

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΥ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

**ΚΑΣΙΟΥΜΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ  
ΦΡΕΜΕΝΤΙΤΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ**

### **Περίληψη**

*Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την αναλυτική παρουσίαση εφαρμογών του Δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία καθώς και την εξαγωγή σχετικών συμπερασμάτων. Σκοπός του ελέγχου είναι η εκ νέου ιεραρχική βαθμονόμηση των κτιρίων αυτών με βάση την αποτύπωση και αξιολόγηση τεχνικών χαρακτηριστικών αλλά και την συνεκτίμηση κοινωνικών κριτηρίων. Στην εργασία αυτή περιλαμβάνεται η διαδικασία του ελέγχου, η παρουσίαση παραμετρικών εφαρμογών και τέλος η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.*

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ**

Η φέρουσα τοιχοποιία αποτέλεσε κυρίαρχο τρόπο δόμησης στην Ελλάδα αλλά και παγκοσμίως. Η κυριότερη αιτία βλαβών των κατασκευών από τοιχοποιία στην χώρα μας είναι η τρωτότητα τους υπό την επίδραση σεισμικών δυνάμεων. Γι αυτό τον λόγο είναι αναγκαία η ιεραρχική αποτίμηση των κτιρίων αυτών η οποία γίνεται σε τρεις διαδοχικές φάσεις. Αυτές είναι ο ταχύς οπτικός ή Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος, ο Δευτεροβάθμιος με τον οποίο θα ασχοληθούμε στα πλαίσια αυτής της εργασίας καθώς και ο Τριτοβάθμιος με τον οποίο γίνεται η σύνταξη μελετών αποτίμησης και ανασχεδιασμού κτιρίων.

Ο Δευτεροβάθμιος έλεγχος υπεισέρχεται σε περισσότερες λεπτομέρειες από τον Πρωτοβάθμιο και προϋποθέτει πρόσβαση στους χώρους του κτιρίου, σύνταξη σκαριφημάτων αποτύπωσης γεωμετρίας και παθολογίας, οπτική αξιολόγηση, ορισμένους επί τόπου ελέγχους δομικών υλικών καθώς και στοιχειώδεις υπολογισμούς για την ποσοτική αποτίμηση χαρακτηριστικών δεικτών χωρίς προσομοίωση του φέροντα οργανισμού.

Η διμελής ομάδα διενέργειας του ελέγχου συλλέγει πληροφορίες σχετικά με την ταυτότητα του κτιρίου που συνήθως περιλαμβάνονται στο δελτίο πρωτοβάθμιου ελέγχου. Στη συνέχεια εκτιμάται η σεισμική επιβάρυνση του κτιρίου με την γνώση της ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας (ΖΣΕ), την κατηγορία εδάφους, τα πιθανά αίτια τοπικής μεγέθυνσης σεισμικής δράσης και τον κίνδυνο κρούσης με γειτονικά κτίρια. Ακόμη ο έλεγχος προϋποθέτει την συγκέντρωση στοιχείων σχετικά με την σεισμική αντίσταση του κτιρίου και αναλυτικότερα την γνώση της γεωμετρίας και παθολογίας του φέροντος οργανισμού, τον τύπο της τοιχοποιίας και την συγκρότηση του φέροντος οργανισμού στο χώρο (διαζώματα, οριζόντιος φέρον οργανισμός, δομητική εμπλοκή σε διασταυρώσεις τοίχων). Τέλος απαιτείται η εκτίμηση κάποιων χαρακτηριστικών του κτιρίου όπως είναι η οικονομική αξία, η διοικητική ή κοινωνική σημασία, η μνημειακή αξία καθώς και το πλήθος των χρηστών.

Η συλλογή των παραπάνω πληροφοριών από τη διμελή ομάδα μηχανικών έχει ως στόχο την συμπλήρωση του δελτίου δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης του κτιρίου. Βασικοί δείκτες που συμμετέχουν στον υπολογισμό του δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης του κτιρίου "I" είναι ο δείκτης σεισμικής επιβάρυνσης "H", ο δείκτης σεισμικής αντίστασης "R" και ο δείκτης σπουδαιότητας "V". Η σεισμική επιβάρυνση του κτιρίου αποτιμάται με συνεκτίμηση της ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας, της τοπικής γεωμορφολογίας της κατηγορίας εδάφους αλλά και της πιθανότητας κρούσης με γειτονικά κτίρια. Για τον υπολογισμό του δείκτη σεισμικής αντίστασης του κτιρίου γίνεται χρήση διαφόρων παραμέτρων αντίστασης που κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες. Στην πρώτη ανήκουν οι παράμετροι που σχετίζονται με την αντοχή των τοίχων (υλικό, πάχος,

ποσοστά ανοιγμάτων, διαθέσιμα διαζώματα, υφιστάμενες τυχόν βλάβες) και στην δεύτερη κατηγορία οι παράμετροι που συμβάλλουν στην συνεργασία του συνόλου, δηλαδή η σύνδεση και οι αποστάσεις εγκάρσιων τοίχων, τα διαθέσιμα διαφράγματα και η αποτίμηση το κτιρίου σε κάτοψη και καθ' ύψος.

Η βαθμονόμηση του κτιρίου βασίζεται στην ορθολογική σύγκριση ανάμεσα στους δείκτες "H", "R" σύμφωνα με τη βασική ανίσωση ασφάλειας  $H > R$  ή  $H/R - 1 > 0$ . Βασική ποσότητα αποτίμησης του κτιρίου θεωρείται το "μέγεθος ανεπάρκειας"  $H/R - 1$  το οποίο βέβαια στα περισσότερα υφιστάμενα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία αναμένεται να έχει θετικές τιμές λόγω της υψηλής τρωτότητας τους.

Η αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης του κτιρίου προκύπτει από την έκφραση  $I = V(H/R - 1)$ . Θα ήταν χρήσιμο να σημειωθεί ότι ο δείκτης "I" δεν έχει απόλυτα αντικειμενική σημασία, δίνει όμως τη δυνατότητα ιεραρχικής βαθμονόμησης των κτιρίων για τον καθορισμό προτεραιότητας από μέρους της Πολιτείας για τη διενέργεια της τρίτης φάσης ελέγχου.

Τελικά στόχος της εργασίας είναι η εύρεση των δεικτών που επηρεάζουν περισσότερο τον δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης (I) του κτιρίου, έτσι ώστε η διμελής ομάδα διενέργειας του ελέγχου να εξάγει πιο εύκολα και γρήγορα τα αποτελέσματά της. Για να επιτευχθεί αυτό αρχικά σε ένα υφιστάμενο κτίριο πραγματοποιήθηκε ο δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος και στην συνέχεια έγιναν αλλαγές των παραμέτρων του ελέγχου που θα παρουσιαστούν στις παρακάτω εφαρμογές, με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

## 2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Παρακάτω παρουσιάζεται η αναλυτική εφαρμογή του δευτεροβάθμιου προσεισμικού ελέγχου σε ένα υφιστάμενο κτίριο.

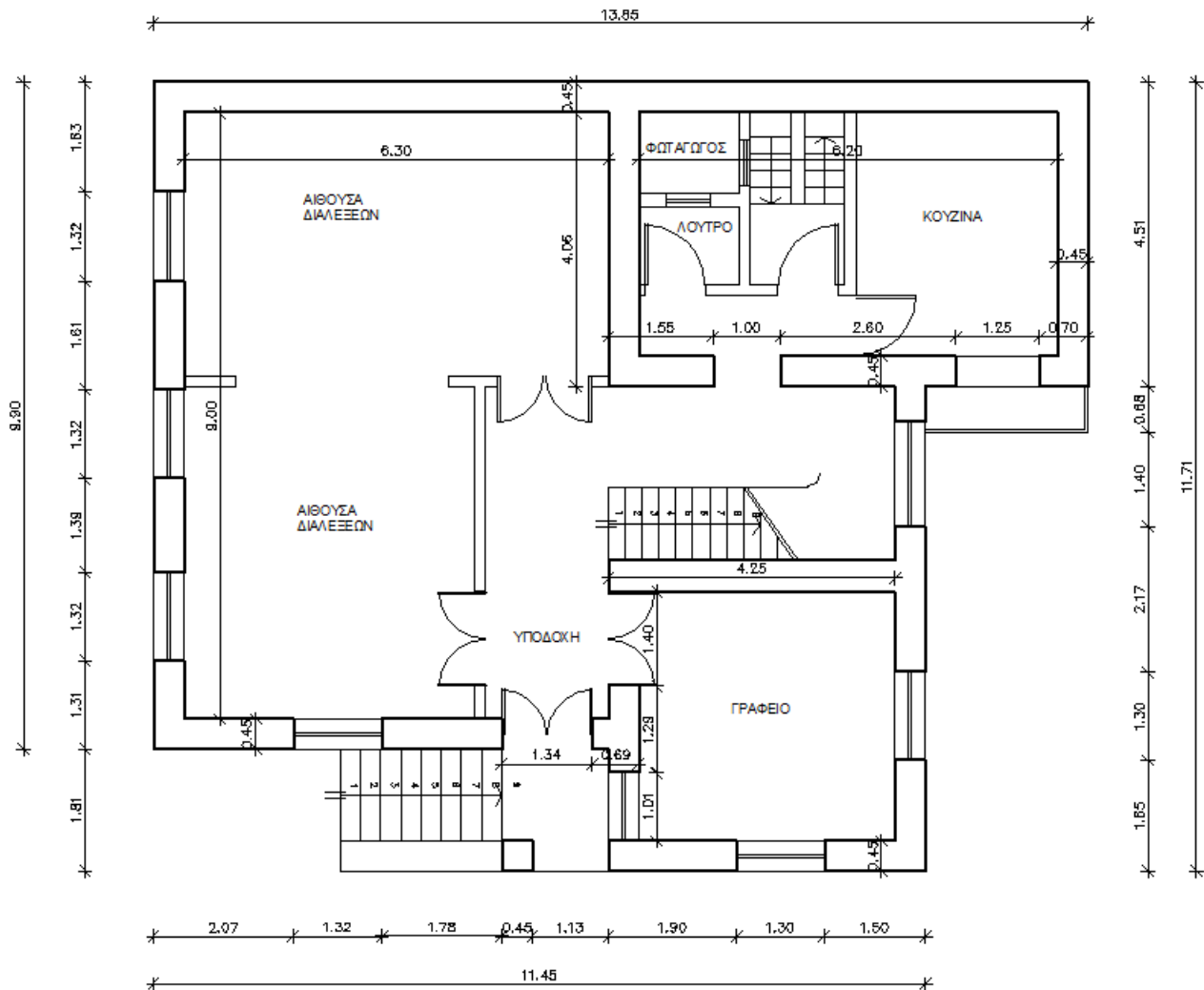
Πρόκειται για ένα διώροφο κτίριο το οποίο βρίσκεται στον Νομό Αχαΐας, επί της οδού Υψηλών Αλωνίων 11 στην Πάτρα εξωτερικών διαστάσεων  $11,71 \times 13,85$  m. Το κτίριο με βάση τα δομικά και αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του ανήκει στην περίοδο του νεοκλασικισμού (1880-1920). Ο φέρων οργανισμός του ισογείου και του ορόφου αποτελείται από πλινθοδομή πλήρων πλίνθων πάχους 45 cm. Το κτίριο δεν έχει στέγη αλλά ταράτσα η οποία έχει σχηματιστεί από δύσκαμπτα πατώματα από σιδηροδοκούς και συμπαγή τούβλα. Το δάπεδο του ισογείου και του ορόφου του κτιρίου είναι ξύλινο με δοκάρια είτε από ξύλο είτε από δομικό χάλυβα. Το κτίριο έχει επισκευαστεί το 1994 καθώς και το 2010, έτσι δεν έχουν παρατηρηθεί σοβαρές βλάβες. Η επέμβαση που έγινε στο κτίριο είναι η ενίσχυση ορισμένων φερόντων τοίχων με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.

