



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Σχολή Μηχανικών  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
*Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Αρχιτεκτονική και Δομοστατική Αποκατάσταση  
Ιστορικών Κτιρίων και Συνόλων (Α.Δ.Ο.ΑΠ.)»*



## Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Διερεύνηση και ανάλυση Ιερού Ναού από φέρουσα τοιχοποιία**

Συγγραφέας

Σαπάκος Ιωάννης

ΑΜ: 22102

Επιβλέπων

Πνευματικός Νικόλαος

Αθήνα, Ιούλιος 2024



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
School of Engineering**

**Department of Civil Engineering  
Postgraduate Program (MSc):  
MSc in Architectural and Structural  
Restoration of Historic Buildings and  
Ensembles**



## **Diploma Thesis**

**Assessment and analysis of church from load-bearing masonry  
construction**

**Student name and surname:**

**Sapakos Ioannis**

**Registration Number: 22102**

**Supervisor name and surname:**

**Nikos Pnevmatikos**

**Professor Department of Civil  
Engineering**

**Athens, July 2024**



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Σχολή Μηχανικών  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Αρχιτεκτονική και Δομοστατική Αποκατάσταση  
Ιστορικών Κτιρίων και Συνόλων (Α.Δ.Ο.Α.Π.)»



**Τίτλος εργασίας**

**Διερεύνηση και ανάλυση Ιερού Ναού από φέρουσα τοιχοποιία**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/α</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
	<b>Πνευματικός Νίκος</b>	<b>Καθηγητής Επιβλέπων</b>	
	<b>Κωσταντίνος Ρεπαπής</b>	<b>Αναπληρωτής Καθηγητής Εξεταστής</b>	
	<b>Ισαάκ Βρυζίδης</b>	<b>Επίκουρος Καθηγητής Εξεταστής</b>	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σαπάκος Ιωάννης του Γρηγορίου, με αριθμό μητρώου 22102 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Αρχιτεκτονική και Δομοστατική Αποκατάσταση Ιστορικών Κτιρίων και Συνόλων (Α.ΔΟ.ΑΠ.)» Τμήματος Μηχανικών της Σχολής Τμήμα Πολιτικών

Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

*\*Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.*

Ο Δηλών

Σαπάκος Ιωάννης

**\* Ονοματεπώνυμο /Ιδιότητα**

**Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα**  
(Υπογραφή)



## Ευχαριστίες & Αφιέρωση

Θέλω θερμά να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Νίκο Πνευματικό του "Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Αρχιτεκτονικής και Δομοστατικής Αποκατάστασης Ιστορικών Κτιρίων και Συνόλων (Α.ΔΟ.ΑΠ.)" του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για την καθοδήγηση και την επιστημονική του συνεισφορά στη σύνταξη αυτού του έργου, καθώς επίσης και για την υπομονή που επέδειξε κατά τη διάρκεια όλης αυτής της διαδικασίας.

Επίσης, δεν μπορώ παρά να εκφράσω τις ευλικρινείς μου ευχαριστίες προς τη σύζυγό μου Βάνα για την αμέριστη υποστήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας προετοιμασίας.

Αφιερωμένο στους γιούς μας, Γρηγόρη και Γιάννη.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία ασχολείται με τη διερεύνηση και ανάλυση Ιερού Ναού από φέρουσα τοιχοποιία.

Πραγματοποιήθηκαν επανειλημμένες επισκέψεις στον Ιερό Ναό Αγίου Νικολάου στο Γεωργικό Καρδίτσας για επιτόπια έρευνα, συλλογή πληροφοριών και λήψη φωτογραφιών τεκμηρίωσης. Παράλληλα έγινε λεπτομερής μέτρηση για την αποτύπωση του Ναού αρχικά σε σκαρίφημα και στη συνέχεια σε σχέδια.

Η ανάγκη για παραδοχές σχετικά με τα δεδομένα του κτιρίου είναι αναπόφευκτη προκειμένου να δημιουργηθεί ένα μοντέλο που να προσεγγίζει την πραγματική κατάσταση.

Παρόλο που η μελέτη δεν μπορεί να παρουσιάσει μια απόλυτα ακριβή αναπαράσταση του κτιρίου, οι παραδοχές που καθορίζονται μπορούν να οδηγήσουν σε ένα μοντέλο που να προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες για την ενίσχυση της τοιχοποιίας και την ανακατασκευή του κτιρίου. Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί αυτού του είδους της μελέτης και να δοθεί έμφαση στην ακρίβεια των παραδοχών και των δεδομένων που χρησιμοποιούνται.

Με την κατάλληλη προσέγγιση και μεθοδολογία, το μοντέλο που θα αναπτυχθεί μπορεί να παρέχει σημαντική ενίσχυση για την ανάλυση και την ανακατασκευή του ιστορικού ναού. Επίσης, η αναγνώριση των περιορισμών της μελέτης μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω έρευνα και διερεύνηση για την πραγματική δομή και κατάσταση του κτιρίου.

Η μελέτη που ακολουθεί δεν αποτελεί πιστή αναπαράσταση της πραγματικής κατάστασης του κτιρίου. Παρόλα αυτά μέσω των παραδοχών, το μοντέλο που θα δημιουργηθεί δεν απέχει πολύ από την πραγματική κατάσταση.

## **ABSTRACT**

The present thesis is concerned with the examination and analysis of the structural walls of a Church.

Several visits to the Church of Agios Nicolaos of Georgiko in Karditsa were carried out in order to achieve in situ research, to collect information and take testimonial photographs. At the same time a thorough measurement of the church took place so that it was imprinted first in a sketch and later in detailed drawings.

The need for premises, where the building data is concerned, is unavoidable if a model that approaches the real situation is to be created.

Even though the study cannot present an absolute reconstruction of the building, the premises set forth can lead to a model that offers useful information concerning the reinforcement of the walls and the reconstruction of the building. It is of importance that the limitations of this kind of study are taken into consideration and that the precision of the premises and of the data is emphasized.

With the correct approach and methodology, the model created will be of significant help in the analysis and reconstruction of the historical church. Moreover, the acknowledgment of the limitations of the study can lead to further research and examination of the real structure and situation of the building.

The study that follows does not present an accurate representation of the real situation of the building. Even so, based on the premises, the model created will not be far from the real situation.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ.....</b>	<b>10</b>
1.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	10
1.2 ΕΙΔΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ.....	13
1.2.1 ΛΙΘΟΔΟΜΕΣ (ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ) .....	13
1.2.2 ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ ΑΠΟ ΤΕΧΝΗΤΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ.....	17
1.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΟΜΗΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ .....	22
1.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΟΜΗΣΗΣ ΛΙΘΟΔΟΜΩΝ.....	23
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΪΑΣ.....</b>	<b>25</b>
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ.....	25
2.2 ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ .....	25
2.3 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ .....	31
2.4 ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ.....</b>	<b>42</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ.....</b>	<b>44</b>

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ .....</b>	<b>56</b>
5.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ – ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ .....	56
5.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ.....	63
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ.....</b>	<b>91</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7° ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΝΑΟΥ ΆΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ.....</b>	<b>97</b>
7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	97
7.2 ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	98
7.3 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	101
7.4 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ.....	104
7.5 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ - ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ ΚΑΙ ΦΘΟΡΩΝ ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	115
7.6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	124
7.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	127
7.8 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ.....	129
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8°: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>138</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>139</b>

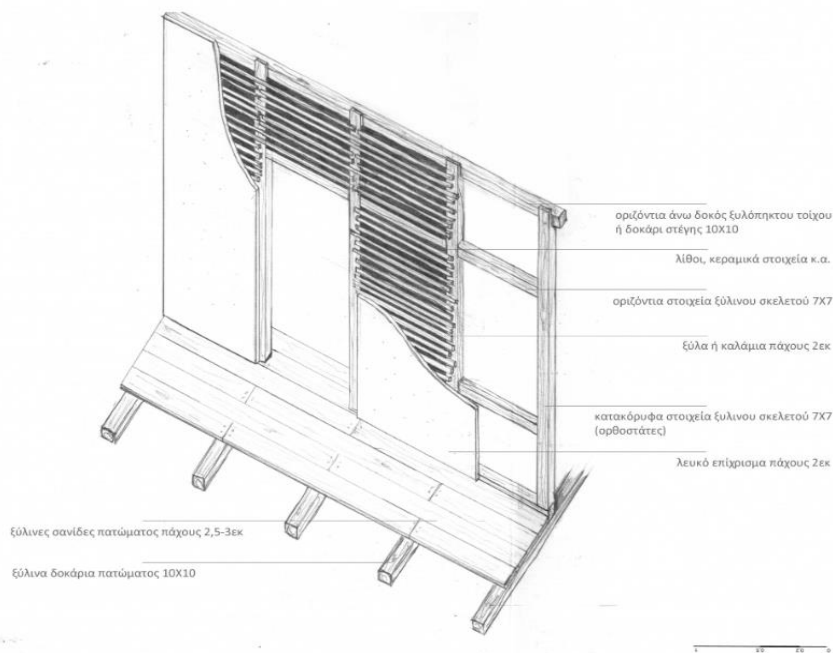
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η εξέλιξη της τοιχοποιίας αποτελεί σημαντικό κεφάλαιο στην ιστορία της αρχιτεκτονικής και των κατασκευών. Από την αρχαιότητα έως τη σύγχρονη εποχή, η τοιχοποιία έχει υιοθετήσει διάφορες μορφές και τεχνικές, αντικατοπτρίζοντας τις ανάγκες, τους πόρους και τις τεχνολογικές δυνατότητες κάθε εποχής.

Ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της τοιχοποιίας από την αρχαιότητα έως τις μέρες μας:

1. Προϊστορική Εποχή - 1500 π.Χ.: Η τοιχοποιία ξεκίνησε με τη χρήση πλεγμάτων από κλαδιά δέντρων και λάσπη για τη συμπλήρωση. Αυτή η μορφή τοιχοποιίας παρέμεινε σε εξελιγμένη μορφή έως και τις αρχές του 20ου αιώνα όπου χρησίμευε για την κατασκευή εσωτερικών τοίχων οι οποίοι είχαν την ονομασία τσατμάδες ή μπαγδατί.



Σχήμα 1. Μπαγδατί



Εικόνα 1. κατασκευή τοιχοποιίας από τσατμά (μπαγδατί).

2. Αρχαιότητα - 1000 π.Χ.: Οι πρώτοι κτιστοί τοίχοι εμφανίζονται κατά τον 1η χιλιετία π.Χ., οι οποίοι ήταν πέτρινοι και χαρακτηρίζονταν από την έλλειψη τεχνικής στην δόμηση και την επεξεργασία της πέτρας. Σε πολιτισμούς όπως η Αίγυπτος και Ελλάδα, ήταν απολύτως ακριβείς και δεν απαιτούσαν την χρήση κάποιου είδους κονιάματος για τους αρμούς.



Εικόνα 2. Ξερολιθικός τοίχος

3. Αρχαιότητα - 500 π.Χ.: Η δυσκολία στην εξόρυξη και επεξεργασία της πέτρας οδήγησε στη δημιουργία των πρώτων πλίνθων από άργιλο.
4. Αρχαιότητα - 400 π.Χ.: Η τυποποίηση των πλίνθων με καλούπια και η επεξεργασία τους με ψήσιμο και χρήση συνδετικών υλικών αυξάνει την ανθεκτικότητά τους. Αυτή η τεχνική εξελίσσεται στη Μεσοποταμία, τη Μικρά Ασία, την Αίγυπτο και την Ελλάδα.
5. Ρωμαϊκή Εποχή: Η τεχνική του ψησίματος της αργίλου εξελίχθηκε περαιτέρω και τελειοποιήθηκε κατά τη Ρωμαϊκή εποχή, χρησιμοποιώντας την για κατασκευές όπως το Κολοσσαίο.



6. Σύγχρονη Εποχή - 1900 και μετά: Η τοιχοποιία σήμερα χαρακτηρίζεται από τη χρήση οπτόπλινθων με συγκεκριμένες ποικίλες διαστάσεις, ανάλογα με τη χρήση και την περιοχή.



Εικόνα 3. Η κατασκευή τούβλων στις αρχές του 20ου αιώνα στην Αίγυπτο, τεχνολογία χιλιάδων ετών ( Stereopticon εικόνα ευγενική προσφορά της Margaret Culbertson)

Αυτή η αναδρομή αποκαλύπτει πώς η τοιχοποιία έχει εξελιχθεί από την αρχαιότητα έως τις μέρες μας, προσαρμόζοντας τις τεχνικές και τα υλικά στις ανάγκες και τις δυνατότητες κάθε εποχής.

## **1.2 ΕΙΔΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ**

Οι τοιχοποιίες είναι ένα σημαντικό στοιχείο κάθε κατασκευής, αφού αναλαμβάνουν το βάρος του κτιρίου και παρέχουν στήριξη και σταθερότητα. Ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται, μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους και τοιχοποιίες από τεχνητούς λίθους.

### **1.2.1 ΛΙΘΟΔΟΜΕΣ (ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ)**

Οι τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους αποτελούν την παλαιότερη μορφή και χρησιμοποιούν λίθους που έχουν εξορυχθεί από φυσικά πετρώματα. Αυτοί οι λίθοι υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία για να λάβουν το επιθυμητό σχήμα και διαστάσεις προτού χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή.

Η τέχνη της λιθοδομής έχει μια μακρά ιστορία και αναπτύχθηκε σε πολλές περιοχές του κόσμου με διάφορες τεχνικές και υλικά. Η αναβίωση του ενδιαφέροντος για την τέχνη αυτή οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της αισθητικής της, της ανάγκης για διατήρηση παλαιών κτιρίων, και της αναζήτησης εναλλακτικών τεχνικών και υλικών στη σύγχρονη οικοδομή.

## Κατηγορίες λιθοδομών από φυσικούς λίθους :

**Οι ξηρολιθοδομές (ή ξερολιθιές):** Είναι η παλαιότερη μορφή λιθοδομής. Αποτελούνται από φυσικούς ακατέργαστους λίθους. Το χαρακτηριστικό της ξηρολιθοδομής, είναι πως η δόμησή της γίνεται χωρίς την χρήση κονιάματος ή λάσπης ως συνδετικό υλικό. Επισημαίνεται ότι οι τοιχοποιίες αυτές δεν μπορούν να αναλάβουν οριζόντιες δυνάμεις. Στις μέρες μας αυτή η μέθοδος δεν εφαρμόζεται και τείνει να εγκαταλειφτεί. Η χρήση της περιορίζεται σε μικρής σημασίας έργα, όπως μικρά βοηθητικά κτίρια, χαμηλοί τοίχοι αντιστήριξης ή και σε χαμηλές διαχωρίστηκες μάντρες.

**Οι αργολιθοδομές:** Είναι ένα είδος λιθοδομής που χρησιμοποιεί ακατέργαστους ή μερικώς κατεργασμένους λίθους πριν την δόμησή τους και γίνεται χρήση του κονιάματος. Η χρήση τους γίνεται σε τοίχους υπογείων, τοίχους αντιστήριξης, αλλά και σε αρκετές περιπτώσεις σε ανωδομές. Το πάχος της αργολιθοδομής είναι από 45 έως 60 εκατοστά.



Εικόνα 4. Κτίριο από αργολιθοδομή.

**Οι ημιλαξευτές λιθοδομές:** Αποτελούνται από δομημένες λίθους οι οποίες είναι μισολαξευμένες, δηλαδή, έχουν υποστεί μεγαλύτερη επεξεργασία από αυτή των αργολιθοδομών και φυσικά περιλαμβάνουν την χρήση κονιάματος. Η χρήση τους είναι μεγαλύτερη από τις άλλες δύο κατηγορίες και εφαρμόζονται σε εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων σε περιπτώσεις όπου μας ενδιαφέρει η εμφάνιση. Τέτοιες περιπτώσεις είναι κτίρια, εκκλησίες, και μνημειακά κτίρια. Η διαδικασία της δόμησης γίνεται και από τις δύο πλευρές από μισολαξευμένες πέτρες και τα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των λίθων, συμπληρώνονται από κονίαμα και από (σόμπολα) μικρούς αργούς λίθους.



Εικόνα 5. Κτίριο με ημιλαξευτή λιθοδομή

**Η λαξευτή λιθοδομή:** Είναι ο αρχαιότερος τρόπος δόμησης της λιθοδομής και με βάση αυτή τη μέθοδο έχουν κατασκευαστεί πολλά και μεγάλα μνημεία ιστορικής σημασίας. Οι λίθοι δόμησης έχουν υποστεί πολύ μεγάλη επεξεργασία με σκοπό να επέλθει το σχήμα που θέλει ο κατασκευαστής ώστε να γίνεται τέλεια εφαρμογή όλων των λίθων μεταξύ τους. Οι λαξευτές λιθοδομές χρησιμοποιούνται πάρα πολύ σε ποικίλα οικοδομικά έργα όπως και σε έργα υποδομής, σε βάθρα γεφυρών, σε αψίδες, σε θόλους και σε τοίχους αντιστήριξης. Στην αρχαιότητα χρησιμοποιούσαν πολύ αυτήν την μέθοδο και δεν εφάρμοζαν καθόλου κονίαμα στις κατασκευές τους. Η αντοχή της κατασκευής βασιζόταν σε μεγάλο βαθμό στην λάξευση των λίθων, ώστε αυτοί να εδράζουν με απόλυτη ακρίβεια, καθώς και το σχήμα τους το οποίο ήταν πολύ μεγάλο. Ακόμα χρησιμοποιούσαν και μερικά μεταλλικά στοιχεία τα οποία είχαν την χρησιμότητα των συνδετήρων ώστε να δίνουν μεγαλύτερη σταθερότητα στους λίθους που τοποθετούνταν. Στην σημερινή εποχή υπάρχει η εφαρμογή κονιάματος, η οποία έχει μικρή επιρροή. Το πάχος που έχουν οι αρμοί είναι 3 έως 6 χιλιοστά.



Εικόνα 6. Κατασκευή με λαξευτή λιθοδομή

**Η πλακοειδής λιθοδομή:** Είναι ένα είδος λιθοδομής κατά την οποία οι δομικές λίθοι έχουν διαφορετικό σχήμα. Οι λίθοι έχουν μικρό ύψος και είναι σχεδόν πλακοειδείς. Κατά την δόμησή τους έχουμε ορατές και τις δύο λίθινες όψεις, ενώ στις γωνία δεν τοποθετούνται αγκωνάρια, αλλά βάζουμε μεγάλες και ογκώδεις πέτρες.



Εικόνα 7. Κατασκευή από πλακοειδής λιθοδομή.

**Κροκαλολιθοδομές:** Αυτές οι τοιχοποιίες κατασκευάζονται με λίθους που έχουν στρογγυλεμένες άκρες και λεία επιφάνεια λόγω τριβής από ρέοντα ύδατα, προσδίδοντας έναν ιδιαίτερο αισθητικό χαρακτήρα. Λόγω του σχήματός τους υπάρχουν μειονεκτήματα. Έχουν μειωμένη αντοχή σε σχέση με τα άλλα είδη δόμησης. Κατά την τοποθέτησή τους δημιουργούνται πολλά κενά τα οποία καλύπτονται με πολλά μικρότερα πετραδάκια. Οι αρμοί τους όμως είναι



ακανόνιστοι και για αυτόν τον λόγο θα πρέπει ανά 1 με 1,5 μέτρο να τοποθετούμε μία εξισωτική στρώση σε ολόκληρο το μήκος και το πάχος τους.

### 1.2.2 ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ ΑΠΟ ΤΕΧΝΗΤΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ

**Οι τοιχοποιίες από τεχνητούς λίθους**, περιλαμβάνουν υλικά όπως το τούβλο, τσιμεντόλιθο, ωμόπλινθους και άλλα υλικά που έχουν παραχθεί από ανθρώπινη επέμβαση. Αυτά τα υλικά είναι συχνά πιο εύκολα στην επεξεργασία και στην τοποθέτηση, και επιτρέπουν πιο γρήγορη και οικονομική κατασκευή των τοιχοποιιών.

**Πλινθοδομές, δόμηση με πλίνθους**, ανεξαρτήτως του είδους τους, χρησιμοποιούν υλικά που μπορούν να είναι βιομηχανικά ή βιοτεχνικά προϊόντα, ανάλογα με τη διαδικασία και την τεχνογνωσία που απαιτούνται για την παραγωγή τους.

Η δόμηση με πλίνθους ανάλογα με τον τρόπο επεξεργασίας του υλικού τους διακρίνονται σε: **ωμοπλινθοδομές και σε οπτοπλινθοδομές.**

**Ωμοπλινθοδομές:** Οι ωμοπλινθοδομές χρησιμοποιούν ωμούς πλίνθους οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν σε περιοχές στις οποίες η πέτρα αποτελούσε σπάνιο υλικό. Επομένως τα υλικά τους μπορεί να θεωρηθούν βιοτεχνικά προϊόντα, καθώς ο ωμόπλινθος μπορεί να εξορυχθεί και να επεξεργαστεί κατά κύριο λόγο στον τόπο του έργου. Τα υλικά με τα οποία δομούνται είναι οι ωμόπλινθοι ή πλιθιές, δηλ. χειροποίητα τούβλα χωρίς σταθερές διαστάσεις που συνήθως όμως κυμαίνονται μεταξύ ενός μέγιστου 40x20x20 εκατ. και ενός ελάχιστου 20x10x16 εκατ. Οι ωμοπλινθοδομές παρουσιάζουν μικρή αντοχή σε θλίψη αλλά αρκετά καλές θερμομονωτικές ιδιότητες. Σήμερα η χρήση τους είναι πολύ σπάνια. Παλιές ωμοπλινθοδομές που δομήθηκαν με επιμέλεια και με χρήση κονιάματος, έχουν αντέξει για χιλιάδες χρόνια. Η δόμησή τους γίνεται είτε κατευθείαν σε συμπαγές έδαφος είτε σε βάση από φυσικούς λίθους ή τέλος σε μικρό σκάμμα θεμελίωσης.



Εικόνα 8. Κατασκευή από ωμόπλινθο.



Εικόνα 9. Τοιχοποιία από ωμόπλινθο διαβρωμένη από τη βροχή.

**Οπτοπλινθοδομές** ονομάζονται οι τοιχοποιίες που κατασκευάζονται από οπτόπλινθους, τα γνωστά τούβλα. Οι οπτοπλινθοδομές μπορεί να είναι φέρουσες ή φερόμενες (τοιχοί πληρώσεως). Οι φέρουσες γίνονται υποχρεωτικά από μπατικούς ή υπερμπατικούς τοίχους ενώ από δρομικούς τοίχους γίνονται μόνον φερόμενες τοιχοποιίες. Οι οπτόπλινθοι, είναι τεχνητοί λίθοι από πηλό που έχουν υποστεί μηχανική, θερμική και χημική επεξεργασία. Η διαδικασία παραγωγής των οπτοπλίνθων αφορά την επιλογή, εξόρυξη και μηχανική επεξεργασία της αργιλόμαζας, την σχηματοποίηση και την ξήρανση των πλίνθων και τέλος, το ψήσιμο τους σε 900 – 1000°C. Η διαδικασία της επεξεργασίας του πηλού και του ψησίματος συνήθως λαμβάνει χώρα σε ειδικές μονάδες παραγωγής εκτός του τόπου του έργου.



Εικόνα 10. Κατασκευή με οπτοπλινθοδομή.

### **Τσιμεντολιθοδομές**

Οι τσιμεντολιθοδομές είναι ένα δομικό στοιχείο το οποίο είχε ευρεία χρήση πριν μερικά χρόνια στην Ελλάδα. Ο λόγος για τον οποίο τις χρησιμοποιούσαμε τόσο πολύ είναι διότι σε σχέση με τις οπτοπλινθοδομές παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα. Το βασικό υλικό κατασκευής τους είναι το τσιμεντοκονίαμα για την παρασκευή του οποίου χρησιμοποιείται τσιμέντο, αδρανή υλικά, καθώς και άμμο, η

οποία έχει υποστεί πολύ καλή κοκκομετρική ανάλυση. Το σχήμα τους είναι ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο. Είναι διάτρητες έχοντας μεγάλες ορθογώνιες οπές ή και διαφορετικού σχήματος. Οι μεγάλες αυτές οπές εκτός από το ότι βοηθούν στην δόμηση, κάνουν τους τσιμεντόλιθους πιο ελαφριούς παρά τις μεγάλες διαστάσεις τους. Χρησιμοποιούνται ειδικά μεταλλικά καλούπια για να δώσουμε το κατάλληλο σχήμα και κατά το γέμισμά τους θα πρέπει να τους δονήσουμε, για να βγει ο αέρας από το μίγμα. Στους τσιμεντόλιθους δημιουργούμε κατάλληλες οπές για να τοποθετήσουμε κατακόρυφο σπλισμό, καθώς και να γεμίσουμε τις οπές με κονίαμα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να συνθέσουμε μία κατασκευή η οποία θα έχει καλύτερη αντοχή. Οι τοιχοποιίες οι οποίες κατασκευάζονται με αυτόν τον τρόπο μπορούν να γίνουν και φέρουσες για χαμηλές κατασκευές.



Εικόνα 11. Κατασκευές από τσιμεντολιθοδομές.

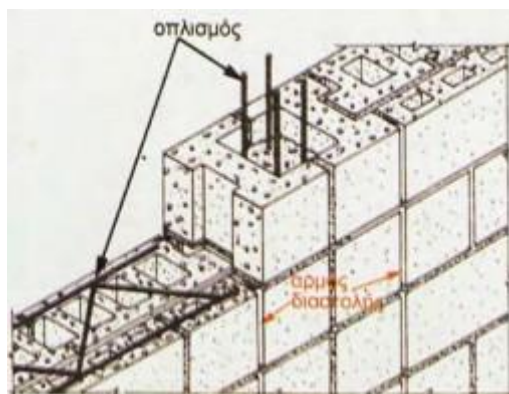
#### **Πλεονεκτήματα τσιμεντόλιθων**

1. Η κατασκευή τους είναι πιο γρήγορη από αυτήν των οπτοπλινθοδομών, διότι τα υλικά κατασκευής τους είναι κοινά και δεν χρειάζονται ψήσιμο.
2. Γρήγορο κτίσιμο μεγάλων σε έκταση τοίχους, καθώς οι τσιμεντολιθοδομές έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις από αυτές των οπτόπλινθων (19x19x39 εκ). Πλεονέκτημα και στο μήκος του τοίχου, αλλά και ως προς το πάχος του, καθώς ο κάθε τσιμεντόλιθος έχει διάσταση 19 εκατοστά, όσο δηλαδή το πάχος ενός μπατικού τοίχου.

#### **Μειονεκτήματα των τσιμεντόλιθων**

1. Δεν μπορούν να κατασκευαστούν με ευκολία τοίχοι με περίεργα σχήματα και σπασίματα.

2. Οι τσιμεντόλιθοι είναι πιο δύσκολο να σπάσουν, να τεμαχιστούν, να δημιουργηθούν σε αυτούς σπές σε σύγκριση με τους σπτόπλινθους, με σκοπό να γίνει η εγκατάσταση των ηλεκτρολογικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων.
3. Δεν έχουν μεγάλη ηχομόνωση και θερμομόνωση και έχουν υψηλή υγραπορροφητικότητα.



Σχήμα 2. Ενίσχυση τσιμεντολιθοδομής.

### Τοίχος από αφρώδη τούβλα

Τα αφρώδη τούβλα είναι ένα σύγχρονο δομικό υλικό. Το υλικό το οποίο χρησιμοποιούμε για την κατασκευή του, είναι το αφρώδες μπετόν. Το αφρώδες μπετόν είναι ένα υλικό το οποίο παράγεται όταν προβούμε σε υδροθερμική κατεργασία και αυτό αποκτά πόρους και η υφή του γίνεται πιο αφρώδης. Τα υλικά που χρησιμοποιούμε είναι τσιμέντο, πυριτικά συστατικά, νερό και ένα διογκωτικό μέσο όπως ένα διάλυμα μίας αφρογόνου ουσίας όπου ο σκοπός της είναι να δημιουργήσει φυσαλίδες οι οποίες παραμένουν εγκλωβισμένες στο μίγμα. Μία από τις βασικότερες ιδιότητές τους είναι η θερμομονωτική ιδιότητά τους. Κατά την διαδικασία δόμησής τους χρησιμοποιούμε ένα κονίαμα το οποίο αναμιγνύουμε με μία ειδική κόλλα και κάθε 2,5 με 4 μέτρα κατασκευάζουμε σενάζ. Μόλις τελειώσουμε με αυτό το βήμα τότε βάζουμε μία λεπτή στρώση επιχρίσματος η οποία δεν είναι υποχρεωτική.





Εικόνα 12. Τούβλα και τοιχοποιία από αφρομετόν.

### **Τοίχος από τούβλα με γέμιση μονωτικού υλικού**

Είναι ειδικά τούβλα τα οποία κατασκευάζονται όπως τα κοινά διάτρητα τούβλα. Αυτό το οποίο αλλάζει είναι το σχήμα τους. Η σχεδιάσή τους είναι μεγαλύτερη από τα κοινά τούβλα ως προς τον όγκο τους, αλλά και οι οπές τους είναι πολύ μεγαλύτερες. Αυτό γίνεται διότι οι οπές γεμίζουν με θερμομονωτικό υλικό, συνήθως πολυουρεθάνη για την ενίσχυση της θερμικής αντίστασης της τοιχοποιίας. Οι διαστάσεις του τοίχου με αυτά τα τούβλα, είναι περίπου ίδια με την μπατική τοιχοποιία. Αυτό το οποίο είναι πολύ σημαντικό είναι η σωστή τοποθέτηση του μονωτικού υλικού, ώστε να μπορέσουμε να καλύψουμε τα κενά στο εσωτερικό των τούβλων.



Εικόνα 13. Θερμομονωτικά τούβλα.

### 1.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΟΜΗΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Οι τοιχοποιίες, ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, διακρίνονται στις κάτωθι κατηγορίες:

- Λιθοδομές
- Πλινθοδομές, δόμηση με πλίνθους
- Τοιχοποιίες από αφρώδες μπετόν
- Τοιχοποιίες από γέμιση μονωτικού υλικού
- Τοιχοποιίες από διακοσμητικά τούβλα
- Τοιχοποιίες από Πυρότουβλα
- Τοιχοποιίες από τσιμεντόλιθους
- Τοιχοποιίες από υαλότουβλα (υαλόπλινθους)
- Τοιχοποιίες από ελαφρά χωρίσματα

#### **Κανόνες δόμησης.**

Οι λιθοδομές δομούνται πάντα αρχίζοντας από τα βασικά σημεία (άκρα, γωνίες, παραστάδες) και συνεχίζοντας με τον υπόλοιπο όγκο. Κύριο χαρακτηριστικό των λιθοδομών είναι η μεγάλη αντοχή τους σε θλίψη, ενώ οι αναλογίες του κάθε λίθου είθισται να τείνουν στον κύβο.

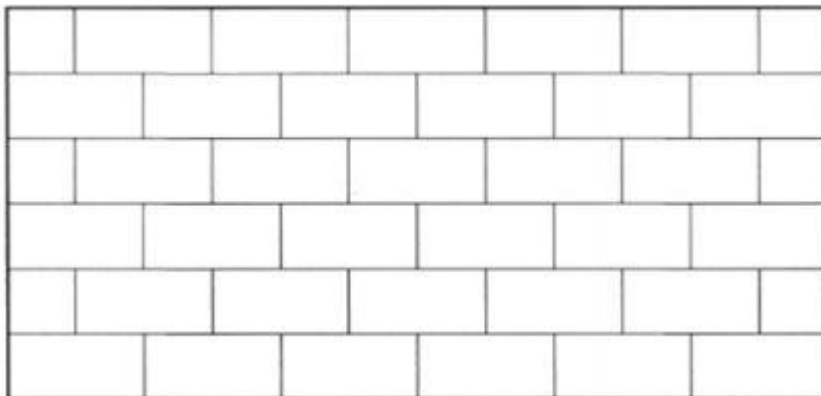
Παράλληλα φροντίζεται κάθε λίθος να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής με τους γειτονικούς του, ενώ σαν συνδετικό υλικό χρησιμοποιείται το κονίαμα.

Στις τοιχοποιίες που αποτελούνται από λίθους μη κανονικού σχήματος, το κονίαμα αποτελεί το βασικό στοιχείο συναρμογής, ενώ η τοποθέτηση των λίθων γίνεται κατά την αντίθετη διεύθυνση από αυτή που δέχεται, η τοιχοποιία, δυνάμεις. Τέλος, πολύ σημαντικό στοιχείο κάθε τοιχοποιίας είναι, οι επιφάνειες επαφής των λίθων να διακόπτονται εναλλάξ, έτσι ώστε να μη δημιουργούνται συνεχείς κατακόρυφοι αρμοί.

