

# **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Α.Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

**ΘΕΜΑ: “ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΣΕ ΝΕΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ”**

**ΕΡΕΥΝΑ: ΓΚΟΤΣΟΠΟΥΛΟΥ ΙΩΑΝΝΑ  
ΚΡΕΜΑΣΤΙΩΤΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ**

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΒΑΡΕΛΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΑΡΑΠΟΣΤΑΘΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΙΟΥΝΙΟΣ 2008**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ.....</b>	<b>5</b>
1.1 Φύση των σύνθετων υλικών.....	5
1.2 Ιστορική αναδρομή .....	7
1.3 Τι είναι τα σύνθετα υλικά.....	9
1.4 Ιδιότητες των σύνθετων υλικών.....	10
1.4.1 Πλεονεκτήματα των σύνθετων υλικών.....	10
1.4.2 Κριτήριο αξιολόγησης των υλικών.....	11
1.4.3 Μηχανικές ιδιότητες σύνθετων υλικών.....	11
1.5 Ταξινόμηση των σύνθετων υλικών.....	12
1.6 Εφαρμογές των σύνθετων υλικών.....	13
<b>2 ΡΗΤΙΝΕΣ(μήτρα, πολυμερική).....</b>	<b>17</b>
2.1 Χρήσεις εποξειδικής ρητίνης.....	18
2.1.1 Πεδία εφαρμογής της εποξειδικής ρητίνης.....	18
2.1.2 Τύποι και αιτίες ρηγματώσεων.....	19
2.1.3 Προϋποθέσεις καταλληλότητας μίας εποξειδικής ρητίνης.....	22
2.1.4 Απαιτούμενος εξοπλισμός για ρητινένεση.....	24
2.2 Διαδικασία εφαρμογής ρητινενέσεων.....	28
2.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά.....	33
2.4 Συμπεράσματα.....	34
2.4.1 Η τεχνική των ρητινενέσεων έναντι άλλων τεχνικών επισκευής ρωγμών.....	34
2.4.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης της εποξειδικής ρητίνης.....	34
2.4.3 Μειονεκτήματα της χρήσης της εποξειδικής ρητίνης.....	35
<b>3. ΕΥΚΑΜΠΤΑ ‘ΥΦΑΣΜΑΤΑ’ ΑΠΟ ΙΝΩΔΗ ΠΟΛΥΜΕΡΗ.....</b>	<b>37</b>
3.1 Τι είναι τα ‘υφάσματα’ από ινώδη πολυμερή.....	37
3.2 Είδη ινών.....	41
3.2.1 Ίνες άνθρακα.....	41
3.2.2 Ίνες υαλού.....	43
3.2.3 Ίνες αραμιδίου.....	44
3.3 Μορφές ινών.....	47

3.3.1 Επίδραση της γεωμετρίας, της δομής και της διάταξης των ινών στις ιδιότητες των σύνθετων υλικών.....	51
3.4 Εφαρμογή ανθρακοϋφασμάτων.....	54
3.4.1 Ενίσχυση κόμβου με μανδύα σπλισμένου σκυροδέματος.....	55
3.4.2 Πολυμερές ενισχυμένο με ίνες άνθρακα.....	59
3.4.3 Χαρακτηριστικά του σύνθετου υλικού από ίνες άνθρακα.....	62
3.4.4 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα .....	65
3.4.5 Ενίσχυση έναντι κάμψης, διάτμησης και αξονικού φορτίου.....	68
<b>4. ΣΟΒΑΔΕΣ.....</b>	<b>71</b>
4.1 Πλεονεκτήματα των έτοιμων σοβάδων.....	73
4.2 Οικολογικός σοβάς.....	73
4.3 Τεχνικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή των έτοιμων σοβάδων.....	75
4.4 Μηχανές και εργαλεία έτοιμων σοβάδων.....	81
4.5 Πυροπροστασία με έτοιμους σοβάδες.....	83
<b>5. ΑΦΡΩΔΗ ΥΛΙΚΑ.....</b>	<b>85</b>
5.1 Μηχανική συμπεριφορά των αφρών.....	88
5.2 Σύνθετα πάνελ (τύπου σάντουιτς).....	90
5.3 Σχεδίαση των πάνελ τύπου σάντουιτς.....	91
5.3.1 Στατικά χαρακτηριστικά.....	92
5.3.2 Θερμικά χαρακτηριστικά.....	93
5.3.3 Υγρομετρικά χαρακτηριστικά.....	94
5.3.4 Χαρακτηριστικά ενός πάνελ του εμπορίου.....	96
<b>6. ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....</b>	<b>99</b>
6.1 Είδη διάβρωσης.....	100
6.2 Συμπεριφορά έναντι διαβρώσεως των υλικών.....	102
6.3 Αντιδιαβρωτική προστασία.....	103
6.4 Αναστολείς διάβρωσης.....	105
6.5 Συμπεράσματα .....	106
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ.....</b>	<b>109</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, πραγματεύεται τα νέα σύνθετα υλικά, που χρησιμοποιούνται στις νέες κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, την σύστασή τους, των ειδών που υπάρχουν, τις εφαρμογές της τεχνολογίας των σύνθετων αυτών υλικών ή αλλιώς Ινοπλισμένων Πολυμερών (Ι.Ο.Π.) ή στα αγγλικά Fiber Reinforced Polymers (F.R.P.), καθώς και τις χρήσεις τους για την ενίσχυση και επισκευή των κατασκευών.

Αναφορά γίνεται επίσης στα αφρώδη υλικά και στα έτοιμα επιχρίσματα, υλικά που ανήκουν στην ομάδα των σύνθετων και η χρήση τους είναι ευρεία στις νέες κατασκευές.

Στόχος της, η καταγραφή επαρκών πληροφοριών όσον αφορά την σύνθεσή τους, τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, την εφαρμογή τους, όπως επίσης και να δοθούν κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα.

Με την εργασία αυτή, γίνεται μία προσπάθεια να συμβάλλουμε στην ολοκλήρωση του υπό σύνταξη κανονιστικού πλαισίου και κανονισμού επεμβάσεων (ΚΑΝ. ΕΠΕ. 2005). Επιπλέον, παρουσιάζουμε τις εφαρμογές τους σε συλλειτουργία με άλλα συμβατικά δομικά υλικά όπως το σκυρόδεμα και η τοιχοποιία και τέλος παραθέτουμε τις εφαρμογές τους σε κατασκευές με έντονο διαβρωτικό περιβάλλον.

Κατά την διάρκεια της παρουσίας της εργασίας αυτής, παρατίθεται φωτογραφικό υλικό για την παραστατική απεικόνιση των θεμάτων που διαπραγματευόμαστε.

## 1. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

### 1.1 ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Οι συνεχόμενα αυξανόμενες απαιτήσεις για κατασκευές ανθεκτικότερες και ελαφρύτερες, οδήγησαν στην ανάπτυξη νέων υλικών. Η αύξηση της αντοχής και η ταυτόχρονη μείωση του βάρους έχουν ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, το χαρακτηριστικό μέγεθος των νέων υλικών είναι οι υψηλές τιμές του λόγου αντοχή / βάρος, σε σχέση με τα παραδοσιακά υλικά. Τα νέα υλικά βρίσκουν εφαρμογή σε ένα πλήθος κατασκευαστικών κλάδων, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική, τα τεχνικά έργα, καθώς επίσης και οι βιομηχανίες παραγωγής προϊόντων καθημερινής χρήσης.

