{r}\right)_y \left\{ E_c \cdot \frac{\xi_y}{2} \cdot [0.5 \cdot (1 + \delta') - \frac{\xi_y}{3}] + [(1 - \xi_y) \cdot \rho' + (\xi_y - \delta') \cdot \rho' + \left(\frac{\rho_v}{6}\right) \cdot (1 - \delta')] \cdot (1 - \delta') \cdot \frac{E_s}{2} \right\} \quad (1-15)$$

όπου:

- $(1/r)_y$  : καμπυλότητα διαρροής.
- $\xi_y$  : το ύψος της θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή.
- $\delta'$  : είναι ίσο με  $d'/d$ , όπου,  $d$  το στατικό ύψος και  $d'$  η απόσταση από το κέντρο του θλιβόμενου οπλισμού μέχρι την ακραία θλιβόμενη ίνα του σκυροδέματος
- $\rho, \rho', \rho_v$  : είναι τα ποσοστά του εφελκυσμένου, του θλιβόμενου και του μεταξύ τους καταναμεμένου οπλισμού (ανηγμένα στο  $bd$ , όπου  $b$  το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης της διατομής)
- $E_c, E_s$  : μέτρα ελαστικότητας σκυροδέματος, χάλυβα οπλισμού αντίστοιχα.

Η σχέση αυτή ισχύει για ορθογωνικές διατομές, ενώ προβλέπονται άλλες από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ για διατομές τύπου Γ, Τ ή Π.

Καμπυλότητα :

Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε διαρροή του εφελκυσμένου οπλισμού, τότε:

$$(1/r)_y = f_y / (E_s (1 - \xi_y) d) \quad (1-16)$$

Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε μή-γραμμικότητα των παραμορφώσεων του θλιβόμενου σκυροδέματος (για παραμόρφωση ακραίας θλιβόμενης ίνας πέραν του  $\epsilon_c \approx (1.8f_c)/E_c$ ), τότε:

$$(1/r)_y = \epsilon_c / (\xi_y d) \approx (1.8f_c) / (E_c \xi_y d) \quad (1-17)$$

Λαμβάνεται η μικρότερη των τιμών  $(1/r)_y$  από τις Εξ. 1-15 και 1-16. Το ύψος της θλιβόμενης ζώνης  $\xi_y$  υπολογίζεται για το κρίσιμο υλικό από αντίστοιχες σχέσεις σύμφωνα με το Παράρτημα 7Α του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Ύστερα υπολογίζεται η διατμητική αντοχή των υποστυλωμάτων και τοιχίων. Η διατμητική αντοχή,  $V_R$ , ενός δομικού στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος (υποστυλώματος, δοκού, τοιχώματος) το οποίο υποβάλλεται σε ανακυκλιζόμενες παραμορφώσεις μειώνεται ανάλογα με το μέγεθος του πλαστικού τμήματος της γωνίας στροφής χορδής στη διατομή της μέγιστης ροπής. Αν το μέγεθος αυτό αναχθεί στο μέγεθος της γωνίας στροφής χορδής στη διαρροή στο ίδιο σημείο, προκύπτει  $\mu_{\theta pl} = \mu_{\theta} - 1$ . Το πλαστικό τμήμα του δείκτη πλαστιμότητας γωνίας στροφής χορδής:  $\mu_{\theta pl} = \mu_{\theta} - 1$ , ισούται με τον λόγο του πλαστικού μέρους της μέγιστης τιμής της γωνίας στροφής χορδής (συνολική γωνία μείον γωνία στην διαρροή) προς την υπολογιζόμενη γωνία στροφής στην διαρροή  $\theta_y$  κατά τις Εξ. (Σ.2α) και (Σ.2β) του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Η διατμητική αντοχή δομικού στοιχείου, όπως αυτή καθορίζεται από τη διαρροή των

συνδετήρων, επιτρέπεται να θεωρείται ότι μειώνεται με την τιμή του  $\mu_{\theta pl}$  ως ακολούθως (μονάδες MN και m):

$$V_R = \frac{h-x}{2L_s} \min(N; 0,55A_c f_c) + (1-0,05 \min(5, \mu_{\theta}^{pl})) [0,16 \max(0,5; 100\rho_{tot}) (1-0,16 \min(5; a_s)) \sqrt{f_c} A_c + V_w] \quad (1-18)$$

όπου:

- h: ύψος διατομής (ίσο με τη διάμετρο D στις κυκλικές διατομές).
- $x = \xi_y d$ : ύψος της θλιβόμενης ζώνης
- N: αξονικό φορτίο (θετικό για θλίψη, μηδενικό για εφελκυσμό).
- $a_s$ : λόγος διάτμησης.
- $A_c$ : εμβαδόν της διατομής σκυροδέματος, ίση με  $b_w d$  σε διατομές με ορθογωνικό κορμό πάχους  $b_w$  και στατικό ύψος d, ή με  $\pi D_c^2/4$  (όπου  $D_c$  = διάμετρος πυρήνα διατομής εντός των συνδετήρων) σε κυκλικές διατομές.
- $f_c$ : θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (MPa).
- $\rho_{tot}$ : συνολικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού (εφελκυσμένου, θλιβόμενου και ενδιάμεσου).
- $V_w$ : συμβολή εγκάρσιου οπλισμού στη διατμητική αντοχή, ίση με,

Για διατομές με ορθογωνικό κορμό πάχους  $b_w$ :

$$V_w = \rho_w b_w z f_{yw} \quad (1-19)$$

Όπου,

- $\rho_w$ : το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού,
- z: ο μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων (ίσος με  $d-d'$  σε υποστυλώματα, δοκούς και τοιχώματα διατομής T ή H, ή με  $0,8h$  σε τοιχώματα ορθογωνικής διατομής) και
- $f_{yw}$ : η τάση διαρροής του εγκάρσιου οπλισμού.

Τέλος ελέγχεται αν η διατμητική αστοχία προηγείται αυτής τη στιγμή της καμπτικής διαρροής, που σημαίνει ότι επρόκειτο να υπάρξει ψαθυρή μορφή αστοχία. Τα σύγχρονα κτίρια, κατασκευασμένα με τους πιο πρόσφατους κανονισμούς, έχουν δυνατότητα μεγάλης πλαστιμότητας άρα και μεγάλων παραμορφώσεων, εξασφαλίζοντας ότι η αστοχία λόγω καμπτικής διαρροής θα προηγείται της διατμητικής αντοχής του κατακόρυφου δομικού στοιχείου. Η τέμνουσα κατά τη καμπτική διαρροή υπολογίζεται ως εξής ,

$$V_{mu} = M_y / L_s \quad (1-20)$$

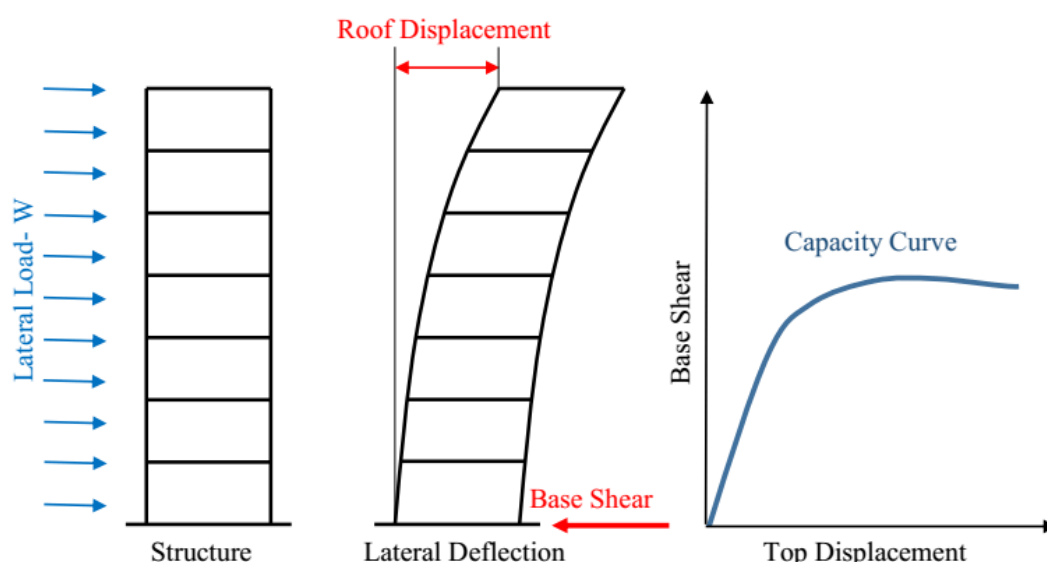
όπου :

- $M_y$ : ροπή διαρροής
- $L_s$ : μήκος διάτμησης

Εάν τελικά η  $V_{mu}$  είναι μικρότερη της  $V_R$ , τότε έχουμε πλαστική μορφή αστοχίας, ενώ σε αντίθετη περίπτωση ψαθυρή και η ροπή διαρροής υπολογίζεται μειωμένη σύμφωνα με το λόγο  $V_R/V_{mu}$ . Εκ των δύο λαμβάνεται η ελάχιστη τιμή.

## 1.4 Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Με το πέρας των δευτεροβαθμίων μεθόδων ακολουθεί ο τρίτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος με τη χρήση του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.). Σκοπός του παρόντος Κανονισμού είναι η θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφισταμένων δομημάτων και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό τους, καθώς και για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις. Στη συγκεκριμένη εργασία, η αποτίμηση γίνεται μέσω της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Pushover) με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (SeisMobuild). Η μέθοδος της Pushover είναι μια σχετικά απλή διαδικασία αποτίμησης κατά την οποία εφαρμόζονται στο κτίριο οριζόντιες, αυξανόμενες σε κάθε βήμα δυνάμεις, υπό σταθερά βαρυτικά φορτία ( $G+\psi_2Q$ ) για κάθε διεύθυνση. Αποτέλεσμα αυτής, είναι η εξαγωγή της καμπύλης ικανότητας του κτιρίου, η οποία εκφράζεται σε όρους τέμνουσας βάσης και μετακίνησης της κορυφής του φορέα. Τα σεισμικά φορτία στην pushover μπορούν να κατανοηθούν καθ' ύψος ομοιόμορφα, τριγωνικά ή ιδιομορφικά. Στο Σχήμα 1-1 δίνεται μια εικόνα της Pushover analysis.



Σχήμα 1-1: Εικόνα ανελαστικής στατικής ανάλυσης, Pushover από [https://www.researchgate.net/figure/Pushover-analysis-method-based-on-FEMA-356\\_fig4\\_314841019](https://www.researchgate.net/figure/Pushover-analysis-method-based-on-FEMA-356_fig4_314841019) [accessed 10 Jul, 2023]

Για την εξυπηρέτηση ευρύτερων κοινωνικο-οικονομικών αναγκών, θεσπίζονται διάφορες «στάθμες επιτελεσματικότητας» (στοχευόμενες συμπεριφορές) υπό δεδομένους αντίστοιχους σεισμικούς σχεδιασμούς.

Οι στάθμες επιτελεσματικότητας ορίζονται συναρτήσει του βαθμού βλάβης ως εξής,

- «Περιορισμένες βλάβες» (Α): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και δυσκαμψία τους. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες.
- «Σημαντικές βλάβες» (Β): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους. Ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριας έντασης.
- «Οιονεί κατάρρευση» (Γ): Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (μη επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα

κατακόρυφα φορτία (κατά, και για ένα διάστημα μετά, τον σεισμό), χωρίς πάντως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμη και για μετασεισμικές μέτριας έντασης.

Για τον καθορισμό των σημείων επιτελεστικότητας πάνω στην καμπύλη ικανότητας, δηλαδή την μετακίνηση του ανωτέρου ορόφου για τα αντίστοιχα επίπεδα βλαβών, χρησιμοποιείται η σχέση,

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 (T_e^2 / 4\pi^2) S_{e(T)} \quad (1-21)$$

Όπου,

- $S_{e(T)}$  η ελαστική φασματική ψευδοεπιτάχυνση (από το φάσμα του ΕΚ 8-1) που αντιστοιχεί στην ισοδύναμη ιδιοπερίοδο της κατασκευής  $T_e$  (υπολογιζόμενη με βάση το σημείο καμψής του διαγράμματος δυνάμεων – μετακινήσεων του φορέα, όπως ορίζεται στην §5.7.3.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.) και
- $C_0, C_1, C_3$  και  $C_4$  διορθωτικοί συντελεστές .

## 1.5 Ευρωκώδικας 8

Ο Ευρωκώδικας 8 αποτελεί την τρέχουσα πρακτική στην Ευρώπη όσον αφορά στην αποτίμηση κατασκευών. Ρυθμίζεται από τον Ευρωκώδικα 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια και Μέρος 3: Αποτίμηση και Επισκευή/Ενίσχυση Κτιρίων. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση των κατασκευών σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες είναι οι :

- Στάθμες Επιτελεστικότητας:

Αυτές χωρίζονται σε 3 , τη στάθμη επιτελεστικότητας «Περιορισμένες Βλάβες (DL)» στην οποία η βλάβη είναι ασήμαντη και δεν χρειάζεται κανένα μέτρο επισκευής, τη Στάθμη Επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες (SD)» στην οποία η βλάβη είναι σημαντική, αλλά μπορεί να αντέξει μετασεισμικές δονήσεις μέτριας έντασης και τη στάθμη επιτελεστικότητας «Οιονεί Κατάρρευση (NC)» κατά την οποία η κατασκευή έχει σχεδόν καταρρεύσει και δεν μπορεί να αντέξει άλλη σεισμική ένταση.

- Επίπεδο Αξιοπιστίας:

Περιορισμένη, κανονική και υψηλή στάθμη αποτελούν τα τρία επίπεδα αξιοπιστίας.

Περιορισμένη στάθμη αξιοπιστίας: Αντιστοιχεί σε μια κατάσταση γνώσης όπου η συνολική γεωμετρία και τα μεγέθη μελών είναι γνωστά από την τεχνική έκθεση ή από τα σχέδια της αρχικής μελέτης, που είναι διαθέσιμα τόσο για την αρχική κατασκευή όσο και για τυχόν μεταγενέστερες τροποποιήσεις, καθώς και επαρκές δείγμα διαστάσεων της γενικής γεωμετρίας και των μεγεθών των μελών που ελέγχθηκαν επιτόπου.

Κανονική στάθμη αξιοπιστίας: Η συνολική γεωμετρία και τα μεγέθη των μελών είναι γνωστά από εκτεταμένη έρευνα ή από τα σχέδια της μελέτης, τόσο για την αρχική κατασκευή όσο και για τυχόν μεταγενέστερες τροποποιήσεις, καθώς και επαρκές δείγμα διαστάσεων της γενικής γεωμετρίας και των μεγεθών των μελών.

Υψηλή στάθμη αξιοπιστίας: Η συνολική γεωμετρία και τα μεγέθη μελών είναι γνωστά από μια ολοκληρωμένη έρευνα ή από το πλήρες σύνολο των σχεδίων της μελέτης, τόσο για την αρχική κατασκευή όσο και για τις μετέπειτα τροποποιήσεις, καθώς και επαρκές δείγμα τόσο για γεωμετρία, όσο και για τα μεγέθη των μελών, που ελέγχθηκαν επιτόπου.



---

– Έλεγχοι Ικανότητας:

Αυτοί είναι οι έλεγχοι ικανότητας παραμόρφωσης, ικανότητας ροπής κάμψης, διατμητικής αντοχής, διατμητικών δυνάμεων κόμβων, εμβαδού οριζοντίων συνδετήρων, κόμβων, εμβαδού διαμήκους οπλισμού κόμβων και πλαστιμότητας κόμβων.

## 2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΕΑ

### 2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Φορέα

Ο φορέας της εργασίας είναι μια 6-οροφη κατασκευή του 2017 από οπλισμένο σκυρόδεμα στην περιοχή του Χαλανδρίου, που ανήκει στην Περιφερειακή ενότητα Βορείου Τομέα Αθηνών. Η τοιχοποιία είναι από οπτοπλινθοδομή με μπατικούς εξωτερικούς τοίχους και δρομικούς εσωτερικούς. Οι κατόψεις των ορόφων είναι κατ' αντιστοιχία από το ισόγειο ως τον τελευταίο όροφο 210.56 m<sup>2</sup>, 194.45 m<sup>2</sup>, 194.45 m<sup>2</sup>, 194.45 m<sup>2</sup>, 115.135 m<sup>2</sup>, 194.45 m<sup>2</sup> χωρίς τα μπαλκόνια, με ύψος 3.05 m όλοι τους εκτός από το ισόγειο (3.00 m) και τον 4<sup>ο</sup> (2.90 m). Μόνιμα φορτία της κατασκευής είναι το ίδιο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος  $g=24 \text{ kN/m}^3$ , οι επικαλύψεις  $g'=1.50 \text{ kN/m}^2$ , ενώ τα κινητά φορτία είναι  $q=2 \text{ kN/m}^2$  για την κατοικία και  $q=5 \text{ kN/m}^2$  για τους εξώστες. Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα υλικά της κατασκευής και κάποια σεισμολογικά δεδομένα σύμφωνα με τον ΕΚ-8.

Πίνακας 2-1: Υλικά της κατασκευής

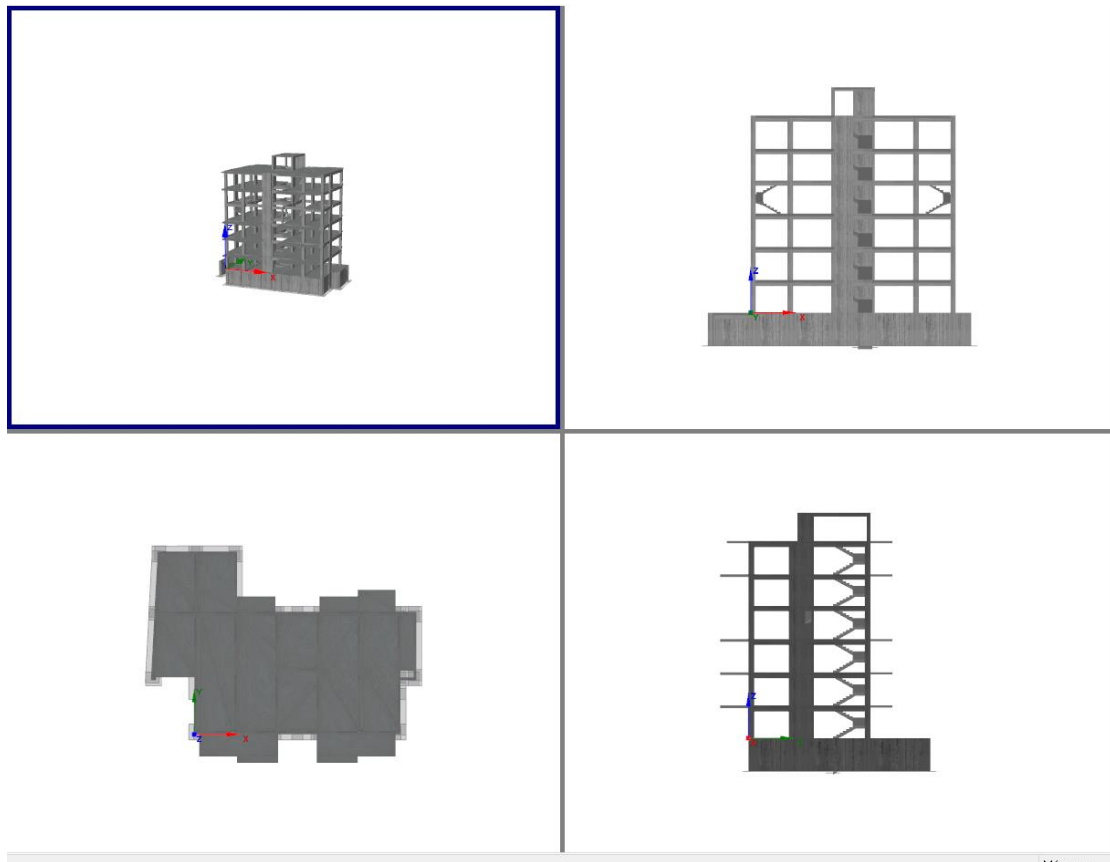
ΥΛΙΚΟ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ	ΑΝΤΟΧΗ	
		fcm (MPa)	fck (MPa)
Σκυρόδεμα	C30/37	38	30
Χάλυβας οπλισμών	B500C	555.56	500
Χάλυβας συνδετήρων	B500C	555.56	500

Πίνακας 2-2: Σεισμολογικά χαρακτηριστικά περιοχής Χαλανδρίου και κατασκευής

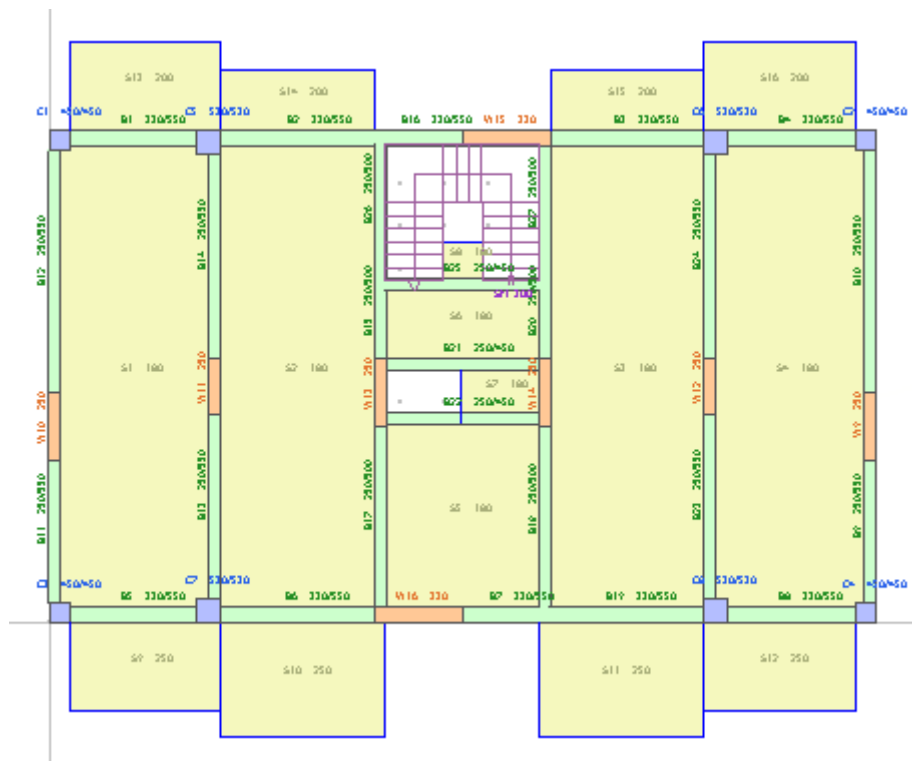
Κατηγορία σπουδαιότητας	II (χρήση κατοικίας), $\gamma_I = 1$
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I Χαλάνδρι ( $a_g = 0.16g$ )
Κατηγορία Εδάφους	B { $S= 1.2$ , $T_B = 0.15s$ $T_C = 0.50s$ $T_D = 2.50s$ }

### 2.2 Προσομοίωση Φορέα

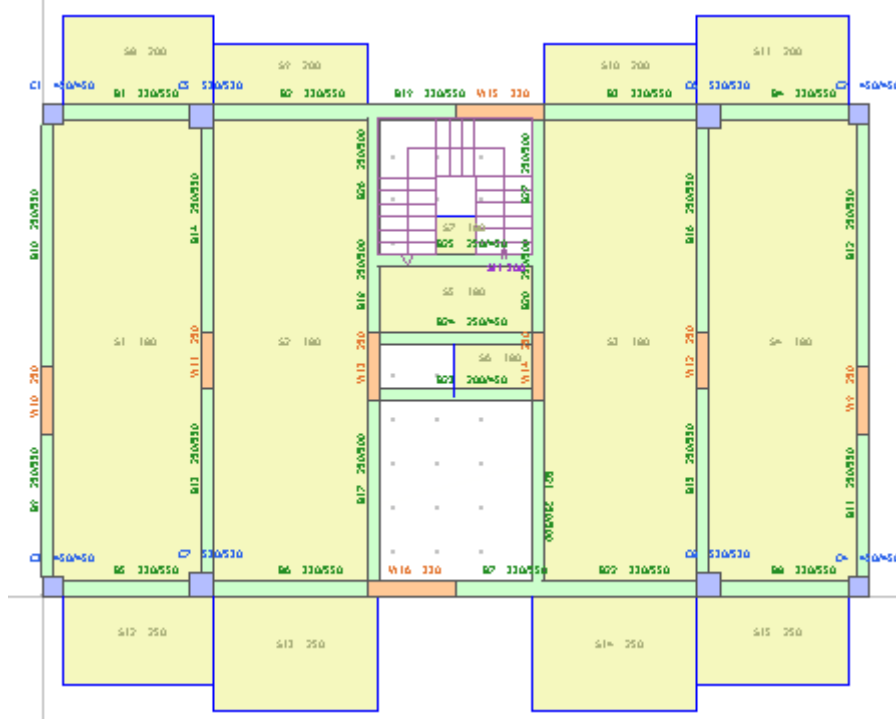
Η προσομοίωση του φορέα έγινε μέσω του λογισμικού Seismobuild v2022 της Seismosoft. Αυτό είναι ένα εύχρηστο πρόγραμμα, αφού αρκεί να του εισάγουμε τους ξυλότυπους, τα υλικά και μερικά ακόμα χαρακτηριστικά της κατασκευής. Το SeismoBuild είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων για την αποτίμηση των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και είναι σε θέση να εκτελεί όλους τους ελέγχους που ορίζουν οι Κανονισμοί, λαμβάνοντας υπόψη τις γεωμετρικές μη γραμμικότητες και την ανελαστικότητα των υλικών. Πιο συγκεκριμένα οι ξυλότυποι και οι κατόψεις που λήφθηκαν από την Πολεοδομία Αγίας Παρασκευής για την συγκεκριμένη κατασκευή, αποτυπώθηκαν στο πρόγραμμα Autocad και έγινε εισαγωγή αυτών στο Seismobuild. Κατά σειρά εντάχθηκαν τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία, έπειτα τα δοκάρια και τέλος οι πλάκες του φορέα.



