

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

### “ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ ΑΠΟ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΥΣ ΜΕ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΤΥΠΟΥ – ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΥΛΙΚΩΝ”

Το Ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο “Αποτίμηση απόκρισης σε σεισμικές δράσεις δομικών συνόλων με φέρουσα τοιχοποιία από οπτόπλινθους με συνδετικό υλικό κονιάματα παραδοσιακού τύπου – Προδιαγραφές κατάλληλων υλικών” αποτελεί ένα ολοκληρωμένο διεπιστημονικό πρόγραμμα για την αποτίμηση της απόκρισης σε σεισμικές δράσεις δομικών συνόλων με οπτόπλινθους και αρμούς μεγάλου πάχους. Το παραπάνω πρόγραμμα αποτελείται από τρεις φάσεις:

**Φάση 1. Σχεδιασμός, παραγωγή, αποτίμηση φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών κονιαμάτων με χονδρόκοκκα αδρανή (σκυρόδεμα) – Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Επιστημονικά Υπεύθυνη: Καθ. Α. Μοροπούλου**

Κατά την πρώτη φάση του ερευνητικού προγράμματος, έγινε ο σχεδιασμός των συνθέσεων των κονιαμάτων, με βάση τα δεδομένα που ελήφθησαν από τον χαρακτηρισμό των ιστορικών κονιαμάτων μνημείων με φέρουσα τοιχοποιία κατασκευασμένο από οπτόπλινθους και αρμούς μεγάλου πάχους, που έχουν υποδείξει μεγάλη μακροβιότητα στον χρόνο και άριστη συμπεριφορά σε σεισμικές δονήσεις (Αγία Σοφία Κων/πολης, Άγιος Μιχαήλ Κιέβου, κ.α.).

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των κονιαμάτων/σκυροδεμάτων είναι παραδοσιακού τύπου (υδράσβεστος, υδραυλικός ασβέστης, φυσικά και τεχνητά ποζολανικά πρόσμικτα, άμμος, σπασμένο κεραμικό σαν αδρανές). Τα παραγόμενα κονιάματα αποτιμήθηκαν σε χρονικό διάστημα ωρίμανσης 1, 3, 6, 12 μηνών χρησιμοποιώντας τις κάτωθι τεχνικές

- Μηχανικές Δοκιμές για την αποτίμηση των μηχανικών αντοχών των κονιαμάτων (αντοχή σε θλίψη, κάμψη, στατικό μέτρο ελαστικότητας)
- Υπερηχοσκόπηση για τον προσδιορισμό της ταχύτητας διάδοσης των υπερήχων και του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας

- Διαφορική θερμική και θερμοβαρυσμική ανάλυση για τον προσδιορισμό των παραγόμενων ενώσεων και τον χρόνο της χημικής σταθεροποίησης του κονιάματος

Τα εξαγόμενα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κονίαμα που παρασκευάστηκε με υδρασβέστο σκόνη (27,5%κ.β. στην συνολική μάζα του κονιάματος), μικρή ποσότητα μετακαολίνη (2,5%κ.β.), θραυσμένο κεραμικό σαν αδρανές (35% κ.β.) και άμμο (35% κ.β.) πληρεί τα κριτήρια των φυσικοχημικών και μηχανικών κριτηρίων και κρίνεται το πλέον κατάλληλο για ιστορική πλινθοδομή μεγάλου αρμού. Από την άλλη πλευρά ικανοποιητική συμπεριφορά παρουσίασε το κονίαμα του υδραυλικού ασβέστη ενώ τα κονιάματα υδρασβέστου – μετακαολίνη με ποσοστό προστιθέμενου μετακαολίνη >10%κ.β. καθώς και τα κονιάματα υδρασβέστου-τσιμέντου(15%-15%) παρουσίασαν μηχανική ασυμβατότητα με τα δομικά στοιχεία μιας ιστορικής πλινθοδομής. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, επιλέχθηκαν σκυροδέματα τριών τύπων (υδρασβέστου –μετακαολίνη με ποσοστά ανάμιξης 27,5-2,5% κ.β. στην συνολική μάζα του κονιάματος, υδραυλικού ασβέστη και υδρασβέστου-τσιμέντου και αδρανή μίξη θραυσμένων κεραμικών και άμμου) τα οποία παρουσιάζουν και μηχανικές αντοχές μεγάλου εύρους, προκειμένου να ελεγχθούν περαιτέρω στην κλίμακα της κατασκευής. Η αποτίμηση στην κλίμακα της κατασκευής επιτυγχάνεται στις επόμενες 2 φάσεις του ερευνητικού προγράμματος.

