

## 2. Μηχανική της τοιχοποιίας

---

Παρά το γεγονός ότι η τοιχοποιία αποτελεί ένα από τα αρχαιότερα δομικά στοιχεία, οι γνώσεις για τη μηχανική συμπεριφορά των κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία είναι περιορισμένες. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι τις αρχές του αιώνα μας ο σχεδιασμός των κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία ήταν εμπειρικός, κατά κάποιο τρόπο δηλαδή «αυθαίρετος», ενώ ακόμη και σήμερα πολλές χώρες δεν διαθέτουν Κανονισμούς για τον υπολογισμό κατασκευών από τοιχοποιία.

Η εκτεταμένη χρήση του σκυροδέματος, η αδυναμία χρήσης της φέρουσας τοιχοποιίας σε πολύροφα κτίρια, οι βλάβες που παρουσιάστηκαν σε παλιά κτίρια με τοιχοποιία (κυρίως μετά από σεισμούς), δημιούργησαν την εικόνα της ακαταλληλότητας της τοιχοποιίας ως αξιόπιστης δομικής μεθόδου, με συνέπεια τον περιορισμό της χρήσης της μόνο στον οργανισμό πλήρωσης.

Τις τελευταίες όμως δεκαετίες, όπως προαναφέρθηκε, έχουν αναπτυχθεί αξιόλογες ερευνητικές προσπάθειες σχετικά με τη συμπεριφορά, χρήση και βελτίωση της τοιχοποιίας, με αποτέλεσμα να ανακάτταδιακά ένα επίπεδο αξιοπιστίας, βασιζόμενη πλέον στο απαραίτητο επιστημονικό θεωρητικό υπόβαθρο, και να χρησιμοποιείται συχνότερα στις κατασκευές ως **άοπλη, διαζωματική ή οπλισμένη τοιχοποιία**.

Τα πλεονεκτήματα της τοιχοποιίας από δομική άποψη είναι γνωστά. Το χαμηλό κόστος της σε σχέση με τις αντίστοιχες κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι αυξημένες δυνατότητες της για θερμομόνωση, ηχομόνωση και πυρασφάλεια, η ανθεκτικότητα στο χρόνο και τις καιρικές συνθήκες και η αισθητική της. Μειονεκτήματα της θεωρούνται η ψαθυρή της φύση, η μειωμένη πλαστιμότητα, η μικρή θλιπτική αντοχή της σε σύγκριση με το οπλισμένο σκυρόδεμα και η σημαντική μείωση της αντοχής της με την ανακύκλιση. Επίσης η πολυμορφία των τοιχοποιιών και η πολυφασικότητά τους, που οφείλεται στην ποικιλία των επί μέρους υλικών της, αποτελούν ανασταλτικούς παράγοντες στην ανάπτυξη της έρευνας και τον καθορισμό της ακριβούς συμπεριφοράς της.

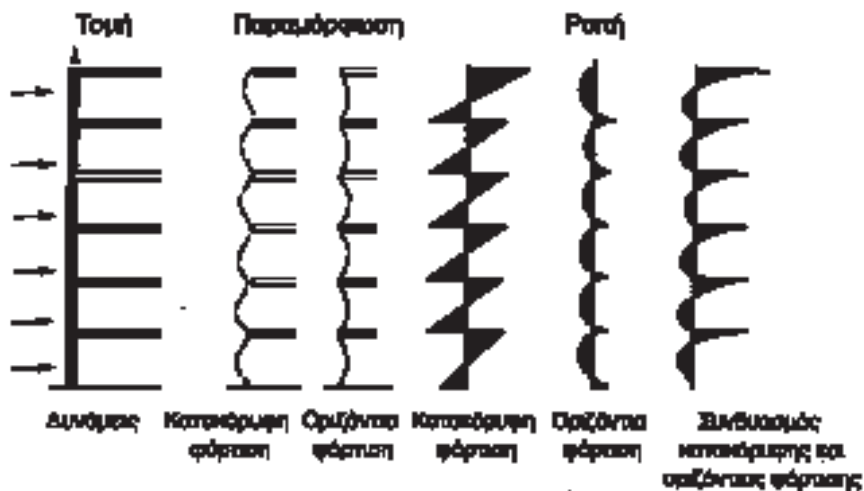
## 2.1. Λειτουργία της φέρουσας τοιχοποιίας