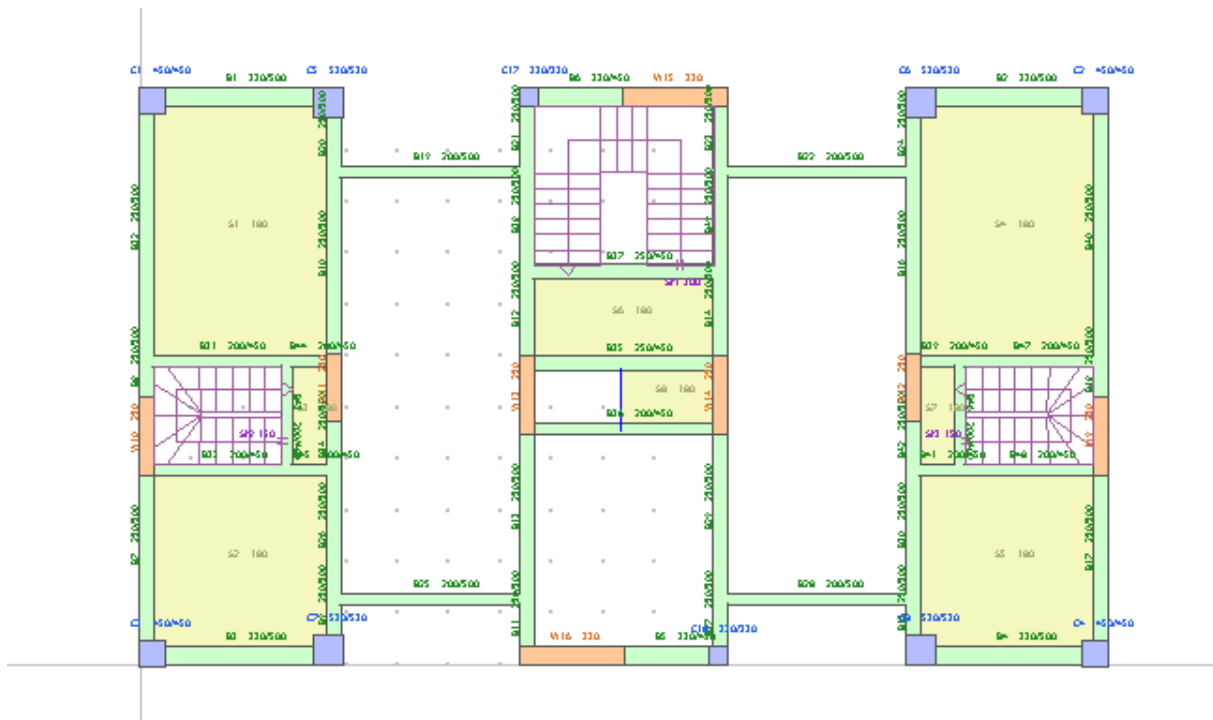
Σχήμα 2-1: Μοντέλο κτιρίου σε προβολή, όψεις και κάτοψη



Σχήμα 2-2: Ξυλότυπος ισογείου



Σχήμα 2-3: Ξυλότυπος 1<sup>ου</sup> ορόφου



Σχήμα 2-4: Ξυλότυπος 3<sup>ου</sup> ορόφου , εσωτερικός εξώστης

## 3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ

### 3.1 Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος – Ταχύς Οπτικός Έλεγχος

Αφού συμπληρώθηκε το έντυπο όπως αναφέρεται στο 1ο κεφάλαιο επιλέχθηκε η κατηγορία του δομικού τύπου σύμφωνα με τον Πίνακα 1-1. Εφόσον γίνεται λόγος για κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος του 2017, δηλαδή μελετημένο και κατασκευασμένο με σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς κατατάσσεται σε ΟΣ<sub>γ</sub>. Η βασική του βαθμολογία ξεκινά από 8 η οποία σταδιακά μειώνεται καθώς πληροί τα κριτήρια για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας 1 (0.16g), έδαφος κατηγορίας Β, μεγάλο ύψος, μη κανονικότητα σε κάτοψη (λόγω του 4ου ορόφου που αποτελεί εσωτερικό εξώστη για τον 3ο όροφο) και για έναν μέσο αριθμό χρηστών από 10-99 ατόμων. Η τελική του βαθμολογία υπολογίζεται 6, οπότε και κατατάσσεται σε κτίριο χαμηλής προτεραιότητας για περαιτέρω έλεγχο. Τα κριτήρια αναγράφονται αναλυτικά στον Πίνακα 3-1.

Πίνακας 3-1: Βαθμολογία κτιρίου για Πρωτοβάθμιο Προσεισμικό Έλεγχο

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΟΣ <sub>γ</sub>
Βασική Βαθμολογία, αναλόγως Δομικού Τύπου	8
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας I	-0.5
Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας II ή III	-
Έδαφος κατηγορίας Β (για αποδεδειγμένως Α: - 0.1)	-0.3
Έδαφος κατηγορίας Γ ή Δ	-
Έδαφος Γ ή Δ και άνω των 5 ορόφων	-
Έδαφος κατηγορίας Χ	-
Χωρίς Αντισεισμικό Κανονισμό	-
Προηγούμενες σεισμικές επιβαρύνσεις, προβλήματα	-
Κακή κατάσταση	-
Κρούση με γειτονικά κτίρια	-
Pilotis ή/και Κοντά Υποστυλώματα	-
Κανονική διάταξη τοιχοπλήρωσης σε κάτοψη	-
Μεγάλο ύψος	-0.5
Μη κανονικότητα σε τομή	-
Μη κανονικότητα σε κάτοψη	-0.5
Στρέψη (έντονη)	-
Ένταση λειτουργίας	0.2
Αριθμός χρηστών ≤ 9	-
Αριθμός χρηστών 10-99	-0.4
Αριθμός χρηστών ≥ 100	-
Συνολική Βαθμολογία	6

## 3.2 Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος

### 3.2.1 Μέθοδος Δρίτσου Σ.

Καταρχήν η μέθοδος ξεκινάει με την εκτίμηση του συντελεστή  $\beta$  για κάθε διεύθυνση, ο οποίος προκύπτει από τα 13 κριτήρια που ορίζει η διαδικασία. Ο βαθμός του κάθε κριτηρίου κυμαίνεται από τους ακεραίους από το 1 έως το 5, για σημαντική σεισμική επιβάρυνση και ασήμαντη αντίστοιχα. Η επιλογή του βαθμού κάποιων κριτηρίων ωστόσο, χρήζει και της σωστής κρίσης του μηχανικού. Ακολουθούν αναλυτικά τα κριτήρια ως εξής,

- Κριτήριο 1: Βλάβες στατικής ανεπάρκειας

Δεν παρατηρούνται βλάβες σε δομικά στοιχεία της κατασκευής. Επιλέγεται βαθμός κριτηρίου το 5.

B1=5

- Κριτήριο 2: Οξειδωση οπλισμών

Δεν παρατηρείται οξειδωση των οπλισμών. Επιλέγεται βαθμός κριτηρίου το 5

B2=5

- Κριτήριο 3: Μέγεθος ανηγμένου αξονικού φορτίου

Το μέσο ανηγμένο αξονικό φορτίο υπολογίζεται  $vd = 0.085 (< 0.15)$  οπότε βαθμολογείται με 5, καθώς και το ανηγμένο αξονικό φορτίο κάθε κατακορύφου στοιχείου είναι μικρότερο του 0.15 οπότε και αυτό βαθμολογείται με 5. Η τελική βαθμολογία του κριτηρίου είναι 5.

B3=5

Πίνακας 3-2: Τιμές του ανηγμένου αξονικού φορτίου των κατακορύφων στοιχείων του ισογείου

Μέλος	Διατομή (m)	Ac (m <sup>2</sup> )	Nsd (kN)	vd
K1	0.45x0.45	0.203	480.08	0.079
K2	0.45x0.45	0.203	480.30	0.079
K3	0.45x0.45	0.203	370.90	0.061
K4	0.45x0.45	0.203	391.93	0.064
K5	0.53x0.53	0.281	962.41	0.110
K6	0.53x0.53	0.281	783.63	0.093
K7	0.53x0.53	0.281	772.50	0.092
K8	0.53x0.53	0.281	930.32	0.110
T1	2x0.33	0.660	1273.7	0.064
T2	2x0.33	0.660	1126.76	0.057
T3	0.25x1.5	0.375	690.15	0.061
T4	0.25x1.25	0.313	881.61	0.094
T5	0.25x1.25	0.313	1078.63	0.115
T8	0.25x1.25	0.313	1119.41	0.119
T9	0.25x1.25	0.313	873.41	0.093
T10	0.25x1.50	0.375	672.02	0.060

– Κριτήριο 4: Κανονικότητα κάτοψης

Η κάτοψη του κτιρίου είναι ορθογωνική με λόγο  $L_{\max}/L_{\min} = 1.68 < 4$ . Το κτίριο θεωρείται κανονικό σε κάτοψη και ο βαθμός του κριτηρίου είναι 5.

B4=5

– Κριτήριο 5: Κατανομή δυσκαμψίας σε στρέψη

Αφού υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες του κέντρου μάζας ( $X_{cm}, Y_{cm}$ ) και του κέντρου δυσκαμψίας ( $X_{cr}, Y_{cr}$ ), βρέθηκαν οι εκκεντρότητες ανά διεύθυνση ( $e_x$  και  $e_y$ ) και οι ζητούμενες ανηγμένες τιμές τους ( $\epsilon_x$  και  $\epsilon_y$ ). Συγκεκριμένα  $X_{cm}=9.41m$ ,  $Y_{cm}= 5.65m$ ,  $X_{cr}=9.4m$ ,  $Y_{cr}=6.20m$ , από όπου προέκυψαν  $e_x=0.006$ ,  $e_y =0.5456$  και οι ανηγμένες εκκεντρότητες  $\epsilon_x=0.000322$  και  $\epsilon_y=0.04872$  που είναι μικρότερες του 0.05. Το κτίριο θεωρείται πρακτικώς συμμετρικό, χωρίς στρεπτική απόκριση, οπότε ο βαθμός του κριτηρίου είναι 5 και στις 2 διευθύνσεις.

B5,x = 5

B5,y = 5

Πίνακας 3-3: Δυσκαμψίες μελών και στοιχεία για την εύρεση του κέντρου μάζας και του κέντρου δυσκαμψίας

Μέλος	$x_i \cdot N_i$	$y_i \cdot N_i$	$K_x$ (kN/m)	$K_y$ (kN/m)	$x_i \cdot K_x$ (kN)	$y_i \cdot K_y$ (kN)
K1	108.01	108.02	11724.16	9406.20	2637.938	2116.39
K2	8921.57	108.03	11724.16	9406.20	217776.44	2116.39
K3	83.45	4070.62	11724.16	10562.20	2637.94	115920.20
K4	7280.1	4301.43	11724.16	10562.20	217776.44	115920.20
K5	3498.36	255.03	26251.15	21637.68	95422.95	5733.98
K6	11883.74	207.66	27530.21	21637.68	417495.65	5733.98
K7	2808.03	8447.28	27436.72	21877.05	99732.51	239225.53
K8	14108.30	10173.04	26251.15	21877.05	398098.78	239225.53
T1	13246.48	210.16	559841.77	9603.37	5822354.40	1584.55
T2	9464.78	12433.79	559841.77	9756.98	4702670.90	107668.32
T3	86.26	4658.51	3487.31	183759.06	435.91	1240373.63
T4	3328.07	5135.38	3204.061	108199.22	12095.33	630260.45
T5	8116.69	6417.84	4538.82	106917.92	34154.65	636161.63
T8	12621.34	6660.48	4538.82	106917.92	51175.24	636161.63
T9	13122.98	5087.61	3204.061	108199.22	48141.02	630260.45
T10	12549.97	4536.13	3487.31	183759.06	65125.68	1240373.63

– Κριτήριο 6: Κανονικότητα σε τομή/όψη

Το υφιστάμενο κτίριο έχει εσωτερικό εξώστη στον 4<sup>ο</sup> όροφο που συνδέεται με σκάλα με τον 3<sup>ο</sup> και υπολείπεται σε τετραγωνικά μέτρα κάτοψης. Ο λόγος της επιφάνειας του εσωτερικού εξώστη προς τον υποκείμενο όροφο (3<sup>ο</sup>) είναι 0.59 (< 0.6) και άρα χαρακτηρίζεται μη κανονικό σε τομή/όψη. Βαθμός κριτηρίου είναι το 1.

B6 = 1

– Κριτήριο 7: Κατανομή δυσκαμψίας καθ' ύψος – μαλακός όροφος

Η δυσκαμψία του 1ου ορόφου υπερβαίνει το 150% της δυσκαμψίας του 2ου και στις 2 διευθύνσεις .

$$K_{c,x,1} = 1,296,509.889 \text{ kN/m} > 1.5 * K_{c,x,2} = 806,546.7919 \text{ kN/m} \text{ και}$$

$$K_{c,y,1} = 944,079.0326 \text{ kN/m} > 1.5 * K_{c,y,2} = 527,643.0592 \text{ kN/m}$$

Επομένως ο βαθμός του κριτηρίου είναι 1 και θεωρείται ότι έχουμε μαλακό όροφο .

$$B7,x = 1$$

$$B7,y = 1$$

Πίνακας 3-4: Δυσκαμψίες μελών και συνολικά του 1<sup>ου</sup> και του 2<sup>ου</sup> ορόφου , που είναι οι χαρακτηριστικοί

Μέλος	1ος όροφος		2ος όροφος	
	K <sub>x</sub> (kN/m)	K <sub>y</sub> (kN/m)	K <sub>x</sub> (kN/m)	K <sub>y</sub> (kN/m)
K1	11724.16	9406.20	9098.67	4483.99
K2	11724.16	9406.20	9098.67	4483.99
K3	11724.16	10562.20	9098.67	6892.92
K4	11724.16	10562.20	9098.67	6892.92
K5	26251.15	21637.68	15978.10	7341.89
K6	27530.21	21637.68	18536.47	7341.89
K7	27436.72	21877.04	18352.94	7341.89
K8	26251.15	21877.04	15978.10	7341.89
T1	559841.77	9603.36	210624.63	3339.10
T2	559841.77	9756.98	210624.63	3339.10
T3	3487.31	183759.05	1340.71	67896.87
T4	3204.06	108199.21	1228.93	39292.17
T5	4538.82	106917.92	3034.49	39292.17
T8	4538.82	106917.92	3034.49	39292.17
T9	3204.06	108199.21	1228.93	39292.17
T10	3487.31	183759.05	1340.71	67896.87
ΣΥΝΟΛΟ	1296509.88	944079.03	537697.86	351762.03

– Κριτήριο 8: Κατανομή μάζας καθ' ύψος

Ο υπολογισμός της μάζας του κάθε ορόφου έγινε μέσω της άθροισης των κατακορύφων φορτίων. Οι μονάδες από kN μετατράπηκαν σε tn. Οι πρώτοι 3 όροφοι όπως και ο 5<sup>ος</sup> είναι πανομοιότυποι και έχουν σχεδόν το ίδιο βάρος ενώ διαφορά παρατηρείται στον εσωτερικό εξώστη (πάνω από τον 3<sup>ο</sup> όροφο) που έχει σημαντικά μικρότερο βάρος. Η μάζα του τρίτου ορόφου είναι περίπου ίση με το 150% της μάζας του εξώστη και ο βαθμός του κριτηρίου κρίνεται 2.

$$\text{μάζα 3<sup>ου</sup> / μάζα εξώστη} = 1.4955 \text{ ή } 149.6\%$$

$$B8 = 2$$



Πίνακας 3-5: βάρος και μάζα κάθε ορόφου

όροφος	βάρος (kN)	μάζα (tn )
1ος	1635.73	166.74
2ος	1635.73	166.74
3ος	1635.73	166.74
εξώστης	1093.78	111.50
5ος	1635.73	166.74
Δώμα	1368.64	139.51

– Κριτήριο 9: Κοντά υποστυλώματα

Μέσω του προγράμματος στο οποίο μοντελοποιήθηκε ο φορέας λήφθηκαν οι τιμές διατμητικής αντοχής των κατακορύφων στοιχείων και έτσι υπολογίστηκε ο βαθμός τοιχωματοποίησης του κτιρίου. Αυτός είναι αρκετά υψηλός και για τις 2 διευθύνσεις και συγκεκριμένα  $a_{τ,x} = 0.85 (> 0.5)$  και  $a_{τ,y} = 0.84 (> 0.5)$  οπότε θεωρείται βαθμός κριτηρίου 5. Δηλαδή δεν υπάρχουν κοντά υποστυλώματα.

$$B_{9,x} = 5$$

$$B_{9,y} = 5$$

– Κριτήριο 10: Κατακόρυφες ασυνέχειες

Στο κτίριο έχουμε 2 φυτευτά υποστυλώματα σε δοκάρια στον 4<sup>ο</sup> όροφο. Τα δοκάρια έχουν έμμεση στήριξη και δεν υπάρχουν εκκεντρώτες των φυτευτών υποστυλωμάτων. Ο χαμηλότερος βαθμός των 6 κριτηρίων, που θέτει η μέθοδος, είναι 1 λόγω έμμεσης στήριξης των δοκών και αυτός είναι και ο βαθμός του 10<sup>ου</sup> κριτηρίου.

$$B_{10} = 1$$

– Κριτήριο 11: Διαδρομή και μεταφορά δυνάμεων

Το κτίριο έχει περιμετρικά τοιχώματα και φωταγωγό, ωστόσο τα περισσότερα τοιχώματα συνδέονται με το διάφραγμα και εν τέλει ο βαθμός του κριτηρίου υπολογίζεται 4.625 που στρογγυλοποιείται στο 5.

$$B_{11} = 5$$

– Κριτήριο 12: Γειτονικά κτίρια

Το κτίριο δεν συνορεύει με γειτονικά κτίρια σε καμία διεύθυνση, επομένως ο βαθμός του κριτηρίου είναι 5 αφού δεν υπάρχει καμία επιρροή από αυτά.

$$B_{12,x} = 5$$

$$B_{12,y} = 5$$

– Κριτήριο 13: Κακοτεχνίες, τραυματισμοί

Δεν παρατηρούνται κακοτεχνίες και τραυματισμοί. Βαθμός κριτηρίου 5.

$$B_{13} = 5$$

Πίνακας 3-6: Σύνοψη δεκατριών κριτηρίων της μεθόδου του Δρίτσου Σ.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ				χ	ψ	Συντελεστές βαρύτητας
1	ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑΣ	B1	=	5	5	0.1
2	ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ	B2	=	5	5	0.1
3	ΜΕΓΕΘΟΣ ΑΝΗΓΜΕΝΟΥ ΑΞΟΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	B3	=	5	5	0.05
4	ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΨΗΣ	B4	=	5	5	0.05
5	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΟΨΗ - ΣΤΡΕΨΗ	B5	=	5	5	0.1
6	ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΤΟΜΗ/ΟΨΗ	B6	=	1	1	0.05
7	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΚΑΘ' ΥΨΟΣ – ΜΑΛΑΚΟΣ ΟΡΟΦΟΣ	B7	=	1	1	0.15
8	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΑΖΑΣ ΚΑΘ' ΥΨΟΣ	B8	=	2	2	0.05
9	ΚΟΝΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	B9	=	5	5	0.15
10	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ	B10	=	1	1	0.05
11	ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ	B11	=	5	5	0.05
12	ΓΕΙΤΟΝΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ	B12	=	5	5	0.05
13	ΚΑΚΟΤΕΧΝΙΕΣ, ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΙ	B13	=	5	5	0.05

Για τον υπολογισμό του μειωτικού συντελεστή επιρροής των κριτηρίων στην τέμνουσα βάση του κτιρίου χρησιμοποιείται η Σχέση 1-3 τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον Πίνακα 3-7.

Πίνακας 3-7: Συντελεστής β για κάθε διεύθυνση

β <sub>χ</sub>	0.77
β <sub>ψ</sub>	0.77

Στον Πίνακα 3-8 φαίνονται οι διατμητικές αντοχές των κατακορύφων στοιχείων που υπολογίζονται σύμφωνα με τις Σχέσεις 1-14 και 1-17.

Πίνακας 3-8: Διατμητικές αντοχές μελών με τη μέθοδο του Δρίτσου Σ.

Μέλος	VRd,s,x (kN)	VRd,s,y (kN)	VMu,x (kN)	VMu,y (kN)	Vr,i,x (kN)	Vr,i,y (kN)
K1	970.00	964.19	170.07	170.07	170.07	170.07
K2	976.92	955.00	170.07	170.07	170.07	170.07
K3	972.52	978.61	170.07	170.07	170.07	170.07
K4	976.11	989.43	170.07	170.07	170.07	170.07
K5	1234.18	1280.13	354.26	448.04	354.26	448.04
K6	1214.48	1261.70	349.45	382.09	349.45	382.09
K7	1218.48	1277.90	328.44	374.26	328.44	374.26
K8	1271.98	1283.78	325.57	365.46	325.57	365.46
T1	2037.00	1445.90	2301.30	423.26	2037.00	423.26
T2	2036.18	1497.87	2276.52	333.05	2036.18	333.05
T3	224.63	862.11	202.04	972.20	202.04	862.11
T4	898.40	606.80	183.41	853.27	183.41	606.80
T5	910.50	943.51	180.43	1041.18	180.43	943.51
T8	923.82	825.36	230.85	1097.73	230.85	825.36
T9	188.54	564.59	184.47	906.17	184.47	564.59
T10	186.25	808.54	170.78	803.21	170.78	803.21

Στη συνέχεια υπολογίζεται για κάθε διεύθυνση η  $V_{R0}$  σύμφωνα με τη Σχέση 1-9, όπου  $\alpha_1=0.70$ ,  $\alpha_2=0.85$ ,  $\alpha_3=0$ ,  $\alpha_4=0$ .

$$V_{R0,x}=5867.979 \text{ kN}$$

$$V_{R,x}=4518.344 \text{ kN}$$

$$V_{R0,y}=6132.679 \text{ kN}$$

$$V_{R,y}=4722.162 \text{ kN}$$

Για τον υπολογισμό της  $V_{req}$  γίνεται χρήση του φάσματος σχεδιασμού του ΕΚ8 και της Σχέσης 1-1. Ο συντελεστής συμπεριφοράς για στάθμη επιτελεστικότητας Β «Σημαντικές Βλάβες», λαμβάνεται ίσος με 3 όπως συμβουλεύει ο Πίνακας 3-9 κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. Οι ιδιοπερίοδοι κατά  $x$  και κατά  $y$  είναι  $T=0.461s$  και  $T_2=0.4484s$  αντίστοιχα .

Η τιμή της  $V_{req}$  σε κάθε διεύθυνση είναι :

$$V_{req,x}=V_{req,y}=1695.156 \text{ kN}$$

Πίνακας 3-9: Τιμές του  $\alpha$  για «Σημαντικές Βλάβες»

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί μελέτης (και κατασκευής)	Ευμενής παρουσία ή απουσία τοιχοπληρώσεων (1)		Δυσμενής (γενικώς) παρουσία τοιχοπληρώσεων (1)	
	Ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία		Ουσιώδεις βλάβες σε πρωτεύοντα στοιχεία	
	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι
1995≤...	3,0	2,3	2,3	1,7
1985≤...<1995(2)	2,3	1,7	1,7	1,3
...<1985	1,7	1,3	1,3	1,1

Επομένως καταλήγουμε σε  $\lambda_x=0.371$  ,  $\lambda_y=0.363$  και άρα  $\lambda=37.13$ .

Τέλος προκύπτει  $\delta=2.69$  οπότε σύμφωνα με τον πίνακα 3-10 κατατάσσεται στην σεισμική κατηγορία Κ0 με πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών, 2%.

