

## ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΣΤΟΧΙΑ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

### ΖΑΜΠΟΓΙΑΝΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Προπτυχιακός Φοιτητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, Σχολής Μηχανικών, Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, azampog@gmail.com

#### Περίληψη

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

Το ζητούμενο είναι ο καθορισμός μιας απλοποιημένης μεθόδου 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 ( $M$ ). 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 ( $M_{op}/M$ ) ως συνάρτηση του ποσοστού ( $A_{op}/A$ ) ανοίγματος και της θέσης ( $x/l$ ) 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 υπερθύρου.

## 1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

### 1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Σημαντικό ποσοστό των υφιστάμενων κατασκευών στη χώρα μας είναι κτήρια από Φ.Τ. 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 δράση αποτελεί την κύρια φόρτιση κατά την αποτίμησή τους. Η σεισμική αποτίμηση κατασκευών από Φ.Τ. είναι ιδιαίτερος πολύπλοκη λόγω της φύσεως της τοιχοποιίας η οποία είναι υλικό πολυφασικό, πολύμορφο και "απείθαρχο". [1]

### 1.2. ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΣ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

#### 1.2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Σκοπός του δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου είναι η ιεράρχηση της διακινδύνευσης μεταξύ κτηρίων. Η βαθμονόμηση βασίζεται στην ορθολογική σύγκριση ( $H \geq R$ ) 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  $H/R < 1$ .

#### 1.2.2. 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).

Η συνολική σεισμική επιβάρυνση υπολογίζεται από την σχέση:  $H=0.75 \cdot H_1+0.25 \cdot H_2$

### 1.2.3. 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).

Ο υπολογισμός της τιμής “R”, περιλαμβάνει για κάθε επιμέρους παράμετρο συμβατικούς συντελεστές βαρύτητας “r<sub>i</sub>”, οι οποίοι εκφράζουν την συνέργεια των παραμέτρων αντίστασης.

Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι Δείκτες Αντίστασης (R<sub>i</sub>) και οι αντίστοιχοι Συντελεστές Βαρύτητας (r<sub>i</sub>)

**Πίνακας 1: Δείκτες Αντίστασης (R<sub>i</sub>) και Συντελεστές Βαρύτητας (r<sub>i</sub>)**

ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (R <sub>i</sub> )	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ (r <sub>i</sub> )
R <sub>1</sub>	Δείκτης διατμητικής αντίστασης ισογείου	0.20
R <sub>2</sub>	Δείκτης ανοιγμάτων φερόντων τοίχων	0.05
R <sub>3</sub>	Δείκτης διαζωμάτων	0.15
R <sub>4</sub>	Δείκτης διαφραγμάτων	0.10
R <sub>5</sub>	Δείκτης ανοιγμάτων κοντά σε γωνίες	0.15
R <sub>6</sub>	Δείκτης παθολογίας φερουσών τοιχοποιιών	0.05
R <sub>7</sub>	Δείκτης σύνδεσης μεταξύ εγκάρσιων τοίχων	0.10
R <sub>8</sub>	Δείκτης καταπόνησης περιμετρικών τοίχων εκτός επιπέδου	0.10
R <sub>9</sub>	Δείκτης κανονικότητας της κάτοψης ισογείου	0.05
R <sub>10</sub>	Δείκτης κανονικότητας καθ’ ύψος	0.05

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

Σε εργασίες που συγκρίνουν τον βαθμό ανεπάρκειας ο οποίος προκύπτει από την προσεγγιστική μέθοδο ΟΑΣΠ (Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Κτηρίων από Φ.Τ.) και τον EC8 έχει διαφανεί η ανάγκη αναδιαμόρφωσης των σχέσεων υπολογισμού των δεικτών (R<sub>1</sub>), (R<sub>2</sub>), και (R<sub>5</sub>) καθώς και του προτεινόμενου πίνακα τιμών του δείκτη (R<sub>4</sub>). [2] [3] [4]

### 1.2.4. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ (λ)

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

## 1.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (ΚΑΔΕΤ)

Σύμφωνα με το Παράρτημα 5-B του ΚΑΔΕΤ Οι εγκάρσιοι τοίχοι ελέγχονται σε εκτός επιπέδου κάμψη υπό ομοιόμορφα κατανεμημένο οριζόντιο φορτίο (Σχ. 1)  $w_{Ed}$ :

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

όπου,

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

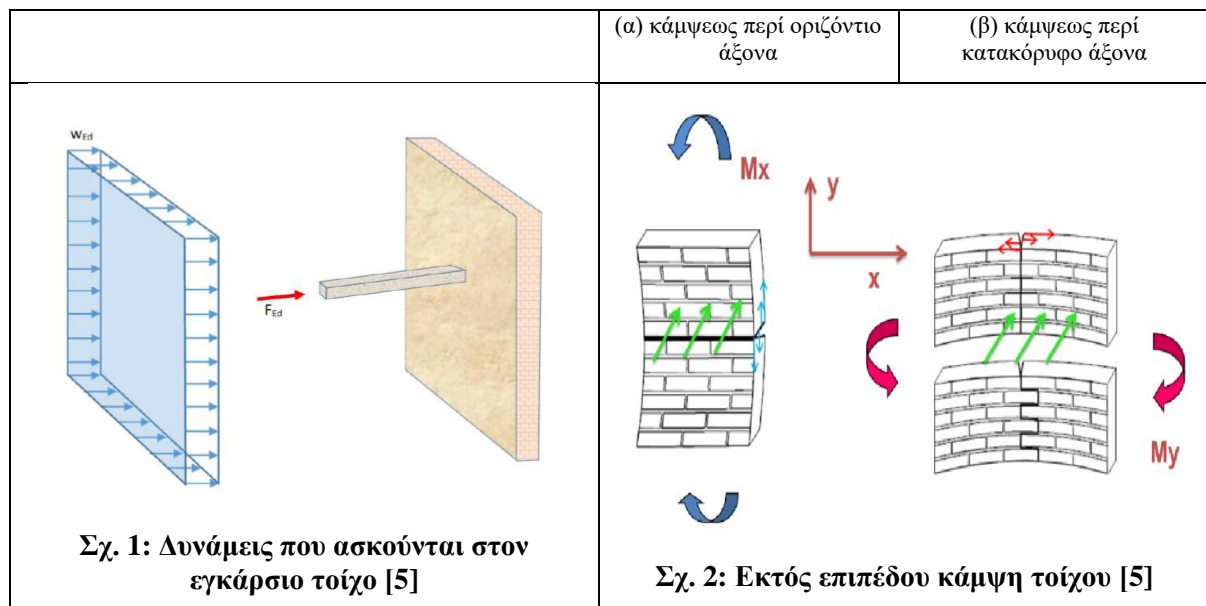
$B$ : το ίδιο βάρος ανά μονάδα επιφάνειας του τοίχου (σε  $kN/m^2$ )

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.



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

(α) Εκτός επιπέδου ροπή κάμψως περί οριζόντιο άξονα.

