ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΜΙΚΡΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ – ΒΛΑΒΕΣ - ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

1η ΔΙΑΛΕΞΗ

Μηχανική της τοιχοποιίας – Σύνθεση φέροντος οργανισμού – Απόκριση και τυπολογία βλαβών υπό κατακόρυφα και σεισμικά φορτία

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ Χ. Ιγνατάκης, Καθηγητής Α.Π.Θ.

2η ΔΙΑΛΕΞΗ

Άοπλη τοιχοποιία – Ευρωκώδικας 6 και Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ Κ. Στυλιανίδης, Καθηγητής Α.Π.Θ.

Στην επιμέλεια του τεύχους συνέβαλε η κ. Σοφία Κωνσταντινίδου, μέλος της Γραμματείας του Εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ Ι

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Σελ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Πρόλογος 1
1.2 Τύποι Τοιχοποιιών – Ορολογία 2
1.2.1 Κατάταξη τοιχοποιιών με κριτήριο το είδος των πλίνθων 2
1.2.2 Ονομασίες τοιχοποιιών με κριτήριο τον τύπο δόμησης 3
1.3 Ιστορική εξέλιξη 5
1.4 Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών 19
1.4.1 Πλίνθοι 19
1.4.2 Κονιάματα 21
1.4.3 Ξύλο 25
1.4.4 Πετρώματα 26

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

2.1 Γενικά - Συμβολισμοί 28
2.2 Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας 29
2.3 Εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας 31
2.4 Διατμητική αντοχή τοιχοποιίας 32
2.5 Αντοχή τοιχοποιίας υπό τυχούσα επίπεδη καταπόνηση 34
2.6 Συμπεριφορά άοπλης τοιχοποιίας υπό εναλλασσόμενη σεισμική καταπόνηση 34
2.7 Παραμορφώσεις – Μηχανικές σταθερές τοιχοποιίας 35
2.8 Μικρομοντέλο πεπερασμένων στοιχείων για ανάλυση δίσκων τοιχοποιίας μέχρις αστοχίας 37
2.9 Αντοχές και επιτρεπόμενες τάσεις τοιχοποιίας 38

3. ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

3.1 Εισαγωγή 42
3.2 Τύποι πατωμάτων και στεγών 42
3.3 Τύποι φερουσών τοιχοποιιών 47
3.4 Διαζώματα - Ελκυστήρες 49

4. ΑΠΟΚΡΙΣΗ – ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

4.1 Εισαγωγή 53
4.2 Απόκριση και παθολογία κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία υπό κατακόρυφα φορτία 53
4.3 Απόκριση και παθολογία κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία υπό σεισμική καταπόνηση 55

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 61

ΜΕΡΟΣ ΙΙ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 6 ΜΕΡΟΣ 1-1(1995) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Σελ.

1. ΓΕΝΙΚΑ

1.1 Σκοπός 63
1.2 Διάκριση μεταξύ αρχών και κανόνων εφαρμογής 64
1.3 Παραδοχές 64
1.4 Ορισμοί 64
1.4.1 Όροι κοινοί σε όλους τους Ευρωκώδικες 64
1.4.2 Ειδικοί όροι χρησιμοποιούμενοι στο ENV1996-1-1 65

2. ΒΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

2.1 Θεμελιώδεις απαιτήσεις 70
2.2 Ορισμοί και κατατάξεις 70
2.3 Απαιτήσεις σχεδιασμού 70
2.4 Ανθεκτικότητα σε διάρκεια 70

3. ΥΛΙΚΑ

3.1 Λιθοσώματα 72
3.1.1 Τύποι λιθοσωμάτων 72
3.1.2 Ιδιότητες λιθοσωμάτων 74
3.2 Κονίαμα 74
3.2.1 Τύποι κονιάματος 74
3.2.2 Ιδιότητες του κονιάματος 75
3.3 Σκυρόδεμα πληρώσεως 75
3.3.1 Γενικότητες 75
3.3.2 Προδιαγραφή για το σκυρόδεμα πληρώσεως 75
3.3.3 Ιδιότητες του σκυροδέματος πληρώσεως 76

3.4 Χάλυβας οπλισμού 76
3.4.1 Γενικότητες 76
3.4.2 Ιδιότητες του χάλυβα οπλισμού 76
3.4.3 Ανθεκτικότητα του χάλυβα οπλισμού σε διάρκεια 77
3.5 Προεντεταμένος χάλυβας 77
3.5.1 Γενικότητες 77
3.5.2 Ανθεκτικότητα του προεντεταμένου χάλυβα σε διάρκεια 77
3.6 Μηχανικές ιδιότητες της άοπλης τοιχοποιίας 77
3.6.1 Γενικότητες 77
3.6.2 Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή άοπλης τοιχοποιίας 78
3.6.3 Χαρακτηριστική διατμητική αντοχή άοπλης τοιχοποιίας 80
3.6.4 Χαρακτηριστική καμπτική αντοχή άοπλης τοιχοποιίας 81
3.7 Μηχανικές ιδιότητες οπλισμένης προεντεταμένης και διαζωματικής τοιχοποιίας 82
3.7.1 Γενικότητες 82
3.7.2 Χαρακτηριστική αντοχή συνάφειας οπλισμών - σκυροδέματος πληρώσεως ή κονιάματος 82
3.8 Παραμορφωσιακά χαρακτηριστικά τοιχοποιίας 83
3.8.1 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων 83
3.8.2 Μέτρο ελαστικότητας 83
3.8.3 Μέτρο διατμήσεως 83
3.8.4 Ερπυσμός, συστολή ξηράνσεως και θερμική διαστολή 83
3.9 Βοηθητικά στοιχεία του δομήματος 84
3.9.1 Στρώσεις προστασίας έναντι υγρασίας 84
3.9.2 Σύνδεσμοι 85
3.9.3 Ελάσματα, αναρτήρες, προβολίσκοι και γωνίες υποστηρίξεως 85
3.9.4 Προκατασκευασμένα υπέρυθρα 85
3.9.5 Εξαρτήματα προεντάσεως 85

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

4.1 Δομητική συμπεριφορά και ευστάθεια του συνόλου 86
4.1.1 Προσομοιώματα σχεδιασμού της δομητικής συμπεριφοράς 86
4.1.2 Δομητική συμπεριφορά υπό τυχηματικές καταστάσεις 86
4.1.3 Σχεδιασμός δομικών στοιχείων 86
4.2 Δράσεις, συνδυασμοί και επί μέρους συντελεστές 86
4.3 Αντοχή σχεδιασμού της τοιχοποιίας 86
4.4 Άοπλοι τοίχοι υποβαλλόμενοι σε κατακόρυφα φορτία 87
4.4.1 Γενικότητες 87
4.4.2 Έλεγχος άοπλων τοίχων 87
4.4.3 Μειωτικός συντελεστής λυγηρότητας και εκκεντρότητας 87
4.4.4 Μήκος λυγισμού των τοίχων 89

4.4.5 Ενεργό πάχος τοίχου 93
4.4.6 Λυγηρότητα 93
4.4.7 Εκκεντρότητα των φορτίων του τοίχου εκτός επιπέδου 93
4.4.8 Συγκεντρωμένα φορτία 93
4.4.9 Τάσεις λόγω περιορισμού των στροφών στις στηρίξεις 94
4.5 Άοπλα διατμητικά τοιχώματα από τοιχοποιία 94
4.5.1 Γενικότητες 94
4.5.2 Ανάλυση διατμητικών τοιχωμάτων 96
4.5.3 Έλεγχος διατμητικών τοιχωμάτων 96
4.6 Άοπλοι τοίχοι υποβαλλόμενοι σε οριζόντια φορτία κάθετα στο επίπεδο τους 97
4.6.1 Γενικότητες 97
4.6.2 Τοίχοι υποβαλλόμενοι σε φορτία ανέμου 97
4.6.3 Τοίχοι υποβαλλόμενοι σε ώθηση γαιών 99
4.7 Οπλισμένη τοιχοποιία 100
4.7.1 Στοιχεία από οπλισμένη τοιχοποιία υποβαλλόμενα σε κάμψη και σε αξονικό φορτίο 100
4.7.2 Στοιχεία από οπλισμένη τοιχοποιία υποβαλλόμενα σε διάτμηση 102
4.8 Προεντεταμένη τοιχοποιία 102
4.9 Διαζωματική τοιχοποιία 102

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

5.1 Γενικά 103
5.2 Λεπτομέρειες όπλισης 108
5.2.1 Γενικά 108
5.2.2 Κατάταξη των περιβαλλοντικών συνθηκών – Κατηγορίες εκθέσεως 108
5.2.3 Ελάχιστος οπλισμός 110
5.2.4 Διάμετρος οπλισμού 110
5.2.5 Αγκύρωση και ενώσεις με αλληλεπικάλυψη 112
5.2.6 Οπλισμός διάτμησης 113
5.2.7 Περίσφιξη του θλιβόμενου οπλισμού 113
5.2.8 Αποστάσεις ράβδων οπλισμού 113
5.2.9 Διαζωματική τοιχοποιία 113
5.3 Λεπτομέρειες προέντασης 114
5.4 Συνδέσεις τοίχων 115
5.5 Εσοχές και εγκοπές 115

6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

6.1 Λιθοσώματα 117
6.2 Παραλαβή και αποθήκευση υλικών 117

6.3 Κονίαμα και σκυρόδεμα πλήρωσης 117
6.4 Κατασκευή της τοιχοποιίας 117
6.5 Σύνδεση τοίχων 117
6.6 Τοποθέτηση οπλισμού 117
6.7 Προστασία νεόδμητης τοιχοποιίας 117
6.8 Επιτρεπόμενες αποκλίσεις 117
6.9 Κατηγορία κατασκευής 118
6.10 Άλλα κατασκευαστικά θέματα 119
6.11 Οπλισμός προέντασης και εξαρτήματα 119

7. ΒΟΗΘΗΜΑ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΚΕΙΜΕΝΟΥ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: ΕΙΔΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΓΕΝΕΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

7.1 Πεδίο εφαρμογής 120
7.2 Υλικά και σύνθεση τοίχου 120
7.3 Τύποι τοιχοποιίας και συντελεστές συμπεριφοράς 121
7.4 Στατική ανάλυση 121
7.5 Κριτήρια σχεδιασμού και κανόνες κατασκευής 121
7.6 Έλεγχοι ασφαλείας 122
7.7 Προβλέψεις «για απλά κτίρια από τοιχοποιία» 122

8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΑΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

8.1 Φορτία 126
8.2 Συντελεστές ασφαλείας φορτίων 126
8.3 Συνδυασμοί δράσεων 126
8.4 Προσομοίωση – Ένταση 126
8.5 Χαρακτηριστική αντοχή τοιχοποιίας σε σύνθλιψη 127
8.6 Παράδειγμα υπολογισμού χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας 128
8.7 Χαρακτηριστική αντοχή τοιχοποιίας σε διάτμηση 129
8.8 Χαρακτηριστική αντοχή τοιχοποιίας σε κάμψη 129
8.9 Συντελεστής ασφαλείας υλικού 130
8.10 Αντοχή σχεδιασμού σε σύνθλιψη 130
8.11 Αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση 131
8.12 Αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη 131
8.13 Έλεγχος ασφαλείας σε κατακόρυφα φορτία 131
8.14 Έλεγχος ασφαλείας σε κάμψη με ορθή δύναμη 131
8.15 Έλεγχος ασφαλείας σε τέμνουσα 134
8.16 Πινακοποίηση τυπικού ελέγχου ασφαλείας σε κάμψη και διάτμηση 135

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 138

ΜΕΡΟΣ Ι

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Πρόλογος

- Η τοιχοποιία είναι από τα αρχαιότερα δομικά υλικά. Εντούτοις, οι γνώσεις μας για τη μηχανική της συμπεριφορά και την απόκριση κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία είναι σχετικά περιορισμένες. Η αντίφαση αυτή μπορεί να αποδοθεί στους ακόλουθους λόγους :
  α. Η ανάπτυξη της επιστήμης της μηχανικής σχεδόν συνέπεσε με την εμφάνιση νέων ισχυρών και εύπλαστων δομικών υλικών – χάλυβας, σκυρόδεμα – που μείωσαν το κόστος του φέροντα οργανισμού και βαθμιαία περιόρισαν την τοιχοποιία στο ρόλο του οργανισμού πλήρωσης.
  β. Η τοιχοποιία έχει σχετικά χαμηλές αντοχές και εμφανίζει ψαθυρή συμπεριφορά, γεγονός που οδηγεί στην ανάγκη αύξησης των διατομών και του κόστους του φέροντα οργανισμού και περιορίζει τον αριθμό των ορόφων ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή σεισμικότητα.
  γ. Η τοιχοποιία είναι υλικό πολυφασικό, πολύμορφο και "απείθαρχο". Τα βασικά συστατικά της είναι οι πλίνθοι και το συνδετικό κονίαμα. Οι πλίνθοι μπορεί να είναι τεχνητές ή τεμάχια φυσικών λίθων και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία υλικών, κατεργασίας, σχημάτων και μεγεθών. Το κονίαμα παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία συνθέσεων και αντοχών αλλά μπορεί και να απουσιάζει εντελώς (ξηρολιθοδομές). Ένας επί πλέον παράγοντας πολυμορφίας είναι και ο τύπος δόμησης (πλέξη) της τοιχοποιίας. Κατά συνέπεια απαιτείται θεμελιώδης έρευνα των επί μέρους φάσεων (πλίνθοι – κονίαμα) και της μηχανικής "συνεργασίας" τους στο σώμα της τοιχοποιίας για την κατανόηση της συμπεριφοράς της.
- Έτσι, μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα ο σχεδιασμός κτιρίων με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία ήταν σχεδόν εμπειρικός.
- Σε χώρες με παράδοση στη χρήση της φέρουσας τοιχοποιίας και σχετικά άσειστες (Μ. Βρετανία) εξακολουθεί ακόμη και σήμερα εκτεταμένη χρήση της φέρουσας τοιχοποιίας σε νέα κτίρια μέχρι και τεσσάρων (4) ορόφων.
- Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται διεθνώς έντονη ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για τη συντήρηση και ανάδειξη της οικιστικής πολιτιστικής κληρονομιάς. Μέσα στο κλίμα αυτό αναζωπυρώθηκε και η έρευνα της μηχανικής συμπεριφοράς της τοιχοποιίας καθώς η συντριπτική πλειοψηφία των μνημείων και διατηρητέων κτιρίων και συνόλων είναι κτίσματα από φέρουσα τοιχοποιία. Παράλληλα άρχισαν να ανακαλύπτονται ξανά τα ξεχασμένα προτερήματα της τοιχοποιίας όπως : Θερμομόνωση, Πυρασφάλεια, Αντοχή στο χρόνο, Αισθητική υπεροχή.
- Τροχοπέδη στην ανάπτυξη της διεθνούς συνεργασίας για την προώθηση της έρευνας της φυσικής και μηχανικής συμπεριφοράς της τοιχοποιίας είναι η πολυμορφία και πολυτυπία του ίδιου του υλικού, που έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη δυσκολία προτυποποίησης υλικών και μεθόδων.
- Πολλές χώρες, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα, σχετικά πρόσφατα απέκτησαν κανονισμό για κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία. Παρατηρείται ανομοιομορφία

μεθόδων, ποικιλία ορισμών και σημαντική διασπορά τιμών μεταξύ των διαφόρων κανονισμών. Είναι χαρακτηριστικό ότι το πρώτο κείμενο Ευρωκώδικα για κατασκευές από τοιχοποιία (Ευρωκώδικας 6 [1] κυκλοφόρησε μόλις το 1989).

- Σε κάθε μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους σεισμό, στον Ελλαδικό χώρο αλλά και παγκόσμια, διαπιστώνεται η υψηλή τρωτότητα των κτισμάτων από φέρουσα τοιχοποιία. Η αδυναμία αυτή μπορεί να αποδοθεί σε μία σειρά από λόγους όπως:
  - Η ψαθυρότητα της άοπλης τοιχοποιίας.
  - Η ανεπαρκής διαφραγματική λειτουργία πατωμάτων και στεγών.
  - Η ανεπαρκής σύνδεση οριζόντιων και κατακόρυφων στοιχείων του φέροντα οργανισμού.
  - Η παντελής απουσία ή η μη τήρηση της μελέτης όταν αυτή υπάρχει.
  - Οι κάθε είδους κακοτεχνίες.
  - Οι κατά καιρούς επεμβάσεις τροποποιήσεις και προσθήκες.
  - Η κακή συντήρηση και η γήρανση των υλικών.
- Η γνώση των Πολιτικών Μηχανικών όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας και τη δομή και συμπεριφορά κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία ήταν γενικά μέχρι πρόσφατα ανεπαρκής και επιφανειακή. Μόλις τα τελευταία χρόνια έχει ενταχθεί στα προπτυχιακά προγράμματα σπουδών των Ελληνικών Πολυτεχνείων περιορισμένος αριθμός μαθημάτων επιλογής με αντικείμενο τις κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία.

1.2 Τύποι Τοιχοποιιών – Ορολογία

1.2.1 Κατάταξη τοιχοποιιών με κριτήριο το είδος των πλίνθων

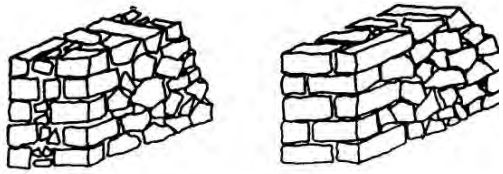
A. Λιθοδομές
   α. Ξηρολιθοδομές
      i Αργοξηρολιθοδομές (Ξηρολιθιές)
      ii Ημιλάξευτες ξηρολιθοδομές } Λιθοδομές κλασικής αρχαιότητας
      iii Λαξευτές ξηρολιθοδομές
   β. Αργολιθοδομές
   γ. Ημιλάξευτες λιθοδομές
   δ. Λαξευτές λιθοδομές
B. Πλινθοδομές
   α. Ωμοπλινθοδομές
   β Οπτοπλινθοδομές
      i. Συμπαγών πλίνθων με ή χωρίς σκάφη
      ii. Διάτρητων πλίνθων (με οριζόντιες οπές)
      iii. Διάκενων πλίνθων (με κατακόρυφες οπές ή διάκενα)
Γ. Τσιμεντολιθοδομές - Γυψοδομές
   α. Τσιμεντοπλίνθων βαρέως τύπου
   β. Πλίνθων ελαφροσκυροδέματος (Κισσηρόπλινθοι)
   γ. Πλίνθων αεροσκυροδέματος
   δ. Γυψοπλίνθων (Για μη φέροντα ηχομονωτικά χωρίσματα)

Δ. Μικτές τοιχοποιίες
   α. Λιθοπλινθοδομές
   β. Ξυλόπηκτες τοιχοποιίες (Τσατμάδες)
   γ. Σύνθετες τοιχοποιίες (Με επένδυση όψεως κ.τ.λ.)

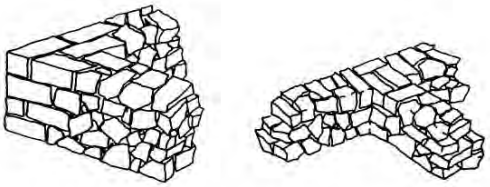
Είναι πολύ συνηθισμένη, ιδιαίτερα στις Η.Π.Α., η πλήρωση των διάκενων των τσιμεντολίθων με ισχυρό κονίαμα (grouted masonry) για τη δημιουργία κατακόρυφων νευρώσεων.

1.2.2 Ονομασίες τοιχοποιιών με κριτήριο τον τύπο δόμησης

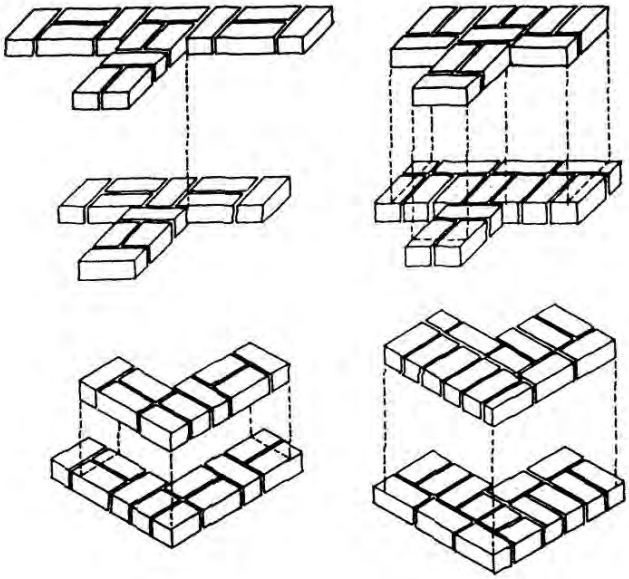
α. Ανισόδομη τοιχοποιία
β. Ισόδομη τοιχοποιία
   i. Ισοϋψές σύστημα
   ii. Ανισοϋψές σύστημα
γ. Έμπλεκτες τοιχοποιίες
δ. Δρομική τοιχοποιία
ε. Μπατική τοιχοποιία
στ. Υπερμπατική τοιχοποιία
ζ. Κοίλη ή Ψαθωτή τοιχοποιία (δύο στρώσεις με εσωτερικό διάκενο)
η. Τοιχοποιία με αλυσοειδές ή σταυροειδές σύστημα πλέξης (English bond)
θ. Τοιχοποιία με μικτό σύστημα πλέξης (Flemish bond)
ι. Οπλισμένη τοιχοποιία



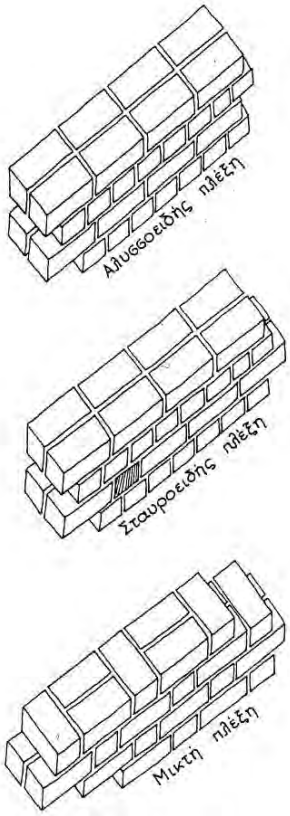
Τυπική διαμόρφωση αργολιθοδομής



Διαμόρφωση διασταυρώσεων αργολιθοδομών



Τυπική διαμόρφωση πλινθοδομών



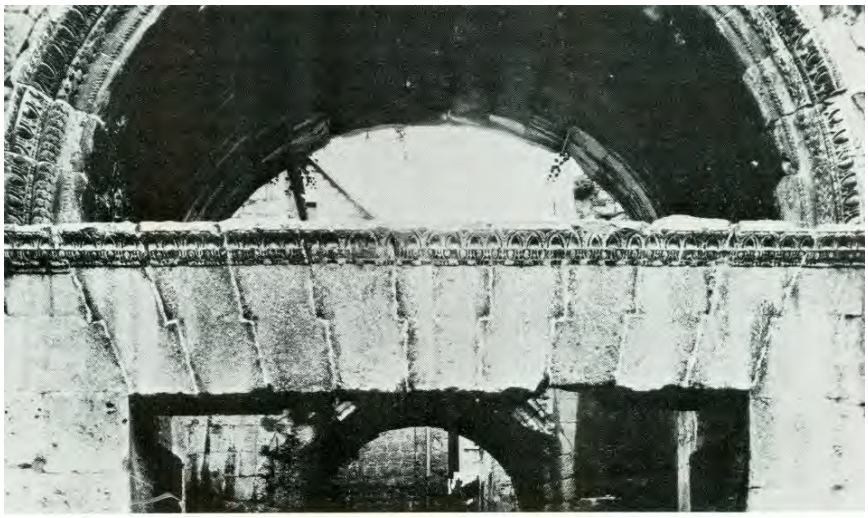
Σχ. 1.1: Τυπικές μορφές δόμησης λιθοδομών, πλινθοδομών [2,3]

1.3 Ιστορική εξέλιξη

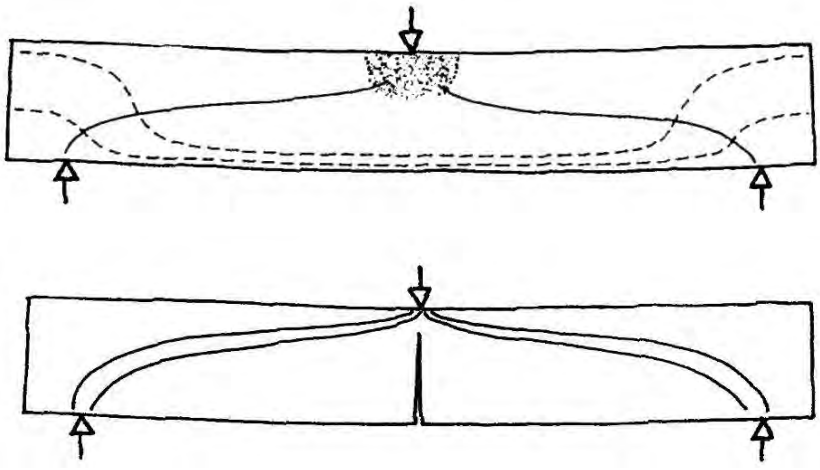
Χαρακτηριστικές εικόνες από το βιβλίο “Developments in Structural Form”, R. Mainstone, 1975 [18].

