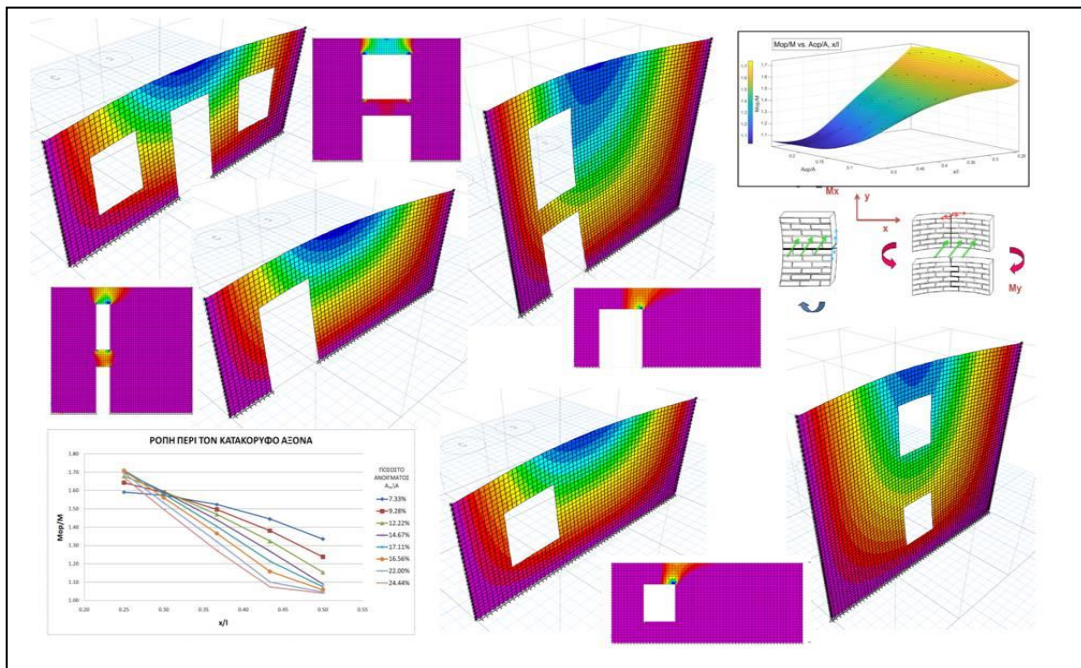


Διπλωματική Εργασία

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΤΟΣ  
ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΣΤΟΧΙΑ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ



Φοιτητής: Ζαμπογιάννης Αντώνιος  
ΑΜ: 19394254

Επιβλέπων Καθηγητής

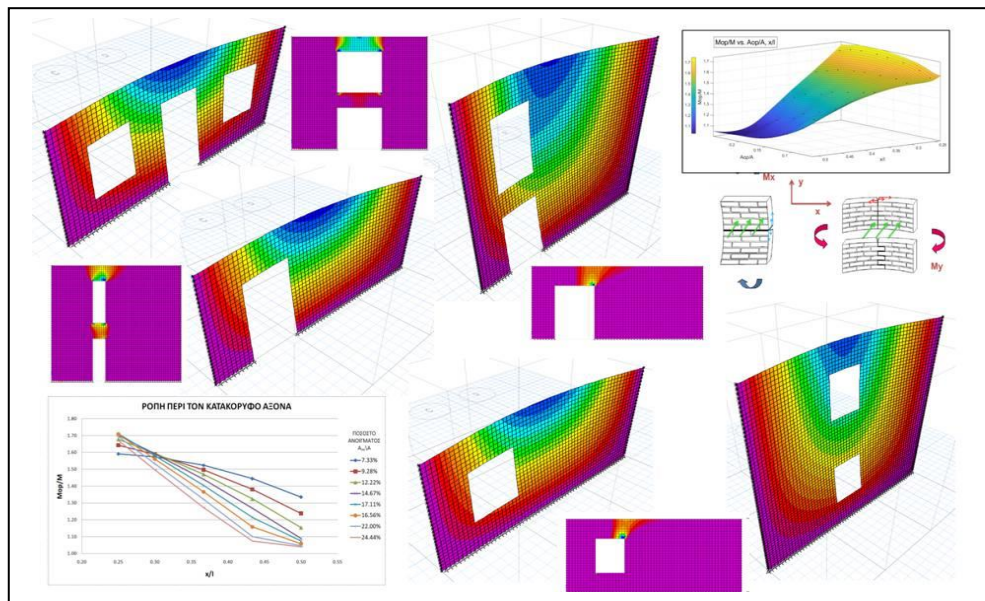
Κωνσταντίνος Ρεπαπής  
Αναπληρωτής Καθηγητής



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

# **INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF OPENINGS ON THE OUT-OF-PLANE FAILURE OF LOAD-BEARING MASONRY WALLS**



**Student: Zampogiannis Antonios**  
**Registration Number: 19394254**

**Supervisor**

**Repapis Constantinos**  
**Associate Professor**

**ATHENS-EGALEO, JUNE 2024**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Ρεπαπής Κωνσταντίνος, Αναπλ. Καθηγητής ΠΑΔΑ (Επιβλέπων)	Πνευματικός Νικόλαος Καθηγητής ΠΑΔΑ (Εξεταστής)	Βρυζίδης Ισαάκ Επικ. Καθηγητής ΠΑΔΑ (Εξεταστής)
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Ζαμπογιάννης Αντώνιος, Ιούνιος, 2024**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ζαμπογιάννης Αντώνιος του Κώστα με αριθμό μητρώου 19394254 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Ο Δηλών



Ζαμπογιάννης Αντώνιος

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών μου στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Καθηγητή μου και Επιβλέπων κ. Κωνσταντίνο Ρεπαλή, για την καθοδήγησή του, για τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε και για την άψογη συνεργασία μας. Επίσης ευχαριστίες απευθύνονται και στον Ομότιμο Καθηγητή κ. Στέφανο Δρίτσο για τις χρήσιμες παρατηρήσεις του.

## Περίληψη

Βασική αιτία σοβαρών βλαβών σε κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία υπό σεισμική δράση αποτελεί η εκτός επιπέδου αστοχία τοίχων. Η παρούσα εργασία έχει στόχο την διερεύνηση της επιρροής των ανοιγμάτων στην εκτός επίπεδου αστοχία κάθετα προς τους οριζόντιους αρμούς της φέρουσας τοιχοποιίας, με σκοπό τον ακριβέστερο προσδιορισμό του Δείκτη ανοιγμάτων φερόντων τοίχων ( $R_2$ ) καθώς και του Δείκτη καταπόνησης περιμετρικών τοίχων εκτός επιπέδου ( $R_8$ ) στα πλαίσια του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού Ελέγχου κτηρίων από φέρουσα τοιχοποιία.

Το ζητούμενο είναι ο καθορισμός μιας απλοποιημένης μεθόδου υπολογισμού της δράσας ροπής περί τον κατακόρυφο άξονα τοίχου με ανοίγματα όταν υποβάλλεται σε σεισμικό φορτίο, ως συνάρτηση της ροπής του αντίστοιχου ολόσωμου τοίχου. Η ροπή του ολόσωμου τοίχου μπορεί να υπολογιστεί με εφαρμογή τυποποιημένων πινάκων πλακών.

Για τον σκοπό αυτό έγιναν αναλύσεις με χρήση πεπερασμένων στοιχείων, για μονώροφο και διώροφο τοίχο αρθρωμένο περιμετρικά και ελεύθερο άνω, με ένα άνοιγμα (πόρτα ή παράθυρο) σε διάφορα πλάτη και θέσεις καθώς και τοίχων με δυο ή τρία ανοίγματα.

Μετά την ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων προτείνονται διαγράμματα και πίνακες υπολογισμού του λόγου ροπής τοίχου με άνοιγμα προς την ροπή ολόσωμου τοίχου, ως συνάρτηση του ποσοστού ανοίγματος και της θέσης του τόσο για μονώροφο όσο και για διώροφο τοίχο, διορθωτικοί συντελεστές και κανόνες που σχετίζονται με ιδιαίτερες διατάξεις (δυο ή τρία ανοίγματα), την ύπαρξη παραθύρων, καθώς και το ύψος του υπέρθυρου.

Σε ότι αφορά τον μονώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα, παρατηρείται αύξηση της ροπής (σε σχέση με την ροπή ολόσωμου) από 4% έως 71%, ενώ στην περίπτωση παράθυρου παρατηρείται μείωση της ροπής κατά μέσο όρο 8% έναντι της ροπής του αντίστοιχου τοίχου με πόρτα.

Σε διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα διακρίνουμε (σε σχέση με την ροπή ολόσωμου) αύξηση της ροπής από 36% έως 113%, στην παραλλαγή με παράθυρο η αύξηση της ροπής είναι μειωμένη κατά μέσο όρο 16% έναντι της ροπής του αντίστοιχου τοίχου με πόρτα.

## Λέξεις – κλειδιά

Φέρουσα Τοιχοποιία, Τοπικοί Μηχανισμοί, Εκτός Επιπέδου Αστοχία, Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος, ΚΑΔΕΤ.

## **Abstract**

The main cause of serious damage in load-bearing masonry buildings under seismic action is the out-of-plane failure of walls. This work aims to investigate the influence of openings on the out-of-plane failure perpendicular to the horizontal joints of the load-bearing masonry, with the aim of more precisely determining the load-bearing wall opening index ( $R_2$ ) as well as the stress index of out-of-plane perimeter walls ( $R_8$ ) in the context of the Second-level pre-Seismic Inspection of masonry buildings.

The aim is to establish a simplified method for calculating the moment acting about the vertical axis of a wall with openings when subjected to a seismic load, as a function of the moment of the corresponding full-body wall. The full-body wall moment can be calculated by applying standard slab calculation tables.

For this purpose, analyses were carried out using finite elements, for one- and two-storey walls hinged around the perimeter and free above, with one opening (door or window) in various widths and positions as well as walls with two or three openings.

After the analysis and processing of the results, diagrams and tables are proposed for calculating the ratio of the moment of a wall with opening to the moment of a full-body wall, as a function of the percentage of the opening and its location, for both single and double storey walls, correction factors and rules related to special arrangements (two or three openings), the existence of windows, as well as the height of the lintel.

Regarding the single-storey wall with a door opening, an increase in moment (in relation to the full-body moment) is observed from 4% to 71%, while in the case of a window, a decrease in moment is observed on average of 8% compared to the moment of the corresponding wall with a door.

In a two-storey wall with a door opening, we can see (in relation to the full-body moment) an increase in the moment from 36% to 113%, while in the variant with a window the increase in the moment is reduced by an average of 16% compared to the moment of the corresponding wall with a door.

## **Keywords**

Load-bearing Masonry, Local Mechanisms, Out-of-Plane Failure, Second-level Pre-Seismic Inspection, Regulation for Evaluation and Structural Masonry Interventions.

## Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων .....	10
Κατάλογος Εικόνων.....	11
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	14
1.1 Αντικείμενο Σκοπός και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας.....	14
1.2 Μεθοδολογία .....	14
1.3 Δομή.....	14
2 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ .....	15
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	15
2.2 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ.....	16
2.2.1 Βασικές αιτίες βλαβών.....	16
2.2.2 Είδη βλαβών σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία .....	17
3 ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΚΑΜΨΗ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ .....	21
3.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	21
3.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	21
3.2.1 Γενικά .....	21
3.2.2 Προσεγγίσεις βασισμένες στη μετατόπιση.....	21
3.2.3 Προσεγγίσεις βασισμένες στα εντατικά μεγέθη .....	23
3.2.4 Ευρωκώδικας.....	27
3.2.5 Κανονισμός για αποτίμηση και δομικές επεμβάσεις τοιχοποιίας (ΚΑΔΕΤ).....	29
3.2.6 Σύγκριση μεθόδων.....	37
4 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΣ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	40
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	40
4.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ (HAZARD) “H” .....	40
4.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΤΗΡΙΟΥ (RESISTANCE) “R” .....	41
4.3.1 Δείκτης διατμητικής αντίστασης ισογείου ( $R_1$ ).....	41
4.3.2 Δείκτης ανοιγμάτων φερόντων τοίχων ( $R_2$ ) .....	42
4.3.3 Δείκτης διαζωμάτων ( $R_3$ ).....	42
4.3.4 Δείκτης διαφραγμάτων ( $R_4$ ) .....	43
4.3.5 Δείκτης ανοιγμάτων κοντά σε γωνίες ( $R_5$ ) .....	43
4.3.6 Δείκτης παθολογίας φερουσών τοιχοποιιών ( $R_6$ ) .....	44
4.3.7 Δείκτης σύνδεσης μεταξύ εγκάρσιων τοίχων ( $R_7$ ).....	44
4.3.8 Δείκτης καταπόνησης περιμετρικών τοίχων εκτός επιπέδου ( $R_8$ ) .....	44
4.3.9 Δείκτης κανονικότητας της κάτοψης ισογείου ( $R_9$ ).....	45
4.3.10 Δείκτης κανονικότητας καθ’ ύψος ( $R_{10}$ ).....	45
4.4 Δείκτης Προτεραιότητας Ελέγχου Κτηρίου ( $\lambda$ ).....	47
5 ΤΟΙΧΟΙ ΠΡΟΣ ΕΞΕΤΑΣΗ .....	48
5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	48
5.2 ΜΟΝΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑ ΠΟΡΤΑ .....	49
5.3 ΜΟΝΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑ ΠΑΡΑΘΥΡΟ.....	57
5.4 ΥΨΟΣ ΥΠΕΡΘΥΡΟΥ .....	59
5.5 ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΜΗΚΗ .....	60
5.6 ΜΟΝΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΔΥΟ Ή ΤΡΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ.....	60
5.7 ΔΙΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΠΟΡΤΑ .....	63
5.8 ΔΙΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΠΑΡΑΘΥΡΟ.....	66
6 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	68



6.1	ΓΕΝΙΚΑ .....	68
6.2	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.....	68
6.3	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2.....	70
6.4	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.....	72
6.5	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.....	74
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	77
	Βιβλιογραφία –Αναφορές -Διαδικτυακές Πηγές .....	78
	Παράρτημα Α .....	80
	Πίνακες Πλακών .....	80

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Συγκεντρωτικός πίνακας με κατηγορίες ρωγμών, μορφολογία αυτών και αιτίες πρόκλησής τους ( Χατζηκωνσταντίνου, 2014).....	20
Πίνακας 3.1 Τιμές της $f_{xk1}$ για επίπεδο αστοχίας παράλληλο προς τους οριζόντιους αρμούς (EC6).....	28
Πίνακας 3.2 Τιμές της $f_{xk2}$ για επίπεδο αστοχίας κάθετο ως προς τους οριζόντιους αρμούς (EC6).....	29
Πίνακας 3.3 Όρια του λόγου σχετικής μετακίνησης για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας κατά την κάμψη τοιχείου εκτός επιπέδου.....	36
Πίνακας 3.4 Το οριακό πλευρικό φορτίο σύμφωνα με κάθε μέθοδο καθώς και ο επί τοις εκατό λόγος (%) του ως προς τα πειραματικά αποτελέσματα για τον τοίχο w1. (Σαρρή 2019).....	39
Πίνακας 3.5 Το οριακό πλευρικό φορτίο σύμφωνα με κάθε μέθοδο για τον τοίχο w2 και η αντίστοιχη επιτάχυνση. (Σαρρή 2019).....	39
Πίνακας 4.1 Τιμές του δείκτη σεισμικής δράσης ( $H_1$ ).....	40
Πίνακας 4.2 Τιμές του δείκτη επιρροής γειτονικών κτιρίων ( $H_2$ ).....	41
Πίνακας 4.3 Τιμές συντελεστή τύπου φέρουσας τοιχοποιίας (m).....	42
Πίνακας 4.4 Τιμές του δείκτη διαζωμάτων ( $R_3$ ).....	43
Πίνακας 4.5 Τιμές του δείκτη διαφραγμάτων ( $R_4$ ).....	43
Πίνακας 4.6 Διαφραγματική στερρότητα πατωμάτων και στεγών.....	43
Πίνακας 4.7 Τιμές του δείκτη παθολογίας φερουσών τοιχοποιιών ( $R_6$ ).....	44
Πίνακας 4.8 Τιμές του δείκτη σύνδεσης μεταξύ εγκάρσιων τοίχων ( $R_7$ ).....	44
Πίνακας 4.9 Τιμές του δείκτη κανονικότητας σε κάτοψη ( $R_9$ ).....	45
Πίνακας 4.10 Τιμές του δείκτη κανονικότητας καθ' ύψος ( $R_{10}$ ).....	46
Πίνακας 4.11 Δείκτες Αντίστασης ( $R_i$ ) και Συντελεστές Βαρύτητας ( $\tau_i$ ).....	47
Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα ανάλυσης για μονώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα.....	51
Πίνακας 5.2 Συντελεστές του πολωνύμου και σφάλμα- απόκλιση της προσέγγισης.....	55
Πίνακας 5.3 Απλοποιημένος Πίνακας τιμών του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για μονώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης (x/l) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ).....	55
Πίνακας 5.4 Σύγκριση ροπής διατάξεων με παράθυρο και διατάξεων με πόρτα.....	58
Πίνακας 5.5 Τιμές του συντελεστή διόρθωσης ροπής.....	59
Πίνακας 5.6 Αποκλίσεις λόγου ( $M_{op}/M$ ).....	60

Πίνακας 5.7 Αποτελέσματα ανάλυσης για διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα .....	63
Πίνακας 5.8 Απλοποιημένος Πίνακας τιμών του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ) .....	65
Πίνακας 5.9 Σύγκριση ροπής διατάξεων με παράθυρο και διατάξεων με πόρτα .....	67
Πίνακας 7.1 Απόκλιση της έμμεσα υπολογιζόμενης ροπής έναντι της αναλυτικά υπολογιζόμενης.	77

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχ. 2.1 Παραμόρφωση κτηρίου από άοπλη τοιχοποιία, χωρίς διαφράγματα, όταν υπόκειται σε σεισμική δράση ( ). .....	15
Σχ. 2.2 Λοξές ή χιαστί ρωγμές σε πεσσούς και υπέρθυρα (Τάσιος, 1992) .....	18
Σχ. 2.3 Διαδρομή λοξών ρωγμών μέσω της τοιχοποιίας ανάλογα με τη σχέση αντοχής .....	18
Σχ. 2.4 Οριζόντια καμπτική ρωγμή (Τάσιος, 1992) .....	19
Σχ. 2.5 Η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας. (ΚΑΔΕΤ) .....	19
Σχ. 2.6 (α) Ρωγμή περί το μέσον του τοίχου, λόγω κάμψης εκτός επιπέδου του, (β) Κατακόρυφες ρωγμές στη συνάντηση δύο τοίχων (Βέρρας, κ.α., 2004) .....	19
Σχ. 3.1 Καμπύλη δύναμης- μετατόπισης $F-\delta$ σύμφωνα με το τριγωνικό και το διγραμμικό μοντέλο σε αντιπαραβολή με την πραγματική συμπεριφορά του ίδιου στοιχείου (Doherty et al. 2002) .....	21
Σχ. 3.2 Καμπύλη δύναμης- στροφής $F-\theta$ σύμφωνα με το τριγωνικό και το διγραμμικό μοντέλο όπως προτείνεται από τον ΚΑΔΕΤ (Ο.Α.Σ.Π. 2022) .....	22
Σχ. 3.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά λιθοσώματος (D'Ayala and Speranza 2003) .....	23
Σχ. 3.4 Σχέσεις συντελεστών φορτίου για τους μηχανισμούς αστοχίας A, B1, B2, C, D (D'Ayala and Speranza 2003) .....	24
Σχ. 3.5 Σχέσεις συντελεστών φορτίου για τους μηχανισμούς αστοχίας E, F, G (D'Ayala and Speranza 2003) .....	25
Σχ. 3.6 Βρόχοι υστέρησης (Vaculik, 2012) .....	26
Σχ. 3.7 Δυνάμεις που ασκούνται στον εγκάρσιο τοίχο (ΚΑΔΕΤ) .....	30
Σχ. 3.8 Εκτός επιπέδου κάμψη τοίχου (ΚΑΔΕΤ) .....	30
Σχ. 3.9 Εντατικά μεγέθη καμπτόμενου στοιχείου τοιχοποιίας (ΚΑΔΕΤ) .....	31
Σχ. 3.10 Ορισμός περιβάλλουσας. (ΚΑΔΕΤ) .....	32

Σχ. 3.11 Ορισμός παραμόρφωσης οιονεί διαρροής και αστοχίας στην καμπύλη αντίστασης τοίχου. (ΚΑΔΕΤ).....	32
Σχ. 3.12 Σχηματοποιημένο διάγραμμα συμπεριφοράς (ΚΑΔΕΤ) .....	32
Σχ. 3.13 Ορισμός σχετικής στροφής ( $\alpha$ ) για την εντός επιπέδου κάμψη και για την εκτός επιπέδου ως ( $b1$ ) απόκλιση σημείων της ίδιας οριζόντιας ευθείας και ως ( $b2$ ) απόκλιση από την κατακόρυφη ευθεία (Pardalopoulos et al. 2019).....	34
Σχ. 3.14 Ορισμός οριακής στροφής $\theta_{R,u}$ (ΚΑΔΕΤ).....	35
Σχ. 3.15 Ορισμός των σημείων περιβάλλουσας αντοχής τοίχου σε εκτός επιπέδου αστοχία. ....	35
Σχ. 3.16 Ορισμός σταθμών επιτελεστικότητας (ΚΑΔΕΤ) .....	36
Σχ. 3.17 Γεωμετρία τοίχου ( $w1$ ) (Σαρρή 2019).....	37
Σχ. 3.18 Γεωμετρία τοίχου ( $w2$ ) (Σαρρή 2019).....	38
Σχ. 5.1 Διαστάσεις επιφανειακών στοιχείων και υπολογισμός μέσης τιμής ροπής.....	48
Σχ. 5.2 Στοιχεία τοιχοποιίας.....	49
Σχ. 5.3 Σεισμικά φορτία τοίχου .....	50
Σχ. 5.4 Στηρίξεις τοίχου.....	50
Σχ. 5.5 Τιμές του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για μονώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης του ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ) .....	52
Σχ. 5.6 Τιμές του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για μονώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ) και της θέσης του ( $x/l$ ) .....	52
Σχ. 5.7: Διάταξη τοίχου με κεντρικό άνοιγμα πόρτα (OP D 200 0). Διάγραμμα ροπών .....	53
Σχ. 5.8 Διάταξη τοίχου με κεντρικό άνοιγμα πόρτα (OP D 200 0). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου.....	53
Σχ. 5.9 Διάταξη τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα πόρτα (OP D 140 4). Διάγραμμα ροπών ροπής.....	54
Σχ. 5.10 Διάταξη τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα πόρτα (OP D 140 4). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου.....	54
Σχ. 5.11 Επιφάνεια διαρμονικής προσέγγισης της συνάρτησης $M_{op}M = fA_{op}A, xl$ .....	56
Σχ. 5.12 Επιφάνεια πολυωνυμικής προσέγγισης της συνάρτησης $M_{op}M = fA_{op}A, xl$ .....	56
Σχ. 5.13 Διάταξη τοίχου με κεντρικό άνοιγμα παράθυρο (OP W 180 0). Διάγραμμα ροπών .....	57
Σχ. 5.14 Διάταξη τοίχου με κεντρικό άνοιγμα παράθυρο (OP W 180 0). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου .....	57
Σχ. 5.15 Διάταξη τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα παράθυρο (OP W 100 4). Διάγραμμα ροπών .....	57

Σχ. 5.16 Διάταξη τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα παράθυρο (OP W 100 4). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου. ....	58
Σχ. 5.17 Συντελεστής διόρθωσης ροπής συναρτήσει του λόγου ( $H_{op}/H$ ) και του μήκους του τοίχου .....	59
Σχ. 5.18 Διάταξη τοίχου με δυο ανοίγματα (παράθυρα). Διάγραμμα ροπών.....	60
Σχ. 5.19 Διάταξη τοίχου με δυο ανοίγματα (παράθυρα). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου.....	61
Σχ. 5.20 Διάταξη τοίχου με δυο ανοίγματα (παράθυρο πόρτα). Διάγραμμα ροπών.....	61
Σχ. 5.21 Διάταξη τοίχου με δυο ανοίγματα. Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου.	61
Σχ. 5.22 Διάταξη τοίχου με τρία ανοίγματα. Διάγραμμα ροπών.....	62
Σχ. 5.23 Διάταξη τοίχου με τρία ανοίγματα. Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου	62
Σχ. 5.24 Τιμές του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ).....	64
Σχ. 5.25 Διατάξεις διώροφου τοίχου με κεντρικό άνοιγμα πόρτα (OP D 200 0). Διάγραμμα ροπών65	
Σχ. 5.26 Διατάξεις διώροφου τοίχου με κεντρικό άνοιγμα πόρτα (OP D 200 0). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου .....	65
Σχ. 5.27 Διατάξεις διώροφου τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα πόρτα (OP D 60 2). Διάγραμμα ροπών	66
Σχ. 5.28 Διατάξεις διώροφου τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα πόρτα (OP D 60 2). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου .....	66
Σχ. 6.1 Γεωμετρικά στοιχεία τοίχου 1 .....	69
Σχ. 6.2 Διάγραμμα ροπών (επίλυση με πεπερασμένα στοιχεία) $M_{max}= 22.49kNm/m$ .....	69
Σχ. 6.3 Γεωμετρικά στοιχεία τοίχου 2 .....	71
Σχ. 6.4 Διάγραμμα ροπών (επίλυση με πεπερασμένα στοιχεία) $M_{max}= 20.15kNm/m$ .....	71
Σχ. 6.5 Γεωμετρικά στοιχεία τοίχου 3 .....	73
Σχ. 6.6 Διάγραμμα ροπών (επίλυση με πεπερασμένα στοιχεία) $M_{max}= 27.68kNm/m$ .....	73
Σχ. 6.7 Γεωμετρικά στοιχεία τοίχου 4 .....	75
Σχ. 6.8 Διάγραμμα ροπών (επίλυση με πεπερασμένα στοιχεία) $M_{max}= 44.15kNm/m$ .....	75

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία αποτελούν μεγάλο ποσοστό των υφιστάμενων κατασκευών στη χώρα μας. Η σεισμική δράση είναι η βασικότερη αιτία βλαβών ή και κατάρρευσης των κατασκευών αυτών. Κατά την διάρκεια του σεισμού η φέρουσα τοιχοποιία καταπονείται τόσο εντός επιπέδου σε κάμψη και διάτμηση όσο και εκτός επιπέδου σε κάμψη. Έχει παρατηρηθεί ότι η εκτός επιπέδου κάμψη αποτελεί βασική αιτία βλαβών.

### 1.1 Αντικείμενο Σκοπός και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα εργασία διερεύνα την επιρροή των ανοιγμάτων στην εκτός επιπέδου αστοχία της φέρουσας τοιχοποιίας. Η διερεύνηση επικεντρώνεται στην εκτός επιπέδου αστοχία της φέρουσας τοιχοποιίας κάθετα προς τους οριζόντιους αρμούς της. Στόχος είναι ο καθορισμός μιας απλοποιημένης μεθόδου υπολογισμού της δρώσας ροπής περί τον κατακόρυφο άξονα τοίχου με ανοίγματα υπό σεισμικό φορτίο, συναρτήσει της ροπής του αντίστοιχου ολόσωμου τοίχου.

### 1.2 Μεθοδολογία

Έγιναν παραμετρικές αναλύσεις σε μονώροφους και δώροφους τοίχους με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν είναι το είδος και το ποσοστό του ανοίγματος, η θέση του ανοίγματος και το ύψος του υπέρθυρου. Προτείνονται πίνακες υπολογισμού του λόγου ροπής τοίχου με άνοιγμα προς την ροπή ολόσωμου τοίχου καθώς και διορθωτικοί συντελεστές διαφόρων διατάξεων.

### 1.3 Δομή

Η διάρθρωση της εργασίας έχει ως εξής:

- Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στη παθολογία των κτηρίων φέρουσας τοιχοποιίας στις βασικές αιτίες και στα είδη των βλαβών.
- Το Κεφάλαιο 3 αναφέρεται στην εκτός επιπέδου κάμψη της φέρουσας τοιχοποιίας με ανασκόπηση των κυριότερων προτεινόμενων προσεγγίσεων καθώς και των κανονισμών που έχουν εφαρμογή στη χώρα μας.
- Στο Κεφάλαιο 0 παρουσιάζεται ο Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος κτηρίων από φέρουσα τοιχοποιία.
- Στο Κεφάλαιο 0 παρουσιάζονται οι διατάξεις τοίχων που διερευνήθηκαν καθώς και τα αποτελέσματα των αναλύσεων.
- Στο Κεφάλαιο 0 γίνεται περιγραφή της προτεινόμενης μεθόδου και εφαρμογή της σε παραδείγματα.
- Στο Κεφάλαιο 0 συνοψίζονται τα συμπεράσματα.

## 2 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Επί αιώνες η άοπλη τοιχοποιία υπήρξε ένα από τα πλέον χρησιμοποιούμενα υλικά στην κατασκευή κτηρίων, ωστόσο οι γνώσεις για την απόκριση των κατασκευών αυτών και την μηχανική τους συμπεριφορά είναι περιορισμένες.

Παράγοντες όπως:

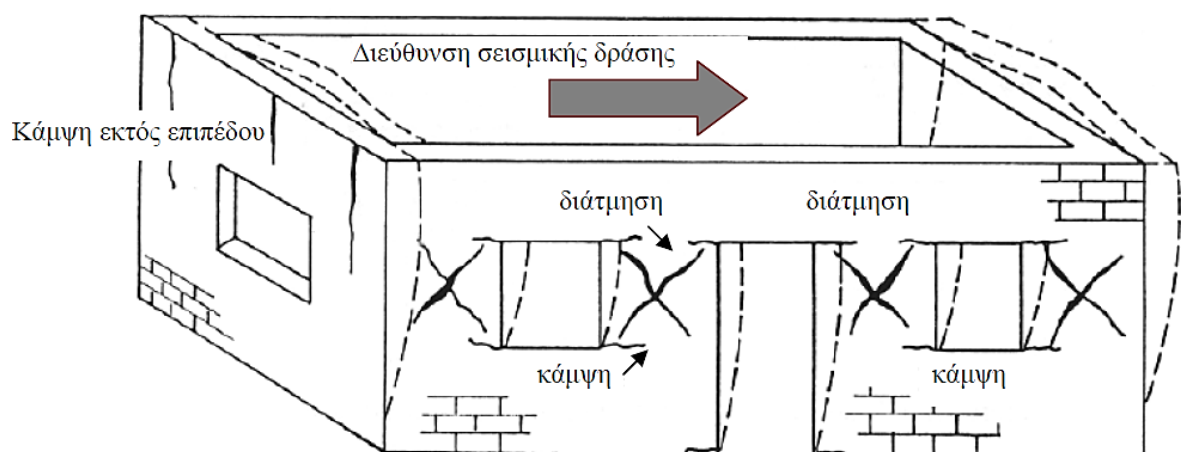
- Η ύπαρξη πολλών ειδών τοιχοποιίας με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες και με εντελώς διαφορετική συνεργασία μεταξύ λιθοσωμάτων και κονιάματος
- Η ψαθυρή συμπεριφορά της τοιχοποιίας, η ανομοιογένεια της ως υλικό και η χαμηλή αντοχή της
- Η εμφάνιση και η επικράτηση νέων πλαστικών υλικών όπως το σκυρόδεμα και ο χάλυβας με την καλή μηχανική τους συμπεριφορά και το μειωμένο κόστος

συντέλεσαν στον περιορισμό της χρήσης της τοιχοποιίας στον φέροντα οργανισμό.

Σημαντικό ποσοστό των υφιστάμενων κατασκευών στη χώρα μας είναι κτήρια από φέρουσα τοιχοποιία πολλά από τα οποία είναι ιδιαίτερης ιστορικής ή καλλιτεχνικής αξίας και έχουν κηρυχθεί διατηρητέα. Τα κτήρια αυτά μέχρι τις αρχές του προηγούμενου αιώνα ήταν κατασκευασμένα μετά από σχεδόν εμπειρικό σχεδιασμό χωρίς κάποια στατική μελέτη.

Η σεισμική αποτίμηση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία είναι ιδιαίτερος πολύπλοκη λόγω της φύσεως της τοιχοποιίας η οποία είναι υλικό πολυφασικό, πολύμορφο και "απειθαρχο" (Δρίτσος κ.α., 2018).

Η σεισμική φόρτιση είναι η κρίσιμη δράση που καταπονεί της κατασκευές από άοπλη τοιχοποιία. Μετά από κάθε σεισμικό γεγονός, ανεξαρτήτως μεγέθους, διαπιστώνεται η υψηλή τρωτότητα των κτισμάτων από φέρουσα τοιχοποιία.



**Σχ. 2.1 Παραμόρφωση κτηρίου από άοπλη τοιχοποιία, χωρίς διαφράγματα, όταν υπόκειται σε σεισμική δράση ( ).**

Η τρωτότητα αυτή της φέρουσας τοιχοποιίας οφείλεται σε πολλές παραμέτρους όπως η ψαθυρότητα της άοπλης τοιχοποιίας, η ανεπαρκής διαφραγματική λειτουργία στεγών και πατωμάτων, η ανεπαρκής σύνδεση των επί μέρους στοιχείων του φέροντα οργανισμού καθώς και κάθε είδους κακοτεχνίες που γίνονται στη φάση της κατασκευής του κτηρίου.

Πρόσθετοι επιβαρυντικοί παράγοντες αποτελούν οι κατά καιρούς τροποποιήσεις επεμβάσεις και προσθήκες που παρατηρούνται σε μεγάλο αριθμό κτιρίων συνδυαζόμενες με την πλημμελή συντήρηση και την υποβάθμιση των ιδιοτήτων των υλικών.