Η ροπή κάμψως 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 κάμψως 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 εφελκυσόμενη 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

## 2. ΤΟΙΧΟΙ ΠΡΟΣ ΕΞΕΤΑΣΗ

### 2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Για να διερευνηθεί η σχέση της δράσας 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.

### 2.2. ΜΟΝΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑ ΠΟΡΤΑ

Επιλέχθηκε τυπικός τοίχος μονώροφου κτηρίου με επικάλυψη ξύλινης στέγης (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,  $\gamma_I=1.00$ ,  $S_e(T)=0.720\text{g}$  (πλατό),  $w_{Ed}=7.20\text{kN/m}^2$

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

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης:  $1.53\text{kN/m}$

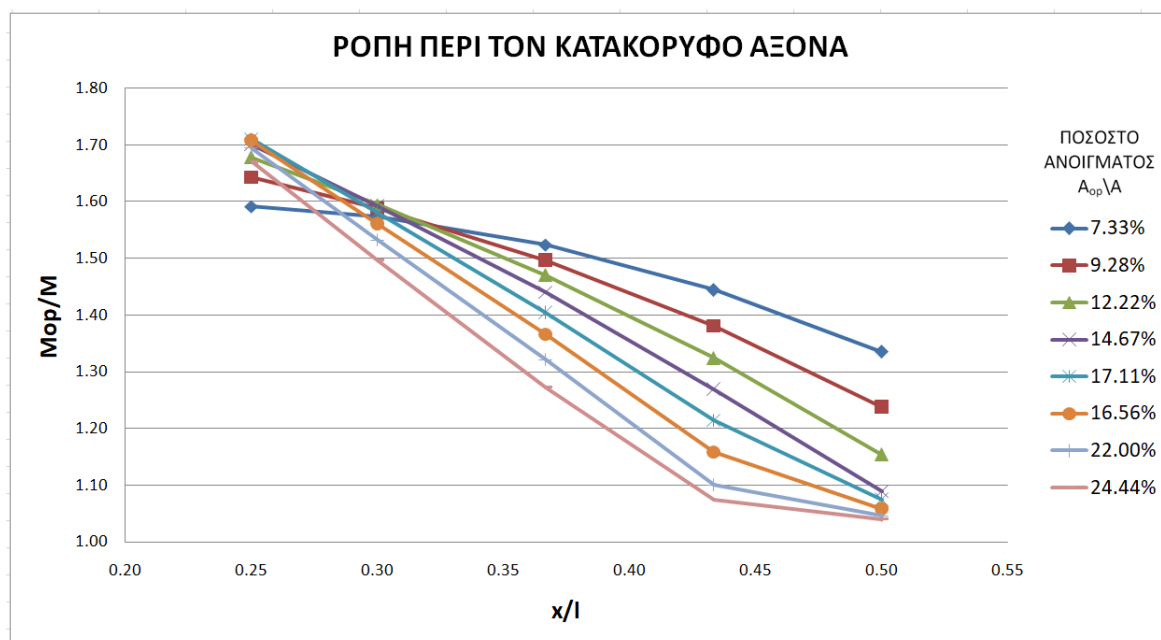
Τρόπος στήριξης τοίχου: περιμετρικά αρθρωμένος, άνω ελεύθερος

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 2 και στα Σχ. 3 και Σχ.4

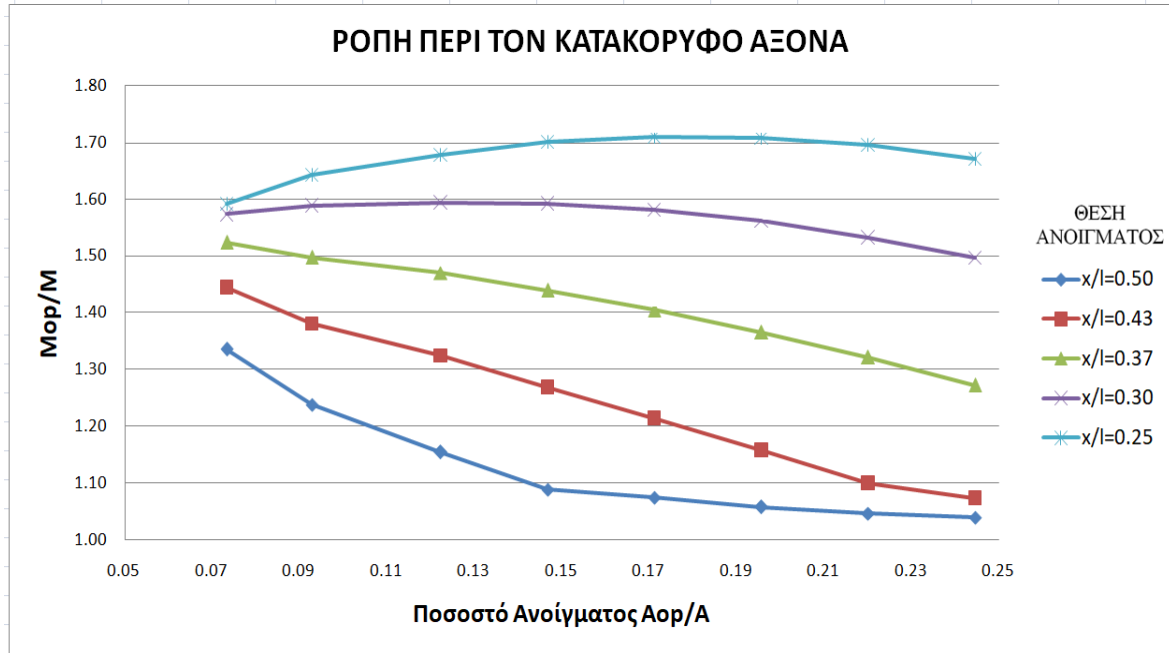
Σε ότι αφορά τον μονώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα, παρατηρούμε (σε σχέση με την ροπή ολόσωμου ( $M$ )) αύξηση της ροπής ( $M_{op}$ ) από 4% για τον τοίχο OP D 200 0 ( $A_{op}/A=24\%$  στο μέσον του τοίχου  $x/l=0.50$ ) έως 71% για τους τοίχους “OPD 140 4” ( $A_{op}/A=17\%$  στη θέση  $x/l=0.25$ ) και “OP D 160 4” ( $A_{op}/A=20\%$  στη θέση  $x/l=0.25$ )