Στην κατηγορία των νέων υλικών συγκαταλέγονται και τα σύνθετα υλικά (composite materials), που ήδη παρουσιάζουν ευρύτατη εφαρμογή σε πολλούς κατασκευαστικούς τομείς. Η ιδέα της κατασκευής και της χρήσης σύνθετων υλικών προέρχεται από την αρχαιότητα. Επίσης η ανάπτυξη νέων τεχνικών, η χρησιμοποίηση νέων πρώτων υλών και η ποικιλία των διάφορων υλικών οδήγησε στην παραγωγή όλο και πιο βελτιωμένων υλικών. Η βασική ιδέα της ανάπτυξης ενός σύνθετου υλικού είναι η φυσική ανάμειξη δύο ή περισσότερων υλικών με σκοπό την δημιουργία ενός νέου υλικού το οποίο θα έχει τελικές ιδιότητες διαφορετικές από τις αντίστοιχες των αρχικών υλικών. Έτσι, κάνοντας μια κατάλληλη επιλογή των αρχικών υλικών, μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα σύνθετο υλικό με τις επιθυμητές ιδιότητες. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνουμε ότι ο μεγάλος αριθμός των συνδυασμών των υλικών δημιουργεί πολλούς τύπους σύνθετων υλικών.

Ένας από τους πιο γνωστούς και πλέον διαδεδομένους τύπους είναι τα ινώδη σύνθετα υλικά (Fiber Reinforced Composites) όπου μία συνεχής φάση που ονομάζεται μήτρα (matrix) ενισχύεται με ίνες (fibers). Οι πιο γνωστές μήτρες είναι οι πολυμερικές και οι τύποι ινών που συνήθως χρησιμοποιούνται ως ενισχυτικά είναι οι ίνες άνθρακα (carbon fibers), οι ίνες γυαλιού (glass fibers), οι ίνες aramid (Kevlar), οι κεραμικές ίνες (ceramic fibers) και τέλος οι πολυμερικές ίνες (polymeric fibers).

Η συμπεριφορά, η επάρκεια και το χαμηλό κόστος των πολυμερικών αυτών υλικών, είχε ως αποτέλεσμα την αντικατάσταση των μετάλλων σε πολλές κατασκευές. Έναν από τους σημαντικότερους ρόλους στην ανάπτυξη των πολυμερικών υλικών, στις αρχές της δεκαετίας του 20<sup>ου</sup> αιώνα, έπαιξε η χημεία δημιουργώντας μία νέα επιστήμη που είχε μία ραγδαία ανάπτυξη, την επιστήμη των πολυμερών.

Η επανάσταση στον τομέα των κατασκευών, όπου σημαντικό ρόλο παίζουν τα προηγμένα σύνθετα υλικά, οφείλεται στην βελτίωση των υλικών και την καλύτερη κατανόηση των ιδιοτήτων τους και των συνδυασμών τους και εξαρτάται από τον τρόπο που σχεδιάζουμε και κατασκευάζουμε.

Κάνοντας μία προεπισκόπηση των παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι διανύουμε την εποχή των σύνθετων υλικών, γεγονός που σηματοδοτεί την ραγδαία ανάπτυξη των εφαρμογών των υλικών αυτών στον κατασκευαστικό τομέα.

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο άνθρωπος από την εμφάνιση του στη γη, πάντα αναζητούσε το ιδανικό υλικό για το χτίσιμο της κατοικίας του και άλλων χρήσιμων κατασκευών. Όμως, μέχρι τώρα δεν βρέθηκε κανένα υλικό που να μπορεί να καλύπτει κάθε κατασκευαστική ανάγκη. Το κάθε υλικό έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα που μπορούν να καλύψουν συγκεκριμένες κατασκευαστικές απαιτήσεις, όμως έχει και μειονεκτήματα που πρέπει να συνεκτιμηθούν για κάθε συγκεκριμένη επιλογή. Έτσι η λύση της δημιουργίας «σύνθετων υλικών» συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα δυο ή περισσότερων υλικών δείχνει ιδιαίτερα ελκυστική. Η χρήση των σύνθετων υλικών στην κατασκευή είναι «παλιά ιστορία». Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το οπλισμένο σκυρόδεμα που και αυτό είναι ένα σύνθετο υλικό, αποτελεί σήμερα το πλέον διαδεδομένο δομικό υλικό.

Με την πάροδο των χρόνων η πρόοδος της τεχνολογίας και η ανάγκη για νέες τεχνικές που θα καλύπτουν τις ανάγκες για ασφαλείς κατασκευές έχουν οδηγήσει στην δημιουργία και εφαρμογή νέων τεχνικών που δίνουν λύση σε δυσκολίες που αντιμετωπίζει ένας πολιτικός μηχανικός. Μία από αυτές χρησιμοποιεί τα σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή, τα οποία αποτελούνται από «υφάσματα», από ινώδη οπλισμένα πολυμερή, εμποτισμένα με εποξειδικές ρητίνες.

Τα πρώτα σύνθετα υλικά χρονολογούνται από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και είχαν ως συστατικά φυσικές ρητίνες και ίνες, όπως πίσσα και ίνες ξύλου. Η μαζική παραγωγή τους όμως ξεκινά στο τέλος της δεκαετίας του 1930 όπου αρχικά η χρήση τους περιορίζεται στην αεροναυπηγική, την χημική βιομηχανία και την ναυπηγική εξαιτίας του υπερβολικού τους κόστους και τον περιορισμένων πειραματικών αποτελεσμάτων, ενώ τα σύγχρονα σύνθετα υλικά βρίσκουν εφαρμογή και σε υπόγειες δεξαμενές καυσίμων, ως ύφαλα πλοίων και πολεμικά αεροσκάφη. Γενικά η χρήση τους έχει εξαπλωθεί σε εφαρμογές που απαιτούν χαμηλό ίδιο βάρος, υψηλές τάσεις και μη διαβρωτικές δομικές ιδιότητες. Η επικόλληση στρώσεων ινοπλισμένων πολυμερών από ανθρακονήματα σε δομικά στοιχεία κατασκευών με σκοπό την επισκευή και ενίσχυση τους, πρωτοεμφανίστηκε στην Ελβετία το 1984, ενώ την τελευταία εικοσαετία βρίσκει πολλές εφαρμογές με επιτυχία σε χώρες με δυσμενής κλιματολογικές συνθήκες ή με

ιδιαίτερα υψηλή σεισμική επικινδυνότητα, όπως οι Η.Π.Α., ο Καναδάς, η Ιαπωνία, η Ελβετία, η Αυστραλία κ.α.

