

## ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΜΕ ΙΝΕΣ ΓΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗ/ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Γ.Σουπιώνης<sup>1\*</sup>, Λ.Ζουμπουλακης<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα

(\*[gsoupionis@central.ntua.gr](mailto:gsoupionis@central.ntua.gr))

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά στην εφαρμογή συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας ενισχυμένης με ίνες άνθρακα, ως υλικών ενίσχυσης διάτμησης σκυροδέματος. Επί τούτου, κατασκευάστηκαν δοκίμια τσιμέντου τα οποία επενδύθηκαν με διαφόρων τύπων ανθρακούφασματα και εποξειδικής ρητίνης σε υγρή αλλά και στερεή μορφή (πάστα). Αυτού του είδους τα σύνθετα υλικά παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές μηχανικές ιδιότητες σε συνδυασμό με την προσαρμοστικότητα στην εφαρμογή τους. Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε θερμική κατεργασία τεχνητής γήρανσης σε εύρος θερμοκρασίας 65-75°C για 8, 12 και 16 ημέρες ώστε να διαπιστωθεί πόσο επηρεάζονται οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών. Επίσης, κατασκευάστηκαν σύνθετα υλικά μήτρας εποξειδικής ρητίνης ενισχυμένα με υφάσματα άνθρακα. Σε όλα τα δοκίμια μετρήθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες και συγκεκριμένα: στα δοκίμια τσιμέντου που επενδύθηκαν με σύνθετα υλικά μήτρας εποξειδικής ρητίνης ενισχυμένα με υφάσματα άνθρακα η αντοχή σε θλίψη, ενώ στα υπόλοιπα δοκίμια μετρήθηκε η αντοχή σε διάτμηση και σε κάμψη. Διαπιστώθηκε η εξωτερική φθορά των υλικών κατά την θερμική κατεργασία τεχνητής γήρανσης αλλά και η μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας είναι ευρέως διαδεδομένα για πολλών ειδών εφαρμογές λόγω του συνδυασμού των εξαιρετικών ιδιοτήτων που μπορούν να προσδώσουν<sup>[1]</sup>. Τα πιο διαδεδομένα σύνθετα υλικά αποτελούνται από μήτρα ενός θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς σε συνδυασμό με ίνες υάλου ή ίνες άνθρακα ως μέσου ενισχύσεως. Σε αυτή τη μορφή βρίσκουν πολλές εφαρμογές<sup>[1-3]</sup> (ναυπηγική, αεροναυπηγική, αυτοκινητοβιομηχανία, κατασκευαστικός τομέας κλπ.), στις οποίες πλεονεκτούν, λόγω της χαμηλής πυκνότητάς τους σε σχέση με άλλα υλικά. Για υψηλότερων απαιτήσεων εφαρμογές όπου απαιτείται και υψηλό μέτρο ελαστικότητας<sup>[4,5]</sup> χρησιμοποιούνται κυρίως ίνες άνθρακα ή ακόμα και αραμιδικές ίνες, δεδομένου ότι οι δύο αυτές κατηγορίες ινών, πέραν της υψηλής αντοχής εφελκυσμού επιδεικνύουν και υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Οι μήτρες θερμοσκληρυνόμενων ρητινών κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού αποκτούν διασταυρωμένα μακρομόρια και σκληραίνουν μόνιμα κάτι που τις κάνει άτηκτες και αδιάλυτες σε διαλύτες. Οι συνηθέστερες ρητίνες αυτής της κατηγορίας είναι οι φαινολικές, καθώς και οι εποξειδικές και οι πολυεστερικές ρητίνες. Οι εποξειδικές ρητίνες είναι ρητίνες δύο συστατικών, κάτι το οποίο σημαίνει ότι ο πολυμερισμός γίνεται με την προσθήκη κάποιου σκληρυντή. Βασικό χαρακτηριστικό της αντίδρασης πολυμερισμού των εποξειδικών ρητινών είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στο μίγμα κατά τον πολυμερισμό, χαρακτηριζόμενη ως εξώθερμη αντίδραση. Τέτοιου είδους ρητίνες βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στον κατασκευαστικό τομέα και ιδίως σε κατασκευές από σκυρόδεμα.