Η γενική έννοια του φέροντα οργανισμού ενός κτιρίου με φέρουσα τοιχοποιία συνίσταται σε μία συνδυασμένη αντίδραση των πατωμάτων, της επιστέγασης και των τοίχων στα επιβαλλόμενα φορτία. Οι συνδυασμοί υλικών και των διαφόρων τύπων πατωμάτων και επιστεγάσεων, υλικών και διαφόρων τύπων τοιχοποιιών, καθώς και υλικών και της μορφής των τυχόν υπαρχόντων διαζωμάτων (chainages) και ελκυστήρων, παράγουν μία πολυτυπία κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία.

Το σύστημα λειτουργεί γενικά με τη μεταβίβαση των φορτίων (κινητών και νεκρών) των οριζοντίων στοιχείων (πατώματα, επιστεγάσεις) στις κατακόρυφες φέρουσες τοιχοποιίες και διαμέσου αυτών με την προσθήκη φυσικά των ιδίων βαρών των τοίχων (που ειδικά στα διατηρητέα κτίρια είναι σημαντικά λόγω του μεγάλου πάχους ιδιαίτερα των λιθοδομών), στη θεμελίωση και τελικά στο έδαφος.

Ενώ η παραπάνω φόρτιση από τα κατακόρυφα φορτία ορίζεται με σαφήνεια, δεν συμβαίνει το ίδιο με τις οριζόντιες φορτίσεις και ιδιαίτερα με τη σεισμική φόρτιση που εμφανίζεται σε σεισμογενείς περιοχές, όπως η χώρα μας.

Κατακόρυφα και οριζόντια φορτία που επενεργούν από τη μία μόνον πλευρά μιας εξωτερικής τοιχοποιίας δημιουργούν μία ροπή (Διάγραμμα



Διάγραμμα 2.1. Οριζόντιες και κατακόρυφες δυνάμεις σε φέρουσες τοιχοποιίες.

2.1). Καθώς το ίδιο βάρος της τοιχοποιίας ανθίσταται στην καμπτική αυτή ροπή, οι βασικές δυνάμεις που καθορίζουν τα φέροντα δομικά συστήματα είναι η **θλίψη** και η **διάτμηση**.

Η **διατμητική αντοχή** της τοιχοποιίας αναφέρεται σε οριζόντιες φορτίσεις όπως άνεμος, σεισμός, οριζόντιες ωθήσεις εδάφους κλπ. Διακρίνονται 3 είδη αστοχίας:

- α) Αστοχία των συνδέσμων με πρόκληση βαθμιδωτών ρωγμών.
- β) Αστοχία των μονάδων με ρωγμές διαμπερείς.
- γ) Αστοχία λόγω θλίψης με αποτέλεσμα την καταστροφή της τοιχοποιίας.