Το βάρος των λίθων δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 50 kg, για να είναι εύκολα διαχειρίσιμοι από τους μάστορες, ενώ και οι διαστάσεις τους θα πρέπει να είναι αντίστοιχες.

#### 1.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΟΜΗΣΗΣ ΛΙΘΟΔΟΜΩΝ

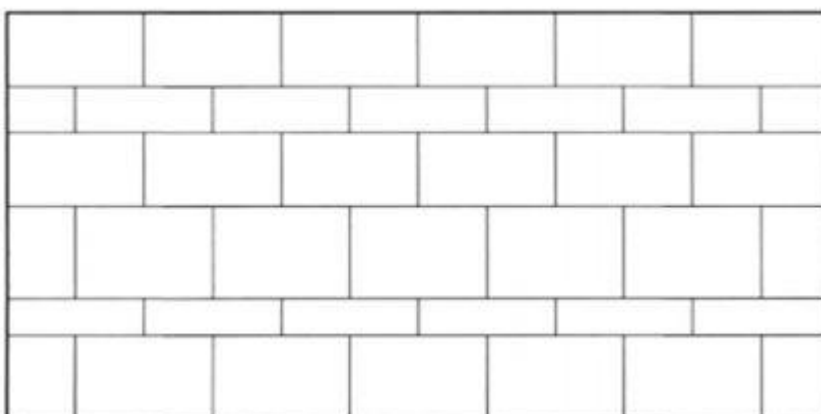
- Το ισόδομο σύστημα, στο οποίο οι πέτρες τοποθετούνται κατά στρώσεις, ενώ το σχήμα τους είναι κανονικό ορθογώνιο παραλληλόγραμμο.



Σχήμα 3. Ισόδομο σύστημα.

<https://kastrologos.blogspot.com/2015/12/post.html>

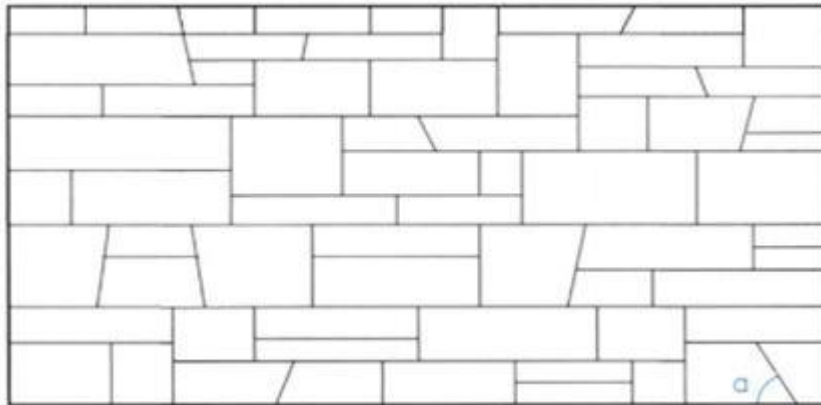
- Το ψευδοϊσόδομο σύστημα, στο οποίο οι πέτρες τοποθετούνται κατά στρώσεις και κάθε στρώση έχει διαφορετικό ύψος από τις άλλες. Οι πέτρες εξωτερικά έχουν σχήμα ορθογωνίου παραλληλογράμμου.



Σχήμα 4. Ψευδοϊσόδομο σύστημα

<https://kastrologos.blogspot.com/2015/12/post.html>

- Το ανισόδομο σύστημα, στο οποίο εκτός από τους οριζόντιους αρμούς έδρασης και τους κατακόρυφους αρμούς, υπάρχουν και λοξοί με μέγιστη απόκλιση  $60^\circ$ .



Σχήμα 5. Ανισόδομο σύστημα.

Πηγή: <https://kastrologos.blogspot.com/2015/12/post.html>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΪΑΣ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΧΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

Η μηχανική συμπεριφορά της τοιχοποιίας χαρακτηρίζεται από τα εξής χαρακτηριστικά:

**Υψηλή θλιπτική αντοχή:** Οι τοίχοι έχουν συνήθως υψηλή αντοχή σε συμπίεση, δηλαδή μπορούν να αντέξουν σημαντικά φορτία που ασκούνται κατά μήκος τους.

**Χαμηλή εφελκυστική αντοχή:** Η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας είναι συνήθως χαμηλή σε σύγκριση με τη θλιπτική αντοχή. Αυτό σημαίνει ότι οι τοίχοι είναι λιγότερο ανθεκτικοί σε δυνάμεις που τους τραβούν προς τα έξω.

**Αντοχή σε διάτμηση:** Παρά τη χαμηλή εφελκυστική αντοχή, η τοιχοποιία έχει συνήθως ικανοποιητική αντοχή σε διάτμηση, δηλαδή μπορεί να αντισταθεί σε δυνάμεις που εφαρμόζονται παράλληλα προς την επιφάνειά της.

**Ανισότροπη συμπεριφορά:** Η τοιχοποιία εμφανίζει συνήθως ανισότροπη συμπεριφορά, δηλαδή η αντίστασή της σε διάφορες κατευθύνσεις μπορεί να είναι διαφορετική. Για παράδειγμα, η αντίσταση σε συμπίεση μπορεί να είναι διαφορετική από την αντίσταση σε τράβηγμα ή διάτμηση.

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 αποτελούν τα τρωτά σημεία της τοιχοποιίας.

### 2.2 ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας είναι κάτι πολύ σημαντικό καθώς αυτή υποβάλλεται μόνιμα σε θλίψη. Για τον λόγο αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα θλιβόμενο δομικό στοιχείο. Υπάρχουν κάποιες παράμετροι οι οποίες καθορίζουν την θλιπτική αντοχή. Αυτές είναι η αντοχή του λιθοσώματος, το ύψος και ο τύπος αυτών των λιθοσωμάτων καθώς και το πάχος που θα έχουν οι αρμοί. Σε μία τοιχοποιία υπάρχουν αρμοί που είναι κάθετοι και οριζόντιοι. Οι κάθετοι είναι ως προς το ύψος της τοιχοποιίας και οι οριζόντιοι ως προς το μήκος

της. Η θλιπτική δύναμη ασκείται κάθετα στο ύψος της τοιχοποιίας.

Το πάχος των αρμών ενδιαφέρει κυρίως για τους αρμούς οι οποίοι είναι οριζόντιοι, διότι σε συνδυασμό και με την γωνία που θα ασκηθεί η θλιπτική δύναμη σε αυτούς, μας καθορίζουν την θλιπτική αντοχή καθώς και τον τρόπο με τον οποίο θα αστοχήσει ο τοίχος.

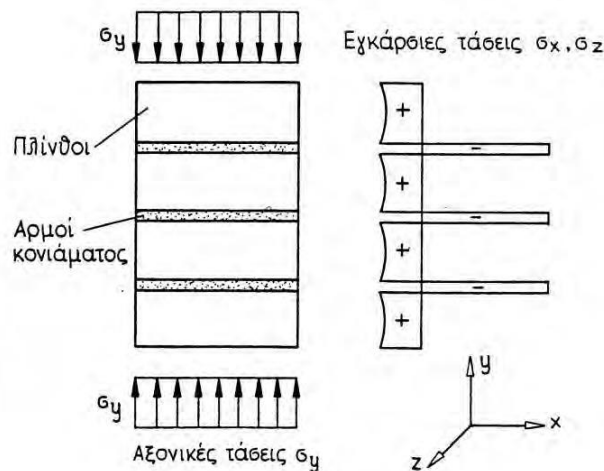
Η υψηλή θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μηχανικά της χαρακτηριστικά καθόρισε και τη χρήση της ως κυρίως θλιβόμενου φέροντος δομικού στοιχείου. Τόσο η αντοχή όσο και ο τύπος αστοχίας επηρεάζονται έντονα από τη γωνία της θλιπτικής δύναμης ως προς τη διεύθυνση των οριζόντιων αρμών (ανισοτροπία). Η θλιπτική αντοχή ορίζεται ως δύναμη κάθετα στους οριζόντιους αρμούς. 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.

Οι αρμοί οι οποίοι είναι κάθετοι, δηλαδή προς την κατεύθυνση που ασκείται η θλιπτική δύναμη, δίνουν διαφορετικό τρόπο αστοχίας, σε σχέση με τους οριζόντιους αρμούς. Ο τρόπος αστοχίας είναι με εγκάρσιες ρωγμές στις οπτόπλινθους, εξαιτίας των εφελκυστικών τάσεων που αναπτύσσονται στις πλίνθους. Το κονίαμα των κατακόρυφων αρμών σε συνδυασμό με τις οπτόπλινθους, παραμορφώνεται εγκάρσια και είναι η αιτία που δημιουργούνται οι τάσεις αυτές στις πλίνθους. Ακόμα μπορεί να προκληθεί και εγκάρσια περίσφιξη στο κονίαμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η θλιπτική φόρτιση που ασκείται στην τοιχοποιία, να είναι μονοαξονική και να μετατρέπεται σε τριαξονική στο κονίαμα και στις οπτόπλινθους.

Οι περιπτώσεις οι οποίες αναλύθηκαν αφορούν την τοιχοποιία στην τελική της μορφή, όπου οι οπτόπλινθοι και το κονίαμα λειτουργούν συνδυαστικά. Δηλαδή η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας αφορά τον συνδυασμό αυτών των δύο.

Παρατηρείται ότι η αντοχή αυτή της τοιχοποιίας είναι μεγαλύτερη από την θλιπτική αντοχή του κονιάματος σαν μεμονωμένο στοιχείο, αλλά μικρότερη από αυτή των οπτόπλινθων. Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας για τους συνήθεις συνδυασμούς πλίνθων και κονιάματος είναι μικρότερη από τη θλιπτική αντοχή των πλίνθων,  $f_{bc}$ , αλλά υπερβαίνει την αντοχή του κονιάματος  $f_{mc}$ :

$$f_{bc} > f_{wc} > f_{mc}$$



Σχήμα 6. Κατανομή τάσεων σε τοιχοποιίας υπό θλίψη.

Με βάση τη θεωρία ελαστικότητας ισότροπων υλικών, ο Francis υπολόγισε τις εγκάρσιες τάσεις  $\sigma_x, \sigma_z$  πλίνθων και κονιάματος αρμών εξισώνοντας τις αντίστοιχες εγκάρσιες παραμορφώσεις των δύο υλικών. Όπως φαίνονται στο σχήμα 6. Στη συνέχεια, θεωρώντας γραμμικό κριτήριο αστοχίας πλίνθου υπό ετερόσημη καταπόνηση κατέληξε στην ακόλουθη έκφραση για τη θλιπτική αντοχή πρίσματος τοιχοποιίας:

$$f_{wc} = f_{bc} [1 + f_{bc}/f_{bt} \cdot (\beta \cdot V_m - V_b) / ((1 - V_b) + a \cdot \beta \cdot (1 - V_m))]^{-1}$$

όπου:

$$\alpha = (t_b : \text{ύψος πλίνθου}) / (t_m : \text{πάχος αρμού})$$

$$\beta = E_b / E_m \text{ και}$$

$\nu_b, \nu_m$  : οι λόγοι Poisson πλίνθου και κονιάματος

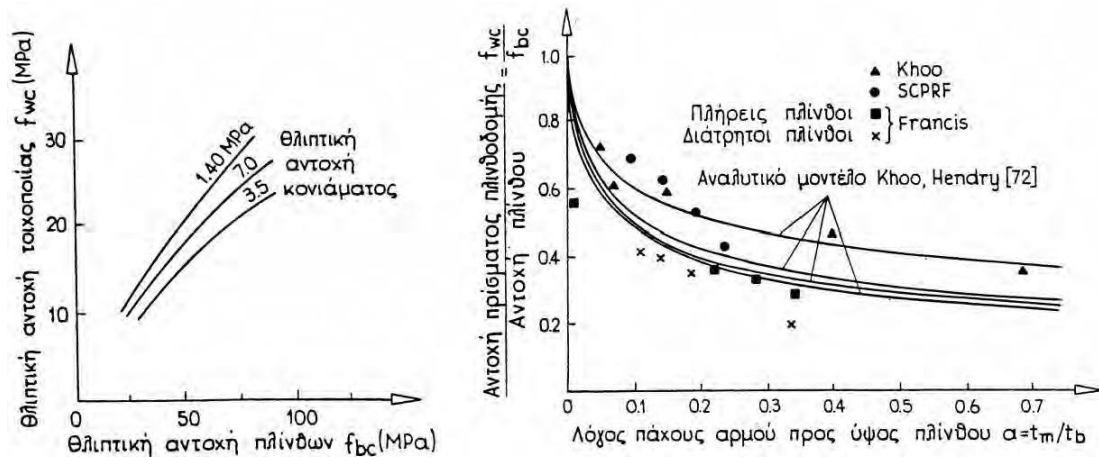
Το θεωρητικό μοντέλο του Francis έχει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- 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  $E_b, \nu_b, E_m, \nu_m$

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας είναι οι εξής :

- 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 ( $E_b, \nu_b, E_m, \nu_m$ ).
- ε. Ποιότητα δόμησης.





Σχήμα 7. Επιρροή μηχανικών χαρακτηριστικών υλικών και γεωμετρικών.

χαρακτηριστικών δόμησης στη θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας.

Συνήθεις μέθοδοι προσδιορισμού ή εκτίμησης της θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας:

- Πειραματικά στο εργαστήριο (δύσκολη για υφιστάμενη τοιχοποιία).
- 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.
- 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). Από επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων προτείνονται στη βιβλιογραφία διάφορες εμπειρικές εκφράσεις για τη θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας:

$$f_{wc} = \sqrt{f_{bc}}$$

$$f_{wc} = 0.7\sqrt{f_{bc}} \sqrt[3]{f_{mc}}$$

$$f_{wc} = f_{bc} \left[ \frac{(4 + 0.1f_{mc})}{12 + 5\beta} \right] - 2$$

$$f_{wc} = (1 - 0.8\sqrt[3]{\alpha})[f_{mc} + 0.4(f_{bc} - f_{mc})]$$

Όπου  $\alpha = t_m/t_b$  και  $\beta = \text{ύψος} / \text{πλάτος τοίχου}$ .

Σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 6 υπάρχουν δύο εξισώσεις για τον υπολογισμό της

θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας. Η μία είναι για κονίαμα γενικής χρήσης και η άλλη για κονίαμα λεπτής στρώσης.

Για γενικής χρήσης κονίαμα:  $f_{wc}, K = Kfb^{0.7}fm^{0.3}$

Για λεπτής στρώσης κονίαμα:  $f_{wc}, K = Kfb^{0.85}$

Όπου:

$f_b$  : Θλιπτική αντοχή των οπτόπλινθων.

$f_m$  : Θλιπτική αντοχή του κονιάματος.

$\alpha$ : Παίρνει τιμές 0,7 για το κονίαμα γενικής χρήσης και 0,85 για το κονίαμα λεπτής στρώσης.

$b$ : 0,3

$K$  : Είναι μία σταθερά η οποία εξαρτάται από τον τύπο του λιθοσώματος.

Υλικό λιθοσώματος		Κονίαμα γενικής εφαρμογής	Κονίαμα λεπτής στρώσεως (N/mm <sup>2</sup> ) (οριζόντιος αρμός ≤3mm)	Ελαφροκονίαμα με πυκνότητα	
				600≤ρ≤700 Kg/m <sup>3</sup>	700≤ρ≤1500 Kg/m <sup>3</sup>
Άργιλος	Ομάδα 1	0,50	0,75	0,30	0,40
	Ομάδα 2	0,45	0,55	0,30	0,40
	Ομάδα 3	0,40	0,45	0,20	0,25
	Ομάδα 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Πυριτικό Ασβέστιο	Ομάδα 1	0,50	0,80	‡	‡
	Ομάδα 2	0,45	0,55	‡	‡
Σκυρόδεμα με αδρανή	Ομάδα 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Ομάδα 2	0,45	0,80	0,45	0,45
	Ομάδα 3	0,40	0,60	‡	‡
	Ομάδα 4	0,35	‡	‡	‡
Αυτόκλειστο κυψελωτό σκυρόδεμα	Ομάδα 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Τεχνητοί λίθοι	Ομάδα 1	0,45	0,75	‡	‡
Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Ομάδα 1	0,45	‡	‡	‡

Πίνακας 1. Τιμές του K Ευρωκώδικας 6.

### 2.3 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ (f<sub>vk</sub>)

Η διατμητική αντοχή δεν υφίσταται σαν αντοχή ως προς το σύνολο της τοιχοποιίας σαν ένα δομικό στοιχείο. Αυτήν εξαρτάται από την διατμητική αντοχή που αναπτύσσεται στα δομικά υλικά που αποτελούν την τοιχοποιία. Δηλαδή στις τάσεις ανάμεσα στις οπτόπλινθους, σε αυτήν που αναπτύσσεται στο κονίαμα, καθώς και από την θλιπτική τάση σχεδιασμού, οι οποίες μπορεί να οφείλονται ακόμα στο ίδιο βάρος της τοιχοποιίας.

Ο ευρωκώδικας 6 δίνει την εξίσωση της διατμητικής αντοχή για τοιχοποιίες με πλήρους γεμισμένους αρμούς με κονίαμα.

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4 \cdot \sigma_d \leq 0.0065 \cdot f_b$$

Όπου:

f<sub>vk0</sub>: Είναι η διατμητική αντοχή υπό μηδενική θλιπτική τάση.

f<sub>b</sub>: Είναι η ανοιγμένη θλιπτική αντοχή των οπτόπλινθων, για την κατακόρυφη διεύθυνση του φορτίου στους αρμούς.

sd: Είναι η κατακόρυφη θλιπτική τάση σχεδιασμού.

Υλικό λιθο- σώματος	$f_{\text{κ0}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$		
	Κονίαμα γενικής εφαρμογής, δεδομένης κατηγορίας αντοχής	Κονίαμα λεπτής στρώσεως (οριζόντιος αρμός $\leq 3\text{mm}$ )	Ελαφροκονίαμα
Άργιλος	M10-M20	0,30	0,30
	M2,5-M9	0,20	
	M1-M2	0,10	
Πυριτικό ασβέστιο	M10-M20	0,20	0,40
	M2,5-M9	0,15	
	M1-M2	0,10	
Σκυρόδεμα με αδρανή	M10-M20	0,20	0,30
Αυτόκλειστο κυψελωτό σκυρόδεμα	M2,5-M9	0,15	
Τεχνητοί λίθοι Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	M1-M2	0,10	

Πίνακας 2. Οι τιμές του  $f_{\text{κ0}}$  Ευρωκώδικας 6

Αρκετά σημαντική για τον σχεδιασμό της τοιχοποιίας είναι η περιβάλλουσα αστοχία της τοιχοποιίας ( $\tau$ ,  $\sigma$ ), Αυτός ο παράγοντας μας βοηθάει να υπολογιστεί η διατμητική αντοχή. Για τον λόγο αυτό έχει δημιουργηθεί η καμπύλη αστοχίας της τοιχοποιίας. Αυτήν η καμπύλη δείχνει τις τιμές που θα έχει η αντοχή σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις αστοχίας.

**Περιοχή 1 Χαμηλές τιμές  $\sigma$ :** Στην πρώτη περίπτωση η αστοχία που θα γίνει θα αφορά τους αρμούς, οποίοι θα αστοχήσουν με διαφορετικό τρόπο. Οι αστοχίες θα είναι είτε λόγω κλιμακωτής αποκόλλησης είτε λόγω ολίσθησης οριζόντιων αρμών η οποία αποτελεί και μία συνηθισμένη μορφή αστοχίας της τοιχοποιίας, ή λόγω αστοχίας τύπου τριβής – ολίσθησης των οριζόντιων αρμών. Αποδεκτό γενικά το γραμμικό κριτήριο αστοχίας Coulomb:

$$\tau_u = f_{\text{ws}} = f_{\text{wso}} + \mu \sigma \quad (\text{όπου η θλιπτική } \sigma \text{ θεωρείται θετική})$$

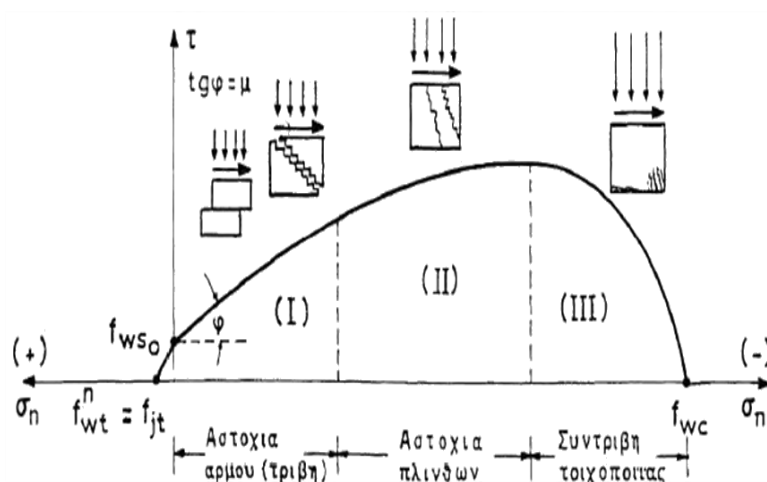
**Περιοχή 2 Μέσες τιμές  $\sigma$ :** Στην δεύτερη περίπτωση επέρχεται αστοχία εξαιτίας της λοξής ρηγμάτωσης των οπτόπλινθων. Συνήθως εμφανίζεται σε πεσσούς μεταξύ ανοιγμάτων.

**Περιοχή 3 Υψηλές τιμές  $\sigma$ :** Στην τρίτη περίπτωση έχουμε δύο τύπου αστοχίες. Η

πρώτη θα είναι καμπτικού και η δεύτερη θα είναι διατμητικού τύπου αστοχίας. Ο γενικός όρος αυτών των δύο μορφών αστοχίας είναι η θλιβόμενη διαγώνιος. Στην τρίτη περίπτωση έχουμε και συντριβή της τοιχοποιίας, διότι μηδενίζεται η διατμητική αντοχή.

**Περιοχή εφελκυστικής ορθής τάσης ση:** Η περιβάλλουσα αστοχία είναι σχεδόν ευθεία γραμμή με έντονη κλίση καθώς συνήθως ισχύει  $f_{ws0} > f_{jt}$ .

Αυτό το οποίο παρατηρείται είναι πως κατά τη μετάβαση από την περιοχή 1 στην περιοχή 3 η τιμή της ορθής τάσης συνεχώς αυξάνεται. Ενώ αντίθετα η διατμητική τάση αυξάνεται μέχρι και την περιοχή 2, και μετά μόλις μπει στην περιοχή 3 μειώνεται.

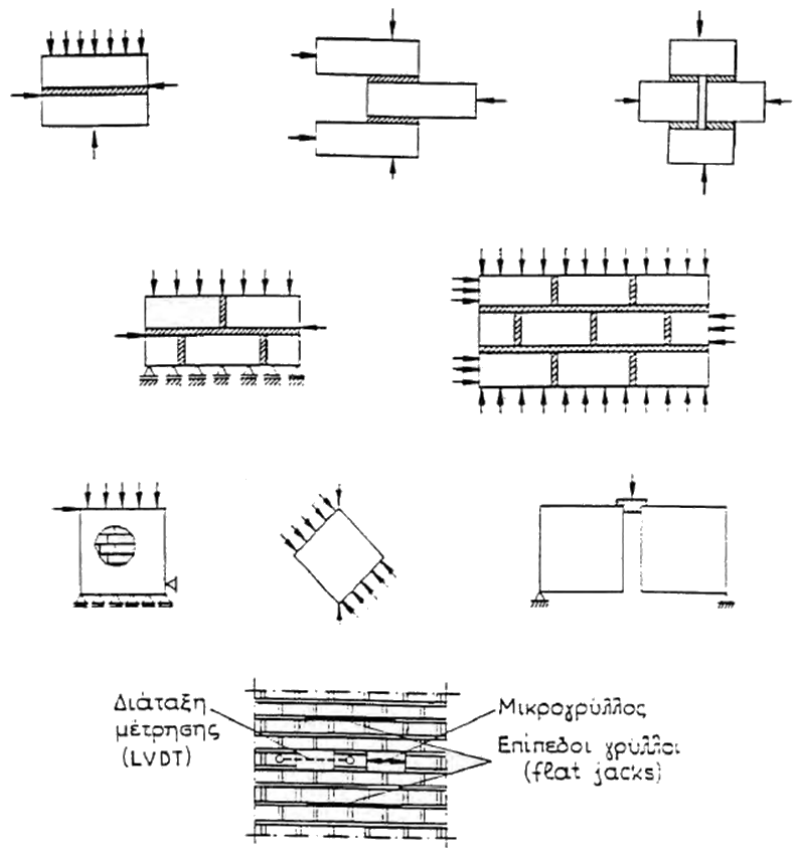


Διάγραμμα 1: Καμπύλη αστοχίας της τοιχοποιίας

Η μορφή της οριακής καμπύλης ( $\tau$ ,  $\sigma_n$ ) επηρεάζεται έντονα από τα μηχανικά χαρακτηριστικά πλινθών, κονιάματος και αρμού, αλλά και από το σχήμα των πλινθών. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται τιμές του συντελεστή τριβής ( $\mu$ ) για το αρχικό, σχεδόν ευθύγραμμο, τμήμα της καμπύλης ( $\tau$ ,  $\sigma_n$ ) 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.

Οι συνηθέστερες πειραματικές διατάξεις προσδιορισμού της οριακής καμπύλης ( $\tau$ ,  $\sigma_n$ ) τόσο στο εργαστήριο όσο και επί τόπου φαίνονται στο Διάγραμμα 1. Στη βιβλιογραφία προτείνονται διάφορες εμπειρικές εκφράσεις για τον αρχικό

ευθύγραμμο κλάδο της καμπύλης αστοχίας ( $\tau$ ,  $\sigma$ ), οι οποίες είναι παραλλαγές της εξίσωσης και προκύπτουν από επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων.



Σχήμα 8. Μορφές δοκιμών και πειραματικές διατάξεις προσδιορισμού της οριακής καμπύλης ( $\tau$ ,  $\sigma$ ) αρμού και τοιχοποιίας.

## 2.4 ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ (fwt)

Το πρώτο χαρακτηριστικό της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας είναι πως οι τιμές της, είναι χαμηλές σε σχέση με αυτές τις θλιπτικής. Φυσικά υπάρχουν κάποιοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την αντοχή και είναι:

- Η εφελκυστική αντοχή την οποία έχουν το κονίαμα και οι οπτόπλινθοι.
- Η συνάφεια η οποία υπάρχει ανάμεσα στο κονίαμα και στους οπτόπλινθους.
- Η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας  $f_{vk}$
- Το πάχος που θα έχουν οι αρμοί, καθώς και τον τύπο και το ύψος των οπτόπλινθων (Τάσιος 1992 – Βέρρας 2004).

Η εφελκυστική αντοχή μπορεί να υπολογιστεί με διαφορετικό τρόπο, καθώς σημαντικό ρόλο παίζει η διεύθυνση επιβολής των εφελκυστικών τάσεων. Η πρώτη περίπτωση είναι η οριζόντια διεύθυνση, η δεύτερη είναι να είναι κάθετη και η τρίτη να ασκείται υπό μία τυχαία γωνία.

### Οριζόντια διεύθυνση ( $\theta=0^\circ$ )

Η πρώτη περίπτωση όταν έχουμε οριζόντιο εφελκυσμό, είναι η ρωγμή η οποία δημιουργείται να διαπερνά μόνο τους αρμούς και όχι τις οπτόπλινθους. Δηλαδή να ακολουθεί την διεύθυνση των αρμών και να μην υπάρχει θραύση τούβλου. Σε αυτήν την περίπτωση η εξίσωση για την αντοχή της τοιχοποιίας είναι:

$$f_{0wt} = 1/\gamma_{Rd} * [\lambda * f_{mt} * (2 * f_b + t_m) + f_{wn} * l_b] / (2 * t_b + t_m) \leq 2 * \lambda * f_m$$

Η δεύτερη περίπτωση είναι η ρωγμή να μην ακολουθεί τους αρμούς, αλλά να διαπερνά τις οπτόπλινθους.

$$f_{0wt} = 1/\gamma_{Rd} * [\lambda * f_{mt} * (f_b + 2 * t_m) + f_{wn} * l_b] / (2 * t_b + 2 * t_m) \leq 2 * \lambda * f_m$$

Όπου:

$f_{0wt}$ : Η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας.

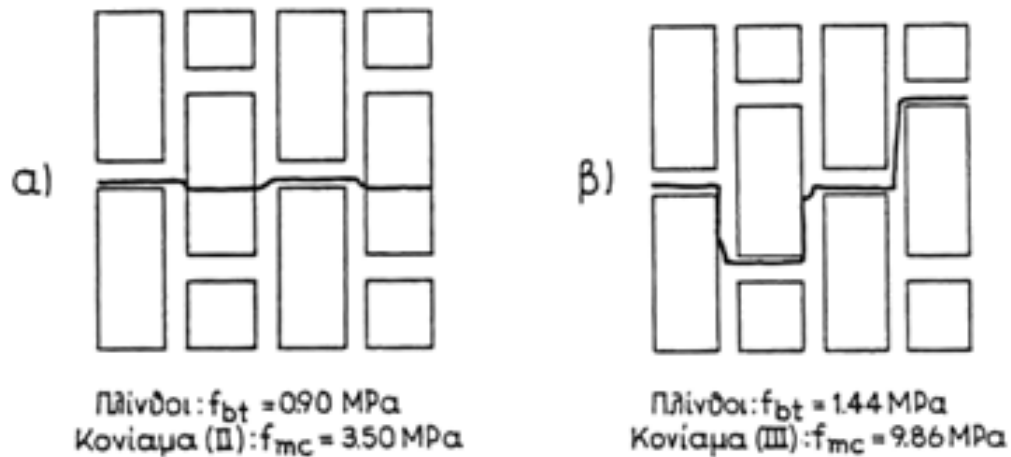
$1/\gamma_{Rd} \approx 0,8$ : Είναι ένας συντελεστής μέσω του οποίου λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες για την εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής του κονιάματος.

$\lambda = 0,7 - 0,9$ : Οι τιμές αυτού του συντελεστή εξαρτώνται από την συντήρηση που θα κάνουμε στην τοιχοποιία.

$f_b$ : Εφελκυστική αντοχή των οπτόπλινθων.

$f_{mt}$ : Εφελκυστική αντοχή του κονιάματος η οποία υπολογίζεται από:

$$f_{mt} = \frac{1}{4} * f_{mc} ^{0.5}$$



Σχήμα 9. Μορφές αστοχίας της τοιχοποιίας στην οριζόντια διεύθυνση (α) Ασθενείς πλίνθοι, (β) Ισχυρές πλίνθοι

### Κατακόρυφη διεύθυνση ( $\theta=90^\circ$ )

Όταν έχουμε κατακόρυφο εφελκυσμό, αυτό σημαίνει πως αυτός ασκείται κάθετα στους οριζόντιους αρμούς. Η αντοχή δίνεται από την εξίσωση:

$$f_{90wt} = \lambda * f_{mt}$$

Όπου:

$\lambda = 0,7 - 0,9$ : Οι τιμές αυτού του συντελεστή εξαρτώνται από την συντήρηση που θα κάνουμε στην τοιχοποιία.

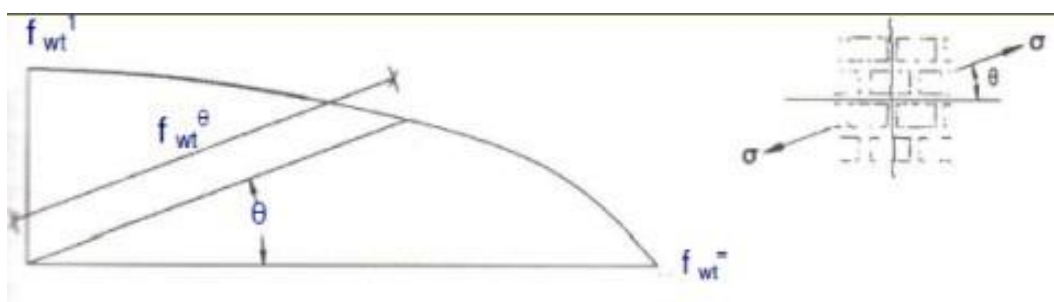
Η εξίσωση στην κατακόρυφη διεύθυνση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την συνάφεια που υπάρχει μεταξύ του κονιάματος και των οπτόπλινθων, καθώς και της εφελκυστικής αντοχής του κονιάματος.