Πίνακας 3-10: Κατάταξη σεισμικής κατηγορίας για τις τιμές του  $\delta$ 

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	$\delta$	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (Κ)
2475	2%	$1.80 \leq \delta$	Κ0
975	5%	$1.30 \leq \delta < 1.80$	Κ1 <sup>+</sup>
475	10%	$1.00 \leq \delta < 1.30$	Κ1
225	20%	$0.75 \leq \delta < 1.00$	Κ2 <sup>+</sup>
135	30%	$0.60 \leq \delta < 0.75$	Κ2
70	50%	$0.45 \leq \delta < 0.60$	Κ3 <sup>+</sup>
40	70%	$0.35 \leq \delta < 0.45$	Κ3
20	90%	$0.25 \leq \delta < 0.35$	Κ4 <sup>+</sup>
<20	>90%	$\delta < 0.25$	Κ4

### 3.2.2 Μέθοδος Ταχείας Αποτίμησης Ε. Βουγιούκα

Η μέθοδος ταχείας αποτίμησης Βουγιούκα Ε. κάνει χρήση των Σχέσεων 1-14 και 1-17 που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 1 για να υπολογίσει την διατμητική αντοχή των κατακορύφων δομικών στοιχείων του φορέα. Στην παρούσα εργασία μοντελοποιήθηκε πρώτα το κτίριο στο πρόγραμμα SeisMobuild το οποίο χρησιμοποιεί τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Οι τιμές που έδωσε για τις αντοχές σε διάτμηση ( $V_R$ ) και καμπτική αντοχή ( $M_y$ , από την οποία υπολογίζεται η  $V_{mu}$ ) δίνονται στους Πίνακες 3-11 και 3-12. Τελικώς η αντοχή του κάθε μέλους είναι η μικρότερη εκ των 2 και αθροίζοντας τες για όλα τα μέλη βρέθηκε η τέμνουσα βάση του κτιρίου για κάθε διεύθυνση ως εξής,

$$V_{R,x}=7263.15 \text{ kN}$$

$$V_{R,y}=7611.995 \text{ kN}$$

Πίνακας 3-11: Πίνακας διατμητικών αντοχών στη Χ διεύθυνση κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7Γ 2022

Μέλος	My (kNm)	Vmu (kN)	VR (kN)	Vr (kN)
K1	239.80	170.07	970.00	170.07
K2	239.80	170.07	976.92	170.07
K3	239.80	170.07	972.52	170.07
K4	239.80	170.07	976.11	170.07
K5	499.51	354.26	1234.18	354.26
K6	492.73	349.45	1214.48	349.45
K7	463.10	328.44	1218.48	328.44
K8	459.05	325.57	1271.98	325.57
T1	3244.83	2301.30	2037.00	2037.00
T2	3209.90	2276.52	2036.18	2036.18
T3	284.88	202.04	224.63	202.04
T4	258.61	183.41	898.40	183.41
T5	254.40	180.43	910.50	180.43
T8	325.50	230.85	923.82	230.85
T9	260.10	184.47	188.54	184.47
T10	240.80	170.78	186.25	170.78

Πίνακας 3-12: Πίνακας διατμητικών αντοχών στη Υ διεύθυνση κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7Γ 2022

Μέλος	My (kNm)	Vmu (kN)	VR (kN)	Vr (kN)
K1	239.80	170.07	964.19	170.07
K2	239.80	170.07	955.00	170.07
K3	239.80	170.07	978.61	170.07
K4	239.80	170.07	989.43	170.07
K5	631.73	448.04	1280.13	448.04
K6	538.75	382.09	1261.70	382.09
K7	527.70	374.26	1277.90	374.26
K8	515.30	365.46	1283.78	365.46
T1	596.80	423.26	1445.90	423.26
T2	469.60	333.05	1497.90	333.05
T3	1370.80	972.20	862.11	862.11
T4	1203.11	853.27	606.80	606.80
T5	1468.07	1041.18	943.51	943.51
T8	1547.80	1097.73	825.36	825.36
T9	1277.70	906.17	564.59	564.59
T10	1132.52	803.21	808.54	803.21

### 3.3 Τριτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος

#### 3.3.1 ΚΑΝ.ΕΠΕ.

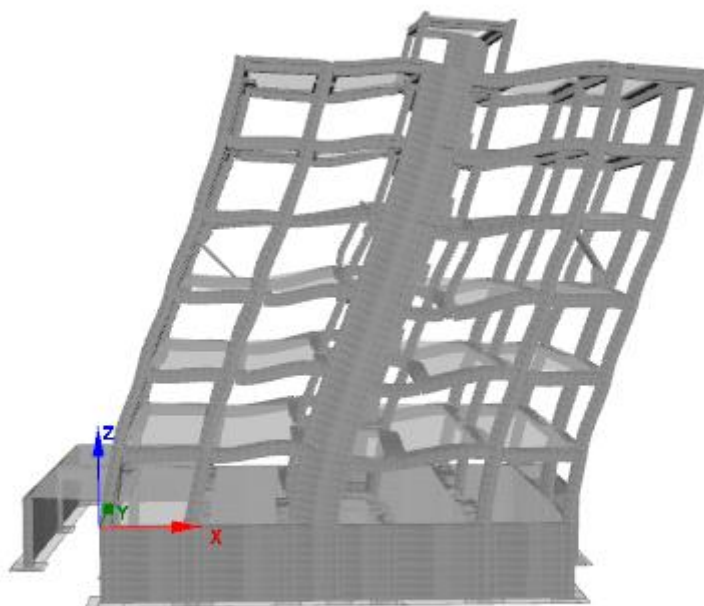
Για την εργασία ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. εφαρμόζεται με την ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover) μέσω του προγράμματος SeisMobuild. Ως στόχοι επιτελεστικότητας τέθηκαν Β1 για «Σημαντικές Βλάβες» (πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και περίοδο επαναφοράς τα 475 χρόνια) και Γ0 για «Οιονει κατάρρευση» (πιθανότητα υπέρβασης 2% στα 50 χρόνια και περίοδο επαναφοράς τα 2475 χρόνια). Για το φάσμα σχεδιασμού τέθηκε PGA (Peak Ground Acceleration)=0.16g για περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια, αφού η περιοχή του Χαλανδρίου ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι. Ο τύπος εδάφους, όπως αναφέρεται και στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο είναι Β και η κατηγορία σπουδαιότητας του κτιρίου, ΙΙ. Για την Pushover ανάλυση ορίσθηκαν οι 64 σεισμικοί συνδυασμοί που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. (  $E_x/y \pm 0,3E_y/x \pm eccX,Y$  ) υπό τα στατικά βαρυτικά φορτία ( $G + 0.3Q$ ) για ιδιομορφική και ομοιόμορφη κατανομή της οριζόντιας δύναμης. Θεωρήθηκε στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων «Υψηλή» και οι τοιχοποιίες δεν λήφθηκαν υπόψη στην ανάληψη οριζοντίων δυνάμεων, αλλά ως πρόσθετο βάρος στην κατασκευή. Για την αποτίμηση του κτιρίου, το πρόγραμμα εξαγει τις καμπύλες ικανότητας για κάθε συνδυασμό καθώς και τους ελέγχους κάθε μέλους σε στροφή χορδής και διατμητικής αντοχής.

##### 3.3.1.1 Ιδιομορφική Ανάλυση

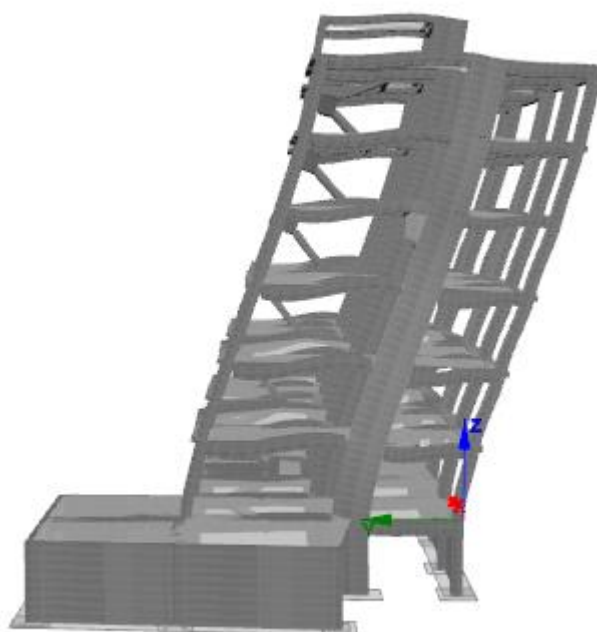
Προαπαιτούμενο βήμα πριν ξεκινήσει η Pushover είναι η ιδιομορφική ανάλυση η οποία μας βοηθάει να καταλάβουμε με ποιον τρόπο ταλαντώνεται το κτίριο. Η μορφή της ταλάντωσης αυτού για κάθε ιδιομορφή είναι ένα άθροισμα μονοβαθμίων ταλαντώσεων. Κάθε ιδιομορφή ενεργοποιεί ένα ποσοστό της μάζας του κτιρίου. Οι ιδιομορφές με την μεγαλύτερη ενεργό μάζα αποτελούν τις δεσπόζουσες ιδιομορφές του κτιρίου. Στην συγκεκριμένη κατασκευή αυτές είναι οι 3 πρώτες, με τις 2 πρώτες να είναι μεταφορικές κατά Χ και κατά Υ αντίστοιχα και με τη 3<sup>η</sup> να είναι στρεπτική περί από τον άξονα Ζ. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3-13 η πρώτη ιδιομορφή του κτιρίου ( $T_1 = 0.461$  s) ενεργοποιεί το 68.6 % της μάζας του κατά Χ, η δεύτερη ( $T_2 = 0.448$  s) το 70.62 % της μάζας του κατά Υ, ενώ η τρίτη ( $T_3 = 0.34$ s) το 68.5 % της μάζας του περί τον άξονα Ζ.

Πίνακας 3-13: Ιδιοπερίοδοι και ενεργές ιδιομορφικές μάζες των ιδιομορφών της κατασκευής

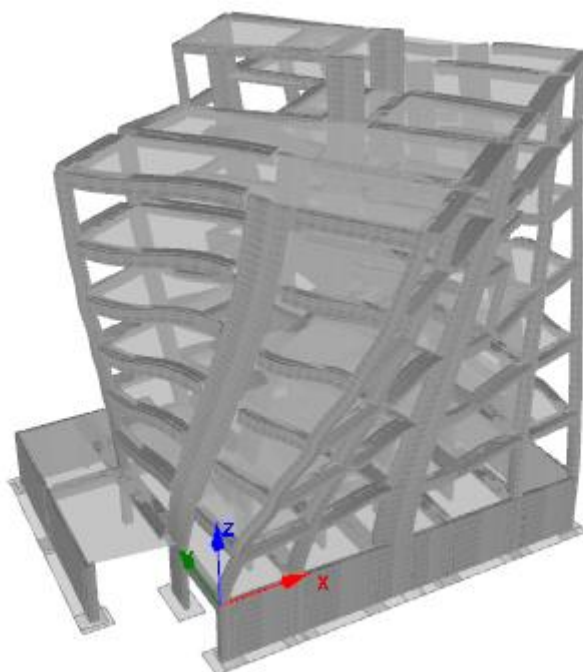
Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος (sec)	Ενεργός ιδιομορφική μάζα (%)		
		x	y	rz
1	0.461	68.60	2.09	0.06
2	0.448	1.97	70.62	0.03
3	0.340	0.05	0.01	68.50



Σχήμα 3-1: Παραμόρφωση κτιρίου κατά την 1<sup>η</sup> ιδιομορφή



Σχήμα 3-2: Παραμόρφωση κτιρίου κατά την 2<sup>η</sup> ιδιομορφή

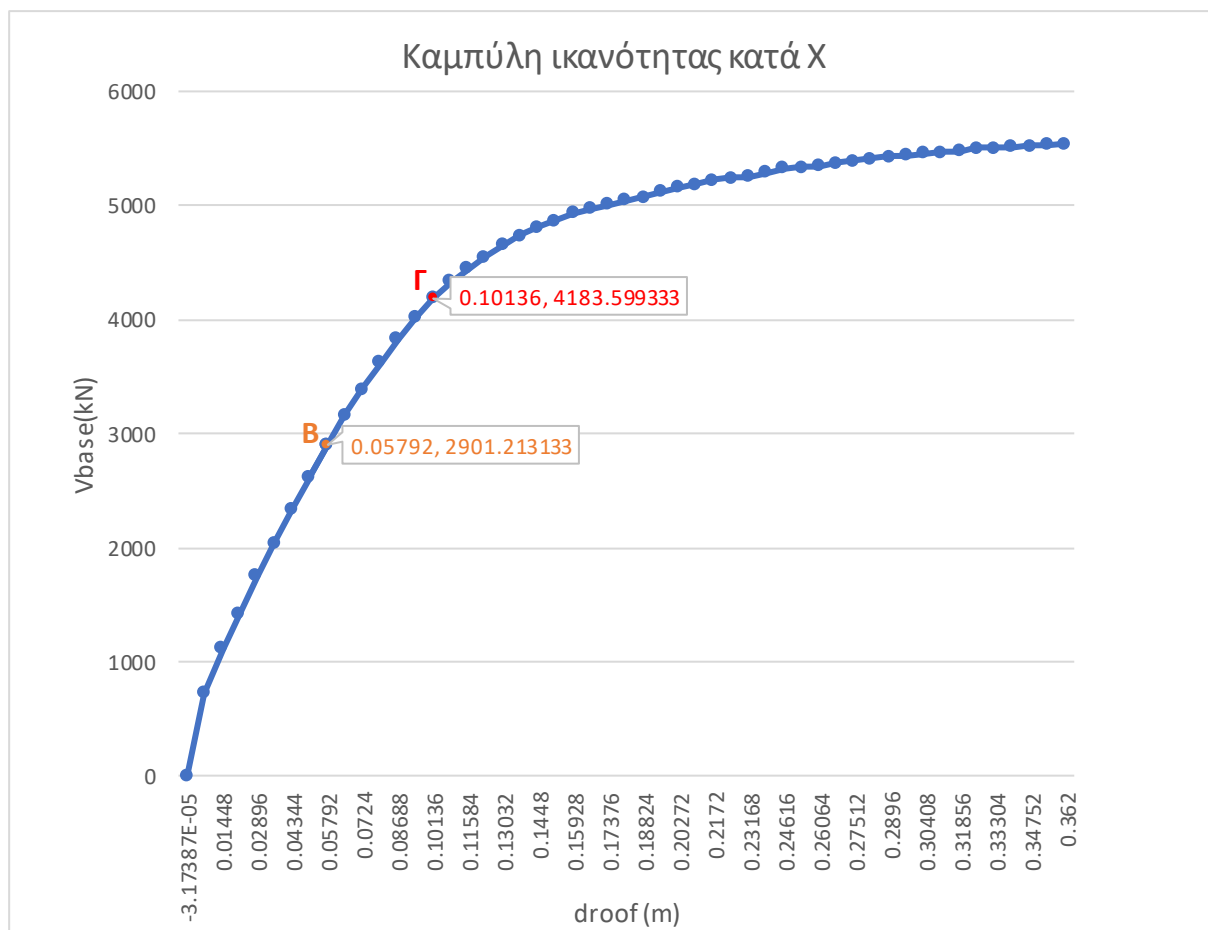


Σχήμα 3-3: Παραμόρφωση κτιρίου κατά την 3<sup>η</sup> ιδιομορφή

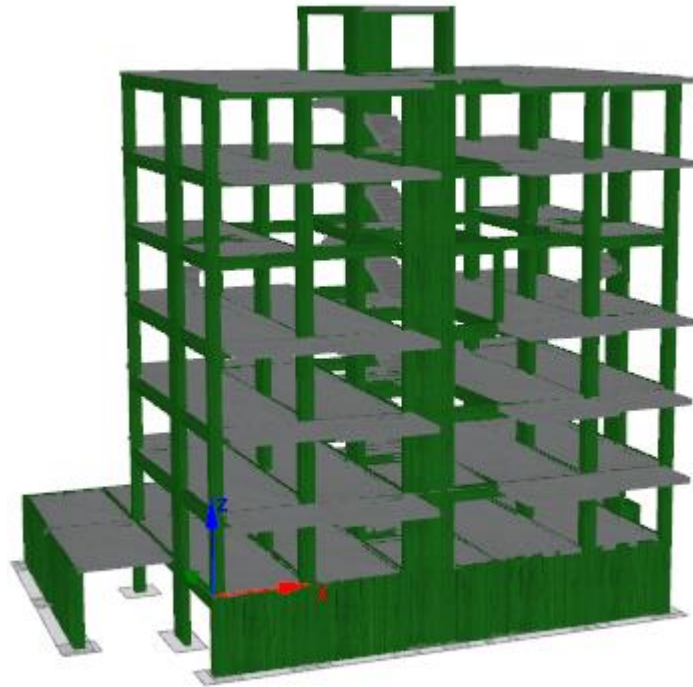
### 3.3.1.2 Ανελαστική Στατική Ανάλυση

Για τα παραπάνω δεδομένα που αφορούν τους στόχους επιτελεστικότητας (B1, Γ0), σεισμολογικά στοιχεία (PGA=0.16g, έδαφος B, σπουδαιότητα II) και συνδυασμούς κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. δόθηκαν οι καμπύλες ικανότητας για κάθε διεύθυνση όπως φαίνονται στα Σχήματα 3-4 και 3-9. Πάνω στις καμπύλες με πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα αναγράφονται οι στάθμες επιτελεστικότητας Β και Γ αντίστοιχα. Στα Σχήματα παρακάτω (3-5, 3-6, 3-7, 3-8, 3-10, 3-11, 3-12, 3-13) φαίνονται οι έλεγχοι σε στροφή χορδής και διατμητικής αντοχής των δομικών μελών. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα μέλη που αστοχούν, ενώ τα υπόλοιπα ικανοποιούν τις προδιαγραφές του κανονισμού.

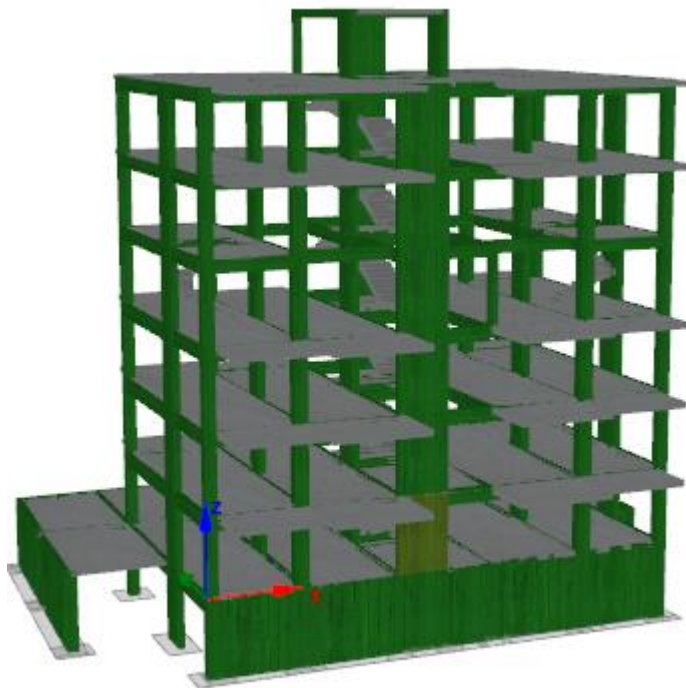




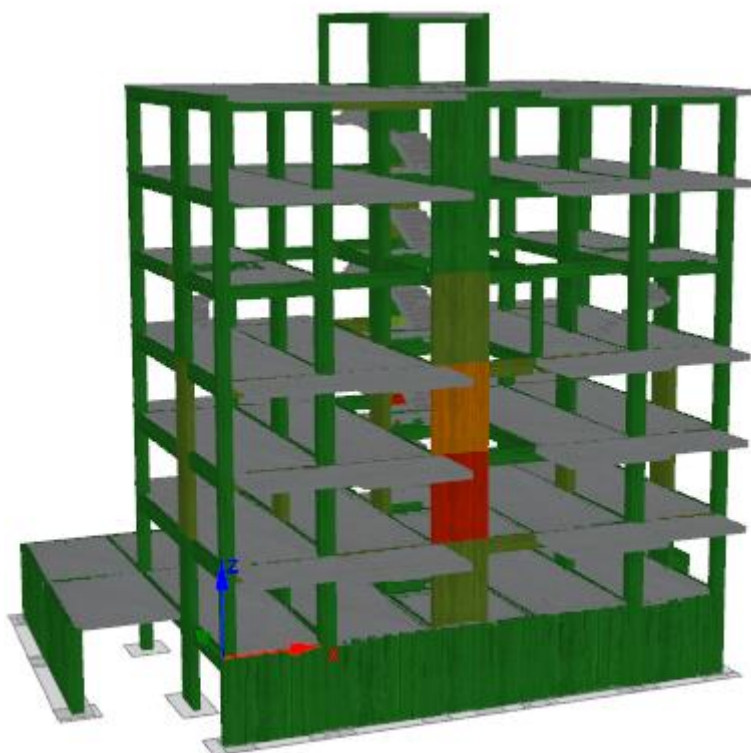
Σχήμα 3-4: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου κατά Χ και στάθμες επιτελεστικότητας B1 , Γ0



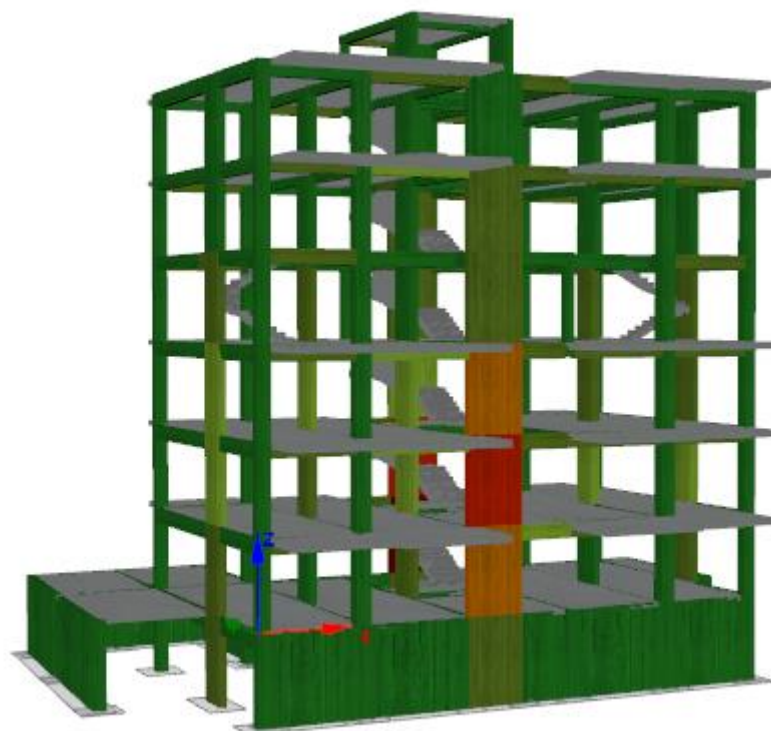
Σχήμα 3-5: Έλεγχος στρωφής χορδής για στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και σεισμό κατά Χ σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.



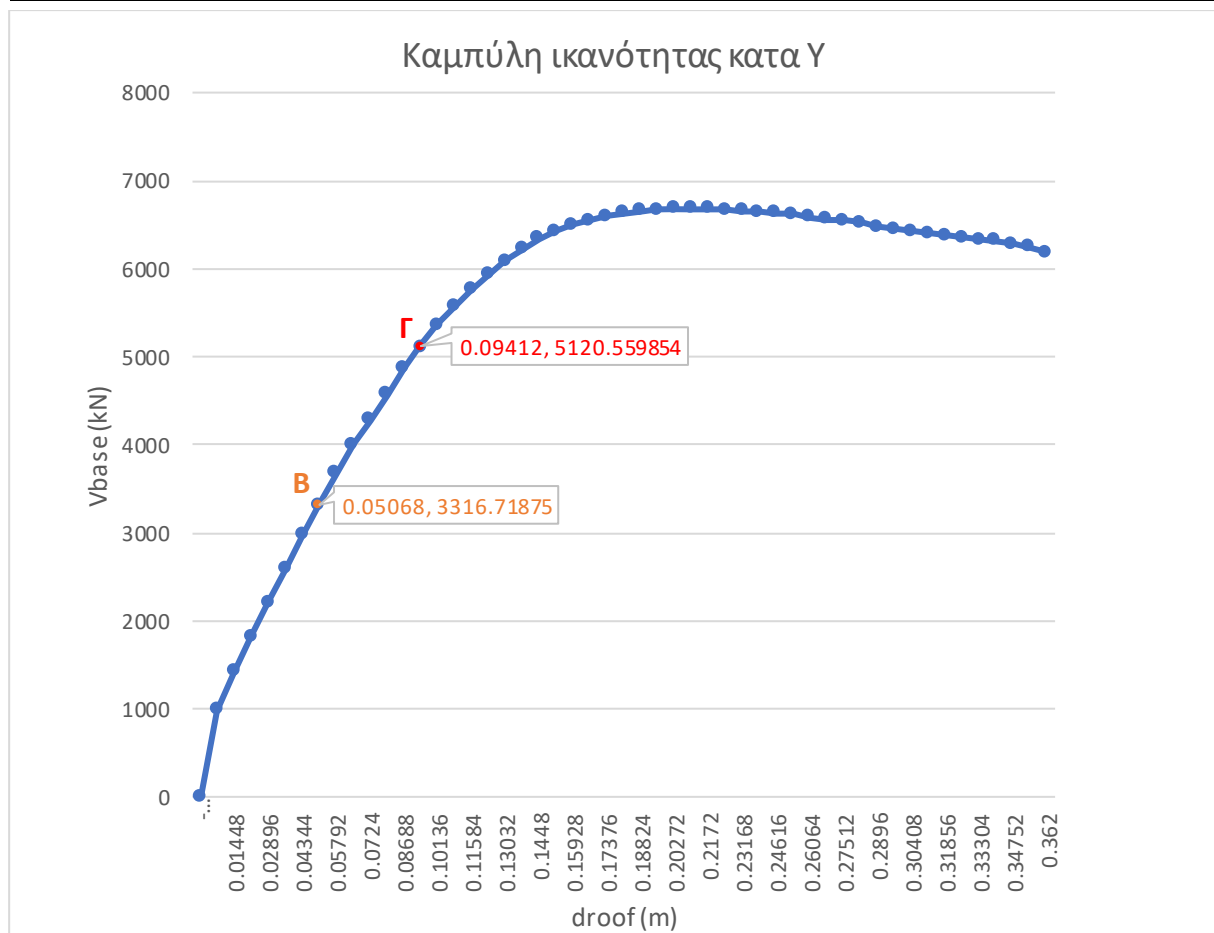
Σχήμα 3-6: Έλεγχος στρωφής χορδής για στάθμη επιτελεστικότητας «Οιονεί Κατάρρευση» και σεισμό κατά Χ σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.



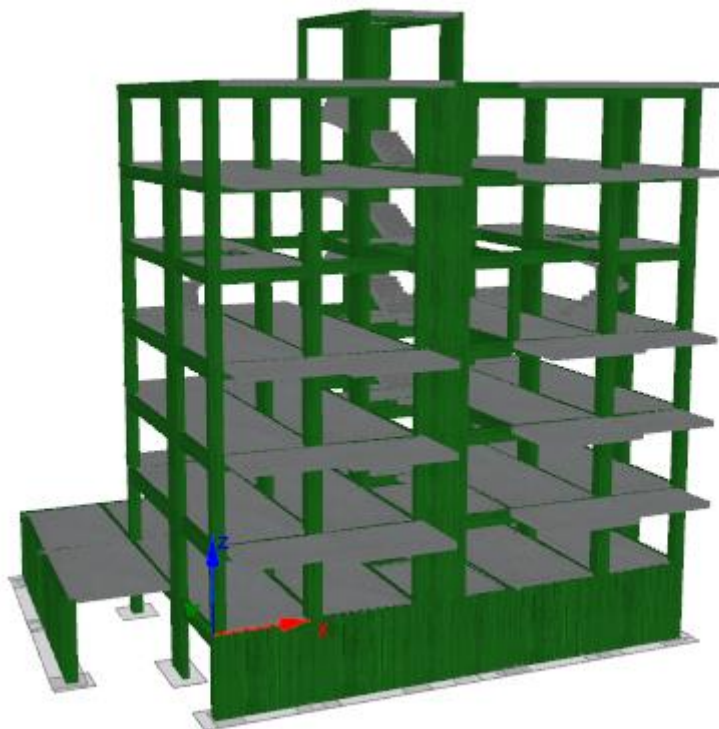
Σχήμα 3-7: Έλεγχος έναντι τέμνουσας για στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και σεισμό κατά Χ σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.



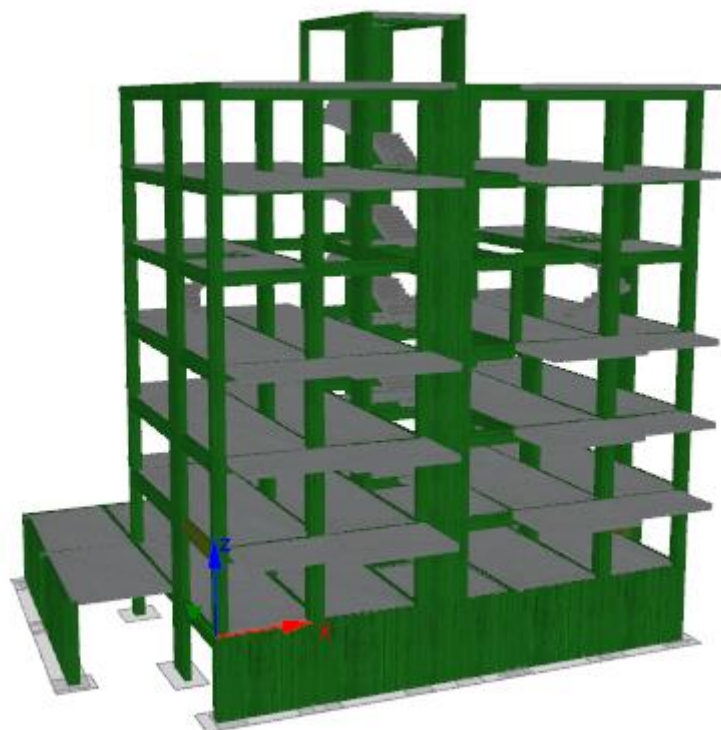
Σχήμα 3-8: Έλεγχος έναντι τέμνουσας για στάθμη επιτελεστικότητας «Οιονεί Κατάρρευση» και σεισμό κατά Χ σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.