Οι κατασκευές από σκυρόδεμα οι οποίες έχουν υποστεί φθορές (σεισμοί, καιρικά φαινόμενα κ.α.) είναι αυτές οι οποίες είναι και πιο ευάλωτες, εξ' ου και η ζωτικής σημασίας ανάγκη επισκευής τους, ειδικά για τις μη ενισχυμένες δομές (τοιχοποιία) οι οποίες είναι αυτές που δέχονται πιο εύκολα τις καταπονήσεις. Δεδομένου ότι αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση, τα υλικά μήτρας τσιμέντου ενισχυμένα με σύνθετα υλικά, έχουν μελετηθεί ευρέως κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών<sup>[6,7]</sup>. Τα σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης με ίνες άνθρακα βρίσκουν εφαρμογή στον τομέα της κατασκευής, λόγω των εξαιρετικών αντοχών που παρουσιάζουν κατά τις

διατμητικές τάσεις αλλά και την ευκολία εφαρμογής τους σε περίπλοκες δομές. Αυτοί είναι και οι κύριοι παράγοντες που επιλέγονται για αυτού του είδους τα σύνθετα υλικά σε τέτοιες εφαρμογές<sup>[8]</sup>.

Η μελέτη αυτή στοχεύει στην αύξηση της πειραματικής βάσης δεδομένων για τη δύναμη διάτμησης του σκυροδέματος με τη χρήση σύνθετων υλικών και, κυρίως, στην παράταση ζωής των κατασκευών από σκυρόδεμα.

Για τις ανάγκες της εργασίας κατασκευάστηκαν δοκίμια τσιμέντου σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1:1995 τα οποία περιελήχθησαν με υφάσματα ινών άνθρακα και εποξειδική ρητίνη. Επίσης κατασκευάστηκαν σύνθετα υλικά με εποξειδική ρητίνη ως μήτρα και υφάσματα ινών άνθρακα ως μέσο ενισχύσεως με σκοπό την μέτρηση των μηχανικών τους ιδιοτήτων και συγκεκριμένα τη μέτρηση της αντοχής σε κάμψη και της αντοχής σε διάτμηση. Για λόγους σύγκρισης μετρήθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες, και συγκεκριμένα η αντοχή σε θλίψη, σε δοκίμια τσιμέντου ενισχυμένα και μη. Τα δοκίμια τσιμέντου ενισχυμένα με υφάσματα ινών άνθρακα και εποξειδική ρητίνη υποβλήθηκαν σε τεχνητή γήρανση και μετρήθηκαν οι αντοχές τους για να διερευνηθεί το πόσο επηρεάζονται οι μηχανικές ιδιότητες με το πέρασμα του χρόνου σε υγιείς αλλά και σε ευάλωτες επιφάνειες.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Οι εποξειδικές ρητίνες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως μήτρα για την κατασκευή των συνθέτων υλικών σε υγρή αλλά και στερεή (πάστα) μορφή απαντώνται ευρέως στο κοινό εμπόριο. Συγκεκριμένα η υγρής μορφής εποξειδική ρητίνη (SINTECNO) είναι ρητίνη εμποτισμού χωρίς να περιέχει διαλύτες, χαμηλού ιξώδους και χρησιμοποιείται στην εφαρμογή υφασμάτων ενίσχυσης. Για την καλύτερη εφαρμογή της υγρής εποξειδικής ρητίνης σε υφάσματα ενίσχυσης χρησιμοποιείται ίδιας βάσης ρητίνη (SINTECNO) ως συγκολλητική επίστρωση (αστάρι). Η στερεάς μορφής εποξειδική ρητίνη (SIKA) είναι ρητίνη υψηλών αντοχών και εφαρμόζεται κυρίως σε υφάσματα ενίσχυσης. Τα υφάσματα ινών άνθρακα που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο τύπων, μίας κατεύθυνσης (one direction, od) και δύο κατευθύνσεων. Το ανθρακοϋφασμα μίας κατεύθυνσης έχει αριθμό μονοϊνών 3000 και πυκνότητα  $1.8 \text{ g/cm}^3$ , ενώ το ανθρακοϋφασμα δύο κατευθύνσεων είναι πλέξης twill και έχει αριθμό μονοϊνών 3000 και πυκνότητα  $1.8 \text{ g/cm}^3$ . Για την κατασκευή των δοκιμίων τσιμέντου χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο εμπορίου τύπου Portland με την άμμο να ακολουθεί το πρότυπο EN196-1.