Στην αρχική εφαρμογή έχει θεωρηθεί ότι το κτίριο δεν έχει επισκευαστεί, ότι δεν υπάρχει έντονη αποσάθρωση στο κονίαμα (ασβεστοκονίαμα), και ότι στις λιθοδομές τα επιχρίσματα είναι καλής ποιότητας δηλαδή δεν έχουν αποκολληθεί από την λιθοδομή. Ακόμη έχει θεωρηθεί ξύλινο πάτωμα με μονό σανίδωμα, πατόξυλα ή σιδηροδοκοί απ' ευθείας επί του τοίχου και απουσία διαζώματος και διαφράγματος.

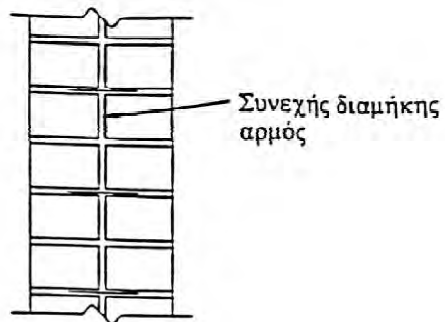
Οι κατόψεις του κτιρίου, ο τύπος της λιθοδομής, το σκαρίφημα του κτιριακού συγκροτήματος καθώς και η πρώτη αναλυτική εφαρμογή παρουσιάζονται παρακάτω.

Να σημειωθεί ότι σε όλες τις εφαρμογές έχει γίνει χρήση των πινάκων του ΟΑΣΠ.

## ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

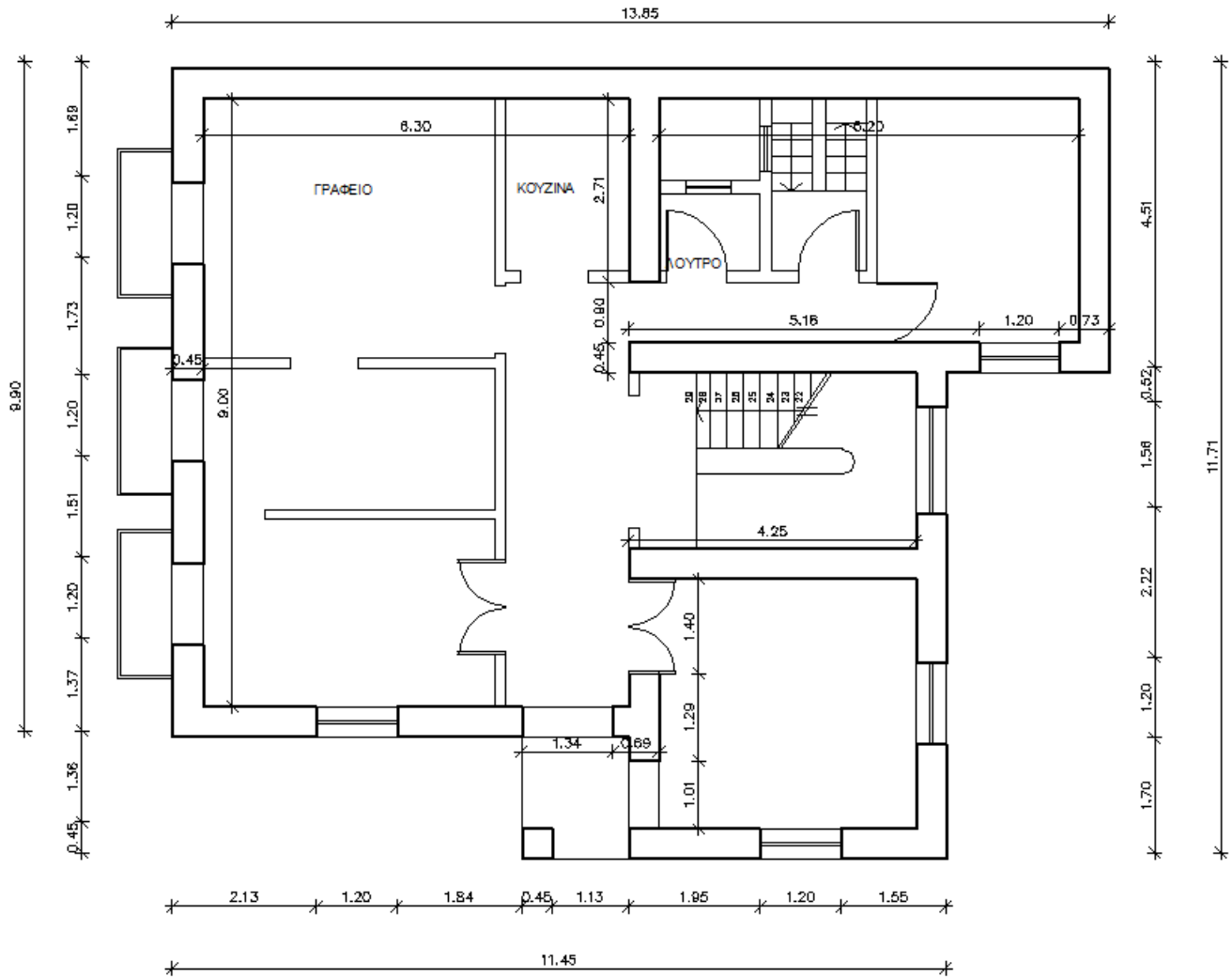


Σχήμα 1. Κάτοψη ισογείου



Σχήμα 2. Τύπος Λιθοδομής

### ΚΑΤΟΨΗ ΟΡΟΦΟΥ



Σχήμα 3. Κάτοψη ορόφου



Σχήμα 4. Σκαρίφημα κτιριακού συγκροτήματος

**Εύρεση σεισμικής επιβάρυνσης κτιρίου (Hazard: H)**• Δείκτης σεισμικής δράσης ( $H_1$ )

Η σεισμική δράση επηρεάζεται κυρίως από τη σεισμικότητα της περιοχής και το έδαφος θεμελίωσης. Η σεισμικότητα αποδίδεται μέσω του συντελεστή ( $a$ ) που παραπέμπει στην εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού κάθε ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας (ΖΣΕ). Η κατηγορία εδάφους υπεισέρχεται μέσω του συντελεστή ( $s$ ) σύμφωνα με τον EC8. Με βάση τα παραπάνω ο δείκτης  $H_1$  ποσοτικοποιείται ως το γινόμενο  $H_1 = a \cdot s$  (ΟΑΣΠ §3.1).

Το κτίριο βρίσκεται στην περιοχή Υψηλών Αλωνίων νομού Αχαΐας → άρα ΖΣΕ II, και έδαφος κατηγορίας C επομένως προκύπτει από τον Πίνακα 1:  $H_1 = 2.4$

• Δείκτης επιρροής γειτονικών κτιρίων ( $H_2$ )

Ο δείκτης εκφράζει την επιβάρυνση του κτιρίου εξ αιτίας της κρούσης με όμορα κτίρια χωρίς επαρκή αντισεισμικό αρμό. Η τιμή του δείκτη λαμβάνεται από τον πίνακα 2 (ΟΑΣΠ §3.2).

Από το σκαρίφημα του κτιριακού συγκροτήματος (σχήμα 2) →  $H_2 = 0$

Άρα η εκτιμήτρια σεισμικής επιβάρυνσης  $H = 0.75 H_1 + 0.25 H_2 = 1.8$  (ΟΑΣΠ §3.3)

**Εύρεση σεισμικής αντίστασης κτιρίου (Resistance: R)**• Δείκτης διατηρητικής αντίστασης ισογείου ( $R_1$ )

Είναι ο μοναδικός δείκτης από τους δέκα (10) που συμμετέχουν στην διαμόρφωση της εκτιμήτριας σεισμικής αντίστασης ο οποίος αποτιμά έμμεσα τη διατηρητική αντοχή στο ισόγειο του κτιρίου και επίσης ο μόνος στον οποίο υπεισέρχεται και πάλι έμμεσα ο τύπος της φέρουσας τοιχοποιίας. Η προτεινόμενη έκφραση του δείκτη είναι η εξής:

$$R_1 = 12 \cdot (m \cdot \lambda_m) \cdot \frac{\Sigma A_w}{n \cdot A} \quad (1)$$

**m:** Συντελεστής τύπου φέρουσας τοιχοποιίας ο οποίος προκύπτει από τις τιμές του πίνακα 3.

Το υλικό φερόντων τοίχων ισογείου και ορόφου πρόκειται για πλινθοδομή πλήρων πλίνθων και ο τύπος κονιάματος δόμησης είναι ασβεστοκονίαμα →  $m = 0.80$

**$\lambda_m$ :** Μειωτικός συντελεστής για περιπτώσεις εμφανώς κακής πλοκής λιθοσωμάτων ή/και σοβαρής αποσάθρωσης κονιάματος ( $0.70 \leq \lambda \leq 1.00$ ). Δεν έχει παρατηρηθεί έντονη αποσάθρωση του κονιάματος στις λιθοδομές, τα επιχρίσματα είναι καλής ποιότητας και δεν έχουν αποκολληθεί από την λιθοδομή →  $\lambda_m = 0.90$

**$\Sigma A_w$ :** Άθροισμα εμβαδών διατομής των φερόντων τοίχων (πεσσών) του ισογείου κατά τη δυσμενέστερη διεύθυνση (διεύθυνση με το  $\min \Sigma A_w$ ). Αγνοούνται πεσσοί με μήκος

$$l_w < 1.00 \text{ m}$$

**Ισόγειο** διεύθυνση x-x

$$\Sigma A_{w(x-x)} = (1.55 + 2.60 + 2.07 + 1.78 + 1.90 + 1.50 + 13.85 + 4.70) \cdot 0.45 = 29.95 \cdot 0.45 = 13.4775 \text{ m}^2$$

**Ισόγειο** διεύθυνση y-y

$$\Sigma A_{w(y-y)} = (1.63 + 1.61 + 1.39 + 1.31 + 4.51 + 4.51 + 2.17 + 1.65 + 1.29) \cdot 0.45 = 20.07 \cdot 0.45 = 9.0315 \text{ m}^2$$

**Όροφος** διεύθυνση x-x

$$\Sigma A_{w(x-x)} = (5.18 + 2.13 + 1.84 + 1.95 + 1.55 + 13.85 + 4.70) \cdot 0.45 = 31.20 \cdot 0.45 = 14.04 \text{ m}^2$$

**Όροφος** διεύθυνση y-y

$$\Sigma A_{w(y-y)} = (1.69 + 1.73 + 1.51 + 1.37 + 3.16 + 4.51 + 2.22 + 1.70 + 1.29) \cdot 0.45 = 19.18 \cdot 0.45 = 8.631 \text{ m}^2$$

Λαμβάνονται οι μικρότερες τιμές

$$A_{\text{tot}_{\text{ισογείου}}} = (13.85 \cdot 4.51) + (5.39 \cdot 11.45) + (4.70 \cdot 1.81) = 62.46 + 61.72 + 8.5 = 132.69 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tot}_{\text{ορόφου}}} = (13.85 \cdot 4.51) + (3.05 \cdot 11.45) + (11.45 \cdot 2.34) + (4.70 \cdot 1.81) = 62.46 + 34.92 + 26.70 + 8.5 = 132.69 \text{ m}^2$$

A: Εμβαδόν κάτοψης ισογείου →  $A = 132.69 \text{ m}^2$

n: Πλήθος ορόφων περιλαμβανομένου και του ισογείου. Δεν προσμετράται τυχόν απόληξη κλιμακοστασίου στο δώμα.

$$\text{Άρα } R_{1\text{ισογείου}} = 12 \cdot (0.80 \cdot 0.90) \cdot \frac{9.0315}{2 \cdot 132.69} = 0.294$$

$$R_{1\text{ορόφου}} = 12 \cdot (0,80 \cdot 0,90) \cdot \frac{8,631}{132,69} = 0,562$$

Άρα  $R_1 = 0,294$

- Δείκτης ανοιγμάτων φερόντων τοίχων ( $R_2$ )

Ο δείκτης αναφέρεται στο ισόγειο και στη διεύθυνση όπου θα προκύψει η ελάχιστη τιμή του. Η προτεινόμενη έκφραση του δείκτη είναι η εξής:

$$R_2 = \frac{1}{\alpha + 0,4} - 0,7 \quad (2)$$

$\alpha$ : Η τιμή του λόγου του αθροίσματος των μηκών των ανοιγμάτων στους φερόντες τοίχους σε μία διεύθυνση προς το συνολικό μήκος των φερόντων τοίχων στη διεύθυνση αυτή, περιλαμβανομένων και των ανοιγμάτων.

