

Κεφάλαιο 1

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΟΜΗΣΗΣ

1.1 Γενικά

Η τοιχοποιία αποτελεί ένα σύνθετο δομικό σύστημα με κύρια συστατικά τα λιθοσώματα (φυσικά ή τεχνητά) και το κονίαμα με το οποίο αυτά συνδέονται. Πρέπει να αναφερθεί και η κατασκευή δομημάτων από τοιχοποιία *εν ξηρώ*, δηλαδή μόνο από λίθους. Η τελευταία, η οποία σήμερα χρησιμοποιείται μόνο σε πολύ απλές κατασκευές, στην αρχαιότητα αποτελούσε βασικό σύστημα δόμησης τόσο σε σημαντικά έργα (ναούς, τείχη) όσο και σε συνήθεις κατασκευές.

Η τοιχοποιία εμφανίστηκε πριν από χιλιάδες χρόνια και αποτέλεσε το πλέον διαδεδομένο δομικό σύστημα για την κατασκευή έργων σε όλο τον κόσμο. Εξετάζοντας ιστορικά την εξέλιξη της τοιχοποιίας, διαπιστώνεται μια εκτεταμένη ποικιλία δομικών μορφών η οποία μπορεί γενικά να ταξινομηθεί με βάση:

- (i) Τη σύσταση και προέλευση των υλικών (λίθοι, κονιάματα).
- (ii) Την επεξεργασία των λίθων (αργοί λίθοι, λίθοι που έχουν υποστεί λάξευση ή μηχανική κατεργασία).
- (iii) Τον τρόπο δόμησης (πλήθος στρώσεων, τοποθέτηση και σύνδεση των λίθων).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή της προέλευσης και της επεξεργασίας των λίθων (φυσικοί ή τεχνητοί), καθώς και των κονιαμάτων που συναντώνται σε κατασκευές από τοιχοποιία. Ακολουθεί μια περιγραφή των συνηθέστερων υλικών και τρόπων δόμησης.

1.1.1 Φυσικοί Λίθοι

Αποτελούν θραύσματα των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του στερεού φλοιού της γης. Οι φυσικοί λίθοι χρησιμοποιούνται ως φέροντα στοιχεία για τη δόμηση συμβατικών και μνημειακών κατασκευών. Κατατάσσονται σε διαφορετικές κατηγορίες με βάση τα πετρώματα από τα οποία προέρχονται.

κατηγοριοποιούνται ανάλογα με: (i) την προέλευση των λιθοσωμάτων από τα οποία αποτελούνται, (ii) τη χρήση τους στην κατασκευή και (iii) τον τρόπο δόμησής τους. Ακολούθως περιγράφονται αυτές οι τρεις κατηγοριοποιήσεις. Επίσης, στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται πίνακας με τους συνήθεις τύπους τοιχοποιίας και τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους.

(i) Ανάλογα με την προέλευση των λιθοσωμάτων, οι τοιχοποιίες διακρίνονται σε τοιχοποιίες από φυσικά λιθοσώματα και σε τοιχοποιίες από τεχνητά λιθοσώματα.

- Οι τοιχοποιίες από φυσικά λιθοσώματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

Λιθοδομές είναι οι τοιχοποιίες που αποτελούνται από φυσικούς λίθους συγκολλημένους με κονίαμα. Ιστορικά αποτελούν το συνηθέστερο δομικό υλικό σε κάθε είδους κατασκευή, όπως κατοικίες, ναοί, οχυρά, γέφυρες, κ.α. Οι λίθοι που χρησιμοποιούνται είναι αργοί (Σχήμα 1.1), ημιλαξευτοί (Σχήμα 1.2) ή λαξευτοί (Σχήμα 1.3). Οι λαξευτοί λίθοι αποτελούσαν το κύριο οικοδομικό υλικό των σημαντικών κτηρίων της αρχαιότητας, ενώ οι αργοί λίθοι χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή των περισσότερων κτηρίων.

Ξηρολιθοδομές είναι οι τοιχοποιίες που αποτελούνται από φυσικούς λίθους (λαξευτούς ή αργούς) χωρίς την εφαρμογή κονιάματος (Σχήμα 1.4).

Χυτές είναι οι τοιχοποιίες που κατασκευάζονται από μείγματα πηλού και κροκάλων. Τα μείγματα αυτά διαστρώνονται σε καλούπι και ακολούθως σκληρύνονται σχηματίζοντας ένα ενιαίο σύνολο τοίχου. Καλούπι μπορεί να αποτελούν και οι εξωτερικές παρειές (π.χ. οπτοπλινθοδομή) οι οποίες παραμένουν ως τμήμα της τελικής χυτής τοιχοποιίας μετά τη σκλήρυνση του μείγματος (Σχήμα 1.5).



(α)



(β)

Σχήμα 1.1.: Λιθοδομές από αργούς λίθους.

Με τις ξυλοδεσιές επιτυγχάνεται αναβάθμιση της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής καθώς αυξάνεται: (i) η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας, (ii) η διαθέσιμη ικανότητα της τοιχοποιίας σε θλιπτική παραμόρφωση, (iii) η αντοχή της κατασκευής σε διάτμηση και (iv) η διατμητική παραμόρφωση χωρίς αποδιοργάνωση της τοιχοποιίας. Επιπλέον, επιτυγχάνεται καλύτερη κατανομή των κατακόρυφων φορτίων μέσω της συνεργασίας μεταξύ των ξύλινων στοιχείων.

Ενδεχόμενη αστοχία σε διάτμηση της τοιχοποιίας με ξύλινα διαζώματα περιορίζεται κυρίως στο τμήμα μεταξύ των ξύλινων στοιχείων και, συνεπώς, αποφεύγεται η αποδιοργάνωση μεγαλύτερου τμήματος της τοιχοποιίας (Σχήμα 1.14στ). Τα κατακόρυφα διαζώματα, σε συνεργασία με τα οριζόντια διαζώματα, συγκροτούν στο επίπεδο της τοιχοποιίας πλαίσια αυξημένης δυστημσίας και δυσκαμψίας που αφενός ενισχύουν τη λειτουργία δίσκου της τοιχοποιίας και αφετέρου εγκιβωτίζουν και “περισφίγγουν” τμήματα της τοιχοποιίας, αποτρέποντας την πρόωρη ρηγμάτωσή της υπό σεισμική καταπόνηση εντός του επιπέδου της.

1.2.2.2 Τσατμαδότοιχοι

Οι τσατμαδότοιχοι (ξύλοπηκτοι τοίχοι) αποτελούν συμπαγείς τοίχους με ξύλινο σκελετό από ορθοστάτες (συνήθως ανά 80 cm), οριζόντια και διαγώνια μέλη και πλήρωση των κενών του σκελετού από μικρούς λίθους, θραύσματα κεραμιδιών, ωμές πλίνθους, με κονίαμα από λάσπη με άχυρο ή ασβέστη και σπανιότερα με αμμοκονίαμα (Σχήμα 1.15). Η σύνδεση του σκελετού με την τοιχοποιία, τα δάπεδα και τις οροφές πραγματοποιείται με τις δοκίδες των πατωμάτων και τους στρωτήρες της στέγης.



(α)



(β)

Σχήμα 1.15.: Τσατμαδότοιχος: (α) Ξύλινος σκελετός. (β) Πληρωμένος.

Κεφάλαιο 2

ΑΙΤΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΛΑΒΩΝ

2.1 Αιτίες βλαβών

Η τοιχοποιία αποτελείται από υλικά τα οποία παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη απ' ότι σε εφελκυσμό. Συνεπώς, το ιδανικό είναι οι κατασκευές από τοιχοποιία να κατασκευάζονται με τρόπο ώστε τα δομικά τους στοιχεία να βρίσκονται πάντα σε θλίψη. Στην πραγματικότητα όμως μια σειρά από αιτίες, όπως η καθίζηση του εδάφους και ο σεισμός, μπορούν να προκαλέσουν στην τοιχοποιία εφελκυστικές τάσεις.

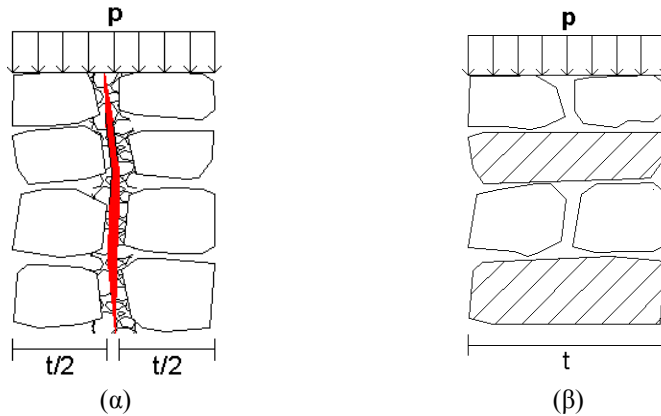
Στην περίπτωση κατά την οποία οι αναπτυσσόμενες τάσεις ξεπερνούν την εφελκυστική ή τη θλιπτική αντοχή, στην κατασκευή αναπτύσσονται ρωγμές. Η ανάπτυξη των ρωγμών αποτελεί τον πιο άμεσο τρόπο με τον οποίο μπορούμε να ερμηνεύσουμε το είδος και την αιτία των βλαβών σε μια κατασκευή. Η ανάπτυξη των ρωγμών χρησιμεύει, επίσης, για τον έλεγχο και τη βελτίωση του αναλυτικού προσομοιώματος της κατασκευής (βλ. Κεφάλαιο 6), καθώς και για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την επισκευή και ενίσχυση του φορέα.

Για τους παραπάνω λόγους, σημαντικό μέρος της τεκμηρίωσης της υφιστάμενης κατάστασης του φορέα αποτελεί η λεπτομερής αποτύπωση της θέσης, του είδους και των διαστάσεων των ρωγμών. Η κατανομή των ρωγμών επιτρέπει να διαπιστώσουμε ποια είναι η αιτία που τις προκάλεσε, αν και σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να ερμηνευθούν λόγω της αλληλεπίδρασης πολλών φαινομένων.

Οι αιτίες που προκαλούν αστοχίες στις κατασκευές από τοιχοποιία είναι πολλές. Οι πιο συνηθισμένες είναι:

- Καθίζηση της θεμελίωσης.
- Μεγάλα θλιπτικά κατακόρυφα φορτία.
- Οριζόντιες ωθήσεις.
- Δυναμικά φορτία.
- Σεισμός.

Στις ακόλουθες ενότητες παρουσιάζονται συνοπτικά οι μορφές των βλαβών που οφείλονται στις ανωτέρω αιτίες.

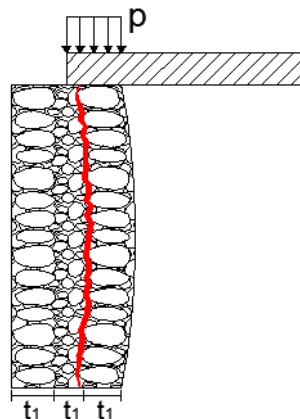


Σχήμα 2.10.: Τυπική ανάπτυξη ρωγμών λόγω ισχυρών κατακόρυφων φορτίων σε τοιχοποιία με: (α) δίστρωτη τοιχοποιία με εσωτερικό πυρήνα μικρού πλάτους και υλικά χαμηλότερης ποιότητας, (β) δίστρωτη τοιχοποιία με διάτονες.

Είναι, συνεπώς, προφανής η αυξημένη τρωτότητα σε λυγισμό των τοιχοποιιών χωρίς εγκάρσιους συνδέσμους. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να εξετάζεται η ευστάθεια του τοίχου θεωρώντας κάθε μία στρώση ξεχωριστά, ακόμα και όταν απουσιάζουν ενδείξεις αστοχίας.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην περίπτωση που τα πατώματα εδράζονται σε τμήμα τοίχου ασκώντας κατακόρυφα φορτία όχι σε όλο τον τοίχο, αλλά σε ένα μέρος του (Σχήμα 2.11). Στην περίπτωση αυτή για $t_1 = t/3$, το P_{cr} από τη Σχέση (2.1) με $I = t_1^3/12 = (t/3)^3/12 = t^3/324$, προκύπτει ίσο με $P_{cr}/27$.

Συνεπώς, θεωρώντας τη δίστρωτη ή την τρίστρωτη τοιχοποιία ως ένα “ομογενές σώμα” υπάρχει κίνδυνος να υπερεκτιμηθεί η αντοχή της.



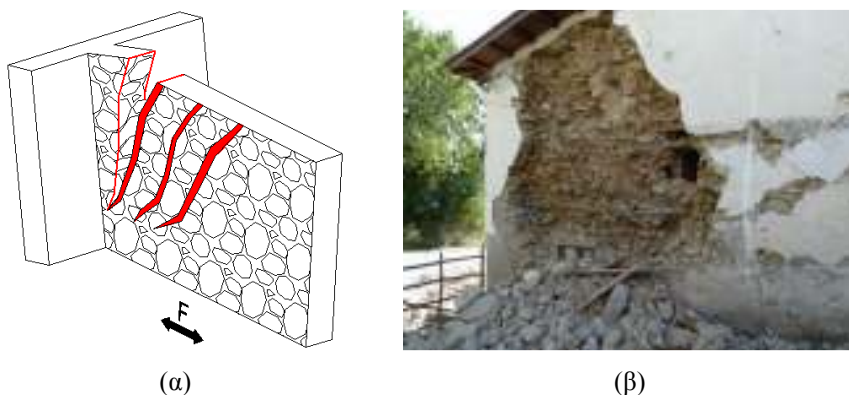
Σχήμα 2.11.: Λυγισμός σε τρίστρωτη τοιχοποιία με έκκεντρη φόρτιση στην εσωτερική στρώση λόγω πατώματος.