Σχ. 1.2: Πύλη των Λεόντων, Ανάκτορο Μυκηνών

Σχ. 1.3: Ναός Διός, Αθήνα, αστοχία Μονολιθικού Επιστύλιου



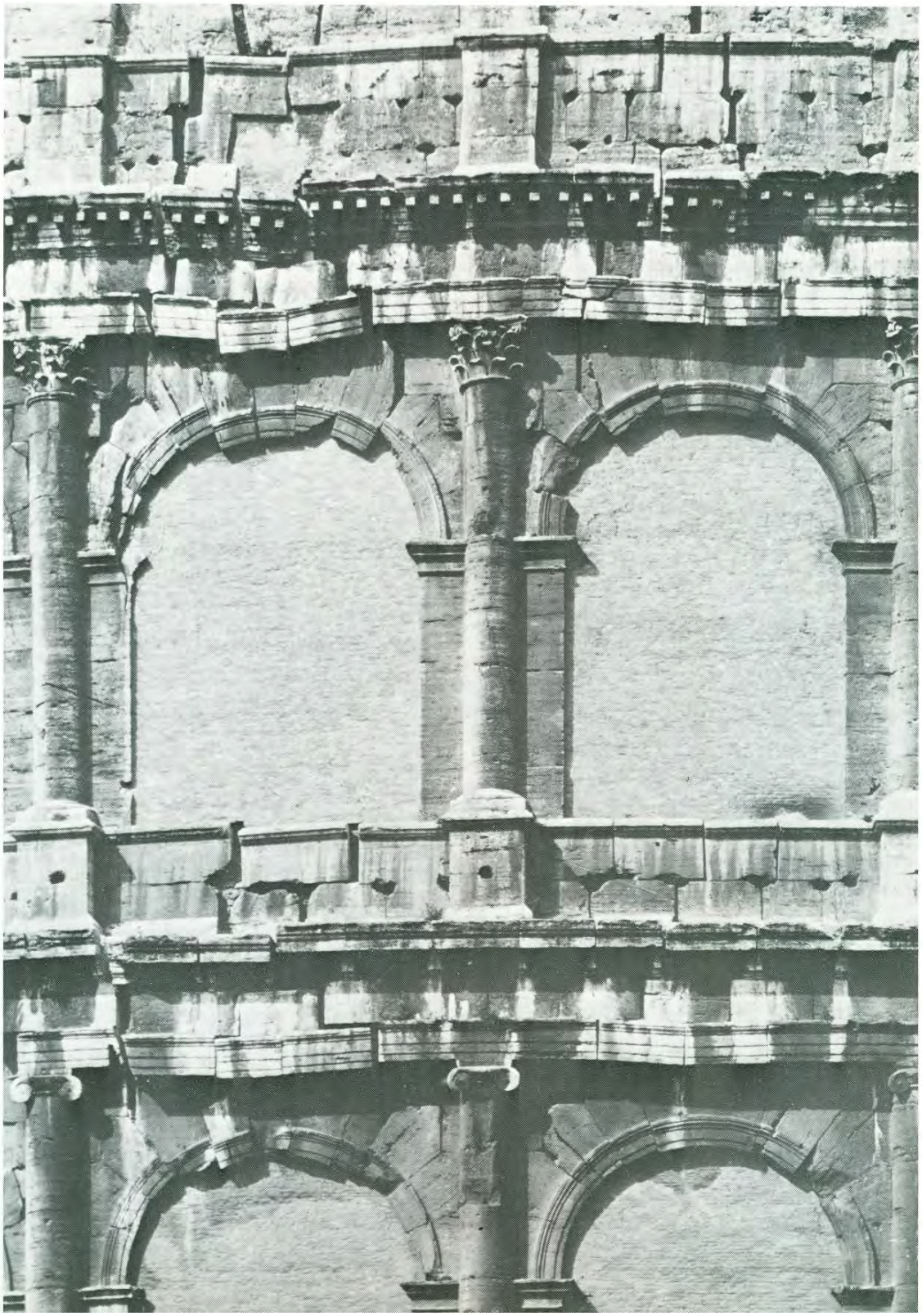
Σχ. 1.4: Παλάτι Διοκλητιανού, Split Κροατίας, Βόρεια Πύλη



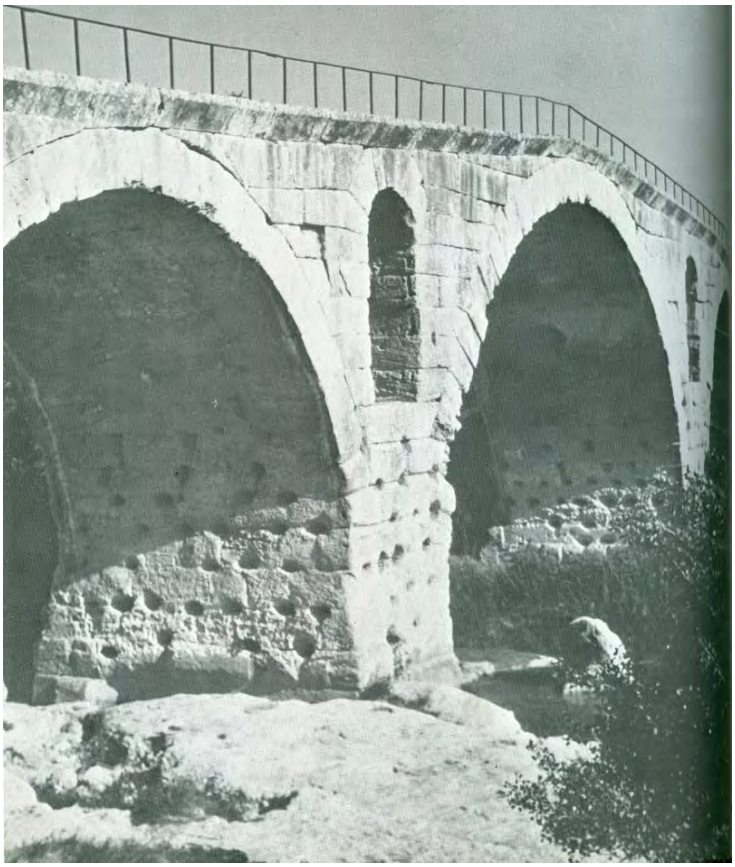
Σχ. 1.5: Λειτουργία μονολιθικής δοκού

Σχ. 1.6: Ναός της Ομόνοιας, Agrigento, Σικελία

Σχ. 1.7: Ημιτελής Ναός, Segesta, Σικελία



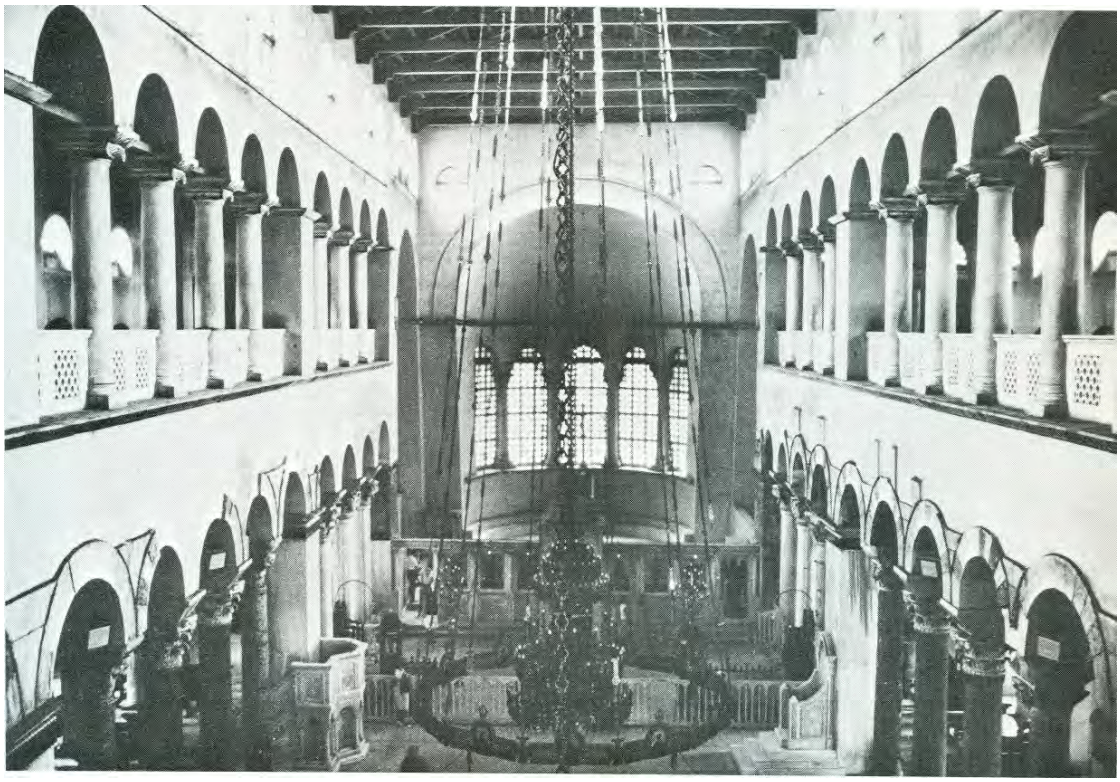
Σχ. 1.8: Κολοσσαίο, Ρώμη, περιμετρική τοξοστοιχία



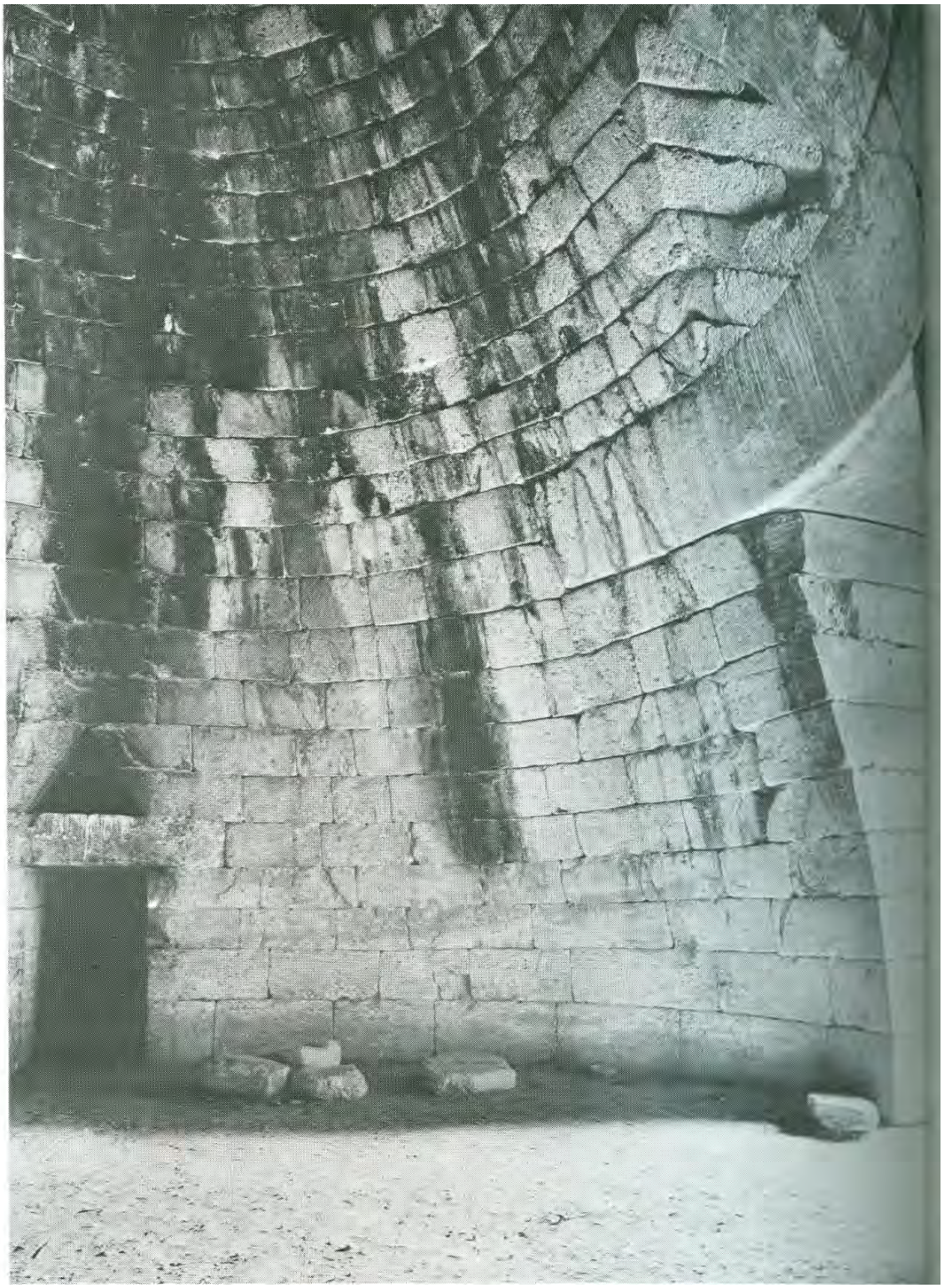
Σχ. 1.9: Ρωμαϊκή Γέφυρα, Προβηγκία, Γαλλία

Σχ. 1.10: Ρωμαϊκό Υδραγωγείο, Προβηγκία, Γαλλία

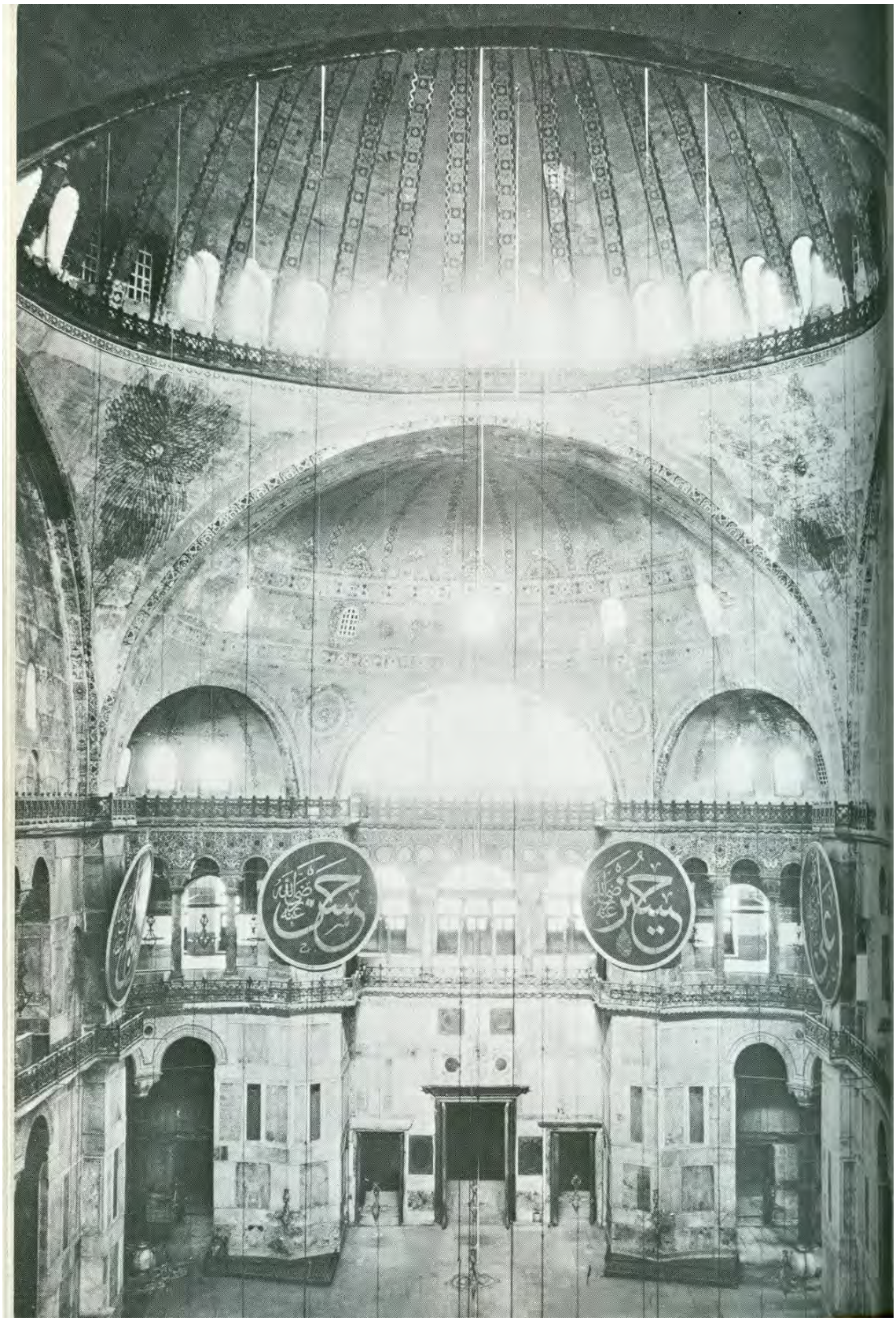
Σχ. 1.11: Εκκλησία S. Lorenzo, Ρώμη



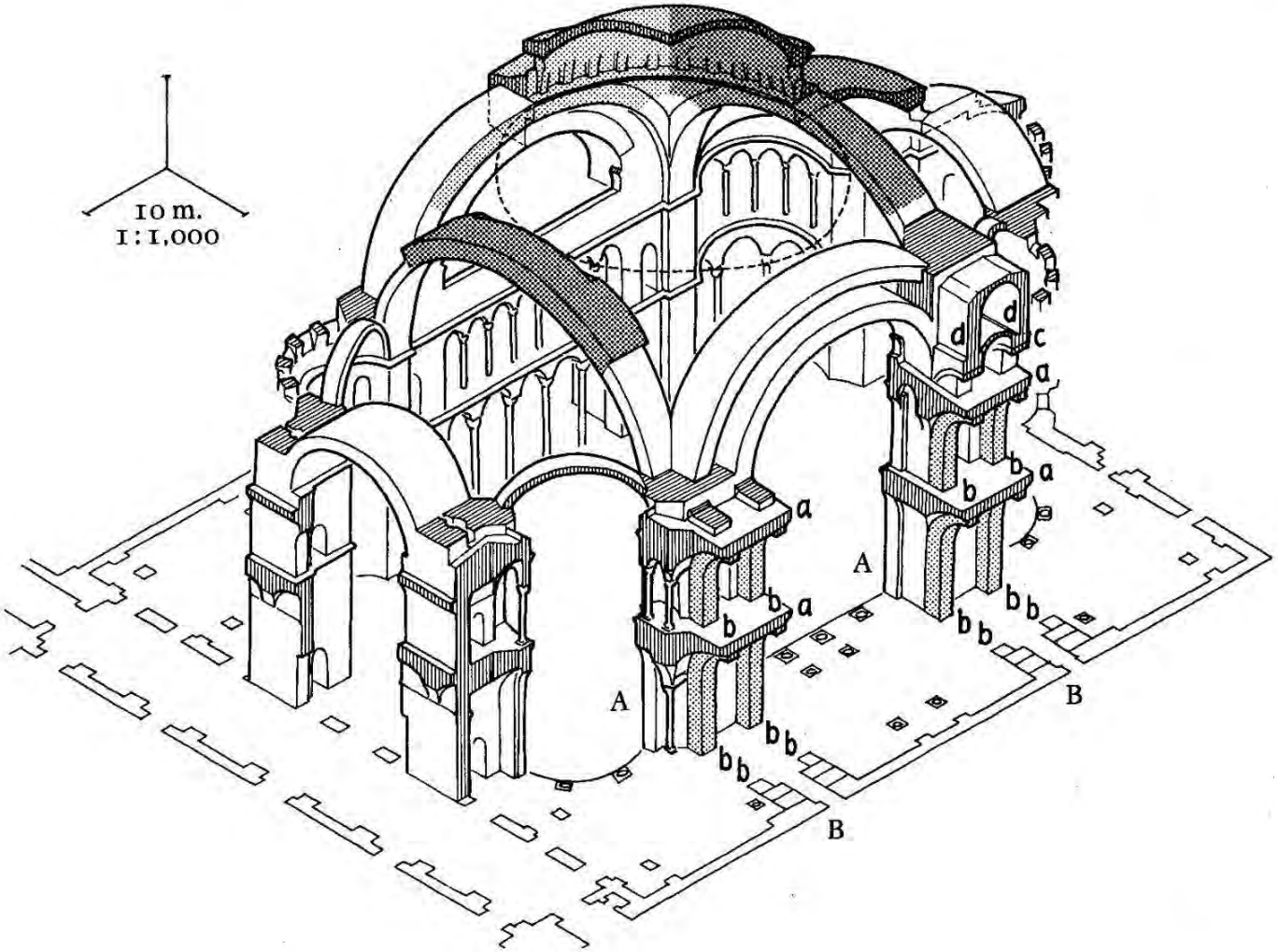
Σχ. 1.12: Εκκλησία Αγίου Δημητρίου, Θεσσαλονίκη



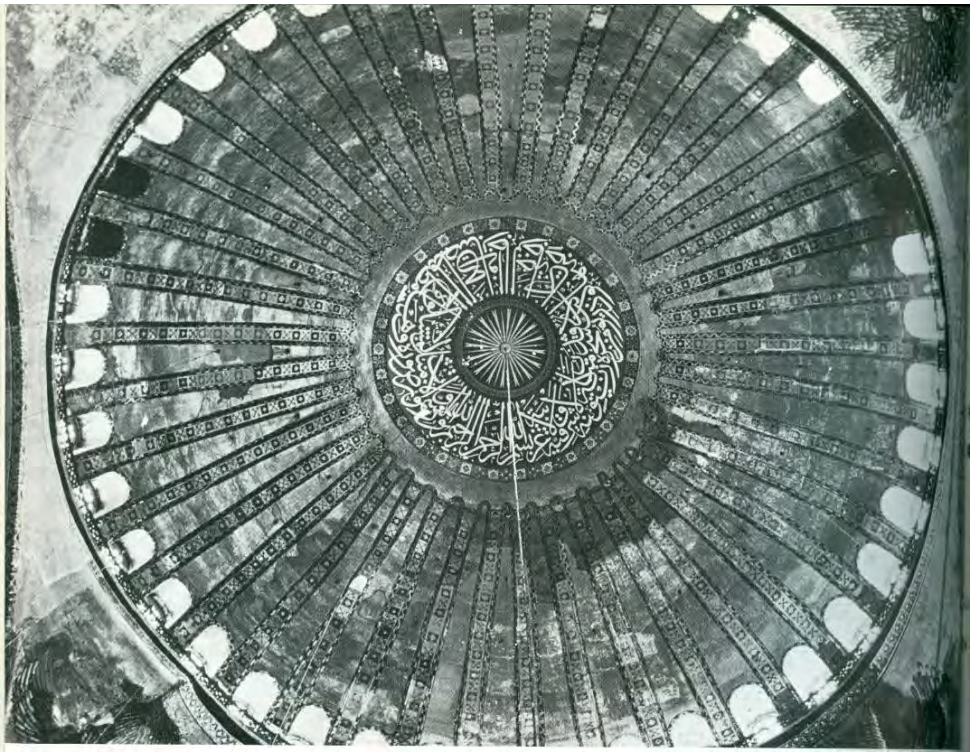
Σχ. 1.13: Θησαυρός του Ατρέα, Μυκήνες



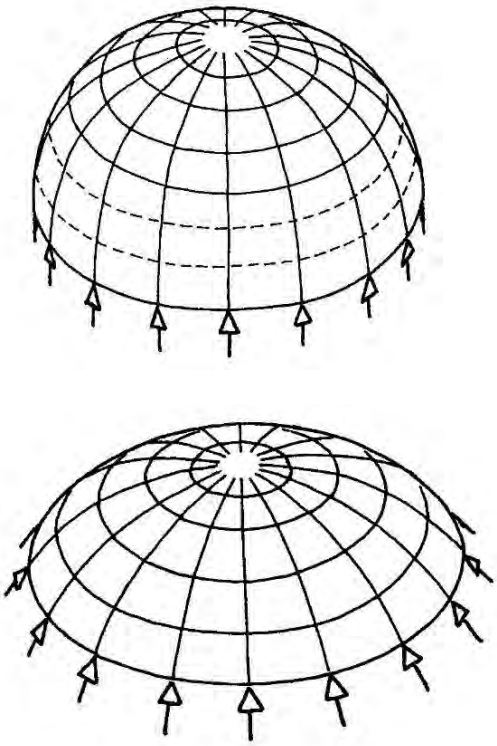
Σχ. 1.14: Αγία Σοφία, Κωνσταντινούπολη



Σχ. 1.15: Αγία Σοφία, Κωνσταντινούπολη, ισομετρική απεικόνιση του φέροντα οργανισμού