### Διεύθυνση υπό τυχαία γωνία

Η εφελκυστική αντοχή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την γωνία που ασκείται ο εφελκυσμός, και δεν είναι μία σταθερά της τοιχοποιίας. Για να βρούμε την τιμή της θα την υπολογίσουμε σχηματικά ακολουθώντας τα εξής βήματα:



1. Αρχικά θα υπολογίσουμε την μέγιστη εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας στην οριζόντια διεύθυνση της  $f_{wt}$ .
2. Στην συνέχεια θα υπολογίσουμε την ελάχιστη εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας στην κατακόρυφη διεύθυνση  $f_{90wt}$ .
3. Τέλος θα δημιουργήσουμε μία καμπύλη η οποία θα συσχετίζει αυτές τις δύο τιμές, και δημιουργήσει μία έλλειψη. Μέσω αυτής της καμπύλης μπορούμε να υπολογίσουμε την εφελκυστική αντοχή σε οποιαδήποτε γωνία  $\theta$ .

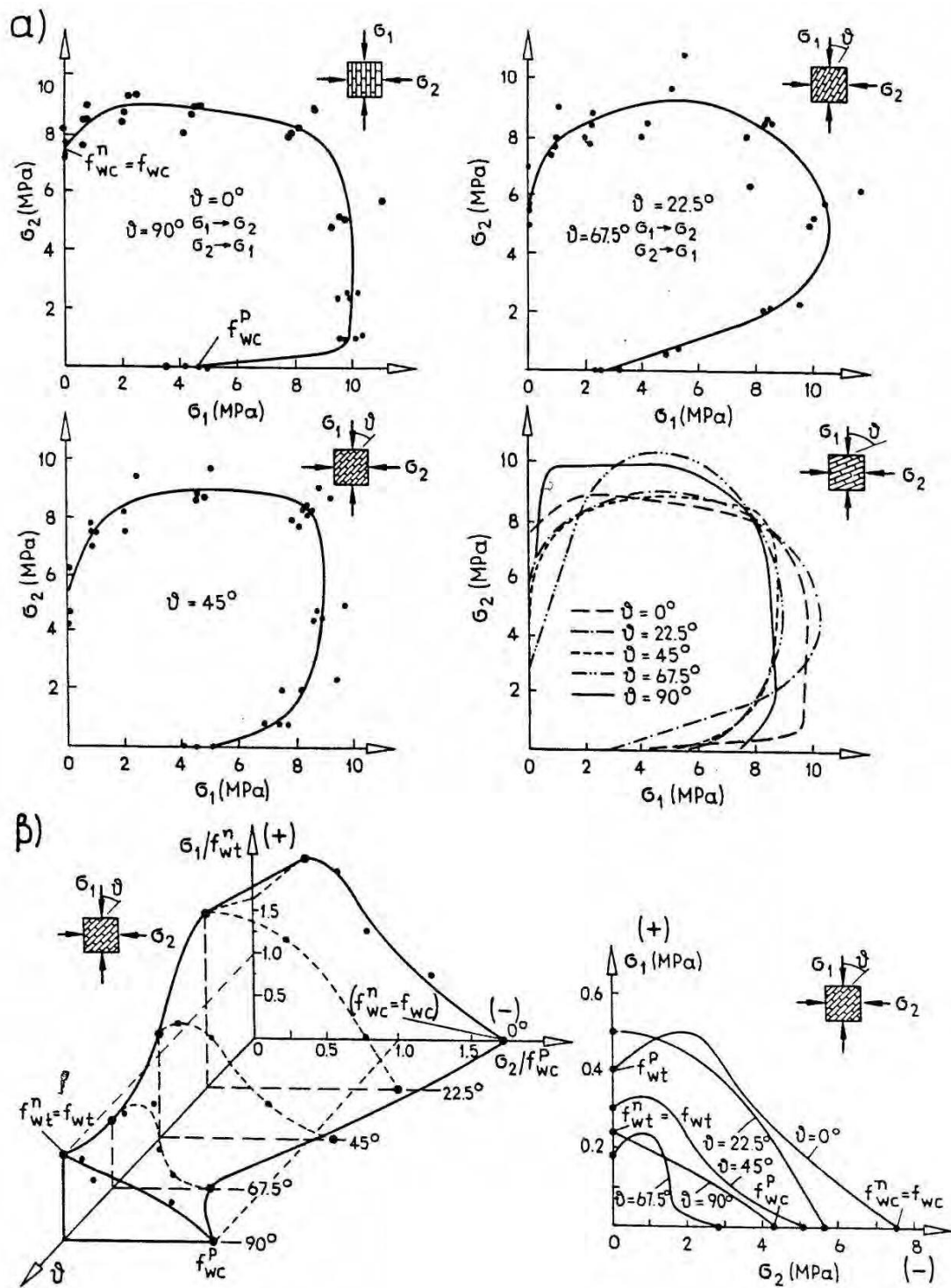


Διάγραμμα 2: Εφελκυστική αντοχή για οποιαδήποτε γωνία  $\theta$

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 ( $\sigma_x, \sigma_y, \tau$  ή  $\sigma_p, \sigma_n, \tau$ ) που ισοδυναμεί με ένα ζεύγος κύριων ορθών τάσεων ( $\sigma_1, \sigma_2$ ) υπό τυχούσα γωνία ( $\theta$ ) 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  $\theta$ ). 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 Σχήμα 10 παρουσιάζονται οι περιβάλλουσες αστοχίας τυπικής πλινθοδομής

υπό τυχούσα διαξονική καταπόνηση για διάφορες τιμές της γωνίας  $\theta$ , 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  $\sigma_1, \sigma_2$  (ανάλογη με την περιβάλλουσα αστοχίας της τοιχοποιίας υπό γωνία  $\theta = 45$  (βλέπε Σχήμα 10). Πρέπει να τονισθεί ότι οι περιβάλλουσες αστοχίας του Σχήματος 10. 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.



Σχήμα 10: Περιβάλλουσες αστοχίας πλινθοδομής υπό διαξονική καταπόνηση και μεταβλητή κλίση αρμών.

## Μηχανικές σταθερές τοιχοποιίας

Η τοιχοποιία είναι ένα δομικό στοιχείο το οποίο έχει ψαθυρό χαρακτήρα. Αυτό δηλώνει πως το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας δεν μπορεί να έχει πολύ μεγάλες τιμές. Το μέτρο της ελαστικότητας καθώς και ο λόγος Poisson μας δείχνουν το κατά πόσο μπορεί η τοιχοποιία να παραμορφωθεί. Αυτά τα δύο μεγέθη προκύπτουν από την θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας. Η εξίσωση για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας είναι:

$$E = \alpha * f_{wc}$$

Όπου:  $\alpha$ : Είναι ένας συντελεστής οποίος παίρνει τιμές από 600 μέχρι 1000.

Όταν εφαρμόζουμε εφελκυστική τάση στο υλικό, υπάρχει επιμήκυνση στην κατεύθυνση της εφαρμοζόμενης δύναμης και συρρίκνωση στην εγκάρσια / πλευρική κίνηση. Έτσι το στέλεχος παράγεται και στις δύο κατευθύνσεις. Ο λόγος της παραμόρφωσης που παράγεται κατά την εγκάρσια κατεύθυνση προς το στέλεχος που παράγεται προς την κατεύθυνση εφαρμογής εφελκυστικής τάσης είναι γνωστός ως λόγος Poisson.

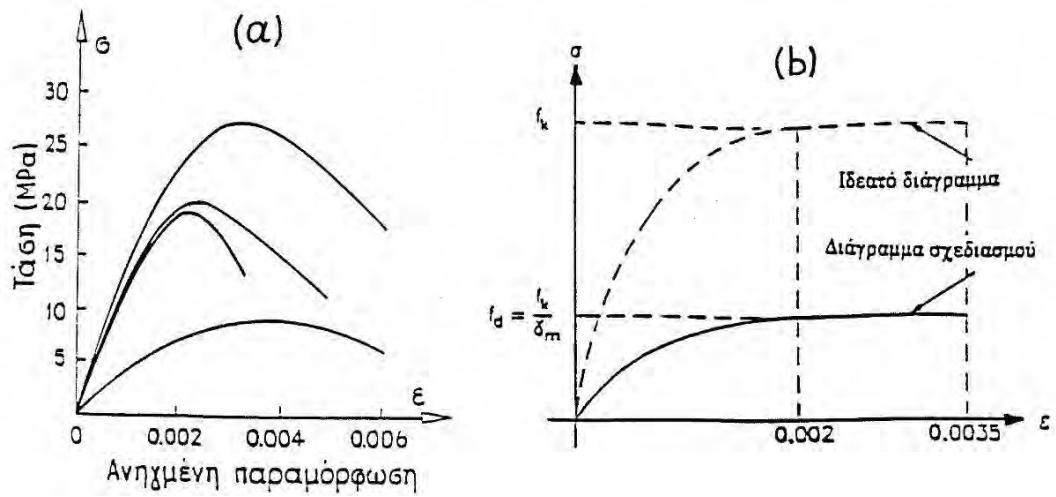
Ο λόγος Poisson δίνεται:  $\nu = - (\epsilon_x / \epsilon_y)$

Αναλογία Poisson = εγκάρσια καταπόνηση / αξονική καταπόνηση

Γενικά, κυμαίνεται:  $\nu_w = 0.10$  έως  $0.20$

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 ( $\sigma - \epsilon$ ) (Σχήμα 11.b) με  $E_w = 1000f_{wc}$  και  $\nu_w = 0.20$ .

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. Η τιμή του μέτρου διάτμησης  $G$  είναι ίσο με το 40% του μέτρου ελαστικότητας  $E$ . Ο.



Σχήμα 11. (α) Καμπύλες τάσης – παραμόρφωσης ( $\sigma - \epsilon$ ) τοιχοποιιών αργλικών πλίνθων [3], (b) Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων τοιχοποιίας κατά τον Ευρωκώδικα 6.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ**

Το νομοθετικό πλαίσιο που καθορίζεται από την Πολιτεία για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό των κατασκευών αποτελείται αρχικά από τον Ευρωκώδικα 8 : Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και ενισχύσεις κτιρίων, (EC8 – 3). Αντανακλώντας τις βασικές απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 8 : Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, ο EC8 – 3. Ο κανονισμός καλύπτει την σεισμική αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και την ενίσχυση κτιρίων κατασκευασμένων από τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα δομικά υλικά: το σκυρόδεμα, τον χάλυβα, σύμμικτα και την τοιχοποιία.

Το εθνικό προσάρτημα του EC8 – 3 που αφορά κτίρια φέρουσα τοιχοποιία είναι ο Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικής Επεμβάσεις Τοιχοποιίας, (ΚΑΔΕΤ). Ο ΚΑΔΕΤ σκοπεύει να θεσπίσει και αυτός κριτήρια για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφισταμένων δομημάτων από φέρουσα τοιχοποιία (Φ.Τ.).Ο Κανονισμός ρυθμίζει και τον ανασχεδιασμό αυτών των δομημάτων, μετά από ενδεχόμενες επεμβάσεις (επισκευές ή και ενισχύσεις). Ο κανονισμός προσπαθεί να συγκεράσει το ευκταίο με το εφικτό, επιχειρεί να πετύχει το βέλτιστο συνδυασμό επιστημονικής γνώσης και οικονομοτεχνικών περιορισμών με στόχο την άμεση αντιμετώπιση του οξύτατου κοινωνικού προβλήματος της ασφαλούς επισκευής των κατασκευών που έχουν υποστεί βλάβες.

Ένα άλλο κείμενο που αφορά την επέμβαση σε υπάρχουσες κατασκευές είναι το κείμενο των 440 Ελληνικών Τεχνικών Προδιαγραφών (ΕΤΕΠ). Οι 50 από αυτές αφορούν κυρίως εργασίες επισκευών και ενισχύσεων. Σε κάθε τεχνική προδιαγραφή περιγράφονται τα υλικά ο εξοπλισμός η τεχνική διαδικασία και εφαρμογή που πρέπει να ακολουθηθεί καθώς και θέματα επιμέτρησης, ποιοτικού ελέγχου, ασφάλειας και υγιεινής.

Επίσης υπάρχουν και αλλά κείμενα όχι κανονισμοί που αφορούν τον προσεισμικό έλεγχο των κτιρίων. Ο οργανισμός Αντισεισμικής Προστασίας, ΟΑΣΠ, έχει εκδώσει οδηγίες για τον πρωτοβάθμιο προσεισμικό έλεγχο (ή Ταχύς Οπτικός Έλεγχος (ΤΟΕ) ή Μακροσκοπικός Έλεγχος) και για τον δευτεροβάθμιο προσεισμικό έλεγχο.

Για κατασκευές που έχουν πληγεί μετά από κάποιο σεισμό και προκειμένου να πάρουν αποζημίωση για την επισκευή ή την ενίσχυση τους από την πολιτεία η αρμόδια διεύθυνση του υπουργείου υποδομών και δικτύων, Διεύθυνση Αποκατάστασης Επιπτώσεων Φυσικών Καταστροφών, ΔΑΕΦΚ, έχει εκδώσει κάποιες οδηγίες που θα πρέπει να ακολουθήσει ο μηχανικός για να συντάξει το φάκελο της μελέτης. Για κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα υπάρχει το κείμενο «Καθορισμός ελαχίστων υποχρεωτικών απαιτήσεων για τη σύνταξη μελετών αποκατάστασης κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, που έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό και την έκδοση των σχετικών αδειών επισκευής» (Αρ. πρωτ. :1455/ΣΤ8/20.2.2014 Υπουργική Απόφαση (ΦΕΚ Β΄455/25.2.2014) Ελάχιστες Υποχρεωτικές Απαιτήσεις σύνταξης μελετών επισκευής για Οπλισμένο Σκυρόδεμα), ενώ για κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία το αντίστοιχο κείμενο είναι το «Καθορισμός ελάχιστων υποχρεωτικών απαιτήσεων για την κατάθεση φακέλων επισκευής κτιρίων από Φέρουσα Τοιχοποιία που έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό», (Αρ. πρωτ. οικ4212/Β11/2.10.2013 Υπουργική Απόφαση (ΦΕΚ 2661/Β΄/18.10.2013) Ελάχιστες Υποχρεωτικές Απαιτήσεις σύνταξης μελετών επισκευής για Φέρουσα Τοιχοποιία).

Ένα άλλο διαχρονικό τεχνικό κείμενο που αφορά επεμβάσεις σε κατασκευές είναι το « Συστάσεις για Προσεισμικές και Μετασεισμικές Επεμβάσεις σε κτίρια », (Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Ο.Α.Σ.Π. Απρίλιος 2001 ). Το κείμενο αυτό έρχεται να συμπληρώσει το πλαίσιο κανονισμών και τεχνικών οδηγιών στην κατεύθυνση της βελτίωσης της σεισμικής συμπεριφοράς και ασφάλειας των υφισταμένων κτιρίων. Στο κείμενο αυτό περιλαμβάνονται οι κατευθυντήριες οδηγίες και προδιαγραφές (αποτίμηση φέρουσας ικανότητας, τεχνικές επεμβάσεων, υλικά) τόσο για την προσεισμική ενίσχυση κτιρίων, όσο και για την επισκευή των κτιρίων που έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό.

Τέλος, υπάρχουν αρκετά προεδρικά διατάγματα, υπουργικές αποφάσεις και εγκύκλιοι που αφορούν την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό των κατασκευών λόγω αλλαγής χρήσης, προσθήκες, και τακτοποίηση αυθαίρετων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Η πολυπλοκότητα και η ποικιλομορφία των υλικών, τύπου δόμησης, μορφής διαζωμάτων και ελκυστήρων φερουσών τοιχοποιιών, πατωμάτων και στεγών, παράγουν μια μεγάλη πολυτυπία κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία από επί μέρους δομικά στοιχεία που συγκροτούν τον φέροντα οργανισμό κτιρίων από τοιχοποιία.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η απόκριση και η παθολογία τέτοιων κτιρίων υπό κατακόρυφα και υπό οριζόντια σεισμικά φορτία.

### **Βασικά είδη βλαβών και αιτίες σε κατασκευές από τοιχοποιία υπό κατακόρυφα φορτία**

Η μεταβίβαση των κατακόρυφων φορτίων (των ιδίων βαρών 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 προβλήματα μπορούν να καταταγούν στις ακόλουθες κατηγορίες:**

1. Προβλήματα τοπικής ανεπάρκειας λόγω κακού σχεδιασμού (τοπική ρηγμάτωση τοιχοποιίας υπό ισχυρά μοναχικά φορτία ή λόγω αναντιστοιχίας ανοιγμάτων καθ' ύψος).
2. Προβλήματα τοπικής ή γενικής ανεπάρκειας από διαφορικές καθιζήσεις της θεμελίωσης.
3. Προβλήματα τοπικής ανεπάρκειας από επεμβάσεις, διαρρυθμίσεις ή προσθήκες και επέκταση.
4. Προβλήματα τοπικής ή γενικής ανεπάρκειας από προσθήκες καθ' ύψος.
5. Προβλήματα τοπικής ή γενικής ανεπάρκειας από αλλαγή χρήσης (αύξηση κινητών φορτίων).
6. Προβλήματα τοπικής ή γενικής ανεπάρκειας από γήρανση υλικών.

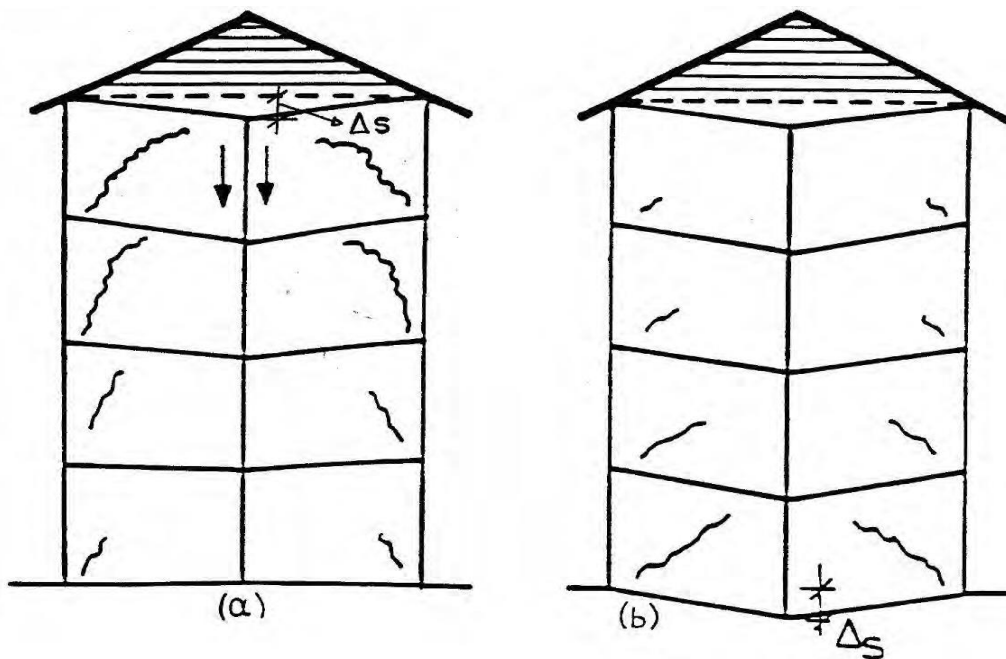


**Οι βλάβες από τα κατακόρυφα φορτία είναι συνήθως των ακόλουθων τύπων :**

- 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 τριστηρωτής λιθοδομής, εμφανίζεται κατακόρυφο επίπεδο ρηγμάτωσης – διαχωρισμού κατά το πάχος του τοίχου που εκδηλώνεται με μονόπλευρο είτε αμφίπλευρο φούσκωμα της τοιχοποιίας όπως φαίνεται στο σχήμα 12. Σε περίπτωση διαφορικών καθιζήσεων εμφανίζονται λοξές ρηγματώσεις μιας διεύθυνσης κατά μήκος της θλιβόμενης – βραχυνόμενης διαγώνιου σε πεσσούς ή δίσκους τοιχοποιίας κατά μήκος του πόδα, των οποίων εκδηλώνεται διαφορετική καθίζηση όπως φαίνεται στο σχήμα 13. Οι βλάβες παρουσιάζονται εντονότερες στους χαμηλούς ορόφους.
- Σε περίπτωση διαφορετικής 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 σχήμα 13



Σχήμα 12. Μονόπλευρο φούσκωμα τρίστρωτης λιθοδομής με ασύνδετες όψεις υπό κατακόρυφα θλιπτικά φορτία.



Σχήμα 13. Ρηγματώσεις (α) λόγω διαφορετικής βράχυνσης μεσαίου τοίχου, (b) λόγω διαφορετικής καθίζησης μεσαίου τοίχου.

## **Βασικά είδη βλαβών και αιτίες σε κατασκευές από τοιχοποιία υπό σεισμική καταπόνηση**

Η δράση 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.

Στα κτίρια 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. Τα προηγούμενα 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 περιγραφή της απόκρισης των κτιρίων υπό οριζόντια σεισμικά φορτία είναι δυνατή μόνο στις ακόλουθες περιπτώσεις:

### **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.**

- 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.

**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.**

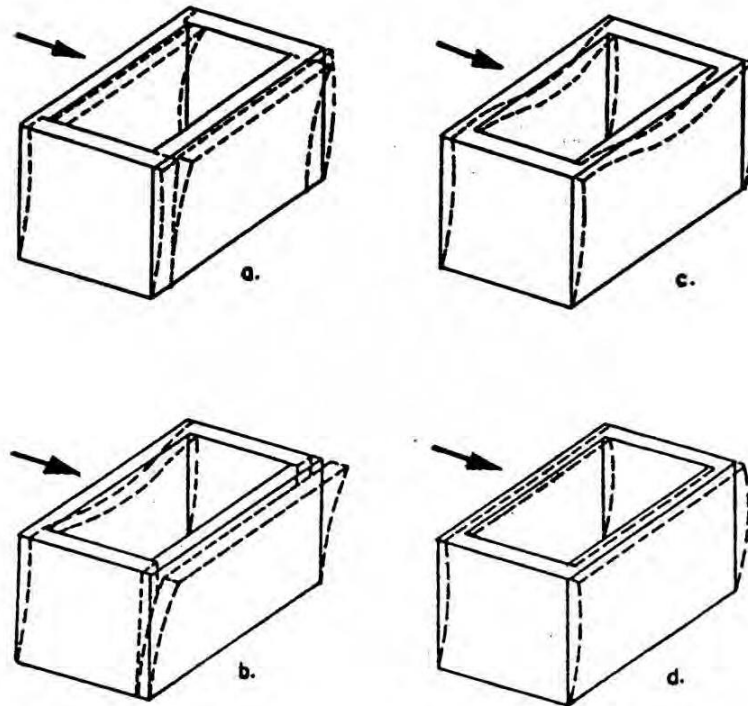
Απουσία διαφραγματικής λειτουργίας.

- 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 Σχήμα 14, φαίνονται οι τυπικές μορφές απόκρισης μονώροφου κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία υπό σεισμική καταπόνηση:



Σχήμα 14. Τυπικές μορφές απόκρισης κτιρίων φέρουσας τοιχοποιίας υπό σεισμική καταπόνηση. (α) και (β): Απουσία διαφράγματος ή διαζωμάτων, (c): Φέροντες τοίχοι με κορυφαίο διάζωμα, (d): Φέροντες τοίχοι με διάφραγμα στο επίπεδο της στέψης τους

Οι περιπτώσεις (α) και (β) του σχήματος 14, 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 επιπέδου 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).

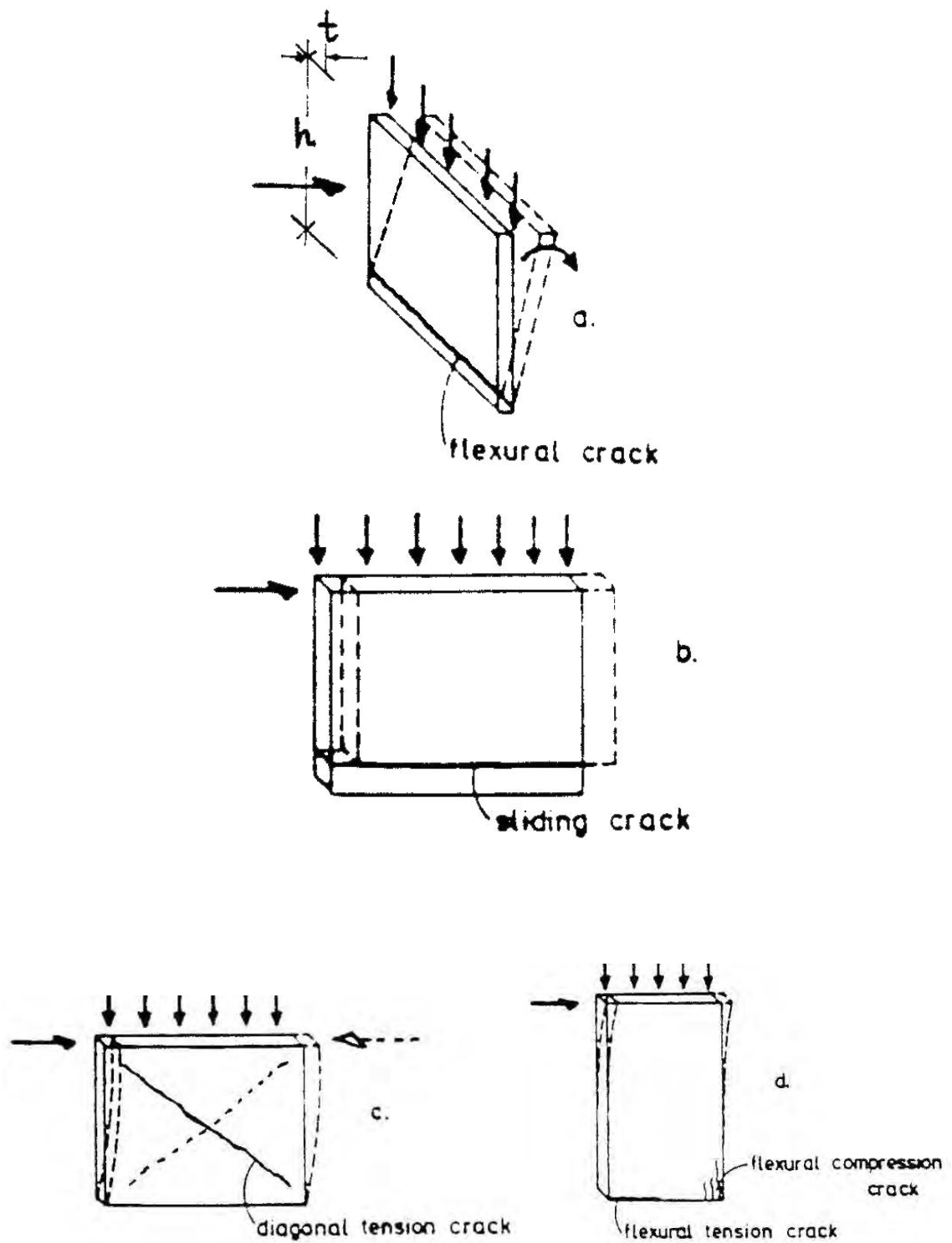
Με βάση την ανάλυση της συμπεριφοράς του τυπικού μονώροφου κτιρίου που προηγήθηκε παρουσιάζονται στο Σχήμα 15, οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας ενός μεμονωμένου τοίχου ή πεσσού:

- Ο τοίχος πρόβολος εμφανίζεται ιδιαίτερα ασθενής έναντι σεισμικής ώθησης κάθετα στο επίπεδό του (περίπτωση α). 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  $\varepsilon = t/2h$  έως  $\varepsilon = t/h$ , 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 (περίπτωση b).

ii. Διαγώνια ρηγμάτωση από λοξές κύριες εφελκυστικές τάσεις είτε με τεθλασμένη αποκόλληση-ολίσθηση κατακόρυφων και οριζόντιων αρμών είτε και με ρηγμάτωση πλίνθων ή λίθων (περίπτωση c).

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 εφελκυσόμενης ζώνης (περίπτωση d).



Σχήμα 15. Μηχανισμοί αστοχίας ενός μεμονωμένου τοίχου-προβόλου. (α) Σεισμική τέμνουσα εκτός επιπέδου, (b), (c), (d) Σεισμική τέμνουσα εντός επιπέδου.

Η συμπεριφορά και απόκριση ενός κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία είναι πολύ πιο σύνθετη από αυτή ενός μεμονωμένου τοίχου χωρίς ανοίγματα. Σχήμα 16.



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 (περίπτωση a).
- 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 διαγώνια 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 Σχήμα 17, όπου:

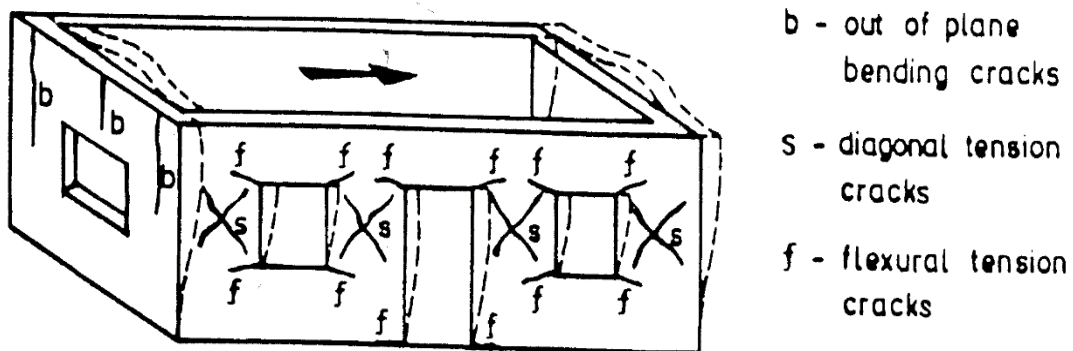
$\sigma_0$  : θλιπτικές τάσεις από τα κατακόρυφα φορτία

$\sigma_M$ : θλιπτικές ή εφελκυστικές τάσεις από τη γενική ροπή ανατροπής

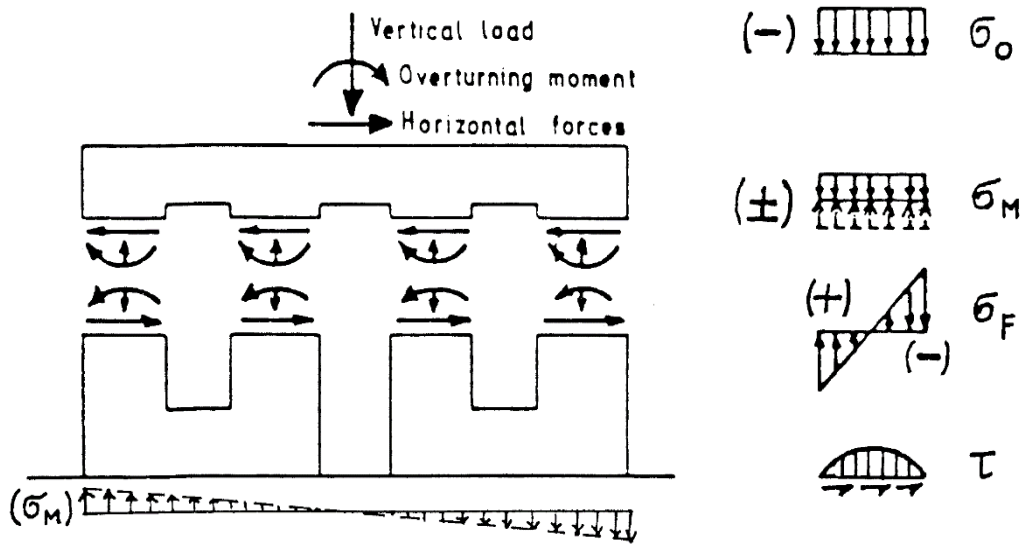
$\sigma_F$  : θλιπτικές – εφελκυστικές τάσεις από κάμψη κάθε πεσσού

$\tau$  : διατμητικές τάσεις στους πεσσούς

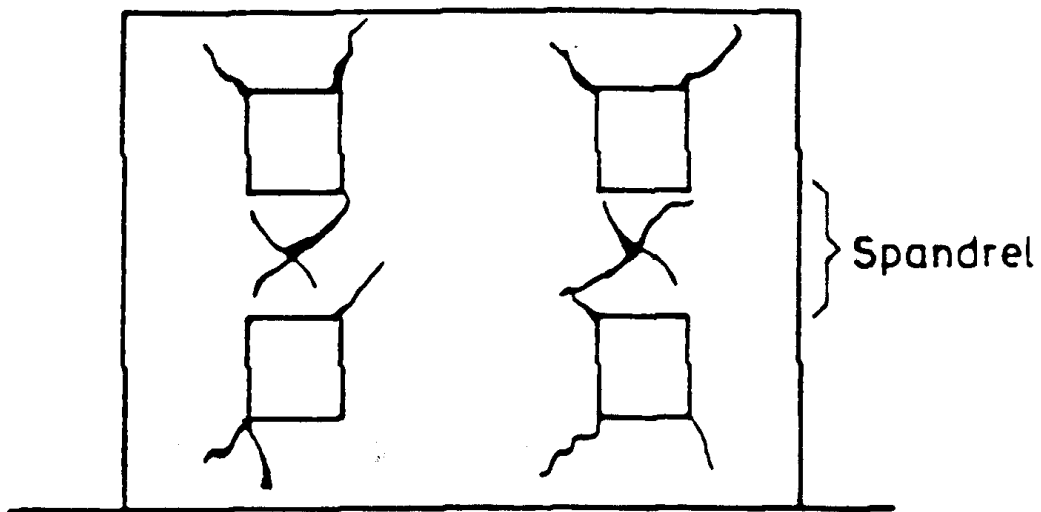
Στην περίπτωση ενός δώροφου κτιρίου με εύκαμπτα ξύλινα πατώματα χωρίς οριζόντια διαζώματα στο επίπεδο των ορόφων και με σχετικά αραιά ανοίγματα όπως φαίνεται στο Σχήμα, οι ζώνες σύζευξης μεταξύ δύο επάλληλων ανοιγμάτων που συνδέουν τους ισχυρούς πεσσούς- προβόλους είναι σχετικά οι πλέον ευαίσθητες περιοχές και καταπονούνται, σε συνδυασμό κάμψης και διάτμησης. Οι ζώνες αυτές αστοχούν συνήθως με χιαστί καμπτοδιατμητικά ρήγματα πριν από την αστοχία των πεσών. 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.



