



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Π.Μ.Σ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ & ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ & ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ**

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας:

**ΜΕΛΕΤΗ ΔΟΜΗΤΙΚΟΥ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΣΕ
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΗΡΙΟ ΜΕ ΜΕΙΚΤΟ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ**

ΤΙΛΚΕΡΙΔΗ ΠΑΡΘΕΝΑ

Πτ/χος Μηχανικός Ανακαίνισης & Αποκατάσταση Κτιρίων Α.Τ.Ε.Ι. Πάτρας

Επιβλέπων καθηγητής:

Παπαδόπουλος Χρίστος, Πολιτικός μηχανικός Ε.Μ.Π.
Δομοστατικός MSc

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ

2019-2020



UNIVERSITY OF WESTERN ATTICA
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT- POSTGRADUATE
PROGRAMME
SEISMIC AND ENERGY RETROFIT OF STRUCTURES
AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

MSc DISSERTATION:

**STRUCTURAL REDESIGN AND ENERGY UPGRADING ON AN EXISTING OLD
BUILDING WITH A MIXED LOAD-BEARING STRUCTURE**

TILKERIDI PARTHENA

Graduate Renovation & Restoration of buildings A.T.E.I. Patra

SUPERVISOR

CHRISTOS PAPADOPOULOS, CIVIL ENGINEER NTUA

MSc STRUCTURAL ENGINEER

ACADEMIC YEAR

2019-2020

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Παπαδόπουλο Χρίστο, πολιτικό μηχανικό και συνεργάτη του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, τόσο για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας όσο και για την επιστημονική του καθοδήγηση και υποστήριξη σε όλα τα στάδια εκπόνησής της. Θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμηση μου στον συμφοιτητή μου, Χασιώτη Ιωάννη , για την εξαιρετική συνεργασία μας. Τέλος θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα διπλωματική εργασία στην μνήμη των γονέων μου, που μου έδωσαν τις αξίες και τα απαραίτητα εχέγγυα να μπορώ να ανταπεξέρχομαι και να εξελίσσομαι.

Τιλκερίδη Παρθένα,

Αθήνα,

Αύγουστος, 2020

Δήλωση περί μη λογοκλοπής

Δηλώνω ότι εγώ η Τιλκερίδη Παρθένα του Γεωργίου, είμαι η συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο: **ΜΕΛΕΤΗ ΔΟΜΗΤΙΚΟΥ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΤΗΡΙΟ ΜΕ ΜΕΙΚΤΟ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ**, που συντάχθηκε στο πλαίσιο της απόκτησης Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης από το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής και παραδόθηκε το μήνα Αύγουστο του 2020. Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί προσωπική εργασία και δεν είναι προϊόν αντιγραφής ή ανάθεσης σε τρίτους. Οι πηγές πληροφοριών των οποίων έγινε “θεμιτή χρήση” αναφέρονται ρητώς στη βιβλιογραφία ενώ εργασία άλλων συγγραφέων που μπορεί να αφορά ιδέες, εξισώσεις, πίνακες, διαγράμματα και εικόνες αναφέρεται στο σημείο χρήσης της εντός του σώματος της διπλωματικής. Η παρούσα εργασία έχει μη-κερδοσκοπικό/πληροφοριακό χαρακτήρα και παραδίδεται προς εξέταση με σεβασμό προς εκείνους τους ανθρώπους που έχουν μοχθήσει σκληρά για την πρόοδο της γνώσης στον χώρο των κτηριακών κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία.

Τιλκερίδη Παρθένα,

Αθήνα,

Αύγουστος, 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο δομητικός και ενεργειακός ανασχεδιασμός υφιστάμενης τριώροφης κατασκευής με μεικτό φέροντα οργανισμό από φέρουσα τοιχοποιία και ωπλισμένο σκυρόδεμα.

Για την υφιστάμενη κατοικία προβλέπονται εκτεταμένες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις αισθητικής και λειτουργικής αναβάθμισης. Οι επεμβάσεις δομητικής αναβάθμισης ακολουθούν τις σύγχρονες αρχές του επιτελεστικού σχεδιασμού και η υπολογιστική τεκμηρίωση τους θα διενεργηθεί μέσω στατικών ανελαστικών αναλύσεων.

Το κτήριο παράλληλα θα αναλυθεί εκτενώς ως προς τις θερμομονωτικές ιδιότητες των αδιαφανών και διαφανών στοιχείων, θα εντοπισθούν τα αδύνατα σημεία και θα προταθούν τρόποι επίλυσης. Η ενεργειακή αποτίμηση της υφιστάμενης κατασκευής καθώς και οι προτάσεις ενεργειακής αναβάθμισης που θα προκύψουν θα τηρούν τις υποδείξεις του Κανονισμού Ενεργειακής Αναβάθμισης Κτηρίων (Κ.ΕΝ.Α.Κ.).

ABSTRACT

The subject of the following diploma thesis is the structural and energy redesign of an existing three-storied construction with a mixed load-bearing elements out of masonry and reinforced concrete.

Excessive architectural interventions of aesthetic and functional upgrade are forward planned for the existing residence. The structural upgrade interventions abide by the modern principles of complete design and their estimating substantiation will be proceeded through the inelastic static analysis.

The structure will be further elaborated over thermal insulation properties of transparent and non-transparent elements. Weak spots will be traced and ways of resolving them will be suggested. The energy evaluation of the existing building as well as the recommendations of energy upgrades that will arise, will comply with the instructions of the Energy Upgrade Building Regulation (K.EN.AK.).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΦΟΡΕΑΣ : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ & ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ

1.1. Περιγραφή κτηρίου – Αρχιτεκτονική αποτύπωση	1
1.2. Φωτογραφική τεκμηρίωση – Διερευνητικές τομές	6
1.3. Αποτύπωση φέροντος οργανισμού: Ταυτοποίηση δομικών στοιχείων & υλικών δόμησης...21	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ

2.1. Αρχιτεκτονικός ανασχεδιασμός.....	27
2.2. Ενεργειακή αναβάθμιση	
2.2.1. Γενικά στοιχεία κανονισμού ενεργειακής απόδοσης.....	29
2.2.2. Ορισμός ενεργειακής απόδοσης κτηρίου.....	29
2.2.3. Ενεργειακός στόχος.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ & ΔΟΜΗΤΙΚΟΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

3.1. Το σχήμα επέμβασης.....	32
3.2. Ανασχεδιασμός με βάση το EN1998-3.....	36
3.3. Οι τοπικοί (εκτός επιπέδου) μηχανισμοί αστοχίας.....	39
3.4. Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων.....	40
3.5. Η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του κελύφους μέσω του 'Σχήματος Επέμβασης	41
3.6. Το προσομοίωμα ανάλυσης.....	43
3.7. Καταστατικός νόμος απόκρισης φερόντων τοίχων.....	46
3.8. Κατακόρυφες & Οριζόντιες δράσεις ανελαστικής στατικής ανάλυσης	49
3.9. Η σεισμική απόκριση του κτηρίου & Έλεγχοι επιτελεστικότητας.....	50
3.10. Συγκεντρική αναφορά αποτελεσμάτων ανάλυσης του κτηρίου μέσω του λογισμικού 3MURI της ERGOCAD.....	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

4.1. Ανάλυση αδιαφανών στοιχείων.....	87
4.2. Θερμομονωτικές ιδιότητες αδιαφανών στοιχείων.....	88
4.3. Πρόταση ενεργειακής αναβάθμιση αδιαφανών στοιχείων.....	90
4.4. Ανάλυση διαφανών στοιχείων.....	94
4.5. Θερμομονωτικές ιδιότητες διαφανών στοιχείων.....	97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΦΟΡΕΑΣ : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ & ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο δομητικός και ενεργειακός ανασχεδιασμός υφιστάμενης τριώροφης κατασκευής με μεικτό φέροντα οργανισμό από φέρουσα τοιχοποιία και ωπλισμένο σκυρόδεμα.

Η αρχιτεκτονική μελέτη του κτηρίου εκπονήθηκε από το αρχιτεκτονικό γραφείο workshop – DIONISIS SOTOVIKIS [1].

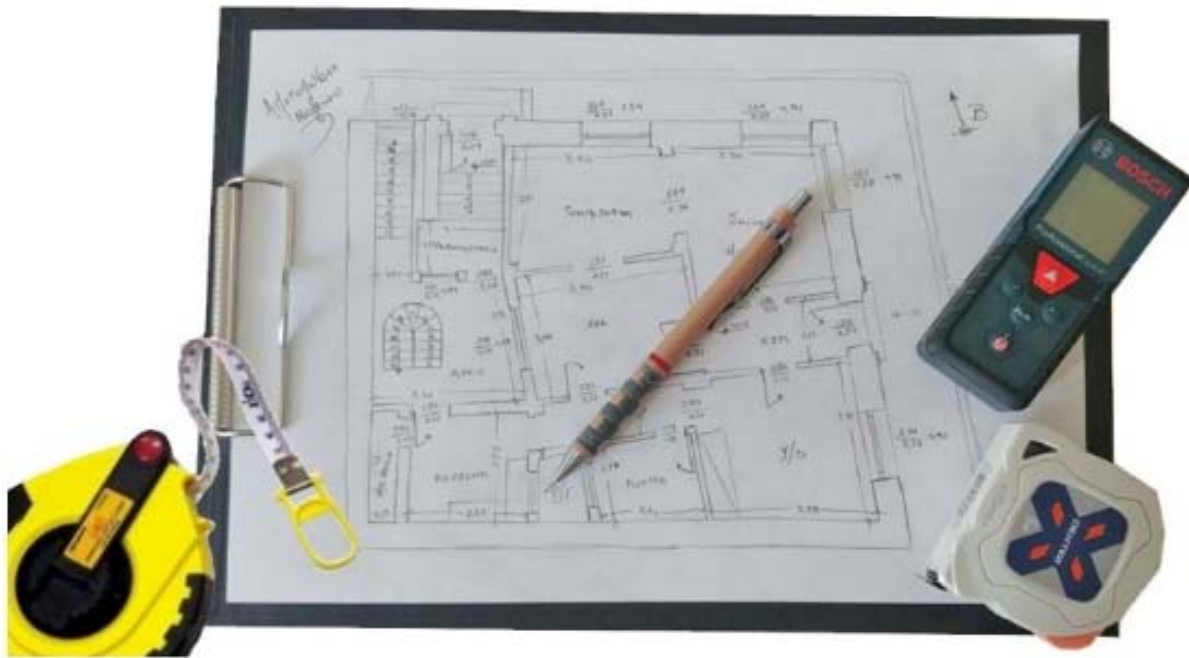
1.1 Περιγραφή κτηρίου – Αρχιτεκτονική αποτύπωση

Το ακίνητο βρίσκεται στο ιστορικό κέντρο της πόλης των Αθηνών. Κτίσμα του μεσοπολέμου, αφού κατασκευάστηκε με άδεια του 1955 ενώ μικρά τμήματα σε όλες τις στάθμες τακτοποιήθηκαν μέσω του Ν.4178/13. Πρόκειται για γωνιακό κτίσμα , αποτελούμενο από φέρουσα τοιχοποιία και στοιχεία ωπλισμένου σκυροδέματος, όπου καταλαμβάνει σχεδόν όλο το οικόπεδο πλην ενός μικρού ακαλύπτου τμήματος, αυλή, στη στάθμη του ισογείου. Το κτίσμα είναι γωνιακό με τις 2 ελεύθερες πλευρές του σε βόρειο και ανατολικό προσανατολισμό. Αναπτύσσεται σε 3 στάθμες, ισόγειο και 2 υπέργειους ορόφους ενώ φέρει μεταγενέστερο ελαφρύ πρόκτισμα στο δώμα.

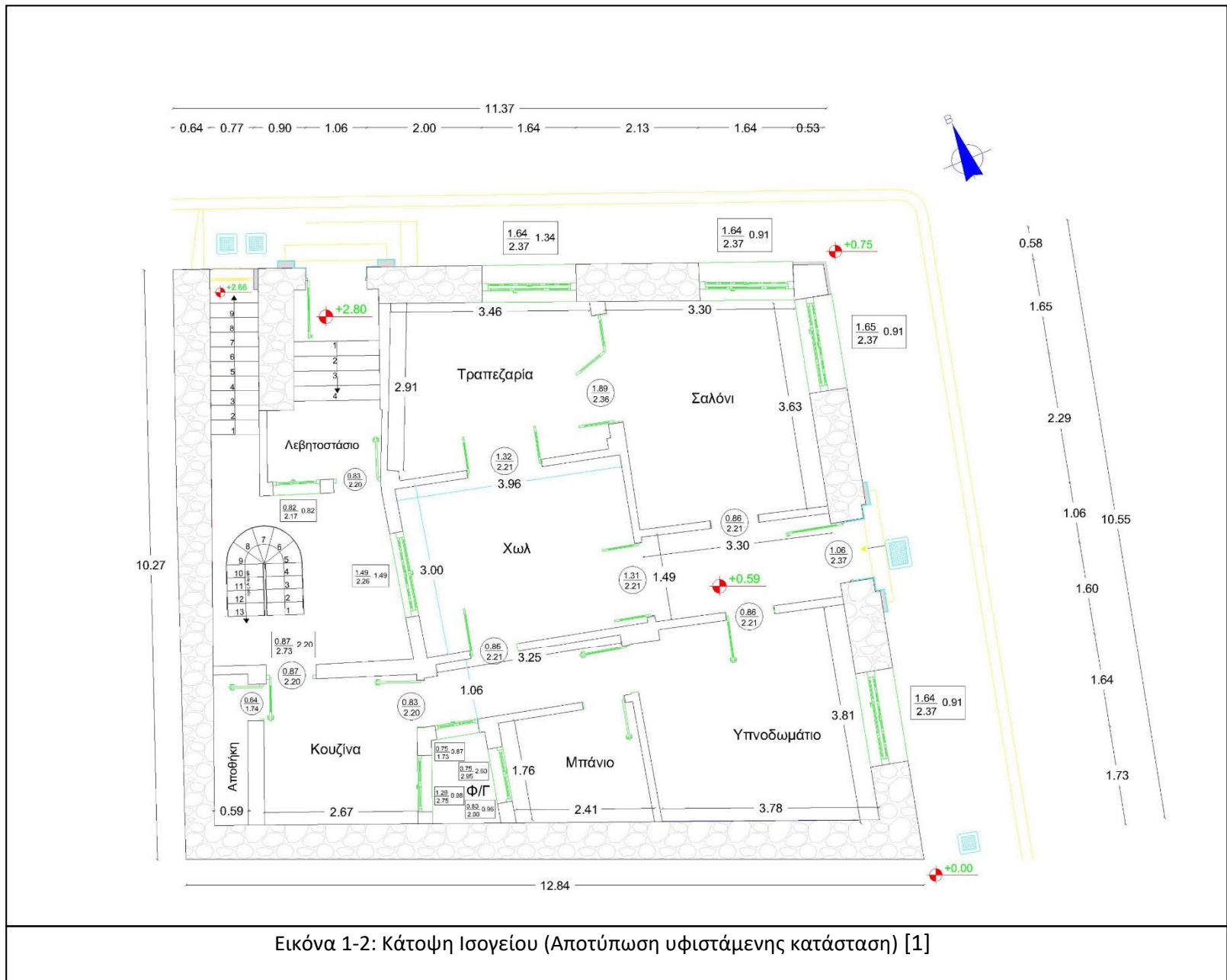
Οι τρεις στάθμες του οικοδομήματος φαίνεται να λειτουργούσαν ως τρεις αυτόνομες και ανεξάρτητες ιδιοκτησίες με χρήση κατοικίας. Η κύρια πρόσβαση της κατοικίας στη στάθμη του ισογείου, η οποία καταλαμβάνει 98τ.μ. γίνεται από την κεντρική είσοδο επί του δρόμου. Η πρόσβαση στους δυο υπέργειους ορόφους, οι οποίοι καταλαμβάνουν εμβαδόν 99τ.μ. και 107τ.μ. αντίστοιχα, επιτυγχάνεται δια μέσου του κεντρικού κλιμακοστασίου επί της κάθετης οδού. Δίπλα στην πόρτα του κεντρικού κλιμακοστασίου της ίδιας οδού, υπάρχει μία δευτερεύουσα είσοδος προς την εσωτερική αυλή του ισογείου. Μια σκάλα στην εσωτερική αυλή ενώνει καθ' ύψος όλες τις ιδιοκτησίες. Πιθανολογείται πως ήταν σκάλα υπηρεσίας, όπως συνήθιζαν να έχουν όλα τα κτίσματα της παλαιάς Αθήνας. Η χρήση της σκάλας γινόταν κυρίως από τις υπηρέτριες, αφού λειτουργικά ένωνε όλους τους κοινόχρηστους χώρους, από την αυλή του ισογείου μέχρι την στάθμη της ταράτσας όπου υπήρχε η αποθήκη και το πλυσταριό για το άπλωμα των ρούχων, με το πλατύσκαλο της κουζίνας του κάθε διαμερίσματος. Στην σημερινή εποχή, η σκάλα αυτή χρησιμοποιείται τόσο για την σύνδεση των κοινόχρηστων χώρων αλλά και ως εφεδρική έξοδος κινδύνου σε περίπτωση πυρκαγιάς ή άλλης ανάγκης.

Λόγω της παλαιότητας του κτίσματος τα σχέδια από την πολεοδομία έχουν απωλεσθεί, σύμφωνα με έγγραφη βεβαίωση της. Μετά από αυτοψία στο σύνολο του κτηρίου και αφού διερευνήθηκαν οι κατασκευαστικές και οι αρχιτεκτονικές λεπτομέρειες ξεκίνησε η αποτύπωση του σε χειρόγραφα σκαριφήματα. Τα σκαριφήματα έγιναν με ελεύθερο χέρι, χωρίς κλίμακα, διατηρώντας όμως μια σχέση αναλογίας των χώρων [Εικόνα 1-1]. Οι μετρήσεις των διαστάσεων έγιναν μέσω μετροταινίας και ψηφιακούς μετρητές laser . Μετά την λήψη όλων των δεδομένων από το πεδίο, τα χειρόγραφα σχέδια μεταφέρθηκαν μέσω Autocad σε ψηφιακή μορφή. Στις σελίδες που ακολουθούν δίνονται τα ψηφιακά σχέδια αποτύπωσης:

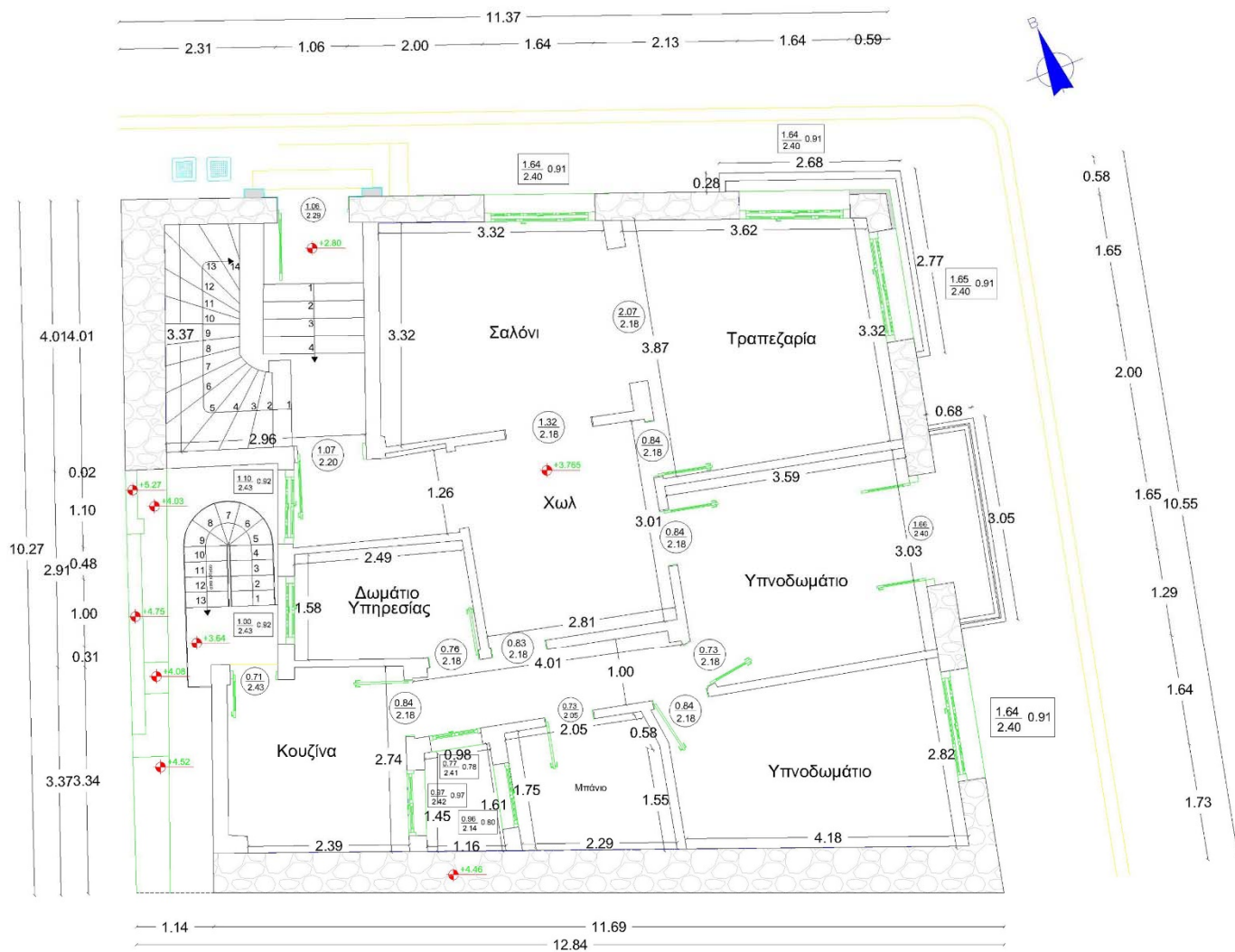
- Κάτοψη Ισογείου [Εικόνα 1-2]
- Κάτοψη Α' ορόφου [Εικόνα 1-3]
- Κάτοψη Β' ορόφου [Εικόνα 1-4]



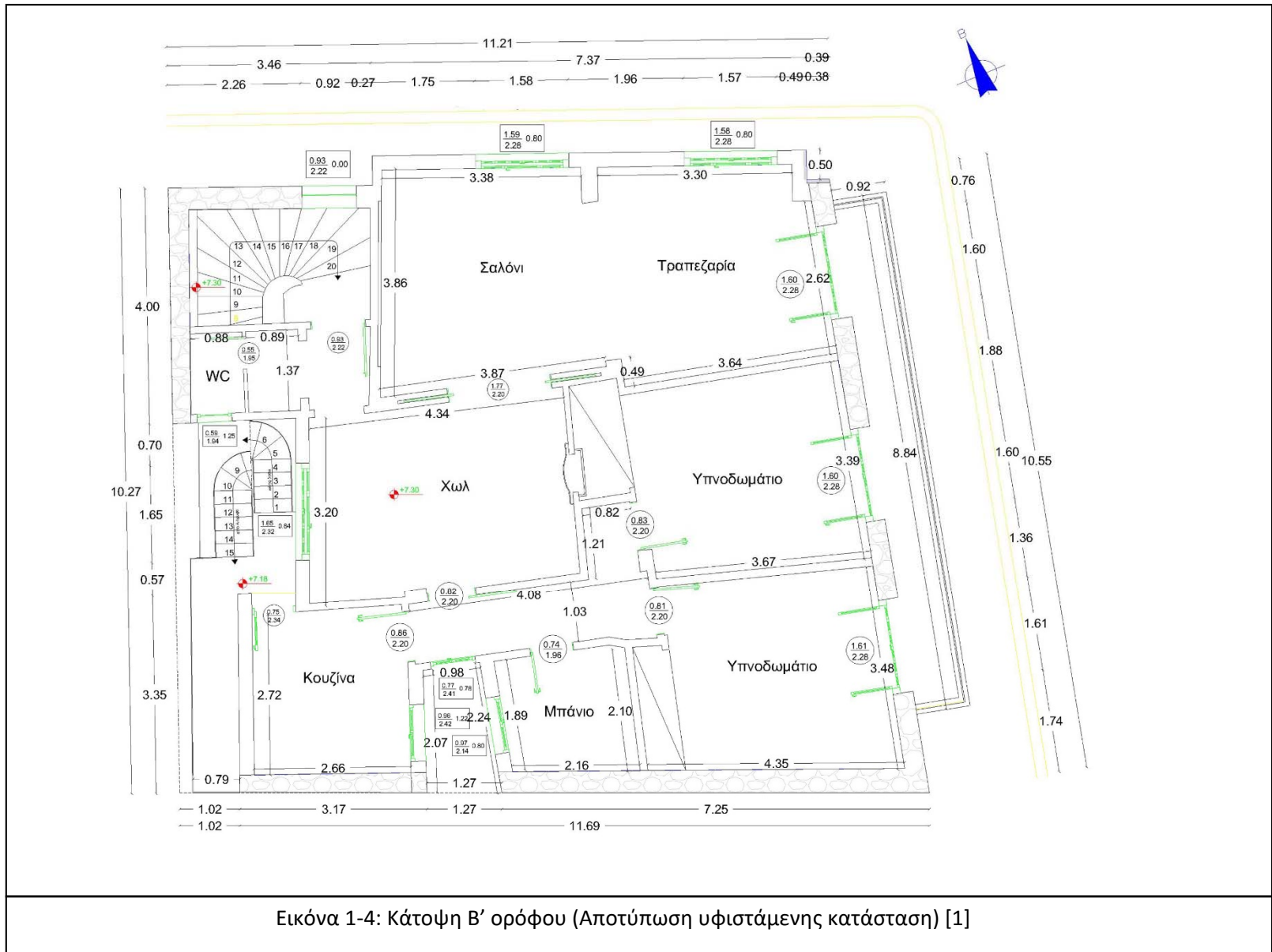
Εικόνα 1-1: Σκαρίφημα Ισογείου



Εικόνα 1-2: Κάτοψη Ισογείου (Αποτύπωση υφιστάμενης κατάστασης) [1]



Εικόνα 1-3: Κάτοψη Α' ορόφου (Αποτύπωση υφιστάμενης κατάστασης) [1]



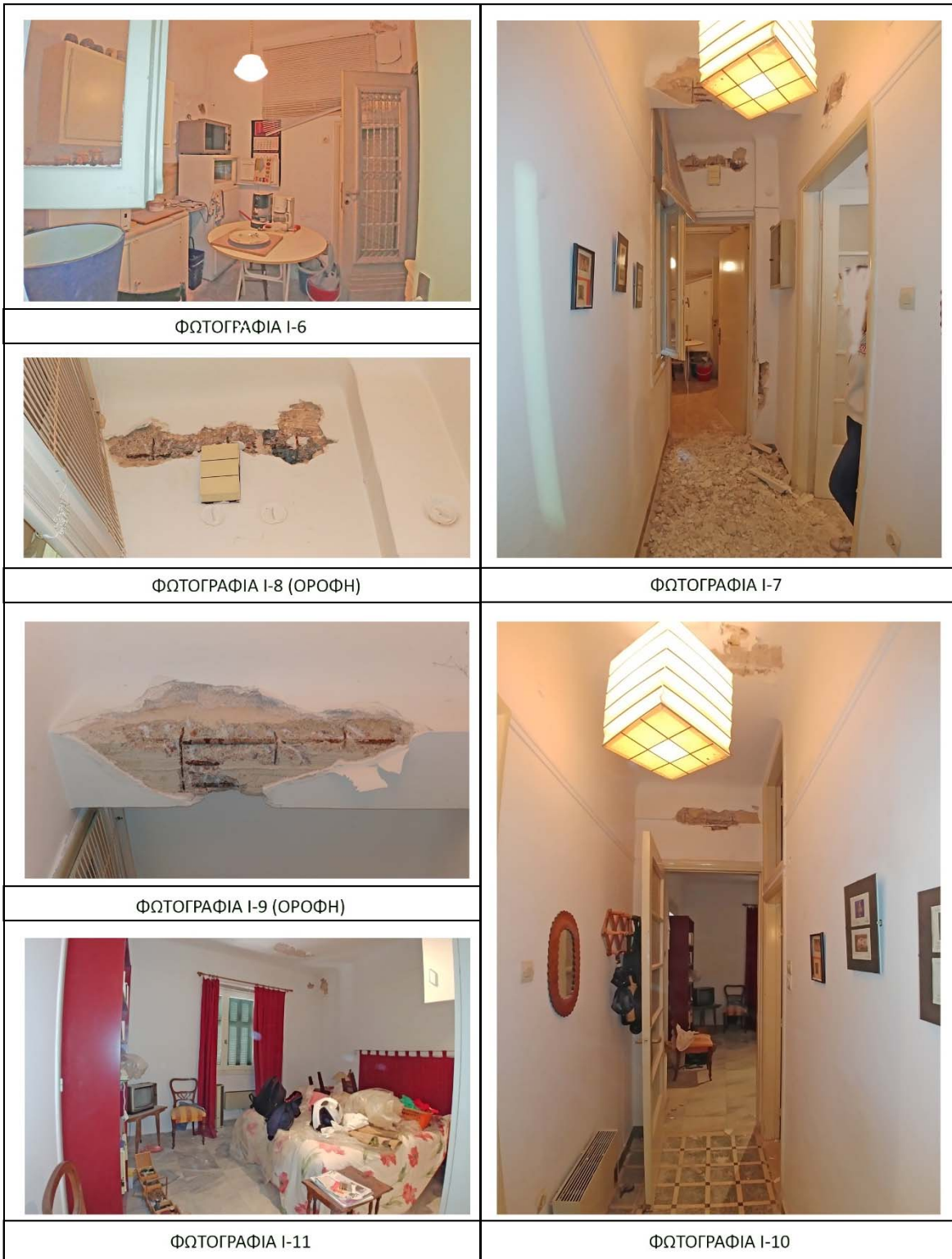
1.2 Φωτογραφική τεκμηρίωση – Διερευνητικές τομές



Εικόνα 1-5: Φωτογραφική τεκμηρίωση Ισογείου



Εικόνα 1-5-1: Φωτογραφίες Ισογείου I-1– I-5



Εικόνα 1-5-2: Φωτογραφίες Ισογείου I-6 – I-10



Εικόνα 1-5-3: Φωτογραφίες Ισογείου I-11 - I-18



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ I-19



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ I-20



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ I-21 (ΟΡΟΦΗ)



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ I-22 (ΟΡΟΦΗ)

Εικόνα 1-5-4: Φωτογραφίες Ισογείου I-19 - I-22





ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ Α-1



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ Α-2 (ΟΡΟΦΗ)



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ Α-3



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ Α-4

Εικόνα 1-6-1: Φωτογραφίες Α' ορόφου Α-1 - Α-4



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ Α-5



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ Α-6 (ΟΡΟΦΗ)



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ Α-7



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ Α-8



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ Α-9 (ΟΡΟΦΗ)



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ Α-10

Εικόνα 1-6-2: Φωτογραφίες Α' ορόφου Α-5 – Α-10



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-11



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-12



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-13



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-14

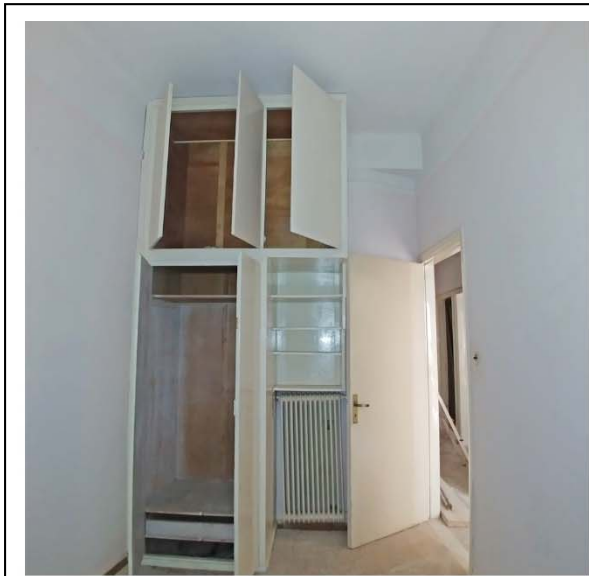


ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-16



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-15 (ΟΡΟΦΗ)

Εικόνα 1-6-3: Φωτογραφίες Α' ορόφου A-11– A-16



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-17



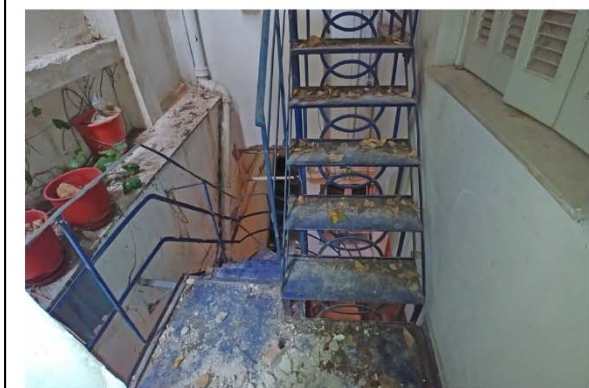
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-18 (ΟΡΟΦΗ)



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-19



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-20



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-22



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ A-21 (ΟΡΟΦΗ)

Εικόνα 1-6-4: Φωτογραφίες Α' ορόφου A-17– A-21



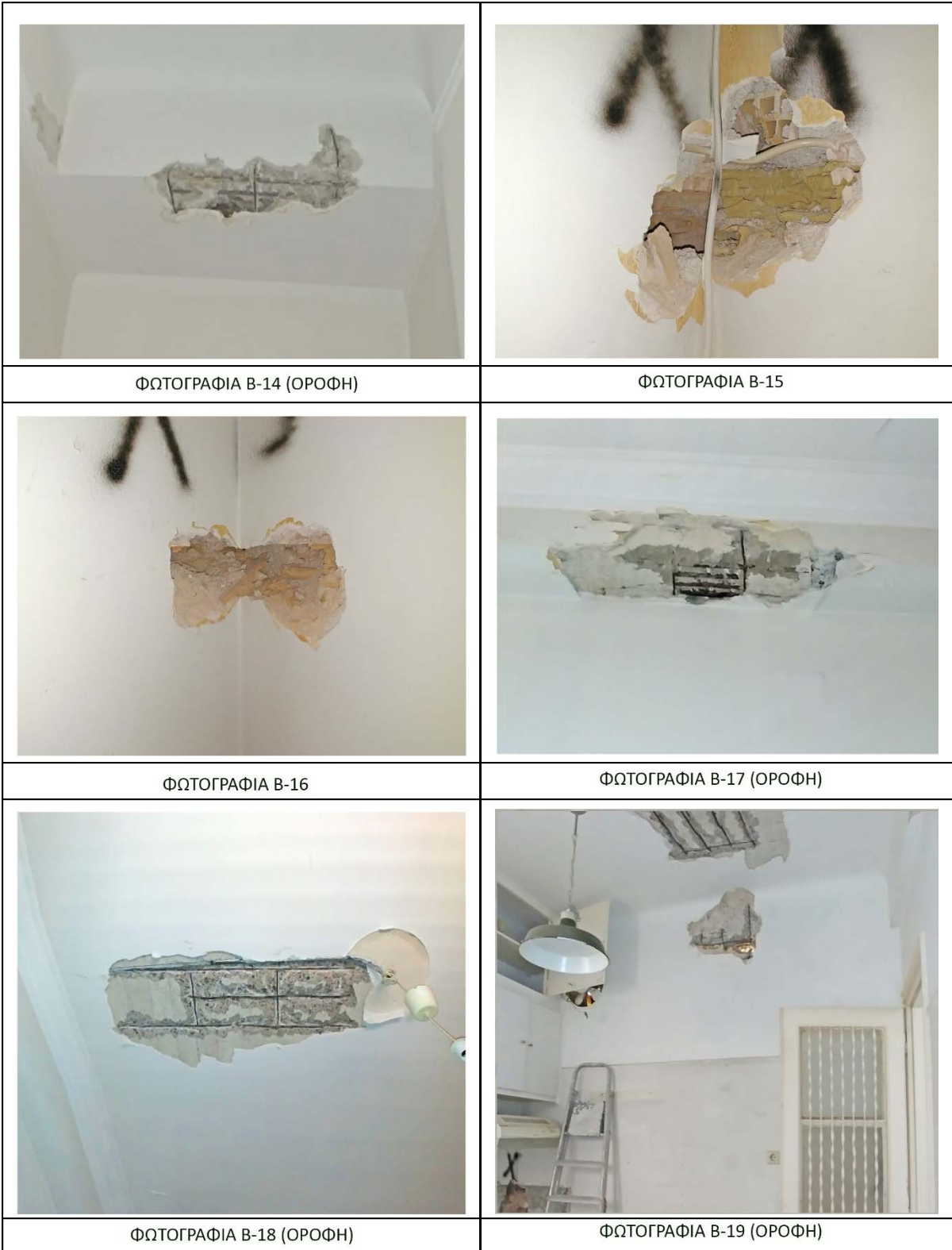
Εικόνα 1-7: Φωτογραφική τεκμηρίωση Β' ορόφου



Εικόνα 1-7-1: Φωτογραφίες Β' ορόφου Β-1– Β-7



Εικόνα 1-7-2: Φωτογραφίες Β' ορόφου Β-8– Β-13



Εικόνα 1-7-3: Φωτογραφίες Β' ορόφου Β-14– Β-19

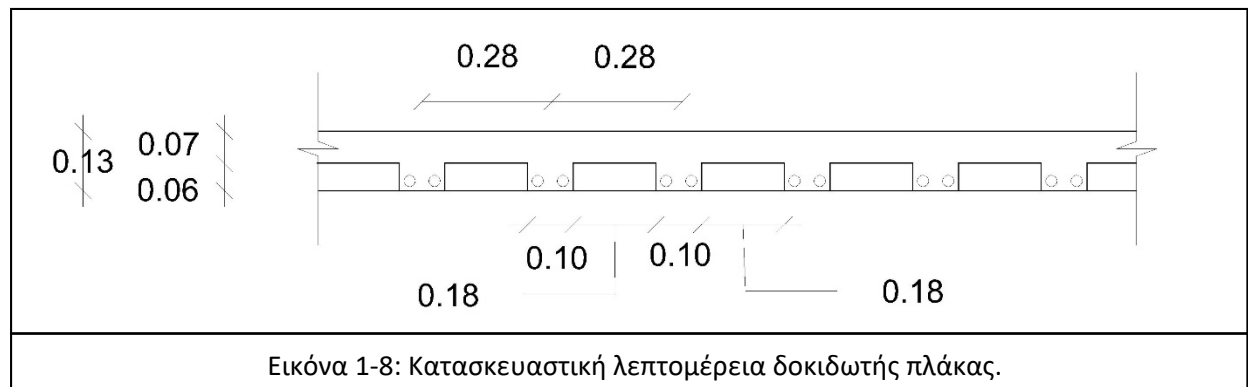


Εικόνα 1-7-4: Φωτογραφίες Β' ορόφου Β-20– Β-23

1.3 Αποτύπωση φέροντος οργανισμού: Ταυτοποίηση δομικών στοιχείων και υλικών δόμησης

Το κτήριο ανεγέρθηκε το 1955 ως μεικτός φέρων οργανισμός. Το δόμημα μορφώνεται ως διώροφος (ισόγειο + 2 υπέργειοι όροφοι) μεικτός φορέας, με περιμετρικό κέλυφος από φέρουσα τοιχοποιία και εσωτερικά κατακόρυφα (υποστυλώματα) και οριζόντια στοιχεία (πλάκες, δοκοί, διαζώματα) από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Το κτήριο φέρει επίσης μεταγενέστερο οιονεί ελαφρύ πρόκτισμα στο δώμα.

