

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΜΕ ΙΝΟΠΛΕΓΜΑΤΑ ΑΝΟΡΓΑΝΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (TRM)

### ΠΑΛΑΙΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ

#### Περίληψη

Η εργασία που παρουσιάζεται επικεντρώνεται στην παρουσίαση και προβολή των ευεργετημάτων μιας σχετικά νέας μεθόδου ενίσχυσης κατασκευών από Φέρουσα Τοιχοποιία, τα Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM ή TRM). Επιχειρείται σύγκριση -μέσω πειραματικών αποτελεσμάτων- μεταξύ των TRM και της μεθόδου ενίσχυσης με Ινοπλισμένα πολυμερή υλικά (ΙΟΠ ή FRP). Επιπροσθέτως μέσω αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν κατά το παρελθόν, αποτιμάται η αποτελεσματικότητα και το κόστος ορισμένων συμβατικών τεχνικών ενίσχυσης και τέλος πραγματοποιείται σύγκριση αυτών με τα TRM.

#### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υποστηρίζεται ότι η ιστορία κάθε πολιτισμού είναι απόρροια της αρχιτεκτονικής, η οποία έχει ως κύριο τρόπο δόμησης - λόγω γεωγραφίας και εδαφικής μορφολογίας του Ελλαδικού χώρου - την τοιχοποιία. Μνημειακές κατασκευές, όπως φρούρια, ανάκτορα, εκκλησίες, γέφυρες, υδραγωγεία, οχρωματικά έργα κτλ. καθώς και πολλές κατοικίες αποτελούν κατασκευές φέρουσας τοιχοποιίας. Για πολλά χρόνια οι κατασκευές θεωρούνταν αντικείμενο τέχνης και εμπειρίας και όχι επιστήμης με άμεσο επακόλουθο να χαρακτηρίζονται από υψηλή σεισμική τρωτότητα.

Κρίθηκε λοιπόν δέον αρκετές δεκαετίες πριν, να αναπτυχθούν αποτελεσματικές και οικονομικά πρόσφορες τεχνικές ενίσχυσης. Πέραν από τις συμβατικές τεχνικές ενίσχυσης (οι οποίες θα εξεταστούν προς το τέλος της παρούσας εργασίας) τα τελευταία χρόνια η ανάγκη για ποιοτική και οικονομική βελτιστοποίηση στις ενισχύσεις των κατασκευών οδήγησε την διεθνή επιστημονική κοινότητα στη διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής νέων τεχνικών που βασίζονται στη χρήση σύνθετων υλικών. Τα νέα αυτά σύνθετα υλικά έχουν ως φορέα ανάληψης των εφελκυστικών δυνάμεων ένα συνεχές ύφασμα ινών που εμποτίζεται με εποξειδική ρητίνη και επικολλάται στο μέλος.

Τα υλικά αυτά είναι γνωστά ως ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ), (FRP-Fiber Reinforced Polymer) ενώ εναλλακτική πρόταση αποτελεί μια νέα γενιά σύνθετων υλικών : τα ινοπλισμένα κονιάματα ή αλλιώς τα ινοπλέγματα ανόργανης μήτρας (TRM-Textile Reinforced Mortar).

#### 2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ FRP - TRM

Οι θετικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών ( FRP + TRM ) είναι οι εξής [3],[5],[4]:

- Εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή
- Ανθεκτικότητα στο χρόνο
- Χαμηλό βάρος ενίσχυσης
- Ικανοποιητική παραμορφωσιμότητα έως ότου επέλθει θραύση
- Υψηλή αντίσταση στη διάβρωση
- Εύκολη εφαρμογή σε υπάρχουσες κατασκευές
- Υψηλή παραγωγικότητα
- Εύκολη προσαρμογή στη στάθμη ενίσχυσης που απαιτείται
- Είναι μη παρεμβατική μέθοδος παρουσιάζοντας ελάχιστες αλλαγές στη γεωμετρία
- Παρουσιάζουν υψηλό λόγο αντοχής προς μάζα και δυσκαμψίας προς μάζα-

χαρακτηριστικό ιδιαίτερος σημαντικό όσον αφορά τις αντισεισμικές ενισχύσεις, καθώς αύξηση της μάζας συνεπάγεται αύξηση των σεισμικών φορτίων.

Παρακάτω δίνεται πίνακας με τις ενδεικτικές ιδιότητες των ρητινών και γίνονται σχετικές συγκρίσεις.