Διεύθυνση x-x

$$\alpha = (1,25 + 1,32 + 1,34 + 1,30) / (13,85 + 7,10 + 4,70 + 11,45) = 6,21 / 37,1 = 0,164$$

Διεύθυνση y-y

$$\alpha = (1,32 + 1,32 + 1,32 + 1,56 + 1,30 + 1,01 + 1,40) / (9,90 + 4,51 + 4,60 + 11,71) = 9,23 / 30,72 = 0,300$$

$$R_{2x-x} = \frac{1}{0,164 + 0,4} - 0,7 = 1,073$$

$$R_{2y-y} = \frac{1}{0,300 + 0,4} - 0,7 = 0,729$$

Λαμβάνεται η μικρότερη τιμή του δείκτη επομένως  $R_2 = 0,729$

- Δείκτης διαζωμάτων ( $R_3$ )

Οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη λαμβάνονται από τις τιμές του πίνακα 4.

Απουσία διαζωμάτων στο κτίριο  $\rightarrow R_3 = 0,50$

- Δείκτης διαφραγμάτων ( $R_4$ )

Οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη λαμβάνονται από τις τιμές του πίνακα 5. Ακόμη από τον Πίνακα 6 λαμβάνεται ο ποιοτικός χαρακτηρισμός της διαφραγματικής στερρότητας διαφόρων τύπων πατωμάτων και από τον Πίνακα 7 ο ποιοτικός χαρακτηρισμός του βαθμού σύνδεσης των πατωμάτων με τους υποκείμενους ορόφους.

Η διάταξη των φερόντων τοίχων σε κάτοψη και στις δύο διευθύνσεις x-x, y-y είναι μερικώς συμμετρική. Το πάτωμα είναι ξύλινο με μονό σανίδωμα άρα το κτίριο έχει ασθενή διαφραγματική στερρότητα. Συνεπώς από τον Πίνακα 5 θεωρείται ο συνδυασμός, μερικώς συμμετρική και με ασθενή βαθμό σύνδεσης δηλαδή  $R_4 = 0,60$

- Δείκτης ανοιγμάτων κοντά σε γωνίες ( $R_5$ )

Εφόσον δεν υπάρχουν ανοίγματα σε απόσταση <1,00 από εξέχουσα γωνία του κτιρίου,  $R_5 = 0,00$ . Αλλιώς η προτεινόμενη έκφραση του δείκτη είναι η εξής:

$$R_5 = - \left( \lambda + \frac{\alpha}{2\gamma} \cdot \frac{\alpha}{\Sigma l_w} \right) \geq -1,00 \quad (3)$$

$\lambda$ : Τίθεται  $\lambda = 0,25$  ή  $0,50$  εφόσον υπάρχει έστω μία εξέχουσα γωνία με πεσσό μήκους <1,00m στη μία ή και στις δύο πλευρές της γωνία αντίστοιχα.

$\alpha$ : Το πλήθος των πεσσών με μήκος <1,00m σε εξέχουσες γωνίες σε όλους τους ορόφους.

$\gamma$ : Το πλήθος των εξεχουσών γωνιών όλων των ορόφων

$\Sigma l_w$ : Άθροισμα μηκών όλων των πεσσών όλων των ορόφων με μήκος <1,00m σε εξέχουσες γωνίες.

$$\lambda = 0,25$$

$$\alpha = 2 + 2 = 4$$

$$\gamma = 12$$

$$\Sigma l_w = (0,70 + 0,45) + (0,73 + 0,45) = 2,33$$

$$\text{Συνεπώς } R_5 = -0,536$$

- Δείκτης παθολογίας φερουσών τοιχοποιιών ( $R_6$ )

Οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη ( $R_6$ ) περιλαμβάνονται στον Πίνακα 8.  
Στο κτίριο δεν έχουν διαπιστωθεί βλάβες  $\rightarrow R_6 = 1,00$

- Δείκτης σύνδεσης μεταξύ εγκάρσιων τοίχων ( $R_7$ )

Οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη ( $R_7$ ) περιλαμβάνονται στον Πίνακα 9.  
Υπάρχει επαρκής σύνδεση μεταξύ των λιθοδομών σε όλες τις διασταυρώσεις  $\rightarrow R_7 = 1,00$

- Δείκτης καταπόνησης τοίχων εκτός επιπέδου ( $R_8$ )

Η προτεινόμενη έκφραση του δείκτη είναι η εξής:

$$R_8 = 6 \cdot \sqrt{t/l} \quad (4)$$

t: Το πάχος του περιμετρικού τοίχου

l: Απόσταση μεταξύ εγκάρσιων εσωτερικών τοίχων που στηρίζουν τον περιμετρικό. Να σημειωθεί ότι η παράμετρος l θα μπορούσε να οριστεί ως: Εσωτερική απόσταση εγκάρσιων τοίχων που στηρίζουν το περιμετρικό.

6: Αριθμητικός παράγων με στόχο να περιορισθούν τιμές του  $R_8$  κάτω από την μονάδα για ικανοποιητικές αποστάσεις εγκάρσιων τοίχων.

Η δυσμενέστερη τιμή λαμβάνεται από την από την πλινθοδομή του ισογείου (ή και του ορόφου)

$$R_8 = 6 \cdot \sqrt{0,45/9}$$

$$R_8 = 0,447$$

- Δείκτης κανονικότητας σε κάτοψη ( $R_9$ )

Ο δείκτης αφορά το σχήμα της κάτοψης του ισογείου. Εφόσον προκύψει ο χαρακτηρισμός του σχήματος της κάτοψης (κανονική, μερικώς κανονική, μη κανονική) οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη περιλαμβάνονται στον Πίνακα 10.

Αρχικά ελέγχεται ο λόγος  $\lambda = L_{\max}/L_{\min}$ :  $\lambda = 13,85/9,90 = 1,4 < 4,0$  άρα κτίριο κανονικό.

Ακολουθεί έλεγχος εμβαδού εσοχών σε σχέση με την γενική κυρτή πολυγωνική γραμμή:

$\Sigma A_E = (1,81 \cdot 6,75) \cdot (2,4 \cdot 7,2) = 12,22 + 17,28 = 29,5 \text{ m}^2 \leq 0,25 A_{\text{tot}} = 33,17 \rightarrow$  Κτίριο με κανονική κάτοψη. Άρα από τον πίνακα  $\rightarrow R_9 = 1,00$

- Δείκτης κανονικότητας καθ' ύψος ( $R_{10}$ )

Οι προτεινόμενες τιμές του δείκτη ( $R_{10}$ ) περιλαμβάνονται στον Πίνακα 11.

Κτίριο κανονικό καθ' ύψος  $\rightarrow R_{10} = 1,00$

### Υπολογισμός Εκτιμήτριας Σεισμικής Αντίστασης (R)

Σημειώνεται ότι στη διαμόρφωση της τιμής της εκτιμήτριας σεισμικής αντίστασης (R) οι δέκα παραπάνω δείκτες δεν θα πρέπει να έχουν την ίδια βαρύτητα, έτσι η τιμή της προκύπτει από την ακόλουθη έκφραση:

$$R = \Sigma r_i \cdot R = 0,20R_1 + 0,15(R_3+R_5) + 0,10(R_4+R_7+R_8) + 0,05(R_2+R_6+R_9+R_{10}).$$

Με αντικατάσταση στην εφαρμογή προκύπτει:

$$\begin{aligned} R &= 0,20 \cdot 0,294 - 0,15 \cdot 0,04 + 0,10 \cdot 2,05 + 0,05 \cdot 3,73 \\ &= 0,0588 - 0,006 + 0,205 + 0,187 \\ &= 0,445 \end{aligned}$$

**Εύρεση σπουδαιότητας κτιρίου (V)**

• Δείκτης πλήθους χρηστών (V<sub>1</sub>)

Το εκτιμώμενο πλήθος κατοίκων ή επισκεπτών που διαμένουν ή εισέρχονται στο κτίριο ανά ημέρα είναι από 10 έως 50 άτομα επομένως η τιμή του δείκτη προκύπτει από τον Πίνακα 11 → V<sub>1</sub>=1,50

• Δείκτης κόστους κτιρίου (V<sub>2</sub>)

Ανάλογα με το συνολικό εμβαδόν των ορόφων η τιμή του δείκτη προκύπτει από τον Πίνακα 12 .

Το συνολικό εμβαδόν των ορόφων είναι 265,38 → V<sub>2</sub>=1,50

• Δείκτης Διοικητικής ή/και κοινωνικής σημασίας (V<sub>3</sub>)

Ανάλογα με την εκτιμώμενη διοικητική ή/και κοινωνική σημασία του κτιρίου η τιμή του δείκτη προκύπτει από τον Πίνακα 13.

Το κτίριο θεωρείται χαμηλής σημασίας → V<sub>3</sub>=1,00

• Δείκτης μνημειακής αξίας (V<sub>4</sub>)

Στον Πίνακα 14 προτείνονται οι τιμές του δείκτη ανάλογα με την εθνική, ιστορική, αισθητική κ.τ.λ. αξίες του κτιρίου που συγκροτούν την μνημειακή του αξία :

Το κτίριο δεν έχει καμία μνημειακή αξία → V<sub>4</sub>=1,00

Επομένως η εκτιμήτρια σπουδαιότητας κτιρίου μαζί με τους συντελεστές που προτείνονται από τον ΟΑΣΠ διαμορφώνεται ως εξής:

$$V = \sum v_i \cdot V_i = 0,30 (V_1 + V_2) + 0,20 (V_3 + V_4)$$

Με αντικατάσταση στην εφαρμογή προκύπτει:

$$V = 0,30 (1,5 + 1,5) + 0,20 (1,0 + 1,0) = 1,3$$

$$\underline{V=1,3}$$

**Εύρεση Δείκτη Διακινδύνευσης Κτιρίου (I)**

$$I = V(H/R - 1) = 1,3 (1,8/0,445 - 1)$$

$$\underline{I=3,960}$$

**3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΑΛΛΑΓΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ**

**1<sup>η</sup> Εφαρμογή : Αλλαγή δείκτη H (Hazard)**

Αλλαγή δείκτη H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι αλλαγές των δεικτών H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> έχοντας θεωρήσει τις ίδιες τιμές των δεικτών R και V με την αναλυτική εφαρμογή.