Οι πλάκες οροφής του Ισογείου και του πρώτου ορόφου είναι δοκιδωτές με πάχος 0,13cm [Εικόνα 1-12] ενώ του Β' ορόφου είναι συμπαγής από ωπλισμένο σκυρόδεμα με πάχος 0,16cm. Οι κολώνες είναι τετραγωνικής διατομής 30x30 και υπάρχει γεωμετρία του φέροντα οργανισμού της ανωδομής με της θεμελίωσης [Εικόνα 1-13 έως 1-15].

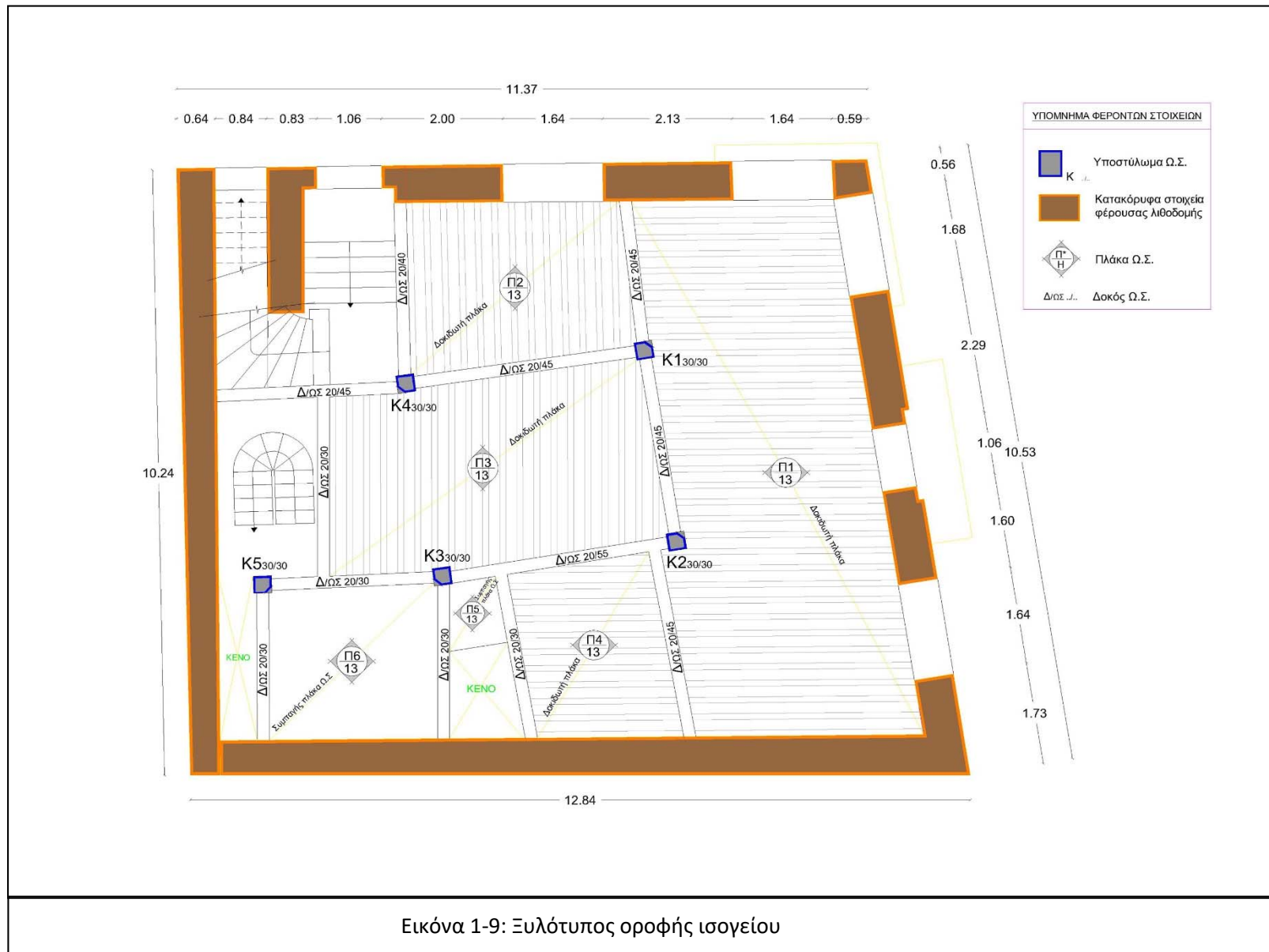


Τα σχέδια ξυλοτύπων βασίστηκαν:

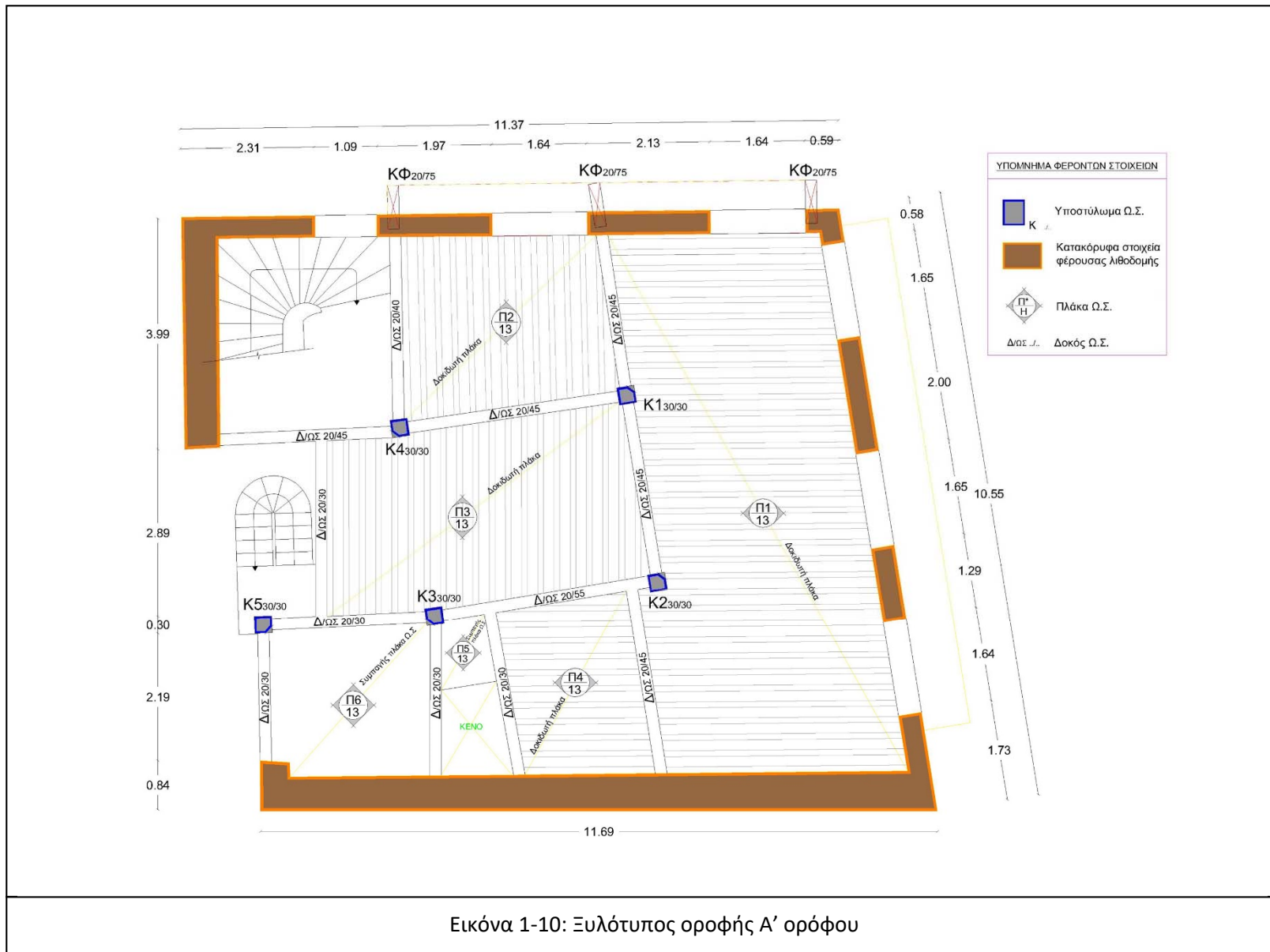
- στη νέα γεωμετρική αποτύπωση του υπάρχοντος,
- σε τοπικές αποκαλύψεις δομικών μελών και θεμελίων,
- στα σχέδια της εγκεκριμένης αρχικής μελέτης και
- σε εύλογες θεωρήσεις μηχανικού με κριτήριο τις κατασκευαστικές πρακτικές της εποχής ανέγερσης.

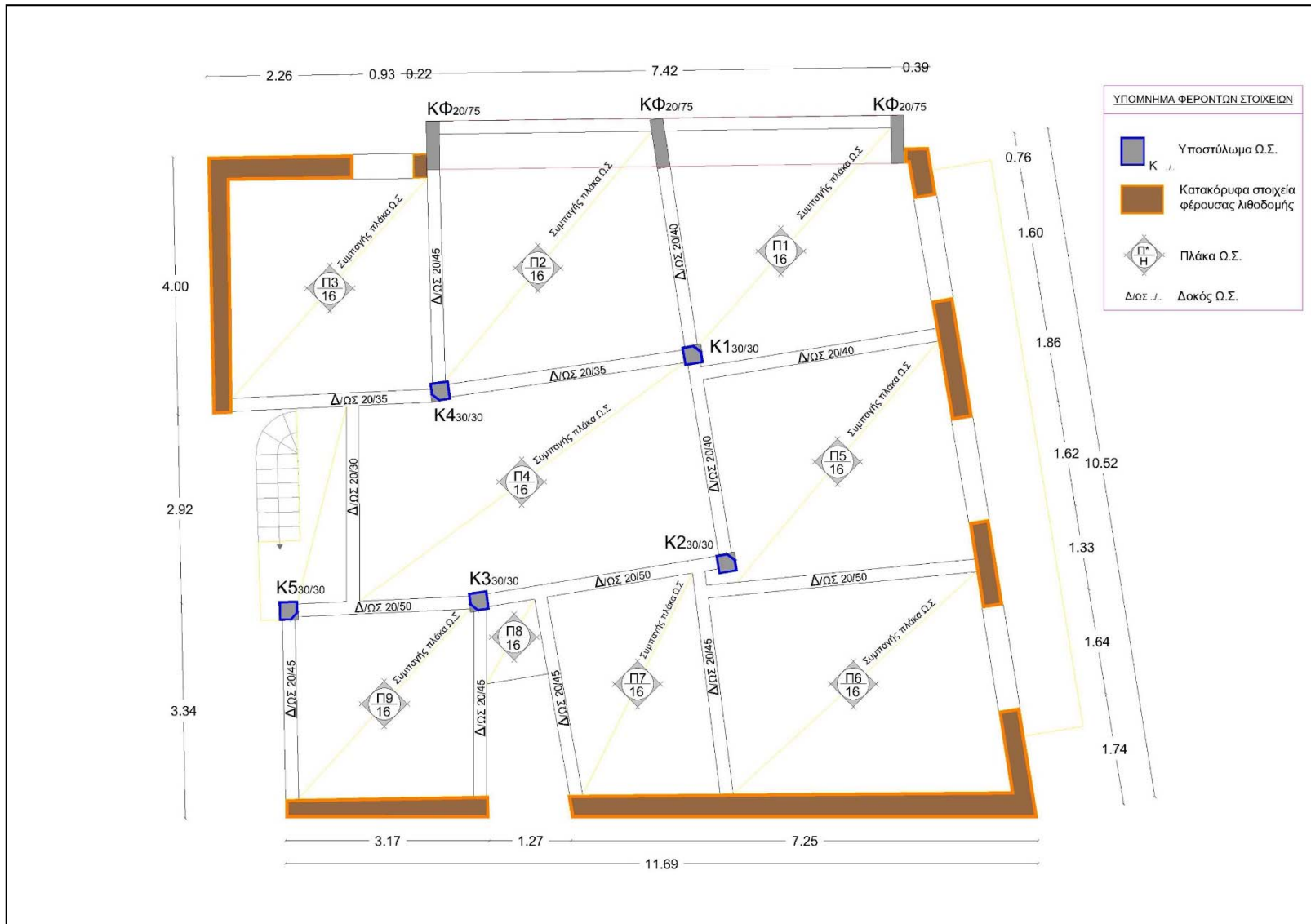
Η αποτύπωση ξυλοτύπων περιλαμβάνει:

- Ξυλότυπος οροφής Ισογείου [Εικόνα 1-9]
- Ξυλότυπος οροφής Α' ορόφου [Εικόνα 1-10]
- Ξυλότυπος οροφής Β' ορόφου [Εικόνα 1-11]



Εικόνα 1-9: Ξυλότυπος οροφής ισογείου





Εικόνα 1-11: Ξυλότυπος οροφής Β' ορόφου

Υλικά Φέροντος Οργανισμού

Για τα στοιχεία σκυροδέματος συντηρητικά υιοθετούνται οι 'ερήμην' τιμές που προτείνονται στο Παράρτημα 3.1 του ΚΑΝΕΠΕ-2017 [2], ήτοι μέση τιμή θλιπτικής αντοχής $f_{cm}=10\text{MPa}$ και χαρακτηριστική τιμή θλιπτικής αντοχής $f_{ck}=6\text{MPa}$. Ο χάλυβας των οπλισμών του φέροντος οργανισμού είναι λείος χάλυβας ποιότητας St-I (S220).

Για τις φέρουσες τοιχοποιίες υιοθετούνται οι 'ερήμην' τιμές που προτείνονται στους πίνακες E1 και E2 του Παραρτήματος E του νέου πρόσφατου Προσχεδίου του Ευρωκώδικα 8 Μέρος 3 (CEN/TC 250/SC8, N667) [3].

Πίνακας E.1 Reference values for mechanical properties of different masonry types mean values and coefficient of variation. [3]							
Type of masonry		f [MPa]	f_i [MPa]	$f_{\nu 0}$ [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	w [kN/m ³]
Irregular stone masonry	μ	1,5	0,039	-	870	290	19
	c.o.v.	0,29	0,24	-	0,21	0,21	
Roughly cut stone masonry, with wythes of irregular thickness	μ	2,5	0,065	-	1230	410	20
	c.o.v.	0,20	0,19	-	0,17	0,17	
Uncut stonework with good texture	μ	3,2	0,097	-	1740	580	21
	c.o.v.	0,19	0,14	-	0,14	0,14	
Masonry of irregular soft stone blocks	μ	1,8	0,052	-	1080	360	13 to 16
	c.o.v.	0,23	0,14	-	0,17	0,17	
Regular masonry of soft stone blocks	μ	2,6	-	0,145	1410	470	
	c.o.v.	0,23	-	0,31	0,15	0,15	
Squared stone masonry	μ	7,0	-	0,220	2800	860	22
	c.o.v.	0,14	-	0,14	0,14	0,09	
Solid brick masonry and lime mortar	μ	3,4	0,114	0,160	1500	500	18
	c.o.v.	0,26	0,21	0,21	0,20	0,20	
Semisolid brick masonry with cement-lime mortar (perforations < 40%)	μ	6,5	-	0,280	4550	1138	15
	c.o.v.	0,24	-	0,14	0,24	0,24	
f : compressive strength of masonry; f_i : diagonal tensile strength of masonry; $f_{\nu 0}$: initial shear strength of masonry; E: modulus of normal elasticity; G: modulus of tangential elasticity; w: unit weight of masonry.							

Πίνακας Ε.2
Corrective (multiplier) coefficients for strength properties. [3]

Type of masonry	Good mortar (*)	Regular alignments	Transversal connection
Irregular stone masonry	1,5	1,3	1,3
Roughly cut stone masonry, with wythes of irregular thickness	1,3	1,2	1,5
Uncut stonework with good texture	1,4	1,1	1,3
Masonry of irregular soft stone blocks	1,5	1,2	1,3
Regular masonry of soft stone blocks	1,6	-	1,2
Squared stone masonry	1,2	-	1,2
Solid brick masonry and lime mortar	1,5	-	1,3
Semisolid brick masonry with cement-lime mortar (perforations < 40%)	1,2	-	-
(*) Corrective coefficients are applied also to elastic moduli			

Οπλισμικές Διατάξεις Δομικών Στοιχείων Ω.Σ.

Διενεργήθηκαν αποκαλύψεις και συστηματικές μαγνητικές ανιχνεύσεις οπλισμών σε οριζόντια και κατακόρυφα του δομήματος.

Οι διατομές οπλισμών με τις οποίες διενεργήθηκαν οι έλεγχοι επάρκειας των υφιστάμενων δομικών στοιχείων Ω.Σ., προσδιορίστηκαν με συνεκτίμηση των παρακάτω στοιχείων:

- τα δεδομένα των αποκαλύψεων,
- τα δεδομένα των μαγνητικών ανιχνεύσεων
- τις αναγραφές οπλισμού στα σχέδια της εγκεκριμένης αρχικής μελέτης και
- τις εύλογες υποθέσεις κατά την κρίση του μελετητή.

Ως προς τις λεπτομέρειες όπλισης έγιναν εύλογες υποθέσεις σύμφωνα με τις συνθήκες και τις συνήθειες που επικρατούσαν την εποχή κατασκευής του κτηρίου.

Οι (διαθέσιμοι) οπλισμοί ελέγχου των κατακόρυφων δομικών μελών αναγράφηκαν στα νέα σχέδια ξυλοτύπων.

Έδαφος Θεμελίωσης

Το έδαφος θεμελίωσης κατατάσσεται στην Κατηγορία Α, με εκτιμώμενη, μέσω προϋπάρχουσας εμπειρίας από παρακείμενες κατασκευές, επιτρεπόμενη τάση θεμελίωσης περί τα 300kPa.

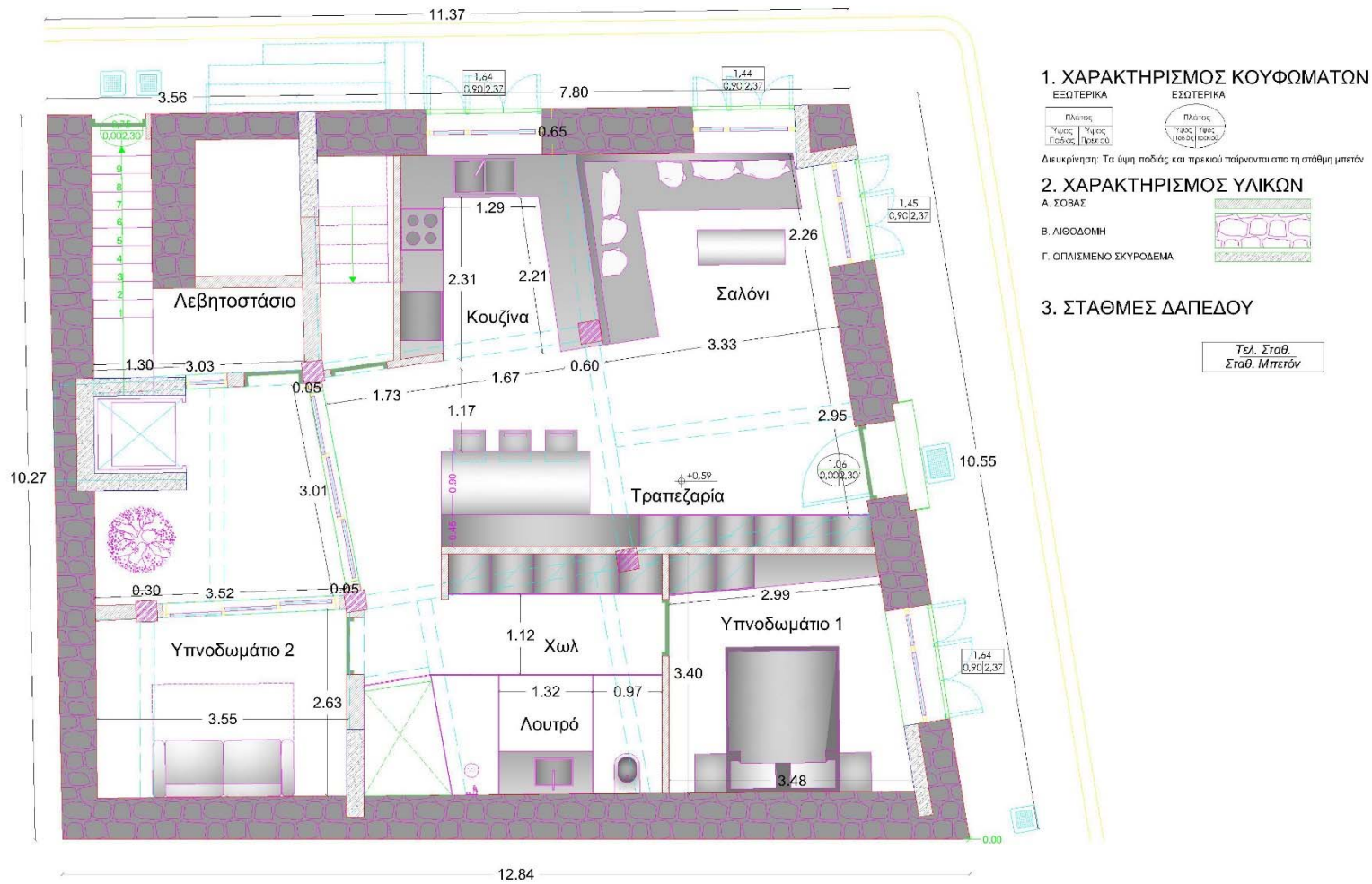
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ

2.1. Αρχιτεκτονικός ανασχεδιασμός

Η αρχιτεκτονική μελέτη εκπονήθηκε από τον αρχιτέκτονα μηχανικό Διονύση Στοβοβίκη [1] σύμφωνα με τις ανάγκες του ιδιοκτήτη. Τα μεγάλα ανοίγματα και η αξιοποίηση του δώματος αποτέλεσαν την κεντρική ιδέα που είχε σαν στόχο την μετατροπή μιας κατοικίας του μεσοπολέμου σε ένα σύγχρονο και λειτουργικό κτήριο. Μέσω των υαλοπετασμάτων το φως, ως στοιχείο της φύσης, θα εισέρχεται μέσα στην οικοδομή ακόμα και στα πιο απομακρυσμένα δωμάτια. Στο δώμα όπου λόγω της τοποθεσίας υπάρχει ανεμπόδιστη θέα προς τον ιερό βράχο της Ακρόπολης θα δημιουργηθεί ένας χώρος ηρεμίας και χαλάρωσης, με ένα μικρό καθιστικό και ένα τζακούζι, αφού δεν θα μπορούσε να λείπει από μια τέτοια κατασκευή το υγρό στοιχείο. Το κτήριο, σύμφωνα με τον ανασχεδιασμό, θα αποτελείται από ισόγειο και δυο υπέργειους ορόφους. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό θα δημιουργηθούν τρεις σύγχρονες αυτόνομες και ανεξάρτητες κατοικίες εκμεταλλευόμενες στο έπακρο την τοποθεσία και την εσωτερική διαρρύθμιση. Η πρόσβαση στο ισόγειο θα εξακολουθεί να γίνεται διά μέσου της κεντρικής εισόδου και η κατοικία θα περιλαμβάνει σαλόνι, κουζίνα - τραπεζαρία, χώλ, δύο υπνοδωμάτια και λουτρό. Τα ανοίγματα στις προσόψεις παραμένουν ίδια ενώ στο εσωτερικό της αυλής τα παράθυρα θα διανοιχθούν για περισσότερο φωτισμό στο εσωτερικό της κατοικίας. Λόγω της υψομετρικής διαφοράς των οδών, η είσοδος στο διαμέρισμα του Α' ορόφου ανεξαρτητοποιείται. Μια νέα σκάλα δημιουργεί πρόσβαση στο διαμέρισμα του Α' ορόφου. Η εν λόγω ιδιοκτησία θα αποτελείται από σαλόνι, κουζίνα - τραπεζαρία, χώλ, δύο υπνοδωμάτια και λουτρό ενώ δεν θα καταλαμβάνει όλο τον όροφο. Ο εξώστης επεκτείνεται και το παράθυρο τροποποιείται σε μπαλκονόπορτα. Από ανεξάρτητη είσοδο θα γίνεται η πρόσβαση στο υπόλοιπο μισό του Α' ορόφου, του Β' ορόφου και του δώματος τα οποία θα λειτουργούν ως ενιαία τριπλοκατοικία που περιλαμβάνει σαλόνι, κουζίνα - τραπεζαρία, χώλ, τρία υπνοδωμάτια το κάθε ένα με λουτρό και το δώμα. Τα εσωτερικά παράθυρα που είναι προσανατολισμένα προς την αυλή μεγαλώνουν, ενώ το έρκερ του Β' ορόφου αντικαθίσταται με ένα μεγάλο υαλοπέτασμα που θα αυξήσει τον φυσικό φωτισμό αλλά και τη θέα. Τέλος, η νέα σύνθεση του κτηρίου σκοπεύει σε έναν πιο εξωστρεφή χαρακτήρα με το περίβολο της κατοικίας και την πλήρη εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού.

Ακολουθεί ενδεικτικά το σχέδιο πρότασης Ισογείου για ανακατασκευή συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων ενίσχυσης του φέροντος οργανισμού, όπου η επάρκεια τους θα ελεγχθεί στο κεφάλαιο 3 :

- Κάτοψη ανακατασκευής Ισογείου [εικόνα 2-1]



Εικόνα 2-1: Κάτοψη Ισογείου (Πρόταση ανασχεδιασμού) [1]

Κεφάλαιο 2.2. Ενεργειακή αναβάθμιση

2.2.1. Γενικά στοιχεία κανονισμού ενεργειακής απόδοσης κτιρίων

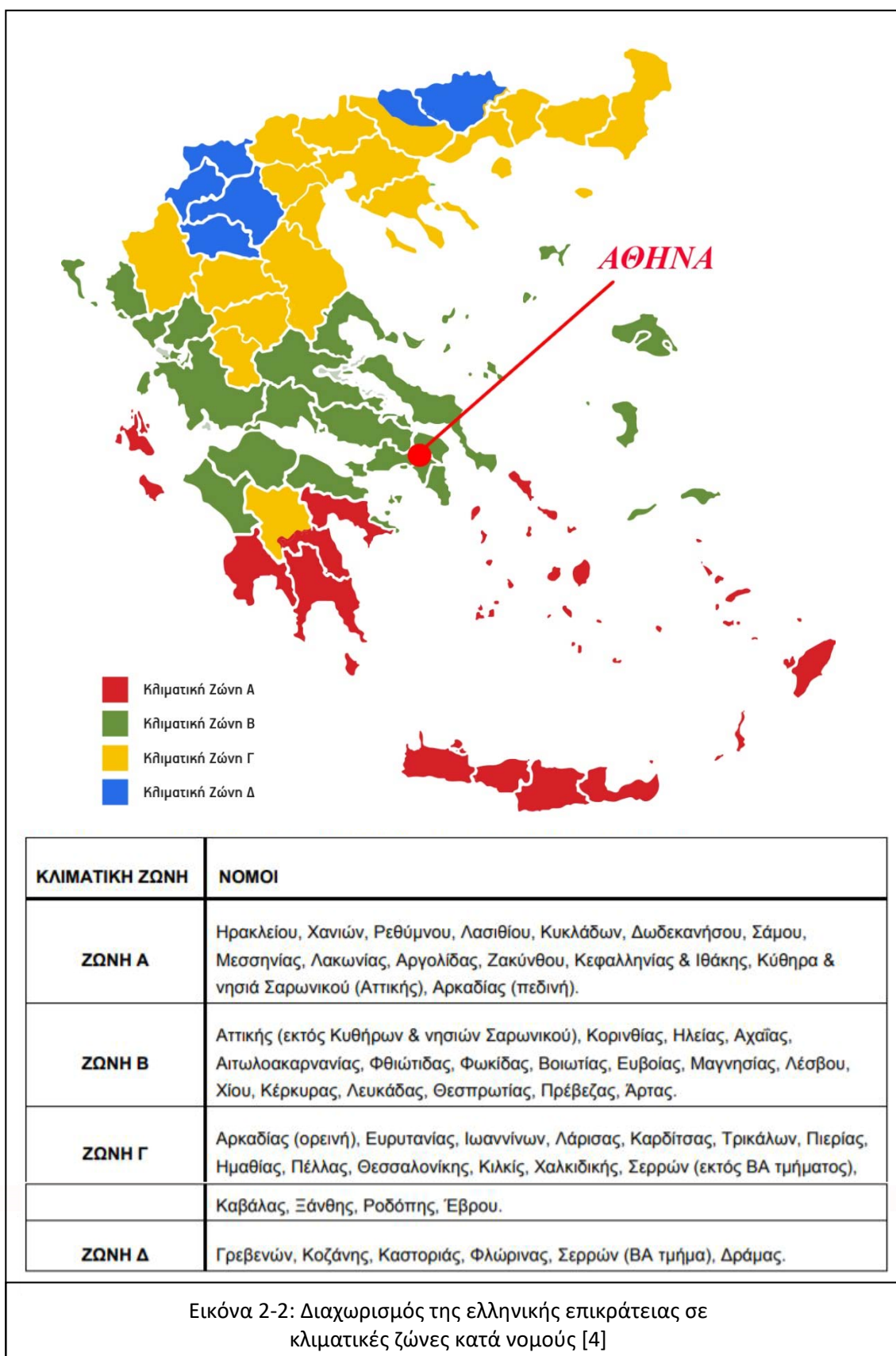
Την 1.10.2010 τέθηκε, για πρώτη φορά, σε εφαρμογή ο κανονισμός ενεργειακής απόδοσης κτιρίων για την έκδοση οικοδομικών αδειών. Ειδικότερα από την 1η του μήνα για κάθε οικοδομική άδεια που αφορούσε νέα οικοδομή ή υφιστάμενη κατασκευή που ανακαινιζόταν ριζικά ήταν απαραίτητη η προσκόμιση μελέτης ενεργειακής απόδοσης με το ακίνητο να κατατάσσεται σε ενεργειακή κατηγορία Β και άνω. Στις 9.1.2011 το ενεργειακό πιστοποιητικό έγινε απαραίτητη προϋπόθεση στις ενοικιάσεις και στις πωλήσεις ακινήτων. Την 27.11.2017 τέθηκε σε εφαρμογή ο νέος Κ.ΕΝ.Α.Κ. ο οποίος έφερε πιο αυστηρά κριτήρια αφού σκόπευε σε ενεργειακή κατηγορία Β⁺ για τα νέα όσο και τα ριζικά ανακαινισμένα κτίρια. Στόχος της πολιτείας είναι σε λίγα χρόνια οι νέες κατασκευές να κατατάσσονται στην κατηγορία Α' αφήνοντας πίσω τους μηδενικό ενεργειακό αποτύπωμα [Εικόνα 2-3].

2.2.2. Ορισμός ενεργειακής απόδοσης κτηρίου

Η ενεργειακή απόδοση κτηρίου εκφράζεται από την ποσότητα ενέργειας που εκτιμάται ότι καταναλώνεται για να ικανοποιήσει τις διάφορες καθημερινές ανάγκες που προκύπτουν από την χρήση του κτηρίου. Οι ανάγκες αυτές περιλαμβάνουν τη θέρμανση, την παραγωγή ζεστού νερού, την ψύξη, τον εξαερισμό και το φωτισμό. Η ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται για την ικανοποίηση των αναγκών εκφράζεται με έναν ή περισσότερους αριθμητικούς δείκτες οι οποίοι έχουν υπολογισθεί λαμβάνοντας υπόψη τη μόνωση, τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης, το σχεδιασμό και τη θέση σε σχέση με κλιματολογικούς παράγοντες, την έκθεση στον ήλιο και την επίδραση των γειτονικών κατασκευών.

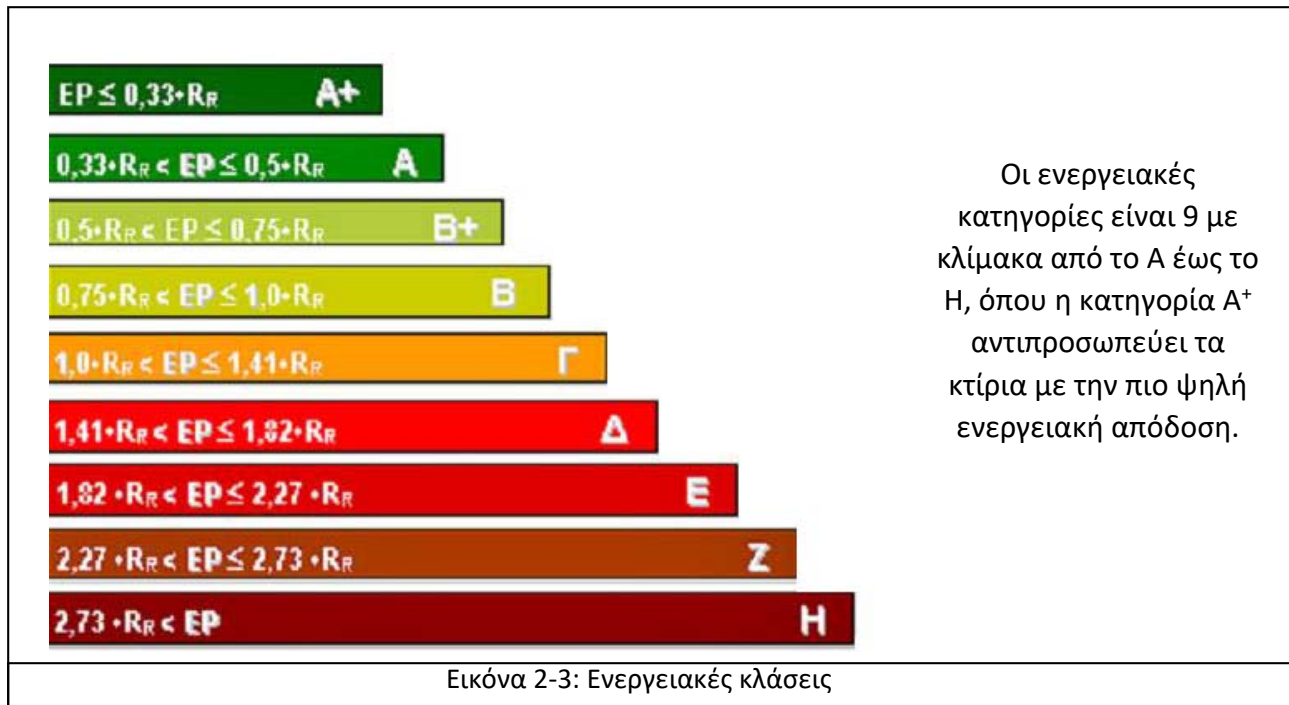
Οι ελάχιστες απαιτητές προδιαγραφές δεν είναι ίδιες για κάθε κτίσμα, διαφέρουν ανάλογα την τοποθεσία του ακινήτου. Η ελληνική επικράτεια έχει διαχωριστεί σε 4 κλιματικές ζώνες ανά νομούς με κοινά καιρικά στοιχεία [Εικόνα 2-2]. Σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με τα παραπάνω. Για την ζώνη Δ όλες οι περιοχές ανεξαρτήτως υψομέτρου περιλαμβάνονται στην ζώνη Δ.

Σύμφωνα με το χάρτη που ακολουθεί, η Αθήνα, όπου βρίσκεται το υπό μελέτη κτήριο μας, εντάσσεται στην κλιματική ζώνη Β' αφού το υψόμετρο δεν ξεπερνά τα 500μ.



Η κατανάλωση ενός κτίσματος εξαρτάται από τρεις παράγοντες

1. Την θερμομονωτική ικανότητα του κελύφους (αδιαφανή και διαφανή στοιχεία)
2. Τα συστήματα θέρμανσης – Ψύξης και Ζεστού νερού
3. Τον βιοκλιματικό σχεδιασμό, που αφορά το προσανατολισμό και την σωστή τοποθέτηση των ανοιγμάτων για την διευκόλυνση του φυσικού φωτισμού και αερισμού καθώς και τις σκιάσεις.