Σχήμα 16. Τυπικές μορφές ρηγματώσεων σε τυπικό όροφο κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία



Σχήμα 17. Ιδεατή κατανομή εξωτερικών δράσεων, φορτίων διατομής και τάσεων σε επίπεδο τοίχο υπό σεισμική καταπόνηση



Σχήμα 18. Μηχανισμός αστοχίας στις ζώνες σύζευξης πεσσών ενός δώροφου τοίχου χωρίς διαζώματα ή άκαμπτα διαφράγματα στις στάθμες των ορόφων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

### 5.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ – ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Οι επεμβάσεις σε κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία οφείλουν να ακολουθούν ορισμένα κριτήρια και αρχές. Οι αρχές αυτές συχνά καθορίζουν και την επιλογή των τεχνικών που θα χρησιμοποιηθούν όπως επίσης και την έκταση της επέμβασης (επισκευή, ενίσχυση κ.ά). Βασικά κριτήρια επομένως είναι η διάκριση του κτιρίου σε «μνημείο», «διατηρητέο» ή απλή κατασκευή και εφαρμογή του οποιοδήποτε νομικού πλαισίου και αρχών που διέπει το συγκεκριμένο κτίριο. Στην περίπτωση όπου πρόκειται για κατασκευή μνημειακού χαρακτήρα, οι διατάξεις τις οποίες έχουν θέσει οι διεθνείς χάρτες περί προστασίας των μνημείων θα πρέπει αυστηρώς να συνεκτιμώνται. Τα σημαντικότερα στοιχεία που θα πρέπει να εξασφαλίζονται είναι τα κάτωθι (Μίλτων Δημοσθένους, ΤΕΕ 2009):

- Ο σεβασμός στο πρωτότυπο κατά την έννοια του να μην αλλοιώνεται η αρχική του (αρχιτεκτονική) φυσιογνωμία.
- Η ιστορική, αρχαιολογική, δομοστατική κ.λ.π τεκμηρίωση του μνημείου ώστε να παρέχονται όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες στον μελετητή αλλά και να καθίστανται σαφή όρια επεμβατικών ενεργειών.
- Ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας είναι η απαιτούμενη αναστρεψιμότητα των προτεινομένων επεμβάσεων καθώς επίσης και η ανθεκτικότητά τους στον χρόνο. Αυτό συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των βλαβών που πιθανώς να προκύψουν αν προκύψει η ανάγκη αντικατάστασης των πραγματοποιημένων επεμβάσεων.
- Τα νέα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν οφείλουν να είναι συμβατά με τα υφιστάμενα
- Το οικονομικό κόστος επέμβασης και μελλοντικής συντήρησης ως προς την εγκατεστημένη αξία.
- Ο χρόνος εκτέλεσης των εργασιών.

- Το κοινωνικό και ψυχολογικό κόστος των ενοίκων αλλά και του κοινωνικού συνόλου.
- Η δυνατότητα επαρκούς και ευσταθούς υποστήλωσης κατά τη διάρκεια των εργασιών επισκευής ή ενίσχυσης.

Κατά την επέμβαση σε μια κατασκευή με σκοπό την ανακούφισή της από παράγοντες που επιφέρουν φθορές αλλά και την ενίσχυσή της ώστε να μεταφέρει τα φορτία ανάλογα με την χρήση της, πρέπει να ακολουθηθούν ορισμένες αρχές. Οι βασικότερες αρχές επεμβάσεων που καλείται να ακολουθήσει ο μελετητής κατά την προσπάθεια επέμβασης σε υφιστάμενο κτίριο από φέρουσα τοιχοποιία είναι οι ακόλουθες (ΟΑΣΠ 2001) :

- Είναι σκόπιμη η μείωση του βάρους της κατασκευής (εφόσον αυτό δεν αντίκειται σε περιορισμούς) με ενέργειες όπως αφαίρεση δομικών ή διακοσμητικών στοιχείων μεγάλου βάρους ή και αντικατάστασή τους με πιο ελαφρά.
- Σε περίπτωση ύπαρξης εξωστών οι οποίοι είναι πακτωμένοι στην τοιχοποιία κι όταν πρόκειται να γίνουν επεμβάσεις σε υπερκείμενο τοίχο, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για την εξασφάλιση της ευστάθειας τους. ( ο υπερκείμενος τοίχος δρα ως αντίβαρο για την θεώρηση πάκτωσης του εξώστη).
- Είναι σκόπιμο το κλείσιμο τυχόν ανοιγμάτων κοντά στις γωνίες του κτιρίου διότι εξασθενούν τη σύνδεση των διασταυρούμενων τοίχων.
- Εφόσον αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί, καλό είναι να γίνονται ενέργειες που αφορούν την διόρθωση της μη κανονικότητας και ασυμμετρίας που μπορεί να εντοπίζεται είτε με την προσθήκη νέων στοιχείων ( λιθοδομής, οπλισμένου σκυροδέματος κ.λπ) είτε με την δημιουργία κατασκευαστικών αρμών οι οποίοι θα διακόπτουν τα συνεχόμενα στοιχεία.
- Παράγοντας ο οποίος θα πρέπει να εκτιμάται για την επιλογή των μεθόδων και τεχνικών επεμβάσεων που προτείνονται θα πρέπει να αποτελεί (πέραν

της οικονομίας) η κατασκευαστική δυσκολία της κάθε μεθόδου, η επιρροή της στο κτήριο καθώς και παράγοντες όπως η ύπαρξη κατάλληλου συνεργείου το οποίο θα μπορεί να αποδώσει στο ακέραιο τα προσδοκώμενα αποτελέσματα. Άλλωστε δεν αρκεί μονάχα μια σωστή μελέτη, αλλά και η σωστή εφαρμογή της.

- Η βελτίωση της διαφραγματικής λειτουργίας του φορέα μέσω της αύξησης της δυσκαμψίας και της αντοχής των πατωμάτων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ορθή συμπεριφορά του κτηρίου σε σεισμικές καταπονήσεις. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση που δεν είχε προβλεφθεί η ύπαρξη διαζωμάτων στο επίπεδο των πατωμάτων ή της στέγης, η προσθήκη νέων τις περισσότερες φορές, βοηθάει στην μείωση των τοπικών ενισχύσεων.

Με βάση τα παραπάνω, στη συνέχεια γίνεται η σταδιακή δομητική αποκατάσταση και επέμβαση στην κατασκευή. Η διαδικασία, η πορεία των εργασιών και τα βήματα που ακολουθούνται περιγράφονται παρακάτω.

### **Προσωρινή υποστήλωση**

Η προσωρινή υποστήλωση αποτελεί ένα ξεχωριστό βήμα στη διαδικασία αποκατάστασης και πολλές φορές κρίνεται απαραίτητη μετά από βλάβες που έχουν προκύψει λόγω (συνηθέστερα) ισχυρών σεισμικών καταπονήσεων, όπου αν δεν επέμβουμε γρήγορα η κατασκευή κινδυνεύει με μερική είτε και ολική κατάρρευση.

## **Φάση αποτίμησης της υπάρχουσας κατασκευής**

- **Επί τόπου έρευνες, και εργαστηριακές έρευνες**

Οι επί τόπου έρευνες είναι εργασίες απαραίτητες για τον σωστό σχεδιασμό του φορέα, την αποτύπωση της παθολογίας και εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης, την εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών κ.ά. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εύρεση των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών τιμών των δομικών υλικών της τοιχοποιίας αναφέρονται εκτεταμένα στην βιβλιογραφία επί του θέματος από όπου μπορούν να αντληθούν περισσότερες πληροφορίες. Ακόμα, αρκετές φορές είναι κρίσιμη η παρακολούθηση της μεταβολής σε σχέση με την πάροδο του χρόνου εντοπισμένων παθολογιών ( όπως ρηγματώσεις), οι οποίες βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς της κατασκευής αλλά και την προώθηση της βέλτιστης λύσης. Οι εργαστηριακές έρευνες γίνονται για έργα αυξημένης σπουδαιότητας ή όταν απαιτείται μια πλήρης εικόνα των υλικών που απαρτίζουν την κατασκευή μας. Αφορούν κυρίως των χημικών, ορυκτολογικών και μηχανικών ιδιοτήτων των αρχικών υλικών, τη σύνθεση ενεμάτων κ.λπ. Ορισμένες φορές ίσως απαιτηθούν να γίνουν και έλεγχοι επί μοντέλων τα οποία θα έχουν δημιουργηθεί υπό κλίμακα και τα οποία θα δοκιμαστούν σε σεισμικές τράπεζες, όπου μπορεί να υπάρξει και μια εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων που πρόκειται να υλοποιηθούν.

- **Ανάλυση και διαστασιολόγηση του κτιρίου στην υφιστάμενη κατάσταση και εκτίμηση της απομένουσας φέρουσας ικανότητας**

Στη συνέχεια γίνεται η κατανόηση της διαδρομής των φορτίων και της παθολογίας του κτιρίου. Ακολουθεί η ανάλυση και η διαστασιολόγηση του υφιστάμενου φορέα. Η ανάλυση γίνεται σύμφωνα με τα ισχύοντα νομικά πλαίσια και με βάση τα όσα προβλέπονται στους σύγχρονους κανονισμούς. Το επόμενο βήμα λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, είναι η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής στην κατάσταση που βρίσκεται. Η εκτίμηση αυτή είναι κομβικής σημασίας για τη λήψη απόφασης σχετικά με τον τύπο και το βαθμό του

σχήματος επέμβασης που θα ακολουθηθεί στη συνέχεια .

- **Φάση επέμβασης και ανασχεδιασμού της υπάρχουσας κατασκευής**

#### **Στρατηγική επεμβάσεων και εκ νέου ανάλυση και επαναδιαστασιολόγηση**

Ο σωστός καθορισμός του σχήματος των επεμβάσεων αποτελεί τον στόχο προς επίτευξη διαμέσου όλης της προηγούμενης διαδικασίας. Ενσωματώνει το αποτέλεσμα όλων των προσεγγίσεων που έχουν δοθεί λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους (δομητικές, αρχιτεκτονικές, αρχαιολογικές κ.λπ). Διαμέσου συζήτησης με όλους τους παράγοντες του έργου και εξετάζοντας εναλλακτικές προτάσεις, διαμορφώνεται και προκρίνεται η τελική λύση. Πριν εφαρμοστούν στην πράξη οι επιλεγείσες λύσεις, το δομικό σύστημα το οποίο θα προκύψει πρέπει να αναλυθεί και να διαστασιολογηθεί ξανά ώστε να εξεταστούν τα εξαγόμενα αποτελέσματα, να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις για να προχωρήσει η εφαρμογή τους. Τέλος, η παραδοθείσα μελέτη συμπληρώνεται με τα απαραίτητα γενικά σχέδια αλλά και σχέδια λεπτομερειών όπου απαιτούνται καθώς επίσης και με τις τεχνικές περιγραφές και προδιαγραφές.

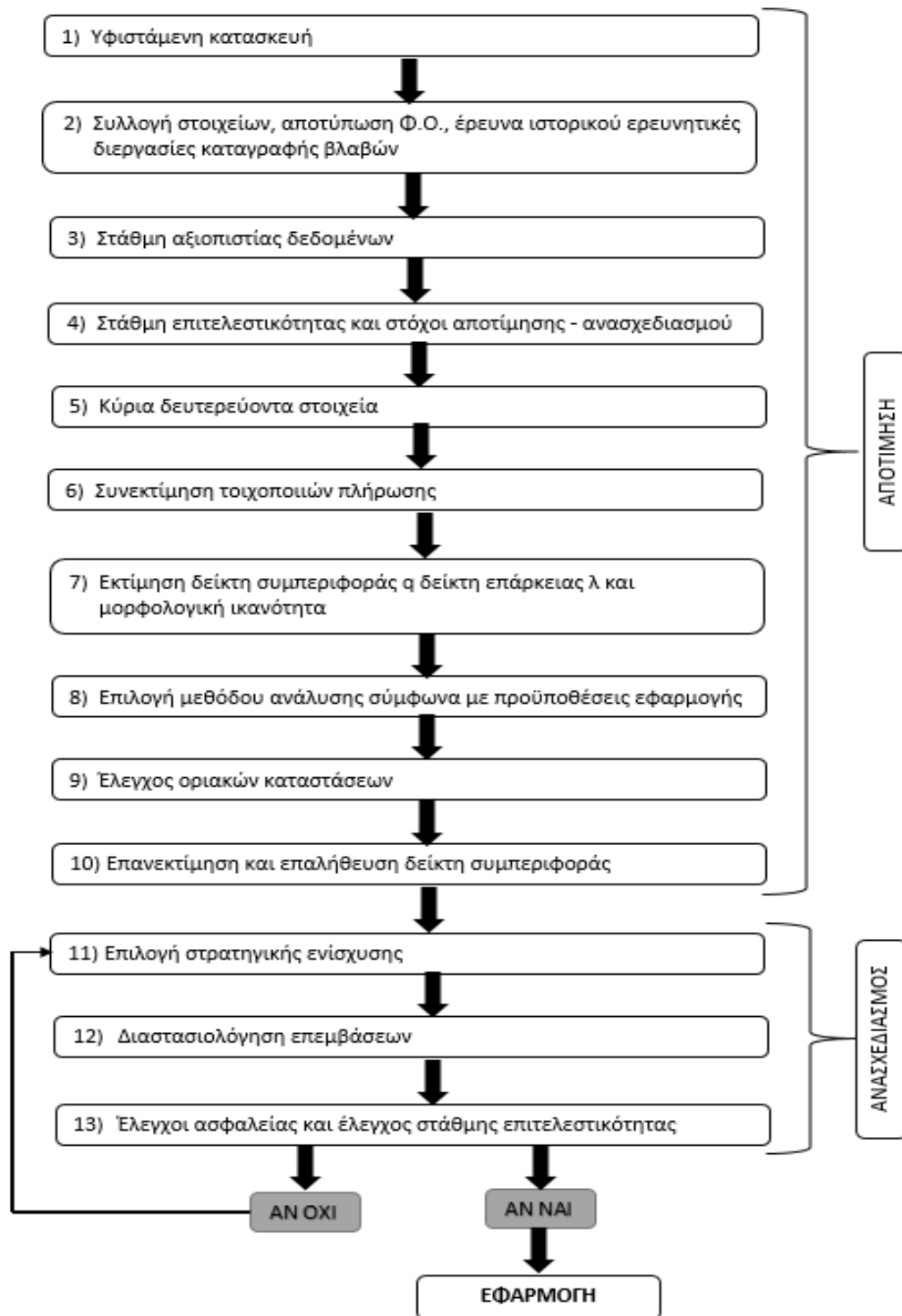
Οι στρατηγικές αντισεισμικής ενίσχυσης ανάλογα με την επιδιωκόμενη σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής είναι :

- Τοπικές επεμβάσεις στο φορέα.
- Αύξηση της δυσκαμψίας της κατασκευής.



- Αύξηση της αντοχής της κατασκευής.
- Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης της κατασκευής.
- Αύξηση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας της κατασκευής από το σεισμό.
- Μείωση της σεισμικής απαίτησης της κατασκευής.
- Τοποθέτηση στη κατασκευή συστημάτων ενεργού, ημι-ενεργού και υβριδικού ελέγχου των ταλαντώσεων από το σεισμό.

Στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 19, παρουσιάζονται τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν με σκοπό αρχικά την αποτίμηση και έπειτα τον ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής.



Σχήμα 19. Τα βήματα για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής

## 5.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Οι τεχνικές επεμβάσεων σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τεχνικές μέσης στάθμης και τεχνικές επέμβασης υψηλής στάθμης, (Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια, 2001).

- Στην κατηγορία των τεχνικών μέσης στάθμης περιλαμβάνονται:
- Βαθύ αρμολόγημα
- Οπλισμένο ή ινοπλισμένο επίχρισμα
- Συρραφή μεγάλων ρωγμών
- Καθαίρεση και τοπική ανακατασκευή
- Συρραφή αποκολλημένων τοίχων
- Επισκευή ή κατασκευή διαζωμάτων
- Επισκευή ή κατασκευή υπερθύρων (πρέκια)
- Ενίσχυση τοιχοποιίας με μανδύες

Στην κατηγορία των τεχνικών υψηλής στάθμης περιλαμβάνονται:

- Ενέσεις σε ρωγμές
- Ομογενοποίηση μάζας
- Ελκυστήρες – τένοντες
- Ριζοπλισμοί

## Τεχνικές μέσης στάθμης

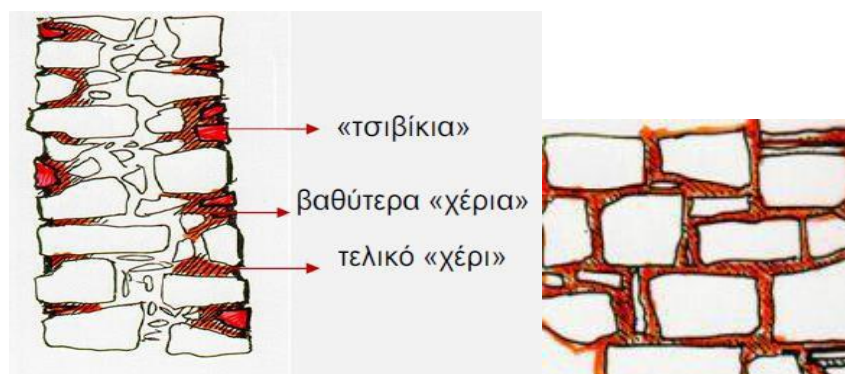
### Βαθύ αρμολόγημα

Πρόκειται για μία μέθοδο η οποία εφαρμόζεται και στις δύο όψεις της τοιχοποιίας σε πάχος που μπορεί συνολικά να φτάσει τα 40 cm, αναλογικά πάντα με το πάχος της τοιχοποιίας που θα αρμολογηθεί. Η τελική αύξηση της αντοχής της τοιχοποιίας εξαρτάται από το βαθμό αντικατάστασης του υπάρχοντος κονιάματος χαμηλής αντοχής από νέο κονίαμα υψηλότερης αντοχής. Ο βαθμός της επαύξησης της αντοχής είναι κάτι που προσδιορίζεται δύσκολα ενώ τοπική βελτίωση της αντοχής των παρειών αναμένεται να υπάρξει όταν συνδυάζεται με προσθήκη κλειδιών συρραφής, αντικαταστάσεις λιθοσωμάτων και τοπική χρήση ενεμάτων στις ρωγμές. Η μέθοδος από μόνη της αναμένεται να βελτιώσει την αντοχής σε τοιχοποιίες μικρού σχετικά πάχους (μέχρι 40 cm) και συνίσταται η εφαρμογή της σε λιθοδομές μικρού πάχους ( $t < 300 - 400 \text{ mm}$ ) ή πλινθοδομές, που παρουσιάζουν ρωγμές μέχρι 10mm. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο βάθος του αρμολογήματος καθότι ένα πολύ βαθύ αρμολόγημα πιθανόν να οδηγήσει σε χαλάρωση της συνοχής και σε απόσπαση λίθων.

Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

1. Αφαίρεση του υφιστάμενου επιχρίσματος σε ικανό πλάτος γύρω από τις ρωγμές (περί των 60 cm) ενώ σε περίπτωση εκτεταμένων ρηγματώσεων προτιμάται η καθολική αφαίρεση του επιχρίσματος.
2. Διεύρυνση των ρωγμών με τοπικό ξύσιμο των λιθοσωμάτων, όπου αυτό κριθεί αναγκαίο
3. Βαθύ ξύσιμο των ρωγμών σε βάθος τουλάχιστον ίσο με το πάχος τους ώστε να απομακρυνθούν τα σαθρά τμήματά τους και πλήρης καθαίρεση του κονιάματος των αρμών σε ικανό βάθος
4. Διαβροχή της τοιχοποιίας μέχρι κορεσμού χωρίς παρακράτηση ή επικάλυψη νερού.

5. Εισαγωγή νέου κονιάματος με μυστρί βαθιά στις ρωγμές.
6. Διαμόρφωση εξωτερικής επιφάνειας με αρμολόγημα και τελικό επίχρισμα, αν είναι επιθυμητό ή απαραίτητο. Σε ορισμένες περιπτώσεις πριν το τελικό επίχρισμα γίνεται χρήση πλέγματος (κοτετσόσυρμα) το οποίο στερεώνεται με φουρκέτες στο κονίαμα των αρμών.



Σχήμα 20. Η μέθοδος του αρμολογήματος, αριστερά τομή τμήματος τοιχοποιίας, δεξιά ενδεικτική όψη (Ανδρονίκη Μιλτιάδου, ΤΕΕ 2016)

Όσο αφορά τα υλικά κονιαμάτων που χρησιμοποιούνται, αυτά πρέπει εν γένει να είναι υψηλής αντοχής αλλά όχι ισχυρότερα των στοιχείων της τοιχοποιίας. Έρευνες έχουν αποδείξει την ακαταλληλότητα των τσιμεντοκονιαμάτων ενώ κατά βάση προτιμάται η χρήση κονιαμάτων με βάση την υδραυλική άσβεστο, υδρασβέστου και ποζολανικά υλικά. Στην περίπτωση που γίνει χρήση τσιμέντου στο κονίαμα, αυτό θα πρέπει να είναι σε χαμηλό ποσοστό. Γενικοί κανόνες αναδιαστασιολόγησης είναι δύσκολο να δοθούν. Ωστόσο για περιπτώσεις όπου είναι δυνατό το σφράγισμα των ρωγμών σε μεγάλο βάθος προτείνονται οι κάτωθι σχέσεις προσδιορισμού των αντοχών της τοιχοποιίας μετά την επέμβαση (Ο.Α.Σ.Π. 2001).

Θλιπτική Αντοχή:

$$f_{wc} = \frac{1}{\gamma R d} \zeta f_{wc,0}$$

$$\text{Όπου : } \frac{1}{\gamma R d} \approx 0.80$$

$f_{w,c,0}$  = Αρχική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας.

$$\zeta = 1 + \omega \frac{\text{ΟΓΚΟΣ ΝΕΟΥ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ}}{\text{ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ}}$$

(Εμπειρικός συντελεστής )

Τιμές:  $\omega = 4$  έως  $8$  για λιθοδομή και  $\omega = 1$  έως  $2$  για οπτοπλινθοδομή.

Για τοιχοποιίες με πλήρεις αρμούς και καλό κονίαμα εφαρμόζονται οι χαμηλότερες τιμές .

#### Εφελκυστική Αντοχή:

Οριζόντια:  $f_{wt,h} \approx \lambda f_{mt}$

Κατακόρυφη:  $f_{wt,v} \approx 2 \lambda f_{mt}$

όπου το  $\lambda$  λαμβάνεται ίσο με  $0,50$  και το  $f_{mt}$  είναι η μέση εφελκυστική αντοχή του κονιάματος.

Διατμητική Αντοχή:  $f_{wv} \approx f_{mt} + 0.40 \cdot 0.75 \sigma_0$

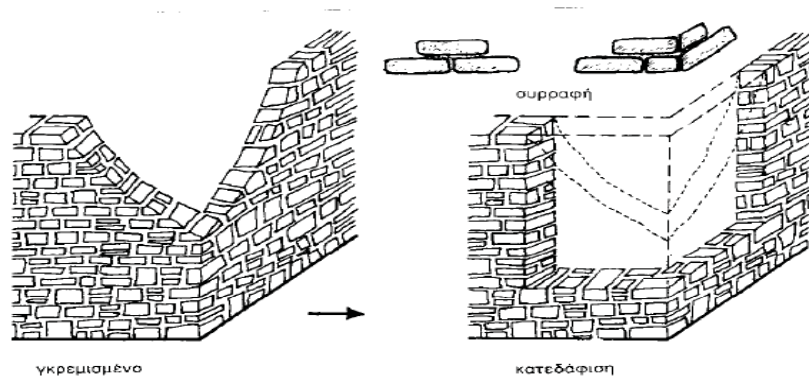
#### **Καθαίρεση και τοπική ανακατασκευή**

Όταν η τοιχοποιία παρουσιάζει σοβαρές βλάβες όπως τοπικό “ καμπούριασμα” είτε στη μια παρειά είτε και στις δύο, αποκλίσεις από την κατακόρυφο ή και τμηματικές καταρρεύσεις ( πχ κατάρρευση γωνιών), μια λύση είναι να επέμβουμε πραγματοποιώντας καθαιρέσεις των περιοχών και ανακατασκευή τους. Η πορεία της επέμβασης ακολουθεί ορισμένα στάδια:

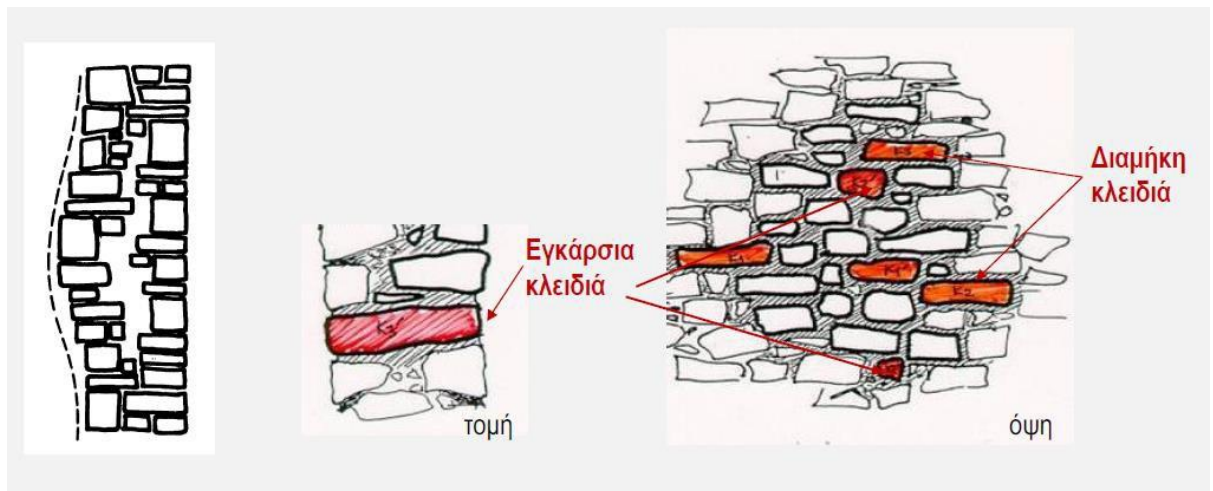
Αρχικά πραγματοποιείται η υποστύλωση του υπερκειμένου ορόφου ή της στέγης στην περιοχή όπου θα γίνουν οι καθαιρέσεις των λίθων. Σε δεύτερο στάδιο ακολουθεί η καθαίρεση της τοιχοποιίας επεκτείνοντας την μέχρι και τη γειτονική υγιή περιοχή.

Ακολουθεί το πλύσιμο και η επεξεργασία των επιφανειών ώστε σε τελικό βήμα να προβούμε στην ανακατασκευή της τοιχοποιίας. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να

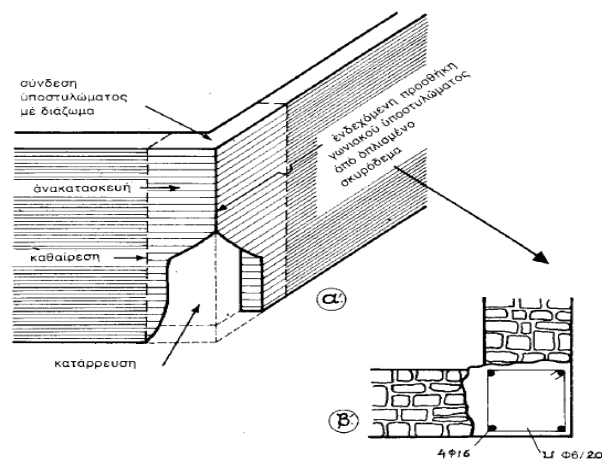
δίνεται στην επιλογή των υλικών και στην αποκατάσταση της συνεργασίας του παλαιού και νέου τμήματος καθώς και της σύνδεση των παρειών της τοιχοποιίας μεταξύ τους μέσω της χρήσης υλικού πληρώσεως (συνήθως χυτό τσιμεντοκονίαμα) και παράλληλη χρήση νέων λιθοσωμάτων κατάλληλης αντοχής, τα επονομαζόμενα “κλειδιά” διατεταγμένα σε εγκάρσια και διαμήκη διεύθυνση στην τοιχοποιία. Στην περίπτωση όπου έχει συντελεστεί κατάρρευση του κάτω μέρους γωνίας, είναι προτιμότερο να σκυροδετηθεί νέο υποστύλωμα στη γωνία και να συνδεθεί στο πάνω μέρος με διάζωμα. Όσο αφορά στην όπλιση του υποστυλώματος, μια ενδεικτική όπλιση είναι η προσθήκη οπλισμών 4Φ16 καθώς και συνδετήρων ή τζινετιών για την καλύτερη συνεργασία σκυροδέματος- τοιχοποιίας. Επιπλέον πρέπει να εξασφαλίζεται τραχεία αλλά καθαρή από σαθρά υλικά διεπιφάνεια.