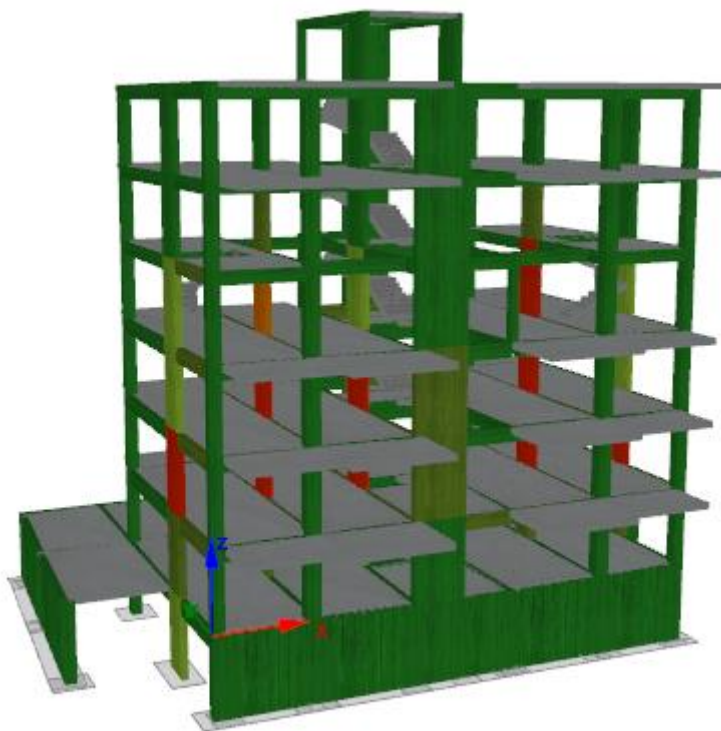
Σχήμα 3-9: Καμπύλη ικανότητας του κτιρίου κατά Υ και στάθμες επιτελεστικότητας Β1 , Γ0



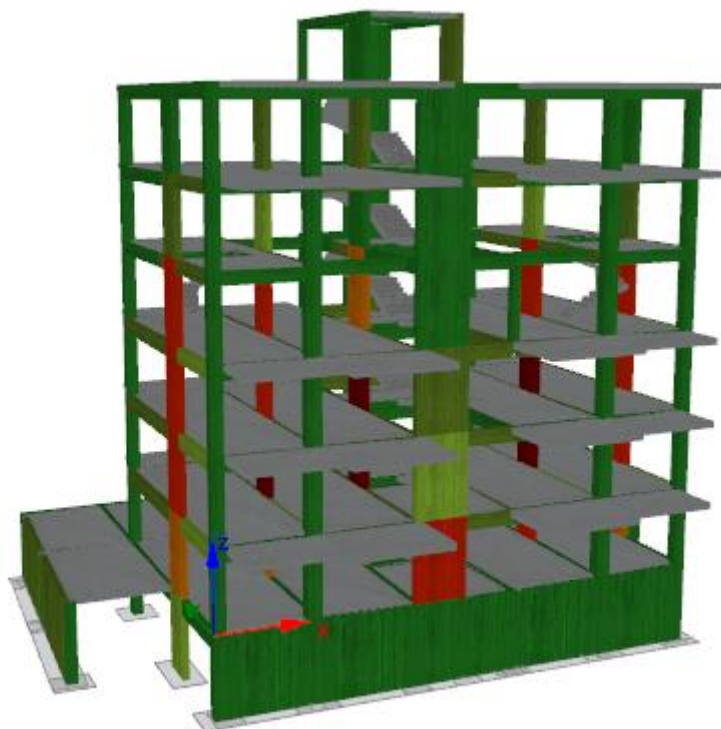
Σχήμα 3-10: Έλεγχος στροφής χορδής για στάθμη επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και σεισμό κατά Y σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.



Σχήμα 3-11: Έλεγχος στροφής χορδής για στάθμη επιτελεστικότητας «Οιονεί Κατάρρευση» και σεισμό κατά Y σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.



Σχήμα 3-12: Έλεγχος έναντι τέμνουσας για στάθμη επιτελεσιμότητας «Σημαντικές Βλάβες» και σεισμό κατά Y σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.



Σχήμα 3-13: Έλεγχος έναντι τέμνουσας για στάθμη επιτελεσιμότητας «Οιονεί Κατάρρευση» και σεισμό κατά Y σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Παρατηρείται ότι τόσο στη Χ όσο και στην Υ διεύθυνση ικανοποιείται ο έλεγχος έναντι στροφής χορδής και για τις 2 στάθμες επιτελεσματικότητας, ενώ όχι ο έλεγχος έναντι τέμνουσας. Συγκεκριμένα υπάρχουν πολλά τοιχεία που αστοχούν σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. και έτσι έχουμε ψαθυρής μορφής αστοχίες. Αυτό συμβαίνει γιατί ο συγκεκριμένος κανονισμός είναι αρκετά συντηρητικός με τις διατμητικές αντοχές των τοιχείων και έτσι φαίνεται να αστοχούν πολύ γρήγορα πάνω στην καμπύλη ικανότητας. Για να βρούμε τη στιγμή της 1ης αστοχίας κατακορύφου στοιχείου μπορούμε είτε να μειώσουμε το PGA του φάσματος σχεδιασμού, είτε να «χαλαρώσουμε» τους στόχους επιτελεσματικότητας. Ακολουθήθηκε η πρώτη διαδικασία και με δοκιμές, μειώνοντας σταδιακά την επιτάχυνση του εδάφους, βρέθηκε ότι η πρώτη αστοχία συμβαίνει για 0.05g για τις ίδιες στάθμες επιτελεσματικότητας (B1, Γ0) στη διεύθυνση Χ και για 0.041g στη διεύθυνση Υ. Τα αποτελέσματα φαίνονται αναλυτικά στους Πίνακες 3-14 και 3-15.

Πίνακας 3-14: Τιμές τέμνουσας βάσης και μετακίνησης κορυφής για ένταση σεισμού 0.05g κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. στη διεύθυνση Χ

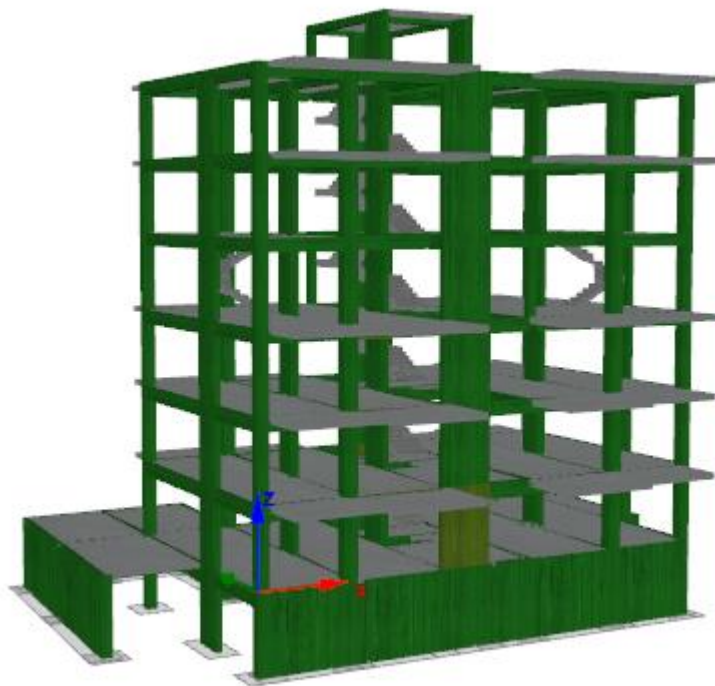
	«Σημαντικές Βλάβες» (B2)	«Οιονεί Κατάρρευση» (Γ1)
Vbase (kN)	1335.0	2011.3
Δtop (m)	0.0178	0.0320

Πίνακας 3-15: Τιμές τέμνουσας βάσης και μετακίνησης κορυφής για ένταση σεισμού 0.041g κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. στη διεύθυνση Υ

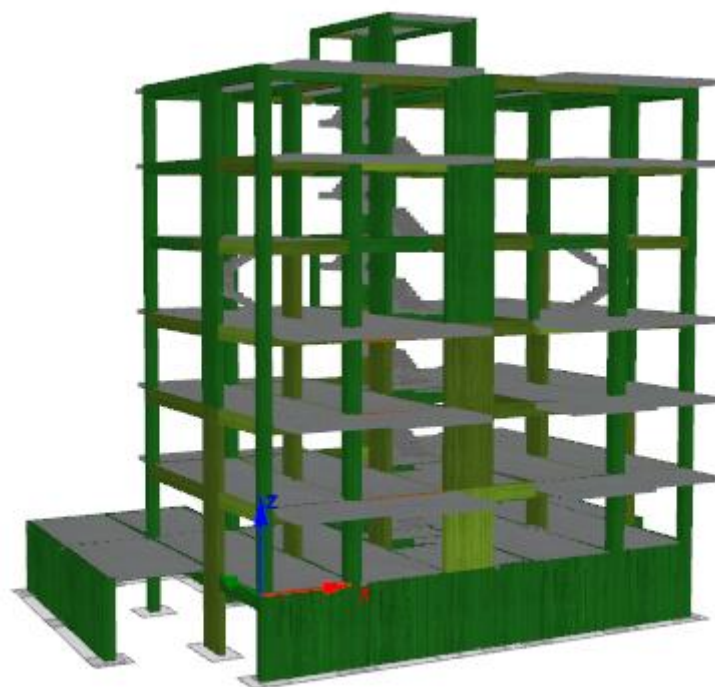
	«Σημαντικές Βλάβες» (B2)	«Οιονεί Κατάρρευση» (Γ1)
Vbase (kN)	1350.0	1826.3
Δtop (m)	0.0133	0.0232

### 3.3.2 Ευρωκώδικας 8

Για μία πιο ευρεία εικόνα της αποτίμησης της ικανότητας της κατασκευής αλλά και να υπάρξει μια σύγκριση με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. σε επίπεδο τριτοβαθμίου προσεισμικού ελέγχου, έγινε και στατική ανελαστική ανάλυση με χρήση του ΕΚ-8. Οι στάθμες επιτελεσματικότητας είναι τρεις: η «Περιορισμένες Βλάβες, DL» (πιθανότητα υπέρβασης 20% στα 50 χρόνια και περίοδο επαναφοράς τα 225 έτη), η «Σημαντικές Βλάβες, SD» (πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια και περίοδο επαναφοράς τα 475 έτη) και η «Οιονεί Κατάρρευση, NC» (πιθανότητα υπέρβασης 2% στα 50 χρόνια και περίοδο επαναφοράς τα 2475 χρόνια). Για το φάσμα σχεδιασμού με επιτάχυνση εδάφους 0.16g δεν υπάρχει καμία αστοχία δομικού στοιχείου σε έλεγχο στροφής χορδής και τέμνουσας όπως φαίνεται στα Σχήματα 3-14 και 3-15. Στη στάθμη επιτελεσματικότητας Οιονεί Κατάρρευση η μετακίνηση κορυφής κτιρίου είναι  $\delta_{top}=0.1199\text{m}$  κατά Χ και  $\delta_{top}=0.1011\text{m}$  κατά Υ.



Σχήμα 3-14: Έλεγχος στροφής χορδής για στάθμη επιτελεστικότητας «Οιονεί Κατάρρευση» και για τις 2 διευθύνσεις σύμφωνα με τον ΕΚ-8



Σχήμα 3-15: Έλεγχος έναντι τέμνουσας για στάθμη επιτελεστικότητας «Οιονεί Κατάρρευση» και για τις 2 διευθύνσεις σύμφωνα με τον ΕΚ-8



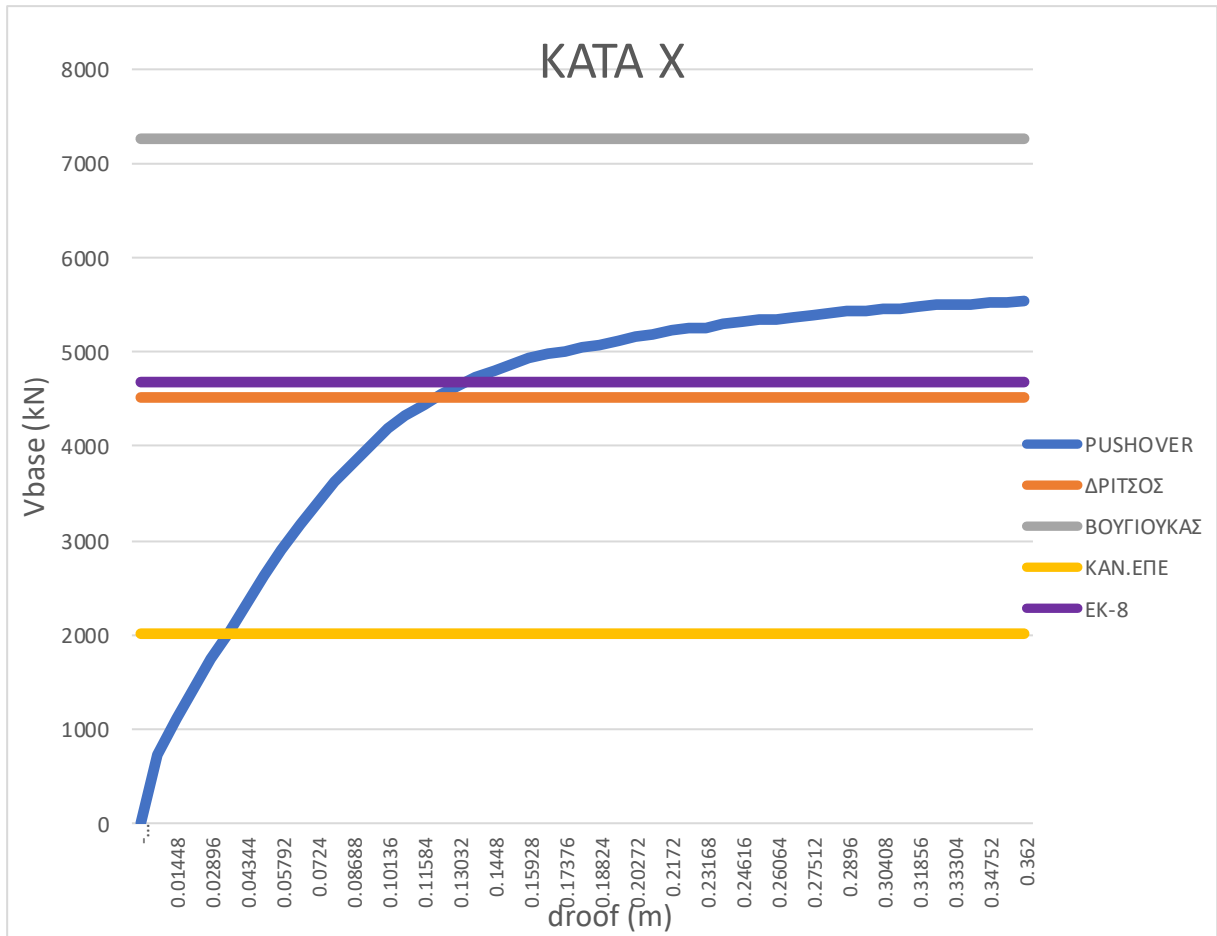
### 3.4 Σύγκριση Μεθόδων - Συμπεράσματα

Αυτό που παρατηρείται από τις προηγούμενες αναλύσεις είναι ότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. είναι ο πιο συντηρητικός από αυτές τις μεθόδους. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι αρκετά αυστηρός με τη διατμητική αντοχή των τοιχίων, με αποτέλεσμα να θεωρείται ότι αστοχούν ψαθυρά στις στάθμες επιτελεστικότητας που τέθηκαν στο κτίριο. Συγκεκριμένα η πρώτη διατμητική αστοχία τοιχίου έρχεται αρκετά γρήγορα πάνω στην καμπύλη ικανότητας τόσο για τη διεύθυνση Χ όσο και για την Υ. Έτσι αυτή θεωρείται και η ικανότητα του κτιρίου για Οιονεί Κατάρρευση σε όρους τέμνουσας βάσης και μετακίνησης κορυφής κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. Αναμενόμενα γίνεται υπερεκτίμηση της φέρουσας ικανότητας με την μέθοδο ταχείας αποτίμησης Βουγιούκα, καθώς αυτή υπολογίζεται ως άθροισμα όλων των διατμητικών αντοχών των κατακορύφων στοιχείων. Η κατάρρευση αυτού ωστόσο, θα έρθει νωρίτερα από την αστοχία και του τελευταίου υποστρώματος ή τοιχίου. Η μέθοδος ξεπερνάει τα όρια της καμπύλης ικανότητας και στις 2 διευθύνσεις και έτσι δεν μπορεί να γίνει εκτίμηση, μέσω αυτής, της μετακίνησης της κορυφής της κατασκευής. Η μέθοδος του Σ.Δρίτσου είναι αρκετά κοντά στην αποτίμηση με ΕΚ-8 που είναι τρίτοβάθμια διαδικασία ελέγχου. Είναι λιγότερο συντηρητική από αυτή του ΚΑΝ.ΕΠΕ. όπως και ο ΕΚ-8.

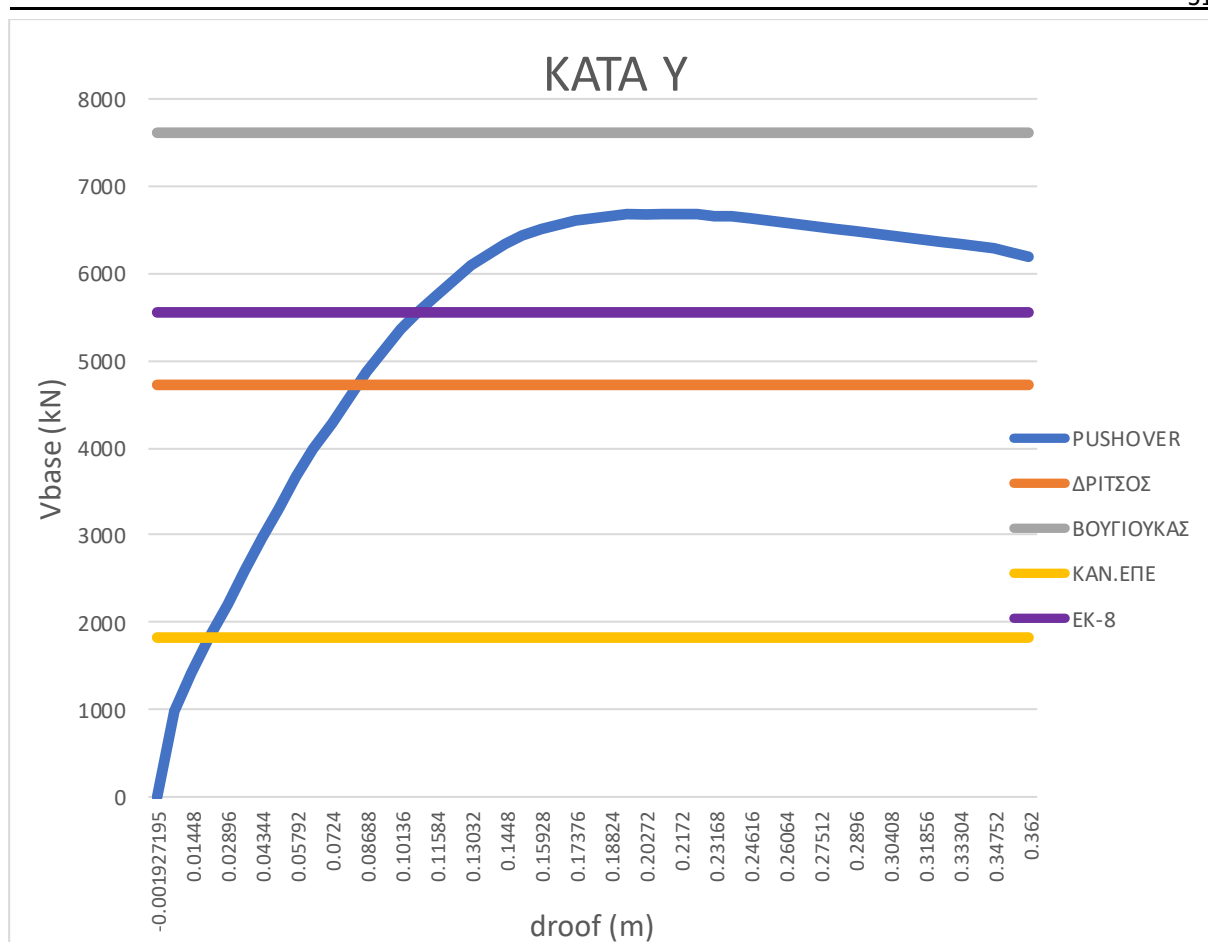
Συμπεραίνεται λοιπόν ότι κτίρια που ικανοποιούν τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. έχουν πιο ισχυρά τοιχία έναντι τέμνουσας και άρα σεισμικών δυνάμεων σε σχέση με τον ΕΚ-8. Επίσης οι δευτεροβάθμιες μέθοδοι των Ε.Βουγιούκα και Σ.Δρίτσου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών κτιρίων, έχοντας τα πλεονεκτήματα των απλών και γρήγορων διαδικασιών σε σχέση με τις υπόλοιπες. Στον Πίνακα 3-16 φαίνονται οι τιμές κάθε μεθόδου ενώ στα Σχήματα 3-16 και 3-17 γίνεται γραφική απεικόνιση της σύγκρισης.

Πίνακας 3-16: Τιμές τέμνουσας βάσης όλων των μεθόδων για κάθε διεύθυνση

	<b>Κανονισμός Επεμβάσεων Vb (kN)</b>	<b>Δρίτσος Σ. Vb (kN)</b>	<b>Βουγιούκας E. Vb (kN)</b>	<b>ΕΚ-8 Vb (kN)</b>
Διεύθυνση Χ	2011.3	4518.344	7263.15	4681.3
Διεύθυνση Υ	1826.3	4722.162	7611.995	5553.2



Σχήμα 3-16: Σύγκριση των μεθόδων επάνω στην καμπύλη ικανότητας της κατασκευής για την Χ διεύθυνση



Σχήμα 3-17: Σύγκριση των μεθόδων επάνω στην καμπύλη ικανότητας της κατασκευής για την Υ διεύθυνση

## 4 ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### 4.1 Εκτίμηση Τρωτότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Τα αποτελέσματα από την ανελαστική στατική ανάλυση δεν μπορούν να προσεγγίσουν σωστά το μέγεθος του σεισμού (επιτάχυνση εδάφους) καθώς δεν λαμβάνουν υπόψη τα δυναμικά μεγέθη της κατασκευής. Χρησιμοποιήθηκε, ωστόσο, η καμπύλη ικανότητας που προέκυψε από την Pushover μαζί με κάποια χαρακτηριστικά του κτιρίου, όπως το πλήθος των ορόφων, το βάρος αυτών, οι 2 πρώτες ιδιοπεριόδοι του και οι στάθμες επιτελεστικότητας «Σημαντικές Βλάβες» και «Οιονεί Κατάρρευση» σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., για να υπολογιστούν και αυτά. Μέσω του προγράμματος SPO2FRAG, στο οποίο έγινε η εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων εκτιμήθηκαν οι καμπύλες τρωτότητας του κτιρίου για τις 2 αυτές στάθμες. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να υπολογίσει τις καμπύλες αυτές βασισμένο στην Pushover χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο SPO2IDA. Οι καμπύλες εκφράζουν την φασματική επιτάχυνση της πρώτης ιδιοπεριόδου και την αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης της ικανότητας της κατασκευής. Επίσης υπολογίζει το drift του τελευταίου ορόφου σε κάθε στάθμη επιτελεστικότητας. Συγκεκριμένα στη διεύθυνση X για πιθανότητα υπέρβασης 50% στην «Οιονεί Κατάρρευση» βρέθηκε  $S_a(T_1=0.46s)=0.369g$  και στην Y για την ίδια πιθανότητα και στάθμη επιτελεστικότητας,  $S_a(T_1)=0.232g$ . Στους Πίνακες 4-1, 4-2, 4-3 φαίνονται αναλυτικά οι τιμές για τις 2 στάθμες και τις 2 διευθύνσεις, ενώ στα Σχήματα 4-1 και 4-2 δίνεται η γραφική τους απεικόνιση.