Ζώνη Σεισμικής Επικ/τας	Κατηγορία Επιρροής ομόρων	R	V	Έδαφος A		Έδαφος B,C		Έδαφος D		Έδαφος E	
				H	I	H	I	H	I	H	I
Z1	1	0,444539	1,3	1,02	1,6829	1,20	2,2093	1,38	2,7356	1,50	<b>3,0866</b>
	2	0,444539	1,3	1,10	1,9168	1,28	2,4432	1,46	2,9696	1,58	3,3205
	3	0,444539	1,3	1,15	2,0630	1,33	2,5894	1,51	3,1158	1,63	3,4667
	4	0,444539	1,3	1,22	2,2677	1,40	2,7941	1,58	3,3205	1,70	3,6714
	5	0,444539	1,3	1,27	2,4140	1,45	2,9403	1,63	3,4667	1,75	3,8177
	6	0,444539	1,3	1,32	2,5602	1,50	3,0866	1,68	3,6130	1,80	3,9639



Z2	1	0,444539	1,3	1,53	<b>3,1743</b>	1,80	3,9639	2,07	4,7535	2,25	<b>5,2799</b>
	2	0,444539	1,3	1,61	3,4082	1,88	4,1978	2,15	4,9874	2,33	5,5138
	3	0,444539	1,3	1,66	3,5545	1,93	4,3440	2,20	5,1336	2,38	5,6600
	4	0,444539	1,3	1,73	3,7592	2,00	4,5488	2,27	5,3383	2,45	5,8647
	5	0,444539	1,3	1,78	3,9054	2,05	4,6950	2,32	5,4846	2,50	6,0109
	6	0,444539	1,3	1,83	4,0516	2,10	4,8412	2,37	5,6308	2,55	6,1572
Z3	1	0,444539	1,3	2,30	<b>5,4261</b>	2,70	6,5958	3,11	7,7948	3,38	8,5844
	2	0,444539	1,3	2,37	5,6308	2,77	6,8005	3,18	7,9995	3,45	8,7891
	3	0,444539	1,3	2,42	5,7770	2,82	6,9467	3,23	8,1457	3,50	8,9353
	4	0,444539	1,3	2,50	6,0109	2,90	7,1807	3,31	8,3797	3,58	9,1693
	5	0,444539	1,3	2,55	6,1572	2,95	7,3269	3,36	8,5259	3,63	9,3155
	6	0,444539	1,3	2,60	6,3034	3,00	7,4731	3,41	8,6721	3,68	9,4617

Η σεισμική δράση επηρεάζεται κυρίως από τη σεισμικότητα της περιοχής αλλά και το έδαφος της θεμελίωσης. Η διαφορά στην τιμή του δείκτη I ανάμεσα στη δυσμενέστερη και στην ευμενέστερη ΖΣΕ και κατηγορία εδάφους (Z3, έδαφος E), (Z1, έδαφος A) αντίστοιχα, φτάνει μέχρι και το 80,36%. Είναι φανερό λοιπόν ότι ο συνδυασμός τους παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον δείκτη διακινδύνευσης του κτιρίου.

Παρατηρείται επίσης από τις τιμές του δείκτη I, που προκύπτουν από τον παραπάνω πίνακα ότι για έδαφος E (επιφανειακό στρώμα ιλύος) και Z1 η τιμή του δείκτη I είναι μικρότερη απ' ό,τι για έδαφος A (βραχώδες έδαφος) και Z2. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι η Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας παίζει σημαντικότερο ρόλο από την κατηγορία εδάφους χωρίς να υπάρχει βέβαια σημαντική διαφορά στην τιμή του δείκτη I.

Λαμβάνοντας τώρα μια συγκεκριμένη κατηγορία εδάφους θα δούμε πόσο τελικά επηρεάζει η ΖΣΕ το δείκτη I. Έτσι για έδαφος A και Z1 το  $I=1,683$ , για έδαφος A και Z2 το  $I=3,174$  και για έδαφος A και Z3 το  $I=5,411$ , οπότε παρατηρεί κανείς ότι ο δείκτης I αυξάνεται κατά 64% και κατά 69% αντίστοιχα.

Στην συνέχεια εξετάζουμε την επιρροή της κατηγορίας εδάφους για μια συγκεκριμένη ΖΣΕ. Έτσι για Z1 και έδαφος A το  $I=1,683$ , για έδαφος B,C το  $I=2,209$ , για έδαφος D το  $I=2,736$  και για έδαφος E το  $I=3,087$ . Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το I αυξάνεται κατά 23,81%, 38,49%, 45,48%.

Τελικά η επιρροή της ΖΣΕ είναι σημαντικότερη από την επιρροή του εδάφους, χωρίς αυτό βέβαια να υποτιμά την επιρροή του εδάφους στην εκτίμηση του δείκτη I. Για παράδειγμα αν το κτίριο της αρχικής εφαρμογής βρισκόταν σε περιοχή με Z1 τότε ο δείκτης I θα μειωνόταν και θα έπαιρνε την τιμή 2,209, ενώ αν βρισκόταν σε περιοχή με Z3 ο δείκτης θα αυξανόταν και θα έπαιρνε την τιμή 6,596.

Ακόμα αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή του  $H_1$  μπορεί να αυξηθεί έως και 50% εάν υπάρχουν ενδείξεις για πιθανό κίνδυνο τοπικής μεγέθυνσης της σεισμικής δράσης, εξαιτίας της γεωμορφολογίας της θέσης του κτιρίου (ΟΑΣΠ §3.1). Θεωρώντας ότι το κτίριο της αρχικής εφαρμογής βρίσκεται πάνω σε επισφαλές φυσικό πρηνές το I λαμβάνει την τιμή  $I=5,411$ , δηλαδή αυξήθηκε κατά 26,74% από την τιμή του  $I=3,964$  στην αρχική εφαρμογή.

## **2<sup>η</sup> Εφαρμογή : Αλλαγή δείκτη R (Resistance)**

- Αλλαγή πάχους τοίχων κτιρίου.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή έχει γίνει αλλαγή του πάχους των τοίχων στο κτίριο. Τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με αυτά της αρχικής αναλυτικής εφαρμογής. Με την αλλαγή

αυτή επηρεάζονται οι παρακάτω δείκτες:  $R_1, R_2, R_5, R_8, R_{10}$ . Παρουσιάζονται μόνο οι κατόψεις του ισόγειου κάθε εφαρμογής καθώς αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των παραπάνω δεικτών. Η μόνη κάτοψη ορόφου που κρίθηκε αναγκαίο να παρουσιαστεί είναι αυτή της εφαρμογής για  $t_{\text{ορόφου}}=0,35$  λόγω της απότομης μείωσης πάχους που επηρεάζει επιπλέον τους δείκτες  $R_8, R_{10}$ .

t ισόγειου	t ορόφου v	$\Sigma A_{w_{x-x}}$	$\Sigma A_{w_{y-y}}$	$R_1$	$\alpha$	$R_2$	$\lambda$	$\alpha$	$\Sigma I_{w_{tot}}$
0,6	0,6	17,970	12,714	0,322	0,291	0,747	0,25	4	2,63
0,6	0,35	17,970	12,714	0,322	0,291	0,747	0,25	4	2,38
0,45	0,45	13,476	9,032	0,294	0,300	0,729	0,25	4	2,33
0,3	0,3	8,895	6,021	0,196	0,310	0,708	0,25	4	2,33
0,2	0,2	5,990	4,014	0,131	0,317	0,695	0,25	4	2,33

$\gamma$	$R_5$	T	L	$R_8$	$R_{10}$	R	V	I
12	-0,503	0,6	8,7	0,534	1	0,4656	1,3	3,736
12	-0,530	0,35	9,2	0,385	0,75	0,4333	1,3	4,100
12	-0,536	0,45	9	0,447	1	0,4445	1,3	3,964
12	-0,536	0,3	9,3	0,353	1	0,4145	1,3	4,347
12	-0,536	0,2	9,5	0,282	1	0,3937	1,3	4,644

Στην εφαρμογή που το πάχος τοίχων ισόγειου είναι  $t=0,6$  ενώ του ορόφου  $t=0,35$  δηλαδή υπάρχει σημαντική μείωση φερόντων τοίχων στον όροφο υπάρχει μείωση του  $R_{10}$  σε σχέση με τις υπόλοιπες εφαρμογές όπου δεν υπάρχει αλλαγή πάχους τοίχων σε ισόγειο και όροφο. Στην συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός του  $R_{10}$  καθώς δεν θεωρήθηκε απαραίτητο να υπολογιστεί στην αναλυτική εφαρμογή. Το κτίριο έχει σημαντική διαφορά δυσκαμψίας μεταξύ γετονικών ορόφων άρα θα υπολογιστεί η διαφορά  $\Sigma A_w$  μεταξύ των ορόφων.

#### Ισόγειο :

$$A_{w_{x-x}} = 17,97 + (0,7 + 0,84) \cdot 0,60 = 18,894$$

$$A_{w_{y-y}} = 12,714 + 0,738 \cdot 0,6 = 12,714$$

#### Όροφος :

$$A_{w_{x-x}} = 10,92 + (0,69 + 0,59) \cdot 0,35 = 11,368$$

$$A_{w_{y-y}} = 6,713 + 0,87 \cdot 0,35 = 7,018$$

$$\frac{A_{w_{x-x \text{ ισόγειου}} - A_{w_{x-x \text{ ορόφου}}}}{A_{w_{x-x \text{ ισόγειου}}}} \cdot 100 = 39,832\% < 50\%$$

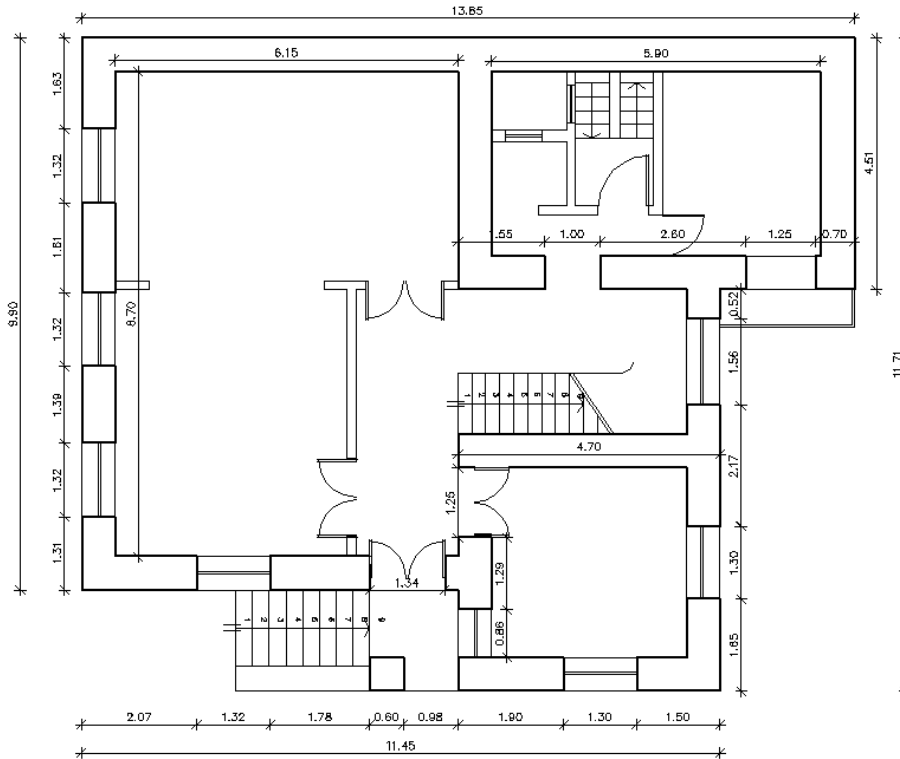
$$\frac{A_{w_{y-y \text{ ισόγειου}} - A_{w_{y-y \text{ ορόφου}}}}{A_{w_{y-y \text{ ισόγειου}}}} \cdot 100 = 44,800\% < 50\%$$

Άρα κτίριο μερικώς κανονικό καθ' ύψος  $\rightarrow R_{10} = 0,75$

Όπως ήταν αναμενόμενο, με την αύξηση του πάχους των τοίχων του κτιρίου της αρχικής εφαρμογής παρατηρείται μείωση του δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης I ενώ με την μείωση του πάχους ο δείκτης αυτός αυξάνεται. Στην περίπτωση αύξησης του πάχους τοίχων στο ισόγειο και μείωσης αυτών στον όροφο, ο δείκτης I ξεπερνά την τιμή της αρχικής εφαρμογής (πάχος  $t=0,45$ ) αλλά και την τιμή του I για  $t_{\text{ισόγειου}} = t_{\text{ορόφου}} = 0,60$ .