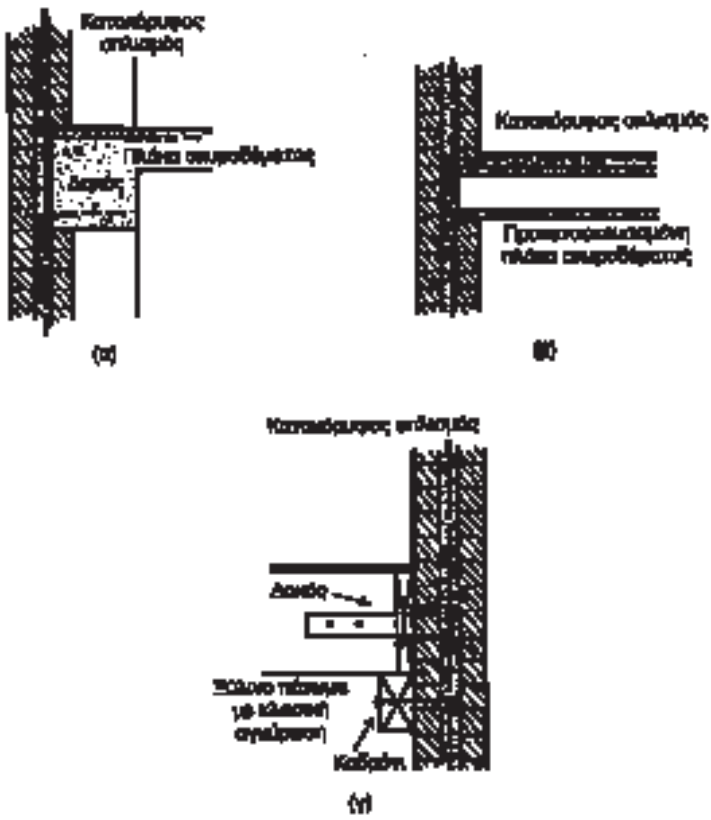
Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 6, η **καμπτική αντοχή** λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό της τοιχοποιίας μόνο στην περίπτωση που η τυχόν μετατόπιση του τοίχου δεν θα επηρέαζε καθόλου την ευστάθεια της υπολοιπής κατασκευής. Η καμπτική αντοχή διακρίνεται σε:

- α) καμπτική αντοχή σε κάθετη διεύθυνση  $\sigma_y$ , που εξαρτάται κυρίως από την αντοχή των συνδέσμων (κονιαμάτων).
- β) καμπτική αντοχή σε οριζόντια διεύθυνση  $\sigma_x$ , που εξαρτάται κυρίως από την αντοχή των μονάδων (μειώνεται, όταν αυξάνεται το ποσοστό των οπών στα τούβλα).

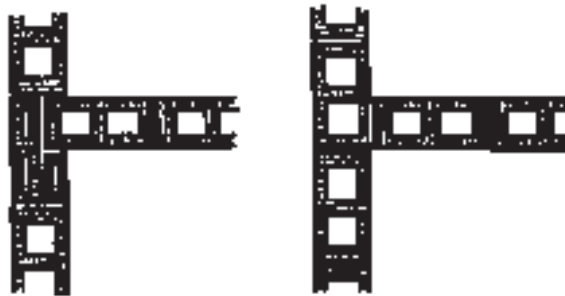
Στην περίπτωση τοιχοποιιών με ανοικτούς (χωρίς πλήρωση) συνδέσμους, δεν είναι δυνατό να παραληφθούν ούτε εφελκυστικές, ούτε θλιπτικές τάσεις. Αντίθετα στις περιπτώσεις τοίχων με πλήρεις (με πλήρωση κονιάματος) συνδέσμους, μεταφέρονται θλιπτικές τάσεις δια μέσου των συνδέσμων, αλλά όχι εφελκυστικές, και οι τύποι αστοχίας είναι θραύση των τούβλων και αστοχία των συνδέσμων.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη συμπεριφορά της τοιχοποιίας υπό την επίδραση οριζοντίων δυνάμεων. Ο τρόπος σύνδεσης του πατώματος με την τοιχοποιία έχει μεγάλη σημασία για την επίτευξη διαφραγματικής λειτουργίας (Σχ. 2.2).

Λανθασμένη σύνδεση μπορεί να δημιουργήσει έκκεντρη θλίψη στην τοιχοποιία και μείωση της αντοχής της. Εξίσου σημαντική είναι η σύνδεση (εμπλοκή) φερουσών τοιχοποιιών μεταξύ τους, όπου τουλάχιστον 50% των μονάδων (τούβλων) πρέπει να εισέρχεται (εμπλέκεται) στον ένα τοίχο. Τα σχήματα 2.3, 2.4 δείχνουν αυτούς τους τρόπους σύνδεσης σε περίπτωση σύγχρονης δόμησης των δύο τοίχων και σε περίπτωση μεταγενέστερης δόμησης του δεύτερου τοίχου.