Για την κατασκευή των τσιμεντένιων δοκιμίων ορθογωνικής διατομής ακολουθείτε το πρότυπο EN 196-1:1995 όπου δίνει διαστάσεις δοκιμίου  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$  με αναλογίες υλικών, τσιμέντο 450g ( $\pm 2$ ), άμμο 1350g ( $\pm 5$ ) και νερό 225g ( $\pm 1$ ). Κατόπιν της σκληρύνσεώς τους, τα τσιμεντένια δοκίμια τοποθετούνται όρθια μέσα σε νερό για 28 μέρες. Μετά το πέρας των 28 ημερών και αφού έχουν στεγνώσει τρίβονται με μηχανικά μέσα οι επιφάνειες για να λειανθούν και να έχουν καλύτερη πρόσφυση οι ρητίνες. Επιπροσθέτως τρίβονται και οι ακμές τους για την καλύτερη εφαρμογή του ανθρακοϋφάσματος, διότι εκεί δημιουργούνται και οι μεγαλύτερες τάσεις. Έπειτα, επουλώνονται (στοκάρονται) τυχόν ελλαττωματικές θέσεις στην επιφάνεια των δοκιμίων με ειδική εποξειδική ρητίνη στερεάς μορφής (SINTECNO) με πρόσθετα (πούδρα χαλαζία). Αφού προετοιμαστεί κατάλληλα η επιφάνεια των δοκιμίων, αυτά ενδύονται το σύνθετο υλικό. Για τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκε η υγρή ρητίνη προηγήθηκε μια συγκολλητική επίστρωση (αστάρι) εποξειδικής βάσης για την καλύτερη συγκόλληση του υφάσματος στην επιφάνεια τσιμέντου. Αφού τα δοκίμια τσιμέντου καλυφθούν με το σύνθετο υλικό, για λόγους σύγκρισης, επιλέχθηκαν δοκίμια από όλες τις περιπτώσεις και υποβλήθηκαν σε θερμική κατεργασία τεχνητής γήρανσης σε εύρος θερμοκρασίας  $65-75^\circ\text{C}$  για 8, 12 και 16 ημέρες. Σε όλα τα δοκίμια τσιμέντου μετρήθηκε η αντοχή σε θλίψη. Για την μέτρηση αντοχής σε κάμψη και σε διάτμηση κατασκευάστηκαν σύνθετα υλικά με υγρή αλλά και στερεάς μορφής ρητίνη με υφάσματα τόσο μίας όσο και δύο κατευθύνσεων. Όλα τα σύνθετα υλικά κατασκευάστηκαν με την μέθοδο χειροποίητης στρώσης (hand lay-up).

## Μηχανικές ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες των κατασκευασθέντων συνθέτων υλικών και συγκεκριμένα η αντοχή σε κάμψη και η αντοχή σε διάτμηση προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο των τριών σημείων, σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM D790-71 και D2344-65T (BS EN ISO 14125:1998). Για τις δοκιμές σε κάμψη και διάτμηση χρησιμοποιήθηκε ένα ειδικό δυναμόμετρο, το οποίο με την άσκηση πίεσης μετράει σε αναλογική ένδειξη την προκύπτουσα παραμόρφωση, δηλαδή το βέλος κάμψης. Το αποτέλεσμα αντιστοιχεί σε δύναμη που δίνεται σε πίνακα από τον κατασκευαστή του οργάνου και ακολούθως υπολογίζονται η αντοχή σε κάμψη  $\sigma_b$  (MPa) και η αντοχή σε διάτμηση  $\tau_b$  (MPa).

$$\sigma_b = \frac{3P_{max}l_s}{2bd^2} \quad (1) \quad \tau_b = 0,75 \frac{P_{max}}{bd} \quad (2)$$

όπου:  $P_{max}$ : μέγιστο φορτίο, κατά την θραύση του δοκιμίου (N),  $l$ : μήκος δοκιμίου (m),  $b$ : πλάτος δοκιμίου (m) και  $d$ : πάχος δοκιμίου (m).