2.8 Βλάβες λόγω σεισμού

Διακρίνουμε τρεις κύριους τύπους αστοχιών: (α) αστοχίες λόγω φτωχής ποιότητας της τοιχοποιίας, (β) τοπικές εκτός επιπέδου αστοχίες και (γ) αστοχίες με συμπεριφορά της κατασκευής “ως συνόλου”.

(α) Αστοχίες λόγω φτωχής ποιότητας της τοιχοποιίας: Οι αστοχίες λόγω φτωχής ποιότητας της τοιχοποιίας, δηλαδή η τοπική αποδιοργάνωσή της, οφείλεται στη χαμηλή ποιότητα δόμησής της. Συνήθεις περιπτώσεις αποτελούν δίστρωτες και τρίστρωτες τοιχοποιίες χωρίς διάτονες λίθους με κονιάματα χαμηλών μηχανικών αντοχών.

Στα Σχήματα 2.18(α) και (β) απεικονίζεται η συμπεριφορά τοίχου με χαμηλής ποιότητας δόμηση σε σεισμική φόρτιση εντός και εκτός επιπέδου, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.18.: Ανάπτυξη ρωγμών σε τοίχο με φτωχή δόμηση σε σεισμικά φορτία: (α) εντός επιπέδου (σεισμική δράση F παράλληλα στον τοίχο), (β) Αποκόλληση εξωτερικής παρειάς λιθοδομής σε σεισμική δράση κάθετα στο επίπεδό της.

Αστοχίες λόγω φτωχής ποιότητας της τοιχοποιίας είναι δυνατόν να εμφανιστούν και στην περίπτωση ανεπαρκούς σύνδεσης των οριζόντιων στοιχείων με τα κατακόρυφα. Στο Σχήμα 2.19 απεικονίζεται αστοχία λόγω ανεπαρκούς σύνδεσης μεταξύ δύσκαμπτου, μεγάλης αδράνειας διαφράγματος και τοίχων, με στροφή/κρούση του διαφράγματος στον κατακόρυφο τοίχο. Επίσης, αστοχία λόγω φτωχής ποιότητας της τοιχοποιίας δύναται να αναπτυχθεί στην περίπτωση περιορισμένου βάρους έδρασης οριζόντιων στοιχείων (δοκών) εντός τοιχοποιίας μικρού πάχους (Σχήμα 2.20).

Κεφάλαιο 3

ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

3.1 Διαδικασία ελέγχων και συλλογής στοιχείων

Για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης μιας κατασκευής από φέρουσα τοιχοποιία απαιτείται η πραγματοποίηση ελέγχων με βάση τους οποίους: (i) θα καταγραφούν οι βλάβες ώστε να προσδιοριστούν οι αιτίες που τις προκάλεσαν, (ii) θα εντοπιστούν ενδεχόμενες προηγούμενες επεμβάσεις, (iii) θα προσδιοριστούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών δόμησης, (iv) θα προσδιοριστεί ο τρόπος δόμησης των φερόντων και μη φερόντων στοιχείων, καθώς και η σύνδεσή τους και (v) θα μετρηθούν τα δυναμικά χαρακτηριστικά του φορέα, καθώς και (vi) η απόκρισή του σε επιβαλλόμενη φόρτιση.

Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμεύσουν για: (α) την επιλογή των μεθόδων ανάλυσης του φορέα, (β) την επιλογή των συντελεστών ασφαλείας, (γ) τη βαθμονόμηση του προσομοιώματος του φορέα, (δ) την επιλογή των ενδεχόμενων επεμβάσεων για την επισκευή ή ενίσχυση της κατασκευής, καθώς και (ε) τον έλεγχο της σωστής εφαρμογής των επεμβάσεων στο φορέα.

Η διαδικασία συλλογής στοιχείων περιλαμβάνει το συνδυασμό της οπτικής αξιολόγησης της κατασκευής με κατάλληλες ενόργανες μεθόδους. Έλεγχοι πραγματοποιούνται τόσο στην ανωδομή όσο και στη θεμελίωση και στο έδαφος έδρασης, όπως η αποτύπωση και ο έλεγχος των θεμελίων, καθώς και η λήψη και η εξέταση δειγμάτων του εδάφους. Στην περίπτωση κατά την οποία διαπιστωθεί η ύπαρξη ξύλινων ή μεταλλικών φερόντων στοιχείων, αυτά πρέπει να ελέγχονται με διαδικασίες και ελέγχους που περιγράφονται στη βιβλιογραφία¹. Η επιλογή των στοιχείων του φορέα που θα

¹ Ενδεικτικά για ξύλινα στοιχεία μπορεί να γίνει χρήση των μεθόδων και των διαδικασιών που συνέταξε η Τεχνική Επιτροπή της RILEM: Technical Committee AST 215 “STAR 215 AST, In-situ assessment of structural timber”.

Κεφάλαιο 4

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

4.1 Γενικά

Οι κατασκευές από τοιχοποιία μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες: (α) τις απλές, (β) τις ειδικές και (γ) αυτές που αποτελούν *τμήμα ενός συνεχούς συστήματος δόμησης* (συνήθης διάταξη σε ιστορικά κέντρα).

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται η πιο διαδεδομένη κατηγορία των απλών (κτηριακών) κατασκευών. Οι υπόλοιπες κατηγορίες εξετάζονται στα Κεφάλαια 11 και 12. Επίσης, στην κατηγοριοποίηση, η οποία ακολουθεί, δεν περιλαμβάνονται κατασκευές με μεικτό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει ανωδομή από τσατμαδότοιχους ως φέροντα στοιχεία.

4.1.1 Κατηγοριοποίηση Διαφραγμάτων

Επειδή η εντός επιπέδου δυσκαμψία (*δυστένεια*) των διαφραγμάτων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά και την κατηγοριοποίηση μιας απλής κατασκευής ακολουθεί μια κατάταξη των διαφραγμάτων.

Τα διαφράγματα κατατάσσονται σε: (i) *ευπαραμόρφωτα*, (ii) *απαραμόρφωτα* και (iii) *δυσπαραμόρφωτα*. Για απλοποίηση της κατηγοριοποίησης και της ανάλυσης του κτηρίου, η τελευταία κατηγορία μπορεί να καταταχθεί αιτιολογημένα στην πρώτη ή στη δεύτερη κατηγορία.

Για τις κατασκευές οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία (ii) θεωρούμε ότι τα διαφράγματα συμπεριφέρονται ως στερεοί δίσκοι για τα σεισμικά φορτία που ασκούνται εντός του επιπέδου τους. Αντίθετα η επίδραση των ευπαραμόρφωτων διαφραγμάτων δύναται να αγνοηθεί, όσον αφορά τη διανομή των σεισμικών φορτίων στα υπόλοιπα στοιχεία του φορέα.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται με λεπτομέρεια η προσομοίωση των διαφραγμάτων για την ανάλυση των κατασκευών.

Κεφάλαιο 5

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

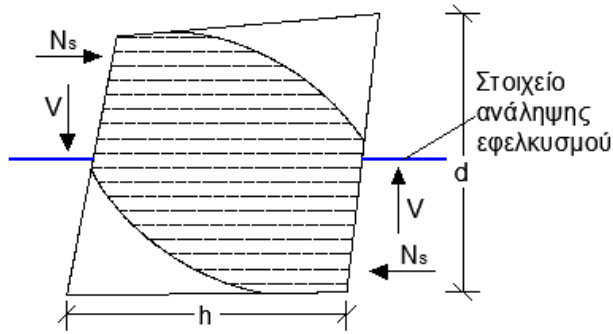
5.1 Υπολογισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας

Σε υφιστάμενα κτήρια τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- (α) την κατεργασία των λιθοσωμάτων: (1) ακατέργαστοι (αργοί) λίθοι (Σχήμα 1.1), (2) ημικατεργασμένοι (ημιλαξευτοί) λίθοι (Σχήμα 1.2) και (3) λαξευτοί λίθοι (Σχήμα 1.3),
- (β) την ποιότητα της δόμησης: (1) μη κανονική δόμηση (Σχήμα 1.1α) και (2) κανονική δόμηση (απουσία συνεχών κατακόρυφων αρμών) (Σχήματα 1.1β, 1.2, 1.3, 1.6 και 1.7),
- (γ) το είδος των λιθοσωμάτων: (1) σκληροί φυσικοί λίθοι, όπως ασβεστόλιθος, (2) μαλακοί φυσικοί λίθοι, όπως ηφαιστειακοί, και (3) οπτόπλινθοι (με ή χωρίς οπές) (βλ. Ενότητα 1.1),
- (δ) τη δόμηση κατά το πάχος: (1) τοιχοποιία μίας ή πολλών στρώσεων, (2) εγκάρσια σύνδεση των στρώσεων και (3) χαρακτηριστικά της εσωτερικής στρώσης (πυρήνας) (Σχήματα 1.9-1.12),
- (ε) την ύπαρξη ή μη στοιχείων ανάληψης εφελκυσμού (βλ. Κεφάλαιο 9),
- (στ) την ύπαρξη ή μη ξύλινων στοιχείων (βλ. Ενότητα 1.2.2).

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται αρχικά δύο διαδικασίες υπολογισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών άοπλης τοιχοποιίας, η οποία χαρακτηρίζεται από τις παραμέτρους (α)-(δ), πριν από την εφαρμογή επεμβάσεων και ακολουθεί η ανάπτυξη της περίπτωσης (ε). Τα μηχανικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν από αυτές τις διαδικασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση του φορέα και για την εφαρμογή των κριτηρίων αστοχίας της τοιχοποιίας.

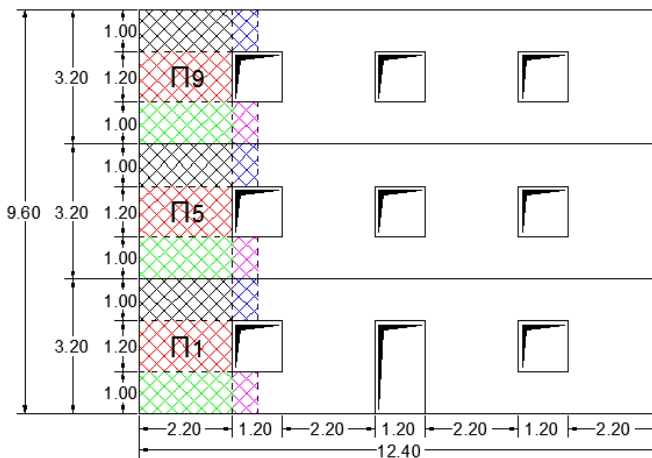
Η πρώτη διαδικασία υπολογισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών για αντιπροσωπευτικές τοιχοποιίες πραγματοποιείται με χρήση των Πινάκων 5.1 και 5.2, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί ημιεμπειρικές σχέσεις υπολογισμού. Σε περίπτωση που πραγματοποιούνται δοκιμές (βλ. Κεφάλαιο 3) τα μηχανικά χαρακτηριστικά μπορούν να τροποποιηθούν κατάλληλα. Όπως θα διαπιστωθεί και από τα αριθμητικά παραδείγματα, η εφαρμογή των δύο



Σχήμα 5.13.: Ανάπτυξη θλιπτήρα σε υπέρθυρο με στοιχείο ανάληψης εφελκυσμού.

5.6 Παράδειγμα υπολογισμού καμπτικής και διατμητικής αντοχής

Θεωρείται η κατασκευή από λιθοδομή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.14. Η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας είναι $f_d = 1.5 \text{ MPa}$, η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού είναι $f_{td} = 0.040 \text{ MPa}$, η μέση τιμή της διατμητικής αντοχής απουσία κατακόρυφου φορτίου είναι $f_{v0} = 0.0375 \text{ MPa}$, ο συντελεστής ασφαλείας $\gamma_m = 1.5$, το πάχος της $t = 60 \text{ cm}$, το ειδικό βάρος της $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ και ο συντελεστής τριβής $\mu = 0.4$. Το συνολικό μόνιμο και το κινητό φορτίο των πατωμάτων είναι $g = 1.00 \text{ kN/m}^2$ και $q = 2.00 \text{ kN/m}^2$, αντίστοιχα. Ζητείται να υπολογιστεί η αντοχή της τοιχοποιίας σε κάμψη και διάτμηση στη βάση των πεσσών 1, 5 και 9 της πρόσοψης (βλ. στάθμες στα σημεία A, B και Γ στο Σχήμα 5.14γ). Να θεωρηθεί ότι το μήκος της θλιβόμενης περιοχής των πεσσών d' είναι ίσο με το μήκος τους d , $f_{s,lim} = 150 \text{ kPa}$ και ο συντελεστής ψ_2 είναι ίσος με 0.3.



(α)

Κεφάλαιο 6

ΜΕΘΟΔΟΙ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ

ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

6.1 Εισαγωγή – Χρησιμότητα της ανάλυσης

Η ανάλυση ενός κτηρίου προσφέρει βαθύτερη γνώση της συμπεριφοράς του σε στατικά, δυναμικά και σεισμικά φορτία. Αποτελεί βασικό στοιχείο της διαδικασίας για την αποτίμηση και τη λήψη αποφάσεων επέμβασης.