Κατά την σεισμική φόρτιση οι φέροντες τοίχοι δέχονται εκτός από τα κατακόρυφα βαρυτικά φορτία και οριζόντιες δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα οι φέροντες τοίχοι να υφίστανται κάμψη εντός και εκτός επιπέδου και διάτμηση εντός επιπέδου (Σχ. 2.1)

## 2.2 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

### 2.2.1 Βασικές αιτίες βλαβών

#### 2.2.1.1 Ακατάλληλη μόρφωση φέροντος οργανισμού

Η ακατάλληλη μόρφωση του φέροντος οργανισμού είναι καθοριστικός παράγοντας της συμπεριφοράς ενός κτηρίου τοιχοποιίας όταν υπόκειται σε σεισμική δράση. Η επάρκεια του φέροντος οργανισμού σχετίζεται με την ικανότητά του να μεταφέρει με ασφάλεια όλα τα φορτία στη θεμελίωση χωρίς να αναπτύσσει βλάβες. Αστοχίες στη μόρφωση του φέροντος οργανισμού αποτελούν:

- Η έντονη ακανονικότητα του φέροντος οργανισμού τόσο σε κάτοψη όσο και καθ' ύψος. Κατόψεις πολύπλοκου σχήματος με μεγάλες εσοχές και εξοχές καθώς και μεγάλες διαφοροποιήσεις της δυσκαμψίας καθ' ύψος είναι σοβαρές αιτίες πρόκλησης βλαβών μετά από σεισμό.
- Η ύπαρξη μεγάλων και μη συμμετρικών ανοιγμάτων. Τα μεγάλα ανοίγματα μειώνουν τη διατομή των πεσσών και των υπέρθυρων και προκαλούν σημαντική μείωση στη δυσκαμψία του τοίχου. Σε διατάξεις με ασύμμετρα ανοίγματα σε κάτοψη είναι ασύμμετρα και τα στοιχεία δυσκαμψίας του τοίχου με αποτέλεσμα την ανάπτυξη φαινομένων στρέψης κατά τη σεισμική δράση.
- Ασυνέχειες πεσσών και υπέρθυρων. Η ύπαρξη ανοιγμάτων διαφορετικής θέσης και μεγέθους καθ' ύψος. Οι διατάξεις αυτές διακόπτουν την ομαλή μεταφορά φορτίων από στοιχείο σε στοιχείο και προκαλούν απότομες μεταβολές εντατικών μεγεθών στις θέσεις ασυνεχειών.

#### 2.2.1.2 Χαμηλής ποιότητας υλικά και τρόποι δόμησης

Όταν τα χρησιμοποιούμενα υλικά για την κατασκευή ενός κτηρίου είναι χαμηλής ποιότητας τότε μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρές βλάβες. Οι κατασκευές που προκύπτουν με την χρήση τέτοιων υλικών εμφανίζουν χαμηλές τιμές μηχανικών χαρακτηριστικών και η



γήρανσή τους είναι ταχύτερη με αποτέλεσμα την αύξηση της τρωτότητας της κατασκευής έναντι σεισμού. Τέτοια υλικά είναι:

- Τα τοιχοσώματα χαμηλής αντοχής σε θλίψη και σε εφελκυσμό τα οποία δεν ανταποκρίνονται ικανοποιητικά σε διάφορες εξωτερικές φορτίσεις.
- Τα τοιχοσώματα που έχουν μεγάλο πορώδες, με αποτέλεσμα να συγκρατούν στο εσωτερικό τους μεγάλη ποσότητα ύδατος. Όταν λόγω κλιματολογικών συνθηκών η τοιχοποιία υπόκειται σε κυκλικές διαδικασίες πήξης – τήξης τότε τα τοιχοσώματα ρηγματώνονται με αποτέλεσμα την μείωση της διατομής τους.

### **2.2.1.3 Πλημμελείς συνδέσεις μεταξύ των φερόντων στοιχείων της κατασκευής.**

Προκειμένου το κτήριο να λειτουργήσει σαν συνολική κατασκευή πρέπει τα κύρια φέροντα στοιχεία του να είναι επαρκώς συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η πλημμελής σύνδεση μεταξύ των δομικών στοιχείων προκαλεί έντονα δυσμενή εντατική κατάσταση, η οποία οδηγεί σε εμφάνιση βλαβών.

Είναι συνήθης πρακτική η κατασκευή των εξωτερικών τοίχων να προηγείται αυτής των εσωτερικών και έτσι η σύνδεση μεταξύ τους δεν γίνεται με αλληλεμπλοκή των λιθοσωμάτων, αλλά με απλή πλήρωση του μεταξύ τους αρμού με συνδετικό κονίαμα.

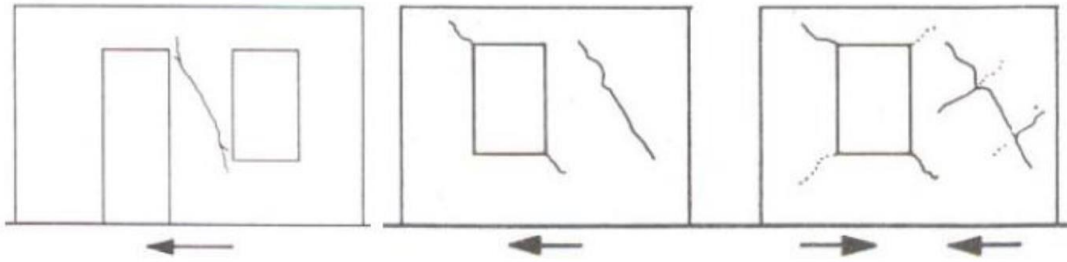
Η χαμηλή εφελκυστική αντοχή του κονιάματος δεν είναι ικανή να αποτρέψει τη ρηγμάτωση όχι μόνο κατά τη διάρκεια του σεισμού, αλλά και λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών. Αυτές οι ρηγματώσεις οδηγούν συνήθως σε αποκόλληση του εσωτερικού από τον εξωτερικό τοίχο και καθιστά την κατασκευή ευάλωτη σε σεισμό.

Τα οριζόντια στοιχεία της κατασκευής (πατώματα και στέγες) κατασκευάζονταν στο παρελθόν κυρίως από ξύλο και αυτό τα καθιστούσε ιδιαιτέρως εύκαμπτα εντός του επιπέδου τους. Η σύνδεσή τους με τα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία ήταν σημειακή ανά αποστάσεις, γεγονός που δεν εξασφαλίζει τη διαφραγματική λειτουργία του πατώματος. Επομένως η κατασκευή είναι χαλαρότερη και στερείται της δυνατότητας ανακατανομής των εντάσεων, όταν κάποιο από τα φέροντα στοιχεία υποστεί σοβαρή βλάβη.

## **2.2.2 Είδη βλαβών σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία**

### **2.2.2.1 Διαγώνιες και Δισδιαγώνιες Ρωγμές**

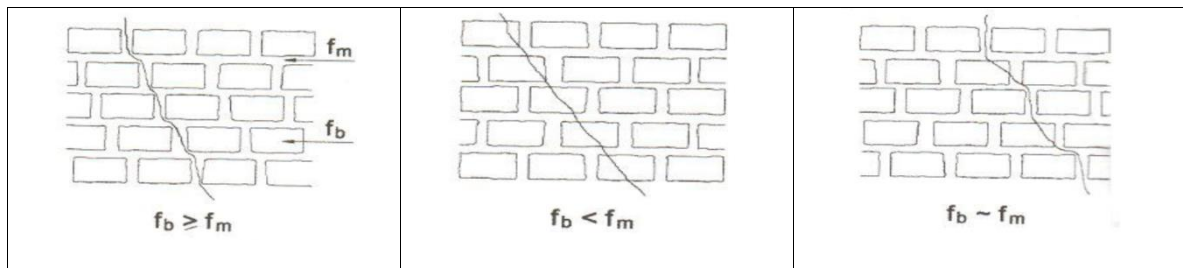
Ο πιο χαρακτηριστικούς τύπους ρωγμών που παρατηρείται σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία είναι οι διαγώνιες λοξές ρωγμές. Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται κυρίως κατά το μήκος της διαγωνίου του τοίχου και μπορεί να εξαπλώνονται είτε σε όλο το μήκος της, είτε σε ένα μόνο τμήμα της. Πολλές φορές οι ρωγμές αυτές μπορεί να είναι δισδιαγώνιες, εμφανίζονται κατά μήκος και των δύο διαγωνίων του τοίχου σχηματίζοντας ένα «X» επίσης μπορεί να είναι και διαμπερείς, να εκτείνονται δηλαδή σε όλο το πάχος του τοίχου.



Σχ. 2.2 Λοξές ή χιαστί ρωγμές σε πεσσούς και υπέρθυρα (Τάσιος, 1992)

Οι ρωγμές αυτές προκαλούνται λόγω της αναπτυσσόμενης τέμνουσα. Όταν η εφελκόμενη διαγώνιος αποκτήσει εφελκυστική παραμόρφωση μεγαλύτερη από την εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας, τότε οδηγείται σε ρηγμάτωση. Όταν το πρόσημο της τέμνουσα εναλλάσσεται προκύπτει η δισδιαγώνια ρωγμή. Σε τοίχους με ανοίγματα παρατηρούνται διαγώνιες ρωγμές στις γωνίες των θυρών και των παραθύρων. Η διεύθυνση των ρωγμών αυτών είναι παράλληλη προς τη μία ή και τις δύο διαγώνιους του τοίχου. (Σχ. 2.2)

Ανάλογα με την αντοχή των λιθοσωμάτων του συνδετικού κονιάματος και της μεταξύ τους σχέσης, οι λοξές ρωγμές ακολουθούν διαφορετική διαδρομή κατά μήκος της διαγώνιου του τοίχου. (Σχ. 2.3)

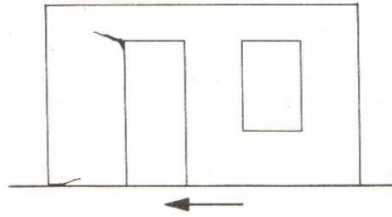


Σχ. 2.3 Διαδρομή λοξών ρωγμών μέσω της τοιχοποιίας ανάλογα με τη σχέση αντοχής των υλικών

### 2.2.2.2 Καμπτικές Ρωγμές

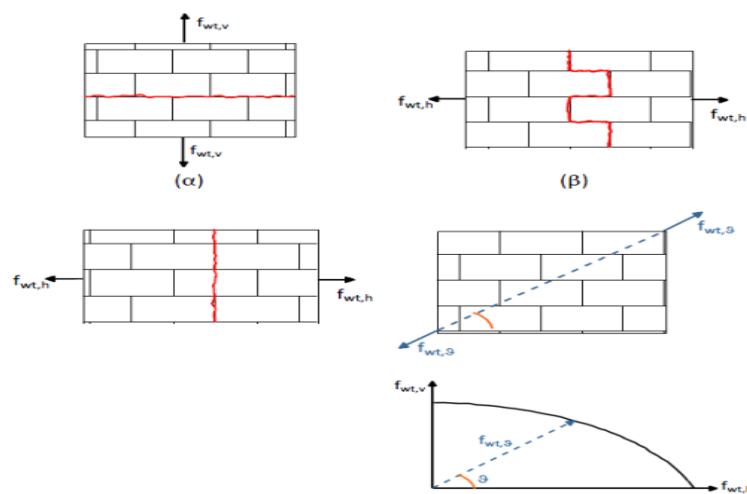
Όταν ο πεσός ενός τοίχου έχει μικρό μήκος σε σχέση με το ύψος του (εύκαμπτο στοιχείο), τότε στην κορυφή ή και στη βάση του παρατηρούνται οριζόντιες ρωγμές οι οποίες οφείλονται στις αναπτυσσόμενες καμπτικές ροπές. Σε μεσαίο πεσσό (μεταξύ δυο ανοιγμάτων) αναπτύσσονται οριζόντιες καμπτικές ρωγμές περί την κορυφή ή τη βάση λόγω κατακόρυφου εφελκυσμού του πεσσού. Σε μερικές περιπτώσεις και παράλληλα με τις καμπτικές ρωγμές εμφανίζεται και τοπική αστοχία από θλίψη. (Σχ. 2.4)

Μία άλλη περίπτωση καμπτικών ρωγμών παρατηρείται στα υπέρθυρα των ανοιγμάτων του τοίχου. Οι ρωγμές αυτές είναι κατακόρυφες και προκαλούνται λόγω του μικρού ύψους (μικρή δυσκαμψία) του υπέρθυρου.



Σχ. 2.4 Οριζόντια καμπτική ρωγή (Τάσιος, 1992)

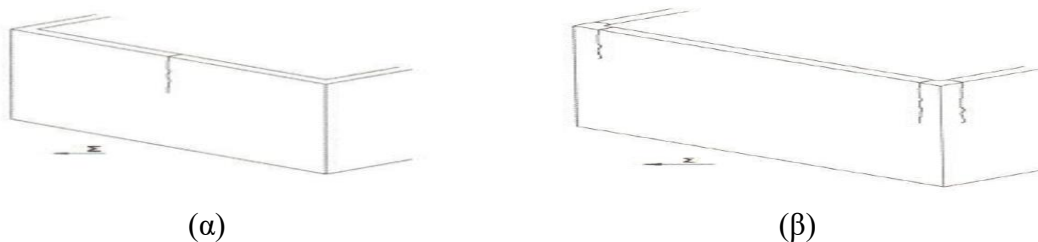
Η μέγιστη τιμή της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας αντιστοιχεί σε οριζόντιο εφελκυσμό έτσι οι καμπτικές ρωγμές (κατακόρυφος εφελκυσμός ( $f_{wt,v}$ )) σε πεσσούς και υπέρθυρα εμφανίζονται πριν από τις διαγώνιες διατμητικές ρωγμές (οριζόντιος εφελκυσμός ( $f_{wt,h}$ )). (Σχ. 2.5)



Σχ. 2.5 Η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας. (ΚΑΔΕΤ)

### 2.2.2.3 Κατακόρυφες Ρωγμές

Αυτού του είδους οι ρωγμές προκαλούνται λόγω καμπτικής λειτουργίας του τοίχου εκτός του επιπέδου του και εμφανίζονται περί το μέσον του μήκους ενός τοίχου, ξεκινούν από τη στέγη του τοίχου και επεκτείνονται προς τα κάτω. (Σχ. 2.6) Παρατηρούνται κυρίως στον τελευταίο όροφο του κτηρίου κάτω από τη στέγη. Αναλόγως της αντοχής των δομικών υλικών της τοιχοποιίας μπορεί να επεκταθούν μόνο κατά μήκος των αρμών ή να διαπεράσουν κάποια λιθοσώματα. Οι ρωγμές αυτές μπορεί να είναι διαμπερείς ή να εμφανίζονται μόνο στην εξωτερική παρειά του τοίχου.



Σχ. 2.6 (α) Ρωγή περί το μέσον του τοίχου, λόγω κάμψης εκτός επιπέδου του, (β) Κατακόρυφες ρωγμές στη συνάντηση δύο τοίχων (Βέρρας, κ.α., 2004)

Επίσης εμφανίζονται κατακόρυφες ρωγμές στη θέση συνάντησης δύο τοίχων, μπορούν να εκδηλωθούν είτε ταυτόχρονα σε εγκάρσιους και διαμήκεις τοίχους, είτε μεμονωμένα. (Σχ. 2.6)

Η ανακυκλιζόμενη δράση του σεισμού μπορεί να οδηγήσει και σε άλλες πολύ σοβαρότερες βλάβες όπως μερική κατάρρευση του τοίχου λόγω αποδιοργάνωσης της τοιχοποιίας στην περιοχή της ρωγμής.

**Πίνακας 2.1 Συγκεντρωτικός πίνακας με κατηγορίες ρωγμών, μορφολογία αυτών και αιτίες πρόκλησής τους ( Χατζηκωνσταντίνου, 2014)**

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΩΓΜΩΝ		ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	ΑΙΤΙΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ
ΔΙΑΓΩΝΙΕΣ Ή ΔΙΣΔΙΑΓΩΝΙΕΣ	ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΤΟΙΧΟΙ	Εμφανίζονται κατά τη διαγώνιο του τοίχου, είτε σε όλο το μήκος, είτε σε ένα τμήμα της	Προκαλούνται λόγω δράσης σεισμού παράλληλη στον διαμήκη άξονα του τοίχου, η οποία ρηγματώνεται όταν η εφελκυστική παραμόρφωση της ξεπεράσει την εφελκυστική αντοχή του τοίχου
	ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ	Εμφανίζονται στις γωνίες θυρών ή παραθύρων και είναι παράλληλες προς τη μία ή και τις δύο διαγωνίους του τοίχου.	
ΚΑΜΠΤΙΚΕΣ	ΣΤΑ ΑΚΡΑ ΤΩΝ ΠΕΣΣΩΝ	Είναι οριζόντιες ρωγμές που εμφανίζονται στην κορυφή ή/και στη βάση των πεσσών	Οφείλονται σε ροπές κάμψης που αναπτύσσονται στα άκρα των εύκαμπτων στοιχείων, αφού οι πεσσοί και τα υπέρθυρα στα οποία εκδηλώνονται τέτοιου είδους ρωγμές έχουν μικρό μήκος σε σχέση με το ύψος τους.
	ΣΤΑ ΑΚΡΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΘΥΡΩΝ	Είναι κατακόρυφες ρωγμές που εμφανίζονται στα άκρα των ανοιγμάτων συγκεκριμένα στα υπέρθυρα.	
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ	ΠΕΡΙ ΤΟ ΜΕΣΟΝ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ	Εμφανίζονται σε τοίχους περί το μέσον του μήκους τους και ξεκινούν από τη στέψη του τοίχου με επέκτασή τους προς τα κάτω	Οφείλονται σε καμπτική λειτουργία του τοίχου εκτός του επιπέδου του. Δηλαδή η διεύθυνση του σεισμού είναι κάθετη στο επίπεδο του τοίχου και ο τοίχος συμπεριφέρεται σαν μία τριέριστη πλάκα, στην οποία εφαρμόζεται ομοιόμορφα κατανενημένο φορτίο.
	ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΣΥΝΑΝΤΗΣΗΣ ΔΥΟ ΤΟΙΧΩΝ	Εμφανίζονται στη θέση συνάντησης δύο τοίχων αμέσως μετά τη γωνία. Ξεκινούν από τη στέψη του τοίχου και επεκτείνονται προς τα κάτω.	

### 3 ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΚΑΜΨΗ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εντός επιπέδου διατμητική συμπεριφορά της φέρουσας τοιχοποιίας αποτελεί το βασικό μηχανισμό μεταφοράς των σεισμικών φορτίων στη θεμελίωση. Η εκτίμηση της συμπεριφοράς αυτής αποτελεί μεγάλο μέρος της υπάρχουσας έρευνας. Εξίσου σημαντική είναι η εξασφάλιση της αντοχής της τοιχοποιίας στην εκτός επιπέδου κάμψη. Μετά από σεισμικά γεγονότα έχει παρατηρηθεί πως η εκτός επιπέδου αστοχία αποτελεί βασική αιτία σοβαρών βλαβών καθώς και ολικής ή μερικής κατάρρευσης κτηρίων.

Η επίδραση της εκτός επιπέδου κάμψης καθιστά σε αρκετές περιπτώσεις τη συμπεριφορά ολόκληρης της κατασκευής απρόβλεπτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον προσανατολισμό της έρευνας τα τελευταία χρόνια στην προσπάθεια εκτίμησης της συμπεριφοράς των τοίχων από άοπλη τοιχοποιία στην εκτός επιπέδου κάμψη.

#### 3.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

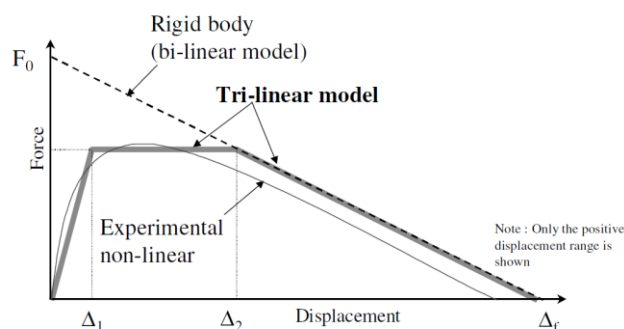
##### 3.2.1 Γενικά

Οι προσεγγίσεις προσομοίωσης της εκτός επιπέδου συμπεριφοράς διακρίνεται σε αυτές που βασίζονται :

- στην μετατόπιση (στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται ως Displacement Based Approaches (DBA))
- στα εντατικά μεγέθη (Force Based Approaches (FBA))
- στην προσομοίωση και ανάλυση της σεισμικής συμπεριφοράς με υπολογιστικά εργαλεία πεπερασμένων στοιχείων

##### 3.2.2 Προσεγγίσεις βασισμένες στη μετατόπιση

Οι βασιζόμενες στη μετατόπιση προσεγγίσεις (Displacement Based Approaches (DBA)) προσδιορίζουν την οριακή μετατόπιση που μπορεί να έχει η φέρουσα τοιχοποιία πριν την αστοχία της.



**Σχ. 3.1 Καμπύλη δύναμης- μετατόπισης  $F-\delta$  σύμφωνα με το τριγραμμικό και το διγραμμικό μοντέλο σε αντιπαραβολή με την πραγματική συμπεριφορά του ίδιου στοιχείου (Doherty et al. 2002 ).**

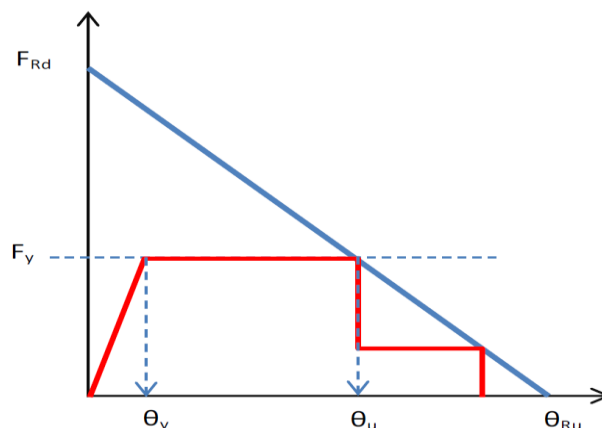
Η προσέγγιση αφορά στη δημιουργία μιας τριγωνικής καμπύλης δύναμης- μετατόπισης  $F-\delta$ . Η καμπύλη αυτή έχει τρεις κλάδους και προσομοιώνει την απόκριση της πραγματικής κατασκευής θεωρούμενη ως ένας μονοβάθμιος ταλαντωτής.

Το τριγωνικό μοντέλο δύναμης-μετατόπισης εισήχθη από τους Doherty et al. (2002) και στη συνέχεια από τους Griffith et al. (2003). Στις εργασίες αυτές έγινε φανερή η αδυναμία της έως τότε επικρατούσας εφαρμογής του διγραμμικού μοντέλου να περιγράψει την απόκριση ενός στοιχείου τοιχοποιίας. Το διγραμμικό μοντέλο στηριζόταν στο μοντέλο ότι η τοιχοποιία αποτελείται από άκαμπτα σώματα τα οποία περιστρέφονται περί τα σημεία που τοποθετούνται στις θέσεις των ρωγμών.

Στο τριγωνικό μοντέλο δύναμης-μετατόπισης ο πρώτος ανοδικός ευθύγραμμος κλάδος με αύξηση παραμόρφωσης και δύναμης χωρίς την εμφάνιση ρωγμών προσομοιώνει την ελαστική συμπεριφορά του τοίχου. Στον δεύτερο οριζόντιο κλάδο αυξάνει η παραμόρφωση χωρίς αύξηση της δύναμης, ξεκινά η παραμόρφωση και η απορρόφηση ενέργειας με την δημιουργία ρωγμών. Το τέλος του οριζόντιου κλάδου αντιστοιχεί στην αστοχία του τοίχου ξεκινά ο τρίτος καθοδικός κλάδος με απότομη πτώση της αντοχής του τοίχου. (Σχ. 3.1)

Μετά από πειραματικές δοκιμές σε τοίχους με διαφορετικό θλιπτικό φορτίο και λόγο ύψους-πάχους ( $H/t$ ) προτάθηκε από τους Derakhshan et al. (2009) η βελτίωση της παραπάνω προσέγγισης στην οποία προτείνεται η συσχέτιση των λόγων  $\Delta_1/\Delta_u$  και  $\Delta_2/\Delta_u$  με το θλιπτικό φορτίο που ασκείται στον υπό εξέταση τοίχο καθώς και με το λόγο ύψους προς πάχος ( $H/t$ ) του τοίχου.

Στην ίδια κατηγορία προσεγγίσεων ανήκει και η διαδικασία αποτίμησης που προτείνει ο κανονισμός επεμβάσεων για αποτίμηση και δομικές επεμβάσεις τοιχοποιίας (ΚΑΔΕΤ). Σύμφωνα με τη διαδικασία αυτή κατασκευάζεται τριγωνικό μοντέλο δύναμης-στροφής  $F-\theta$  (Σχ. 3.2)



**Σχ. 3.2 Καμπύλη δύναμης- στροφής  $F-\theta$  σύμφωνα με το τριγωνικό και το διγραμμικό μοντέλο όπως προτείνεται από τον ΚΑΔΕΤ (Ο.Α.Σ.Π. 2022)**

Η διαφορά είναι πως αντί για τη μετατόπιση που αντιστοιχεί στη φάση της διαρροής και της αστοχίας ( $\Delta_1, \Delta_2$ ) γίνεται χρήση των στροφών που αντιστοιχούν στη διαρροή και την αστοχία

( $\theta_y, \theta_u$ ). Επίσης ο προσδιορισμός της δύναμης διαρροής  $F_y$  γίνεται με τον προσδιορισμό της σεισμικής δύναμης χρησιμοποιώντας το ελαστικό φάσμα απόκρισης.

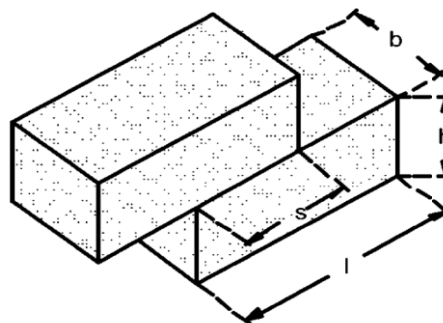
### 3.2.3 Προσεγγίσεις βασισμένες στα εντατικά μεγέθη

Η δεύτερη κατηγορία προσεγγίσεων, αυτές που βασίζονται στη δύναμη ή αλλιώς στα εντατικά μεγέθη (Force Based Approaches (FBA)) συνίστανται στον προσδιορισμό της αντοχής του τοίχου σε όρους πλευρικού φορτίου ή ροπών. Η χρήση μιας τέτοιας πρότασης γίνεται στον αυστραλιανό κανονισμό (AS3700) ο οποίος προτείνει σχέσεις για τον υπολογισμό της αντοχής σε οριζόντια και διαγώνια κάμψη για τον υπολογισμό του οριακού πλευρικού φορτίου που μπορεί να φέρει ο τοίχος. Οι σχέσεις αυτές προκειμένου να υπολογιστεί η οριακή φόρτιση ενός καμπτόμενου εκτός επιπέδου τοίχου βασίζονται στη μέθοδο των δυνατών έργων σύμφωνα με την οποία, το εξωτερικό έργο, που παράγεται από τα εφαρμοζόμενα φορτία και τις μετατοπίσεις που προκαλούν, εξισώνεται με το εσωτερικό έργο που αντιπροσωπεύει την ενέργεια που καταναλώνεται μέσω της ρηγμάτωσης.

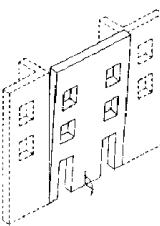
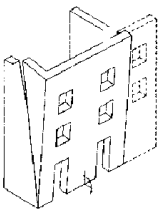
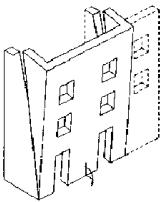
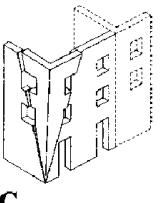
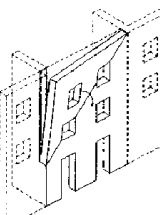
Μια άλλη κατηγορία προσεγγίσεων προτείνουν τον προσδιορισμό συντελεστών φορτίου. Οι συντελεστές φορτίου αποδίδουν το λόγο των δυνάμεων που αντιστέκονται στην αστοχία του τοίχου ή της διάταξης τοίχων και συνιστούν την αντοχή του, προς τη δύναμη που τον καταπονεί. Οι D'Ayala et al. (2003) προτείνουν ένα απλό αναλυτικό μοντέλο υπολογισμού των συντελεστών φορτίου για διάφορους μηχανισμούς κατάρρευσης και την κατάστρωση συναρτήσεων τρωτότητας.

Το μηχανικό μοντέλο στηρίζεται στην παραδοχή πως το κονίαμα, συμβάλει στην αντοχή της τοιχοποιίας μέσω των μηχανισμών συνοχής, τριβής και της σταθεροποιητικής λειτουργίας του ίδιου βάρους των λιθοσωμάτων λόγω της διάταξής τους η δε αστοχία συνίσταται στην ανατροπή ή την ολίσθηση της τοιχοποιίας.