	Εποξειδική Ρητίνη	Σκυρόδεμα	Χάλυβας
Εφελκυστική Αντοχή (MPa)	9-30	1-4	200-600
Διατμητική Αντοχή(MPa)	10-30	2-5	150-400
Θλιπτική Αντοχή(MPa)	55-110	25-150	200-600
Οριακή παραμόρφωση σε εφελκυσμό(%)	0.5-5	0.015	20-25
Μέτρο Ελαστικότητας(GPa)	0.5-20	20-50	205

**Πιν.1:** Ενδεικτικές ιδιότητες εποξειδικών ρητινών και σύγκριση με σκυρόδεμα και χάλυβα [1]

Παρόλα αυτά όμως, τα ινοπλισμένα πολυμερή με μήτρα εποξειδικής ρητίνης (FRP) παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα τα οποία οφείλονται κατά κύριο λόγο στην χρήση ρητινών:[3],[4]

- Απώλεια αντοχής του υλικού λόγω της πτωχής συμπεριφοράς των ρητινών σε θερμοκρασίες πάνω από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (70-80 C)
- Οι ρητίνες είναι ιδιαιτέρως εύφλεκτες και κατά την καύση τους απελευθερώνουν τοξικά αέρια
- Υψηλό κόστος ρητινών
- Ασυμβατότητα μεταξύ ρητινών και επιφάνειας υποστρώματος (αφορά κυρίως ιστορικές κατασκευές)
- Η εφαρμογή των ρητινών σε χαμηλές θερμοκρασίες, σε υγρές επιφάνειες και επιφάνειες ανώμαλες ή με μεγάλη τραχύτητα είναι αδύνατη
- Αποτελούν μη ανακυκλώσιμο υλικό και μη αναστρέψιμη μέθοδο ενίσχυσης (κάτι το οποίο απαιτείται από διεθνείς συμβάσεις όταν πρόκειται για επεμβάσεις σε κατασκευές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.)
- Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και εξοπλισμός καθώς οι ρητίνες είναι ένα ιδιαιτέρως “ευαίσθητο” υλικό κατά την εφαρμογή τους
- Η επαφή με τις ρητίνες εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία
- Οι μανδύες FRP δεν επιτρέπουν στα δομικά στοιχεία να «αναπνεύσουν» με αποτέλεσμα τη συσσώρευση υγρασίας
- Μετά από σεισμό η αποτίμηση πιθανών βλαβών πίσω από μανδύες FRP είναι αδύνατη μόνο με οπτική παρατήρηση

Εξαιτίας ,λοιπόν, των ανωτέρω προβλημάτων η έρευνα εστιάστηκε στην αντικατάσταση της μήτρας δηλ. της ρητίνης (οργανικό υλικό) η οποία συγκολλά τις ίνες, με πολύ λεπτόκοκκο ανόργανο υλικό – τύπου κονιάματος που έχει ως βάση του το τσιμέντο. Λόγω όμως, της σχετικά υψηλής κοκκομετρίας του κονιάματος, ακόμη και του εξαιρετικά λεπτόκοκκου, ο εμποτισμός των ινών δεν ήταν επαρκής δηλ. δεν εξασφαλιζόταν η απαιτούμενη συνάφεια μεταξύ μήτρας (κονίαμα) και ινών. Ως άμεσο επακόλουθο των ανωτέρω ήταν η αντικατάσταση των συμβατικών συνεχών υφασμάτων από ίνες , με πλέγματα με βροχίδες (textiles). Τα πλέγματα αυτά κατασκευάζονται ανά αποστάσεις σε 2 ή περισσότερες διευθύνσεις έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καλή συνεργασία ινών και μητρικού υλικού κυρίως μέσω μηχανικής εμπλοκής του κονιάματος στα κενά μεταξύ των δεσμών. Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα πλέγματα ινών (Πιν.2) είναι από άνθρακα, γυαλί, αραμίδιο και βασάλτη ενώ κυκλοφορούν κονιάματα διαφορετικής σύστασης/ιδιοτήτων τα οποία πρέπει να

διαθέτουν ένα συγκεκριμένο όριο ρευστότητας/εργασιμότητας. Το κονίαμα ενδέχεται να έχει πρόσθετα πολυμερή σε ποσοστό περίπου 20% κατά βάρος των λεπτόκοκκων ενώ συχνά ως μήτρα χρησιμοποιείται κονίαμα υδραυλικής ασβέστου το οποίο δεν περιέχει τσιμέντο ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή του σε αρχαιολογικές κατασκευές. Ο όρος που χρησιμοποιείται για τα εξελιγμένα αυτά σύνθετα υλικά μανδύων ενίσχυσης είναι Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM) ή Textile Reinforced Mortar (TRM).