**Πίνακας 2: Αποτελέσματα ανάλυσης για μονόροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα**

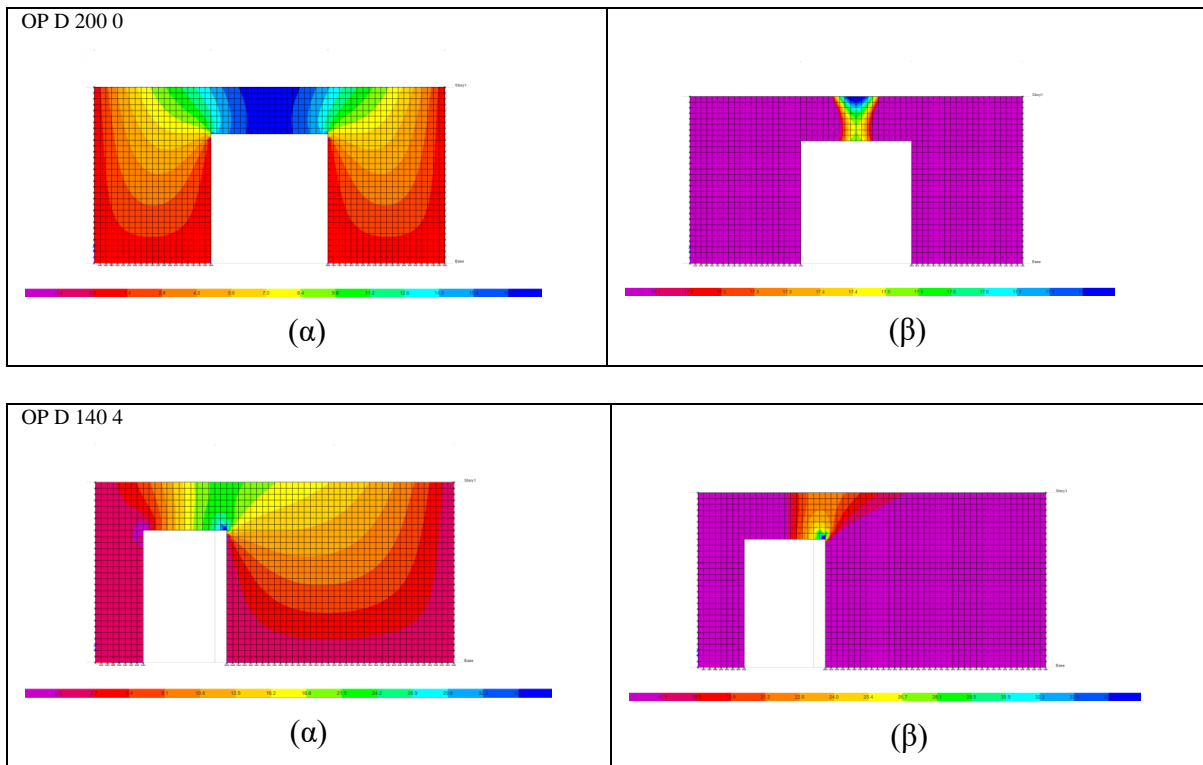
ΤΟΙΧΟΣ 10 W 6 3	$M_{op}$ kNm/m	$x/l$	$A_{op}/A$	$M_{op}/M$	ΤΟΙΧΟΣ 10 W 6 3	$M_{op}$ kNm/m	$x/l$	$A_{op}/A$	$M_{op}/M$
OP D 60 0	22.86	0.50	0.07	1.34	OP D 140 0	18.4	0.50	0.17	1.07
OP D 60 1	24.73	0.43	0.07	1.44	OP D 140 1	20.79	0.43	0.17	1.21
OP D 60 2	26.09	0.37	0.07	1.52	OP D 140 2	24.05	0.37	0.17	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. 3: Τιμές του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για μονόροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης του ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοιγματος ( $A_{op}/A$ )**



Σχ. 4: 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: Ενδεικτικές διατάξεις τοίχου με πόρτα. (α) Διάγραμμα ροπών (β) Περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου

Σε συμμετρικές διατάξεις με το άνοιγμα κεντρικό η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στο πάνω μέρος του υπερθύρου στη στέγη του τοίχου, ενώ σε 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).

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

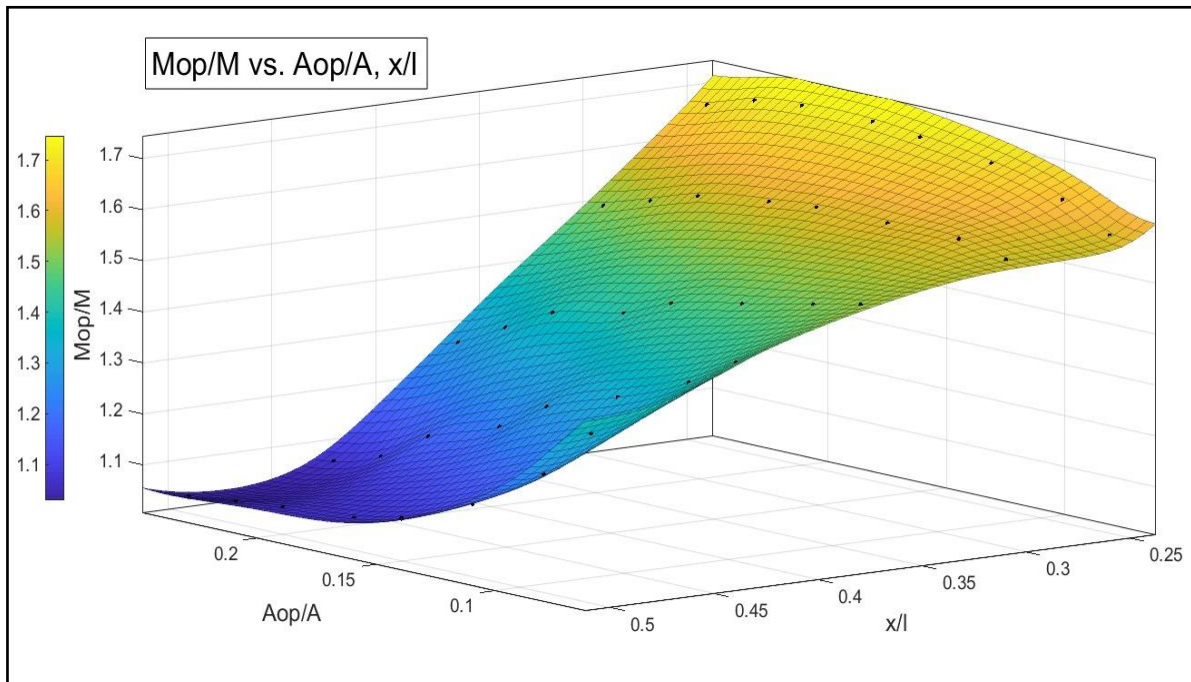
Στον Πίνακα 3 φαίνεται απλοποιημένη πινακίδα προσδιορισμού των τιμών του λόγου των ροπών ( $M_{op}/M$ ) για μονόροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ ).

**Πίνακας 3: Απλοποιημένος Πίνακας τιμών του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για μονόροφο 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 διααρμονικής παρεμβολής (Σχ. 6), με την χρήση της εφαρμογής «CURVE FITTER» της MATLAB.