2.2.3. Ενεργειακός στόχος

Ο βασικός στόχος σε μια υφιστάμενη κατασκευή είναι να αναγνωριστούν και να εκμεταλλευτούν στο έπακρο τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία. Λόγω ότι πρόκειται για αρκετά παλαιό κτίσμα, δεν μπορούμε να παρέμβουμε στην γεωμετρία του και στην ορθή τοποθέτηση του εντός του οικοπέδου. Για τον λόγο αυτό θα μελετήσουμε μόνο την θερμομονωτική ικανότητα του κελύφους. Θα επικεντρωθούμε στην καλύτερη θερμομόνωση των δομικών του στοιχείων, τόσο στις κατακόρυφες όσο και στις οριζόντιες επιφάνειες καθώς και στην ορθή επιλογή κουφωμάτων. Στόχος της ενεργειακής μελέτης είναι να μειώσει το κόστος καθημερινής χρήσης, δεδομένου ότι τα απαιτούμενα κουφώματα και μονώσεις, μειώνουν τις απώλειες και εξοικονομούν ενέργεια και χρήματα κατανάλωσης για θέρμανση. Ο τελικός στόχος είναι το κτήριο μας, από κτιριολογικής πλευράς να κατατάσσεται στην κατηγορία Β⁺. Στην συνολική ενεργειακή μελέτη σημαντικό ρόλο έχουν και τα συστήματα θέρμανσης - ψύξης και ζεστού νερού τα οποία δεν θα αποτελέσουν αντικείμενο μελέτης στην παρούσα εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ & ΔΟΜΗΤΙΚΟΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

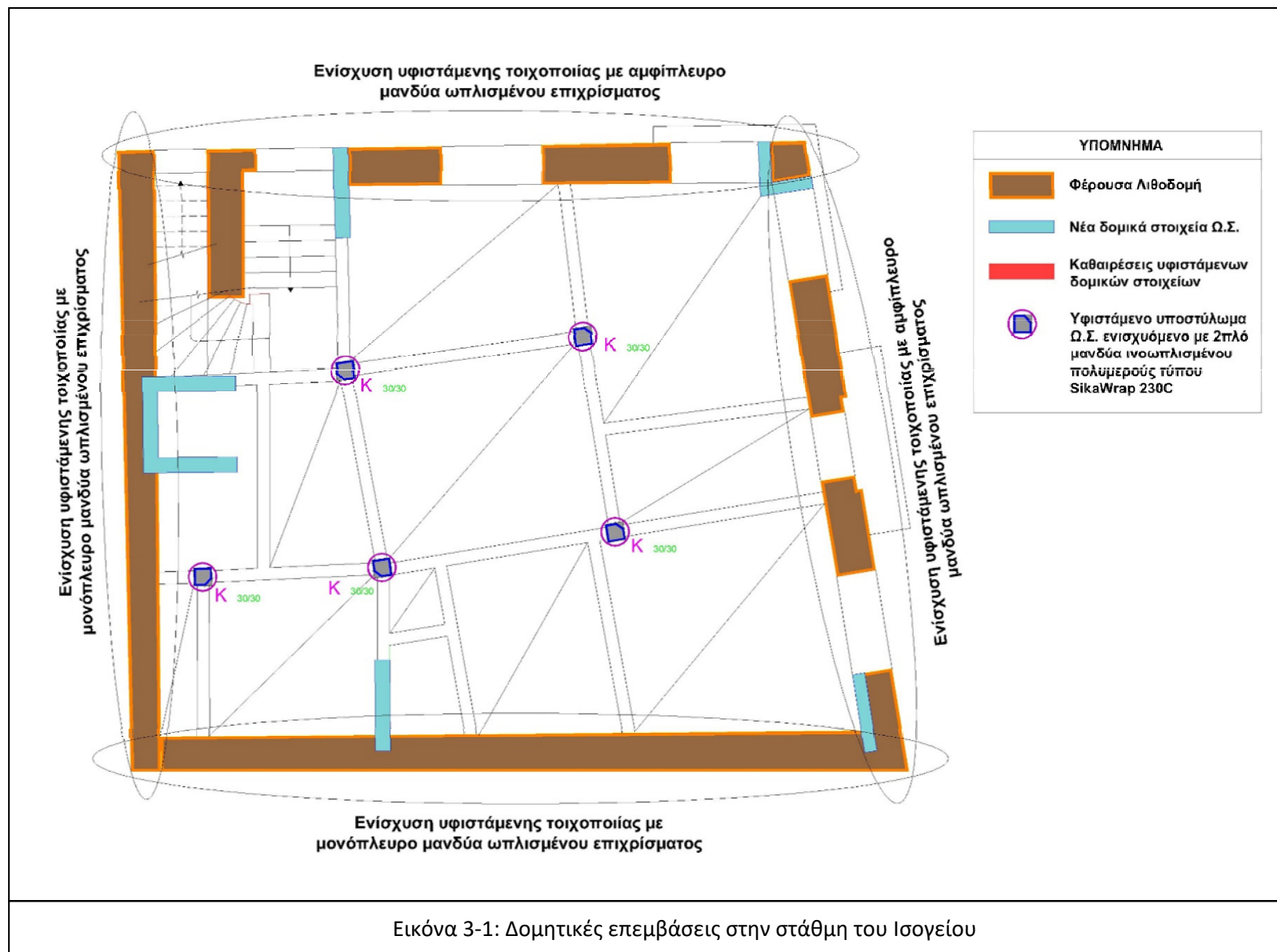
Οι επεμβάσεις και ο δομητικός ανασχεδιασμός του υφιστάμενου κτηρίου εκπονήθηκαν στο τεχνικό γραφείο του επιβλέποντος Χρίστου Παπαδόπουλου και τεκμηριώθηκαν υπολογιστικά με χρήση του λογισμικού 3MURI, το οποίο παραχώρησε ο ίδιος.

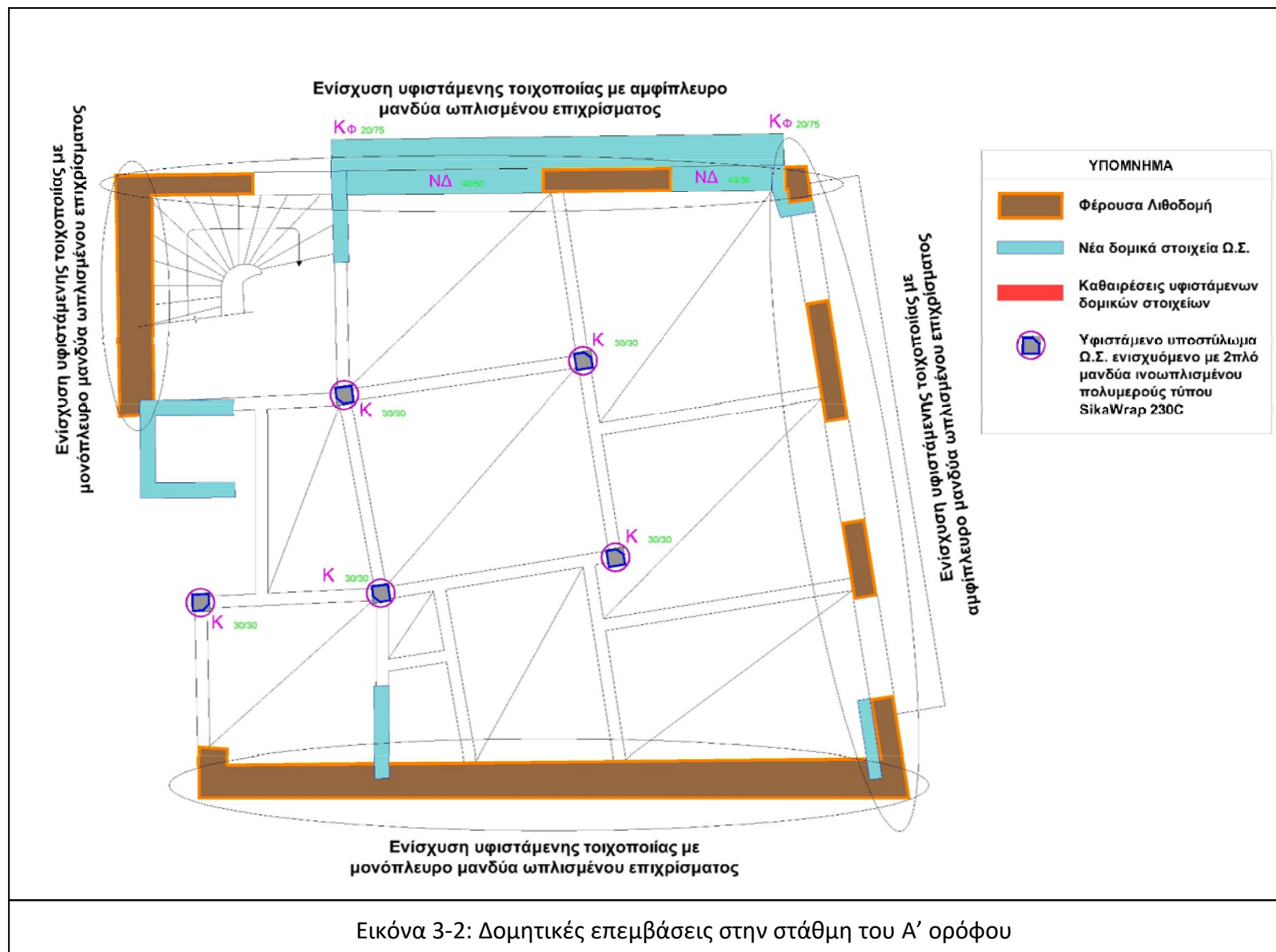
3.1 Το σχήμα επέμβασης

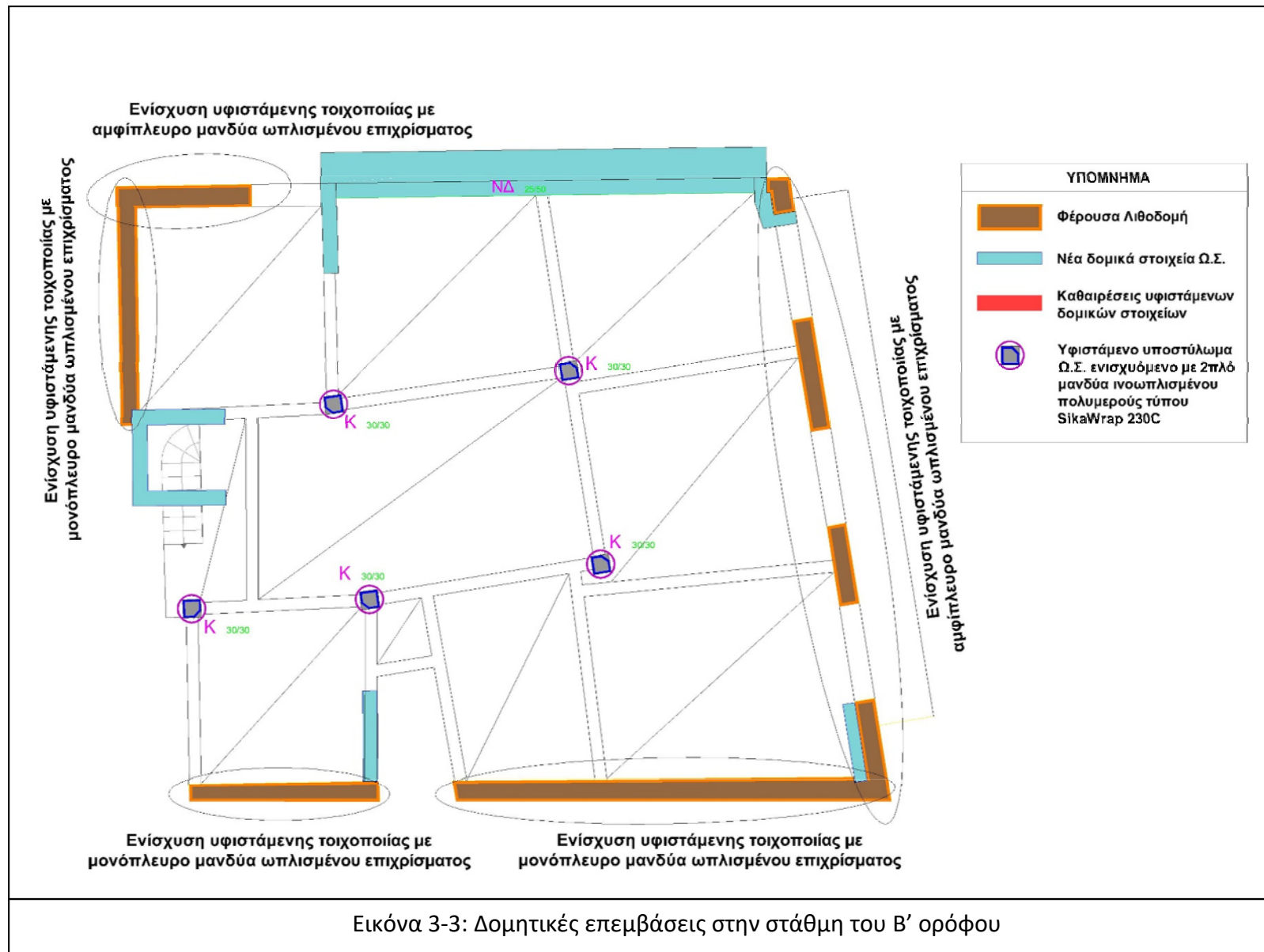
Οι προτεινόμενες δομητικές επεμβάσεις παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

1. Όλες οι φέρουσες τοιχοποιίες του δομήματος επενδύονται με μονόπλευρη ή αμφίπλευρη στρώση ωπλισμένου επιχρίσματος (ινόπλεγμα εντός ανόργανης μήτρας – Textile Reinforced Mortar), πάχους 2-4cm. Ειδική μέριμνα θα πρέπει να ληφθεί, τόσο στις κατακόρυφες ενώσεις-συρραφές των φερόντων τοίχων, όσο και στις περιοχές πέριξ των ανοιγμάτων (σύμφωνα με τις αντίστοιχες λεπτομέρειες της Στατικής Μελέτης).
Επισημαίνεται ότι πριν την εφαρμογή των νέων ωπλισμένων επιχρισμάτων θα προηγηθεί καθαίρεση των αντίστοιχων υφιστάμενων επιχρισμάτων και κατάλληλη προεργασία των επιφανειών με αποκατάσταση των τυχόν ρηγματωμένων περιοχών.
2. Τα υφιστάμενα εσωτερικά υποστυλώματα Ω.Σ. ενισχύονται, έναντι ορθής έντασης και διάτμησης, μέσω περισφιγξης με υφάσματα ινοπλισμένου πολυμερούς. Με υφάσματα ινοπλισμένου πολυμερούς επενδύονται και οι υφιστάμενες εσωτερικές έμμεσες στηρίξεις δοκών.
3. Για την περιοχή της στάθμης οροφής Β' ορόφου, όπου προτείνεται (από την Αρχιτεκτονική Μελέτη) η κατασκευή υγρού στοιχείου, προβλέπεται τοπική ενίσχυση της υποκείμενης υφιστάμενης πλάκας μέσω ελασμάτων ινοπλισμένου πολυμερούς.
4. Νέα κατακόρυφα αντισεισμικά τοιχώματα Ω.Σ. προβλέπονται σε επιλεγμένες θέσεις της περιμέτρου του δομήματος. Οι εκτεταμένες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις απαιτούν επίσης, την κατασκευή νέων οριζόντιων (πλάκες, δοκοί) δομικών στοιχείων Ω.Σ.
5. Όλα τα υφιστάμενα στοιχεία, που εμφανίζουν ορατά προβλήματα ανθεκτικότητας (κατακόρυφα διαζώματα, οριζόντια δομικά στοιχεία στις στάθμες των δωματίων, δομικά στοιχεία στη στάθμη υπογείου), θα πρέπει να αποκατασταθούν πλήρως (αφαίρεση προϊόντων οξείδωσης από τους οπλισμούς, εφαρμογή επισκευαστικών κονιαμάτων) και να θωρακιστούν περαιτέρω έναντι διάβρωσης, μέσω επιφανειακώς εμποτιζόμενων αναστολέων διάβρωσης.
6. Στη στάθμη δαπέδου ισογείου κατασκευάζεται κοιτόστρωση (μικρού πάχους), που καταλαμβάνει το σύνολο της κάτοψης, για τη θεμελίωση των νέων κατακόρυφων στοιχείων και τον εγκιβωτισμό των υφιστάμενων θεμελίων και τοιχωλωρίδων έδρασης.

Τα σχέδια επεμβάσεων δίνονται στις επόμενες σελίδες [**Εικόνα 3-1 έως 3-3**]







3.2 Ανασχεδιασμός με βάση το EN1998-3 [2]

Ο ανασχεδιασμός του υπό εξέταση δομήματος ακολουθεί τις σύγχρονες αρχές του επιτελεστικού σχεδιασμού. Σύμφωνα με τη φιλοσοφία του επιτελεστικού σχεδιασμού, η αποτίμηση και ο ανασχεδιασμός της διατηρητέας ιστορικής κατασκευής διενεργούνται με συγκεκριμένα κριτήρια συμπεριφοράς-απόκρισης για τις επιθυμητές στάθμες δράσεων.

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών με στάθμες επιτελεστικότητας (Performance-Based Design) βασίζεται στην αρχή του καθορισμού αποδεκτού επιπέδου ζημιών (στάθμης επιτελεστικότητας) ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης της σεισμικής δράσης σχεδιασμού, δηλαδή στον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου σεισμικής αντίστασης (ικανότητας). Με άλλα λόγια, η μέθοδος εξετάζει τον πραγματικό τρόπο που θα συμπεριφερθεί η κατασκευή σε διάφορα επίπεδα ισχύος της σεισμικής δόνησης σχεδιασμού και το αντίστοιχο αναμενόμενο επίπεδο ζημιών. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ένας βέλτιστος συνδυασμός ασφάλειας και οικονομίας.

Η μεθοδολογία των σταθμών επιτελεστικότητας εφαρμόζεται κυρίως για τον έλεγχο και την ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών και αποτελεί τον βασικό κορμό των διεθνών κανονισμών επεμβάσεων (π.χ. EN1998-3, Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων – ΚΑΝ.ΕΠΕ, FEMA 356, ATC-40 κ.λπ.) [2] [3].

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η γνώση του τρόπου συμπεριφοράς της κατασκευής και πέραν της ελαστικής περιοχής, δηλαδή μετά την εμφάνιση των πρώτων ζημιών και έως την οιονεί κατάρρευση. Για το λόγο αυτό, η μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως σε συνδυασμό με ανελαστικές αναλύσεις, είτε στατικές (ανάλυση pushover) είτε δυναμικές (αναλύσεις χρονοϊστορίας).

Οι στόχοι της σεισμικής ικανότητας μιας κατασκευής αποτελούν συνδυασμούς μιας στάθμης επιτελεστικότητας (δηλαδή του αποδεκτού επιπέδου βλαβών) και ενός επιπέδου της σεισμικής δράσης, που συνήθως καθορίζεται από την ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης στη διάρκεια ζωής της κατασκευής ή την ισοδύναμη περίοδο επανάληψης. Δηλαδή, κάθε στόχος σεισμικής ικανότητας καθορίζει μία ανεκτή οριακή κατάσταση βλαβών για συγκεκριμένη στάθμη της σεισμικής δράσης. Ο καθορισμός του στόχου για τον οποίο θα γίνει ο σχεδιασμός εξαρτάται από τον επιθυμητό συνδυασμό ασφαλείας και κόστους, λαμβάνοντας υπόψη και τη σπουδαιότητα της κατασκευής.

Οι στόχοι σεισμικής ικανότητας (επάρκειας), σύμφωνα με το πλέγμα των ανωτέρω ιταλικών διατάξεων, ορίζονται ως συνδυασμοί μιας στάθμης επιτελεστικότητας (δηλαδή του αποδεκτού επιπέδου βλαβών) και ενός επιπέδου σεισμικής δράσης (που χαρακτηρίζεται από την ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης στη διάρκεια ζωής της κατασκευής). Οι στόχοι σεισμικής ικανότητας (επάρκειας) δίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα [Πίνακας 3-1].

Πίνακας 3-1 Στόχοι σεισμικής ικανότητας (επάρκειας)		
Στάθμη Επιτελεστικότητας: B2		Επίπεδο Σεισμικής Δράσης: Σεισμός με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη
Οριακή Κατάσταση Αστοχίας	Στάθμη Σημαντικών Βλαβών (SD)	Σεισμική Δράση με μέση περίοδο επανάληψης 475 έτη. [Αντιστοιχεί σε εδαφική επιτάχυνση ίση προς την κανονιστική τιμή (Ζώνη Ζ1- α=0,16g)]. Ο συντελεστής εδάφους λαμβάνεται S=1,00 (Έδαφος Α).

Ο έλεγχος σεισμικής ικανότητας (επάρκειας) του δομήματος διενεργείται ως εξής:

Βήμα 1: Κατασκευή της καμπύλης αντίστασης του δομήματος (πολυβάθμιο σύστημα) και μετατροπή αυτής σε αντίστοιχη καμπύλη αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος. Αξιοποιούνται οι γνωστές σχέσεις μετατροπής του πολυβαθμίου σε μονοβάθμιο:

$$m^* = \sum m_i \Phi_i = \sum \bar{F}_i \text{ [μάζα ισοδύναμου μονοβάθμιου]}$$

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{\sum \bar{F}_i}{\sum \left(\frac{\bar{F}_i^2}{m_i} \right)} \text{ [γενικευμένος συντελεστής συμμετοχής-μετατροπής]}$$

$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma}, \quad d^* = \frac{d_n}{\Gamma} \text{ [μετατροπή μεγεθών δύναμης και μετατόπισης πολυβαθμίου σε αντίστοιχα μεγέθη μονοβαθμίου]}$$

όπου F_b & d_n τέμνουσα βάσης & μετακίνηση του κόμβου ελέγχου στο πολυβάθμιο σύστημα.

Βήμα 2: Κατασκευή του ιδεατού διγραμμικού διαγράμματος σεισμικής αντίστασης σε όρους σεισμικής τέμνουσας βάσης-μετακίνησης. Το διγραμμικό διάγραμμα ικανότητας κατασκευάζεται χωρίς κράτυνση, δηλαδή ο μετελαστικός κλάδος είναι οριζόντιος. Το διάγραμμα κατασκευάζεται με κλίση ελαστικού κλάδου ίση με την τέμνουσα δυσκαμψία που αντιστοιχεί στο 70% της δύναμης διαρροής εξασφαλίζοντας παράλληλα την ισότητα των εμβαδών που αποκόπτονται πάνω και κάτω από την καμπύλη αντίστασης. Επί του ιδεατού διγραμμικού διαγράμματος σεισμικής αντίστασης προσδιορίζεται η δύναμη διαρροής F_y^* του

ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ιδιοπερίοδος του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος από τη σχέση

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}}$$

Βήμα 3: Υπολογισμός της μετακίνησης του ισοδύναμου ελαστικού μονοβάθμιου συστήματος με ιδιοπερίοδο T^*

$$d_{et}^* = S_e(T^*) \left[\frac{T^*}{2\pi} \right]^2$$

όπου $S_e(T^*)$ είναι η τιμή της επιτάχυνσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης (για το επιθυμητό επίπεδο σεισμικής δράσης) για ιδιοπερίοδο T^* .

Η μετακίνηση του ισοδύναμου ανελαστικού μονοβάθμιου συστήματος προκύπτει ως εξής:

Περιοχή βραχέων περιόδων ($T^* < T_2 = T_c$)

Εάν $F_y^*/m^* \geq S_e(T^*)$, η απόκριση είναι ελαστική και επομένως $d_t^* = d_{et}^*$

Εάν $F_y^*/m^* < S_e(T^*)$, η απόκριση είναι μη-γραμμική και

$$d_t^* = \frac{d_{et}^*}{q^*} \left(1 + (q^* - 1) \frac{T_c}{T^*} \right) \geq d_{et}^*$$

όπου q^* είναι ο λόγος της επιτάχυνσης του ιδεατώδους ελαστικού ταλαντωτή [$S_e(T^*)$] προς αυτήν του ανελαστικού ταλαντωτή [F_y/m^*]

$$q^* = \frac{S_e(T^*) m^*}{F_y^*}$$

Αν η προκύπτουσα τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q^* υπερβαίνει την οριακή τιμή (για φέρουσες τοιχοποιίες) $q^*_{limit} = 3,00$ το δόμημα λογίζεται ως ανεπαρκές (πρακτικώς απαιτεί συντελεστή συμπεριφοράς μεγαλύτερο από τον εν γένει αποδεκτό).

Περιοχή μεσαίων και μακρών περιόδων ($T^* \geq T_2 = T_c$)

$$d_t^* = d_{et}^*$$

Βήμα 4: Σύγκριση της υπολογισθείσας μετακίνησης του μονοβάθμιου συστήματος με το μέγεθος της μετακίνησης που αντιστοιχεί (βάσει των σχετικών κριτηρίων αποδοχής) στην εκάστοτε εξεταζόμενη στάθμη επιτελεστικότητας και εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την σεισμική επάρκεια του φορέα.

3.3 Οι τοπικοί (εκτός επιπέδου) μηχανισμοί αστοχίας

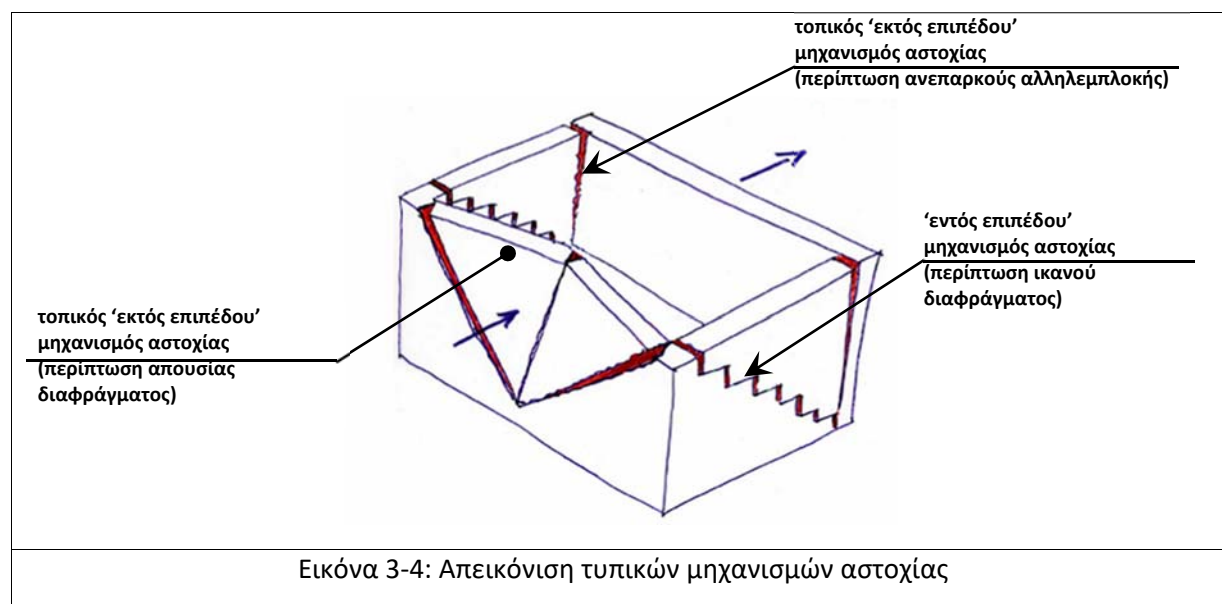
Οι μερικές καταρρεύσεις φερουσών τοιχοποιιών (ιστορικών αλλά και απλών κτιρίων) που έχουν παρατηρηθεί μετά από ισχυρά σεισμικά επεισόδια, συνδέονται κατά κύριο λόγο με τους 'εκτός επιπέδου' μηχανισμούς αστοχίας. Οι 'εκτός επιπέδου' μηχανισμοί καθίστανται απόλυτα κρίσιμοι στις περιπτώσεις:

- απουσίας ή ύπαρξης λίαν ευπαραμόρφωτου διαφράγματος
- απουσίας διαζωμάτων ή/και ανεπαρκούς αγκύρωσης της στέγης
- κακής ή ανεπαρκούς αλληλεμπλοκής/συρραφής των εγκάρσιων τοίχων

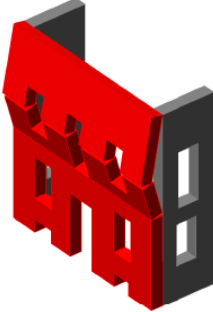
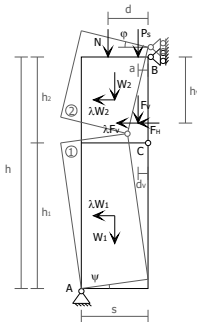
Η βέλτιστη απόκριση ενός δομήματος από φέρουσα τοιχοποιία εξασφαλίζεται μέσω της αποτροπής των 'εκτός επιπέδου' μηχανισμών αστοχίας και της ενεργοποίησης των 'εντός επιπέδου' (παράλληλα προς τη διεύθυνση της σεισμικής δράσης) μηχανισμών αντίστασης των φερόντων τοίχων. Η ως άνω απόκριση επιτυγχάνεται υπό τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- οιονεί κανονική διάταξη φερόντων τοίχων σε κάτοψη και καθ' ύψος
- ικανές διατομές τοίχων κατανεμημένες και στις δύο διευθύνσεις του κτηρίου
- ύπαρξη ατενών ή μερικής ατενών διαφραγμάτων στις στάθμες των ορόφων, επαρκώς αγκυρωμένων στους φέροντες τοίχους
- επαρκείς αλληλεμπλοκές-συρραφές μεταξύ των τοίχων.

Οι παραπάνω προϋποθέσεις εξασφαλίζουν την απόκριση ενός δομήματος από τοιχοποιία ως στιβαρό κιβώτιο (box type behaviour), ενεργοποιώντας τις υψηλές δυστημσίες των τοίχων στις αντίστοιχες διευθύνσεις της σεισμικής καταπόνησης. Στην [Εικόνα 3-4], απεικονίζεται η ενεργοποίηση των τυπικών μηχανισμών αστοχίας σε δόμημα από φέρουσα τοιχοποιία.



Υπό τη δεδομένη συνθήκη (για το εξεταζόμενο δόμημα) ατενών διαφραγμάτων και ικανών συρραφών στις ενώσεις φερόντων τοίχων, ως κρίσιμος 'εκτός επιπέδου' κινηματικός μηχανισμός, καθίσταται ο μηχανισμός κάμψης περί κατακόρυφο άξονα, με άρθρωση στη μεσοστάθμη του ορόφου [Εικόνα 3-5]. Ο εν λόγω τοπικός μηχανισμός αστοχίας είναι και ο μοναδικός που εξετάζεται και ελέγχεται υπολογιστικά (βλ. §3.6 σχετικά με το προσομοίωμα ανάλυσης και το λογισμικό υπολογιστικής τεκμηρίωσης).

Εικόνα πιθανού Μηχανισμού	Περιγραφή	Προϋποθέσεις ενεργοποίησης (κατ' ελάχιστον)	Κινηματική αλυσίδα στερεών τεμαχών
 <p style="text-align: center;">Μηχανισμός M7</p>	<p>Εκτός επιπέδου κατακόρυφη κάμψη (άρθρωση στη μεσοστάθμη του ορόφου)</p>	<p>Δυσπαραμόρφωτο διάφραγμα στην οροφή ισογείου</p> <p>Ύπαρξη διαζώματος και επιμελής αγκύρωση της στέγης</p> <p>Επαρκής αλληλεμπλοκή/συρραφή των εγκάρσιων τοίχων</p>	
<p>Εικόνα 3-5: Κρίσιμος τοπικός μηχανισμός αστοχίας τοιχοπετασμάτων για το εξεταζόμενο δόμημα</p>			

3.4 Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων

Σύμφωνα με το EN1998-3, αλλά και σύμφωνα με το πλέγμα των ιταλικών κανονισμών, (για τη δομητική αποτίμηση κτιρίων από τοιχοποιία έναντι σεισμικής δράσης), η στάθμη αξιοπιστίας των διαθέσιμων δεδομένων (γεωμετρική αποτύπωση, ταυτοποίηση δομητικών χαρακτηριστικών, μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών δόμησης) εκφράζεται μέσω του δείκτη αξιοπιστίας CF.

Ο δείκτης αξιοπιστίας CF λαμβάνει τιμές από 1,35 (περιορισμένη στάθμη αξιοπιστίας) έως 1,00 (υψηλή στάθμη αξιοπιστίας). Στη παρούσα μελέτη υιοθετείται τιμή CF=1,20, λόγω των διαγνωστικών ελέγχων που διενεργήθηκαν στο δόμημα.

Ο δείκτης αξιοπιστίας δεδομένων εισάγεται ως μειωτικός συντελεστής στον υπολογισμό των μεγεθών αντοχής των φερούσων τοιχοποιιών του φορέα. Ως εκ τούτου τα μεγέθη αντοχής των φερόντων στοιχείων (π.χ. φέρουσες τοιχοποιίες) απομειώνονται ως εξής:

$$f_d = f_m / CF \text{ όπου:}$$

f_d : μέγεθος αντοχής που χρησιμοποιείται στα προσομοιώματα αντίστασης

f_m : μέσο μέγεθος αντοχής (από διερευνητικές εργασίες ή βιβλιογραφικά δεδομένα) CF: δείκτης αξιοπιστίας δεδομένων (=1,20)

3.5 Η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του κελύφους μέσω του 'σχήματος επέμβασης' και η διαστασιολόγηση των επιμέρους επεμβάσεων

(i) Η συνεισφορά του αμφίπλευρου ωπλισμένου επιχρίσματος στη φέρουσα ικανότητα των τοιχοποιιών

Οι φέρουσες τοιχοποιίες του δομήματος ενισχύονται με αμφίπλευρο ή μονόπλευρο (μεσότοιχοι) μανδύα ωπλισμένου επιχρίσματος (εφαρμογή συνθετικών ινοπλεγμάτων εντός ανόργανης μήτρας). Τα ινοπλέγματα (τύπου KIMITECH WALLMESH-MR, 335gr/m²) φέρουν άνοιγμα βροχίδας 38x38mm, και χαρακτηρίζονται από οριακή παραμόρφωσης των ινών $\geq 4.0\%$, μέτρο ελαστικότητας 23GPa και μέγιστη αντοχή πλέγματος $\geq 84\text{N/mm}$ (οριζόντια διεύθυνση/διαμήκης) και $\geq 76\text{N/mm}$ (κατακόρυφη διεύθυνση/εγκάρσια). Η ενισχυμένη τοιχοποιία δύναται συντηρητικώς (μετά την εφαρμογή του ινοπλέγματος) να παραλάβει εφελκυστική ένταση $1 \times 76 / 400 \approx 0,20\text{MPa}$, στην δυσμενέστερη περίπτωση μονόπλευρου μανδύα επί φέρουσας τοιχοποιίας μεσοσταθμικού πάχους 40cm. Η τιμή αυτή δύναται να λογιστεί, είτε ως η βελτιωμένη αντοχή της τοιχοποιίας έναντι λοξού εφελκυσμού (θεωρώντας ως κρίσιμο μηχανισμό αστοχίας τον μηχανισμό διαγώνιας ρηγμάτωσης), είτε ως η βελτιωμένη συνοχή (f_{vm0}) της τοιχοποιίας (θεωρώντας ως κρίσιμο μηχανισμό αστοχίας τον μηχανισμό ολίσθησης Mohr-Coulomb).

Με βάση τα ανωτέρω, υιοθετούνται οι παρακάτω τιμές για τα βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά των τοιχοποιιών ως προς την θλιπτική αντοχή της φέρουσας τοιχοποιίας υιοθετείται σχετικώς συντηρητική τιμή, σύμφωνα με τους πίνακες E1 και E2 του Παραρτήματος E του νέου πρόσφατου Προσχεδίου του Ευρωκώδικα 8 Μέρος 3 (CEN/TC 250/SC8, N667)] [3]:

Θλιπτική αντοχή	$f_{wc} = 2,00\text{ MPa}$
Διαγώνια εφελκυστική αντοχή*	$f_{wt} = 0,20\text{ MPa}$
Μέτρο Ελαστικότητας	$E_w = 1,60\text{ GPa}$
Μέτρο Διάτμησης	$G_w = 0,4 \cdot E_w = 0,64\text{ GPa}$
Ειδικό βάρος	$\gamma_w = 20,00\text{ kN/m}^3$

*Η διαγώνια εφελκυστική αντοχή λαμβάνεται πρακτικώς ισοδύναμη με την διατμητική αντοχή υπό μηδενικό αξονικό φορτίο ($f_{wt} = c/2 \mu \approx c = f_{vm0}$, για $\mu \approx 0,5$).

(ii) Η περίδεση των υφιστάμενων υποστυλωμάτων με 2πλό μανδύα ινοπλισμένου πολυμερούς τύπου SikaWrap 230C

Στόχος της επέμβασης είναι η αύξηση της διαθέσιμης τοπικής πλαστιμότητάς τους και η αποτροπή ψαθυρών μορφών αστοχίας. Τα υφιστάμενα υποστυλώματα έχουν διαστάσεις 30x30cm και φέρουν διαμήκη οπλισμό 4Φ14 (St-I), με συνδετήρες Φ6/25. Τα βελτιωμένα μεγέθη αντοχής και παραμορφωσιμότητας του τυπικού υποστυλώματος 30x30cm υπολογίζονται παρακάτω [Εικόνα 3-6].