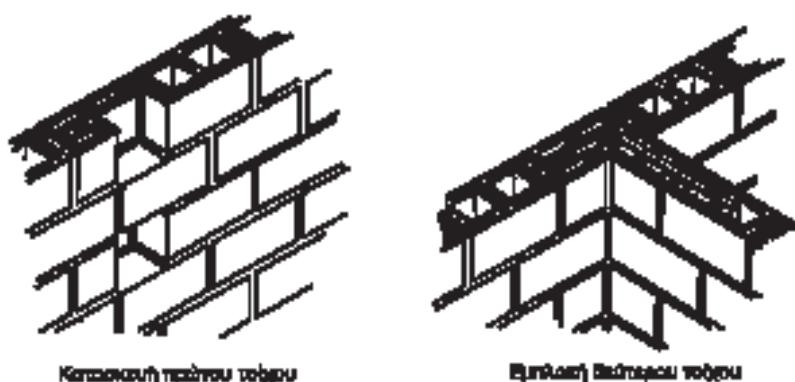


Σχ. 2.2. Σύνδεση πατομάτων με τοιχοποιία.



Σχ. 2.3. Σύνδεση τοιχοποιιών με καταβρέχνη δομική

Σχ. 2.3. Σύνδεση τοιχοποιιών.



Σχ. 2.4. Διασταύρωση τοιχοποιιών.

## 2.2. Η άοπλη τοιχοποιία

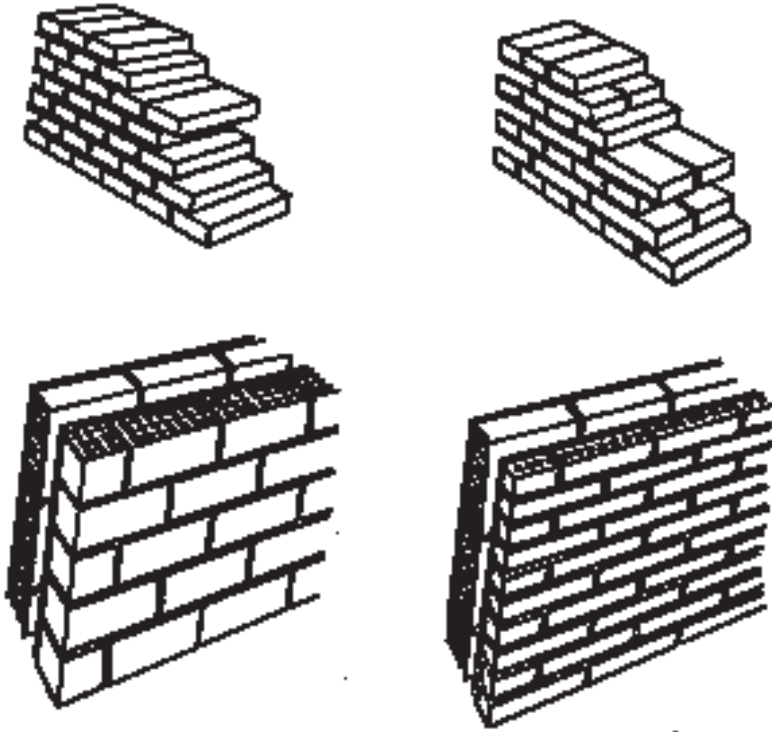
Είναι η κοινή τοιχοποιία από φυσικούς λίθους ή τεχνητούς πλίνθους, της οποίας τα χαρακτηριστικά αναπτύχθηκαν εκτενώς στο πρώτο κεφάλαιο. Από την άποψη της μηχανικής συμπεριφοράς σημασία έχει η διάκριση των δύο συστημάτων της συμπαγούς και της κοίλης (ή δικέλυφης) φέρουσας τοιχοποιίας (Σχ. 2.5).

Η μηχανική συμπεριφορά των άοπλων τοιχοποιιών επηρεάζεται σημαντικά από τη διεύθυνση της φόρτισης σε σχέση με τη διεύθυνση των αρμών. Έτσι, συνήθως παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή σε θλίψη και χαμηλή σε εφελκυσμό και διάτμηση.