Πίνακας 4-1: Τιμές στροφής ορόφου για τις στάθμες επιτελεστικότητας

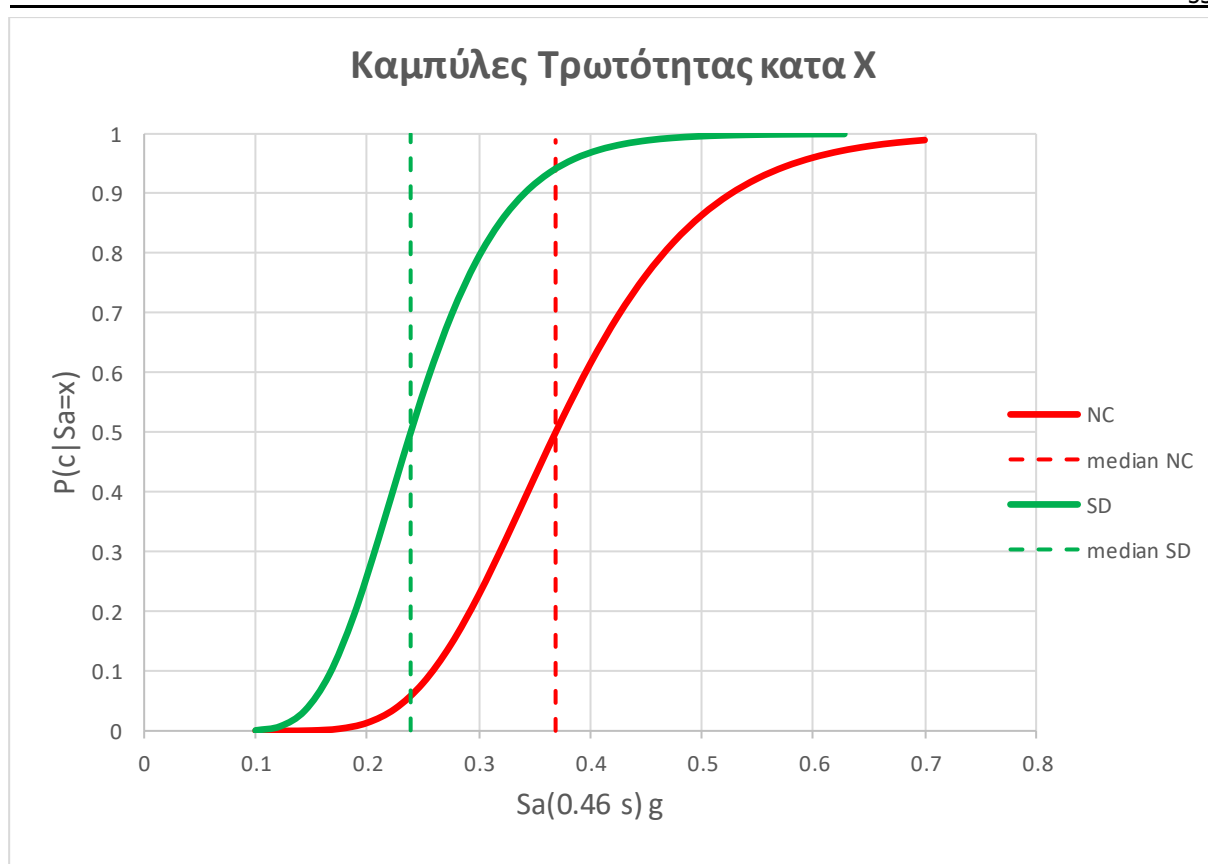
θ <sub>max</sub> (%)	στάθμη επιτελεστικότητας	
	Β	Γ
1η αστοχία κατά X	0.11	0.17
1η αστοχία κατά Y	0.05	0.1

Πίνακας 4-2: Φασματική επιτάχυνση και τυπική απόκλιση για αστοχία στις 2 διευθύνσεις στη στάθμη επιτελεστικότητας Β

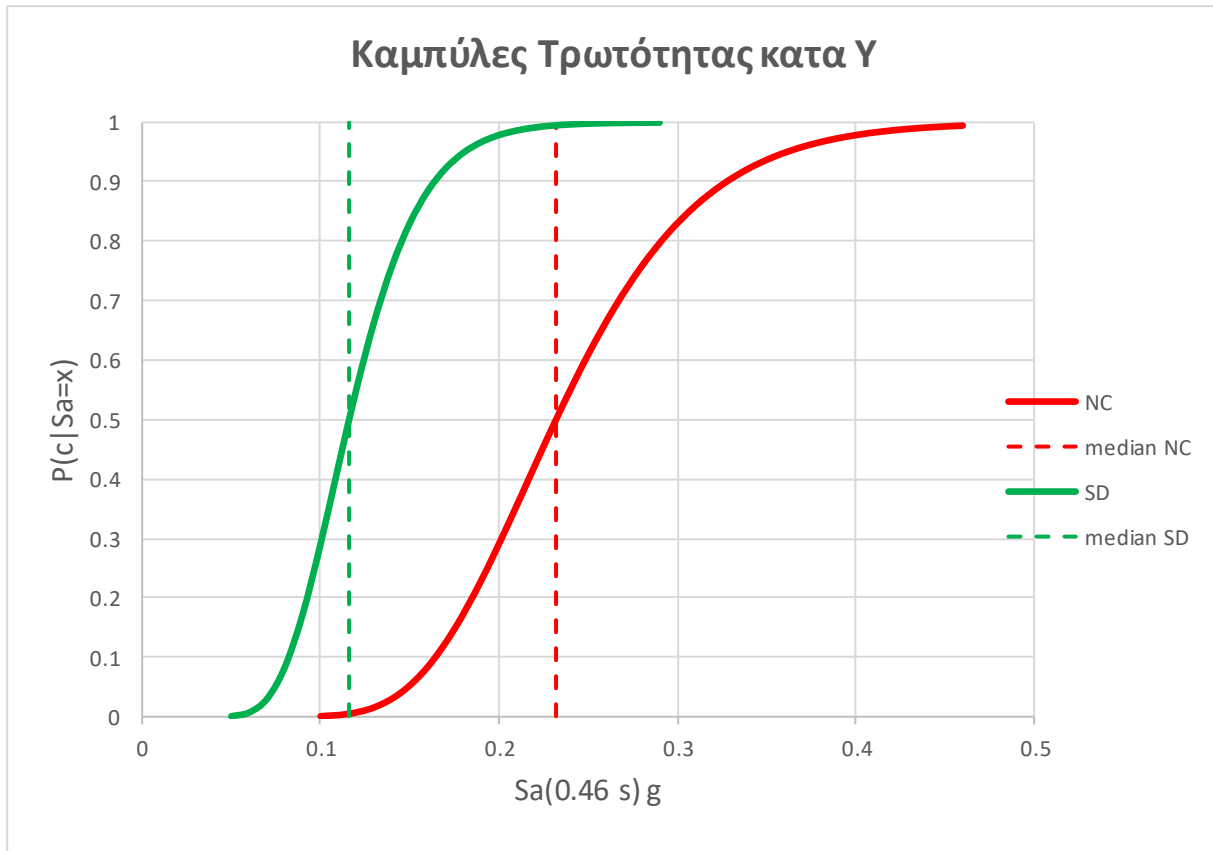
	Για στάθμη Β	
	Μεση $S_a(T)$ g	Τυπική Απόκλιση
1η αστοχία κατά X	0.239	0.277
1η αστοχία κατά Y	0.116	0.269

Πίνακας 4-3: Φασματική επιτάχυνση και τυπική απόκλιση για αστοχία στις 2 διευθύνσεις στη στάθμη επιτελεστικότητας Γ

	Για στάθμη Γ	
	Μέση $S_a(T)$ g	Τυπική Απόκλιση
1η αστοχία κατά X	0.369	0.277
1η αστοχία κατά Y	0.232	0.269



Σχήμα 4-1: Καμπύλες τρωτότητας για «Σημαντικές Βλάβες» (πράσινο χρώμα) και «Οιονεί Κατάρρευση» (κόκκινο χρώμα) στην Χ διεύθυνση, όπως προκύπτουν από το SPO2FRAG



Σχήμα 4-2: Καμπύλες τρωτότητας για «Σημαντικές Βλάβες» (πράσινο χρώμα) και «Οιοσεί Κατάρρευση» (κόκκινο χρώμα) στην Υ διεύθυνση, όπως προκύπτουν από το SPO2FRAG

## 4.2 Τιμές Επισκευών

Οι τιμές των επισκευών των ζημιών λόγω σεισμικής έντασης στην Ελλάδα διαφέρουν σημαντικά από αυτές της Αμερικής για τις οποίες υπολογίζει το πρόγραμμα για την οικονομική αποτίμηση (PACT), που αναφέρεται στο παρακάτω υποκεφάλαιο. Έτσι χρειάστηκε να γίνει έρευνα για το είδος και το κόστος των εργασιών που απαιτούνται για την αποκατάσταση των βλαβών του κτιρίου. Τα κόστη λήφθηκαν από τη Διπλωματική Εργασία της Ευδοξίας Ζήση, (2021) «Αποτίμηση σεισμικής επάρκειας και οικονομοτεχνική διερεύνηση επισκευών δώροφου κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος». Συγκεκριμένα βάσει των Εθνικών Τεχνικών Προδιαγραφών (ΕΤΕΠ), εγκεκριμένων τιμολογίων οικοδομικών έργων (ΥΠΟΜΕΔΙ) αλλά και τιμών εμπορίου εκτιμήθηκαν τα κόστη αυτά και παρουσιάζονται στους Πίνακες 4-4, 4-5, 4-6. Έγινε ανάλυση του κόστους των επισκευών διαφόρων επιπέδων βλαβών για τα υποστυλώματα, τα τοιχία, τα δοκάρια και τις τοιχοποιίες. Το τελικό κόστος υπολογίζεται σε ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας δομικού στοιχείου.

Πίνακας 4-4: Συνολικό κόστος εργασιών για κάθε επίπεδο βλάβης υποστυλωμάτων

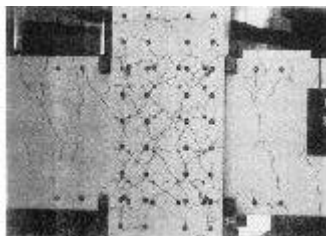
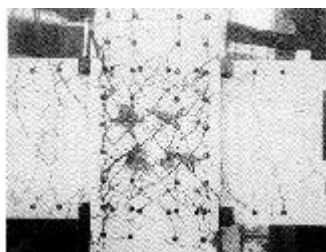
Επίπεδο Βλάβης Υποστυλωμάτων	Κόστος (€/m <sup>2</sup> )
Απλή ρηγμάτωση υποστυλώματος	339.17
Σημαντική τοπική βλάβη υποστυλώματος	250.06
Σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστυλώματος	291.01

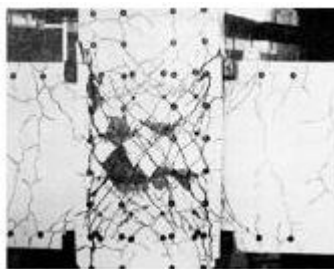
Πίνακας 4-5: Συνολικό κόστος εργασιών για κάθε επίπεδο βλάβης δοκών

<b>Επίπεδο Βλάβης Δοκών</b>	<b>Κόστος (€/m<sup>2</sup>)</b>
Απλή ρηγμάτωση δοκού	339.17
Σημαντική βλάβη της δοκού με τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος σε περιορισμένη έκταση	182.53
Πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος τμήματος της δοκού που συνοδεύεται από βλάβες τόσο του διαμήκου, όσο και του εγκάρσιου οπλισμού	291.01

Πίνακας 4-6: Συνολικό κόστος εργασιών για κάθε επίπεδο βλάβης τοιχοποιίας

<b>Επίπεδο Βλάβης Τοιχοποιίας</b>	<b>Κόστος (€/m<sup>2</sup>)</b>
Αποκατάσταση απλής ρηγμάτωσης στην εξωτερική τοιχοποιία (εύρος ρωγμών μικρότερο από 1cm)	100.67
Αποκατάσταση έντονης ρηγμάτωσης στην εξωτερική τοιχοποιία (εύρος ρωγμών μεγαλύτερο από 1cm)-Αποδιοργάνωση τοιχοποιίας	158.88
Ανακατασκευή εξωτερικής τοιχοποιίας που έχει χάσει τη δομική της λειτουργία λόγω πολύ μεγάλο μεγέθους ρωγμών	197.66
Επανατοποθέτηση Υαλοπινάκων	240.00

Σχήμα 4-3: Εικόνα 1<sup>ου</sup> επιπέδου βλάβης κόμβου από τις βιβλιοθήκες του PACT. Δεν υπάρχει σημαντική αποκάλυψη του σκυροδέματος και δεν έχει βλαφθεί ο οπλισμός.Σχήμα 4-4: Εικόνα 2<sup>ου</sup> επιπέδου βλάβης κόμβου από τις βιβλιοθήκες του PACT. Η αποκάλυψη του σκυροδέματος εκθέτει μόνο τον διατμητικό οπλισμό και όχι τον διαμήκη. Δεν βλάπτεται ο οπλισμός.



Σχήμα 4-5: Εικόνα 3<sup>ου</sup> επιπέδου βλάβης κόμβου από τις βιβλιοθήκες του PACT. Η αποκάλυψη του σκουροδέματος εκθέτει μεγάλο μέρος του διαμήκους οπλισμού. Πιθανές ζημιές στη διάταξη του οπλισμού.

### 4.3 Εκτίμηση Σεισμικών Απωλειών κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Η οικονομοτεχνική αποτίμηση έγινε με το αμερικανικό πρόγραμμα «Performance Assessment Calculation Tool» (PACT) της FEMA P-58. Το πρόγραμμα αυτό δέχεται τα βασικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και για συγκεκριμένες εντάσεις σεισμού υπολογίζει πιθανό κόστος απωλειών, ποια στοιχεία, δομικά και μη, κοστίζουν παραπάνω για επισκευές, ετήσιο μέσο κόστος επισκευών καθώς και πιθανά θύματα από το σεισμό.

Πιο συγκεκριμένα, πρώτα δημιουργήθηκε ένα μοντέλο με τα δεδομένα του κτιρίου και έπειτα έγινε ανάλυση αυτού. Αρχικά εντάχθηκαν βασικές πληροφορίες για το κτίριο, όπως το πλήθος των ορόφων, η κάτοψη (σε ft<sup>2</sup>) και το ύψος τους (σε ft). Επίσης εισάγεται το κόστος της ολικής αντικατάστασης του κτιρίου το οποίο για 1100\$/m<sup>2</sup> της συνολικής επιφάνειας του είναι 1,923,885€ και το κόστος αντικατάστασης του σκελετού το οποίο είναι το 40% της ολικής αντικατάστασης, δηλαδή 769,554.1€. Στην παρούσα εργασία, ωστόσο, δεν έγινε εκτίμηση των θυμάτων και των τραυματισμών. Ακολούθησε η εισαγωγή δομικών και μη στοιχείων της κατασκευής τα λεγόμενα «component fragilities», ο κωδικός των οποίων φαίνεται στους Πίνακες 4-7 και 4-8. Οι κόμβοι με υποστυλώματα συναθροίστηκαν σε 2 component fragilities, σε αυτούς με ένα δοκάρι κατά τη μία διεύθυνση και σε αυτούς με 2 δοκάρια εκατέρωθεν για διαστάσεις μέχρι 61cmx61cm. Το ίδιο έγινε και για τα τοιχεία για μέγιστο πάχος 41cm. Εισάχθηκαν επίσης οι τοιχοποιίες, το ασανσέρ, τα υδραυλικά και τα ηλεκτρολογικά. Ακολούθησε η ομαδοποίηση αυτών σε performance groups, μία διαδικασία που έγινε με το Normative Quantity Estimation σύμφωνα με το οποίο προτείνονται ποσότητες δομικών ή μη στοιχείων για κάθε λειτουργία του κτιρίου (Πίνακες 4-7 και 4-8). Τέλος σημειώνεται ότι τα κόστη των επισκευών που υπάρχουν στις βιβλιοθήκες του προγράμματος τροποποιήθηκαν (σε €) για ελληνικά δεδομένα, αφού το πρόγραμμα διαθέτει αμερικάνικες τιμές. Τα κόστη αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-9.



Πίνακας 4-7: Component fragilities και ποσότητες σε PACT units κατά Χ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	1ος	2ος	3ος	4ος	5ος	6ος
B1041.001a	ACI 318 SMF , Conc Col & Bm = 24" x 24", Beam one side	6	6	6	10	6	6
B1041.001b	ACI 318 SMF , Conc Col & Bm = 24" x 24", Beam both sides	4	4	4	6	4	4
b1044.071	Low rise reinforced concrete walls with boundary columns, 8" to 16" thick, height <15'	2	2	2	2	2	2
B1051.001c	Masonry infills	1.82	18.86	18.86	16.67	13.06	18.86
D1014.011	Traction Elevator	0.08	0.08	0.07	0.07	0.05	0.07
D2021.011a	Cold or Hot Potable	0.24	0.24	0.23	0.23	0.15	0.23
D5012.031a	Distribution Panel	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03

Πίνακας 4-8: Component fragilities και ποσότητες σε PACT units κατά Υ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	1ος	2ος	3ος	4ος	5ος	6ος
B1041.001a	ACI 318 SMF , Conc Col & Bm = 24" x 24", Beam one side	10	10	10	12	10	10
B1041.001b	ACI 318 SMF , Conc Col & Bm = 24" x 24", Beam both sides	0	0	0	0	0	0
b1044.071	Low rise reinforced concrete walls with boundary columns, 8" to 16" thick, height <15'	6	6	6	6	6	6
B1051.001c	Masonry infills	4.74	18.73	18.73	18.73	13.53	18.73
D1014.011	Traction Elevator	0.08	0.08	0.07	0.07	0.05	0.07
D2021.011a	Cold or Hot Potable	0.24	0.24	0.23	0.23	0.15	0.23
D5012.031a	Distribution Panel	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03

Πίνακας 4-9: Κόστη δομικών στοιχείων που εισάγονται στο PACT

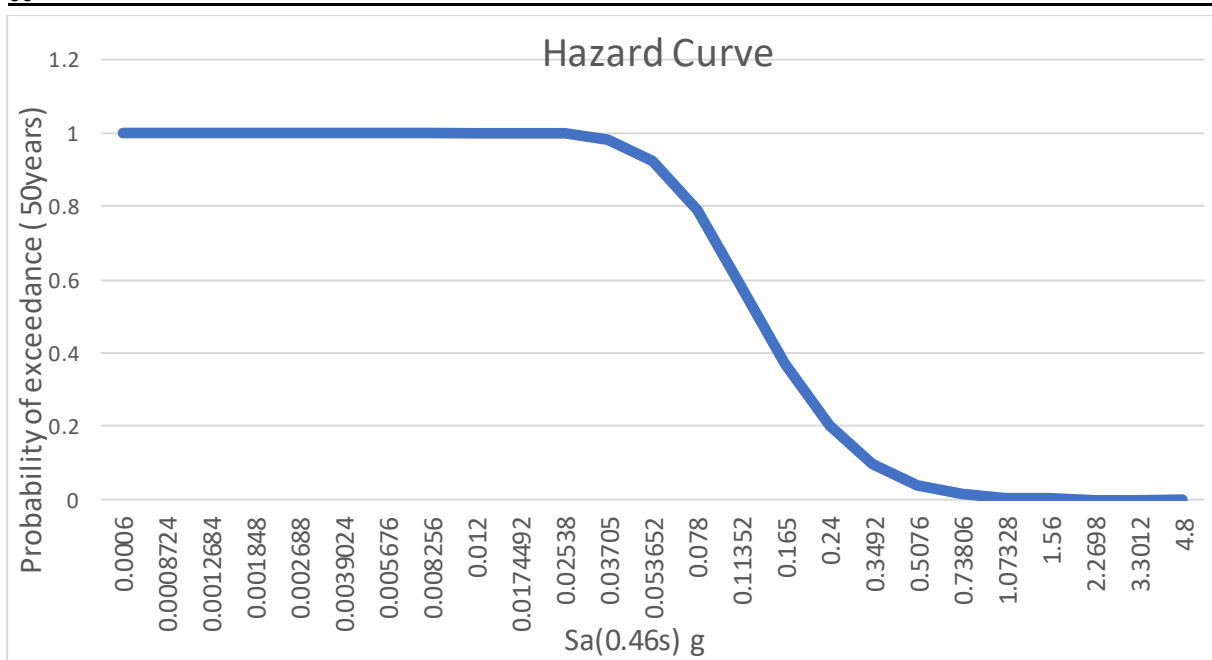
<b>Επίπεδο Βλάβης Δομικού Στοιχείου</b>	<b>AVERAGE REPAIR COST FOR LOWER QUANTITY OF REPAIRS(€)</b>	<b>AVERAGE REPAIR COST FOR UPPER QUANTITY OF REPAIRS(€)</b>
επισκευή υποστρώματος 33x33 απλή ρηγμάτωση - επισκευή πλήρωση ρωγμών εύρους μικρότερο των 3mm	304.4	243.6
επισκευή υποστρώματος 33x33 σημαντική τοπική βλάβη - μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	224.5	179.6
επισκευή υποστρώματος 33x33 Σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	261.2	209.0
επισκευή υποστρώματος 45x45 απλή ρηγμάτωση - επισκευή πλήρωση ρωγμών εύρους μικρότερο των 3mm	438.0	350.4
επισκευή υποστρώματος 45x45 σημαντική τοπική βλάβη - μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	323.0	258.4
επισκευή υποστρώματος 45x45 Σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	375.8	300.7
επισκευή υποστρώματος 53x53 απλή ρηγμάτωση - επισκευή πλήρωση ρωγμών εύρους μικρότερο των 3mm	515.9	412.7
επισκευή υποστρώματος 53x53 σημαντική τοπική βλάβη - μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	380.4	304.3
επισκευή υποστρώματος 53x53 Σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	442.7	354.1
επισκευή τοιχίου 25x125 απλή ρηγμάτωση - επισκευή πλήρωση ρωγμών εύρους μικρότερο των 3mm	1216.8	973.4
επισκευή τοιχίου 25x125 σημαντική τοπική βλάβη - μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	897.1	717.7
επισκευή τοιχίου 25x125 Σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	1044.0	835.2
επισκευή τοιχίου 25x150 απλή ρηγμάτωση - επισκευή πλήρωση ρωγμών εύρους μικρότερο των 3mm	1460.1	1168.1
επισκευή τοιχίου 25x150 σημαντική τοπική βλάβη - μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	1076.5	861.2
επισκευή τοιχίου 25x150 Σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	1252.8	1002.2
επισκευή τοιχίου 200x33 απλή ρηγμάτωση - επισκευή πλήρωση ρωγμών εύρους μικρότερο των 3mm	1946.8	1557.5
επισκευή τοιχίου 200x33 σημαντική τοπική βλάβη - μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστρώματος	1435.3	1148.3

<b>Επίπεδο Βλάβης Δομικού Στοιχείου</b>	<b>AVERAGE REPAIR COST FOR LOWER QUANTITY OF REPAIRS(€)</b>	<b>AVERAGE REPAIR COST FOR UPPER QUANTITY OF REPAIRS(€)</b>
επισκευή τοιχίου 200x33 Σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστυλώματος	1670.4	1336.3
επισκευή δοκού 25x55 απλή ρηγμάτωση	559.6	447.7
επισκευή δοκού 25x55 σημαντική τοπική βλάβη - μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστυλώματος	301.2	241.0
επισκευή δοκού 25x55 Σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος του υποστυλώματος	480.2	384.1
Αποκατάσταση απλής ρηγμάτωσης στην εσωτερική τοιχοποιία	935.3	654.7
Αποκατάσταση έντονης ρηγμάτωσης στην τοιχοποιία- Αποδιοργάνωση τοιχοποιίας	1476.0	1033.2
Ανακατασκευή τοιχοποιίας	1836.3	1285.4

Αφού βρέθηκαν οι καμπύλες τρωτότητας της κατασκευής, έγινε η εισαγωγή τους στο PACT στην ενότητα «Collapse Fragility». Η φασματική επιτάχυνση για πιθανότητα αστοχίας 50% είναι μικρότερη κατά την Υ διεύθυνση και έτσι αυτή δόθηκε στο πρόγραμμα ως η πιο κρίσιμη τιμή. Το πρόγραμμα κατ' αυτόν τον τρόπο, θεωρεί 1<sup>η</sup> αστοχία για  $S_a(T1) = 0.232$  g με τυπική απόκλιση 27%.

Σε επόμενο βήμα εισάχθηκαν αποτελέσματα της ανάλυσης του κτιρίου. Ακολουθήθηκε η Simplified Analysis, αφού ικανοποιούνται συγκεκριμένα κριτήρια, για 4 διαφορετικές εντάσεις σεισμού αυξανόμενες από την 1η έως την 4η. Οι 4 εντάσεις, εκφρασμένες σε φασματική επιτάχυνση της 1ης ιδιοπεριόδου, είναι η 1η αστοχία κατά Χ, η 1η αστοχία κατά Υ, το 25% της 1ης αστοχίας κατά Χ και το 50% της 1ης αστοχίας κατά Χ (αναλυτικά στον Πίνακα 4-10). Για να ορισθούν οι πιθανότητες υπέρβασης των εντάσεων αυτών σε διάρκεια 50 ετών και η ετήσια πιθανότητα υπέρβασης τους, ήταν ανάγκη να δημιουργηθούν οι καμπύλες σεισμικής επικινδυνότητας (hazard curves). Αυτές έγιναν από τα δεδομένα βάσης του European Facilities for Earthquake Hazard and Risk ( EFHR ) για τις συντεταγμένες της περιοχής του Χαλανδρίου , όπως απεικονίζονται στο σχήμα 4-6. Χρειάστηκε επίσης, να γίνει αναγωγή σε έδαφος κατηγορίας Β αφού ο EFHR υπολογίζει τιμές για έδαφος κατηγορίας Α.

Τα δεδομένα που χρειάστηκαν για καθεμία από τις 4 εντάσεις είναι το drift ratio, που είναι γνωστό από την Pushover και η επιτάχυνση κάθε ορόφου (peak floor acceleration).