Σχ. 1.16: Αγία Σοφία, Κωνσταντινούπολη, κεντρικός θόλος

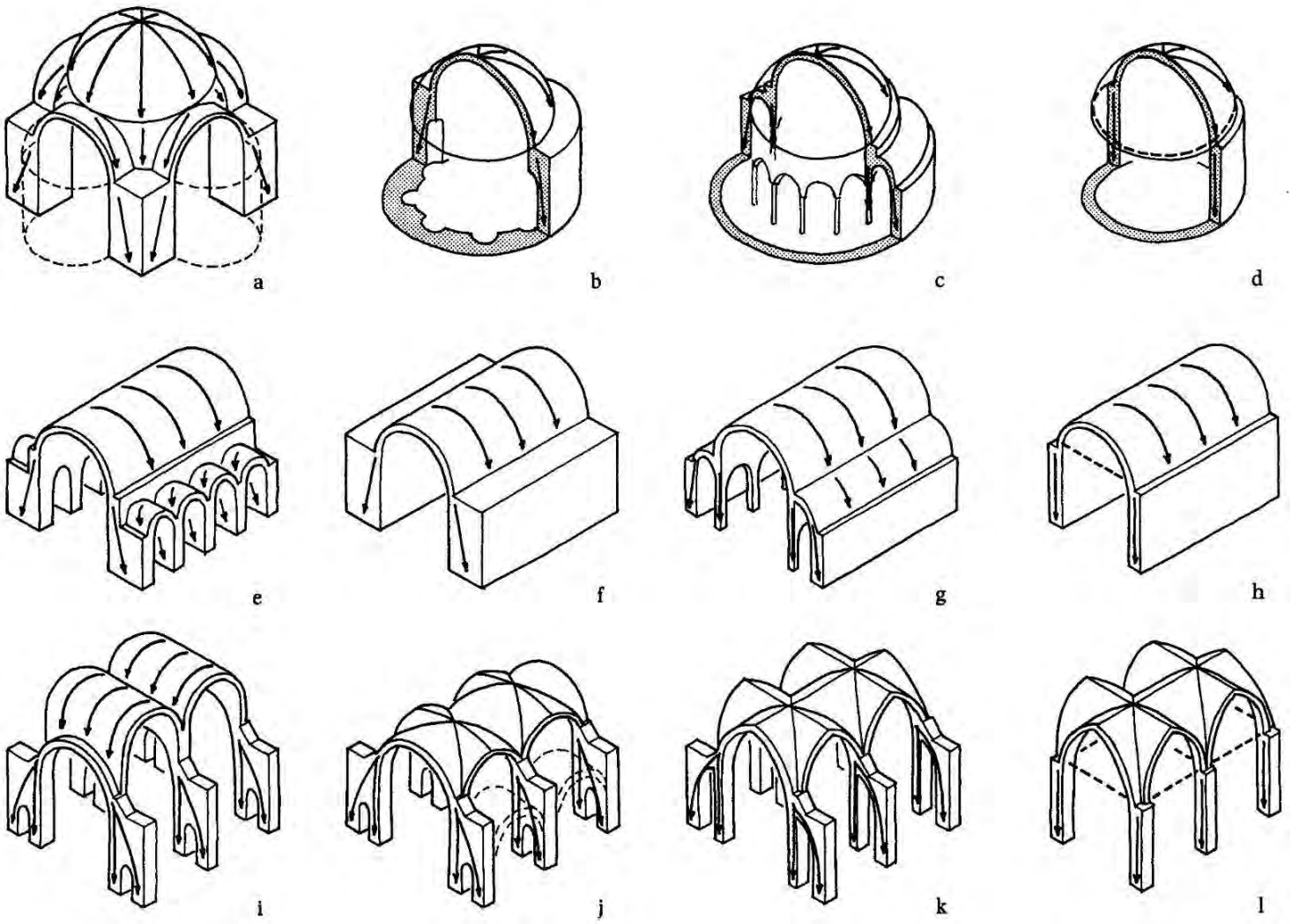


Σχ. 1.17: Σφαιρικό κέλυφος, ισοτασικές κύριων τάσεων

Σχ. 1.18: Αγία Σοφία, Κωνσταντινούπολη, θόλοι δυτικού περιδρόμου

Σχ. 1.19: Ναός στη Γαλλία, θόλοι Νάρθηκα

Σχ. 1.20: Καθεδρικός Ναός Φλωρεντίας

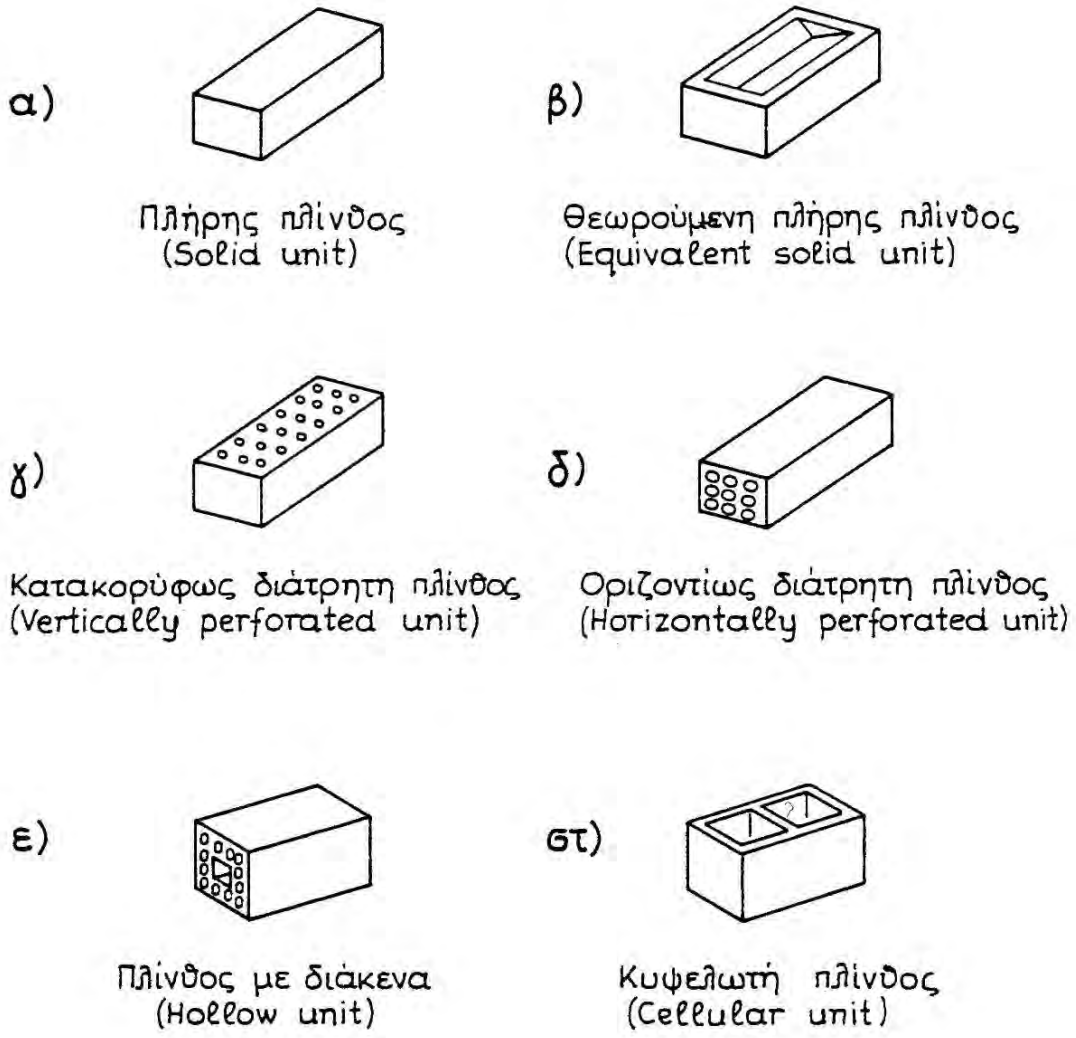


Σχ. 1.21: Φέροντες οργανισμοί θολωτών και καμαρωτών κατασκευών

Σχ. 1.22: Πολυώροφες κατασκευές από ξυλόπηκτη τοιχοποιία, Αμβούργο

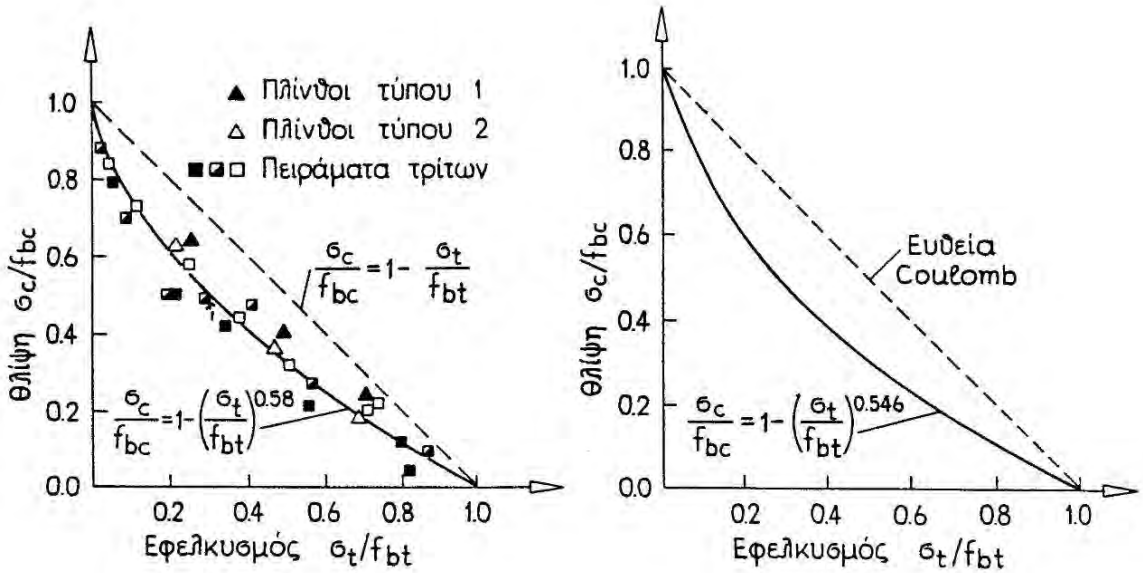
1.4 Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών

1.4.1 Πλίνθοι

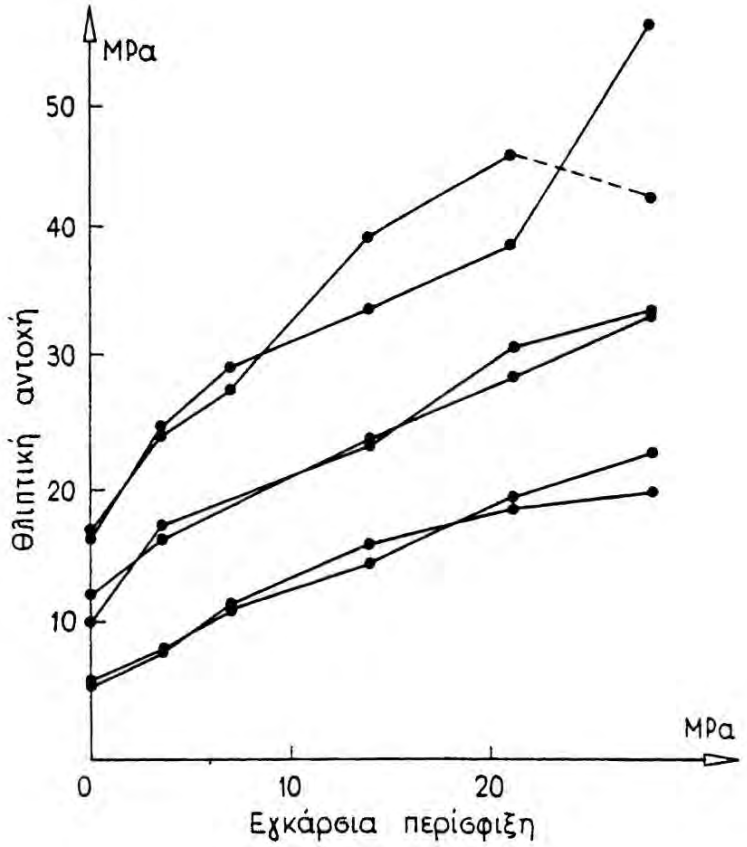


Σχ. 1.23: Συνήθεις μορφές πλίνθων [3]

Απόκριση πλίνθων υπό ετερόσημη διαξονική ή τριαξονική καταπόνηση



Σχ. 1.24: Περιβάλλουσες αστοχίας αργιλικών τούβλων υπό ετερόσημη διαξονική καταπόνηση [19], [20]



Σχ. 1.25: Αύξηση θλιπτικής αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων οπτοπλίνθων λόγω εγκάρσιας περίσφιξης [21]

1.4.2 Κονιάματα

Σύνθεση – Θλιπτική αντοχή κονιαμάτων

Πίνακας 1.1: Κατάταξη κονιαμάτων δόμησης τοιχοποιιών κατά τις Αμερικανικές προδιαγραφές [22]

Τύπος Κονιάματος	Μέση θλιπτική αντοχή 28 ημερών		Σύνθεση σε μέρη κατ' όγκο		
	psi	MPa	Τσιμέντο	Υδράσβεστος	'Αμμος
M	2500	18.0	1.00	0.25	3.00
S	1800	13.0	1.00	0.50	4.50
N	750	5.5	1.00	1.00	6.00
O	350	2.5	1.00	2.00	9.00
K	75	0.5	1.00	4.00	15.00

Πίνακας 1.2: Κατάταξη κονιαμάτων δόμησης τοιχοποιιών κατά τις παλιές Βρετανικές προδιαγραφές [23]

Τύπος Κονιάματος	Μέση θλιπτική αντοχή 28 ημερών (MPa)		Σύνθεση κονιάματος σε μέρη όγκου				
						Αυξημένη	
	Δοκιμή στο Εργαστήριο	Δοκιμή επί τόπου	Τσιμέντο Ασβέστης 'Αμμος	Τσιμέντο Τοιχοποιίας 'Αμμος	Τσιμέντο 'Αμμος και Πλαστικοποιητής	Αντοχή	Παραμορφωσιμότητα
(i)	16.0	11.0	1/0÷¼/3	-	-	↑	↓
(ii)	6.5	4.5	1/½÷4/4½	1/2½÷3½	1/3÷4		
(iii)	3.6	2.5	1/1/5÷6	1/4÷5	1/5÷6		
(iv)	1.5	1.0	1/2/8÷9	1/5½÷6½	1/7÷8		
Αυξημένη αντίσταση σε παγετό κατα την κατασκευή			→			Παρατηρήσεις	
Βελτιωμένη συνοχή και Υδατοστεγανότητα			←				

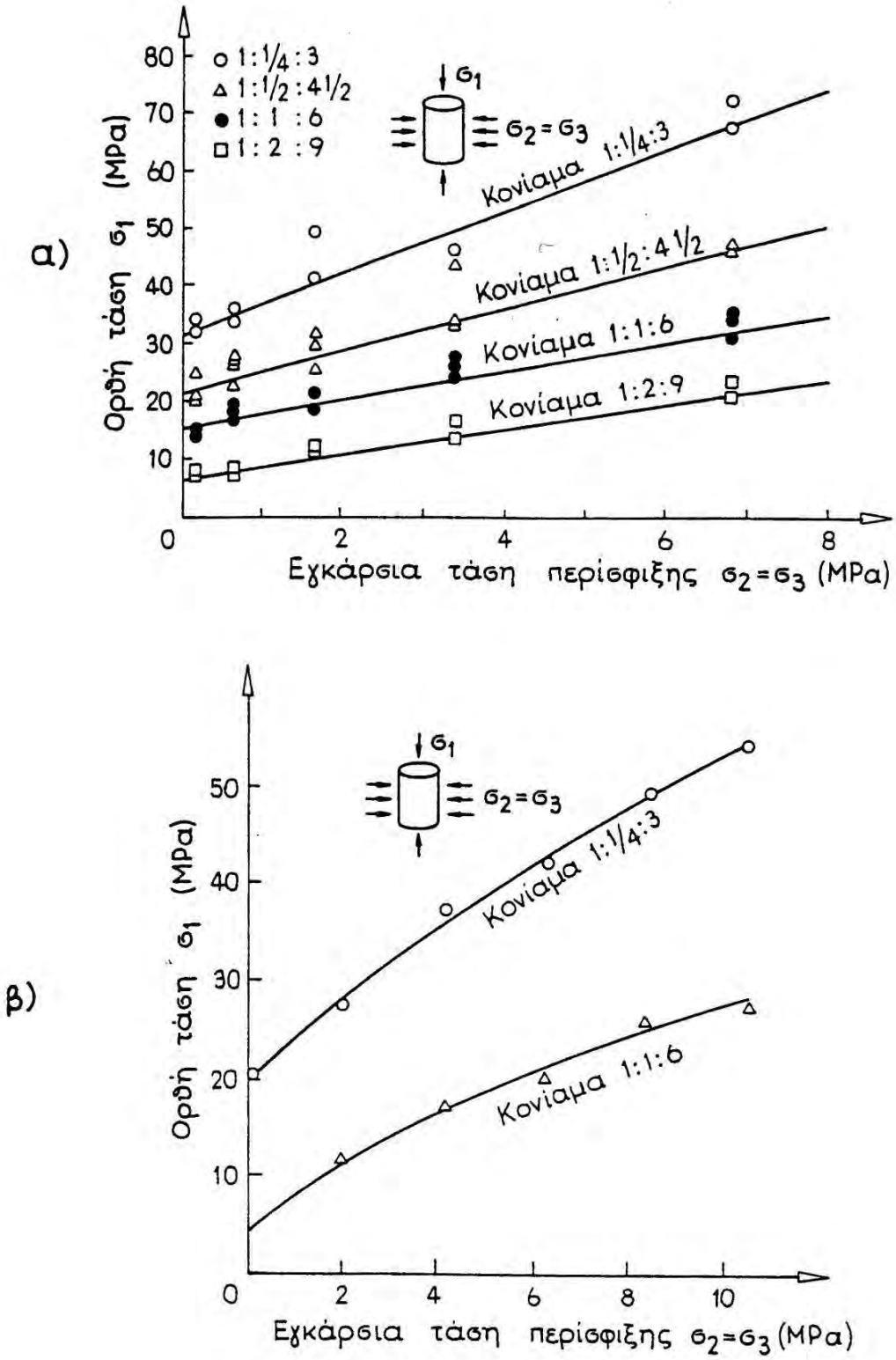
Πίνακας 1.3: Κατάταξη κονιαμάτων δόμησης τοιχοποιιών κατά τις παλιές Γερμανικές προδιαγραφές [24]

Τύπος Κονιάματος	Θλιπτική αντοχή 28 ημερών (MPa)		Σύνθεση κονιάματος σε μέρη όγκου					
			Τσιμέντο	Τύποι ασβέστου				Άμμος
	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή		a	b	c	d	
I	-	-	-	1	-	-	-	4
				-	1	-	-	3
				-	-	1	-	3
				-	-	-	1	4.5
II	≥2	≥2.5	1	1.5	-	-	-	8
			1	-	2	-	-	8
			-	-	-	-	1	3
IIa	≥4	≥5	1	-	1	-	-	6
			1	-	-	-	2	8
III	≥8	≥10	1	-	-	-	-	4

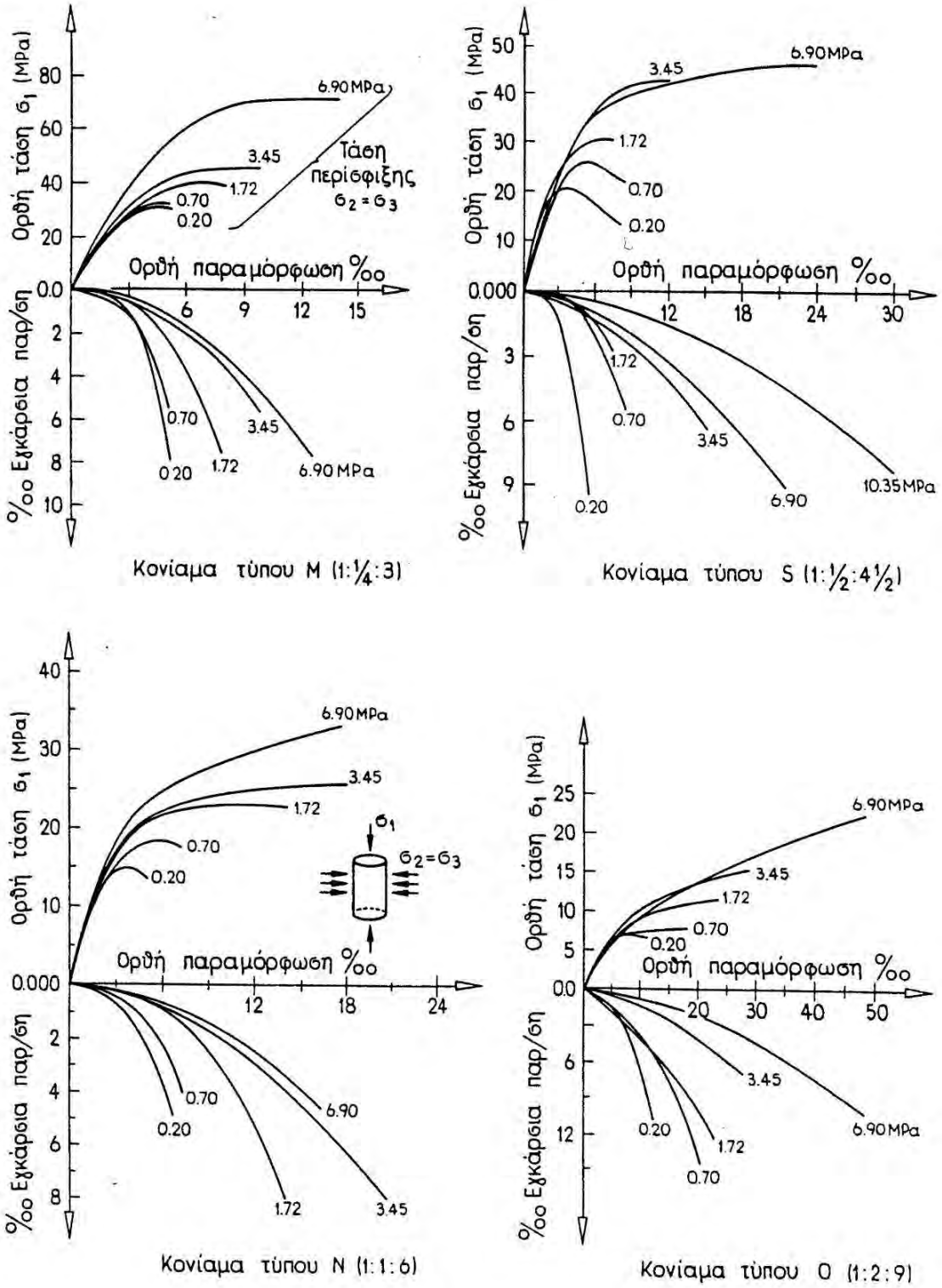
a: Υγρή υδράσβεστος b: Υδράσβεστος σε σκόνη
c: Υδραυλική άσβεστος d: Άσβεστος υψηλής Υδραυλικότητας

Πίνακας 1.4: Κατάταξη κονιαμάτων δόμησης τοιχοποιιών κατά τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές [1]

Τύπος Κονιάματος	Ελάχιστη θλιπτική αντοχή 28 ημερών σε MPa	Κατά προσέγγιση σύνθεση σε μέρη κατ όγκο		
		Τσιμέντο	Υδράσβεστος	Άμμος
M20	20	Ελέγχεται με δοκιμές		
M15	15	1	0÷0.25	3.00
M10	10	1	0.25÷0.50	4.00÷4.50
M5	5	1	0.50÷1.25	5.00÷6.00
M2	2.5	1	1.25÷2.50	8.00÷9.00



Σχ. 1.26: Περιβάλλουσες αστοχίας ασβεστοτσιμεντοκονιαμάτων υπό θλιπτική καταπόνηση για αύξουσα εγκάρσια περίσφιξη, (α) Atkinson κ.ο. [25], (β) Khoo – Hendry [20]



Σχ. 1.27: Καμπύλες τάσεων – παραμορφώσεων ασβεστοκονιαμάτων υπό τριαξονική θλιπτική καταπόνηση για αύξουσες τιμές εγκάρσιας περίσφιξης, Atkinson κ.α. [25]

1.4.3 Ξύλο

Πίνακας 1.5: Μηχανικές ιδιότητες ξύλων σύμφωνα με παλιές Γερμανικές προδιαγραφές [26]

Είδος ξύλου	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)		Όριο αναλογίας (MPa)	Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	Αντοχή σε θλίψη (MPa)		Αντοχή σε διάτμηση (MPa)	Αντοχή σε κάμψη (MPa)
	①	⊥	①	①	①	⊥	⊥	①
Δρυς	10.0 ÷ 11.0	0.8 ÷ 1.1	15.0 ÷ 50.0	100.0	40.0	15.0	30.0	60.0
Οξυά	13.0 ÷ 18.0	-	10.0 ÷ 60.0	130.0	35.0	-	-	67.0
Κωνοφόρα	9.0 ÷ 11.0	0.4 ÷ 0.8	15.0 ÷ 22.0	80.0	25.0	8.0	25.0	43.0

① : Παράλληλα προς τις ίνες ⊥ : Κάθετα προς τις ίνες

1.4.4 Πετρώματα

Πίνακας 1.6: Φυσικές ιδιότητες πετρωμάτων [26]

Πέτρωμα	Τύπος	Τόπος δοκιμών	Φαινόμενο ειδικό βάρος	Πραγματικό ειδικό βάρος	Πορώδες $(\gamma - \gamma')/\gamma'$	Συντελεστής θερμικής διαστολής
			γ'(KN/m^3)	γ'(KN/m^3)	(% κατ' όγκο)	grad^{-1}
Γρανίτης, Συηνίτης	Ε.	Η.Π.Α.	26.0 ÷ 30.4	26.0 ÷ 30.8	0.4 ÷ 3.8	(6.3÷9.0) x 10^{-6}
Διορίτης, Γάβρος	Ε.	Γερμανία	28.0 ÷ 30.0	28.5 ÷ 30.5	0.5 ÷ 1.2	-
Πορφυρίτης, Ανδεσίτης	Ε.	Γερμανία	25.5 ÷ 28.0	25.8 ÷ 28.3	0.4 ÷ 1.8	-
Βασάλτης	Ε.	Γερμανία	29.5 ÷ 30.0	30.0 ÷ 31.5	0.2 ÷ 0.9	-
Λάβα	Ε.	Γερμανία	22.0 ÷ 23.5	30.0 ÷ 31.5	20.0 ÷ 25.0	-
Διαβάσης	Ε.	Γερμανία	28.0 ÷ 29.0	28.5 ÷ 29.5	0.3 ÷ 1.1	-
Γραουβάκης	Ι.	Γερμανία	26.0 ÷ 26.5	26.4 ÷ 26.8	0.4 ÷ 2.0	-
Χαλαζιακός ψαμμίτης	Ι.	Γερμανία	26.0 ÷ 26.5	26.4 ÷ 26.8	0.4 ÷ 2.0	-
Ηφαιστειακός τόφφος	Ι.	Γερμανία	18.0 ÷ 20.0	26.2 ÷ 27.5	20.0 ÷ 30.0	-
Ασβεστόλιθος	Ι.	Η.Π.Α.	18.7 ÷ 26.9	27.0 ÷ 28.6	1.10 ÷ 31.0	(4.2÷22.0) x 10^{-6}
Ασβεστίτης – Δολομίτης	Ι.	Γερμανία	26.5 ÷ 28.5	27.0 ÷ 29.0	0.5 ÷ 2.0	-
Ψαμμίτης	Ι.	Η.Π.Α.	22.0 ÷ 27.0	-	1.9 ÷ 27.3	(5.0÷12.0) x 10^{-6}
Τραβερτίνης	Ι.	Γερμανία	24.0 ÷ 25.0	26.9 ÷ 27.2	5.0 ÷ 12.0	-
Γνεύσιος, Γρανουλίτης	Μ.	Γερμανία	26.5 ÷ 30.0	26.7 ÷ 30.5	0.4 ÷ 2.0	-
Μάρμαρο	Μ.	Η.Π.Α.	26.4 ÷ 28.6	27.2 ÷ 28.8	0.4 ÷ 2.1	(3.6÷16.0) x 10^{-6}
Σερπεντίνης	Μ.	Η.Π.Α.	25.0 ÷ 28.0	-	-	-
Σχιστόλιθος	Μ.	Η.Π.Α.	27.4 ÷ 28.9	27.7 ÷ 29.0	0.1 ÷ 1.7	(9.4÷12.0) x 10^{-6}

Ε. : Εκρηξιγενή, Ι. : Ιζηματογενή, Μ. : Μεταμορφωσιγενή

Πίνακας 1.7: Μηχανικές ιδιότητες πετρωμάτων [26]

Πέτρωμα	Τύπος	Τόπος δοκιμών	Αντοχή σε				Μέτρο ελαστικότητας	Λόγος Poisson
			Θλίψη	Κάμψη	Διάτμηση	Εφελκυσμό		
			(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	v
Γρανίτης, Συηνίτης	Ε.	Η.Π.Α.	54.0÷422.0	10.0÷36.5	14.0÷34.0	4.0÷7.0	40.0 ÷ 57.0	0.23÷0.27
Διορίτης, Γάβρος	Ε.	Γερμανία	170.0÷300.0	10.0÷22.0	-	-	70.0÷110.0	0.26÷0.29
Πορφυρίτης, Ανδεσίτης	Ε.	Γερμανία	180.0÷300.0	15.0÷20.0	-	-	-	-
Βασάλτης	Ε.	Γερμανία	250.0÷400.0	15.0÷25.0	-	-	-	-
Λάβα	Ε.	Γερμανία	80.0÷150.0	8.0÷12.0	-	-	-	-
Διαβάσης	Ε.	Γερμανία	180.0÷250.0	15.0÷25.0	-	-	-	-
Γραουβάκης	Ι.	Γερμανία	150.0÷300.0	13.0÷25.0	-	-	-	-
Χαλαζιακός ψαμμίτης	Ι.	Γερμανία	120.0÷200.0	12.0÷20.0	-	-	-	-
Ηφαιστειακός τόφφος	Ι.	Γερμανία	20.0÷30.0	2.0÷6.0	-	-	-	-
Ασβεστόλιθος	Ι.	Η.Π.Α.	18.0÷197.0	3.5÷14.0	5.5÷32.0	2.0÷6.5	10.5÷87.0	0.27÷0.30
Ασβεστίτης – Δολομίτης	Ι.	Γερμανία	80.0÷180.0	6.0÷15.0	-	-	-	-
Ψαμμίτης	Ι.	Η.Π.Α.	35.0÷140.0	5.0÷16.0	2.0÷21.0	2.0÷3.5	13.0÷54.0	-
Τραβερτίνης	Ι.	Γερμανία	20.0÷60.0	4.0÷10.0	-	-	-	-
Γνεύσιος	Μ.	Γερμανία	160.0÷280.0	-	-	-	-	-
Μάρμαρο	Μ.	Η.Π.Α.	56.0÷350.0	4.0÷34.5	9.0÷45.5	1.0÷16.0	50.5÷102.0	0.27÷0.30
Σερπεντίνης	Μ.	Η.Π.Α.	77.0÷197.0	9.0÷77.0	-	5.5÷11.0	34.0÷67.5	
Σχιστόλιθος	Μ.	Η.Π.Α.	-	42.0÷105.0	14.0÷25.0	21.0÷30.0	69.0÷126.5	0.15÷0.20
Αμφιβολίτης	Μ.	Η.Π.Α.	100.0÷350.0	-	-	-	96.0÷124.0	0.28÷0.30

Οι τιμές του Πίνακα ισχύουν για την περίπτωση ξηρού πετρώματος. Εάν το πέτρωμα είναι κεκορεσμένο οι τιμές μεταβάλλονται κατά περίπτωση από το 0.54 έως το 1.35 των αντίστοιχων τιμών για ξηρό πέτρωμα