Ο ρόλος της ανάλυσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός όταν εξετάζεται ένα διατηρητέο κτήριο ή μνημείο, καθώς επιδιώκεται να αποτιμηθεί με ακρίβεια η εναπομένουσα αντοχή του, ώστε να προκύψουν οι όσο το δυνατόν περιορισμένες σε έκταση και παρεμβατικότητα επεμβάσεις (βλ. Κεφάλαιο 9).

Επισημαίνεται ότι σε ένα φορέα από φέρουσα τοιχοποιία δεν είναι εύκολο να αποτιμηθεί η απομένουσα αντοχή του, λόγω αβεβαιοτήτων που σχετίζονται μεταξύ άλλων με: (α) το ιστορικό της φόρτισης, (β) τις τροποποιήσεις στο φέροντα οργανισμό, (γ) τη μεγάλη διασπορά στις μηχανικές ιδιότητες των συστατικών της τοιχοποιίας, (δ) την αξιοπιστία των συνδέσεων των δομικών μελών και (ε) τη θεμελίωση.

6.1.1 Μέθοδοι ανάλυσης

Ο υπολογισμός των εντατικών μεγεθών και των παραμορφώσεων ενός φορέα από φέρουσα τοιχοποιία για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητάς του, καθώς και για το σχεδιασμό ενδεχόμενων επισκευών ή ενισχύσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί με μία από τις ακόλουθες μεθόδους:

- (i) *Ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση (Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης).*
- (ii) *Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης (Ελαστική δυναμική ανάλυση – Δυναμική φασματική μέθοδος).*
- (iii) *Ανελαστική δυναμική ανάλυση (ανάλυση χρονοϊστορίας).*
- (iv) *Ανελαστική στατική ανάλυση.*

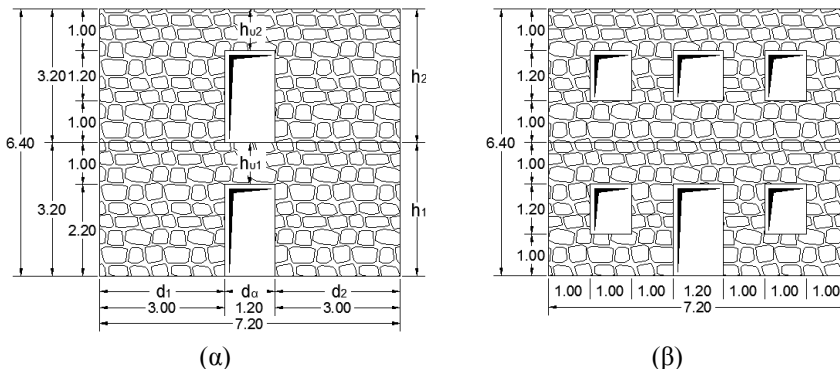
όπου:

- F_i το οριζόντιο φορτίο που ασκείται στο κέντρο βάρους του διαφράγματος της στάθμης i
- F_b η σεισμική τέμνουσα βάσης σύμφωνα με τη Σχέση (6.7)
- z_i, z_j τα ύψη των μαζών m_i, m_j στο επίπεδο εφαρμογής της σεισμικής δράσης (βλ. Σχήμα 6.11)
- m_i, m_j οι μάζες των ορόφων i και j , αντίστοιχα

Οι συμβολισμοί που παρουσιάστηκαν ανωτέρω αποσαφηνίζονται στο ακόλουθο παράδειγμα.

6.4.1 Παράδειγμα Εφαρμογής Ελαστικής Στατικής Ανάλυσης

Θεωρούμε τη διώροφη κατασκευή από λιθοδομή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.10. Ο φορέας είναι συμμετρικός ως προς τον άξονα 1-1. Τα δεδομένα της λιθοδομής είναι: θλιπτική αντοχή σχεδιασμού $f_d = 1.5 \text{ MPa}$, εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού $f_{td} = 0.040 \text{ MPa}$, μέτρο ελαστικότητας $E = 1306 \text{ MPa}$, μέτρο διάτμησης $G = 436 \text{ MPa}$, ειδικό βάρος $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, πάχος $t = 60 \text{ cm}$, μόνιμο φορτίο των πατωμάτων $g = 1.00 \text{ kN/m}^2$ και κινητό φορτίο $p = 2.00 \text{ kN/m}^2$. Τα σεισμικά δεδομένα της κατασκευής είναι: σεισμική ζώνη Z1, κατηγορία εδάφους B, κατηγορία σπουδαιότητας II με χρήση κατοικίας ($\psi_2 = 0.3$). Να θεωρηθεί ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς του κτηρίου είναι $q = 1.5$. Να προσομοιωθεί με τη μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου, να αναλυθεί με ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση και να πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι επάρκειας σε ορθή κάμψη και διάτμηση στη βάση των πεσσών του ισογείου του ενδιάμεσου τοίχου. Να θεωρηθεί ότι τα διαφράγματα της κατασκευής είναι ευπαράμορφα. Επίσης, για απλοποίηση να αγνοηθούν φορτία από εγκάρσιους τοίχους.



Κεφάλαιο 7

ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ

ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

7.1 Εισαγωγή – Βασικές έννοιες της ανελαστικής στατικής ανάλυσης

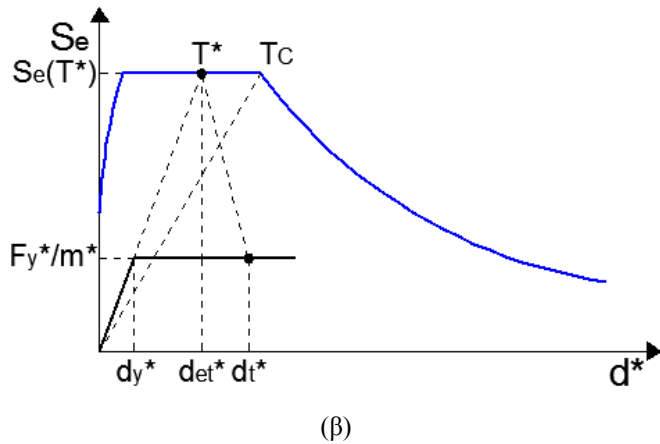
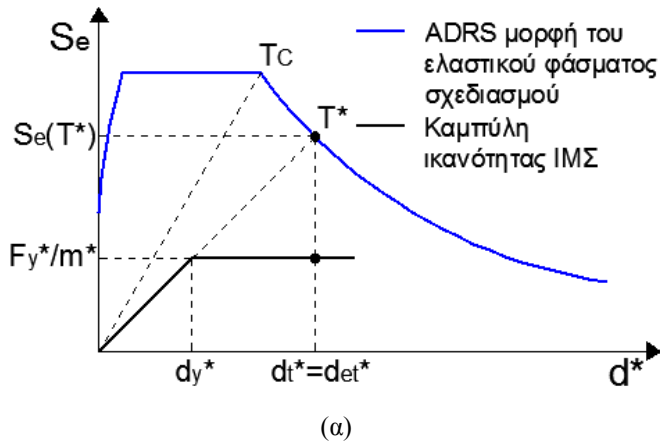
Η χρησιμότητα των ανελαστικών μεθόδων ανάλυσης παρουσιάστηκε στην Ενότητα 6.1. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτυχθεί η διαδικασία εφαρμογής της ανελαστικής στατικής ανάλυσης. Σωστή εφαρμογή της μεθόδου οδηγεί σε αξιόπιστα αποτελέσματα. Περισσότερο ακριβή αποτελέσματα αποκτώνται με τη μη γραμμική δυναμική ανάλυση, αλλά με δεδομένη την ποσότητα των υπολογισμών και τη δυσκολία ερμηνείας των αποτελεσμάτων, η εφαρμογή της είναι ιδιαίτερα δυσχερής. Στην πράξη η ανελαστική στατική ανάλυση εφαρμόζεται σε φορείς που έχουν προσομοιωθεί με γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία (βλ. Ενότητα 6.2.3: μέθοδος ισοδύναμου πλαισίου). Ωστόσο, είναι εφικτή η εφαρμογή της και σε φορείς που έχουν προσομοιωθεί με επιφανειακά ή χωρικά πεπερασμένα στοιχεία.

Με χρήση της ανελαστικής στατικής ανάλυσης σε υφιστάμενες κατασκευές είναι δυνατόν να:

- (i) αποτιμηθεί η σεισμική τους επάρκεια, για επιλεγμένη στάθμη επιτελεστικότητας,
- (ii) εντοπιστούν αδυναμίες του δομικού συστήματος,
- (iii) υπολογιστεί, με μεγαλύτερη αξιοπιστία, η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γραμμικές αναλύσεις.

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται αρχικά τρεις σημαντικές έννοιες που σχετίζονται με την εφαρμογή της ανελαστικής στατικής ανάλυσης: η *ικανότητα*, η *απαιτηση σε μετακίνηση* και η *συμπεριφορά* της κατασκευής.

(α) Ικανότητα. Η συνολική ικανότητα της κατασκευής να αναλάβει σεισμικά φορτία καθορίζεται από την επιμέρους ικανότητα των δομικών στοιχείων που συνθέτουν το φέροντα οργανισμό. Προκειμένου να προσδιοριστεί η ικανότητα, πέρα από το όριο της ελαστικής συμπεριφοράς, απαιτείται κάποιας μορφής ανελαστική ανάλυση, όπως η μέθοδος σταδιακού



Σχήμα 7.15.: Προσδιορισμός της ισοδύναμης μετακίνησης του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος (α) για $T^* > T_c$ και (β) για $T^* < T_c$.

Η διγραμμική καμπύλη και η στοχευόμενη μετακίνηση για το φορέα του Παραδείγματος 7.2.3 παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.16. Από το Σχήμα 7.11 για $\Gamma = 1.346$ και με χρήση της Σχέσης (7.15) προκύπτει ότι η μετακίνηση αστοχίας είναι $d_u^* = 27.23 \text{ mm}$ και η μετακίνηση διαρροής είναι $d_y^* = 4.64 \text{ mm}$. Η στοχευόμενη μετακίνηση $d_t^* = 16.23 \text{ mm}$ έχει προκύψει με εφαρμογή της Σχέσης (7.23). Προκύπτει $d_t^* = 16.23 \text{ mm} < d_u^* = 27.23 \text{ mm}$.

Κεφάλαιο 8

ΤΟΠΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ

8.1 Τοπικοί μηχανισμοί εκτός επιπέδου

Μετά από σεισμό, σε πολλές κατασκευές από τοιχοποιία παρατηρείται ότι οι αστοχίες και οι καταρρεύσεις οφείλονται στην ανεπαρκή σύνδεση μεταξύ των στοιχείων του φορέα, όπως για παράδειγμα μεταξύ των τοίχων ή μεταξύ των τοίχων και των πατωμάτων, γεγονός που οδηγεί στην ανάπτυξη τοπικών μηχανισμών αστοχίας εκτός επιπέδου (Σχήματα 8.1, 8.2 και 8.3γ). Συνεπώς, πληροφορίες για κατασκευαστικές λεπτομέρειες, όπως η μονολιθικότητα της σύνδεσης μεταξύ των τοίχων, η παρουσία ελκυστήρων ή διαζωμάτων, η σύνδεση τοίχων με οριζόντια διαφράγματα και οι συνδέσεις με παρακείμενα κτήρια, είναι ιδιαίτερα σημαντικές.



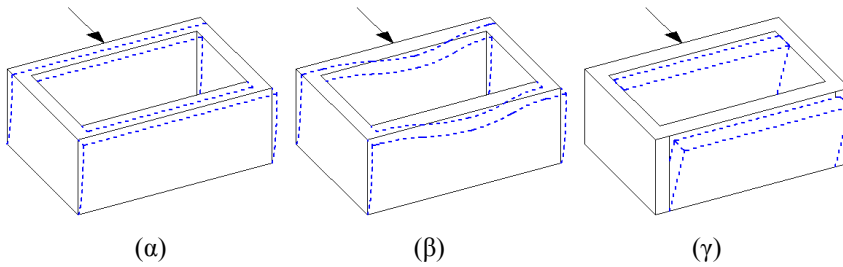
Σχήμα 8.1.: Αποκόλληση και πτώση τυμπάνου αετώματος λόγω σεισμού στην είσοδο δημοτικού σχολείου.



Σχήμα 8.2.: Αποκόλληση τοίχων και γωνιών.

Η ανάλυση μιας κατασκευής “ως σύνολο” βασίζεται στη θεώρηση ότι οι συνδέσεις μεταξύ των φερόντων στοιχείων δεν αστοχούν ώστε να αποφεύγεται η ανάπτυξη τοπικών μηχανισμών. Οι αστοχίες σε μια κατασκευή με ανεπαρκείς συνδέσεις ελέγχονται με αναλύσεις που εξετάζουν τοπικούς μηχανισμούς. Αυτό το αντικείμενο αναπτύσσεται διεξοδικά στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου. Συνεπώς, για να ελεγχθεί η συμπεριφορά μιας κατασκευής είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν αναλύσεις και έλεγχοι θεωρώντας την κατασκευή “ως σύνολο”, αλλά και ως ένα φορέα ο οποίος αποτελείται από επιμέρους άκαμπτα στοιχεία, τα οποία ονομάζονται ακολούθως *μακροστοιχεία* και τα οποία αστοχούν με την ανάπτυξη ενός ή περισσότερων μηχανισμών. Αυτή η προσέγγιση προϋποθέτει ότι η τοιχοποιία έχει επαρκή αντοχή για το σχηματισμό άκαμπτων μακροστοιχείων, δηλαδή δε θρυμματίζεται στα αρχικά συστατικά της (μεμονωμένοι λίθοι και τεμάχια κονιάματος).

