

## ΑΣΚΗΣΗ 9: ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

### 1. Εισαγωγή

Τα ενισχυμένα πολυμερή ανήκουν στα σύνθετα υλικά. Αποτελούνται από μία συνεχή φάση που είναι πολυμερές και μία διάσπαρτη φάση που είναι το μέσο ενίσχυσης. Το τελευταίο είναι συνήθως ίνες υλικού μεγάλης μηχανικής αντοχής π.χ. ίνες γυαλιού.

Για να είναι αποτελεσματική η επίδραση του μέσου ενίσχυσης στις ιδιότητες του πολυμερούς είναι απαραίτητη η πλήρης συνεργασία των δύο υλικών. Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία συγκολλητικών δεσμών ανάμεσα στα δύο υλικά.

Οι πρώτες σημαντικές εφαρμογές των ενισχυμένων πολυμερών καταγράφονται στην διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Εκτοτε και μέχρι σήμερα η χρήση τους αυξήθηκε αλματωδώς.

Το πολυμερές που πρωτοχρησιμοποιήθηκε και είναι και σήμερα το πιο συνηθισμένο είναι ο πολυεστέρας που είναι θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη και το μέσο ενίσχυσης είναι ίνες από γυαλί. Το όνομα που αποδόθηκε στο σύνθετο υλικό είναι GRP από τα αρχικά των λέξεων Glass Reinforced Plastics (πλαστικά ενισχυμένα με γυαλί) που δεν είναι επιστημονικά ακριβές αλλά επικράτησε διεθνώς.

Οι μεγάλες μηχανικές αντοχές σε σχέση με ειδικό βάρος και η ανθεκτικότητα στην κρούση κατατάσσουν το GRP στα κατασκευαστικά υλικά.

Αλλα σημαντικά πλεονεκτήματα είναι η αντοχή στην επίδραση και των πιο δραστικών ουσιών, η δυνατότητα κατασκευών με πολύ μεγάλες διαστάσεις και πολύπλοκες μορφές, η ευχέρεια τοπικών επιδιορθώσεων, η ευχέρεια συγκολλήσεως, η δυνατότητα φωτοδιαπερατότητας, η υψηλή διηλεκτρική αντοχή, η δυνατότητα χρωματισμού σε ολόκληρη την μάζα του αντικειμένου και όχι μόνο στην επιφάνεια.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος παρασκευής GRP είναι η μέθοδος με χειρωνακτική επίθεση των ινών του γυαλιού σε καλούπι και στην συνέχεια ο εμποτισμός του γυαλιού με πολυεστέρα (μέθοδος Hand Lay-Up). Η μέθοδος δεν απαιτεί πολύ υψηλό κόστος επένδυσης και έτσι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και από μικρές επιχειρήσεις (κατασκευαστές βαρκών, δοχείων κ.λ.π.).

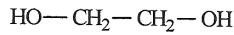
Τα ενισχυμένα πολυμερή έχουν πολλές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται στην ναυπήγηση σκαφών όπου τα πλεονεκτήματά τους σε σχέση με το σίδηρο και το ξύλο είναι σημαντικά κυρίως για τα σκάφη των μικρών και μεσαίων διαστάσεων. Δηλαδή δεν έχουν ανάγκη συχνής συντήρησης και έχουν μικρό βάρος με αποτέλεσμα οικονομία στα καύσιμα. Χρησιμοποιούνται επίσης στην χημική βιομηχανία όπου πλεονεκτούν έναντι των σιδηρών κατασκευών γιατί δεν διαβρώνονται από τα δραστικά χημικά περιβάλλοντα. Μεγάλη εφαρμογή βρήκαν στην βιομηχανία αυτοκινήτων, σιδηροδρόμων, αεροπλάνων και πυραύλων (όπου χρησιμοποιούνται

ίνες από άνθρακα και εποξειδική ρητίνη). Επίσης και στην οικοδομική υπάρχουν σημαντικές εφαρμογές ενώ στην ηλεκτρική και ηλεκτρονική βιομηχανία βρίσκουν διαρκώς καινούργιες εφαρμογές.