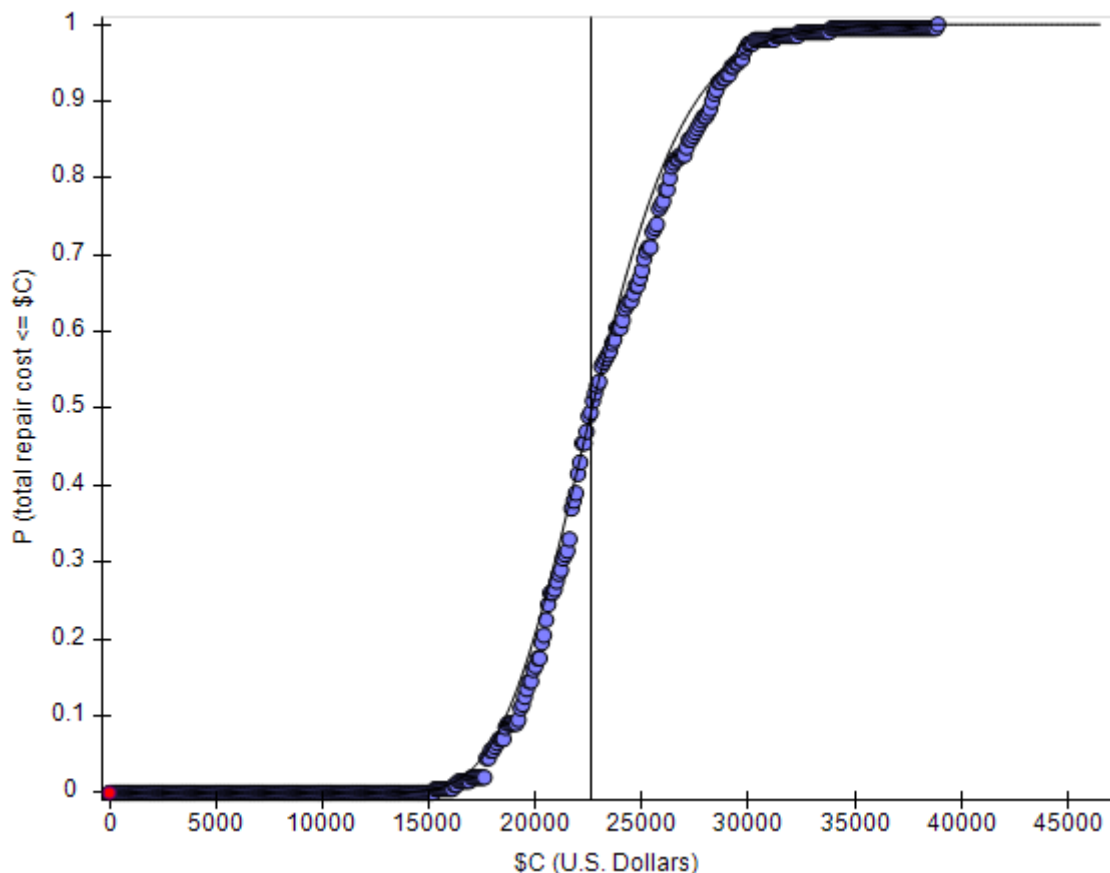


Σχήμα 4-6: Καμπύλη σεισμικής επικινδυνότητας

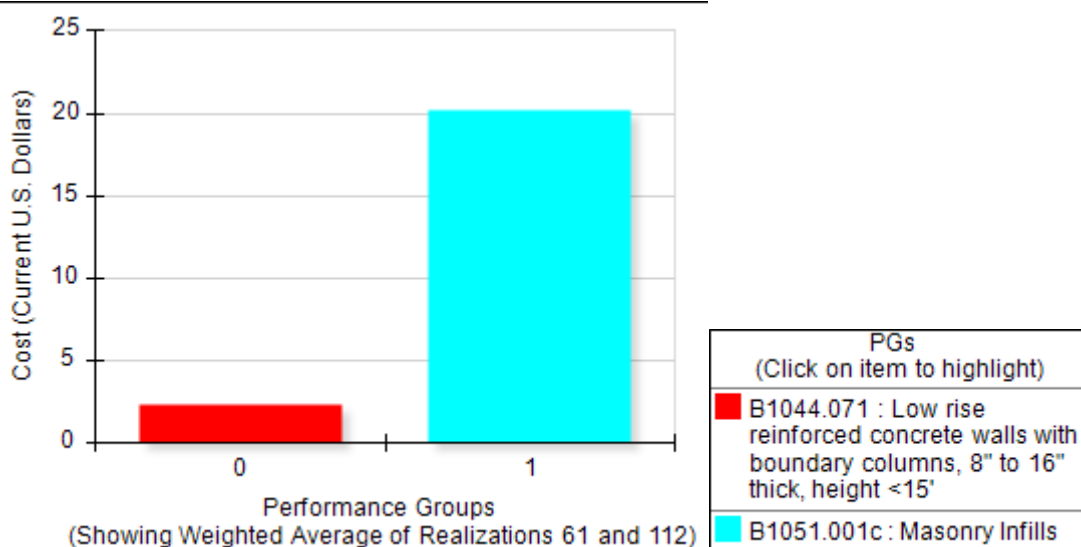
Πίνακας 4-10: Σεισμικά σενάρια που εισάγονται στο PACT

Σενάρια	Φασματική Επιτάχυνση (g)	Μέση Ετήσια Συχνότητα Υπέρβασης
1- 65% στα 50 χρόνια	0.09225	0.020996442
2- 34% στα 50 χρόνια	0.1845	0.008310309
3 – 1 <sup>η</sup> αστοχία κατά Y (19% στα 50 χρόνια)	0.232	0.004214421
4 – 1 <sup>η</sup> αστοχία κατά X (9.5% στα 50 χρόνια)	0.369	0.001996407

Στο σχήμα 4-7 φαίνεται η καμπύλη για το κόστος επισκευών για το 1ο σενάριο σεισμικής έντασης, δηλαδή για  $S_a(T1)=0.09225$  g. Ο άξονας των X δείχνει το κόστος και ο άξονας των Y την πιθανότητα το κόστος αυτό να μην ξεπεραστεί. Στο συγκεκριμένο σενάριο για πιθανότητα μη υπέρβασης 50% το κόστος επισκευών ανέρχεται στα 22,633.33€, το οποίο αντιστοιχεί στο 1.18 % του συνολικού κόστους του κτιρίου. Αυτό σημαίνει ότι για κάποιο αριθμό σεισμών αυτής της έντασης, τις μισές φορές αναμένεται να ξεπεραστεί το κόστος αυτό. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4-8 οι τοιχοποιίες είναι αυτές που κοστίζουν παραπάνω λόγω των ζημιών και σημαντικά λιγότερο τα τοιχία.

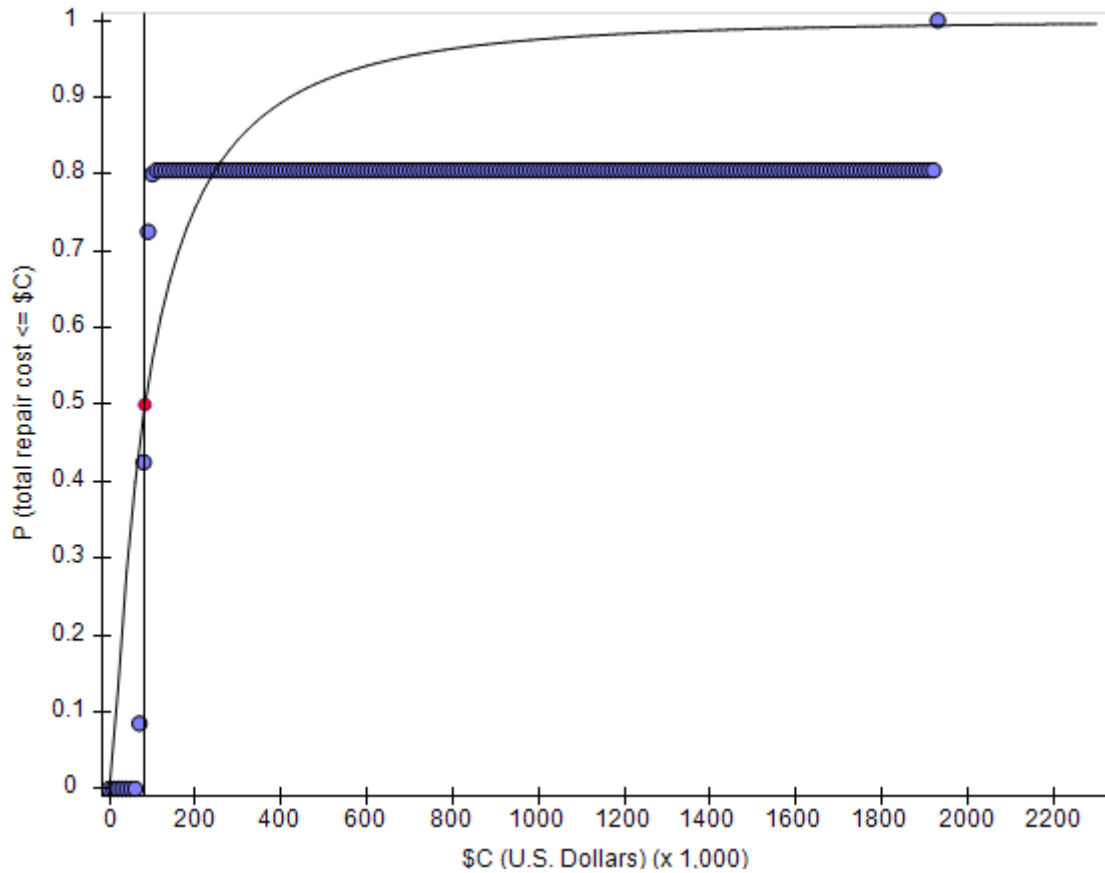


Σχήμα 4-7: Καμπύλη ολικού κόστους σεναρίου 1 και αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

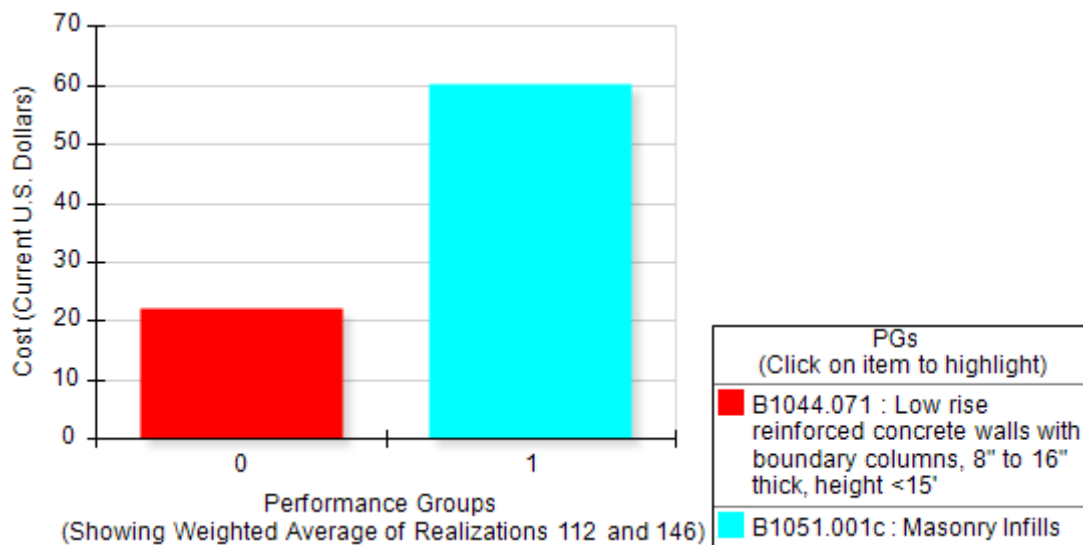


Σχήμα 4-8: Κόστος των performance groups αριστερά και υπόμνημα αυτών δεξιά για το σενάριο 1

Για το 2ο σενάριο σεισμού για ένταση  $S_a(T) = 0.1845g$  το κόστος επισκευών για πιθανότητα μη υπέρβασης 50% είναι 82,500 € δηλαδή το 4.3% του κόστους αντικατάστασης του κτιρίου (Σχήμα 4-9). Πάλι οι τοιχοποιίες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-10, είναι αυτές που κοστίζουν περισσότερο για επισκευές, ενώ σημαντική είναι και η συνεισφορά των τοιχίων στο κόστος αυτό.

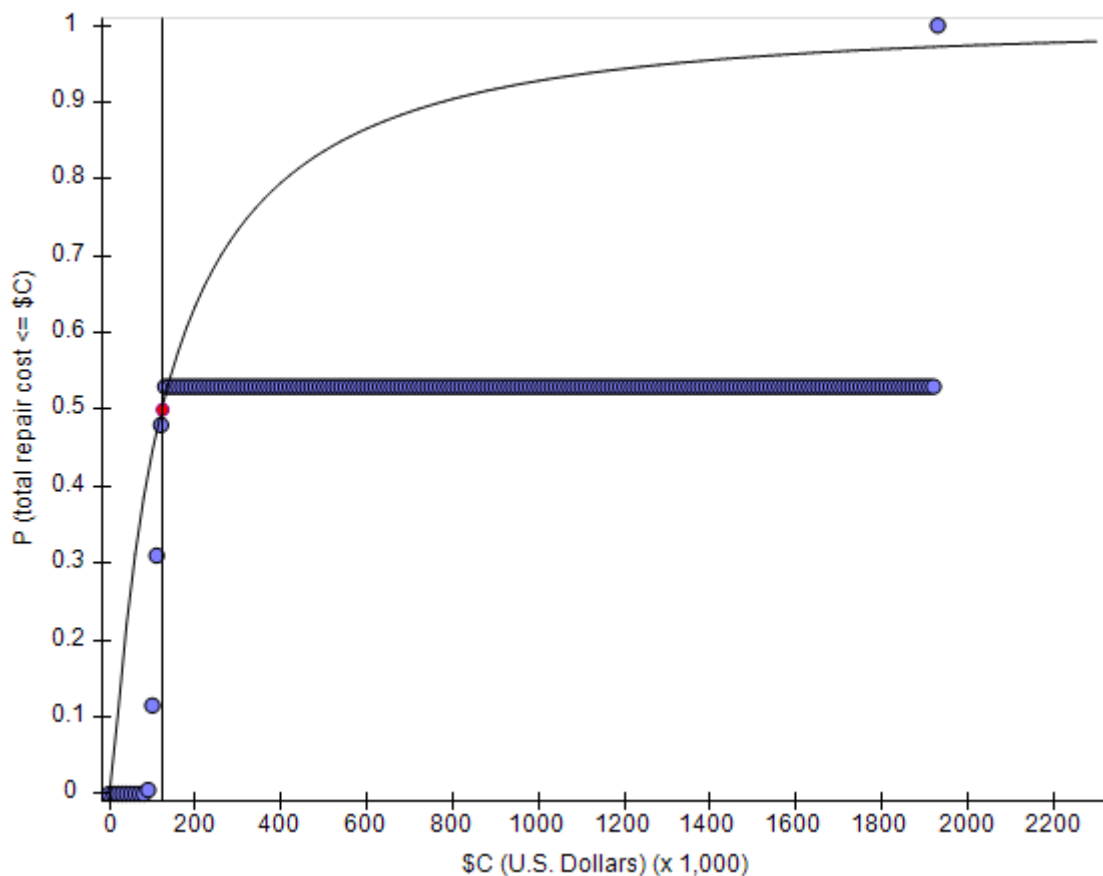


Σχήμα 4-9: Καμπύλη ολικού κόστους σεναρίου 2 και αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

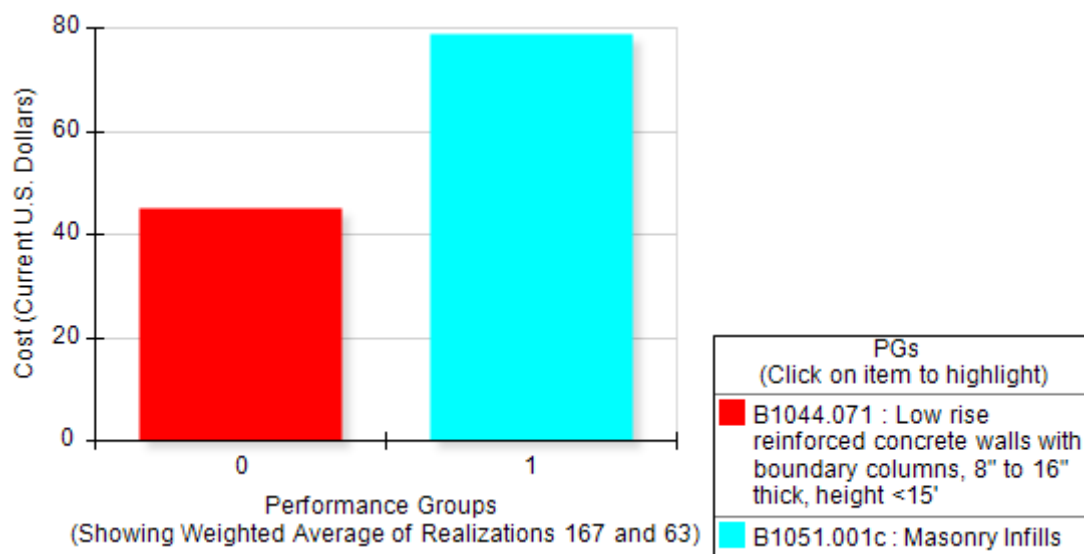


Σχήμα 4-10: Κόστος των performance groups αριστερά και υπόμνημα αυτών δεξιά για το σενάριο 2

Στο 3ο σενάριο  $S_a(T)=0.232g$ , το κόστος επισκευών για πιθανότητα μη υπέρβασης 50% είναι 124,000€, δηλαδή το 6.45% του κόστους αντικατάστασης του κτιρίου (Σχήμα 4-11). Οι τοιχοποιίες και τα τοιχεία συμβάλουν στο μέγεθος του κόστους αυτού κατά κύριο λόγο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-12.

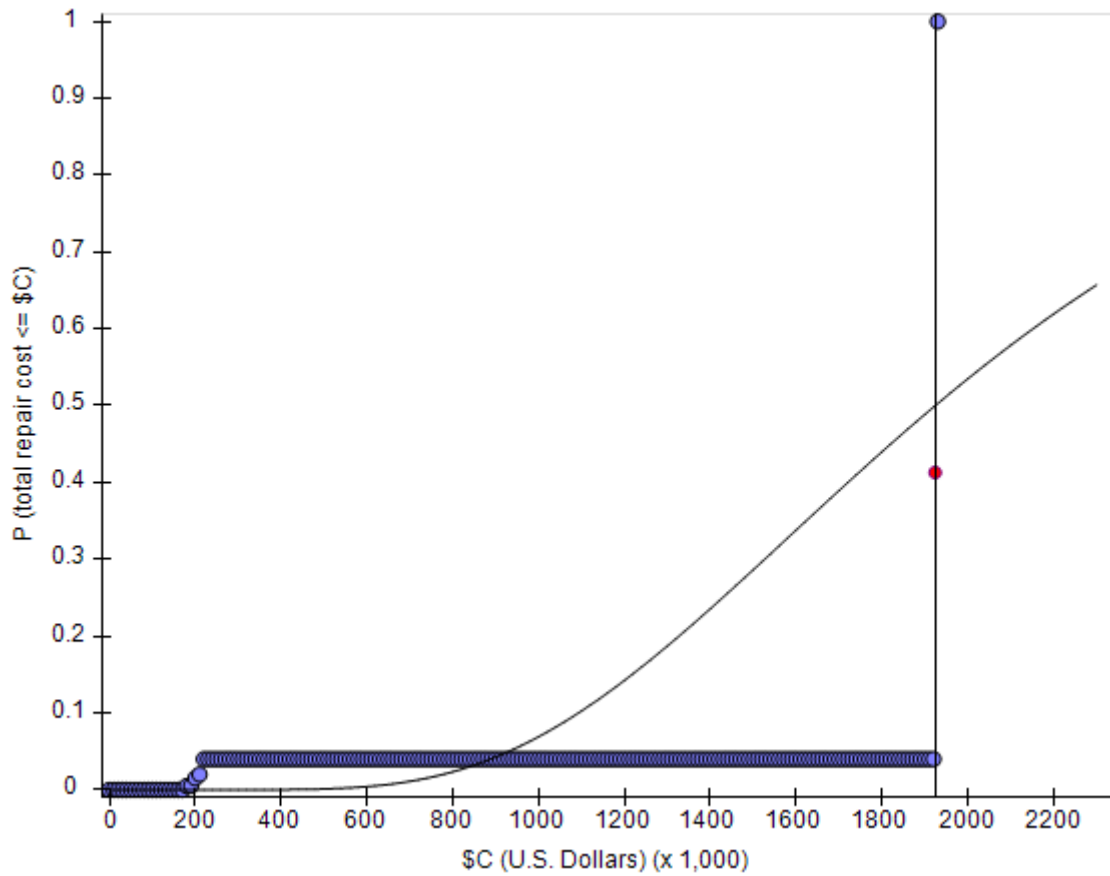


Σχήμα 4-11: Καμπύλη ολικού κόστους σεναρίου 3 και αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

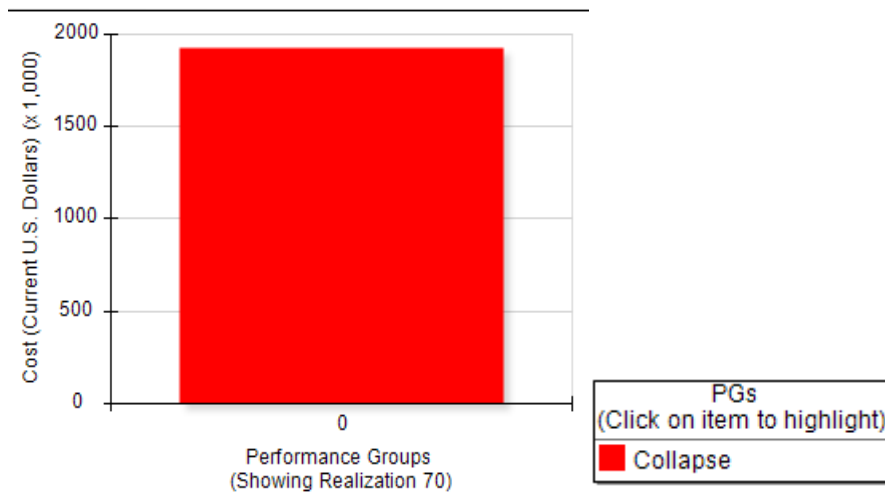


Σχήμα 4-12: Κόστος των performance groups αριστερά και υπόμνημα αυτών δεξιά για το σενάριο 3

Τέλος στο σενάριο 4,  $S_a(T) = 0.369 \text{ g}$ , το κόστος επισκευών για πιθανότητα μη υπέρβασης 50% είναι 1,923,885.25€, που αντιστοιχεί στο κόστος αντικατάστασης του κτιρίου. Αυτό είναι λογικό γιατί γίνεται η θεώρηση ότι το κτίριο καταρρέει υπό αυτή την ένταση (Σχήμα 4-13).



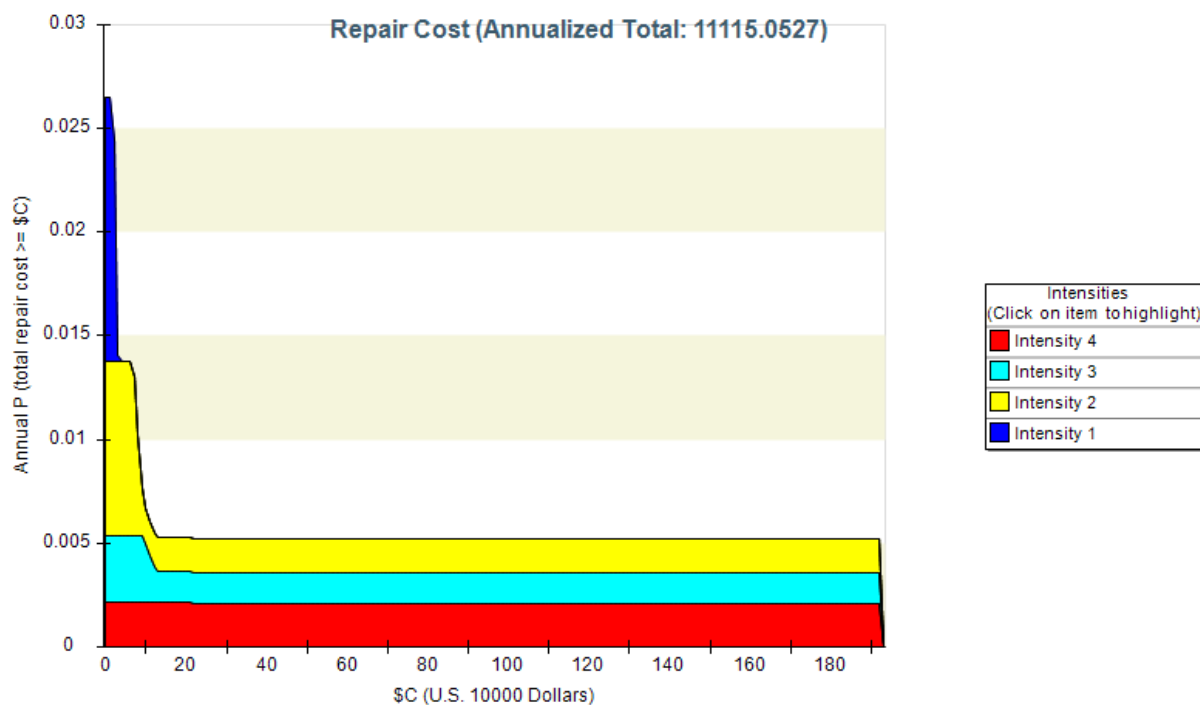
Σχήμα 4-13: Καμπύλη ολικού κόστους σεναρίου 4 και αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.



Σχήμα 4-14: Κόστος των performance groups αριστερά και υπόμνημα αυτών δεξιά για το σενάριο 4

Επίσης εξάγεται η καμπύλη με τις 4 εντάσεις σεισμού (Σχήμα 4-15) και την πιθανότητα της καθεμιάς να ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο κόστος επισκευών ετησίως. Αναγράφεται στο πάνω μέρος αυτής το μέσο αναμενόμενο ετήσιο κόστος απωλειών (11,115.1€).