Στην Ελλάδα οι πρώτες εφαρμογές πραγματοποιούνται στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και εξαπλώνονται ιδιαίτερα μετά τον σεισμό της Πάρνηθας το 1999. Η ενίσχυση επιτυγχάνεται με χρήση μανδύων και ελασμάτων από σύνθετα υλικά ή περιτύλιξη των μελών με ταινίες από σύνθετα υλικά

Παρόλα αυτά, τα σύνθετα υλικά δεν χρησιμοποιούνται μόνο τον τελευταίο αιώνα. Αν κάνουμε μία μικρή ιστορική αναδρομή θα διαπιστώσουμε πως υλικά όπως ο πηλός, η ασφαλτος και οι συνθετικές ρητίνες είναι από τα πρώτα υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος. Ενδείξεις χρησιμοποίησης τέτοιων υλικών καθώς και κάποιās τεχνικής κατασκευής υπάρχουν σε κεραμικά του 5000π.Χ.. Επίσης υλικά όπως το χαρτί που είναι και αυτό ένα ινώδες σύνθετο υλικό, ο πάπυρος κ.α. δείχνουν μια διαδεδομένη χρήση σύνθετων υλικών. Οι Βαβυλώνιοι κατά την περίοδο 4000π.Χ.-2000π.Χ. φαίνεται να έχουν χρησιμοποιήσει τα πρώτα ενισχυμένα πολυμερικά υλικά.

Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει την ιστορική ανάπτυξη των πολυμερικών σύνθετων υλικών από το 5000π.Χ. έως και τον τελευταίο αιώνα.

**Ιστορική Ανάπτυξη των Πολυμερικών Συνθέτων Υλικών**

<b>ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ</b>	<b>ΥΛΙΚΟ</b>
5000 π.Χ.	Μίγμα παπύρου-πίσσας
1500 π.Χ.	Επίστρωση ξύλου (καπλαμάς)
1909 μ.Χ.	Φαινολικά σύνθετα
1928 μ.Χ.	Σύνθετα ουρίας-φορμαλδεΐδης
1938 μ.Χ.	Σύνθετα μελαμίνης-φορμαλδεΐδης
1942 μ.Χ.	Πολυεστέρας- ίνες υάλου
1946 μ.Χ.	Σύνθετα εποξειδικής ρητίνης
1946 μ.Χ.	Σύνθετα Nylon - ίνες υάλου
1951 μ.Χ.	Σύνθετα πολυστερενίου-υάλου
1956 μ.Χ.	Σύνθετα φαινόλης-αμιάντου
1964 μ.Χ.	Πλαστικά ενισχυμένα με ίνες άνθρακα
1965 μ.Χ.	Πλαστικά ενισχυμένα με ίνες βορίου
1969 μ.Χ.	Υβριδικά σύνθετα άνθρακα-υάλου
1972 μ.Χ.	Πλαστικά ενισχυμένα με ίνες Aramid
1975 μ.Χ.	Υβριδικά σύνθετα aramid/γραφίτη



### 1.3 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ίνες υψηλής αντοχής (άνθρακα, ύαλου ή σπανιότερα αραμιδίου ) πλεγμένες μέσα σε μία μήτρα εποξειδικής ρητίνης σχηματίζοντας έτσι ένα είδος υφάσματος ή ελάσματος. Οι ίνες προσφέρουν αυξημένη δυσκαμψία και εφελκυστική αντοχή ενώ η ρητίνη δίνει την θλιπτική αντοχή στο υλικό και αποτελεί το μέσο σύνδεσης των ινών. Τα υφάσματα αυτά (ή ελάσματα) με την χρήση επιπλέον εποξειδικής ρητίνης για την εφαρμογή τους στις κατασκευές, σχηματίζουν ένα σύνολο υψηλών αντοχών, το οποίο επικολλάται μέσω της ρητίνης στο δομικό στοιχείο που ενδιαφέρει προσφέροντας ανάλογα με την περίπτωση σημαντική αύξηση αντοχής. Η ρητίνη δηλαδή χρησιμοποιείται τόσο σαν την μήτρα του σύνθετου υλικού, όσο και σαν το συγκολλητικό μέσο που θα προσφέρει τον απαραίτητο δεσμό μεταξύ του σύνθετου υλικού και του υπό ενίσχυση στοιχείου.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του μίγματος είναι ότι μπορεί να μορφωθεί επιτόπου στο έργο γύρω από οποιοδήποτε σχήμα επιφάνειας (μετά την κατάλληλη προετοιμασία αυτής). Ο προσανατολισμός των ινών γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιούνται οι καλές ιδιότητές τους και να παραλαμβάνονται οι εφελκύστηκες δυνάμεις.

Σύνθετα υλικά που έχουν εφαρμογή στις νέες κατασκευές μπορούμε να πούμε ότι είναι τα αφρώδη υλικά και τα επιχρίσματα στα οποία θα αναφερθούμε, που κι αυτά εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου και μελετάτε η σύστασή τους, έτσι ώστε να έχουν τις καλύτερες ιδιότητες και τη μέγιστη αποτελεσματικότητα στις κατασκευές. Τα υλικά αυτά αν και δεν αφορούν τόσο την ενίσχυση και την επισκευή των κτιρίων, όπως οι εποξειδικές ρητίνες και τα υφάσματα, ανήκουν στα σύνθετα υλικά.

## 1.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

### 1.4.1.Πλεονεκτήματα των σύνθετων υλικών

Οι ιδιότητες κάθε υλικού, είτε αυτό είναι απλό ή σύνθετο, μπορούν να διακριθούν σε μηχανικές και μη μηχανικές. Οι μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού είναι η αντοχή, η ακαμψία, η ολκιμότητα, η σκληρότητα και η συμπεριφορά του σε κόπωση, ερπυσμό, χαλάρωση και άλλα. Οι μη μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού είναι η πυκνότητα, η θερμική συμπεριφορά, η αντίσταση σε διάβρωση και άλλα.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των σύνθετων υλικών είναι ότι διαθέτουν τις περισσότερες φορές τις βέλτιστες ιδιότητες των υλικών που τα αποτελούν και επιπλέον ιδιότητες που κανένα από τα πρώτα υλικά δεν είχε. Με αυτόν τον τρόπο οι ιδιότητες που κάνουν τα σύνθετα υλικά ανώτερα από τα κοινά είναι:

1. Αντοχή
2. Ακαμψία
3. Αντίσταση στη διάβρωση
4. Αντίσταση στη φθορά
5. Χαμηλό κόστος
6. Μείωση του βάρους της κατασκευής
7. Συμπεριφορά σε κόπωση
8. Θερμική μόνωση
9. Θερμική αγωγιμότητα
10. Ακουστική μόνωση

Κάθε σύνθετο υλικό κατασκευάζεται έτσι ώστε να διαθέτει κάποιες από αυτές τις ιδιότητες σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις της χρήσης του. Ούτως ή άλλως ένα σύνθετο υλικό δεν μπορεί να διαθέτει όλες τις παραπάνω ιδιότητες αφού ο συνδυασμός μερικών από αυτών είναι αδύνατος.