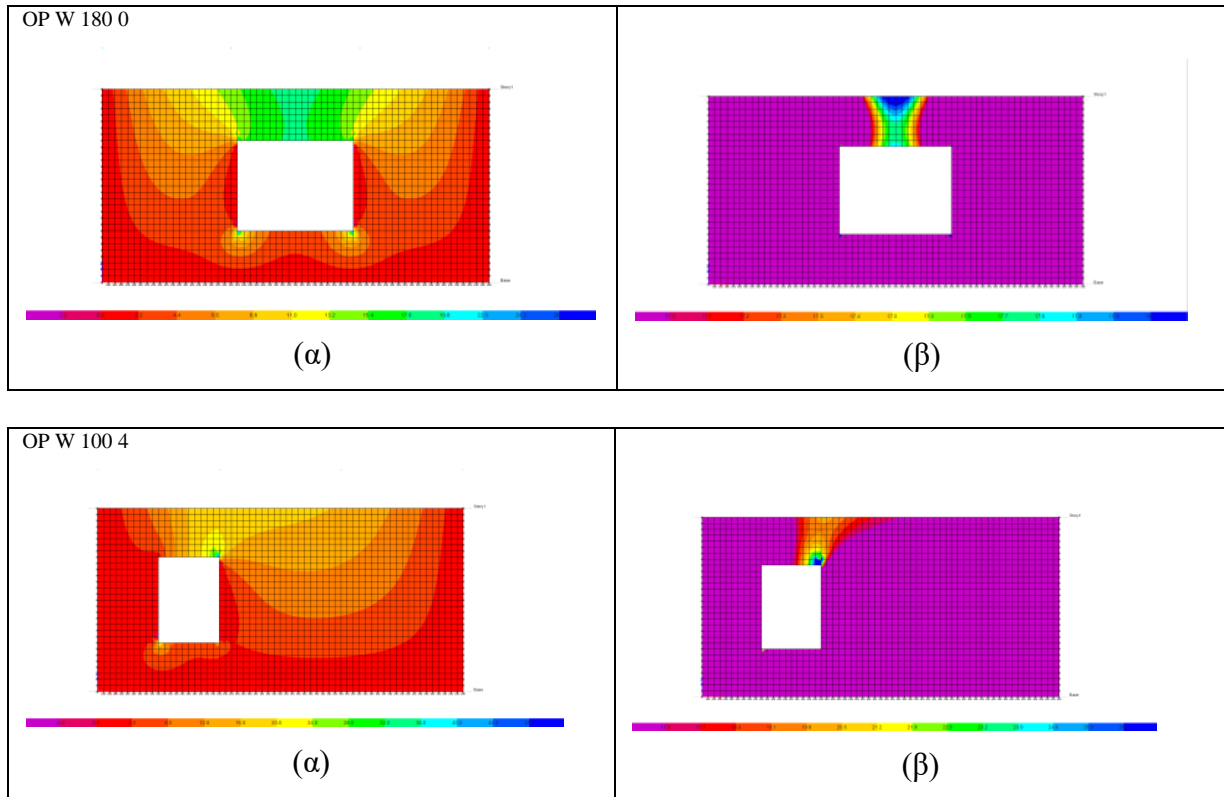
Η ορθότητα των τιμών επέκτασης είναι υπό εξέταση καθώς βρίσκονται σε εξέλιξη πρόσθετες αναλύσεις με ακραίες διατάξεις ανοιγμάτων.



**Σχ. 6: Επιφάνεια προσέγγισης της συνάρτησης  $\frac{M_{op}}{M} = f\left(\frac{A_{op}}{A}, \frac{x}{l}\right)$**

### 2.3. 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 θέσεις με  $x/l = (0.50, 0.37, 0.25)$ .



Σχ. 7: Ενδεικτικές διατάξεις τοίχου με παράθυρο. (α) διάγραμμα ροπών (β) περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου

Πίνακας 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			

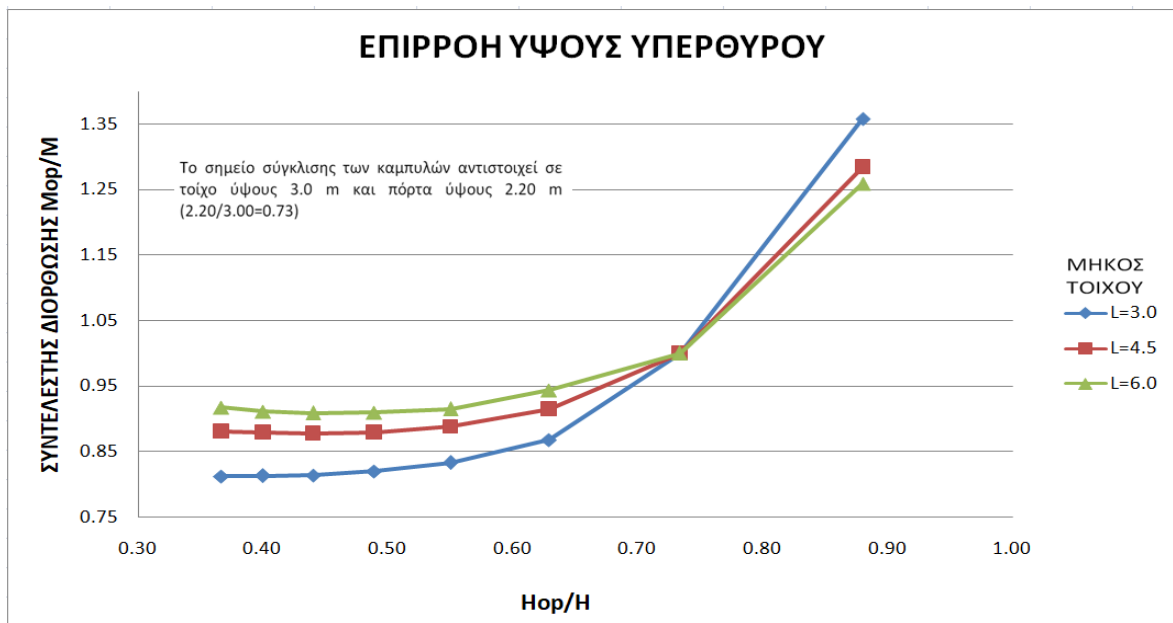


Η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στα ίδια σημεία με τις διατάξεις τοίχων με ανοίγματα σε μορφή πόρτας (Σχ. 7). Όπως και στις διατάξεις με πόρτα οι μεγαλύτερες ροπές παρατηρούνται στις έκκεντρες διατάξεις ( $x/l > 0.5$ ).

Από την σύγκριση (Πίνακας 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.

#### 2.4. 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. 8: Συντελεστής διόρθωσης ροπής συναρτήσει του λόγου ( $H_{op}/H$ ) και του μήκους του τοίχου

Σχετικά με την επιρροή του ύψους του υπέρθυρου, για λόγο  $H_{op}/H < 0.73$  έχουμε μείωση της ροπής ( $M_{op}$ ) έως 20%, 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  $H_{op}/H = 0.73$  (Πίνακας 5 και Σχ. 8).

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: 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

### 2.5. ΤΟΙΧΟΙ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΜΗΚΗ

Προκειμένου να διαπιστωθεί η δυνατότητα εφαρμογής του απλοποιημένου Πίνακα 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  $x/l = (0.50, 0.36, 0.25)$ .