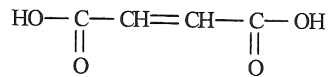
## 2. Πολυεστερικές ρητίνες

Η μέθοδος παρασκευής των πολυεστερικών ρητινών θα μπορούσε να αποδοθεί απλά ως εξής:

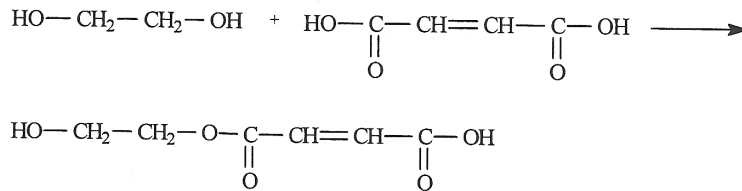
Η αιθυλενογλυκόλη (που είναι μία διόλη επειδή φέρει δύο ομάδες υδροξυλίου  
—OH)



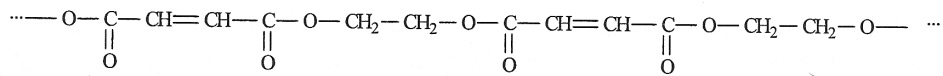
και το φουμαρικό οξύ (που είναι ένα δικαρβονικό οξύ)



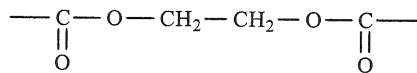
μπορούν να αντιδράσουν μεταξύ τους και να δώσουν ένα εστέρα:



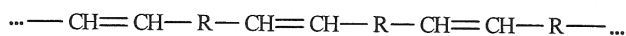
Το νέο μόριο που προκύπτει έχει ελεύθερες ομάδες —OH και —COOH, άρα είναι δυνατόν να αντιδράσει και πάλι με αιθυλενογλυκόλη από την μία μεριά και με φουμαρικό οξύ από την άλλη και ούτω καθεξής δηλ. παράγει ένα γραμμικό μεγαλομόριο.



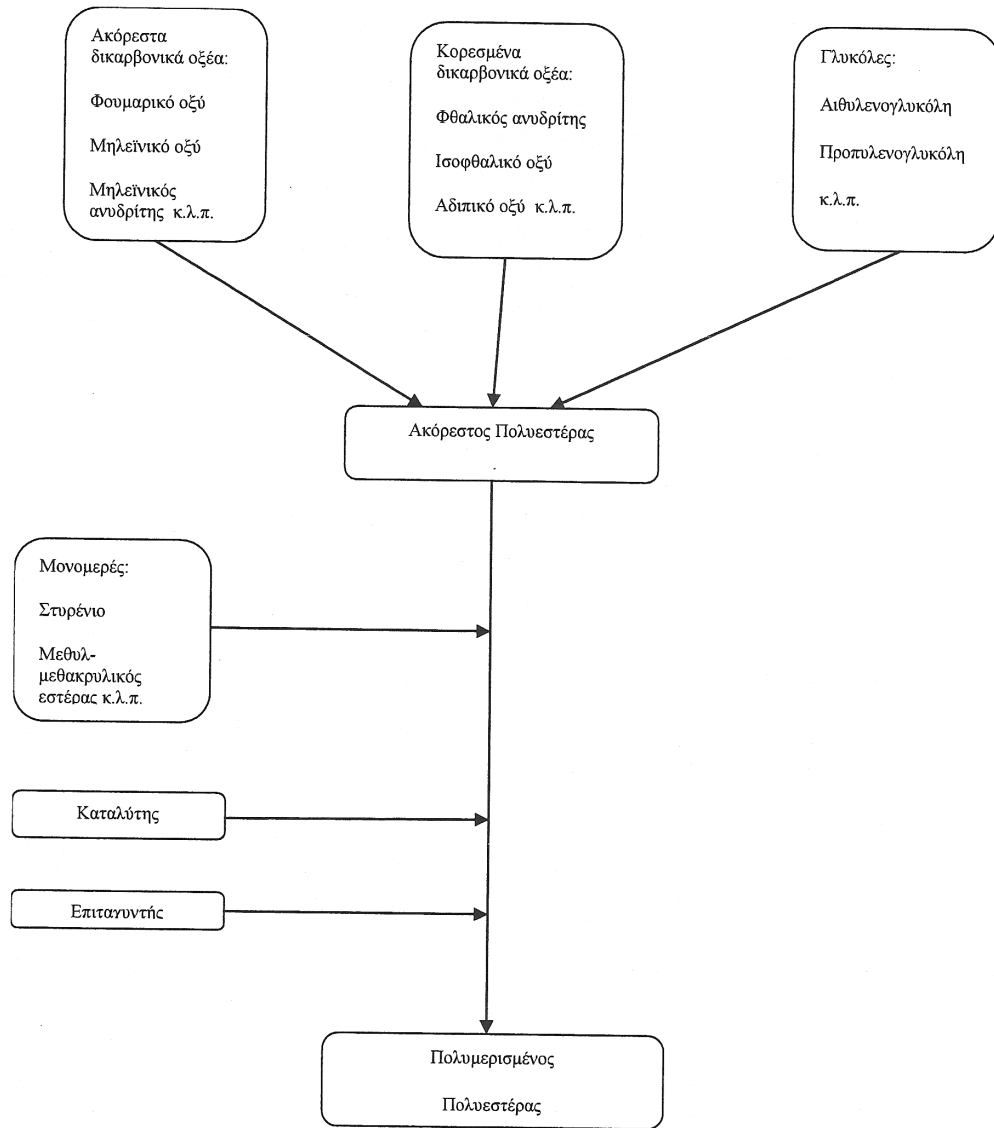
Το πολυμερές που προκύπτει στην περίπτωση αυτή είναι ένας γραμμικός ακόρεστος πολυεστέρας. Εάν συμβολίσουμε με R το τμήμα του μορίου