Ε. : Εκρηξιγενή, Ι. : Ιζηματογενή, Μ.: Μεταμορφωσιγενή

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

2.1 Γενικά - Συμβολισμοί

- Η μηχανική συμπεριφορά της τοιχοποιίας χαρακτηρίζεται από:
  α. Σχετικά υψηλή θλιπτική αντοχή.
  β. Ιδιαίτερα χαμηλή εφελκυστική αντοχή.
  γ. Σχετικά ικανοποιητική αντοχή σε διάτμηση.
  δ. Έντονα ανισότροπη συμπεριφορά.
- Εκτός της θλιπτικής αντοχής, τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά αποτελούν και τις βασικές αδυναμίες της τοιχοποιίας. Οι αδυναμίες αυτές οφείλονται όχι μόνο στον ψαθυρό χαρακτήρα των πλίνθων και του κονιάματος, αλλά κυρίως στην συμπεριφορά της διεπιφάνειας επαφής ιδιαίτερα κατά μήκος των συνεχών οριζόντιων αρμών που έχουν χαρακτηρισθεί ως τα "αδύνατα επίπεδα της τοιχοποιίας".
- Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στις μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας. Οι απαραίτητοι συμβολισμοί είναι οι ακόλουθοι:

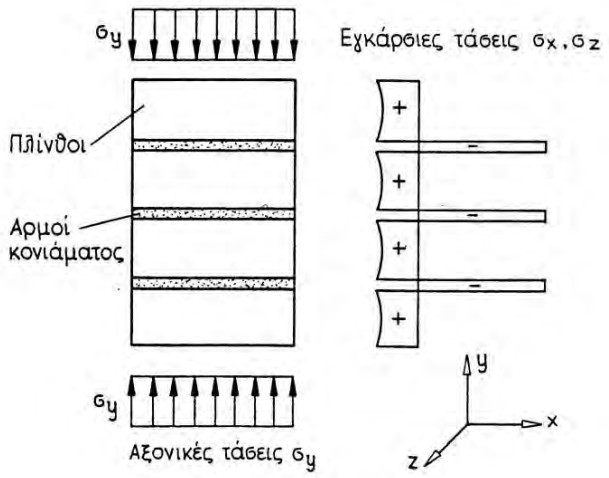
h_w: ύψος τοίχου (wall)
l_w: μήκος (πλάτος) τοίχου
σ_n: ορθή τάση τοιχοποιίας κάθετα (normal) στους οριζόντιους αρμούς
σ_p: ορθή τάση τοιχοποιίας παράλληλα (parallel) στους οριζόντιους αρμούς
τ: διατμητική τάση
$\sigma_{1,2}$: κύριες τάσεις
f_{bc}: θλιπτική αντοχή πλίνθου (brick)
f_{bt}: εφελκυστική αντοχή πλίνθου
f_{mc}: θλιπτική αντοχή κονιάματος (mortar)
f_{mt}: εφελκυστική αντοχή κονιάματος
f_{jt}: αντοχή αρμού (joint) σε αποκόλληση (tension)
f_{js}: αντοχή αρμού σε ολίσθηση (slip) υπό θλίψη
f_{jso}: αντοχή αρμού σε ολίσθηση ($\sigma_n = 0$)
f_{wc}: θλιπτική (compression) αντοχή τοιχοποιίας (φόρτιση κάθετα στους οριζόντιους αρμούς)
f_{wt}^{n}: εφελκυστική (tension) αντοχή τοιχοποιίας κάθετα στους οριζόντιους ατμούς
f_{wt}^{p}: εφελκυστική αντοχή παράλληλα προς τους οριζόντιους αρμούς
f_{ws}: διατμητική (shear) αντοχή τοιχοποιίας υπό θλίψη
f_{ws}: διατμητική αντοχή τοιχοποιίας ($\sigma_n = 0$)
μ: συντελεστής τριβής αρμού
E_b: μέτρο ελαστικότητας πλίνθων
E_m: μέτρο ελαστικότητας κονιάματος
E_w: μέτρο ελαστικότητας τοιχοποιίας
G_w: μέτρο διάτμησης τοιχοποιίας
ν_w: λόγος Poisson τοιχοποιίας

2.2 Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

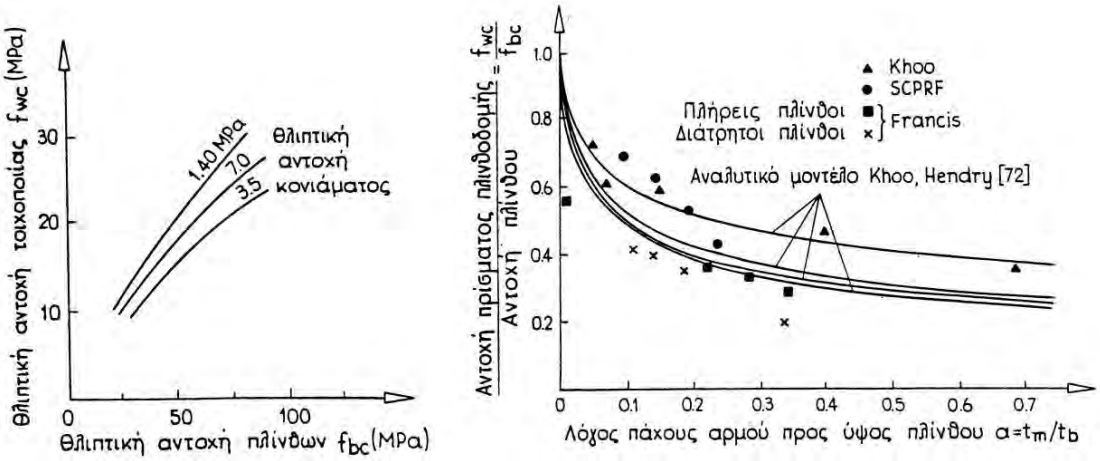
- Η υψηλή θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μηχανικά της χαρακτηριστικά καθόρισε και τη χρήση της ως κυρίως θλιβόμενου φέροντος δομικού στοιχείου.
- Τόσο η αντοχή όσο και ο τύπος αστοχίας επηρεάζεται έντονα από τη γωνία της θλιπτικής δύναμης ως προς τη διεύθυνση των οριζόντιων αρμών (ανισοτροπία). Στη συνέχεια αναφερόμαστε στη θλιπτική αντοχή κάθετα στους οριζόντιους αρμούς (f_{wc}).
- Η τοιχοποιία καταπονούμενη σε θλίψη κάθετα στους κύριους οριζόντιους αρμούς αστοχεί συνήθως από εγκάρσια ρηγμάτωση των πλίνθων, γεγονός που οφείλεται στην ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στις πλίνθους σε εγκάρσιες διευθύνσεις. Οι τάσεις αυτές προκαλούνται από τον συμβιβασμό των μεγάλων εγκάρσιων παραμορφώσεων του κονιάματος των αρμών με τις μικρότερες των πλίνθων που προκαλεί αντίστοιχα εγκάρσια περίσφιξη στο κονίαμα ($E_m < E_b$, $\nu_m > \nu_b$). Έτσι υπό μονοαξονική θλιπτική φόρτιση της τοιχοποιίας αναπτύσσεται τριαξονική καταπόνηση στις πλίνθους και στο κονίαμα των αρμών.
- Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας για τους συνήθεις συνδυασμούς πλίνθων και κονιάματος ($f_{bc}>f_{mc}$) είναι μικρότερη από τη θλιπτική αντοχή των πλίνθων αλλά υπερβαίνει την αντοχή του κονιάματος: $f_{bc} > f_{wc} > f_{mc}$
- Ο Francis [27] υπολόγισε, με τη θεωρία ελαστικότητας ισότροπων υλικών, τις εγκάρσιες τάσεις σ_x, σ_z πλίνθων και κονιάματος αρμών (Σχ. 2.1.) εξισώνοντας τις αντίστοιχες εγκάρσιες παραμορφώσεις των δύο υλικών. Στη συνέχεια, θεωρώντας γραμμικό κριτήριο αστοχίας πλίνθου υπό ετερόσημη καταπόνηση (Σχ. 1.24) κατέληξε στην ακόλουθη έκφραση για τη θλιπτική αντοχή πρίσματος τοιχοποιίας:

$$f_{wc} = f_{bc}\left[1+\frac{f_{bc}}{f_{bt}}\cdot\frac{\beta\cdot v_m - v_b}{(1-v_b)+a\cdot\beta\cdot(1-v_m)}\right]^{-1} \qquad (2.1)$$

  όπου: $\alpha = (t_b$: ύψος πλίνθου) / (t_m : πάχος αρμού)
  $\beta = E_b / E_m$ και
  v_b, v_m : οι λόγοι Poisson πλίνθου και κονιάματος
  Το θεωρητικό μοντέλο του Francis έχει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:
  - Δέχεται ότι η αστοχία της τοιχοποιίας επέρχεται πάντα από εγκάρσια ρηγμάτωση των πλίνθων
  - Δέχεται γραμμικά ελαστική συμπεριφορά των υλικών μέχρι αστοχίας, κάτι που δεν ισχύει, ιδιαίτερα για το περισφιγμένο κονίαμα των αρμών
  - Προϋποθέτει τη γνώση των μεγεθών E_b, v_b, E_m, v_m
- Παράγοντες που επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας (βλέπε Σχ. 2.2):
  α. Αντοχή των πλίνθων (f_{bc}, f_{bt}).
  β. Θλιπτική αντοχή του κονιάματος (f_{mc}).
  γ. Γεωμετρία δόμησης (πάχος αρμού/ύψος πλίνθου: t_m/t_b).
  δ. Παραμορφώσεις πλίνθων και κονιάματος (E_b, ν_b, E_m, ν_m).
  ε. Ποιότητα δόμησης.



Σχ. 2.1: Διανομή τάσεων σε πρίσμα τοιχοποιίας υπό θλίψη



Σχ. 2.2: Επιρροή μηχανικών χαρακτηριστικών υλικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών δόμησης στη θλιπτική αντοχής τοιχοποιίας [3]

- Συνήθεις μέθοδοι προσδιορισμού ή εκτίμησης της θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας:
  α. Πειραματικά στο εργαστήριο (δύσκολη για υφιστάμενη τοιχοποιία).
  β. Πειραματικά επί τόπου με τη μέθοδο των επίπεδων γρύλων (flat jacks). Η μέθοδος αναπτύχθηκε στην Ιταλία, απαιτείται ειδικός εξοπλισμός, ενώ είναι δύσκολη η βαθμονόμηση των αποτελεσμάτων.
  γ. Με συνδυασμό άμεσων δοκιμών και έμμεσων μετρήσεων επί τόπου και στο εργαστήριο (καρότα τοιχοποιίας, δοκίμια επί μέρους υλικών, κρουσιμετρήσεις με ειδικό κρουσίμετρο τοιχοποιιών: Συνδυασμός αποτελεσμάτων).
  δ. Βιβλιογραφία.
- Από επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων προτείνονται στη βιβλιογραφία διάφορες εμπειρικές εκφράσεις για τη θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας:

$$f_{wc} = \sqrt{f_{bc}} \quad \text{(MPa)} \quad [3] \qquad (2.2)$$

$$f_{wc} = 0.7\sqrt{f_{bc}} \quad \sqrt[3]{f_{mc}} \qquad \text{(MPa)} \quad [4] \tag{2.3}$$

$$f_{wc} = f_{bc}\left[\left(4+0.1f_{mc}\right)/\left(12+5\beta\right)\right]-2.0 \qquad \text{(MPa)} \quad [4] \tag{2.4}$$

$$f_{wc} = \left(1-0.8\sqrt[3]{\alpha}\right)\ \left[f_{mc}+0.4\left(f_{bc}-f_{mc}\right)\right] \qquad \text{(MPa)} \quad [4] \tag{2.5}$$

όπου $\alpha = t_m/t_b$ και β = ύψος / πλάτος τοίχου.

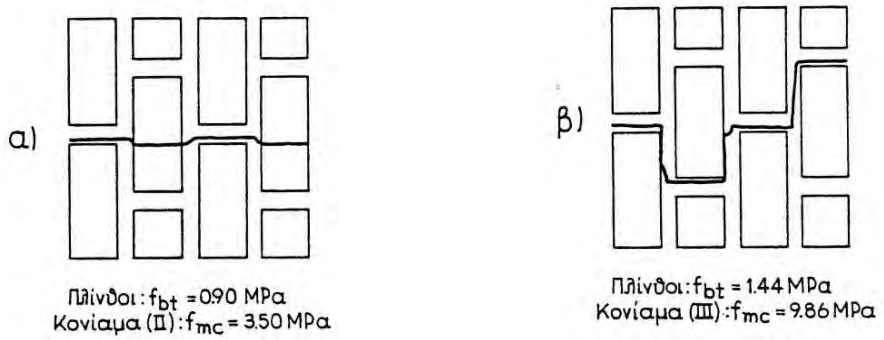
- Ο Ευρωκώδικας 6 συνιστά τον πειραματικό προσδιορισμό της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας και προτείνει την ακόλουθη έκφραση:

$$f_{wc} = K f_{bc}^{0.65} f_{mc}^{0.25} \qquad \text{(MPa)} \quad [1] \tag{2.6}$$

όπου K: συντελεστής που εξαρτάται από τον τύπο των πλίνθων (υλικό, ποσοστό και διαστάσεις κενών) και τον τύπο δόμησης της τοιχοποιίας. Παίρνει τιμές από 0.40 έως 0.60.

2.3 Εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας

- Είναι γενικά πολύ χαμηλότερη της θλιπτικής αντοχής.
- Διαφοροποιείται έντονα από τη γωνία της εφελκυστικής δύναμης ως προς τους οριζόντιους αρμούς (ανισοτροπία).
- Εμφανίζεται μεγάλη διασπορά τιμών (αναξιοπιστία).
- Παράγοντες που επηρεάζουν την εφελκυστική αντοχή τοιχοποιίας :
  α. Αντοχή αρμού σε αποκόλληση (f_{jt}).
  β. Εφελκυστική αντοχή κονιάματος (f_{mt}).
  γ. Συνοχή κονιάματος – πλίνθου (f_{jso}).
- Εφελκυστική αντοχή κάθετα στους οριζόντιους αρμούς (f_{wt}^{n}) : Αποκόλληση αρμών από υπέρβαση της μικρότερης από τις f_{jt}, f_{mt}.
- Εφελκυστική αντοχή παράλληλα στους οριζόντιους αρμούς (f_{wt}^{p}) : Έντονη διαφοροποίηση αντοχών και τύπων αστοχίας (βλέπε Σχ. 2.3).
- Συνήθως η εφελκυστική αντοχή παράλληλα στους οριζόντιους αρμούς είναι μεγαλύτερη από την εφελκυστική αντοχή κάθετα σε αυτούς : $f_{wt}^{p} > f_{wt}^{n}$.
- Οι Κανονισμοί κατά κανόνα δεν χρησιμοποιούν την εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας στο σχεδιασμό (non tension material). Αντίθετα, συνήθως προδιαγράφουν την καμπτική αντοχή τοιχοποιίας για φόρτιση κάθετα στο επίπεδό της (σεισμός, άνεμος).



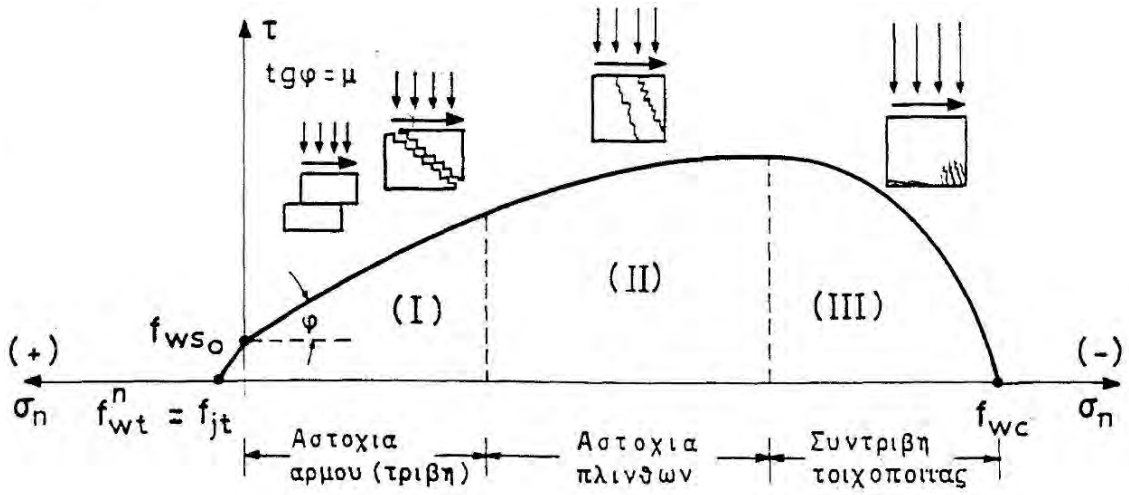
Σχ. 2.3: Μορφές αστοχίας τοιχοποιίας υπό άμεσο εφελκυσμό παράλληλα προς τους οριζόντιους αρμούς. (α) Ασθενείς πλίνθοι, (β) Ισχυρές πλίνθοι [6]

2.4 Διατμητική αντοχή τοιχοποιίας

- Καθαρή διάτμηση δεν υπάρχει υπό πραγματικές συνθήκες. Στο επίπεδο των αρμών συνυπάρχουν με τις διατμητικές (τ) και ορθές τάσεις (σ_n) ακόμη και μόνο λόγω του ιδίου βάρους της τοιχοποιίας.
- Πολύ χρήσιμη για το σχεδιασμό υπό σεισμικά φορτία είναι η περιβάλλουσα αστοχίας τοιχοποιίας υπό συνδυασμό (τ, σ_n), (βλέπε Σχ. 2.4). Σχολιάζοντας το Σχ. 2.4, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:
  α. Χαμηλές τιμές σ_n (περιοχή I) : Αστοχία τριβής – ολίσθησης οριζόντιου αρμού ή κλιμακωτή αποκόλληση και ολίσθηση κατακόρυφων και οριζόντιων αρμών (συνήθης μορφή διατμητικής αστοχίας τοίχων). Αποδεκτό γενικά το γραμμικό κριτήριο αστοχίας Coulomb:

  $$\tau_u = f_{ws} = f_{wso} + \mu\, \sigma_n \qquad \text{(όπου η θλιπτική } \sigma_\eta \text{ θεωρείται θετική)} \qquad (2.7)$$

  β. Μέσες τιμές σ_n (περιοχή II) : Αστοχία από λοξή ρηγμάτωση που διαπερνά και πλίνθους. Συνήθως εμφανίζεται σε πεσσούς μεταξύ ανοιγμάτων.
  γ. Υψηλές τιμές σ_n (περιοχή III) : Αστοχία από συντριβή θλιβόμενης γωνίας. Αστοχία καμπτικού τύπου η οποία προηγείται της διατμητικής αστοχίας.
  δ. Περιοχή εφελκυστικής ορθής τάσης σ_n: Η περιβάλλουσα αστοχίας είναι σχεδόν ευθεία γραμμή με έντονη κλίση καθώς συνήθως ισχύει $f_{wso} > f_{jt}$.
- Η μορφή της οριακής καμπύλης (τ, σ_n) επηρεάζεται έντονα από τα μηχανικά χαρακτηριστικά πλίνθων, κονιάματος και αρμού, αλλά και από το σχήμα των πλίνθων.
- Στη βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές του συντελεστή τριβής (μ) για το αρχικό, σχεδόν ευθύγραμμο, τμήμα της καμπύλης (τ, σ_n) που κυμαίνονται συνήθως από 0.4 έως 0.7. Το τμήμα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι αντιστοιχεί στη συνήθη περιοχή των ορθών τάσεων λειτουργίας της τοιχοποιίας.

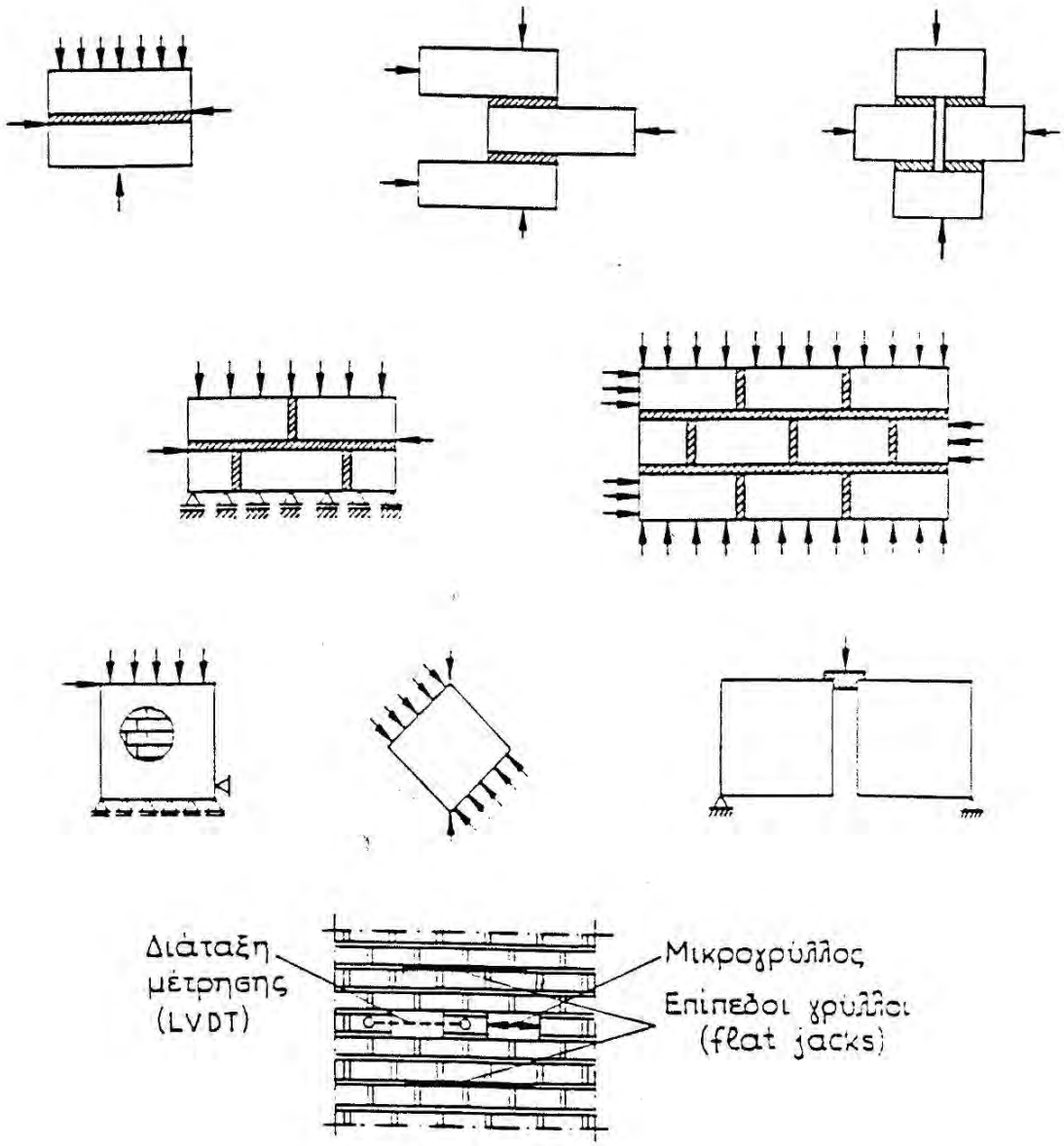


Σχ. 2.4: Τυπική μορφή καμπύλης αστοχίας (τ, σ_n) τοιχοποιίας

- Στο Σχ. 2.5 φαίνονται οι συνηθέστερες πειραματικές διατάξεις προσδιορισμού της οριακής καμπύλης (τ, σ_n) τόσο στο εργαστήριο όσο και επί τόπου.
- Από επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων προτείνονται στη βιβλιογραφία διάφορες εμπειρικές εκφράσεις για τον αρχικό ευθύγραμμο κλάδο της καμπύλης αστοχίας (τ, σ_n), οι οποίες είναι παραλλαγές της εξίσωσης (2.7). Ο Ευρωκώδικας προτείνει την ακόλουθη σχετικά συντηρητική σχέση:

$$f_{ws} = f_{wso} + 0.40\sigma_n \leq 0.065 f_{bc} \qquad (2.8)$$

όπου η σ_n προκύπτει από το συνδυασμό φόρτισης με το ελάχιστο κατακόρυφο φορτίο. Οι τιμές του f_{wso} παρέχονται για διάφορους συνδυασμούς πλίνθων και κονιαμάτων.



Σχ. 2.5: Μορφές δοκιμίων και πειραματικές διατάξεις προσδιορισμού της οριακής καμπύλης (τ, σ_n) αρμού και τοιχοποιίας [6]

2.5 Αντοχή τοιχοποιίας υπό τυχούσα επίπεδη καταπόνηση

- Η τοιχοποιία εμφανίζεται συνήθως στις κατασκευές ως επιφανειακής μορφής φορέας με λειτουργία δίσκου (τοίχοι, πεσσοί). Έτσι, στο σώμα της τοιχοποιίας αναπτύσσεται μια τυχούσα επίπεδη καταπόνηση (σ_x, σ_y, τ ή σ_p, σ_n, τ) που ισοδυναμεί με ένα ζεύγος κύριων ορθών τάσεων (σ_1, σ_2) υπό τυχούσα γωνία (θ) ως προς τους οριζόντιους αρμούς. Κατά συνέπεια, η απόκριση της τοιχοποιίας επηρεάζεται έντονα από τον ανισότροπο χαρακτήρα της καθώς είναι καθοριστική η διεύθυνση των κύριων αξόνων έντασης ως προς τη διεύθυνση των αρμών (γωνία θ).
- Είναι γνωστό ότι στα δομικά στοιχεία κυριαρχεί η ετερόσημη κύρια διαξονική καταπόνηση ($\sigma_1 > 0$, $\sigma_2 < 0$). Ενώ όμως σε ένα ισότροπο ψαθυρό υλικό (π.χ. σκυρόδεμα) η ρηγμάτωση υπό ετερόσημη διαξονική καταπόνηση επέρχεται, σε τοπική κλίμακα, κάθετα στην κύρια εφελκυστική τάση, στην τοιχοποιία η αντοχή, ο τύπος αστοχίας και η διεύθυνση των ρηγμάτων διαφοροποιούνται και καθορίζονται τις περισσότερες φορές από τη διεύθυνση και αντοχή των οριζόντιων αρμών.
- Στο Σχ. 2.6 παρουσιάζονται οι περιβάλλουσες αστοχίας τυπικής πλινθοδομής υπό τυχούσα διαξονική καταπόνηση για διάφορες τιμές της γωνίας θ, όπως προέκυψαν από εκτεταμένη πειραματική έρευνα [5]. Σημειώνεται ότι για ένα ισότροπο ψαθυρό υλικό όπως το σκυρόδεμα, η ανάλογη περιβάλλουσα αστοχίας είναι μία μόνο καμπύλη συμμετρική ως προς τη διχοτόμο του συστήματος των αξόνων σ_1, σ_2 (ανάλογη με την περιβάλλουσα αστοχίας της τοιχοποιίας υπό γωνία $\theta = 45°$: βλέπε Σχ. 2.6). Πρέπει να τονισθεί ότι οι περιβάλλουσες αστοχίας του Σχ. 2.6 αναφέρονται σε τοιχοποιία συγκεκριμένης γεωμετρίας, πλέξης και αντοχών πλίνθων, κονιάματος και διεπιφάνειας επαφής στους αρμούς. Έχει αποδειχθεί ότι οι περιβάλλουσες αυτές διαφοροποιούνται σημαντικά με τη μεταβολή των παραπάνω παραγόντων.
- Είναι φανερό ότι η συμπεριφορά της τοιχοποιίας υπό επίπεδη καταπόνηση εμφανίζει μεγάλη πολυπλοκότητα σε σύγκριση με τα υλικά στα οποία έχει εθισθεί ο σύγχρονος Μηχανικός (σκυρόδεμα, χάλυβας).