Σχήμα 21. Κατάρρευση και συρραφή άνω τμήματος γωνίας (ΟΑΣΠ 2001)



Σχήμα 22. Αποκατάσταση συνεργασίας μέσω χρήσης κλειδιών από λιθωσώματα  
(Ανδρονίκη Μιλτιάδου, ΤΕΕ 2016)



Σχήμα 23. Κατάρρευση κάτω μέρους γωνίας και ενδεικτική όπλιση (ΟΑΣΠ 2001)

Με την τεχνική της τοπικής καθαίρεσης και ανακατασκευής, ο φορέας μας ενισχύεται τοπικά αφού διορθώνονται τόσο οι αστοχίες που οδήγησαν στην κατάρρευσή του, καθώς επίσης αναιρούνται οι κατασκευαστικές ατέλειες που αφορούν κυρίως στον τρόπο δόμησής του. Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός ότι απαιτείται σχολαστική εργασία στη φάση υποστύλωσης της κατασκευής προς αποφυγή περαιτέρω πρόκλησης βλαβών όταν θα πραγματοποιηθεί η καθαίρεση των τμημάτων της τοιχοποιίας

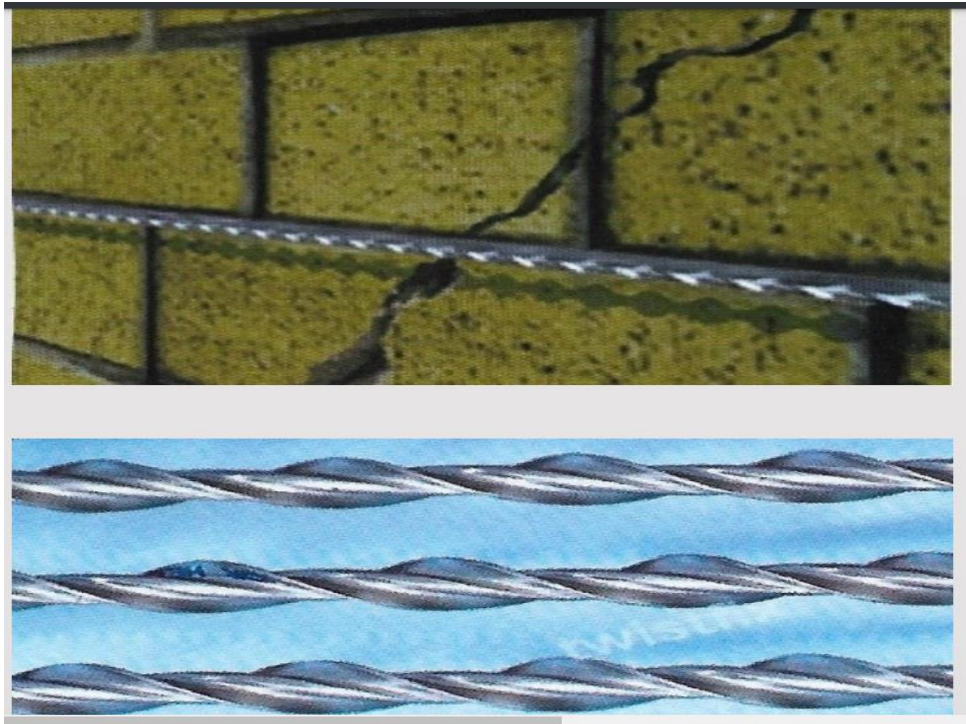


## **Συρραφή μεγάλων ρωγμών**

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται στις περιπτώσεις ύπαρξης μεγάλων ρωγμών. Ως τέτοιες μπορούν να θεωρηθούν διαμπερείς ρωγμές που διακόπτουν τη συνέχεια της τοιχοποιίας, όπως επίσης ρωγμές μεγάλου εύρους (>10mm) ή ρωγμές μεγάλου μήκους όπως και ρωγμές μικρού εύρους αλλά πυκνής διάταξης..

Για τη συρραφή των ρωγμών πραγματοποιείται αρχικά η αφαίρεση των ραγισμένων λιθοσωμάτων. Για την αντικατάστασή τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε νέα επιμήκη λιθοσώματα είτε να γίνει χρήση ισχυρού τσιμεντοκονιάματος το οποίο μέσω μεταλλικών στοιχείων θα συνδεθεί με την τοιχοποιία. Ακόμη μπορεί να γίνει έκχυση σκυροδέματος υψηλής αντοχής τοπικά σε ειδικούς αύλακες που ανοίγονται γι' αυτό το σκοπό.

Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται αύξηση της διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας. Ιδιαίτερη φροντίδα απαιτείται για την στήριξη των τοίχων στη φάση που διανοίγονται οι αύλακες. Μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η αλλοίωση που θα προκύψει στις όψεις της τοιχοποιίας. Τέλος, μια επιμέρους σημείωση είναι ότι σε περίπτωση που έχουν παρουσιαστεί βλάβες σε πρέκια ή στις γωνίες σύνδεσης των τοίχων, θα πρέπει να προηγείται η αποκατάσταση αυτών των τμημάτων πριν από οποιαδήποτε εργασία συρραφής ρωγμών στους τοίχους, διότι υπάρχει ο κίνδυνος περαιτέρω αστοχιών λόγω της έκτασης των εργασιών συρραφής των ρωγμών.



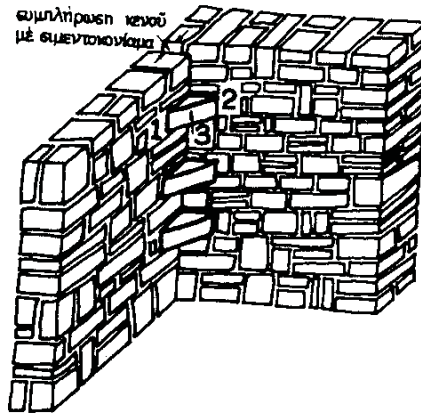
Σχήμα 24. Ελικοειδές μορφής σπλισμοί (από ανοξείδωτο χάλυβα), κατάλληλοι και για τη συρραφή ρωγμών

### **Συρραφή αποκολλημένων τοίχων**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους, η επαρκής σύνδεση μεταξύ των εγκαρσίων τοίχων είναι μια από τις βασικές προϋποθέσεις για την ορθή λειτουργία του κτιρίου και την αποφυγή τοπικών μηχανισμών κατάρρευσης. Στην περίπτωση που έχουν δημιουργηθεί ρωγμές αποκόλλησης ή έχει συντελεστεί (μερική) κατάρρευση στη θέση ένωσης εξωτερικών γωνιακών ή εσωτερικών τοίχων κάθετων μεταξύ τους τοίχων, χρησιμοποιείται η τεχνική της λεγόμενης “συρραφής” σχήμα 24. Ανάλογα με τον βαθμό της βλάβης ίσως απαιτηθεί και προσωρινή υποσύλωση ή στήριξη της τοιχοποιίας. Διακρίνονται οι κάτωθι περιπτώσεις αποκατάστασης των αποκολλημένων τοίχων :

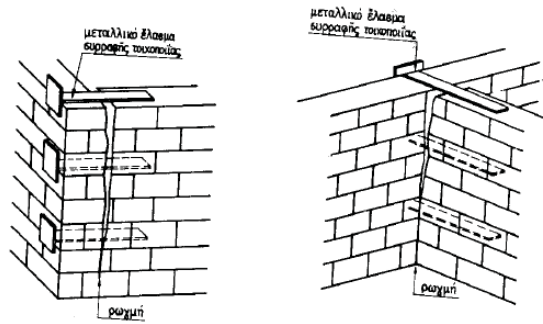
- Η προσθήκη λιθοσωμάτων συρραφής σχήμα 25, όπου τα στοιχεία που έχουν αστοχήσει αντικαθίστανται με νέα με παράλληλη πλήρωση των

κενών με συμβατό κονίαμα σταθερού όγκου. Η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται ανά 0,50 - 1,00μ και στις δυο παρειές του τοίχου.



Σχήμα 25. Λιθοσυρραφή στη γωνία τοίχου(ΟΑΣΠ 2001)

- Η εφαρμογή μεταλλικών στοιχείων σχήμα 26, όπως στοιχεία ελασμάτων ή τζινέτια τα οποία εφαρμόζονται μεταξύ των διαδοχικών στρώσεων των λίθων. Σε περίπτωση όπου στην τοιχοποιία δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν διακριτοί οριζόντιοι αρμοί, δύναται να γίνει χρήση μεταλλικών ράβδων μικρής διατομής. Επιπροσθέτως, η σύνδεση μεταξύ αποκολλημένων τοίχων μπορεί να επέλθει και με χρήση μεταλλικών γωνιών οι οποίες αγκυρώνονται κατάλληλα στους εγκάρσιους τοίχους.
- Μια ακόμη περίπτωση είναι η χύτευση υποστυλώματος οπλισμένου σκυροδέματος η οποία όμως εφαρμόζεται στις περιπτώσεις καθαίρεσης και ανακατασκευής. Το υποστύλωμα οπλίζεται με τουλάχιστον τον ελάχιστο διαμήκη οπλισμό 4Φ14 και συνδετήρες Φ8/20 ενώ η συνεργασία του με το σώμα της τοιχοποιίας επιτυγχάνεται με τη χρήση βλήτρων.



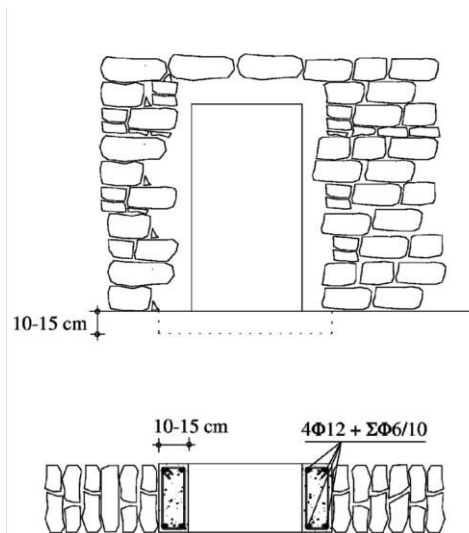
Σχήμα 26. Σύνδεση γωνίας με μεταλλικές λάμες (ΟΑΣΠ 2001)

- Η προσθήκη ελκυστήρων και η επιβολή ελαφράς προέντασης. Η μέθοδος των ελκυστήρων θα εξεταστεί σε επόμενη παράγραφο ωστόσο εδώ θα αναφερθεί ότι προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου αποτελεί η επαρκής αντοχή της τοιχοποιίας στη θέση προσαρμογής των ελκυστήρων και η εξασφάλιση της κατάλληλης διανομής των υψηλών τάσεων που αναπτύσσονται σε επαρκή επιφάνεια επί του τοίχου.

### **Κατασκευή ή επισκευή υπερθύρων**

Τα πρέκια στις κατασκευές καλούνται κατά κύριο λόγο να αναλάβουν ένα διπλό ρόλο. Αφενός οφείλουν να είναι σε θέση να αναλάβουν τις κατακόρυφες φορτίσεις της τοιχοποιίας πάνω από τα ανοίγματα κι αφετέρου να εξασφαλίσουν στα υπέρθυρα τη δυνατότητα να παραλάβουν εφελκυστικές δυνάμεις.

Επομένως είναι σκόπιμο κατά την διάρκεια των επεμβάσεων αποκατάστασης ενός κτιρίου να κατασκευάζονται νέα (συνήθη υλικά αποτελούν το σπλισμένο σκυρόδεμα, στοιχεία χάλυβα, ξυλεία ή σπλισμένη τοιχοποιία) ή να επισκευάζονται τα υφιστάμενα.



Σχήμα 27. Πλαίσιο ενίσχυσης ανοίγματος από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΟΑΣΠ 2001)

Σε αρκετές περιπτώσεις επιβάλλεται για λόγους δομικής ακεραιότητας η κατασκευή ενισχυτικού πλαισίου του ανοίγματος, συνήθως από σκυρόδεμα ή με χρήση μεταλλικών προφίλ όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα 27. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την επαρκή σύνδεση με την τοιχοποιία ώστε τα στοιχεία αυτά να συμβάλλουν στην ανάληψη των σεισμικών δυνάμεων και να μην παρατηρούνται φαινόμενα κρούσης και αποκόλλησης των στοιχείων μεταξύ τους.

### Οπλισμένο ή ινοπλισμένο επίχρισμα

Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με τις τεχνικές επισκευής με την προϋπόθεση ότι δεν απαιτείται η διατήρηση της όψης της λιθοδομής και με στόχο την αύξηση των αντοχών της τοιχοποιίας. Θεωρείται αποτελεσματική όταν εφαρμόζεται και στις δυο παρειές της τοιχοποιίας (μπορεί να εφαρμοστεί και μονόπλευρα) ενώ όταν πρόκειται να εφαρμοστεί σε λιθοδομή ορθό είναι να εξετάζεται προηγουμένως η ανάγκη ομογενοποίησης της. Η εφαρμογή επιτυγχάνεται κάνοντας χρήση είτε μεταλλικών πλεγμάτων (σχήμα 28) είτε με τη χρήση σύνθετων υλικών ( ινοπλισμένα πλέγματα υδραυλικής ασβέστου , με τσιμεντοειδή μήτρα, ανθρακονήματα κτλ) τα οποία αγκυρώνονται στον τοίχο με βλήτρα ή καρφιά).



Σχήμα 28. Ενίσχυση τοιχοποιίας με εφαρμογή οπλισμένου επιχρίσματος.

**Πλεονεκτήματα:**

- Μικρό βάρος.
- Υψηλή εφελκυστική αντοχή και ελαστικότητα.
- Αντοχή σε διάβρωση.
- Απλή τεχνική εφαρμογής τους, ευελιξία και ταχύτητα εκτέλεσης.
- Δεν επιβαρύνουν την κατασκευή με επιπλέον φορτία βαρύτητας.
- Λύνουν αρκετά αισθητικά προβλήματα, όταν για παράδειγμα απαιτείται η επέμβαση σε προσόψεις κτιρίων με αρχιτεκτονικές ιδιαιτερότητες.

**Μειονεκτήματα:**

- Μικρό μέτρο ελαστικότητας.
- Υψηλό κόστος.
- Μικρή παραμόρφωση αστοχίας.
- Τρόποι αγκύρωσης των άκρων των φύλλων.
- Μεγάλη ευπάθεια σε πυρκαγιά εξαιτίας της καταστροφής του υλικού της μήτρας (ρητίνη).

- Είναι γραμμικά ελαστικά μέχρι τη θραύση τους.

Ωστόσο στα μειονεκτήματα πρέπει να προστεθούν η οξείδωση των μεταλλικών στοιχείων οπλισμού δίχως την κατάλληλη προστασία, η αύξηση της αδράνειας της κατασκευής ιδιαίτερα σε μονόστρωτες ή δίστρωτες τοιχοποιίες, η μείωση της δυνατότητας αναπνοής του τοίχου και η πιθανότητα συγκέντρωσης και εγκλωβισμού υγρασίας στη διεπιφάνεια μεταξύ τοίχου και επιχρίσματος με αποτέλεσμα τη σταδιακή αποδιοργάνωση του υφιστάμενου κονιάματος και την επακόλουθη μείωση της αντοχής του τοίχου. Για αυτό θα πρέπει να καταβάλλεται ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων.

#### **Κατασκευή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος**

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται στην περίπτωση εκτεταμένων ζημιών στους τοίχους, όπου κρίνεται απαραίτητη η καθολική επέμβαση επισκευής - ενίσχυσής τους (ΟΑΣΠ 2001).

Η επέμβαση με χρήση μανδύων σκυροδέματος ήταν και εξακολουθεί να είναι μια πρακτική η οποία χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των κατασκευών τοιχοποιίας (σχήμα 29). Το σύνηθες πάχος των μανδύων σκυροδέματος κυμαίνεται περίπου στα 10 εκατοστά ενώ μπορούν να κατασκευαστούν είτε από εκτοξευμένο είτε από χυτό σκυρόδεμα.



Σχήμα 29. Ενίσχυση τοιχοποιίας με εφαρμογή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος

**Πλεονεκτήματα εκτοξευόμενου σκυροδέματος:**

- Είναι μεταξύ άλλων η πιο εύκολη εφαρμογή, η μη απαίτηση δημιουργίας ξυλοτύπου και η δυνατότητα μείωσης του απαιτούμενο πάχους ενίσχυσης.
- Έχει άριστη ικανότητα πρόσφυσής του με πλήθος υλικών.
- Επαυξάνει σημαντικά τη θλιπτική, εφελκυστική και διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας.
- Όταν εκτείνεται σε όλη την κατασκευή, προσδίδεται στην κατασκευή μονολιθικότητα σε μεγάλο βαθμό, γεγονός που βελτιώνει τη σεισμική της συμπεριφορά και συμβάλλει στην καλύτερη κατανομή της έντασης.

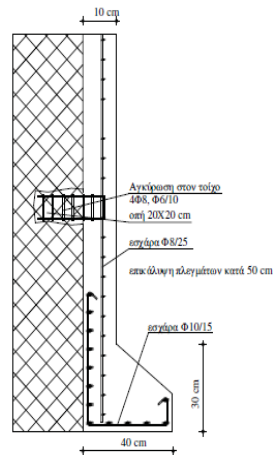
**Μειονεκτήματα:**

- Σημαντική αύξηση των νεκρών και σεισμικών φορτίων της κατασκευής.
- Οι εκτεταμένες εργασίες υψηλού κόστους.



- Η αλλοίωση των όψεων του κτιρίου και η συγκέντρωση υγρασίας πίσω από την τοιχοποιία.

Όταν γίνεται χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος και η δημιουργία μανδύα πάχους μεγαλύτερου των 5 εκατοστών, ορθό είναι να κατασκευάζονται με διακοπτόμενες εκτοξεύσεις όπου η κάθε στρώση σπλίζεται χωριστά.



Σχήμα 30. Μονόπλευρος μανδύας σκυροδέματος, ΟΑΣΠ 2001

Οι μανδύες διακρίνονται σε μονόπλευρους και αμφίπλευρους μανδύες και σε ισχυρά και ελαφρά σπλισμένους. Η σύνδεσή τους με το σώμα του τοίχου επιτυγχάνεται είτε μέσω αγκυρίων είτε με την διάνοιξη σπών στην τοιχοποιία κατάλληλα σπλισμένων. Προτιμάται όπου είναι εφικτό η δημιουργία αμφίπλευρου μανδύα καθώς κρίνεται πιο αποτελεσματικός. Η εφαρμογή μόνο στην μια παρειά μπορεί να καταστήσει αναποτελεσματική την τεχνική και θα πρέπει να εξετάζεται ως επιμέρους στοιχείο εσωτερικού σκελετού σε συνδυασμό με επεμβάσεις στην στάθμη θεμελίωσης. Συνήθως μονόπλευροι μανδύες (σχήμα 30) πραγματοποιούνται όταν υπάρχουν περιορισμοί ή πρακτικές δυσκολίες, όπως π.χ. έλλειψη δυνατότητας εκτέλεσης εργασιών στους εσωτερικούς χώρους ή τοιχοποιία εφαπτόμενη σε όμορη ιδιοκτησία κ.λ.π.

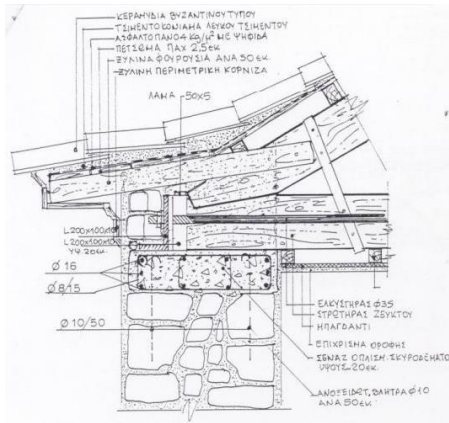
Επισκευή ή κατασκευή διαζωμάτων - διαφραγμάτων

Όπως έχουμε αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ύπαρξη διαζωμάτων και διαφραγμάτων επαρκούς δυστένειας είναι κάτι το οποίο βελτιώνει αισθητά τη συμπεριφορά των κατασκευών έναντι σεισμικών δράσεων. Επομένως στις περιπτώσεις όπου επιδιώκεται μια καθολική αύξηση της φέρουσας ικανότητας του

κτηρίου έναντι σεισμού, βελτίωση της όποιας ήδη υπάρχουσας διαφραγματικής λειτουργίας καθώς και η εξασφάλιση της ομοιόμορφης κατανομής των φορτίων στους πεσσούς με παράλληλη την βελτίωση ενδογενών προβλημάτων που μπορεί να εντοπίζονται ( πχ , προβλήματα σύνδεσης τοίχων, πατωμάτων κ.ά.), η επιλογή της επισκευής ή εκ νέου κατασκευής διαζωμάτων και διαφραγμάτων θα λέγαμε ότι αποτελεί μονόδρομο. Τα διαζώματα στις παλαιότερες κατασκευές συνήθως κατασκευάζονταν από ξυλεία ενώ στις νεότερες μπορούν να αποτελούνται από σκυρόδεμα ή χάλυβα. Η επιλογή του υλικού καθορίζεται από ορισμένες παραμέτρους όπως ο χαρακτήρας του κτιρίου, τα υλικά και η αντοχή της τοιχοποιίας, τα υλικά των υπερκείμενων πατωμάτων κ.λπ. Διαζώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα εΐθισται να κατασκευάζονται στην στέψη της κατασκευής τα οποία καταλαμβάνουν το πλήρες πάχος της τοιχοποιίας ώστε να βελτιώσουν την σύνδεση της στέγης με την τοιχοποιία. Για την σύνδεση των στοιχείων ξυλείας που συνήθως αποτελούν τον φέρων οργανισμό της στέγης, μπορεί, εκτός της απευθείας έδρασής τους στο διάζωμα (με την κατάλληλη αγκύρωσή της), να ενσωματώνονται εντός του σκυροδέματος ειδικές θέσεις έδρασης (φωλιές) από μεταλλικά στοιχεία ενώ ακόμα να ενισχύονται αν κριθεί απαραίτητο με επιπρόσθετα στοιχεία ικανά να παραλάβουν εφελκυστικές τάσεις.



Σχήμα 31. Οριζόντιο διάζωμα στην στέψη τοίχου. Διακρίνονται οι θέσεις έδρασης των δοκών που θα αποτελέσουν το φέρων οργανισμό της στέγης



Σχήμα 32. Σχέδιο λεπτομέρειας διαζώματος στην στέψη τοίχου, πηγή Ανδρονίκη Μιλτιάδου, ΤΕΕ 2016.

Τέλος, τα διαζώματα σκυροδέματος δεν θα πρέπει να κατασκευάζονται ιδιαίτερα ογκώδη καθώς προβλήματα ανάπτυξης υψηλών διατμητικών τάσεων στην διεπιφάνεια διαζώματος και τοίχου μπορεί να αναπτυχθούν τα οποία σε περίπτωση μη επαρκούς σύνδεσης των στοιχείων θα επιφέρουν βλάβες στην τοιχοποιία ( ολίσθηση με ταυτόχρονη αποδόμηση του τοίχου).

Διαζώματα οπλισμένου σκυροδέματος συνηθίζονταν να κατασκευάζονταν και σε ενδιάμεσες στάθμες τοιχοποιίας και στις θέσεις έδρασης των πατωμάτων (σχήμα 31, 32). Αυτή η τακτική εφαρμόζεται συνήθως σε τοιχοποιίες αυξημένου πάχους καθώς απαιτείται τοπική εκκοκαφή για την ενσωμάτωση του διαζώματος. Ωστόσο, αστοχίες που έχουν συντελεστεί τεκμηριώνουν την ακαταλληλότητα μιας τέτοιας τεχνικής η οποία θα πρέπει να αποφεύγεται. Αντί αυτού του τύπου διαζώματος μπορεί να γίνει η χρήση μεταλλικών στοιχείων (συνήθως 2 προφίλ UPN εκατέρωθεν του τοίχου) τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με χαλύβδινες ράβδους, ή εναλλακτικά στοιχείων ξυλείας.

Διαφράγματα οπλισμένου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται όταν επιδιώκεται η σύνδεση των επιμέρους κατακόρυφων στοιχείων μεταξύ τους και παράλληλα επιδιώκεται αύξηση της δυσκαμψίας του συστήματος καθώς εξασφαλίζουν καλύτερη διαφραγματική λειτουργία. Η κατασκευή τους προϋποθέτει την ύπαρξη εσωτερικών φερόντων τοίχων σε κατάλληλη διάταξη και με αρκετή εναπομένουσα αντοχή. Συνήθως κατασκευάζονται στις υψηλότερες στάθμες με αντικατάσταση

των στοιχείων της στέγης οπότε και επιφέρεται αλλοίωση της αρχιτεκτονικής του υφισταμένου κτίσματος. Για την ορθή τους λειτουργία απαιτείται η ύπαρξη διαζώματος το οποίο τις περισσότερες φορές κατασκευάζεται εκ νέου.

Σε παλαιότερες επεμβάσεις ωστόσο, έχει παρατηρηθεί η σκυροδέτηση πλακών σκυροδέματος δίχως την πρότερη ενίσχυση της λιθοδομής (στην περίπτωση όπου αυτή ήταν χαμηλής αντοχής) και επιπροσθέτως δίχως τη λήψη μέτρων για την σωστή σύνδεση με την τοιχοποιία. Σε αρκετές από αυτές τις περιπτώσεις, το αποτέλεσμα της επέμβασης ήταν διαφορετικό από το αναμενόμενο με την εμφάνιση περαιτέρω βλαβών στην τοιχοποιία μέχρι και κατάρρευση τμημάτων αυτής.

Η κατασκευή των διαφραγμάτων οπλισμένου σκυροδέματος (όπως και προηγουμένως με τα διαζώματα) βρίσκει χώρο και σε ενδιάμεσες στάθμες για την ενίσχυση των υφισταμένων ξύλινων δαπέδων με (σκυροδέτηση μικρού πάχους πλάκα και ενσωμάτωσή της στο σώμα του τοίχου) αλλά και στην περίπτωση πλήρους αντικατάστασής των με ανάλογα προβλήματα όμως όπως της χρήσης διαζωμάτων και ενδεικτικά μετατροπή του προηγουμένως εύκαμπτου πατώματος σε ιδιαίτερα δύσκαμπτο το οποίο επιφέρει την αυξημένη σεισμική επιβάρυνσή του, εκτόξευση παρειάς τοιχοποιίας λόγω απομειωμένης αντοχής και λόγω φαινομένων κρούσης κ.λπ.

Πιο ορθό στις περιπτώσεις που μπορεί να αποφευχθεί η επιλογή των διαφραγμάτων σκυροδέματος σε ενδιάμεσες στάθμες, είναι η ενίσχυση των ήδη υπαρχόντων με διάφορες τεχνικές όπως η προσθήκη πρόσθετης στρώσης σανιδώματος και η προσθήκη μεταλλικών ελασμάτων ή ινοπλισμένων πολυμερών όπως φαίνεται παρακάτω σχήμα 33.



Σχήμα 33. Μεταλλικά ελάσματα σύνδεσης διαφράγματος με την τοιχοποιία, πηγή: Ανδρονίκη Μιλτιάδου, ΤΕΕ 2016.

### **Τεχνικές υψηλής στάθμης**

#### **Ενέσεις σε ρωγμές**

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που το άνοιγμα των ρωγμών της τοιχοποιίας δεν υπερβαίνει τα 10mm ενώ βρίσκει εφαρμογή σε τοιχοποιίες μεγαλύτερου πάχους. Δεν αυξάνει σημαντικά την αντοχή της τοιχοποιίας αλλά περισσότερο οδηγεί στην αποκατάσταση της αρχικής της αντοχής, εκτός εάν το ένεμα εισχωρήσει και πληρώσει τα κενά της τοιχοποιίας οπότε λαμβάνει χώρα ομογενοποίηση μάζας.

Με την τεχνική της ομογενοποίησης (σχήμα 34) εισάγεται ένεμα στη μάζα της τοιχοποιίας με στόχο την βελτίωση των μηχανικών της χαρακτηριστικών και όχι μόνο για την πλήρωση ενδεχόμενων ρωγμών. Ο σκοπός της επέμβασης είναι να μειωθεί κατά το δυνατόν περισσότερο ο όγκος των κενών και να ενισχυθεί η σύνδεση των δομικών στοιχείων, οπότε συνηθίζεται να εφαρμόζεται σε τοιχοποιίες με μεγάλο ποσοστό κενών και πυκνών ρηγματώσεων. Καθίσταται ιδιαίτερα αποδοτική για περιπτώσεις τρίστρωτων τοιχοποιιών ενώ είναι δυνατόν να

εφαρμόζεται σε επιλεγμένες περιοχές, κρίσιμες για τη συμπεριφορά της κατασκευής (π.χ. στις περιοχές με μεγάλες βλάβες, στις γωνίες των κτιρίων κ.λ.π.).



Σχήμα 34. Εκτέλεση ενεμάτων, πηγή Διαδίκτυο

Γενικά για την εφαρμογή της τεχνικής αυτής θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ενέματα σταθερού όγκου ώστε να μην υπάρξει τροποποίηση της εντατικής κατάστασης της τοιχοποιίας, να αποφεύγεται η απόμιξη, τα ενέματα να διακρίνονται από επαρκή ρευστότητα ώστε να εισχωρούν και στις λεπτότερες ρωγμές και εν γένει να μη παρουσιάζεται σημαντική συστολή ξήρανσης διότι ενδέχεται να ανοίξουν οι ρωγμές πριν από οποιαδήποτε επιβολή φορτίου. Η ομογενοποίηση δεν τροποποιεί την μορφολογία της κατασκευής αλλά στην περίπτωση που στην επιφάνεια της τοιχοποιίας υπάρχουν έργα ιδιαίτερης σημασίας ( πχ αγιογραφίες) πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την προστασία τους. Παρά το υψηλό κόστος, πρόκειται για μια τεχνική ιδιαίτερα αποδοτική αν τηρηθούν οι προβλεπόμενες διαδικασίες προετοιμασίας των υποβάθρων και η σωστή διαδικασία εκτέλεσής της.

### **Προσθήκη ριζοπλισμών**

Πρόκειται για μια μέθοδο σταθεροποίησης της τοιχοποιίας με την είσοδο χαλύβδινων ράβδων οπλισμού ή αγκυρίων σύμφωνα με καθορισμένο τρόπο στο σώμα της τοιχοποιίας. Βασική επιδίωξη είναι μέσω της δημιουργίας στην μάζα της λιθοδομής ενός πλέγματος οπλισμών, να επιτευχθεί η μεταφορά δυνάμεων

μέσω των συνάφειας που αναπτύσσεται. Εφαρμόζεται συνήθως σε παλιές λιθοδομές μεγάλου πάχους (0,5-2,00 m ) ως τοπική ενίσχυση ή και καθολική ενίσχυση ώστε να βελτιωθεί η αντίστασή τους έναντι θλιπτικών (μικρή αύξηση), διατμητικών (σημαντική αύξηση ανάλογα με την πυκνότητα τοποθέτησης και διάμετρο ριζοπλισμών) και εφελκυστικών δυνάμεων αλλά και για την σύνδεση χαλαρών τμημάτων μεταξύ τους. Ωστόσο πρόκειται για μια μέθοδο η οποία αλλοιώνει την δομή της τοιχοποιίας κατά τρόπο μη αντιστρέψιμο, ενώ έχει αποδειχθεί να είναι μια τεχνική με αμφίβολο αποτέλεσμα. Σε περίπτωση διάβρωσης του οπλισμού είναι πολύ δύσκολη η αντικατάστασή τους και μπορεί να προκληθούν βλάβες έως και πλήρη διάλυση της τοιχοποιίας από την διόγκωση των οπλισμών. Για τους λόγους αυτούς οι σύγχρονοι κανονισμοί ( πχ Νέος Ιταλικός Κανονισμός) προτείνουν να περιορισθεί η χρήση της προσθήκης ριζοπλισμών στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει άλλη λύση.

### **Προσθήκη ελκυστήρων ή τενόντων**

Η προσθήκη ελκυστήρων αποτελεί έναν δημοφιλή τρόπο ενίσχυσης των κατασκευών που χρησιμοποιούνταν ανά τις χρονικές περιόδους. Παλαιότερα ξύλινα στοιχεία καλούνταν να ενισχύσουν την κατασκευή και να αναλάβουν τις εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονταν σε αυτήν (πχ στην γένεση των τόξων θολωτών κατασκευών) ενώ πλέον χρησιμοποιούνται μεταλλικά στοιχεία επί τω πλείστων.