Η αντοχή σε θλίψη μετρήθηκε στα δοκίμια τσιμέντου τα οποία περιελίχθηκαν με υφάσματα ινών άνθρακα και εποξειδική ρητίνη και ακολουθεί το πρότυπο EN 196-1:1995. Για την μέτρηση τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε πρέσα INSTRON τύπου HTM-HYD 300kN. Το αποτέλεσμα δίνει την δύναμη σε kN και υπολογίζεται η αντοχή σε θλίψη  $\sigma_\theta$  (MPa).

$$\sigma_\theta = \frac{F}{A} \quad (3)$$

όπου:  $F$ : μέγιστο φορτίο, κατά την θραύση του δοκιμίου (kN),  $A$ : εμβαδόν επιφάνειας δοκιμίου που έρχεται σε επαφή με την πρέσα (mm<sup>2</sup>).

## Τεχνητή γήρανση

Η διαδικασία της τεχνητής γήρανσης γίνεται σε θάλαμο SUNSET CPS ATLAS και τα δοκίμια εκτίθενται σε ακτινοβολία UV 550W/m<sup>2</sup> (295-800nm). Λόγω της μεγάλης ροής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, οι πηγές UVB προκαλούν ταχύτερη αποδόμηση από την ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που καθιστά τις πηγές UVB ιδανικές για επιταχυνόμενες δοκιμές αντοχής των υλικών, όπως τα πολυμερή που είναι κυρίως ευαίσθητα στα βραχύτερα μήκη κύματος<sup>[9,10]</sup>.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

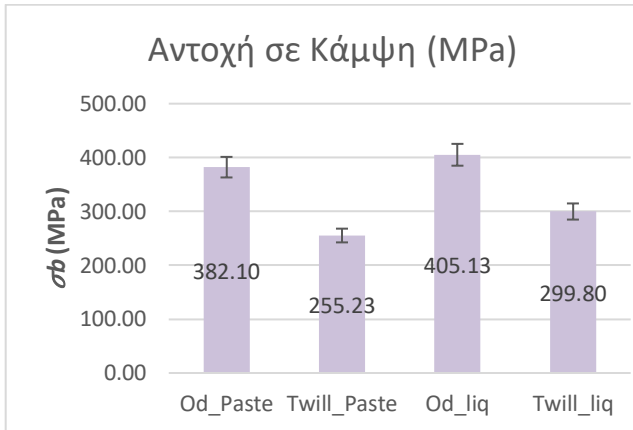
Για την κατασκευή των δοκιμίων των συνθέτων υλικών χρησιμοποιήθηκαν εποξειδική ρητίνη υγρής (liq) και στερεάς (paste) μορφής, υφάσματα ινών άνθρακα μίας κατεύθυνσης (od) και δύο κατευθύνσεων (twill) και τσιμέντο, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης-ινών άνθρακα

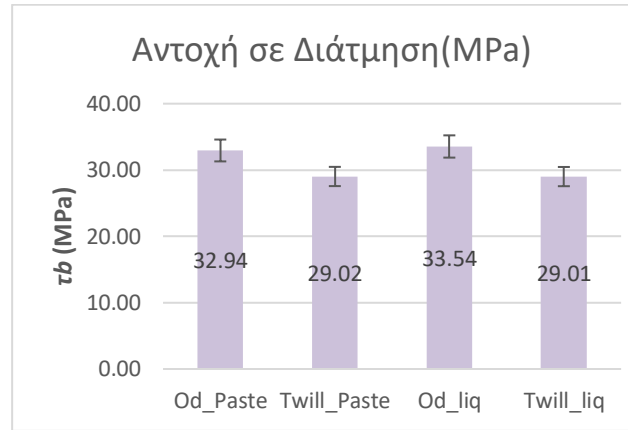
Σύνθετο υλικό κωδικός	Τσιμέντο (% w/w) (Tsim)	Ίνες άνθρακα (% v/v)		Εποξειδική ρητίνη (% w/w)	
		Od	Twill	Liq	Paste
Tsim	100	0	0	0	0
Tsim_od_paste	80	10	0	0	10
Tsim_od_liq	80	10	0	10	0
Tsim_twill_paste	80	0	10	0	10
Tsim_twill_liq	80	0	10	10	0
Od_paste	0	50	0	0	50
Od_liq	0	50	0	50	0
Twill_paste	0	0	50	0	50
Twill_liq	0	0	50	50	0