Για κάθε μηχανισμό οι σχέσεις που δίνουν τους συντελεστές φορτίου φαίνονται στα Σχ. 3.4 και Σχ. 3.5 οι δε διαστάσεις του θεωρούμενου λιθοσώματος που απαρτίζει την τοιχοποιία παρουσιάζονται στο Σχ. 3.3

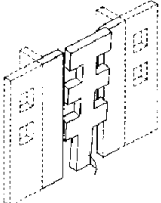


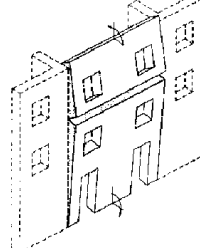
Σχ. 3.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά λιθοσώματος (D'Ayala and Speranza 2003)

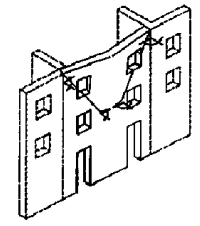
Mechanism	Load factor
 <p><b>A</b></p>	$\lambda_{(0),j} = \frac{\sum_{i=1}^j \frac{T_i^2}{2} L + \beta \frac{h_s}{3} j^2 \mu s b \sum_{i=1}^j \frac{l}{r} + kL \left[ \frac{T_N}{2} + \mu h_s j + \sum_{i=1}^j (T_i + \Delta T + \mu h_s (j-i)) \right]}{h_s \left[ \sum_{i=1}^j L T_i \left( j-i + \frac{1}{2} \right) + kL \left( j + \sum_{i=1}^j (j-i) \right) \right]}$ <p><math>\beta</math> is the number of internal bearing walls orthogonal to the façade, and effectively connected to it as to provide restraining action due to friction</p>
 <p><b>B1</b></p>	$\lambda_{(0),j} = \frac{\sum_{i=1}^j \frac{T_i^2}{2} L + (\varepsilon + \beta) \frac{h_s}{2} j^2 \tan \alpha_j T_s \left( \frac{h_s}{3} \tan \alpha_j + T_i \right) + kL \left[ \frac{T_N}{2} + \mu h_s j + \sum_{i=1}^j (T_i + \Delta T + \mu h_s (j-i)) \right]}{h_s \left[ \sum_{i=1}^j L T_i \left( j-i + \frac{1}{2} \right) + (\varepsilon + \beta) \frac{h_s^2}{3} j^3 \tan \alpha_j + kL \left( j + \sum_{i=1}^j (j-i) \right) \right]}$ <p><math>\varepsilon</math> is the number of edge party walls orthogonal to the façade under exam that can provide restraining action <math>\varepsilon = 1</math>  <math>\beta</math> as above  <math>T_s</math> thickness of party walls and internal bearing walls</p>
 <p><b>B2</b></p>	$\lambda_{(0),j} = \frac{\sum_{i=1}^j \frac{T_i^2}{2} L + (\varepsilon + \beta) \frac{h_s}{2} j^2 \tan \alpha_j T_s \left( \frac{h_s}{3} \tan \alpha_j + T_i \right) + kL \left[ \frac{T_N}{2} + \mu h_s j + \sum_{i=1}^j (T_i + \Delta T + \mu h_s (j-i)) \right]}{h_s \left[ \sum_{i=1}^j L T_i \left( j-i + \frac{1}{2} \right) + (\varepsilon + \beta) \frac{h_s^2}{3} j^3 \tan \alpha_j + kL \left( j + \sum_{i=1}^j (j-i) \right) \right]}$ <p><math>\beta</math> as above  <math>\varepsilon</math> as above <math>\varepsilon = 2</math></p>
 <p><b>C</b></p>	$\lambda_{(0),j} = \frac{\theta_y \left[ \frac{T_N + T_j}{2} \frac{j^2}{2} + v k \sum_{i=0}^{j-1} (j-i) \right] \sqrt{\left( \frac{j h_h}{3} \theta_y \right)^2 + \left( \frac{T_j}{2} \right)^2} + \theta_x \left[ \frac{T_N + T_j}{2} \frac{j^2}{2} + v k \sum_{i=0}^{j-1} (j-i) \right] \sqrt{\left( \frac{j h_h}{3} \theta_x \right)^2 + \left( \frac{T_j}{2} \right)^2}}{\frac{2}{3} j \left[ j^2 \frac{T_N + T_j}{2} \frac{h_s}{2} (\theta_y + \theta_x) + k(v \theta_y + (1-v) \theta_x) \sum_{i=0}^{j-1} (j-i) \right]}$ <p><math>\theta_y = \tan \alpha_y</math>  <math>\theta_x = \tan \alpha_x</math>  <math>v</math> integer identifies the load bearing wall <math>v = (0,1)</math></p>
 <p><b>D</b></p>	$\lambda_{(0),j} = \frac{\frac{T_{mj}}{2} \left[ \frac{T_{mj}}{2} L j + kL + k h_s \tan \alpha_j \sum_{i=1}^{j-1} (j-i) \right] + \left( 1 + \sum_{i=1}^j \left( \frac{L \beta}{L} \right)^2 \right) \frac{h_s}{3} j^2 \mu s b \sum_{i=1}^j \frac{l}{r} + \mu j k h_s \left[ \frac{L}{2} + \frac{2}{3} h_s \tan \alpha_j \sum_{i=1}^{j-1} (j-i) \right]}{j \left[ j \frac{L T_{mj}}{3} + kL \frac{h_s}{2} + \frac{2}{3} k h_s^2 \tan \alpha_j \sum_{i=1}^{j-1} (j-i) \right]}$ <p><math>\beta</math> as above  <math>L_\beta</math> width of facade in between party walls.  <math>T_{mj}</math> average thickness of wall over height of overturning portion</p>

Σχ. 3.4 Σχέσεις συντελεστών φορτίου για τους μηχανισμούς αστοχίας A, B1, B2, C, D (D'Ayala and Speranza 2003)



 <p><b>E</b></p>	$\lambda_{(0),j} = \frac{\sum_{i=1}^j \frac{T_i^2}{2} L_{var} + [(v + \eta)(h_s - h_{op}) + \beta h_s] \frac{1}{3} j^2 \mu s b \sum_{i=1}^j \frac{l}{r} + k L_{var} \left[ \frac{T_N}{2} + \mu h_s j + \sum_{i=1}^j (T_i + \Delta T + \mu h_s (j - i)) \right]}{h_s L_{var} \left[ \sum_{i=1}^j T_i \left( j - i + \frac{1}{2} \right) + k \left( j + \sum_{i=1}^j (j - i) \right) \right]}$ <p> <math>\beta</math> as above  <math>\epsilon</math> as above <math>\epsilon = (1,2)</math>  <math>\eta</math> is the number of vertical discontinuities within the façade noncoincident with the façade edges  <math>\eta = (1,2)</math>  <math>v = \epsilon - \eta</math>, integer <math>v = (0,1)</math> provides the number of active side connections         </p>
---	--

Mechanism	Load factor
 <p><b>F</b></p>	$\lambda_{(0)} = \frac{\frac{T_i}{4} (T_i + T_k + k) + \frac{T_i v}{h_v} \left( \frac{T_N + T_i}{2} h_u + k h_s \right) + \frac{2 s b h_v \mu (v - 1)}{3 l v^2} \left[ \sum_{i=r_0}^{r_1} \frac{l}{r} + (v - 1) \sum_{i=r_2}^{r_3} \frac{l}{r} \right]}{\frac{h_v (v - 1)}{4 v^2} [T_i - T_j + v(T_k + T_j)] + \frac{k(v - 1)}{v} [h_v + h_i - h_j]} + \frac{\frac{\sigma_u}{h_v 6 \gamma} [T_i^2 + v T_k^2 + (v - 1) T_j^2]}{\frac{h_v (v - 1)}{4 v^2} [T_i - T_j + v(T_k + T_j)] + \frac{k(v - 1)}{v} [h_v + h_i - h_j]}$ <p> <math>r_0, r_1, r_2, r_3</math>, number of courses above upper hinge, middle hinge, lower hinge, respectively  <math>1/v</math> real number (0,1)  <math>h_v</math>, height of portion of wall subjected to mechanism         </p>

 <p><b>G</b></p>	$\lambda_{\alpha, hi} = \frac{\mu \left[ \left( l_\alpha \frac{T_u + T_i}{4} + \frac{kL}{2i} \right) \frac{l_\alpha}{2} + \frac{(T_u + T_i)^2 (L - l_\alpha)}{4} + s b (T_u + T_i) \sum_{i=1}^j \frac{l}{r} + s_\beta b_\beta l_\alpha \sum_{i=1}^j \frac{l_\beta}{r_\beta} \right]}{\left[ \frac{(l_\alpha + L)(T_u + T_i)}{8} + \frac{kL}{2i} \right] \frac{5l_\alpha^2 + 5Ll_\alpha - L^2}{3(l_\alpha + l)}}$ <p> <math>l_\alpha = L - h_i 2t g \alpha_i</math>, valid for <math>2l_\alpha (l_\alpha + L) &gt; L^2</math>              The index <math>\beta</math> identifies quantities associated with internal bearing walls         </p>
---	--

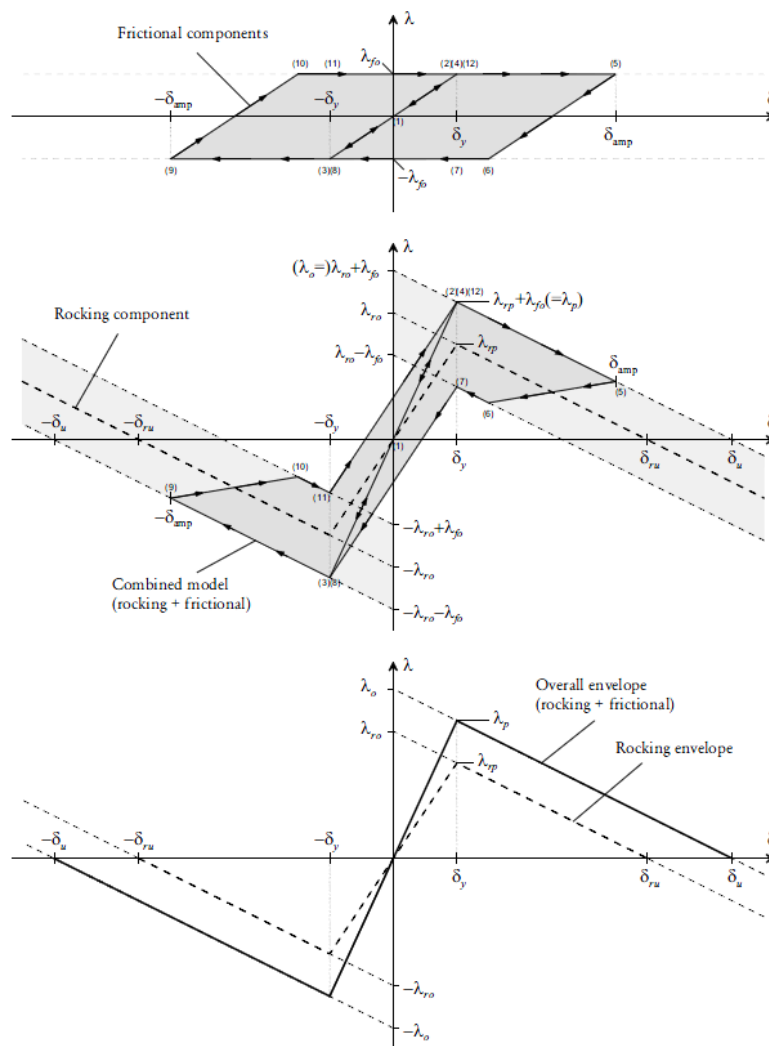
Σχ. 3.5 Σχέσεις συντελεστών φορτίου για τους μηχανισμούς αστοχίας E, F, G (D' Ayala and Speranza 2003)

Σε έρευνες μετά από σεισμό κατά την καταγραφή των ρωγμών (D' Ayala, 1999) και σε συνδυασμό με τη διαθέσιμη βιβλιογραφία για την αναγνώριση των βλαβών που υπέστη η τοιχοποιία (Karantoni and Bouckovalas, 1997; Tomaževič, 2009), παρατηρείται ότι ένας πολύ συχνά επαναλαμβανόμενος μηχανισμός αστοχίας είναι η ανατροπή της πρόσοψης του κτηρίου. Αυτός ο μηχανισμός πολλές φορές περιλαμβάνει και αστοχία τμημάτων των πλευρικών τοίχων. Ανάλογα με την κατασκευή διακρίνονται μηχανισμοί αστοχίας και για καθέναν από αυτούς υπολογίζεται ο συντελεστής φορτίου.

Ο Vaculik (2012) παρουσιάζει μια βελτίωση των σχέσεων που δίνουν τον συντελεστή φορτίου για κάθε περίπτωση. Το προτεινόμενο μοντέλο υστέρησης φορτίου-μετατόπισης για την καμπτική απόκριση της τοιχοποιίας έχει οριστεί ώστε να προσομοιώνει πλήρως την απόκρισή της στην κάμψη, τόσο της ελαστικής απόκρισης πριν τη ρηγμάτωση και της

προοδευτικής μείωσης της αντοχής και της δυσκαμψίας κατά την εξέλιξη της ρηγματώσης, όσο και της εναπομένουσας αντοχής.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν παρατηρήθηκαν σε ημιστατικές κυκλικές δοκιμές (Vaculik, 2012). Το μοντέλο βασίζεται στην υπέρθεση τριών συστατικών νόμων υστέρησης, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.6. Αυτοί οι νόμοι αντιπροσωπεύουν τους διάφορους εσωτερικούς μηχανισμούς αντίστασης που υπάρχουν στην άοπλη τοιχοποιία, με τον καθένα να παρουσιάζει ένα διαφορετικό μέρος της υστέρησης φορτίου-μετατόπισης.



Σχ. 3.6 Βρόχοι υστέρησης (Vaculik, 2012)

Στην ίδια κατηγορία προσεγγίσεων ανήκει και η διαδικασία που προτείνει ο Ευρωκώδικας. Η αντιμετώπιση του φαινομένου της εκτός επιπέδου κάμψης των στοιχείων από τοιχοποιία από τον Ευρωκώδικα γίνεται κατά κύριο λόγο από τις διατάξεις του EC6 σύμφωνα με τον οποίο υπολογίζονται οι ροπές αντοχής του τοίχου στις δύο διευθύνσεις κάμψης του. Ως πλευρικό φορτίο αναφέρεται η ανεμοπίεση και όχι η σεισμική φόρτιση, καθώς γενικότερα ο σεισμός αφορά τον EC8. Πιο συγκεκριμένα η διαδικασία που προτείνει συνίσταται στον

προσδιορισμό των ροπών που αναπτύσσονται λόγω του πλευρικού φορτίου στις δύο διευθύνσεις του υπό εξέταση τοίχου ( $M_{Ed,1}$ ,  $M_{Ed,2}$ ) και η σύγκρισή τους με τη ροπή αντοχής.

### 3.2.4 Ευρωκώδικας

Το φαινόμενο της εκτός επιπέδου κάμψης της φέρουσας τοιχοποιίας ως προς το είδος του πλευρικού φορτίου αντιμετωπίζεται στον *EC6* γενικευμένα χωρίς εξειδίκευση στα σεισμικά φορτία. Ο *EC8*, στο κεφάλαιο 9 του πρώτου μέρους δεν δίνει λεπτομέρειες για τον υπολογισμό του οριακού σεισμικού φορτίου, ορίζει ειδικούς κανόνες που πρέπει να πληρούνται ώστε η κατασκευή από τοιχοποιία να θεωρείται σεισμικά επαρκής. Οι κανόνες αυτοί αφορούν:

- Υλικά και τρόπος δόμησης
  - Τύποι λιθοσωμάτων
  - Ελάχιστη αντοχή των λιθοσωμάτων
  - Κονίαμα
  - Συνάφεια στην τοιχοποιία
- Τύποι κατασκευής και συντελεστές συμπεριφοράς

Πιο συγκεκριμένα ο *EC6* προτείνει την εξής διαδικασία για τον υπολογισμό του οριακού πλευρικού φορτίου:

Για έναν τοίχο που υπόκειται σε διαξονική κάμψη, δηλαδή έχει δεσμευμένες τις 3 ή 4 πλευρές του οι δρώσες ροπές δίνονται από τις σχέσεις :

$$M_{Ed,1} = \mu \cdot \alpha_2 \cdot w_{ed} \cdot l^2$$

- για επίπεδο αστοχίας παράλληλο με τους οριζόντιους αρμούς

$$M_{Ed,2} = \alpha_2 \cdot w_{ed} \cdot l^2$$

- για επίπεδο αστοχίας κάθετο στους οριζόντιους αρμούς

Όπου

$l$  είναι το μήκος του τοίχου

$w_{ed}$  είναι το πλευρικό φορτίο σχεδιασμού

$\alpha_2$  είναι ο συντελεστής της καμπτικής ροπής που εξαρτάται από το λόγο του ύψους προς το μήκος του τοίχου  $h/l$  και τις συνθήκες στήριξής του και δίνεται από τους πίνακες του παραρτήματος *E* του *EC6*.

$\mu$  είναι ένας συντελεστής που εκφράζει τον λόγο των χαρακτηριστικών αντοχών της τοιχοποιίας στα δύο επίπεδα αστοχίας, δηλαδή:

$$\mu = \frac{f_{xk,1}}{f_{xk,2}}$$

Οι ροπές αντοχής του τοίχου για τα δύο επίπεδα αστοχίας δίνονται από τις σχέσεις:

- επίπεδο αστοχίας παράλληλο στους οριζόντιους αρμούς

$$M_{Rd,1} = f_{xd,1} \cdot Z$$

- για επίπεδο αστοχίας κάθετο στους οριζώντιους αρμούς

$$M_{Rd,2} = f_{xd,2} \cdot Z$$

με

$$f_{xd,i} = \frac{f_{xk,i}}{\gamma_M}$$

Όπου

$\gamma_M$  είναι ο συντελεστής του υλικού σύμφωνα με την παράγραφο 2.4.3 του EC6.

$i=1,2$  για τα δύο επίπεδα καμπτικής αστοχίας αντίστοιχα

$f_{xk,i}$  είναι η χαρακτηριστική καμπτική αντοχή της τοιχοποιίας σύμφωνα με τον EC6 (Πίνακας 3.1 και 3.2)

$Z$  είναι η ροπή αντίστασης της διατομής που εκφράζεται σε  $mm^3/m$  για ορθογωνική διατομή τοιχοποιίας πάχους  $t$  δίνεται από τη σχέση:

$$Z = \frac{t^2}{6}$$

Με την εξίσωση της ροπής αντοχής με τη ροπή σχεδιασμού για ένα από τα δύο επίπεδα καμπτικής αστοχίας προκύπτει η τιμή του οριακού πλευρικού φορτίου που μπορεί να παραλάβει ο τοίχος χωρίς να αστοχήσει.

$$M_{Ed,1} = M_{Rd,1} \Rightarrow \mu \cdot \alpha_2 \cdot w_{ed} \cdot l^2 = f_{xd,1} \cdot Z \Rightarrow w_{ed} = \frac{f_{xd,1} \cdot Z}{\mu \cdot \alpha_2 \cdot l^2}$$

Λαμβάνοντας υπ' όψιν την ευεργετική δράση του θλιπτικού φορτίου αντί της αντοχής σχεδιασμού της τοιχοποιίας  $f_{xd,1}$  χρησιμοποιείται η  $f_{xd,1,app}$  η οποία ισούται με:

$$f_{xd,1,app} = f_{xd,1} + \sigma_d$$

Όπου,

$\sigma_d$  : η τάση λόγω του θλιπτικού φορτίου και πρέπει  $\sigma_d \leq 0.2f_d$  με  $f_d$  τη θλιπτική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας.

**Πίνακας 3.1 Τιμές της  $f_{xk1}$  για επίπεδο αστοχίας παράλληλο προς τους οριζώντιους αρμούς (EC6)**

Υλικό λιθοσώματος	$f_{xk1}$ (N/mm <sup>2</sup> )			
	Κονίαμα γενικής εφαρμογής		Κονίαμα λεπτής στρώσεως	Ελαφροκονίαμα
	$f_m < 5\text{N/mm}^2$	$f_m \geq 5\text{N/mm}^2$		
Άργιλος	0.10	0.10	0.15	0.10
Πυριτικό ασβέστιο	0.05	0.10	0.20	Δεν χρησιμοποιείται
Σκυρόδεμα με αδρανή	0.05	0.10	0.20	Δεν χρησιμοποιείται
Αυτόκλειστο κυψελωτό σκυρόδεμα	0.05	0.10	0.15	0.10
Τεχνητοί λίθοι	0.05	0.10	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	0.05	0.10	0.15	Δεν χρησιμοποιείται

**Πίνακας 3.2 Τιμές της  $f_{xk2}$  για επίπεδο αστοχίας κάθετο ως προς τους οριζόντιους αρμούς (EC6)**

Υλικό λιθοσώματος		$f_{xk2}$ (N/mm <sup>2</sup> )			
		Κονίαμα γενικής εφαρμογής		Κονίαμα λεπτής στρώσεως	Ελαφροκονίαμα
		$f_m < 5\text{N/mm}^2$	$f_m \geq 5\text{N/mm}^2$		
Άργιλος		0.20	0.40	0.15	0.10
Πυριτικό ασβέστιο		0.20	0.40	0.30	Δεν χρησιμοποιείται
Σκυρόδεμα με αδρανή		0.20	0.40	0.30	Δεν χρησιμοποιείται
Αυτόκλειστο κυψελωτό σκυρόδεμα	$\rho < 400\text{kg/m}^3$	0.20	0.20	0.20	0.15
	$\rho \leq 400\text{kg/m}^3$	0.20	0.40	0.30	0.15
Τεχνητοί λίθοι		0.20	0.40	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
Λαξευτοί φυσικοί λίθοι		0.20	0.40	0.15	Δεν χρησιμοποιείται

### 3.2.5 Κανονισμός για αποτίμηση και δομικές επεμβάσεις τοιχοποιίας (ΚΑΔΕΤ)

Ο ΚΑΔΕΤ είναι κανονισμός για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς μιας υφιστάμενης κατασκευής από τοιχοποιία. Παρέχει μια λεπτομερή εξέταση του φαινομένου της κάμψης εκτός επιπέδου. Η εξέταση αυτή μπορεί να γίνει μέσω ελέγχων βασισμένων είτε στις παραμορφώσεις είτε στα εντατικά μεγέθη.

Ως κανονισμός αποτίμησης για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών και των παραμορφώσεων χρησιμοποιούνται οι μέσες τιμές των ιδιοτήτων των υλικών σε αντίθεση με τον ευρωκώδικα που αφορά το σχεδιασμό και κάνει χρήση των τιμών σχεδιασμού.

#### 3.2.5.1 Έλεγχος με βάση τα εντατικά μεγέθη

Σύμφωνα με το Παράρτημα 5-B του ΚΑΔΕΤ οι εγκάρσιοι τοίχοι ελέγχονται σε εκτός επιπέδου κάμψη υπό ομοιόμορφα κατανεμημένο οριζόντιο φορτίο (Σχ. 3.7)  $w_{Ed}$ :

$$w_{Ed} = S_e(T_C) \cdot B \cdot C_m / g$$

όπου,

$S_e(T_C)$ : η φασματική επιτάχυνση (από την § 3.2.2.2 του ΕΚ 8-1).

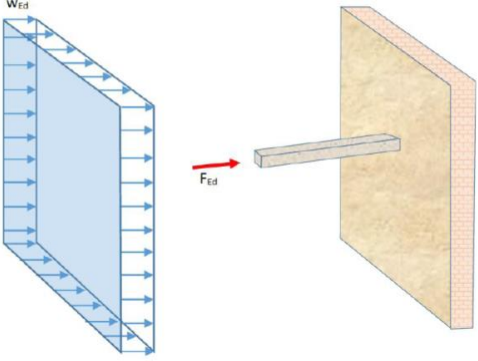
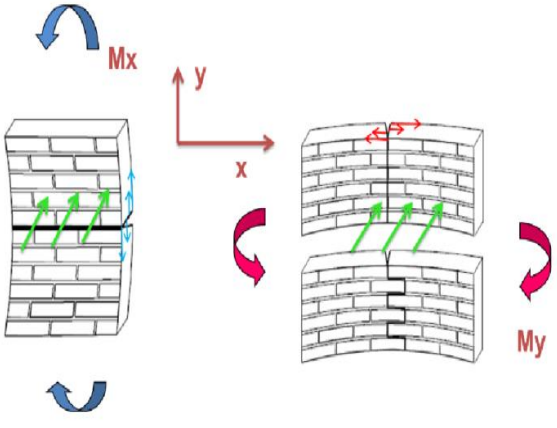
$B$ : το ίδιο βάρος ανά μονάδα επιφάνειας του τοίχου (σε kN/m<sup>2</sup>)

Ο συντελεστής δρώσας μάζας,  $C_m$ , ορίζεται στην § 5.4.4 ΚΑΔΕΤ

Επιπρόσθετα θα πρέπει να συνεκτιμώνται και οι τυχούσες αδρανειακές δυνάμεις που μεταφέρονται από τα πατώματα στους τοίχους μέσω δοκών εμπηγμένων στους εν λόγω τοίχους. Οι δυνάμεις αυτές ασκούνται κάθετα προς τον τοίχο στην στάθμη του πατώματος και το μέγεθός τους είναι:

$$F_{ed} = S_e(T_C) \cdot C_m \cdot M_{dia}$$

όπου  $M_{dia}$  είναι η επιμεριζόμενη μάζα του οριζοντίου διαφράγματος που στηρίζεται από τον υπό μελέτη τοίχο.

	(α) κάμψης περί οριζόντιο άξονα	(β) κάμψης περί κατακόρυφο άξονα
 <p><b>Σχ. 3.7 Δυνάμεις που ασκούνται στον εγκάρσιο τοίχο (ΚΑΔΕΤ)</b></p>	 <p><b>Σχ. 3.8 Εκτός επιπέδου κάμψη τοίχου (ΚΑΔΕΤ)</b></p>	

Για τον έλεγχο επάρκειας μιας διατομής άοπλης τοιχοποιίας έναντι εκτός επιπέδου κάμψης, διακρίνονται δυο περιπτώσεις (Σχ. 2):

(α) Εκτός επιπέδου ροπή κάμψης περί οριζόντιο άξονα.

Η ροπή κάμψης την οποία μπορεί να αναλάβει η διατομή ελέγχου εξαρτάται από την θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας και από την τιμή του (ευμενούς) αξονικού φορτίου, κατά την ακόλουθη σχέση:

$$M_R = \frac{1}{2} l t_w^2 \sigma_o \left( 1 - \frac{\sigma_o}{f_{wc}} \right)$$

όπου,

$\sigma_o (=N/ l \cdot t_w)$  η μέση θλιπτική τάση λόγω αξονικής δράσεως στην διατομή ελέγχου,

$l$  και  $t_w$  το μήκος και το πάχος της διατομής και

$f_{wc}$  η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας

(β) Εκτός επιπέδου ροπή κάμψης περί κατακόρυφο άξονα:

Σ' αυτήν την περίπτωση, ο έλεγχος της κρίσιμης διατομής γίνεται μέσω σύγκρισης της αναπτυσσόμενης εφελκυστικής τάσης στην ακραία εφελκυσόμενη ίνα, με την αντίστοιχη εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας:

$$\sigma_{wt} = \frac{6 M_s}{l t_w^2} < f_{wt}$$

όπου,

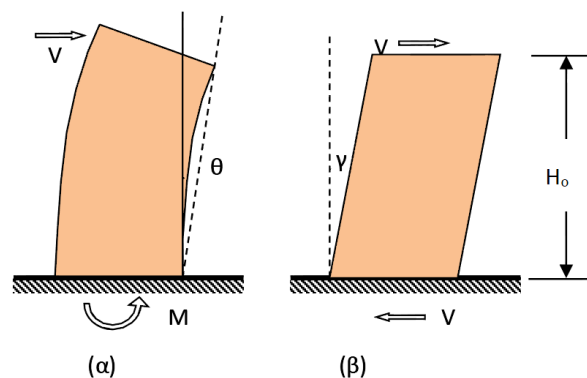
$\sigma_{wt}$  η τάση στην ακραία εφελκόμενη ίνα, οφειλόμενη σε ροπή  $M_s$   
 $l$  και  $t_w$  το μήκος και το πάχος του στοιχείου αντιστοίχως  
 $f_{wt}$  η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας

Ελλείψει ακριβέστερων στοιχείων, η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας,  $f_{wt}$ , μπορεί να λαμβάνεται ίση με 0.10 MPa, όταν η θλιπτική αντοχή του κονιάματος δεν υπερβαίνει τα 2.0 MPa, ίση με 0.20 MPa, όταν η θλιπτική αντοχή του κονιάματος δομήσεως είναι μεταξύ 2.0 και 5.0 MPa και ίση με 0.40 MPa, όταν η θλιπτική αντοχή του κονιάματος είναι μεγαλύτερη από 5.0 MPa

### 3.2.5.2 Έλεγχος με βάση τις παραμορφώσεις με την κατασκευή του προσομοιώματος της συμπεριφοράς του τοίχου.

Η μηχανική συμπεριφορά ενός τοίχου, μπορεί να περιγράψει μέσω ενός διαγράμματος εντατικού μεγέθους “F” και της παραμόρφωσης ή σχετικής μετακίνησης “δ” (Σχ. 3.9). Το είδος, η διεύθυνση κ.λπ. του μεγέθους F επιλέγονται με τρόπο ώστε να χαρακτηρίζουν το κύριο μέρος της έντασης την οποία προκαλεί η σεισμική δράση στο στοιχείο. Η παραμόρφωση δ επιλέγεται έτσι ώστε, σε συνδυασμό με το εντατικό μέγεθος F, να εκφράζει την ενέργεια παραμόρφωσης του στοιχείου, της κρίσιμης περιοχής ή της σύνδεσης. Στις περιπτώσεις όπου καθοριστική για την ανελαστική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων είναι η κάμψη, κατάλληλα μεγέθη F και δ είναι η ροπή κάμψης M και η στροφή χορδής  $\theta$  του στοιχείου (Σχ. 3.9(α)).

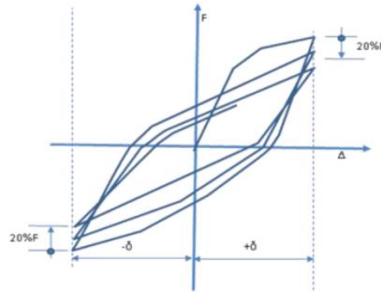
Αν καθοριστική για την ανελαστική συμπεριφορά είναι η διάτμηση, κατάλληλα μεγέθη είναι η τέμνουσα δύναμη V και η γωνιακή (διατμητική) παραμόρφωση  $\gamma$  (Σχ. 3.9(β)).



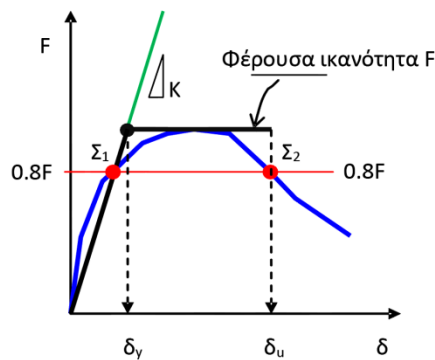
Σχ. 3.9 Εντατικά μεγέθη καμπτόμενου στοιχείου τοιχοποιίας (ΚΑΔΕΤ)

Εάν διατίθενται πειραματικά στοιχεία, θεωρείται ότι η μηχανική συμπεριφορά περιγράφεται από την περιβάλλουσα των εξασθενημένων αποκρίσεων F, στο τέλος του πρώτου κύκλου, μετά από πλήρως ανακυκλιζόμενη επιβαλλόμενη παραμόρφωση  $\pm\delta$ , μέχρι και την απώλεια της ικανότητας του δομικού στοιχείου κατά 20% επί της μεγίστης τιμής (Σχ. 3.10). Ο

προσδιορισμός των παραμορφώσεων διαρροής και αστοχίας ακολουθεί την διαδικασία του Σχ. 3.11

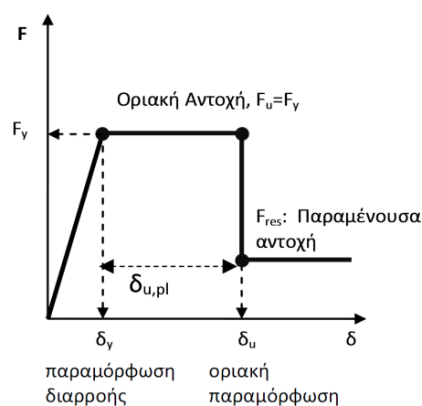


Σχ. 3.10 Ορισμός περιβάλλουσας. (ΚΑΔΕΤ)



Σχ. 3.11 Ορισμός παραμόρφωσης οιονεί διαρροής και αστοχίας στην καμπύλη αντίστασης τοίχου. (ΚΑΔΕΤ)

Όταν δεν διατίθενται πειραματικά δεδομένα για την συμπεριφορά δομικών στοιχείων με χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα των εξεταζόμενων, τότε μπορεί να χρησιμοποιείται ένα σχηματοποιημένο διάγραμμα συμπεριφοράς. (Σχ. 3.12)



Σχ. 3.12 Σχηματοποιημένο διάγραμμα συμπεριφοράς (ΚΑΔΕΤ)

Η προσέγγιση της πραγματικής καμπύλης F-δ μέσω ενός πολυγραμμικού διαγράμματος είναι γενικώς επαρκής για τις ανάγκες του σχεδιασμού. Στο Σχ. 3.12 ο πρώτος ευθύγραμμος κλάδος εκτείνεται από την αρχή των αξόνων μέχρι τη συμβατική (ή ενεργό) “διαρροή” του στοιχείου (ή της κρίσιμης περιοχής του στοιχείου, ή της σύνδεσης δύο ή περισσότερων



στοιχείων), μετά την οποία η καμπύλη F-δ μπορεί να λαμβάνεται κατά προσέγγιση ως οριζόντια.

Η στροφή που αντιστοιχεί στο στάδιο της «οιονεί διαρροής» επιφανειακών στοιχείων από φέρουσα τοιχοποιία,  $\theta_y$ , είναι η μέση ανηγμένη απόκλιση μεταξύ του παραμορφωμένου στοιχείου και της χορδής του κατά την έναρξη της ρηγμάτωσης.

Για εκτός επιπέδου κάμψη, η στροφή χορδής «διαρροής»,  $\theta_y$ , μπορεί να λαμβάνεται ως 0.0020

Ο υπολογισμός της αντοχής σε κάμψη στο στάδιο της διαρροής που οφείλεται σε αξονικό φορτίο και σε καμπτική ροπή, και την απαίτηση της μη υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας,  $f_{xk}$  δίνεται από τους παρακάτω τύπους:

- για κάμψη κάθετα στους οριζόντιους αρμούς

$$M_y = f_{xk,2} \frac{t^2}{6}$$

- για κάμψη παράλληλα στους οριζόντιους αρμούς

$$M_y = \frac{(f_{xk,1} + \sigma_d)t^2}{6}$$

Όπου

$t$  είναι το πάχος του τοίχου

$f_{xk,1}$  είναι η χαρακτηριστική καμπτική αντοχή της τοιχοποιίας για κάμψη παράλληλα στους οριζόντιους αρμούς (για κατακόρυφες λωρίδες), και

$f_{xk,2}$  είναι η χαρακτηριστική καμπτική αντοχή της τοιχοποιίας για κάμψη κάθετα στους οριζόντιους αρμούς (για οριζόντιες λωρίδες).

Η παράμετρος  $\sigma_d$  είναι το αξονικό φορτίο στη στάθμη ελέγχου.

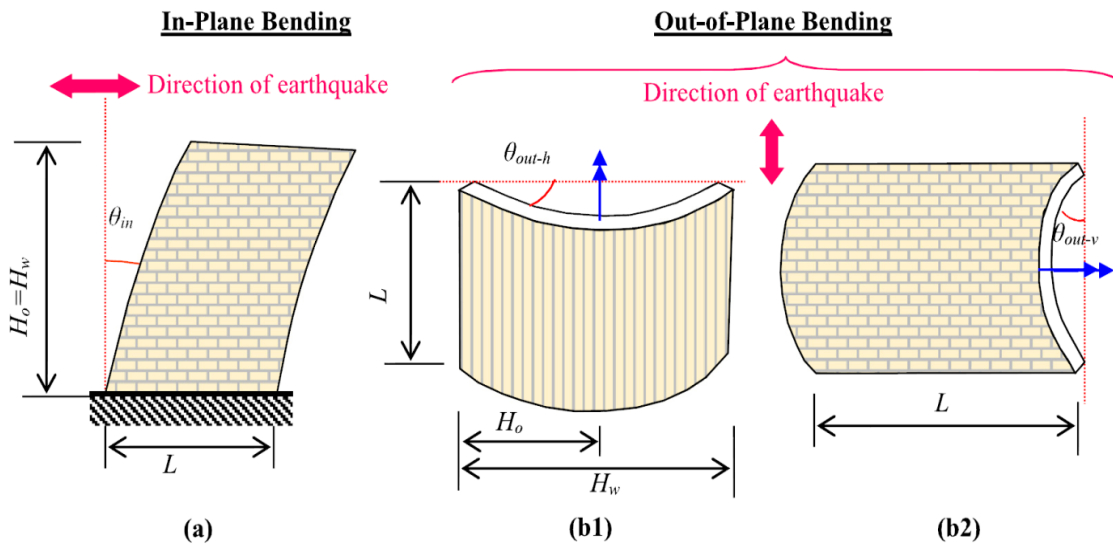
Τιμές για τις  $f_{xk}$  δίνονται σε σχετικό κεφάλαιο του κανονισμού και προτείνονται ελλείψει στοιχείων η χρήση τιμών για κονιάματα κατά τον EN 1996-1.

Το σημείο κατάρρευσης ενός στοιχείου τοιχοποιίας προσδιορίζεται ως εξής :

Η ονομαστική ικανότητα παραμόρφωσης  $\theta_u$  για κάμψη εκτός επιπέδου, υπολογίζεται ως εξής:

$$\theta_u = \min\{\theta_{u,1}; \theta_{0,2}\} = \min\left\{0.003 \frac{H_0}{t_{u,1}} ; \theta_{Ru} \cdot \left(1 - \frac{F_y}{F_{Rd}}\right)\right\}$$

Η στροφή υπολογίζεται κατόπιν αναγωγής της μετακίνησης προς την απόσταση  $H_0$ , και μπορεί να ορισθεί με αναφορά την σχετική μετακίνηση σημείων τα οποία βρίσκονται είτε στην ίδια κατακόρυφη ευθεία είτε στην ίδια διατομή του τοίχου (Σχ. 3.13(b2) και (b1), αντιστοίχως).