Τα ινώδη σύνθετα υλικά με τα οποία και θα ασχοληθούμε διαθέτουν τέσσερα από τα παραπάνω πλεονεκτήματα τα οποία είναι η ακαμψία, η μεγάλη αντοχή, το μικρό βάρος και το χαμηλό κόστος.

#### **1.4.2. Κριτήριο αξιολόγησης των υλικών**

Ένα από τα βασικά κριτήρια αξιολόγησης των υλικών είναι οι «ειδικές ιδιότητες» (specific properties). Ειδική ιδιότητα ενός υλικού ονομάζουμε τον λόγο της τιμής της ιδιότητας προς την πυκνότητα του υλικού. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει η ειδική ιδιότητα τόσο ελαφρύτερο είναι το υλικό ενώ συγχρόνως διαθέτει υψηλότερη τιμή της συγκεκριμένης ιδιότητας.

Για τα σύνθετα υλικά η ειδική δυσκαμψία, η ειδική αντοχή και το κόστος αποτελούν σημαντικά κριτήρια για την αποτελεσματικότητά τους.

Άλλο ένα σημαντικό κριτήριο αξιολόγησης εκτός από τον λόγο αυτό είναι και οι ποσότητες των αποβλήτων που παράγει η χρήση του κάθε υλικού και πως αυτά μπορούν να ανακυκλωθούν. Παρόλο που τα απόβλητα των σύνθετων υλικών δεν μπορούν να ανακυκλωθούν δεν επηρεάζει την χρήση τους διότι οι ποσότητες αυτών των αποβλήτων είναι μικρές γιατί αυτά μπορούν να διαμορφωθούν όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς την τελική τους μορφή.

#### **1.4.3 Μηχανικές ιδιότητες σύνθετων υλικών**

Οι άριστες μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους και ο λόγος της ευρείας χρήσης του στις κατασκευές. Οι ιδιότητες ενός σύνθετου υλικού καθορίζονται από τις ιδιότητες των επιμέρους υλικών που το αποτελούν συγκεκριμένα στην περίπτωση που μελετάμε των ινών και της εποξειδικής ρητίνης.

## 1.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα σύνθετα υλικά με τα οποία θα ασχοληθούμε είναι τα πολυμερή η χρήση των οποίων προέρχεται από πολλές έρευνες της επιστήμης και τεχνολογίας των υλικών η οποία τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί. Για να καταλάβουμε όμως από πού ακριβώς προέρχονται και πώς αυτά ταξινομούνται πρέπει να δούμε ποια είναι η οικογένειά τους.

Ξεκινώντας την ταξινόμησή τους, έχουμε:

**ΜΗΤΡΕΣ:** Οι μήτρες είναι η αρχή των υλικών αυτών και διαχωρίζονται σε:

- 1) **ΠΟΛΥΜΕΡΗ**
- 2) **ΚΕΡΑΜΙΚΑ**
- 3) **ΜΕΤΑΛΛΑ**

Τα **πολυμερή** διακρίνονται σε:

- 1) **ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΑ**  
PA, PP, ABS, HIPS, PEEK
- 2) **ΘΕΡΜΟΣΚΛΗΡΥΝΟΜΕΝΑ**  
Εποξειδικά, Πολυεστέρες

Τα **μέσα ενίσχυσης** των υλικών αυτών είναι τα εξής:

- 1) **ΙΝΕΣ**
- 2) **ΚΟΚΚΟΙ**
- 3) **ΥΦΑΣΜΑΤΑ**
- 4) **ΝΙΦΑΔΕΣ**

Οι **ίνες** χωρίζονται σε:

- 1) **ΣΥΝΕΧΕΙΣ**
- 2) **ΑΣΥΝΕΧΕΙΣ**

## 1.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα σύνθετα υλικά και ιδιαίτερα τα ινώδη σύνθετα υλικά με πολυμερική μήτρα, βρίσκουν συνεχώς όλο και περισσότερες εφαρμογές στην καθημερινή μας ζωή. Το μεγαλύτερο μέρος της ασφάλειας μας εξαρτάται πλέον από τα σύνθετα υλικά αφού το πεδίο των εφαρμογών τους είναι ευρύτατο, από τα μέσα μαζικής μεταφοράς μέχρι και στον οικιακό εξοπλισμό.

Όπως έχουμε είδη αναφέρει τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς της σημερινής βιομηχανίας οι οποίοι φαίνονται παρακάτω.

**Α. Ναυπηγική:** Ο τομέας της ναυπηγικής αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τομέα όπου τα σύνθετα υλικά έχουν αντικαταστήσει σχεδόν πλήρως τα παραδοσιακά υλικά και ιδιαίτερα το ξύλο. Η χαμηλή πυκνότητα, η μεγάλη αντίσταση σε διάβρωση και η ευκολία παραγωγής ολόσωμων τμημάτων του σκάφους με χύτευση σε καλούπια, είναι οι λόγοι που οδήγησαν στην ανάπτυξη μικρών βιομηχανιών κατασκευής σκαφών αναψυχής ενώ η μείωση του κόστους των επισκευών οδήγησε στην χρήση των υλικών αυτών στο τομέα της ναυπηγικής. Επίσης, αλλά σε μικρότερη κλίμακα τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ναρκαλιευτικών.

**Β. Μεταφορές:** Ένας άλλος τομέας είναι οι μεταφορές όπου λόγω της μείωσης του κόστους της κατασκευής και της μείωσης του βάρους που συνεπάγεται και η εξοικονόμηση ενέργειας βλέπουμε την ευρεία χρήση των σύνθετων υλικών. Η χρήση των ενισχυμένων πλαστικών πλαισίων περιορίζεται για την κατασκευή αμαξωμάτων αγωνιστικών αυτοκινήτων προς το παρόν τουλάχιστον. Η εφαρμογή των σύνθετων υλικών δεν περιορίζεται μόνο στην αυτοκινητοβιομηχανία αλλά και στους σιδηρόδρομους.

**Γ. Ηλεκτρικά είδη:** Ο τύπος E-glass, είναι ένας από τους διάφορους τύπους ινών υαλού που παράγονται και χρησιμοποιείται στις ηλεκτρικές εφαρμογές και ιδιαίτερα εκεί που απαιτείται ηλεκτρική μόνωση. Τα είδη που το απαιτούν είναι οι ηλεκτρική διακόπτες, οι υποδοχείς ηλεκτρικών λαμπτήρων, οι ηλεκτρικοί διανομείς κ.α

**Δ. Παραγωγή αντιδιαβρωτικών:** Η εύκολη παραγωγή μεγάλων και πολύπλοκων σχημάτων κατασκευών με απλή χύτευση βοηθάει την εφαρμογή των υλικών αυτών στη κατασκευή δεξαμενών και αναρροφητήρων για την αποθήκευση τοξικών χημικών

ουσιών, σωλήνων για την μεταφορά νερού και αποχετευτικών λυμάτων, δεξαμενών αποθήκευσης νερού και κρασιού όπως επίσης και στην κατασκευή εγκαταστάσεων για την παραγωγή χημικών ουσιών. Πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει το χαμηλό ειδικό βάρος και η ευκολία μεταφοράς που ελαχιστοποιούν το κόστος και κάνουν την μεταφορά των σωλήνων πιο εύκολη σε μεγάλες αποστάσεις και δύσβατες περιοχές.