Στα Σχήματα 1 και 2 παρουσιάζονται η αντοχή σε κάμψη και η αντοχή σε διάτμηση των συνθέτων υλικών μήτρας εποξειδικής ρητίνης στερεάς και υγρής μορφής ενισχυμένα με υφάσματα ινών άνθρακα μίας και δύο κατευθύνσεων. Από το Σχήμα 1 είναι εμφανές ότι τα σύνθετα υλικά με υφάσματα ινών άνθρακα μίας κατεύθυνσης (Od) υπερτερούν σε αντοχή σε κάμψη αυτών με τα

υφάσματα ινών άνθρακα δύο κατευθύνσεων (Twill) κατά  $\approx 30\%$ . Ως προς την μήτρα η εποξειδική ρητίνη υγρής μορφής επιδεικνύει μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη και στις δύο περιπτώσεις. Στο Σχήμα 2 διαπιστώνεται ότι η αντοχή στην διάτμηση είναι περίπου ίδια σε όλες τις περιπτώσεις με ελάχιστη διαφορά και μεγαλύτερη αντοχή να παρουσιάζουν τα σύνθετα υλικά όπου είναι ενισχυμένα με υφάσματα μίας κατεύθυνσης.

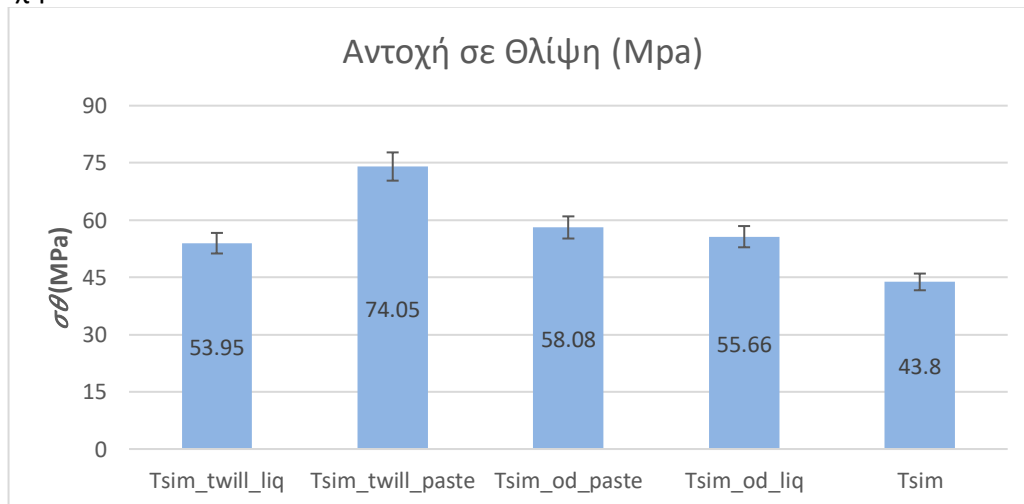


**Σχήμα 1.** Αντοχή σε κάμψη δοκιμίων εποξειδικής ρητίνης στερεάς και υγρής μορφής ενισχυμένα με υφάσματα ινών άνθρακα μίας και δύο κατευθύνσεων. Διακύμανση τιμών  $\pm 5\%$ .



**Σχήμα 2.** Αντοχή σε διάτμηση δοκιμίων εποξειδικής ρητίνης στερεάς και υγρής μορφής ενισχυμένα με υφάσματα ινών άνθρακα μίας και δύο κατευθύνσεων. Διακύμανση τιμών  $\pm 5\%$ .