CONCRETE CONFINEMENT via FRP					
Geometric ratio of FRP			Efficiency coefficients		
$\rho_s = \frac{2t_s \cdot (B+H)}{B \cdot H}$			$a_n = 1 - \frac{(B-2r_c)^2 + (H-2r_c)^2}{3 \cdot A_g}$		
t_f	0,26	(mm)	total thickness of all layers	r_c	10 (mm)
B	300	(mm)		A_g	90000 (mm ²)
H	300	(mm)		$a_s =$	1,00 (-) vertical
$\rho_f =$	0,00347	(-)		$a_n =$	0,42 (-) horizontal
				$a =$	0,42 (-) [=a _s ·a _n]
Mech. volum. ratio of FRP					
$\omega_w = \rho_s \frac{f_f}{f_c}$					
E_f	230000	MPa			
ε_{fd}	7,5	‰			
f_f	1725	(MPa)			[=E _f ·ε _{fd} =E _f ·0,5·ε _{f,max} =E _f ·0,5·1,5%]
f_c	10	(MPa)			mean
$\omega_w =$	0,598	(-)			
Compression strength			Ultimate deformation		
$f_{c,c} = f_c \cdot [1,125 + 1,25 \cdot a\omega_w]$			$\varepsilon_{cu,c} = 0,0035 \frac{f_{c,c}}{f_c}$ carbon		
$f_{c,c} =$	14,4	(MPa)	$\varepsilon_{cu,c} =$	0,005	(-)
			$\varepsilon_{cu,c} = 0,0070 \frac{f_{c,c}}{f_c}$ glass		
			$\varepsilon_{cu,c} =$	0,0101	(-)
Available curv. ductility					
$\mu_{1/r} = \frac{\varepsilon_{cu,c}}{2,2\varepsilon_{sy} \cdot \nu}$					
$\varepsilon_{cu,c} =$	0,0048	(-)			
f_y	220	(MPa)			[rebar steel]
E_s	200000	(MPa)			
ν	0,20	(-)			
$\mu_{1/r} =$	9,98	(-)			
Available dipl. ductility			Local ductility factor		
$\mu_\delta = \frac{\mu_{1/r} + 2}{3}$			$m = \frac{0,5(1 + \mu_\delta)}{\gamma_{Rd} = 1,50}$		
$\mu_\delta =$	3,99	(-)	$m =$	1,66	(-)

Εικόνα 3-6: Βελτιωμένα μεγέθη αντοχής του τυπικού υποστυλώματος

3.6 Το προσομοίωμα ανάλυσης

Η προσομοίωση του δομήματος ακολουθεί τη μέθοδο του 'ισοδύναμου πλαισίου' για την ανελαστική στατική ανάλυση κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία, όπως αυτή προτάθηκε και αναπτύχθηκε στα Πανεπιστήμια της Pavia και της Genova [(Sergio Lagomarsino, Andrea Penna, Alessandro Galasco, Serena Cattari, 'TREMURI program: An equivalent frame model for the nonlinear seismic analysis of masonry buildings', University of Genoa, Italy, University of Pavia, Italy)] [5,7].

Η ύπαρξη ατενών διαφραγμάτων (υφιστάμενες συμπαγείς ή δοκιδωτές πλάκες), μας επιτρέπει να υποθέσουμε ότι οι 'εντός επιπέδου' μηχανισμοί αστοχίας καθορίζουν τη σεισμική απόκριση του δομήματος.

Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν με το λογισμικό 3MURI, που αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο της Pavia και το Ίδρυμα EUCENTRE (European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering, eng. Alessandro Galasco, eng. Andrea Penna), το Πανεπιστήμιο της Genova (Professor Sergio Lagomarsino, eng. Serena Cattari), σε συνεργασία με την εταιρεία λογισμικού S.T.A. DATA (Torino, Italy).

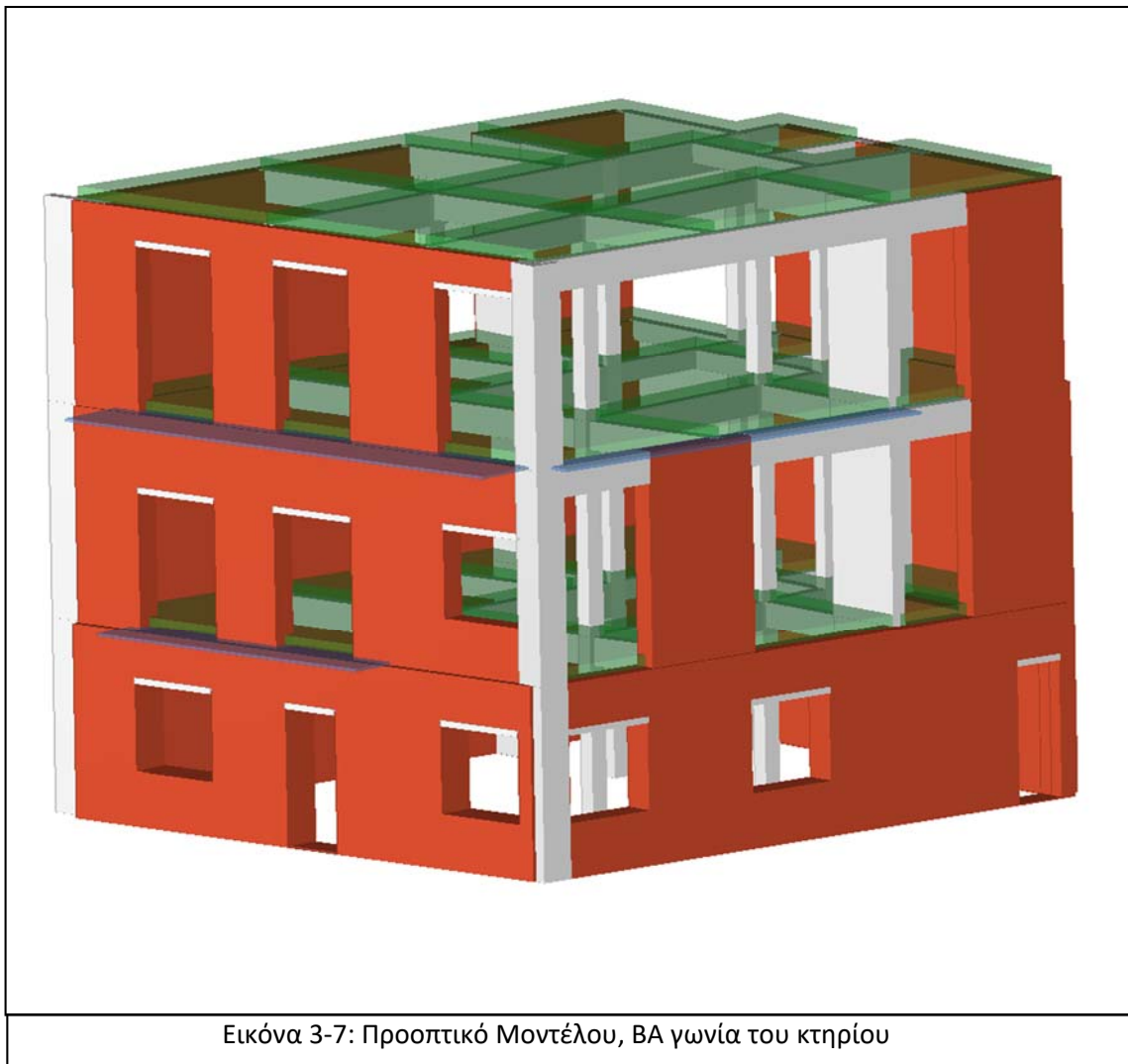
Το μεταγενέστερο ελαφρύ πρόσκτισμα στο δώμα εδράζεται αρθρωτά στον υποκείμενο φορέα σκυροδέματος, ως εκ τούτου δεν μεταβιβάζονται σ' αυτόν εντατικά μεγέθη ροπών. Τα φορτία της προσθήκης λογίζονται ως πρόσθετα βάρη (και αδρανειακές μάζες) στη στάθμη οροφής Β' ορόφου.

Σύνοψη Παραδοχών Προσομοίωσης

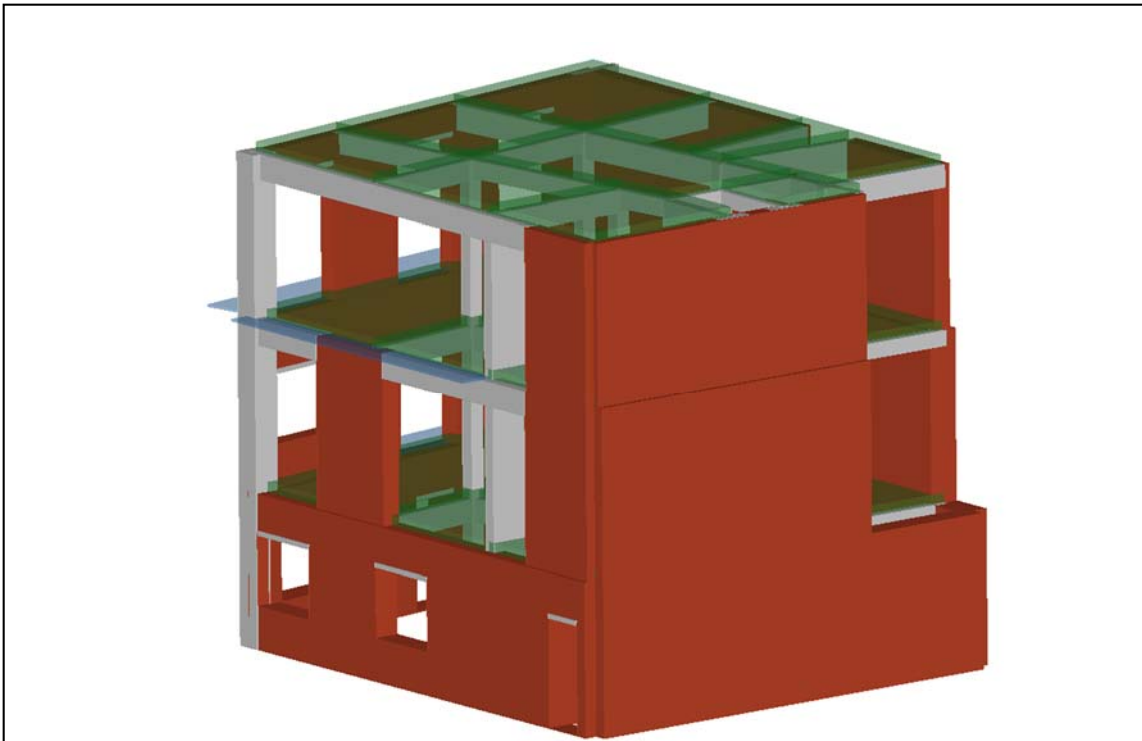
- Το δόμημα προσομοιώνεται με πλαισιακό φορέα στο χώρο, που αποτελείται από περιμετρικά κατακόρυφα στοιχεία φέρουσας τοιχοποιίας (πεσσοί), κατακόρυφα στοιχεία Ω.Σ. (υφιστάμενα υποστυλώματα και νέα τοιχώματα) και οριζόντια (υφιστάμενες και νέες δοκοί Ω.Σ.) ραβδωτά μέλη.
- Τα κατακόρυφα πλαισιακά μέλη των τοιχοποιιών λογίζονται ως αμφιαρθρωτά στην 'εκτός επιπέδου' (ασθενή) διεύθυνσή τους.
- Κοινές περιοχές κατακόρυφων πεσσών και οριζόντιων υπερθύρων προσομοιώνονται με στερεούς κόμβους (rigid ends).
- Τα υφιστάμενα κατακόρυφα και οριζόντια μέλη Ω.Σ. του πλαισιακού φορέα προσομοιώνονται ως γραμμικά μέλη συγκεντρωμένης πλαστικότητας στα άκρα τους. Για τα υφιστάμενα δομικά μέλη λαμβάνεται σκυρόδεμα χαμηλής αντοχής, με διατάξεις διαμήκων και εγκάρσιων οπλισμών, σύμφωνα με τα ευρήματα των διαγνωστικών ελέγχων (ως έχουν αναγραφεί στα σχέδια αποτύπωσης).

- Τα νέα κατακόρυφα και οριζόντια μέλη Ω.Σ. του πλαισιακού φορέα προσομοιώνονται επίσης ως γραμμικά μέλη συγκεντρωμένης πλαστικότητας στα άκρα τους. Για τα υφιστάμενα δομικά μέλη λαμβάνεται υψηλή κατηγορία σκυροδέματος (C25/30), με τις τελικώς υιοθετηθείσες διατάξεις διαμήκων και εγκάρσιων οπλισμών (σύμφωνα με τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες και τα σχέδια επεμβάσεων).
- Οι κόμβοι βάσης του πλαισίου λαμβάνονται πλήρως δεσμευμένοι, τόσο μεταφορικά, όσο και στροφικά.

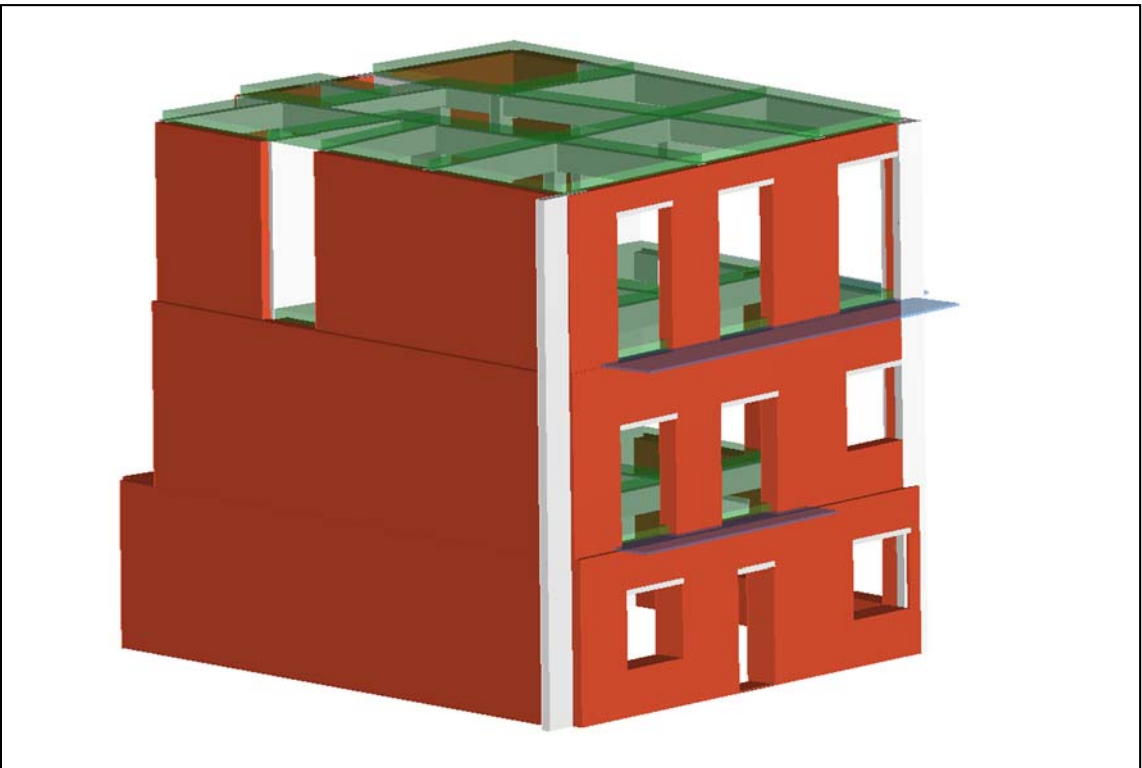
Στις σελίδες που ακολουθούν δίνονται χαρακτηριστικές αξονομετρικές εικόνες του προσομοιώματος από την ανάλυση του κτηρίου [Εικόνα 3-7 έως Εικόνα 3-9].



Εικόνα 3-7: Προοπτικό Μοντέλο, ΒΑ γωνία του κτηρίου



Εικόνα 3-8: Προοπτικό Μοντέλο, ΒΔ γωνία του κτηρίου

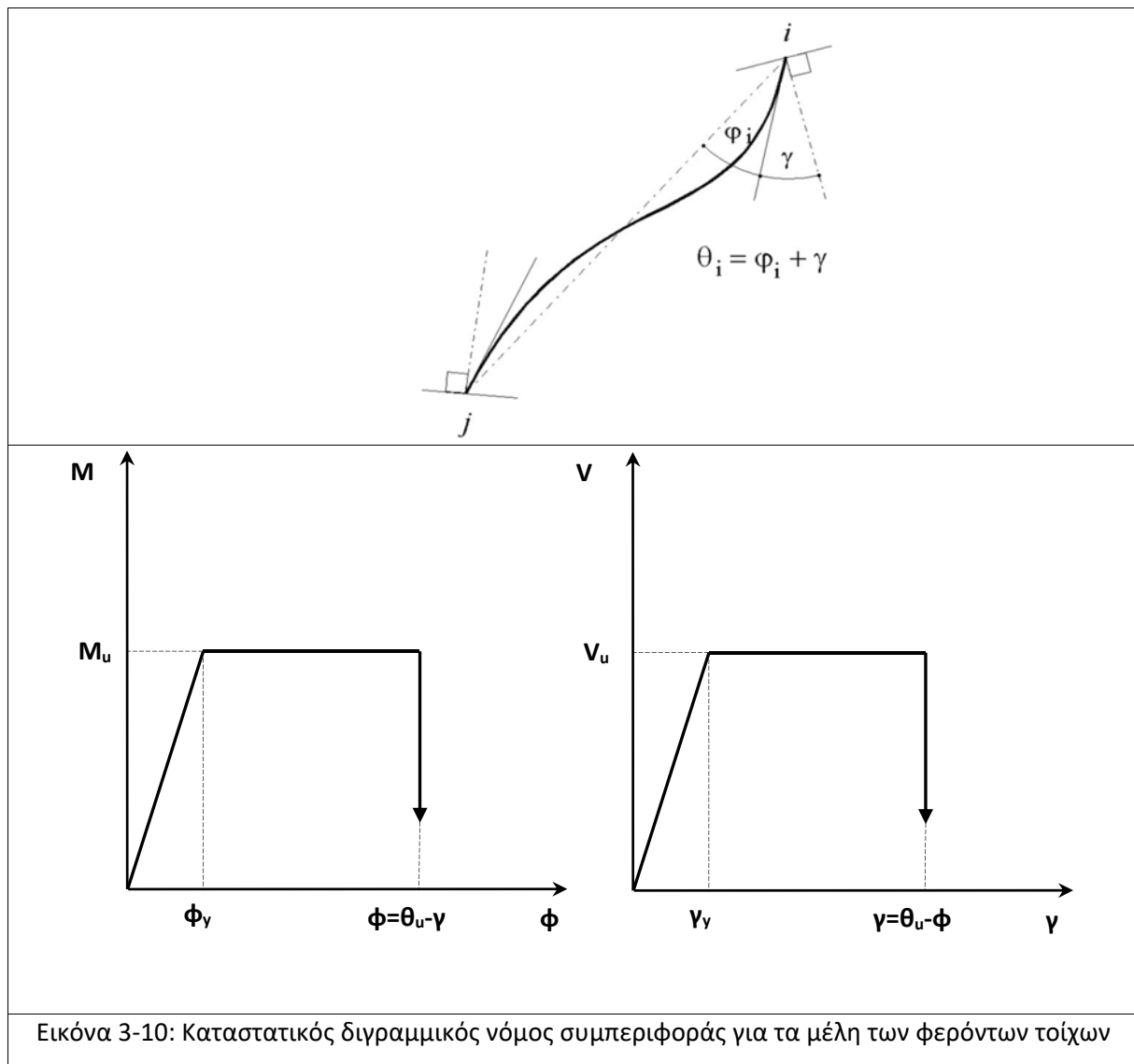


Εικόνα 3-9: Προοπτικό μοντέλο, ΝΑ γωνία του κτηρίου

3.7 Καταστατικός νόμος απόκρισης φερόντων τοίχων

Τα ραβδωτά μέλη των φερόντων τοίχων ακολουθούν έναν τυπικό διγραμμικό (ελαστικό-ιδεατώς πλαστικό) καταστατικό νόμο συμπεριφοράς έναντι κάμψης και διάτμησης [Εικόνα 3-10]. Η ιδεατώς πλαστική απόκριση ενεργοποιείται, όταν το μέγεθος της δρώσας ροπής ή/και της δρώσας τέμνουσας (σε κάποιο από τα δύο άκρα του ραβδωτού μέλους) υπερβεί το αντίστοιχο μέγεθος αντοχής. Τα παραμορφωσιακά μεγέθη υπολογίζονται σε όρους στροφής χορδής 'θ' (chord rotation), που επιμερίζεται σε καμπτικό 'φ' και διατμητικό 'γ' μέρος. Τα οριακά μεγέθη (αστοχία) στροφής χορδής 'θ_u' λαμβάνονται ως ακολούθως:

- Φέρουσα τοιχοποιία μετά την ενίσχυσή της (ωπλισμένα επιχρίσματα):
 $\theta_u=8\%$ (καμπτική αστοχία), $\theta_u=4\%$ (διατμητική αστοχία)

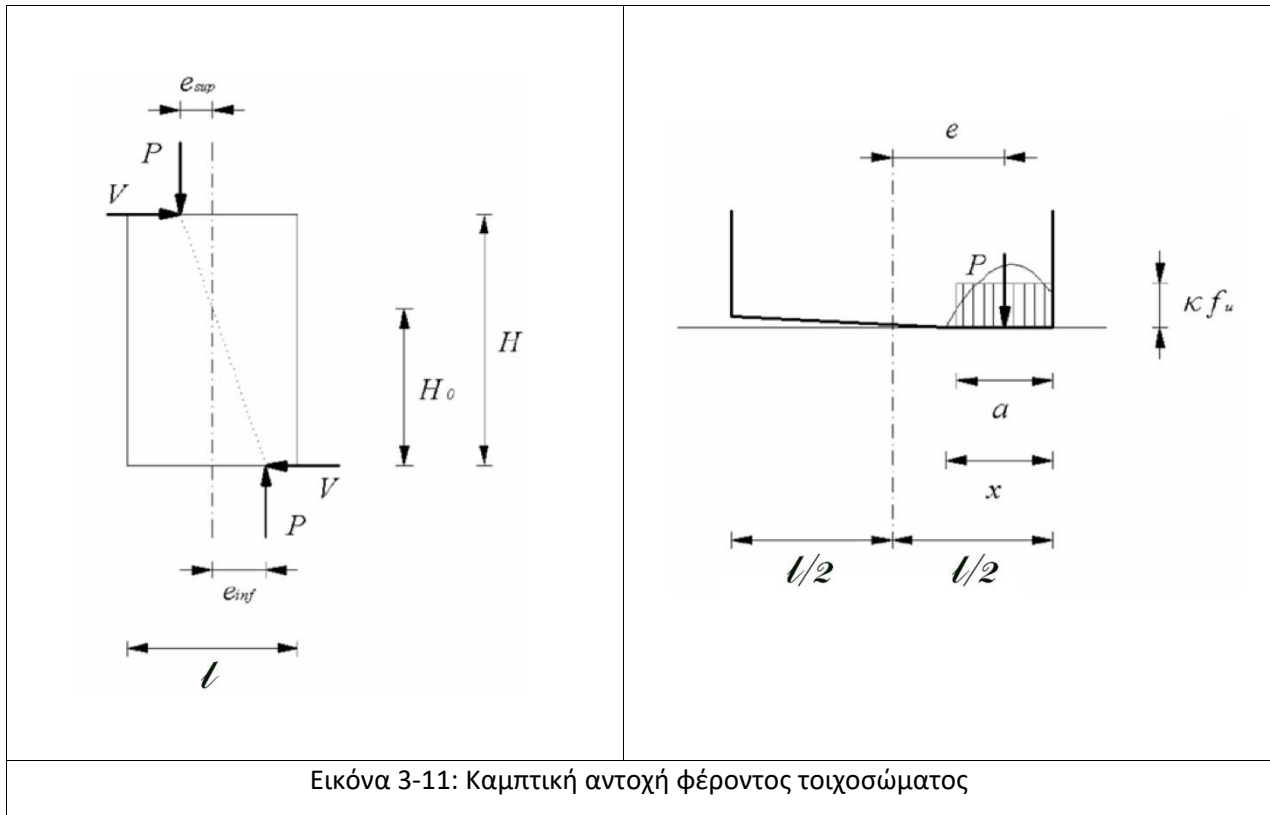


Το μέγεθος της καμπτικής ροπής αντοχής ενός φέροντος πεσσού [Εικόνα 3-11] προσδιορίζεται (κατά τα γνωστά) ως:

$$M_u = \left(\frac{l^2 \cdot t \cdot \sigma_0}{2} \right) \cdot \left(1 - \frac{\sigma_0}{\kappa \cdot f_d} \right)$$

όπου:

- ℓ: το μήκος του στοιχείου
- t: το πάχος του στοιχείου
- σ₀: η μέση ορθή τάση
- κ: μειωτικός συντελεστής (0,85)
- f_d= f_m/F_c (μέση θλιπτική αντοχή/δείκτης αξιοπιστίας)



Το μέγεθος της διατμητικής αντοχής ενός φέροντος πεσσού [Εικόνα 3-12] προσδιορίζεται (κατά τα γνωστά), είτε εκ του μηχανισμού οριζόντιας ολίσθησης, είτε εκ του μηχανισμού διαγώνιας ρηγμάτωσης:

Μηχανισμός οριζόντιας ολίσθησης

$$V_t = l' \cdot t \cdot f_{vd}$$

όπου:

l' : το θλιβόμενο τμήμα του μήκους του στοιχείου

t : το πάχος του στοιχείου

$$f_{vd} = f_{vm}/F_C = (f_{vm0} + \mu \cdot \sigma_n)/F_C$$

(όπου f_{vm0} , μ : κατά τα γνωστά σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 6, σ_n : μέση αξονική τάση στο θλιβόμενο τμήμα του στοιχείου και F_C : ο δείκτης αξιοπιστίας)

Μηχανισμός διαγώνιας ρηγμάτωσης

$$V_t = \frac{f_{td} \cdot l \cdot t}{\beta} \sqrt{1 + \frac{\sigma_o}{f_{td}}}$$

όπου:

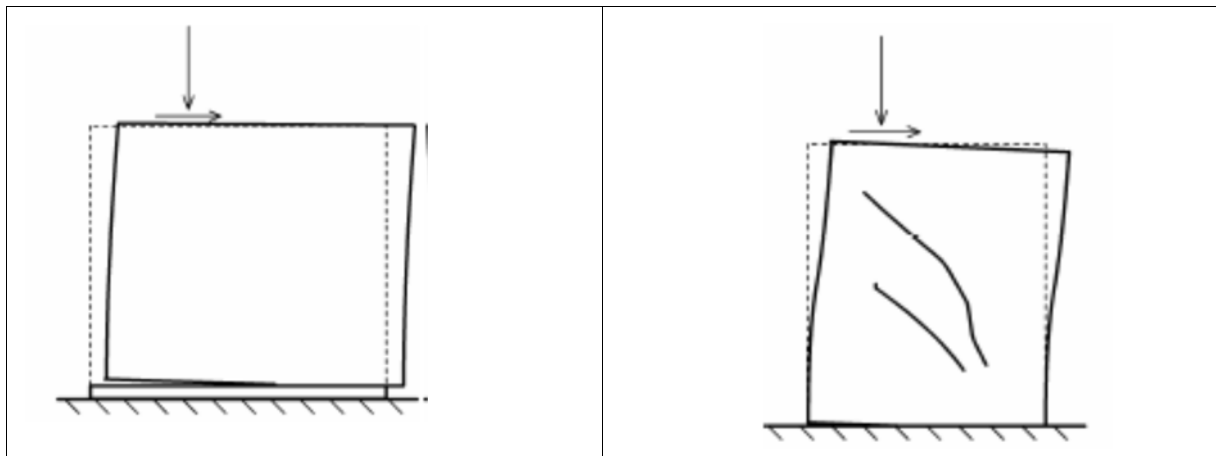
l : το μήκος του στοιχείου

t : το πάχος του στοιχείου

$f_{td} = f_{tm}/F_C$ (μέση διατμητική αντοχή/δείκτης αξιοπιστίας)

σ_o : η μέση ορθή τάση

β : συντελεστής εξαρτώμενος από το λόγο ύψους προς μήκος του στοιχείου



Εικόνα 3-12: Διατμητική αντοχή φέροντος τοιχοσώματος

Μηχανισμός οριζόντιας ολίσθησης - Μηχανισμός διαγώνιας ρηγμάτωσης

3.8 Κατακόρυφες & οριζόντιες δράσεις ανελαστικής στατικής ανάλυσης

Κατακόρυφα φορτία

- Νεκρά φορτία (G)

Το μεικτό ειδικό βάρος των τοιχοποιιών λαμβάνεται:

$$\gamma_{\tau} = 20,00 \text{ kN/m}^3$$

Το ειδικό βάρος του ωπλισμένου σκυροδέματος λαμβάνεται:

$$\gamma_{\sigma} = 25,00 \text{ kN/m}^3$$

Το νεκρό φορτίο των πλακών λαμβάνεται ίσο με

$$g = 0,13 \cdot 25 = 3,25 \text{ kN/m}^2 \text{ δοκιδωτές πλάκες πάχους 13cm}$$

$$g = 0,16 \cdot 25 = 4,00 \text{ kN/m}^2 \text{ πλάκες πάχους 16cm}$$

Το πρόσθετο φορτίο επικαλύψεων λαμβάνεται ίσο με:

$$g' = 1,50 \text{ kN/m}^2 \text{ [γενικώς]}$$

$$g' = 2,00 \text{ kN/m}^2 \text{ [επικάλυψη δώματος]}$$

Τα νεκρά φορτία της προσθήκης λογίζονται ως πρόσθετα βάρη (και αδρανειακές μάζες) στη στάθμη οροφής Β' ορόφου, με ανηγμένη τιμή φορτίου στη μονάδα της επιφάνειας $g' = 3,00 \text{ kN/m}^2$.

Για τη περιοχή του υγρού στοιχείου στη στάθμη οροφής Β' ορόφου λαμβάνεται ειδικώς νεκρό φορτίο $g' = 5,00 \text{ kN/m}^2$.

- Κινητά φορτία (Q)

$$\text{Ωφέλιμο (γενικώς): } q = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ωφέλιμο κλιμακοστασίων και εξωστών: } q = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ωφέλιμο δωμάτων (μη βατά): } q = 1,00 \text{ kN/m}^2$$

Οριζόντια φορτία

Το κτήριο επιλύεται έναντι του σεισμικού συνδυασμού δράσεων, που περιλαμβάνει συμμετοχή των κατακόρυφων φορτίων ίση προς $G + \psi_2 Q$, όπου $\psi_2 = 0,30$ (συντελεστής σεισμικού συνδυασμού) για μακροχρόνιες μεταβλητές δράσεις). Διενεργείται ανελαστική στατική ανάλυση υπό σταδιακώς αυξανόμενο οριζόντιο φορτίο ('push-over analysis').

Το προσομοίωμα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία, κατανομημένα κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, τα οποία αυξάνονται μονότονα. Από την ανάλυση προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτηρίου, η οποία χαράσσεται σε όρους τέμνουσας βάσης – μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου του κτηρίου (κόμβος ελέγχου στην κορυφή του δομήματος). Η καμπύλη αντίστασης αποτελεί τη βάση για τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας.

Τα οριζόντια φορτία εφαρμόζονται σε δύο (κάθετες μεταξύ τους) διευθύνσεις δράσης, με εναλλασσόμενη φορά («θετική» - «αρνητική») και με εναλλασσόμενο πρόσημο (θέση) τυχηματικής εκκεντρότητας (λαμβάνεται ίση με το 5% του μήκους του δομήματος καθέτως προς την εξεταζόμενη διεύθυνση σεισμικής δράσης). Τα οριζόντια φορτία εφαρμόζονται στη στάθμη κάθε διαφράγματος (πλάκα ορόφου), για δύο καθ' ύψος κατανομές οριζόντιου φορτίου:

- “Ομοιόμορφη” κατανομή, βασισμένη σε οριζόντια φορτία ανάλογα ως προς τη μάζα κάθε ορόφου ανεξάρτητα από τη στάθμη του (ομοιόμορφη επιτάχυνση απόκρισης).
- “Τριγωνική” κατανομή (προσεγγιστική κατανομή προς τη δεσπόζουσα ιδιομορφική απόκριση του δομήματος).

3.9 Η σεισμική απόκριση του κτηρίου & έλεγχοι επιτελεστικότητας

Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν με το λογισμικό 3MURI που αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο της Pavia και το Ίδρυμα EUCENTRE (European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering, eng. Alessandro Galasco, eng. Andrea Penna), το Πανεπιστήμιο της Genova (Professor Sergio Lagomarsino, eng. Serena Cattari) σε συνεργασία με την εταιρεία λογισμικού S.T.A. DATA (Torino, Italy) [5,7].

Στις επόμενες σελίδες δίνονται:

- (i) Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των υπερωθητικών αναλύσεων (push-over) για το ανασχεδιασμένο (μετά τις επεμβάσεις) δόμημα όπως και ο έλεγχος σε τοπικό εκτός επιπέδου μηχανισμό αστοχίας.
- (ii) Οι καμπύλες σεισμικής αντίστασης του ανασχεδιασμένου (μετά τις επεμβάσεις) δομήματος και οι έλεγχοι των κριτηρίων επιτελεστικότητας. Το πλήθος των αναλύσεων είναι 24 [2 διευθύνσεις x 2 φορές διευθύνσεων x 3 περιπτώσεις τυχηματικής εκκεντρότητας (0, +5%, +5%) x 2 καθ' ύψος κατανομές]. Για τις (αντίστοιχες σε πλήθος) καμπύλες αντίστασης (σε όρους δύναμης-μετακίνησης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος), συγκρίνεται η προσφερόμενη (διαθέσιμη) μετακίνηση με την εκάστοτε αιτούμενη, για την επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας (SD). Για καθεμιά εκ των 24 αναλύσεων παρατίθενται οι εικόνες βλάβης των φερόντων στοιχείων του δομήματος για την στοχευόμενη μετακίνηση (target displacement - SD), σύμφωνα με το ελαστικό φάσμα του Ευρωκώδικα. [3]

3.10 Συγκεντρωτική αναφορά αποτελεσμάτων ανάλυσης του κτηρίου μέσω του λογισμικού H/Y 3MURI [5,7]

Materials

Masonry

<i>Name</i>	<i>E</i> [N/mm ²]	<i>G</i> [N/mm ²]	<i>Specific weight</i> [kg/m ³]	<i>f_m</i> [N/mm ²]	<i>Shear resistance</i> [N/mm ²]
<i>Strengthened Masonry</i>	1600	640	2000	2	0.2

Concrete

<i>Name</i>	<i>E</i> [N/mm ²]	<i>G</i> [N/mm ²]	<i>Specific weight</i> [kg/m ³]	<i>f_{cm}</i> [N/mm ²]	<i>f_{ck}</i> [N/mm ²]
<i>C25/30</i>	31000	12917	2549	33	25
<i>C-f_{cm}10MPa</i>	22896	9548	2500	10	6

Rebar steel grades

<i>Name</i>	<i>E</i> [N/mm ²]	<i>G</i> [N/mm ²]	<i>Specific weight</i> [kg/m ³]	<i>f_{ym}</i> [N/mm ²]	<i>f_{yk}</i> [N/mm ²]
<i>B500</i>	200000	76923	8005	538	500
<i>S 220</i>	200000	76923	7850	280	240

Table of Permanent and Live Load Per Floor

No. Floor	Gk1 [kN/m ²]	Gk2 [kN/m ²]	Qk [kN/m ²]	Roof	φ	ψ_0	ψ_2
15	6,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
16	7,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
17	6,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
28	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
29	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
30	7,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
31	5,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
32	5,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
33	5,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
19	7,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
20	6,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
3	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
4	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
5	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
6	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
8	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
9	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
21	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
23	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
24	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
25	7,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30

26	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
27	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
11	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
12	4,750	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
13	9,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30
14	6,000	0,000	2,000	No	1,00	0,60	0,30

Table of Permanent and Live Load Per Balcony

No. Balconies	Gk1 [kN/m ²]	Gk2 [kN/m ²]	Qk [kN/m ²]	Snow	ϕ	ψ_0	ψ_2
1	4,750	0,000	5,000	No	1,00	0,60	0,30
2	5,500	0,000	5,000	No	1,00	0,60	0,30
3	5,500	0,000	5,000	No	1,00	0,60	0,30

Code spectrum

agR (NC) [m/s ²]	agR (SD) [m/s ²]	Soil type	S	Tb[s]	Tc[s]	Td[s]	Importance Factor
1,57	1,57	A	1,00	0,15	0,40	2,00	1,00

Pushover analysis

Table of Load Typology, Seismic Direction, Accidental Eccentricity and Control Node

No.	Earthquake direction	Uniform pattern of lateral load	Eccentricity [m]	Level	Node
1	+X	Uniform	0,000	3	47
2	+X	Static	0,000	3	47
3	-X	Uniform	0,000	3	47
4	-X	Static	0,000	3	47
5	+Y	Uniform	0,000	3	47
6	+Y	Static	0,000	3	47
7	-Y	Uniform	0,000	3	47
8	-Y	Static	0,000	3	47
9	+X	Uniform	0,490	3	47
10	+X	Uniform	-0,490	3	47
11	+X	Static	0,490	3	47
12	+X	Static	-0,490	3	47
13	-X	Uniform	0,490	3	47
14	-X	Uniform	-0,490	3	47
15	-X	Static	0,490	3	47
16	-X	Static	-0,490	3	47
17	+Y	Uniform	0,618	3	47
18	+Y	Uniform	-0,618	3	47
19	+Y	Static	0,618	3	47

20	+Y	Static	-0,618	3	47
21	-Y	Uniform	0,618	3	47
22	-Y	Uniform	-0,618	3	47
23	-Y	Static	0,618	3	47
24	-Y	Static	-0,618	3	47

Pushover Analysis Results

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
1	+X	Uniform	0,000	9,078	35,083	Yes	9,078	26,312	Yes
2	+X	Static	0,000	13,713	40,412	Yes	13,713	30,309	Yes
3	-X	Uniform	0,000	6,456	24,657	Yes	6,456	18,492	Yes
4	-X	Static	0,000	9,130	30,585	Yes	9,130	22,938	Yes
5	+Y	Uniform	0,000	13,270	48,792	Yes	13,270	36,594	Yes
6	+Y	Static	0,000	17,854	58,251	Yes	17,854	43,688	Yes
7	-Y	Uniform	0,000	12,987	57,200	Yes	12,987	42,900	Yes
8	-Y	Static	0,000	18,203	70,366	Yes	18,203	52,775	Yes
9	+X	Uniform	0,490	8,525	30,210	Yes	8,525	22,658	Yes
10	+X	Uniform	-0,490	9,654	37,594	Yes	9,654	28,195	Yes
11	+X	Static	0,490	13,363	40,098	Yes	13,363	30,073	Yes
12	+X	Static	-0,490	13,615	38,864	Yes	13,615	29,148	Yes
13	-X	Uniform	0,490	6,795	25,552	Yes	6,795	19,164	Yes
14	-X	Uniform	-0,490	6,173	23,939	Yes	6,173	17,954	Yes
15	-X	Static	0,490	9,425	37,363	Yes	9,425	28,022	Yes
16	-X	Static	-0,490	9,088	30,004	Yes	9,088	22,503	Yes
17	+Y	Uniform	0,618	13,158	44,989	Yes	13,158	33,742	Yes
18	+Y	Uniform	-0,618	12,472	48,496	Yes	12,472	36,372	Yes
19	+Y	Static	0,618	18,158	60,598	Yes	18,158	45,448	Yes
20	+Y	Static	-0,618	17,343	56,095	Yes	17,343	42,071	Yes