**Σχ. 3.13 Ορισμός σχετικής στροφής (α) για την εντός επιπέδου κάμψη και για την εκτός επιπέδου ως (b1) απόκλιση σημείων της ίδιας οριζόντιας ευθείας και ως (b2) απόκλιση από την κατακόρυφη ευθεία (Pardalopoulos et al. 2019)**

Όταν η σχετική οριζόντια μετάθεση από το σημείο στήριξης μέχρι την μέγιστη εκτός επιπέδου μετακίνηση υπερβαίνει το πάχος του τοίχου,  $t$ , επέρχεται αστάθεια λικνισμού και οιονεί κατάρρευση. Άρα η στροφή ανατροπής τμήματος του καμπτόμενου τοίχου, η οριακή δηλαδή στροφή, δίνεται από τη σχέση:

$$\theta_{R,u} = \frac{t}{H_o}$$

όπου  $H_o$  είναι η απόσταση του σημείου μέγιστης μετακίνησης από την ακμή αστοχίας περί την οποία πραγματοποιείται ο λικνισμός και φαίνεται στο Σχ. 3.14.

Η δύναμη στην οποία αντιστοιχεί η οριακή στροφή  $F_{Rd}$  είναι η δύναμη που δίνεται από την εξής σχέση:

$$F_{Rd} = \lambda \cdot p_e \cdot A_{L,w}$$

με  $p_e$  την οριζόντια σεισμική πίεση που ασκείται στους τοίχους που διάκεινται ορθογωνίως προς την κατεύθυνση του σεισμού και δίνεται από τη σχέση :

$$p_e = S_e(T_1) \cdot t \cdot \gamma$$

με  $\gamma$  τη μάζα ανά μονάδα όγκου της τοιχοποιίας και  $A_{L,w}$  το εμβαδόν του τοιχίου κάθετα στη σεισμική δράση:

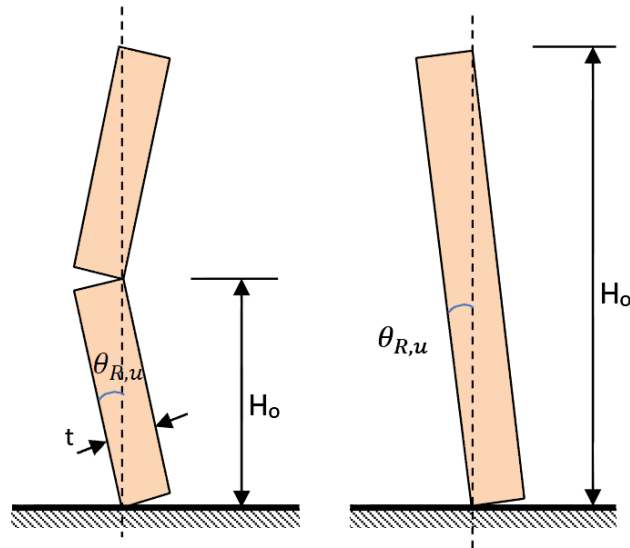
$$A_{L,w} = L \cdot H_w - A_{op}$$

Όπου:

$A_{op}$  το συνολικό εμβαδόν των ανοιγμάτων κατά μήκος του υπό εξέταση τοίχου.

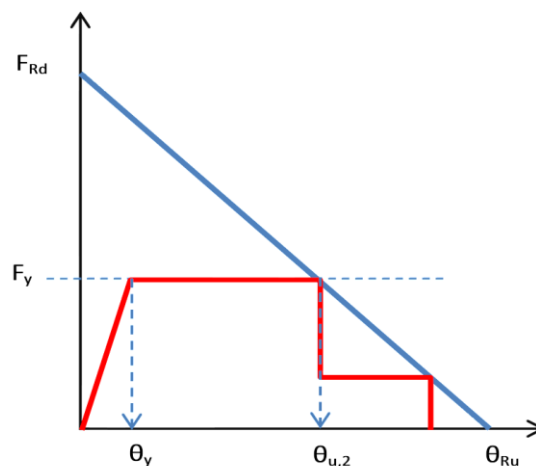
$S_e(T)$  η φασματική επιτάχυνση

Η σταθερά  $\lambda$  αντιστοιχεί στο βαθμό σύνδεσης των πλευρών του τοίχου και είναι  $\lambda=2$  για τοίχιο με συνθήκες πάκτωσης πάνω και κάτω, ή αριστερά και δεξιά ενώ  $\lambda=1$  για όλες τις άλλες περιπτώσεις.



Σχ. 3.14 Ορισμός οριακής στρωφής  $\theta_{R,u}$  (KADET).

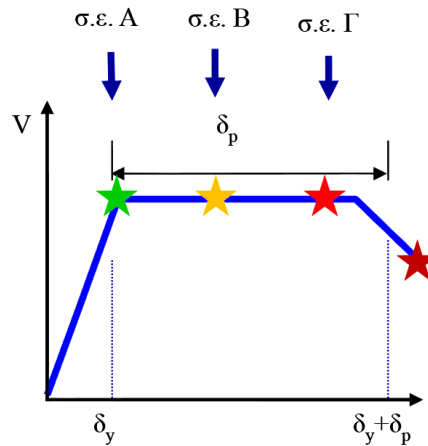
Η περιβάλλουσα δύναμης λικνισμού – στρωφής του λικνιζόμενου μέλους ακολουθεί στο επόμενο σχήμα



Σχ. 3.15 Ορισμός των σημείων περιβάλλουσας αντοχής τοίχου σε εκτός επιπέδου αστοχία.

Μετά την παραμόρφωση αστοχίας,  $\delta_u$ , μειώνεται σημαντικά η απόκριση του στοιχείου σε ένταση λόγω σεισμικής δράσης υπό αυξανόμενη παραμόρφωση  $\delta$ , αλλά συνήθως δεν μηδενίζεται. Η απόκριση αυτή μπορεί να θεωρηθεί περίπου σταθερή μέχρι την παραμόρφωση που προκαλεί απώλεια της αντίστασης έναντι φορτίων βαρύτητας, αναφέρεται δε ως απομένουσα αντίσταση  $F_{res}$ . Η τιμή της απομένουσας αντίστασης ενδιαφέρει μόνον για λόγους προσομοίωσης.

Τα όρια του λόγου σχετικής μετακίνησης για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας (Περιορισμένες Βλάβες, Σημαντικές Βλάβες, Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης) (Σχ. 3.16) κατά την κάμψη τοίχου εκτός επιπέδου φαίνονται στον Πίνακα 3.3



σ.ε. Α = Οριακή Κατάσταση Περιορισμού Βλαβών (DL)

σ.ε. Β = Οριακή Κατάσταση Σημαντικών Βλαβών (SD)

σ.ε. Γ = Οριακή Κατάσταση Οιονεί Κατάρρευσης (NC)

**Σχ. 3.16 Ορισμός σταθμών επιτελεστικότητας (ΚΑΔΕΤ)**

**Πίνακας 3.3 Όρια του λόγου σχετικής μετακίνησης για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας κατά την κάμψη τοιχείου εκτός επιπέδου**

Τύπος σεισμικής απόκρισης	Όρια του λόγου σχετικής μετακίνησης	Στάθμη επιτελεστικότητας
Εκτός Επιπέδου	$\theta_{out} \leq 0.002$	A: «Περιορισμένες Βλάβες»
	$0.002 \leq \theta_{out} \leq 0.75 \theta_u$	B: «Σημαντικές Βλάβες»
	$0.75 \theta_u \leq \theta_{out} \leq 1.33 \theta_u$	Γ: «Οιονεί κατάρρευση»

### 3.2.6 Σύγκριση μεθόδων

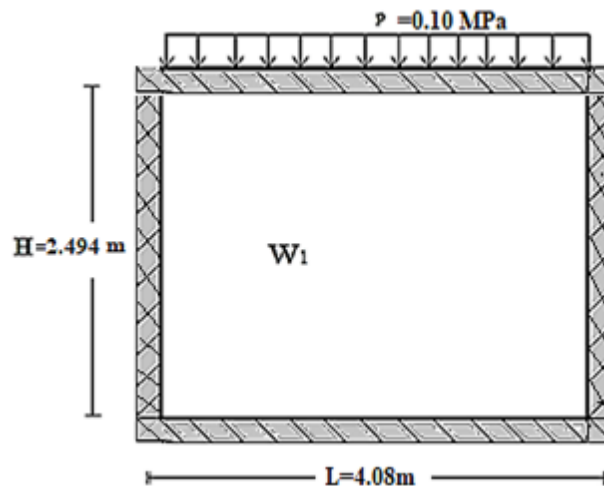
Σε εργασία της η Σαρρή (2019) παρουσιάζει και συγκρίνει τις κυριότερες προσεγγίσεις για την εκτός επιπέδου συμπεριφορά της φέρουσας τοιχοποιίας.

Στην εργασία αυτή έγινε εφαρμογή των προτεινόμενων προσεγγίσεως ή κανονισμών σε δυο τοίχους ( $w_1$ ) και ( $w_2$ ).

Ο τοίχος ( $w_1$ ) έχει χρησιμοποιηθεί σε πειραματικές δοκιμές κι επιλέχθηκε ώστε να υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων με πειραματικά στοιχεία. Ο τοίχος  $w_2$  επιλέχθηκε γιατί ακολουθεί τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές για τη φέρουσα τοιχοποιία ως προς το ελάχιστο πάχος, τα χρησιμοποιούμενα λιθοσώματα και τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των υλικών τους είναι οι εξής:

ΤΟΙΧΟΣ:  $w_1$ :



Σχ. 3.17 Γεωμετρία τοίχου ( $w_1$ ) (Σαρρή 2019)

Το ύψος και το μήκος του τοίχου είναι  $H=2494\text{ mm}$ ,  $L=4080\text{ mm}$  αντίστοιχα  
το πάχος του  $t=110\text{ mm}$

Οι διαστάσεις του λιθοσώματος είναι  $L_b=230\text{ mm}$  το μήκος του,  $h_b=76\text{ mm}$  το ύψος του και  $b_b=110\text{ mm}$  το πλάτος του.

Το πάχος των αρμών κονιάματος είναι  $t_j=10\text{ mm}$ .

Το ειδικό βάρος της τοιχοποιίας είναι  $\gamma=19\text{ kN/m}^3$  και

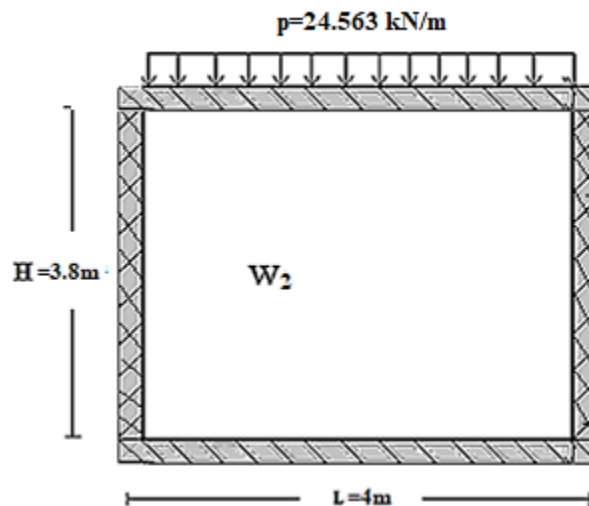
το ομογενοποιημένο μέτρο ελαστικότητας της είναι  $E_m=3188\text{ MPa}$ .

Έπειτα από πειραματικό προσδιορισμό (Vaculik 2012) η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας είναι  $f_{mt}=0.721\text{ MPa}$ .

Το κονίαμα που χρησιμοποιήθηκε έχει αναλογία πρόσμιξης 1:2:9 (τσιμέντο: άσβεστος: άμμος).

Οι συνθήκες στήριξης είναι έδραση στη βάση και την κορυφή του τοίχου και πάκτωση στις κατακόρυφες πλευρές του. Ωστόσο οι κάθετες στηρίξεις αγνοούνται για την εφαρμογή κάποιων μεθόδων καθώς αυτές αφορούν μόνο τοίχους καμπτόμενους κατά τη μία διεύθυνση. Επίσης στην στέψη του τοίχου εφαρμόζεται κατανεμημένο θλιπτικό φορτίο  $p=0.10 \text{ MPa}$ .

ΤΟΙΧΟΣ:  $w_2$ :



Σχ. 3.18 Γεωμετρία τοίχου ( $w_2$ ) (Σαρρή 2019)

Το ύψος και το μήκος του τοίχου είναι  $H=3.8 \text{ m}$ ,  $L=4 \text{ m}$  αντίστοιχα.

Το πάχος του  $t=0.315 \text{ m}$ .

Τα λιθωσώματα είναι αργιλικά εικοσάοπα λιθωσώματα ομάδας 2 με κατακόρυφες οπές και διαστάσεις  $L_b=190 \text{ mm}$  το μήκος τους,  $h_b=85 \text{ mm}$  το ύψος τους και  $b_b=115 \text{ mm}$  το πλάτος τους.

Η θλιπτική αντοχή των λιθωσμάτων είναι  $f_b=15 \text{ MPa}$ .

Το πάχος των αρμών κονιάματος είναι  $t_j=10 \text{ mm}$  και το κονίαμα που χρησιμοποιήθηκε είναι κατηγορίας  $M10$ .

Για την εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας δεν υπάρχουν λεπτομερή δεδομένα επομένως θεωρείται ίση με  $f_{wt}=0.4 \text{ MPa}$  όπως ορίζει ο ΚΑΔΕΤ στην παράγραφο 6.5 όταν η θλιπτική αντοχή του κονιάματος είναι μεγαλύτερη από  $5.0 \text{ MPa}$ . Για την εφελκυστική αντοχή του τοίχου αξίζει να σημειωθεί πως μπορεί να υπολογισθεί και ως το 8–10% της θλιπτικής αντοχής του καταλήγοντας και πάλι στο ίδιο αποτέλεσμα.

Το ειδικό βάρος της τοιχοποιίας είναι  $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$ .

Οι συνθήκες στήριξης είναι έδραση στη βάση και την κορυφή του τοίχου και πάκτωση στις κάθετες πλευρές του. Ωστόσο οι κάθετες στηρίξεις αγνοούνται για την εφαρμογή κάποιων μεθόδων καθώς αυτές αφορούν μόνο τοίχους που κάμπτονται κατά τη μία διεύθυνση.

Στην κορυφή του τοίχου εφαρμόζεται κατανεμημένο θλιπτικό φορτίο  $p=24.56 \text{ kN/m}$ .

Για τον τοίχο  $w_1$  τα αποτελέσματα κάθε πρότασης καθώς και η σύγκρισή τους με τα δεδομένα της πειραματικής δοκιμής φαίνονται στον Πίνακα 3.4.

**Πίνακας 3.4 Το οριακό πλευρικό φορτίο σύμφωνα με κάθε μέθοδο καθώς και ο επί τοις εκατό λόγος (%) του ως προς τα πειραματικά αποτελέσματα για τον τοίχο  $w_1$ . (Σαρρή 2019)**

Προσέγγιση	$w_{Rd}$	$w_{Rd}/w_{exp}$	$\alpha_{Rd}$
-	$kN/m^2$	-	g
AS	4,301	90 %	2,058
Willis 2017	7,741	163%	3,704
D'Ayala 2003	0,268	6%	0,128
Vaculik 2012	2,74	58%	1,311
EC6	1,8	38%	0,861
ΚΑΔΕΤ	2,89	61%	1,383
Πειρ. δοκιμή	4,76	-	2,277

Διακρίνουμε ότι η συντηρητικότερη όλων των προσεγγίσεων είναι η πρόταση των D'Ayala & Speranza (2003). Μια καλή προσέγγιση της αντοχής του τοίχου προσφέρει η πρόταση του Vaculik (2012) η οποία βρίσκεται στην πλευρά της ασφάλειας προτείνοντας μια οριακή τιμή 42% μικρότερη από την πραγματική. Η μέθοδος που προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική απόκριση του τοίχου, είναι αυτή που προτείνεται από τον αυστραλιανό κανονισμό (AS 3700), βρίσκεται στην πλευρά της ασφάλειας και έχει απόκλιση μόνο 10% από την πειραματική τιμή. Επίσης αξίζει να σημειωθεί πως η προσέγγιση των Willis et al. (2017) υπερεκτιμά την αντοχή του τοίχου σε πλευρική φόρτιση κατά 63%.

Για τον τοίχο  $w_2$  τα αποτελέσματα κάθε προσέγγισης φαίνονται στον Πίνακα 3.5.

**Πίνακας 3.5 Το οριακό πλευρικό φορτίο σύμφωνα με κάθε μέθοδο για τον τοίχο  $w_2$  και η αντίστοιχη επιτάχυνση. (Σαρρή 2019)**

Προσέγγιση	$w_{Rd}$	$\alpha_{Rd}$
-	$kN/m^2$	g
AS	9,594	1,603
Willis 2017	24,743	4,134
D'Ayala 2003	1,659	0,277
Vaculik 2012	9,313	1,556
EC6	18,336	3,064
ΚΑΔΕΤ	23,21	3,878

## 4 ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΣ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η μέθοδος βασίζεται, με κατάλληλες τροποποιήσεις και προσθήκες, στη λογική που περιγράφεται σε σχετική εργασία των Θ. Τάσιου και Ε. Βιντζηλαίου με τίτλο «Αποτίμηση της σχετικής σεισμικής ικανότητας τοιχοκτιστων ιστορικών οικοδομών».

Σκοπός του δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου είναι η ιεράρχηση της διακινδύνευσης μεταξύ κτηρίων και καθορίζει την προτεραιότητα κάθε κτηρίου για περαιτέρω έλεγχο. Η βαθμονόμηση βασίζεται στην ορθολογική σύγκριση ( $H \neq R$ ) μεταξύ της Σεισμικής Επιβάρυνσης ( $H$ ) και της Σεισμικής Αντίστασης ( $R$ ). Η μέθοδος δεν εξασφαλίζει με ακριβή τρόπο την τιμή του λόγου ( $H/R$ ) ούτε το ενδεχόμενο  $H/R < 1$ .

Σε εργασίες (Σταυρέλη, 2014; Χατζηκωνσταντίνου, 2014; Παπαλυμπέρη, 2015), που συγκρίνουν τον βαθμό ανεπάρκειας ο οποίος προκύπτει από την προσεγγιστική μέθοδο ΟΑΣΠ (Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Κτηρίων από φέρουσα τοιχοποιία) και τον EC8 έχει διαφανεί η ανάγκη αναδιαμόρφωσης των σχέσεων υπολογισμού των δεικτών ( $R_1$ ), ( $R_2$ ), και ( $R_5$ ) καθώς και του προτεινόμενου πίνακα τιμών του δείκτη ( $R_4$ ).

### 4.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΚΤΗΡΙΟΥ (HAZARD) “H”

Η σεισμική επιβάρυνση του κτηρίου εκφράζει την πιθανολογούμενη σεισμική δράση. Η δράση αυτή αποτιμάται ως συνάρτηση της σεισμικής δράσης ( $H_1$ ) (ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας, τοπικής γεωμορφολογίας, κατηγορίας εδάφους) και της επιρροής γειτονικών κτηρίων ( $H_2$ ) (ενδεχόμενο κρούσης του εξεταζόμενου κτηρίου με τα γειτονικά του).

Ο δείκτης πιθανολογούμενης σεισμικής δράσης ( $H_1$ ) ποσοτικοποιείται ως το γινόμενο  $H_1 = a \cdot s$  σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1. Οι τιμές του δείκτη  $H_1$  αποδίδουν κατά προσέγγιση τις προβλέψεις του EC8 και του αντίστοιχου Εθνικού Προσαρτήματος για την κατά περίπτωση σεισμική δράση.

**Πίνακας 4.1 Τιμές του δείκτη σεισμικής δράσης ( $H_1$ )**

Ζώνη Σεισμικής Επικ/τας	Τιμές Συντ/στή $a$	Κατηγορία εδάφους / Τιμές συντελεστή $s$				
		A	B, C	D	E	S1, S2
		0.85	1.00	1.15	1.25	-
Z1	1.6	1.36	1.60	1.84	2.00	-
Z2	2.4	2.04	2.40	2.76	3.00	-
Z3	3.6	3.06	3.60	4.14	4.50	-

\* Κτήρια σε εδάφη κατηγορίας S1 ή S2 παραπέμπονται κατά προτεραιότητα σε τριτοβάθμιο έλεγχο.

Ο δείκτης  $H_2$  εκφράζει την επιβάρυνση του κτηρίου εξ αιτίας της κρούσης με όμορα κτήρια χωρίς επαρκή αντισεισμικό αρμό. Σε περίπτωση μάλιστα ανισοσταθμίας πατωμάτων με ισχυρή διαφραγματική λειτουργία υπάρχει και πιθανότητα εμβολισμού.



Το εύρος του αντισεισμικού αρμού αναφέρεται στην ανώτατη στάθμη επαφής μεταξύ των όμορων κτιρίων και θεωρείται επαρκές εάν υπερβαίνει τα 2.0cm για ύψος 3.0m με προσαύξηση 1.0cm ανά 2.0m επιπλέον ύψους.

Με βάση τα παραπάνω προτείνονται στον Πίνακα 4.2 οι κατά περίπτωση τιμές του δείκτη επιρροής γειτονικών κτιρίων ( $H_2$ ).

**Πίνακας 4.2 Τιμές του δείκτη επιρροής γειτονικών κτιρίων ( $H_2$ )**

A/A	Χαρακτηριστικά όμορων κτιρίων	
1	Ελεύθερο κτήριο ή όμορα με επαρκείς αρμούς ή κτήρια σε επαφή με ισοϋψία χωρίς σημαντική διαφορά δυσκαμψίας	0.00
2	Ισοϋψία αλλά με σημαντική διαφορά δυσκαμψίας	0.30
3	Διαφορά ενός ορόφου χωρίς κίνδυνο εμβολισμού	0.50
4	Κοινό πλήθος αλλά ανισοϋψία ορόφων (κίνδυνος εμβολισμού)	0.80
5	Διαφορά δύο ή περισσότερων ορόφων χωρίς κίνδυνο εμβολισμού	1.00
6	Διαφορά ενός ή περισσότερων ορόφων και κίνδυνος εμβολισμού	1.20

Η συνολική σεισμική επιβάρυνση, λαμβάνοντας υπόψη και τους σχετικούς συντελεστές βαρύτητας για τους δυο δείκτες, υπολογίζεται από την σχέση:  $H=0.75 \cdot H_1+0.25 \cdot H_2$

### 4.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΚΤΗΡΙΟΥ (RESISTANCE) “R”

Στη σεισμική αντίσταση του κτηρίου συντελούν διάφοροι παράγοντες που κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι παράμετροι που αφορούν την αντοχή των τοίχων (υλικό, πάχη, ποσοστά και θέσεις ανοιγμάτων, διαθέσιμα διαζώματα, υφιστάμενες βλάβες). Στη δεύτερη ομάδα υπάγονται οι παράμετροι που σχετίζονται με την συνεργασία των μερών του κτηρίου (σύνδεση τοίχων, αποστάσεις εγκάρσιων τοίχων, διαθέσιμα διαφράγματα, κανονικότητα του κτηρίου σε κάτοψη και καθ’ ύψος).

#### 4.3.1 Δείκτης διατμητικής αντίστασης ισογείου ( $R_1$ )

Ο δείκτης ( $R_1$ ) αποτιμά έμμεσα τη διατμητική αντοχή στο ισόγειο του κτηρίου και δίνεται από την σχέση:

$$R_1 = 12 \cdot (m \cdot \lambda_m) \cdot \frac{\sum A_w}{n \cdot A} \geq 1.00$$

όπου

m: Συντελεστής τύπου φέρουσας τοιχοποιίας (Πίνακας 4.3)

$\lambda_m$ : Μειωτικός συντελεστής για περιπτώσεις εμφανώς κακής πλοκής λιθοσωμάτων ή/και σοβαρής αποσάθρωσης του κονιάματος ( $0.70 \leq \lambda \leq 1.00$ )

$\sum A_w$ : Άθροισμα εμβαδών διατομής των φερόντων τοίχων (πεσσών) του ισογείου κατά τη δυσμενέστερη διεύθυνση (διεύθυνση με το  $\min \sum A_w$ ).

n: Πλήθος ορόφων περιλαμβανομένου και του ισογείου.

A: Εμβαδόν κάτοψης του ισογείου.

12: Αριθμητικός συντελεστής ώστε στις συνήθεις περιπτώσεις να προκύπτει  $R_1 \leq 1.00$ .

**Πίνακας 4.3 Τιμές συντελεστή τύπου φέρουσας τοιχοποιίας (m)**

Τύπος Λιθοσωμάτων και Τύπος Δόμησης	Τύπος κονιάματος δόμησης		
	Ασβεστοσιμεντοκονίαμα	Ασβεστοκονίαμα	Πηλοκονίαμα
Ημιλαξευτή ή λαξευτή λιθοδομή	1.00	0.80	-
Λιθοδομή Πλακοειδών λίθων	0.80	0.70	0.50
Αργολιθοδομή	0.60	0.50	0.40
Κροκαλοδομή	0.50	0.40	0.30
Πλινθοδομή πλήρων πλίνθων	1.00	0.80	0.60
Πλινθοδομή διάτρητων πλίνθων	0.80	0.70	0.50
Τσιμεντολιθοδομή	0.70	0.60	0.50
Ωμοπλινθοδομή	-	0.40	0.25

#### 4.3.2 Δείκτης ανοιγμάτων φερόντων τοίχων ( $R_2$ )

Ο δείκτης  $R_2$  αναφέρεται στο ισόγειο και στη διεύθυνση όπου θα προκύψει η ελάχιστη τιμή του, έχει θετική τιμή που δεν υπερβαίνει το +1.0. και υπολογίζεται από τη σχέση

$$R_2 = \frac{1}{a + 0.4} - 0.7 \geq 1.0$$

Όπου

a: η τιμή του λόγου του αθροίσματος των μηκών των ανοιγμάτων στους φέροντες τοίχους σε μία διεύθυνση προς το συνολικό μήκος των φερόντων τοίχων στη διεύθυνση αυτή, περιλαμβανομένων και των ανοιγμάτων.

#### 4.3.3 Δείκτης διαζωμάτων ( $R_3$ )

Στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί φαίνονται οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη ( $R_3$ )

**Πίνακας 4.4 Τιμές του δείκτη διαζωμάτων (R<sub>3</sub>)**

Θέση διαζωμάτων	R <sub>3</sub>
Απουσία διαζωμάτων ή διαζώματα ασύνδετα μεταξύ τους	0.50
Διαζώματα στις στάθμες των υπερθύρων	0.60
Διαζώματα στις στάθμες των πατωμάτων πλην της στέγης	0.75
Διαζώματα στις στάθμες πατωμάτων και στέγης	0.90
Διαζώματα στις στάθμες υπερθύρων, πατωμάτων και στέγης	1.00

#### 4.3.4 Δείκτης διαφραγμάτων (R<sub>4</sub>)

Οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη (R<sub>4</sub>) περιλαμβάνονται στον Πίνακα 4.5.

**Πίνακας 4.5 Τιμές του δείκτη διαφραγμάτων (R<sub>4</sub>)**

Διάταξη φερόντων τοίχων σε κάτοψη	Στερρότητα διαφραγμάτων και σύνδεση με τους υποκείμενους τοίχους		
	Ασθενής	Μέτρια	Ισχυρή
Συμμετρική	0.80	0.90	1.00
Μερικώς συμμετρική	0.60	0.75	0.90
Ασύμμετρη	0.40	0.55	0.70

Στον Πίνακα 4.6 περιλαμβάνεται ποιοτικός χαρακτηρισμός της διαφραγματικής στερρότητας διαφόρων τύπων πατωμάτων.

**Πίνακας 4.6 Διαφραγματική στερρότητα πατωμάτων και στεγών**

Τύποι πατωμάτων και στέγης	Διαφραγματική στερρότητα
Ξύλινο πάτωμα με μονό σανίδωμα	Ασθενής
Ξύλινο πάτωμα με διπλό σανίδωμα	Μέτρια
Σιδηροδοκοί με επίπεδη πλινθοπλήρωση	Μέτρια
Σιδηροδοκοί με θολίσκους πλινθοπλήρωσης	Ισχυρή
Πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος	Ισχυρή
Κτιστά θολωτά πατώματα μονής ή διπλής καμπυλότητας	Ισχυρή
Στέγη χωρίς σαφή δικτύωση, χωρίς σανίδωμα	Ασθενής
Στέγης χωρίς σαφή δικτύωση, αλλά με σανίδωμα	Μέτρια
Στέγη με σαφή δικτύωση, χωρίς σανίδωμα	Μέτρια
Στέγη με σαφή δικτύωση και σανίδωμα	Ισχυρή

#### 4.3.5 Δείκτης ανοιγμάτων κοντά σε γωνίες (R<sub>5</sub>)

Ο δείκτης R<sub>5</sub> υπολογίζεται από τη σχέση

$$R_5 = - \left( \lambda + \frac{\alpha}{2\gamma} \cdot \frac{\alpha}{\Sigma l_w} \right) \geq -1.0$$

Όπου:

λ: Τίθεται λ = 0.25 ή 0.50 εφόσον υπάρχει έστω και μία εξέχουσα γωνία με πεσσό μήκους <1.00m στη μία ή και στις δύο πλευρές της γωνίας αντίστοιχα.

α: Το πλήθος των πεσσών με μήκος <1.00m σε εξέχουσες γωνίες σε όλους τους ορόφους.

γ: Το πλήθος των εξεχουσών γωνιών όλων των ορόφων.

Σl<sub>w</sub>: Άθροισμα μηκών (σε m) όλων των πεσσών με μήκος < 1.00m σε εξέχουσες γωνίες.

Όταν δεν υπάρχουν ανοίγματα σε απόσταση <1.00m από εξέχουσα γωνία του κτηρίου τότε η τιμή του δείκτη R<sub>5</sub> = 0.00

#### 4.3.6 Δείκτης παθολογίας φερουσών τοιχοποιιών (R<sub>6</sub>)

Οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη (R<sub>6</sub>) φαίνονται στον Πίνακα 4.7.

**Πίνακας 4.7 Τιμές του δείκτη παθολογίας φερουσών τοιχοποιιών (R<sub>6</sub>)**

Τύπος βλαβών φερουσών τοιχοποιιών	R <sub>6</sub>
Απουσία βλαβών	1.00
Ελαφρές διάσπαρτες βλάβες	0.75
Ελαφρές εκτεταμένες ή μέτριες διάσπαρτες βλάβες	0.50
Βαριές βλάβες	-

Σε περίπτωση βαρέων βλαβών στις φέρουσες τοιχοποιίες το κτήριο παραπέμπεται κατά προτεραιότητα σε τριτοβάθμιο έλεγχο.

#### 4.3.7 Δείκτης σύνδεσης μεταξύ εγκάρσιων τοίχων (R<sub>7</sub>)

Οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη (R<sub>7</sub>) περιλαμβάνονται στον Πίνακα 4.8.

**Πίνακας 4.8 Τιμές του δείκτη σύνδεσης μεταξύ εγκάρσιων τοίχων (R<sub>7</sub>)**

Χαρακτηρισμός σύνδεσης μεταξύ εγκάρσιων τοιχοποιιών	R <sub>7</sub>
Υπάρχει επαρκής σύνδεση σε όλες τις διασταυρώσεις	1.00
Οι περιμετρικοί τοίχοι είναι επαρκώς συνδεδεμένοι μεταξύ τους, όχι όμως με τους εσωτερικούς	0.80
Ανεπαρκής σύνδεση σε όλες τις διασταυρώσεις	0.40

#### 4.3.8 Δείκτης καταπόνησης περιμετρικών τοίχων εκτός επιπέδου (R<sub>8</sub>)

Ο δείκτης αφορά μόνο στους περιμετρικούς τοίχους καθώς οι εσωτερικοί έχουν συνήθως πολύ καλύτερη σύνδεση με τον οριζόντιο φέροντα οργανισμό και δίνεται από την σχέση

$$R_8 = 6 \cdot \sqrt{t/l} \geq 1.00$$

Όπου

t: το πάχος (σε m) του περιμετρικού τοίχου

ℓ: απόσταση (σε m) μεταξύ εγκάρσιων εσωτερικών τοίχων που στηρίζουν τον περιμετρικό.

δ: αριθμητικός παράγων με στόχο να περιορισθούν τιμές του R8 κάτω από τη μονάδα για ικανοποιητικές αποστάσεις εγκάρσιων τοίχων.

#### 4.3.9 Δείκτης κανονικότητας της κάτοψης ισογείου (R<sub>9</sub>)

Ο δείκτης αφορά το σχήμα της κάτοψης του ισογείου

- Επιμήκης κάτοψη. Κριτήριο είναι ο λόγος των μηκών των πλευρών  $\lambda = L_{\max} / L_{\min}$ 
  - i.  $\lambda < 4.0$ : Κτήριο κανονικό.
  - ii.  $4.0 \leq \lambda < 8.0$ : Κτήριο μερικώς κανονικό.
  - iii  $\lambda \geq 8.0$ : Κτήριο μη κανονικό.
  
- Πολύπλοκο σχήμα κάτοψης, όπως L, T, Π, E κ.τ.λ. Κριτήριο αποτελεί τόσο το αθροιστικό εμβαδόν ΣΑΕ των εσοχών, όσο και το εμβαδόν της μεγαλύτερης εσοχής A<sub>E,max</sub>, σε σχέση προς το εμβαδόν της κάτοψης A<sub>tot</sub>. Το εμβαδόν κάθε εσοχής ορίζεται από την περίμετρο της εσοχής και τη χορδή που συνδέει τις εξώτατες κορυφές της.
  - i.  $\Sigma A_E < 0.25A_{tot}$ , είτε  $A_{E,max} < 0.15A_{tot}$ : Κτήριο με κανονική κάτοψη.
  - ii.  $0.25A_{tot} \leq \Sigma A_E < 0.40A_{tot}$ , είτε  $0.15A_{tot} \leq A_{E,max} < 0.25A_{tot}$  : Κτήριο με μερικώς κανονική κάτοψη.
  - iii.  $\Sigma A_E \geq 0.40A_{tot}$ , είτε  $A_{E,max} \geq 0.25A_{tot}$ : Κτήριο με μη κανονική κάτοψη.

Οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη R<sub>9</sub> περιλαμβάνονται στον Πίνακα 4.9.

