

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ

1.1. Γενικά

Αντικείμενο του Μέρους Α του παρόντος Ερευνητικού έργου είναι η αναλυτική μελέτη και αποτίμηση της απόκρισης μνημειακών κατασκευών από τοιχοποιία της Ρωμαϊκής και Βυζαντινής περιόδου υπό κατακόρυφα και σεισμικά φορτία, με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Η μελέτη έγινε στο Υπολογιστικό κέντρο του Εργαστηρίου Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ.

Στο πρώτο δεκαετάμηνο (1993-94) ολοκληρώθηκε η φάση Α και ένα μέρος της φάσης Β. Στο δεύτερο δεκαετάμηνο (1995-96) ολοκληρώθηκαν οι φάσεις Β και Γ. Η συνολική διάρκεια του ερευνητικού έργου με τις παρατάσεις που ζητήθηκαν ήταν 36 μήνες.

1.2. Φάση Α

Η φάση Α περιλαμβάνει τον αναλυτικό προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών μέχρις αστοχίας μνημειακής τοιχοποιίας της Ρωμαϊκής και Βυζαντινής περιόδου. Οι τοιχοποιίες αυτού του τύπου που αποτελούνται από πλακοειδείς πλίνθους (βήσαλα) και αρμούς κονιάματος μεγάλου πάχους, χαρακτηρίζονται από έντονα ανισότροπη και μη γραμμική μηχανική συμπεριφορά.

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας χρησιμοποιήθηκε το μη γραμμικό αναλυτικό μικρομοντέλο και το αντίστοιχο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων "MAFEA" (MAsonry Finite Element Analysis) που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια στο Εργαστήριο Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος του Α.Π.Θ. με ανεξάρτητη διακριτοποίηση πλίνθων και αρμών κονιάματος [24]. Για την λειτουργία του αναλυτικού μοντέλου απαιτούνται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των επί μέρους υλικών της τοιχοποιίας (πλίνθοι, κονίαμα) και της διεπιφάνειας επαφής τους (αρμός). Το μοναδικό μνημειακό κτίριο της Ρωμαϊκής ή Βυζαντινής περιόδου για το οποίο έγιναν εκτεταμένες έρευνες των μηχανικών χαρακτηριστικών των επί μέρους υλικών της τοιχοποιίας του είναι η Ροτόντα της Θεσσαλονίκης, που έχει κτισθεί περί το 300 μ.Χ. (Το 1980 ομάδα επιστημόνων υπό τον καθηγητή Γ. Πενέλη εκπόνησε τις σχετικές έρευνες στα πλαίσια της μελέτης επισκευής και ενίσχυσης του Μνημείου, μετά τους σεισμούς του 1978). Έτσι η μελέτη της πρώτης φύσης αναφέρεται στην τοιχοποιία της Ροτόντας.

Μετά την τροφοδοσία του προγράμματος MAFEA με τα μηχανικά χαρακτηριστικά πλίνθων, κονιάματος και αρμού και τη μόρφωση του αναλυτικού μικρομοντέλου πεπερασμένων στοιχείων της τοιχοποιίας έγινε σειρά παραμετρικών αναλύσεων (134 περιπτώσεις) για τον προσδιορισμό της απόκρισης και των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας υπό τυχούσα διαξονική επίπεδη καταπόνηση μέχρι αστοχίας, με τα ακόλουθα αποτελέσματα :

α. Πλήρης σειρά (οικογένεια) περιβαλλουσών αστοχίας της τοιχοποιίας υπό διάφορους λόγους ομόσημων (--/-- και +/+) και ετερόσημων (+/-- και --/+) κύριων θλιπτικών τάσεων και για διάφορες τιμές της γωνίας θ ($\theta=0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ$) που σχηματίζουν οι κύριοι άξονες φόρτισης με τους αρμούς δόμησης της τοιχοποιίας.

β. Πλήρης σειρά εικόνων έναρξης και εξέλιξης των βλαβών μέχρι αστοχίας για όλες τις περιπτώσεις (134) διαξονικής καταπόνησης των μοντέλων της τοιχοποιίας.

γ. Σειρά καμπύλων τάσεων - παραμορφώσεων (σ - ϵ και τ - γ) για χαρακτηριστικές περιπτώσεις μονοαξονικής και διαξονικής καταπόνησης και υπό διάφορες τιμές της γωνίας θ .

Τόσο η Ελληνική όσο και η Διεθνής βιβλιογραφία είναι πολύ περιορισμένη όσον αφορά τη συμπεριφορά τοιχοποιίας υπό διαξονική καταπόνηση και οι σχετικές δημοσιεύσεις αφορούν τοιχοποιία σύγχρονης γεωμετρίας [40, 33, 34], ενώ για τη μνημειακή τοιχοποιία της Ρωμαϊκής και Βυζαντινής περιόδου τα πειραματικά δεδομένα είναι ελάχιστα. Όπως προαναφέρθηκε, οι διαφορές στη γεωμετρία δόμησης μεταξύ μιας σύγχρονης και μιας Ρωμαϊκής τοιχοποιίας πλήρων πλίνθων είναι ιδιαίτερα σημαντικές και εντοπίζονται στο σχήμα των πλίνθων και στο πάχος των αρμών κονιάματος. Έτσι για τις ανάγκες αξιολόγησης των αναλυτικών ευρημάτων της Φάσης Α αποφασίσθηκε η σύγκρισή τους με τα πειραματικά δεδομένα για σύγχρονες τοιχοποιίες μέσω παραμετρικής μελέτης της επιρροής του σχήματος των πλίνθων και του πάχους των αρμών στη συμπεριφορά τοιχοποιίας υπό διαξονική θλιπτική καταπόνηση. Τα αποτελέσματα αυτής της παραμετρικής μελέτης καθιστούν δυνατή την έμμεση ποσοτική σύγκριση των αναλυτικών αποτελεσμάτων για τη Ρωμαϊκή τοιχοποιία με τα πειραματικά δεδομένα για μια σύγχρονη τοιχοποιία.