21	-Y	Uniform	0,618	13,303	60,479	Yes	13,303	45,359	Yes
22	-Y	Uniform	-0,618	12,817	63,003	Yes	12,817	47,252	Yes
23	-Y	Static	0,618	18,379	78,804	Yes	18,379	59,103	Yes
24	-Y	Static	-0,618	18,377	46,364	Yes	18,377	34,773	Yes

Risk Index

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	α NC	α SD	dm/dt NC
1	+X	Uniform	0,000	3,025	2,398	3,865
2	+X	Static	0,000	2,588	2,000	2,947
3	-X	Uniform	0,000	2,653	2,131	3,819
4	-X	Static	0,000	2,558	2,012	3,350
5	+Y	Uniform	0,000	3,150	2,412	3,677
6	+Y	Static	0,000	3,106	2,347	3,263
7	-Y	Uniform	0,000	3,725	2,844	4,404
8	-Y	Static	0,000	3,698	2,788	3,866
9	+X	Uniform	0,490	2,759	2,201	3,544
10	+X	Uniform	-0,490	3,104	2,453	3,894
11	+X	Static	0,490	2,613	2,022	3,001
12	+X	Static	-0,490	2,507	1,940	2,854
13	-X	Uniform	0,490	2,633	2,105	3,760
14	-X	Uniform	-0,490	2,678	2,159	3,878
15	-X	Static	0,490	2,972	2,313	3,964

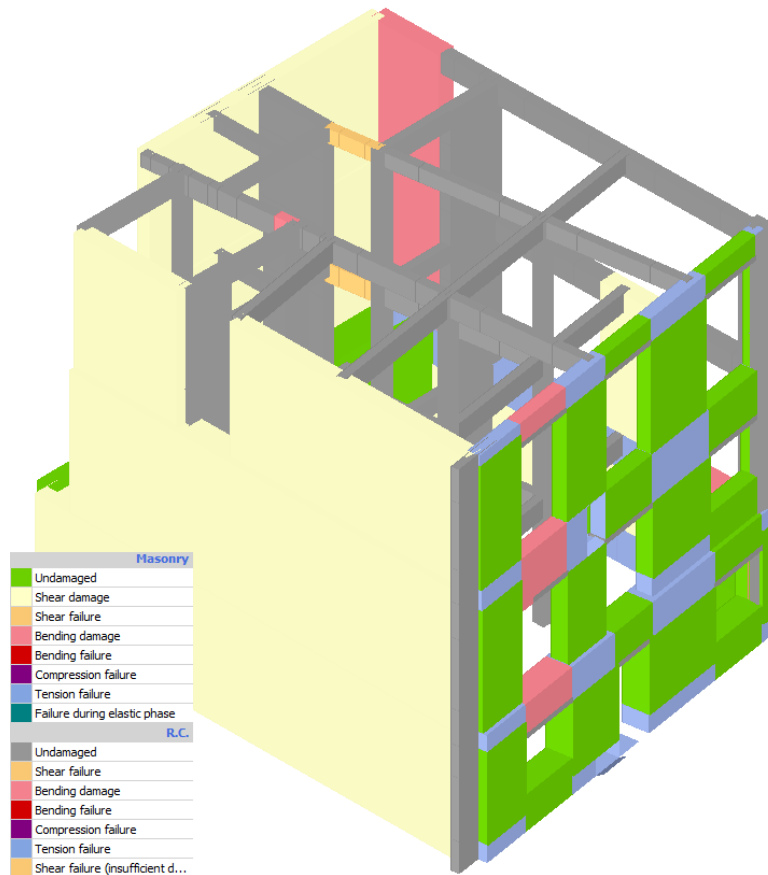
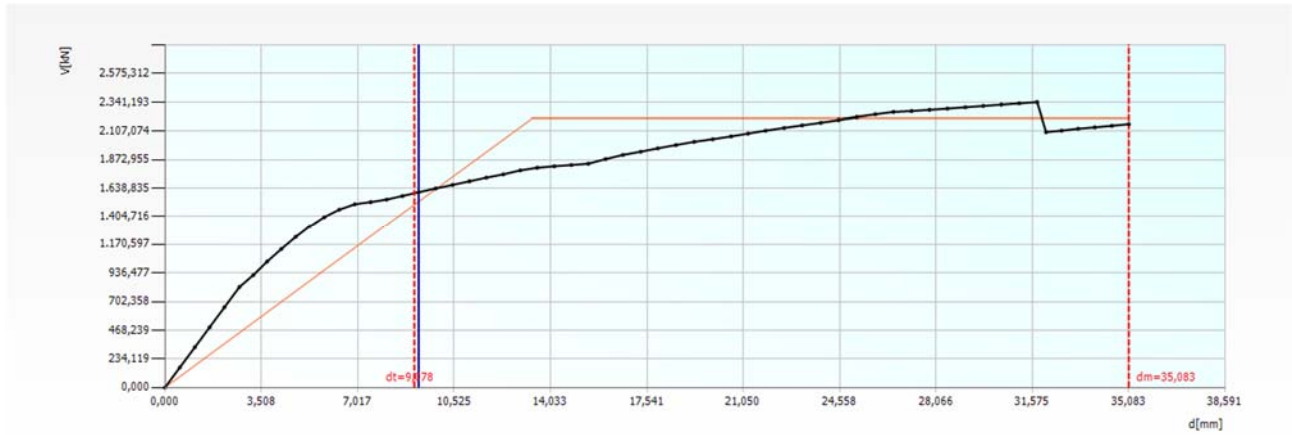
16	-X	Static	-0,490	2,545	2,009	3,301
17	+Y	Uniform	0,618	2,941	2,255	3,419
18	+Y	Uniform	-0,618	3,251	2,494	3,888
19	+Y	Static	0,618	3,194	2,411	3,337
20	+Y	Static	-0,618	3,054	2,311	3,234
21	-Y	Uniform	0,618	3,895	2,967	4,546
22	-Y	Uniform	-0,618	4,093	3,122	4,916
23	-Y	Static	0,618	4,111	3,096	4,288
24	-Y	Static	-0,618	2,432	1,839	2,523

**Καμπύλες Αντίστασης του Ανασχεδιασμένου Δομήματος ανά Ανάλυση
(Pushover)**

**Αξονομετρικές Εικόνες Βλαβών για την στοχευόμενη μετακίνηση
(target displacement - SD)**

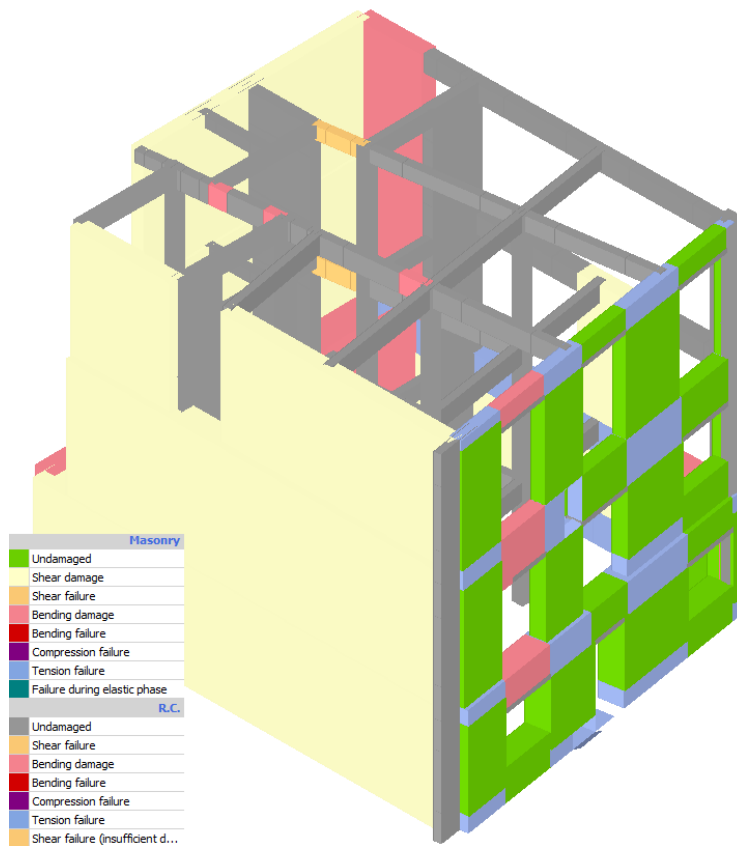
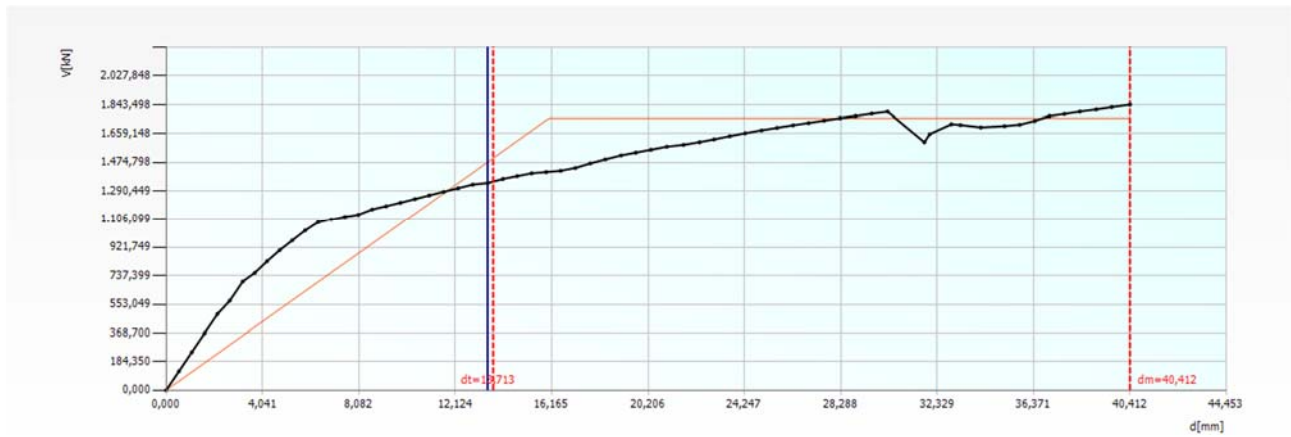
Ανάλυση Pushover No 1

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
1	+X	Uniform	0,000	9,078	35,083	Yes	9,078	26,312	Yes



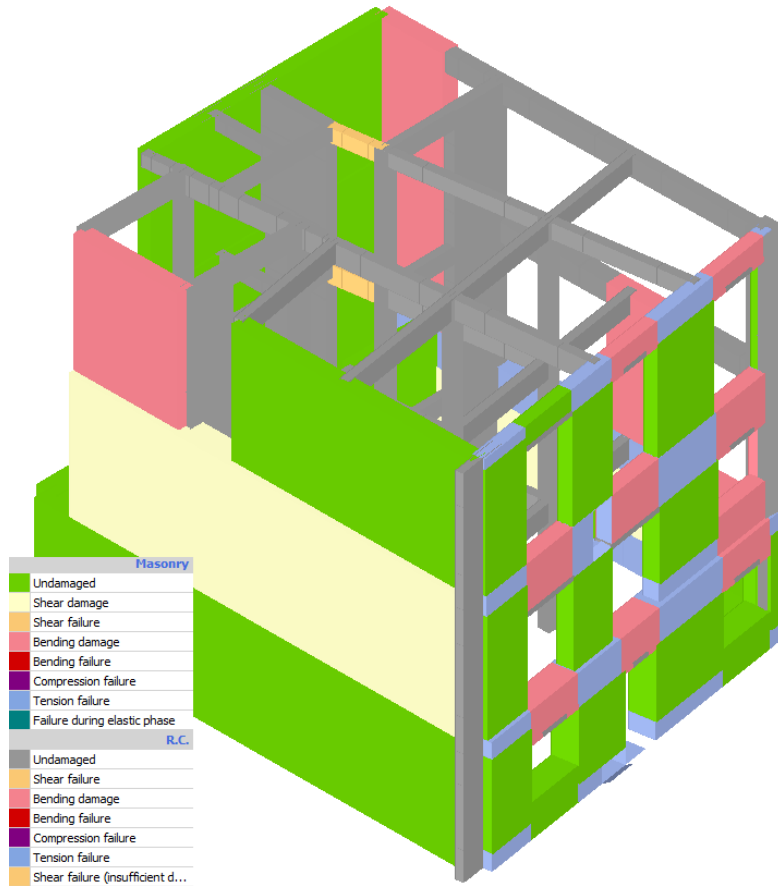
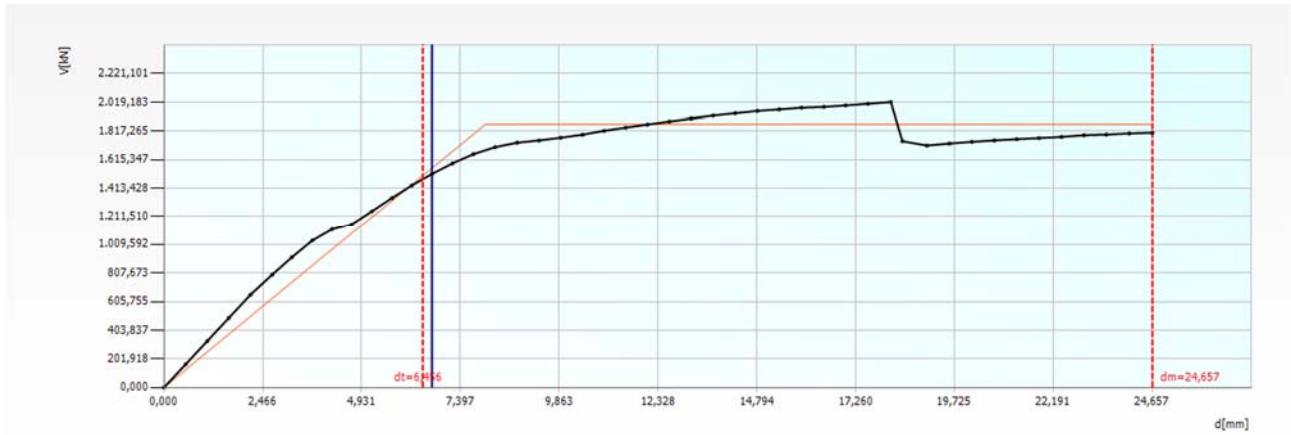
Ανάλυση Pushover No 2

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
2	+X	Static	0,000	13,713	40,412	Yes	13,713	30,309	Yes



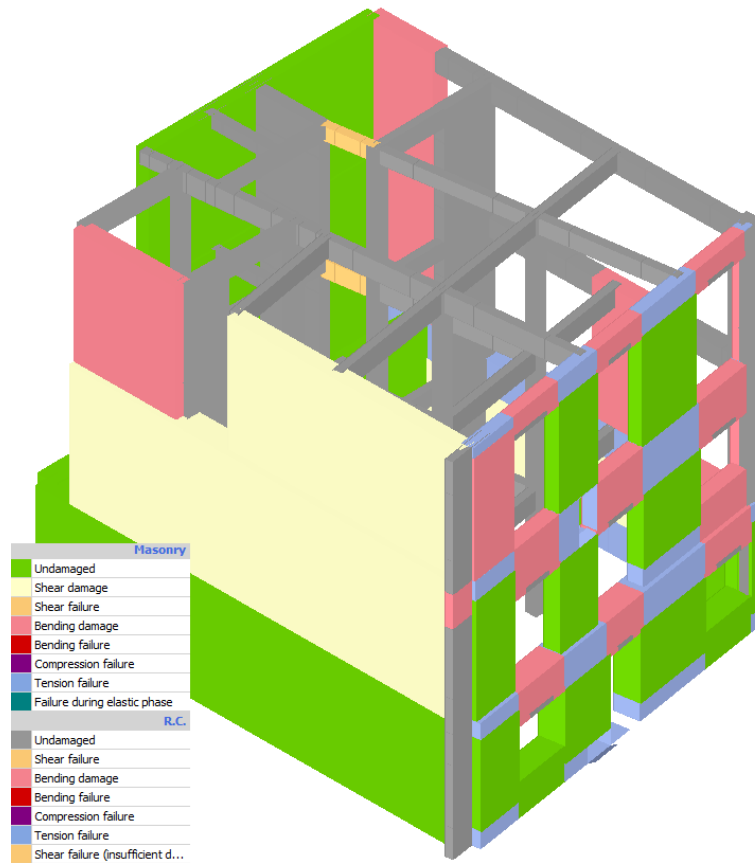
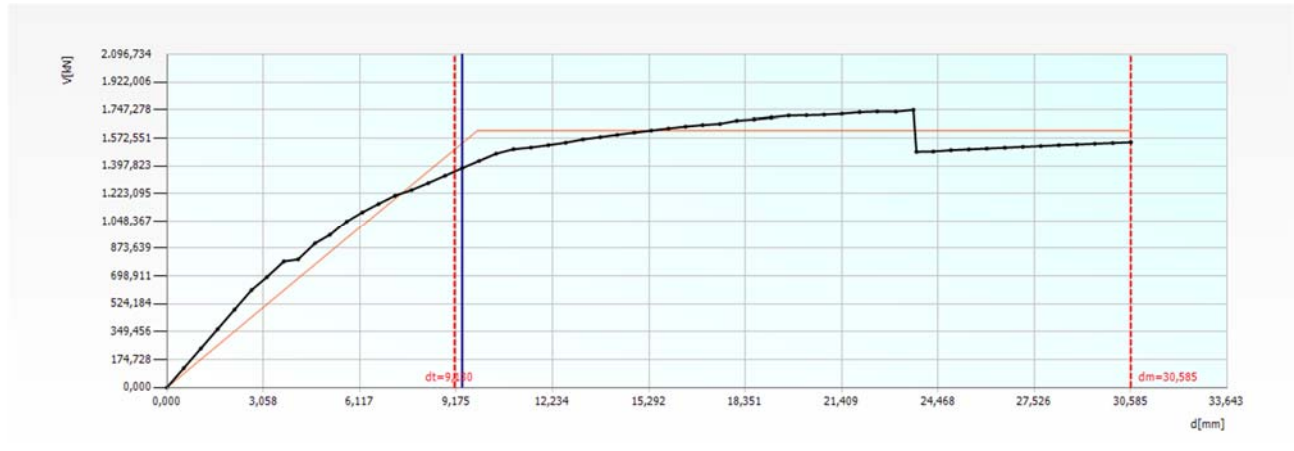
Ανάλυση Pushover No 3

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
3	-X	Uniform	0,000	6,456	24,657	Yes	6,456	18,492	Yes



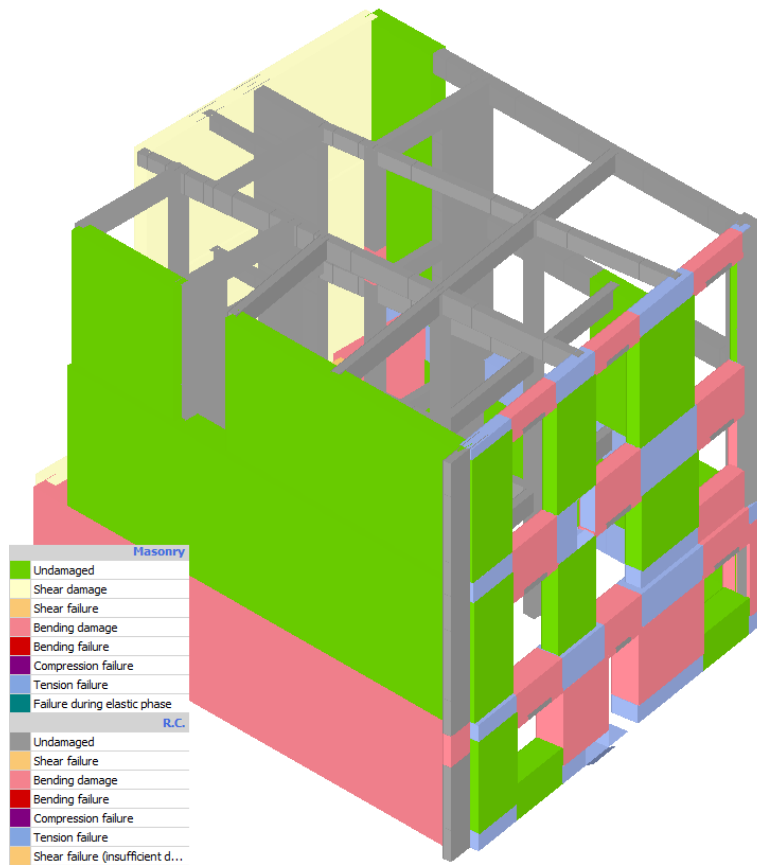
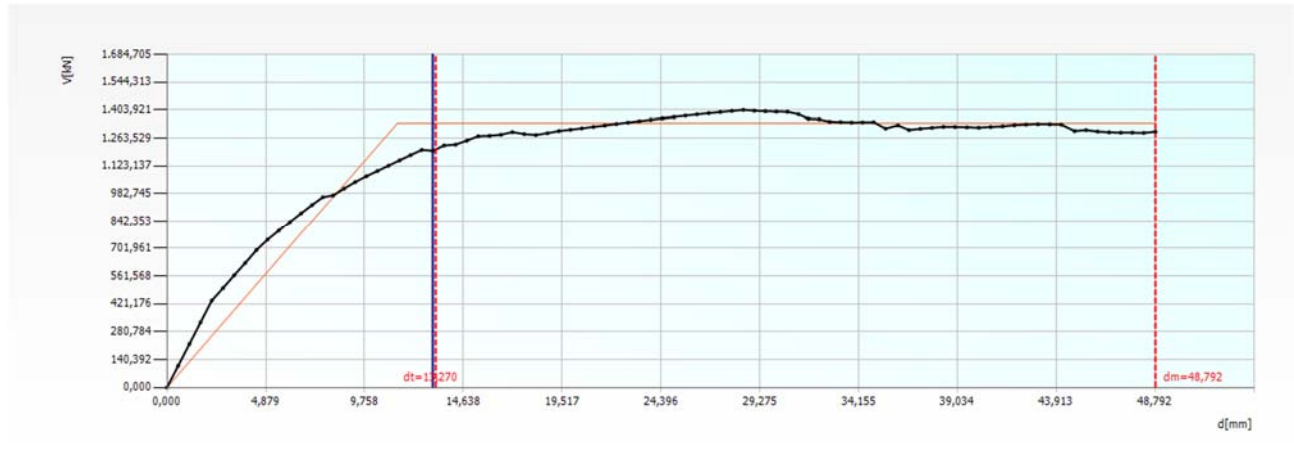
Ανάλυση Pushover No 4

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
4	-X	Static	0,000	9,130	30,585	Yes	9,130	22,938	Yes



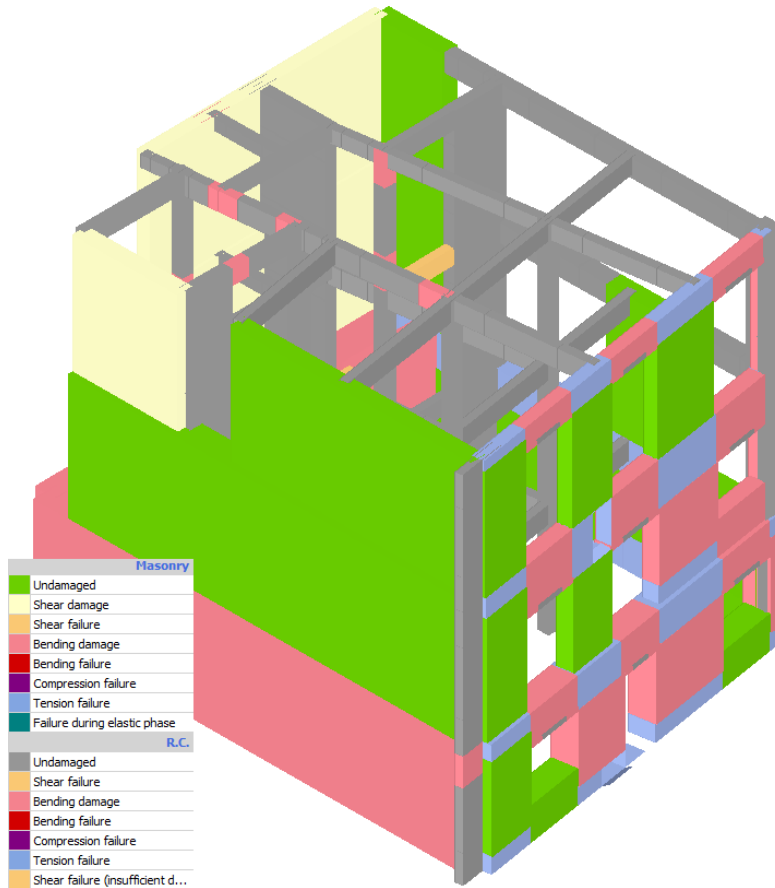
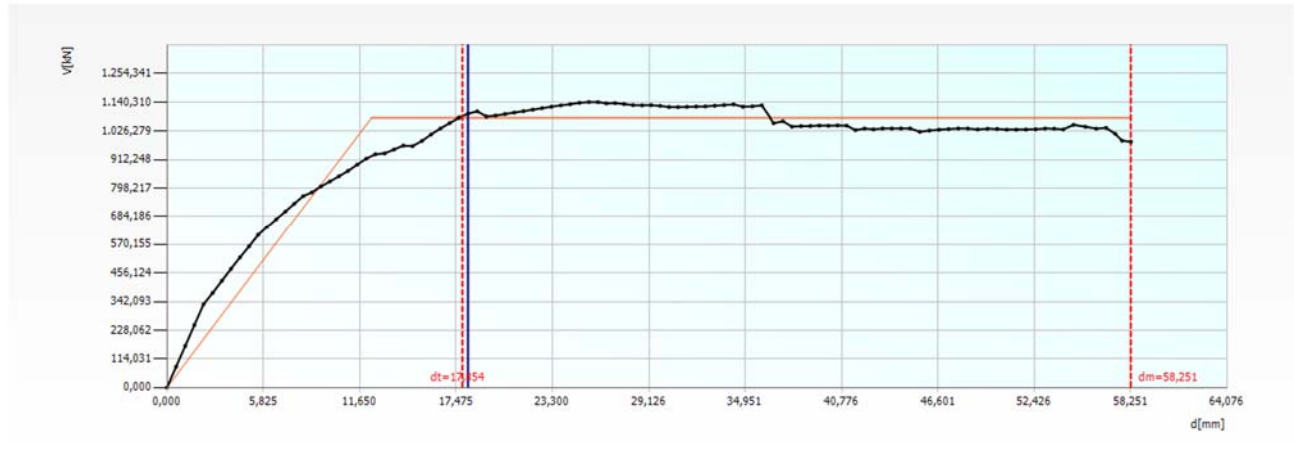
Ανάλυση Pushover No 5

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
5	+Y	Uniform	0,000	13,270	48,792	Yes	13,270	36,594	Yes



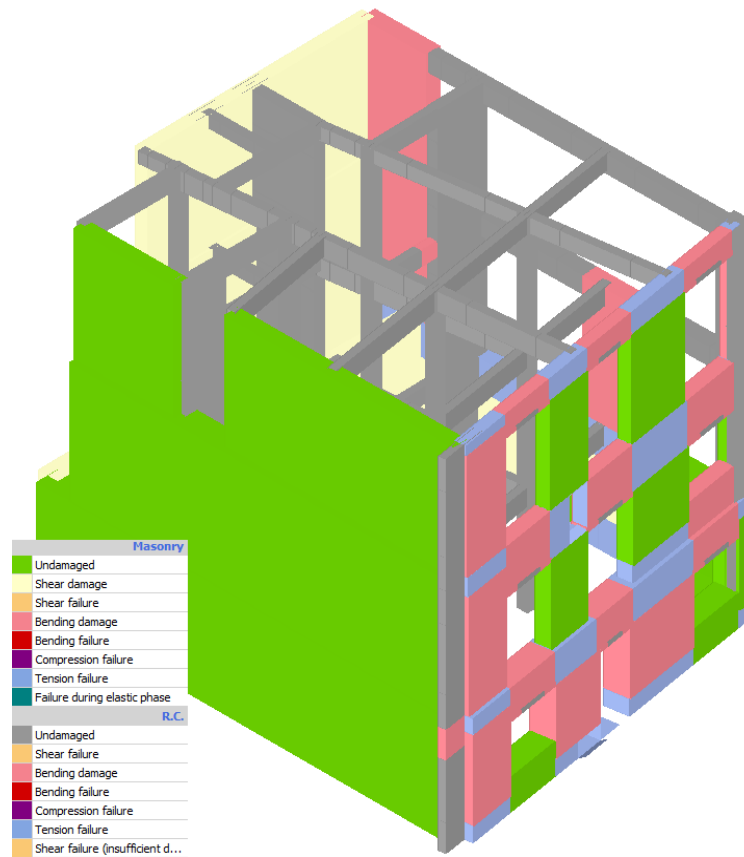
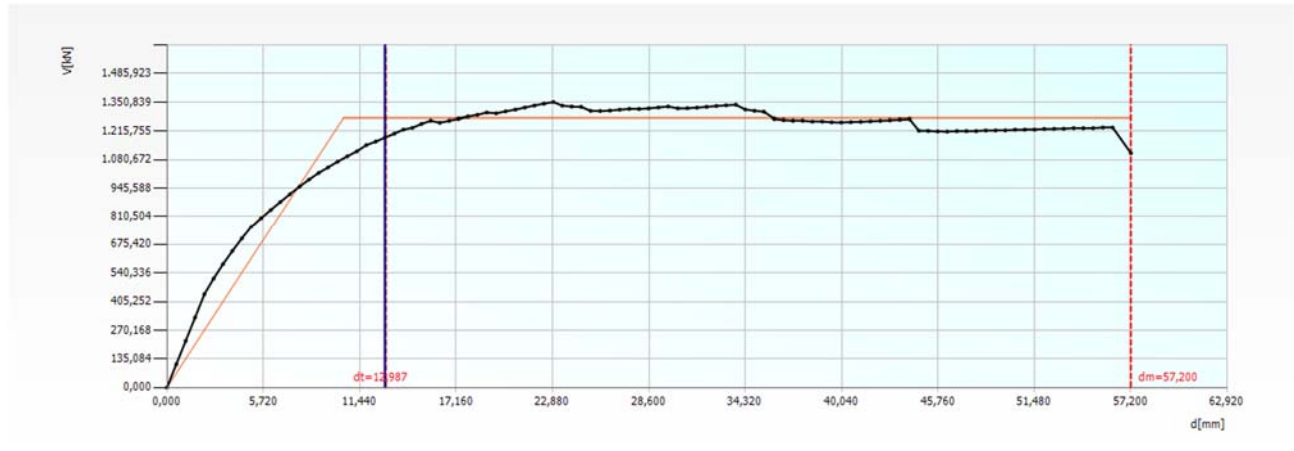
Ανάλυση Pushover No 6

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
6	+Y	Static	0,000	17,854	58,251	Yes	17,854	43,688	Yes



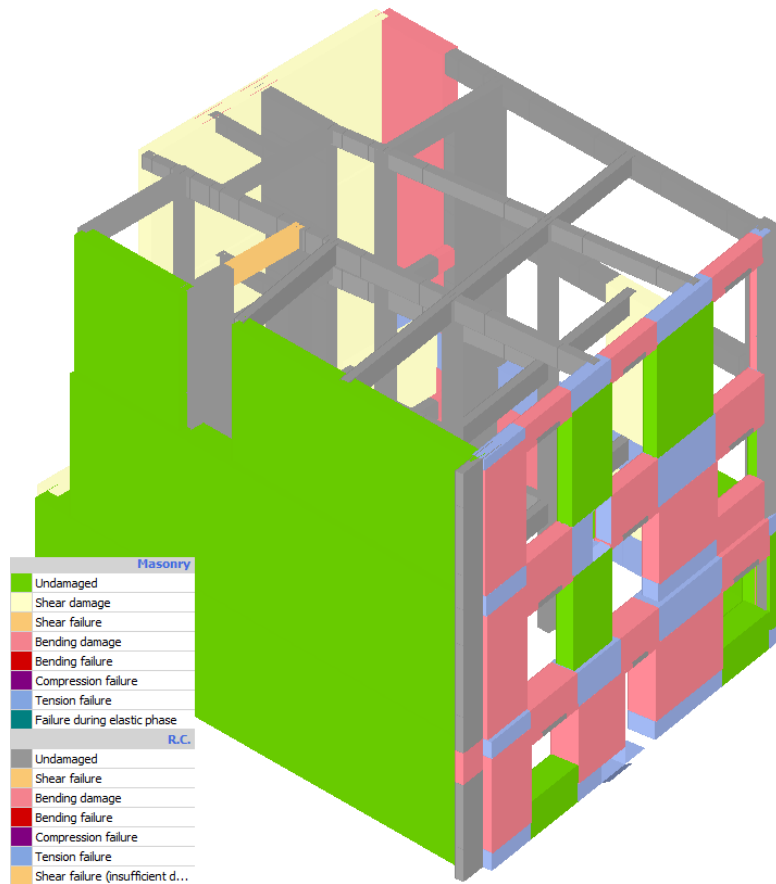
Ανάλυση Pushover No 7

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
7	-Y	Uniform	0,000	12,987	57,200	Yes	12,987	42,900	Yes



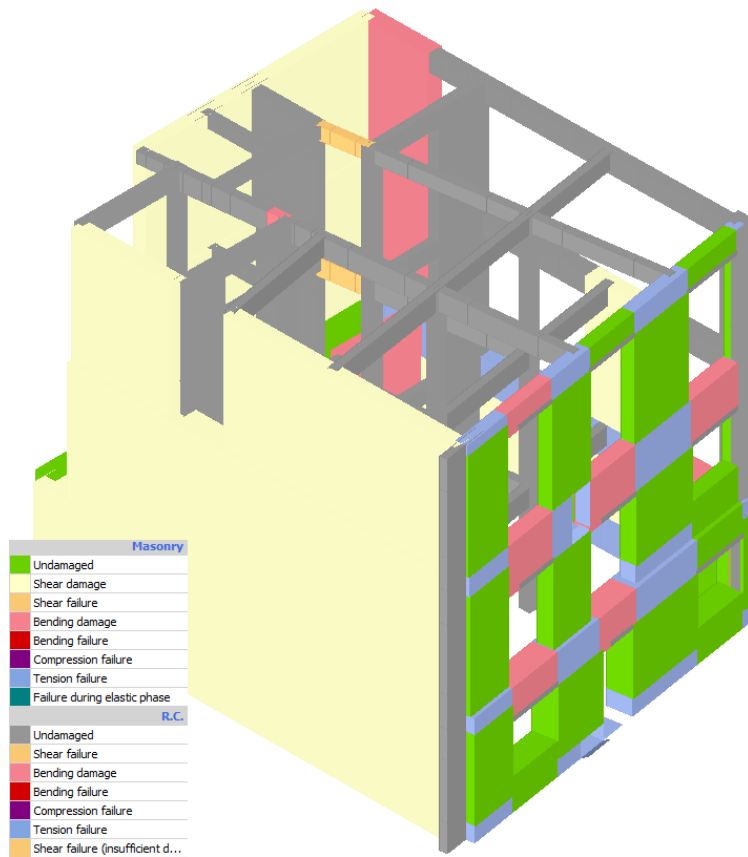
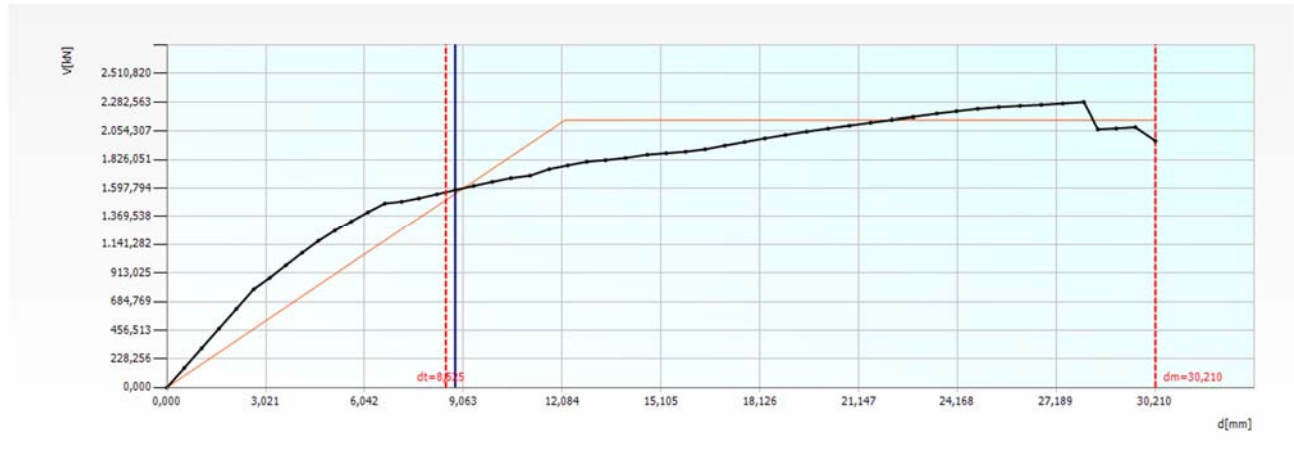
Ανάλυση Pushover No 8

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
8	-Y	Static	0,000	18,203	70,366	Yes	18,203	52,775	Yes