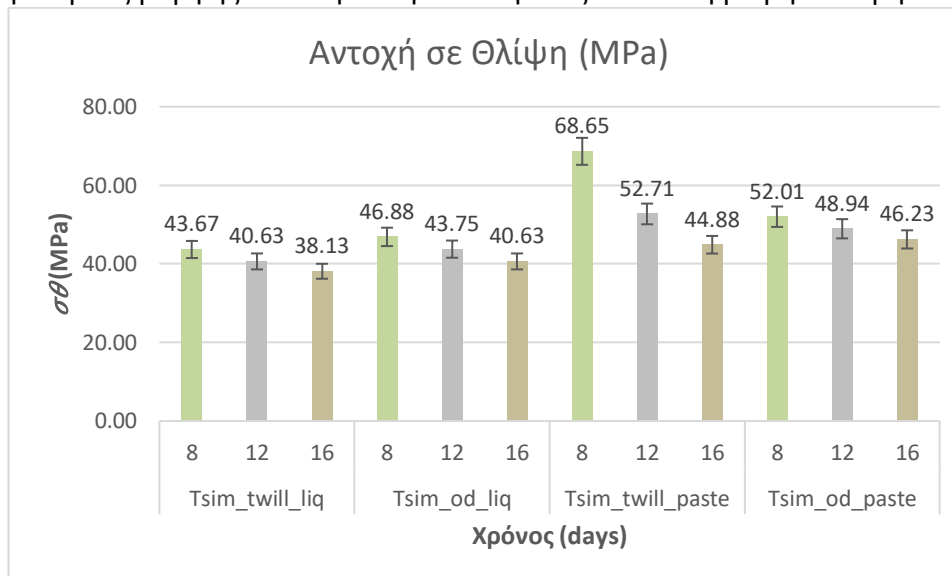
Στο Σχήμα 3 είναι εμφανές ότι στην περίπτωση δοκιμίων τσιμέντου που έχουν ενδυθεί συνθέτου υλικού εποξειδικής ρητίνης στερεάς μορφής ενισχυμένα με υφάσματα ινών άνθρακα δύο κατευθύνσεων (Tsim\_twill\_paste) έχει αυξηθεί η αντοχή σε θλίψη κατά 41,93%. Στις άλλες περιπτώσεις υπάρχει αύξηση της αντοχής σε θλίψη  $\approx 20\%$ . Όσον αφορά στην μήτρα, η εποξειδική ρητίνη στερεάς μορφής έχει καλύτερη εφαρμογή σε κάθε περίπτωση και τοιουτοτρόπως αυξάνεται και η αντοχή.



**Σχήμα 3.** Αντοχή σε θλίψη δοκιμίων τσιμέντου που έχουν τυλιχτεί με σύνθετο υλικό εποξειδικής ρητίνης στερεάς και υγρής μορφής ενισχυμένα με υφάσματα ινών άνθρακα μίας και δύο κατευθύνσεων. Διακύμανση τιμών  $\pm 5\%$ .

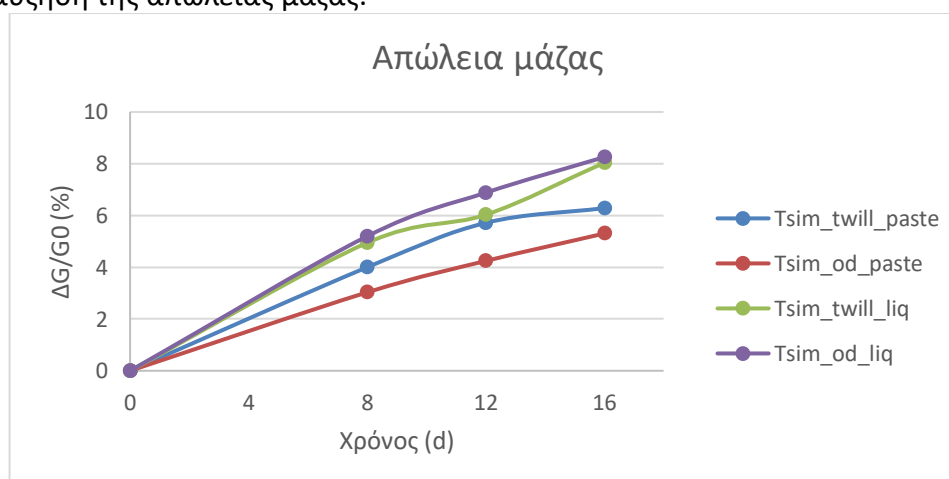
Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η αντοχή σε θλίψη στα δοκίμια που υποβλήθηκαν σε θερμική κατεργασία τεχνητής γήρανσης. Η μείωση της αντοχής είναι εμφανής σε όλες τις περιπτώσεις με διαφορά  $\approx 10\%$  από αυτά που δεν υποβλήθηκαν σε τεχνητή γήρανση για τις πρώτες 8 μέρες έκθεσής τους. Με την παρατεταμένη έκθεση των δοκιμίων οι αντοχές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, ελαττώθηκαν. Για τις 16 μέρες και για την περίπτωση των δοκιμίων με μήτρα υγρής εποξειδικής