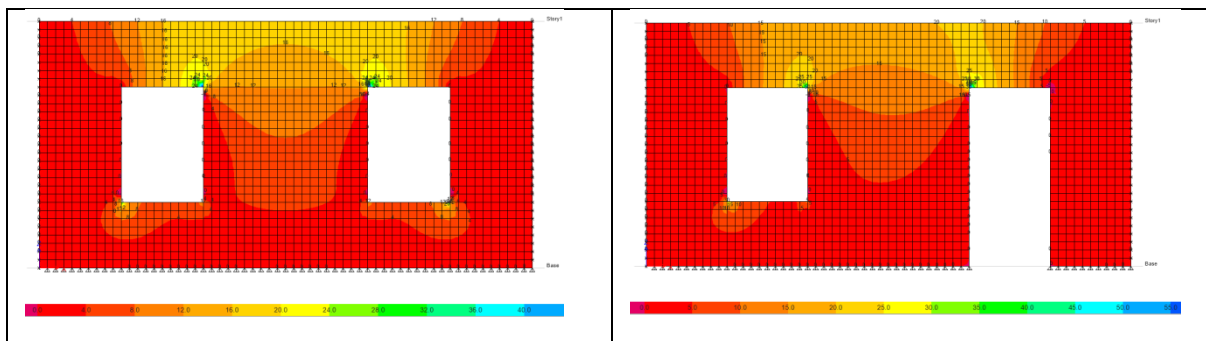
Ο υπολογιζόμενος λόγος  $M_{op}/M$  με την εφαρμογή του Πίνακα 3 αποκλίνει του αναλυτικού υπολογισμού κατά  $\pm 5\%$  (Πίνακας 6)

**Πίνακας 6: Αποκλίσεις λόγου ( $M_{op}/M$ )**

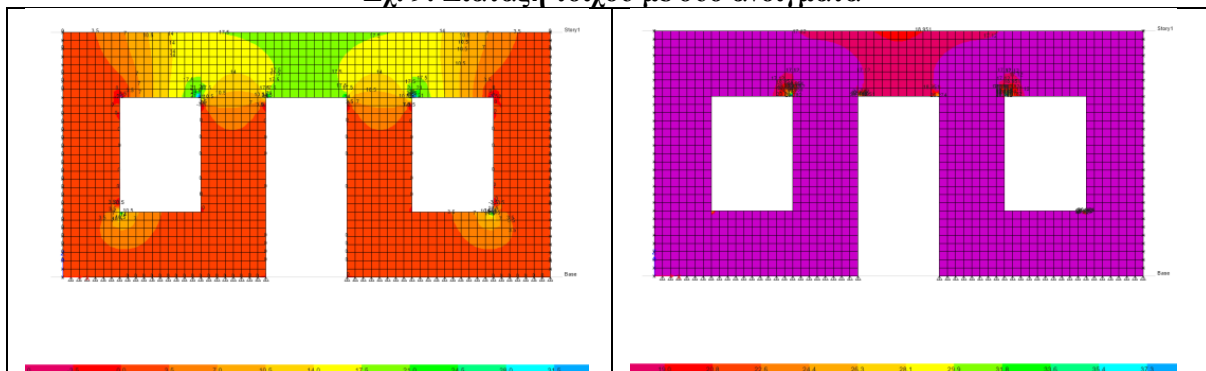
10 W4 3					10 W5 3				
	$M_{op}$ kNm/m	ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ $M_{op}/M$	ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΑ 3 $M_{op}/M$	ΑΠΟΚΛΙΣΗ (%)		$M_{op}$ kNm/m	ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ $M_{op}/M$	ΑΠΟ ΠΙΝΑΚΑ 3 $M_{op}/M$	ΑΠΟΚΛΙΣΗ (%)
ΟΛΟΣΩΜΟ	11.92				ΟΛΟΣΩΜΟ	14.88			
D 100 0	13.33	1.12	1.07	-4.32	D 100 0	16.98	1.14	1.09	-4.48
D 100 2	17.27	1.45	1.42	-1.99	D 100 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

### 2.6. ΜΟΝΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΔΥΟ Ή ΤΡΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

Εξετάστηκαν ενδεικτικές περιπτώσεις τοίχων με δυο ανοίγματα (δυο παράθυρα ή πόρτα παράθυρο) καθώς και τοίχου με τρία ανοίγματα (παράθυρο πόρτα παράθυρο) (Σχ. 9, Σχ. 10).



**Σχ. 9: Διάταξη τοίχου με δυο ανοίγματα**



**Σχ. 10: Διάταξη τοίχου με τρία ανοίγματα**

Σε τοίχο με δυο παράθυρα 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 3 και του μειωτικού συντελεστή 0.92 για διατάξεις με παράθυρο (§2.3). Η μέγιστη ροπή εμφανίζεται σε δύο σημεία, στο κάτω μέρος των υπερθύρων στην γωνία των παραθύρων προς την πλευρά του κεντρικού πεσσού.

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 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.

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 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.

## 2.7. 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 :  $10.64\text{ m}^2$ , φορτίο στέγη:  $1.2\text{kN/m}^2$

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης:  $1.53\text{kN/m}$

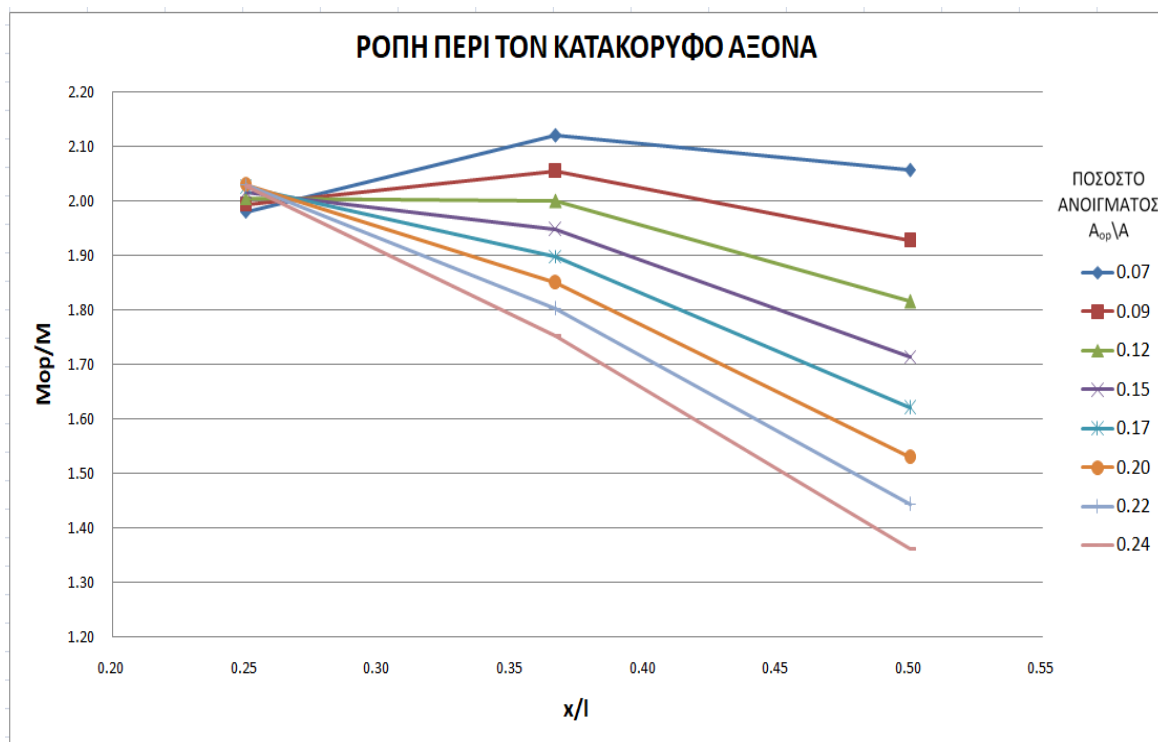
Οριζόντιο φορτίο λόγω δαπέδου ορόφου:  $3.32\text{kN/m}$

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  $x/l=(0.50, 0.37, 0.25)$ .