**Πίνακας 4.9 Τιμές του δείκτη κανονικότητας σε κάτοψη (R<sub>9</sub>)**

Χαρακτηρισμός του σχήματος κάτοψης του κτιρίου	R <sub>9</sub>
Κανονική κάτοψη	1.00
Μερικώς κανονική κάτοψη	0.75
Μη κανονική κάτοψη	0.50

#### 4.3.10 Δείκτης κανονικότητας καθ' ύψος (R<sub>10</sub>)

Το κτήριο χαρακτηρίζεται σύμφωνα με τα ακόλουθα γεωμετρικά κριτήρια:

- Κτήρια με μεταβλητό εμβαδόν ορόφων λόγω εσοχών ή στοών (αγνοούνται απολήξεις στο δώμα με εμβαδόν έως 0.25A, όπου A το εμβαδόν του τελευταίου ορόφου):
  - i. Εμβαδόν ενός ορόφου μεγαλύτερο του 75% του εμβαδού του υπερκείμενου ή υποκείμενου ορόφου, είτε συνολικό εμβαδόν εσοχών όλων των υπερκείμενων ορόφων μικρότερο του 40% του εμβαδού του ισογείου: Κτήριο κανονικό.

ii. Εμβαδόν ενός ορόφου από 60 έως 75% του εμβαδού του υπερκείμενου ή υποκείμενου ορόφου, είτε συνολικό εμβαδόν εσοχών όλων των υπερκείμενων ορόφων από 40 έως 60% του εμβαδού του ισογείου: Κτήριο μερικώς κανονικό.

iii. Εμβαδόν ενός ορόφου μικρότερο του 60% του εμβαδού του υπερκείμενου ή υποκείμενου ορόφου, είτε συνολικό εμβαδόν εσοχών όλων των υπερκείμενων ορόφων μεγαλύτερο του 60% του εμβαδού του ισογείου: Κτήριο μη κανονικό.

- Κτήρια με σημαντική διαφορά δυσκαμψίας μεταξύ γειτονικών ορόφων. Η δυσκαμψία εκφράζεται προσεγγιστικά από το αθροιστικό εμβαδόν διατομής των τοίχων ανά διεύθυνση ( $\Sigma A_w$ ) αφαιρουμένων των ανοιγμάτων:

i. Διαφορά στο  $\Sigma A_w$  μεταξύ γειτονικών ορόφων < 30%: Κτήριο κανονικό.

ii. Διαφορά στο  $\Sigma A_w$  μεταξύ γειτονικών ορόφων από 30 έως 50%: Κτήριο μερικώς κανονικό.

iii. Διαφορά στο  $\Sigma A_w$  μεταξύ γειτονικών ορόφων > 50%: Κτήριο μη κανονικό.

- Κτήριο σε επικλινές έδαφος με διαφορά ύψους μικρότερη του ενός, μεταξύ ενός και δύο ή μεγαλύτερη των δύο ορόφων μεταξύ της χαμηλότερης και υψηλότερης στάθμης χαρακτηρίζεται ως κανονικό, μερικώς κανονικό ή μη κανονικό αντίστοιχα.

Οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη  $R_{10}$  περιλαμβάνονται στον Πίνακα 4.10.

**Πίνακας 4.10 Τιμές του δείκτη κανονικότητας καθ' ύψος ( $R_{10}$ )**

Χαρακτηρισμός της μορφής του κτιρίου καθ' ύψος	$R_{10}$
Κανονικό καθ' ύψος	1.00
Μερικώς κανονικό καθ' ύψος	0.75
Μη κανονικό καθ' ύψος	0.50

Ο υπολογισμός της τιμής “R”, περιλαμβάνει για κάθε επιμέρους παράμετρο συμβατικούς συντελεστές βαρύτητας “ $\tau_i$ ”, οι οποίοι εκφράζουν την συνέργεια των παραμέτρων αντίστασης.

Στον Πίνακα 4.11 φαίνονται οι Δείκτες Αντίστασης ( $R_i$ ) και οι αντίστοιχοι Συντελεστές Βαρύτητας ( $\tau_i$ )

**Πίνακας 4.11 Δείκτες Αντίστασης ( $R_i$ ) και Συντελεστές Βαρύτητας ( $r_i$ )**

ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ( $R_i$ )	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ( $r_i$ )
$R_1$	Δείκτης διατμητικής αντίστασης ισογείου	0.20
$R_2$	Δείκτης ανοιγμάτων φερόντων τοίχων	0.05
$R_3$	Δείκτης διαζωμάτων	0.15
$R_4$	Δείκτης διαφραγμάτων	0.10
$R_5$	Δείκτης ανοιγμάτων κοντά σε γωνίες	0.15
$R_6$	Δείκτης παθολογίας φερούσών τοιχοποιιών	0.05
$R_7$	Δείκτης σύνδεσης μεταξύ εγκάρσιων τοίχων	0.10
$R_8$	Δείκτης καταπόνησης περιμετρικών τοίχων εκτός επιπέδου	0.10
$R_9$	Δείκτης κανονικότητας της κάτοψης ισογείου	0.05
$R_{10}$	Δείκτης κανονικότητας καθ' ύψος	0.05

Η συνολική σεισμική αντίσταση του κτηρίου προκύπτει από την σχέση:  $R = \sum r_i \cdot R_i$

#### 4.4 Δείκτης Προτεραιότητας Ελέγχου Κτηρίου ( $\lambda$ )

Με την χρήση των παραπάνω δεικτών (H) και (R) προκύπτει ο Δείκτης Προτεραιότητας Ελέγχου Κτηρίου ( $\lambda$ ) από την σχέση:  $\lambda = 100 (H/R)$ .

## 5 ΤΟΙΧΟΙ ΠΡΟΣ ΕΞΕΤΑΣΗ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

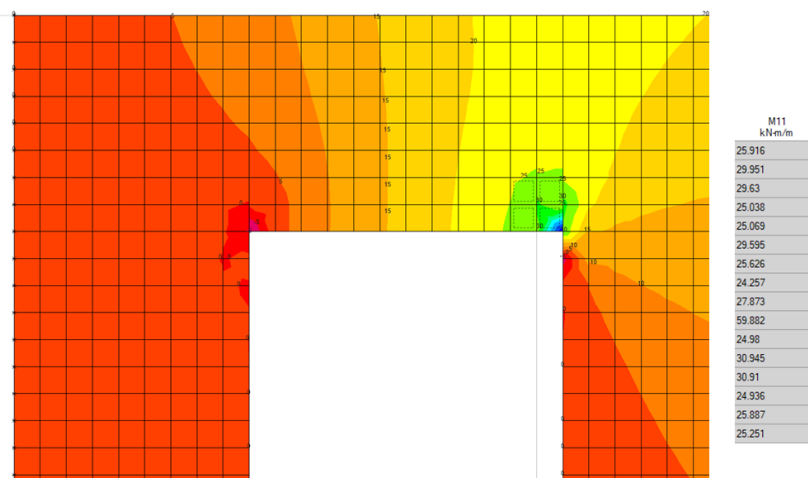
Για να διερευνηθεί η σχέση της δρώσας ροπής περί τον κατακόρυφο άξονα τοίχου με ανοίγματα ( $M_{op}$ ) όταν υποβάλλεται σε σεισμικό φορτίο, και της ροπής του αντίστοιχου ολόσωμου τοίχου ( $M$ ) εξετάστηκαν οι εξής παράμετροι:

1. Ποσοστό ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ), όπου  
( $A_{op}$ ) το εμβαδό του ανοίγματος και  
( $A$ ) το εμβαδό του ολόσωμου τοίχου.
2. Θέση ανοίγματος ( $x/l$ ), όπου  
( $x$ ) η θέση από το άκρο του τοίχου μέχρι το κέντρο του ανοίγματος και  
( $l$ ) το μήκος του τοίχου.
3. Ποσοστό ύψους ανοίγματος ( $H_{op}/H$ ) όπου  
( $H_{op}$ ) το ύψος του ανοίγματος και  
( $H$ ) το συνολικό ύψος του τοίχου.

Οι διατάξεις που διερευνήθηκαν είναι:

- Μονώροφος τοίχος με άνοιγμα σε μορφή πόρτας.
- Μονώροφος τοίχος με άνοιγμα σε μορφή παραθύρου.
- Μονώροφος τοίχος με αυξομείωση του ύψους υπερθύρου.
- Μονώροφος τοίχος με διάφορα μήκη.
- Μονώροφος τοίχος με δυο ή τρία ανοίγματα.
- Διώροφος τοίχος με άνοιγμα σε μορφή πόρτας.
- Διώροφος τοίχος με άνοιγμα σε μορφή παραθύρου.

Οι αναλύσεις έγιναν με χρήση επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων διαστάσεων 10x10cm. Οι σχετικές ροπές υπολογίστηκαν ως η μέση τιμή σε επιφάνεια διαστάσεων 20x20cm. (Σχ. 5.1)



Σχ. 5.1 Διαστάσεις επιφανειακών στοιχείων και υπολογισμός μέσης τιμής ροπής



## 5.2 ΜΟΝΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑ ΠΟΡΤΑ

Επιλέχθηκε τυπικός τοίχος μονώροφου κτηρίου με επικάλυψη ξύλινης στέγης. Η διάταξη αυτή προσφέρει στην κατασκευή ένα ασθενές διάφραγμα.

Τα χαρακτηριστικά του τοίχου, τα στοιχεία φόρτισης καθώς και ο τρόπος στήριξης έχουν ως εξής:

ΤΟΙΧΟΣ (10W 50 6 3)

Μήκος τοίχου: 6.00m, Ύψος τοίχου: 3.00m, πάχος τοίχου: 0.50m

Ειδικό βάρος:  $\gamma=20\text{kN/m}^3$

Μετρό Ελαστικότητας: 2GPa

Ζώνη II, Έδαφος B,  $\gamma_I=1.00$ ,  $S_e(T)=0.720g$  (πλατό),

$w_{Ed}=7.20\text{kN/m}^2$  (Σχ. 5.3)

Επιφάνεια επιρροής στέγης :  $10.64\text{ m}^2$ , φορτίο στέγη:  $1.2\text{kN/m}^2$

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης:  $1.53\text{kN/m}$  (Σχ. 5.3)

Τρόπος στήριξης τοίχου: περιμετρικά αρθρωμένος, άνω ελεύθερος (Σχ. 5.4)

Material Property Data

**General Data**

Material Name: TOIXOS PETRA

Material Type: Masonry

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Red] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 20 kN/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 2039.432 kg/m<sup>3</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 2000 MPa

Poisson's Ratio, U: 0.25

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000081 1/C

Shear Modulus, G: 800 MPa

**Design Property Data**

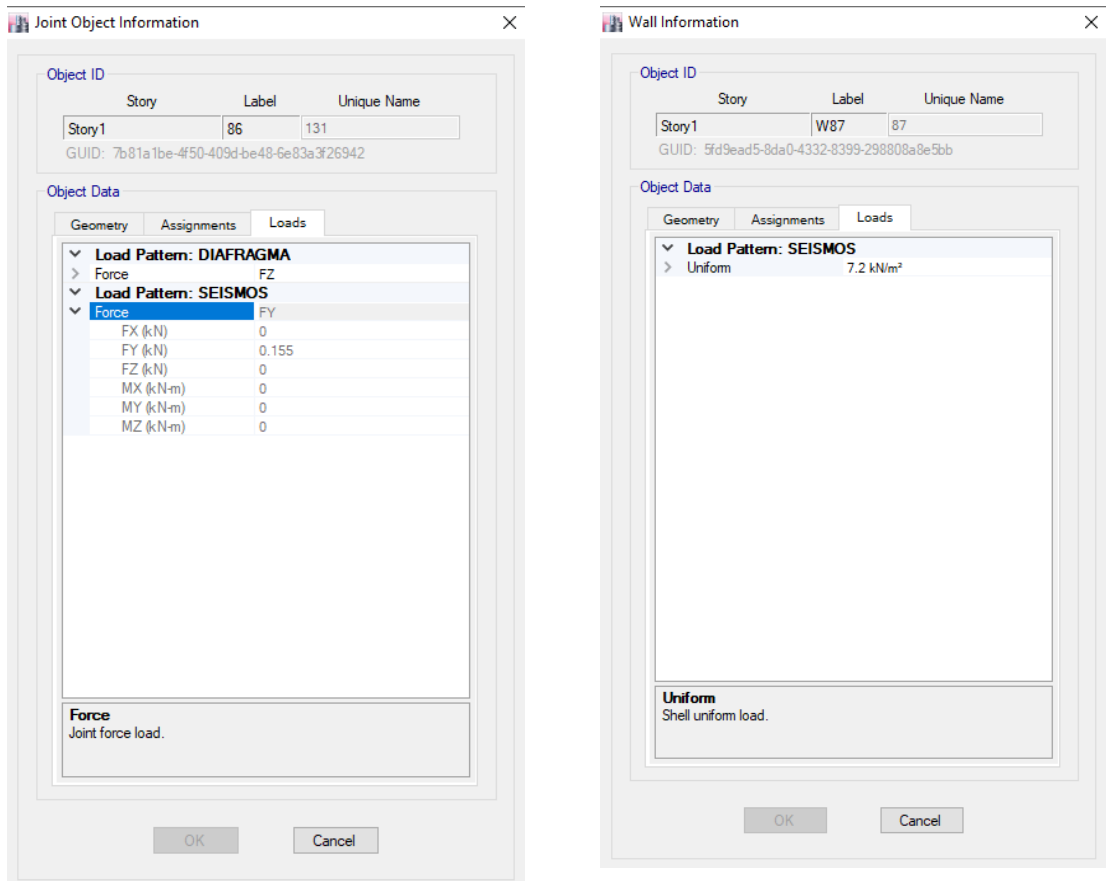
Modify/Show Material Property Design Data...

**Advanced Material Property Data**

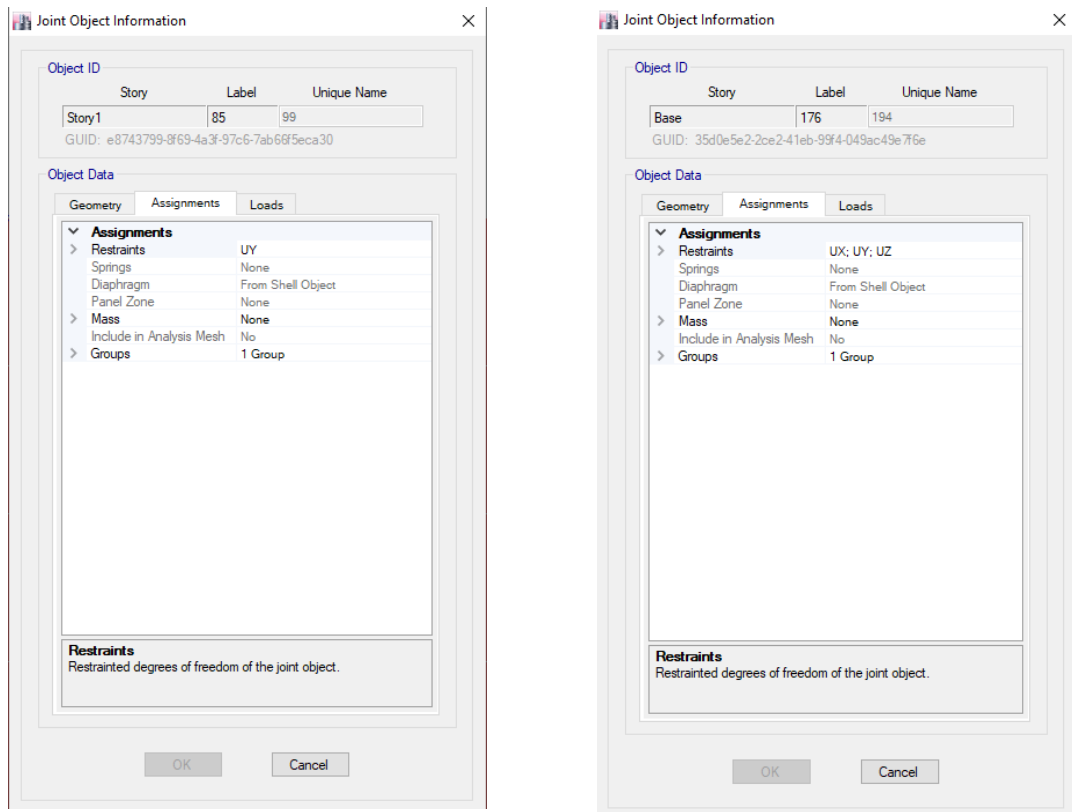
Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Σχ. 5.2 Στοιχεία τοιχοποιίας



Σχ. 5.3 Σεισμικά φορτία τοίχου



Σχ. 5.4 Στηρίξεις τοίχου

Εξεταστήκαν διατάξεις με άνοιγμα σε μορφή πόρτας ύψους 2.20. Το πλάτος της πόρτας κυμαίνεται από 0.60m έως 2.00m με βήμα 0.20m και σε θέσεις με  $x/l = (0.50, 0.43, 0.37, 0.30, 0.25)$ .

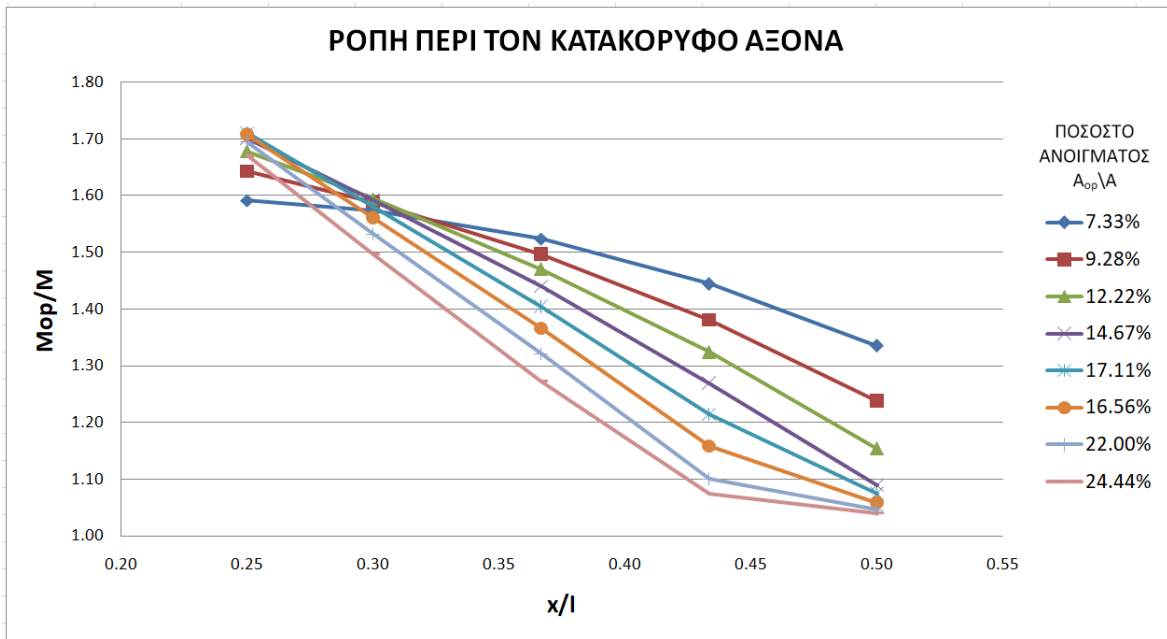
Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5.1 και στα Σχ. 5.5, Σχ. 5.6

Σε ότι αφορά τον μονώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα, παρατηρούμε (σε σχέση με την ροπή ολόσωμου (M)) αύξηση της ροπής ( $M_{op}$ )

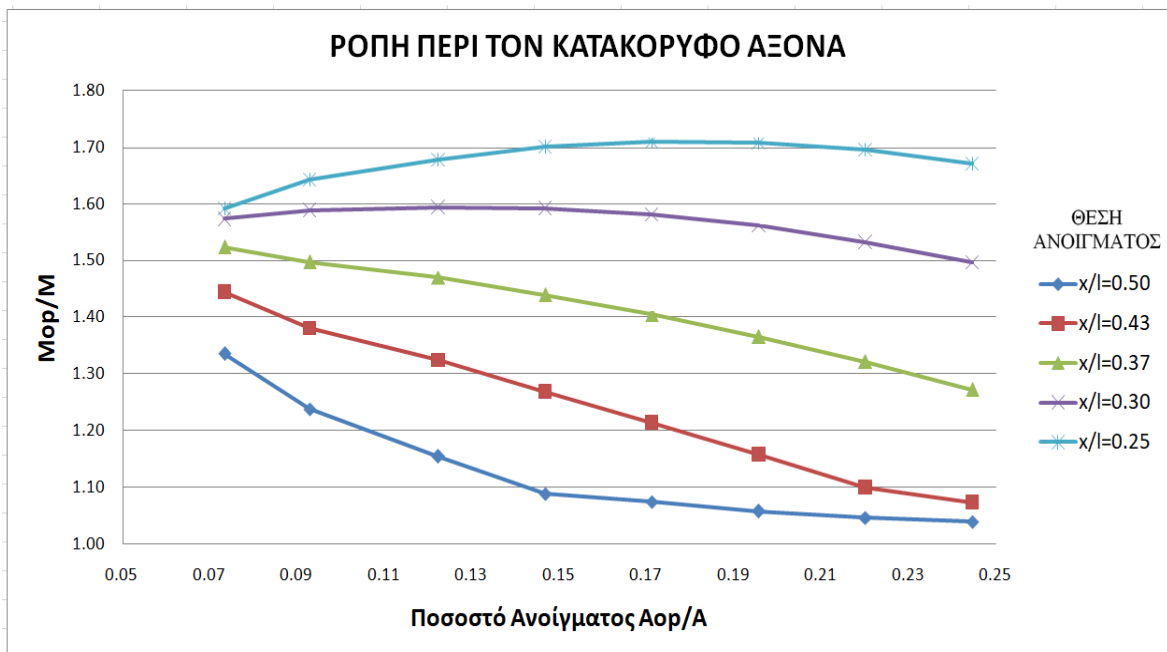
- από 4% για τον τοίχο «OP D 200 0» με άνοιγμα πόρτα διαστάσεων (2.00x2.20) ( $A_{op}/A=24\%$ ) στο μέσον του τοίχου ( $x/l=0.50$ )
- έως 71% για τους τοίχους «OP D 140 4» με άνοιγμα πόρτα διαστάσεων (1.40x2.20) ( $A_{op}/A=17\%$ ) στη θέση ( $x/l=0.25$ ) και «OP D 160 4» με άνοιγμα πόρτα διαστάσεων (1.60x2.20) ( $A_{op}/A=20\%$ ) στη θέση ( $x/l=0.25$ )

**Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα ανάλυσης για μονώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα**

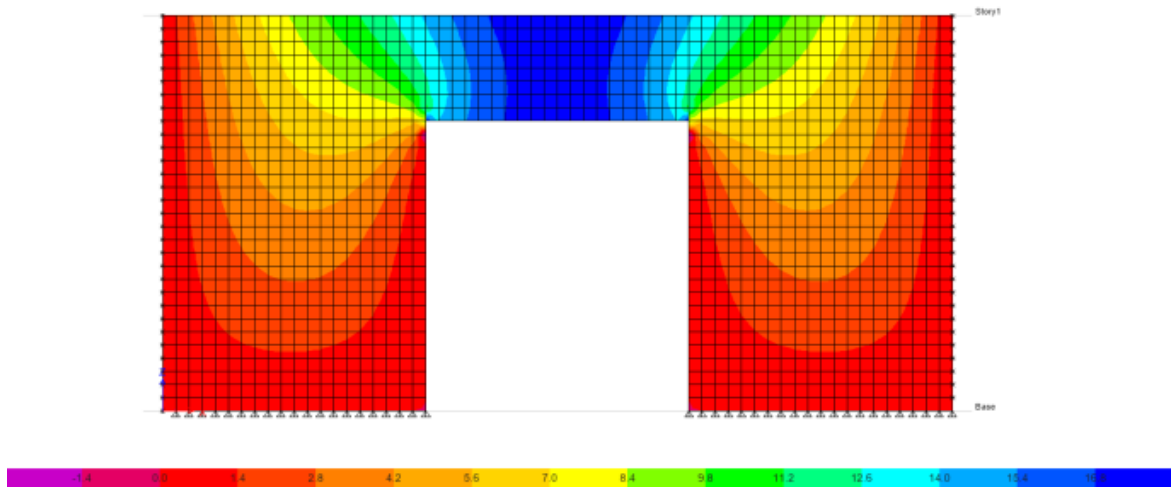
ΤΟΙΧΟΣ 10 W 6 3	$M_{op}$ kNm/m	$x/l$	$A_{op}/A$	$M_{op}/M$	ΤΟΙΧΟΣ 10 W 6 3	$M_{op}$ kNm/m	$x/l$	$A_{op}/A$	$M_{op}/M$
OP D 60 0	22.86	0.50	0.07	1.34	OP D 140 0	18.4	0.50	0.17	1.07
OP D 60 1	24.73	0.43	0.07	1.44	OP D 140 1	20.79	0.43	0.17	1.21
OP D 60 2	26.09	0.37	0.07	1.52	OP D 140 2	24.05	0.37	0.17	1.40
OP D 60 3	26.94	0.30	0.07	1.57	OP D 140 3	27.07	0.30	0.17	1.58
OP D 60 4	27.25	0.25	0.07	1.59	OP D 140 4	29.28	0.25	0.17	1.71
OP D 80 0	21.19	0.50	0.09	1.24	OP D 160 0	18.11	0.50	0.20	1.06
OP D 80 1	23.64	0.43	0.09	1.38	OP D 160 1	19.83	0.43	0.20	1.16
OP D 80 2	25.63	0.37	0.09	1.50	OP D 160 2	23.38	0.37	0.20	1.37
OP D 80 3	27.20	0.30	0.09	1.59	OP D 160 3	26.73	0.30	0.20	1.56
OP D 80 4	28.12	0.25	0.09	1.64	OP D 160 4	29.24	0.25	0.20	1.71
OP D 100 0	19.76	0.50	0.12	1.15	OP D 180 0	17.91	0.50	0.22	1.05
OP D 100 1	22.67	0.43	0.12	1.32	OP D 180 1	18.84	0.43	0.22	1.10
OP D 100 2	25.17	0.37	0.12	1.47	OP D 180 2	22.62	0.37	0.22	1.32
OP D 100 3	27.30	0.30	0.12	1.59	OP D 180 3	26.24	0.30	0.22	1.53
OP D 100 4	28.73	0.25	0.12	1.68	OP D 180 4	29.02	0.25	0.22	1.70
OP D 120 0	18.64	0.50	0.15	1.09	OP D 200 0	17.8	0.50	0.24	1.04
OP D 120 1	21.73	0.43	0.15	1.27	OP D 200 1	18.38	0.43	0.24	1.07
OP D 120 2	24.65	0.37	0.15	1.44	OP D 200 2	21.78	0.37	0.24	1.27
OP D 120 3	27.26	0.30	0.15	1.59	OP D 200 3	25.62	0.30	0.24	1.50
OP D 120 4	29.11	0.25	0.15	1.70	OP D 200 4	28.61	0.25	0.24	1.67
ΟΛΟΣΩΜΟ	17.12								



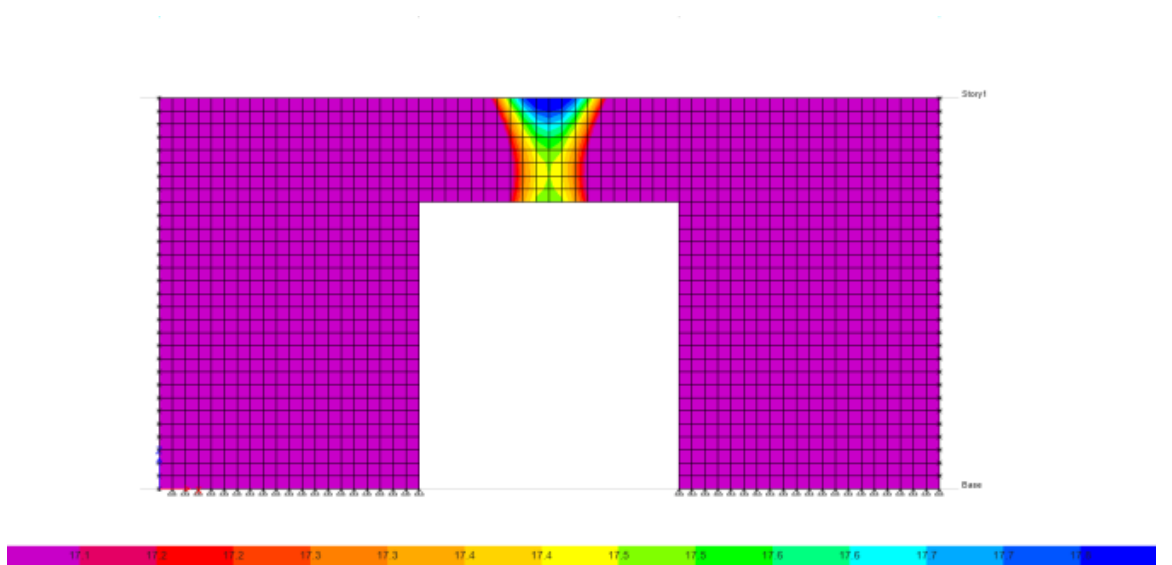
Σχ. 5.5 Τιμές του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για μονόροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης του ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ )



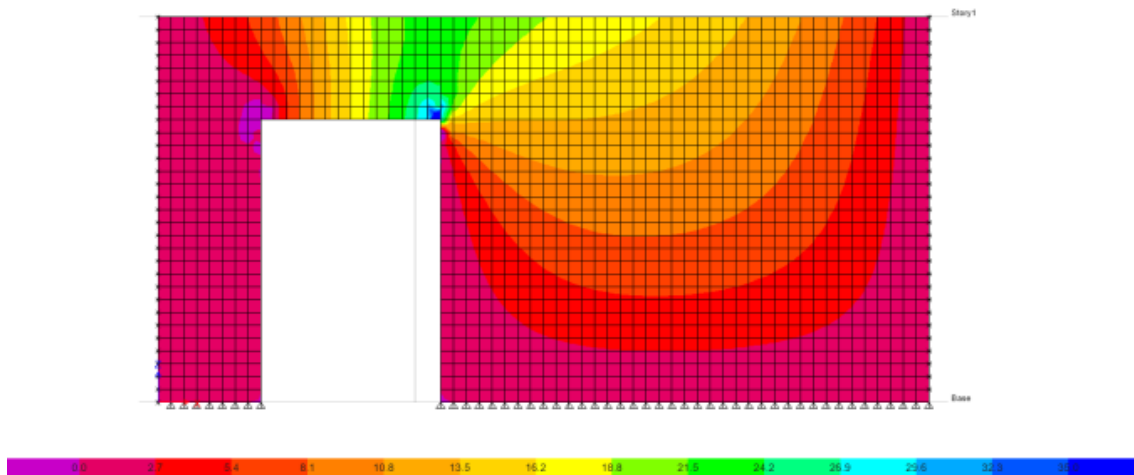
Σχ. 5.6 Τιμές του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για μονόροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ) και της θέσης του ( $x/l$ )



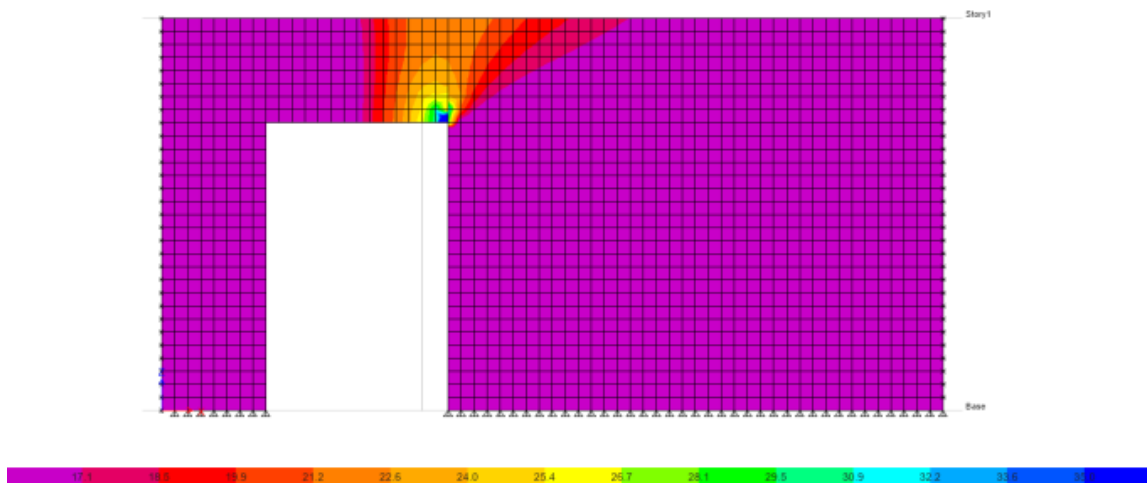
Σχ. 5.7: Διάταξη τοίχου με κεντρικό άνοιγμα πόρτα (OP D 200 0). Διάγραμμα ροπών



Σχ. 5.8 Διάταξη τοίχου με κεντρικό άνοιγμα πόρτα (OP D 200 0). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου



Σχ. 5.9 Διάταξη τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα πόρτα (OP D 140 4). Διάγραμμα ροπών ροπής



Σχ. 5.10 Διάταξη τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα πόρτα (OP D 140 4). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου

Στις έκκεντρες διατάξεις ανοιγμάτων ( $x/l < 0.5$ ) οι ροπές είναι μεγαλύτερες έναντι των κεντρικών συμμετρικών διατάξεων ( $x/l = 0.5$ )

Το εύρος αύξησης της ροπής σε συνάρτηση με το ποσοστό ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ) στις κεντρικές διατάξεις ( $x/l = 0.5$ ) είναι 30% (4%-34%) ενώ στις έκκεντρες διατάξεις ( $x/l = 0.25$ ) είναι 12% (59%-71%). Συνεπώς στις κεντρικές διατάξεις το ποσοστό ανοίγματος είναι περισσότερο κρίσιμη παράμετρος έναντι των έκκεντρων διατάξεων.