Στα πλαίσια αυτής της παράλληλης παραμετρικής μελέτης αναλύθηκαν μοντέλα τοιχοποιίας με τις ιδιότητες πλίνθων κονιάματος και αρμών της τοιχοποιίας της Ροτόντας, αλλά με τρία διαφορετικά σχήματα πλίνθων (επιμήκεις, κανονικές και βραχείες πλίνθοι) σε συνδυασμό με τρία διαφορετικά πάχη αρμών (μικρό, μεσαίο και μεγάλο πάχος).

Τα αποτελέσματα της ποιοτικής και ποσοτικής αξιολόγησης των αναλυτικών αποτελεσμάτων είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά.

1.3. Φάση Β

Η φάση αυτή περιλαμβάνει την ανάπτυξη μη γραμμικού μακρομοντέλου και του αντίστοιχου λογισμικού ανάλυσης τοιχοποιίας μέχρι αστοχίας με τη μέθοδο των

πεπερασμένων στοιχείων (πρόγραμμα MAFEA-II).

Χρησιμοποιήθηκε σαν βάση το μη γραμμικό αναλυτικό μικρομοντέλο και το αντίστοιχο πρόγραμμα "MAFEA" (MAsonry Finite Element Analysis) που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος του Α.Π.Θ. [24] για την ανάλυση δομικών στοιχείων από άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα μέχρι αστοχίας.

Με βάση τα αποτελέσματα της πρώτης φάσης του προγράμματος, διαμορφώθηκε πλήρες μηχανικό μοντέλο ορθότροπου υλικού για τη Ρωμαϊκή τοιχοποιία, το οποίο ενσωματώθηκε στο πρόγραμμα MAFEA. Συγκεκριμένα οι φάσεις ανάπτυξης του μοντέλου MAFEA-II ήταν οι ακόλουθες:

1. Αναπτύχθηκε το απαιτούμενο λογισμικό για την αυτόματη επεξεργασία και σχεδιαστική παρουσίαση τόσο των εικόνων εξέλιξης των βλαβών όσο και της παραμορφωμένης εικόνας του μοντέλου κατά τα διαδοχικά βήματα αύξησης της φόρτισης μέχρι αστοχίας. Το λογισμικό αυτό ενσωματώθηκε στα προγράμματα MAFEA και MAFEA-II.

2. Συγκροτήθηκε η βάση δεδομένων της επιφάνειας αστοχίας της Ρωμαϊκής τοιχοποιίας, όπως διαμορφώνεται από τις επί μέρους περιβάλλουσες που προσδιορίστηκαν στην πρώτη φάση (πλήρες κριτήριο αστοχίας τοιχοποιίας υπό τυχούσα διαξονική καταπόνηση), και αναπτύχθηκε το λογισμικό διαχείρισης της βάσης δεδομένων (διαδικασία διπλής μη γραμμικής παρεμβολής).

3. Προσδιορίστηκαν οι επί μέρους όροι του καταστατικού μητρώου που περιγράφει τη μηχανική συμπεριφορά της τοιχοποιίας ως ορθότροπου υλικού (Μέτρα ελαστικότητας και λόγοι Poisson κατά τις δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις ορθοτροπίας, καθώς και το μέτρο διάτμησης). Σημειώνεται ότι τα μεγέθη αυτά μεταβάλλονται μη γραμμικά κατά την εξέλιξη της καταπόνησης μέχρι αστοχίας.

4. Διαμορφώθηκε πλήρες μη γραμμικό καταστατικό μοντέλο ορθότροπου υλικού, που αποδίδει τη μηχανική απόκριση τοιχοποιίας υπό τυχούσα επίπεδη καταπόνηση, και ενσωματώθηκε στο πρόγραμμα MAFEA-II, ώστε να είναι σε θέση να αναλύσει μακρομοντέλα με εισαγωγή πεπερασμένων μακροστοιχείων τοιχοποιίας χωρίς ανεξάρτητη διακριτοποίηση πλίνθων και κονιάματος αρμών σε επί μέρους μικροστοιχεία.

1.4. Φάση Γ

Η φάση αυτή περιλαμβάνει αξιολόγηση του προγράμματος MAFEA-II μέσω συγκριτικών αναλύσεων μοντέλων Ρωμαϊκής τοιχοποιίας που προσομοιώθηκαν τόσο με μακροστοιχεία "τοιχοποιίας" (MAFEA-II), όσο και με ανεξάρτητη διακριτοποίηση πλίνθων και κονιάματος (MAFEA).