**Φάση 2. Κατασκευή πιλοτικών τοιχοποιιών με διαφορετικές συνθέσεις κονιαμάτων/σκυροδεμάτων – Μελέτη στατικής και δυναμικής συμπεριφοράς –**  
*Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Τομέας Δομοστατικής, Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Καθ. Π. Καρύδης*

Κατά την δεύτερη φάση του ερευνητικού προγράμματος πραγματοποιήθηκαν στατικά και δυναμικά πειράματα σε πιλοτικές τοιχοποιίες από οπτόπλινθους με αρμούς μεγάλου πάχους (3,5 cm) και χρησιμοποιώντας τα τρία διαφορετικά κονιάματα που προέκυψαν από την Φάση 1.

Οι τοιχοποιίες για τις στατικές δοκιμές είχαν διαστάσεις 1.00m x1.50m x 0.35m. Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε ανακυκλιζόμενη επιβαλλόμενη μετακίνηση με την ταυτόχρονη δράση σταθερού κατακόρυφου φορτίου.

Μετά το πέρας των στατικών δοκιμών εκτελέστηκαν σεισμικές δοκιμές σε δοκίμιο (κατασκευασμένο από οπτόπλινθους και κονίαμα υδρασβέστου μετακαολίνη) το οποίο αποτελούνταν από δύο παράλληλους τοίχους διαστάσεων 2.70\*2.00\*0.35m και συνδέονταν μεταξύ τους με μια πλάκα σκυροδέματος πάχους 0.18m. Στην πλάκα τοποθετήθηκαν πρόσθετες μάζες έτσι ώστε οι δύο τοίχοι να είναι φορτισμένοι με την ίδια κατακόρυφη τάση όπως στις στατικές φορτίσεις. Αρχικά το δοκίμιο διεγέρθηκε από μια χρονοϊστορία λογαριθμικής ημιτονικής σάρωσης για τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του (ιδιοπερίοδο και λόγο απόσβεση). Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν σεισμικές δοκιμές κατά τις οποίες το δοκίμιο διεγέρθηκε από χρονοϊστορία επιτάχυνσης στη διεύθυνση X. Η χρονοϊστορία αυτή αποτελούσε τη συνιστώσα ενός τεχνητού σεισμού. Το δοκίμιο υπέστη διαδοχικές κλιμακωτές τεχνητές σεισμικές διεγέρσεις μέχρι την αστοχία του.

Την βέλτιστη συμπεριφορά την υπέδειξε η τοιχοποιία με κονιάματα αρμού παρασκευασμένο με υδράσβεστο-μετακαολίνη με αναλογίες ανάμιξης: Υδράσβεστος σκόνη: 27,5% κ.β., Μετακαολίνη: 2,5% κ.β., θραυσμένο κεραμικό σαν αδρανές: 35% κ.β., Άμμος: 35% κ.β. ενώ ικανοποιητική συμπεριφορά παρουσίασε και το κονίαμα υδραυλικού ασβέστη.

**Φάση 3. Δομοστατική μελέτη μιας ιστορικής κατασκευής χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων - Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Τομέας Δομοστατικής, Εργαστήριο Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών, Καθ. Κ. Συρμακέζης)**

Στην Τρίτη φάση του ερευνητικού προγράμματος περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την αναλυτική αποτίμηση της συμπεριφοράς – απόκρισης σε σεισμικές δράσεις δομικών συνόλων με φέρουσα τοιχοποιία και την επιρροή του συνδετικού υλικού (κονιάματα), εξειδικευμένα στην πραγματική κατασκευή που επιλέχθηκε για τον σκοπό αυτό, τον Βυζαντινό ναό της μονής της Καισαριανής.