Σημαντική επίσης είναι και η χρήση των σύνθετων υλικών υψηλής απόδοσης των οποίων το κόστος της παραγωγής είναι ιδιαίτερο υψηλό αλλά αντισταθμίζεται από την υψηλή τους απόδοση. Τα υλικά αυτά είναι ενισχυμένα με ίνες άνθρακα και Kevlar. Τα σύνθετα υλικά υψηλής απόδοσης εφαρμόζονται στους παρακάτω τομείς:

**A. Αεροδιαστημική:** Η χρήση των ελαφρών σύνθετων υλικών στην κατασκευή ενός διαστημοπλοίου επιφέρει μείωση του κόστους. Έτσι, πολυμερή ενισχυμένα με ίνες άνθρακα και Kevlar συχνά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κύριων τμημάτων διαστημοπλοίων όπως είναι οι κεραιές σχήματος δίσκου, τα αυτόκλειστα για τα αέρια καύσης καθώς και την κατασκευή κώνων. Σημαντικό ρόλο παίζει ο χαμηλός συντελεστής θερμικής διαστολής κατά μήκος των ινών αυτών, ο οποίος εξασφαλίζει μεγάλη σταθερότητα σχήματος σε μέρη του διαστημοπλοίου ή του δορυφόρου που κατά την διάρκεια της πτήσης τους είναι εκτεθειμένα σε μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές. Σήμερα γίνεται προσπάθεια έτσι ώστε η χρήση των σύνθετων υλικών να γίνεται σε αεροσκάφη και ανεμόπτερα. Η κατασκευή κάποιων τμημάτων ενός ελικοπτέρου από σύνθετα υλικά αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τον χρόνο ζωής και την ταχύτητα του ελικοπτέρου αφού η αντοχή του σε κόπωση μεγαλώνει.

**B. Βιομηχανία αθλητικών ειδών:** Οι εφαρμογές των σύνθετων υλικών στην αεροδιαστημική οδήγησαν και στην χρήση τους από τις βιομηχανίες αθλητικών ειδών καθώς η χρήση τους επιφέρει μείωση βάρους και ταυτόχρονη βελτίωση της συμπεριφοράς τους και την αύξηση της ταχύτητάς τους. Έτσι σήμερα κάποια από τα αθλητικά είδη όπως τα μπαστούνια του γκόλφ, τα πέδιλα του ski, τα καλάμια ψαρέματος και πολλά άλλα είναι φτιαγμένα εν μέρει από σύνθετα υλικά.

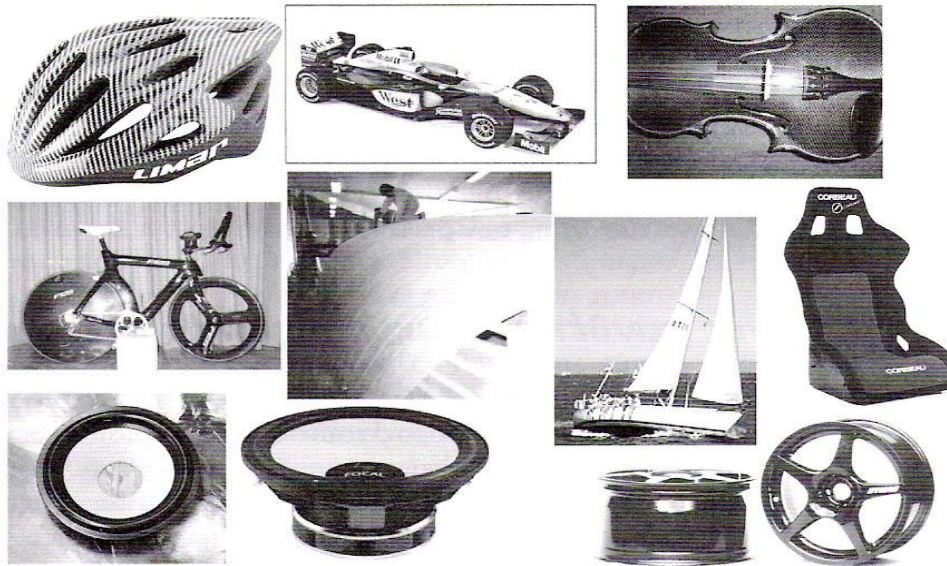
**Γ. Ιατρική:** Στην προσπάθεια του ιατρικού κλάδου να επιλύσει το πρόβλημα της εξεύρεσης φυσικών μοσχευμάτων, ασχολήθηκαν με την κατασκευή τεχνητών μοσχευμάτων. Έτσι αναπτύχθηκε μία νέα επιστήμη, η επιστήμη των βιοϋλικών, που

έκανε τα πρώτα της βήματα την δεκαετία του 1950. Η επιστήμη αυτή έχει σαν σκοπό την ανάπτυξη νέων μη τοξικών υλικών κατάλληλων για την αντικατάσταση ιστών και φυσικών οργάνων του ανθρώπινου σώματος. Πολλά υλικά όπως τα νέα πολυμερή, κεραμικά και σύνθετα υλικά συγκαταλέγονται σε αυτά που επιτρέπουν στους μηχανικούς να ασχολούνται με θέματα ιατρικής και να σχεδιάζουν τεχνητά βιοσυμβατά μοσχεύματα. Στην επιστήμη της οδοντιατρικής, νέα υλικά όπως οι κονίες δεν είναι τίποτε άλλο παρά μόνο κοκκώδη σύνθετα υλικά.

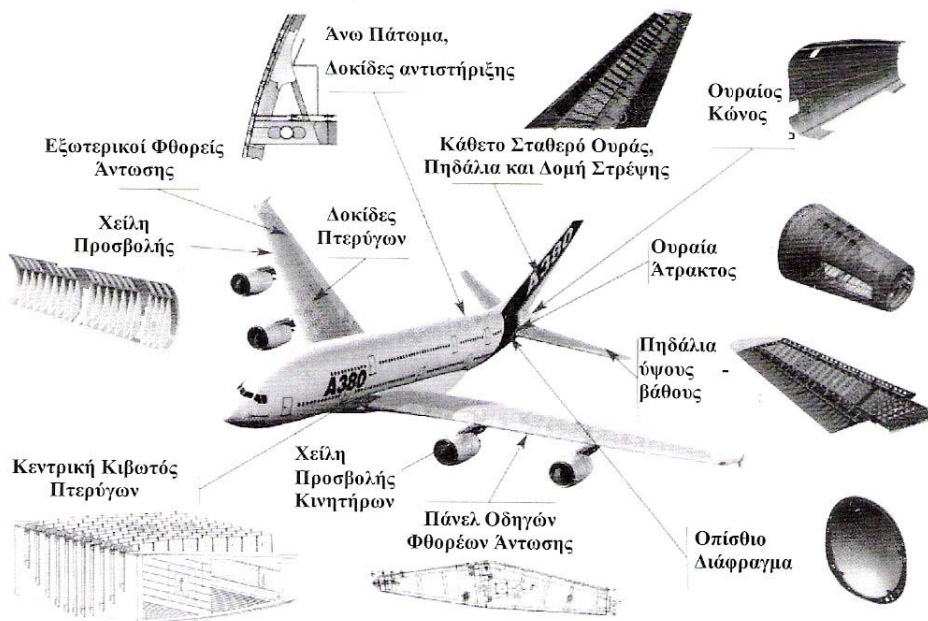
**Δ. Ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές:** Μεγάλες προσπάθειες γίνονται για την εισαγωγή των σύνθετων υλικών στους τομείς αυτούς. Αξίζει να επισημάνουμε ότι γίνεται μία προσπάθεια να αντικατασταθεί το πυρίτιο από το φουλερένιο στην κατασκευή των ημιαγωγών. Όπως επίσης με την βοήθεια του χαλκού και του χρωμίου αντί των πολύτιμων μετάλλων λευκόχρυσου, παλλαδίου και ραδίου κατασκευάστηκαν καταλυτικοί μετατροπείς.