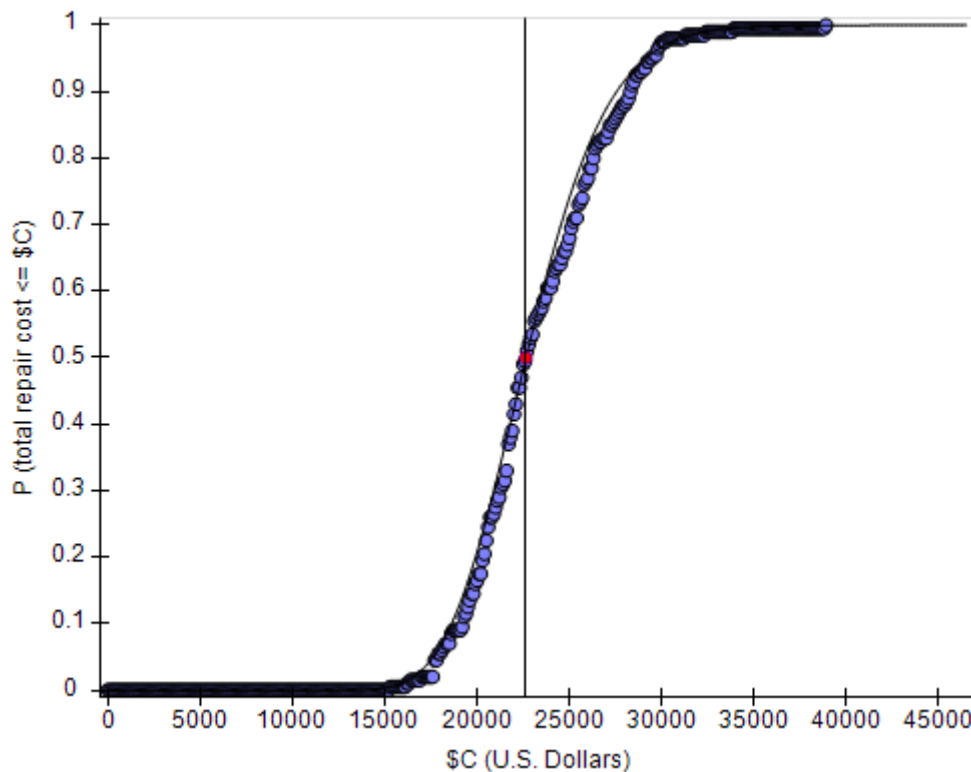
Σχήμα 4-15: Ετήσιο κόστος απωλειών κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Παρατηρείται ότι η πιθανότητα για μικρά κόστη στο 1<sup>ο</sup> και λιγότερο στο 2<sup>ο</sup> σενάριο σεισμού είναι μεγαλύτερη των υπολοίπων σεναρίων, κάτι που είναι λογικό καθώς είναι πιο συχνός ένας σεισμός μικρής έντασης. Για τον ίδιο λόγο τα σενάρια 3 και 4 έχουν μικρές πιθανότητες, αλλά φτάνουν σε μεγάλα κόστη καθώς σε αυτές τις εντάσεις πιθανότατα καταρρέει η κατασκευή. Ο κύριος λόγος εξόδων επισκευών είναι οι ζημιές στην τοιχοποιία και λιγότερο τα τοιχία και τα υποστυλώματα. Το εκτιμώμενο ετήσιο κόστος απωλειών είναι 11,115.1€ και αντιστοιχεί στο 0.58% αυτού της αντικατάστασης της κατασκευής. Αυτό σημαίνει ότι θα χρειαστεί να περάσουν 172 χρόνια για να έχει πληρωθεί το κτίριο σε ζημιές. Τέλος σημειώνεται ότι η οικονομική αποτίμηση έγινε για τα αποτελέσματα του ΚΑΝ.ΕΠΕ. ο οποίος υποτιμά την αντοχή του κτιρίου σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Έτσι είναι επόμενο να υπολογίζει μεγαλύτερα κόστη, αφού η κατάρρευση αυτού θεωρείται ότι συμβαίνει συντομότερα.

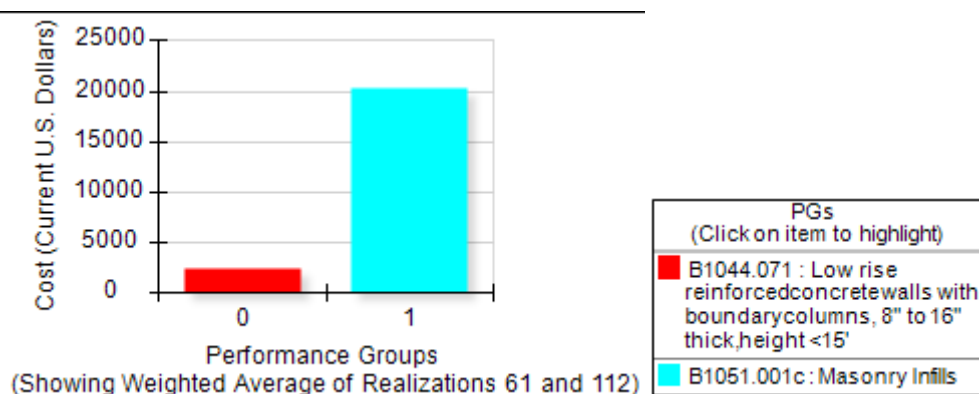
#### 4.4 Εκτίμηση Σεισμικών Απωλειών κατά ΕΚ-8

Η προηγούμενη διαδικασία οικονομικής αποτίμησης ακολουθήθηκε και για τον Κανονισμό ΕΚ-8. Τα ίδια δεδομένα εισάγονται στο πρόγραμμα με την μοναδική διαφορά ότι αλλάζει η καμπύλη τρωτότητας (Collapse Fragility). Κατ'αυτόν τον τρόπο θεωρείται άλλη η ένταση του σεισμού για την οποία έρχεται η πρώτη αστοχία. Συγκεκριμένα, η στιγμή της πρώτης αστοχίας (για 50% πιθανότητα) έρχεται για φασματική επιτάχυνση  $S_a(T1)=1.42g$ . Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δίνονται στα παρακάτω σχήματα τόσο για κάθε σεισμικό σενάριο ξεχωριστά, όσο και για το ετήσιο κόστος απωλειών

- 1<sup>ο</sup> σενάριο ( $S_a(T1)=0.092g$ ) : Το κόστος απωλειών για πιθανότητα μη υπέρβασης 50% είναι 22,633€

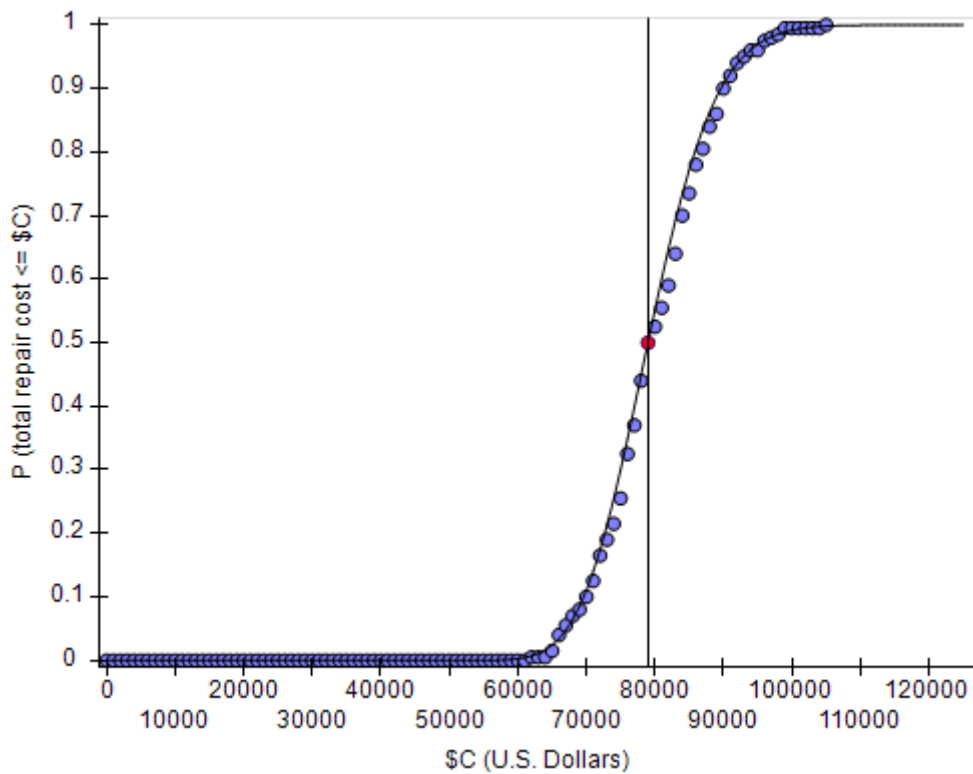


Σχήμα 4-16: Καμπύλη ολικού κόστους σεναρίου 1 και αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης κατά ΕΚ-8

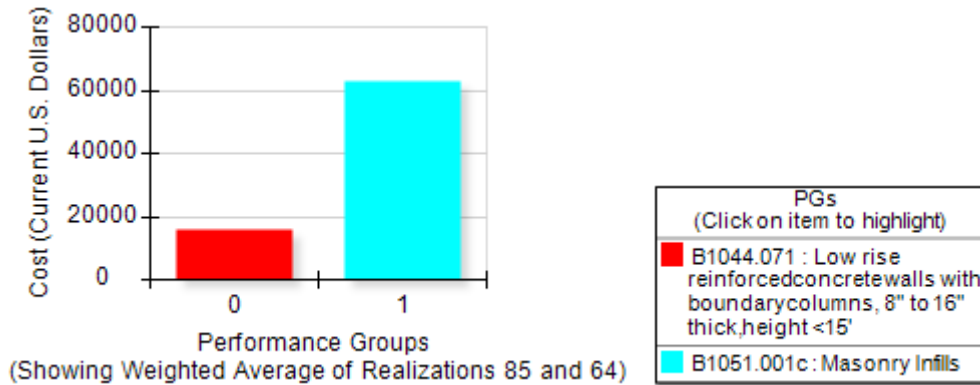


Σχήμα 4-17: Κόστος των performance groups αριστερά και υπόμνημα αυτών δεξιά για το σενάριο 1

- 2<sup>ο</sup> σεισμικό σενάριο: Το κόστος απωλειών για πιθανότητα μη υπέρβασης 50% είναι 79,000€

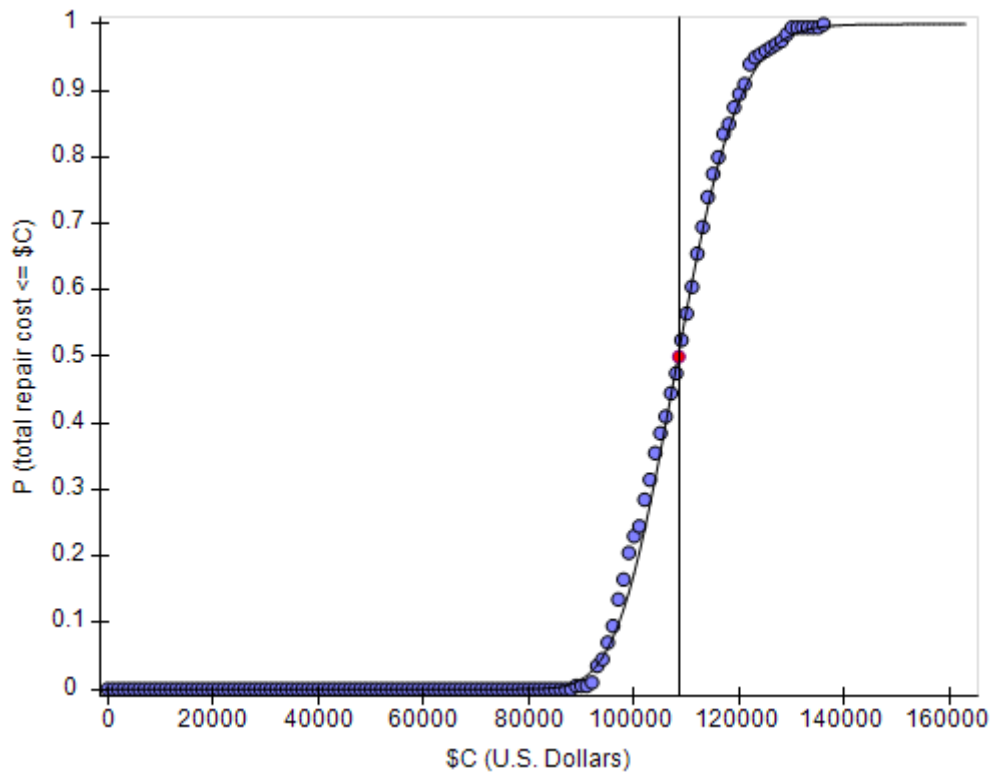


Σχήμα 4-18: Καμπύλη ολικού κόστους σεναρίου 2 και αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης κατά EK-8

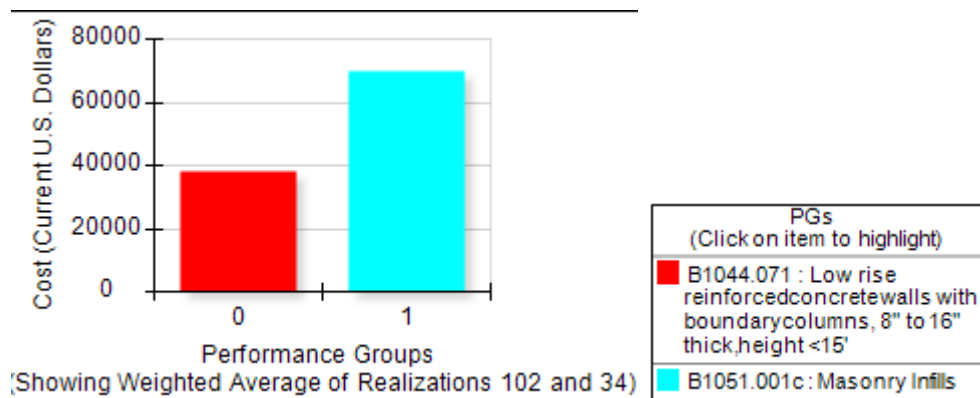


Σχήμα 4-19: Κόστος των performance groups αριστερά και υπόμνημα αυτών δεξιά για το σενάριο 2

- 3<sup>ο</sup> σεισμικό σενάριο: Το κόστος απωλειών για πιθανότητα μη υπέρβασης 50% είναι 108,500€

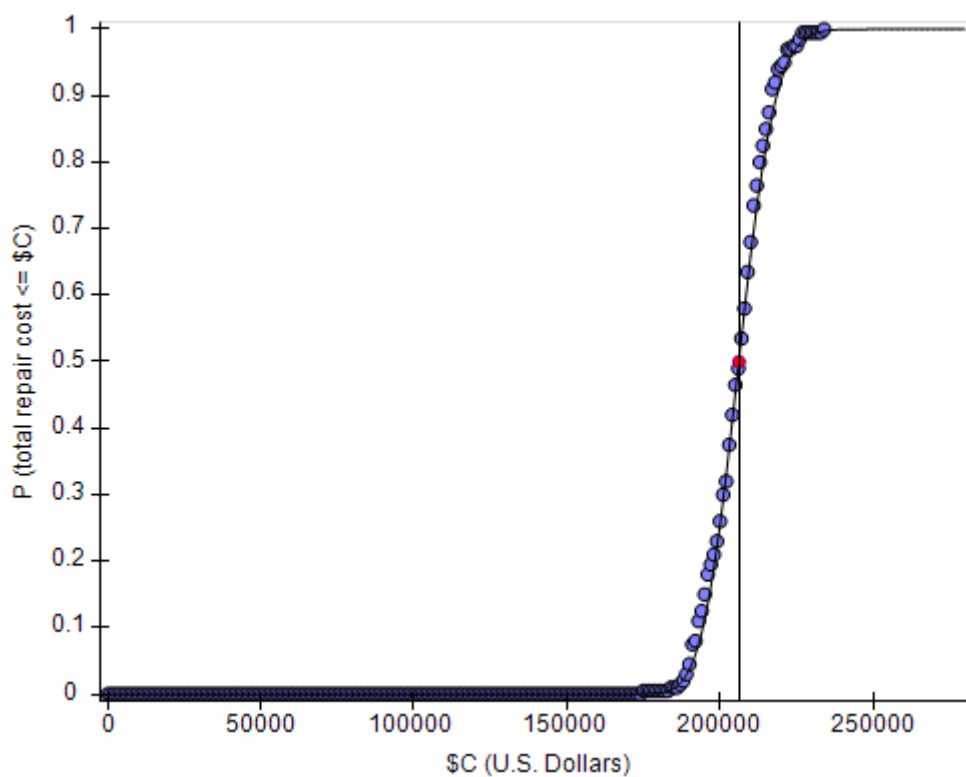


Σχήμα 4-20: Καμπύλη ολικού κόστους σεναρίου 3 και αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης κατά ΕΚ-8

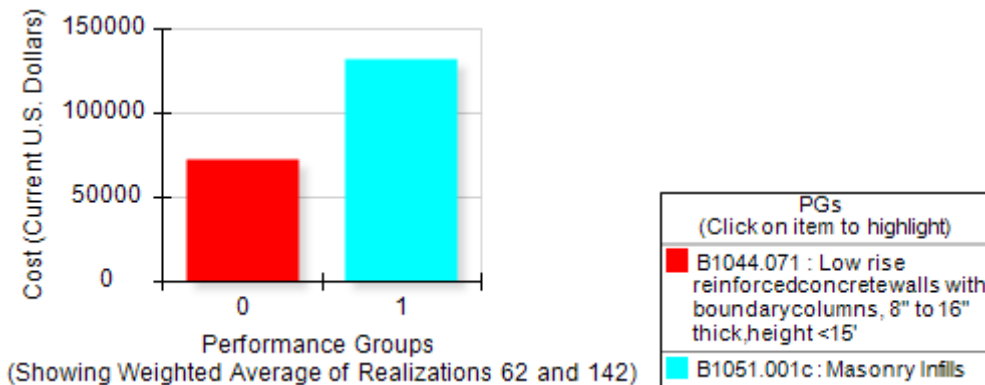


Σχήμα 4-21: Κόστος των performance groups αριστερά και υπόμνημα αυτών δεξιά για το σενάριο 3

- 4<sup>ο</sup> σεισμικό σενάριο: Το κόστος απωλειών για πιθανότητα μη υπέρβασης 50% είναι 206,222€

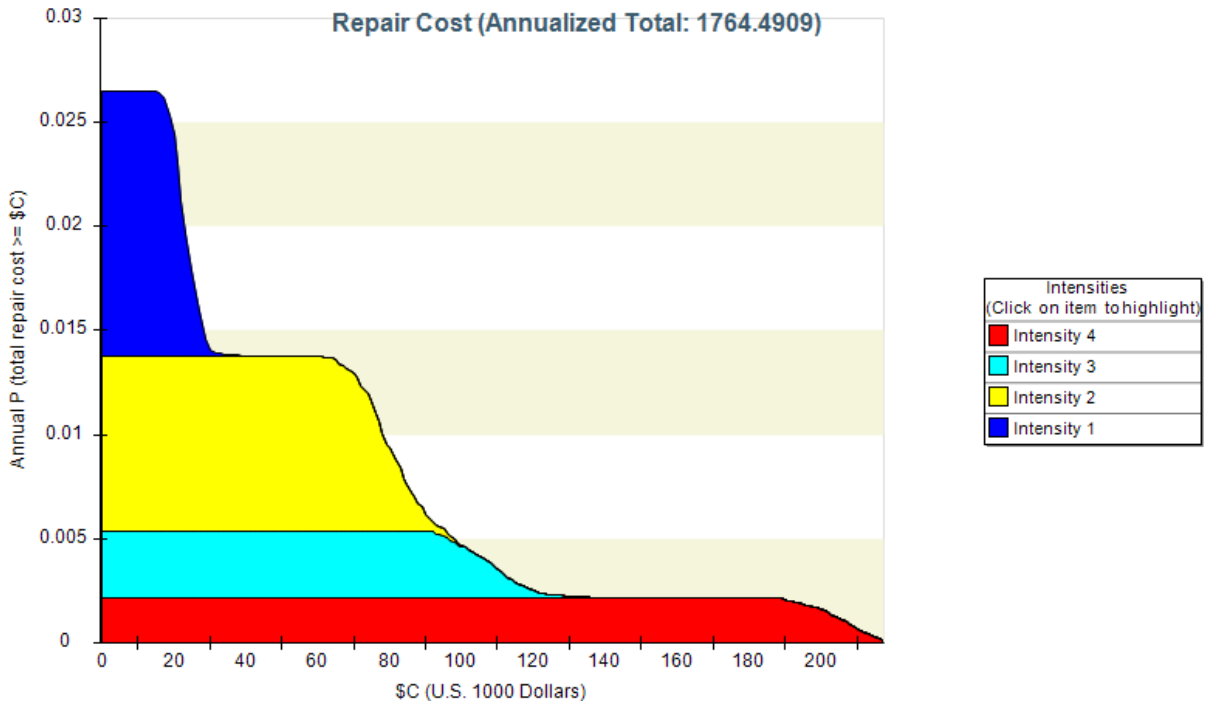


Σχήμα 4-22: Καμπύλη ολικού κόστους σεναρίου 4 και αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης κατά EK-8



Σχήμα 4-23: Κόστος των performance groups αριστερά και υπόμνημα αυτών δεξιά για το σενάριο 4

Το ετήσιο κόστος απωλειών κατά τον Ευρωκώδικα 8 προκύπτει 1,764.5€ και αντιστοιχεί στο 0.09% της ολικής αντικατάστασης του κτιρίου. Αυτό πρακτικά σημαίνει όχι ότι θα πληρώνονται κάθε χρόνο αυτά τα χρήματα αλλά ότι για να πληρωθεί σε απώλειες το κόστος αντικατάστασης της κατασκευής θα χρειαστεί να περάσουν 1,111 χρόνια.



Σχήμα 4-24: Ετήσιο κόστος απωλειών κατά ΕΚ-8

#### 4.5 Συμπεράσματα

Ο ΕΚ-8 αποτιμά ότι η κατασκευή καταρρέει σε μεγαλύτερη ένταση από ότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. Αυτό οδηγεί σε εκτίμηση σημαντικά μικρότερου κόστους απωλειών. Για μικρά σεισμικά σενάρια ωστόσο, όπου δεν πλησιάζεται η αστοχία τα κόστη είναι σχεδόν τα ίδια και ο λόγος είναι ότι σε αυτές τις εντάσεις υπάρχουν βλάβες κυρίως στις τοιχοποιίες και όχι στα τοιχεία οι οποίες αστοχούν για την ίδια ένταση σε κάθε κανονισμό. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ένα κτίριο που ικανοποιεί τα κριτήρια του ΚΑΝ.ΕΠΕ. υπερτερεί σε διατμητική αντοχή και επομένως οδηγεί σε μικρότερο κόστος απωλειών αφού η κατάρρευση αυτού αναμένεται να έρθει αργότερα από την περίπτωση που θα ικανοποιούταν ο ΕΚ-8. Η εγκυρότητα της αποτίμησης ωστόσο χρήζει επιπλέον διερεύνησης όπως για παράδειγμα με πειραματικές μεθόδους.

## 5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

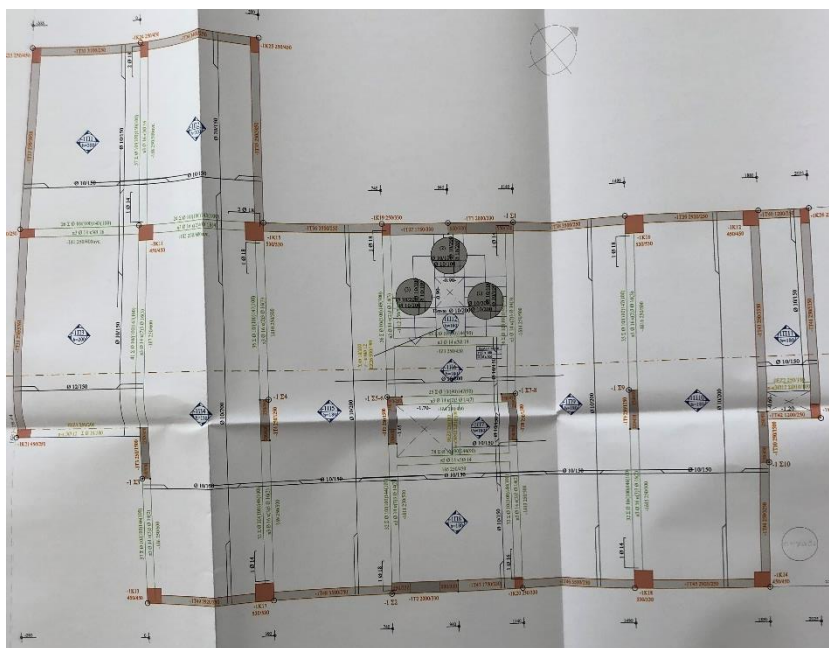
1. Δρίτσος Σ. (2022), «Πρόταση-Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα», Ο.Α.Σ.Π, Αθήνα.
2. Ευδοξία Ζήση (2021), «Αποτίμηση σεισμικής επάρκειας και οικονομοτεχνική διερεύνηση επισκευών δώροφου κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος».
3. Ο.Α.Σ.Π. (2014) , «Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος», ΦΕΚ 405/Β΄/05-09-2013
4. Ο.Α.Σ.Π. (2022), ΚΑΝ.ΕΠΕ. 3<sup>η</sup> Αναθεώρηση, ΦΕΚ 3197/Β/22-6-2022
5. Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως (1959) «Αντισεισμικός Κανονισμός», ΦΕΚ 36/Α/26-02-1959.
6. Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως (1954), «Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος»,ΦΕΚ 160/Α/26-07-1954.
7. Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως (1984), «Τροποποίηση Αντισεισμικού Κανονισμού»,ΦΕΚ 239/Β/16-04-1984.
8. Baltzopoulos G., Baraschino R., Iervolino I., Vamvatsikos D. (2017) "SPO2FRAG: software for seismic fragility assessment based on static pushover" Bulletin of Earthquake Engineering 15, 4399-4425.
9. EFHR, Hazard Curves: <http://hazard.efehr.org/en/hazard-data-access/hazard-maps/> [Accessed 2023]
10. EN 1998-1 (2004), Ευρωκώδικας 8, Μέρος 1 «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Κατασκευών».
11. EN 1998-1 (2004), Ευρωκώδικας 8,Μερος 3 «Αποτίμηση και Ανασχεδιασμός κτιριων».
12. EN 1992-1-1 (2004), Ευρωκώδικας 2, «Σχεδιασμός κατασκευών από Σκυρόδεμα».
13. FEMA (2018a), Seismic performance assessment of buildings. FEMA P-58-1, Volume 1– methodology, Federal Emergency Management Agency Washington, DC, 2012.
14. FEMA (2018b), Seismic performance assessment of buildings. FEMA P-58-2, Volume 2– Implementation Guide, Federal Emergency Management Agency Washington, DC, 2012
15. FEMA (2018c): Seismic performance assessment of buildings. Volume 3– Supporting Electronic Materials, Federal Emergency Management Agency Washington, DC, 2012.
16. Seismosoft [2022] "SeismoBuild 2022 – A computer program for seismic assessment and retrofitting of RC structures.," available from <https://seismosoft.com/>.