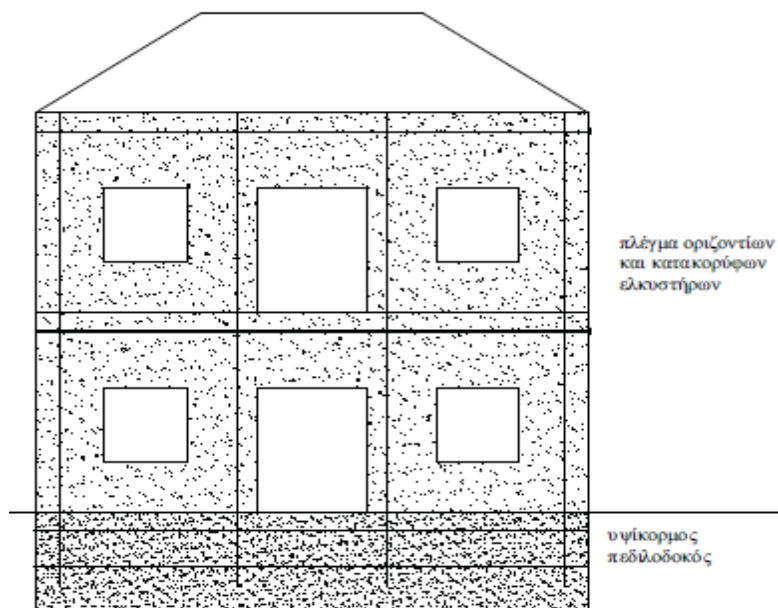
Η χρήση ελκυστήρων βοηθά στην αποφυγή ανάπτυξης τοπικών μηχανισμών αστοχίας, στην βελτίωση της σύνδεσης μεταξύ τοίχων με πλημμελή σύνδεση, δρα ευνοϊκά σε περίπτωση αποκολλημένων τοίχων και αποδιοργανωμένων γωνιών τοιχοποιίας, συμβάλλει στην ανάληψη των ωθήσεων που προκαλούνται από τα

τοξωτά στοιχεία (θόλοι, αψίδες) ενώ τέλος μπορεί να θεωρηθεί ότι αυξάνει σε έναν βαθμό την εντός κι εκτός επιπέδου αντοχή της τοιχοποιίας. Για την χρήση αυτής της τεχνικής πρέπει η τοιχοποιία να έχει ένα ικανοποιητικό πάχος ( > 45 cm ), παράγοντας ο οποίος καθορίζει και τον αριθμό των τενόντων που θα διαταχθούν στο ίδιο ύψος τοιχοποιίας. Η χρήση ελκυστήρων ως μέτρο επέμβασης μπορεί να καταταχθεί και στα άμεσα μέτρα υποστήριξης κτηρίων που έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες διότι πέραν της ευκολίας τοποθέτησης παρουσιάζουν την δυνατότητα εύκολης αφαίρεσης για την εφαρμογή μόνιμων μέτρων που πιθανώς θα προκύψουν από μεταγενέστερη μελέτη.

Συνήθως αποτελεί μια επί μέρους λύση σε μια σειρά τεχνικών ενίσχυσης που λαμβάνουν μέρος στην αποκατάσταση της δομικής ακεραιότητας του κτίσματος. Στην πιο συνήθη περίπτωση οι ελκυστήρες τοποθετούνται οριζόντιοι κάτω από τις στάθμες εδράσεων της στέγης ή των δαπέδων με αγκύρωση στις γωνίες των τοίχων και σπανιότερα κατακόρυφοι στις γωνίες κτηρίων ή καθ' ύψος των πεσσών. Αν στους ελκυστήρες εφαρμοστεί εκ των προτέρων εφελκυσμός (προένταση) τότε ονομάζονται τένοντες και κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα προέντασης. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται όπως είπαμε για την περιμετρική περίσφιξη τοιχοποιιών, την περίσφιξη τυμπάνων τρούλων (δακτυλιοειδείς) ενώ ελκυστήρες μπορούν να εφαρμοστούν και για ενίσχυση της θεμελίωσης (δημιουργία υψίκορμων πέδιλοδοκών) (σχήμα 35.)

Όταν κρίνεται αναγκαία η κατακόρυφη προένταση των πεσσών, απαιτείται προηγουμένως ενίσχυση του θεμελίου με την κατασκευή περιμετρικής ζώνης οπλισμένου σκυροδέματος στην οποία αφήνονται οπές που καταλήγουν στην εξωτερική κατακόρυφη παρειά ώστε να διέλθουν οι τένοντες και να αγκυρωθούν στο σκυρόδεμα. Η ύπαρξη ενός συστήματος οριζόντιων και κατακόρυφων στοιχείων επιτυγχάνει βελτίωση της συμπεριφοράς της τοιχοποιίας έναντι σεισμικών φορτίσεων αυξάνοντας την αντοχή της τοιχοποιίας σε θλίψη και σε διάτμηση χάριν της περίσφιξης που επιβάλλεται από την χρήση τους.





Σχήμα 35. Διάταξη οριζόντιων και κατακόρυφων ελκυστήρων (ΟΑΣΠ 2001)

Επιμέρους στοιχεία που συνθέτουν την τελική μορφή του ελκυστήρα, είναι

- α) το χαλύβδινο επιμήκες τμήμα (ράβδος),
- β) τις πλάκες αγκύρωσης οι οποίες είναι απαραίτητες για την ομαλή μεταφορά των συγκεντρωμένων αναπτυσσόμενων τάσεων στην τοιχοποιία
- γ) από τις συνδέσεις μεταξύ των ράβδων.

Η χαλύβδινη ράβδος συνήθως είναι κυκλικής διατομής. Εναλλακτικά και αντί για χρήση ελκυστήρων κυκλικής διατομής, στην περίπτωση ενίσχυσης του φορέα της στέγης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταλλικές λάμες διατεταγμένες χιαστί ανά καθορισμένες αποστάσεις μεταξύ των ζευκτών (πχ ανά τρία φατνώματα ζευκτών σε επιμήκης στέγες)



Σχήμα 36. Ενίσχυση στέγης με χιαστί λάμες, ΒΑ πτέρυγα κελλιών Ι. Μονής Οσίου Λουκά.

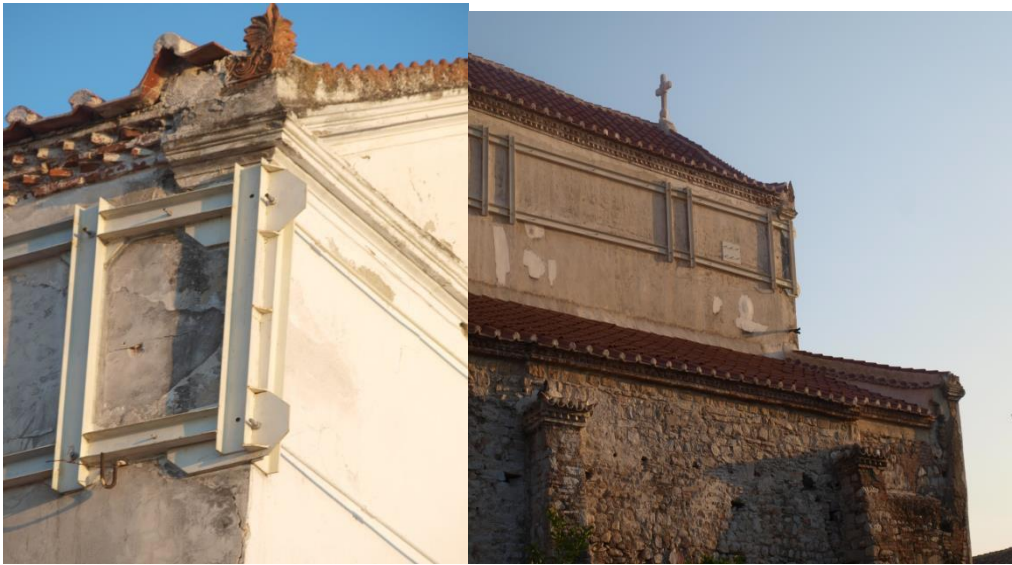
Μια ακόμη τεχνική είναι να χρησιμοποιούνται μεταλλικές δοκοί τετραγωνικής ή ορθογωνικής διατομής όπως φαίνονται στο σχήμα 37 . Ωστόσο έχει παρατηρηθεί έπειτα από έντονες σεισμικές καταπονήσεις ότι η χρήση κοίλων μεταλλικών διατομών έχουν επιφέρει τοπικές αστοχίες στις θέσεις ενσωμάτωσής τους στον τοίχο λόγω ανάπτυξης φαινομένων κρούσης - αποκόλλησης.



Σχήμα 37. Ενίσχυση μέσω μεταλλικών κοίλων διατομών, πηγή: Διαδίκτυο Ε. Δεληνικόλα

Όσο αφορά τις πλάκες αγκύρωσης μπορούν να διακριθούν πολλές μορφές όπως

ενδεικτικά κυκλικές, ορθογωνικές ή τετραγωνικές, ενισχυμένες με την ύπαρξη νευρώσεων, λεπίδας, γωνιακοί κ.ά. (σχήμα 38). Ενώ για τις συνδέσεις μεταξύ των ράβδων όταν υπολείπονται του απαιτούμενου μήκους (ή απαιτείται η προέντασή τους) μπορούν να εντοπιστούν συνήθεις τύποι συνδέσεων όπως η διχάλα, μπουλόνια εφελκυσμού κ.α.



Σχήμα 38. Πλάκα αγκύρωσης, Εναλλακτική μορφή εξωτερικής τοποθέτησης, Ναός Αγίας Παρασκευής, Χαλκίδα, πηγή: σημειώσεις διαλέξεων μεταπτυχιακού προγράμματος Πολυτεχνείο Κρήτης.

Για την διαστασιολόγηση των ελκυστήρων γίνεται η παραδοχή ότι οι χαλύβδινες ράβδοι καλούνται να παραλάβουν πλήρως την σεισμική ένταση ενώ ταυτόχρονα πρέπει να εμποδίζουν και τις αντίστοιχες παραμορφώσεις. Παράγοντες που επηρεάζουν επομένως την τελική επιλογή των χαρακτηριστικών του ελκυστήρα είναι η γεωμετρία και η αντοχή της ράβδου, η αντοχή της τοιχοποιίας και η αντοχή της πλάκας αγκύρωσης. Η τελική αντοχή του ελκυστήρα σε εφελκυσμό προκύπτει από την ελάχιστη τιμή των επιμέρους αντοχών. Ως αντοχή της τοιχοποιίας εδώ νοείται η ικανότητα να μπορεί να αναλάβει τις μεταφερόμενες τάσεις από τις πλάκες αγκυρώσεων δίχως να παρουσιαστούν προβλήματα όπως για παράδειγμα

αποκόλληση της επιφάνειας του τοίχου.

Μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι ελκυστήρες και οι τένοντες υπόκεινται σε χαλάρωση με την πάροδο του χρόνου λόγω ερπυσμού, γι' αυτό και επιβάλλεται συστηματικός έλεγχος, καθώς επίσης και το γεγονός ότι οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται παρουσιάζουν προβλήματα διάβρωσης τα οποία πρέπει να υπερπηδηθούν.

Εκτός των αναφερθέντων τεχνικών μπορεί κάποιος να προσθέσει και την λύση της περίσφυξης με μεταλλικά στοιχεία είτε με σύνθετα υλικά όπως τα ινοπλισμένα πολυμέρη, την ενίσχυση του εδάφους και των θεμελιώσεων, την χρήση σεισμικών αποσβεστήρων κ.α.

Πολλές φορές για την επιτυχή αποκατάσταση μιας κατασκευής από φέρουσα τοιχοποιία, σε αρκετές περιπτώσεις, επιβάλλεται η ταυτόχρονη εφαρμογή διαφόρων τεχνικών επισκευής και ενίσχυσης κατάλληλα συνδυασμένων μεταξύ τους. Το τελικό σχήμα επέμβασης θα πρέπει να συνάδει με τα υφιστάμενα προβλήματα (παθολογία και βλάβες) του φέροντα οργανισμού του κτηρίου και όταν είναι δυνατή η εξέταση εναλλακτικών σεναρίων τότε αυτά θα πρέπει να αξιολογούνται με τεχνικοοικονομικά και αισθητικά κριτήρια. Είναι κατανοητό ότι η έκταση και η δυσκολία εφαρμογής της κάθε επέμβασης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και το κόστος της. Επομένως το τελικό κόστος μιας επέμβασης θα πρέπει να είναι σε ισορροπία με την προστιθέμενη αξία που θα προσδώσει στην κατασκευή.

Στον πίνακα 3 επιχειρείται μια συνοπτική ταξινόμηση των τεχνικών επισκευής και ενίσχυσης σύμφωνα με το βαθμό αλλοίωσης των όψεων του κτηρίου και του βαθμού αναστρεψιμότητάς τους.

Τεχνικές Επισκευής και Ενίσχυσης	Αλλοίωση Αρχιτεκτονικών Όψεων			Βαθμός Αναστρεψιμότητας		
	Σημαντικά	Μερικώς (Διακριτές)	Καθόλου	Πλήρως	Μερικώς	Καθόλου
Βαθύ αρμολόγημα		X			X	
Ενέσεις σε ρωγμές			X			X
Συρραφή μεγάλων ρωγμ.		X			X	
Τοπική ανακατασκευή		X			X	
Συρραφή αποκολ. Τοίχων		X			X	
Οπλισμένο επίχρισμα	X				X	
Μανδύες	X					X
Διαζώματα		X			X	
Ομογενοποίηση μάζας			X			X
Ελκυστήρες – Τένοντες		X		X		
Ριζοπλισμοί			X			X
Αβαθής υποθεμελιώσεις			X			X
Βαθείς θεμελιώσεις			X			X
Ενίσχυση εδάφους			X			X

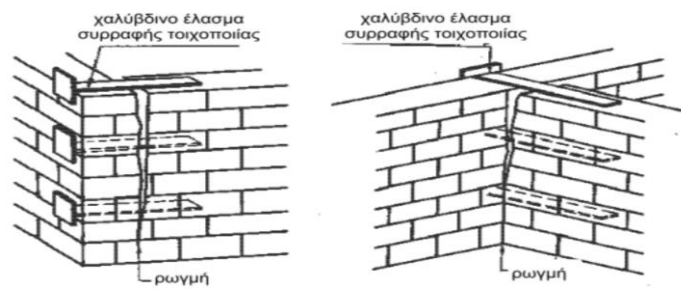
Πίνακας 3. Τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης και οι επιδράσεις τους στην κατασκευή (Μίλτων Δημοσθένους, ΤΕΕ 2009)

#### Προσθήκη νέων στοιχείων ή φορέα στην υφιστάμενη κατασκευή

Μια άλλη τεχνική η οποία εφαρμόζεται είναι η εσωτερική κατασκευή φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα (σχήμα 39) ή από μεταλλικούς φορείς (σχήμα 40) για την ανάληψη δράσεων σεισμικής έντασης με σκοπό την αναστολή της τρωτότητας του κτιρίου. Όταν επιχειρείται μια τέτοια λογική ενίσχυσης θα πρέπει να μελετάται εκτός των άλλων η σύνδεση του νέου φορέα με τον υφιστάμενο καθώς και να εξετάζεται η πιθανότητα επιβολής περαιτέρω βλαβών που ενδέχεται να επιφέρει η “αυτόνομη” συμπεριφορά του νέου φορέα υπό σεισμική καταπόνηση στο υφιστάμενο κέλυφος.



Σχήμα 39. Ενίσχυση θεμελίωσης με οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχήμα 40. Τοποθέτηση χαλύβδινων ελασμάτων στις γωνίες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Τα επόμενα βήματα μετά την τεκμηρίωση και την αποτύπωση της κατασκευής και της διαμόρφωσης μιας σαφούς εικόνας για τον φέροντα οργανισμό και τις λεπτομέρειες είναι τα εξής:

1. Προσομοίωση της κατασκευής: Χρησιμοποιώντας λογισμικό προσομοίωσης, ή προηγμένα πακέτα ανάλυσης, προσομοιώνονται οι διαδικασίες κατασκευής για να αξιολογηθεί η εφικτότητα και η αποτελεσματικότητά τους πριν από την πραγματική κατασκευή.
2. Επιβολή φορτίων και συνδυασμών φορτίσεων: Ορίζονται και επιβάλλονται τα φορτία που αναμένεται να δρουν στον φέροντα οργανισμό και προσδιορίζονται οι διάφοροι συνδυασμοί φορτίων που μπορεί να επηρεάσουν την αντοχή και τη συμπεριφορά του.
3. Ανάλυση για τον προσδιορισμό εντατικών μεγεθών και παραμορφώσεων: Χρησιμοποιώντας μεθόδους ανάλυσης, όπως το πεπερασμένων στοιχείων, υπολογίζονται τα εντατικά μεγέθη και οι παραμορφώσεις.

Τέλος με βάση τα εντατικά μεγέθη και τις παραμορφώσεις που προκύπτουν από την ανάλυση γίνονται οι αντίστοιχοι έλεγχοι ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεσματικότητας, (ή έλεγχοι για τους αντίστοιχους στόχους αποτίμησης ή ανασχεδιασμού).

Κατά την προσομοίωση του κτηρίου κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό το κτίριο αναλύεται ως ένας χωρικός φορέας, αποτελούμενο από επιμέρους φορείς και δομικά στοιχεία. Υπό κάποιες προϋποθέσεις που αναφέρονται στους κανονισμούς, (ΕΚ8-1, ΚΑΔΕΤ.), μπορούν να χρησιμοποιηθούν και δυσδιάστατα προσομοιώματα. Στο προσομοίωμα της κατασκευής τα δομικά στοιχεία της προσομοιώνονται με γραμμικά (δοκοί, υποστυλώματα) ή επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία (πλάκες, τοιχία). Σε κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία μπορεί να γίνει χρήση επιφανειακών στοιχείων για την προσομοίωση ολόκληρης



της κατασκευής ή επίσης μπορεί να προσομοιωθεί με τη μέθοδο του ισοδυνάμου πλαισίου, (ΚΑΔΕΤ 2022).

Η προσομοίωση των συνοριακών συνθήκων με το έδαφος θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις πραγματικές συνθήκες στήριξης στο έδαφος. Σε κτίρια με υπόγειο που περιβάλλεται από μονολιθικά τοιχώματα, μπορεί να θεωρείται πλήρης πάκτωση για τα περιμετρικά στοιχεία του ισογείου στη βάση τους. Για τα εσωτερικά κατακόρυφα στοιχεία περιπτώσεις θα πρέπει να αιτιολογείται επαρκώς η ενδεχόμενη παραδοχή πάκτωσης στη στάθμη του ισογείου. Επιπλέον, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το θέμα της αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης, (ΑΕΘ). Η επιρροή της ΑΕΘ μπορεί να λαμβάνεται υπόψη για εκείνα τα κτίρια στα οποία η αύξηση της ιδιοπεριόδου λόγω ΑΕΘ οδηγεί σε αύξηση των φασματικών επιταχύνσεων. Για τα υπόλοιπα κτίρια επιτρέπεται να αγνοείται η επιρροή της ΑΕΘ. Η προσομοίωση της επιρροής της ΑΕΘ μπορεί να πραγματοποιηθεί με απλοποιημένη μέθοδο που περιγράφεται στον κανονισμό είτε με άλλη δόκιμη και βαθμονομημένη μεθοδολογία από την βιβλιογραφία.

Κάποια επιμέρους τμήματα του φέροντος οργανισμού ενός κτιρίου, καθώς και τα μεμονωμένα δομικά στοιχεία που επηρεάζουν τη δυσκαμψία και την κατανομή της έντασης στο κτίριο, ή που φορτίζονται λόγω των πλευρικών μετακινήσεων του κτιρίου, μπορεί κατά την αποτίμηση ή τον ανασχεδιασμό να διακρίνονται σε «κύρια» (ή «πρωτεύοντα») και σε «δευτερεύοντα». Πρωτεύοντα ή κύρια θα χαρακτηρίζονται τα στοιχεία ή οι επιμέρους φορείς που συμβάλλουν στην αντοχή και ευστάθεια του κτιρίου υπό σεισμικά φορτία. Τα υπόλοιπα φέροντα στοιχεία ή επιμέρους φορείς θα χαρακτηρίζονται ως δευτερεύοντα. Στο προσομοίωμα που θα χρησιμοποιηθεί κατά τους υπολογισμούς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλα τα φέροντα στοιχεία κύρια και δευτερεύοντα.

Για κάθε κύριο δομικό στοιχείο, το οποίο θα ενισχυθεί θα πρέπει να



χρησιμοποιούνται οι διορθωτικοί συντελεστές προσομοιώματος, ή αλλιώς συντελεστές μονολιθικότητας που αφορούν τόσο την αντίσταση του στοιχείου όσο και τη δυσκαμψία. Όταν πρόκειται να γίνει μια ανελαστική ανάλυση τότε η μείωση της δυσκαμψίας και της αντίστασης των κύριων και των δευτερευόντων στοιχείων στην μετελαστική φάση της απόκρισής τους θα προσομοιώνεται άμεσα, με χρήση κατάλληλων καταστατικών νόμων.

Στο προσομοίωμα σε περίπτωση μη γραμμικών αναλύσεων θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται και οι συνδέσεις οι οποίες είναι ασθενέστερες, ή λιγότερο πλαστικές από τα στοιχεία τα οποία συνδέουν.

Οι τοιχοποιίες πλήρωσης θα προσομοιώνεται ως διαγώνιοι θλιπτήρες. Τα μηχανικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους μπορούν να αναζητηθούν στους κανονισμούς επισκευών.

Για την επίλυση των κατασκευών κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό μπορούν να ακολουθηθούν διάφορα είδη ανάλυσης. Οι μέθοδοι για την ανάλυση που μπορούν να χρησιμοποιούνται στη φάση της αποτίμησης και του ανασχεδιασμού σύμφωνα με τον ΚΑΔΕΤ είναι:

- Ελαστική, ισοδύναμη, στατική ανάλυση
- Ελαστική δυναμική ανάλυση με καθολικό δείκτη συμπεριφοράς ( $\alpha$ ). Πρόκειται για την ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης, κατά τον ΕΚ 8-1.
- Ανελαστική στατική ανάλυση.
- Ανελαστική δυναμική ανάλυση.

Η κάθε μέθοδος ανάλυσης που αναφέρθηκε έχει συγκεκριμένες προϋποθέσεις εφαρμογής οι οποίες αναφέρονται στον ΕΚ 8-3 και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν πληρούνται αυτές προϋποθέσεις. Θα πρέπει λοιπόν πριν την εφαρμογή της κάθε μεθόδου να ελέγχεται αν τηρούνται οι προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου. Συνοπτικά θα αναφερθούν ορισμένα βασικά στοιχεία για την κάθε μια.

Η ελαστική στατική ανάλυση καθώς και η ιδιομορφική ανάλυση φάσματος μπορεί να εφαρμοσθεί με θεώρηση γραμμικά ελαστικού προσομοιώματος για τον φορέα, προκειμένου να προσδιοριστεί η κατανομή των δυνάμεων στον φέροντα οργανισμό, και οι περιοχές όπου παρουσιάζεται συγκέντρωση τάσεων.

Σε περίπτωση εφαρμογής ανελαστικής ανάλυσης πρέπει να προηγείται η ελαστική, με στόχο να προσδιοριστούν οι περιοχές όπου αναμένεται να υπάρξει συγκέντρωση παραμορφώσεων και πρέπει να προβλεφθεί η θεώρηση κατάλληλων ανελαστικών ιδιοτήτων στο προσομοίωμα. Επιπρόσθετα, στις περιπτώσεις που έχει αποφασιστεί να γίνει ενίσχυση, μπορεί μόνο για τους σκοπούς της αποτίμησης να γίνει προσεγγιστική αναλυτική εκτίμηση της έντασης σε κρίσιμα στοιχεία του φορέα, χωρίς λεπτομερή ανάλυση προσομοιώματος του συνόλου του κτιρίου, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις η αποτίμηση είναι δυνατόν να επιτευχθεί, εκτός από τη χρήση αμιγώς αναλυτικών μεθόδων, με εμπειρικές μεθόδους, υπό τις κατάλληλες προϋποθέσεις.

Η Ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση αποτελεί τη βασική μέθοδο αναφοράς για τη σεισμική αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό. Η ανάλυση για ισοδύναμα στατικά φορτία γίνεται για τον υπολογισμό και των δυνάμεων και των παραμορφώσεων. Μπορούν να θεωρούνται δύο εναλλακτικές κατανομές των οριζόντιων σεισμικών φορτίων καθ' ύψος του δομήματος: (α) ανεστραμμένη τριγωνική κατανομή καθ' ύψος του κτηρίου και (β) ομοιόμορφη κατανομή οριζόντιων σεισμικών ωθήσεων στο ύψος του κτιρίου.

Η θεώρηση ομοιόμορφης καθ' ύψος κατανομής των αδρανειακών σεισμικών δυνάμεων είναι πλησιέστερα στην πραγματικότητα σε κατασκευές όπου η μάζα είναι κατανεμημένη σε όλο το ύψος και όχι συγκεντρωμένη στις στάθμες των δαπέδων (όπως συμβαίνει στις πλαισιωτές κατασκευές με πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος). Στην περίπτωση απουσίας απαραμόρφωτων διαφραγμάτων η ομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή των σεισμικών φορτίων είναι περισσότερο ρεαλιστική.

Η Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης απαιτεί να λαμβάνεται υπόψη η απόκριση όλων των ιδιομορφών ταλάντωσης που συμβάλλουν σημαντικά στη συνολική απόκριση. Η απαίτηση θεωρείται ότι ικανοποιείται εάν μπορεί να αποδειχθεί τουλάχιστον ένα από τα ακόλουθα:

- Το άθροισμα των δρωσών ιδιομορφικών μαζών για τις ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη είναι τουλάχιστον το 75% της συνολικής μάζας του φορέα.
- Λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιομορφές με δρώσες ιδιομορφικές μάζες μεγαλύτερες από το 5% της συνολικής μάζας. Όταν χρησιμοποιείται χωρικό προσομοίωμα, οι παραπάνω συνθήκες πρέπει να ελέγχονται προς κάθε διεύθυνση.

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιείται για τον συνδυασμό των ιδιομορφών διαφοροποιείται αναλόγως του τύπου προσομοίωσης (προσομοίωση με «ισοδύναμα» πλαίσια είτε προσομοίωση με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία).

Στην περίπτωση χρήσης της μεθόδου ανελαστικής στατικής ανάλυσης, η σεισμική απαίτηση, προς σύγκριση με την διαθέσιμη ικανότητα, εκτιμάται σε όρους μετακίνησης στη στέψη (δηλ. την κορυφή) των φερόντων τοίχων, η οποία αντιστοιχεί στην μετακίνηση-στόχο για την υπό εξέταση σεισμική δράση.

Η μετακίνηση-στόχος ορίζεται ως η σεισμική απαίτηση σε όρους μετακίνησης που προκύπτει από το ελαστικό φάσμα απόκρισης για ένα ισοδύναμο σύστημα μίας ελευθερίας κινήσεως. Η μετατροπή του συστήματος σε ισοδύναμο σύστημα μίας ελευθερίας κίνησης μπορεί να γίνει βάσει του EN1998-1 Παράρτημα Β. Όσο αφορά κτίρια με απαραμόρφωτα διαφράγματα, ο κόμβος ελέγχου είναι το κέντρο βάρους των πλακών στην ανώτερη στάθμη των τοίχων (π.χ τελευταία πλάκα) . Σε κτίρια με εύκαμπτα ή ευπαραμόρφωτα διαφράγματα, ο κόμβος ελέγχου είναι ο περισσότερο μετακινούμενος κόμβος στη στέψη των τοίχων. Αυτός ο κόμβος είναι συνήθως στον υπέρθυρο δίσκο, πάνω από κάποιο άνοιγμα.

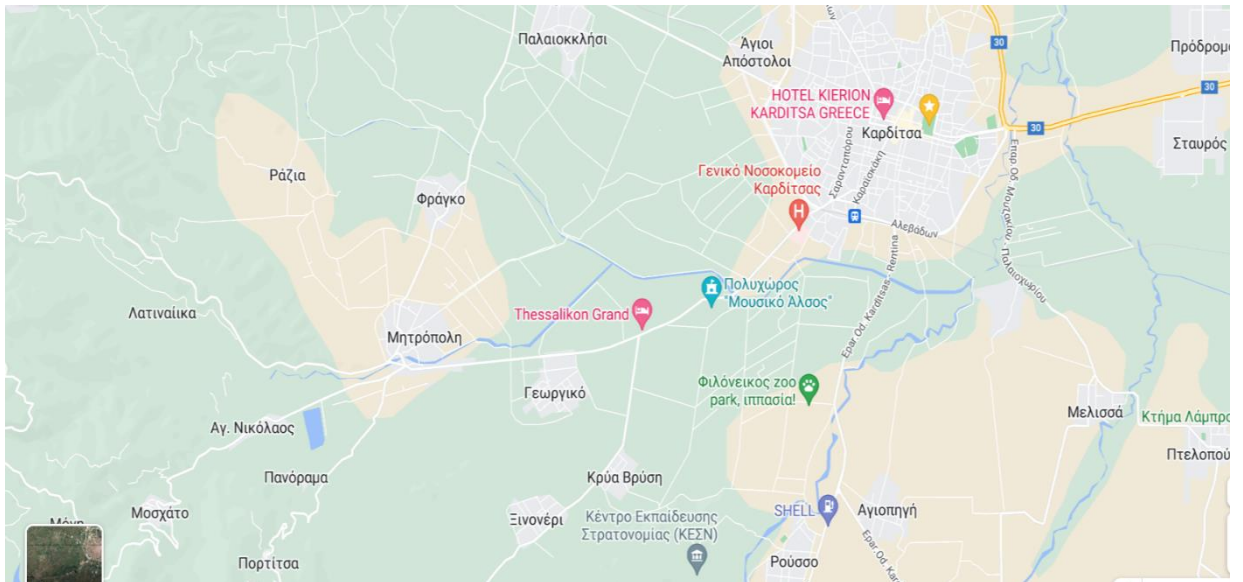
Η χρήση της ανελαστικής δυναμικής ανάλυσης (ανάλυση χρονοϊστορίας), δεδομένου ότι σε μη πλασειωτές κατασκευές παρουσιάζει μεγάλη πολυπλοκότητα, δεν συνιστάται παρά μόνον για εξαιρετικά σημαντικές μνημειακές κατασκευές και εφ' όσον το επιλέξει ο μελετητής.

Πρέπει να τονιστεί ότι απλοποιημένες μέθοδοι ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν εφόσον το κτήριο πληρεί τις βασικές προϋποθέσεις γεωμετρίας του κανονικού κτηρίου, όπως αυτό περιεγράφηκε στον κανονισμό ΚΑΔΕΤ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: ΙΣΤΟΡΙΚΟ–ΔΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ- ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

### 7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

Βγαίνοντας από την νοτιοδυτική έξοδο της πόλης της Καρδίτσας (προς την λίμνη Πλαστήρα) και σε απόσταση 6 με 7 χιλιομέτρων περίπου συναντάμε αριστερά μας το χωριό Γεωργικό το οποίο εφάπτεται σχεδόν με την επαρχιακή οδό Καρδίτσας Καστανιάς . ( εικόνα 14).

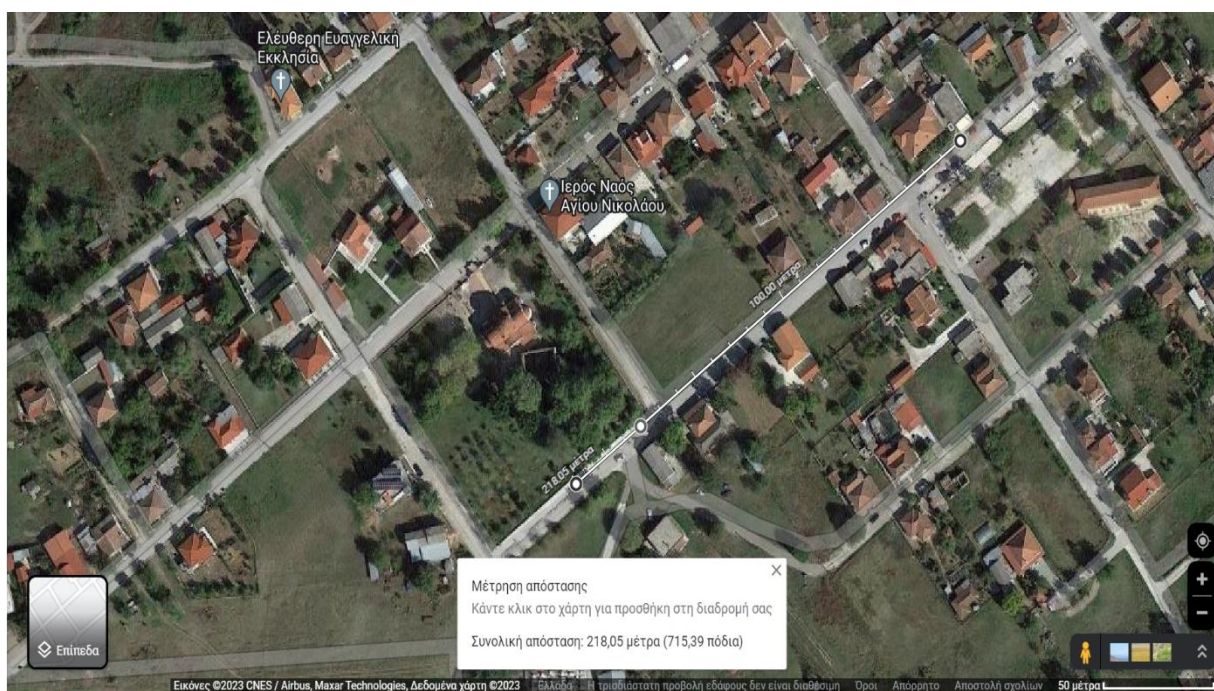


Εικόνα 14. Χάρτης περιοχής Γεωργικού Καρδίτσας απόσπασμα των χαρτών της Google.