Τα παραπάνω είναι κάποιοι τομείς που εφαρμόζονται τα σύνθετα υλικά σήμερα και η προσπάθεια επέκτασής τους. Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε μόνο με την εφαρμογή τους στην οικοδομική, στις νέες κατασκευές που απαιτούν πολλά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, όπως είναι η εύκολη μεταφορά τους, το χαμηλό βάρος τους και οι υψηλές αντοχές που αυτά δίνουν.

**Εικόνα:** Διάφορα πεδία εφαρμογών των σύνθετων υλικών. [1], [26]



**Εικόνα:** Η χρήση των σύνθετων υλικών με ανθρακονήματα στη δομή των αεροσκαφών AIRBUS A380. [1], [26]





## 2. ΡΗΤΙΝΕΣ (μήτρα, πολυμερική)

Οι εποξειδικές ρητίνες είναι υλικά τα οποία έρχονται στο εργοτάξιο σε συσκευασίες δύο συστατικών, το Α (ρητίνη) και το Β (σκληρυντής). Τα υλικά αυτά αναμειγνύονται πριν από την τελική τους χρήση και μετά την εφαρμογή τους δημιουργούν μια ισχυρή σύνδεση των παρειών της ρωγμής.

Χρησιμοποιούνται επίσης όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε οπλισμούς σε παλαιό σκυρόδεμα π.χ. βλήτρα σε μανδύες ή αναμονές, ή να συνδεθεί παλαιό σκυρόδεμα με νέο νωπό σκυρόδεμα, ώστε η επιφάνεια τους να συγκολληθεί. Η χρήση τους στις παραπάνω εφαρμογές είναι μεγάλη. Απαιτείται όμως προσοχή στον τρόπο εφαρμογής τους, ώστε να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Η χρήση των εποξειδικών ρητίνων είναι ιδιαίτερα αυξημένη στις επεμβάσεις κυρίως για την αποκατάσταση ρωγμών αλλά και για άλλες εφαρμογές. Η τεχνική της ρητινένεσης απαντάται κυρίως στον φέροντα οργανισμό κατασκευών από σκυρόδεμα και στις τοιχοποιίες. Στοχεύει στην επανάκτηση της αρχικής φέρουσας ικανότητας ρηγματωμένων φορέων καθώς και της αστοχίας τους



**Εικόνα:** Η εμπορική συσκευασία των συστατικών Α και Β της εποξειδικής ρητίνης.

## **2.1 ΧΡΗΣΕΙΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ**

### **2.1.1 Πεδία εφαρμογής της εποξειδικής ρητίνης**

#### **A. Υποστυλώματα.**

Οι ρητινενέσεις χρησιμοποιούνται για την επισκευή των υποστυλωμάτων, χωρίς να έχει υποστεί βλάβη το σκυρόδεμα ή ο οπλισμός παρά μόνο ελαφρές ρωγμές από 0,1 μέχρι 5 mm.

#### **B. Πλάκες.**

Οι ρητινενέσεις εφαρμόζονται έτσι ώστε να ενωθούν δύο κομμάτια από σκυρόδεμα που έχουν διαχωριστεί, όταν δεν είναι αποδιοργανωμένο και ο οπλισμός δεν έχει λυγίσει ή σπάσει.

#### **Γ. Κόμβοι δοκών – υποστυλωμάτων**

Οι ρητινενέσεις εφαρμόζονται για την επισκευή των κόμβων με ελαφριές – μέτριες ρωγμές χωρίς αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα ή οπλισμό που έχει υποστεί λυγισμό.

#### **Δ. Τοιχώματα.**

Σε περίπτωση που ο λογιστικός έλεγχος αποδείξει ότι δεν λείπει σίδηρο και το άνοιγμα των ρηγματώσεων που υπέστη δεν ξεπερνάει τα 1 έως 2 mm. Τότε είναι δυνατή η επισκευή του τοιχώματος με συστηματικές ενέσεις ρητινών κάτω από υψηλή πίεση.

#### **Ε. Τοιχοποιίες.**

Στην τοιχοποιία χρησιμοποιούνται ρητινενέματα που εισάγονται υπό πίεση ή υπό κενό αέρος σε πολύ μικρές ρωγμές.

### 2.1.2 Τύποι και αιτίες ρηγματώσεων.

Οι τυπικοί βαθμοί βλάβης είναι οι εξής:

1. Απλή Ρηγμάτωση (πάχος ρωγμής: για δοκούς 2-5 mm, για υποστυλώματα 0.5-3 mm). Οι βλάβες σε αυτό το βαθμό αποκαθίστανται με χρήση εποξειδικών ρητινών και επικόλληση ελασμάτων ή σύνθετων υλικών στο σκυρόδεμα.
2. Μερική Αποδιοργάνωση. Οι βλάβες αυτού του βαθμού αποκαθίστανται με μερική καθαίρεση του βλαμμένου σκυροδέματος και αντικατάσταση αυτού με νέο σκυρόδεμα, ενίσχυση με νέους οπλισμούς ή επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων ή σύνθετων υλικών ή προσθήκη εξωτερικού μανδύα σκυροδέματος.
3. Διακοπή Συνέχειας, Πλήρης Αποδιοργάνωση Σκυροδέματος, Βλάβη Οπλισμών (ολίσθηση, λυγισμός οπλισμού). Οι βλάβες αυτού του βαθμού αποκαθίστανται με πλήρη επισκευή ή αντικατάσταση ολόκληρου του στοιχείου.

Η χρήση των εποξειδικών ρητινών γίνεται μόνο στην πρώτη περίπτωση, την περίπτωση της απλής ρηγμάτωσης, σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος για την αποκατάστασή του.