2.6 Συμπεριφορά άοπλης τοιχοποιίας υπό εναλλασσόμενη σεισμική καταπόνηση

- Ο τύπος της ρηγμάτωσης, η απομένουσα αντοχή μετά τη ρηγμάτωση και η πλαστιμότητα υπό εναλλασσόμενη σεισμική καταπόνηση της άοπλης τοιχοποιίας επηρεάζονται έντονα από τους ακόλουθους παράγοντες:
  α. Μέγεθος αξονικής φόρτισης σε σχέση με τη θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας.
  β. Τύπος και αντοχή πλίνθων.
- Τοίχοι με πλήρεις ισχυρές πλίνθους και σχετικά χαμηλό αξονικό φορτίο εμφανίζουν:
  α. Διαγώνια αποκόλληση – ολίσθηση αρμών κονιάματος.
  β. Απορρόφηση σεισμικής ενέργειας μέσω μηχανισμού τριβής – ολίσθησης αρμών (ικανοποιητική πλαστιμότητα).
  γ. Σημαντική απομένουσα φέρουσα ικανότητα μετά τη ρηγμάτωση.

- Τοίχοι με διάτρητες πλίνθους ή και με υψηλό αξονικό φορτίο εμφανίζουν:
  α. Χιαστί ρηγμάτωση ή και θραύση πλίνθων.
  β. Ψαθυρό χαρακτήρα αστοχίας (μηδενική σχεδόν πλαστιμότητα).
  γ. Έντονη απώλεια φέρουσας ικανότητας μετά τη ρηγμάτωση.

2.7 Παραμορφώσεις – Μηχανικές σταθερές τοιχοποιίας

- Στο Σχ. 2.7 παρουσιάζονται τυπικές καμπύλες τάσεων – παραμορφώσεων (σ_n – ε) τοιχοποιίας υπό μονοαξονική σύνθλιψη κάθετα στους οριζόντιους αρμούς.
- Η παραβολική εξίσωση (2.9α) [3] αποδίδει ικανοποιητικά τον ανερχόμενο κλάδο της καμπύλης (σ_n – ε) και δίνει για την αρχική τιμή του μέτρου ελαστικότητας την τιμή της εξίσωσης (2.9β).

$$(\sigma/\sigma_u) = (\sigma/f_{wc}) = 2(\varepsilon/\varepsilon_u) - (\varepsilon/\varepsilon_u)^2 \qquad (2.9\alpha)$$

$$E_{wo} = 2\,(\sigma_u/\varepsilon_u) \qquad (2.9\beta)$$

- Το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να προσδιορισθεί, είτε πειραματικά με υπερηχομετρήσεις, είτε αναλυτικά από την έκφραση (2.10), εφόσον είναι γνωστά τα μέτρα ελαστικότητας πλίνθων (E_b) και κονιάματος (E_m) :

$$E_w = E_w = \frac{E_b E_m (1+a)}{a E_b + E_m} \quad \text{όπου} \quad a = \frac{t_m}{t_b} \qquad (2.10)$$

- Στη βιβλιογραφία παρατηρείται μεγάλη διασπορά τιμών για το μέτρο ελαστικότητας και το λόγο του Poisson τοιχοποιίας. Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες σχέσεις:

$$E_w = (400 \div 1000)\, f_{wc} \qquad (2.11\alpha)$$

$$E_w = K \cdot E_b \qquad (K = 0.40 \div 0.90 \text{ για αύξουσα αντοχή κονιάματος}) \qquad (2.11\beta)$$

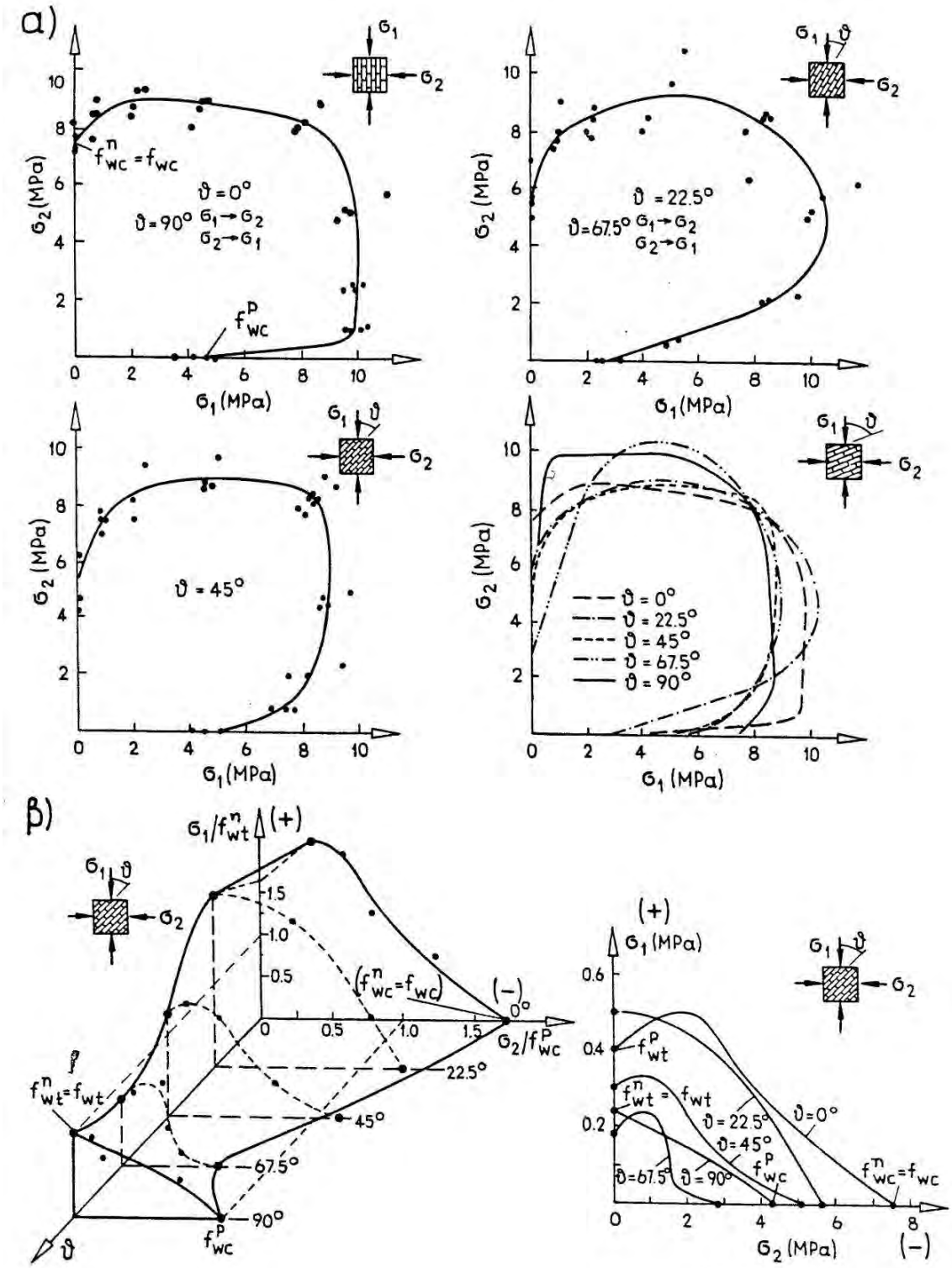
$$\nu_w = 0.10 \text{ έως } 0.20 \qquad (2.11\gamma)$$

- Ο Ευρωκώδικας 6, υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης στο σώμα της τοιχοποιίας ισχυρών οριζόντιων διαζωμάτων (βλέπε §3.4), δέχεται για το σχεδιασμό με τη μέθοδο οριακής αντοχής, το γνωστό από το σκυρόδεμα παραβολικό – ορθογωνικό διάγραμμα (σ – ε) (Σχ. 2.7β) με $E_w = 1000 f_{wc}$ και $\nu_w = 0.20$.

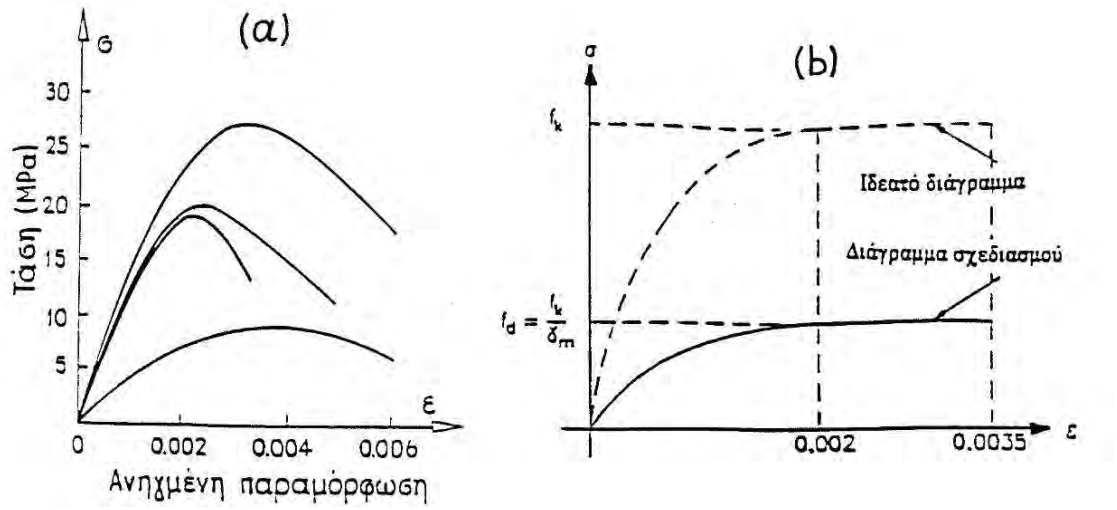
- Πρέπει να σημειωθεί ότι παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση των καμπυλών (σ-ε) και των τιμών E_w και ν_w για μεταβολή της γωνίας μεταξύ της διεύθυνσης φόρτισης και των οριζόντιων αρμών. Ειδικά για τοιχοποιίες με μεγάλο πάχος αρμών, όπως οι πλινθοδομές Ρωμαϊκών και Βυζαντινών μνημείων, η διαφοροποίηση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη ($E_w^n << E_w^p$). Το γεγονός αυτό χαρακτηρίζει την τοιχοποιία ως έντονα ορθότροπο υλικό.

- Για το μέτρο διάτμησης (G_w) παρατηρείται στη βιβλιογραφία μεγάλη διασπορά και σχετικά χαμηλές τιμές (της τάξεως του $0.1E_w$ έως $0.2E_w$). Το φαινόμενο αποδίδεται στην επιρροή μικροολισθήσεων στους οριζόντιους αρμούς. Ο Ευρωκώδικας 6 δέχεται τον υπολογισμό του G_w από τα E_w και ν_w , σύμφωνα με τη σχέση (2.12) που χαρακτηρίζει τα ισότροπα υλικά:

$$G_w = \frac{E_w}{2(1+\nu_w)} \cong 0.4 E_w \qquad (2.12)$$



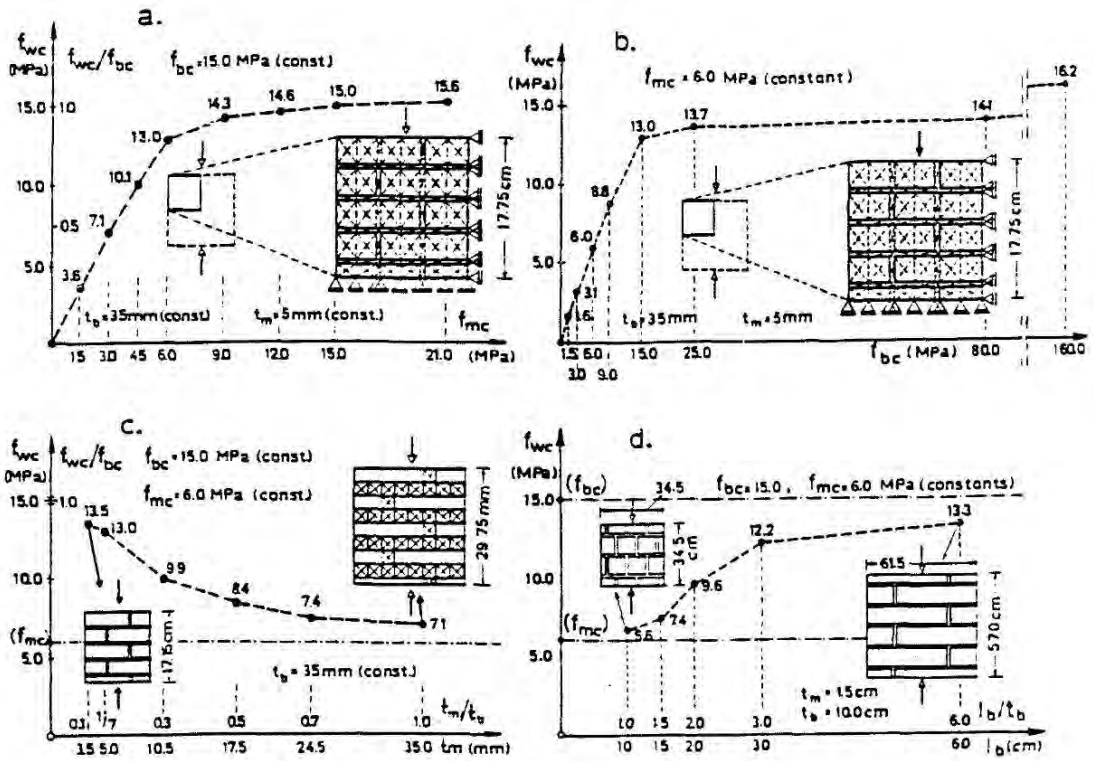
Σχ. 2.6: Περιβάλλουσες αστοχίας πλινθοδομής υπό διαξονική καταπόνηση και μεταβλητή κλίση αρμών [5]



Σχ. 2.7: (α) Καμπύλες τάσης – παραμόρφωσης (σ_n – ε) τοιχοποιιών αργιλικών πλίνθων [3], (b) Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων τοιχοποιίας κατά τον Ευρωκώδικα 6[1]

2.8 Μικρομοντέλο πεπερασμένων στοιχείων για ανάλυση δίσκων τοιχοποιίας μέχρις αστοχίας

- Στο Εργαστήριο Σκυροδέματος της Πολυτεχνικής Σχολής του Α.Π.Θ. αναπτύχθηκε ένα πρωτότυπο μικρομοντέλο πεπερασμένων στοιχείων για τη μη γραμμική ανάλυση δίσκων τοιχοποιίας υπό τυχούσα φόρτιση μέχρις αστοχίας (Πρόγραμμα MAFEA: Masonry Finite Element Analysis) [6].
- Το μοντέλο διακριτοποιεί χωριστά κάθε πλίνθο και κάθε αρμό κονιάματος σε επί μέρους επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία και είναι σε θέση να αποδώσει με ικανοποιητική ακρίβεια την απόκριση και την εξέλιξη των βλαβών δομικών στοιχείων τοιχοποιίας οιουδήποτε ισόδομου τύπου πλέξης και μηχανικών ιδιοτήτων πλίνθων και κονιάματος, υπό τυχούσα επίπεδη φόρτιση.
- Το πρόγραμμα χρειάζεται ως δεδομένα τη γεωμετρία της δόμησης και τις μηχανικές ιδιότητες των επί μέρους υλικών (πλίνθος, κονίαμα, διεπιφάνεια αρμών) και μπορεί να προσδιορίσει όλα τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας. Σημειώνεται ότι υπολογίζεται και λαμβάνεται υπόψη στα σχετικά κριτήρια αστοχίας η τριαξονική εντατική κατάσταση που αναπτύσσεται στις πλίνθους και στο κονίαμα υπό επίπεδη καταπόνηση της τοιχοποιίας.
- Ενδεικτικά παρατίθεται το Σχ. 2.8, όπου φαίνονται τα αποτελέσματα παραμετρικών αναλύσεων με το πρόγραμμα "MAFEA" μοντέλων τοιχοποιίας υπό μονοαξονική θλίψη με μεταβλητές την αντοχή των πλίνθων, την αντοχή του κονιάματος, το πάχος των αρμών και το σχήμα των πλίνθων. Είναι φανερό ότι η μορφή των σχετικών καμπύλων αποδίδει ικανοποιητικά αντίστοιχα πειραματικά ευρήματα (βλέπε Σχ. 2.2).



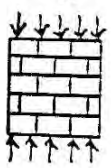
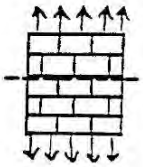
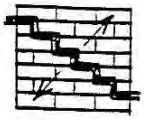
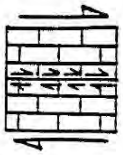
Σχ. 2.8: Ανάλυση με το πρόγραμμα "MAFEA" μοντέλων τοιχοποιίας υπό μονοαξονική θλίψη [7]

2.9 Αντοχές και επιτρεπόμενες τάσεις τοιχοποιίας

- Ο Ευρωκώδικας 6 και το αντίστοιχο εθνικό κείμενο εφαρμογής αποτελούν το επίσημο πλαίσιο κανονισμών για κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία στην Ελλάδα. Κατά συνέπεια η εκτίμηση των χαρακτηριστικών αντοχών νέων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις επιταγές και διατάξεις των δύο αυτών κειμένων. Σημειώνεται όμως ότι, σε περιπτώσεις διατηρητέων κτιρίων και μνημείων και ιδιαίτερα για λιθοδομές χωρίς σαφή ισόδομη πλέξη, ο Ευρωκώδικας 6 δεν παρέχει οδηγίες υπολογισμού των αντοχών της τοιχοποιίας. Κατά συνέπεια, ο μελετητής μηχανικός οφείλει, να προβεί σε εκτιμήσεις αξιολογώντας πληροφορίες από άλλες πηγές και την εμπειρία του. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σχετικές πληροφορίες από παλαιότερους κανονισμούς.
- Στον Πίνακα 2.1 περιλαμβάνονται τιμές οριακής αντοχής (σε kg/cm^2) πλινθοδομών υπό διάφορες καταπονήσεις σύμφωνα με τους παλιούς Ρουμανικούς κανονισμούς. Οι τοιχοποιίες διακρίνονται ανάλογα με την κατηγορία των πλίνθων (τύποι πλίνθων T50 έως T200, όπου ο αριθμός δηλώνει τη θλιπτική αντοχή της πλίνθου), και του κονιάματος δόμησης (τύποι κονιαμάτων M4 έως M50). Είναι χαρακτηριστικό ότι, με εξαίρεση τη θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας (f_{wc}), η οποία εξαρτάται από τη θλιπτική αντοχή τόσο των πλίνθων όσο και του κονιάματος, οι αντοχές της τοιχοποιίας υπό ελκυσμό, κάμψη και διάτμηση εξαρτώνται μόνο από την κατηγορία κονιάματος.

- Στον Πίνακα 2.2 περιλαμβάνονται οι κατηγορίες κονιαμάτων και λίθων (οι αντοχές σε kg/cm^2) και οι τύποι λιθοδομών σύμφωνα με τους παλιούς Γερμανικούς κανονισμούς, ενώ στον Πίνακα 2.3 περιλαμβάνονται οι επιτρεπόμενες θλιπτικές τάσεις λειτουργίας λιθοδομών. Οι λιθοδομές διακρίνονται ανάλογα με την κατηγορία λίθων, κονιάματος και τύπου δόμησης.

Πίνακας 2.1: Οριακές αντοχές πλινθοδομών (σε kg/cm^2) υπό διάφορες μορφές καταπόνησης σύμφωνα με τους παλιούς Ρουμανικούς Κανονισμούς [8]

Ποιότητα Κονιά-ματος	Οριακή Αντοχή Τοίχου	Μορφή Καταπό-νησης	Ποιότητα Πλίνθων (θλιπτική αντοχή : kg/cm^2)					
			T200	T150	T125	T100	T75	T50
M50	f_{wc}	A	44	36	34	30	26	20
	f_{wt} (f_{jt})	B	1.80	A 			B 	
	f_{wt} (M)	C	2.70					
	f_{wt} ($\sigma_{1,2}$)	D	2.70					
	f_{wso}	E	3.55					
M25	f_{wc}	A	36	30	28	26	22	18
	f_{wt} (f_{jt})	B	1.10	C				
	f_{wt} (M)	C	1.80					
	f_{wt} ($\sigma_{1,2}$)	D	1.80					
	f_{wso}	E	2.45					
M10	f_{wc}	A	32	26	24	20	18	14
	f_{wt} (f_{jt})	B	0.65	D  $\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$				
	f_{wt} (M)	C	0.90	Μείωση της σ στο 50% λόγω θεώρησης				
	f_{wt} ($\sigma_{1,2}$)	D	0.90	ε_v σεισμ. = 0.5g				
	f_{wso}	E	1.10					
	f_{wc}	A	28	24	22	18	14	12
M4	f_{wt} (f_{jt})	B	0.20	E 				
	f_{wt} (M)	C	0.45					
	f_{wt} ($\sigma_{1,2}$)	D	0.45					
	f_{wso}	E	0.45					

Πίνακας 2.2: Κατηγορίες κονιαμάτων, λίθων και τύπου δόμησης λιθοδομών σύμφωνα με τους παλιούς Γερμανικούς Κανονισμούς [9]

Κατηγορίες κονιαμάτων

Αναλογίες σε όγκο Φ.Ε.Β. : Φαινόμενο ειδ. βάρος kg/lt	Κονιάματα			
	I	II	IIa	III
Τσιμέντο (Φ.Ε.Β. 1.2)	–	1	1	1
Ασβέστης (Φ.Ε.Β. 1.3)	1	2	1	–
Άμμος (Φ.Ε.Β. 1.3)	3	8	6	4
Θλιπτική αντοχή (f_{mc})	–	≥20	≥40	≥80

Κατηγορίες λίθων

Κατη-γορία	Είδος Λίθου	Θλιπτική Αντοχή (kg/cm^2)
A	Ασβεστόλιθοι και Τραβερτίνης	200
B	Ελαφροί Ψαμμίτες με αργιλλώδη συνδετική ύλη	300
C	Σκληροί Ασβεστόλιθοι Δολομίτες, Μάρμαρα Βασαλτική Λάβα	500
D	Ψαμμίτες από άμμο χαλαζιακή	800
E	Γρανίτης Συκνίτης Διορίτης	1200

Τύποι δόμησης Λιθοδομών

Κατη-γορία	Είδος Δόμησης
a	Αργοί λίθοι ακανόνιστης μορφής
b	Αργοί λίθοι πλακοειδείς
c	Αργοί πλακ/δείς λίθοι ημιλάξευτα αγκωνάρια
d	Ημιλάξευτοι πλακοειδείς λίθοι
e	Ημιλάξευτοι ορθογωνικοί λίθοι
f	Λαξευτοί λίθοι

Πίνακας 2.3: Επιτρεπόμενες τάσεις λιθοδομών σύμφωνα με τους παλιούς Γερμανικούς Κανονισμούς [9]

Επιτρεπόμενες θλιπτικές τάσεις τοιχοποιίας
από φυσικούς λίθους (kg/cm^2)

Είδος Δόμησης	Κατηγορία Κονιάματος	Είδος Λίθων				
		A	B	C	D	E
(a), (b)	I	2	2	3	4	6
	II	2	3	5	7	9
	III	3	5	6	10	12
(c)	I	3	4	6	8	10
	II	5	7	9	12	16
	III	6	10	12	16	22
(d), (e)	I	4	6	8	10	16
	II	7	9	12	16	22
	III	10	12	16	22	30
(f)	I	8	10	16	22	30
	II	12	16	22	30	40
	III	16	22	30	40	50

- Σημειώνεται ότι οι τιμές αντοχών και επιτρεπομένων τάσεων των τριών προηγουμένων πινάκων πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο συμβουλευτικά και ανάλογα με τις κατά περίπτωση αντοχές των επί μέρους υλικών της τοιχοποιίας (πλίνθοι, λίθοι, κονίαμα) και τον τύπο δόμησης της τοιχοποιίας.

3. ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται κυρίως σε υφιστάμενες κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία. Ο φέρων οργανισμός των κτιρίων αυτών εμφανίζει πολύ μεγάλη ποικιλία και πολυτυπία ακολουθώντας την εξέλιξη της δομητικής τεχνικής επί σειρά αιώνων. Τα βασικά στοιχεία που καθορίζουν τη σύνθεση του φέροντος οργανισμού και την απόκριση των κτιρίων και συγχρόνως αποτελούν τους παράγοντες διάκρισής τους σε κατηγορίες, είναι:

α. Ο τύπος των πατωμάτων και στεγών (οριζόντιος φέρων οργανισμός).
β. Ο τύπος των φερουσών τοιχοποιιών (κατακόρυφος φέρων οργανισμός).
γ. Η ύπαρξη ή μη και ο τύπος διαζωμάτων (chainages) και ελκυστήρων.

3.2 Τύποι πατωμάτων και στεγών

- Τα βασικά μηχανικά χαρακτηριστικά των πατωμάτων ή δωμάτων που επηρεάζουν καθοριστικά τη συμπεριφορά των κτιρίων υπό κατακόρυφα αλλά κυρίως υπό οριζόντια σεισμικά φορτία είναι τα ακόλουθα :

α. Ο βαθμός της διαφραγματικής λειτουργίας.
β. Ο ισότροπος ή μη χαρακτήρας της απόκρισής τους.
γ. Το βάρος του πατώματος.
δ. Η εμφάνιση ή μη οριζόντιων ωθήσεων υπό κατακόρυφα φορτία.

- Οι τύποι πατωμάτων που συναντώνται συνήθως σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία και η αξιολόγησή τους με βάση τα παραπάνω κριτήρια είναι οι ακόλουθοι:

α. Πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος: Σχ. 3.1α

- Εμφανίζουν πολύ μεγάλη – πρακτικά άπειρη – δυσκαμψία μέσα στο επίπεδό τους και κατά συνέπεια εξασφαλίζουν πλήρη διαφραγματική λειτουργία, με την προϋπόθεση καλής σύνδεσης με τις φέρουσες τοιχοποιίες επί των οποίων εδράζονται.
- Με την προϋπόθεση ότι στηρίζονται και συνδέονται επαρκώς με τις υποκείμενες τοιχοποιίες και στις τέσσερις πλευρές τους, μεταφέρουν τα κατακόρυφα φορτία σύμφωνα με τη γνωστή μέθοδο του χωρισμού της επιφάνειάς τους σε τρίγωνα και τραπέζια και διανέμουν τις σεισμικές τέμνουσες στις υποκείμενες τοιχοποιίες ανάλογα με τη δυσκαμψία τους ανεξάρτητα από τη διεύθυνση της σεισμικής καταπόνησης (ισότροπη διαφραγματική λειτουργία).
- Το βάρος των πλακών οπλισμένου σκυροδέματος συγκρινόμενο με αυτό των άλλων τύπων πατωμάτων είναι μέσο έως μεγάλο ανάλογα με το μέγεθος του ανοίγματος που καλούνται να γεφυρώσουν.
- Δεν ασκούν οριζόντιες ωθήσεις υπό κατακόρυφα φορτία επί των τοιχοποιιών στις οποίες στηρίζονται.