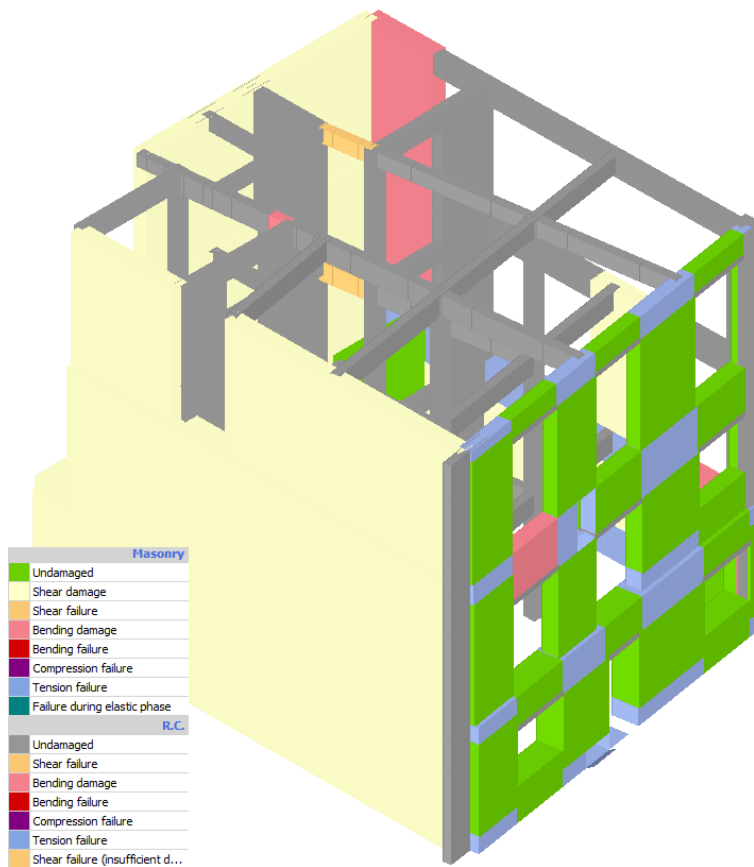
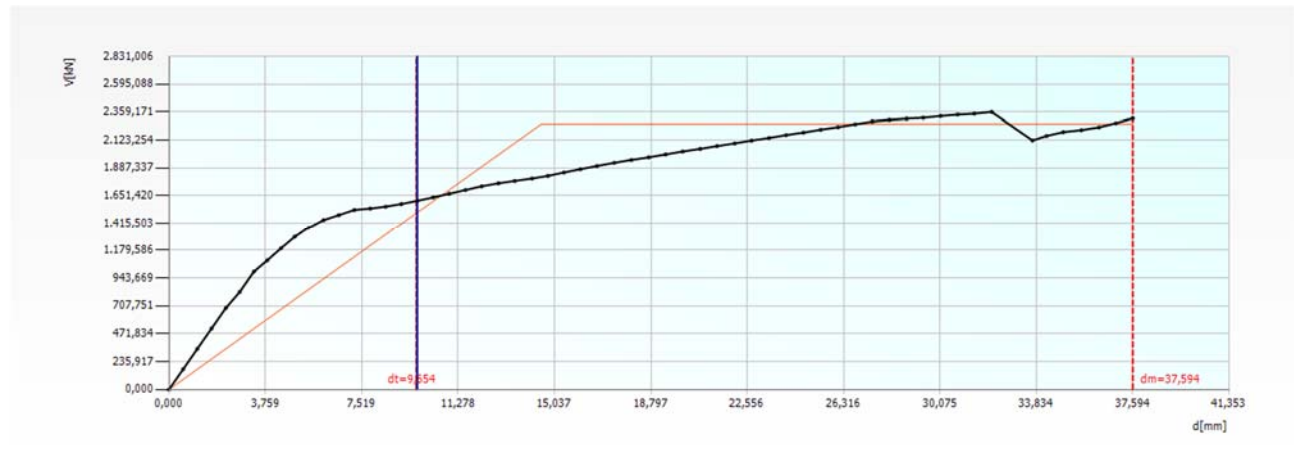
Ανάλυση Pushover No 9

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
9	+X	Uniform	0,490	8,525	30,210	Yes	8,525	22,658	Yes



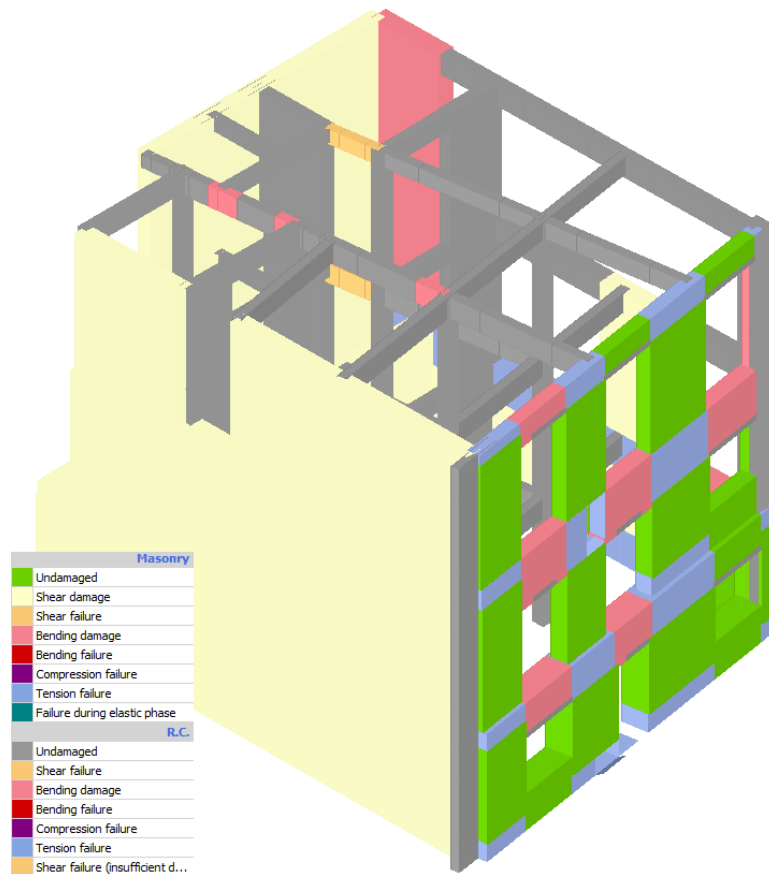
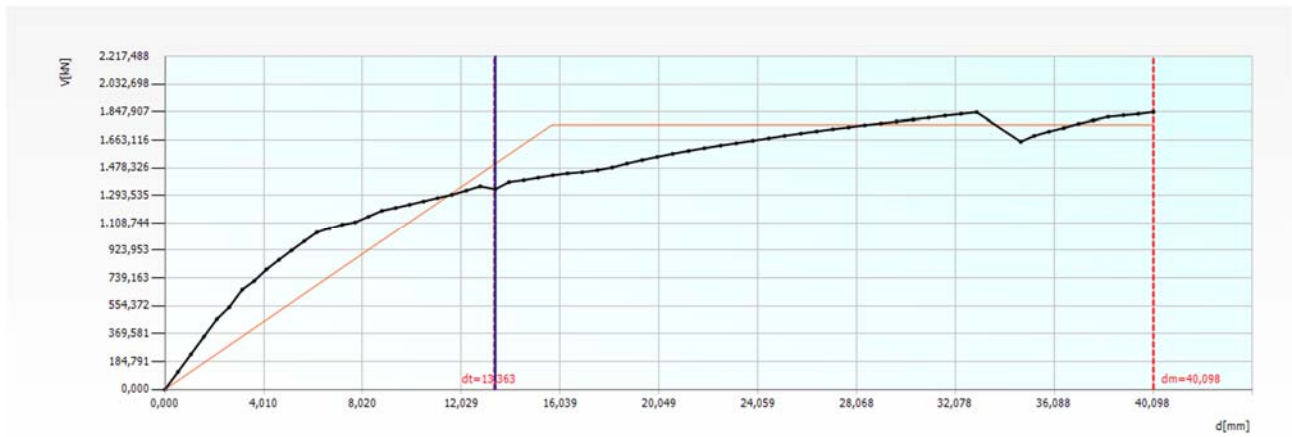
Ανάλυση Pushover No 10

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
10	+X	Uniform	-0,490	9,654	37,594	Yes	9,654	28,195	Yes



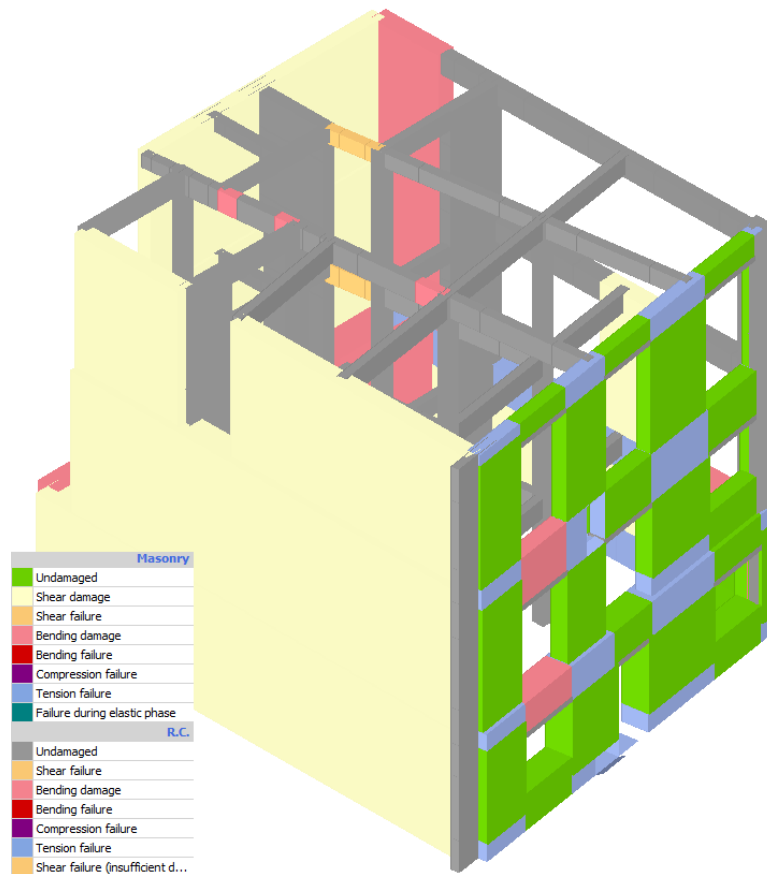
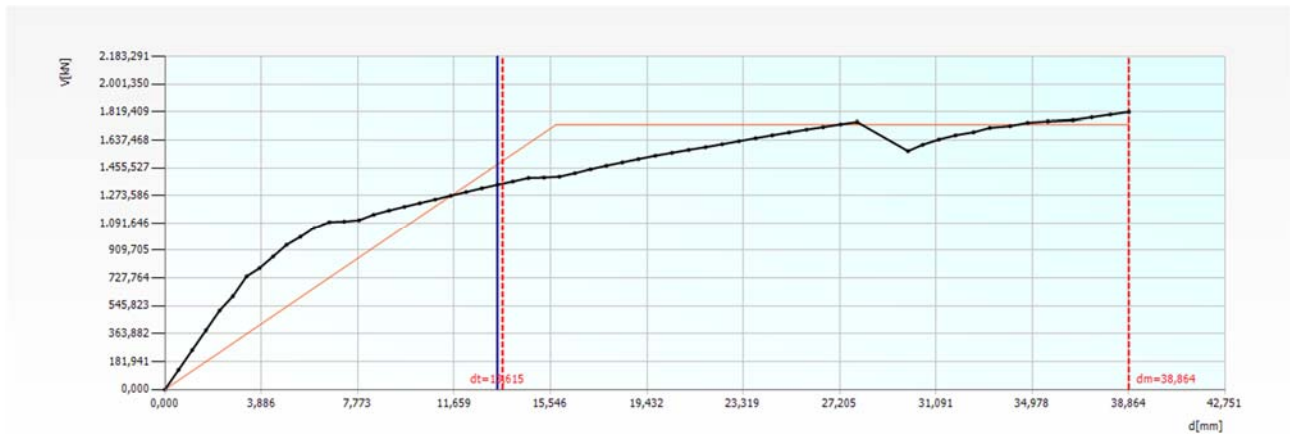
Ανάλυση Pushover No 11

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
11	+X	Static	0,490	13,363	40,098	Yes	13,363	30,073	Yes



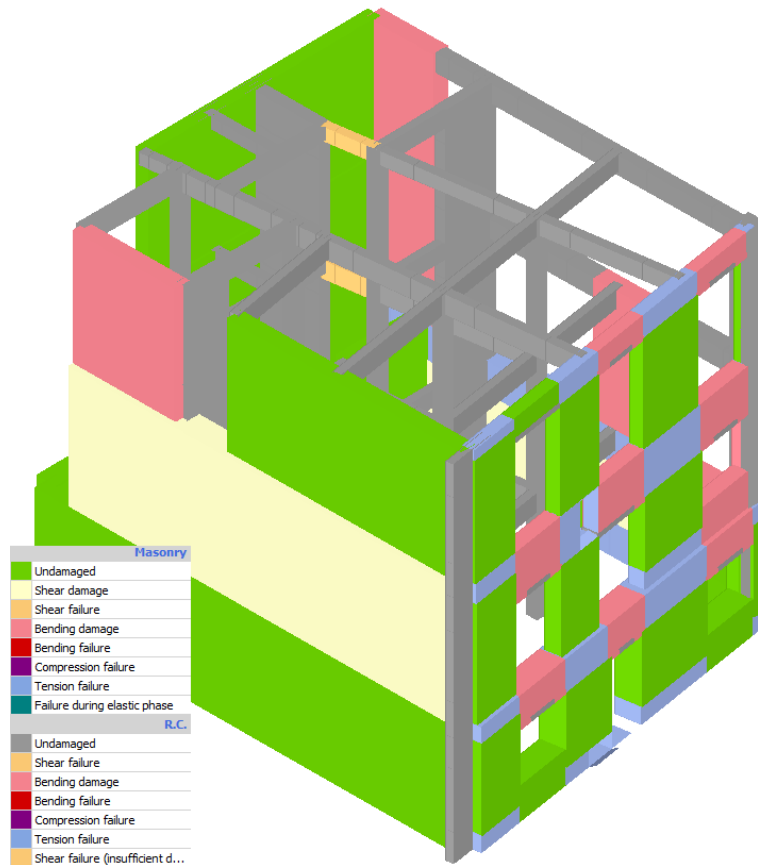
Ανάλυση Pushover No 12

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
12	+X	Static	-0,490	13,615	38,864	Yes	13,615	29,148	Yes



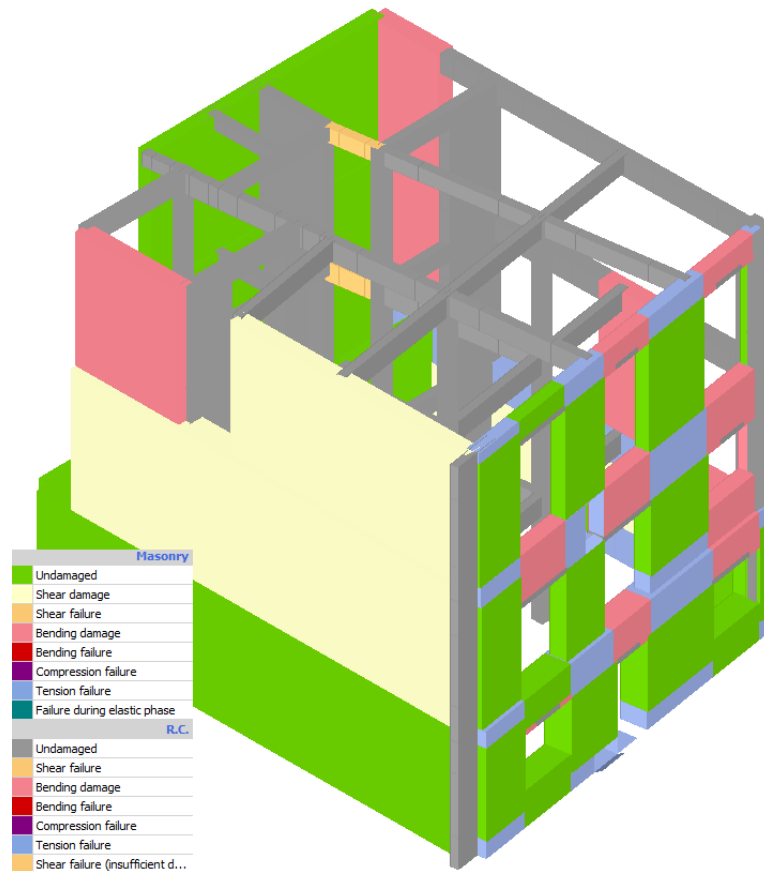
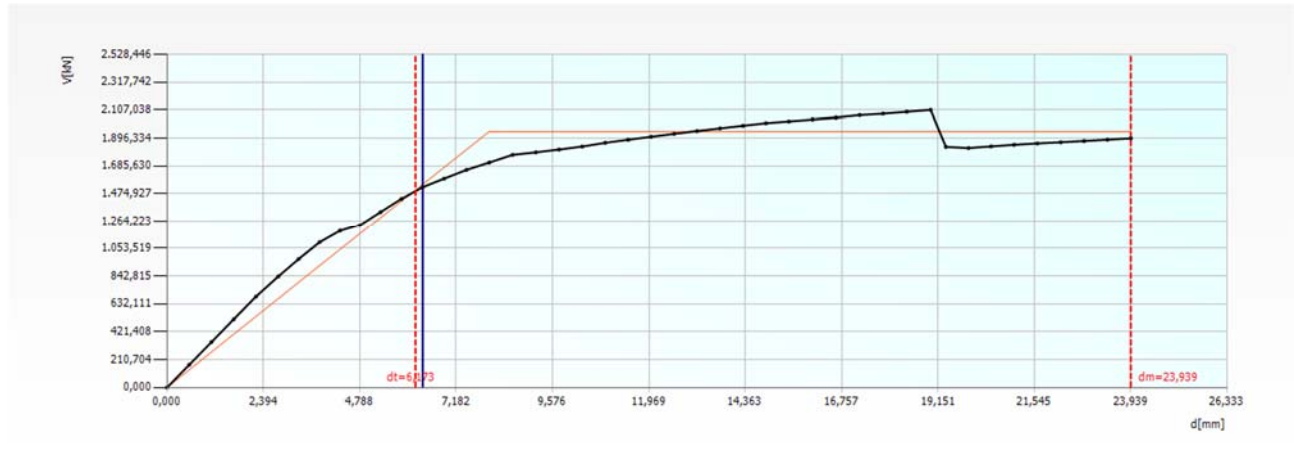
Ανάλυση Pushover No 13

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
13	-X	Uniform	0,490	6,795	25,552	Yes	6,795	19,164	Yes



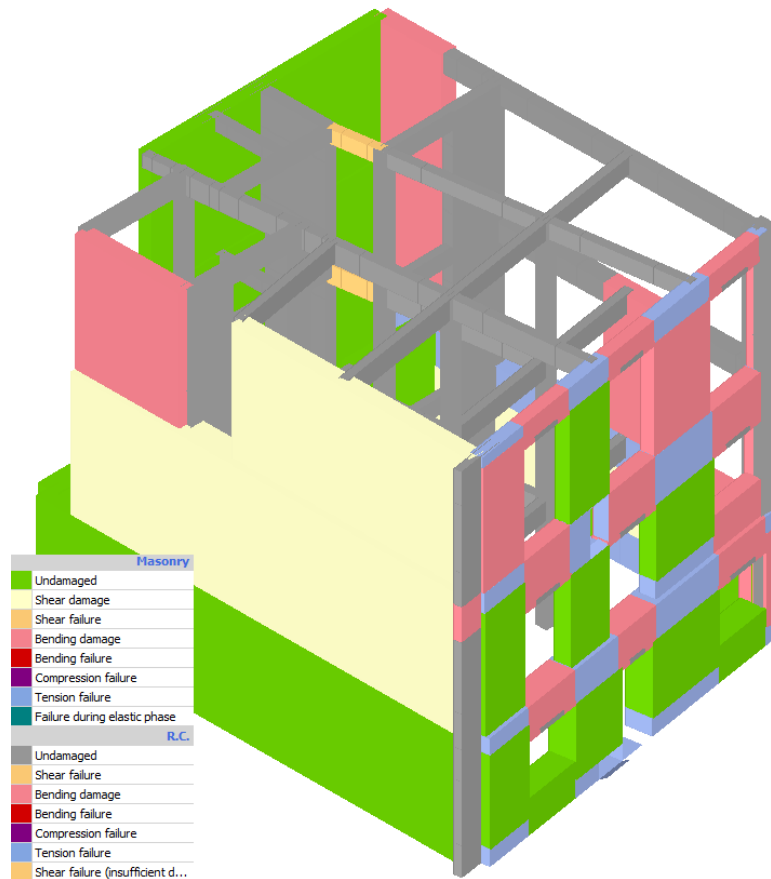
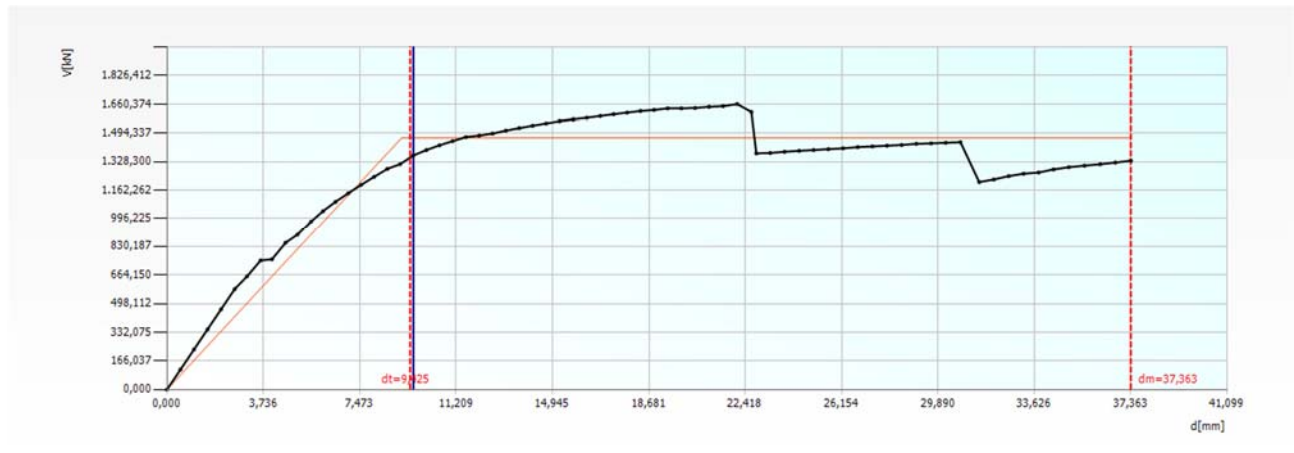
Ανάλυση Pushover No 14

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
14	-X	Uniform	-0,490	6,173	23,939	Yes	6,173	17,954	Yes



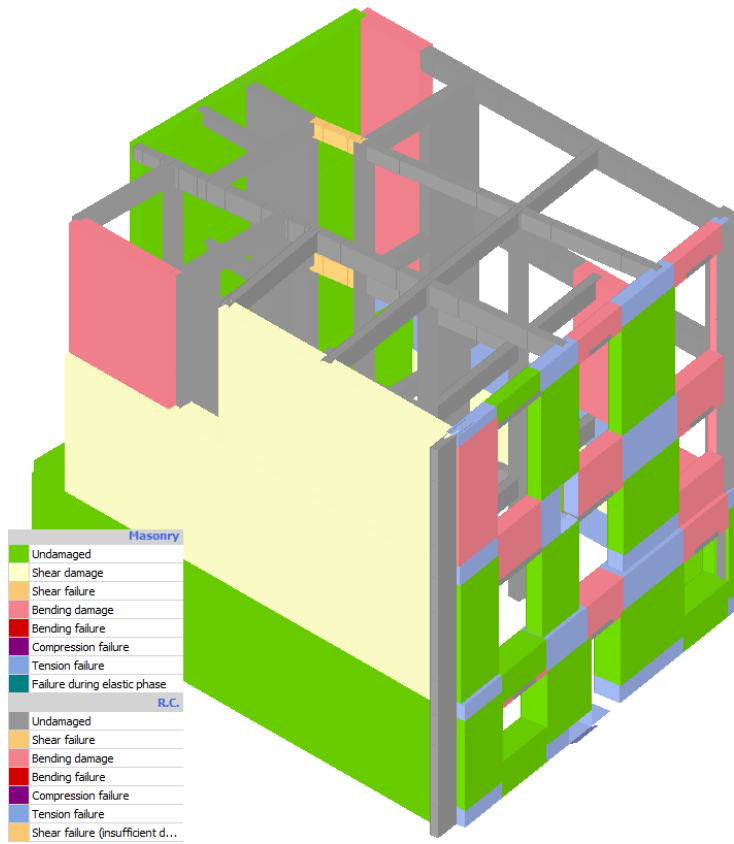
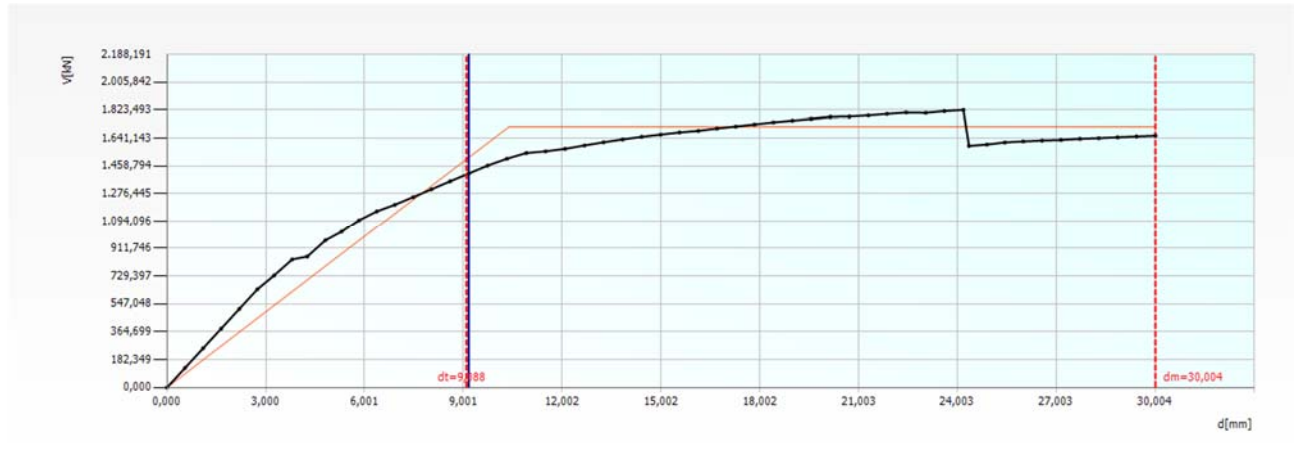
Ανάλυση Pushover No 15

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
15	-X	Static	0,490	9,425	37,363	Yes	9,425	28,022	Yes



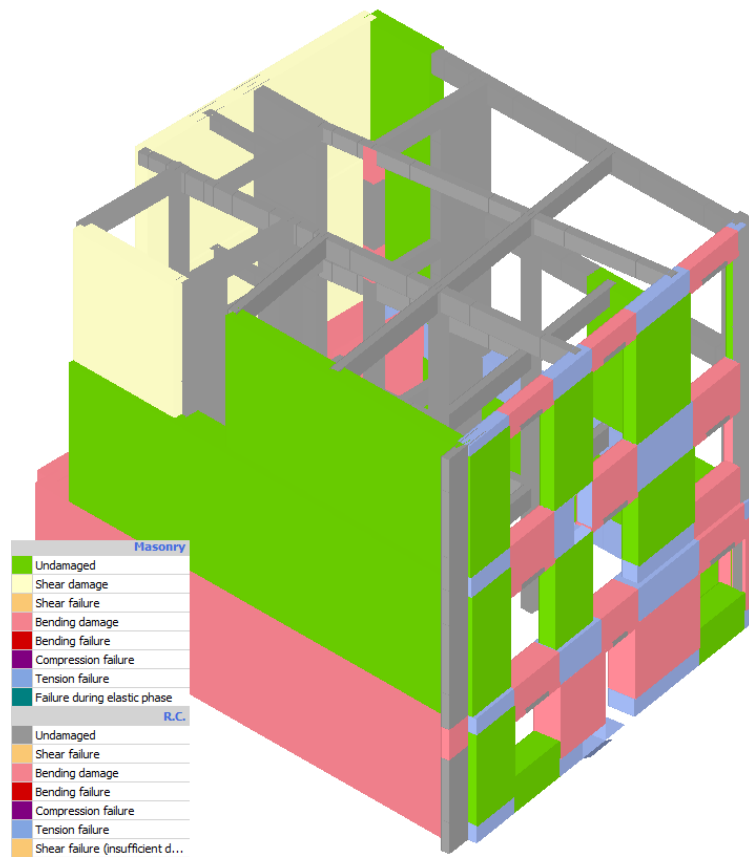
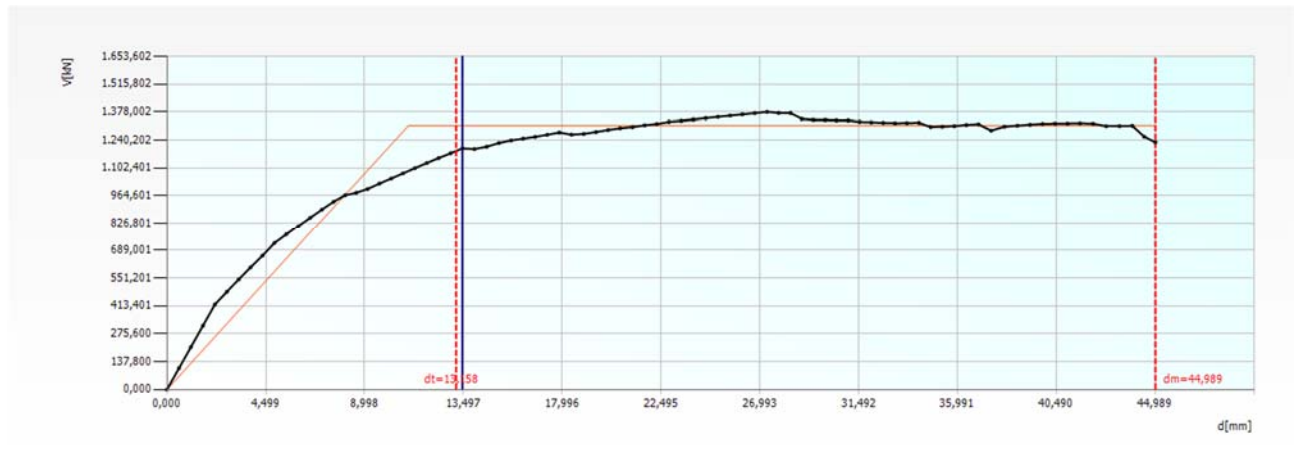
Ανάλυση Pushover No 16

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
16	-X	Static	-0,490	9,088	30,004	Yes	9,088	22,503	Yes



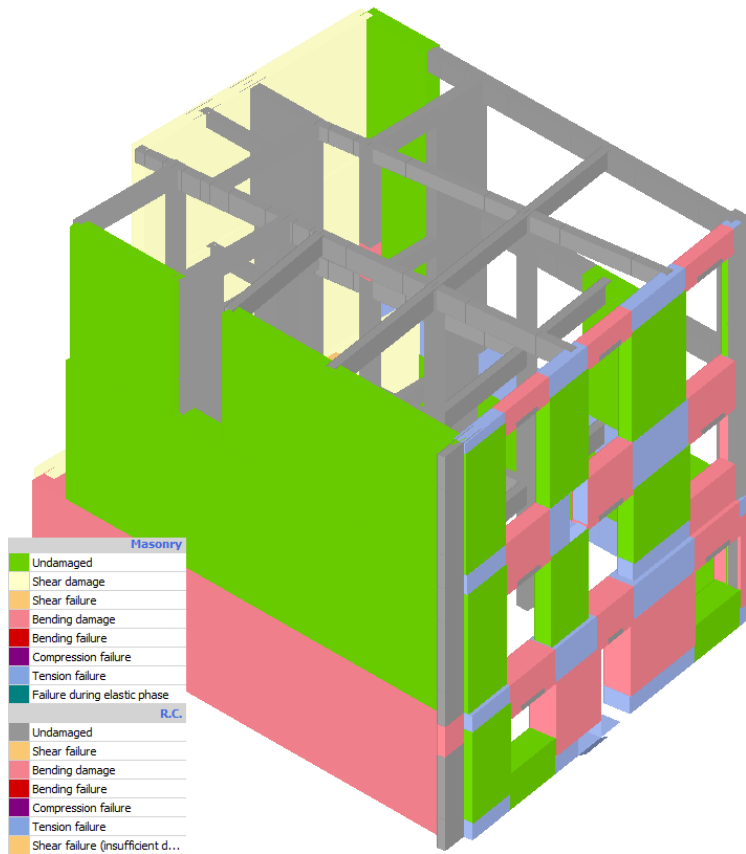
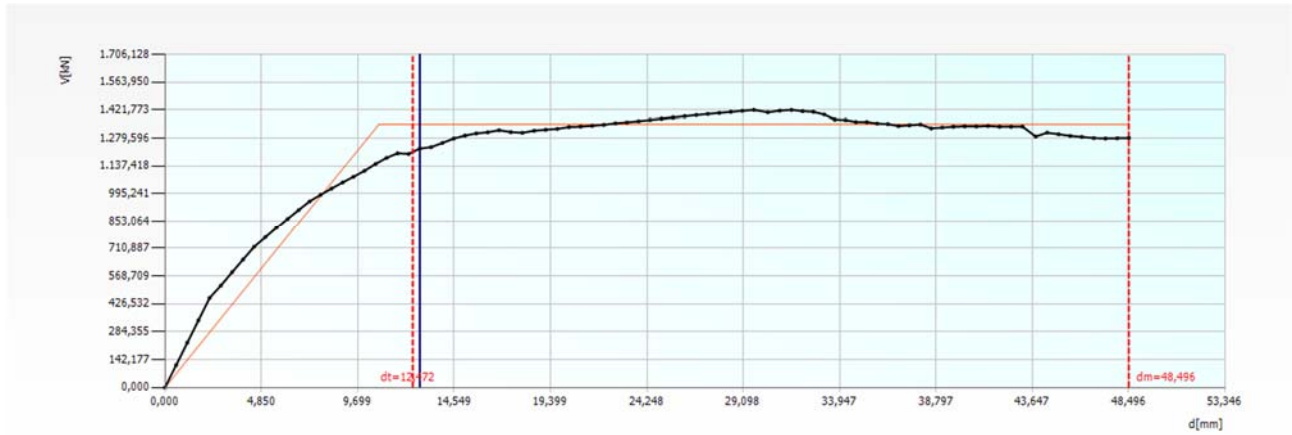
Ανάλυση Pushover No 17

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
17	+Y	Uniform	0,618	13,158	44,989	Yes	13,158	33,742	Yes



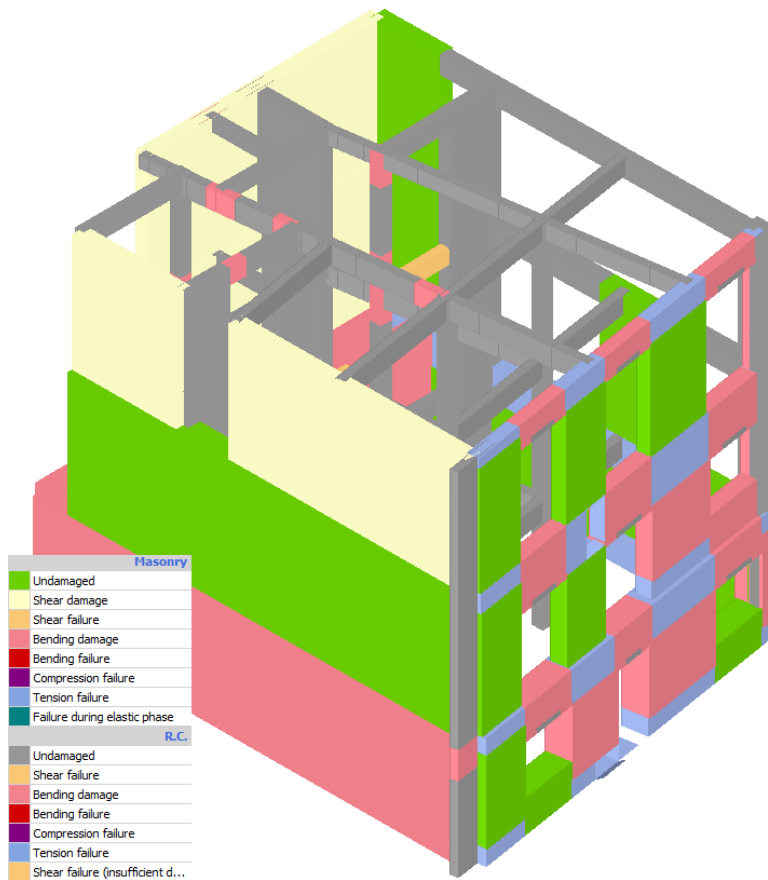
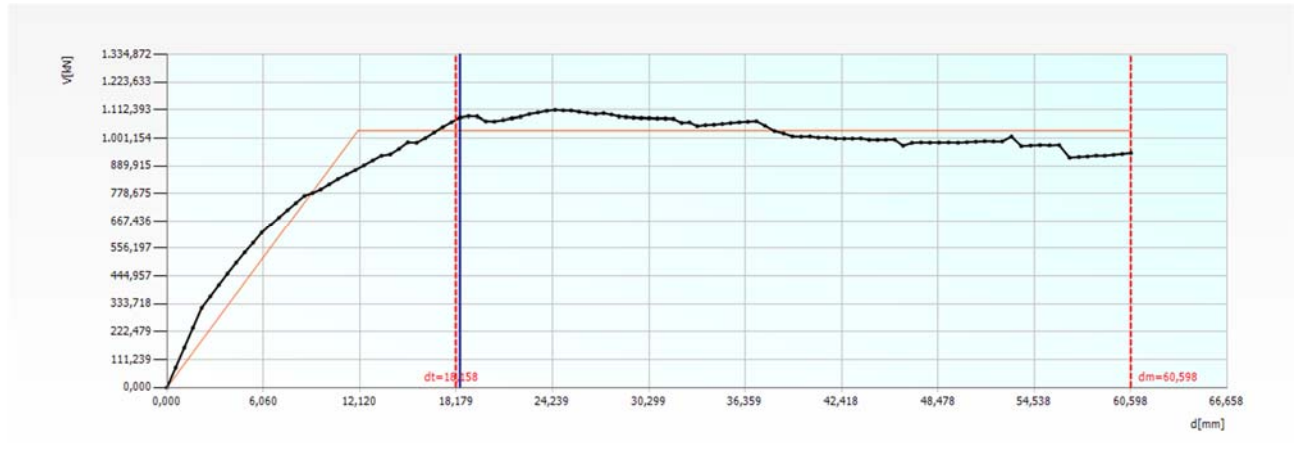
Ανάλυση Pushover No 18