Οι αιτίες ρηγματώσεων είναι οι εξής:

1. Από σεισμική κατάπληξη.
2. Λανθασμένη επιλογή υλικών του σκυροδέματος.
3. Αλλαγή χρήσης με αύξηση του μόνιμου ή και του ωφέλιμου φαρτίου.
4. Εσφαλμένη στατική μελέτη (όχι σωστή εκτίμηση φορτίων, μοντέλων) ή κακή εφαρμογή της στο στάδιο της κατασκευής.
5. Παρεμπόδιση της συστολής ξήρανσης.
6. Παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού.
7. Περιβάλλον με έντονες θερμοκρασιακές ή υγρασκοπικές εναλλαγές.
8. Διάβρωση οπλισμού λόγω οξειδωσης ή μικρής επικάλυψης.
9. Ογκομετρικές μεταβολές σκυροδέματος (Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες η πήξη του νερού των πόρων οδηγεί σε αύξηση του όγκου του και σε ανάπτυξη πιέσεων στον τσιμεντοπολτό.)

10. Κατασκευαστικά σφάλματα όπως λανθασμένη σκυροδέτηση (πρόσθεση νερού, ελλιπής συμπύκνωση, ανεπαρκής στήριξη των ξυλοτύπων, πρόωρη αφαίρεση των ξυλοτύπων)
11. Κακή πρόσφυση σκυροδέματος – χάλυβα.
12. Καθίζηση θεμελίων λόγω υπερεκτίμησης της αντοχής του εδάφους, κατολισθήσεις, επίδραση νερού κ.τ.λ.
13. Ενανθράκωση του σκυροδέματος.

### Αποδεκτά εύρη ρωγμών – όρια

Το American Concrete Institute(ACI Com.224, 1990)αποδεκτά εύρη ρωγμών ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος και αυτά είναι : υγρό περιβάλλον ή έδαφος, 0.18 mm για χημικές προσβολές, 0.15 mm για θαλάσσιο περιβάλλον και 0.10 mm για δεξαμενές. Γενικά ρωγμές ως 0.3mm δεν αποτελούν απειλή για τους οπλισμούς. Οι εποξειδικές ρητίνεςδεν εμφανίζονται αυτούσιες (χωρίς προσμίξεις) σε τμήματα οπλισμένου σκυροδέματος που έχουν σημαντικές βλάβες ή σε ρωγμές που έχουν πλάτη μικρότερα από 0.1mm και μεγαλύτερα από 3 mm. Η τεχνική μπορεί να εμφανιστεί σε εύρη μεγαλύτερο από 3 mm (με εποξειδικό κονίαμα).

Μεγάλη σημασία για πρακτικούς λόγους έχει η κατεύθυνση της ρωγμής σε σχέση με την κατεύθυνση των οπλισμών. Για παράδειγμα ρωγμές που τέμνουν τους οπλισμούς, προκαλούν πολύ μικρότερες βλάβες, από αυτές που βρίσκονται κατά μήκος τους.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε συνοπτικά αυτά που αναφέραμε παραπάνω, όπου παρουσιάζονται τα μέγιστα αποδεκτά όρια εύρους ρωγμών, για διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος, έτσι όπως προτείνονται από το American Concrete Institute(ACI Com.224,1990)

<b>Συνθήκες Περιβάλλοντος</b>	<b>Μέγιστο επιτρεπόμενο εύρος ρωγμής</b>
Ξηρό Περιβάλλον	0,41mm
Υγρό Περιβάλλον ή Έδαφος	0,30mm
Χημικές Προσβολές	0,18mm
Θαλάσσιες Κατασκευές	0,15mm
Δεξαμενές	0,10mm

[Πηγή πληροφόρησης: Δρίτσος Στέφανος, «ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ», Πάτρα 2001, 2<sup>η</sup> έκδοση]

### 2.1.3 Προϋποθέσεις καταλληλότητας μίας εποξειδικής ρητίνης

Για να είναι κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί μία εποξειδική ρητίνη με την διαγικασία των ενέσεων θα πρέπει να έχει ροής συμβατά με τον απαιτούμενο εξοπλισμό ενέσεων. Οι πληροφορίες για τα μηχανικά και τα φυσικά χαρακτηριστικά της τα οποία είναι το χρώμα, το ιξώδες, ο χρόνος εργασιμότητας, ο χρόνος σκλήρυνσης, η ημερομηνία λήξης, η υδατοπερατότητα, η θλιπτική και εφελκυστική αντοχή, είναι απαραίτητες και πρέπει να είναι επαρκής, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση με τα χαρακτηριστικά των άλλων υλικών της κατασκευής. Πρέπει επίσης να έχει σχετικά μεγάλο μέτρο ελαστικότητας (όχι  $E < 20.000 \text{ kg/cm}^2$ ), έτσι ώστε να αποφεύγεται η τοπική μείωση της ακαμψίας των στοιχείων και συμβατό με το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος και το ιξώδες να είναι ανάλογο προς την συγκεκριμένη χρήση (συνήθως χαμηλή τιμή του ιξώδους. Είναι απαραίτητο να έχει τέτοιο χρόνο πήξης ώστε να μπορεί να γίνει η εφαρμογή μίας δόσης πριν αυτή πήξει και ρευστότητα πρέπει να είναι κατάλληλη για το όποιο βάθος της ρωγμής. Η εποξειδική ρητίνη πρέπει να παρουσιάζει συνάφεια και συγκολλητικότητα με το σκυροδέμα και το χάλυβα και ελάχιστη συστολή ξύρασης. Επίσης πρέπει να αντέχει στις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του έργου. Επιπλέον, θα πρέπει πάνω στην συσκευασία να αναφέρεται ότι δεν περιέχονται διαλύτες. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να λαμβάνεται στην αποθήκευση του υλικού, όπου τα συσκευασμένα συστατικά Α και Β πρέπει να βρίσκονται σε θέση με θερμοκρασία μεταξύ  $10^\circ$  και  $20^\circ\text{C}$  και κατά τις οδηγίες του εργοστασίου παραγωγής. Σε περίπτωση που η διάρκεια αποθήκευσης του συστατικού Α διαρκέσει πάνω από τρεις μήνες τότε θα πρέπει να ελέγχεται για τυχόν κρυστάλλωση με την οπτική μέθοδο. Επίσης θα πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση των δοχείων στον ήλιο. Σε περίπτωση μεταβολής του ιξώδους των συστατικών κατά την αποθήκευση θα πρέπει να επιχειρείται η επαναφορά του με θέρμανση σε υδρόλουτρο και να ελέγχονται στην συνέχεια οι ιδιότητές τους πριν χρησιμοποιηθούν.



**Εικόνα:** Εφαρμογή ρητινέυσης για την ενίσχυση και αποκατάσταση των ρωγμών.  
[[www.epoxysystems.com](http://www.epoxysystems.com)]

#### 2.1.4 Απαιτούμενος εξοπλισμός για την ρητινένωση

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε κάθε ρητινένωση εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος της επισκευής. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις:

Απλές επισκευές : Οι απλές επισκευές που δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις (όπως π.χ. ρητινένωσης για την αποφυγή του κινδύνου διάβρωσης σε μη ενεργές ρωγμές που δεν έχουν τον κίνδυνο απώλειας των αντοχών του σκυροδέματος), γίνεται ρητινένωση χαμηλής πίεσης (20-40 psi) χρησιμοποιείται ο εξοπλισμός που φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

Η ρητίνη αφού αναμειχθεί με τον σκληρυντή εισάγεται στον κύλινδρο του πιστολιού και εκτοξεύεται με πίεση από το ακροφύσιο πατώντας την σκανδάλη. Υπάρχει επιπλέον εξοπλισμός με υποδοχή για δύο κυλίνδρους (ένας για τη ρητίνη και ένας για τον σκληρυντή), οπότε η ανάμειξη των δύο υλικών γίνεται κατά την ρητινένωση στο ακροφύσιο. Η τεχνική αυτή μειονεκτεί αλλά εφαρμόζεται λόγω της απλότητάς της.