Με δεδομένα τα χαρακτηριστικά των υλικών της κατασκευής (λιθοσώματα – κονιάματα) έγινε η προσομοίωση του φορέα (πεπερασμένα στοιχεία) των δράσεων και των χαρακτηριστικών των υλικών. Η αποτίμηση των χαρακτηριστικών των λίθων και των κονιαμάτων γίνεται σε κλίμακα πραγματικής κατασκευής. Ο φορέας επιλύθηκε για διαφόρους συνδυασμούς φορτίσεων με τη μέθοδο των πεπερασμένων

στοιχείων. Στην συνέχεια με εφαρμογή του προγράμματος FAILURE, συντάχθηκαν τα διαγράμματα αστοχίας της κατασκευής ανά τοίχο και ανά φόρτιση.

Για την δημιουργία των καμπύλων θραυστότητας, η κατασκευή επιλύθηκε με μέσες τιμές των ελαστικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας, για τέσσερις διαφορετικές τιμές συντελεστού σεισμικής επιτάχυνσης, ήτοι 0.16 g, 0.24g, 0.32g, 0.40g, οι οποίες αφενός μεν καλύπτουν τις απαιτήσεις του κανονισμού, αφετέρου δε υπερεκτιμούν - ορθώς για τους σκοπούς της εφαρμογής - την αβεβαιότητα που ενέχει η εκτίμηση της αναμενόμενης σεισμικής διέγερσης. Οι καμπύλες θραυστότητας, συσχετίζουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών (αντοχή σε θλίψη, εφελκυσμό, μέτρο ελαστικότητας) με την εδαφική επιτάχυνση και την πιθανότητα εμφάνισης αστοχίας στα τμήματα της κατασκευής, για το συγκεκριμένο μνημείο και για τις διαφορετικές συνθέσεις κονιαμάτων.

Ως μεταβλητή παράμετρος παρατήρησης των πολλαπλών επιλύσεων της κατασκευής επιλέγεται η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας  $f_{wt}$ . Η επιλογή αυτή στηρίχθηκε στο γεγονός ότι ο κρίσιμος μηχανισμός αστοχίας υπό διαξονική ένταση καθορίζεται από την αντοχή σε εφελκυσμό. Το εύρος μεταβολής της αντοχής αυτής, για σταθερή επιλεγείσα τιμή θλιπτικής αντοχής  $f_{wc}=1300$  KPa, ορίστηκε εμπειρικά από τη εύλογη διακύμανση  $f_{wt}$  από 120 μέχρι 480 Kpa, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα της εξαγωγής των καμπύλων θραυστότητας. Οι παραπάνω καμπύλες θραυστότητας που προέκυψαν από στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων σχεδιάστηκαν και έχουν περιληφθεί στην τεχνική έκθεση.

Η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε και για την επισκευασμένη κατασκευή, μετά την λήψη των συγκεκριμένων μέτρων αποκατάστασης και με την χρησιμοποίηση των συγκεκριμένων κονιαμάτων-σκυροδεμάτων με υδραυλικό ασβέστη και ασβέστη/μετακαολίνη. Η κατασκευή υπό τις συνθήκες αυτές παρουσίασε ικανοποιητική συμπεριφορά σε στατικές και δυναμικές καταπονήσεις συνολικά, ωστόσο την βέλτιστη συμπεριφορά την υπέδειξε το κονιάματα υδρασβέστου-μετακαολίνη με αναλογίες ανάμιξης: Υδράσβεστος σκόνη: 27,5% κ.β., Μετακαολίνη: 2,5% κ.β., θραυσμένο κεραμικό σαν αδρανές: 35% κ.β., Άμμος: 35% κ.β. Οι υψηλές τιμές αντοχών κονιαμάτων, οδήγησαν σε πλήρη αποφυγή αστοχιών, καθεστώς υπό το οποίο δεν έχει νόημα η κατασκευή καμπύλων θραυστότητας.

Τέλος, συντάχθηκαν συγκεκριμένες προδιαγραφές που θα πρέπει να ακολουθούν κατά τον σχεδιασμό, την παρασκευή και την συντήρηση των κονιαμάτων / σκυροδεμάτων αποκατάστασης και επιπλέον, όσον αφορά στα τελικά φυσικοχημικά και μηχανικά χαρακτηριστικά που πρέπει να παρουσιάζουν τα κονιάματα αποκατάστασης, προκειμένου να διασφαλίζουν την ομαλή συμπεριφορά των τοιχοποιιών σε σεισμικές δράσεις και την μακροβιότητα της κατασκευής στον χρόνο.