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
18	+Y	Uniform	-0,618	12,472	48,496	Yes	12,472	36,372	Yes



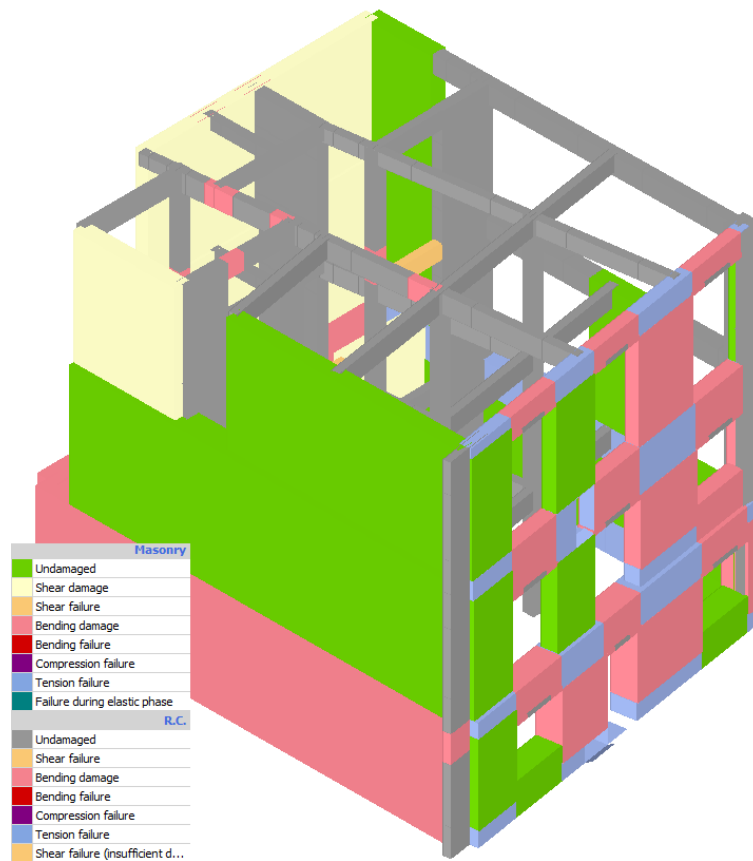
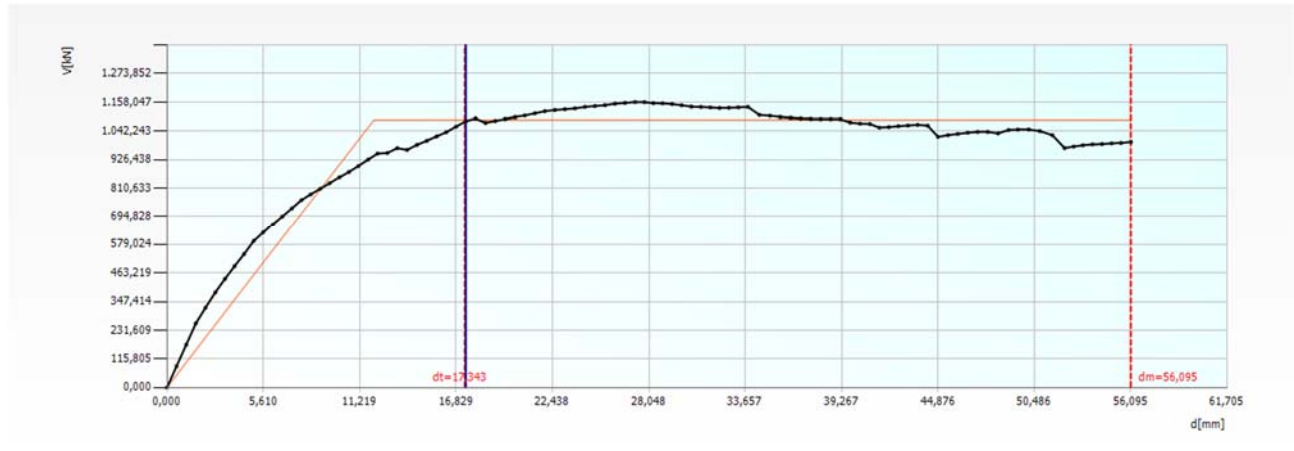
Ανάλυση Pushover No 19

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
19	+Y	Static	0,618	18,158	60,598	Yes	18,158	45,448	Yes



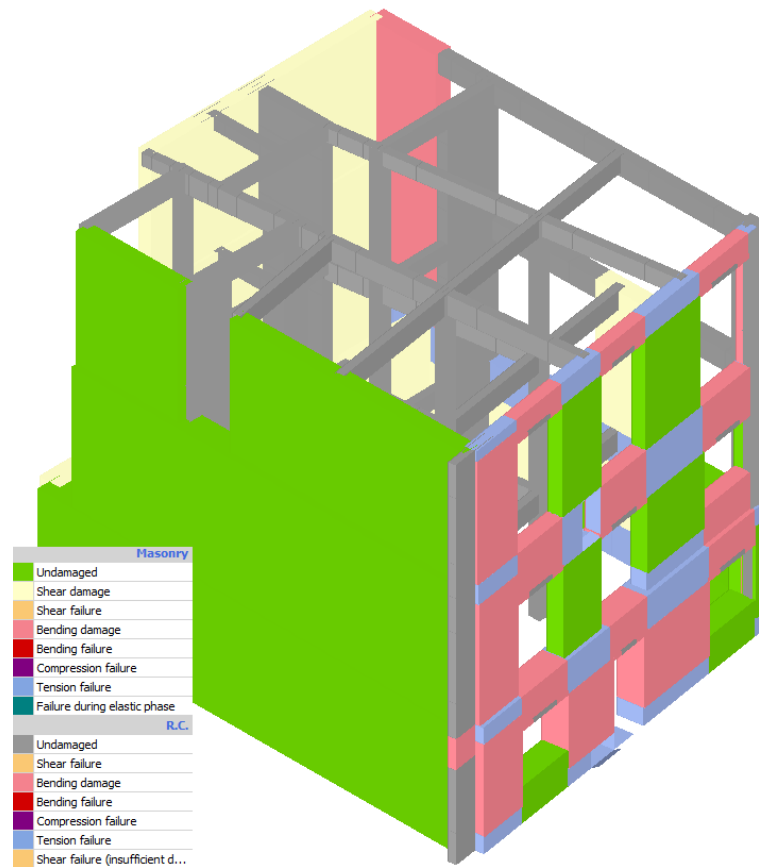
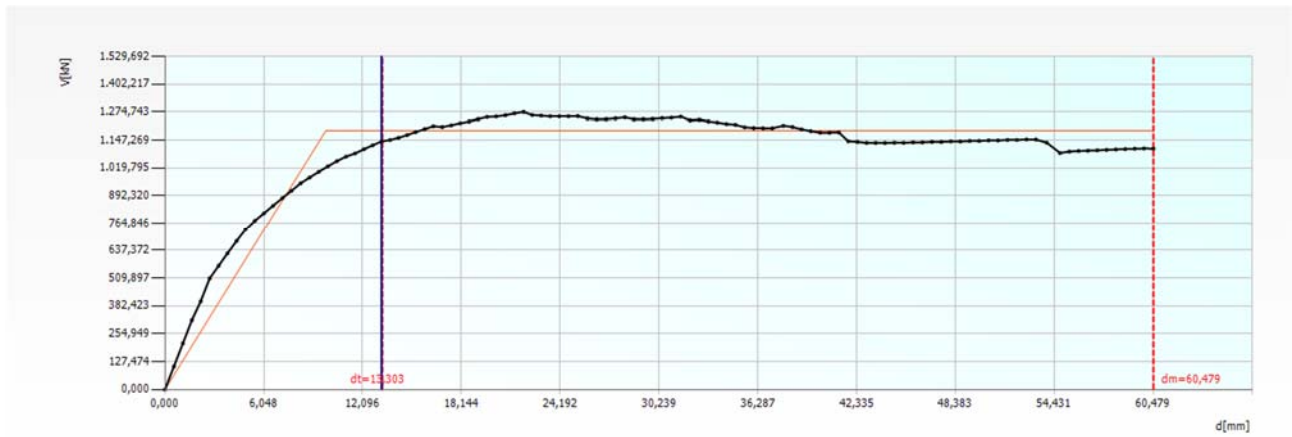
Ανάλυση Pushover No 20

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
20	+Y	Static	-0,618	17,343	56,095	Yes	17,343	42,071	Yes



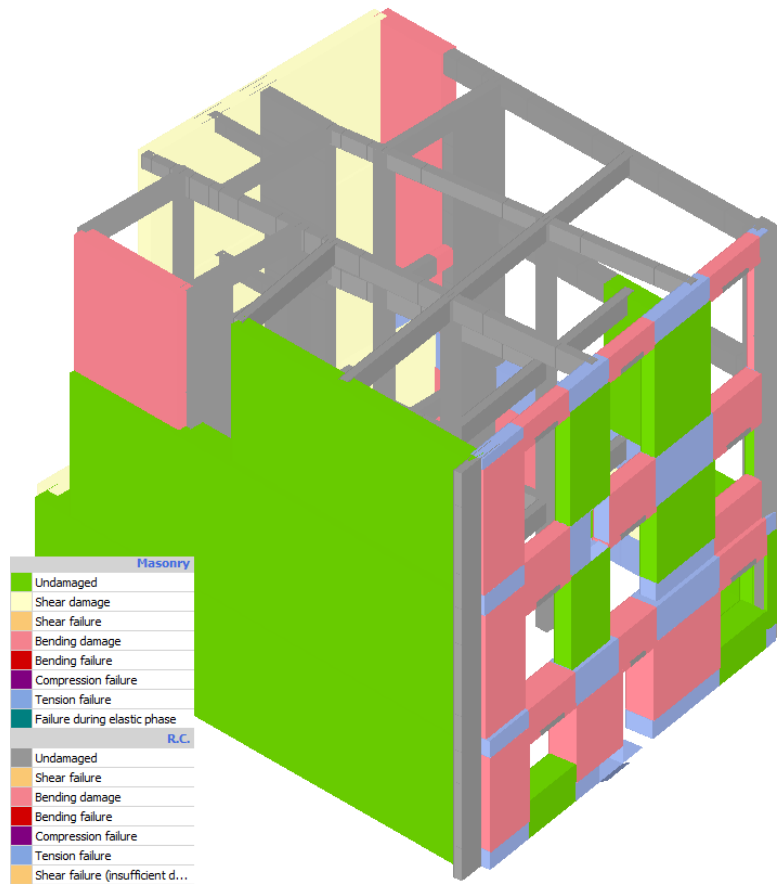
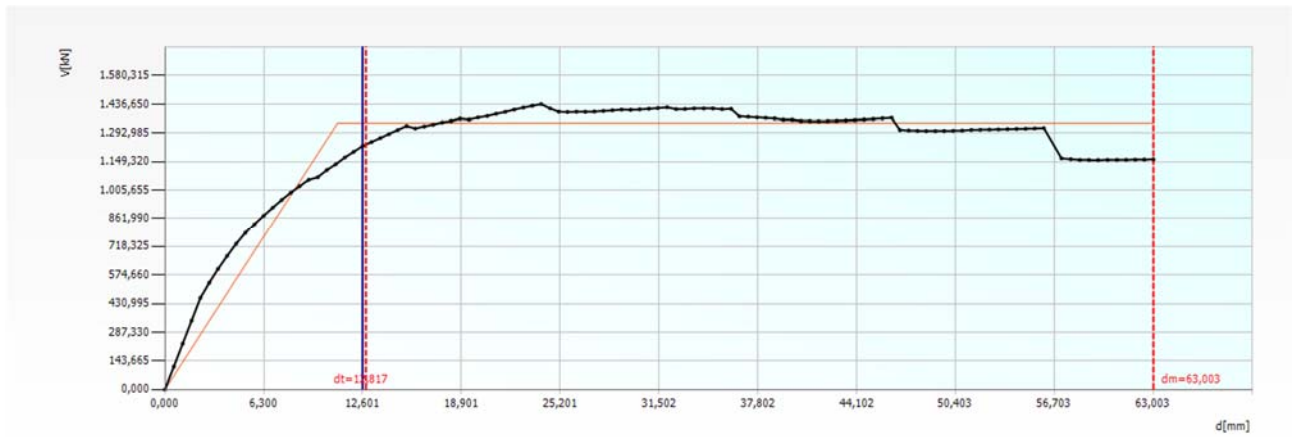
Ανάλυση Pushover No 21

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
21	-Y	Uniform	0,618	13,303	60,479	Yes	13,303	45,359	Yes



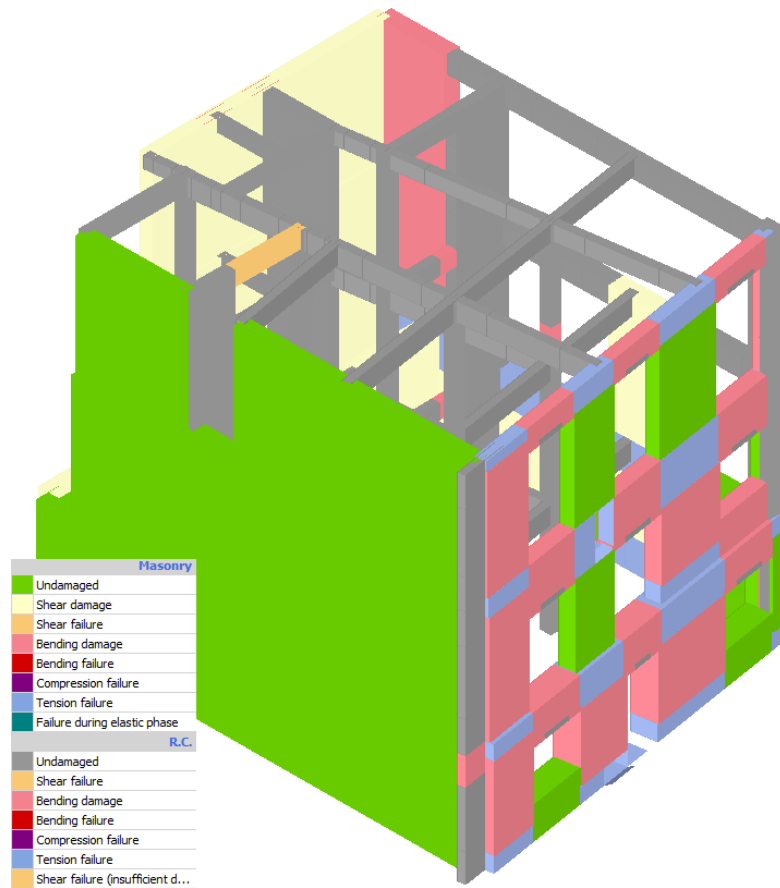
Ανάλυση Pushover No 22

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
22	-Y	Uniform	-0,618	12,817	63,003	Yes	12,817	47,252	Yes



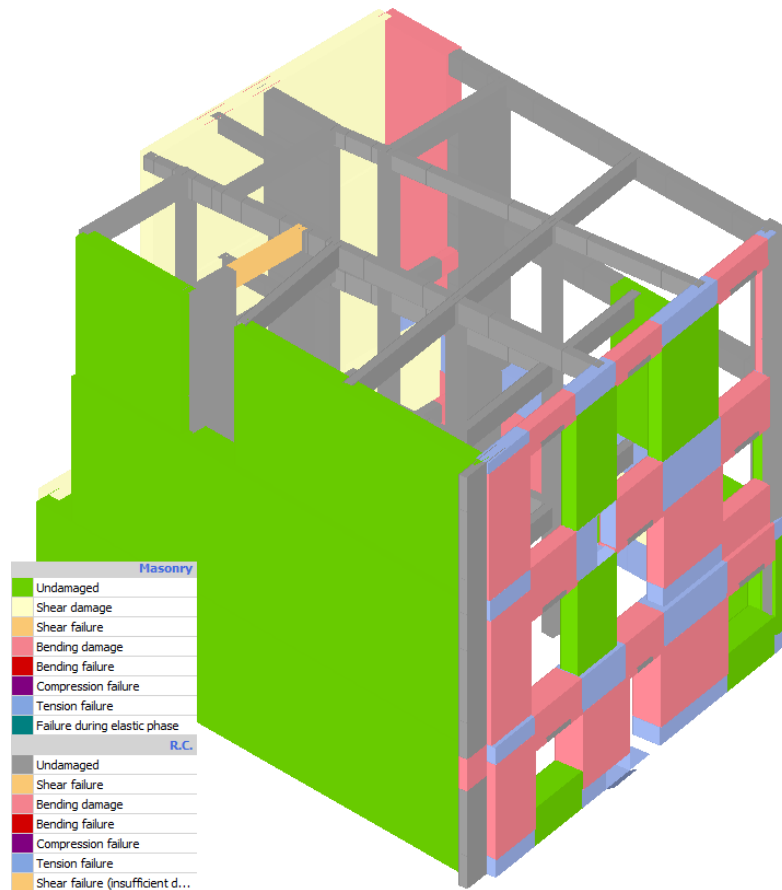
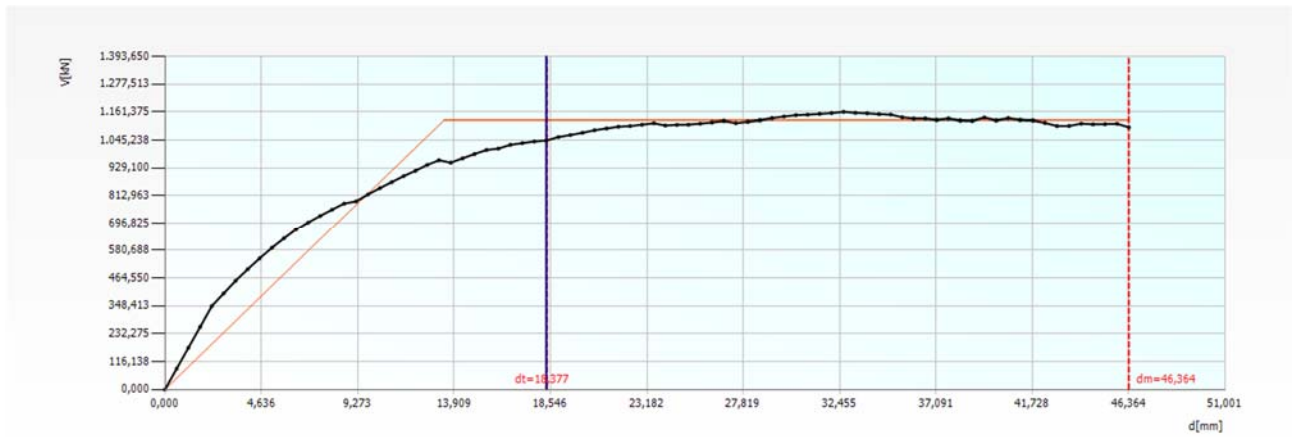
Ανάλυση Pushover No 23

No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
23	-Y	Static	0,618	18,379	78,804	Yes	18,379	59,103	Yes



Ανάλυση Pushover No 24

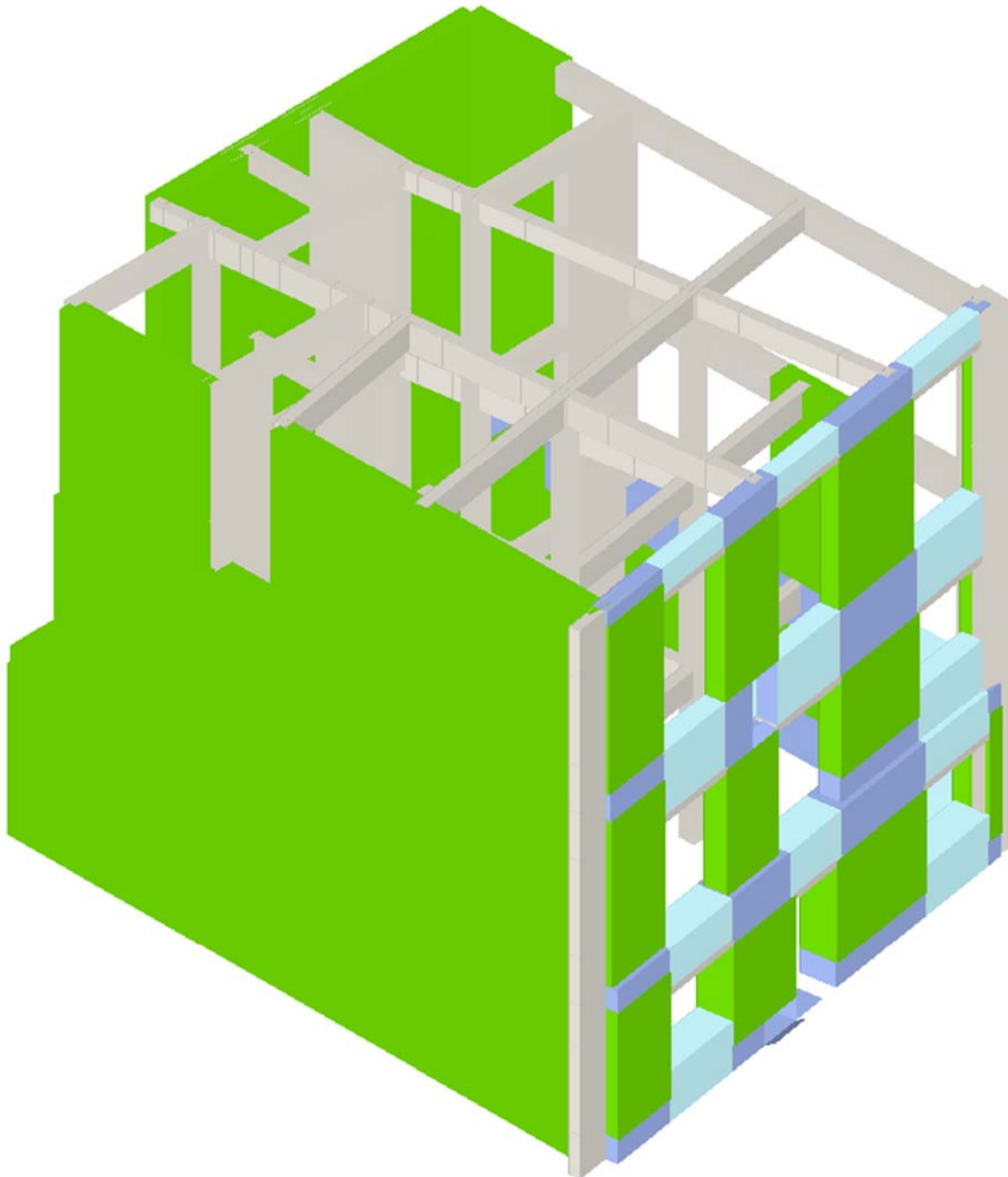
No.	Earthquake direction	Unif.pattern of lat.load	Ecc. [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	NC Ver.	dt SD [mm]	dm SD [mm]	SD Ver.
24	-Y	Static	-0,618	18,377	46,364	Yes	18,377	34,773	Yes



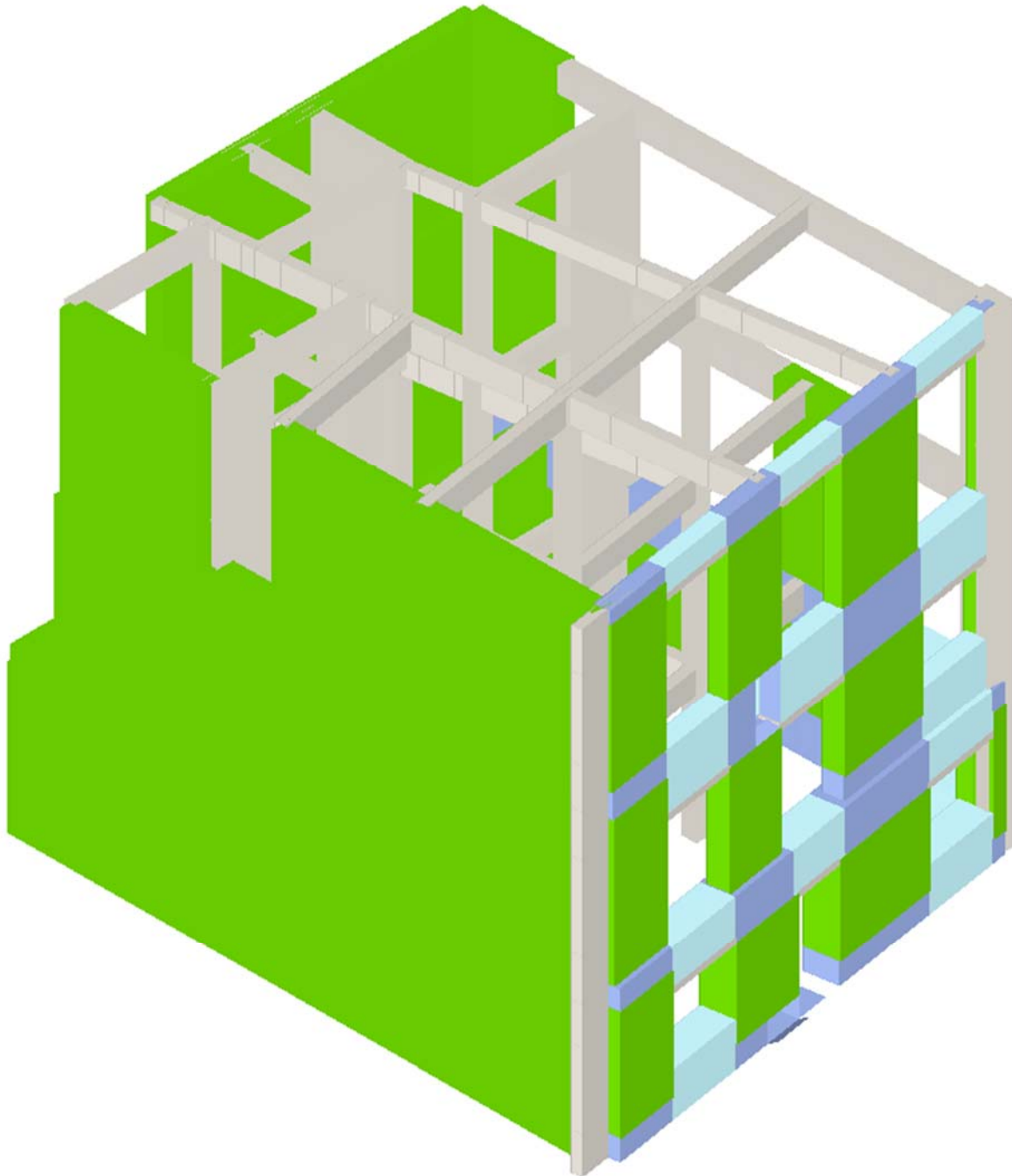
Πίνακας Συγκεντρωτικών Αποτελεσμάτων Υπερωθητικής Ανάλυσης (Push-over)

No.	Insert in report	Earthquake direction	Seismic load	Eccentricity [m]	dt NC [mm]	dm NC [mm]	dt SD [mm]	dm SD [mm]	α NC	α SD	dm/dt NC
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Uniform	0,000	9,078	35,083	9,078	26,312	3,025	2,398	3,865
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Static forces	0,000	13,713	40,412	13,713	30,309	2,588	2,000	2,947
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Uniform	0,000	6,456	24,657	6,456	18,492	2,653	2,131	3,819
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Static forces	0,000	9,130	30,585	9,130	22,938	2,558	2,012	3,350
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Uniform	0,000	13,270	48,792	13,270	36,594	3,150	2,412	3,677
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Static forces	0,000	17,854	58,251	17,854	43,688	3,106	2,347	3,263
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Uniform	0,000	12,987	57,200	12,987	42,900	3,725	2,844	4,404
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Static forces	0,000	18,203	70,366	18,203	52,775	3,698	2,788	3,866
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Uniform	0,490	8,525	30,210	8,525	22,658	2,759	2,201	3,544
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Uniform	-0,490	9,654	37,594	9,654	28,195	3,104	2,453	3,894
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Static forces	0,490	13,363	40,098	13,363	30,073	2,613	2,022	3,001
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Static forces	-0,490	13,615	38,864	13,615	29,148	2,507	1,940	2,854
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Uniform	0,490	6,795	25,552	6,795	19,164	2,633	2,105	3,760
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Uniform	-0,490	6,173	23,939	6,173	17,954	2,678	2,159	3,878
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Static forces	0,490	9,425	37,363	9,425	28,022	2,972	2,313	3,964
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Static forces	-0,490	9,088	30,004	9,088	22,503	2,545	2,009	3,301
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Uniform	0,618	13,158	44,989	13,158	33,742	2,941	2,255	3,419
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Uniform	-0,618	12,472	48,496	12,472	36,372	3,251	2,494	3,888
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Static forces	0,618	18,158	60,598	18,158	45,448	3,194	2,411	3,337
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Static forces	-0,618	17,343	56,095	17,343	42,071	3,054	2,311	3,234
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Uniform	0,618	13,303	60,479	13,303	45,359	3,895	2,967	4,546
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Uniform	-0,618	12,817	63,003	12,817	47,252	4,093	3,122	4,916
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Static forces	0,618	18,379	78,804	18,379	59,103	4,111	3,096	4,288
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Static forces	-0,618	18,377	46,364	18,377	34,773	2,432	1,839	2,523

Αξονομετρική Εικόνα Ελέγχου σε Τοπικό Εκτός Επιπέδου Μηχανισμό Αστοχίας



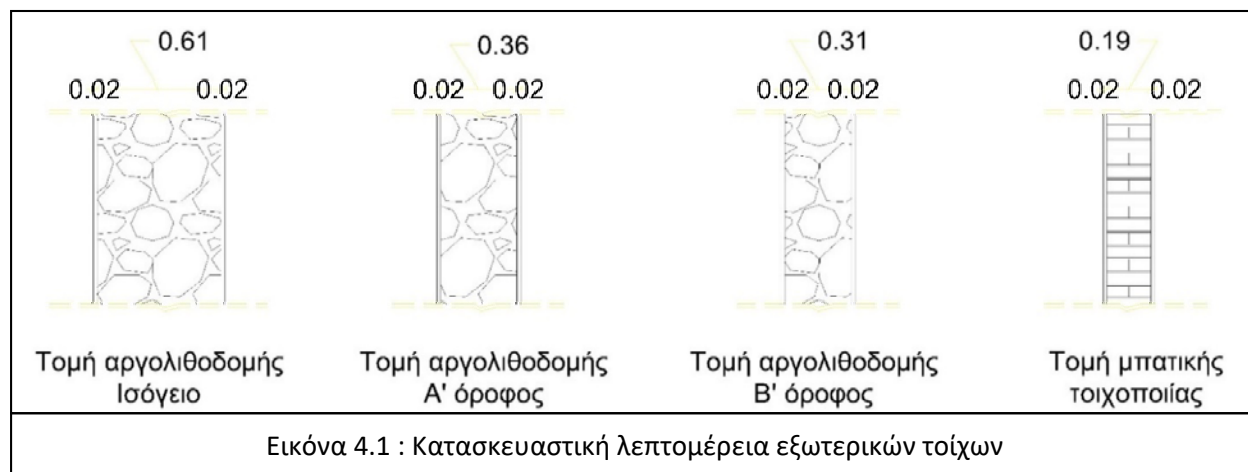
Αξονομετρική Εικόνα Ελέγχου σε Στατικά Κατακόρυφα Φορτία



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

4.1. Ανάλυση αδιαφανών στοιχείων

Στην παρούσα μελέτη θα αφιερωθούμε στην αποτίμηση και ενεργειακή αναβάθμιση των αδιαφανών και των διαφανών στοιχείων της οικοδομής. Το κτίσμα μας είναι του 1955 οπότε θα μελετηθεί χωρίς την ύπαρξη μονωτικών υλικών τόσο στα οριζόντια όσο και στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία. Οι εξωτερικοί τοίχοι του κτηρίου είναι πέτρινοι με επικάλυψη επιχρίσματος 2 εκ. εκατέρωθεν, στο ισόγειο έχουν πάχος 0,65εκ. στο Α' όροφο 0,40εκ. και στον Β' όροφο 0,35εκ. [Εικόνα 4.1], μικρό τμήμα των τοίχων της εσωτερικής αυλής αποτελείται από ωπλισμένο σκυρόδεμα (κολώνες, δοκοί) και μπατική τοιχοποιία σε όλα τα επίπεδα του κτίσματος με πάχος 0,23. Το δάπεδο του ισογείου καθώς και η οροφή του Β' ορόφου αποτελούνται από ωπλισμένο σκυρόδεμα με πάχος 0,15εκ., το δάπεδο του ισογείου εφάπτεται με το έδαφος και επικαλύπτεται με πλάκες μαρμάρου 1εκ.



Για να εντοπίσουμε τα σημεία όπου το κτήριο μας χρήζει βελτίωσης θα πρέπει να υπολογιστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων που έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και με το έδαφος. Ως εκ τούτου, στις πλευρές όπου το κτήριο μας συνορεύει με άλλες ιδιοκτησίες, της ίδιας χρήσης, θα θεωρήσουμε ότι οι απώλειες είναι σχεδόν μηδενικές και δεν χρειάζεται να μελετηθούν. Αφού υπολογιστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας για το κάθε υλικό, θα το συγκρίνουμε με τις απαραίτητες, ελάχιστες προδιαγραφές της κλιματικής ζώνης στην οποία ανήκουμε, δηλαδή στην Β'.

4.2. Θερμομονωτικές ιδιότητες αδιαφανών στοιχείων.

Σύμφωνα με το πάχος και το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του κάθε υλικού των δομικών στοιχείων θα βρεθεί ο συντελεστής θερμικής αντίστασης του κάθε υλικού [Πίνακας 4-1].

Πίνακας 4-1 Υπολογισμός Συντελεστών Θερμικής Αντίστασης $R=d/\lambda$				
A/A	Στοιχείο	d(m)	λ (W/mK)	R(m ² K/W)
1	Αργολιθοδομή	0.65	2.8	0.23
2	Αργολιθοδομή	0.4	2.8	0.14
3	Αργολιθοδομή	0.35	2.8	0.12
4	Υποστυλώματα	0.25	2.3	0.11
5	Δοκοί	0.2	2.3	0.087
6	Πλάκα	0.15	2.3	0.065
7	Τουβλο	0.19	0.64	0.29
8	Μαρμαρο-Πλακάκι	0.01	3.5	0.0028
9	Επίχρισμα	0.02	0.87	0.023
10	Τσιμεντοκονία	0.01	2.3	0.004

* λ συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας υλικών βάσει Πίνακα 1 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017 [4]

Αναλύοντας ξεχωριστά το κάθε δομικό στοιχείο, ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τις αντιστάσεις θερμικής μετάβασης επιφανειακού στρώματος αέρα, θα προκύψει ο συντελεστής θερμοπερατότητας ανά στοιχείο [Πίνακας 4-2].

Πίνακας 4-2 Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας ανά στοιχείο						
$\{U=1/R_i+(\Sigma(d/\lambda)+R_\delta+R_\alpha)\}$						
(R_i, R_a, R_δ αντιστάσεις θερμικής μετάβασης επιφανειακού στρώματος αέρα βάσει ISO 6946)						
A/A	Στοιχείο	R_i	$\Sigma*d/\lambda$	R_δ	R_α	U(W/M2K)
1	Αργολιθοδομή 0.65	0.13	0.23+0.023+0.023	0	0.04	2.24
2	Αργολιθοδομή 0.40	0.13	0.14+0.023+0.023	0	0.04	2.81
3	Αργολιθοδομή 0.35	0.13	0.12+0.023+0.023	0	0.04	2.97
4	Υποστυλώματα	0.13	0.11+0.023+0.023	0	0.04	3.06
5	Δοκοί	0.13	0.087+0.023+0.023	0	0.04	3.3
6	Πλάκα δαπέδου	0.17	0.065+0.004+0.0028	0	0	4.13
7	Πλάκα οροφής	0.17	0.065+0.023+0.004	0	0.04	3.31
8	Τοίχοι πλήρωσης (τούβλο)	0.13	0.29+0.023+0.023	0	0.04	1.97

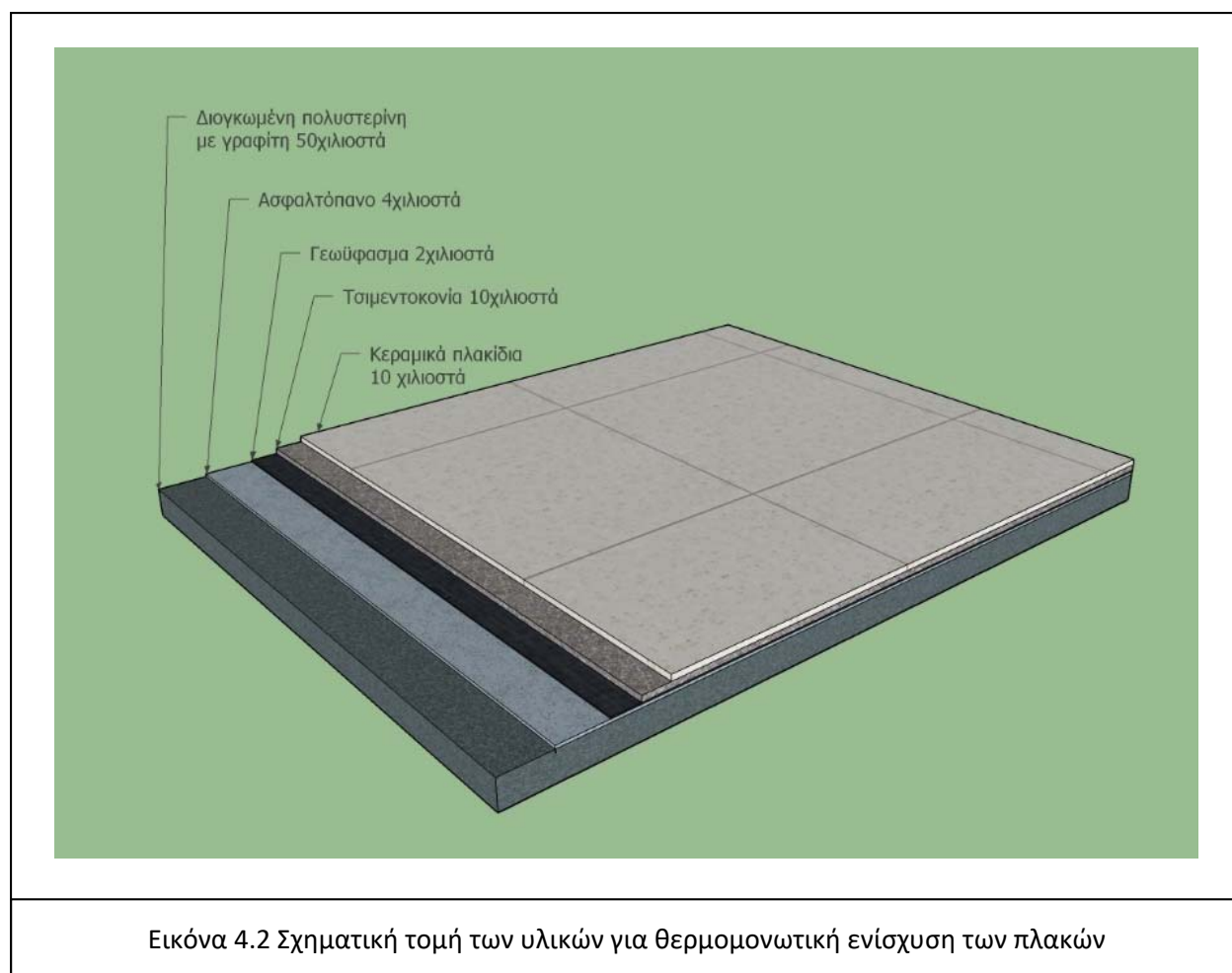
Σύμφωνα με την ανάλυση των δομικών στοιχείων του κτηρίου , κατασκευής του 1955 , προκύπτει ότι οι συντελεστής θερμοπερατότητας των κατακόρυφων στοιχείων κυμαίνονται από 1,97 (W/M2K) έως 3,06 (W/M2K) και για τα οριζόντια στοιχεία του κτίσματος 3,30 (W/M2K) έως 4,13 (W/M2K) . Βάσει του πίνακα 3.3 α. της ΤΟΤΕΕ το κτήριο μας θα χρειαστεί ενίσχυση θερμομόνωσης τόσο στα κατακόρυφα, όσο και στα οριζόντια δομικά στοιχεία για να πληροί τις απαιτήσεις της κλιματικής ζώνης Β' και του συνόλου του κανονισμού.