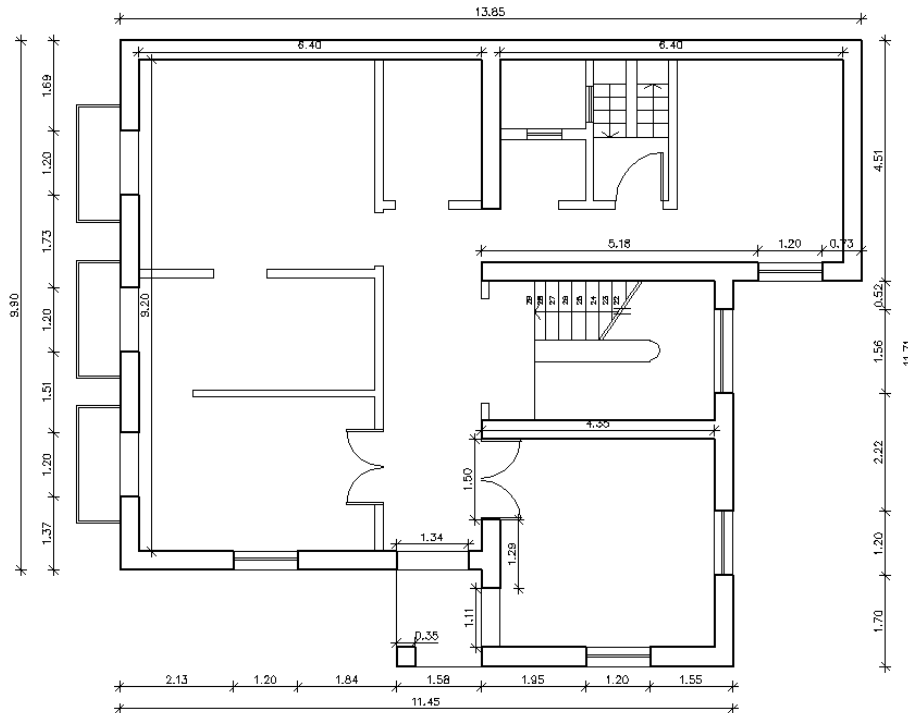
Τελικά οι δείκτες που επηρεάζονται πιο πολύ, είναι ο δείκτης διατμητικής αντίστασης του κτιρίου ( $R_1$ ), ο δείκτης καταπόνησης περιμετρικών τοίχων εκτός επιπέδου και λιγότερο ο δείκτης ανοιγμάτων και ο δείκτης ανοιγμάτων κοντά σε γωνίες.

**ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΓΙΑ  $t=0.60$**



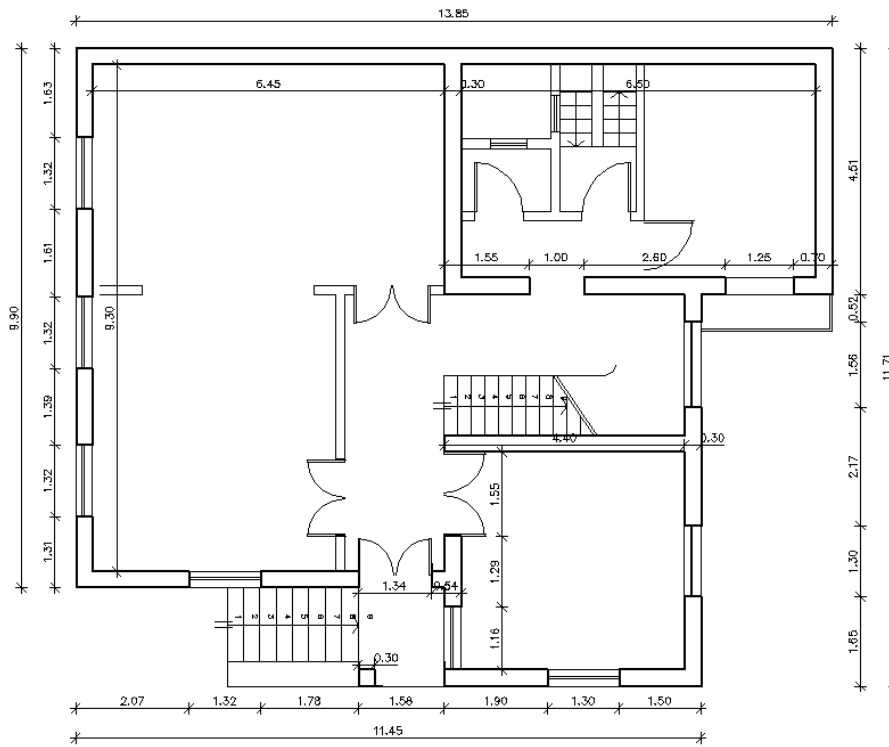
Σχήμα 5. Κάτοψη ισογείου για πάχος τοίχων κτιρίου  $t=0.60$

**ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΓΙΑ  $t=0.35$**



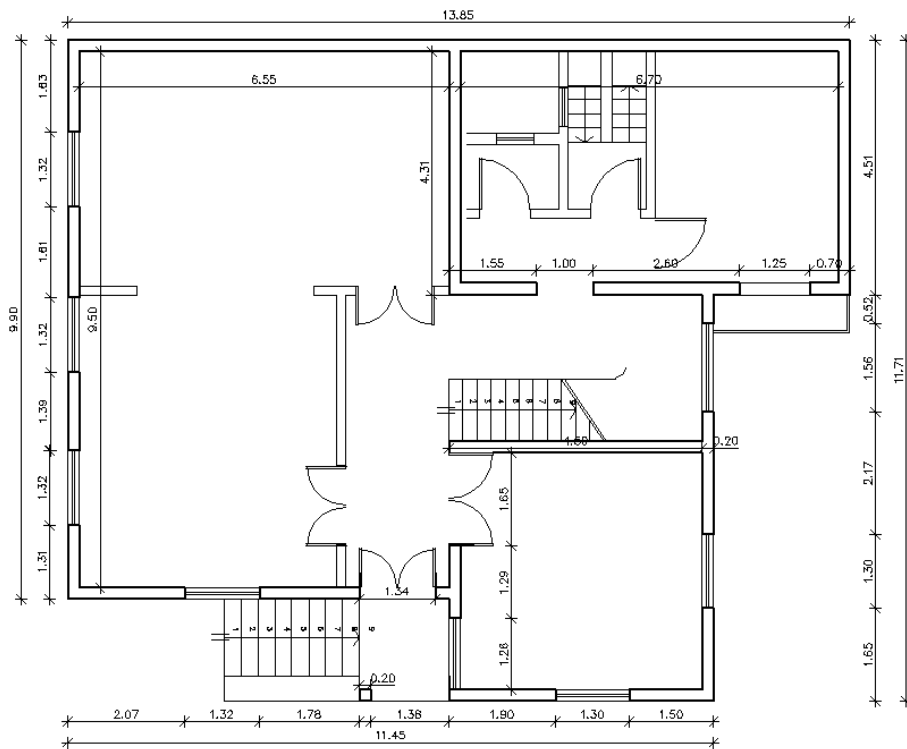
Σχήμα 6. Κάτοψη ισογείου για πάχος τοίχων κτιρίου  $t=0.35$

**ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΓΙΑ  $t=0.3$**



Σχήμα 7. Κάτοψη ισογείου για πάχος τοίχων κτιρίου  $t=0.3$

**ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΓΙΑ  $t=0.2$**



Σχήμα 8. Κάτοψη ισογείου για πάχος τοίχων κτιρίου  $t=0.2$

- Αλλαγή πάχους τοίχων κτιρίου και αλλαγή λιθοσωμάτων τοιχοποιίας

Σε αυτή την εφαρμογή θεωρήθηκε ότι το κτίριο στο ισόγειο έχει πάχος  $t=0,6$  κα στον όροφο  $t=0,35$  καθώς επίσης και ότι ο φέρων οργανισμός του κτιρίου, ισογείου και ορόφου είναι αργολιθοδομή. Θα διερευνηθεί δηλαδή τι συμβαίνει με την απότομη μείωση του πάχους του κτιρίου από ισόγειο σε όροφο καθώς και η επίδραση του τύπου των λιθοσωμάτων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι αλλαγές των δεικτών (οι υπόλοιποι δείκτες θεωρούνται ίδιοι με την αρχική εφαρμογή). Στην εφαρμογή θεωρούμε  $m=0,5$ ,  $\lambda m=0,7$

t	Aw <sub>x-x</sub>	Aw <sub>y-y</sub>	R <sub>1</sub>	A	R <sub>2</sub>	Σlw tot	R <sub>5</sub>	t	L
0,6-0,35	17,97	12,714	0,2012	0,291	0,747	2,38	-0,5301	0,35	9,2

R <sub>8</sub>	R <sub>10</sub>	R	V	I
0,3858	0,75	0,4092	1,3	4,419

Αυτό το αποτέλεσμα θα πρέπει να συγκριθεί με το αποτέλεσμα της παραπάνω εφαρμογής στην οποία υπάρχει αλλαγή μόνο στο πάχος τοίχων, σε σχέση με την αρχική εφαρμογή και όχι στη λιθοδομή, δηλαδή με το αποτέλεσμα για  $t_{\text{ισογείου}}=0,60$  και  $t_{\text{ορόφου}}=0,35$  που το  $I=4,100$ . Παρατηρείται μια μικρή αύξηση του δείκτη I της τάξης του 7,21 %. Είναι λογικό να υπάρξει διότι υπάρχει μικρή μείωση του δείκτη R<sub>1</sub> λόγω της αλλαγής του συντελεστή m εξαιτίας της αλλαγής τοιχοποιίας (αργολιθοδομή- ασβεστοκονίαμα). Σε σχέση με την αρχική εφαρμογή ( $I=3,964$ ) ο δείκτης I αυξάνεται κατά 10,3% διότι αλλάζει και το πάχος τοίχων και ο τύπος των λιθοσωμάτων. (Οι κατόψεις της εφαρμογής φαίνονται στα σχήματα 5, 6)

- Αλλαγή πάχους κτιρίου και αλλαγή κλίσης εδάφους.

Έστω ότι το αρχικό κτίριο έχει τώρα πάχος  $t=0,2m$  και υπάρχουν ενδείξεις για πιθανό κίνδυνο τοπικής μεγέθυνσης της σεισμικής δράσης λόγω γεωμορφολογίας στη θέση του κτιρίου. Μία τέτοια περίπτωση είναι το κτίριο να βρίσκεται κοντά σε επισφαλές φυσικό πρανές. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο είναι δυνατή η αύξηση του δείκτη H<sub>1</sub> έως και 50% (§3.1 ΟΑΣΠ). Με αυτήν την αλλαγή επηρεάζεται ο δείκτης R αλλά και ο δείκτης H. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Θεωρούνται  $m=0,8$ ,  $\lambda m=0,9$ .

t	H <sub>1</sub>	H	Aw <sub>x-x</sub>	Aw <sub>y-y</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	t	L	R <sub>8</sub>
0,2	3,6	2,7	5,99	4,014	0,1307	0,6947	0,2	9,5	0,283

R	V	I
0,3937	1,3	7,615

Παρατηρείται λοιπόν ότι σε σχέση με την αρχική εφαρμογή ( $I=3,964$ ) ο δείκτης σεισμικής διακινδύνευσης με τις παραπάνω αλλαγές αυξάνεται κατά 47,94%. Ακόμη σε σχέση με την προηγούμενη εφαρμογή (πάχος  $t=0,2$ ) όπου  $I=4,644$ , με την αλλαγή ουσιαστικά μόνο της γεωμορφολογίας του εδάφους ο δείκτης σεισμικής διακινδύνευσης αυξάνεται κατά 39,02%. Συνεπώς συμπεραίνουμε ότι η ταυτόχρονη μείωση του πάχους και η αλλαγή στη γεωμορφολογία του εδάφους παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στο δείκτη I, πράγμα που συμβαίνει και μόνο με την αλλαγή της γεωμορφολογίας.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η ίδια εφαρμογή με πάχος τοίχων κτιρίου  $t=0,6$ .

t	H <sub>1</sub>	H	Aw <sub>x-x</sub>	Aw <sub>y-y</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	t	R <sub>5</sub>	L
0,6	3,6	2,7	17,970	12,714	0,3219	0,747	0,6	-0,5035	8,7

$R_8$	$R$	$V$	$I$
0,534	0,4646	1,3	6,254

Με αυτήν την αλλαγή αλλάζει και ο δείκτης  $R_5$  λόγω της αύξησης του πάχους. Παρατηρείται ότι σε σχέση με την εφαρμογή με πάχος τοίχων  $t=0,2$  ο δείκτης σεισμικής διακινδύνευσης μειώνεται περίπου μία μονάδα, το οποίο είναι αναμενόμενο εφόσον αυξήθηκε το πάχος του κτιρίου, συνεπώς αυξήθηκαν οι δείκτες  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_5$ ,  $R_8$ , και κυρίως ο δείκτης  $R_8$  στον οποίο υπεισέρχεται άμεσα το πάχος του κτιρίου.