Η παλιά ονομασία επί Τουρκοκρατίας ήταν Τσαούση και μετονομάστηκε σε Γεωργικό το 1927.

## 7.2 ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Ο ναός βρίσκεται στην άκρη της Νοτιοδυτικής πλευράς του οικισμού και σε απόσταση περίπου 220 μέτρων νοτιοανατολικά της κεντρικής πλατείας του χωριού Γεωργικού (εικόνα 15). Είναι κτισμένος σχεδόν στο κέντρο ενός οικοπέδου 8 στρεμμάτων περίπου. Στη Βορειοδυτική πλευρά έχει κτισθεί ο νέος Ναός του Αγίου Νικολάου (Εικόνα16). Η είσοδος στο χώρο γίνεται από δύο ευρύχωρες μεταλλικές θύρες, στη Βόρεια και Νότια πλευρά του οικοπέδου όπου συνδέονται με άνετο και μεγάλο διάδρομο. Γενικά ο περιβάλλον χώρος είναι ευρύχωρος, περιμανδρωμένος με τοίχιο από σπλισμένο σκυρόδεμα όπου στην στέψη του φέρει μεταλλικό κιγκλίδωμα (Εικόνα 17). Κατά την διάρκεια όλου του έτους είναι έντονη η βλάστηση, πράγμα που αποτελεί στοιχείο όσον αφορά την έντονη υγρασία της περιοχής.



Εικόνα 15 . Ο ναός βρίσκεται στην άκρη της Νοτιοδυτικής πλευράς του οικισμού και σε απόσταση περίπου 220 μέτρων Νοτιοανατολικά της κεντρικής πλατείας του χωριού Γεωργικού.





Εικόνα 16 . Στη βορειοδυτική πλευρά έχει κτισθεί ο νέος Ναός του Αγίου Νικολάου.





Εικόνα 17. Ο αύλιος χώρος του ναού είναι περιμανδρωμένος με τοίχιο από οπλισμένο σκυρόδεμα όπου στην στέψη του φέρει μεταλλικό κιγκλίδωμα.



### 7.3 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

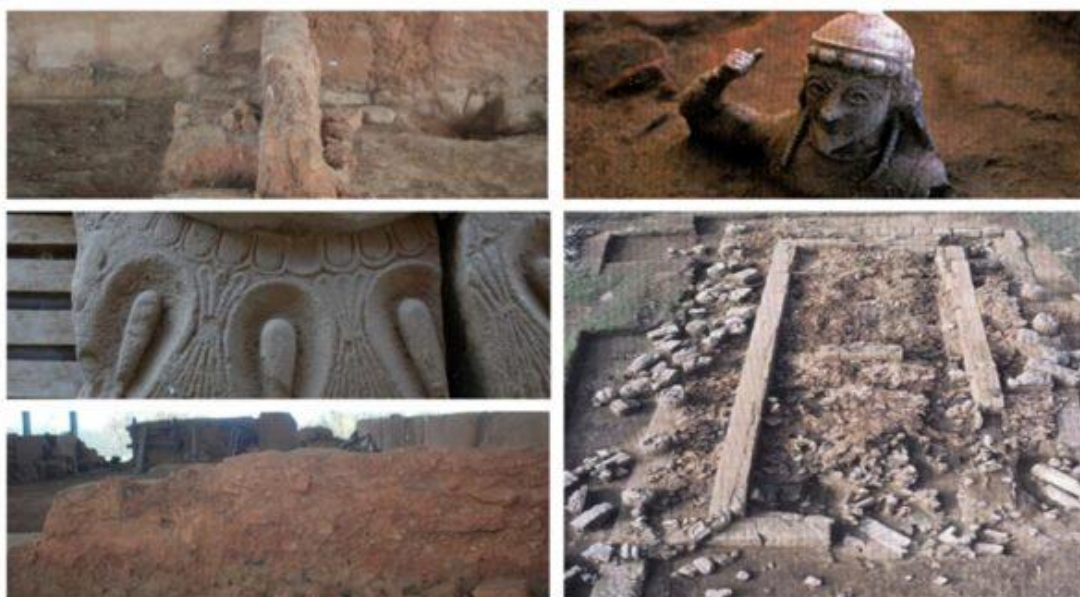
#### Ιστορική και κλασική εποχή

Αξίζει να αναφερθεί ο Θολωτός Τάφος Μυκηναϊκής περιόδου στα όρια των οικισμών Γεωργικού – Ξινονερίου, που χρονολογείται από τον 14ο αιώνα π.Χ. (εικόνα 18).



Εικόνα 18. Ο Μυκηναϊκός Θολωτός Τάφος του Γεωργικού – Ξινονερίου

Επίσης σημαντικό εύρημα μνημείου (Εικόνα 19) είναι ο Αρχαϊκός Ναός του Απόλλωνα που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 4 χιλιομέτρων από τον Θολωτό Τάφο Γεωργικού.



Εικόνα 19. Ο Αρχαϊκός Ναός του Απόλλωνα στη Μητρόπολη Καρδίτσας

Ο παλιός ναός του Αγίου Νικολάου Γεωργικού Καρδίτσας ανήκει στην ιερά Μητρόπολη Θεσσαλιώτιδος και Φαναριοφερσάλων.

Ο ναός του Αγίου Νικολάου είναι χτισμένος το 1902 μ.Χ. σύμφωνα με τα ανάγλυφα διακοσμητικά στοιχεία του υπερθύρου που βρίσκεται στην Βόρεια είσοδο του κτίσματος (εικόνα 20). Δε φαίνεται να υπάρχει παλαιότερη ανέγερση στο ίδιο σημείο που βρίσκεται ο σημερινός ναός. Κατά την προφορική παράδοση, ως το 1905 οι κάτοικοι του Γεωργικού εκκλησιάζονταν στο ναό του Αγίου Νικολάου Ξυνονερίου και ενταφιάζονταν στο παλιό κοιμητήριο αυτού, αφού πρώτα ο ιερέας θα διάβαζε την εξόδιο ακολουθία. Αξίζει να σημειωθεί ότι τους νεκρούς τους μετέφεραν από το Γεωργικό στο Ξυνονέρι με κάρα ή με «αραμπάδες».



Εικόνα 20. Ο ναός είναι χτισμένος το 1902 μ.Χ., σύμφωνα με τα ανάγλυφα διακοσμητικά στοιχεία του υπέρθυρου που βρίσκεται στην Βόρεια είσοδο του κτίσματος.



#### 7.4 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΟΣΗ

Στην ενότητα αυτή θα εξεταστεί ο ναός του Αγ. Νικολάου από τυπολογική και μορφολογική άποψη, με αναλυτική περιγραφή των διαφόρων αρχιτεκτονικών στοιχείων του. Θα παρουσιαστούν οι όψεις του κτίσματος, θα γίνει αναφορά στο είδος της τοιχοποιίας καθώς και στην περιγραφή του κάθε στοιχείου που συνθέτει το ναό και το χαρακτηρίζει αρχιτεκτονικά με μία συγκεκριμένη ταυτότητα.

##### ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ

Το οικοδόμημα είναι τρίκλιτη βασιλική με δίρριχη στέγη, με αποτμήσεις στην ανατολική και δυτική πλευρά. Η κάτοψή του είναι δρομική με τονισμένο τον κεντρικό άξονα. με ανοίγματα περιμετρικά. Στην ανατολική πλευρά του κτίσματος προεξέχει μία ημικυκλική κόγχη.

##### ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Το κτίσμα είναι ασκεπής (πλην της κόγχης) και σε προχωρημένη ερείπωση. Η τοιχοποιία του ναού αποτελείται από λίθινα στοιχεία ακανόνιστης μορφής, διαφορετικού είδους και μεγέθους, με συνδετικό κονίαμα και σε πάχος 0,80 μ. Ωστόσο παρατηρούμε λαξευτές πέτρες στις γωνίες του οικοδομήματος (αγκωνάρια) καθώς και στα πλαίσια των ανοιγμάτων και των υπερθύρων (πρέκια) των παραθύρων.

Οι γενικές μέσες εξωτερικές διαστάσεις του ναού χωρίς την κόγχη του ιερού, είναι 15,15 μ X 9,75 μ. Το εξωτερικό εμβαδόν του είναι 147,70 μ<sup>2</sup>, ενώ ο βασικός ορθογώνιος εσωτερικός του χώρος (χωρίς την κόγχη) έχει διαστάσεις 13,55 μ X 8,15 μ και εμβαδόν 110,40 μ<sup>2</sup>. Ο ναός έχει δύο εισόδους, μία (κεντρική) στο κέντρο του δυτικού τοίχου όπου, στο εξωτερικό μέρος επάνω από το τοξωτό υπέρθυρο υπάρχει ρηχό ημικυκλικό αψίδωμα (εικόνα 21) και μία στο νότιο τοίχο ορθογωνικής διατομής η οποία φέρει ανάγλυφο υπέρθυρο (εικόνα 23). Κατά μήκος της δυτικής και νότιας εξωτερικής πλευράς φαίνονται ξεκάθαρα οι δοκοθήκες από το ξύλινο πρόστυλο που υπήρχε (εικόνα 21 & 22). Ήταν στηριγμένο σε ξύλινους κιονίσκους, με επικάλυψη από κυματοειδής λαμαρίνες (τσιγκος) με

ελαφρά κλίση προς τη δύση και το νότο αντίστοιχα. (εικόνα 23).

Στον ανατολικό τοίχο προεξέχει μία κεντρική ημικυκλική κόγχη. Η κόγχη του ιερού στεγάζεται με ανεξάρτητη στέγη από βυζαντινού τύπου κεραμίδια σε στάθμη χαμηλότερη από την ενιαία δίρριχη στέγη. Η κόγχη διατρυπάται κεντρικά από άνοιγμα μικρού μεγέθους. Άνωθεν της στέγης της κόγχης υπάρχει εξ ολοκλήρου κυκλικό παράθυρο-φεγγίτης (oculi). (εικόνα 24).

Οι κόγχες των παραβημάτων εγγράφονται στο πάχος του ανατολικού τοίχου. (εικόνα 25).

Σ' ότι αφορά τον εξοπλισμό του ιερού εκτός από τις τρεις βασικές κόγχες υπάρχουν και δύο ακόμα εντοιχισμένες κόγχες.

α) Στο βόρειο τοίχο το «θαλασσίδιον» με οπή αποχέτευσης (εικόνα 26) και

β) στο νότιο τοίχο του Διακονικού (εικόνα 27).

Και οι δύο χρησίμευαν για την τοποθέτηση ιερών σκευών, βιβλίων, εικόνων, πραγμάτων κλπ. συμπεριλαμβάνοντας και τις τρεις χρηστικές εσοχές (εικόνα 25).

Η Αγία Τράπεζα αποτελείται από κτιστό τετράγωνο πεσσό (μεταγενέστερης κατασκευής) που φέρει επάνω του λίθινη πλάκα (εικόνα 28).

Η νότια και η δυτική πλευρά του ναού διατρυπάται από μία σειρά τεσσάρων ανοιγμάτων (παραθύρων) ορθογωνικής διατομής εξωτερικά (εικόνα 21) και τοξωτών υπερθύρων από πλίνθους εσωτερικά (εικόνα 29) ενώ στη δυτική πλευρά εκτός της κυρίας εισόδου διατρυπάται από ένα εξ ολοκλήρου κυκλικό παράθυρο-φεγγίτη (oculi) (εικόνα 21).

Το δάπεδο του κυρίως ναού είναι κατά 0,20 μ χαμηλότερα από το Ιερό Βήμα.

Για τον εσωτερικό χώρο του ναού ελάχιστα πράγματα γνωρίζουμε αφού αυτό είναι ερειπωμένο (εικόνα 30).



Εικόνα 21. Κεντρική είσοδος του Ναού.(διακρίνονται οι δοκοθήκες).



Εικόνα 22. Νότια είσοδος του Ναού. (διακρίνονται οι δοκοθήκες).





Εικόνα 23. Αρχείο Ιωάννης Βούζας ( παλαιά φωτογραφία νοτιοδυτικής πλευράς του Ναού).



Εικόνα 24. Η κόγχη του ιερού και το παράθυρο-φεγγίτης (oculi).





Εικόνα 25. Οι κόγχες των παραβημάτων και τρεις χρηστικές εσοχές.



Εικόνα 26. Το «θαλασσίδιον» με οπή αποχέτευσης.





Εικόνα 27. Εντοιχισμένη κόγχη στο νότιο τοίχο του Διακονικού.



Εικόνα 28. Η Αγία Τράπεζα.





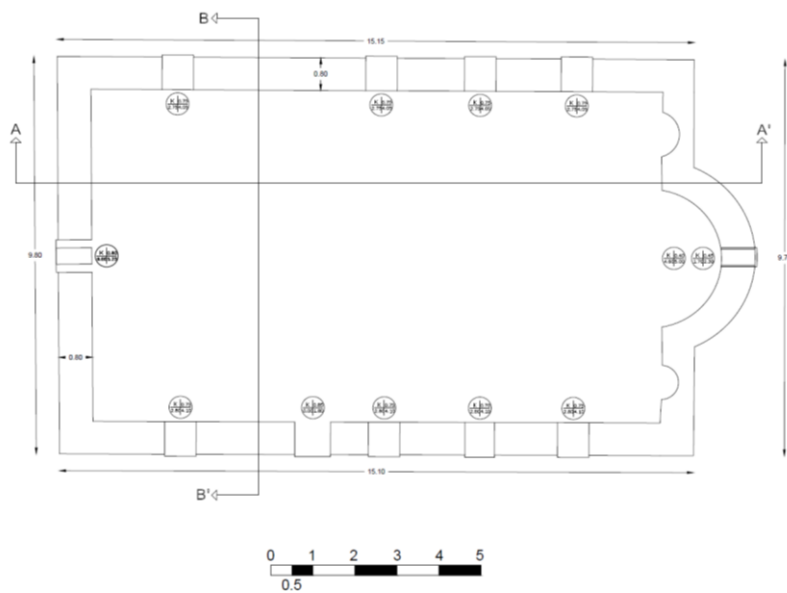
Εικόνα 29. Τοξωτών υπερθύρων από πλίνθους εσωτερικά



Εικόνα 30. Ο εσωτερικός χώρος του ναού

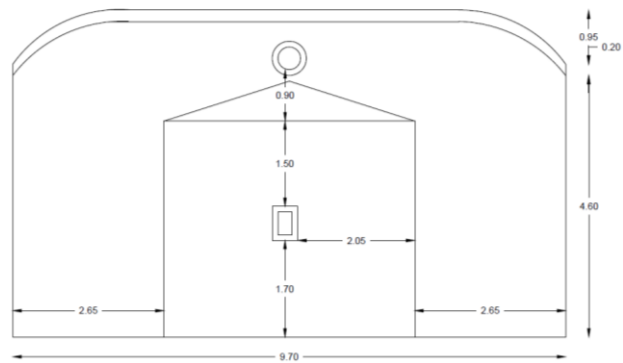
## ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

Στην ενότητα αυτή παραθέτονται τα αρχιτεκτονικά σχέδια του ναού.



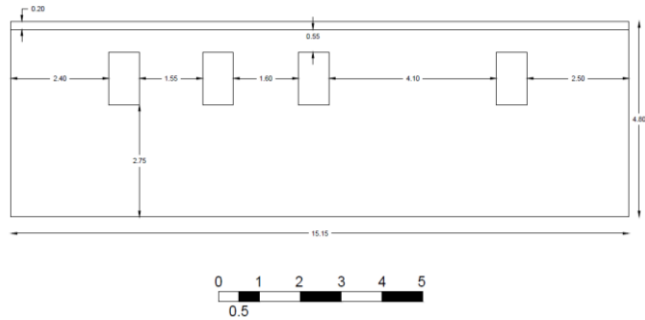
Σχήμα 41. Κάτοψη του Ναού Αγίου Νικολάου Γεωργικού Καρδίτσας

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ

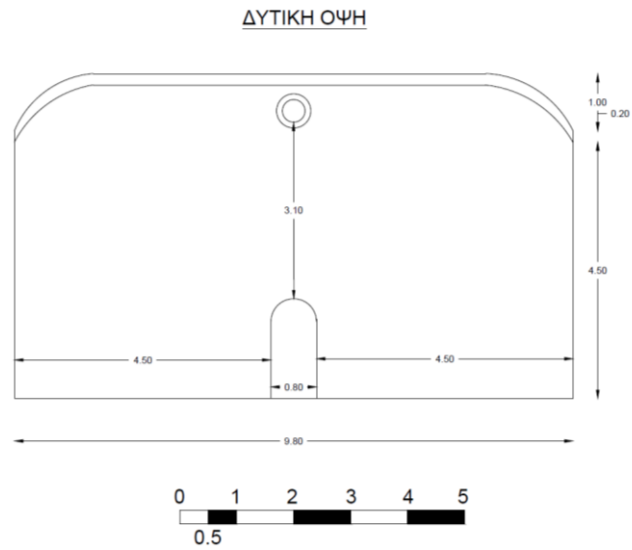


Σχήμα 42. Ανατολική όψη του Ναού Αγίου Νικολάου Γεωργικού Καρδίτσας

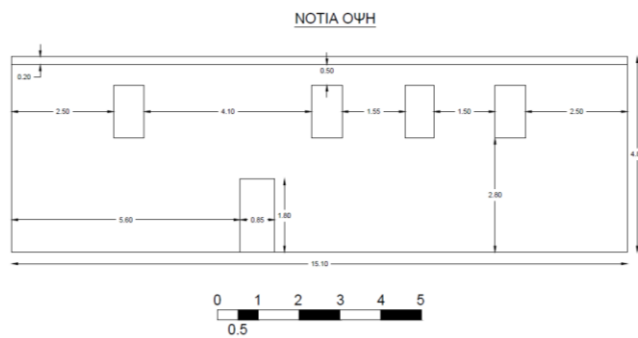
ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ



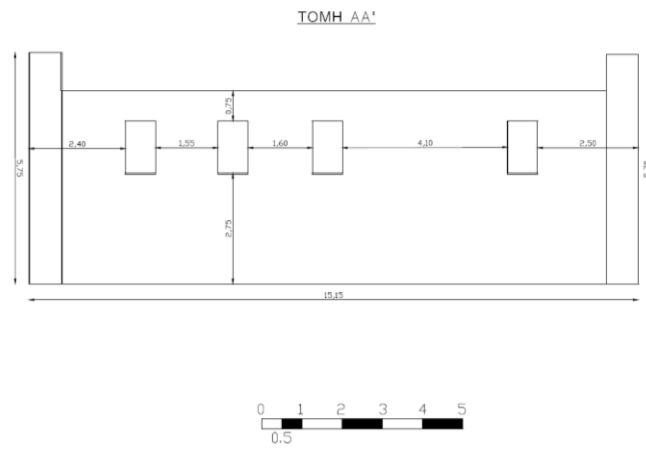
Σχήμα 43. Βόρεια όψη του Ναού Αγίου Νικολάου Γεωργικού Καρδίτσας



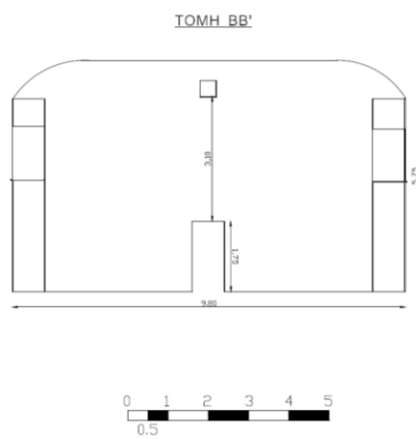
Σχήμα 44. Δυτική όψη του Ναού Αγίου Νικολάου Γεωργικού Καρδίτσας



Σχήμα 45. Νότια όψη του Ναού Αγίου Νικολάου Γεωργικού Καρδίτσας



Σχήμα 46. Τομή (ανατολή - δύση) του Ναού Αγίου Νικολάου Γεωργικού Καρδίτσας



Σχήμα 47. Τομή (βοράς - νότος) του Ναού Αγίου Νικολάου Γεωργικού Καρδίτσας

## 7.5 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ ΚΑΙ ΦΘΟΡΩΝ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

### Η παθολογία στα οικοδομικά στοιχεία του ναού.

Τα σημάδια της φθοράς του ναού εσωτερικά και εξωτερικά είναι παντού και οφείλονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς καταστροφές.

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι υπάρχει έντονη αποσάθρωση και απώλεια δομικών υλικών, αποκολλήσεις επιχρισμάτων, ρηγματώσεις μικρού και μεγάλου εύρους, οι οποίες προκλήθηκαν λόγω των μηχανικών καταπονήσεων, των σκληρών καιρικών συνθηκών και την παλαιότητάς του ναού. Το γεγονός ότι στο κτίριο δεν υπάρχουν σκεπή, πόρτες και παράθυρα σε συνδυασμό με την ανάπτυξη φυτοφυίας και μικροοργανισμών εσωτερικά και εξωτερικά του ναού οξύνει την κατάσταση.

### ΔΑΠΕΔΟ

Το δάπεδο του κυρίως ναού βρίσκεται στην ίδια περίπου στάθμη με το εξωτερικό έδαφος. Είναι καλυμμένο τμηματικά με χώμα και υπάρχει έντονη φυτοφυία. Εμφανίζονται ανισοσταθμίες, θραύση φερόντων στοιχείων και ελλείψεις πλακών επικάλυψης ειδικά περιμετρικά του κτιρίου (Εικόνα 30.)

### ΣΤΕΓΗ

Το κτίριο είναι ασκεπές (Εικόνα 30.) εκτός από την κόγχη όπου παρατηρείται αποσάθρωση της επικεράμωσης και έντονη φυτοφυία. (Εικόνα 24.)

### ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Η τοιχοποιία παρουσιάζει:

- απώλεια λίθων κυρίως στην βορειοδυτική γωνία του κτιρίου (εικόνα 31) και σε μικρότερη έκταση σε διάφορα σημεία εσωτερικά και εξωτερικά της τοιχοποιίας.
- εσωτερικά, απώλεια οπτόπλινθων των τοξωτών υπερθύρων των παραθύρων (εικόνα 32).

- εξωτερικά, απώλεια οπτόπλινθων κατασκευής γείσου.
- ανεπαρκές και αποσαθρωμένο διάζωμα (σενάζ) περιμετρικά του κτιρίου. (εικόνα 31,32 & 33).
- έντονη ρηγμάτωση κυρίως στην δυτική πλευρά του κτιρίου πάνω την είσοδο (εικόνα 34).
- εκτεταμένη μικρή ρηγμάτωση περιμετρικά της εσωτερικής και εξωτερικής τοιχοποιίας.
- εκτεταμένη απώλεια συνδετικής κονίας και επιχρισμάτων (εικόνα 35).
- αποσάθρωση επιχρίσματος (εικόνα 36).
- έντονη ανάπτυξη φυτοφύιας και μικροοργανισμών εσωτερικά και εξωτερικά της τοιχοποιίας (εικόνα 29,31,32,33 & 36)

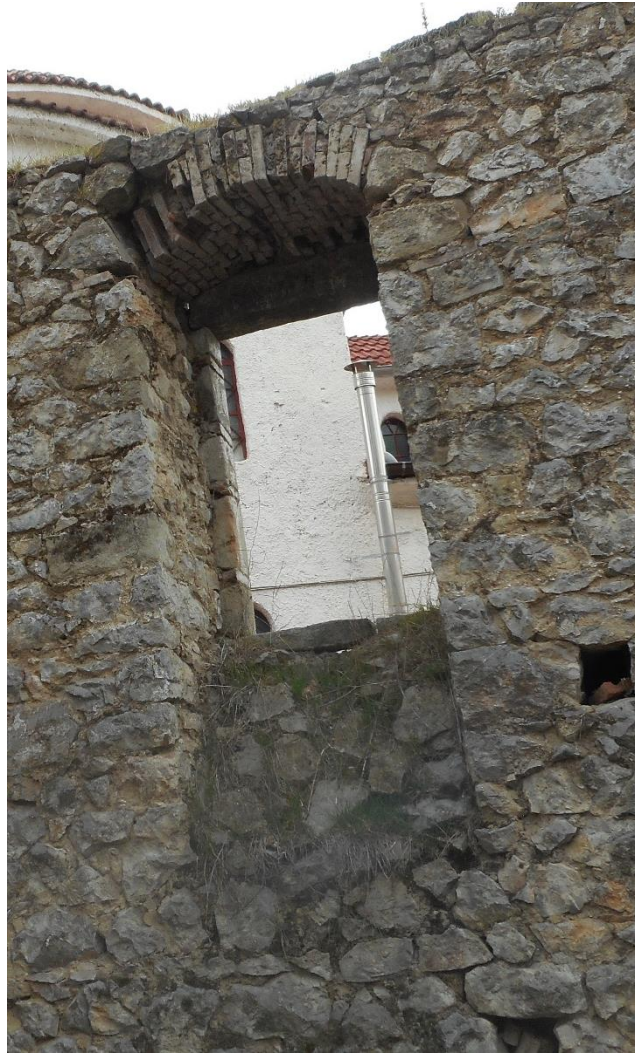


## ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

Στο κτίριο υπάρχουν δυο ευτελούς μεταλλικής κατασκευής θύρες, σκουριασμένες, χωρίς υαλοστάσια για την αποφυγή ανθρώπων και ζώων στο εσωτερικό του κτιρίου ενώ δεν υπάρχουν καθόλου παράθυρα (εικόνα 37 & 38).



Εικόνα 31. Βορειοδυτική γωνία του κτιρίου



Εικόνα 32. Τοξωτό υπέρθυρο παραθύρων





Εικόνα 33. Απώλεια οπτόπλινθων κατασκευής γείσου





Εικόνα 34. Έντονη ρηγμάτωση





Εικόνα 35. Εκτεταμένη απώλεια συνδετικής κονίας και επιχρισμάτων





Εικόνα 36. Αποσαθρωμένο επίχρισμα





Εικόνα 37. Δυτική είσοδος.

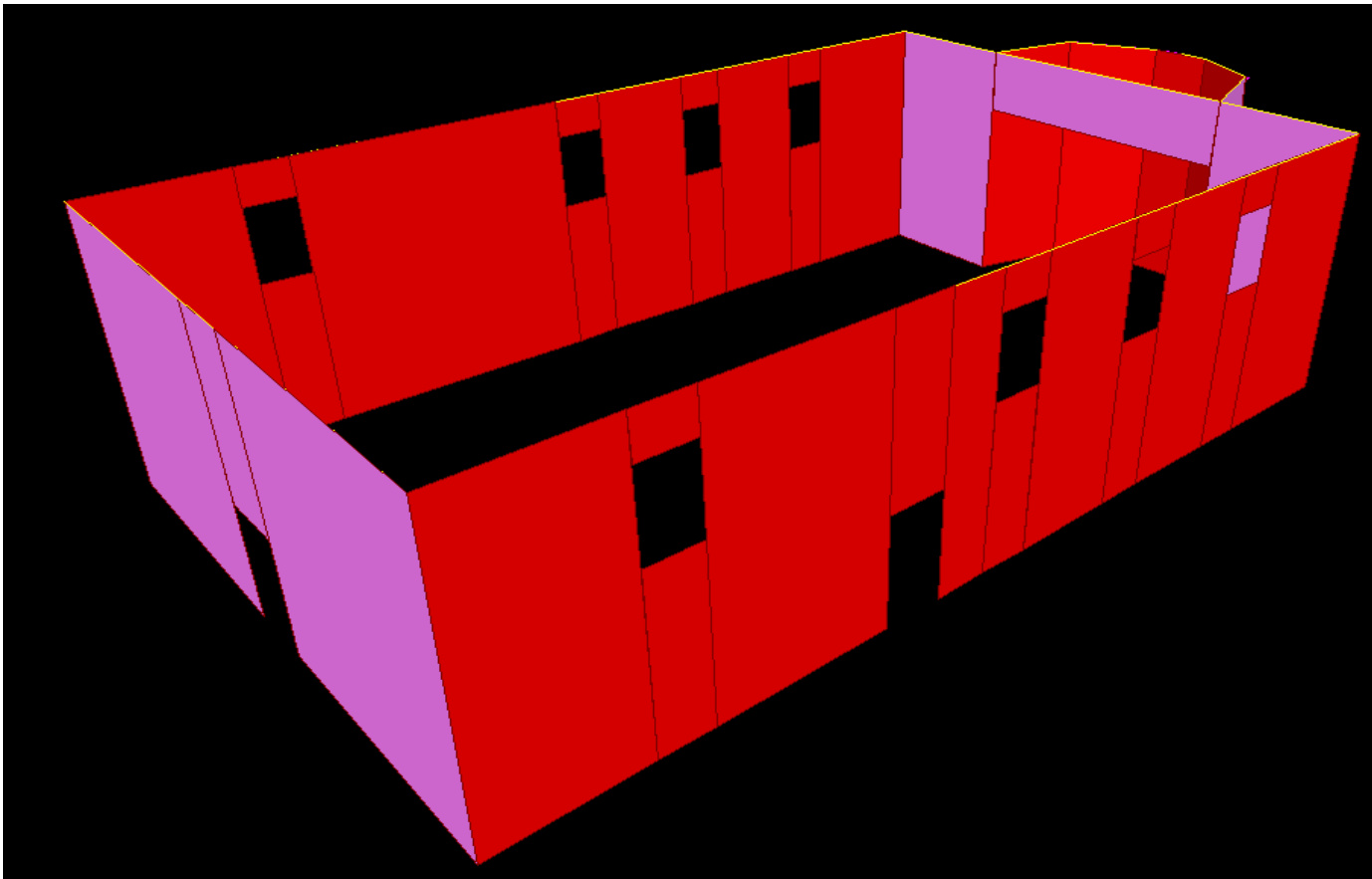


Εικόνα 38. Νότια είσοδος

## 7.6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΝΑΟΥ

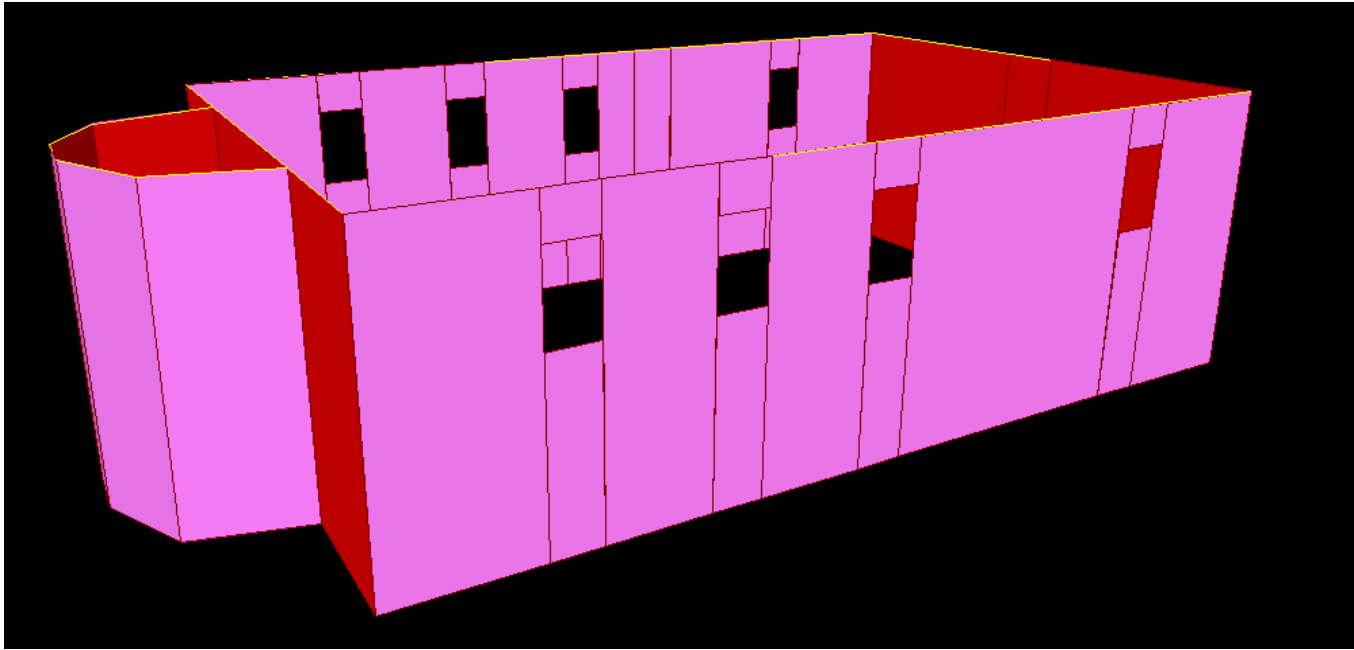
Για την προσομοίωση του Ναού χρησιμοποιήθηκαν γραμμικά και επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία. Γραμμικά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του διαζώματος στην στέψη του τοίχου και επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της τοιχοποιίας.