Πίνακας 3.3.α (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010) [6]					
Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² .K)]			
		Κλιματική ζώνη			
		A	B	Γ	Δ
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές).	U _{V,D}	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.	U _{V,W}	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή).	U _{V,DL}	0,50	0,45	0,40	0,35
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{V,G}	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{V,WE}	1,50	1,00	0,80	0,70

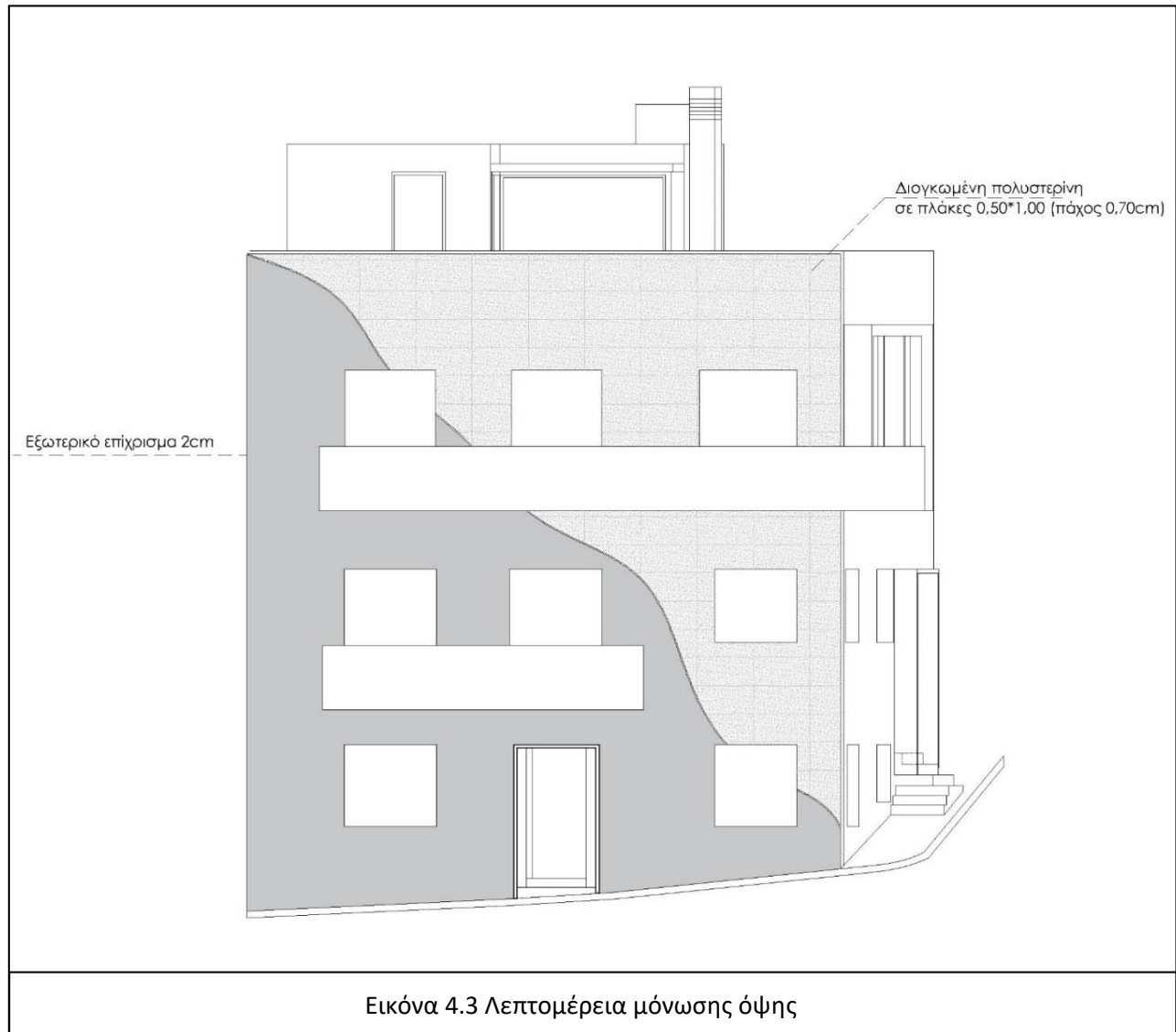
4.3. Πρόταση ενεργειακής αναβάθμισης αδιαφανών στοιχείων

Τα δομικά στοιχεία κάθε κτηρίου συμπεριφέροντα διαφορετικά, ανάλογα το είδος, το πάχος και την διεύθυνση για τον λόγο αυτό θα χωρίσουμε τα στοιχεία σε 2 βασικές κατηγορίες. Τα κατακόρυφα στοιχεία (τοίχοι, υποστυλώματα, δοκοί) και τα οριζόντια στοιχεία όπως είναι η πλάκα οροφής και η πλάκα δαπέδου. Για τα κατακόρυφα στοιχεία θα υπολογίσουμε το δυσμενέστερο $U=3.30$ (W/M^2K) των δοκών ενώ στις πλάκες το $U= 3.31$ (W/M^2K) της πλάκας οροφής που βρίσκεται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα και υπάρχει μεγαλύτερη απαίτηση σε σχέση με την πλάκα εδάφους.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας της πλάκας οροφής προέκυψε από τους υπολογισμούς $3,31$ (W/M^2K) λόγω μη ύπαρξης μόνωσης. Για να την ενισχύσουμε θα προσθέσουμε διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη σε πλάκες (πάχους 70 χιλ.), ασφαλτικά φύλλα (ασφαλτόπανο 4χιλ.) , γεωϋφασμα (2 χιλ.), τσιμεντοκονία (10 χιλ.) και επικάλυψη με κεραμικά πλακίδια (10χιλ.).



Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των στοιχείων ωπλισμένου σκυροδέματος είναι 3,30 (W/M²K) για τις δοκούς και 3,06 (W/M²K) για τα υποστυλώματα. Οι αργολιθοδομές κυμαίνονται από 2,24(W/M²K) έως 2,97(W/M²K) ανάλογα το πάχος τους. Υπολογίζοντας το δυσμενέστερο συντελεστή θα προσθέσουμε εξωτερική μόνωση, τοποθετώντας διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη σε πλάκες (πάχους 70χιλ.) και εξωτερικό επίχρισμα (πάχους 20χιλ.).



Πίνακας 4-3: Υπολογισμός Συντελεστών Θερμικής Αντίστασης $R=d/\lambda$				
A/A	Στοιχείο	d(m)	λ (W/mK)	R(m ² K/W)
1	Διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη, σε πλάκες	0.07	0.03	2.33
2	Διογκωμένη πολυστερίνη με γραφίτη, σε πλάκες	0.05	0.03	1.66
3	Ασφαλτικά φύλλα	0.004	0.23	0.017
4	Γεωϋφασμα	0.002	0.04	0.11
5	Τσιμεντοκονία	0.01	2.3	0.004
6	Κεραμικά πλακίδια	0.01	1.84	0.0054
7	Εξωτερικό επίχρισμα	0.02	0.87	0.023
* λ συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας υλικών βάσει Πίνακα 1 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017 [4]				

Πίνακας 4-4: Υπολογισμός συντελεστών θερμοπερατότητας ανά στοιχείο { $U=1/R_i+(\Sigma(d/\lambda)+R_\delta+R_\alpha)$ }						
A/A	Στοιχείο	R _i	$\Sigma*d/\lambda$	R _δ	R _α	U(W/M ² K)
1	Αργολιθοδομή 0.65	0.13	0.23+0.023+0.023+2.33+0.023	0	0.04	0.37
2	Αργολιθοδομή 0.40	0.13	0.14+0.023+0.023+2.33+0.023	0	0.04	0.38
3	Αργολιθοδομή 0.35	0.13	0.12+0.023+0.023+2.33+0.023	0	0.04	0.39
4	Υποστυλώματα	0.13	0.11+0.023+0.023+2.33+0.023	0	0.04	0.38
5	Δοκοί	0.13	0.087+0.023+0.023+2.33+0.023	0	0.04	0.39
6	Πλάκα δαπέδου	0.17	0.065+0.004+1.66+0.0054	0	0	0.52
7	Πλάκα οροφής	0.17	0.065+0.023+0.004+2.33+0.017+0.11+0.004+0.0054	0	0.04	0.36
8	Τοίχοι πλήρωσης (τούβλο)	0.13	0.29+0.023+0.023+2.33+0.023	0	0.04	0.35

Με τις προτεινόμενες επεμβάσεις [Εικόνα 4.2] και [Εικόνα 4.3] τα δομικά στοιχεία θα αναβαθμιστούν ενεργειακά [Πίνακας 4-3] και [Πίνακας 4-4] και θα πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις του κανονισμού [Πίνακας 4-5] .

Πίνακας 4-5: Σύγκριση συντελεστών θερμοπερατότητας

Δομικό στοιχείο	Σύμβολο	Συντελεστής θερμοπερατότητας [W/(m ² .K)]	
		Κλιματική ζώνη	Υφιστάμενο Κτίριο μετά την αναβάθμιση
		B	
Εξωτερική οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφές).	U _{V,D}	0,45	> 0,36
Εξωτερικοί τοίχοι σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα.	U _{V,W}	0,50	>0,35-0,39
Δάπεδα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πυλωτή).	U _{V,DL}	0,45	~
Δάπεδα σε επαφή με το έδαφος ή με κλειστούς μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{V,G}	0,90	> 0,52
Τοίχοι σε επαφή με το έδαφος ή με μη θερμαινόμενους χώρους.	U _{V,WE}	1,00	~
Ανοίγματα (παράθυρα, μπαλκονόπορτες κ.ά.)	U _{V,F}	3,00	>1,92-2,66

4.4. Ανάλυση διαφανών στοιχείων

Στο κτήριο μας είναι τοποθετημένα ξύλινα κουφώματα με μονά τζάμια τα οποία θα αντικατασταθούν με αλουμινένια θερμοδιακοπτόμενα κουφώματα και ενεργειακά τζάμια τα οποία θα ελεγχθούν ότι πληρούν τις απαιτήσεις κατά Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 [6] για την κλιματική ζώνη Β'.

Χαρακτηριστικά νέων κουφωμάτων

Τύπος πλαισίου: Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή
24mm, $U_f=2.80\text{W/m}^2\text{K}$ (Πίνακας 3.10 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1)[6]

Τύπος υαλοπίνακα: Δίδυμος υαλοπίνακας με διάκενο 12mm αέρα και με επίστρωση μεμβράνης χαμηλής εκπεμπικότητας ($\epsilon=0,10$), $U_g = 1,80\text{ W/m}^2\text{K}$
(Πίνακας 3.9 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1)[6]

Ψ_g : $0,11\text{ W/m}^2\text{K}$ Μεταλλικό πλαίσιο με θερμοδιακοπή 24mm
με επίστρωση χαμηλής εκπομπής (Πίνακας 3.11 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1)[6]

Υπολογισμός θερμοπερατότητας κουφωμάτων

Η θερμότητα μεταδίδεται από ένα κούφωμα μέσω του συντελεστή θερμοπερατότητας διαφανών επιφανειών U_w που ορίζεται από τη σχέση.

$$U_w = \{(A_f * U_f) + (A_g * U_g) + (l_g * \Psi_g)\} / A_w$$

Όπου:

A_f = επιφάνεια του πλαισίου του κουφώματος

U_f = συντελεστής θερμοπερατότητας του κουφώματος

A_g = επιφάνεια του υαλοπίνακα

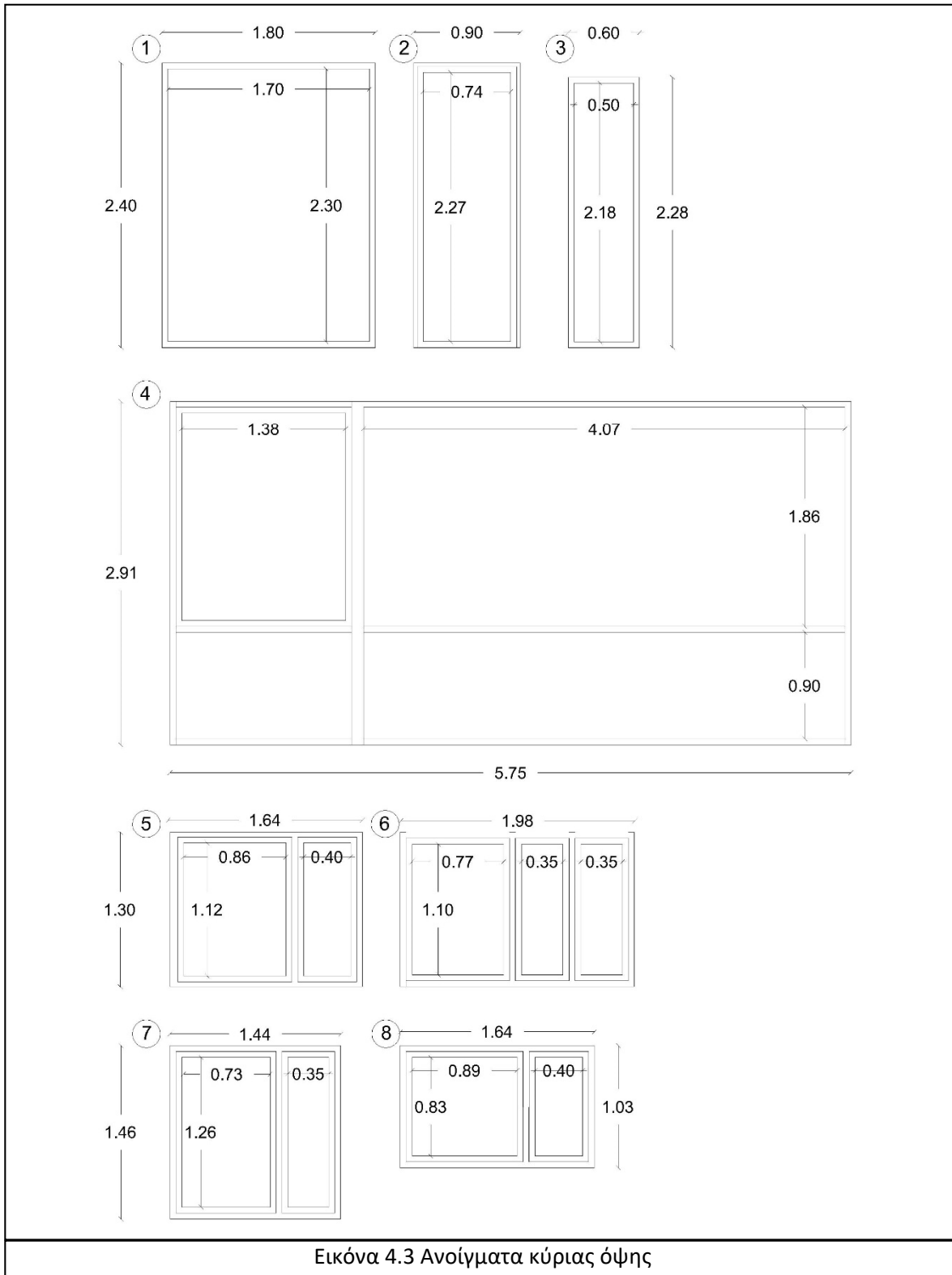
U_g = συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα

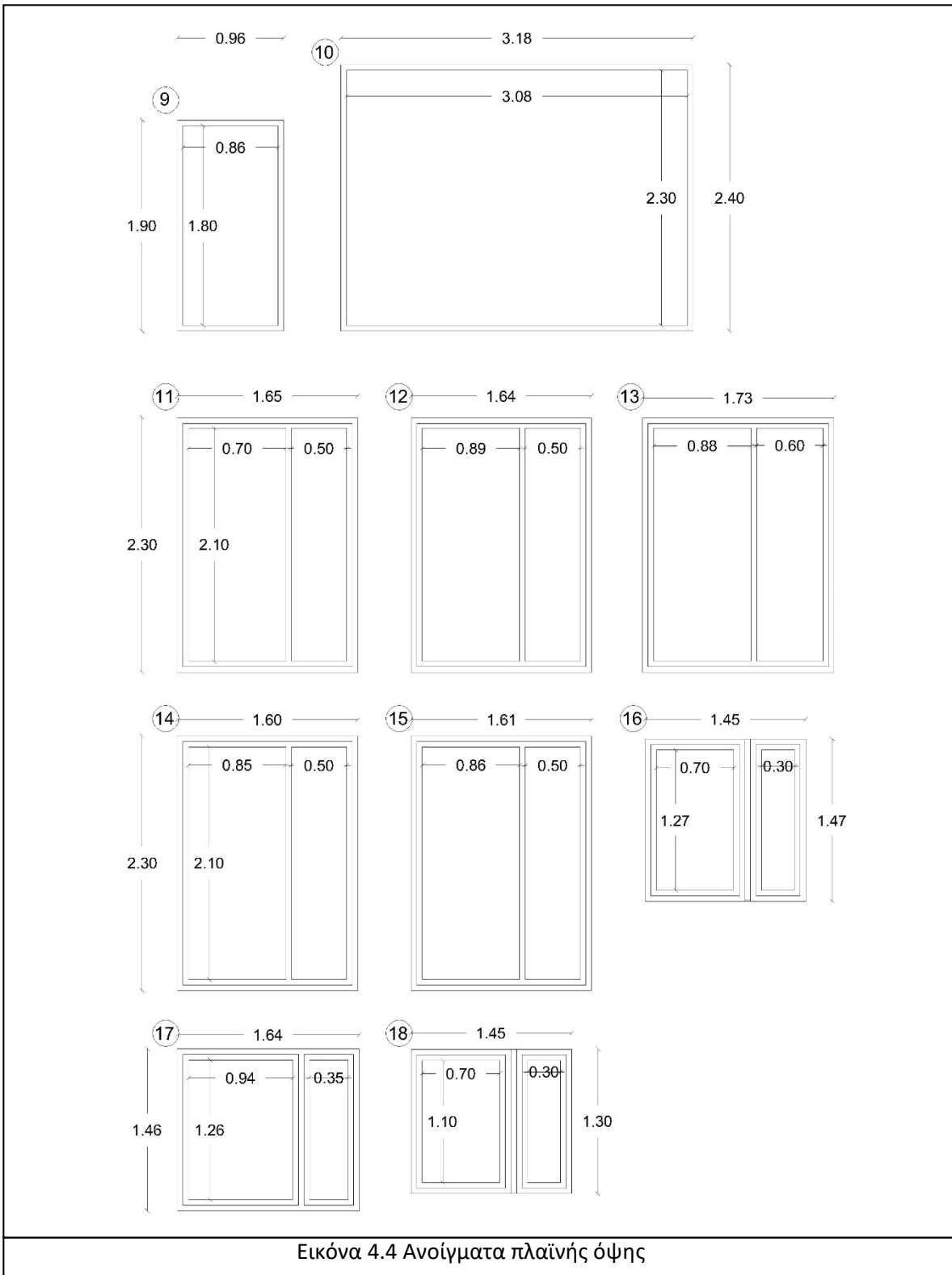
l_g = το μήκος θερμογέφυρας του υαλοπίνακα

Ψ_g = συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα κατά μήκος της συναρμογής της υάλωσης με το πλαίσιο

A_w = συνολική επιφάνεια κουφώματος

Υπολογισμός εμβαδών πλαισίων και υαλοπινάκων





Εικόνα 4.4 Ανοίγματα πλαινής όψης

4.5. Θερμομονωτικές ιδιότητες διαφανών στοιχείων

Υπολογισμός Af

$$A_{f-1} = \{(1.80 \cdot 2.40) - (1.70 \cdot 2.30)\} = 4.32 - 3.91 = 0.41 \text{m}^2$$

$$A_{f-2} = \{(0.90 \cdot 2.40) - (0.74 \cdot 2.27)\} = 2.16 - 1.68 = 0.48 \text{m}^2$$

$$A_{f-3} = \{(0.60 \cdot 2.28) - (0.50 \cdot 2.18)\} = 1.37 - 1.09 = 0.28 \text{m}^2$$

$$A_{f-4} = \{(2.91 \cdot 5.75) - (1.38 \cdot 1.86) - (4.07 \cdot 1.86) - (4.07 \cdot 0.90) - (1.48 \cdot 0.90)\} = \\ = 16.73 - 2.56 - 2.21 - 3.66 - 1.33 = 3.91 \text{m}^2$$

$$A_{f-5} = \{(1.64 \cdot 1.30) - (0.86 \cdot 1.12) - (0.40 \cdot 1.12)\} = 2.13 - 0.96 - 0.45 = 0.72 \text{m}^2$$

$$A_{f-6} = \{(1.98 \cdot 1.30) - (0.77 \cdot 1.10) - (0.35 \cdot 1.10) - (0.35 \cdot 1.10)\} = 2.57 - 0.85 - 0.38 - 0.38 = 0.96 \text{m}^2$$

$$A_{f-7} = \{(1.44 \cdot 1.46) - (0.73 \cdot 1.26) - (0.35 \cdot 1.26)\} = 2.10 - 0.92 - 0.44 = 0.74 \text{m}^2$$

$$A_{f-8} = \{(1.64 \cdot 1.03) - (0.83 \cdot 0.89) - (0.40 \cdot 0.83)\} = 1.69 - 0.74 - 0.33 = 0.62 \text{m}^2$$

$$A_{f-9} = \{(0.96 \cdot 1.90) - (0.86 \cdot 1.80)\} = 1.82 - 1.55 = 0.27 \text{m}^2$$

$$A_{f-10} = \{(3.18 \cdot 2.40) - (3.08 \cdot 2.30)\} = 7.63 - 7.08 = 0.55 \text{m}^2$$

$$A_{f-11} = \{(1.65 \cdot 2.30) - (0.70 \cdot 2.10) - (0.50 \cdot 2.10)\} = 3.79 - 1.47 - 1.05 = 1.27 \text{m}^2$$

$$A_{f-12} = \{(1.64 \cdot 2.30) - (0.89 \cdot 2.10) - (0.50 \cdot 2.10)\} = 3.77 - 1.87 - 1.05 = 0.85 \text{m}^2$$

$$A_{f-13} = \{(1.73 \cdot 2.30) - (0.88 \cdot 2.10) - (0.60 \cdot 2.10)\} = 3.98 - 1.85 - 1.26 = 0.87 \text{m}^2$$

$$A_{f-14} = \{(1.60 \cdot 2.30) - (0.85 \cdot 2.10) - (0.50 \cdot 2.10)\} = 3.68 - 1.79 - 1.05 = 0.84 \text{m}^2$$

$$A_{f-15} = \{(1.61 \cdot 2.30) - (0.86 \cdot 2.10) - (0.50 \cdot 2.10)\} = 3.70 - 1.81 - 1.05 = 0.84 \text{m}^2$$

$$A_{f-16} = \{(1.45 \cdot 1.47) - (0.70 \cdot 1.27) - (0.30 \cdot 1.27)\} = 2.13 - 0.89 - 0.38 = 0.86 \text{m}^2$$

$$A_{f-17} = \{(1.64 \cdot 1.46) - (0.94 \cdot 1.26) - (0.35 \cdot 1.26)\} = 2.39 - 1.18 - 0.44 = 0.77 \text{m}^2$$

$$A_{f-18} = \{(1.45 \cdot 1.30) - (0.70 \cdot 1.10) - (0.30 \cdot 1.10)\} = 1.88 - 0.77 - 0.33 = 0.78 \text{m}^2$$

Υπολογισμός Ag

$$A_{g-1} = (1.70 \cdot 2.30) = 3.91 \text{m}^2$$

$$A_{g-2} = (0.74 \cdot 2.27) = 1.68 \text{m}^2$$

$$A_{g-3} = (0.50 \cdot 2.18) = 1.09 \text{m}^2$$

$$A_{g-4} = (1.38 \cdot 1.86) + (4.07 \cdot 1.86) + (4.07 \cdot 0.90) + (1.48 \cdot 0.90) = 2.56 + 2.21 + 3.66 + 1.33 = 9.76 \text{m}^2$$

$$A_{g-5} = (0.86 \cdot 1.12) + (0.40 \cdot 1.12) = 0.96 + 0.45 = 1.41 \text{m}^2$$

$$A_{g-6} = (0.77 \cdot 1.10) + (0.35 \cdot 1.10) + (0.35 \cdot 1.10) = 0.85 + 0.38 + 0.38 = 1.61 \text{m}^2$$

$$A_{g-7} = (0.73 \cdot 1.26) + (0.35 \cdot 1.26) = 0.92 + 0.44 = 1.36 \text{m}^2$$

$$A_{g-8} = (0.83 \cdot 0.89) + (0.40 \cdot 0.83) = 0.74 + 0.33 = 1.07 \text{m}^2$$

$$A_{g-9} = (0.86 \cdot 1.80) = 1.55 \text{m}^2$$

$$A_{g-10} = (3.08 \cdot 2.30) = 7.08 \text{m}^2$$

$$A_{g-11} = (0.70 \cdot 2.10) + (0.50 \cdot 2.10) = 1.47 + 1.05 = 2.52 \text{m}^2$$

$$A_{g-12} = (0.89 \cdot 2.10) + (0.50 \cdot 2.10) = 1.87 + 1.05 = 2.92 \text{m}^2$$

$$A_{g-13} = (0.88 \cdot 2.10) + (0.60 \cdot 2.10) = 1.85 + 1.26 = 3.11 \text{m}^2$$

$$A_{g-14} = (0.85 \cdot 2.10) + (0.50 \cdot 2.10) = 1.79 + 1.05 = 2.84 \text{m}^2$$

$$A_{g-15} = (0.86 \cdot 2.10) + (0.50 \cdot 2.10) = 1.81 + 1.05 = 2.86 \text{m}^2$$

$$A_{g-16} = (0.70 \cdot 1.27) + (0.30 \cdot 1.27) = 0.89 + 0.38 = 1.27 \text{m}^2$$

$$A_{g-17} = (0.94 \cdot 1.26) + (0.35 \cdot 1.26) = 1.18 + 0.44 = 1.62 \text{m}^2$$

$$A_{g-18} = (0.70 \cdot 1.10) + (0.30 \cdot 1.10) = 0.77 + 0.33 = 1.10 \text{m}^2$$

Υπολογισμός I_g

$$I_{g-1} = \{(1.70+2.30)*2\} = 8.00\text{m}$$

$$I_{g-2} = \{(0.74+2.27)*2\} = 6.02\text{m}$$

$$I_{g-3} = \{(0.50+2.18)*2\} = 5.36\text{m}$$

$$I_{g-4} = \{(1.38+1.86)+(4.07+1.86)+(4.07+0.90)+(1.48+0.90)\}*2 = 33.04\text{m}$$

$$I_{g-5} = \{(0.86+1.12)+(0.40+1.12)\}*2 = 9.00\text{m}$$

$$I_{g-6} = \{(0.77+1.10)+(0.35+1.10)+(0.35*1.10)\}*2 = 11.54\text{m}$$

$$I_{g-7} = \{(0.73+1.26)+(0.35+1.26)\}*2 = 7.20\text{m}$$

$$I_{g-8} = \{(0.83+0.89)+(0.40+0.83)\}*2 = 5.90\text{m}$$

$$I_{g-9} = \{(0.86+1.80)*2\} = 5.32\text{m}$$

$$I_{g-10} = \{(3.08+2.30)*2\} = 10.76\text{m}$$

$$I_{g-11} = \{(0.70+2.10)+(0.50+2.10)\}*2 = 10.80\text{m}$$

$$I_{g-12} = \{(0.89+2.10)+(0.50+2.10)\}*2 = 11.18\text{m}$$

$$I_{g-13} = \{(0.88+2.10)+(0.60+2.10)\}*2 = 11.36\text{m}$$

$$I_{g-14} = \{(0.85+2.10)+(0.50+2.10)\}*2 = 11.10\text{m}$$

$$I_{g-15} = \{(0.86+2.10)+(0.50+2.10)\}*2 = 11.12\text{m}$$

$$I_{g-16} = \{(0.70+1.27)+(0.30+1.27)\}*2 = 7.08\text{m}$$

$$I_{g-17} = \{(0.94+1.26)+(0.35+1.26)\}*2 = 7.62\text{m}$$

$$I_{g-18} = \{(0.70+1.10)+(0.30+1.10)\}*2 = 6.40\text{m}$$

Υπολογισμός A_w

$$A_{w-1} = (1.80*2.40) = 4.32\text{m}^2$$

$$A_{w-2} = (0.90*2.40) = 2.16\text{m}^2$$

$$A_{w-3} = (0.60*2.28) = 1.37\text{m}^2$$

$$A_{w-4} = (2.91*5.75) = 16.73\text{m}^2$$

$$A_{w-5} = (1.64*1.30) = 2.13\text{m}^2$$

$$A_{w-6} = (1.98*1.30) = 2.57\text{m}^2$$

$$A_{w-7} = (1.44*1.46) = 2.10\text{m}^2$$

$$A_{w-8} = (1.64*1.03) = 1.69\text{m}^2$$

$$A_{w-9} = (0.96*1.90) = 1.82\text{m}^2$$

$$A_{w-10} = (3.18*2.40) = 7.63\text{m}^2$$

$$A_{w-11} = (1.65*2.30) = 3.79\text{m}^2$$

$$A_{w-12} = (1.64*2.30) = 3.77\text{m}^2$$

$$A_{w-13} = (1.73*2.30) = 3.98\text{m}^2$$

$$A_{w-14} = (1.60*2.30) = 3.68\text{m}^2$$

$$A_{w-15} = (1.61*2.30) = 3.70\text{m}^2$$

$$A_{w-16} = (1.45*1.47) = 2.13\text{m}^2$$

$$A_{w-17} = (1.64*1.46) = 2.39\text{m}^2$$

$$A_{w-18} = (1.45*1.30) = 1.88\text{m}^2$$

Υπολογισμός U_w

$$U_w = \{(A_f \cdot U_f) + (A_g \cdot U_g) + (I_g \cdot \Psi_g)\} / A_w$$

$$U_{w-1} = (0.41 \cdot 2.80) + (3.91 \cdot 1.80) + (8.00 \cdot 0.11) / 4.32 = 1.15 + 7.04 + 0.88 / 4.32 = \mathbf{2.10 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-2} = (0.48 \cdot 2.80) + (1.68 \cdot 1.80) + (6.02 \cdot 0.11) / 2.16 = 1.34 + 3.02 + 0.66 / 2.16 = \mathbf{2.32 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-3} = (0.28 \cdot 2.80) + (1.09 \cdot 1.80) + (5.36 \cdot 0.11) / 1.37 = 0.78 + 1.96 + 0.59 / 1.37 = \mathbf{2.43 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-4} = (3.91 \cdot 2.80) + (9.76 \cdot 1.80) + (33.04 \cdot 0.11) / 16.73 = 10.95 + 17.57 + 3.63 / 16.73 = \mathbf{1.92 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-5} = (0.72 \cdot 2.80) + (1.41 \cdot 1.80) + (9.00 \cdot 0.11) / 2.13 = 2.02 + 2.54 + 0.99 / 2.13 = \mathbf{2.60 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-6} = (0.96 \cdot 2.80) + (1.61 \cdot 1.80) + (11.54 \cdot 0.11) / 2.57 = 2.69 + 2.89 + 1.26 / 2.57 = \mathbf{2.66 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-7} = (0.74 \cdot 2.80) + (1.36 \cdot 1.80) + (7.20 \cdot 0.11) / 2.10 = 2.07 + 2.45 + 0.79 / 2.10 = \mathbf{2.53 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-8} = (0.62 \cdot 2.80) + (1.07 \cdot 1.80) + (5.90 \cdot 0.11) / 1.69 = 1.74 + 1.93 + 0.65 / 1.69 = \mathbf{2.56 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-9} = (0.27 \cdot 2.80) + (1.55 \cdot 1.80) + (5.32 \cdot 0.11) / 1.82 = 0.76 + 2.79 + 0.58 / 1.82 = \mathbf{2.27 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-10} = (0.55 \cdot 2.80) + (7.08 \cdot 1.80) + (10.76 \cdot 0.11) / 7.63 = 1.54 + 12.74 + 1.18 / 7.63 = \mathbf{2.03 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-11} = (1.27 \cdot 2.80) + (2.52 \cdot 1.80) + (10.80 \cdot 0.11) / 3.79 = 3.55 + 4.54 + 1.18 / 3.79 = \mathbf{2.45 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-12} = (0.85 \cdot 2.80) + (2.92 \cdot 1.80) + (11.18 \cdot 0.11) / 3.77 = 2.38 + 5.25 + 1.22 / 3.77 = \mathbf{2.35 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-13} = (0.87 \cdot 2.80) + (3.11 \cdot 1.80) + (11.36 \cdot 0.11) / 3.98 = 2.44 + 5.60 + 1.25 / 3.98 = \mathbf{2.33 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-14} = (0.84 \cdot 2.80) + (2.84 \cdot 1.80) + (11.10 \cdot 0.11) / 3.68 = 2.35 + 5.11 + 1.22 / 3.68 = \mathbf{2.36 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-15} = (0.84 \cdot 2.80) + (2.86 \cdot 1.80) + (11.12 \cdot 0.11) / 3.70 = 2.35 + 5.15 + 1.22 / 3.70 = \mathbf{2.35 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-16} = (0.86 \cdot 2.80) + (1.27 \cdot 1.80) + (7.08 \cdot 0.11) / 2.13 = 2.41 + 2.28 + 0.78 / 2.13 = \mathbf{2.57 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-17} = (0.77 \cdot 2.80) + (1.62 \cdot 1.80) + (7.62 \cdot 0.11) / 2.39 = 2.15 + 2.92 + 0.84 / 2.39 = \mathbf{2.47 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_{w-18} = (0.78 \cdot 2.80) + (1.10 \cdot 1.80) + (6.40 \cdot 0.11) / 1.88 = 2.18 + 1.98 + 0.71 / 1.88 = \mathbf{2.59 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Μετά τον έλεγχο των προτεινόμενων κουφωμάτων προκύπτει ότι όλα τα κουφώματα πληρούν τις προϋποθέσεις αφού έχουν $U_w < 3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Σύμφωνα με τις ενεργειακές αναβαθμίσεις των αδιαφανών και διαφανών στοιχείων που προτάθηκαν και ελέγχθηκαν στον παρόν κεφάλαιο, ο ενεργειακός στόχος επετεύχθη και το κτήριο κατατάσσεται στην κατηγορία Β' ως προς τα κτιριολογικά του στοιχεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δ. Σοτοβίκης, "Αρχιτεκτονική μελέτη Τριώροφης κατοικίας", Αθήνα, 2019
- [2] ΚΑΝ.ΕΠΕ. Κανονισμός Επεμβάσεων, 2η Αναθεώρηση , Αθήνα, 2017
- [3] CEN - European Committee for Standardization, "EN 1998-3:20xx - Design of Structures for Earthquake Resistance Part 3: Assessment and retrofitting of buildings and bridges," The European Union, Brussels, 2017
- [4] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2017 , "Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων", Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017
- [5] S. Lagomarsino, A. Penna, A. Galasco & S. Cattari, "TREMURI program : An equivalent frame model for the nonlinear seismic analysis of masonry buildings," Engineering Structures, pp. 1787-1799, 02 August 2013
- [6] Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010 , "ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΕΘΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ", ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ, Β' ΕΚΔΟΣΗ, Αθήνα, Απρίλιος 2012.
- [7] S.T.A. DATA TEORIA IN PRATICA, 3muri User manual Version 11.4.0, Torino, Italy: S.T.A. DATA srl, 2018.