β. Πατώματα επί σιδηροδοκών με πλινθοπλήρωση: Σχ. 3.1β

Αποτελούνται από φέρουσες σιδηροδοκούς (διπλά Τ) ανά αποστάσεις 0.60m περίπου και

διακρίνονται σε δύο τύπους ανάλογα με το είδος της πλινθοπλήρωσης. Ελαφρού τύπου με πλακοειδείς επίπεδες διάτρητες πλίνθους που γεφυρώνουν το κενό με απλή παράθεσή τους μεταξύ των σιδηροδοκών (τύπος β_I), και βαρέως τύπου με καμαρωτή πλινθοδόμηση από μικρές πλήρεις ή διάτρητες πλίνθους (τύπος β_{II}).

- Εξασφαλίζουν μικρή (τύπος β_I) έως μέση (τύπος β_{II}) δυσκαμψία στο επίπεδό τους με αντίστοιχη διαφοροποίηση του βαθμού διαφραγματικής λειτουργίας του πατώματος.
- Οι σιδηροδοκοί διήκουν κατά τη μικρή διάσταση του χώρου και κατά συνέπεια μεταφέρουν τα κατακόρυφα φορτία μόνο στο ζεύγος των επιμήκων υποκείμενων τοιχοποιιών. Το πάτωμα εμφανίζει σημαντική διαφοροποίηση της διαφραγματικής λειτουργίας κατά κατεύθυνση εξ αιτίας της έδρασης των μεταλλικών δοκών επί των φερουσών τοιχοποιιών σε μία μόνο από τις δύο κύριες διευθύνσεις του κτιρίου. Ιδιαίτερα τα πατώματα ελαφρού τύπου εμφανίζουν έντονη ανισοτροπία δυσκαμψίας εντός του επιπέδου τους λόγω μικροολισθήσεων μεταξύ επίπεδων πλίνθων και σιδηροδοκών.
- Το βάρος τους κυμαίνεται από σχετικά μικρό έως μέσο για τα ελαφρού τύπου πατώματα επίπεδης πλινθοπλήρωσης και από μέσο έως μεγάλο για τα βαρέως τύπου πατώματα με καμαρωτή πλινθοδόμηση. Σημαντικό μέρος του βάρους αποτελεί και η επιπεδωτική στρώση μέχρι το άνω πέλμα των σιδηροδοκών.
- Δεν ασκούν οριζόντιες ωθήσεις υπό τα κατακόρυφα φορτία επί των φερουσών τοιχοποιιών. Οι σχετικά ασθενείς ωθήσεις των καμαρών στα πατώματα βαρέως τύπου, αλληλοαναιρούνται στις μεσαίες σιδηροδοκούς, ενώ στις ακραίες σιδηροδοκούς αναλαμβάνονται μέσω εγκάρσιων μεταλλικών ράβδων – ελκυστήρων, που συνδέουν τις σιδηροδοκούς μεταξύ τους.

γ. Ξύλινα πατώματα (σανίδωμα επί ισχυρών ξύλινων δοκών: Σχ. 3.1γ

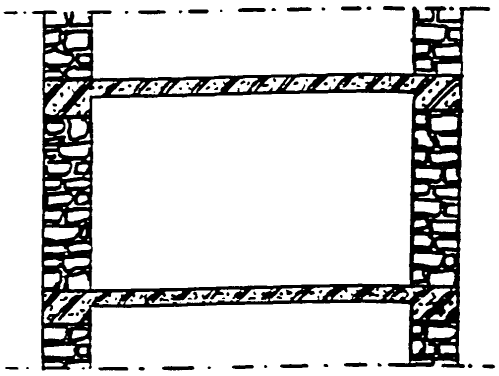
Αποτελούνται από σανίδες, σε απλή παράθεση ή συνδεδεμένες με διαμήκη εντορμία (ραμποτέ), καρφωμένες επί ισχυρών ξύλινων δοκών (πατόξυλα) ανά αποστάσεις 0.40 έως 0.60m περίπου. Πολύ σπάνια το σανίδωμα είναι διπλό, αποτελούμενο από δύο επάλληλες στρώσεις διασταυρούμενων σανίδων. Πολλές φορές υπάρχει ελαφρό ταβάνωμα (λεπτό μη φέρον σανίδωμα) καρφωμένο επί των κάτω πελμάτων των ξύλινων δοκών.

- Εξασφαλίζουν μικρή και σε περίπτωση διπλού σανιδώματος μέση δυσκαμψία στο επίπεδό τους με αντίστοιχη διαφοροποίηση του βαθμού διαφραγματικής λειτουργίας του πατώματος.
- Τα πατόξυλα διήκουν κατά τη μικρή διάσταση του χώρου και κατά συνέπεια μεταφέρουν τα κατακόρυφα φορτία μόνο στο ζεύγος των επιμήκων υποκείμενων τοιχοποιιών. Το πάτωμα εμφανίζει σημαντική διαφοροποίηση της διαφραγματικής λειτουργίας κατά κατεύθυνση εξ αιτίας της έδρασης των ξύλινων φερουσών δοκών επί των φερουσών τοιχοποιιών σε μία μόνο από τις δύο κύριες διευθύνσεις του κτιρίου.
- Το βάρος τους είναι σχετικά μικρό.
- Δεν ασκούν οριζόντιες ωθήσεις υπό τα κατακόρυφα φορτία επί των φερουσών τοιχοποιιών.

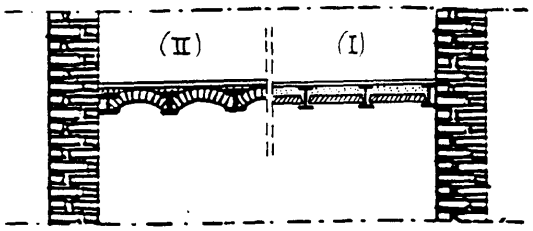
δ. Κτιστά πατώματα μονής ή διπλής καμπυλότητα: Σχ. 3.1δ

Αποτελούνται από πλινθόκτιστες ή λιθόκτιστες καμάρες (απλή καμπυλότητα), διασταυρούμενες καμάρες (σταυροθόλια) ή θόλους (διπλή καμπυλότητα). Η επιπέδωση εξασφαλίζεται με μπάζωμα.

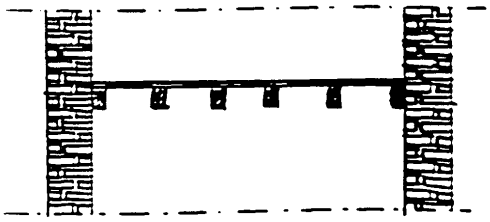
- Εξασφαλίζουν μεγάλη δυσκαμψία και ισχυρή διαφραγματική λειτουργία, είναι όμως σχετικά ασαφής η στάθμη του διαφραγματικού επιπέδου.
- Η ισότροπη ή μη απόκρισή τους εξαρτάται από το βαθμό δομητικής εμπλοκής του πατώματος με τους φέροντες τοίχους της περιμέτρου. Σε περίπτωση καμάρας μονής καμπυλότητας είναι αμφίβολη έως ανύπαρκτη η δομητική σύνδεση με τους τοίχους κάθετα στη διεύθυνση των γενετειρών της καμάρας.
- Το βάρος τους είναι πολύ μεγάλο, ιδιαίτερα στην περίπτωση επιπέδωσης του δαπέδου με κοινά και όχι ελαφρά υλικά.
- Είναι ο μοναδικός τύπος πατωμάτων που ασκούν σημαντικές, έως μεγάλες κατά περίπτωση, ωθήσεις υπό τα κατακόρυφα φορτία επί των τοιχοποιιών στις οποίες εδράζονται. Εξ αιτίας, τόσο των ωθήσεων αλλά και του μεγάλου βάρους του πατώματος απαιτείται μεγάλο πάχος φερουσών τοιχοποιιών.



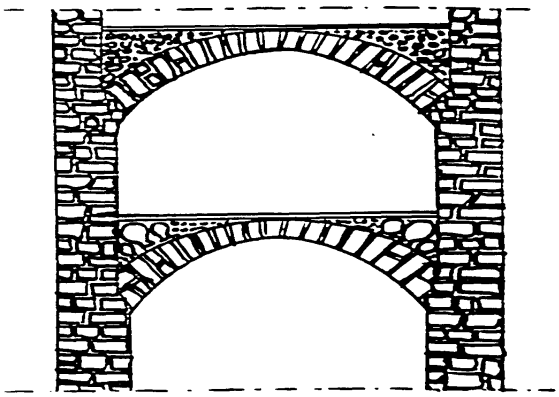
α. Πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος



β. Πατώματα επί σιδηροδοκών με πλινθοπλήρωση



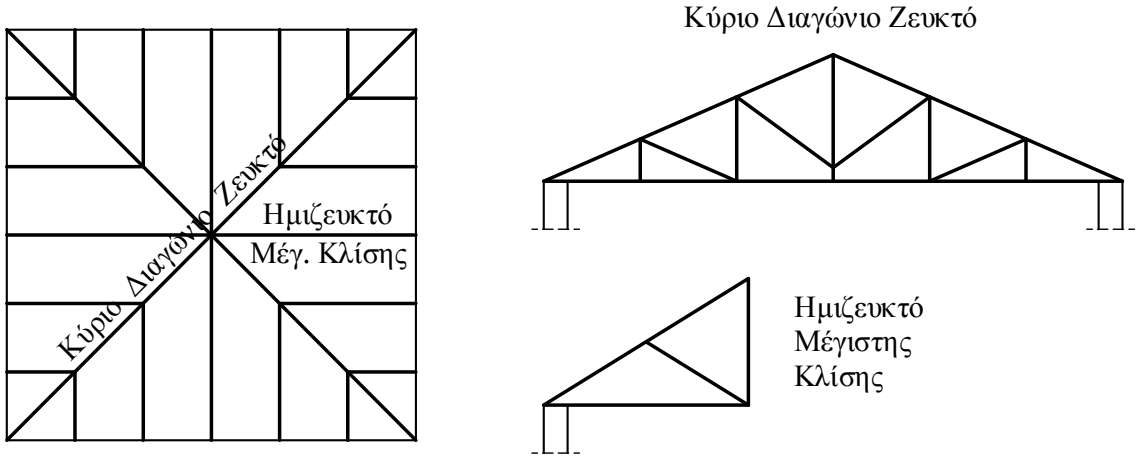
γ. Ξύλινα πατώματα



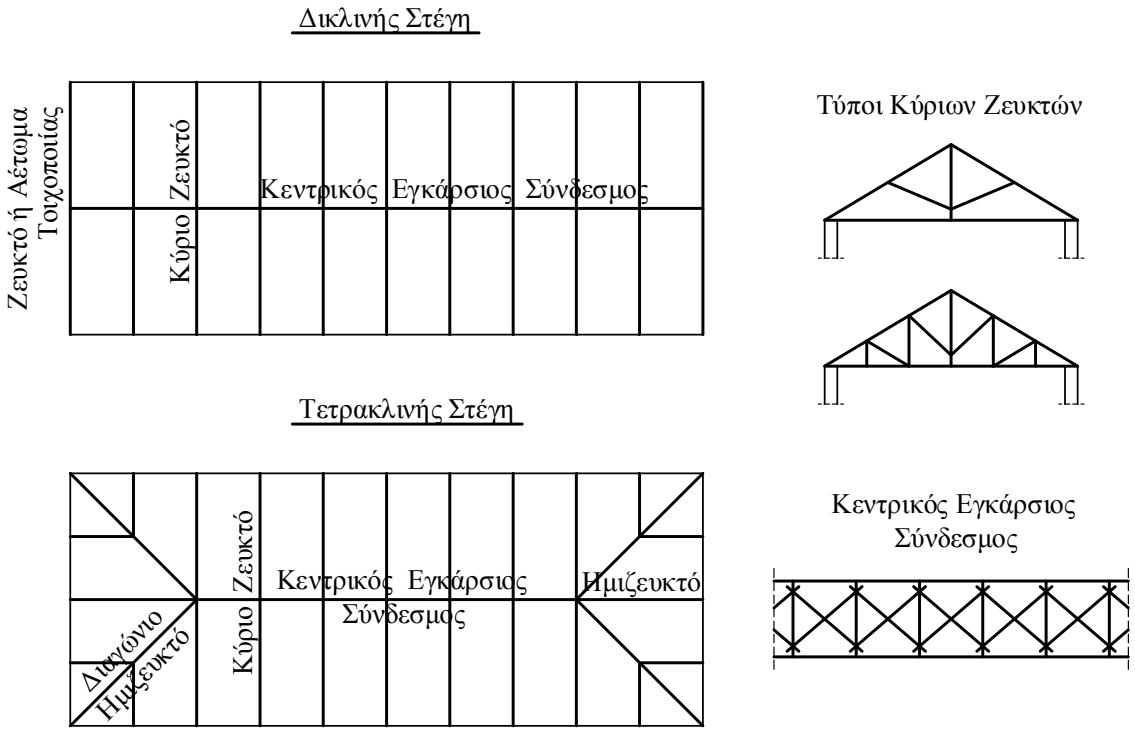
δ. Κτιστά πατώματα μονής ή διπλής καμπυλότητας

Σχ. 3.1: Συνήθεις τύποι πατωμάτων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία

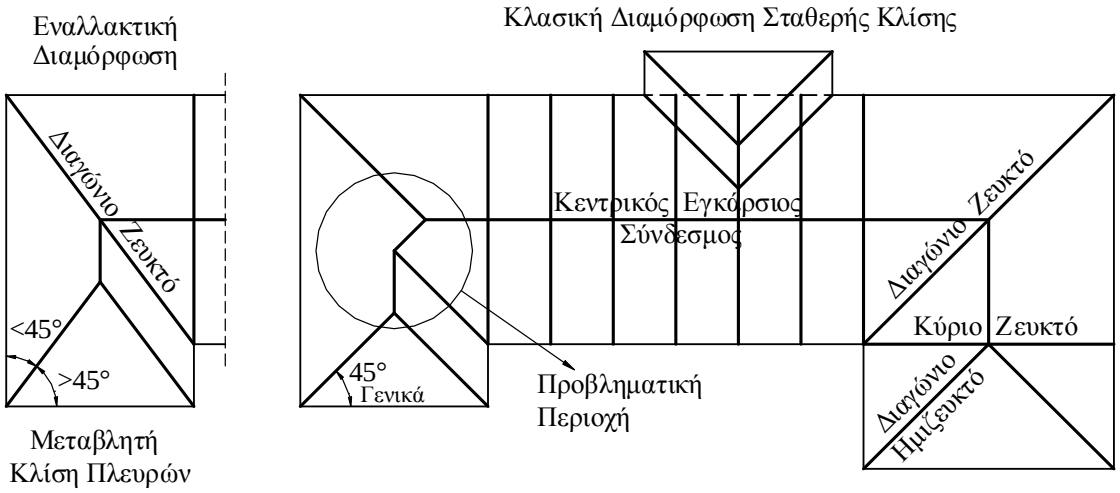
- Οι στέγες κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία αποτελούνται συνήθως από ξύλινα ζευκτά ανά αποστάσεις 0.8 έως 2.0m με τεγίδες, σανίδωμα και επικάλυψη. Τα ζευκτά εδράζονται στο κορυφαίο διάζωμα των φερουσών τοιχοποιιών ή σε ξύλινες δοκούς (ποταμοί) ενσωματωμένες κατά μήκος της στέψης των τοίχων. Η εγκάρσια σύνδεση των ζευκτών εξασφαλίζεται μέσω εγκάρσιων συνδέσμων σε κατακόρυφα επίπεδα, καθώς και μέσω των ξύλινων τεγίδων ή και του σανιδώματος. Σε περίπτωση ορθογωνικής κάτοψης με δικλινή στέγη τα ζευκτά τοποθετούνται παράλληλα προς τη μικρή διάσταση του κτιρίου (Σχ.3.2β). Σε περίπτωση περίπου τετραγωνικής κάτοψης, καθώς και στα άκρα τετρακλινών στεγών επί ορθογωνικών κατόψεων, διαμορφώνονται διασταυρούμενα ημιζευκτά με κεντρικό ή κεντρικούς ορθοστάτες (Σχ.3.2α,β). Τέλος, στην πολύ συνηθισμένη περίπτωση ακανόνιστης κάτοψης με προεξέχουσες πτέρυγες η στέγη προκύπτει ακανόνιστης μορφής (Σχ.3.2γ,δ). Τα χαρακτηριστικά της μηχανικής συμπεριφοράς των ξύλινων στεγών είναι τα ακόλουθα:
  - Προϋποθέσεις για την ανάπτυξη άξιας λόγου διαφραγματικής λειτουργίας είναι η άρτια δικτύωση των ζευκτών (ύπαρξη επαρκών ορθοστατών και διαγωνίων ράβδων), η εξασφάλιση της συνέχειας στις ματίσεις των επιμήκων δοκών κάτω πέλματος, οι ισχυρές συνδέσεις στους κόμβους, η επαρκής σύνδεση των ζευκτών στις θέσεις έδρασής τους με ξύλινους ποταμούς ή προτιμότερο με ισχυρό κορυφαίο διάζωμα και η ύπαρξη ισχυρών εγκάρσιων συνδέσμων ή ισχυρού πλήρους σανιδώματος.
  - Η μειωμένη εξασφάλιση ή απουσία κάποιας από τις παραπάνω προϋποθέσεις δημιουργεί κατά περίπτωση γενική ή κατά διεύθυνση (ανισοτροπία) μείωση της διαφραγματικής λειτουργίας της στέγης.
  - Το βάρος των ξύλινων στεγών κυμαίνεται μεταξύ ευρέων ορίων και καθορίζεται κυρίως από το βάρος της επικάλυψης. Οι συνηθέστεροι τύποι επικάλυψης κατά αύξουσα σειρά βάρους είναι οι ακόλουθοι:
    i. Ελαφρά κεραμίδια ευρωπαϊκού τύπου (Γαλλικά).
    ii. Ρωμαϊκά ή Βυζαντινά καρφωτά κεραμίδια.
    iii. Βυζαντινά κολυμβητά κεραμίδια (στρωτήρες, καλυπτήρες).
    iv. Επικάλυψη με σχιστολιθικές πλάκες.
  - Πολλές φορές η ανεπαρκής δικτύωση των ζευκτών έχει ως συνέπεια έντονη καμπτική καταπόνηση των ράβδων άνω και κάτω πέλματος και σημαντικές βυθίσεις με συνέπεια την έδραση της στέγης επί των εσωτερικών ασθενών διαχωριστικών τοιχοποιιών με δυσμενείς συνέπειες για την ασφάλεια της κατασκευής.
  - Σε περίπτωση ανεπαρκούς δικτύωσης και ασθενών συνδέσεων στους κόμβους των ζευκτών σε συνδυασμό με απουσία επαρκών εσωτερικών τοιχοποιιών, εμφανίζεται "κάθισμα και άνοιγμα" της στέγης με συνέπεια την ανάπτυξη οριζόντιων ωθήσεων από τους κεκλιμένους αμείβοντες επί των περιμετρικών τοιχοποιιών έδρασης των ζευκτών.



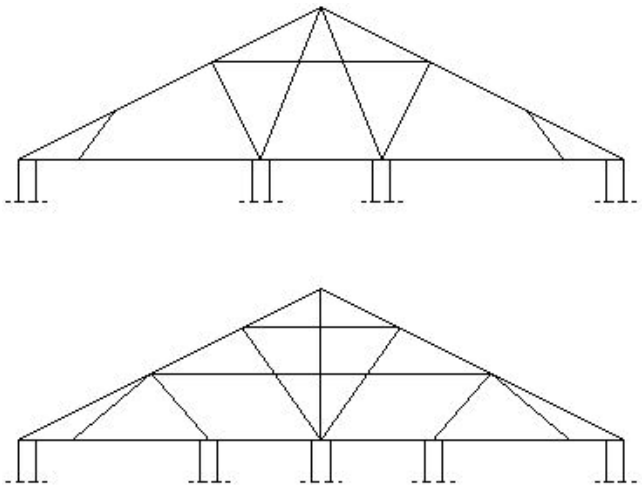
Σχ. 3.2α: Τετρακλινής στέγη επί τετραγωνικής κάτοψης



Σχ. 3.2β: Στέγη επί ορθογωνικής κάτοψης



Σχ. 3.2γ: Στέγη επί κάτοψης με ορθογωνικές προεξοχές



Σχ. 3.2δ: Στέγες με ενδιάμεσες εδράσεις

3.3 Τύποι φερουσών τοιχοποιιών

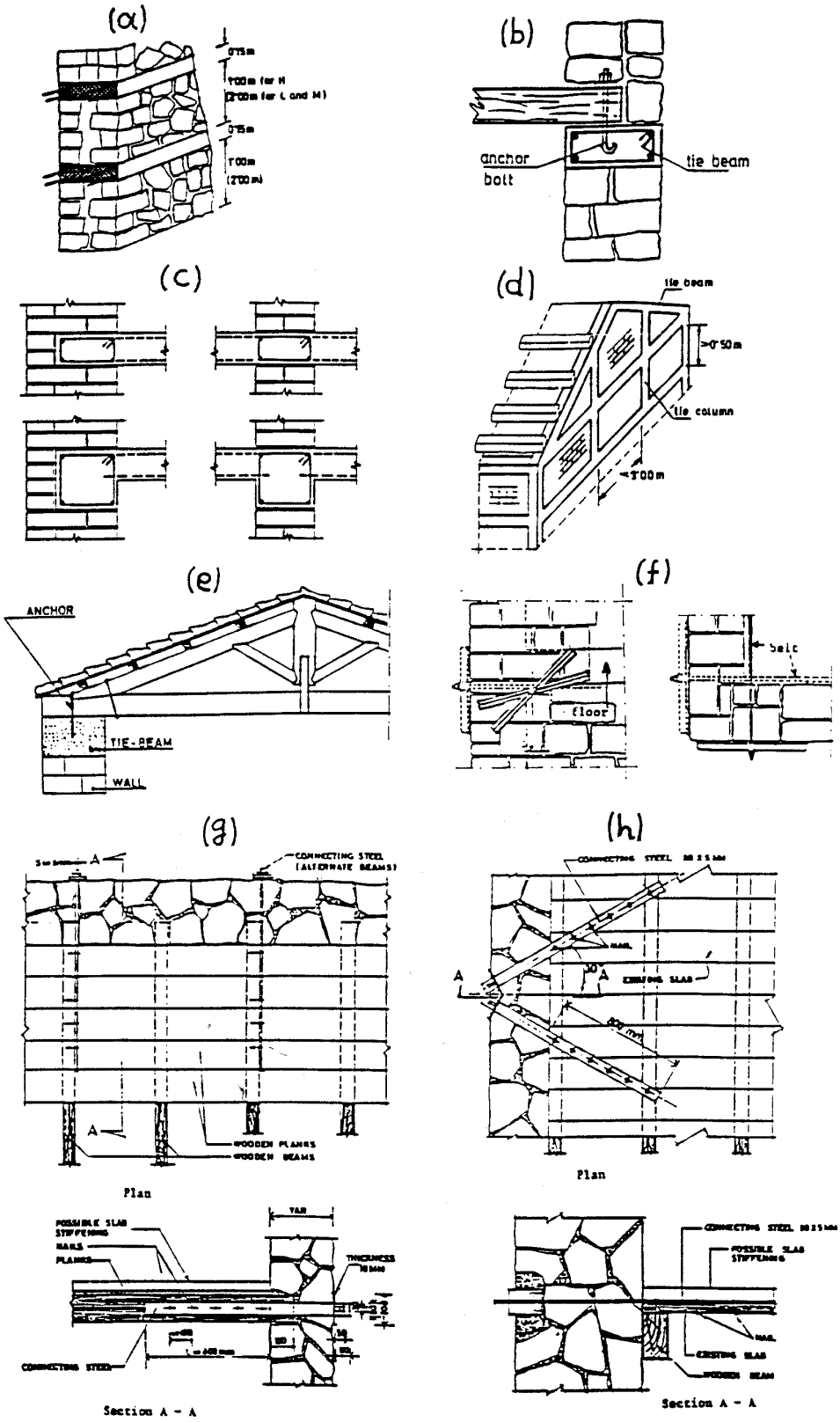
- Οι συνηθέστεροι τύποι τοιχοποιιών που συναντώνται σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία είναι οι ακόλουθοι:
  α. Λιθοδομή φυσικών λίθων (συνήθως αργολιθοδομή με ημιλάξευτα αγκωνάρια). Σε λιθοδομές μεγάλου πάχους συναντάται η λεγόμενη τρίστρωτη ή σακοειδής λιθοδομή που αποτελείται από δύο ανεξάρτητους τοίχους-όψεις από αργολιθοδομή ενώ το μεταξύ τους κενό συμπληρώνεται με σχετικά χαλαρό υλικό από θραύσματα λίθων και κονίαμα.
  β. Πλινθοδομή πλήρων οπτοπλίνθων.
  γ. Πλινθοδομή διάτρητων οπτοπλίνθων.
  δ. Πλινθοδομή ωμοπλίνθων.
  ε. Ξυλόπηκτη τοιχοποιία (Τσατμάς): Ξύλινο δικτύωμα και πλήρωση των κενών με πλινθοδομή πλήρων οπτοπλίνθων ή ωμοπλίνθων).

στ. Ξυλόπλεκτη τοιχοποιία (Μπαδγατότοιχος): Ξύλινοι ορθοστάτες, ή σπανιότερα ξύλινο δικτύωμα, με καρφωτούς λεπτούς ξύλινους πηχίσκους και πεταχτό επίχρισμα στις δύο όψεις.