	Ίνες Ανθρακα	Ίνες Γυαλιού	Ίνες Αραμιδίου
Εφελκυστική Αντοχή (MPa)	2100-6000	1900-4800	3500-4000
Οριακή παραμόρφωση σε εφελκυσμό(%)	0.2-2.3	3.0-5.5	2.5-5.0
Μέτρο Ελαστικότητας(GPa)	215-700	70-90	70-130

**Πιν.2:** Ενδεικτικές ιδιότητες ινών [1]

Στον παραπάνω πίνακα δίδονται ενδεικτικές ιδιότητες ινών ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι βασικές μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών μπορούν είτε να βρεθούν πειραματικά είτε να εκτιμηθούν μέσω της σχέσης που είναι γνωστή ως «κανόνας ανάμιξης»

$$E_f = E_{fib} V_{fib} + E_m V_m$$

$$f_f = f_{fib} V_{fib} + f_m V_m$$

όπου:

$E_f$  = μέτρο ελαστικότητας σύνθετων υλικών παράλληλα στις ίνες

$E_{fib}$  = μέτρο ελαστικότητας ινών

$E_m$  = μέτρο ελαστικότητας μήτρας

$V_{fib}$  = ογκομετρικό ποσοστό ινών

$V_m$  = ογκομετρικό ποσοστό μήτρας = 1-  $V_{fib}$

$f_f$  = εφελκυστική αντοχή σύνθετων υλικών παράλληλα στις ίνες

$f_{fib}$  = εφελκυστική αντοχή ινών

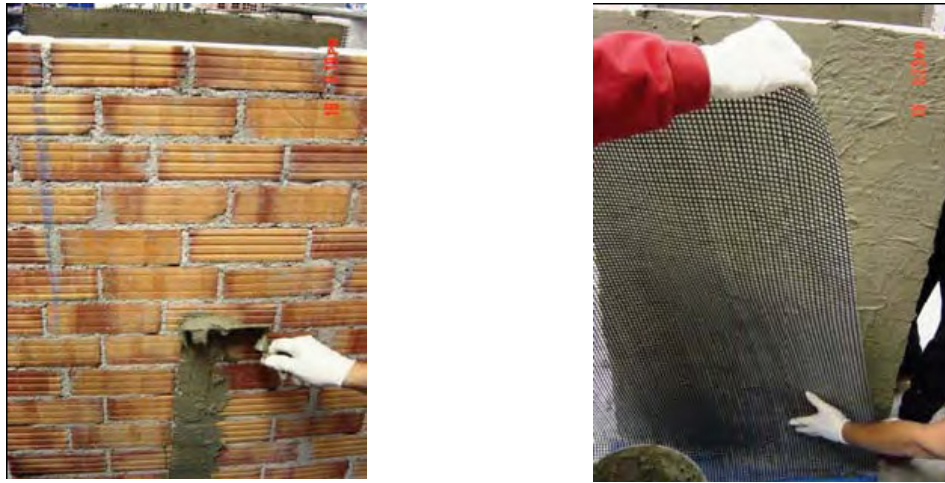
$f_m$  = εφελκυστική αντοχή μήτρας

### 3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

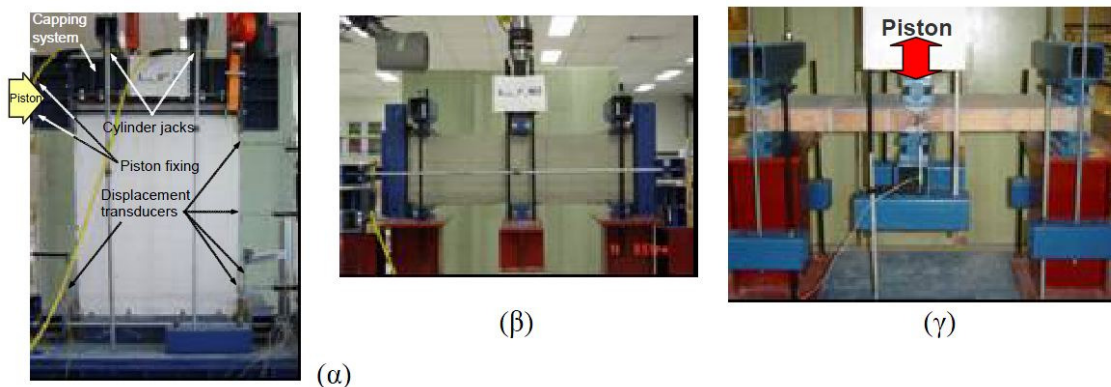
Σε πείραμα που εκπονήθηκε [9] κατασκευάστηκαν τοιχίσκοι οπτοπλινθοδομής τριών διαφορετικών τύπων: διατμητικά τοιχώματα, στοιχεία τύπου πεσσού και υπέρθυρα. Οι τοιχίσκοι ενισχύθηκαν αμφίπλευρα με μανδύα σύνθετων υλικών TRM ή FRP και υποβλήθηκαν υπό συνθήκες ανακυκλιζόμενης φόρτισης σε:

α)εντός επιπέδου κάμψη με επιβολή αξονικού φορτίου, β)εκτός επιπέδου κάμψη και γ)εντός επιπέδου διάτμηση με ή χωρίς την επιβολή αξονικού φορτίου.

Δοκιμάστηκαν επίσης, άοπλοι τοιχίσκοι σε μονοτονική φόρτιση [Εικ. 3].