Ως προς την θέση εμφάνισης της μέγιστης ροπής παρατηρούμε:

- Στις συμμετρικές διατάξεις με το άνοιγμα κεντρικό η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στο πάνω μέρος του υπερθύρου στη στέψη του τοίχου (Σχ. 5.7, Σχ. 5.8),

- Στις έκκεντρες διατάξεις η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στο κάτω μέρος του υπερθύρου στη γωνία του ανοίγματος προς την πλευρά του πεσσού με το μεγαλύτερο μήκος (Σχ. 5.9, Σχ. 5.10).

Με την χρήση της εφαρμογής «CURVE FITTER» της MATLAB έγινε προσέγγιση της συνάρτησης  $\frac{M_{op}}{M} = f\left(\frac{A_{op}}{A}, \frac{x}{l}\right)$  μέσω διαρμονικής και τετάρτου βαθμού πολυωνυμικής παρεμβολής. Στα Σχ. 5.11 και Σχ. 5.12 παρουσιάζεται η σχετική επιφάνεια μέσω διαρμονικής και πολυωνυμικής παρεμβολής αντίστοιχα. Στον Πίνακα 5.2 παρατίθενται οι τιμές των συντελεστών του πολυωνύμου καθώς και το σφάλμα- απόκλιση της προσέγγισης.

Στον Πίνακα 5.3 φαίνεται απλοποιημένη πινακίδα προσδιορισμού των τιμών του λόγου των ροπών ( $M_{op}/M$ ) για μονώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ).

**Πίνακας 5.2 Συντελεστές του πολυωνύμου και σφάλμα- απόκλιση της προσέγγισης**

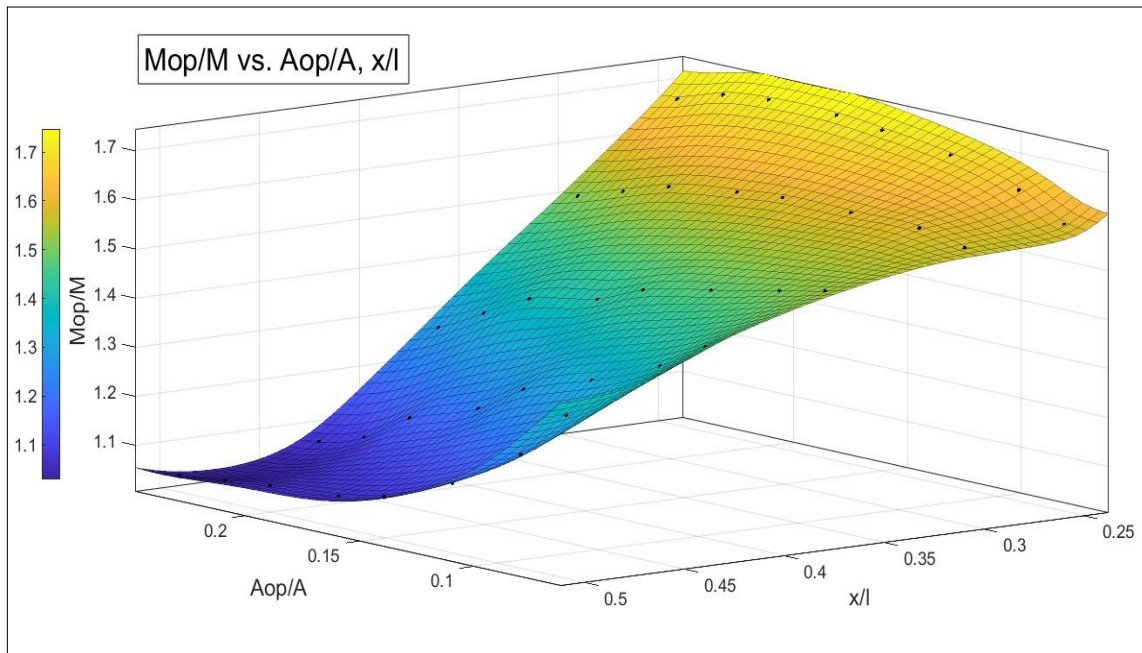
Linear model Poly44: $f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p30*x^3 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3 + p40*x^4 + p31*x^3*y + p22*x^2*y^2 + p13*x*y^3 + p04*y^4$	
Coefficients (with 95% confidence bounds):	
<p>p00 = 8.741 (6.094, 11.39)                  p10 = -5.353 (-18.82, 8.116)                  p01 = -84.78 (-113.4, -56.11)                  p20 = -33.5 (-125.2, 58.16)                  p11 = 135.7 (68.75, 202.6)                  p02 = 348.1 (231.1, 465.1)                  p30 = 152 (-198.8, 502.7)                  p21 = -83.18 (-261.9, 95.57)</p>	<p>p12 = -461.1 (-610.9, -311.2)                  p03 = -606 (-816.9, -395.2)                  p40 = -105.1 (-642.1, 432)                  p31 = -312.9 (-589.4, -36.46)                  p22 = 427 (262.1, 591.9)                  p13 = 348.9 (224.4, 473.5)                  p04 = 387.2 (246.1, 528.3)</p>
Goodness of fit:	
SSE: 0.001974 , R-square: 0.9989, Adjusted R-square: 0.9984, RMSE: 0.008886	

**Πίνακας 5.3 Απλοποιημένος Πίνακας τιμών του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για μονώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ )**

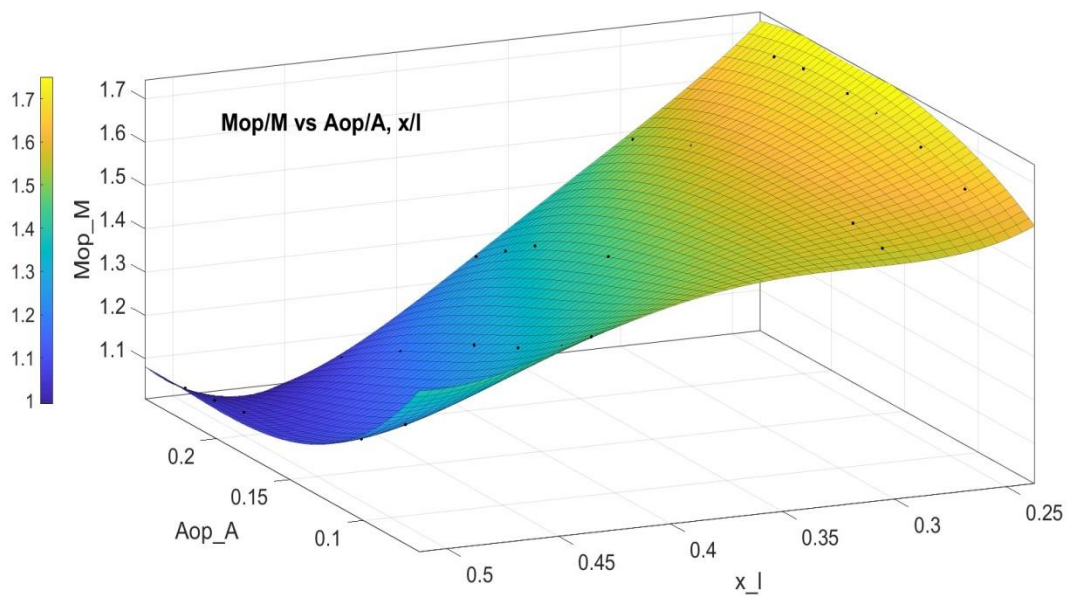
$M_{op}/M$	$(x/l)$						
$A_{op}/A$	0.20	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
0.05	1.76	1.59	1.57	1.56	1.52	1.47	1.43
0.07	1.75	1.59	1.57	1.53	1.48	1.41	1.34
0.15	1.83	1.70	1.59	1.48	1.36	1.22	1.09
0.25	1.87	1.67	1.50	1.33	1.17	1.06	1.04
0.30	1.91	1.69	1.49	1.32	1.18	1.10	1.11
	Τιμές εντός ορίων των αναλύσεων						
	Επέκταση τιμών με προσέγγιση						

Η επέκταση των τιμών του Πίνακα 3 έγινε με προσέγγιση της συνάρτησης  $\frac{M_{op}}{M} = f\left(\frac{A_{op}}{A}, \frac{x}{l}\right)$  μέσω διαρμονικής παρεμβολής.

Η ορθότητα των τιμών επέκτασης είναι υπό εξέταση καθώς βρίσκονται σε εξέλιξη πρόσθετες αναλύσεις με ακραίες διατάξεις ανοιγμάτων.



Σχ. 5.11 Επιφάνεια διααρμονικής προσέγγισης της συνάρτησης  $\frac{M_{op}}{M} = f\left(\frac{A_{op}}{A}, \frac{x}{l}\right)$



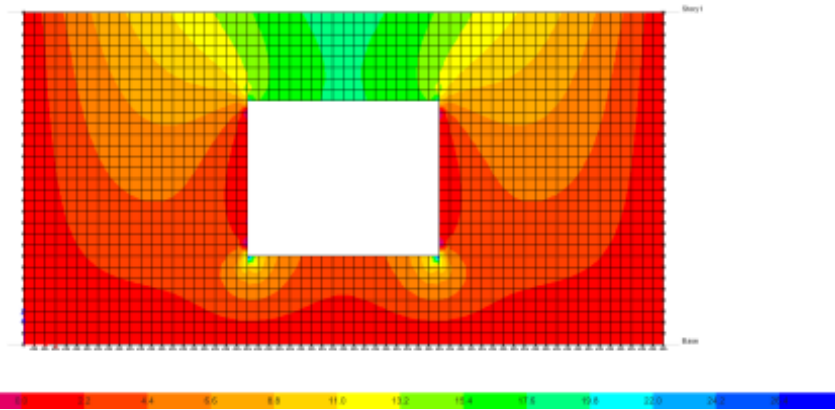
Σχ. 5.12 Επιφάνεια πολυωνμικής προσέγγισης της συνάρτησης  $\frac{M_{op}}{M} = f\left(\frac{A_{op}}{A}, \frac{x}{l}\right)$



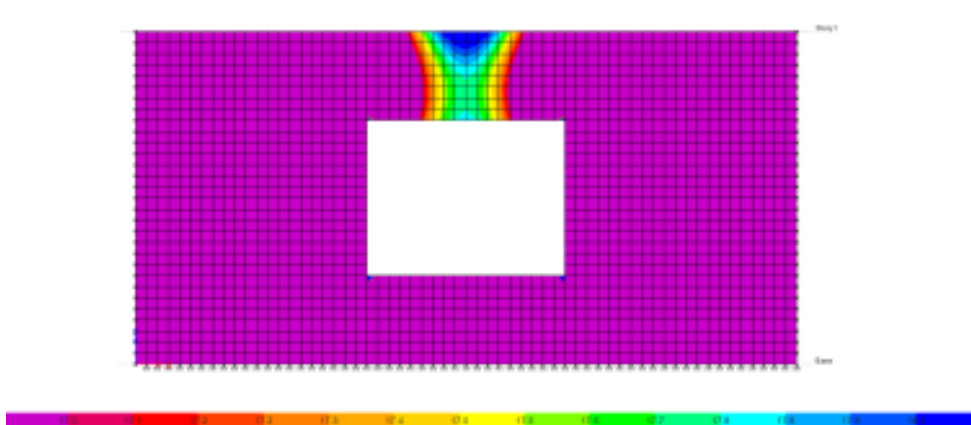
### 5.3 ΜΟΝΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑ ΠΑΡΑΘΥΡΟ

Αναλύθηκαν διατάξεις με άνοιγμα σε μορφή παραθύρου ύψους 1.40 (ποδιά 0.80m, πρέκι 2.20m).

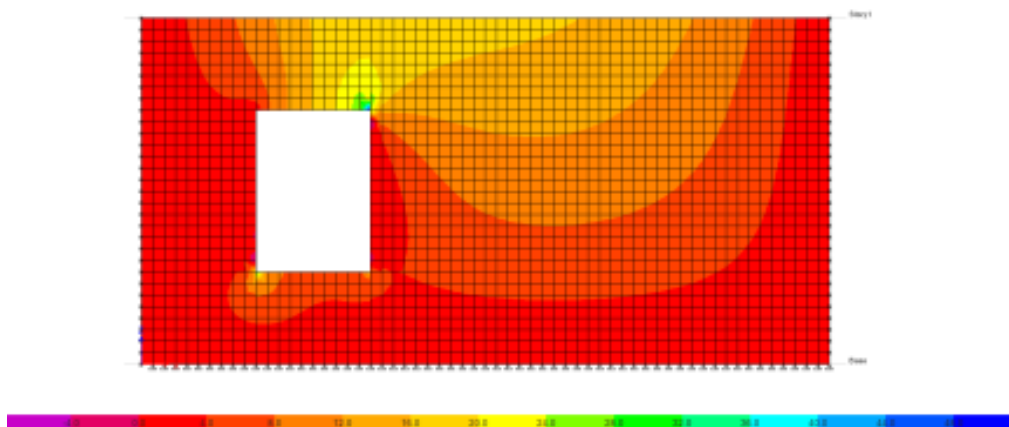
Το πλάτος του παραθύρου κυμαίνεται από 0.60m έως 2.00m με βήμα 0.20m και σε θέσεις με  $x/l = (0.50, 0.37, 0.25)$ .



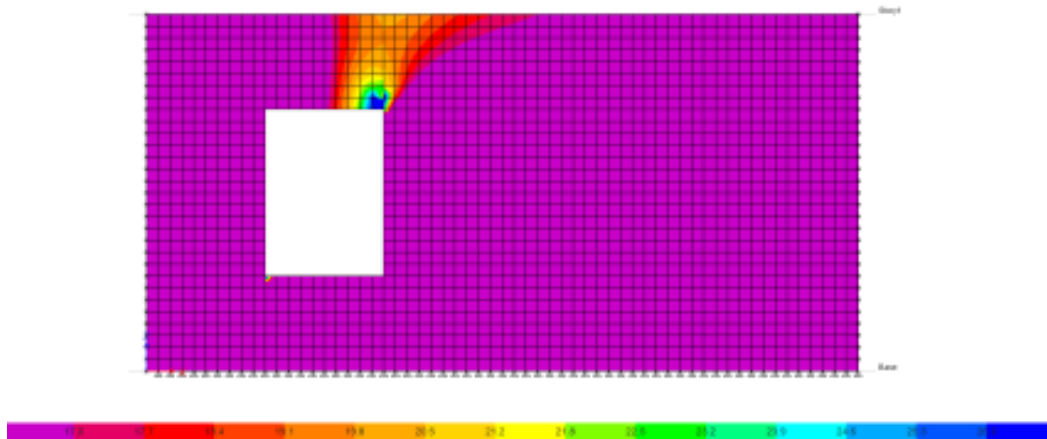
Σχ. 5.13 Διάταξη τοίχου με κεντρικό άνοιγμα παράθυρο (OP W 180 0). Διάγραμμα ροπών



Σχ. 5.14 Διάταξη τοίχου με κεντρικό άνοιγμα παράθυρο (OP W 180 0). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου



Σχ. 5.15 Διάταξη τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα παράθυρο (OP W 100 4). Διάγραμμα ροπών



Σχ. 5.16 Διάταξη τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα παράθυρο (OP W 100 4). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου.

Πίνακας 5.4 Σύγκριση ροπής διατάξεων με παράθυρο και διατάξεων με πόρτα

ΤΟΙΧΟΣ 10 W 6 3	ΠΑΡΑΘΥΡΟ $M_{op(w)}$ kNm/m	ΠΟΡΤΑ $M_{op(D)}$ kNm/m	ΛΟΓΟΣ $M_{op(w)}/M_{op(D)}$	ΤΟΙΧΟΣ 10 W 6 3	ΠΑΡΑΘΥΡΟ $M_{op(w)}$ kNm/m	ΠΟΡΤΑ $M_{op(D)}$ kNm/m	ΛΟΓΟΣ $M_{op(w)}/M_{op(D)}$
OP W 60 0	21.49	22.86	0.94	OP W 140 0	18.20	18.40	0.99
OP W 60 2	24.96	26.09	0.96	OP W 140 2	22.04	24.05	0.92
OP W 60 4	24.91	27.25	0.91	OP W 140 4	25.14	29.28	0.86
OP W 80 0	20.11	21.19	0.95	OP W 160 0	17.92	18.11	0.99
OP W 80 2	24.07	25.63	0.94	OP W 160 2	21.28	23.38	0.91
OP W 80 4	25.25	28.12	0.90	OP W 160 4	24.81	29.24	0.85
OP W 100 0	19.22	19.76	0.97	OP W 180 0	17.75	17.91	0.99
OP W 100 2	23.43	25.17	0.93	OP W 180 2	20.47	22.62	0.90
OP W 100 4	25.37	28.73	0.88	OP W 180 4	24.37	29.02	0.84
OP W 120 0	18.61	18.64	1.00	OP W 200 0	17.97	17.80	1.01
OP W 120 2	22.76	24.65	0.92	OP W 200 2	19.60	21.78	0.90
OP W 120 4	25.33	29.11	0.87	OP W 200 4	23.80	28.61	0.83
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΛΟΓΟΥ ( $M_{op(w)}/M_{op(D)}$ )=0.92				ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΛΟΓΟΥ ( $M_{op(w)}/M_{op(D)}$ )=0.05			

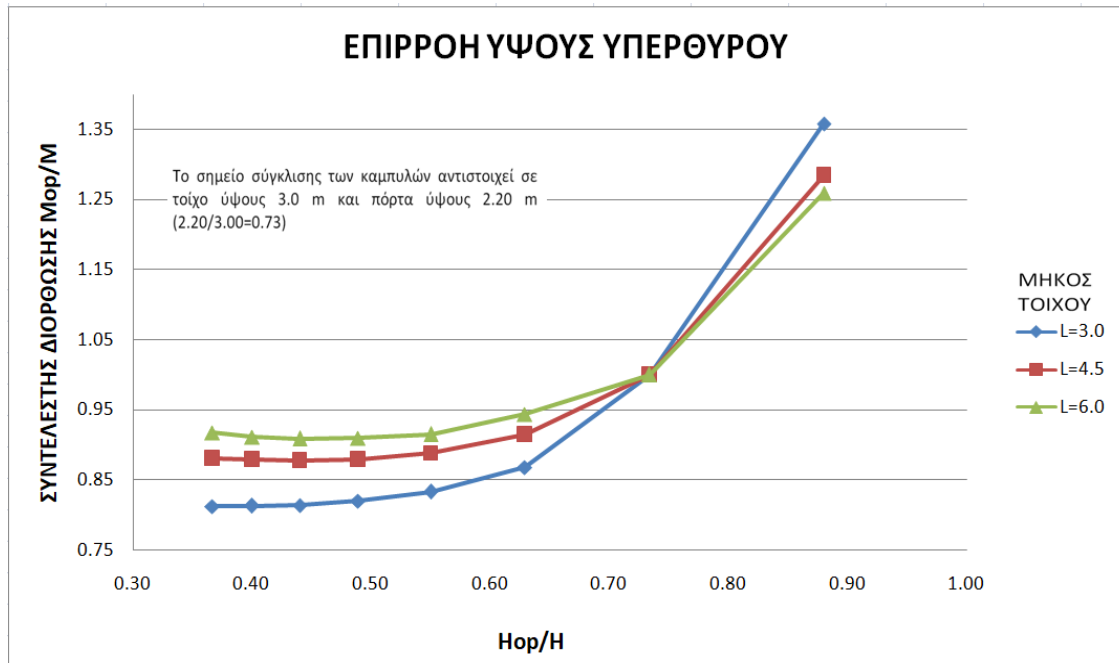
Η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στα ίδια σημεία με τις διατάξεις τοίχων με ανοίγματα σε μορφή πόρτας (Σχ. 5.15, Σχ. 5.16). Όπως και στις διατάξεις με πόρτα οι μεγαλύτερες ροπές παρατηρούνται στις έκκεντρες διατάξεις ( $x/l < 0.5$ ).

Από την σύγκριση (Πίνακας 5.4) της ροπής των διατάξεων με άνοιγμα σε μορφή παραθύρου με τη ροπή των διατάξεων με άνοιγμα σε μορφή πόρτας, προκύπτει μείωση των ροπών στις διατάξεις με παράθυρο κατά μέσο όρο 8% έναντι των ροπών της αντίστοιχης διάταξης με πόρτα.

Συνεπώς σε διατάξεις με παράθυρα είναι εφικτή η χρήση του απλοποιημένου Πίνακα 5.3 σε συνδυασμό με την εφαρμογή μειωτικού συντελεστή 0.92.

## 5.4 ΥΨΟΣ ΥΠΕΡΘΥΡΟΥ

Διερευνήθηκε η επίδραση του ύψους του υπέρθυρου (λόγος  $H_{op}/H$ ). Έγιναν αναλύσεις για τοίχους μήκους 3.00m, 4.50m και 6.00m και ύψους από 2.50m έως 6.00m με βήμα 0.5m και για άνοιγμα πόρτα στο μέσον του τοίχου με ποσοστό ανοίγματος 17% ( $A_{op}/A = 0.17$ ).



Σχ. 5.17 Συντελεστής διόρθωσης ροπής συναρτήσει του λόγου ( $H_{op}/H$ ) και του μήκους του τοίχου

Σε ότι αφορά την επιρροή του ύψους του υπέρθυρου παρατηρούμε (Σχ. 5.17, Πίνακας 5.5) ότι:

- για λόγο  $H_{op}/H < 0.73$  έχουμε μείωση της ροπής ( $M_{op}$ ) έως 20% σε σχέση με την ροπή του αντίστοιχου τοίχου με λόγο  $H_{op}/H = 0.73$  ενώ
- για  $H_{op}/H > 0.73$  έχουμε αύξηση της ροπής ( $M_{op}$ ) έως 36% σε σχέση με την ροπή του αντίστοιχου τοίχου με λόγο  $H_{op}/H = 0.73$

Οι τιμές του λόγου  $H_{op}/H < 0.73$  αντιστοιχούν σε ύψος τοίχου μεγαλύτερο των 3.0 m ή ύψος ανοίγματος μικρότερο των 2.20m,

Πίνακας 5.5 Τιμές του συντελεστή διόρθωσης ροπής

$H_{op}/H$	L=3.0m	L=4.5m	L=6.0m
0.88	1.36	1.28	1.26
0.73	1.00	1.00	1.00
0.63	0.87	0.92	0.94
0.55	0.83	0.89	0.92
0.49	0.82	0.88	0.91
0.44	0.81	0.88	0.91
0.40	0.81	0.88	0.91
0.37	0.81	0.88	0.92

## 5.5 ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΜΗΚΗ

Προκειμένου να διαπιστωθεί η δυνατότητα εφαρμογής του απλοποιημένου Πίνακα 5.3 για διατάξεις με τοίχους μήκους μικρότερου των 6.00m έγιναν κάποιες ενδεικτικές αναλύσεις για τοίχους μήκους 4.00m και 5.00m, ύψους 3.0 m, με άνοιγμα πόρτα πλάτους 1.00m και 1.40m σε θέσεις με  $x/l = (0.50, 0.36, 0.25)$ .

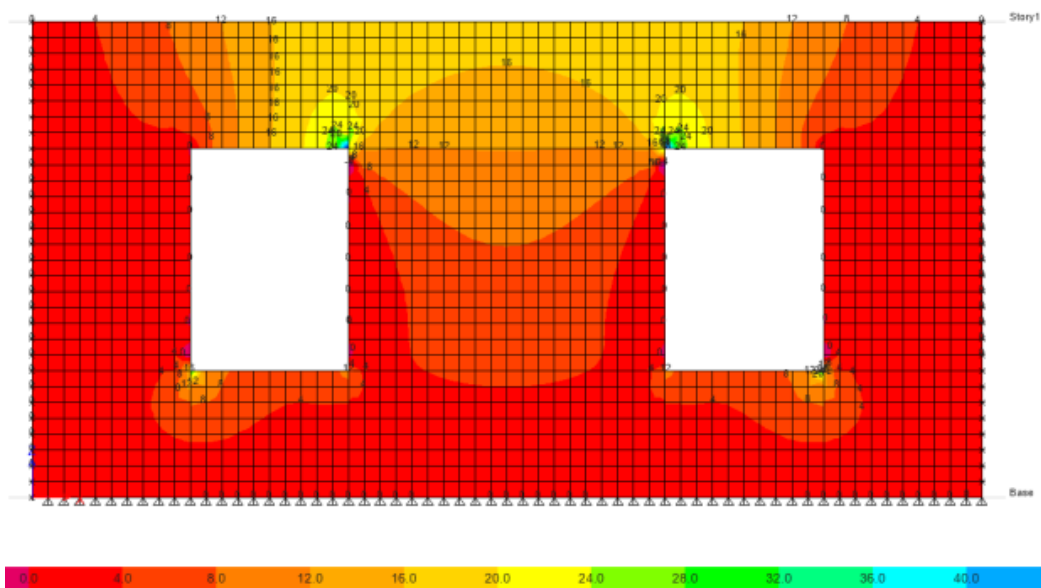
Ο υπολογιζόμενος λόγος  $M_{op}/M$  με την εφαρμογή του Πίνακα 5.3 αποκλίνει του αναλυτικού υπολογισμού έως  $\pm 5\%$  (Πίνακας 5.6)

**Πίνακας 5.6 Αποκλίσεις λόγου ( $M_{op}/M$ )**

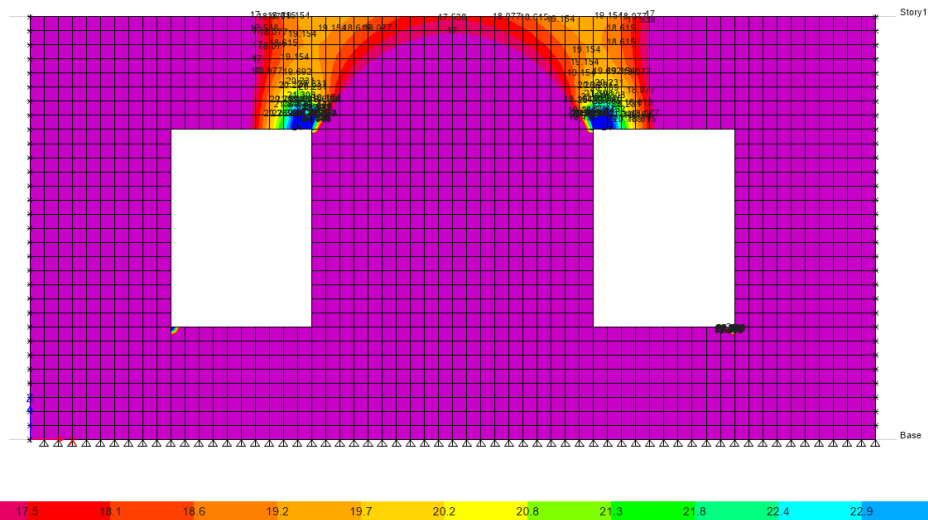
10 W 4 3					10 W 5 3				
	$M_{op}$ kNm/m	ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ $M_{op}/M$	ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΑ 5.3 $M_{op}/M$	ΑΠΟΚΛΙΣΗ (%)		$M_{op}$ kNm/m	ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ $M_{op}/M$	ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΑ 5.3 $M_{op}/M$	ΑΠΟΚΛΙΣΗ (%)
ΟΛΟΣΩΜΟ	11.92				ΟΛΟΣΩΜΟ	14.88			
D 100 0	13.33	1.12	1.07	-4.32	D 100 0	16.98	1.14	1.09	-4.48
D 100 2	17.27	1.45	1.42	-1.99	D 100 2	21.64	1.45	1.46	0.39
D 100 4	19.22	1.61	1.70	5.43	D 100 4	24.13	1.62	1.70	4.83
D 140 0	12.65	1.06	1.03	-2.94	D 140 0	15.89	1.07	1.06	-0.74
D 140 2	16.16	1.36	1.31	-3.37	D 140 2	20.5	1.38	1.38	0.17
D 140 4	19.18	1.61	1.69	5.03	D 140 4	24.23	1.63	1.71	5.01

## 5.6 ΜΟΝΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΔΥΟ Ή ΤΡΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

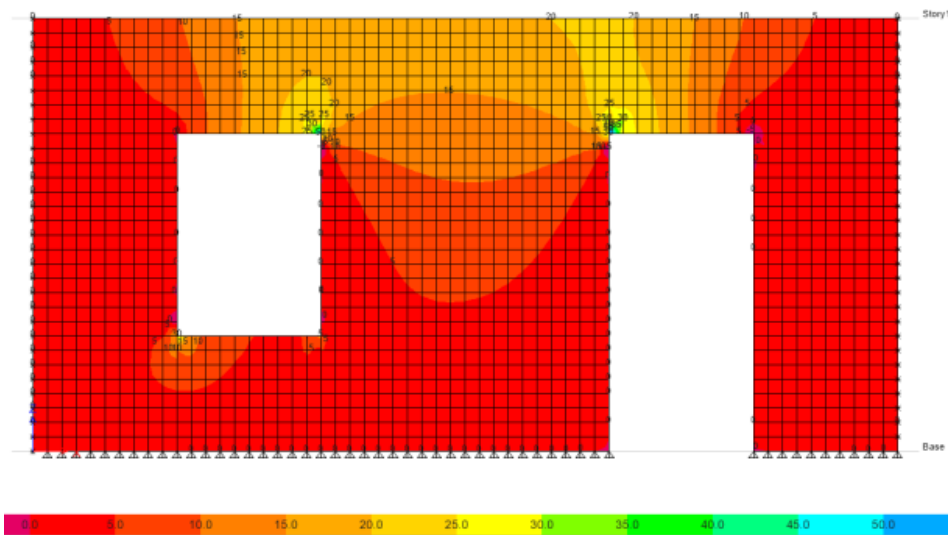
Εξετάστηκαν ενδεικτικές περιπτώσεις τοίχων με δυο ανοίγματα (δυο παράθυρα (Σχ. 5.18) ή πόρτα παράθυρο (Σχ. 5.20)) καθώς και τοίχου με τρία ανοίγματα (παράθυρο πόρτα παράθυρο (Σχ. 5.22)).



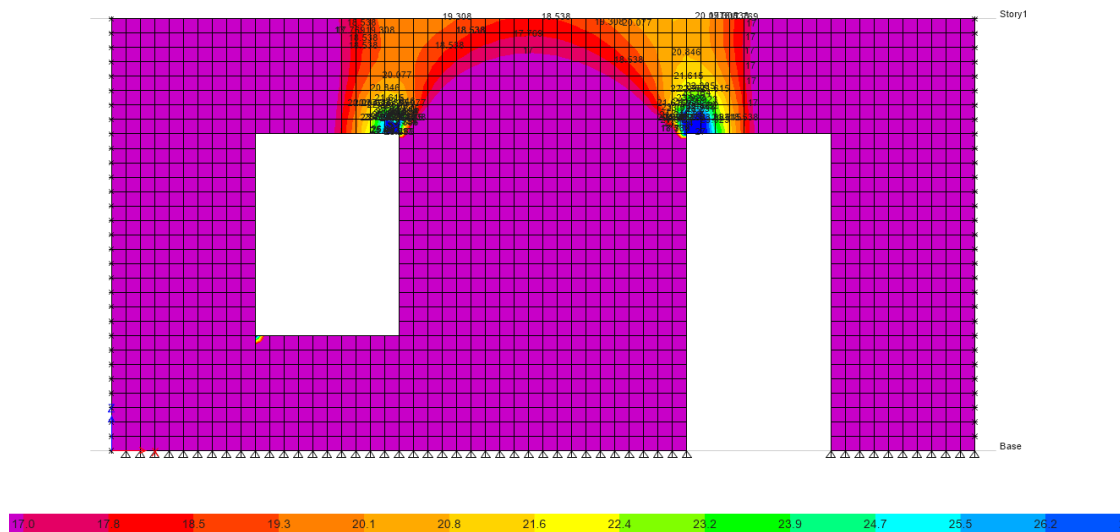
**Σχ. 5.18** Διάταξη τοίχου με δυο ανοίγματα (παράθυρα). Διάγραμμα ροπών



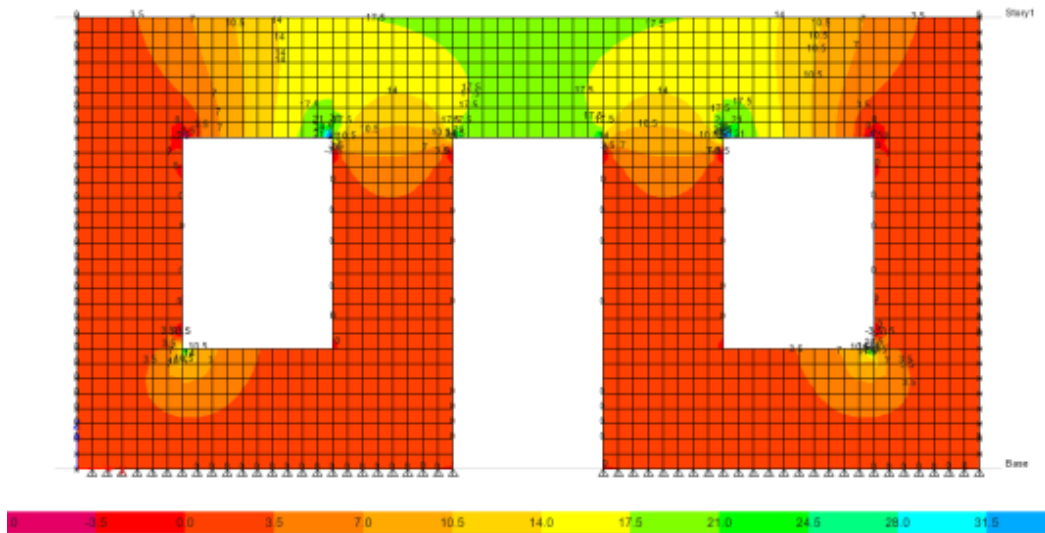
Σχ. 5.19 Διάταξη τοίχου με δυο ανοίγματα (παράθυρα). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου



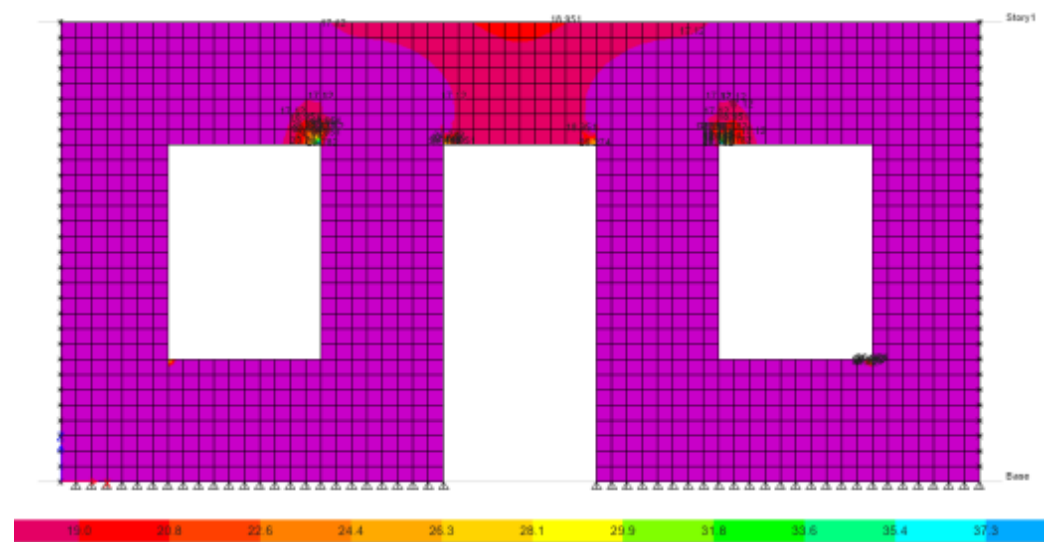
Σχ. 5.20 Διάταξη τοίχου με δυο ανοίγματα (παράθυρο πόρτα). Διάγραμμα ροπών



Σχ. 5.21 Διάταξη τοίχου με δυο ανοίγματα. Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου



Σχ. 5.22 Διάταξη τοίχου με τρία ανοίγματα. Διάγραμμα ροπών



Σχ. 5.23 Διάταξη τοίχου με τρία ανοίγματα. Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου

Σε τοίχο με δυο παράθυρα, μέγιστη ροπή εμφανίζεται σε δύο σημεία, στο κάτω μέρος των υπερθύρων στην γωνία των παραθύρων προς την πλευρά του κεντρικού πεσσού (Σχ. 5.19).