Η **θλιπτική αντοχή** της άοπλης τοιχοποιίας εξαρτάται από:

- τη γεωμετρία και την αντοχή των λιθοσωμάτων
- την αντοχή του κονιάματος, χωρίς η σχέση αυτή να είναι γραμμική
- τις παραμορφώσεις των λιθοσωμάτων και του κονιάματος
- το πάχος του αρμού σε σχέση και με το ύψος του λιθοσώματος
- την υδροαπορροφητικότητα των λιθοσωμάτων
- το σύστημα και την ποιότητα δόμησης.

Η πιο συνηθισμένη μορφή αστοχίας από θλιπτική ένταση είναι η εμφάνιση ρωγμών στο δομικό στοιχείο, παράλληλων προς τη διεύθυνση της φόρτισης.

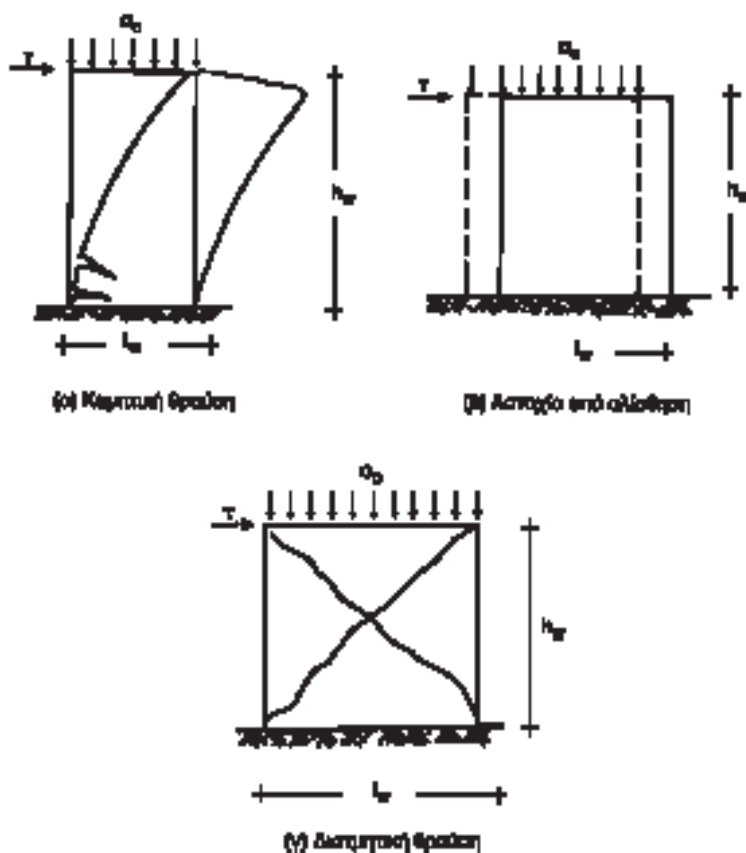


Σχ. 2.5. Μορφές άοπλων φερούσών τοιχοποιιών.

Η **εφελκυστική αντοχή** της άοπλης τοιχοποιίας είναι στις περισσότερες περιπτώσεις χαμηλή και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γωνία της διεύθυνσης των τάσεων ως προς τη διεύθυνση των αρμών, από την ποιότητα του κονιάματος και την πρόσφυση μεταξύ πλίνθων και κονιάματος. Ο κατακόρυφος εφελκυσμός οδηγεί σε αποσύνδεση του κονιάματος, ενώ η οριζόντια εφελκυστική αντοχή οφείλεται στην αντίσταση ολίσθησης μεταξύ λιθοσώματος και κονιάματος ή στην εφελκυστική αντοχή του τούβλου.

Η **διατμητική αντοχή** υπό θλίψη (πάντοτε συνυπάρχουν ορθές τάσεις) είναι μικρή. Οι μορφές θραύσης του τοίχου είναι τρεις και εξαρτώνται από το είδος της εξωτερικής φόρτισης και τις διαστάσεις του τοίχου (Σχ. 2.6).

α) καμπτική θραύση σε τοίχους με μεγάλες τιμές του λόγου ύψος/πλάτος  $h_w/I_w > 2,0$ ,



Σχ. 2.6. Μορφές θραύσης τοίχων.