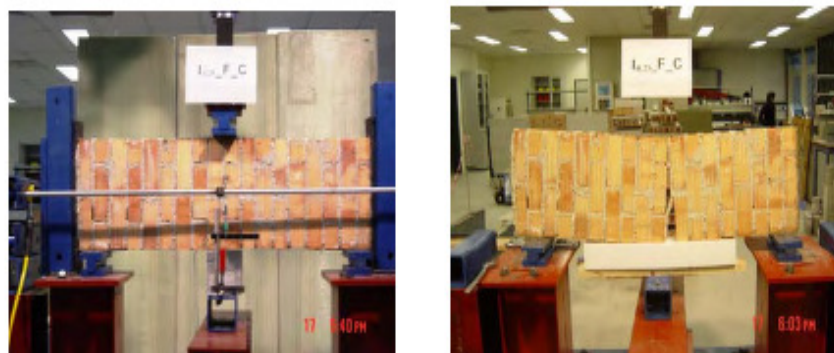


**Εικ.1:** Διαδικασία ενίσχυσης δοκιμίων με «TRM» [9],[5]



**Εικ. 2:** Πειραματική διάταξη δοκιμίων [4]

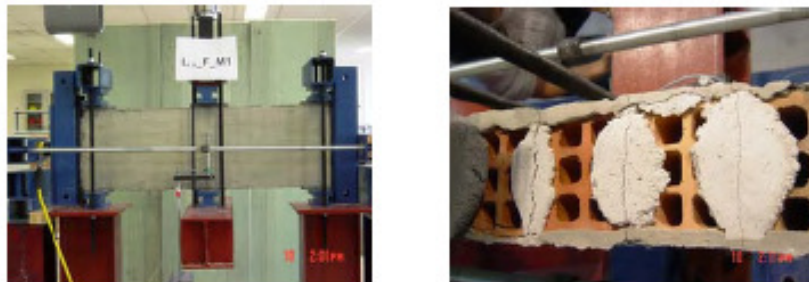
Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών συνηγορούν στο ότι η αποτελεσματικότητα των δύο μεθόδων είναι βέβαιη. Η απόκριση τόσο των ενισχυμένων με TRM δοκιμίων όσο και με FRP συγκρινόμενη με την απόκριση άοπλων τοιχίσκων κάνει σαφές ότι τα σύνθετα υλικά αναβαθμίζουν την αντοχή και την παραμορφωσιμότητα της φέρουσας τοιχοποιίας. Ακολουθούν φωτογραφίες που δείχνουν τον τρόπο αστοχίας τοιχίσκου - τύπου πεσσού για εντός επιπέδου κάμψη:



**Εικ. 3:** Πειραματική διάταξη για μονοτονική φόρτιση για κάμψη εντός επιπέδου σε δοκίμιο ελέγχου (με αξονικό φορτίο) - δημιουργία κατακόρυφης ρωγμής αστοχίας στο μέσον του ανοίγματος.[5]



**Εικ.4 :** Καμπτική ανακυκλιζόμενη φόρτιση σε δοκίμιο ενισχυμένο με FRP με αξονικό φορτίο. Αστοχία στη διεπιφάνεια ενίσχυσης – τοίχου λόγω των υψηλών διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται με αποτέλεσμα την αποκόλληση του μανδύα ενίσχυσης και υποχώρηση των στηρίξεων στη διεπιφάνειας τοίχου - ενίσχυσης.[5]