- Το κονίαμα δόμησης συνήθως είναι των ακόλουθων τύπων:
  α. Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα.
  β. Ασβεστοκονίαμα.
  γ. Πηλοκονίαμα.
- Πολύ συχνά συνυπάρχουν στο ίδιο κτίσμα τοιχοποιίες διαφόρων τύπων, σπάνια όμως διαφοροποιείται το κονίαμα δόμησης σε τοίχους του ίδιου κτιρίου, εκτός αν πρόκειται για μεταγενέστερες φάσεις, αναδομήσεις ή προσθήκες.
- Οι τοιχοποιίες μικρότερου βάρους και χαμηλότερης κατά τεκμήριο αντοχής, όπως ξυλόπηκτες ή ξυλόπλεκτες τοιχοποιίες, ή πλινθοδομές διάτρητων πλίνθων, συναντώνται συνήθως στους ανώτερους ορόφους, είτε χρησιμοποιούνται ως εσωτερικοί διαχωριστικοί και συχνά μη φέροντες τοίχοι. Αντίθετα, οι τοιχοποιίες μεγαλύτερου βάρους ή υψηλότερης αντοχής, όπως λιθοδομές ή πλινθοδομές πλήρων πλίνθων, συναντώνται συνήθως στους κατώτερους ορόφους. Η θεμελίωση και οι φέρουσες τοιχοποιίες τυχόν υπόγειων ή ημιυπόγειων χώρων είναι σχεδόν αποκλειστικά κατασκευασμένες από λιθοδομή καθώς οι πλινθοδομές εμφανίζουν μεγαλύτερη υδατοπερατότητα και η εδαφική υγρασία προκαλεί αποσάθρωση των πλίνθων. Η θεμελίωση συνήθως είναι αβαθής και αποτελείται από συνεχή λιθοδομή ισοπαχή με την τοιχοποιία του υπερκείμενου ορόφου ή με ελαφρά διαπλάτυνση, συνήθως μονόπλευρα προς το εσωτερικό, ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης.
- Κύριο χαρακτηριστικό των φερουσών τοιχοποιιών και ιδιαίτερα των λιθοδομών και πλινθοδομών πλήρων πλίνθων είναι το σχετικά μεγάλο βάρος ιδιαίτερα σε σχετικά υψηλά κτίρια όπου το πάχος των τοίχων είναι σεβαστό. Έτσι στα κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία ένα σχετικά μικρό ποσοστό της μάζας βρίσκεται συγκεντρωμένο στις στάθμες των πατωμάτων και της στέγης.
- Το μέγεθος, το πλήθος, αλλά κυρίως η απόσταση από τις γωνίες και η σχετική καθ' ύψος τοποθέτηση των ανοιγμάτων (πόρτες, παράθυρα) στο ισόγειο και τους υπερκείμενους ορόφους επηρεάζει καθοριστικά τη συμπεριφορά της φέρουσας τοιχοποιίας, τόσο υπό κατακόρυφα, κυρίως όμως υπό οριζόντια (σεισμικά) φορτία. Κατά κανόνα σε κτίρια που έχουν κατασκευασθεί εμπειρικά ή με μεταγενέστερες επεμβάσεις ή προσθήκες ορόφων καθ' ύψος, παρατηρείται το ιδιαίτερα δυσμενές φαινόμενο της αναντιστοιχίας των ανοιγμάτων καθ' ύψος. Είναι φανερό ότι η αναντιστοιχία αυτή προκαλεί έντονη διατάραξη στη ροή των τάσεων προς τη θεμελίωση.
- Στην παρούσα παράγραφο είναι σκόπιμο να γίνει αναφορά και σε μία ιδιαίτερη κατηγορία κτιρίων που εμφανίζουν μικτό φέροντα οργανισμό με πλάκες, δοκούς και υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα στο εσωτερικό και φέρουσες τοιχοποιίες στην περίμετρο. Τα κτίρια αυτά, που συχνά είναι πολυώροφα, αποτέλεσαν υβριδικές κατασκευές της μεταβατικής περιόδου των αρχών του 20ου αιώνα, πριν από την πλήρη επικράτηση των κτιρίων με αμιγή σκελετό οπλισμένου σκυροδέματος.

3.4 Διαζώματα - Ελκυστήρες

- Τα διαζώματα και οι ελκυστήρες αποτελούν βασικά δομικά στοιχεία που ασκούν καθοριστική επιρροή στην απόκριση των κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία υπό οριζόντια (σεισμικά) φορτία. Οι συνηθέστεροι τύποι διαζωμάτων και ελκυστήρων είναι οι ακόλουθοι (βλέπε Σχ. 3.3):
  α. Ξύλινα, μεταλλικά, ή (σε σχετικά νεώτερες κατασκευές) από οπλισμένο σκυρόδεμα υπέρθυρα (πρέκια) στα ανώφλια των ανοιγμάτων ή και σε ενδιάμεσες στάθμες στο ύψος των ορόφων (μη συνεχή διαζώματα).
  β. Συνεχή ξύλινα (ξυλοδεσιές), μεταλλικά, ή (σε σχετικά πρόσφατες κατασκευές) από οπλισμένο σκυρόδεμα οριζόντια διαζώματα στις στάθμες των ανωφλίων των ανοιγμάτων ή και στις στάθμες των ορόφων και της στέγης.
  γ. Μεταλλικοί ελκυστήρες (παθητικοί ή ελαφρά προεντεταμένοι) ή παθητικοί ξύλινοι ελκυστήρες ενσωματωμένοι στις στάθμες των ορόφων, της στέγης, ή ελεύθεροι στις γενέσεις τόξων ή καμαρών.
  δ. Κατακόρυφα διαζώματα ξύλινα, σπανιότερα μεταλλικά, ή από οπλισμένο σκυρόδεμα σε σχετικά νεώτερες κατασκευές ή σε μεταγενέστερες επεμβάσεις.
- Τα ανεξάρτητα πρέκια φέρουν απλώς την τοιχοποιία της ζώνης πάνω από τα ανώφλια των ανοιγμάτων χωρίς να συμβάλλουν στη συνολική απόκριση του κτιρίου υπό οριζόντια (σεισμικά) φορτία. Αρκετές φορές τα ανώφλια διαμορφώνονται σε μορφή τόξου πλινθοδομής, οπότε το πρέκι είτε απουσιάζει, είτε τοποθετείται ως ελκυστήρας.
- Τα συνεχή οριζόντια ξύλινα ή μεταλλικά διαζώματα αποτελούνται συνήθως από δύο παράλληλες μεταξύ τους ράβδους ενσωματωμένες στις δύο όψεις της τοιχοποιίας και συνδεδεμένες με εγκάρσιες ράβδους κατά το πάχος του τοίχου ανά διαστήματα. Ουσιαστικά πρόκειται για "δικτυώματα μορφής σκάλας" σε οριζόντιο επίπεδο, τα οποία διασταυρώνονται στις γωνίες του κτιρίου (Σχ. 3.4, 3.5α). Πολλές φορές οι εσωτερικές ράβδοι, ιδιαίτερα των μεταλλικών διαζωμάτων, αγκυρώνονται στα άκρα τους στις εξωτερικές όψεις των γωνιών των τοίχων μέσω εγκάρσιων μεταλλικών τεμαχίων ράβδων (Σχ. 3.3f, 3.5α). Στην περίπτωση αυτή τα διαζώματα λειτουργούν και ως ελκυστήρες.
- Ο κύριος ρόλος των συνεχών οριζόντιων διαζωμάτων είναι να ενισχύσουν την εκτός επιπέδου καμπτική λειτουργία των τοιχοποιιών, αναλαμβάνοντας τις οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις κάθετα στο επίπεδο του τοίχου και μεταφέροντάς τες στους εγκάρσιους τοίχους. Για το λόγο αυτό, σε παχείς τοίχους οι ξυλοδεσιές, ή τα μεταλλικά διαζώματα, διαμορφώνονται, όπως προαναφέρθηκε, ως δικτυώματα σε οριζόντιο επίπεδο. Αντίστοιχα, τα διαζώματα (chainages) από οπλισμένο σκυρόδεμα καταλαμβάνουν ολόκληρο το πλάτος της τοιχοποιίας, ενώ έχουν σχετικά χαμηλό ύψος, καθώς καλούνται να λειτουργήσουν ως δοκοί καμπτόμενες σε οριζόντιο επίπεδο (Σχ. 3.3α,b).
- Οι ελκυστήρες είναι συνήθως χαλύβδινες λεπίδες ορθογωνικής διατομής ή μικρές χαλύβδινες δοκοί διατομής διπλού Τ ή Π, τοποθετούνται κατά τη δόμηση των τοίχων και προεντείνονται μετά την ολοκλήρωση του φέροντα οργανισμού (Σχ. 3.5b). Συχνά συναντώνται και ξύλινοι ελκυστήρες που τοποθετούνται σε επαφή με την εσωτερική όψη των τοίχων και φέρουν στα άκρα τους μεταλλικές καρφωτές λεπίδες για την αγκύρωσή



Σχ. 3.3: Τύποι διαζωμάτων, ελκυστήρων και συνδέσεων πατωμάτων και στεγών με τις φέρουσες τοιχοποιίες

τους στην εξωτερική όψη των εγκάρσιων τοίχων. Η προένταση είναι ελαφρά και επιτυγχάνεται είτε με ράβδους αγκύρωσης κατάλληλου σχήματος, είτε με τοπική ερυθροπύρωση και συστροφή της μεταλλικής λεπίδας σε σημεία όπου αυτή είναι προσπελάσιμη. Σημειώνεται ότι, κύριος στόχος της προέντασης των ελκυστήρων δεν είναι η ανάπτυξη πρόθλιψης στην τοιχοποιία αλλά η άρση τυχόν ανοχών μήκους ώστε η ενεργοποίηση του ελκυστήρα να είναι άμεση.

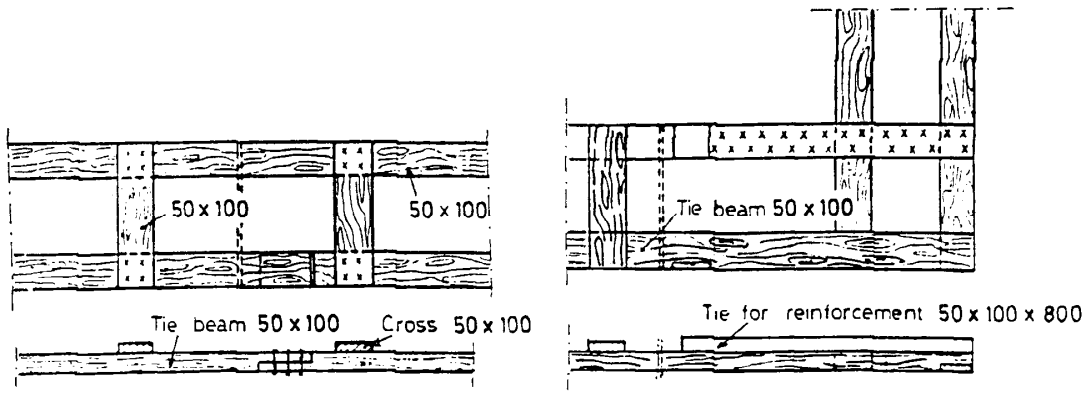
- Ο κύριος ρόλος των οριζόντιων μεταλλικών ή ξύλινων ελκυστήρων είναι να αποτρέψουν την αποκόλληση των διασταυρούμενων τοίχων καθ' ύψος των κατακόρυφων ακμών σε γωνίες **Γ** ή **Τ**, είτε από σεισμική καταπόνηση, είτε από ωθήσεις τόξων, καμαρών ή της στέγης.
- Ορατοί ξύλινοι ή μεταλλικοί ελκυστήρες συναντώνται σε όλες σχεδόν τις κατασκευές που έχουν καμαρωτά ή θολωτά πατώματα, τόξα, αψίδες και τρούλους όπως τα Ρωμαϊκά, Βυζαντινά ή Οθωμανικά μνημεία. Οι ελκυστήρες τοποθετούνται στη στάθμη γένεσης των καμπύλων φορέων ώστε να αναλάβουν τις οριζόντιες ωθήσεις που αναπτύσσονται υπό τα κατακόρυφα φορτία. Οι ελκυστήρες αυτοί συνδέονται συνήθως στα άκρα τους με ξυλοδεσιές ενσωματωμένες στους εγκάρσιους τοίχους.
- Τα κατακόρυφα διαζώματα (όταν υπάρχουν), σε συνεργασία με τα οριζόντια διαζώματα, συγκροτούν στο επίπεδο της τοιχοποιίας πλαίσια αυξημένης 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.
- Είναι φανερό ότι ο ρόλος των διαζωμάτων και των ελκυστήρων είναι να ενισχύσουν την απόκριση των τοιχοποιιών έναντι καταπονήσεων εκτός του επιπέδου τους και να εξασφαλίσουν τη λειτουργία των φερουσών τοιχοποιιών ως ενιαίου συνόλου υπό οριζόντια σεισμική καταπόνηση ή ωθήσεις από τον οριζόντιο φέροντα οργανισμό.
- Πρέπει να σημειωθεί ότι, ο νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός αναγνωρίζει τη βασική συμβολή των διαζωμάτων στην αύξηση της χαμηλής πλαστιμότητας των άοπλων τοιχοποιιών και διαφοροποιεί αντίστοιχα τις τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς της κατασκευής:

  α. Τοιχοποιία με οριζόντια διαζώματα: q = 1.5.

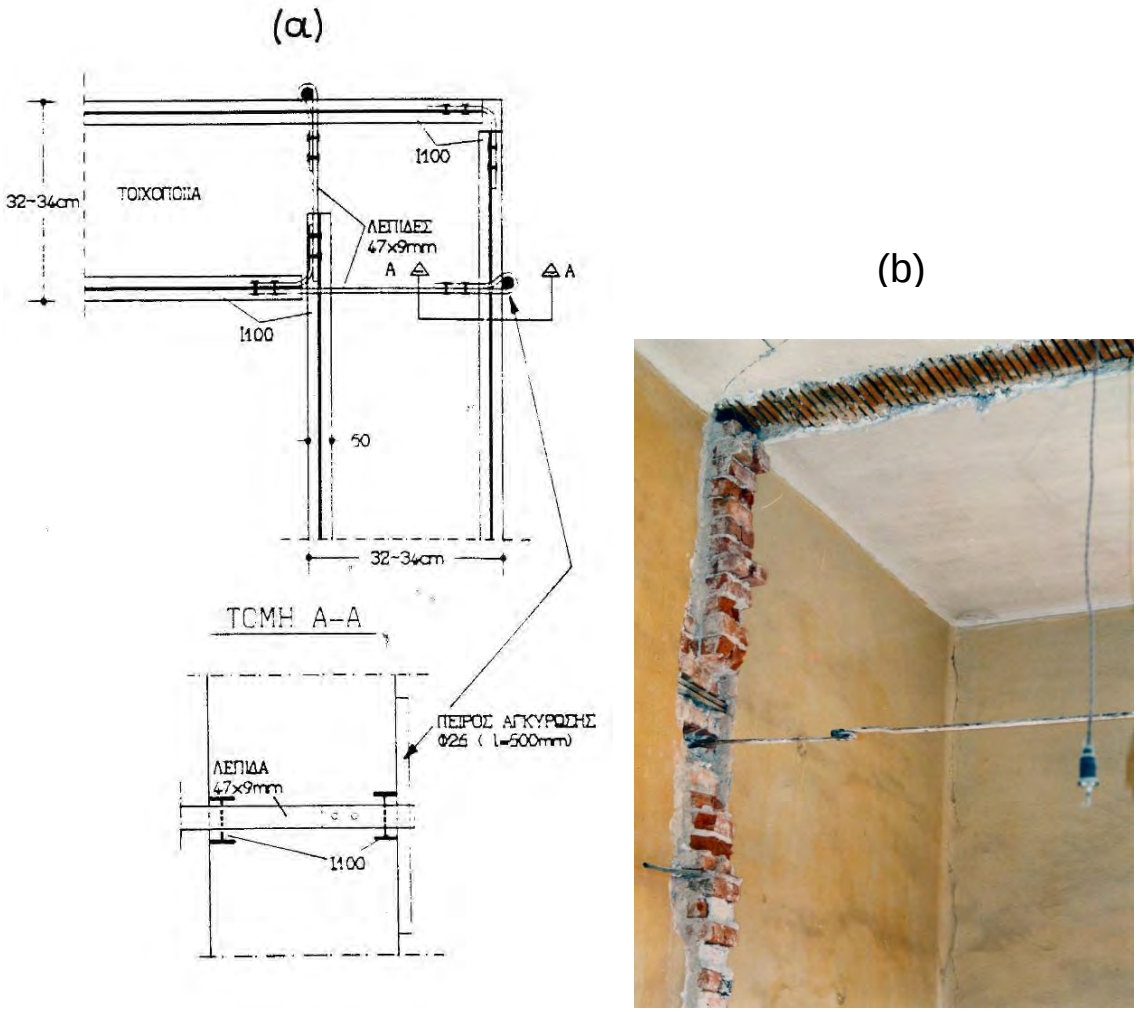
  β. Τοιχοποιία με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα: q = 2.0.

  γ. Τοιχοποιία οπλισμένη (κατακορύφως και οριζοντίως): q = 2.5.

  Σημειώνεται ότι για την περίπτωση άοπλης τοιχοποιίας χωρίς διαζώματα δεν ορίζεται τιμή για τον συντελεστή συμπεριφοράς.
- Είναι γνωστό ότι ο συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς υπεισέρχεται ως διαιρέτης στην εξίσωση υπολογισμού της σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού, με αποτέλεσμα η ύπαρξη διαζωμάτων να προκαλεί σημαντική μείωση της οριζόντιας επιτάχυνσης σχεδιασμού του κτιρίου. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι τιμές του q για κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές των κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα, με αποτέλεσμα οι σεισμικές δράσεις σχεδιασμού κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία να προκύπτουν συγκριτικά σημαντικά υψηλότερες.



Σχ. 3.4: Διαμόρφωση και γωνιακές συνδέσεις ξύλινων διαζωμάτων



Σχ. 3.5: (α) Διαμόρφωση, γωνιακή σύνδεση και ακραία αγκύρωση μεταλλικού διαζώματος-ελκυστήρα, (b) Μεταλλικός ελκυστήρας μορφής λεπίδας

4. ΑΠΟΚΡΙΣΗ – ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

4.1 Εισαγωγή

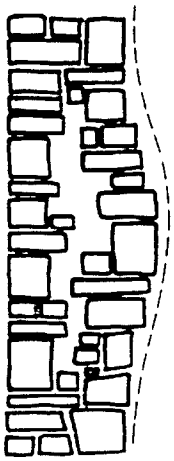
- Είναι φανερό ότι οι συνδυασμοί υλικών και τύπων πατωμάτων και στεγών, υλικών και τύπου δόμησης φερουσών τοιχοποιιών, υλικών και μορφής διαζωμάτων και ελκυστήρων, (ή και η απουσία τους) παράγουν μια μεγάλη πολυτυπία κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία.
- Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάσθηκε ποιοτικά ο ρόλος των επί μέρους δομικών στοιχείων που συγκροτούν τον φέροντα οργανισμό κτιρίων από τοιχοποιία. Στο παρόν κεφάλαιο θα επιχειρηθεί η σκιαγράφηση της απόκρισης και παθολογίας των κτιρίων υπό κατακόρυφα και ιδιαίτερα υπό οριζόντια σεισμικά φορτία.

4.2 Απόκριση και παθολογία κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία υπό κατακόρυφα φορτία

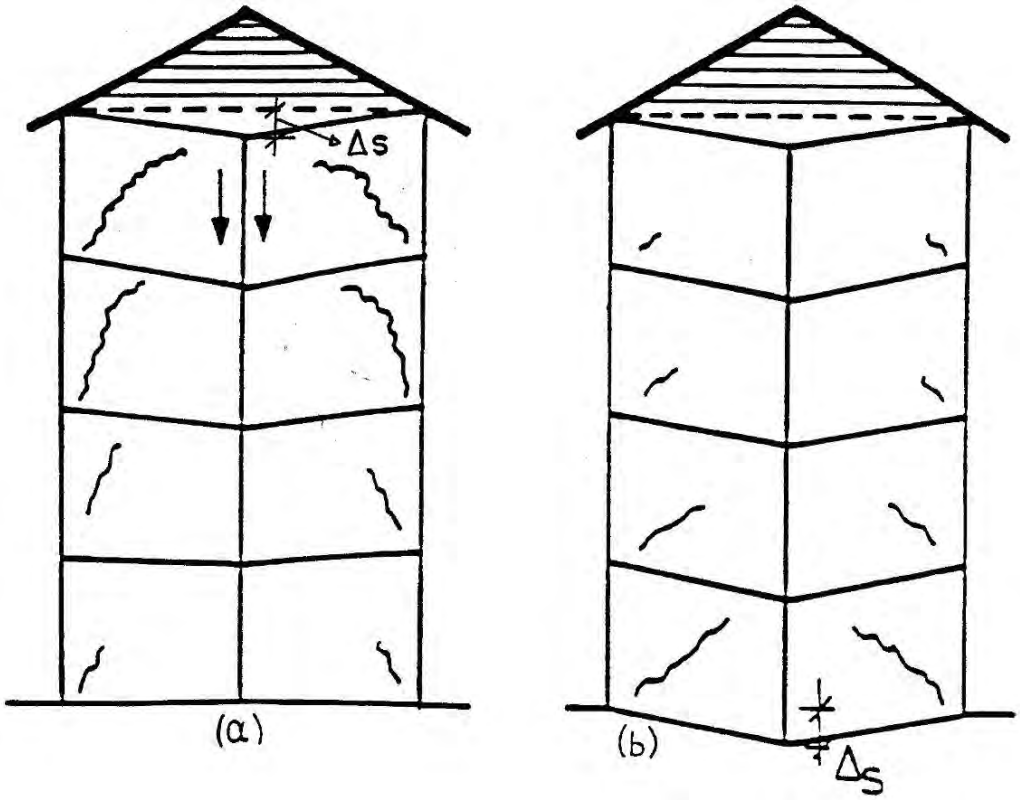
- Η μεταβίβαση των ιδίων βαρών του οριζόντιου φέροντα οργανισμού (πατώματα, στέγες) και των κινητών φορτίων στις φέρουσες τοιχοποιίες και από εκεί, μαζί με τα σημαντικά ίδια βάρη των τοίχων, στη θεμελίωση και το έδαφος, είναι συνήθως σαφής και εξασφαλισμένη σε όλους του τύπους κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία.
- Τα τυχόν προβλήματα είναι συνήθως περιορισμένα και μπορούν να καταταγούν στις ακόλουθες κατηγορίες:
  - α. Προβλήματα τοπικής ανεπάρκειας λόγω κακού σχεδιασμού (τοπική ρηγμάτωση τοιχοποιίας υπό ισχυρά μοναχικά φορτία ή λόγω αναντιστοιχίας ανοιγμάτων καθ' ύψος).
  - β. Προβλήματα τοπικής ή γενικής ανεπάρκειας από διαφορικές καθιζήσεις της θεμελίωσης.
  - γ. Προβλήματα τοπικής ανεπάρκειας από επεμβάσεις, διαρρυθμίσεις ή προσθήκες και επέκταση.
  - δ. Προβλήματα τοπικής ή γενικής ανεπάρκειας από προσθήκες καθ' ύψος.
  - ε. Προβλήματα τοπικής ή γενικής ανεπάρκειας από αλλαγή χρήσης (αύξηση κινητών φορτίων).
  - στ. Προβλήματα τοπικής ή γενικής ανεπάρκειας από γήρανση υλικών.
- Οι βλάβες από τα κατακόρυφα φορτία είναι συνήθως των ακόλουθων τύπων :
  - α. Όταν υπάρχει τοπική υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής είτε από κακό σχεδιασμό είτε από συγκέντρωση φορτίου εμφανίζονται, είτε σχεδόν κατακόρυφες ρηγματώσεις που οφείλονται στις εγκάρσιες εφελκυστικές τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται σε μονοαξονικά θλιβόμενη τοιχοποιία, είτε, ιδιαίτερα σε περίπτωση τρίστρωτης λιθοδομής, εμφανίζεται κατακόρυφο επίπεδο ρηγμάτωσης – διαχωρισμού κατά το πάχος του τοίχου που εκδηλώνεται με μονόπλευρο είτε αμφίπλευρο φούσκωμα της τοιχοποιίας (Σχ. 4.1).
  - β. Σε περίπτωση διαφορικών καθιζήσεων εμφανίζονται λοξές ρηγματώσεις μιας

διεύθυνσης κατά μήκος της θλιβόμενης – βραχυνόμενης διαγωνίου σε πεσσούς ή δίσκους τοιχοποιίας κατά μήκος του πόδα, των οποίων εκδηλώνεται διαφορική καθίζηση (Σχ. 4.2b). Οι βλάβες παρουσιάζονται εντονότερες στους χαμηλούς ορόφους.

γ. Σε περίπτωση διαφορικής βράχυνσης υπό τα κατακόρυφα φορτία σε μεσαίους συνήθως τοίχους, εμφανίζονται λοξές ρηγματώσεις μιας διεύθυνσης στους εγκάρσιους τοίχους, παρόμοιες με αυτές της προηγούμενης περίπτωσης, με τη διαφορά ότι οι βλάβες εμφανίζονται εντονότερες στους ανώτερους ορόφους (Σχ. 4.2α).



Σχ. 4.1: Μονόπλευρο φούσκωμα τρίστρωτης λιθοδομής με ασύνδετες όψεις υπό κατακόρυφα θλιπτικά φορτία



Σχ. 4.2: Εικόνα ρηγμάτωσης (a) λόγω διαφορικής βράχυνσης μεσαίου τοίχου, (b) λόγω διαφορικής καθίζησης μεσαίου τοίχου

4.3 Απόκριση και παθολογία κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία υπό σεισμική καταπόνηση

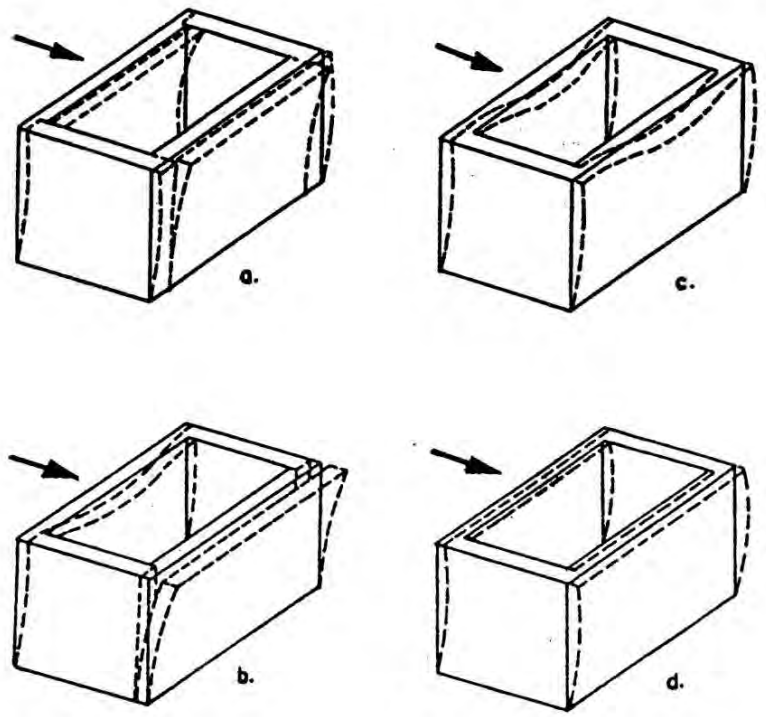
- Ενώ η φόρτιση υπό τα κατακόρυφα φορτία ορίζεται με σχετική σαφήνεια, κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει με τη σεισμική φόρτιση. Ακόμη και μετά τις σημαντικότατες απλοποιήσεις της μετάβασης από τη φυσική διέγερση στο φάσμα επιταχύνσεων σχεδιασμού του κανονισμού και τη θεώρηση της δράσης του σεισμού κατά τις δύο κύριες διευθύνσεις του κτιρίου, είναι γνωστό ότι τόσο το μέγεθος όσο και η κατανομή της σεισμικής τέμνουσας καθ' ύψος (αλλά και μεταξύ των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων κάθε ορόφου) εξαρτάται από τα γεωμετρικά και τα δυναμικά μηχανικά χαρακτηριστικά του φέροντα οργανισμού.
- Στην περίπτωση των κτιρίων με σκελετό από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα είναι επαρκώς ικανοποιητική η προσομοίωση του φέροντα οργανισμού με γραμμικά μέλη και η θεώρηση διαφραγματικής λειτουργίας των πλακών στη συντριπτική πλειοψηφία των κτιρίων. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιορίζουν το πλήθος των ιδιομορφών ταλάντωσης που απαιτείται να ληφθούν υπόψη ώστε να ενεργοποιηθεί ένα ικανοποιητικό ποσοστό της μάζας του κτιρίου. Όταν μάλιστα η συγκρότηση του φέροντα οργανισμού είναι σχετικά κανονική, το υψηλό ποσοστό ενεργοποιούμενης μάζας που αντιστοιχεί στη θεμελίωση ιδιομορφή και η μορφή της ταλάντωσης του φέροντα οργανισμού επιτρέπει ακόμη και την απλοποιητική ψευδοστατική θεώρηση με τριγωνική καθ' ύψος κατανομή της σεισμικής τέμνουσας βάσης στις στάθμες των ορόφων.
- Στην περίπτωση κτιρίων με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία είναι απαραίτητη η θεώρηση επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων για μια ικανοποιητική προσομοίωση των τοιχοποιιών, ενώ είναι συνήθως ασθενική η διαφραγματική λειτουργία των πατωμάτων. Καθώς μάλιστα μεγάλο ποσοστό της μάζας είναι διανεμημένο επιφανειακά στους τοίχους, απέχει πολύ από την πραγματικότητα η συγκέντρωση των μαζών στις στάθμες των ορόφων. Αυτά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυξάνουν υπερβολικά το πλήθος των ιδιομορφών ταλάντωσης που απαιτούνται ώστε να ενεργοποιηθεί ένα μεγάλο ποσοστό της μάζας του κτιρίου, με αποτέλεσμα η δυναμική προσέγγιση του προβλήματος να γίνεται δύσκολη.
- Οι παραπάνω παρατηρήσεις σε συνδυασμό με την πολυμορφία και πολυτυπία των κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία αλλά και τη δυσκολία εκτίμησης των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών, περιορίζουν την ακρίβεια προσομοίωσης του φέροντα οργανισμού. Έτσι η σκιαγράφηση της απόκρισής των κτιρίων υπό οριζόντια σεισμικά φορτία είναι δυνατή μόνο σε ακραίες περιπτώσεις, όπως οι ακόλουθες:

  α. <u>Πατώματα και δώμα υψηλής διαφραγματικής λειτουργίας (π.χ. πλάκες Ο/Σ) – Τοιχοποιία υψηλών αντοχών με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα: Γενικά ικανοποιητική συμπεριφορά υπό οριζόντια σεισμική φόρτιση.</u>
     - Σαφής διαφραγματική λειτουργία του στατικού μοντέλου.
     - Εφαρμογή στις στάθμες των πλακών των μαζών που αντιστοιχούν στα μόνιμα και κινητά φορτία των πατωμάτων (οι μάζες αυτές αποτελούν σχετικά σημαντικό ποσοστό της συνολικής μάζας του κτιρίου λόγω μικρού σχετικά πάχους και βάρους των φερουσών τοιχοποιιών).