τότε ο ακόρεστος πολυεστέρας γράφεται







Σχ. 1 Σχηματικό διάγραμμα παρασκευής πολυμερισμένου πολυεστέρα

Με την ψύξη του γυαλιού σχηματίζεται η ίνα, η οποία εκτός από το δικό της βάρος υφίσταται και ένα "τραβήγμα". Ανάλογα με την ένταση του τραβήγματος, την θερμοκρασία και την ταχύτητα τυλίγματος διαμορφώνεται η διάμετρός της.

**Πίνακας 1.** Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των ινών από γυαλί (E-τύπος)

Ειδικό βάρος	2,59 g/cm <sup>3</sup>
Σκληρότητα	6,5 της κλίμακας Mohs
Ειδική θερμότητα	0,192 cal/g
Δείκτης διάθλασης (στα 550 nm και στους 32°C)	1,553
Αντοχή εφελκυσμού	3450 MPa περίπου
Μέτρο ελαστικότητας	72500 MPa περίπου
Επιμήκυνση στην θραύση	2%

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω τα κύρια χαρακτηριστικά ίνας γυαλιού είναι το αρκετά μικρότερο ειδικό βάρος σε σχέση με τα μέταλλα, η μεγάλη αντοχή εφελκυσμού και η μικρή επιμήκυνση στην θραύση.

Ο παρακάτω συγκριτικός Πίνακας 2 κάνει φανερή την υπεροχή της ίνας από γυαλί σχετικά με τα άλλα υλικά όσον αφορά την αντοχή εφελκυσμού.

**Πίνακας 2.** Αντοχή εφελκυσμού διαφόρων υλικών

Υλικό	Αντοχή εφελκυσμού (MPa)
Ίνα γυαλιού (E-τύπος)	3450 περίπου
Σίδηρος	340-600
Κράμα αλουμινίου	120-590
Πολυεστέρας Θ/Σ	20-79
Πολυστυρένιο	40-60
Φαινολική ρητίνη	40-50
Εποξειδική ρητίνη	60-80

**Μορφές ινών γυαλιού.** Οι μορφές που μπορούν να πάρουν οι ίνες γυαλιού μπορούν να καταταγούν στις παρακάτω κατηγορίες

1. Συνεχείς ίνες ή νήμα περιστραμμένο
2. Κατατημημένες ίνες
3. Πίλημα
4. Υφασμα

Η εκλογή της μορφής ενίσχυσης εξαρτάται από την συγκεκριμένη κατασκευή.

Γενικά θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε τα ακόλουθα:

1. Οι συνεχείς ίνες και το περιστραμμένο νήμα χρησιμοποιούνται μόνο όταν είναι επαρκής η ενίσχυση κατά ένα άξονα (π.χ. σε ράβδους). Είναι η φθηνότερη μορφή ενίσχυσης.
2. Οι κατατημημένες ίνες είναι εξίσου φθηνές και δίνουν ενίσχυση σε δύο άξονες, αλλά παρουσιάζουν προβλήματα κατά την διάρκεια της προσθήκης του πολυεστέρα στην ενίσχυση.