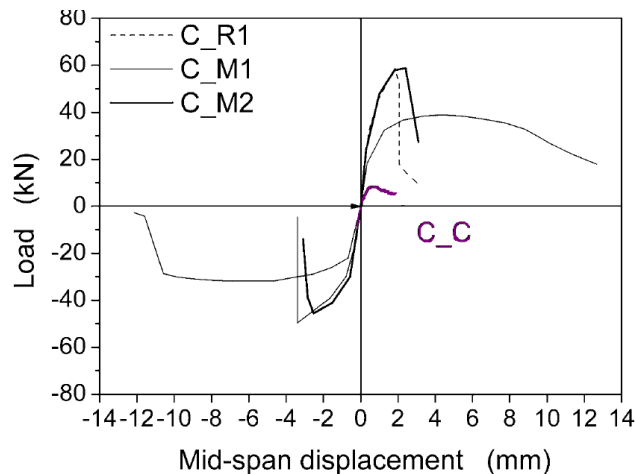
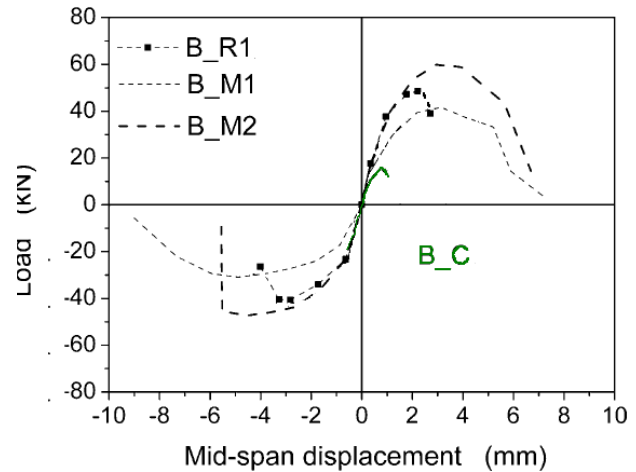
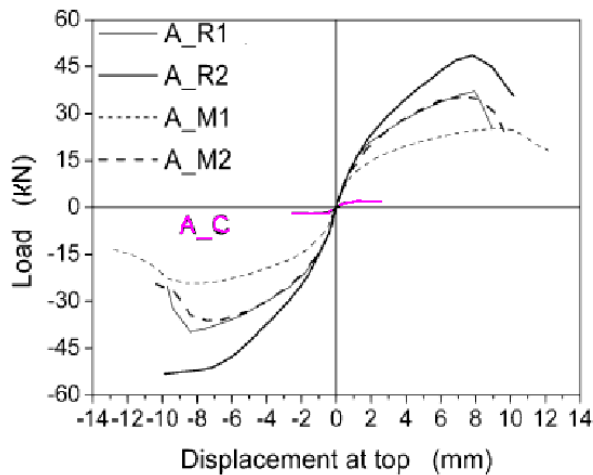
**Εικ.5:** Κάμψη εντός επιπέδου σε δοκίμιο ενισχυμένο με TRM με αξονικό φορτίο - Κατανεμημένες καμπτικές ρωγμή στην εφελκυστική ζώνη με «άνοιγμα» μεγάλου αριθμού αρμών[5]

Ωστόσο βέβαια, από τα πειράματα προέκυψαν συμπεράσματα που καταδεικνύουν το προβάδισμα των TRM έναντι των FRP: [9],[8],[4]

- Για εκτός επιπέδου φόρτιση οι μανδύες ενίσχυσης TRM συγκρινόμενοι με μανδύες ενίσχυσης FRP ίσης δυστένειας αποδεικνύονται περισσότερο αποτελεσματικοί καθώς αυξάνουν περισσότερο την αντοχή και την παραμορφωσιμότητα του υπόψη τοιχίσκου.
- Αντιθέτως, για την περίπτωση της εντός επιπέδου φόρτισης η αποδοτικότητα ως προς την αντοχή των μανδύων TRM ισούται με το 65-70% της αποδοτικότητας των μανδύων FRP-συγκεκριμένα [5] για τα στοιχεία τύπου πεσσού παρατηρήθηκε αύξηση 2,5 έως και 28 φορές της αντοχής των ενισχυμένων με ρητίνη έναντι των άοπλων ενώ η μήτρα κονιάματος την αύξησε 2 έως και 19,3 φορές. Όμως, ως προς την παραμόρφωση η αύξηση της αποδοτικότητας των TRM συγκριτικά με τα FRP είναι: 15%-30% για την περίπτωση των διατμητικών τοιχωμάτων, 135% για την περίπτωση στοιχείων τύπου πεσσού και 350% για την περίπτωση υπερθύρων (παρακάτω δίνονται τα σχετικά διαγράμματα δύναμης – μετατόπισης). Επομένως, η χρήση ανόργανης μήτρας οδήγησε να μεν σε ικανοποιητική αύξηση της αντοχής επιτυγχάνοντας όμως σημαντικά μεγαλύτερες παραμορφώσεις δηλ. οι τοίχοι απορροφώντας μεγαλύτερα ποσοστά ενέργειας γίνονται περισσότερο πλαστικοί.
- Για το σύνολο των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν παρατηρήθηκε μια πολλή ενδιαφέρουσα διαφορά :η χρήση της ανόργανης μήτρας επιτρέπει την εμφάνιση ‘προειδοποιητικών’ μικρορωγμών [Εικ. 5], δηλ. την ανακατανομή των δυνάμεων με αποτέλεσμα η αστοχία να είναι λιγότερο βίαιη και να προκύπτει για μεγαλύτερο βέλος κάμψης σε αντίθεση με τη ρητίνη όπου διατηρείται η συνέχεια του υλικού και εντέλει αστοχεί ψαθυρά.