Στην περίπτωση αυτή καθοριστική είναι η διάταξη του ενός παραθύρου, αυτού με την μεγαλύτερη εκκεντρότητα ως προς την θέση του ( $x/l$ ), επομένως μπορούμε να υπολογίσουμε τον λόγο ( $M_{op}/M$ ) κάνοντας χρήση του Πίνακα 5.3 καθώς και του μειωτικού συντελεστή 0.92 για διατάξεις με παράθυρο (§ 5.3).

Σε τοίχο με παράθυρο και πόρτα καθοριστική είναι η διάταξη της πόρτας και μπορούμε να υπολογίσουμε τον λόγο ( $M_{op}/M$ ) κάνοντας χρήση του Πίνακα 5.3, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την πόρτα. Η μέγιστη ροπή εμφανίζεται σε δύο σημεία του τοίχου, στο κάτω μέρος των υπερθύρων στην γωνία των ανοιγμάτων προς τον κεντρικό πεσσό (Σχ. 5.21).

Σε τοίχο με τρία ανοίγματα η μέγιστη ροπή μπορεί να προκύψει υπολογίζοντας τον λόγο ( $M_{op}/M$ ) από την διάταξη της πόρτας κάνοντας χρήση του Πίνακα 5.3, λαμβάνοντας υπόψη

μόνο την πόρτα και αγνοώντας τα παράθυρα. Το σημείο όμως εμφάνισης της μέγιστης ροπής είναι οι γωνίες των παραθύρων, ενώ στο υπέρθυρο της πόρτας η ροπή είναι λίγο μικρότερη (Σχ. 5.23).

## 5.7 ΔΙΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΠΟΡΤΑ

Επιλέχθηκε τυπικός τοίχος διωρόφου κτηρίου με ξύλινο δάπεδο ορόφου και επικάλυψη ξύλινης στέγης (αμφότερα ασθενή διαφράγματα). Τα χαρακτηριστικά του τοίχου, τα στοιχεία φόρτισης καθώς και ο τρόπος στήριξης έχουν ως εξής:

ΤΟΙΧΟΣ (10W 50 6 6)

Μήκος τοίχου: 6.00m, Ύψος τοίχου: 6.00m, πάχος τοίχου: 0.50m

Ειδικό βάρος:  $\gamma=20\text{kN/m}^3$  Μετρό Ελαστικότητας: 2GPa

Ζώνη II, Έδαφος B,  $\gamma_I=1.00$ ,  $S_e(T)=0.720\text{g}$  (πλατό),

$w_{Ed}=7.20\text{kN/m}^2$

Επιφάνεια επιρροής στέγης :10.64 m<sup>2</sup>, φορτίο στέγη: 1.2kN/m<sup>2</sup>

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης: 1.53kN/m

Οριζόντιο φορτίο λόγω δαπέδου ορόφου: 3.32kN/m

Τρόπος στήριξης τοίχου: περιμετρικά αρθρωμένος, άνω ελεύθερος

Αναλύθηκαν διατάξεις διωρόφου τοίχου με ένα άνοιγμα ανά όροφο στην ίδια κατακόρυφο σε μορφή πόρτας ύψους 2.20. Το πλάτος της πόρτας κυμαίνεται από 0.60m έως 2.00m με βήμα 0.20m και σε θέσεις με  $x/l=(0.50, 0.37, 0.25)$ .

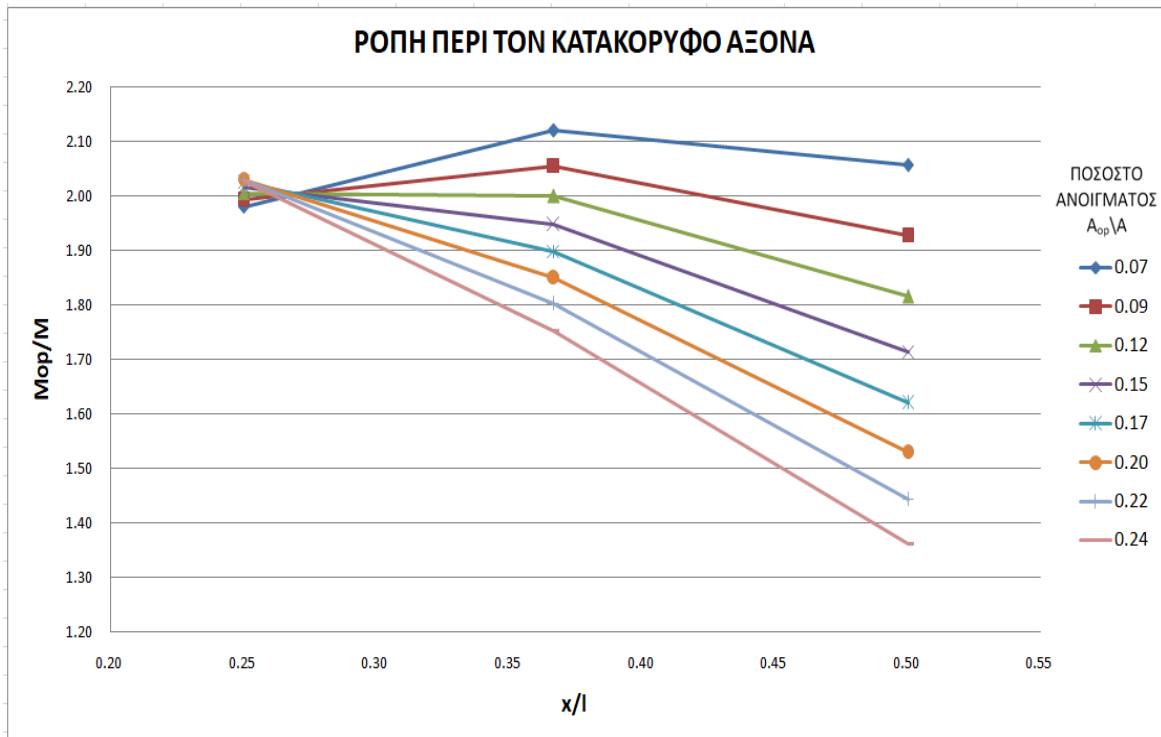
**Πίνακας 5.7 Αποτελέσματα ανάλυσης για διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα**

ΤΟΙΧΟΣ 10 W 6 6	$M_{op}$ kNm/m	$x/l$	$A_{op}/A$	$M_{op}/M$	ΤΟΙΧΟΣ 10 W 6 3	$M_{op}$ kNm/m	$x/l$	$A_{op}/A$	$M_{op}/M$
OP D 60 0	67.71	0.50	0.07	2.06	OP D 140 0	53.33	0.50	0.17	1.62
OP D 60 2	69.81	0.37	0.07	2.12	OP D 140 2	62.51	0.37	0.17	1.90
OP D 60 4	65.20	0.25	0.07	1.98	OP D 140 4	66.66	0.25	0.17	2.02
OP D 80 0	63.42	0.50	0.09	1.93	OP D 160 0	50.37	0.50	0.20	1.53
OP D 80 2	67.64	0.37	0.09	2.05	OP D 160 2	60.90	0.37	0.20	1.85
OP D 80 4	65.60	0.25	0.09	1.99	OP D 160 4	66.81	0.25	0.20	2.03
OP D 100 0	59.78	0.50	0.12	1.81	OP D 180 0	47.52	0.50	0.22	1.44
OP D 100 2	65.82	0.37	0.12	2.00	OP D 180 2	59.31	0.37	0.22	1.80
OP D 100 4	66.03	0.25	0.12	2.00	OP D 180 4	66.85	0.25	0.22	2.03
OP D 120 0	56.46	0.50	0.15	1.71	OP D 200 0	44.79	0.50	0.24	1.36
OP D 120 2	64.13	0.37	0.15	1.95	OP D 200 2	57.71	0.37	0.24	1.75
OP D 120 4	66.39	0.25	0.15	2.02	OP D 200 4	66.75	0.25	0.24	2.03
ΟΛΟΣΩΜΟ	32.94								

Στον Πίνακα 5.7 και στο Σχ. 5.24 φαίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

Σε διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα διακρίνουμε (σε σχέση με την ροπή ολόσωμου (M)) αύξηση της ροπής ( $M_{op}$ )

- από 36% για τον τοίχο OP D 200 0 ( $A_{op}/A=24\%$  στο μέσον του τοίχου  $x/l=0.50$ )
- έως 113% για τον τοίχο OP D 60 2 ( $A_{op}/A=7\%$  στη θέση  $x/l=0.40$ ).



Σχ. 5.24 Τιμές του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ )

Σε συμμετρικές διατάξεις με το άνοιγμα κεντρικό (Σχ. 5.25) η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στο κάτω μέρος του υπερθύρου στις δυο γωνίες του ανοίγματος (Σχ. 5.26), ενώ σε έκκεντρες διατάξεις (Σχ. 5.27) η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στο κάτω μέρος του υπερθύρου στη γωνία του ανοίγματος προς την πλευρά του πεσσού με το μεγαλύτερο μήκος (Σχ. 5.28).

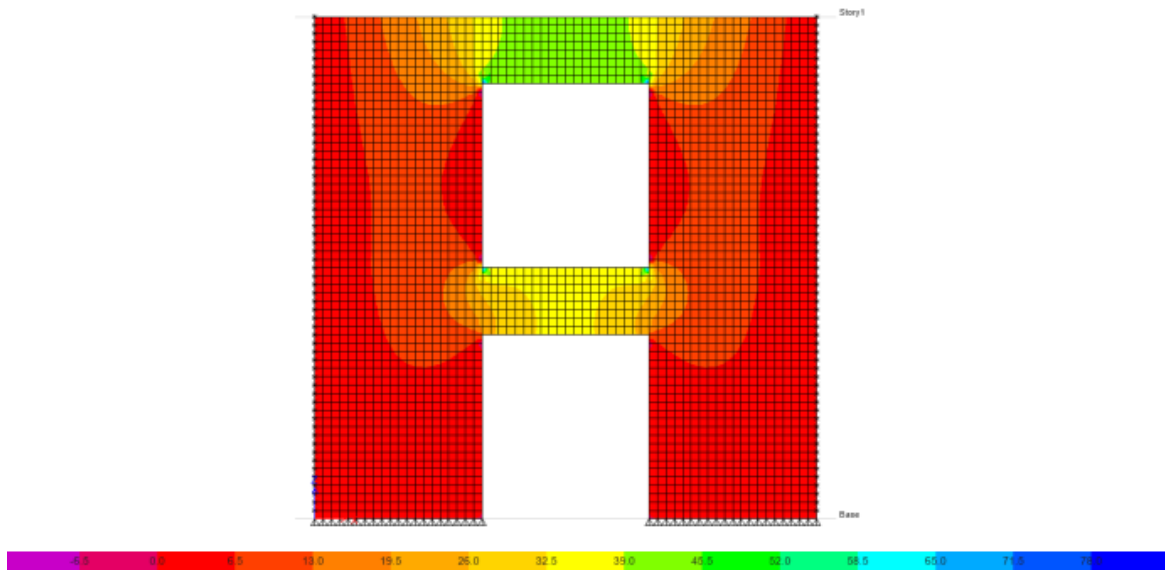
Το εύρος αύξησης της ροπής σε συνάρτηση με το ποσοστό ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ) στις κεντρικές διατάξεις ( $x/l=0.5$ ) είναι 70% (36%-106%) ενώ στις έκκεντρες διατάξεις ( $x/l=0.25$ ) είναι 5% (98%-103%). Συνεπώς στις κεντρικές διατάξεις το ποσοστό ανοίγματος είναι περισσότερο κρίσιμη παράμετρος έναντι των έκκεντρων διατάξεων.

Στον Πίνακα 5.8 φαίνεται απλοποιημένη πινακίδα προσδιορισμού των τιμών του λόγου των ροπών ( $M_{op}/M$ ) για διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ).

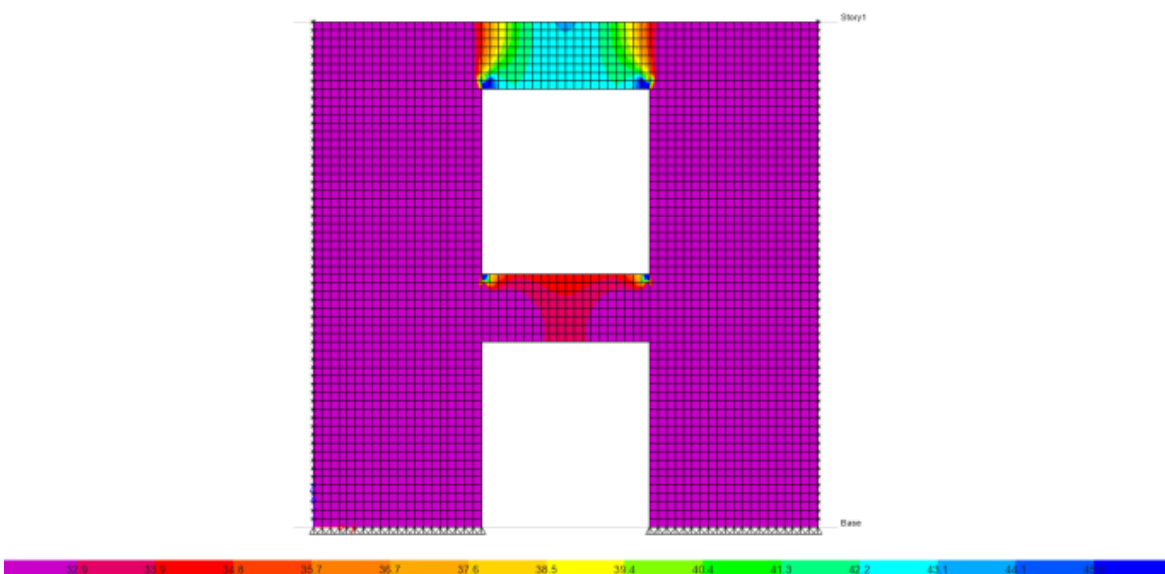


**Πίνακας 5.8 Απλοποιημένος Πίνακας τιμών του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ )**

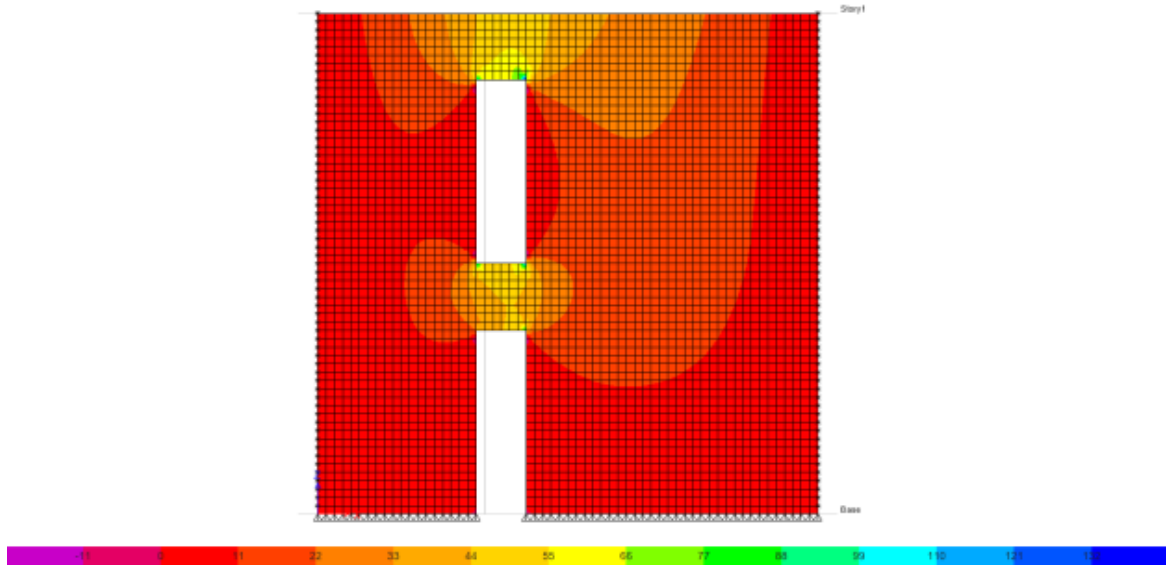
$M_{op}/M$	$x/l$					
$A_{op}/A$	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
0.07	1.98	2.04	2.10	2.11	2.08	2.06
0.15	2.02	1.99	1.96	1.89	1.80	1.71
0.25	2.03	1.91	1.80	1.66	1.51	1.36



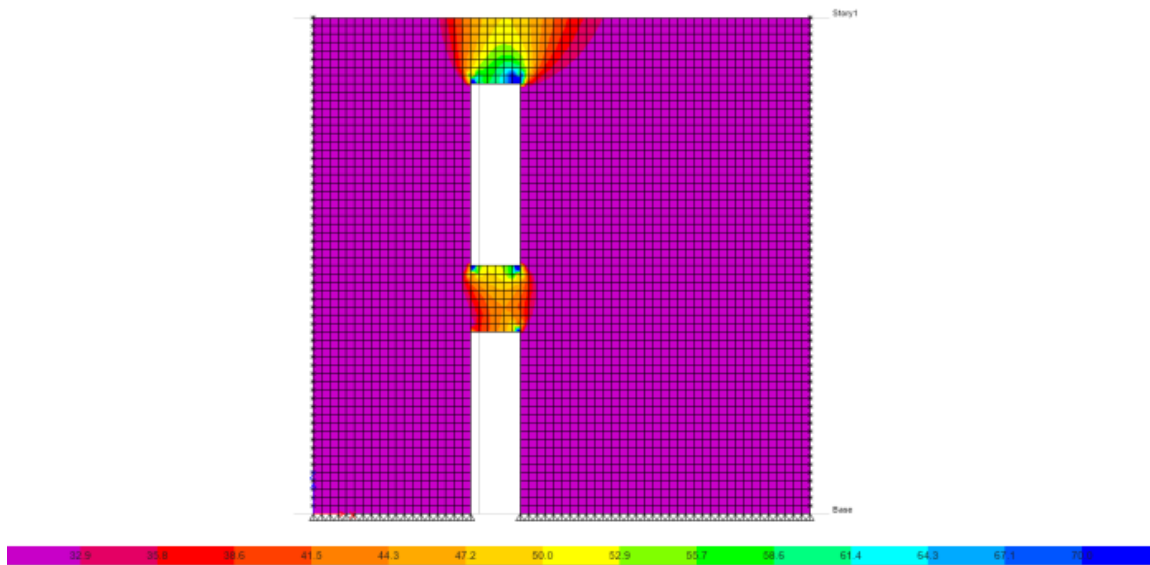
**Σχ. 5.25 Διατάξεις διώροφου τοίχου με κεντρικό άνοιγμα πόρτα (OP D 200 0). Διάγραμμα ροπών**



**Σχ. 5.26 Διατάξεις διώροφου τοίχου με κεντρικό άνοιγμα πόρτα (OP D 200 0). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου**



Σχ. 5.27 Διατάξεις διώροφου τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα πόρτα (OP D 60 2). Διάγραμμα ροπών



Σχ. 5.28 Διατάξεις διώροφου τοίχου με έκκεντρο άνοιγμα πόρτα (OP D 60 2). Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου

## 5.8 ΔΙΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΠΑΡΑΘΥΡΟ

Έγιναν κάποιες ενδεικτικές αναλύσεις για διώροφο τοίχο με ένα παράθυρο ανά όροφο. Από την σύγκριση (Πίνακας 5.9) της μέγιστης ροπής για τοίχο με άνοιγμα παράθυρο ( $M_{op(w)}$ ) με την αντίστοιχη για τοίχο με άνοιγμα πόρτα ( $M_{op(D)}$ ) προκύπτει μείωση της ροπής κατά μέσο όρο 16%.

Συνεπώς σε διατάξεις με παράθυρα είναι εφικτή η χρήση του απλοποιημένου Πίνακα 5.8 σε συνδυασμό με την εφαρμογή μειωτικού συντελεστή 0.84.

**Πίνακας 5.9 Σύγκριση ροπής διατάξεων με παράθυρο και διατάξεων με πόρτα**

ΤΟΙΧΟΣ 10 W 6 6	ΠΑΡΑΘΥΡΟ $M_{op(w)}$ kNm/m	ΠΟΡΤΑ $M_{op(D)}$ kNm/m	ΛΟΓΟΣ $M_{op(w)}/M_{op(D)}$
OP W 100 0	51.21	59.78	0.86
OP W 100 4	53.68	66.03	0.81
OP W 140 0	46.63	53.33	0.87
OP W 140 4	54.18	66.66	0.81
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΛΟΓΟΥ ( $M_{op(w)}/M_{op(D)}$ )=0.84			

## 6 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

### 6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η προτεινόμενη απλοποιημένη διαδικασία υπολογισμού της δρώσας ροπής περί κατακόρυφο άξονα τοίχου με ανοίγματα υπό σεισμικό φορτίο βασίζεται στα αναφερόμενα στις παραγράφους (5.2) έως (5.8).

Για τοίχο με περισσότερα από ένα ανοίγματα γίνεται εφαρμογή των διαπιστώσεων της παραγράφου (5.6) σύμφωνα με τις οποίες:

- Σε τοίχο με δυο παράθυρα καθοριστική είναι η διάταξη του ενός παραθύρου.
- Σε τοίχο με παράθυρο και πόρτα καθοριστική είναι η διάταξη της πόρτας.
- Σε τοίχο με τρία ανοίγματα καθοριστική είναι η διάταξη της πόρτας.

Από τον Πίνακα 5.3 για μονόροφο τοίχο και τον Πίνακα 5.8 για διώροφο τοίχο, βάσει των παραμέτρων ( $x/l$ ) και ( $A_{op}/A$ ), προκύπτει ο αρχικός συντελεστής ( $M_{op}/M$ ).

Στη συνέχεια ανάλογα με την περίπτωση επί του αρχικού συντελεστή ( $M_{op}/M$ ) εφαρμόζονται διορθωτικοί συντελεστές οι οποίοι σχετίζονται με:

- την περίπτωση διάταξης με άνοιγμα σε μορφή παραθύρου (συντελεστής 0.92) και
- την παράμετρο ( $H_{op}/H$ ) (συντελεστής του Πίνακα 5.5).

Ενδιάμεσες τιμές από τους Πίνακες 5.3, 5.5 και 5.8 λαμβάνονται με γραμμική παρεμβολή.

Ο τελικός συντελεστής ( $M_{op}/M$ ) προκύπτει από το γινόμενο του αρχικού επί όλους τους διορθωτικούς συντελεστές.

Τέλος η ροπή του αντίστοιχου ολόσωμου τοίχου μπορεί να υπολογιστεί με την χρήση τυποποιημένων πινάκων για τριέρειςτες πλάκες με απλή στήριξη στις τρεις πλευρές (Παράρτημα Α).

Ακολουθούν παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου.

### 6.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

ΤΟΙΧΟΣ 10 W 50 4\_8 3\_5 OP D 140 29

Μήκος τοίχου: 4.80m, Ύψος τοίχου: 3.50m, πάχος τοίχου: 0.50m

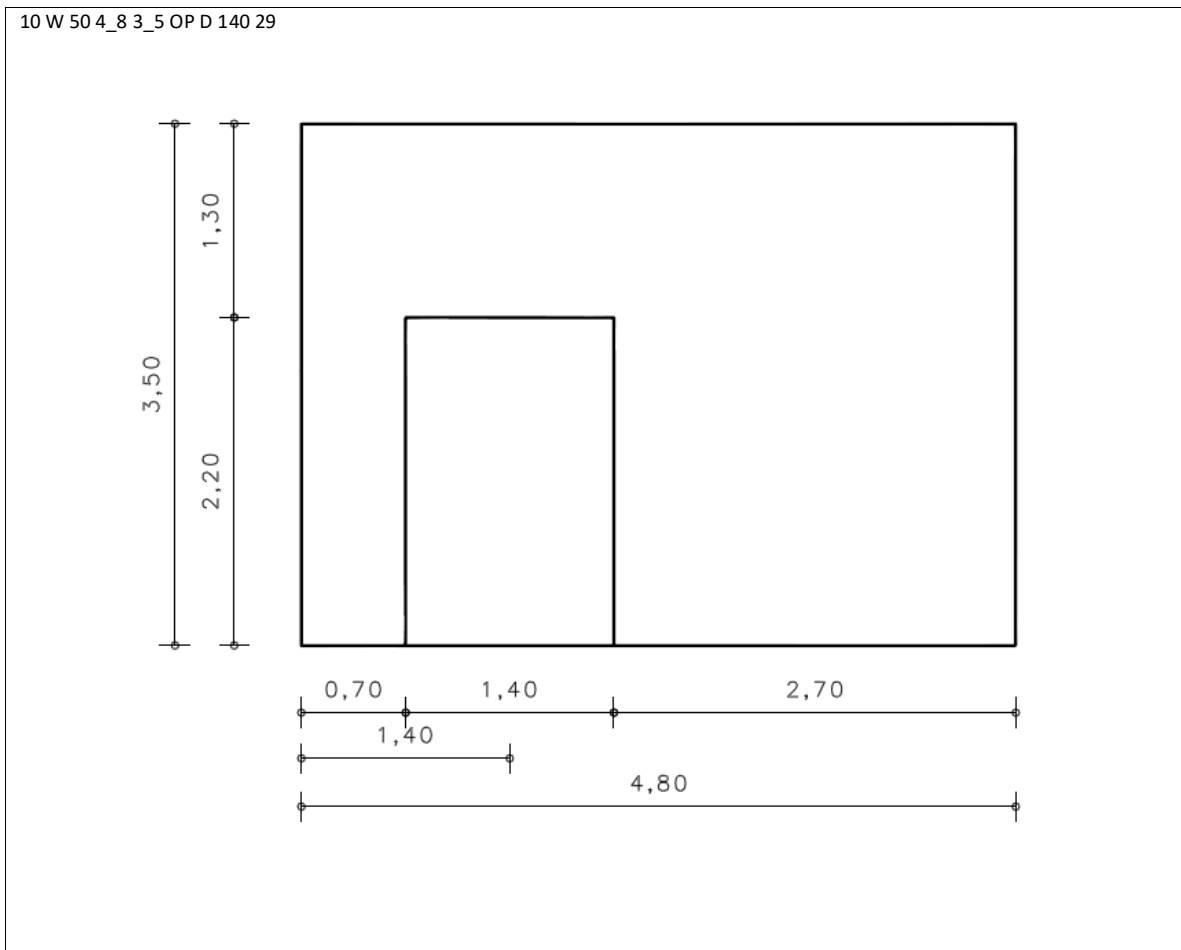
Ειδικό βάρος:  $\gamma=20\text{kN/m}^3$  Μετρό Ελαστικότητας: 2GPa

Ζώνη II, Έδαφος B,  $\gamma_I=1.00$ ,  $S_e(T)=0.720g$  (πλατό),

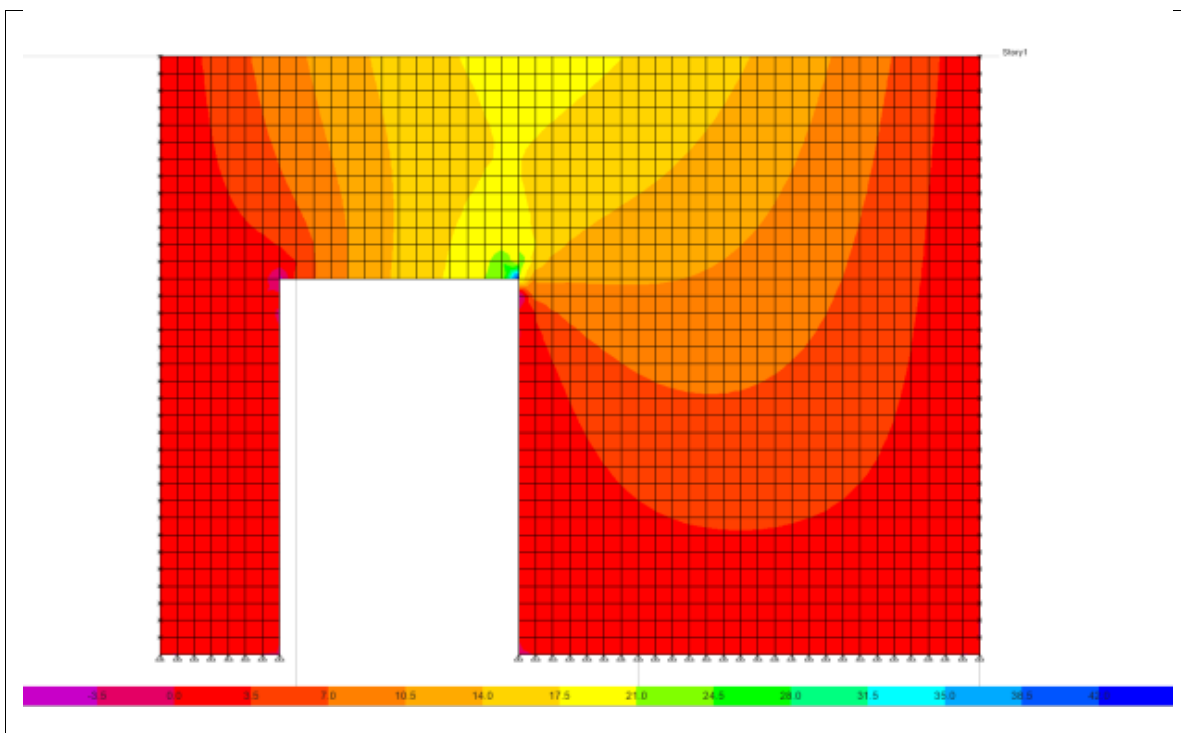
$w_{Ed}=7.20\text{kN/m}^2$

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης: 1.60kN/m

Τρόπος στήριξης τοίχου: περιμετρικά αρθρωμένος, άνω ελεύθερος



Σχ. 6.1 Γεωμετρικά στοιχεία τοίχου 1



Σχ. 6.2 Διάγραμμα ροπών (επίλυση με πεπερασμένα στοιχεία)  $M_{\max} = 22.49 \text{ kNm/m}$

Ροπή ολόσωμου τοίχου

Ομοιόμορφο φορτίο

Από σχετικούς πίνακες πλακών:  $m_x = 6.63$

$$M_1 = \frac{p \cdot l_y^2}{m_x} = \frac{7.20 \cdot 3.50^2}{6.63} = 13.30 \text{ kNm/m}$$

Γραμμικό φορτίο

Από σχετικούς πίνακες πλακών:  $m_x = 3.14$

$$M_2 = \frac{p \cdot l_y}{m_x} = \frac{1.60 \cdot 3.50}{3.14} = 1.78 \text{ kNm/m}$$

$$M_{\text{tot}} = M_1 + M_2 = 13.30 + 1.78 = 15.08 \text{ kNm/m}$$

$$A = 4.80 \cdot 3.50 = 16.80 \text{ m}^2, A_{\text{op}} = 1.40 \cdot 2.20 = 3.08 \text{ m}^2, \frac{A_{\text{op}}}{A} = 0.18, \frac{x}{l} = \frac{1.40}{4.80} = 0.29$$

Από Πίνακα 5.3 για ( $\frac{A_{\text{op}}}{A} = 0.18, \frac{x}{l} = 0.29$ ) έχουμε  $\frac{M_{\text{op}}}{M} = 1.56$

$$\frac{H_{\text{op}}}{H} = \frac{2.20}{3.50} = 0.63$$

Από Πίνακα 5.5 για  $\frac{H_{\text{op}}}{H} = 0.63$  συντελεστής διόρθωσης = 0.92

$$\left(\frac{M_{\text{op}}}{M}\right)^{\text{final}} = 1.56 \cdot 0.92 = 1.46$$

$$M_{\text{op}} = 15.08 \cdot 1.46 = 22.02 \text{ kNm/m}$$

Από ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων  $M_{\text{op}} = 22.49 \text{ kNm/m}$

Το μέγεθος της έμμεσα υπολογιζόμενης ροπής υποεκτιμάται κατά 2.10% έναντι της ροπής που προκύπτει αναλυτικά.