Στις δύο πρώτες περιπτώσεις των Σχημάτων 8.3(α) και (β), ο φορέας συμπεριφέρεται “ως σύνολο”, υπό την προϋπόθεση ότι η τοιχοποιία είναι καλοδομημένη και υπάρχει επαρκής σύνδεση μεταξύ των εγκάρσιων τοίχων. Αντίθετα, η απουσία απαραμόρφωτων διαφραγμάτων ή διαζωμάτων, καθώς και η ανεπαρκής σύνδεση μεταξύ των εγκάρσιων τοίχων οδηγεί στην ανεξάρτητη μετακίνηση των τοίχων (μακροστοιχείων) και στην ανάπτυξη τοπικού μηχανισμού ανατροπής υπό σεισμικό φορτίο (Σχήμα 8.3γ).



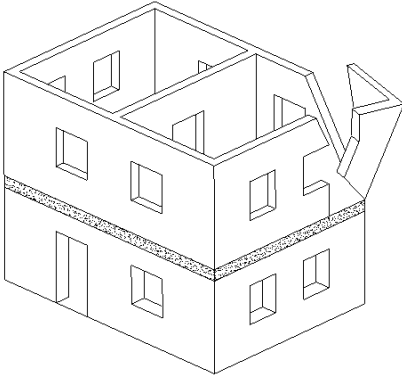
Σχήμα 8.3.: Συμπεριφορά σε σεισμική φόρτιση απλής κατασκευής με: (α) απαραμόρφωτο διάφραγμα, (β) διάζωμα και εύκαμπτο διάφραγμα, (γ) εύκαμπτο διάφραγμα και ανεπαρκή σύνδεση εγκάρσιων τοίχων.

Βασικό ζητούμενο της διαδικασίας για τον έλεγχο της ανάπτυξης τοπικού μηχανισμού αστοχίας αποτελεί ο υπολογισμός του συντελεστή α_0 .

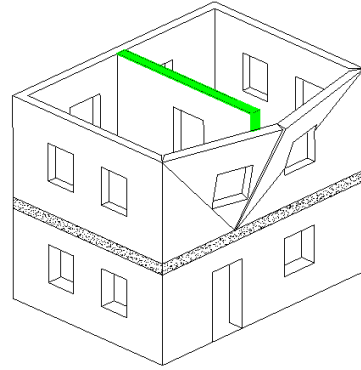
Ο υπολογισμός του α_0 είναι ιδιαίτερα εύκολος για κατασκευές με απλή γεωμετρία. Για πιο σύνθετα τμήματα ή συνδεδεμένα μεταξύ τους τμήματα, εφαρμόζεται η μέθοδος της γραμμικής κινηματικής ανάλυσης η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά στην Ενότητα 8.2. Με τη γραμμική κινηματική ανάλυση υπολογίζεται η οριζόντια σεισμική δύναμη που προκαλεί την έναρξη της ανάπτυξης ενός κινηματικού μηχανισμού και τον αντίστοιχο α_0 . Ακολούθως στην Ενότητα 8.5 παρουσιάζεται η χρησιμότητα και η διαδικασία εφαρμογής της μη γραμμικής κινηματικής ανάλυσης. Η μέθοδος αντιστοιχεί στην ανελαστική στατική ανάλυση που εξετάστηκε στο Κεφάλαιο 7 και εφαρμόζεται για τον έλεγχο της επάρκειας του μηχανισμού για συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας (βλ. Παράρτημα ΙΙΙ). Με τη γραμμική και τη μη γραμμική κινηματική ανάλυση εξετάζονται οι οριακές καταστάσεις αστοχίας.

Βασικές παράμετροι οι οποίες καθορίζουν την ανάπτυξη ενός μηχανισμού είναι:

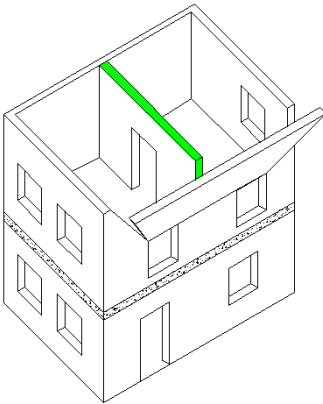
- (i) Η σύνδεση μεταξύ των εγκάρσιων τοίχων.
- (ii) Η σύνδεση μεταξύ των κατακόρυφων τοίχων με τα οριζόντια στοιχεία (πατώματα), καθώς και με τα κεκλιμένα (στέγες).
- (iii) Η ύπαρξη διαζωμάτων, η δυσκαμψία και η αντοχή τους.
- (iv) Η ύπαρξη ελκυστήρων, η δυσκαμψία και η αντοχή τους.
- (v) Η δυσκαμψία και η αντοχή χωρικών στοιχείων, όπως πατωμάτων και στεγών.
- (vi) Η ύπαρξη στοιχείων που προκαλούν οριζόντιες ωθήσεις (τόξα, στέγες).
- (vii) Η ύπαρξη αντηρίδων, η δυσκαμψία και η αντοχή τους.
- (viii) Η επαφή και σύνδεση με όμορα κτήρια.



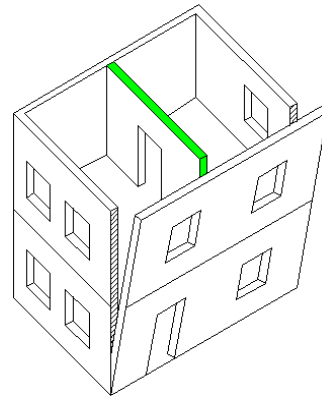
Μηχανισμός 7



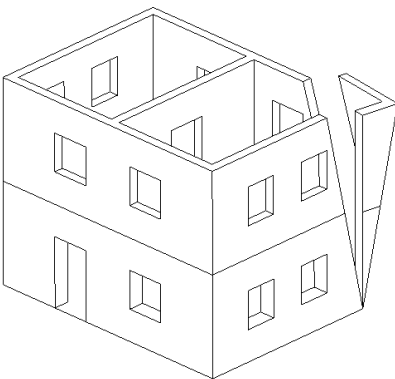
Μηχανισμός 8



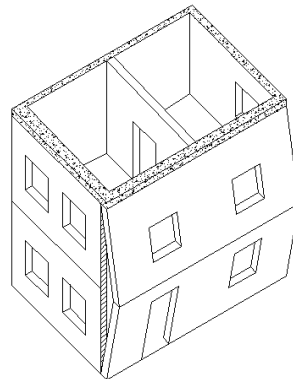
Μηχανισμός 9



Μηχανισμός 10



Μηχανισμός 11



Μηχανισμός 12

Κεφάλαιο 9

ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

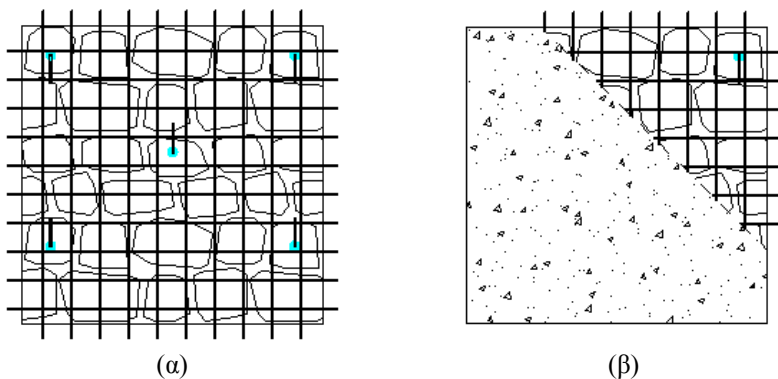
9.1 Στόχοι των επεμβάσεων – Διαδικασία εφαρμογής

Η βελτίωση της συμπεριφοράς ενός κτηρίου μπορεί να επιτευχθεί υιοθετώντας διαφορετικές στρατηγικές επεμβάσεων διαχειριστικού και τεχνικού χαρακτήρα¹. Ενδεικτικά για τις στρατηγικές διαχειριστικού χαρακτήρα αναφέρονται: (i) περιορισμός ή αλλαγή της χρήσης του κτηρίου, (ii) καθαίρεση τμημάτων του δομήματος (π.χ. ορόφων) και (iii) μονολιθική μεταφορά του δομήματος σε άλλη θέση. Στις σημαντικότερες στρατηγικές τεχνικού χαρακτήρα περιλαμβάνονται: (i) μείωση μαζών ή/και φορτίων, (ii) αύξηση της φέρουσας ικανότητας της τοιχοποιίας, (iii) αύξηση της δυσκαμψίας του κτηρίου, (iv) αύξηση της ικανότητας της μετελαστικής παραμόρφωσης φερόντων στοιχείων, (v) διόρθωση κρίσιμων ανεπαρκειών και μη κανονικοτήτων και (vi) μείωση των σεισμικών απαιτήσεων.

Η επιλογή των επεμβάσεων προκύπτει μετά από έλεγχο του υφιστάμενου φορέα, όπως αναπτύχθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια. Για σημαντικά έργα ενδέχεται να απαιτείται σημαντική αξιολόγηση για κάθε τύπο επέμβασης (π.χ. διαφραγματοποίηση, ενίσχυση με μανδύες, ομογενοποίηση), ώστε να ελέγχεται η αποτελεσματικότητά της πριν από την τελική επιλογή των επεμβάσεων που θα εφαρμοστούν στο φορέα.

Στον Πίνακα 9.1 παρουσιάζονται οι βασικές αρχές ιεράρχησης της εφαρμογής των επεμβάσεων σε ένα υφιστάμενο κτήριο ανάλογα με την κατάστασή του, την ποιότητα δόμησης, τις λεπτομέρειες σύνδεσης μεταξύ των κατακόρυφων και των οριζόντιων στοιχείων, τη δυσκαμψία των

¹ Μια εκτεταμένη περιγραφή των βασικών αρχών ενίσχυσης των κατασκευών περιγράφεται στο βιβλίο: Σπυράκος, Κ. (2004), *Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία*, Εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα, και σε επικαιροποιημένη έκδοση του βιβλίου, καθώς και στο Κεφάλαιο 10 του παρόντος που αφορά τις διατηρητέες κατασκευές και τα μνημεία.



Σχήμα 9.21.: Ενίσχυση τοιχοποιίας με οπλισμένο επίχρισμα: (α) Δ' Φάση και (β) Ε' Φάση.

- *Ε' Φάση: Εφαρμογή επιχρίσματος.* Το πάχος του επιχρίσματος, συνήθως με βάση το τσιμέντο, είναι της τάξης των 3-6 cm. Για τέτοια πάχη είναι δυνατόν να τοποθετηθεί το υλικό του επιχρίσματος σε δύο στρώσεις. Για την κατασκευή των στρώσεων δεν απαιτείται ξυλότυπος (συνήθως εκτοξευόμενο τσιμεντοκονίαμα). Επισημαίνεται ότι πριν την τοποθέτηση του επιχρίσματος ο τοίχος πρέπει να υγρανθεί μέχρι κορεσμού, ώστε να μην απορροφηθεί νερό κατά την ωρίμανση του επιχρίσματος. Εάν το κονίαμα είναι συρρικνούμενο, θα πρέπει ο τοίχος να διαβρέχεται πλήρως σε κατάσταση κορεσμού για αρκετές μέρες μετά την εφαρμογή του επιχρίσματος, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συρρίκνωσή του (Σχήμα 9.21β).

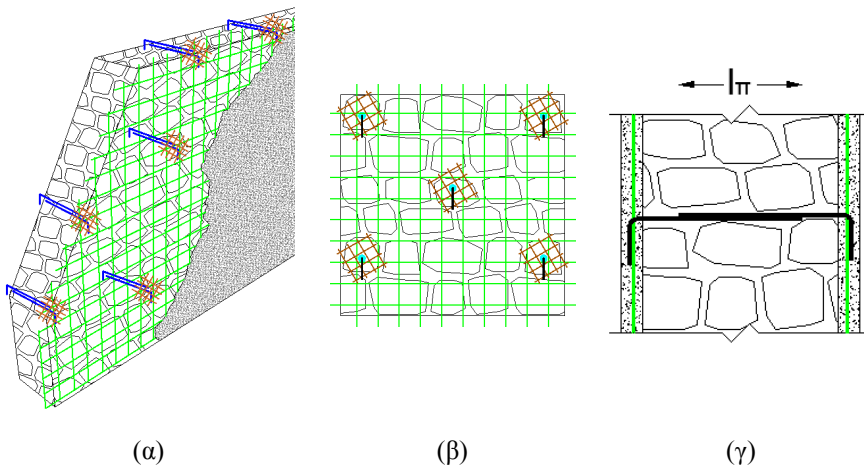


Σχήμα 9.22: Ενίσχυση τοιχοποιίας με οπλισμένο επίχρισμα.

Η τεχνική ενίσχυσης χαρακτηρίζεται από ορισμένα πλεονεκτήματα, αλλά και μειονεκτήματα. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι: (i) βελτιώνει τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας, (ii) εφαρμόζεται

όπου:

- $f_{\tau,\varepsilon}$ η εφελκυστική αντοχή του επιχρίσματος
- t_ε το πάχος του επιχρίσματος
- t_τ το πάχος του τοίχου
- β συντελεστής ο οποίος λαμβάνει τιμές ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας και του επιχρίσματος. Για τις συνηθείς περιπτώσεις των: (α) μονόστρωτων ή δίστρωτων τοιχοποιιών με διάτονες λαμβάνεται για: (i) οπτόπλινθους $\beta = 1.30$ και (ii) λίθους $\beta = 1.50$ και (β) τρίστρωτων ή δίστρωτων τοιχοποιιών χωρίς διάτονες λαμβάνεται $\beta = 1.00$.