**Πίνακας7: 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								



Σχ. 11: Τιμές του λόγου ( $M_{op}/M$ ) για διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα συναρτήσει της θέσης ( $x/l$ ) και του ποσοστού ανοίγματος ( $A_{op}/A$ )

Στον Πίνακα 7 και στο Σχ. 11 φαίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

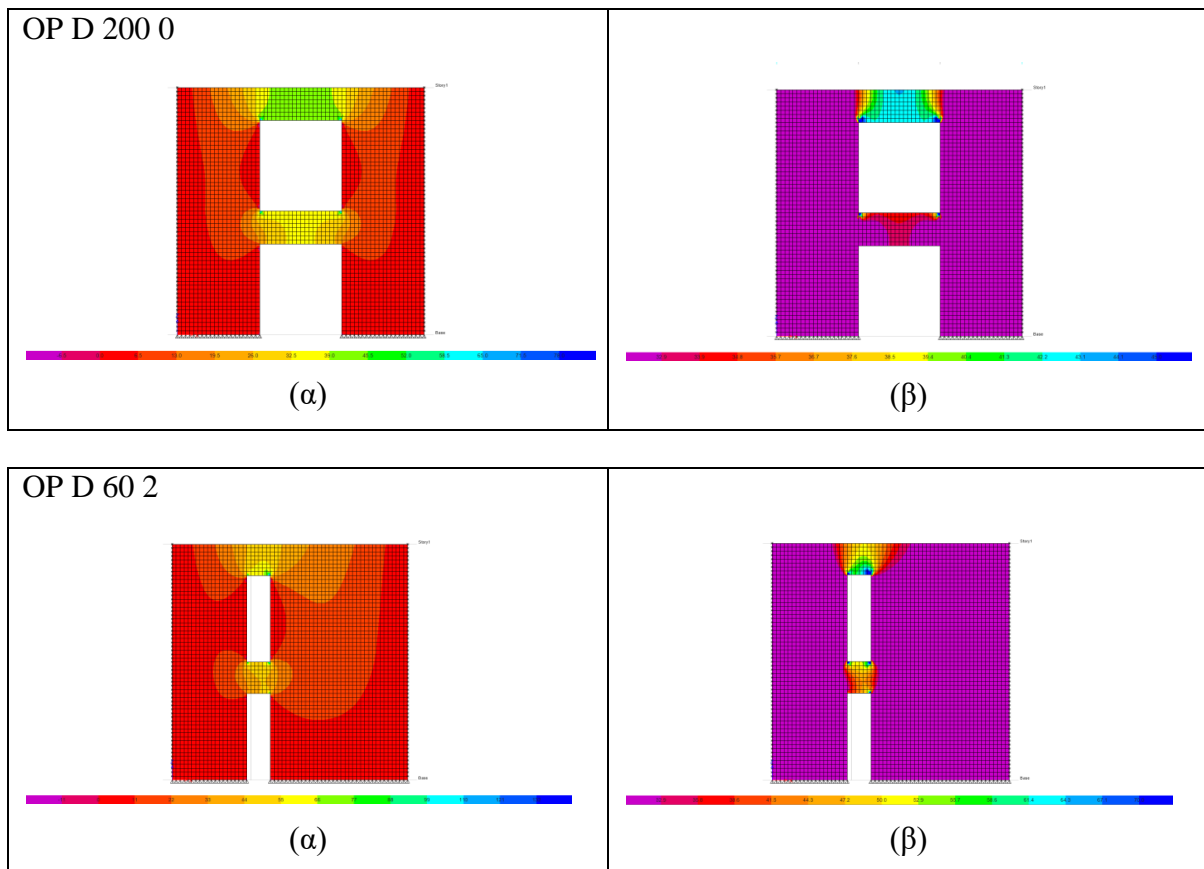
Σε διώροφο τοίχο με άνοιγμα πόρτα διακρίνουμε (σε σχέση με την ροπή ολόσωμου ( $M$ )) αύξηση της ροπής ( $M_{op}$ ) από 36% για τον τοίχο OP D 200 0 ( $A_{op}/A=24\%$  στο μέσον του τοίχου  $x/l=0.50$ ) έως 113% για τον τοίχο OP D 60 2 ( $A_{op}/A=7\%$  στη θέση  $x/l=0.40$ ).

Σε συμμετρικές διατάξεις με το άνοιγμα κεντρικό η μέγιστη ροπή εμφανίζεται στο κάτω μέρος του υπερθύρου στις δυο γωνίες του ανοίγματος, ενώ σε 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. 12).

Στον Πίνακα 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 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. 12: Ενδεικτικές διατάξεις δώροφου τοίχου. (α) διάγραμμα ροπών (β) περιοχή υπέρβασης της ροπής του ολόσωμου τοίχου

## 2.8. ΔΙΩΡΟΦΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΠΑΡΑΘΥΡΟ

Έγιναν κάποιες ενδεικτικές αναλύσεις για δώροφο τοίχο με ένα παράθυρο ανά όροφο. Από την σύγκριση (Πίνακας 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%.

Πίνακας 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			

### 3. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

#### 3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η προτεινόμενη απλοποιημένη διαδικασία υπολογισμού της δρώσας ροπής περί κατακόρυφο άξονα τοίχου με ανοίγματα υπό σεισμικό φορτίο βασίζεται στα αναφερόμενα στις παραγράφους 2.2 έως 2.7.

Για τοίχο με περισσότερα από ένα ανοίγματα γίνεται εφαρμογή των διαπιστώσεων της παραγράφου 2.6 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 3 για μονόροφο τοίχο και τον Πίνακα 8 για διάροφο 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).

Ενδιάμεσες τιμές από τους Πίνακες 3, 5 και 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 τριέριστες πλάκες με απλή στήριξη στις τρεις πλευρές.[6]

Ακολουθούν παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου.