ρητίνης η αντοχή σε θλίψη μειώθηκε κατά 30% σε σχέση με αυτά που δεν υποβλήθηκαν σε τεχνητή γήρανση, ενώ για τα δοκίμια με την στερεάς μορφής εποξειδική ρητίνη τα ποσοστά μείωσης αντοχής είναι διαφορετικά ανά περίπτωση. Για τα δοκίμια με το ύφασμα ινών άνθρακα μίας κατεύθυνσης (Tsim\_od\_paste) το ποσοστό μείωσης είναι 20%, ενώ στην περίπτωση του υφάσματος δύο κατευθύνσεων (Tsim\_twill\_paste) το ποσοστό είναι μεγαλύτερο, 40%. Αυτό που παρατηρήθηκε κατά την διαδικασία μέτρησης αντοχής σε θλίψη στην περίπτωση των δοκιμών με την ρητίνη στερεάς μορφής είναι η αποφλοιώση τους σε πολλή μικρή δύναμη τάσης.



**Σχήμα 4.** Αντοχή σε θλίψη δοκιμών τσιμέντου που έχουν τυλιχτεί με σύνθετο υλικό εποξειδικής ρητίνης στερεάς και υγρής μορφής ενισχυμένα με υφάσματα ινών άνθρακα μίας και δύο κατευθύνσεων, και υποβλήθηκαν σε θερμική κατεργασία τεχνητής γήρανσης. Διακύμανση τιμών  $\pm 5\%$ .

Με βάση το Σχήμα 5, κατά την θερμική κατεργασία τεχνητής γήρανσης εκτός από μείωση της αντοχής σε θλίψη στα δοκίμια έλαβε χώρα και απώλεια μάζας. Στις πρώτες μέρες έκθεσης των δοκιμών παρατηρήθηκε έντονη μυρωδιά της ρητίνης, σαφώς οφειλόμενη στην αποδόμηση της ρητίνης – γεγονός στο οποίο οφείλεται και η απώλεια μάζας. Την μεγαλύτερη απώλεια μάζας εμφάνισαν τα δοκίμια με την υγρή με ποσοστό 8%, ενώ σε όλα τα δοκίμια εμφανίζεται προοδευτική αύξηση της απώλειας μάζας.



**Σχήμα 5.** Θερμική συμπεριφορά δοκιμών όπου υποβλήθηκαν σε θερμική κατεργασία τεχνητής γήρανσης για τις 16 μέρες (d).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα υφάσματα ινών άνθρακα ως μέσω ενίσχυσης προσδίδουν καλύτερη αντοχή σε κάμψη από ότι αυτά των δύο κατευθύνσεων πλέξης twill, σε όλες τις περιπτώσεις ανεξαρτήτου

μήτρας. Την μέγιστη τιμή αντοχής σε κάμψη εμφανίζει το σύνθετο υλικό εποξειδικής ρητίνης υγρής μορφής ως μήτρα και ύφασμα ινών άνθρακα μίας κατεύθυνσης, λόγω της διεισδυτικότητας της ρητίνης στις ίνες.