β) θραύση από ολίσθηση του τοίχου ως προς τη βάση του, που παρατηρείται για μικρές τιμές του συντελεστή τριβής,

γ) διατμητική θραύση σε τοίχους με μικρές τιμές του λόγου ύψος/πλάτος  $h_w/I_w < 1,0$ .

**Πλαστιμότητα** μιας κατασκευής είναι η ικανότητα της για πλαστική παραμόρφωση μετά το όριο διαρροής, χωρίς να μειώνεται η αντίστασή της. **Δείκτης πλαστιμότητας  $\mu$**  είναι ο λόγος της μέγιστης μετακίνησης της κατασκευής προς τη μετακίνηση διαρροής της ( $\mu = d_{M1}/d_{O1}$ ). Το γεγονός ότι η πλαστιμότητα ενός πολυορόφου κτιρίου εξαρτάται από την πλαστιμότητα των μεμονωμένων ορόφων, σε συνδυασμό με τη μειωμένη πλαστιμότητα των άοπλων τοιχοποιιών (λόγω της ψαθυρότητάς τους), έχει περιορίσει το συνυπολογισμό των άοπλων τοιχοποιιών στη φέρουσα

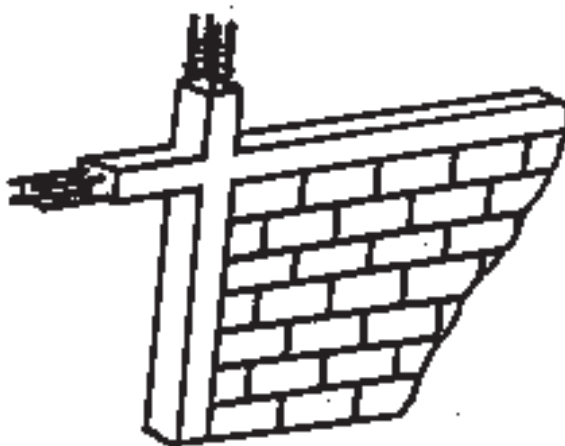
κατασκευή, αφού οι διαθέσιμες πλαστιμότητές τους δεν επαρκούν για ολόκληρο το κτίριο. Όταν επομένως λαμβάνονται υπόψη στον αντισεισμικό υπολογισμό, θεωρούνται ότι βρίσκονται στην ελαστική τους φάση.

## 2.3. Η διαζωματική τοιχοποιία

**Διαζωματική** ονομάζεται η τοιχοποιία που περικλείεται από οριζόντια και κατακόρυφα δομικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος αλλά και μεταλλικά ή/και ξύλινα, με τα οποία σχηματίζει ένα είδος πλαισιακής κατασκευής (Σχ. 2.7).

### 2.3.1. Τοιχοποιίες με οριζόντια διαζώματα

Τα οριζόντια διαζώματα τοποθετούνται συνήθως στις στάθμες των δαπέδων και των ανωφλίων, στη θέση έδρασης της στέγης, στη στέψη της θεμελίωσης και σε στηθαία από τοιχοποιία υψηλότερα από 0,5 m. Τοποθετούνται ανά κατακόρυφες αποστάσεις 3-4 μέτρων και έχουν πλάτος ίσο με το πάχος του τοίχου. Το ύψος τους είναι τουλάχιστο ίσο με το πάχος του δαπέδου ή με το μισό πλάτος του τοίχου, αλλά όχι μικρότερο των 15 εκατ. Οπλίζονται με διαμήκη και εγκάρσιο οπλισμό (συνδετήρες), που υπολογίζεται με βάση τη λειτουργία τους σε κάμψη και σε διάτμηση. Η ικανότητα μεταφοράς των οριζοντίων δυνάμεων (σεισμός) στον τοίχο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακαμψία των διαφραγμάτων (πατω-



Σχ. 2.7. Διαζωματική τοιχοποιία.