### 6.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

ΤΟΙΧΟΣ 10 W 50 4\_8 3\_5 OP W 140 29

Μήκος τοίχου: 4.80m, Ύψος τοίχου: 3.50m, πάχος τοίχου: 0.50m

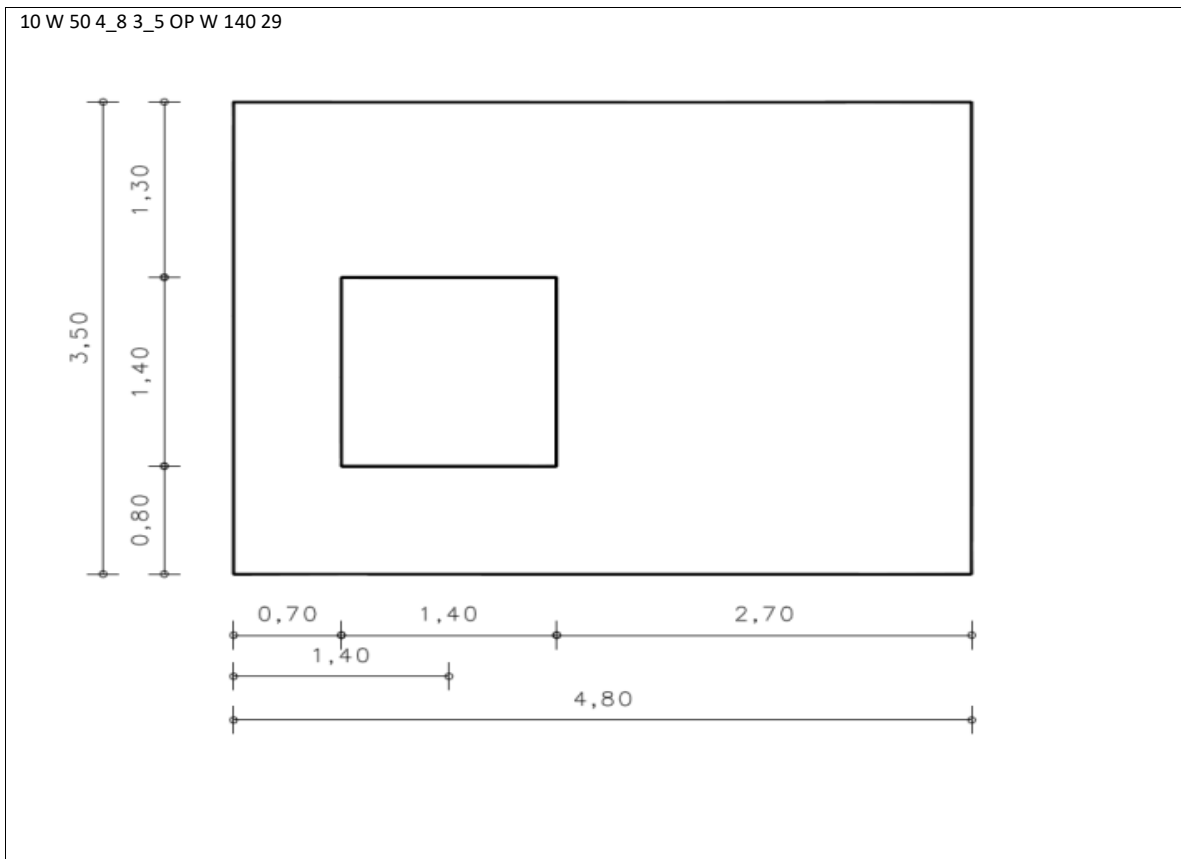
Ειδικό βάρος:  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  Μετρό Ελαστικότητας: 2GPa

Ζώνη II, Έδαφος B,  $\gamma_I = 1.00$ ,  $S_e(T) = 0.720 \text{ g}$  (πλατό),

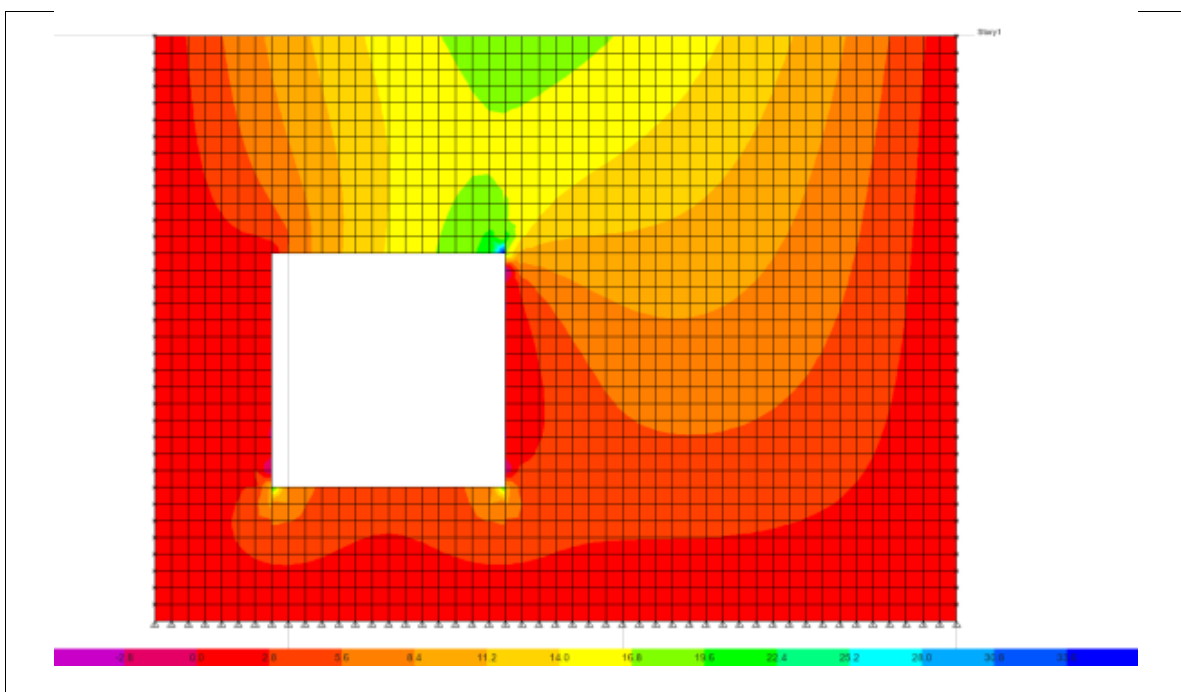
$$w_{\text{Ed}} = 7.20 \text{ kN/m}^2$$

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης: 1.60kN/m

Τρόπος στήριξης τοίχου: περιμετρικά αρθρωμένος, άνω ελεύθερος



Σχ. 6.3 Γεωμετρικά στοιχεία τοίχου 2



Σχ. 6.4 Διάγραμμα ροπών (επίλυση με πεπερασμένα στοιχεία)  $M_{max}= 20.15\text{kNm/m}$

Ροπή ολόσωμου τοίχου

Όπως Παράδειγμα 1

$$M_{\text{tot}} = 15.08 \text{ kNm/m}$$

$$A = 4.80 \cdot 3.50 = 16.80 \text{ m}^2, A_{\text{op}} = 1.40 \cdot 1.40 = 1.96 \text{ m}^2, \frac{A_{\text{op}}}{A} = 0.12, \frac{x}{l} = \frac{1.40}{4.80} = 0.29$$

$$\text{Από Πίνακα 5.3 για } \left( \frac{A_{\text{op}}}{A} = 0.12, \frac{x}{l} = 0.29 \right) \text{ έχουμε } \frac{M_{\text{op}}}{M} = 1.60$$

$$\frac{H_{\text{op}}}{H} = \frac{1.40}{3.50} = 0.40$$

$$\text{Από Πίνακα 5.5 για } \frac{H_{\text{op}}}{H} = 0.40 \text{ συντελεστής διόρθωσης} = 0.88$$

Συντελεστής λόγω παραθύρου = 0.92

$$\left( \frac{M_{\text{op}}}{M} \right)^{\text{final}} = 1.60 \cdot 0.88 \cdot 0.92 = 1.30$$

$$M_{\text{op}} = 15.08 \cdot 1.30 = 19.60 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Από ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων } M_{\text{op}} = 20.15 \text{ kNm/m}$$

Το μέγεθος της έμμεσα υπολογιζόμενης ροπής υποεκτιμάται κατά 2.8% έναντι της ροπής που προκύπτει αναλυτικά.

## 6.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

ΤΟΙΧΟΣ 10 W 50 5\_5 3\_5 OP DW100 140 18 25

Μήκος τοίχου: 5.50m, Ύψος τοίχου: 3.50m, πάχος τοίχου: 0.50m

Ειδικό βάρος:  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  Μετρό Ελαστικότητας: 2GPa

Ζώνη II, Έδαφος B,  $\gamma_I = 1.00$ ,  $S_e(T) = 0.720g$  (πλατό),  $w_{Ed} = 7.20 \text{ kN/m}^2$

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης: 1.60kN/m

Τρόπος στήριξης τοίχου: περιμετρικά αρθρωμένος, άνω ελεύθερος





Ροπή ολόσωμου τοίχου

Ομοιόμορφο φορτίο

Από σχετικούς πίνακες πλακών:  $m_x = 5.85$

$$M_1 = \frac{p \cdot l_y^2}{m_x} = \frac{7.20 \cdot 3.50^2}{5.85} = 15.08 \text{ kNm/m}$$

Γραμμικό φορτίο

Από σχετικούς πίνακες πλακών:  $m_x = 2.85$

$$M_2 = \frac{p \cdot l_y}{m_x} = \frac{1.60 \cdot 3.50}{2.85} = 1.96 \text{ kNm/m}$$

$$M_{\text{tot}} = M_1 + M_2 = 15.08 + 1.96 = 17.04 \text{ kNm/m}$$

Καθοριστική η διάταξη της πόρτας

$$A = 5.50 \cdot 3.50 = 19.25 \text{ m}^2, A_{\text{op}} = 1.00 \cdot 2.20 = 2.20 \text{ m}^2, \frac{A_{\text{op}}}{A} = 0.11, \frac{x}{l} = \frac{1.00}{5.50} = 0.18$$

Από Πίνακα 5.3 για ( $\frac{A_{\text{op}}}{A} = 0.11, \frac{x}{l} = 0.18$ ) έχουμε  $\frac{M_{\text{op}}}{M} = 1.79$  (για  $\frac{x}{l} = 0.20$  λόγω ορίου πίνακα)

$$\frac{H_{\text{op}}}{H} = \frac{2.20}{3.50} = 0.63$$

Από Πίνακα 5.5 για  $\frac{H_{\text{op}}}{H} = 0.63$  συντελεστής διόρθωσης = 0.94

$$\left(\frac{M_{\text{op}}}{M}\right)^{\text{final}} = 1.79 \cdot 0.94 = 1.68$$

$$M_{\text{op}} = 17.04 \cdot 1.68 = 28.63 \text{ kNm/m}$$

Από ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων  $M_{\text{op}} = 27.68 \text{ kNm/m}$

Το μέγεθος της έμμεσα υπολογιζόμενης ροπής υπερεκτιμάται κατά 3.4% έναντι της ροπής που προκύπτει αναλυτικά.

## 6.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

ΤΟΙΧΟΣ 10 W 50 5\_5 6 OP W 140 27

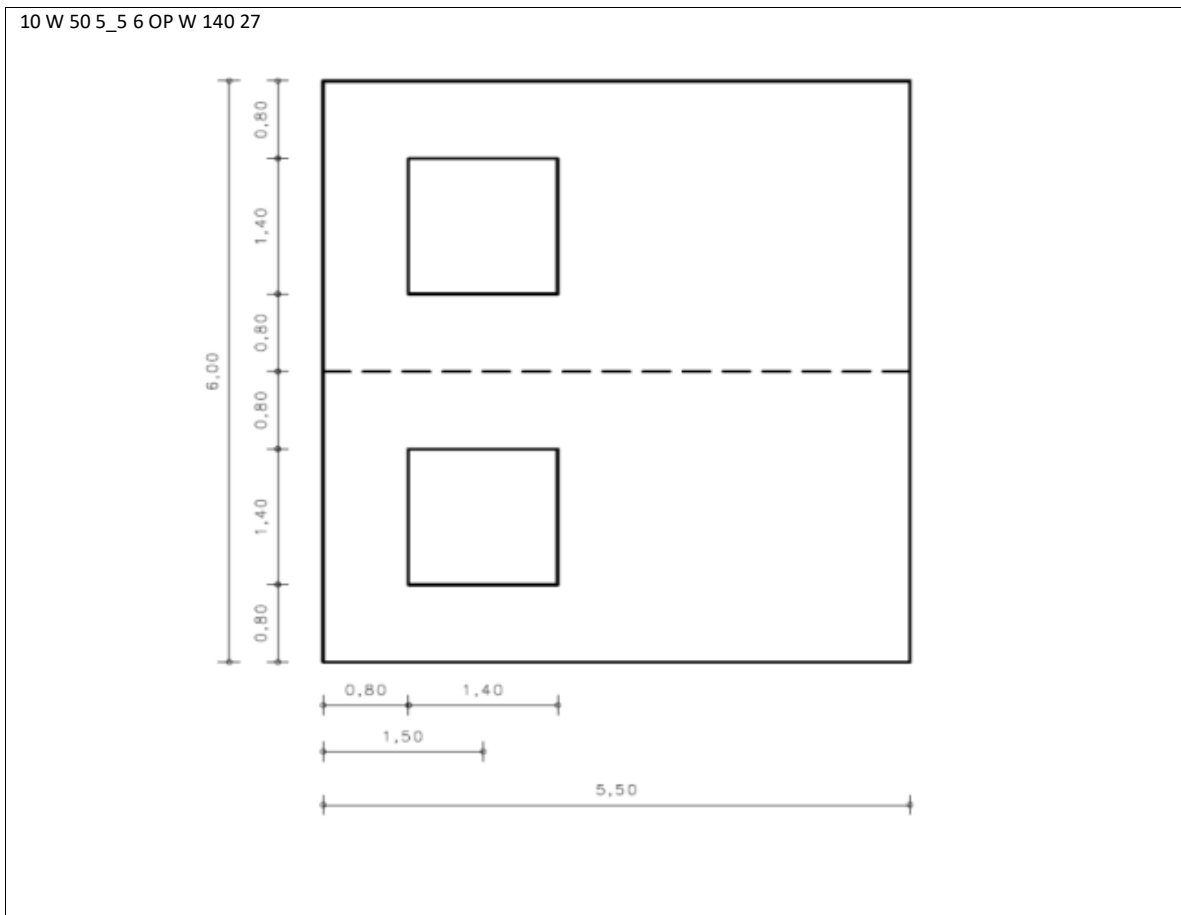
Μήκος τοίχου: 5.50m, Ύψος τοίχου: 6.00m, πάχος τοίχου: 0.50m

Ειδικό βάρος:  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  Μετρό Ελαστικότητας: 2GPa

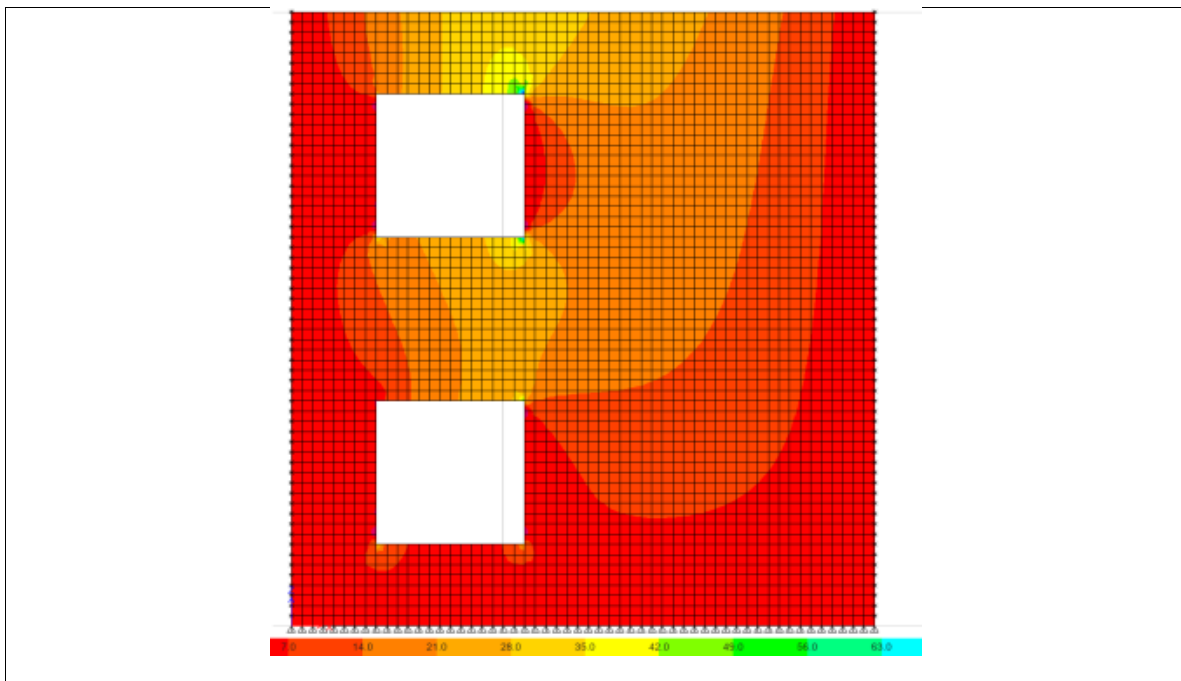
Ζώνη II, Έδαφος B,  $\gamma_I = 1.00$ ,  $S_e(T) = 0.720 \text{ g}$  (πλατό),  $w_{Ed} = 7.20 \text{ kN/m}^2$

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης: 1.60kN/m

Τρόπος στήριξης τοίχου: περιμετρικά αρθρωμένος, άνω ελεύθερος



Σχ. 6.7 Γεωμετρικά στοιχεία τοίχου 4



Σχ. 6.8 Διάγραμμα ροπών (επίλυση με πεπερασμένα στοιχεία)  $M_{\max} = 44.15 \text{ kNm/m}$

Ροπή ολόσωμου τοίχου

Ομοιόμορφο φορτίο

Από σχετικούς πίνακες πλακών:  $m_x = 11.10$

$$M_1 = \frac{p \cdot l_y^2}{m_x} = \frac{7.20 \cdot 6.00^2}{11.10} = 23.35 \text{ kNm/m}$$

Γραμμικό φορτίο

Από σχετικούς πίνακες πλακών:  $m_x = 4.48$

$$M_2 = \frac{p \cdot l_y}{m_x} = \frac{1.60 \cdot 6.00}{4.48} = 2.14 \text{ kNm/m}$$

$$M_{\text{tot}} = M_1 + M_2 = 23.35 + 2.14 = 25.49 \text{ kNm/m}$$

$$A = 5.50 \cdot 6.00 = 33.00 \text{ m}^2, A_{\text{op}} = 2 \cdot 1.40 \cdot 1.40 = 3.92 \text{ m}^2, \frac{A_{\text{op}}}{A} = 0.12, \frac{x}{l} = \frac{1.40}{5.50} = 0.27$$

Από Πίνακα 5.8 για ( $\frac{A_{\text{op}}}{A} = 0.12, \frac{x}{l} = 0.27$ ) έχουμε  $\frac{M_{\text{op}}}{M} = 2.01$

Συντελεστής λόγω παραθύρου = 0.84

$$\left(\frac{M_{\text{op}}}{M}\right)^{\text{final}} = 2.01 \cdot 0.84 = 1.69$$

$$M_{\text{op}} = 25.49 \cdot 1.69 = 43.08 \text{ kNm/m}$$

Από ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων  $M_{\text{op}} = 44.15 \text{ kNm/m}$

Το μέγεθος της έμμεσα υπολογιζόμενης ροπής υποεκτιμάται κατά 2.5% έναντι της ροπής που προκύπτει αναλυτικά.

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού Ελέγχου Κτηρίων από φέρουσα τοιχοποιία διερευνάται η επιρροή των ανοιγμάτων στην εκτός επιπέδου αστοχία κτιρίων φέρουσας τοιχοποιίας. Γι' αυτόν τον λόγο θα ήταν χρήσιμη μια απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού της δρώσας ροπής περί τον κατακόρυφο άξονα τοίχου με ανοίγματα ( $M_{op}$ ) όταν υποβάλλεται σε σεισμικό φορτίο, ως συνάρτηση της ροπής του αντίστοιχου ολόσωμου τοίχου ( $M$ ). Με την εφαρμογή μιας τέτοιας διαδικασίας δεν υπάρχει ανάγκη για χρήση εξειδικευμένου λογισμικού. Η δρώσα ροπή του ολόσωμου τοίχου μπορεί να υπολογιστεί με την εφαρμογή τυποποιημένων πινάκων πλακών.

Από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας προκύπτει ότι ο έμμεσος υπολογισμός της ροπής τοίχου με ανοίγματα ( $M_{op}$ ) είναι εφικτός με χρήση διορθωτικών συντελεστών, εξαρτώμενων από το είδος του ανοίγματος, το ποσοστό και την θέση των ανοιγμάτων, το ύψος του υπερθύρου σε σχέση με το ύψος του τοίχου και από τον αριθμό ορόφων του κτηρίου.

Στα Παραδείγματα 1 έως 4 η απόκλιση μεταξύ της έμμεσα υπολογιζόμενης τιμής της ροπής και αυτής που προκύπτει αναλυτικά (Πίνακας 7.1) κυμαίνεται από -2.5% (υποεκτίμηση) έως +3.4% (υπερεκτίμηση).

**Πίνακας 7.1 Απόκλιση της έμμεσα υπολογιζόμενης ροπής έναντι της αναλυτικά υπολογιζόμενης**

A/A ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗ ΡΟΠΗ (kNm/m)	ΕΜΜΕΣΑ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗ ΡΟΠΗ (kNm/m)	ΑΠΟΚΛΙΣΗ %
1	22.49	22.02	-2.1
2	20.15	19.60	-2.8
3	27.68	28.63	+3.4
4	44.15	43.08	-2.5

Στις επιλύσεις των διατάξεων της παραγράφου 5.5 οι αποκλίσεις (Πίνακας 5.6) της έμμεσα υπολογιζόμενης ροπής με την χρήση του απλοποιημένου Πίνακα 5.3 κυμαίνονται από -4.5% (υποεκτίμηση) έως +5.4% (υπερεκτίμηση).

Οι αποκλίσεις αυτές μπορούν να γίνουν αποδεκτές για την χρήση των προκυπτουσών τιμών των ροπών στα πλαίσια του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού Ελέγχου Κτηρίων.

Ωστόσο θα πρέπει να γίνουν επιπλέον αναλύσεις προκειμένου να:

- διευρυνθούν τα όρια των προτεινόμενων Πινάκων 5.3 και 5.8 ως προς τις παραμέτρους (θέση ανοίγματος ( $x/l$ )) και (ποσοστό ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ))
- καλυφθούν ακραίες διατάξεις ανοιγμάτων τόσο σε μονώροφο όσο κυρίως σε δώροφο τοίχο.

Τέλος θα πρέπει να ελεγχθεί η προτεινόμενη διαδικασία με επιπρόσθετα παραδείγματα εφαρμοσιμότητας τόσο σε τυπικές όσο και σε ακραίες διατάξεις ανοιγμάτων.

## Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

1. Βέρρας, Δ., Βιντζηλαίου, Ε., & Τριανταφύλλου, Α. (2004). Αποτίμηση Σεισμικών Βλαβών, Επισκευές και Ενισχύσεις Παραδοσιακών και Μνημειακών Κτιρίων. *Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα*.
2. Δρίτσος, Σ., Ιγνατάκης, Χ., Παναγιωτοπούλου, Δ. & Σπηλιόπουλος, Α. (2018). Δευτεροβάθμιο προσεισμικός έλεγχος κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία, Αθήνα: Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού & Προστασίας. ΟΑΣΠ
3. Παπαλυμπέρη, Α. (2015). *Επιρροή δομικών χαρακτηριστικών κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία στο βαθμό της σεισμικής τους επάρκειας σύμφωνα με τον EC8 και την προσεγγιστική μέθοδο του ΟΑΣΠ* (Μεταπτυχιακή Εργασία).
4. Σαρρή, Κ. (2019). *Μελέτη της κάμψης εκτός επιπέδου των κατασκευών από τοιχοποιία* (Μεταπτυχιακή Εργασία).
5. Σταυρέλη, Δ. (2014). *Σύγκριση μεθόδων σεισμικής αποτίμησης κτηρίου από φέρουσα τοιχοποιία με EC6, EC8 & προσεγγιστική μέθοδο ΟΑΣΠ* (Μεταπτυχιακή Εργασία).
6. Τάσιος, Θ. Π. (1992). Η μηχανική της τοιχοποιίας. *ΕΜΠ Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα*.
7. Τάσιος Θ., Δρίτσος Σ., Βιντζηλαίου Ε., Ιγνατάκης Χ., Καραντώνη Τ., Κωστίκας Χ., Μιλτιάδου Α., Πανουτσοπούλου Μ., Πανταζοπούλου Σ., Στυλιανίδης Κ. & Χρονόπουλος Μ. (2022) Κανονισμός για αποτίμηση και δομητικές επεμβάσεις τοιχοποιίας. ΟΑΣΠ
8. Χατζηκωνσταντίνου, Α. (2014). *Σύγκριση μεθόδων αποτίμησης σεισμικής επάρκειας κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία* (Μεταπτυχιακή Εργασία).
9. D'Ayala, D. (1999). Correlation of seismic damage between classes of buildings: churches and houses#. *Seismic damage to masonry buildings*.
10. D'Ayala, D., & Speranza, E. (2003). Definition of collapse mechanisms and seismic vulnerability of historic masonry buildings. *Earthquake spectra*, 19(3), 479-509.
11. Derakhshan, H., Ingham, J. M., & Griffith, M. C. (2009, May). Tri-linear force-displacement models representative of out-of-plane unreinforced masonry wall behaviour. In *11th canadian masonry symposium*.
12. Doherty, K., Griffith, M. C., Lam, N., & Wilson, J. (2002). Displacement-based seismic analysis for out-of-plane bending of unreinforced masonry walls. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 31(4), 833-850.

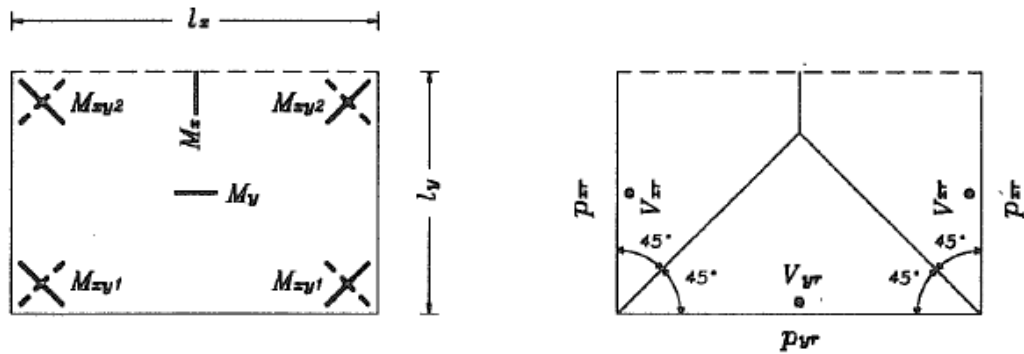
13. Eurocode 6 (2005) "Design of masonry structures-Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures", ENV 1996-1-1: 1995, Brussels
14. Eurocode 8 (2005) "Design of structures for earthquake resistance", Part 3 "Assessment and retrofitting of buildings" EN 1998-3: 1995, Brussels
15. Eurocode 8 (2003) "Design of structures for earthquake resistance", Part 1 "General rules, Seismic actions and rules for buildings", prEN 1998-1
16. Griffith, M. C., Magenes, G., Melis, G., & Picchi, L. (2003). Evaluation of out-of-plane stability of unreinforced masonry walls subjected to seismic excitation. *Journal of Earthquake Engineering*, 7(spec01), 141-169.
17. Karantoni, F. V., & Bouckovalas, G. (1997). Description and analysis of building damage due to Pyrgos, Greece earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 16(2), 141-150.
18. Pardalopoulos, S. I., Karantoni, F. V., & Pantazopoulou, S. J. (2019). Practical assessment of the seismic behavior of a confined masonry system. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 127, 105831.
19. Standard, A. (2018). AS 3700: masonry structures.
20. Tomaževič, M. (2009). Shear resistance of masonry walls and Eurocode 6: shear versus tensile strength of masonry. *Materials and structures*, 42, 889-907.

## Παράρτημα Α

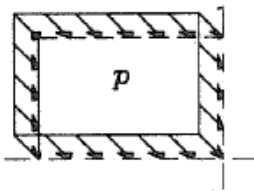
### Πίνακες Πλακών

(Από Πίνακες Απόστολος Κωνσταντινίδης, 1994 )

#### Τριέρειστες πλάκες με απλή στήριξη και στις τρεις παρυφές



#### 1. Ομοιόμορφο καθολικό φορτίο



$$M_x = \frac{pl_y^2}{m_x}, M_y = \frac{pl_x^2}{m_y}$$

$$V_{xr} = \rho_{xr} pl_y, V_{yr} = \rho_{yr} pl_x$$

$$M_{xy1} = \pm \frac{pl_y^2}{m_{xy1}}, M_{xy2} = \pm \frac{pl_x^2}{m_{xy2}}$$

$$\rho_{xr} = u_{xr} pl_y, \rho_{yr} = u_{yr} pl_x$$

$$a_m = \frac{pl_y^4}{Eh^3} a$$

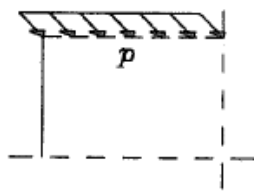
( $\rho_{ij}$  = ισοδύναμο ομοιομορφισμένο φορτίο)

$\epsilon = l_y : l_x =$	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
$m_x$	4,04	4,12	4,41	4,89	5,53	6,34	7,32	8,46	9,77	11,25	12,90	14,73	16,73	18,90
$m_y$	8,43	8,92	10,51	12,95	16,44	20,94	26,58	33,47	41,67	50,42	59,99	70,42	81,67	93,75
$m_{xy1}$	2,23	2,74	3,84	5,10	6,58	8,31	10,32	12,65	15,30	18,27	21,56	25,17	19,10	33,34
$m_{xy2}$	2,90	3,83	6,32	10,07	15,79	24,47	37,57	57,22	80,46	129,7	193,3	286,3	421,8	618,4
$100a$	550	367	187	106	64,3	40,9	27,0	18,4	12,9	9,2	6,8	5,0	3,8	2,9
$\rho_{xr}$	0,53	0,53	0,52	0,51	0,50	0,48	0,45	0,43	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31
$\rho_{yr}$	1,00	0,98	0,93	0,87	0,80	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,46	0,43	0,40	0,37
$u_{xr}$	0,50	0,50	0,50	0,50	0,49	0,46	0,43	0,40	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28
$u_{yr}$	0,75	0,70	0,60	0,50	0,42	0,36	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17



## Τριέρειστες πλάκες με απλή στήριξη και στις τρεις παρυφές (συνέχεια)

### 2. Γραμμικό ομοιόμορφο φορτίο στο ελεύθερο άκρο



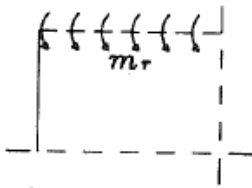
$$M_x = \frac{pl_y}{m_x}, M_y = -\frac{pl_y}{m_y}$$

$$M_{xy1} = \pm \frac{pl_y}{m_{xy1}}, M_{xy2} = \pm \frac{pl_y}{m_{xy2}}$$

$$a_m = \frac{pl_y^3}{Eh^3} a$$

$\epsilon=l_y:l_x=$	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
$m_x$	2,04	2,07	2,24	2,46	2,73	3,04	3,38	3,75	4,12	4,52	4,92	5,32	5,71	6,12
$m_y$	61,3	43,5	31,2	25,8	22,4	21,1	2,10	21,9	23,4	25,0	26,8	28,6	30,5	32,6
$m_{xy1}$	0,33	0,42	0,64	0,94	1,34	1,88	2,66	3,75	5,20	7,15	9,90	13,8	18,9	26,0
$m_{xy2}$	0,31	0,39	0,55	0,74	0,93	1,12	1,32	1,52	1,73	1,93	2,13	2,33	2,55	2,75
100a	11,0	7,1	3,8	2,2	1,4	0,9	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1

### 3. Γραμμικό φορτίο ροπής στο ελεύθερο άκρο



$$M_{x\max} = \frac{m_r}{m_{x\max}}, M_{x\min} = -\frac{m_r}{m_{x\min}}, M_y = -\frac{m_r}{m_y}$$

$$M_{xy1} = \pm \frac{m_r}{m_{xy1}}, M_{xy2} = \pm \frac{m_r}{m_{xy2}}$$

$$a_m = \frac{m_r l_y^2}{Eh^3} a$$

$\epsilon=l_y:l_x=$	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
$m_{x\max}$	2,07	2,14	2,30	2,47	2,63	2,74	2,84	2,91	2,94	2,96	2,97	2,98	2,99	3,00
$m_{x\min}$	-	-	-	-	-	-	47,5	54,0	33,1	24,5	21,1	19,4	18,9	18,9
$m_y$	2,02	2,07	2,24	2,55	3,01	3,65	4,52	5,68	7,28	9,52	12,5	16,3	22,2	32,2
$m_{xy1}$	-0,44	-0,61	-1,23	-2,80	-10,6	17,9	7,95	6,40	6,15	6,35	7,05	8,60	10,2	11,5
$m_{xy2}$	0,20	0,22	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,39	0,40	0,42
100a	11,3	7,4	4,0	2,3	1,5	1,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2