Σχήμα 9.33.: (α) Ενίσχυση τοίχου με ΙΟΔ. Αγκύρωση ΙΟΔ με χρήση βλήτρων σχήματος “L” και ενισχυτικό πλέγμα: (β) όψη και (γ) τομή.

Η διατμητική αντοχή f_{v0} του τοίχου απουσία κατακόρυφου φορτίου με οπλισμένο επίχρισμα υπολογίζεται από τη σχέση

$$f_{v0} = \frac{f_{t(R)}}{1.5} \quad (9.29)$$

Ακολούθως, η αυξημένη αντοχή σε ολίσθηση κατά μήκος οριζόντιων αρμών υπολογίζεται από τη Σχέση (5.20) και σε διαγώνια ρηγμάτωση από τη Σχέση (5.35). Η θλιπτική αντοχή θεωρείται ανεπηρέαστη από την εφαρμογή οπλισμένου επιχρίσματος (ΙΟΔ), συνεπώς για τον υπολογισμό της

Θεωρώντας ότι αναπτύσσεται ο Μηχανισμός I, με περιστροφή περί τον άξονα EZ (βλ. Σχήμα 9.56) η ροπή σταθεροποίησης $M_{ευσ}$ παρουσία ελκυστήρων με ικανότητα παραλαβής συνολικής δύναμης F υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$M_{ευσ} = W_2 \cdot \frac{t_2}{2} + F_k \cdot \frac{t_2}{2} + F \cdot h' \quad (9.78)$$

όπου h' το ύψος στο οποίο εφαρμόζεται η δύναμη του ελκυστήρα μετρημένο από τη στάθμη του άξονα περιστροφής EZ. Σε αυτό το παράδειγμα θεωρείται ότι ο ελκυστήρας τοποθετείται σε απόσταση 20 cm από την άνω παρειά του τοίχου, δηλαδή $h' = h_2 - 0.20 = 3.20 - 0.20 = 3.00$ m.

Η συνισταμένη των ροπών περί τον EZ, οι οποίες προκαλούν την ανατροπή του μακροστοιχείου M_{av} είναι

$$M_{av} = (F_0 + a_0 \cdot F_k) \cdot h_2 + a_0 \cdot W_2 \cdot \frac{h_2}{2} \quad (9.79)$$

Εξισώνοντας τις ροπές ανατροπής και ευστάθειας ($M_{ευσ} = M_{av}$) και αντικαθιστώντας $a_0 = 0.431$, προκύπτει η δράση σχεδιασμού F του ελκυστήρα

$$F = \frac{h_2 \cdot \left[F_0 + a_0 \cdot \left(F_k + \frac{W_2}{2} \right) \right] - \frac{t_2}{2} \cdot (W_2 + F_k)}{2 \cdot h'} =$$

$$\frac{3.20 \cdot \left[10 + 0.431 \cdot \left(18.18 + \frac{184.32}{2} \right) \right] - \frac{0.40}{2} \cdot (184.32 + 18.18)}{3.00} =$$

$$= 47.89 \text{ kN} \quad (9.80)$$

9.4.2.5 Παράδειγμα Σχεδιασμού Ελκυστήρα

Σε κατασκευή από φέρουσα τοιχοποιία από την ανάλυση προέκυψε η επιλογή για ενίσχυση με ελκυστήρες. Η μέγιστη εφελκυστική δύναμη που καλείται να αναλάβει ο ελκυστήρας είναι $F = 60$ kN για στάθμη επιτελεστικότητας SD. Για τα ακόλουθα δεδομένα να σχεδιαστεί ο ελκυστήρας με κυκλική διατομή ράβδου και για τετραγωνική πλάκα αγκύρωσης με νευρώσεις. Να θεωρηθεί ότι η τοιχοποιία ανήκει στην κατηγορία A.

Κεφάλαιο 10

ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΑ ΚΤΗΡΙΑ

– ΜΝΗΜΕΙΑ

10.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται βασικές έννοιες, αρχές και διαδικασίες επεμβάσεων σε μνημεία και διατηρητέα κτήρια. Για αυτό το ιδιαίτερα σημαντικό για τη χώρα μας θέμα υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία στην οποία μπορεί κανείς να ανατρέξει. *Διεθνείς συμβάσεις* και *Χάρτες* που αφορούν την προστασία των μνημείων, ορίζουν το θεσμικό πλαίσιο με βάση το οποίο προστατεύονται και αποκαθίστανται μνημεία, διατηρητέα κτήρια και σύνολα που ξεπερνούν τον τοπικό, εθνικό χαρακτήρα και συνιστούν παγκόσμια πολιτιστική κληρονομιά. Στο Παράρτημα VII γίνεται σύντομη αναφορά στην ελληνική νομοθεσία σχετικά με τα μνημεία και τα διατηρητέα κτήρια, όπου καθορίζεται πότε ένα κτήριο χαρακτηρίζεται μνημείο ή διατηρητέο.

Οι ακόλουθοι βασικοί όροι, οι οποίοι παρατίθενται αλφαβητικά, απαντώνται στις αρχές που διέπουν την προστασία τόσο συμβατικών όσο και διατηρητέων κτηρίων και μνημείων:

Αναβίωση: Η διαδικασία επαναφοράς ενός κτηρίου στην αρχική του μορφή ή χρήση ή σε μια λειτουργική μορφή με την πραγματοποίηση κατάλληλων επεμβάσεων.

Ανακατασκευή: Ο όρος περιλαμβάνει τις εργασίες υλοποίησης ενός καινούργιου αντικειμένου, δομικού μέλους ή ολόκληρου κτηρίου με νέα κατασκευή ακολουθώντας την ακριβή μορφή και τις λεπτομέρειες ενός μη υπάρχοντος πλέον αντικειμένου, μέλους ή κτηρίου. Στις εργασίες ανακατασκευής ενός κτηρίου τα νέα δομικά υλικά συνήθως υπερβαίνουν κατά πολύ σε ποσότητα τα υφιστάμενα. Σε ορισμένες περιπτώσεις το νέο κτήριο ή μέλος παρουσιάζει διαφοροποιήσεις σε σχέση με το πρωτότυπό του και σε κάθε περίπτωση οφείλει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των σύγχρονων κανονιστικών διατάξεων.

Αναστήλωση: Ο όρος περιλαμβάνει τις εργασίες για την ακριβή αποκατάσταση της μορφής, της δομής και των λεπτομερειών ενός κτηρίου, συνήθως όπως εμφανίστηκε σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο κατά το παρελθόν. Η αναστήλωση μπορεί να απαιτήσει την απομάκρυνση τυχόν

Επιπρόσθετα, σημαντικές παράμετροι είναι το κόστος υλοποίησης των επεμβάσεων και η ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού για την πραγματοποίησή τους. Τα δεδομένα αυτά δεν είναι κοινά για το σύνολο των μνημείων και ως εκ τούτου, σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιαιτερότητες.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, σύμφωνα με το Χάρτη της Βενετίας, η διαδικασία αποκατάστασης έχει στόχο θεσμικά να διατηρήσει τις αξίες ενός μνημείου. Ως εκ τούτου κάθε επέμβαση που θα κριθεί απαραίτητη θα πρέπει να διακρίνεται από την αρχική σύνθεση και να φέρει τη σφραγίδα της εποχής της.

10.7 Οι αρχές της αναστρεψιμότητας και της συμβατότητας

Αναστρεψιμότητα

Η αρχή της αναστρεψιμότητας των επεμβάσεων εξασφαλίζει ότι οι επεμβάσεις θα είναι δυνατόν να αφαιρεθούν ή να αντικατασταθούν με νέες, αν και εφόσον κάτι τέτοιο επιβληθεί από νέα στοιχεία που θα προκύψουν από περαιτέρω αρχαιολογική, αρχιτεκτονική ή δομητική τεκμηρίωση ή εφόσον θεωρηθεί ότι οφείλουν να υιοθετηθούν νέοι τρόποι επέμβασης με υλικά προηγμένης τεχνολογίας. Επισημαίνεται ότι η αρχή της αναστρεψιμότητας θα πρέπει να συνδυάζεται με την αρχή της συμβατότητας. Η αρχή της αναστρεψιμότητας έχει λοιπόν ως στόχο την εξασφάλιση της δυνατότητας απομάκρυνσης και αντικατάστασης μίας επέμβασης χωρίς την πρόκληση “υπερβολικών” βλαβών.

Όταν πρόκειται για τη χρήση νέων υλικών και καινοτόμων τεχνικών θα πρέπει να επιλέγεται μία όσο το δυνατόν λιγότερο παρεμβατική επέμβαση. Η ανθεκτικότητα στο χρόνο και η συμβατότητα στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να τεκμηριώνονται επαρκώς. Αντίθετα όταν στην επέμβαση πρόκειται να χρησιμοποιηθούν συμβατικά υλικά και τεχνικές των οποίων η δομητική συγγένεια και συνεργασία με τα δομικά μέλη του υφιστάμενου φορέα έχουν εξακριβωθεί, η αναστρεψιμότητα θεωρείται ότι εν γένει εξασφαλίζεται σε συνδυασμό με την αρχή της συμβατότητας.

Συμβατότητα

Η αρχή της συμβατότητας οφείλει να χαρακτηρίζει τα νέα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για τις επεμβάσεις σε ένα μνημείο, την επέμβαση στο σύνολό της, καθώς και τις νέες χρήσεις που θα φιλοξενηθούν στο κτήριο κατά την επανάχρηση.

Συμβατότητα Υλικών: Η έννοια της συμβατότητας στην επιλογή των υλικών επέμβασης συνοψίζεται στην ακόλουθη αρχή η οποία αναφέρεται εμμέσως ή αμέσως στις σχετικές Διεθνείς Συμβάσεις και Διακηρύξεις:

Κεφάλαιο 11

ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

11.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται: (α) δομικά στοιχεία, όπως είναι οι αψίδες, οι θόλοι και οι τρούλοι, τα οποία συναντώνται σε πλήθος κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, επηρεάζοντας σημαντικά τη συμπεριφορά τους σε στατικά και σεισμικά φορτία, (β) σύντομη περιγραφή της εκκλησιαστικής, μνημειακής αρχιτεκτονικής στη χώρα μας και (γ) η σεισμική συμπεριφορά εκκλησιαστικών κτηρίων, μέθοδοι επεμβάσεων και παραδείγματα.

11.2 Αψίδες και τόξα

Οι αψίδες, οι θόλοι και οι τρούλοι χαρακτηρίζουν συνήθως μνημειακές κατασκευές (εκκλησίες, μοναστήρια, κάστρα), συναντώνται όμως και σε κτηριακές κατασκευές, όπως στο σύνολο των κτηρίων που ανήκουν στην κατηγορία I, όπως ορίστηκε στο Κεφάλαιο 4.

Αποτελούν επίπεδους φορείς με κύριο χαρακτηριστικό τη μεταφορά κατακόρυφων φορτίων με την ανάπτυξη εσωτερικών θλιπτικών δυνάμεων. Όπως αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4 για τους φορείς που ανήκουν στην κατηγορία I, λόγω της αλληλουχίας των τόξων που γεφυρώνουν τα ενδιάμεσα φατώματα, οι οριζόντιες ωθήσεις, λόγω κατακόρυφων φορτίων, τείνουν να αλληλοαναιρούνται (βλ. Σχήμα 4.1) με εξαίρεση τα ακραία ανοίγματα, όπου η οριζόντια ώθηση πρέπει να αναληφθεί αποκλειστικά από τον ακραίο πεσσό και ενδεχομένως σε συνδυασμό με κάποιον ελκυστήρα ή αντηρίδα. Ο συνδυασμός των οριζόντιων ωθήσεων με σεισμικά φορτία επιδεινώνει τη φόρτιση στους ακραίους πεσσούς (βλ. Σχήμα 4.2).

Η ακόλουθη σχέση υπολογίζει την οριζόντια δράση H στην ακραία στήριξη του τόξου (Σχήμα 11.1α) για το συνδυασμό ενός ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου και ενός συγκεντρωμένου φορτίου F . Αν και προκύπτει με θεώρηση ανάπτυξης τριαρθρωτού τόξου και ελαστικής συμπεριφοράς, υπολογίζει με ικανοποιητική ακρίβεια την αντίδραση H και καταδεικνύει την επιρροή της γεωμετρίας του τόξου (ιδιαίτερα του ανοίγματος l και του βέλους f) στο μέγεθος της αντίδρασης.

των μηχανισμών που θα πρέπει να εξεταστούν εξαρτάται από την υφιστάμενη δομική κατάσταση του φορέα, τις βλάβες και το δίκτυο ρωγμών που παρατηρούνται, τα όρια μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστικών φάσεων, καθώς και το βαθμό σύνδεσης των φερόντων στοιχείων μεταξύ τους.