- Διανομή της μάζας των τοιχοποιιών σε όλους τους κόμβους των επιφανειακών στοιχείων.
- Η σεισμική τέμνουσα κατανέμεται από τα διαφράγματα στα κατακόρυφα στοιχεία κάθε ορόφου ανάλογα με τη δυσκαμψία τους, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνεται κυρίως στους τοίχους που διήκουν κατά τη διεύθυνση του σεισμού.
- Η ύπαρξη διαζωμάτων και ελκυστήρων αποτρέπει την αποκόλληση των τοίχων καθ' ύψος κατακόρυφων ακμών σε γωνίες τύπου **Γ** ή **Τ**.
- Η ύπαρξη διαζωμάτων ανακουφίζει την καταπόνηση των τοίχων για σεισμό κάθετα στο επίπεδό τους, με αποτέλεσμα να προκύπτει συνήθως κρίσιμη η καταπόνηση των τοίχων και πεσσών για σεισμό μέσα στο επίπεδό τους (λειτουργία δίσκου - σχετικά υψηλή αντοχή τοιχοποιίας).
- Σε περιπτώσεις μεγάλου σχετικά ύψους ορόφων και μεγάλων σχετικά αποστάσεων των εγκάρσιων φερόντων τοίχων, είναι πιθανόν να αποδειχθεί κρίσιμη η καταπόνηση μερικών επιμήκων τοίχων σε κάμψη εκτός του επιπέδου τους.

β. <u>Πατώματα και δώματα χαμηλής διαφραγματικής δυσκαμψίας (π.χ. ξύλινα πατώματα και στέγη) – Παχείς τοίχοι χαμηλής αντοχής χωρίς διαζώματα ή ελκυστήρες: Γενικά ανεπαρκής συμπεριφορά υπό οριζόντια σεισμική φόρτιση.</u>
- Απουσία διαφραγματικής λειτουργίας.
- Συνήθως παραλείπονται τελείως τα πατώματα κατά τη διαμόρφωση του στατικού μοντέλου.
- Διανομή της μάζας των τοιχοποιιών σε όλους τους κόμβους των επιφανειακών στοιχείων (οι μάζες αυτές αποτελούν πολύ μεγάλο ποσοστό του συνόλου λόγω του μεγάλου πάχους και βάρους των φερουσών τοιχοποιιών).
- Εφαρμογή στους κόμβους των τοιχοποιιών, που βρίσκονται στις στάθμες των ορόφων, των μαζών των πατωμάτων, που αντιστοιχούν στα μόνιμα και κινητά φορτία του οριζόντιου φέροντα οργανισμού.
- Κρίσιμη προκύπτει η καταπόνηση των τοίχων για σεισμό κάθετα στο επίπεδό τους (κάμψη εκτός επιπέδου – πολύ χαμηλή αντοχή τοιχοποιίας).
- Αναμένεται πρόωρη αποκόλληση των διασταυρούμενων τοίχων λόγω απουσίας διαζωμάτων και ελκυστήρων και ανεξάρτητη απόκρισή τους ως ελεύθερων προβόλων με ιδιαίτερα δυσμενή αποτελέσματα.

- Πρέπει να σημειωθεί ότι η μεγάλη πλειοψηφία των κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία βρίσκεται συνήθως μεταξύ των δύο ακραίων προηγούμενων περιπτώσεων, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη τόσο η προσομοίωση και ανάλυση τους όσο και η σαφής πρόγνωση της απόκρισής τους υπό οριζόντια σεισμική φόρτιση.
- Στο Σχ. 4.3 φαίνονται οι τυπικές μορφές απόκρισης μονώροφου κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία υπό σεισμική καταπόνηση:



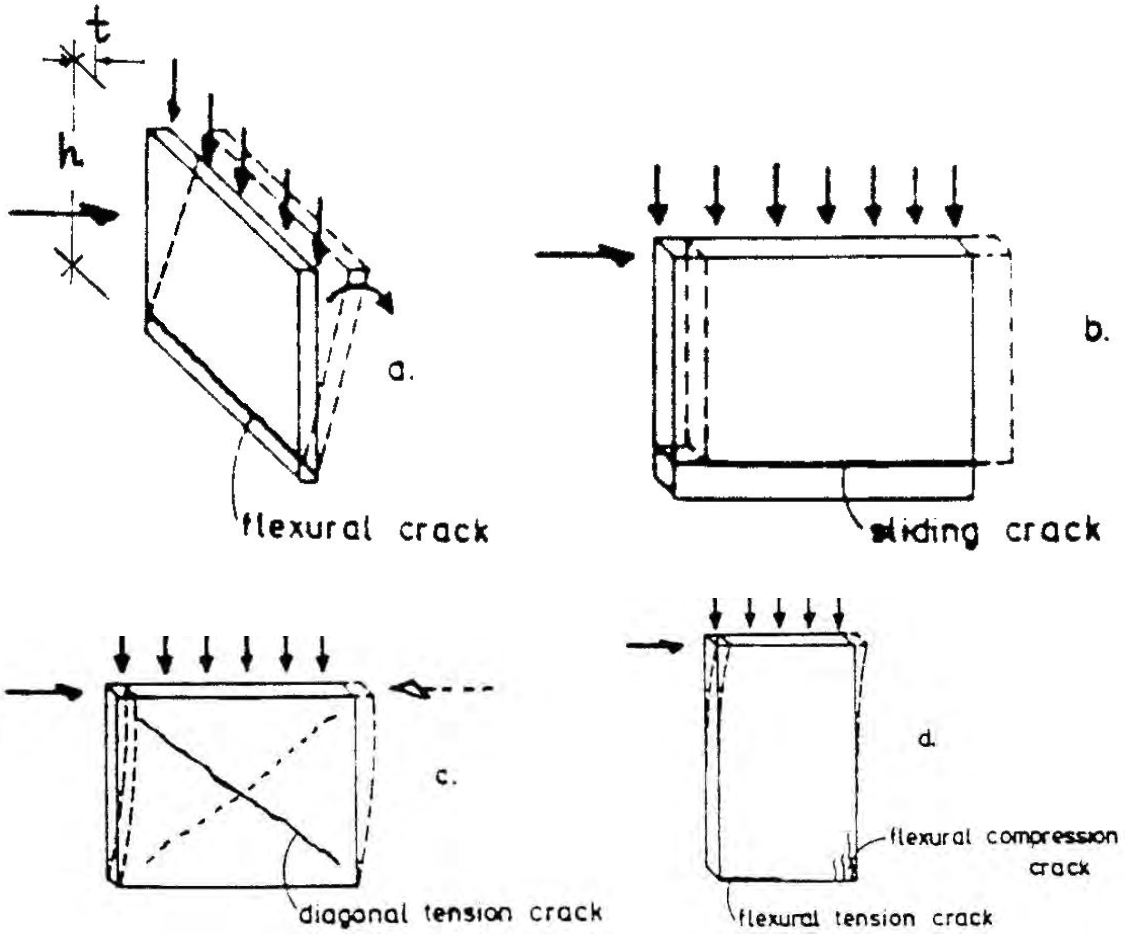
Σχ. 4.3 Τυπικές μορφές απόκρισης κτιρίων φέρουσας τοιχοποιίας υπό σεισμική καταπόνηση. (α) και (b): Απουσία διαφράγματος ή διαζωμάτων, (c): Φέροντες τοίχοι με κορυφαίο διάζωμα, (d): Φέροντες τοίχοι με διάφραγμα στο επίπεδο της στέψης τους

- Οι περιπτώσεις (α) και (b) αντιστοιχούν σε πλήρη απουσία διαφράγματος και διαζωμάτων με αποτέλεσμα οι τοίχοι να είναι ασύνδετοι και μετά τον αποχωρισμό τους να λειτουργούν ανεξάρτητα (κρίσιμη η εκτός επίπέδου καμπτική λειτουργία των τοίχων που είναι κάθετοι στη διεύθυνση του σεισμού).
- Στην περίπτωση (c) υπάρχει περιμετρικό διάζωμα αλλά όχι διάφραγμα στη στέψη των τοιχοποιιών. Υπό σεισμική καταπόνηση συνήθως αποφεύγεται ο αποχωρισμός των τοίχων στις γωνίες, αλλά η σχετικά μικρή εγκάρσια δυσκαμψία του διαζώματος δεν μπορεί να αποτρέψει την τοπικά έντονη εκτός επιπέδου κάμψη των τοίχων κάθετα στη διεύθυνση του σεισμού (λειτουργία τριέρειστης πλάκας σε κατακόρυφο επίπεδο).
- Στην περίπτωση (d) υπάρχει πλήρης διαφραγματική λειτουργία στο επίπεδο της στέψης των τοίχων, η οποία εξασφαλίζει τη μεταφορά και ανάληψη του συνόλου σχεδόν της σεισμικής τέμνουσας από τους τοίχους κατά τη διεύθυνση του σεισμού (λειτουργία δίσκου – υψηλή αντοχή τοιχοποιίας).

• Με βάση την ανάλυση της συμπεριφοράς του τυπικού μονώροφου κτιρίου που προηγήθηκε παρουσιάζονται στο Σχ. 4.4 οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας ενός μεμονωμένου τοίχου ή πεσσού:
  - Ο τοίχος πρόβολος εμφανίζεται ιδιαίτερα ασθενής έναντι σεισμικής ώθησης κάθετα στο επίπεδό του (Σχ. 4.4α). Αντιστέκεται στις αδρανειακές δυνάμεις κυρίως με το βάρος του και την αμελητέα καμπτική αντοχή της διατομής της βάσης του. Έτσι, ο τοίχος

ανατρέπεται υπό στατικό σεισμικό συντελεστή που κυμαίνεται από ε = t/2h έως ε = t/h, εάν η σεισμική τέμνουσα εφαρμόζεται στη στέψη ή το κέντρο βάρους του αντίστοιχα.

- Σε περίπτωση που ο τοίχος-πρόβολος καταπονείται εντός του επιπέδου του, η αντίστασή του είναι πολύ μεγαλύτερη καθώς λειτουργεί ως δίσκος (shear wall). Υπάρχουν διάφορες μορφές αστοχίας ενός τέτοιου τοίχου που εξαρτώνται από τη γεωμετρία, τη σχέση κατακόρυφου και οριζόντιου φορτίου και τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας:
  i. Ολίσθηση ή καθαρή διατμητική αστοχία κατά μήκος ενός οριζόντιου αρμού (Σχ. 4.4b).
  ii. Διαγώνια ρηγμάτωση από λοξές κύριες εφελκυστικές τάσεις είτε με τεθλασμένη αποκόλληση-ολίσθηση κατακόρυφων και οριζόντιων αρμών είτε και με ρηγμάτωση πλίνθων ή λίθων (Σχ.4.4c).
  iii. Καμπτική αστοχία από συντριβή (πυκνά σχεδόν κατακόρυφα ρήγματα και εγκάρσια διάρρηξη) της θλιβόμενης γωνίας της βάσης αμέσως μετά την οριζόντια ρηγμάτωση κατά μήκος της εφελκυόμενης ζώνης (Σχ. 4.4d).



Σχ. 4.4: Μηχανισμοί αστοχίας ενός μεμονωμένου τοίχου-προβόλου. (α) Σεισμική τέμνουσα εκτός επιπέδου, (b), (c), (d) Σεισμική τέμνουσα εντός επιπέδου

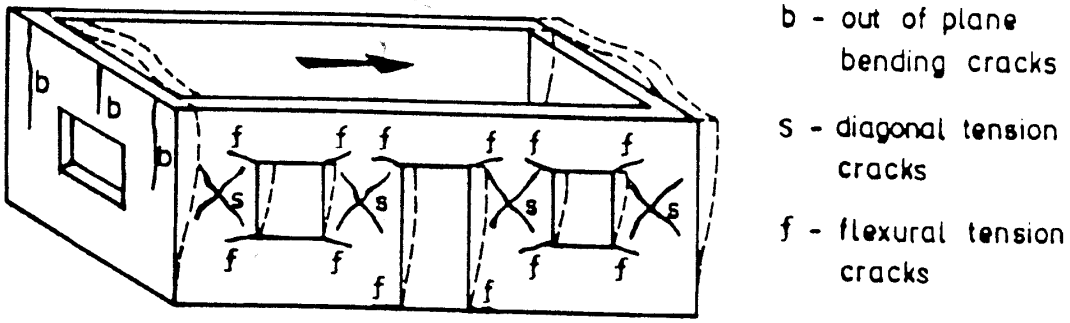
- Ασφαλώς η συμπεριφορά και απόκριση ενός κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία είναι πολύ πιο σύνθετη από αυτή ενός μεμονωμένου τοίχου χωρίς ανοίγματα. Στο Σχ. 4.5 φαίνονται οι τυπικές μορφές ρηγματώσεων που εμφανίζονται σε ένα τυπικό όροφο κτιρίου με ικανοποιητικά οριζόντια διαζώματα (chainages).
  - Σε τοίχους κάθετα στη διεύθυνση της σεισμικής καταπόνησης εμφανίζονται, λόγω ανεπαρκούς διαφραγματικής λειτουργίας ρωγμές τύπου **b** από κάμψη εκτός επιπέδου (bending). Σε περίπτωση ανεπαρκούς σύνδεσης στις ακμές με τους εγκάρσιους τοίχους, οι ρωγμές αυτές οδηγούν σε αποκόλληση των τοίχων και αστοχία τους σύμφωνα με το Σχ. 4.4α.
  - Σε τοίχους κατά τη διεύθυνση της σεισμικής καταπόνησης, οι πεσσοί μεταξύ των ανοιγμάτων είναι συνήθως πιο εύκαμπτοι από τις ζώνες τοιχοποιίας πάνω και κάτω από τα παράθυρα. Έτσι, ουσιαστικά οι παραμορφώσεις εμφανίζονται εντονότερες στους πεσσούς. Στις διατομές πόδα και κεφαλής των πεσσών εμφανίζονται οι ισχυρότερες ορθές (θλιπτικές και εφελκυστικές) τάσεις, ενώ η σταθερή καθ' ύψος του πεσσού τέμνουσα δύναμη προκαλεί τις μέγιστες διατμητικές τάσεις περί το κέντρο του. Η υπέρβαση της χαμηλής καμπτικής εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας προκαλεί τις καμπτικές ρωγμές τύπου **f** (flexure), ενώ η υπέρβαση της λοξής εφελκυστικής αντοχής υπό τις κύριες ορθές τάσεις στο σώμα του πεσσού προκαλεί τις λοξές χιαστί καμπτοδιατμητικές ρωγμές τύπου **s** (shear).
  - Τελικά οι πεσσοί, ανάλογα με τη γεωμετρία και τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας, αστοχούν είτε από χαίνοντα χιαστί καμπτοδιατμητικά ρήγματα, είτε από υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής στα άκρα της κεφαλής ή της βάσης τους μετά από διαδοχικούς κύκλους επέκτασης των ρηγμάτων τύπου **f**.
- Η ιδεατή κατανομή τάσεων στους πεσσούς φαίνεται στο Σχ. 4.6, όπου:

  σ_o : θλιπτικές τάσεις από τα κατακόρυφα φορτία

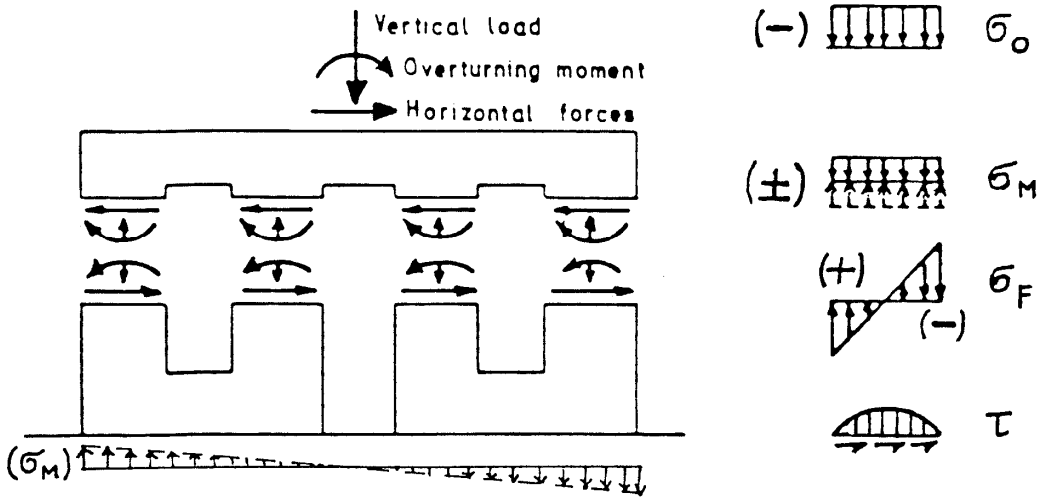
  σ_M: θλιπτικές ή εφελκυστικές τάσεις από τη γενική ροπή ανατροπής

  σ_F : θλιπτικές – εφελκυστικές τάσεις από κάμψη κάθε πεσσού

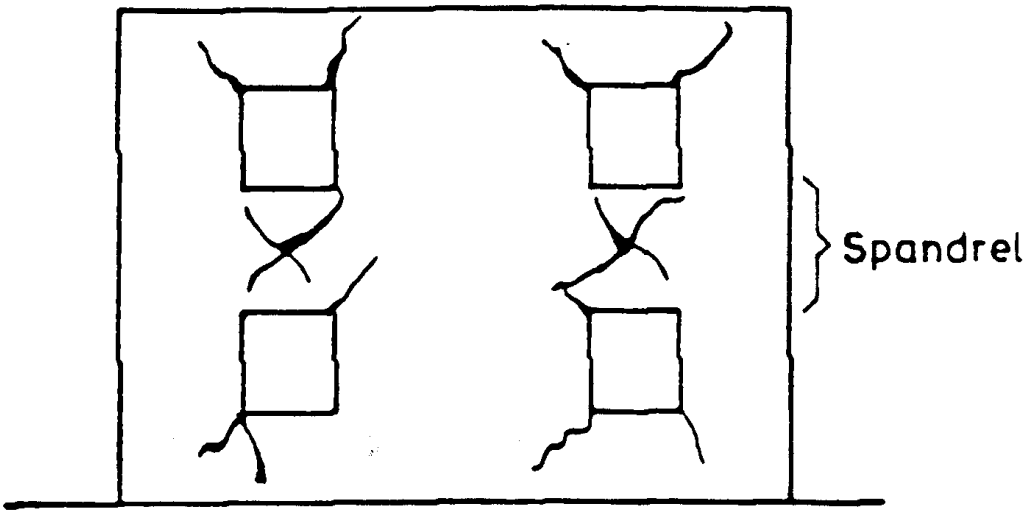
  τ : διατμητικές τάσεις στους πεσσούς
- Στην περίπτωση ενός διώροφου κτιρίου με εύκαμπτα ξύλινα πατώματα χωρίς οριζόντια διαζώματα στο επίπεδο των ορόφων και με σχετικά αραιά ανοίγματα (Σχ. 4.7), οι ζώνες σύζευξης μεταξύ δύο επάλληλων ανοιγμάτων που συνδέουν τους ισχυρούς πεσσούς-προβόλους είναι σχετικά οι πλέον ευαίσθητες περιοχές και καταπονούνται, σε συνδυασμό κάμψης και διάτμησης. Οι ζώνες αυτές αστοχούν συνήθως με χιαστί καμπτοδιατμητικά ρήγματα πριν από την αστοχία των πεσσών. Η αστοχία των ζωνών αυτών προκαλεί απώλεια στήριξης των πατωμάτων. Η πρόωρη αστοχία των ζωνών σύζευξης μπορεί να αποτραπεί είτε από άκαμπτα διαφράγματα (π.χ. πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος), είτε από ισχυρά διαζώματα στα επίπεδα των πατωμάτων.



Σχ. 4.5: Τυπικές μορφές ρηγματώσεων σε τυπικό όροφο κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία



Σχ. 4.6: Ιδεατή κατανομή εξωτερικών δράσεων, φορτίων διατομής και τάσεων σε επίπεδο τοίχο υπό σεισμική καταπόνηση



Σχ. 4.7 Μηχανισμός αστοχίας στις ζώνες σύζευξης πεσσών ενός διώροφου τοίχου χωρίς διαζώματα ή άκαμπτα διαφράγματα στις στάθμες των ορόφων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Ευρωκώδικας 6, Σχεδιασμός Κατασκευών από Τοιχοποιία, μετάφραση του ENV 1996-1-1, Έκδοση Τ.Ε.Ε., 1995.

[2] UNDP/UNIDO, Manual for building construction under seismic conditions in the balkan region: Design and Construction of Stone and Brick Masonry Buildings, UNDP/UNIDO, Project RER 79/015, Vol. 3, Vienna, 1983.

[3] Hendry A., W., Structural Brickwork, J. Wiley and Sons, Mew York, 1981.

[4] Τάσιος, Θ., Η Μηχανική της Τοιχοποιίας, Έκδοση Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1986.

[5] Page, A. W., The biaxial compressive strength of brick masonry, Proc. I.C.E., Part 2, V. 71, P8487, Sept. 1981, 893-906.

[6] Ιγνατάκης Χ., Αναλυτική έρευνα της απόκρισης τοιχοποιίας υπό μονότονη επίπεδη καταπόνηση μέχρις αστοχίας, Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη, 1989.

[7] Stavrakakis, E., Ignatakis, C. and Penelis, G., The Compressive Strength of Masonry. A Parametric study using a special Finite Element Model, 2nd Int. Symp. on Computer Methods in Structural Masonry, Swansea, U.K., 1993.

[8] Titaru, C., Σημειώσεις Σεμιναρίου επί της συμπεριφοράς της φέρουσας τοιχοποιίας, Α.Π.Θ., 1978.

[9] Κοσμόπουλος, Η., Η Στατική και Δυναμική Αντισεισμική Θεωρία και η Εφαρμογή της στην πράξη, Αθήνα, 1969.

[10] Α.Π.Θ., Επισκευή ζημιών από σεισμό σε κτίρια, Έκδοση Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1978.

[11] Ε.Μ.Π., Συστάσεις για τις επισκευές κτιρίων βλαμμένων από σεισμό, Έκδοση Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1978.

[12] Υπουργείο Δημ. Έργων, Επισκευές βλαβών σε κτίρια που έχουν πληγεί από τους σεισμούς, Έκδοση Υ.Δ.Ε., Θεσσαλονίκη, 1978.

[13] Υπουργείο Δημ. Έργων, Κατευθυντήριες προδιαγραφές και οδηγίες για επισκευές κτιρίων με βλάβες από σεισμό, Έκδοση Υ.Δ.Ε., Θεσσαλονίκη, 1978.

[14] UNDP/UNIDO, Manual for building construction under seismic conditions in the balkan region: Repair and strengthening of reinforced concrete, stone and brick-masonry buildings, UNDP/UNIDO, Project RER 79/015, Vol. 5, Vienna, 1983.

[15] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Επισκευές – Ενισχύσεις – Παραδείγματα διαστασιολογήσεως, Έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 1987.

[16] Βιντζηλαίου, Ε., Σημειώσεις για το μάθημα Προχωρημένη Μηχανική της Τοιχοποιίας (ωπλισμένης και άοπλης), Έκδοση Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1998.

[17] Καραντώνη – Μαραγκού, Τ., Σχεδιασμός και Ανασχεδιασμός Κατασκευών από Φέρουσα Τοιχοποιία, Έκδοση Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 1997.

[18] Mainstone R., Developments in Structural Form, Penguin Books Ltd, England, 1975.

[19] McNary S.W. and Abrams D.P., Mechanics of Masonry in Compression, Proc. ASCE, V.111, ST4, Apr. 1985, pp. 857 ÷ 870.

[20] Kho C.L and Hendry A.W., A Failure Criterion for Brickwork in Axial Compression, Proc. Of the 3rd Inter. Brick Masonry Conf., Essen, 1973, pp. 139 ÷ 145.

[21] Brown R.H., Prediction of Brick Masonry Prism Strength from Reduced Constraint

Brick Tests, ASTM, STP589, “Masonry Past and Present”, Baltimore, Aug. 1975, pp. 171 ÷ 194.

[22] ASTM C270, Specification of Mortars and Masonry Units.

[23] BSI 1985 BS5628, Code of practice for use of masonry. Part 1: The structural use of unreinforced masonry.

[24] DIN 1053 Blatt 1, Mauerwerk, Berechnung und Ausfuhrung.

[25] Atkinson R.H., Noland J.L., Abrams D.P and McNary S., A Deformation Failure Theory for Bond Brick Masonry Prisms in Compression, 3rd North Amer. Masonry Conf., No 18, Texas, 1985, pp.(18-1)÷(18-18).

[26] Καλευράς Β., Μηχανική των παραμορφώσιμων σωμάτων, Θεσσαλονίκη, 1980.

[27] Francis A.J., Horman C.B. and Jerems L.E., The effect of Joint Thickness and other factors on ths Compressive Strength of Brickwork, Proc. of the 2nd Inter. Brick – Masonry Conf., G. Britain, 1971, pp 31÷37.