Το υλικό της τοιχοποιίας επιλέχθηκε με θλιπτική αντοχή σχεδιασμού κάθετη προς τους αρμούς ίση με 5 MPa και η διατμητική αντοχή ίση με 0.5 MPa.



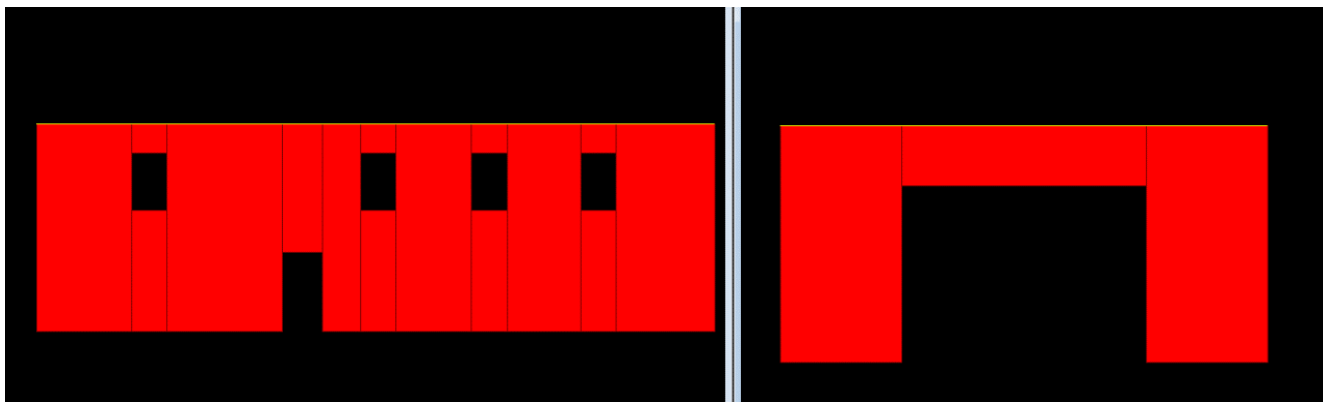
(α)





(β)

Σχήμα 48. Προοπτικό του προσομοιώματος του Ναού,(α), (β)



Σχήμα 49. Προοπτικό του προσομοιώματος του Ναού, όψεις τοίχων

Τα φορτία που λήφθηκαν υπόψη ήταν τα ίδια βάρη τοίχων και στέγης, πρόσθετα μονιμά φορτία, κινητά και σεισμός. Οι παράμετροι του φάσματος σχεδιασμού φαίνονται παρακάτω.

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II

Συντελεστή συμπεριφοράς  $q=1.5$ .

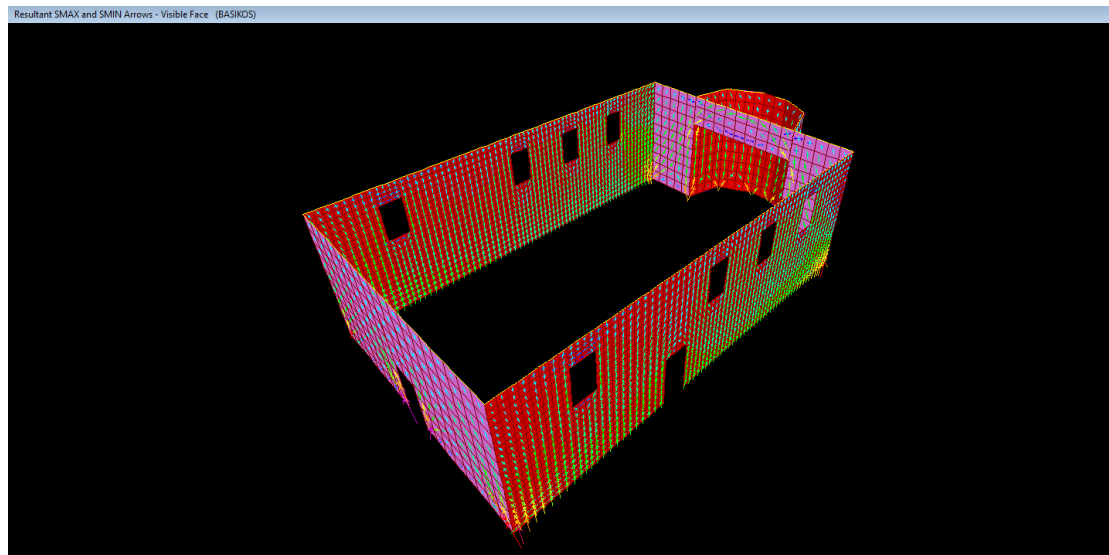
Σπουδαιότητα Σ2

Έδαφος κατηγορίας B

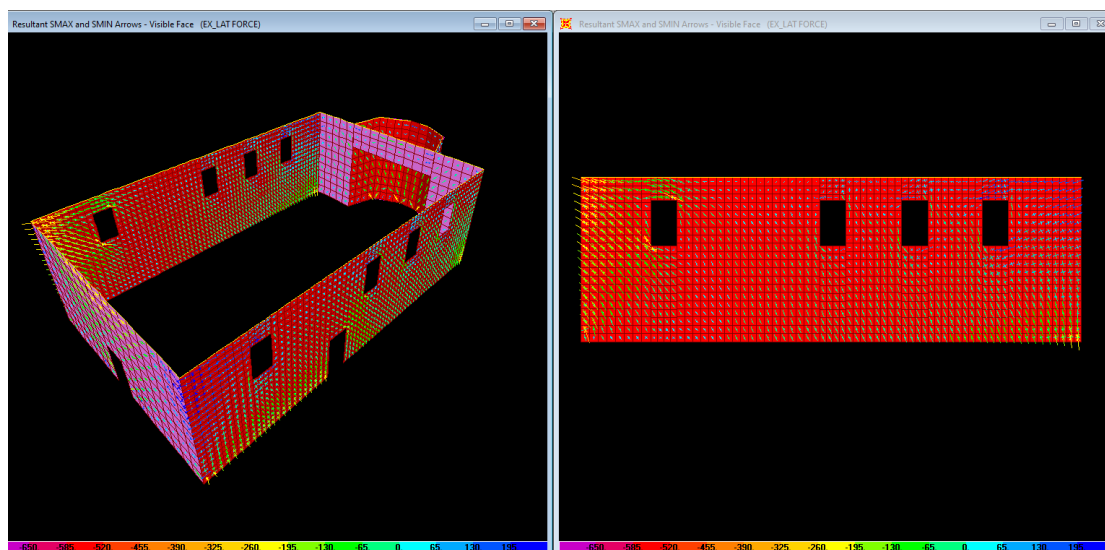
Οι συνοριακές συνθήκες μεταξύ του κτιρίου και του εδάφους θεωρήθηκαν πάκτωση στη βάση όλων των τοίχων.

## 7.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Μετά την προσομοίωση του κτηρίου του Ναού και την επιβολή των φορτίων και συνοριακών συνθηκών έγινε η ανάλυση του φορέα για διάφορες φορτίσεις και συνδυασμούς φορτίσεων. Στα επόμενά σχήματα φαίνεται η εντατική κατάσταση στους τοίχους του φορέα σε όρους τάσεων.



Σχήμα 50. Μέγιστες ορθές τάσεις του φορέα για τον βασικό συνδυασμό



Σχήμα 51. Μέγιστες ορθές τάσεις του φορέα για τον σεισμικό συνδυασμό

Πίνακας 4. Μέγιστες θλιπτικές και εφελκυστικές του φορέα για τον τοίχο της όψης εισόδου

Συνδυασμός φόρτισης	Θλιπτικές τάσεις (MPa)	Εφελκυστικές τάσεις (MPa)
Βασικός	0.25	0.12
ΕΧ	0.58	0.21
ΕΥ	0.48	0.19

## **7.8 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ**

Μετά την λεπτομερή σχεδιαστική αποτύπωση και λεπτομερή ανάλυση των φθορών κρίνεται αναγκαία να γίνει ολοκληρωμένη μελέτη για την αποκατάσταση και επισκευής του. Όλες οι εργασίες και οι λεπτομερές οδηγίες της μελέτης θα βοηθήσουν τους ειδικευμένους τεχνίτες να φέρουν σε πέρας το έργο. Επί του παρόντος αναφέρουμε ενδεικτικά τις κυριότερες ενέργειες που άμεσα πρέπει να γίνουν για να αποκατασταθεί η ολότητα του ναού.

### **1. Υδραυλικών, Η/Μ εγκαταστάσεων και δικτύων.**

Προτείνεται: Μελέτη Υδραυλικών, Η/Μ εγκαταστάσεων και δικτύων προκειμένου να γίνουν άλλες εργασίες, όπως επισκευές ή ανακατασκευές σε τοίχους κ.λ.π.

### **2. Ανεπαρκές αποσαθρωμένο διάζωμα (σενάζ).**

Προτείνεται: η κατασκευή διαζώματος (σενάζ) από οπλισμένο σκυρόδεμα περιμετρικά της τοιχοποιίας στο ύψος έδρασης της σκεπής με τον κατάλληλο οπλισμό. Τα διαζώματα διασφαλίζουν και μάλιστα σε σχετικά υψηλό βαθμό τη βελτίωση της συμπεριφοράς της κατασκευής έναντι σεισμού. Επιπλέον επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων της στέγης με παράλληλη διόρθωση ενδογενών προβλημάτων της κατασκευής, όπως προβλήματα γωνιών, έδρασης και αγκύρωσης στεγών.

### **3. Αποκόλληση τμήματος τοιχοποιίας.**

Προτείνεται: προσθήκη νέων λίθων σε κατάλληλες θέσεις με στόχο τη διόρθωση της βλάβης κυρίως στην βορειοδυτική γωνία του κτιρίου (εικόνα 31).

### **4. Αποκόλληση – απουσία πλίνθων**

Προτείνεται: η αφαίρεση των σπασμένων, αποκολλημένων και αποσαθρωμένων πλίνθων και η τοποθέτηση νέων πλίνθων (μασίφ) για την ανακατασκευή υπερθύρων (πρέκια) των παραθύρων (εικόνα39) και κατασκευή γείσου.

5. Βλαβείσα φέρουσα τοιχοποιία η οποία παρουσιάζει μικρή ρηγμάτωση.

Προτείνεται: Βαθύ αρμολόγημα.



Εικόνα 39. Τοξωτά υπέρθυρα παραθύρων

#### **Στάδια υλοποίησης:**

Στάδιο 1: Καθαίρεση του επιχρίσματος σε μεγάλο πλάτος γύρω από τις ρωγμές (συνολικά 60cm περίπου). Σε περίπτωση ύπαρξης πολλών ρωγμών σε ένα τοίχο, συνιστάται η ολική αφαίρεση του επιχρίσματος (Σχήμα 52).

Στάδιο 2: Διεύρυνση των χειλιών της ρωγμής.

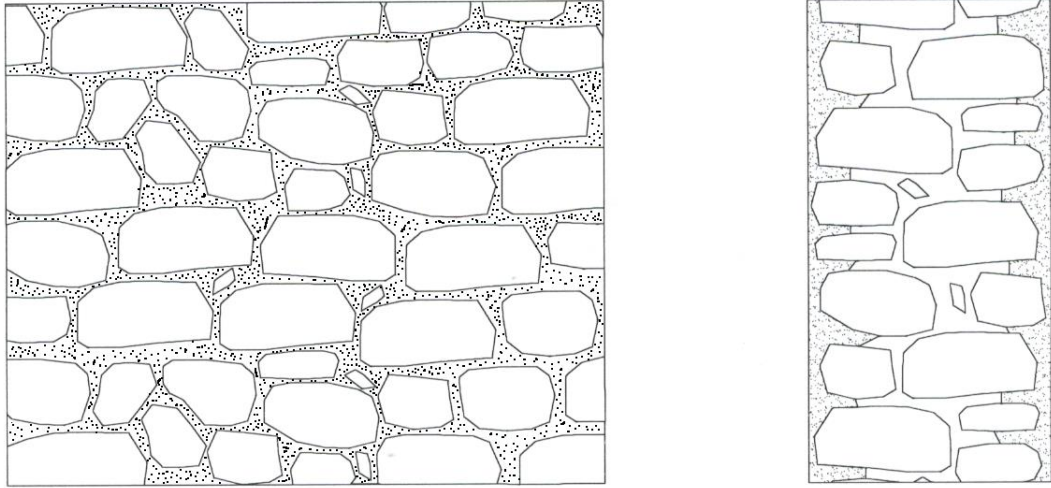
Στάδιο 3: Ξύσιμο των ρωγμών με συρματόβουρτσα με ιδιαίτερη επιμονή για να αφαιρεθούν τα σαθρά τμήματα του κονιάματος.

Στάδιο 4: Πλύσιμο με νερό υπό πίεση.

Στάδιο 5: Εισαγωγή νέου κονιάματος (με ψιλό μυστρί) όσο γίνεται βαθύτερα μέσα στη ρωγμή.

Στάδιο 6: Εξωτερικό αρμολόγημα και τελικό επίχρισμα. (Εναλλακτικά, πριν το

τελικό επίχρισμα, μπορεί να τοποθετηθεί κοτετσόσυρμα που στερεώνεται με φουρκέτες μπηγμένες στο κονίαμα των αρμών των τοίχων).



Σχήμα 52. Η μέθοδος του αρμολογήματος (ολική αφαίρεση επιχρίσματος)

6. Βλαβείσα φέρουσα τοιχοποιία η οποία παρουσιάζει έντονη ρηγμάτωση.

Προτείνεται: η ομογενοποίηση της μάζας της τοιχοποιίας με την εισαγωγή ενέματος. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται στις περιπτώσεις όπου επιδιώκεται η εισαγωγή ενέματος στη μάζα της τοιχοποιίας όχι μόνον για την πλήρωση ενδεχομένων ρωγμών αλλά όλων των κενών στο εσωτερικό της τοιχοποιίας. Πρόκειται για μια μέθοδο ιδιαίτερως αποδοτική στην περίπτωση αργολιθοδομών με μεγάλο ποσοστό κονιάματος χαμηλής ποιότητας καθώς και στην περίπτωση τρίστρωτων τοιχοποιιών.

Από πειραματικά αποτελέσματα ξένων ερευνητών προκύπτει ότι:

- Για κατανάλωση και απορρόφηση περίπου 50 lt ενέματος ανά m<sup>3</sup> τοίχου, η αύξηση των αντοχών κυμαίνεται από 20% έως 60%, ανάλογα με την ποιότητα δόμησης.

- Για κατανάλωση και απορρόφηση 150 lt ενέματος ανά m<sup>3</sup> τοίχου, η αύξηση των

αντοχών κυμαίνεται από 200% έως 400%.

#### 7. Ανισοσταθμία δαπέδου και έλλειψη τμημάτων πλακόστρωσης.

Προτείνεται: η αποξήλωση της πλακόστρωσης και η ανακατασκευή πλάκας δαπέδου από ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας τουλάχιστον C25/30, μέγιστου πάχους 15 εκ, και τοποθέτηση εκ νέου πλακόστρωσης μετά του αναλόγου περιθωρίου (σοβατεπί).

#### 8. Απουσία στέγης

Προτείνεται: Μελέτη και κατασκευή στέγης με επικάλυψη από κεραμίδια βυζαντινά και μόνωση.

#### 9. Απουσία προστεγγάστρου

Προτείνεται: Μελέτη και κατασκευή προστεγγάστρου με επικάλυψη από κεραμίδια βυζαντινά ή μεταλλικών φύλλων.

#### 10. Ενίσχυση θεμελίωσης

Οι βλάβες στη θεμελίωση κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία παρουσιάζουν τα ακόλουθα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά έναντι των βλαβών στην ανωδομή:

- Είναι κατά κανόνα αφανείς και τεκμαίρονται από τις επιπτώσεις τους στην ανωδομή.
- Είναι δυνατόν να προκαλούνται από πολλά αίτια.
- Στην ένταση και έκτασή τους συμβάλλει όχι μόνον το υλικό κατασκευής και η διάταξη της θεμελίωσης αλλά και τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

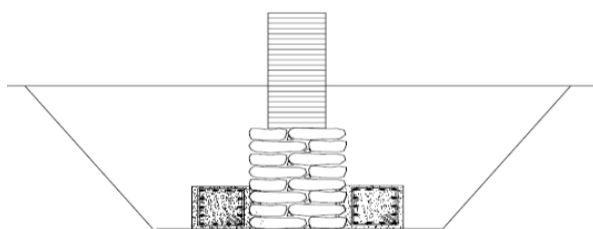
Από τα παραπάνω συνάγεται ότι η διάγνωση και η θεραπεία προβλημάτων θεμελίωσης αποτελούν πιο σύνθετη διεργασία από την αντίστοιχη της ανωδομής.

Προτείνεται: Αμφίπλευρη υποθεμελίωση (κατασκευή ντουλαπιών).

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που υπάρχουν ιδιαίτερες



απαιτήσεις διαπλάτυνσης της θεμελίωσης με χρήση οπλισμένου σκυροδέματος (σχήμα 53).



Σχήμα 53. Αμφίπλευρη υποθεμελίωση

#### 11. Σύστημα περιμετρικής αποστράγγισης

Προτείνεται: σύστημα περιμετρικής αποστράγγισης η οποία θα έχει ως εξής:

α) Άνοιγμα ορύγματος περιμετρικά της θεμελίωσης.

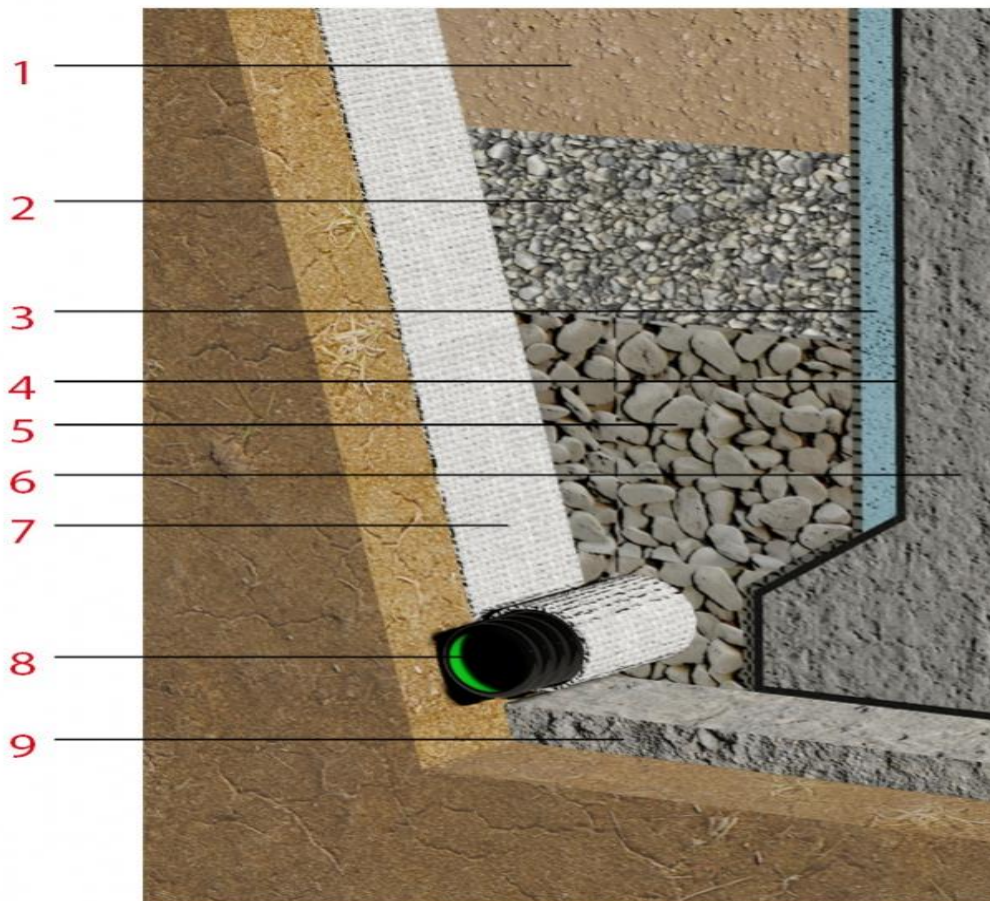
β) Τοποθέτηση γεωφάσματος περιμετρικά του ορύγματος με καλά υδραυλικά χαρακτηριστικά. Το γεωφάσμα περιμετρικά του αγωγού τον προστατεύει από την έμφραξη των οπών και του εσωτερικού του, εμποδίζοντας τη συσσώρευση εδαφικού υλικού και ριζών.

γ) Πέρασμα σταυρωτά (με δύο χέρια) υγρή πίσσα στην τοιχοποιία ή αποστραγγιστική μεμβράνη με κωνοειδείς προεξοχές.

δ) Τοποθέτηση διάτρητου αποστραγγιστικού αγωγού με μικρή κλίση στο όρυγμα περιμετρικά της θεμελίωσης τόσο για τη συλλογή των όμβριων υδάτων, όσο και για την προστασία σε περίπτωση ανόδου του υδροφόρου ορίζοντα.

ε) Διαβαθμισμένη χαλικόστρωση πάνω από τον αγωγό (κροκάλα, χαλίκι, γαρμπίλι) επί της οποίας τοποθετείται ο αγωγός, καθώς και χαλίκι από επάνω. Τα αδρανή παρεμποδίζουν τη συγκράτηση του νερού από το έδαφος και διευκολύνουν την αποστράγγιση.

στ) Δημιουργία διαδρόμου περιμετρικά της θεμελίωσης από σκυρόδεμα με ελαφριά κλίση προς τα έξω.



Σχήμα 49. 1. Σκυρόδεμα με ελαφριά κλίση προς τα έξω

2. Αμμοχάλικο.

3. Προστατευτική στρώση. Μπορεί να είναι (πίσσα) ή αποστραγγιστική μεμβράνη με κωνοειδείς προεξοχές.

4. Στεγανοποιητική στρώση από πίσσα.

5. Χαλίκι 3Α.

6. Λιθοδομή

7. Γεωύφασμα

8. Διάτρητος αγωγός αποστράγγισης.

9. Σκυρόδεμα καθαριότητας.

12. Κουφώματα πόρτες – παράθυρα .

Προτείνεται: Μελέτη και κατασκευή για την αντικατάσταση θυρών καθώς και τοποθέτηση νέων παραθύρων μετά υαλοστασίων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΛΑΒΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

	<b>Ελλείψεις – φθορές</b>	<b>Πρόταση Αποκατάστασης</b>
<b>1</b>	<b>Υδραυλικών, Η/Μ εγκαταστάσεων και δικτύων</b>	<b>Μελέτη Υδραυλικών, Η/Μ εγκαταστάσεων και δικτύων προκειμένου να γίνουν άλλες εργασίες, όπως επισκευές ή ανακατασκευές σε τοίχους κ.λπ.</b>
<b>2</b>	<b>Ανεπαρκής, αποσαθρωμένο διάζωμα (σενάζ) από οπλισμένο σκυρόδεμα στο ύψος έδρασης της σκεπής.</b>	<b>Κατασκευή διαζώματος (σενάζ) από οπλισμένο σκυρόδεμα στο ύψος έδρασης της σκεπής με τον κατάλληλο οπλισμό.</b>
<b>3</b>	<b>Αποκόλληση τμήματος τοιχοποιίας</b>	<b>Ανακατασκευή φέρουσας τοιχοποιίας η οποία παρουσιάζει σοβαρές βλάβες (πλήρη αποσύνθεση ή απόκλιση από την κατακόρυφο), που δεν είναι δυνατό να επισκευαστεί.</b>
<b>4</b>	<b>Αποκόλληση – απουσία πλίνθων σχηματισμού γείσου στέγης .</b>	<b>Ανακατασκευή γείσου στέγης με πλήρωση από μασίφ πλίνθους .</b>
<b>5</b>	<b>Βλαβείσα φέρουσα τοιχοποιία η οποία παρουσιάζει μικρή ρηγμάτωση.</b>	<b>Αρμολόγημα, τσιμεντενέσεις.</b>
<b>6</b>	<b>Βλαβείσα φέρουσα τοιχοποιία η οποία παρουσιάζει έντονη ρηγμάτωση.</b>	<b>Εφαρμογή ενέματος ομογενοποίησης.</b>

7	Ανισοσταθμία δαπέδου και έλλειψη τμημάτων πλακόστρωσης.	Αποξήλωση πλακόστρωσης και ανακατασκευή πλάκας δαπέδου από ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα για αντικατάσταση δαπέδου.
8	Απουσία στέγης	Ανακατασκευή ξύλινης στέγης με επικάλυψη κεραμίδια βυζαντινά και μόνωση.
9	Απουσία προστεγγάστρου	Ανακατασκευή προστεγγάστρου, (αποκλειστικά νότια και δυτικά του κτιρίου), κατασκευασμένου εκ ξύλινης κατασκευής με επικάλυψη κεράμων βυζαντινού τύπου ή μεταλλικών φύλλων.
10	Ενίσχυση θεμελίωσης	Αμφίπλευρη υποθεμελίωση (κατασκευή ντουλαπιών).
11	Σύστημα περιμετρικής αποστράγγισης	Διάνοιξη τάφρου δίπλα στον τοίχο
12	Κουφώματα πόρτες – παράθυρα .	Αντικατάσταση θυρών και τοποθέτηση νέων παραθύρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο Ναός του Αγ Νικολάου στο Γεωργικό Καρδίτσας, ανεγέρθη το 1902 όπως αναφέρεται σε λίθινη επιγραφή στο εξωτερικό υπέρθυρο της νότιας εισόδου. Η εκκλησία είναι τρίκλιτη ξυλόστεγη βασιλική. Σήμερα παραμένει όρθια μόνο η λίθινη τοιχοποιία με σημαντικές φθορές, ιδιαίτερα στην επίστεψή της και στα ανοίγματα (θύρες, παράθυρα). Για αυτόν τον λόγο καθιστούν υποχρεωτική την διερεύνηση της επάρκειάς της. Η μελέτη και η αποτίμηση του φορέα για σεισμική δράση σύμφωνα με τους κανονισμούς οδήγησε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν αρκετά σημεία τα οποία είναι ευάλωτα σε περίπτωση σεισμού. Για αυτόν τον λόγο, είναι επιτακτική η ανάγκη της ενίσχυσης των τρωτών αυτών σημείων. Όλες οι εργασίες και οι λεπτομερείς οδηγίες της μελέτης θα βοηθήσουν τους ειδικευμένους τεχνίτες να φέρουν σε πέρας το έργο.

Επιπλέον, θα πρέπει να τονιστεί ότι από την εφαρμογή σχεδόν κάθε τεχνικής επισκευής ή και ενίσχυσης προκύπτουν κάποιες ανεπιθύμητες καταστάσεις στο κτίριο όπως π.χ. συσσώρευση υγρασίας, μερική καταστροφή πρωτοτύπου κ.λ.π. Η λήψη πρόσθετων μέτρων για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων, θα πρέπει να αποτελεί επίσης κριτήριο αξιολόγησης για το κατά πόσο το προτεινόμενο σχήμα επισκευής ή ενίσχυσης θα πρέπει τελικώς να γίνει αποδεκτό προς εφαρμογή.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις Τοιχοποιίας, (ΚΑΔΕΤ), Σχέδιο, Μάρτιος 2021.
- Ευρωκώδικας 8 : Αντισεισμικός Σχεδιασμός Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και ενισχύσεις κτιρίων, EN 1998-3 : 2004.
- Ευρωκώδικας 8 : Αντισεισμικός Σχεδιασμός. Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, EN 1998-1 : 2004.
- Δημάκος, Κ. (2022). *Ενισχύσεις κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία-Σημειώσεις Μαθημάτων Μεταπτυχιακού*. ΑΘΗΝΑ: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- Πνευματικός, Ν. (2022). *Σημειώσεις Μαθημάτων Μεταπτυχιακού*. ΑΘΗΝΑ.
- Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια, (2001), Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Ο.Α.Σ.Π. Αθήνα.
- Ευρωκώδικας 6, Σχεδιασμός Κατασκευών από Τοιχοποιία, μετάφραση του ENV 1996- 1-1, Έκδοση Τ.Ε.Ε., 1995.
- Hendry A., W., Structural Brickwork, J. Wiley and Sons, Mew York, 1981.
- Τάσιος, Θ., Η Μηχανική της Τοιχοποιίας, Έκδοση Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1986.
- Page, A. W., The biaxial compressive strength of brick masonry, Proc. I.C.E., Part 2, V.71, P8487, Sept. 1981, 893-906.
- Ιγνατάκης Χ., Αναλυτική έρευνα της απόκρισης τοιχοποιίας υπό μονότονη επίπεδη καταπόνηση μέχρι αστοχίας, Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη, 1989.
- 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.

- Titaru, C., Σημειώσεις Σεμιναρίου επί της συμπεριφοράς της φέρουσας τοιχοποιίας, Α.Π.Θ., 1978.
- Κοσμόπουλος, Η., Η Στατική και Δυναμική Αντισεισμική Θεωρία και η Εφαρμογή της στην πράξη, Αθήνα, 1969.
- Α.Π.Θ., Επισκευή ζημιών από σεισμό σε κτίρια, Έκδοση Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1978.
- Ε.Μ.Π., Συστάσεις για τις επισκευές κτιρίων βλαμμένων από σεισμό, Έκδοση Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1978.
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Επισκευές – Ενισχύσεις – Παραδείγματα διαστασιολογήσεως, Έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 1987.
- Βιντζηλαίου, Ε., Σημειώσεις για το μάθημα Προχωρημένη Μηχανική της Τοιχοποιίας(οπλισμένης και άοπλης), Έκδοση Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1998.
- Καραντώνη – Μαραγκού, Τ., Σχεδιασμός και Ανασχεδιασμός Κατασκευών από Φέρουσα Τοιχοποιία, Έκδοση Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 1997.
- Mainstone R., Developments in Structural Form, Penguin Books Ltd, England, 1975.
- [McNary S.W. and Abrams D.P., Mechanics of Masonry in Compression, Proc. ASCE, V.111, ST4, Apr. 1985, pp. 857 ÷ 870.
- 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.
- Brown R.H., Prediction of Brick Masonry Prism Strength from Reduced Constraint.
- Κωσταντίνος Σπυράκος, (2004), Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία,

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας

- Έγκριση τετρακοσίων σαράντα (440) Ελληνικών Τεχνικών Προδιαγραφών (ΕΤΕΠ) με υποχρεωτική εφαρμογή σε όλα τα Δημόσια Έργα. ΦΕΚ 2221, 30-7-2012.
- Brick Tests, ASTM, STP589, "Masonry Past and Present", Baltimore, Aug. 1975, pp. 171 ÷ 194.
- ASTM C270, Specification of Mortars and Masonry Units.
- BSI 1985 BS5628, Code of practice for use of masonry. Part 1: The structural use of unreinforced masonry.
- [DIN 1053 Blatt 1, Mauerwerk, Berechnung und Ausführung.
- Amer. Masonry Conf., No 18, Texas, 1985, pp.(18-1)÷(18-18).
- Καλευράς Β., Μηχανική των παραμορφώσιμων σωμάτων, Θεσσαλονίκη, 1980.
- Francis A.J., Horman C.B. and Jerems L.E., The effect of Joint Thickness and other factors on the Compressive Strength of Brickwork, Proc. of the 2nd Inter. Brick Masonry Conf., G. Britain, 1971, pp 31÷37.
- Δημοσθένους Μίλτων Α.,(2009) "Μέθοδοι και υλικά αποκατάστασης και ενίσχυσης διατηρητέων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία", Εκδόσεις ΤΕΕ
- Πασαλή, Α. (2021). ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ, Συντήρηση και έλεγχος κτιριακών και άλλων εγκαταστάσεων. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Αρχιτεκτονική και Δομοστατική Αποκατάσταση Ιστορικών Κτιρίων και Συνόλων (Α.ΔΟ.ΑΠ.)", Τρίκαλα.
- Βούζας Ιωάννης (2010) « Γεωργικό ή Τσαούσι του χθες».