- Ως άμεσο επακόλουθο των παραπάνω αποτελεί ο τρόπος αποκόλλησης του μανδύα από τον τοιχίσκο. Όσον αφορά την ενίσχυση με πολυμερική μήτρα λόγω της ισχυρής συγκόλλησης υφάσματος + ρητίνης με τον οπτόπλινθο, κατά την θραύση το ύφασμα συμπαρασύρει τα θραύσματα [Εικ. 4] του οπτόπλινθου. Αντιθέτως, όσον αφορά την ενίσχυση με κονίαμα, αποκολλάται μόνον το ύφασμα καθώς το κονίαμα παραμένει επάνω στον οπτόπλινθο.
- Τέλος, κοινή απόρροια όλων των πειραμάτων που εξετάστηκαν είναι ότι η αντοχή αυξάνεται με την αύξηση των στρώσεων (δηλ. των πλεγμάτων ινών) με παράλληλη όμως μείωση της ικανότητας παραμόρφωσης του στοιχείου καθώς επίσης και ότι η εφαρμογή του μανδύα είναι απαραίτητη και από τις δύο πλευρές της τοιχοποιίας ώστε να είναι πλήρως εξασφαλισμένη έναντι εκτός επιπέδου κάμψης.

Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτή η υπεροχή των TRM καθώς εκτός των άλλων: κρίνονται (εκ φύσεως) ευκολότερα στην εφαρμογή και είναι φιλικότερα στη χρήση, είναι οικονομικότερα έναντι των ρητινών, προσαρμόζονται με μεγαλύτερη ευκολία στην όποια πολύπλοκη γεωμετρία ενώ παρουσιάζουν μεγαλύτερη ολκιμότητα, αρκεί φυσικά το κονίαμα που θα χρησιμοποιηθεί να έχει μια ελάχιστη τιμή αντοχής ώστε να γίνει πλήρως εκμετάλλευση της αντοχής των ινών.



**Διαγράμματα Δύναμης – Μετατόπισης** για: Α) διατμητικά τοιχώματα, Β) στοιχεία τύπου πεσσού, C) υπέρθυρα [9]

Να σημειωθεί ότι ο συμβολισμός A\_C , B\_C , C\_C υποδηλώνει τα μη ενισχυμένα δοκίμια όπου A: διατμητικά τοιχώματα, B: στοιχεία τύπου πεσσού, C: υπέρθυρα, ενώ ο συμβολισμός A\_R , B\_R , C\_R αναφέρεται στη χρήση ρητίνης και ο A\_M1 , B\_M1 , C\_M1 στη χρήση κονιάματος με μία στρώση ίνες ή A\_M2 για δύο στρώσεις ινών.

#### 4.ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Παρά την πολύ σημαντική (όπως διαπιστώθηκε μέσω της πειραματική διαδικασία) αύξηση αντοχής-παραμορφωσιμότητας κατασκευών φέρουσας τοιχοποιίας (Φ.Τ.) οι οποίες ενισχύθηκαν με σύνθετα υλικά, η σημερινή ελληνική πραγματικότητα είναι εντελώς διαφορετική. Στην πλειοψηφία των ενισχύσεων – επισκευών που πραγματοποιούνται γίνεται χρήση των συμβατικών μεθόδων ενίσχυσης:[2]

- ❖ Εφαρμογή μανδύων εκτοξευόμενου σκυροδέματος στη μία ή και στις δύο πλευρές των τοίχων
- ❖ Δημιουργία οριζόντιου ή/και κατακόρυφου διαζώματος Ο.Σ
- ❖ Αντικατάσταση ξύλινων πατώματων με δύσκαμπτα πατώματα Ο.Σ
- ❖ Κατακόρυφη και οριζόντια προένταση – δηλ. σε πεσσούς και ανώφλια
- ❖ Σύνδεση τοίχων με μεταλλικούς συνδέσμους
- ❖ Αρμολόγημα με τσιμεντοκονίαμα και τσιμεντενέσεις - ρητινενέματα
- ❖ Ριζοοπλισμοί (μέθοδος σταθεροποίησης της τοιχοποιίας με την είσοδο στο σώμα της χαλύβδινων ράβδων οπλισμού ή αγκυρίων σύμφωνα με καθορισμένο τρόπο).
- ❖ Ανακατασκευή κατεστραμμένων τμημάτων των τοίχων κ.ά.

Κατά το παρελθόν πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις κτιρίων (με τη βοήθεια του προγράμματος ACORD-CP ) σκοπός των οποίων ήταν αφενός μεν η αποτίμηση της αποτελεσματικότητας 14 συμβατικών τεχνικών ενίσχυσης και συνδυασμών αυτών και αφετέρου η αποτίμηση του κόστους των επεμβάσεων αυτών. Από τις αναλύσεις προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:[2],[6]

Ο αμφίπλευρος μανδύας εκτοξευόμενου σκυροδέματος αποδείχτηκε η πιο αποτελεσματική μέθοδος εφόσον οι μέσες εφελκυστικές τάσεις της ενισχυμένης κατασκευής μειώθηκαν κατά μέσο όρο περίπου 50% ενώ σε συνδυασμό με Πατώματα Ο.Σ + Οριζόντιο διαζώματα ΟΣ στη στέγη μειώνονται κατά 65% ! Κατά 35% μείωσε ο μονόπλευρος μανδύας τις εφελκυστικές τάσεις ενώ πάνω από 35% μειώθηκαν κατά τον συνδυασμό Κατακόρυφη + Οριζόντια Προένταση ενώ εξίσου αποτελεσματικοί κρίνονται και οι συνδυασμοί Κατακόρυφης Προέντασης + Οριζόντια Διαζώματα ΟΣ όπως και ο συνδυασμός Δάπεδα ΟΣ + Οριζόντια Διαζώματα στη στέγη. Ως λιγότερο αποτελεσματική χαρακτηρίζεται η εφαρμογή Κατακόρυφων Διαζωμάτων καθώς οι μέγιστες κύριες εφελκυστικές τάσεις στους τοίχους είναι περίπου οριζόντιες και όχι κατακόρυφες ώστε να τις παραλάβουν τα κατακόρυφα διαζώματα.