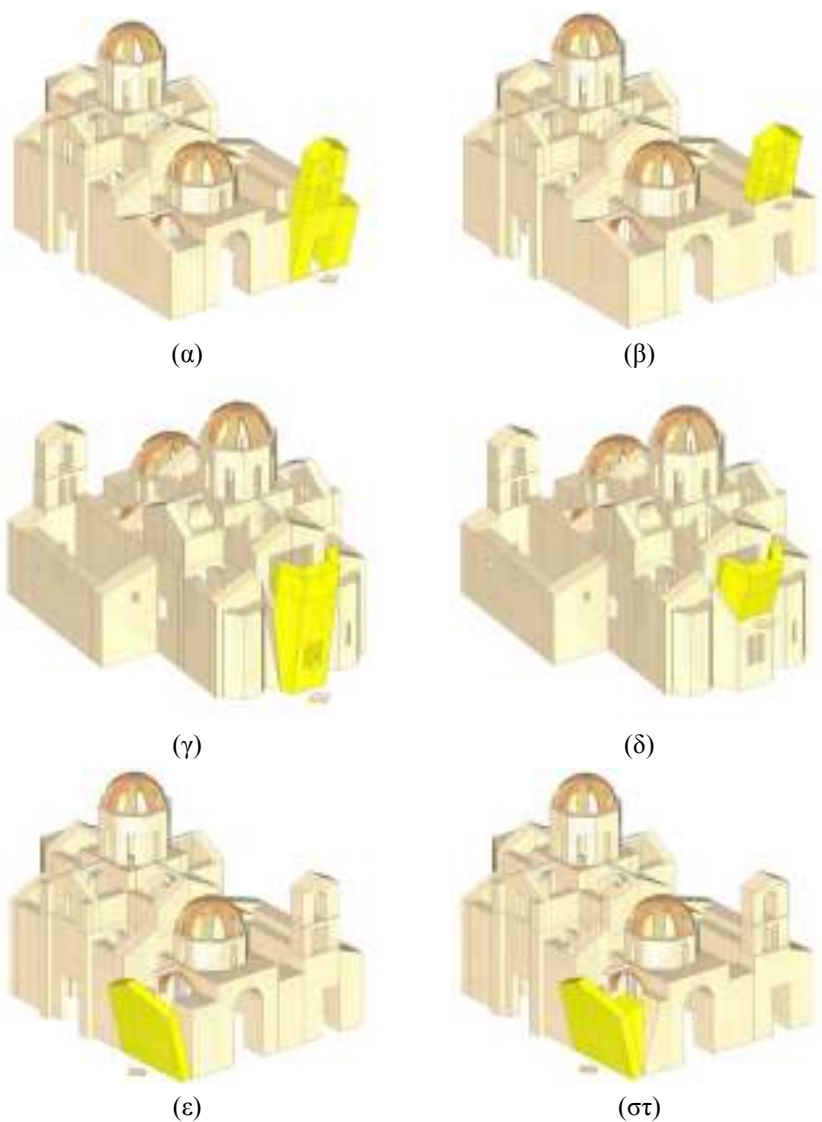
Στο Σχήμα 11.37 παρουσιάζονται ενδεχόμενοι τοπικοί μηχανισμοί και τα αντίστοιχα μακροστοιχεία (με κίτρινο) σε I.N. με σύνθετη γεωμετρία. Ο εγγεγραμμένος σταυροειδής του Σχήματος 11.37 συνδέεται με παρεκκλήσιο, πάνω στο οποίο υπάρχει κωδωνοστάσιο. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων για τους διαφορετικούς τοπικούς μηχανισμούς, οι οποίοι προέκυψαν από έλεγχο του φορέα, συνοψίζονται στον Πίνακα 11.1.

Πίνακας 11.1.: Συντελεστές α_0 για τοπικούς μηχανισμούς.

<i>Μακροστοιχείο</i>	<i>Συντελεστής α_0</i>
M01 - Ανατροπή τμήματος της όψης με το κωδωνοστάσιο	0.128
M02 - Ανατροπή του κωδωνοστασίου	0.234
M03 - Ανατροπή της κεντρικής κόγχης	0.111
M04 - Ανατροπή τμήματος της κεντρικής κόγχης	0.307
M05 - Ανατροπή τοίχου στη βόρεια όψη	0.120
M06 - Ανατροπή τοίχου στη βόρεια όψη και τμήματος τοίχου της δυτικής όψης	0.173

Με βάση τα αποτελέσματα των κινηματικών αναλύσεων του Πίνακα 11.1, ο μηχανισμός με το μικρότερο συντελεστή α_0 είναι ο M03, ο οποίος συνιστά ανατροπή της κεντρικής κόγχης του I.N. Ακολούθως παρουσιάζεται ο έλεγχος ικανοποίησης των ελέγχων ασφαλείας για όλες τις στάθμες επιτελεστικότητας για τον τοπικό μηχανισμό M03 (βλ. Παράρτημα III). Θεωρείται ότι ο τοίχος είναι άκαμπτος, η εδαφική επιτάχυνση είναι $a_{gR} = 0.16g$, ο συντελεστής σπουδαιότητας $\gamma_I = 1.4$ (κατηγορία σπουδαιότητας Σ4), ο συντελεστής εδάφους $S = 1.0$ (κατηγορία εδάφους Α) και ο συντελεστής συμπεριφοράς $q_{LM} = 2.00$. Οι συντελεστές ασφαλείας γ_{sd} και γ_{rd} , καθώς και η απόσβεση ξ , λαμβάνονται σύμφωνα με το Παράδειγμα 8.5.4.

Αν θεωρηθεί ότι η μοναδική δύναμη που ενεργεί στο μηχανισμό M03 είναι το ίδιο βάρος του μακροστοιχείου, και ότι στην κορυφή του μακροστοιχείου δεν ασκούνται άλλα μόνιμα ή κινητά φορτία, τότε σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην Ενότητα 8.5.4 για το συγκεκριμένο μηχανισμό ισχύουν $\Gamma = 1.0$, $e^* = 1.0$, καθώς και η Σχέση (8.73).



Σχήμα 11.37.: Ενδεικτικοί τοπικοί μηχανισμοί: (α) M01, (β) M02, (γ) M03, (δ) M04, (ε) M05, (στ) M06.

Στάθμη επιτελεστικότητας DL

Για τη στάθμη επιτελεστικότητας DL ο έλεγχος πραγματοποιείται με συνδυασμό των Σχέσεων (III.3) και (8.73) για $a(d_k = d_{DL} = 0) = a_0$ (βλ. Σχήμα 8.27 και Ενότητα 8.5.3, Παρατήρηση I).

Κεφάλαιο 12

ΣΥΝΕΧΗΣ ΔΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΕ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ

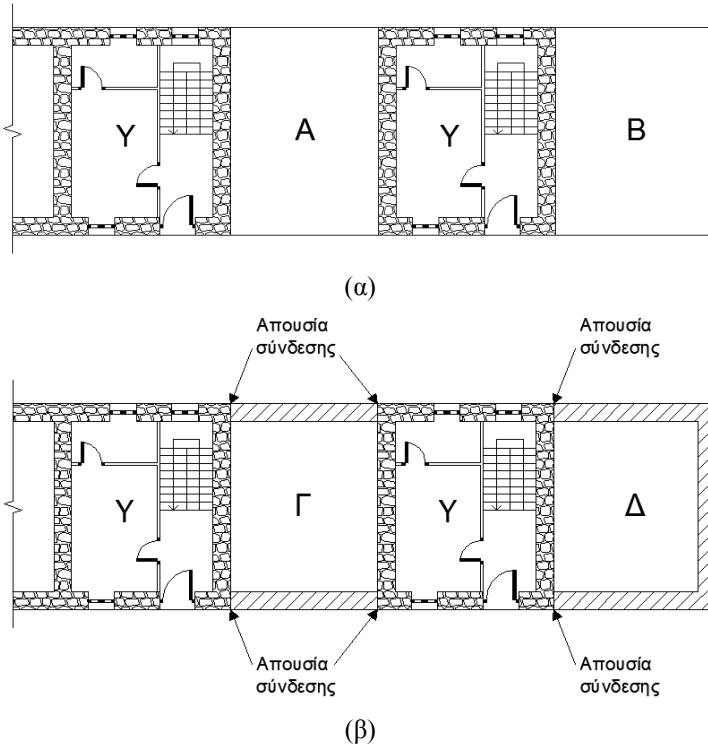
12.1 Εξέλιξη των ιστορικών κέντρων

Ιστορικά κέντρα συναντώνται σε πλήθος μικρών αλλά και μεγάλων πόλεων στη χώρα μας, όπως στην Κέρκυρα (Σχήμα 12.1), στη Ρόδο, στο Ναύπλιο, στα Χανιά, στην Ερμούπολη, στην Ξάνθη. Χαρακτηρίζονται από αλληλουχία κτηρίων κατά μήκος των δρόμων τα οποία τις περισσότερες φορές δε διακόπτονται από αρμό καθ' ύψος. Κατά κανόνα τα κτήρια διαφέρουν ως προς το ύψος ορόφου, το συνολικό ύψος, την κάτοψη, τη μορφολογία, τα υλικά, αλλά και τη χρονολογία κατασκευής. Συνήθως είναι κατασκευασμένα χωρίς ένα συγκεκριμένο πολεοδομικό σχεδιασμό σε βάθος πολλών δεκαετιών ή ακόμη και αιώνων. Με αυτή τη δόμηση έχουν κατασκευαστεί ολόκληρα οικοδομικά τετράγωνα, παρουσιάζοντας μία πολεοδομικά σύνθετη μορφή.



Σχήμα 12.1.: Συνεχής δόμηση στο ιστορικό κέντρο της Κέρκυρας.

Η παρουσία προσθηκών και οι τροποποιήσεις στα υφιστάμενα κτήρια μπορούν να αυξήσουν την τρωτότητά τους και να ενεργοποιήσουν μηχανισμούς αστοχίας σε περίπτωση σεισμού. Συνεπώς, η διακρίβωση των διαφορετικών κατασκευαστικών φάσεων και των τροποποιήσεων του δομικού συνόλου αποτελεί ένα υποχρεωτικό βήμα για την ορθή ταυτοποίηση του φέροντος οργανισμού και τη μελέτη της συμπεριφοράς του σε σεισμό.



Σχήμα 12.4.: (α) Αρχική κάτοψη: Το Υ υποδηλώνει υφιστάμενη κατασκευή, ενώ τα Α και Β κενούς οικοδομικούς χώρους. (β) Κάτοψη μετά την προσθήκη: Τα Γ και Δ υποδηλώνουν τα κτήρια που κατασκευάστηκαν στους χώρους Α και Β.

Επισημαίνεται, επίσης, ότι η δυσκαμψία των κτηρίων σε συνεχή δόμηση δύναται να είναι εξαιρετικά ανομοιογενής, γεγονός που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά τους σε σεισμικά φορτία. Ένα κτηριακό συγκρότημα σε ιστορικό κέντρο (Σχήμα 12.5) δε διαθέτει, συνήθως, ανοίγματα κατά μήκος των “τυφλών διαχωριστικών” τοίχων (ΤΔ) που είναι κοινοί με τα γειτονικά κτήρια (μπλε χρώμα). Επομένως, οι τοίχοι (ΤΔ) έχουν -κατά κανόνα- αυξημένη δυσκαμψία. Αντίθετα, οι εσωτερικοί διαχωριστικοί τοίχοι (ΔΤ) (κίτρινο χρώμα), καθώς και οι περιμετρικοί τοίχοι (ΠΤ) του κτηριακού

1. *Κατασκευαστικές φάσεις:* Διερευνάται η ύπαρξη κατασκευαστικών φάσεων ώστε να προσδιοριστούν θέσεις ασυνέχειας που ορίζουν τμήματα με ανεξάρτητη δομική συμπεριφορά.
2. *Συνδέσεις* μεταξύ οριζόντιων και κατακόρυφων στοιχείων.
3. *Ομοιομορφία της κάτοψης καθ' ύψος:* Εξετάζεται η διατήρηση ή μη της κάτοψης καθ' ύψος.
4. *Ενδεχόμενες επεμβάσεις:* Ανίχνευση των μεταβολών του αρχικού φέροντος οργανισμού, όπως η ανακατασκευή δομικών στοιχείων και η δημιουργία ανοιγμάτων.
5. *Ομοιογένεια του δομικού τύπου και των υλικών:* Εξετάζεται εάν τα κατακόρυφα και τα οριζόντια στοιχεία έχουν κατασκευαστεί από δομικά υλικά με παρόμοια χαρακτηριστικά, καθώς και εάν το δομικό σύστημα είναι κατασκευασμένο με ενιαίο τρόπο. Εξετάζεται το είδος και η δομή των φερόντων στοιχείων (αργολιθοδομή, οπτοπλινθοδομή, σκυρόδεμα, ξύλινα στοιχεία, ελκυστήρες), η κατηγοριοποίηση των δαπέδων ανάλογα με τα υλικά, την κατασκευή, την εκτιμώμενη δυσκαμψία τους και τη σύνδεσή του με τους τοίχους. Στη φάση αυτή κατατάσσεται η δομική ενότητα σε μία από τις κατηγορίες που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.
6. *Παρουσία δικτύου ρωγμών:* Διαπίστωση, αποτύπωση και αξιολόγηση δικτύου ρωγμών και αστοχιών στο φέροντα οργανισμό.

12.5.1 Ανάλυση Δομικής Ενότητας

Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 12.5, η απλοποιητική διαδικασία διαχωρισμού ενός κτηριακού συγκροτήματος σε δομικές ενότητες, καθιστά πρακτικά εφαρμόσιμη την αντιμετώπιση κάθε δομικής ενότητας ως ενός στατικά ανεξάρτητου φορέα. Η διαδικασία αυτή, αν και προσεγγιστική, διευκολύνει τόσο την ανάλυση όσο και την κατανόηση της συμπεριφοράς του φορέα και τη λήψη μέτρων επέμβασης.