- Διαπιστώνεται ότι η αντοχή στην διάτμηση των συνθέτων υλικών δεν έχει μεγάλες μεταβολές ανά περίπτωση - με αυτές των συνθέτων υλικών ενισχυμένα με υφάσματα μίας κατεύθυνσης να υπερτερούν ελάχιστα.
- Η αύξηση της αντοχής σε θλίψη κατά 41,93% εμφανίστηκε στην περίπτωση δοκιμίου τσιμεντού ενισχυμένο με σύνθετο υλικό εποξειδικής ρητίνης στερεάς μορφής ενισχυμένο με ύφασμα ινών άνθρακα δύο κατευθύνσεων (Tsim\_twill\_paste). Παρατηρήθηκε ότι η καλύτερη εφαρμογή των ινών στο τσιμεντένιο δοκίμιο κατά την προετοιμασία των δοκιμών γινόταν με την χρήση της ρητίνης στερεάς μορφής ενώ ως αναφορά τα υφάσματα ινών άνθρακα αυτά των δύο κατευθύνσεων περιεφαινόζονταν καλύτερα στο δοκίμιο.
- Η θερμική κατεργασία τεχνητής γήρανσης εμφανίζει σημαντική μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων των συνθέτων υλικών ως και 40%. Αυτό φαίνεται και στα δοκίμια ρητίνης στερεάς μορφής όπου κατά το πέρας της τεχνητής γήρανσης στην επιφάνεια των δοκιμών η ρητίνη είχε δημιουργήσει ένα στρώμα σκόνης. Αυτό δηλώνει την αποδόμηση της ρητίνης άρα και την απώλεια μάζας.
- Για τα συγκεκριμένα σύνθετα υλικά με την προσθήκη αντί-UV εποξειδικών ρητινών, όπου παρατείνουν το χρόνο ζωής των ρητινών, αναμένεται να διατηρηθούν οι υψηλές μηχανικές ιδιότητες των συνθέτων υλικών.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς εκφράζουν θερμές ευχαριστίες προς το Εργαστήριο Αντοχής Υλικών, Τομέας Μηχανικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του ΕΜΠ και συγκεκριμένα την Καθηγήτρια Κοντού Ευαγγελία για την διάθεση του θαλάμου τεχνητής γήρανσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Brigante D. (2014). *New Composite Materials Selection, Design, and Application*, Springer International Publishing Switzerland.
- [2] Frederick T. Wallenberger (auth.), Frederick T. Wallenberger, Paul A. Bingham (eds.), (2010). *Fiberglass and Glass Technology\_ Energy-Friendly Compositions and Applications*-Springer US, p. 138-143.
- [3] Σιμιτζής Ι. (2007). «*Πολυμερή και Σύνθετα υλικά*», σελ. 119-128.
- [4] Pilato L., Louis Pilato eds. (2010) *Phenolic Resins A Century of Progress* p. 263-300.
- [5] Lee L., Jain R., Stephenson L., Ravi Jain, Luke Lee (eds.), (2012). *Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites for Infrastructure Applications\_ Focusing on Innovat* pp. 163-190.
- [6] Triantafyllou, T. C., Choutopoulou, E., Fotaki, E., Skorda, M., Stathopoulou, M. and Karlos, K. (2016). "FRP Confinement of Wall-like Reinforced Concrete Columns", *Materials and Structures, RILEM*, 19(1), 651-664.
- [7] De Luca A., Nardone F., Lignola G. P., Prota A. and Nanni A. (2012). "Wall-Like Reinforced Concrete Columns Externally Confined by Means of Glass FRP Laminates", *Advances in Structural Engineering*, 16(4), 593-603.
- [8] Gultekin Aktas,, Sultan Erdemli Gunaslan (2017). "Strengthening methods for reinforced concrete sections with Fiber reinforced polymers", 14(6): 17-22.
- [9] H. Kaczmarek, et al., Changes of surface morphology in UV-irradiated poly(acrylic acid)/poly(ethylene oxide) blends, *Surf. Sci.* 566/568 (2004) 560.
- [10] H. Kaczmarek, et al., Effect of short wavelength UV-irradiation on aging of polypropylene/cellulose compositions, *Polym. Degrad. Stab.* 88 (2005) 189.