3. Τα πιλήματα είναι λίγο ακριβότερα. Δίνουν ενίσχυση σε δύο άξονες και παρουσιάζουν το πλεονέκτημα να "δουλεύονται" πολύ καλύτερα με τον πολυεστέρα.
4. Τα υφάσματα δίνουν ενίσχυση σε δύο άξονες, αλλά είναι η πιο ακριβή μορφή ενίσχυσης.

### **Πειραματικό μέρος**

**Σκοπός της άσκησης.** Ο σκοπός είναι να γνωρίσουν οι σπουδαστές το πιο συνηθισμένο σύγχρονο σύνθετο υλικό που είναι οι πολυεστερικές ρητίνες ενισχυμένες με ίνες γυαλιού και να εξασκηθούν στην κατασκευή ενός αντικειμένου με το υλικό αυτό χρησιμοποιώντας την χειρωνακτική μέθοδο (μέθοδος Hand Lay-Up).

#### **Εξοπλισμός και υλικά.**

- Πολυεστέρας που περιέχει επιταχυντή (άλας του κοβαλτίου)
- Καταλύτης (Υπεροξειδίο της μεθυλοαιθυλοκετόνης, MEKP)
- Υαλοπίλημα
- Κερί
- Ακετόνη
- Πινέλο, μεταλλικό ρολό συμπίεσης, καλούπι, πλαστική λεκάνη, πλαστικά γάντια, προστατευτικά γυαλιά.

Ογκομετρικός κύλινδρος 10mL

#### **Διαδικασία εκτέλεσης.**

Αλείφεται το καλούπι με κερί.

Ζυγίζονται 75 g υαλοπιλήματος που κόβονται σε τρία ίσα κομμάτια.

Ζυγίζονται 150 g πολυεστέρα.

Με τον ογκομετρικό κύλινδρο προστίθενται 4 mL καταλύτη στον πολυεστέρα και γίνεται ανάδευση με προσοχή.

Με το πινέλο αλείφουμε το καλούπι με μία στρώση πολυεστέρα.

Επιθέτουμε στο καλούπι ένα από τα τρία κομμάτια του υαλοπιλήματος.

Με το πινέλο εμποτίζουμε το υαλοπίλημα με πολυεστέρα (περίπου 50 g).

Με το μεταλλικό ρολό συμπίεσης ομαλοποιούμε την επιφάνεια και φροντίζουμε να μην υπάρχουν φυσσαλίδες αέρα στην στρώση.

Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία για ακόμα δύο στρώσεις. Προσέχουμε ο χρόνος εργασίας και για τις τρεις στρώσεις να μην υπερβαίνει τα 15 λεπτά.

Ξεπλένουμε το πινέλο, το μεταλλικό ρολό και την πλαστική λεκάνη με ακετόνη, καθώς επίσης και τα χέρια μας εάν έχουν λερωθεί με πολυεστέρα.

### **Ζητούμενη έκθεση εργασίας.**

Διατυπώστε με συντομία την θεωρία συμβουλευόμενοι τις σημειώσεις σας.

Περιγράψτε το πείραμα εξηγώντας τα σημεία που κρίνετε σκόπιμο.

### **Ερωτήσεις**

1. Γιατί αλείφουμε με κερί το καλούπι
2. Γιατί φροντίζουμε με το μεταλλικό ρολό να εξαφανίσουμε τις τυχόν παρουσιαζόμενες φυσσαλίδες αέρα;
3. Ποιες θα ήταν οι επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες του αντικειμένου που παρασκευάζουμε εάν η αναλογία βάρους πολυεστέρα προς βάρος γυαλιού ήταν μικρότερη;
4. Γιατί ένα προϊόν που θα δεχθεί μεγάλες πιέσεις π.χ. μία δεξαμενή ή ένα σκάφος μεγάλων διαστάσεων που θα πρέπει να έχει μεγάλο πάχος δηλαδή να αποτελείται από πολλές στρώσεις δεν κατασκευάζεται σε μία ημέρα αλλά απαιτούνται τρεις ή τέσσερις;
5. Γιατί πολλά εξαρτήματα αεροπλάνων ή τραίνων δεν είναι πλέον μεταλλικά αλλά από ενισχυμένα πολυμερή;
6. Εάν πέσει στο μάτι σας από λάθος μία σταγόνα πολυεστέρα αφού έχει γίνει ανάμειξη από τον καταλύτη; Είναι επικίνδυνο ή όχι; Εάν ναι, τι θα κάνετε στην περίπτωση αυτή;
7. Πως θα κατασκευάζατε μία μικρή βάρκα μόνοι σας;