μάτων). Εξάλλου, τα οριζόντια διαζώματα συνδέουν τους φέροντες τοίχους μεταξύ τους, ώστε η κατασκευή να λειτουργεί ως ενιαίο σύνολο.

### **2.3.2. Τοικοποιίες με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα**

Συνδυασμός οριζοντίων και κατακορύφων διαζωμάτων γίνεται σε περιοχές με μεγάλη σεισμικότητα ή σε κτίρια θεμελιωμένα σε κακό έδαφος. Έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής και της πλαστιμότητας του κτιρίου. Το μόρφωμα που δημιουργείται μπορεί να θεωρηθεί ως δικτύωμα στο οποίο οι τοίχοι παίζουν το ρόλο θλιβομένων διαγωνίων. Ο υπολογισμός των διαζωμάτων γίνεται σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο. Κατακόρυφα διαζώματα τοποθετούνται σε όλες τις γωνίες του κτιρίου, στις ενώσεις των φερόντων τοίχων, στα ελεύθερα άκρα των τοίχων και στις παρειές των ανοιγμάτων.

## **2.4. Η οπλισμένη τοικοποιία**

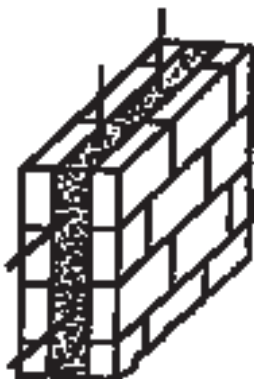
Η οπλισμένη τοικοποιία «αίρει» πολλά από τα μειονεκτήματα της άοπλης εξασφαλίζοντας μια καλή αντοχή σε ανακυκλιζόμενη ένταση με μειωμένη μάζα. Η τοποθέτηση του οπλισμού στην τοικοποιία έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της εφελκυστικής, διαμηττικής και θλιπτικής αντοχής της. Ο οπλισμός προσθέτει πλαστιμότητα και αντοχή στην τοικοποιία, που με τη σειρά της προστατεύει τον οπλισμό και παραλαμβάνει τα φορτία με ελάχιστη παραμόρφωση και μέγιστη απόσβεση της σεισμικής ενέργειας. Υπάρχουν δύο μορφές οπλισμένης τοικοποιίας.

### **2.4.1. Τοικοποιία με οπλισμό μέσα στον πυρήνα**

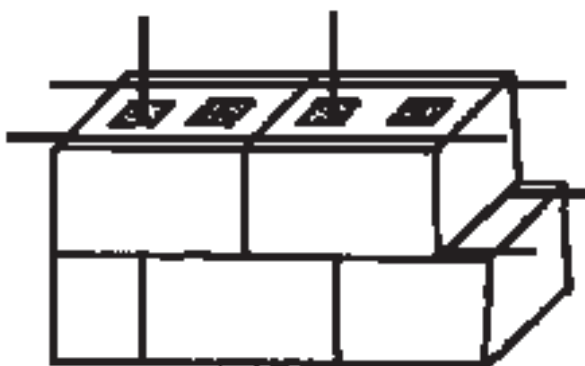
Αποτελείται από δύο ξεχωριστούς τοίχους μεταξύ των οποίων υπάρχει κενό μικρότερο των 10 εκατ., το οποίο, αφού τοποθετηθεί ο αναγκαίος οπλισμός (οριζόντιες και κατακόρυφες ράβδοι), στη συνέχεια γεμίζεται με ισχυρό τσιμεντοκονίαμα. Οι δύο παρειές της τοικοποιίας συνδέονται με μεταλλικούς συνδετήρες που τοποθετούνται στους οριζόντιους αρμούς των τοίχων (Σχ. 2.8).

### **2.4.2. Τοικοποιία με οπλισμό διάσπαρτο μέσα στα λιθωσώματα**

Πρόκειται για συμπαγή τοικοποιία από ειδικούς διάτρητους πλίνθους στις οπές των οποίων τοποθετείται ο οπλισμός (Σχ. 2.9). Ο κατακόρυφος οπλισμός τοποθετείται στις οπές, ενώ ο οριζόντιος στους αρμούς του



Σχ. 2.8. Οπλισμένη τοιχοποιία με οπλισμό στον πυρήνα.