Για όλες τις περιπτώσεις που εξετάζονται ακολούθως, η αξιολόγηση των στοιχείων 1-6 της Ενότητας 12.5 οδηγεί στον καθορισμό μιας δομικής ενότητας και επιτρέπει την εφαρμογή απλοποιήσεων οι οποίες διευκολύνουν τη μελέτη της συμπεριφοράς της σε σεισμό χρησιμοποιώντας τις ίδιες μεθόδους ανάλυσης που εφαρμόζονται σε ανεξάρτητες κατασκευές. Αρχικά, παρουσιάζονται βασικές επισημάνσεις και απλοποιήσεις όσον αφορά την ανάπτυξη τοπικών μηχανισμών στη δομική ενότητα και ακολουθούν επισημάνσεις που αναφέρονται στη μελέτη της δομικής ενότητας “ως ενιαίου συνόλου”.

Κεφάλαιο 13

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

13.1 Εισαγωγή

Στους περισσότερους σεισμούς, ένα μεγάλο μέρος των καταστροφών αποτελούν οι βλάβες των αντικειμένων που περιέχονται στις κατασκευές. Στο Σχήμα 13.1 παρουσιάζονται βλάβες σε μη δομικά στοιχεία.

Η διαδικασία και οι αναλυτικές σχέσεις που παρουσιάζονται ακολούθως μπορούν να εφαρμοστούν για την προστασία οποιουδήποτε αντικειμένου, είτε αυτό είναι άκαμπτο με ελεύθερη έδραση είτε εύκαμπτο με στηρίξεις που περιορίζουν την κίνησή του. Λόγω όμως της ιδιαίτερης σπουδαιότητάς τους, τα παραδείγματα που παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες, αναφέρονται σε μουσειακά εκθέματα. Στα Σχήματα 13.2 και 13.3 παρουσιάζονται παραδείγματα αστοχίας μουσειακών εκθεμάτων που προκλήθηκαν από σεισμό.



(α)



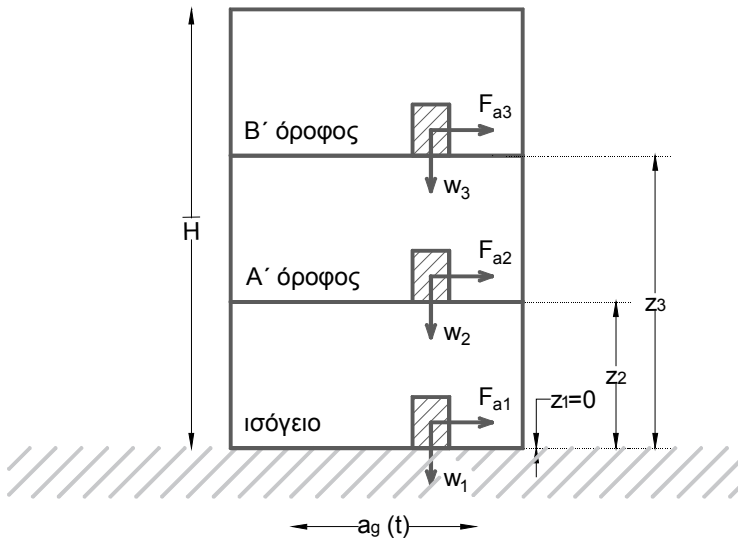
(β)

Σχήμα 13.1.: Παραδείγματα αστοχίας: (α) ανατροπή αντικειμένων, (β) ψευδοροφής και ανατροπή αντικειμένων.

όπου:

- S_a ο σεισμικός συντελεστής¹
- W_a το βάρος του αντικειμένου
- γ_a ο συντελεστής σπουδαιότητας του αντικειμένου², η τιμή του οποίου μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 1.0 και 1.5
- q_a ο συντελεστής συμπεριφοράς του αντικειμένου ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 1.0 και 2.0

Ο σεισμικός συντελεστής S_a λαμβάνει υπόψη τη διαφοροποίηση της επιτάχυνσης του αντικειμένου σε σχέση με την εδαφική. Στο Σχήμα 13.4 σημειώνονται οι δυνάμεις για τρία αντικείμενα τοποθετημένα σε διαφορετικούς ορόφους.



Σχήμα 13.4.: Οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις σε αντικείμενα τοποθετημένα σε διαφορετικές στάθμες πολυώροφης κατασκευής ($a_g(t)$: εδαφική επιτάχυνση).

Όπως αναπτύσσεται σε επόμενες ενότητες, συνήθως εφαρμόζεται μία από τις ακόλουθες διατάξεις στήριξης των αντικειμένων: (i) ελεύθερη

¹ Ο σεισμικός συντελεστής ορίζεται από τον κανονισμό. (βλ. Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 1, Ενότητα 4.3.5.2 και το Παράρτημα V του βιβλίου). Εναλλακτικά, ο συντελεστής S_a μπορεί να υπολογιστεί από δυναμικές αναλύσεις σε αριθμητικό προσομοίωμα του κτηρίου.

² Οι τιμές του συντελεστή σπουδαιότητας γ_a δίδονται στον κανονισμό (βλ. Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 1, Ενότητα 4.3.5.3 και το Παράρτημα V του βιβλίου).

Κεφάλαιο 14

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

14.1 Γενικά

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει έξι παραδείγματα με στόχο να παρουσιαστεί η διαδικασία εφαρμογής των μεθόδων προσομοίωσης, ανάλυσης και τεχνικών επέμβασης που έχουν αναπτυχθεί στα προηγούμενα κεφάλαια του βιβλίου. Τα πρώτα τρία αφορούν κτηριακές κατασκευές και τα υπόλοιπα ειδικές κατασκευές.

14.2 Διώροφη κατοικία

14.2.1 Γενικά Στοιχεία – Περιγραφή Κτηρίου

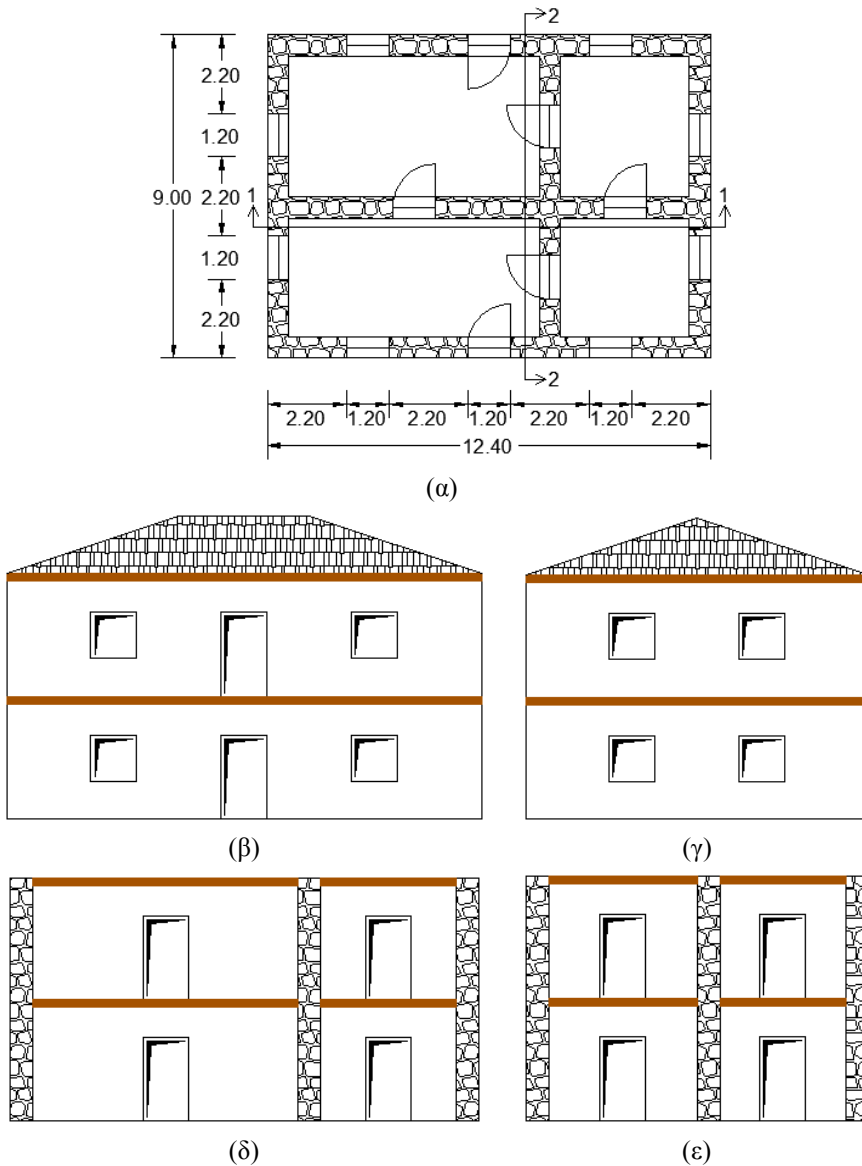
Στο παράδειγμα παρουσιάζεται η αποτίμηση και ενίσχυση διώροφου κτηρίου από αργολιθοδομή για τα σεισμικά φορτία του Ευρωκώδικα 8-1 (EC8-1), για τις ακόλουθες παραμέτρους: ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I ($a_{gR} = 0.16 g$) και για στάθμη επιτελεστικότητας σημαντικών βλαβών (SD). Πρόκειται για κατασκευή με ορθογωνική κάτοψη διαστάσεων 12.4x9.0 m και ύψη ορόφων 3.20 m, με ξύλινα διαφράγματα στις στάθμες των ορόφων. Η τυπική κάτοψη των ορόφων, οι όψεις, καθώς και οι τομές της κατασκευής παρουσιάζονται στο Σχήμα 14.1.

14.2.2 Μηχανικά Χαρακτηριστικά Λιθοδομής

Η λιθοδομή χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα μηχανικά χαρακτηριστικά:

Πίνακας 14.1.: Μηχανικά χαρακτηριστικά υφιστάμενης λιθοδομής.

Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού	f_d	1.5	MPa
Διατμητική αντοχή σχεδιασμού απουσία κατακόρυφου φορτίου	f_{vd0}	0.025	MPa
Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού	f_{td}	0.040	MPa
Μέτρο ελαστικότητας	E	1300	MPa
Μέτρο διάτμησης	G	435	MPa
Ειδικό βάρος	γ	20	kN/m ³



Σχήμα 14.1.: (α) Κάτοψη τυπικού ορόφου υφιστάμενης κατασκευής. (β) Πρόσοψη και πίσω όψη. (γ) Πλάγιες όψεις. (δ), (ε) Τομή 1-1 και τομή 2-2, αντίστοιχα.

14.2.3 Παραδοχές Φορτίσεων

Ως στατικά φορτία της κατασκευής θεωρήθηκαν τα ακόλουθα: ειδικό βάρος λιθοδομής και ξυλείας: 20 kN/m^3 και 5.5 kN/m^3 , αντίστοιχα, ίδιον βάρος κεραμιδιών 0.5 kN/m^2 και κινητό φορτίο πατωμάτων: 2.00 kN/m^2 .

Πίνακας 14.3.: Έλεγχος επάρκειας πεσσών υφιστάμενης κατασκευής.

Δομικό Μέλος	Συνδυασμός	Σχετική Μετακίνηση	Οριακή Σχετική Μετακίνηση	Έλεγχος Επάρκειας
Πεσσός Π8	$G+0.3Q+Ex+0.3Ey$	0.00296	0.00267	ΑΣΤΟΧΙΑ
Πεσσός Π27	$G+0.3Q+Ey+0.3Ex$	0.00372	0.00267	ΑΣΤΟΧΙΑ

Πίνακας 14.4.: Έλεγχος επάρκειας πεσσών ενισχυμένης κατασκευής.

Δομικό Μέλος	Συνδυασμός	Σχετική Μετακίνηση	Οριακή Σχετική Μετακίνηση	Έλεγχος Επάρκειας
Πεσσός Π8	$G+0.3Q+Ex+0.3Ey$	0.00141	0.00267	ΕΠΑΡΚΕΙΑ
Πεσσός Π27	$G+0.3Q+Ey+0.3Ex$	0.00205	0.00267	ΕΠΑΡΚΕΙΑ

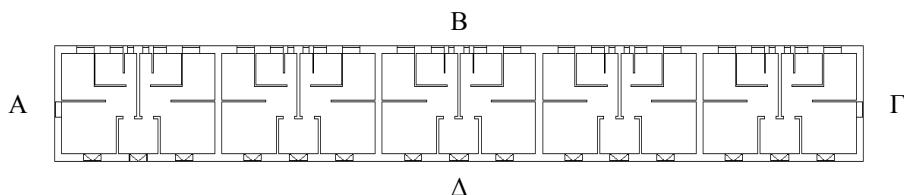
14.3 Πολυώροφο κτήριο

14.3.1 Γενικά Στοιχεία – Περιγραφή Κτηρίου

Το παράδειγμα που παρουσιάζεται αφορά τη μελέτη αποτίμησης και ενίσχυσης πολυώροφου κτηρίου – μνημείου.

Πρόκειται για τριώροφο κτήριο από φέρουσα τοιχοποιία με ορθογωνική κάτοψη διαστάσεων 70 x 9 m, και συνολικό ύψος 10.60 m. Η τοιχοποιία από αργολιθοδομή έχει πάχος 60cm (μικτό σύστημα, βλ. Ενότητα 1.2.1) και πατώματα με δοκιδωτές πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι οποίες στηρίζονται σε όλο το εύρος της τοιχοποιίας. Οι εσωτερικοί τοίχοι του έχουν κατασκευαστεί από δρομική οπτοπλινθοδομή. Σύμφωνα με την Ενότητα 4.2 το κτήριο ανήκει στην κατηγορία ΙΙΙ.