- Αλλαγή ανοιγμάτων κτιρίου

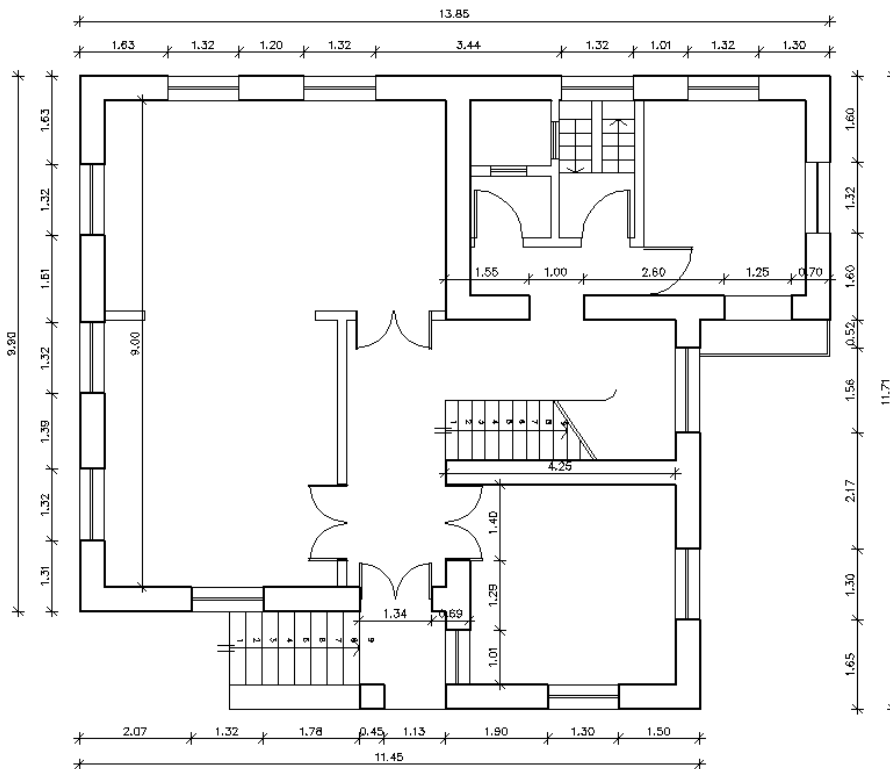
Σκοπός της εφαρμογής αυτής είναι να υπολογιστεί πόσο επηρεάζεται ο δείκτης  $I$  με την προσθήκη ανοιγμάτων αλλά και την αλλαγή της θέσης τους στο κτίριο της αρχικής εφαρμογής. Παρατηρείται ότι επηρεάζονται οι δείκτες  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_5$  και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	$\Sigma Aw_{x-x}$	$\Sigma Aw_{y-y}$	$R_1$	$\alpha$	$R_2$	$\lambda$	$\alpha$	$\Sigma Iw_{tot}$
<b>Προσθήκη ανοιγμάτων σε ισόγειο και όροφο</b>	11,106	8,442	0,275	0,343	0,646	0,25	4	2,33
<b>Προσθήκη ανοιγμάτων μόνο στο ισόγειο</b>	11,106	8,442	0,288	0,340	0,651	0,25	4	2,33
<b>Προσθήκη ανοιγμάτων κοντά σε γωνίες</b>	9,662	7,043	0,229	0,340	0,651	0,5	20	14,96

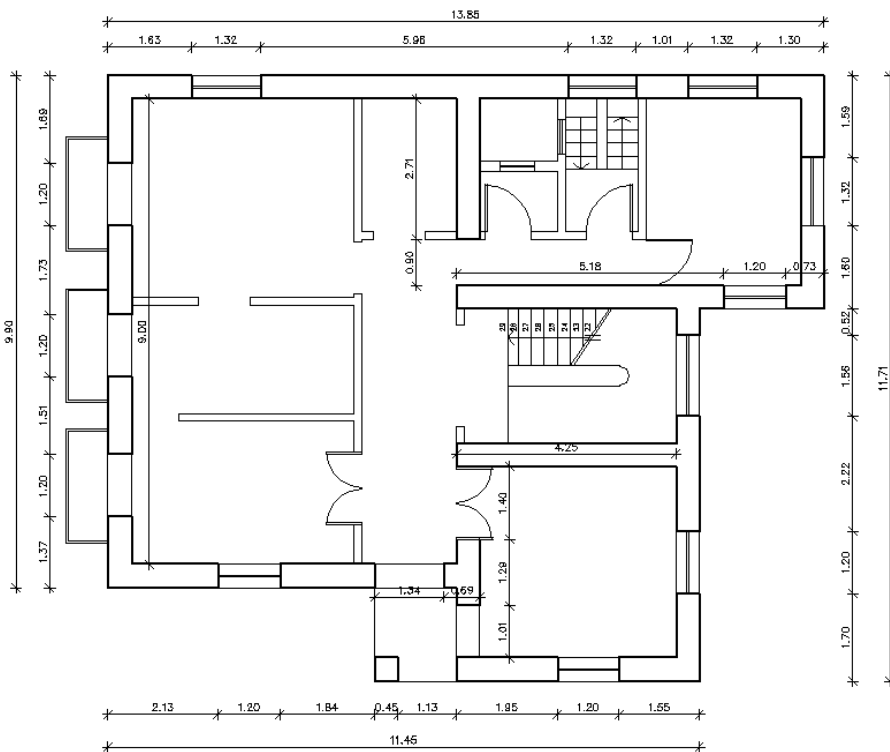
$\gamma$	$R_5$	$R$	$V$	$H$	$I$
12	-0,536	0,437	1,3	1,8	4,060
12	-0,536	0,439	1,3	1,8	4,025
12	-1,614	0,266	1,3	1,8	7,496

Με την προσθήκη ανοιγμάτων στο κτίριο ο δείκτης σεισμικής διακινδύνευσης  $I$  αυξάνεται σε σχέση με την αρχική εφαρμογή καθώς μειώνονται ο δείκτης διατμητικής αντίστασης του κτιρίου  $R_1$  και ο δείκτης ανοιγμάτων  $R_2$ . Πρέπει να σημειωθεί ότι στις δύο πρώτες εφαρμογές ο δείκτης ανοιγμάτων κοντά σε γωνίες  $R_5$  παραμένει σταθερός ενώ δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση του δείκτη  $I$ , καθώς αυξάνεται μόνο κατά 2,36% και 1.5% αντίστοιχα. Βέβαια στην τελευταία εφαρμογή με την προσθήκη ανοιγμάτων κοντά σε γωνίες η τιμή του  $R_5$  παρουσιάζει άλμα. Σύμφωνα με τον ΟΑΣΠ (ΟΑΣΠ §4.5) το άλμα στην τιμή του  $R_5$  σε περίπτωση έστω και ενός γωνιακού πεσσού με μήκος  $<1,00$  m αποδίδει αυξημένο κίνδυνο τοπικής κατάρρευσης της γωνίας σε όλους τους υπερκείμενους ορόφους σε περίπτωση αστοχίας του πεσσού. Ο αυξημένος αυτός κίνδυνος κατάρρευσης αντικατοπτρίζεται και στο δείκτη  $I$  που σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται σημαντικά κατά 47,12% παίρνοντας την τιμή 7,496. Τελικά συμπεραίνουμε ότι η τιμή του δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης ενός κτιρίου επηρεάζεται σημαντικά όταν τα ανοίγματα βρίσκονται κοντά σε γωνίες, ενώ η ύπαρξη περισσότερων ανοιγμάτων δεν αποδίδει τόσο σημαντικό κίνδυνο. Και σε αυτές τις εφαρμογές ο κανονισμός καταλήγει σε επιθυμητά αποτελέσματα.

## ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΣΕ ΙΣΟΓΕΙΟ ΚΑΙ ΟΡΟΦΟ

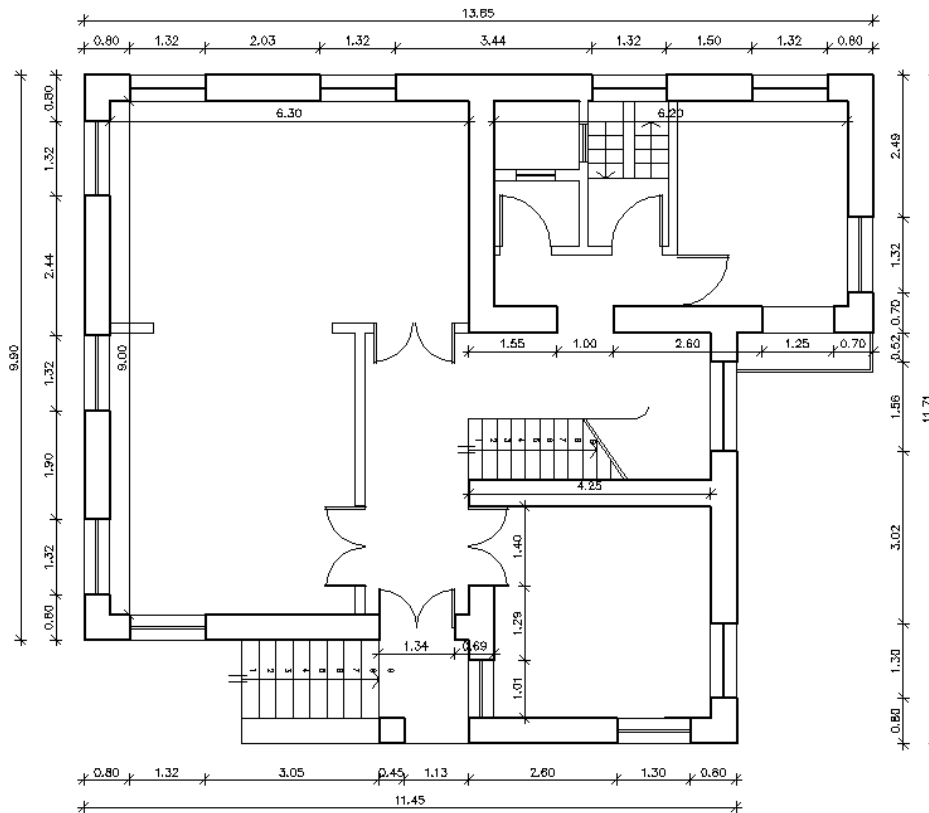


Σχήμα 9. Κάτοψη ισογείου

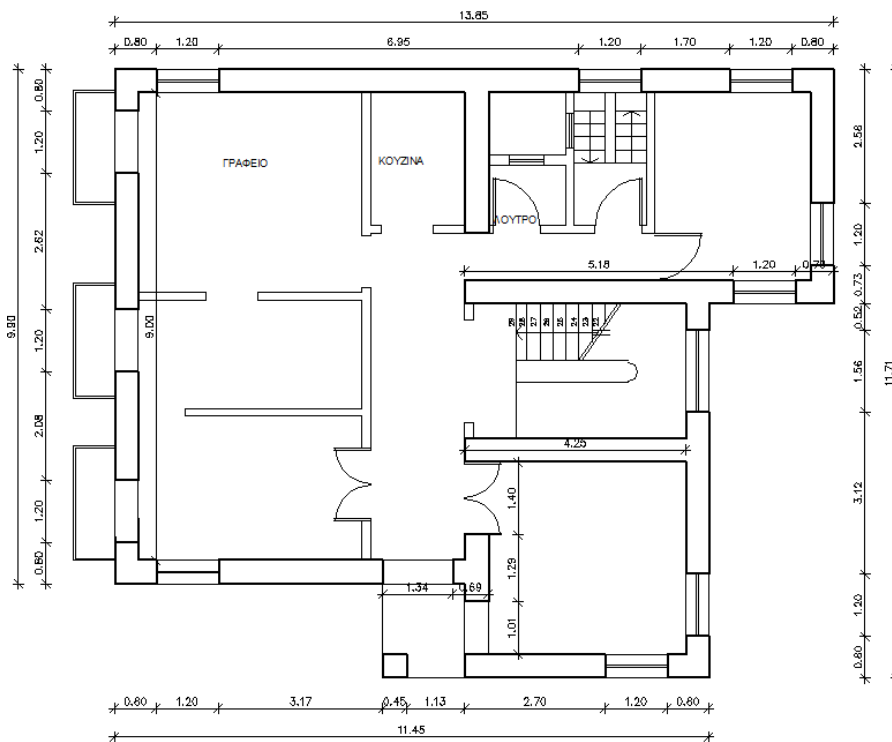


Σχήμα 10. Κάτοψη ορόφου

**ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΚΟΝΤΑ ΣΕ ΓΩΝΙΕΣ**



Σχήμα 11. Κάτοψη ισογείου



Σχήμα 12. Κάτοψη ορόφου



- Αλλαγή: Προσθήκη ορόφου στο κτίριο

Με την προσθήκη ενός ορόφου στην αρχική εφαρμογή οι μόνοι δείκτες που αλλάζουν είναι οι δείκτες  $R_1$  και  $R_5$  και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