#### 3.2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

ΤΟΙΧΟΣ 10 W 50 4\_8 3\_5 OP D 140 29

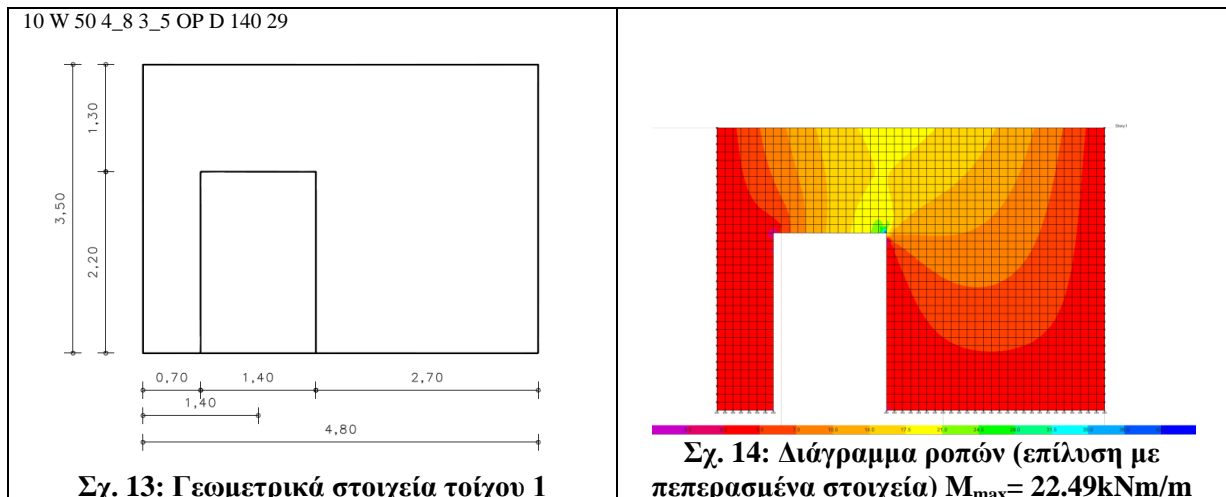
Μήκος τοίχου: 4.80m, Ύψος τοίχου: 3.50m, πάχος τοίχου: 0.50m

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

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

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης: 1.60kN/m

Τρόπος στήριξης τοίχου: περιμετρικά αρθρωμένος, άνω ελεύθερος



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:  $m_x = 3.14$

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

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

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

Από Πίνακα 3 για ( $\frac{A_{op}}{A} = 0.18, \frac{x}{l} = 0.29$ ) έχουμε  $\frac{M_{op}}{M} = 1.56$

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

Από Πίνακα 5 για  $\frac{H_{op}}{H} = 0.63$  συντελεστής διόρθωσης = 0.92

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

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

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

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

### 3.3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

ΤΟΙΧΟΣ 10 W 50 4\_8 3\_5 OP W 140 29

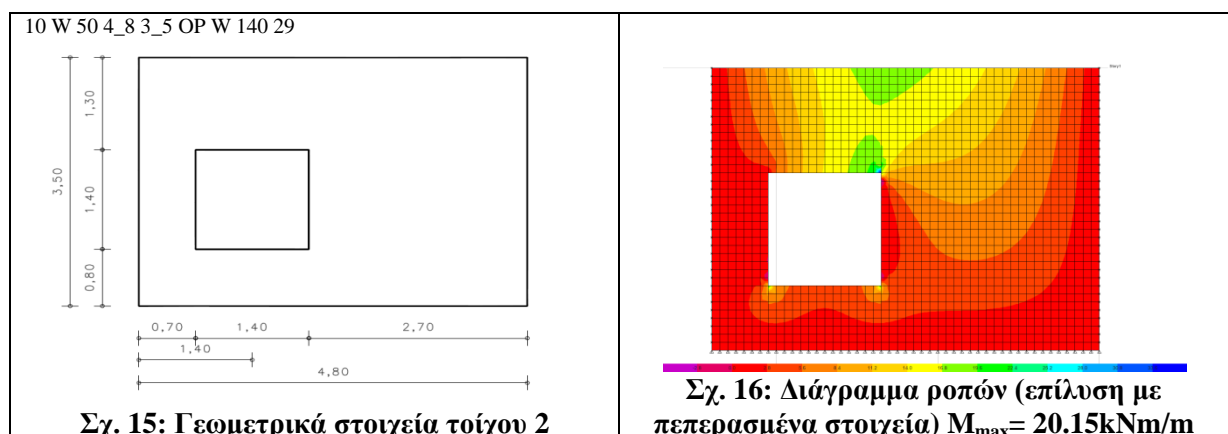
Μήκος τοίχου: 4.80m, Ύψος τοίχου: 3.50m, πάχος τοίχου: 0.50m

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

Ζώνη II, Έδαφος B,  $\gamma_1 = 1.00$ ,  $S_e(T) = 0.720 \text{ g}$  (πλατό),  $w_{Ed} = 7.20 \text{ kN/m}^2$

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης: 1.60kN/m

Τρόπος στήριξης τοίχου: περιμετρικά αρθρωμένος, άνω ελεύθερος



Ροπή ολόσωμου τοίχου

Όπως Παράδειγμα 1

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

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

Από Πίνακα 3 για ( $\frac{A_{op}}{A} = 0.12, \frac{x}{l} = 0.29$ ) έχουμε  $\frac{M_{op}}{M} = 1.60$

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

Από Πίνακα 5 για  $\frac{H_{op}}{H} = 0.40$  συντελεστής διόρθωσης = 0.88

Συντελεστής λόγω παραθύρου = 0.92

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

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

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

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

### 3.4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

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

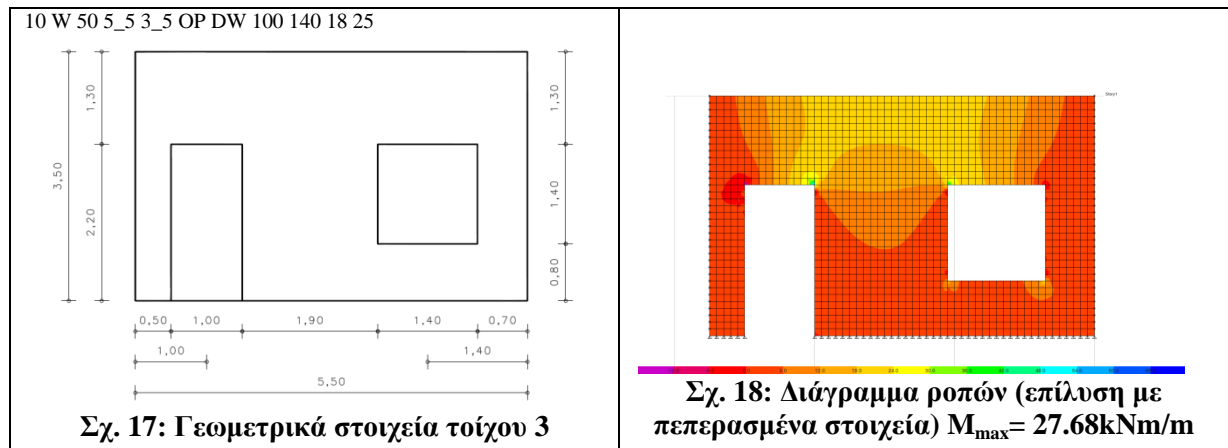
Μήκος τοίχου: 5.50m, Ύψος τοίχου: 3.50m, πάχος τοίχου: 0.50m