Σχ. 2.9. Οπλισμένη τοιχοποιία με οπλισμό στα λιθοσώματα.

κονιάματος, οι οποίοι πρέπει να έχουν φυσικά το απαιτούμενο πλάτος.

Πειραματικά αποτελέσματα έχουν αποδείξει ότι η ευνοϊκή επιρροή του οπλισμού μειώνεται, όσο αυξάνεται η εξωτερική θλιπτική τάση. Οι δύο βασικές μορφές αστοχίας γι' αυτό το είδος της τοιχοποιίας είναι:

α) αστοχία από κάμψη που ευνοείται από:

- μικρές τιμές του λόγου πλάτος/ύψος
- μεγάλες τιμές θλιπτικής έντασης

- πολύ μικρές τιμές του λόγου θλιπτικής έντασης/θλιπτικής αντοχής
- μεγάλο ποσοστό οριζοντίου διάσπαρτου οπλισμού
- μικρό ποσοστό οπλισμών συγκεντρωμένων στα άκρα,

β) αστοχία από διάτμηση, που παρατηρείται σε περιπτώσεις ανακυκλιζόμενης φόρτισης μεγάλου εύρους μετά από μια κύρια μορφή καμπτικής αστοχίας.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πλαστιμότητα των τοίχων σε αυτήν τη μορφή της τοιχοποιίας είναι ο ομοιόμορφος οριζόντιος οπλισμός, η καλή ποιότητα του κονιάματος και η αποτελεσματική συνάφεια. Λόγω της σημασίας της πλαστιμότητας σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση, ο καμπτικός τρόπος αστοχίας είναι προτιμότερος από το διατμητικό, όπου παρατηρείται σημαντική μείωση της απόκρισης και μικρότερη πλαστιμότητα. Η μείωση αυτή της πλαστιμότητας αντιμετωπίζεται με την επιλογή, κατά το δυνατό, λόγων ύψους/πλάτους των τοίχων που να οδηγούν σε καμπτική θραύση. Μείωση της διαθέσιμης πλαστιμότητας προκαλείται και από δευτερεύουσα διατμητική ολίσθηση και αντιμετωπίζεται με την τοπική αύξηση του κατακόρυφου ομοιόμορφου οπλισμού στη βάση του τοίχου.

#### 2.4.3. Αγκυρώσεις – Σύνδεσμοι τοιχοποιίας

Ενώ η οπλισμένη τοιχοποιία έχει αντιμετωπίσει με επιτυχία προβλήματα ειδικών επιπονήσεων, όπως π.χ. σεισμοί, εκρήξεις κλπ., η σύγχρονη διαδεδομένη μορφή της διπλής τοιχοποιίας, που αποτελείται από δύο δρομικούς τοίχους ή έναν δρομικό και έναν ορθοδρομικό με ενδιάμεσο στρώμα μόνωσης παρουσιάζει συχνά προβλήματα κυρίως στην περίπτωση καταπόνησης από σεισμό. Καθώς οι δύο τοίχοι που την αποτελούν είναι χτισμένοι χωριστά, δεν συμπεριφέρονται ως ένα στατικά ενιαίο δομικό στοιχείο. Τα φορτία π.χ. του ανέμου εφαρμόζονται μόνον στη μία παρειά και δε μεταφέρονται στο άλλο σκέλος. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η αντοχή μιας διπλής τοιχοποιίας υπολείπεται σημαντικά της αντίστοιχης ιδίου πάχους ολόσωμης.

Αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος γίνεται με τη χρήση συνδέσμων που συντελούν στο «δέσιμο» των δύο ξεχωριστών τοίχων και τη μετακίνησή τους ως ενιαίο στοιχείο κατά τη διάρκεια οιοδήποτε επιφερόμενων καταπονήσεων (Σχ. 2.10). Η τελική αντοχή της διπλής τοιχοποιίας επηρεάζεται σημαντικά από το είδος των συνδέσμων καθώς και από τις μεταξύ τους αποστάσεις.