Η κάτοψη του τυπικού ορόφου του κτηρίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 14.4.



Σχήμα 14.4.: Κάτοψη τυπικού ορόφου υφιστάμενης κατασκευής.

14.3.2 Μηχανικά Χαρακτηριστικά Λιθοδομής

Η λιθοδομή χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα μηχανικά χαρακτηριστικά:

Πίνακας 14.5.: Μηχανικά χαρακτηριστικά λιθοδομής.

Θλιπτική αντοχή	f_{wc}	1.84	MPa
Εφελκυστική αντοχή	f_{wt}	0.039	MPa
Διατμητική αντοχή	τ_0	0.026	MPa
Μέτρο ελαστικότητας	E_{wc}	1513	MPa
Ειδικό βάρος	γ	26	kN/m ³

14.3.3 Παραδοχές Φορτίσεων

Ως στατικά φορτία της κατασκευής θεωρήθηκαν τα ακόλουθα: ειδικό βάρος λιθοδομής και σκυροδέματος: 26 kN/m³ και 25 kN/m³, αντίστοιχα, φορτίο επικαλύψεων πατωμάτων: 1.50 kN/m², κινητό φορτίο πατωμάτων: 2.00 kN/m².

14.3.4 Προσομοίωση – Αναλύσεις

Πραγματοποιήθηκε: (α) Κινηματική Ανάλυση και (β) Ανελαστική Στατική Ανάλυση.

Για την κινηματική ανάλυση, τμήματα της λιθοδομής προσομοιώθηκαν ως άκαμπτα σώματα (μακροστοιχεία). Με δεδομένο ότι τα πατώματα του κτηρίου έχουν κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς ανοίγματα, οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με θεώρηση απαραμόρφωτων διαφραγμάτων.

Για την ανελαστική στατική ανάλυση ο φορέας προσομοιώθηκε ως χωρικό ισοδύναμο πλαίσιο με βάση τη διαδικασία που περιγράφεται στην Ενότητα 6.2.3. Χρησιμοποιήθηκαν γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία (frame elements).

Στα Σχήματα 14.5(α) και (β) οι πεσσοί απεικονίζονται με κίτρινο χρώμα, ενώ τα υπέρθυρα και οι άκαμπτες ζώνες με κόκκινο και μπλε, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 14.5(γ) απεικονίζονται τα αντίστοιχα γραμμικά στοιχεία για τους πεσσοί (πράσινο χρώμα), τα υπέρθυρα (κόκκινο χρώμα) και τις άκαμπτες ζώνες (μπλε χρώμα) του πλαισίου του ακραίου τμήματος της όψης Δ (Σχήμα 14.5α).

Το υφιστάμενο κτήριο δεν έχει μελετηθεί για σεισμικά φορτία. Ακολούθως παρουσιάζονται τρεις αναλύσεις του κτηρίου για αποτίμηση για τρεις διαφορετικές σεισμικές φορτίσεις σχεδιασμού: (1) Αντισεισμικό Κανονισμό 1959², (2) Αντισεισμικό Κανονισμό 1985³ και (3) Ευρωκώδικα

² Βασιλικό Διάταγμα, “Περί Αντισεισμικού Κανονισμού Δομικών Έργων”, ΦΕΚ 36Α (26/02/1959).

³ Ο.Α.Σ.Π., “Τροποποίηση και Συμπλήρωση του Β.Δ. της 19/26 Φεβρουαρίου 1959 “Περί Αντισεισμικού Κανονισμού Δομικών Έργων””, ΦΕΚ 239Β (16/04/1984). Σύμφωνα με τον Κανονισμό για κτήρια με σπουδαιότητα μεγάλη (Μ) σε περιοχή με σεισμικότητα Ι ή ΙΙ η σεισμική δράση πολλαπλασιάζεται επί συντελεστή 1.5.

14.7.1 Γενικά Στοιχεία

Το Ιερό Κουβούκλιο του Παναγίου Τάφου είναι ένα σύνθετο οικοδόμημα το οποίο έχει διαμορφωθεί σε διαφορετικές κατασκευαστικές φάσεις. Βρίσκεται στο εσωτερικό ενός μεγαλύτερου μνημείου, του Ναού της Αναστάσεως, στα δυτικά του Καθολικού της Αναστάσεως και έχει μέγιστη εξωτερική διάσταση 7.85 m κατά τη διεύθυνση ανατολή-δύση και 5.2 m κατά τη διεύθυνση βορράς-νότος. Το συνολικό ύψος του είναι 12.10 m. Εσωτερικά αποτελείται από δύο χώρους: (α) τον προθάλαμο ή Παρεκκλήσιο του Αγγέλου, και (β) τον κυρίως ταφικό θάλαμο. Έχει μία και μοναδική είσοδο στην ανατολική του πλευρά. Στο εσωτερικό του βορειοδυτικού και νοτιοανατολικού τοίχου του Ιερού Κουβουκλίου διασώζεται τμήμα του Ιερού Βράχου εντός του οποίου ήταν λαξευμένο το αρχικό ταφικό μνημείο κατά τις ευαγγελικές αναφορές, ως τυπικό ιουδαϊκό μνημείο. Στη δυτική πλευρά της οροφής εδράζεται εξωτερικός τρούλος με ανώτερη στάθμη στα 12.10 m.

Η αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης βασίστηκε στα αποτελέσματα των διαγνωστικών ελέγχων και μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν πριν την έναρξη, καθώς και κατά τη διάρκεια των εργασιών αποκατάστασης του μνημείου, ώστε να ελεγχθεί η επάρκεια του μνημείου σε στατικά και σεισμικά φορτία μέσω προσομοιωμάτων πεπερασμένων στοιχείων και να προκύψουν οι κατάλληλες επεμβάσεις (βλ. Σχήμα 14.30).



Σχήμα 14.30.: Προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου.

14.7.2 Σεισμικότητα της Περιοχής

Στην ευρύτερη περιοχή του μνημείου έχουν συμβεί κατά το παρελθόν σημαντικοί σεισμοί. Μαρτυρίες για τη σεισμική δραστηριότητα καταγράφονται για τα τελευταία 4000 χρόνια. Μεταξύ των σημαντικότερων

Παράρτημα II

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

II.1 Γενικά

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (EC8-3), ο έλεγχος επάρκειας ενός δομικού μέλους από φέρουσα τοιχοποιία για στάθμες επιτελεστικότητας “Σημαντικών Βλαβών” (SD) και “Οιονεί Κατάρρευση” (NC) πραγματοποιείται σε όρους παραμορφώσεων. Η διαδικασία αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

Βήμα 1: Υπολογίζονται: (α) η διατμητική ικανότητα κάθε δομικού μέλους που ελέγχεται από κάμψη $V_{Rd,f}$ υπό αξονικό φορτίο N σύμφωνα με τη Σχέση (5.19), (β) η διατμητική ικανότητα του δομικού μέλους που ελέγχεται από τέμνουσα $V_{Rd,v}$ υπό αξονικό φορτίο N με διατμητική αστοχία ολίσθησης κατά μήκος οριζόντιων αρμών σύμφωνα με τη Σχέση (5.20) και (γ) η διατμητική ικανότητα του δομικού μέλους που ελέγχεται από τέμνουσα $V_{Rd,s}$ υπό αξονικό φορτίο N με αστοχία διαγώνιας ρηγμάτωσης σύμφωνα με τη Σχέση (5.35).

Βήμα 2: Οι τρεις διατμητικές αντοχές που υπολογίζονται στο Βήμα 1 συγκρίνονται και προσδιορίζεται η μικρότερη, η οποία είναι η κρίσιμη αντοχή του δομικού μέλους.

Βήμα 3: Μετά τον προσδιορισμό της κρίσιμης αντοχής του δομικού μέλους υπολογίζεται το όριο του ελέγχου σε όρους παραμορφώσεων σύμφωνα με τον κανονισμό. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον ισχύοντα EC8-3, η ικανότητα ενός δομικού μέλους από άοπλη τοιχοποιία που ελέγχεται από:

- (i) κάμψη μπορεί να εκφράζεται σε όρους σχετικής μετατόπισης και λαμβάνεται ίση με $(0.008 \cdot H_0/d)/\gamma_{Rd}$ για πρωτεύοντα δομικά στοιχεία και $(0.012 \cdot H_0/d)/\gamma_{Rd,\delta}$ για δευτερεύοντα, για στάθμη επιτελεστικότητας SD και ίση με τα $4/3$ των τιμών που αναφέρονται ανωτέρω για στάθμη επιτελεστικότητας NC

Παράρτημα ΙΙΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΟΠΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ (ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ)

ΙΙΙ.1 Ορισμός των οριακών καταστάσεων (σταθμών επιτελεστικότητας) και εφαρμογή των ελέγχων ασφαλείας

Το τελευταίο βήμα της διαδικασίας της κινηματικής ανάλυσης αφορά την εφαρμογή των ελέγχων ασφαλείας για τους τοπικούς μηχανισμούς. Οι έλεγχοι αναφέρονται στις τρεις οριακές καταστάσεις που αναπτύσσονται ακολούθως: (α) Περιορισμού βλαβών (DL), (β) Σημαντικές βλάβες (SD) και (γ) Οιονεί κατάρρευση (NC).

ΙΙΙ.1.1 Ορισμός των Οριακών Καταστάσεων

α) Οριακή κατάσταση “Περιορισμού Βλαβών” (DL)

Η οριακή κατάσταση Περιορισμού Βλαβών (DL) αντιστοιχεί στην έναρξη του τοπικού μηχανισμού και μπορεί να σχετίζεται με την εμφάνιση ρωγμών και με μετακινήσεις που ωστόσο απέχουν πολύ από τον κίνδυνο κατάρρευσης.

Στην περίπτωση τοίχων που συνδέονται πλημμελώς με το υπόλοιπο κτήριο λόγω, π.χ., απουσίας ελκυστήρων ή ασθενούς αλληλοσύνδεσης με εγκάρσιους τοίχους και διαφράγματα, η πιθανότητα ανάπτυξης τοπικών μηχανισμών στην οριακή κατάσταση DL είναι σημαντική, όπως συχνά παρατηρείται μετά από ασθενείς σεισμούς.

Σύμφωνα με τη Σχέση (8.64) η F_{DL}^* η οποία αντιστοιχεί στο συντελεστή a_0 (Σχήμα 8.26) υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_{DL}^* = \left[a_0 \cdot g \cdot \sum_{k=1}^N (G_k + Q_{1,k} + Q_{2,k}) \right] / G \quad (\text{III.1})$$

Αν ο τοπικός μηχανισμός χαρακτηρίζεται από μια μη αμελητέα ελαστική παραμόρφωση πριν από την έναρξη της ταλάντωσης (περίπτωση εδραζόμενων στοιχείων τύπου προβόλου) η F_{DL}^* στο ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα στην οριακή κατάσταση DL υπολογίζεται από τη σχέση

Παράρτημα VII

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ

VII.1 Γενικά

Όσον αφορά την ελληνική νομοθεσία, το Σύνταγμα, καθώς και σειρά Νόμων, Διαταγμάτων και Υπουργικών Αποφάσεων ρυθμίζουν θέματα προστασίας των αρχαιοτήτων, της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς, των έργων τέχνης και των τόπων που χαρακτηρίζονται ως αρχαιολογικοί, ιστορικοί και ιδιαίτερου φυσικού κάλλους.

Συγκεκριμένα, στο Σύνταγμα ορίζεται ότι η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του Κράτους και δικαίωμα του καθενός. Για τη διαφύλαξή του το Κράτος έχει υποχρέωση να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα. Τα μνημεία, οι παραδοσιακές περιοχές και τα παραδοσιακά στοιχεία προστατεύονται από το Κράτος. Ο Νόμος πρέπει να ορίζει τα αναγκαία για την πραγματοποίηση της προστασίας αυτής περιοριστικά μέτρα της ιδιοκτησίας, καθώς και τον τρόπο και το είδος της αποζημίωσης των ιδιοκτητών, των οποίων τα συμφέροντα θίγονται από τα μέτρα αυτά (βλ. άρθρο 24 παρ. 1 και 6).

Σύμφωνα με την κείμενη ελληνική νομοθεσία, σε ότι αφορά τα κτίσματα, η βασική διάκριση που πραγματοποιείται είναι ο χαρακτηρισμός ως ακίνητα *μνημεία* (αρχαία ή νεότερα) ή ως *διατηρητέα* κτίσματα. Βασικές διατάξεις για την πρώτη περίπτωση περιέχονται στον Ν.3028/2002¹, ενώ για τη δεύτερη περίπτωση περιέχονται στο Ν.4067/2012², όπως τροποποιήθηκε από το Ν. 4178/2013³, στο Ν. 1337/1983⁴ και στο Π.Δ. της 15/28.4.1988⁵.

¹ Ν. 3028/2002 (ΦΕΚ Α 153/28-06-2002) «Για την προστασία των αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς»

² Ν. 4067/2012 (ΦΕΚ Α 79/09-04-2012) «Νέος Οικοδομικός Κανονισμός»

³ Ν. 4178/2013 (ΦΕΚ Α 174/08-08-2013) «Αντιμετώπιση της Αυθαίρετης Δόμησης – Περιβαλλοντικό Ισοζύγιο και άλλες διατάξεις»

⁴ Ν. 1337/1983 (ΦΕΚ Α 33/14-03-1983) «Επέκταση των πολεοδομικών σχεδίων, οικιστική ανάπτυξη και σχετικές ρυθμίσεις»