$\Sigma Aw_{x-x}$	$\Sigma Aw_{y-y}$	$R_1$	$\lambda$	$\alpha$	$\Sigma lw_{tot}$	$\gamma$	$R_5$
13,475	9,032	0,196	0,25	6	3,51	18	-0,535

<b>R</b>	<b>V</b>	<b>H</b>	<b>I</b>
0,425	1,3	1,8	4,204

Η αύξηση του δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης  $I$  είναι της τάξης του 5,7%. Να σημειωθεί ακόμη ότι όσους περισσότερους ορόφους έχει ένα κτίριο τόσο πιο μεγάλο δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης θα έχει. Αυτό συμβαίνει γιατί ο δείκτης  $R_1$  ολοένα και θα μειώνεται όπως αυτό διαπιστώνεται από την εξίσωση (1) του ΟΑΣΠ (ΟΑΣΠ §4.1).

- Αλλαγή δείκτη  $R_3$  στην αρχική αναλυτική εφαρμογή

Έστω ότι στο κτίριο υπήρχαν διαζώματα. Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζεται η επιρροή των διαζωμάτων στον δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης του κτιρίου. Οι υπόλοιποι δείκτες παραμένουν ίδιοι με την αρχική εφαρμογή.

Θέση Διαζωμάτων	$R_3$	$R_5$	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>I</b>
Διαζώματα στις στάθμες υπερθύρων	0,6	-0,322	0,492	1,3	3,459
Διαζώματα στις στάθμες πατωμάτων πλην στέγης	0,75	-0,322	0,514	1,3	3,251
Διαζώματα στις στάθμες πατωμάτων και στέγης	0,9	-0,322	0,537	1,3	3,060
Διαζώματα στις στάθμες υπερθύρων, πατωμάτων και στέγης	1	-0,322	0,552	1,3	2,941

Σύμφωνα με τον ΟΑΣΠ σε ορόφους με διάφραγμα ή συνεχές διάζωμα το πλήθος ( $\alpha$ ) των πεσσών με μήκος μικρότερο του 1,00m σε εξέχουσες γωνίες του ορόφου αυτού πολλαπλασιάζεται επί 0,50, συνεπώς υπάρχει αλλαγή και στο δείκτη  $R_5$  (ΟΑΣΠ §4.5). Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η ύπαρξη διαζωμάτων μειώνει το δείκτη σεισμικής επικινδυνότητας, γι' αυτό η ύπαρξη τους θεωρείται επιθυμητή σε ένα κτίριο.

- Αλλαγή δείκτη  $R_6$  στην αρχική αναλυτική εφαρμογή

Σε αυτήν την εφαρμογή στόχος είναι να εκτιμηθεί πόσο επηρεάζεται ο δείκτης σεισμικής διακινδύνευσης από την ύπαρξη βλαβών στο κτίριο. Στην αρχική εφαρμογή οι υπολογισμοί έγιναν για  $R_6=1$  (απουσία βλαβών). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα για  $R_6=0,75$  (ελαφρές διάσπαρτες βλάβες) και  $R_6=0,5$  (ελαφρές εκτεταμένες ή μέτριες διάσπαρτες βλάβες).

$R_6$	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>I</b>
0,75	0,4320	1,3	4,116
0,5	0,4195	1,3	4,278

Συμπεραίνεται, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι όσο μειώνεται ο δείκτης  $R_6$ , δηλαδή όσο περισσότερες βλάβες υπάρχουν στο κτίριο, τόσο αυξάνεται ο δείκτης σεισμικής επικινδυνότητας  $I$ .

• Αλλαγή δείκτη  $R_7$  στην αρχική αναλυτική εφαρμογή

Στην αρχική εφαρμογή θεωρήθηκε ότι υπάρχει επαρκής σύνδεση σε όλες τις διασταυρώσεις δηλαδή  $R_7=1$ . Στην παρακάτω εφαρμογή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης  $I$  για  $R_7=0,8$  (περιμετρικοί τοίχοι επαρκώς συνδεδεμένοι μεταξύ τους, όχι όμως και με τους εσωτερικούς) και  $R_7=0,4$  (ανεπαρκής σύνδεση σε όλες τις διασταυρώσεις).

<b>R7</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>I</b>
0,8	0,4245	1,3	4,212
0,4	0,3845	1,3	4,785

Παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη ανεπάρκεια υπάρχει στη σύνδεση των τοίχων τόσο αυξάνεται ο δείκτης  $I$ .

• Αλλαγή δείκτη  $R_9$  στην αρχική αναλυτική εφαρμογή

Στην εφαρμογή που ακολουθεί δεν θεωρείται πια ότι η κάτοψη είναι κανονική ( $R_9=1$ ) αλλά υπολογίζεται ο δείκτης  $I$  για μερικώς κανονική κάτοψη ( $R_9=0,75$ ) και για μη κανονική κάτοψη ( $R_9=0,50$ ).

<b>R9</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>I</b>
0,75	0,432	1,3	4,116
0,50	0,420	1,3	4,278

Δηλαδή όσο πιο μη κανονική κάτοψη έχει ένα κτίριο τόσο αυξάνεται ο δείκτης σεισμικής διακινδύνευσης  $I$ .

• Αλλαγή δείκτη  $R_{10}$  στην αρχική αναλυτική εφαρμογή

Από τον πίνακα 11 του ΟΑΣΠ λαμβάνονται οι τιμές του  $R_{10}$  θεωρώντας τώρα ότι το κτίριο είναι μερικώς κανονικό καθ' ύψος ή μη κανονικό καθ' ύψος.

<b>R10</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>I</b>
0,75	0,432	1,3	4,116
0,5	0,42	1,3	4,278

Παρατηρείται ότι όσο μειώνεται ο δείκτης κανονικότητας καθ' ύψος τόσο αυξάνεται ο δείκτης  $I$ .

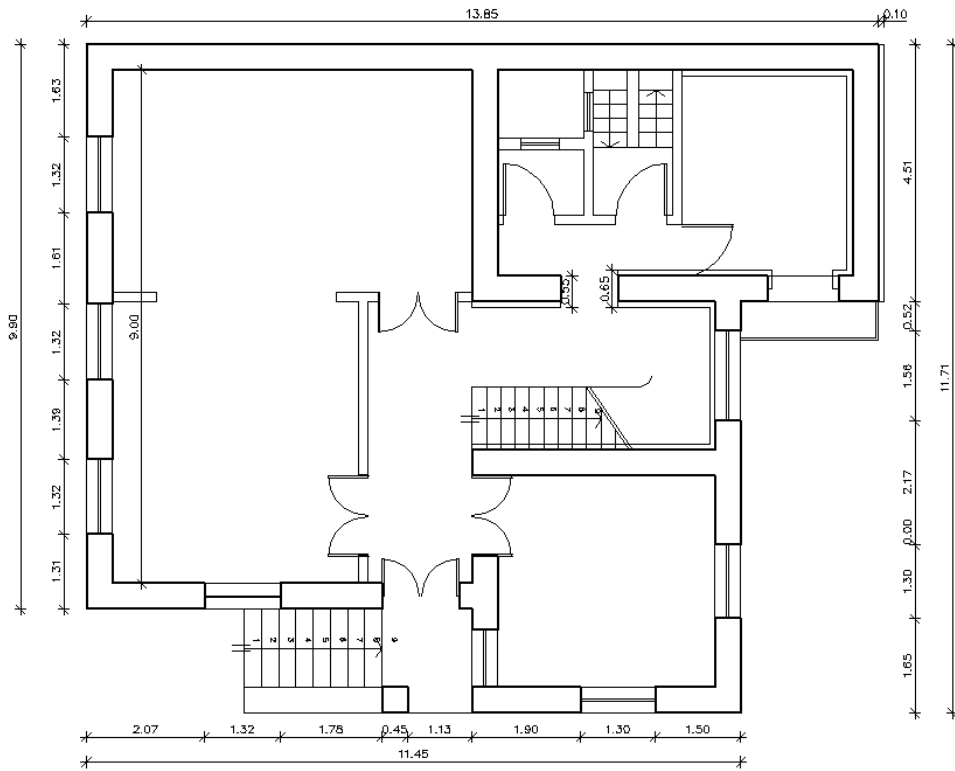
• Προσθήκη Μανδύα Οπλισμένου σκυροδέματος στο κτίριο

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχική εφαρμογή το κτίριο είχε ενισχυθεί με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Στην παρούσα εφαρμογή λαμβάνεται υπ' όψιν αυτή η ενίσχυση. Οι κατόψεις του κτιρίου αλλά και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

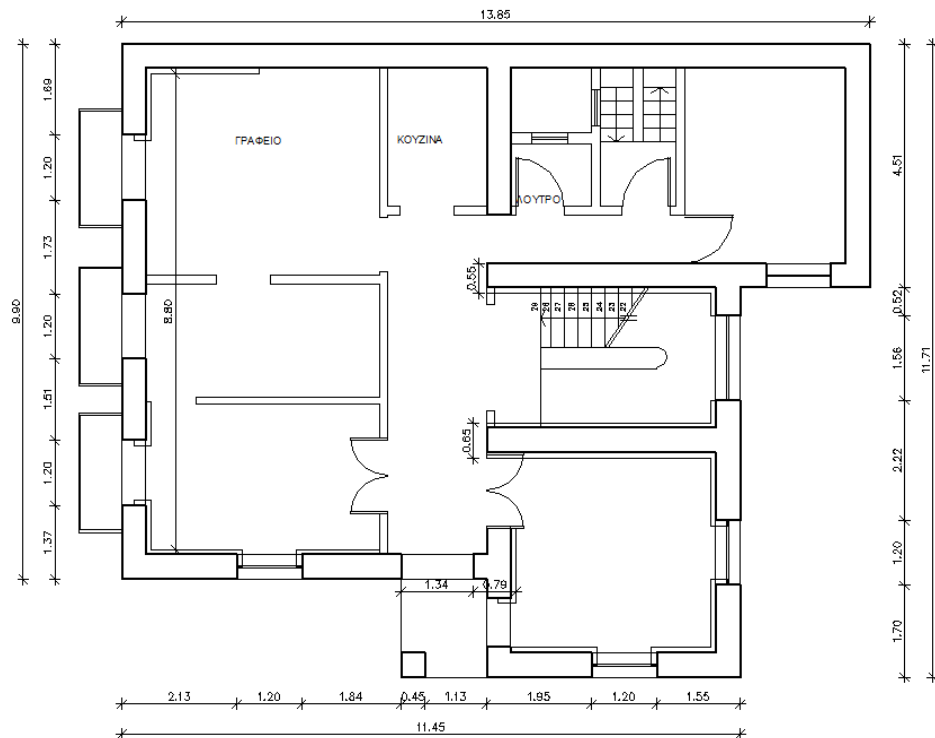
<b>Aw x-x</b>	<b>Aw x-x Με μανδύα</b>	<b>Aw y-y</b>	<b>Aw y-y Με μανδύα</b>	<b>R1</b>
8,154	6,770	6,768	3,216	0,366

<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\Sigma Iw_{tot}</math></b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b>R5</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>I</b>
0,25	4	2,43	12	-0,524	0,461	1,3	3,780

**ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΑΝΔΥΑ Ο.Σ**



Σχήμα 13. Κάτοψη ισογείου



Σχήμα 14. Κάτοψη ορόφου

Στην παραπάνω εφαρμογή έχει θεωρηθεί για τους φέροντες τοίχους που έχουν ενισχυθεί με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος  $m=\lambda_m=1,00$  (ΟΑΣΠ §4.1), ενώ στους υπόλοιπους φέροντες τοίχους  $m=0,8$  και  $\lambda_m=0,9$ . Ακόμη ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη  $R_1$  είναι ο εξής:

$$R_1 = 12 \cdot \frac{\sum(m \cdot \lambda_m \cdot A_w)}{n \cdot A} > 1,00 \quad (1\beta)$$

Χρησιμοποιήθηκε αυτός ο τύπος γιατί στον υπό έλεγχο όροφο συνυπάρχουν τοίχοι διαφορετικών τύπων (ΟΑΣΠ §4.1).

Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι ο δείκτης σεισμικής διακινδύνευσης δεν μειώνεται σημαντικά όπως θα ήταν αναμενόμενο καθώς το ποσοστό μείωσης του είναι μόνο 4,64 %. Αυτό μπορεί να συμβαίνει διότι θεωρήθηκε ότι αλλάζει μόνο το πάχος ορισμένων φερόντων τοίχων με την προσθήκη μανδύα Ο.Σ με αποτέλεσμα την αλλαγή μόνο των δεικτών  $R_1$ ,  $R_5$ .

Είναι γνωστό ότι η ενίσχυση κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία με μανδύα Ο.Σ. είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους επέμβασης. Παρόλα αυτά στον δευτεροβάθμιο προσεισμικό έλεγχο για κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία η ύπαρξη μανδύα Ο.Σ δεν αναφέρεται περὶ από τους συντελεστές  $m$ ,  $\lambda_m$  στον δείκτη  $R_1$ .

- Αλλαγή χαρακτηριστικών του κτιρίου ανάλογα με την περίοδο κατασκευής του.

Σκοπός της εφαρμογής αυτής είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τον δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης  $I$  ανάλογα με την περίοδο κατασκευής ενός κτιρίου. Έτσι με βάση την περίοδο κατασκευής τους τα κτίρια κατατάσσονται στις τρεις παρακάτω κατηγορίες [2] :

- i. Παραδοσιακό Κτίριο
- ii. Κτίριο Ωριμου Κλασικισμού (1880-1920)
- iii. Κτίριο με χαρακτηριστικά Νεοκλασικιστικής Περιόδου (1920-1940)
- iv. Νεότερο Κτίριο

Εάν το κτίριο στο οποίο έχει γίνει ο έλεγχος είχε χτιστεί μεταξύ της περιόδου 1920-1940 τότε θα είχε κάποια χαρακτηριστικά (διάζωμα, διάφραγμα, στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα) τα οποία θα το έκαναν λιγότερο τρωτό υπό την επίδραση σεισμικών δυνάμεων, εν αντιθέσει με το να είχε χτιστεί πριν το 1880 που απουσιάζουν αυτά τα χαρακτηριστικά. Με αυτή την εφαρμογή θα διερευνηθεί η τρωτότητα των κτιρίων με την πάροδο του χρόνου.

Για το παραδοσιακό κτίριο έχει θεωρηθεί: πάχος τοιχοποιίας  $t=0,3$  (δηλαδή έχει μειωθεί το πάχος σε σχέση με τα νεώτερα κτίρια), υλικό τοιχοποιίας ωμόπλινθους συνδεδεμένους με ασβεστοκονίαμα επομένως  $m=0,40$ , σοβαρή αποσάθρωση του κονιάματος επομένως  $\lambda_m=0,70$  και ύπαρξη ελκυστήρων που εξασφαλίζουν την επαρκή σύνδεση των λιθοσωμάτων.

Στην περίοδο του ώριμου κλασικισμού ανήκει το κτίριο της αρχικής εφαρμογής το οποίο έχει μελετηθεί ήδη.

Για το νεοκλασικιστικό κτίριο έχει θεωρηθεί: πάχος τοιχοποιίας  $t=0,45$ , υλικό τοιχοποιίας συμπαγή τούβλα συνδεδεμένα με ασβεστοκονίαμα επομένως  $m=0,80$ , καλή πλοκή λιθοσωμάτων χωρίς σοβαρή αποσάθρωση κονιάματος άρα  $\lambda_m=0,90$ , ύπαρξη διαζωμάτων στις στάθμες των υπερθύρων άρα  $R_3= 0,6$ , πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος που εξασφαλίζει την ισχυρή διαφραγματική στερρότητα (μερικώς συμμετρική κάτοψη-ισχυρή σύνδεση) άρα  $R_4=0,9$ . Ακόμη λόγω της ύπαρξης διαφράγματος και διαζώματος σύμφωνα με τον ΟΑΣΠ ο δείκτης  $R_5$  πολλαπλασιάζεται με 0,50 και ο δείκτης  $H_1$  με 0,75 (ΟΑΣΠ §4.5, §3.1).

Για το νεώτερο κτίριο έχουν θεωρηθεί τα ίδια με το νεοκλασικιστικό με τη διαφορά ότι τα διαζώματα τώρα βρίσκονται στις στάθμες υπερθύρων πατωμάτων αλλά και στέγης επομένως  $R_3=1,00$ .

Περίοδος Κτιρίου	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H	m	λm	Aw <sub>x-x</sub>	Aw <sub>y-y</sub>	R <sub>1</sub>	A
Παραδοσιακό Κτίριο	2,4	0	1,8	0,4	0,7	8,895	6,021	0,0762	0,31
Κτίριο Ωριμου Κλασικισμού (1880-1920)	2,4	0	1,8	0,8	0,9	13,4755	9,0315	0,2940	0,3
Νεοκλασικιστικό Κτίριο (1920-1940)	1,8	0	1,35	0,8	0,9	13,4755	9,0315	0,2940	0,3
Νεότερο Κτίριο	1,8	0	1,35	0,8	0,9	13,4755	9,0315	0,2940	0,3

R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	t	l	R <sub>8</sub>	R	V	I
0,7085	0,5	0,6	-0,5361	0,3	9,3	0,3534	0,3906	1,3	4,691
0,7286	0,5	0,6	-0,5361	0,45	9	0,4472	0,4445	1,3	3,964
0,7286	0,6	0,9	-0,3215	0,45	9	0,4472	0,5217	1,3	2,064
0,7286	1	0,9	-0,3215	0,45	9	0,4472	0,5817	1,3	1,717

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι με την πάροδο του χρόνου μειώνεται η τρωτότητα των κτιρίων το οποίο ήταν αναμενόμενο. Αυτό συμβαίνει καθώς στα μεταγενέστερα κτίρια η ύπαρξη διαζωμάτων, διαφραγμάτων, οπλισμένου σκυροδέματος, ελκυστήρων, κονιαμάτων μεγαλύτερης αντοχής αλλά και άλλων στοιχείων εξασφαλίζουν την καλή συμπεριφορά τους υπό την επίδραση σεισμικών δυνάμεων, με αποτέλεσμα την συνεχή μείωση του δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης.

### 3<sup>η</sup> Εφαρμογή : Αλλαγή δείκτη V (Value)

Σε αυτή την εφαρμογή παρουσιάζονται οι αλλαγές του δείκτη V στην αρχική εφαρμογή.

H	R	V1	V2	V3	V4	V	I
1,8	0,445	1,5	1,5	1	1	1,3	3,964
1,8	0,445	<b>2,5</b>	1,5	1	1	1,6	4,879
1,8	0,445	1,5	1,5	<b>2</b>	1	1,5	4,574
1,8	0,445	1,5	1,5	1	<b>2,5</b>	1,6	4,879
1,8	0,445	<b>2,5</b>	1,5	<b>2</b>	1	1,8	5,488
1,8	0,445	<b>2,5</b>	1,5	<b>2</b>	<b>2,5</b>	2,1	6,403
1,8	0,445	1,5	1,5	<b>2</b>	<b>2,5</b>	1,8	5,488
1,8	0,445	<b>2,5</b>	1,5	1	<b>2,5</b>	1,9	5,793

Παρατηρείται λοιπόν ότι όσο αυξάνεται το πλήθος των χρηστών που διαμένουν ή εισέρχονται στο κτίριο ανά ημέρα (δείκτης V<sub>1</sub>) τόσο αυξάνεται η τιμή του δείκτη I. Επίσης όσο πιο ιδιαίτερη διοικητική-κοινωνική σημασία έχει ένα κτίριο, δηλαδή όσο αυξάνεται ο δείκτης V<sub>3</sub> τόσο αυξάνεται και η τιμή του δείκτη I. Ο δείκτης μνημειακής αξίας του κτιρίου (V<sub>4</sub>) επηρεάζει εξίσου σημαντικά τον δείκτη I όσο και ο δείκτης (V<sub>1</sub>). Ο συνδυασμός των μέγιστων τιμών των δεικτών μπορούν να προκαλέσουν σημαντική αύξηση του δείκτη I ο οποίος μπορεί να φτάσει την τιμή 6,403. Τελικά συμπεραίνεται ότι στο δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης υπεισέρχονται και κοινωνικά κριτήρια.

#### **4. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Όπως είχε αναφερθεί και στην εισαγωγή σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να προσδιοριστούν οι δείκτες που επηρεάζουν περισσότερο τον δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης (I), έτσι ώστε να γίνεται πιο εύκολα η ιεραρχική βαθμονόμηση των κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία. Πραγματοποιώντας όλες τις παραπάνω εφαρμογές συμπεραίνεται ότι τόσο ο δείκτης H όσο και κάποιοι από τους δείκτες R επηρεάζουν σημαντικά την τιμή του δείκτη σεισμικής διακινδύνευσης I. Συγκεκριμένα η επιρροή των δεικτών H<sub>1</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>8</sub> είναι πολύ σημαντική, χωρίς βέβαια να υποτιμάται η αξία όλων των υπόλοιπων δεικτών, στον υπολογισμό του δείκτη I. Έτσι μελετώντας τις παραμέτρους των παραπάνω δεικτών που θεωρήθηκαν πιο σημαντικοί μπορεί κανείς να καταλήξει σε ένα αρχικό συμπέρασμα για την σεισμική διακινδύνευση ενός κτιρίου. Όσον αφορά τον δείκτη σπουδαιότητας του κτιρίου (V) ο οποίος συνεκτιμά την οικονομική αξία, την διοικητική και κοινωνική σημασία την μνημειακή αξία αλλά και το πλήθος των χρηστών ενός κτιρίου μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την σεισμική διακινδύνευση I προσθέτοντας κοινωνική σημασία στον δείκτη.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι ο δευτεροβάθμιος προσεισμικός έλεγχος σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία που πραγματοποιήθηκε στις παραπάνω εφαρμογές κατέληξε σε επιθυμητά αποτελέσματα.

#### **5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

[1] Δρίτσος Σ., Ιγνατάκη Χ., Σηλιόπουλος Αθ., Πανουτσοπούλου Δ., «Β Βάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος για Κτίρια από Φέρουσα Τοιχοποιία», Έκθεση ομάδας εργασίας ΟΑΣΠ, 2012

[2] Καραντώνη Φ., “ Κατασκευές από τοιχοποιία, Σχεδιασμός και Επισκευές ”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2012, σελ 305-320