Ως προς το κατασκευαστικό κόστος των ενισχύσεων είχε υπολογιστεί με βάση το ΑΤΟΕ (Αναλυτικό Τιμολόγιο Οικοδομικών Εργασιών) ότι ο βέλτιστος τρόπος ενίσχυσης – Αμφίπλευρος Μανδύας Εκτοξ.Σκυροδέματος + Πατώματα ΟΣ + Οριζόντιο Διάζωμα στη στέγη- είναι κατά πολύ ακριβότερος των υπολοίπων και συγκεκριμένα κοστίζει 40% περισσότερο από τον Αμφίπλευρο Μανδύα , ενίσχυση η οποία υστερεί μόνο κατά 10% της αποτελεσματικότητας του παραπάνω τριπλού συνδυασμού. Ο συνδυασμός Κατακόρυφη Προένταση + Οριζόντιο Διάζωμα είναι 3,5 φορές φθηνότερος του ίσης αποτελεσματικότητας συνδυασμού: Πατώματα ΟΣ + Διάζωμα στη στέγη. Ο οικονομικότερος όλων των συνδυασμών είναι Κατακόρυφη + Οριζόντια Προένταση ο οποίος είναι 20% φθηνότερος του συνδυασμού Κατακόρυφη Προένταση + Οριζόντιο Διάζωμα και όπως αναφέρθηκε ίσης αποτελεσματικότητας!

## 5. ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ – ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ (TRM)

Όπως διαπιστώθηκε ανωτέρω, η εφαρμογή τόσο των κατά κόρον χρησιμοποιούμενων τεχνικών ενίσχυσης όσο και των σύνθετων υλικών οδηγεί σε άκρως εντυπωσιακή αύξηση της αντοχής των ενισχυμένων τοίχων.

Γεγονός αποτελεί το ότι δεν υπάρχουν αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών ή αναλύσεων μέσω λογισμικού Η/Υ από την άμεση σύγκριση συμβατικών τεχνικών – σύνθετων υλικών ίσως διότι δεν υπάρχει κοινή βάση σύγκρισης των μεθόδων αυτών.

Παρόλα ταύτα ανακύπτουν ορισμένα προβλήματα από τη χρήση των συμβατικών μεθόδων που θα είχαν αποφευχθεί αν εφαρμόζονταν τα TRM. [1],[7]

- ❖ Αυξάνεται η μάζα/βάρος της κατασκευής
- ❖ Αυξάνεται η δυσκαμψία της και σε συνδυασμό με την αύξηση βάρους που συντελείται, προκύπτει μια κατασκευή με εντελώς διαφορετικά δυναμικά χαρακτηριστικά, δέχεται πολλαπλάσια σεισμικά φορτία και αλληλεπιδρά με διαφορετικό τρόπο στις όποιες φορτίσεις.
- ❖ Αυξάνονται οι διαστάσεις των φερόντων στοιχείων και γενικότερα μεταβάλλεται η γεωμετρία της κατασκευής με άμεσο αντίκτυπο την αλλοίωση της αισθητικής του κτιρίου και την απώλεια ελεύθερου χώρου
- ❖ Σε αρκετές περιπτώσεις οι τεχνικές αυτές δεν είναι άμεσα εφαρμόσιμες
- ❖ Απαιτείται ειδική επεξεργασία της προς ενίσχυση επιφάνειας ενώ είναι πολύ πιθανό γκρεμίσματα-χαλάσματα να οδηγήσουν τους ενοίκους στην προσωρινή εγκατάλειψη της κατοικίας τους.
- ❖ Οι περισσότερες τεχνικές τραυματίζουν την αρχική όψη των κτιρίων (κοψίματα, τρυπήματα τοίχων) και είναι μη αναστρέψιμες
- ❖ Πολλές φορές δεν διασφαλίζεται (σε αντιδιαστολή με τα TRM) η ακεραιότητα των κατασκευών καθώς μέσω των ενισχύσεων αυτών δεν προλαμβάνεται η μη κατάρρευση τοίχων ή τμημάτων αυτού κάτι που αποτελεί πηγή κινδύνου και ανασφάλειας κατά τη διάρκεια σεισμού.[3]