17. Vamvatsikos D., Cornell C.A. (2002). "The Incremental Dynamic Analysis and its application to Performance-Based earthquake engineering", 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper Reference 479

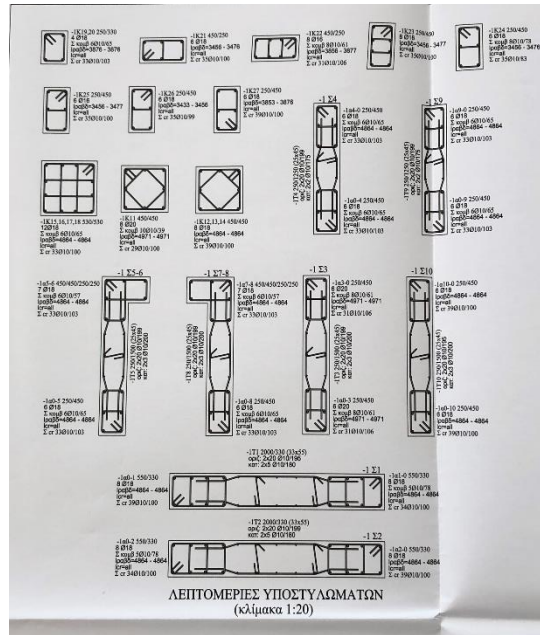


## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΞΥΛΟΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΙΧΙΩΝ

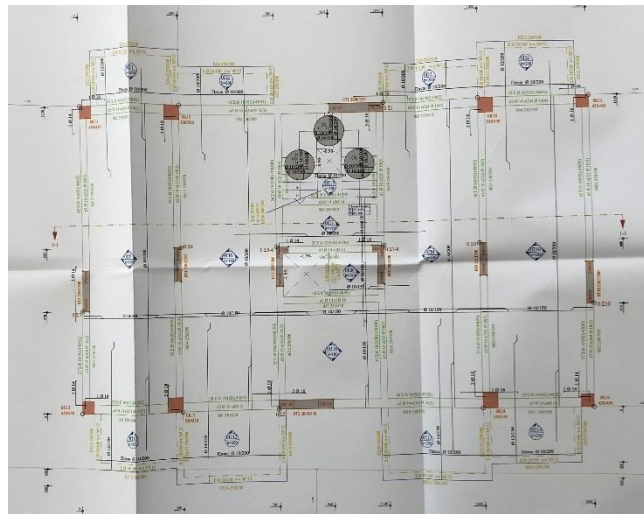
Παρουσιάζονται οι ξυλότυποι του κτιρίου με τις επισυναπτόμενες λεπτομέρειες υποστυλωμάτων και τοιχίων, όπως τραβήχτηκαν με κάμερα κινητού από την Πολεοδομία Αγίας Παρασκευής. Σημειώνεται ότι για λόγους απλότητας και αισθητικής στην εργασία δεν χρησιμοποιήθηκαν ίδιες οι ονομασίες των υποστυλωμάτων και των τοιχίων. Συγκεκριμένα ο συμβολισμός 1Κ11 αναφέρεται στο Κ1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, ο 2Κ12 στο Κ2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου και πάει λέγοντας.



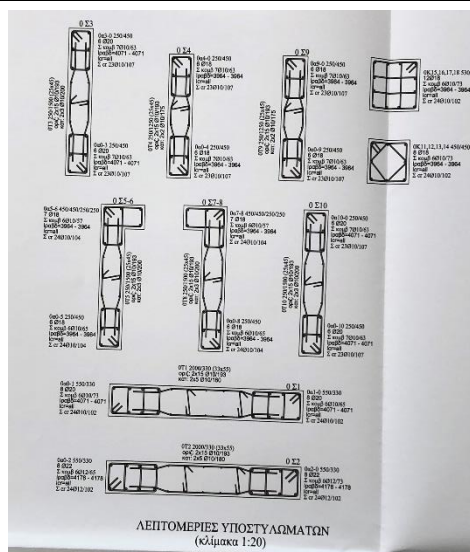
Σχήμα Α-1: Φωτογραφία του ξυλότυπου του υπογείου



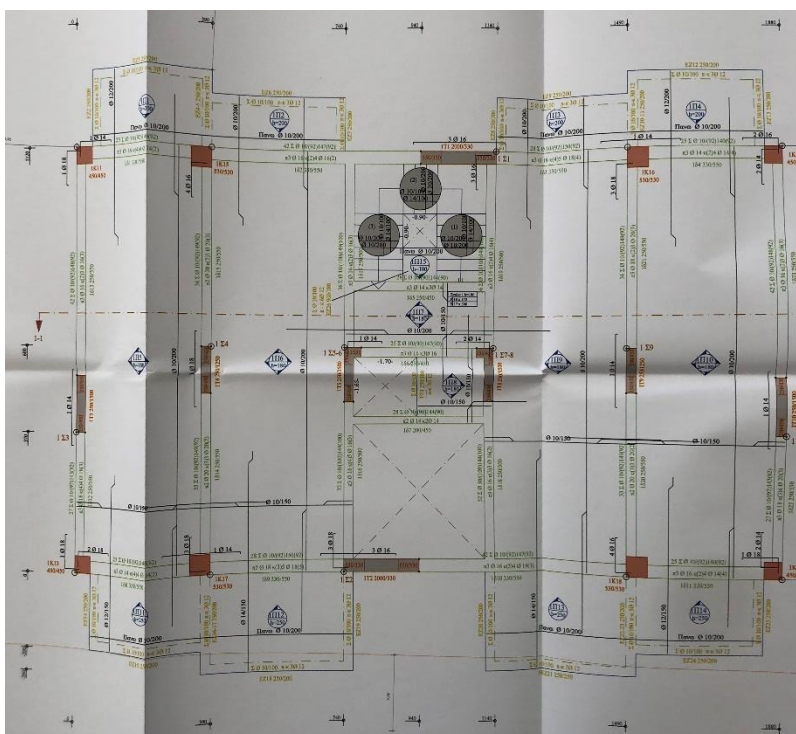
Σχήμα Α-2: Φωτογραφία των λεπτομερειών των υποστυλωμάτων και των τοιχίων του ξυλούπου του υπογείου



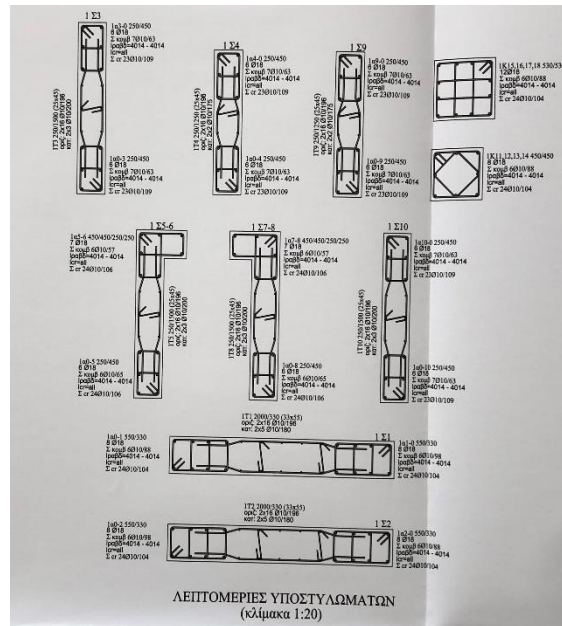
Σχήμα Α-3: Φωτογραφία του ξυλούπου του ισογείου



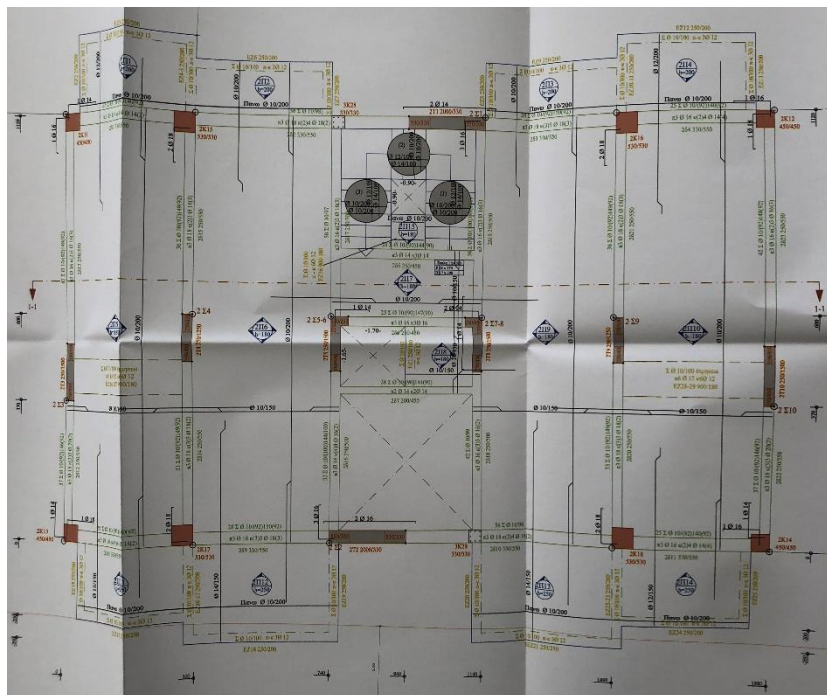
Σχήμα Α-4: Φωτογραφία των λεπτομερειών των υποστυλωμάτων και των τοιχίων του ξυλοτύπου του ισογείου



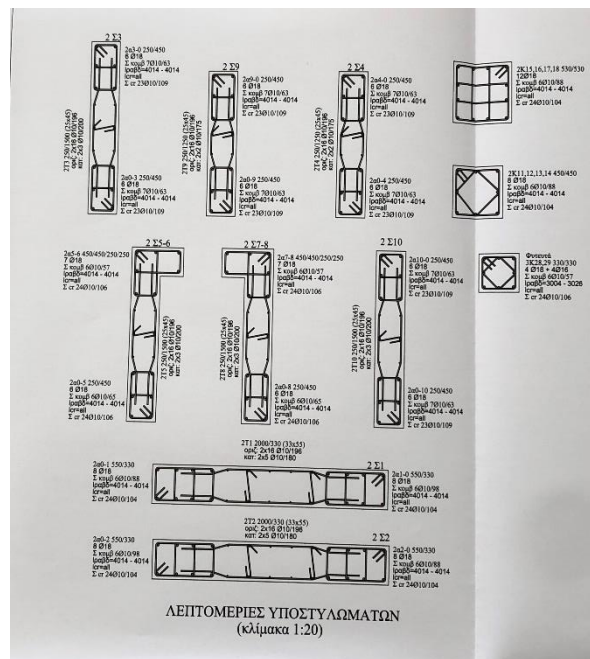
Σχήμα Α-5: Φωτογραφία του ξυλοτύπου του 1ου ορόφου



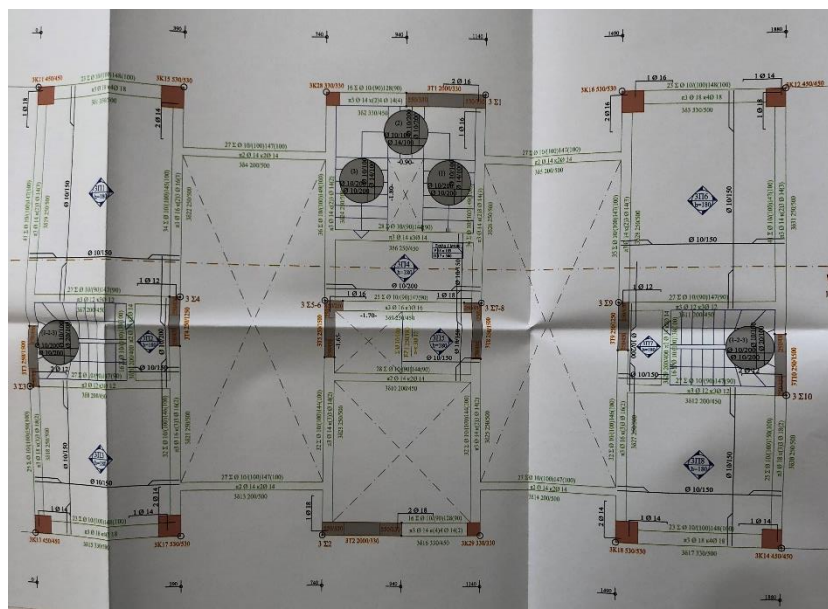
Σχήμα Α-6: Φωτογραφία των λεπτομερειών των υποστυλωμάτων και των τοιχίων του ξηλούπου του 1<sup>ου</sup> ορόφου



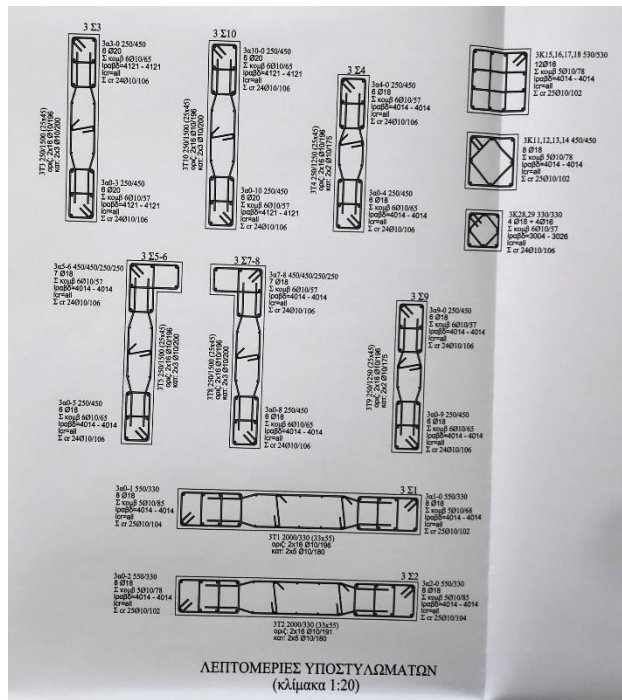
Σχήμα Α-7: Φωτογραφία του ξηλούπου του 2<sup>ου</sup> ορόφου



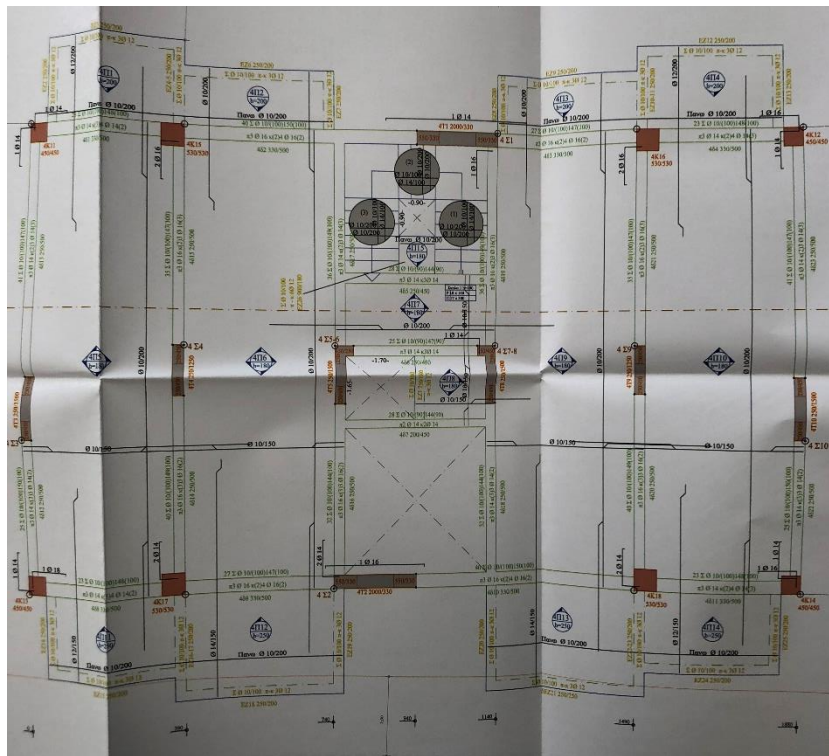
Σχήμα Α-8: Φωτογραφία των λεπτομερειών των υποστυλωμάτων και των τοιχίων του ξυλούπου του 2<sup>ου</sup> ορόφου



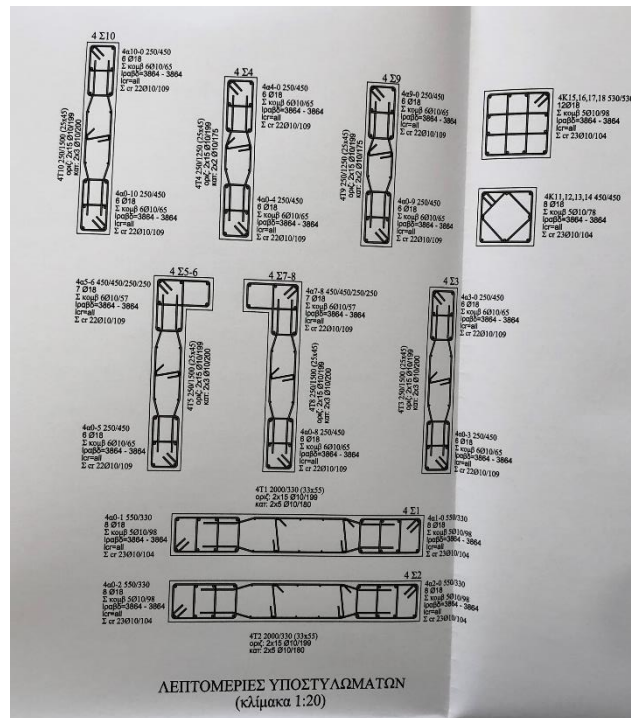
Σχήμα Α-9: Φωτογραφία του ξυλούπου του 3<sup>ου</sup> ορόφου



Σχήμα A-10: Φωτογραφία των λεπτομερειών των υποστυλωμάτων και των τοιχίων του ξυλοτύπου του 3ου ορόφου



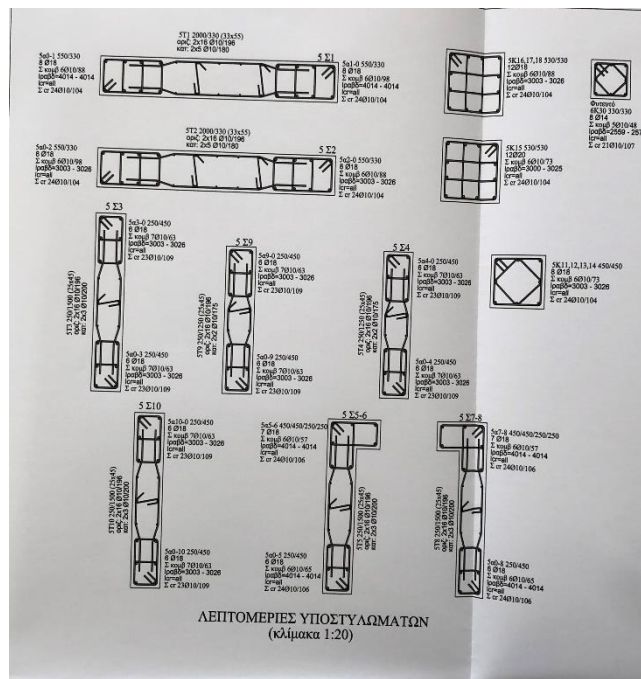
Σχήμα A-11: Φωτογραφία του ξυλοτύπου του εσωτερικού εξώστη



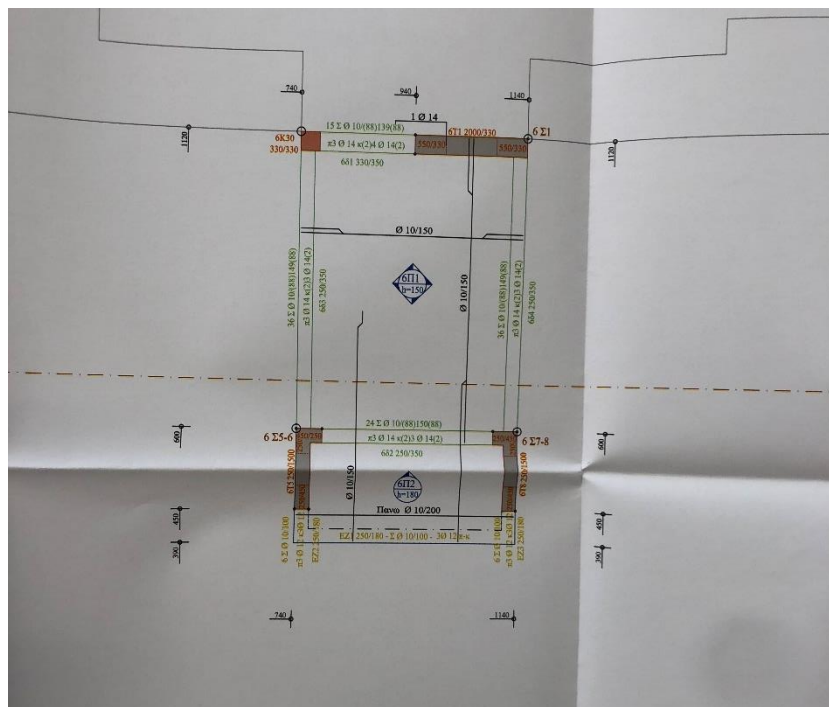
Σχήμα A-12: Φωτογραφία των λεπτομερειών των υποστυλωμάτων και των τοιχίων του ξυλοτύπου του εσωτερικού εξώστη



Σχήμα A-13: Φωτογραφία του ξυλοτύπου του 4<sup>ου</sup> ορόφου

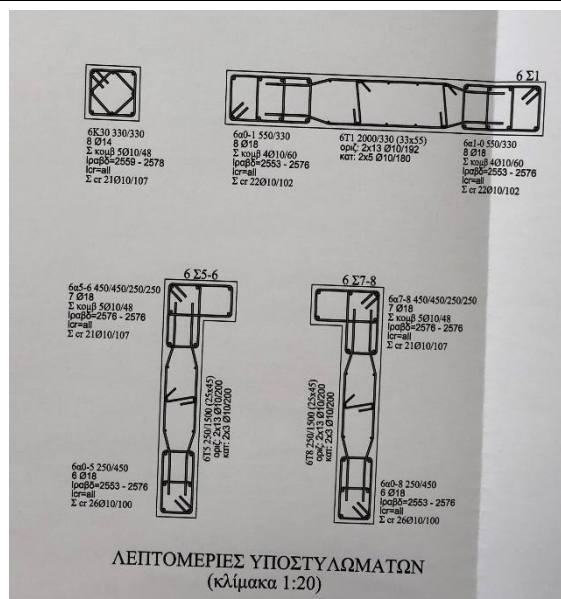


Σχήμα A-14: Φωτογραφία των λεπτομερειών των υποστυλωμάτων και των τοιχίων του ξυλοτύπου του 4ου ορόφου



Σχήμα A-15: Φωτογραφία του ξυλοτύπου της απόληξης κλιμακοστασίου





Σχήμα Α-16: Φωτογραφία των λεπτομερειών των υποστυλωμάτων και των τοιχίων του ξυλούπου της απόληξης κλιμακοστασίου

Πίνακας Α-1: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί υποστυλωμάτων υπογείου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
K1	45x45	8Φ20	Φ10/10 cm
K2	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K3	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K4	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K5	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K6	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K7	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K8	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K9	25x30	4Φ18	Φ10/10 cm
K10	25x30	4Φ18	Φ10/10 cm
K11	45x25	6Φ18	Φ10/10 cm
K12	45x25	8Φ16	Φ10/10 cm
K13	25x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K14	25x45	6Φ18	Φ10/8 cm
K15	25x45	6Φ16	Φ10/10 cm
K16	25x45	6Φ18	Φ10/10 cm
K17	25x45	6Φ18	Φ10/10 cm

Πίνακας Α-2: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί τοιχίων υπογείου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
T1	200x33	8Φ20+8Φ20+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T2	200x33	8Φ22+8Φ22+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T3	25x150	6Φ20+6Φ20+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T4	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T5	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T8	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T9	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T10	25x150	6Φ20+8Φ20+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm

Πίνακας Α-3: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί υποστυλωμάτων ισογείου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
K1	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K2	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K3	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K4	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K5	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K6	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K7	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K8	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm

Πίνακας Α-4: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί τοιχίων ισογείου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
T1	200x33	8Φ20+8Φ20+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/19cm
T2	200x33	8Φ22+8Φ22+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/19cm
T3	25x150	6Φ20+6Φ20+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/19cm
T4	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/19cm
T5	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/19cm
T8	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/19cm
T9	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/19cm
T10	25x150	6Φ20+8Φ20+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/19cm

Πίνακας Α-5: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί υποστυλωμάτων 1<sup>ου</sup> ορόφου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
K1	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K2	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K3	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K4	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K5	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K6	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K7	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K8	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm

Πίνακας Α-6: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί τοιχιών 1<sup>ου</sup> ορόφου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
T1	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T2	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T3	25x150	6Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T4	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T5	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T8	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T9	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T10	25x150	6Φ20+8Φ20+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm

Πίνακας Α-7: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί υποστυλωμάτων 2<sup>ου</sup> ορόφου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
K1	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K2	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K3	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K4	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K5	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K6	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K7	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K8	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm

Πίνακας Α-8: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί τοιχιών 2<sup>ου</sup> ορόφου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
T1	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T2	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T3	25x150	6Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T4	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T5	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T8	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T9	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T10	25x150	6Φ20+8Φ20+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm

Πίνακας Α-9: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί υποστυλωμάτων 3<sup>ου</sup> ορόφου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
K1	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K2	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K3	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K4	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K5	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K6	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K7	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K8	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K28	33x33	4Φ18+4Φ16	Φ10/11 cm
K29	33x33	4Φ18+4Φ17	Φ10/11 cm

Πίνακας Α-10: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί τοιχιών 3<sup>ου</sup> ορόφου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
T1	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T2	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/19cm
T3	25x150	6Φ20+6Φ20+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T4	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T5	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T8	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T9	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T10	25x150	6Φ20+8Φ20+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm

Πίνακας Α-11: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί υποστυλωμάτων εσωτερικού εξώστη

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
K1	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K2	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K3	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K4	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K5	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K6	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K7	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K8	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm

Πίνακας Α-12: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί τοιχίων εσωτερικού εξώστη

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
T1	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T2	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T3	25x150	6Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T4	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T5	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T8	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T9	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T10	25x150	6Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm

Πίνακας Α-13: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί υποστυλωμάτων 4<sup>ου</sup> ορόφου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
K1	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K2	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K3	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K4	45x45	8Φ18	Φ10/10 cm
K5	53x53	12Φ20	Φ10/10 cm
K6	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K7	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm
K8	53x53	12Φ18	Φ10/10 cm

Πίνακας A-14: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί τοιχίων 4<sup>ου</sup> ορόφου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
T1	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T2	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T3	25x150	6Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T4	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T5	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T8	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T9	25x125	6Φ18+6Φ18+4Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm
T10	25x150	6Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/11cm, Μέσον: Φ10/20cm

Πίνακας A-15: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί υποστυλωμάτων απόληξης κλιμακοστασίου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
K30	33x33	8Φ14	Φ10/11 cm

Πίνακας A-16: Διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί τοιχίων απόληξης κλιμακοστασίου

Μέλος	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός	Συνδετήρες
T1	200x33	8Φ18+8Φ18+10Φ10	Άκρο 1: Φ10/10cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/19cm
T5	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm
T8	25x150	7Φ18+6Φ18+6Φ10	Άκρο 1: Φ10/11cm ,Άκρο 2: Φ10/10cm, Μέσον: Φ10/20cm