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

Ζώνη II, Έδαφος B,  $\gamma_1 = 1.00$ ,  $S_e(T) = 0.720 \text{ g}$  (πλατό),  $w_{Ed} = 7.20 \text{ kN/m}^2$

Οριζόντιο φορτίο λόγω στέγης: 1.60kN/m

Τρόπος στήριξης τοίχου: περιμετρικά αρθρωμένος, άνω ελεύθερος



Ροπή ολόσωμου τοίχου

Ομοιόμορφο φορτίο

Από σχετικούς πίνακες πλακών:  $m_x = 5.85$

$$M_1 = \frac{p \cdot l_y^2}{m_x} = \frac{7.20 \cdot 3.50^2}{5.86} = 15.08 \text{ kNm/m}$$

Γραμμικό φορτίο

Από σχετικούς πίνακες πλακών:  $m_x = 2.85$

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

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

Καθοριστική η διάταξη της πόρτας

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

Από Πίνακα 3 για ( $\frac{A_{op}}{A} = 0.11, \frac{x}{l} = 0.18$ ) έχουμε  $\frac{M_{op}}{M} = 1.79$  (για  $\frac{x}{l} = 0.20$  λόγω ορίου πίνακα)



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

Από Πίνακα 5 για  $\frac{H_{op}}{H} = 0.63$  συντελεστής διόρθωσης = 0.94

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

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

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

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

### 3.5. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

ΤΟΙΧΟΣ 10 W 50 5\_5 6 OP W 140 27

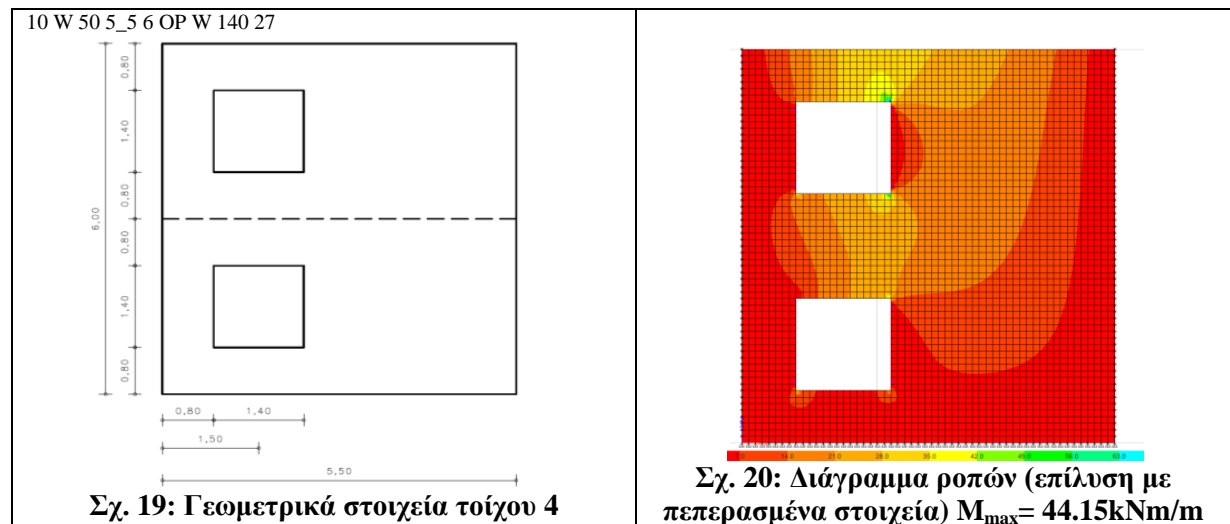
Μήκος τοίχου: 5.50m, Ύψος τοίχου: 6.00m, πάχος τοίχου: 0.50m

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. 19: Γεωμετρικά στοιχεία τοίχου 4

Σχ. 20: 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:  $m_x = 4.48$

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

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

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

Από Πίνακα 8 για  $(\frac{A_{op}}{A} = 0.12, \frac{x}{l} = 0.27)$  έχουμε  $\frac{M_{op}}{M} = 2.01$

Συντελεστής λόγω παραθύρου = 0.84

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

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

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

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

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια του Δευτεροβάθμιου Προσεισμικού Ελέγχου κτηρίων από Φ.Τ. 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.[6]

Από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας προκύπτει ότι ο έμμεσος υπολογισμός της ροπής τοίχου με ανοίγματα ( $M_{op}$ ) είναι εφικτός.

Η απόκλιση μεταξύ της έμμεσα υπολογιζόμενης τιμής της ροπής και αυτής που προκύπτει αναλυτικά (Παράδειγμα 1,2,3,4 και διατάξεις της παραγράφου 2.5) είναι έως  $\pm 5\%$ .

Ωστόσο θα πρέπει να γίνουν επιπλέον αναλύσεις προκειμένου να:

- διευρυνθούν τα όρια των προτεινόμενων Πινάκων 3 και 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 διώροφο τοίχο.

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

#### 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ο.Α.Σ.Π. (Σ. Δρίτσος, Ιγνατάκης Χ., Παναγιωτοπούλου Δ., Σηηλιόπουλος Α.) Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Κτιρίων από Φέρουσα Τοιχοποιία, Νοέμβριος 2018
- [2] Παπαλυμπέρη Κ. Αργυρή, “Επιρροή δομικών χαρακτηριστικών κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία στο βαθμό της σεισμικής τους επάρκειας σύμφωνα με τον EC8 και την προσεγγιστική μέθοδο του ΟΑΣΠ”, Διατριβή μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης, Πάτρα Μάρτιος 2015.
- [3] Σταυρέλη Ν. Δήμητρα, “Σύγκριση μεθόδων σεισμικής αποτίμησης κτηρίου από φέρουσα τοιχοποιία με EC6, EC8 & Προσεγγιστική μέθοδο ΟΑΣΠ”, Διατριβή διπλώματος ειδίκευσης, Πάτρα, Φεβρουάριος 2014.
- [4] Χατζηκωνσταντίνου Αλεξάνδρα, “Σύγκριση μεθόδων αποτίμησης σεισμικής επάρκειας κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία”, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πάτρα Φεβρουάριος 2014.
- [5] Κανονισμός για την Αποτίμηση Δομητικών Επεμβάσεων σε κτίρια από Τοιχοποιία (Κ.Α.Δ.Ε.Τ.), Σεπτέμβριος 2022.
- [6] Beton Kalender 1983, Τόμος 1, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα 1985

#### 6. ΕΠΙΒΛΕΨΗ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας για την ολοκλήρωση του προγράμματος προπτυχιακών σπουδών στο τμήμα Πολιτικών Μηχανών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής υπό την επίβλεψη του Αναπ. Καθηγητή κ. Ρεπαπή Κωνσταντίνου.

Ευχαριστίες απευθύνονται στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Ρεπαπή Κωνσταντίνο καθώς και στον Ομοτ. Καθηγητή κ. Δρίτσο Στέφανο για την πολύτιμη καθοδήγησή τους.