Αντιθέτως, τα TRM πέραν του ότι δίνουν λύση σε προβλήματα στατικής επάρκειας και αναβαθμίζουν τη στάθμη επιτελεστικότητας των κτιρίων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, προσφέρουν περισσότερο ομογενείς κατασκευές δίχως να επιβαρύνουν το κτίριο με συμπληρωματικά βάρη και τοπικές συγκεντρώσεις τάσεων καθώς η χρήση και μόνον των πλεγμάτων ινών συνολικού πάχους (με κονίαμα) 10 έως 30mm αρκεί για να επιτευχθεί η υπεραντοχή που επιζητείται. Και αν ο χρόνος είναι χρήμα όπως πολλοί υποστηρίζουν, αξίζει να σημειωθεί ότι για την εφαρμογή των TRM απαιτείται πολύ λιγότερη διάρκεια εργασιών /κόπος από οποιαδήποτε άλλη διαδικασία ενίσχυσης και κυρίως δεν απαιτείται ιδιαίτερη εξειδίκευση/γνώση του προσωπικού ούτε κατάλληλα βοηθητικά μέσα (όπως απαιτείται στην περίπτωση των Μανδύων Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος και Προέντασης).

Το βασικό ίσως, μειονέκτημα των TRM είναι το υψηλό κόστος αγοράς τους και το ότι ως νέα ‘επιστημονική ανακάλυψη’ δεν έχουν πραγματοποιηθεί ακόμη όλα τα απαιτούμενα πειράματα και αναλύσεις ώστε ο κατασκευαστικός κόσμος να οδηγηθεί σε ασφαλή ως προς την αποτελεσματικότητα των TRM συμπεράσματα και να πειστεί εμπράκτως για τη χρησιμότητά τους.

## 6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ο Πολιτικός Μηχανικός έχοντας καλή γνώση όλων των τεχνικών ενίσχυσης Φέρουσας Τοιχοποιίας και λαμβάνοντας υπόψη του τις όποιες ιδιαιτερότητες της κατασκευής θα κατορθώσει να καταλήξει στην ιδανικότερη από άποψη αποτελεσματικότητας ,κόστους και ποιότητας τεχνική ενίσχυσης. Τα Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας από τα ελάχιστα παγκοσμίως πειράματα που πραγματοποιήθηκαν - (τα οποία έλαβαν χώρα κυρίως στο Εργαστήριο Μηχανικής των Υλικών του Πανεπιστημίου Πατρών), φαίνεται πως θα



διαγράψουν λαμπρή πορεία στο πεδίο των ενισχύσεων, αρκεί φυσικά στο μέλλον να πραγματοποιηθούν περισσότερα πειραματικά προγράμματα που θα το επιβεβαιώσουν. Αν συμβεί κάτι τέτοιο θα συντελεστεί σημαντική πρόοδος όσον αφορά την ενίσχυση ιστορικών και νεοκλασικιστικών κτιρίων, ναών, μνημείων και ό,τι άλλο αποτελεί κομμάτι της πολιτιστικής μας κληρονομιάς που πρέπει όσο πιο ακέραιο και άρτιο να μεταβιβαστεί στις επόμενες γενιές.

## 7.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας με Σύνθετα Υλικά», Α. Τριανταφύλλου, Πάτρα 2006
- [2] Τρ. Καραντώνη (2004). «Κατασκευές από τοιχοποιία, σχεδιασμός και επισκευές». Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- [3] C.-M. Aldea, B.Mobasher, and N.Jain “Cement –Based Matrix –Grid System for Masonry Rehabilitation”
- [4] Αθ.Τριανταφύλλου «Νέα γενιά δομικών υλικών για την ενίσχυση κατασκευών: Ινοπλέγματα σε ανόργανη Μήτρα(IAM)»
- [5] Κάρλος Κυριάκος “Ενίσχυση φέρουσας τοιχοποιίας για εντός επιπέδου φόρτιση με σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας και με ράβδους σύνθετων υλικών σε εγκοπές” , Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης (2005) ,[10]
- [6] Filitsa V.Karantoni and Michael N.Fardis “Effectiveness of seismic strengthening techniques for Masonry Buildings”
- [7] D.Stoica, P.Tragakis,. A.Plumier, R.Sofronie, S.Majewski “Masonry structures retrofitting with Polymer Grids”,FRPRCS-8 Patra 2007
- [8] Παπαθανασίου Μυρτώ «Ενίσχυση οπτοπλινθοδομής σε κάμψη με σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας και με ράβδους συνθέτων υλικών σε εγκοπές» , Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης (2005),[10]
- [9] C G. Papanicolaou , T C. Triantafillou, M Papathanasiou , K Karlos, “Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in plane cyclic loading” , Materials and Structures (2007)
- [10] Δικτυακός τόπος : <http://nemertes.lis.upatras.gr/>  
[http://: eclass.upatras.gr](http://eclass.upatras.gr)