Απαιτητικές επισκευές: Οι απαιτητικές κατασκευές είναι αυτές με ενεργές ρωγμές και παρουσιάζουν τον κίνδυνο απωλειών των αντοχών του σκυροδέματος. Σε αυτές τις επισκευές γίνεται ρητινένωση υψηλής πίεσης (1000-10000psi). Ο εξοπλισμός αποτελείται από το δοχείο ανάμιξης την αντλία και το μανόμετρο. Και σε αυτήν την περίπτωση η ανάμειξη της ρητίνης με τον σκληρυντή μπορεί να γίνεται πριν την ρητινένωση ή κατά την διάρκεια της, οπότε όπως και στις απλές επισκευές υπάρχουν δύο δοχεία και η ανάμειξη γίνεται ταυτόχρονα με την ρητινένωση. Τα πλεονεκτήματα αυτής της ταυτόχρονης ανάμιξης είναι ότι υπάρχει μεγαλύτερος χρόνος της εργασιμότητας της ρητίνης και δεν δημιουργείται η ανάγκη διακοπής της διαδικασίας της ρητινένωσης, όταν καταναλωθεί η εποξειδική κόλλα με δυσμενή αποτελέσματα για την επιτυχία της επισκευής.



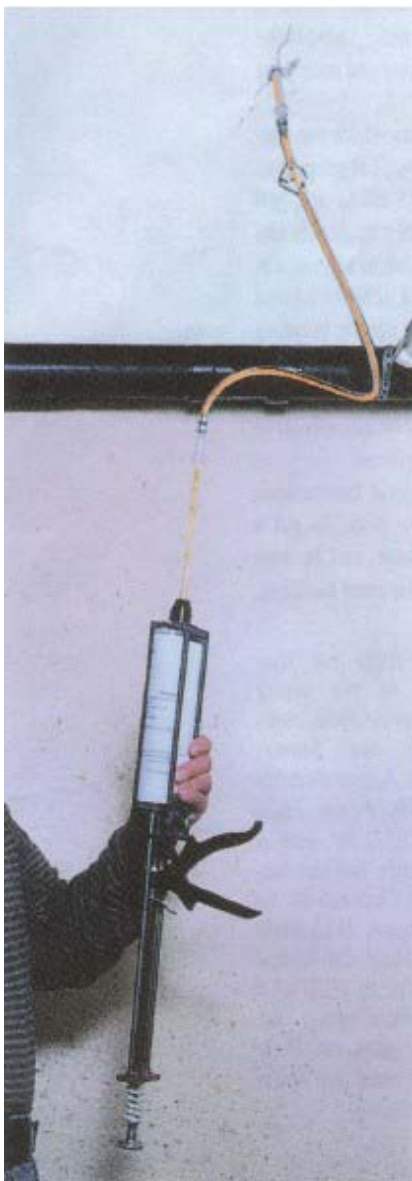
**Εικόνα:** Πιστόλι εκτόξευσης ρητίνης στα τοποθετημένα ακροφύσια.  
[ [www.wiwa.de](http://www.wiwa.de)]



**Εικόνα:** Αντλία αυξημένης πίεσης, με δοχείο ανάμειξης και μανόμετρο.  
[ [www.epoxysystems.com](http://www.epoxysystems.com)]



**Εικόνα:** Εισαγωγή της ρητίνης στην σχημάτισμένη ρωγμή με την βοήθεια πιστολιού.  
[www.wiwa.de]



**Εικόνα:** Πιστόλι εισαγωγής ρητίνης. [23]  
[ www.wiwa.de]





**Εικόνα:** Αντλία για την εφαρμογή ρητινενέσεων  
[[www.wiwa.de](http://www.wiwa.de)]

## 2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΡΗΤΙΝΕΝΕΣΕΩΝ

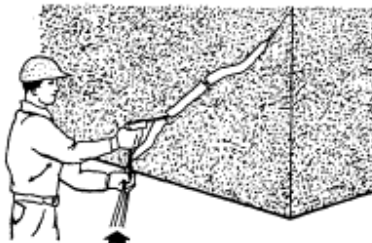
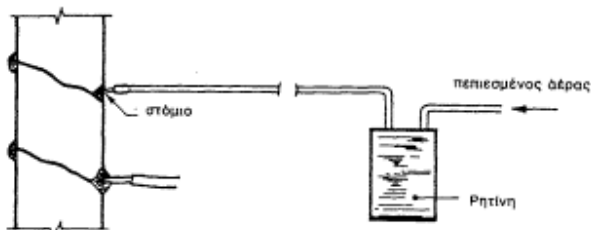
Η εφαρμογή της μεθόδου των ρητινενέσεων για την αποκατάσταση της διατομής φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα που έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό ή άλλες καταπονήσεις απαιτεί τα εξής (για ρωγμές πάχους 0.5-3mm):

### Υλικά:

- A) Ακροφύσια.
- B) Πάστα εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών.
- Γ) Εποξειδική ρητίνη ρευστή δύο συστατικών:
  - 1) λεπτόρρευστη για ρωγμές 0.5-1mm και
  - 2) παχύρρευστη για ρωγμές από 1-3mm.
- Δ) Διαλυτικό υγρό για καθαρισμό των εργαλείων.

### Εργαλεία:

- A) Σπάτουλες διαφόρων μεγεθών
- B) Συρματόβουρτσες.
- Γ) Πλαστικά δοχεία για την ανάμειξη των υλικών.
- Δ) Αεροσυμπιεστής για την διάθεση πεπιεσμένου αέρα.
- Ε) Πιεστικό δοχείο με ρύθμιση πίεσης.
- Στ) Μανόμετρα.
- Ζ) Διαφανείς σωλήνες για την έκχυση της ρητίνης.



ένεση με εποξειδική ρητίνη

### Τρόπος εργασίας:

A. Καθαρισμός επιμελημένος της επιφάνειας του σκυροδέματος στην περιοχή της ρωγμής και εκατέρωθεν αυτής πλάτους περίπου 10cm για να απομακρυνθούν τυχόν ξένα σώματα, σοβάδες κ.τ.λ.

B. Φύσημα με πεπιεσμένο αέρα για να φύγουν οι σκόνες και πλύσιμο της περιοχής με νερό υπό πίεση.

Γ. Αφού στεγνώσει η περιοχή της ρωγμής, ανακατεύουμε μικρή ποσότητα πάστας εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών και με αυτή κολλάμε τα ακροφύσια πάνω και κατά μήκος της ρωγμής, βάζοντας στα άκρα των ακροφυσίων μικρή ποσότητα εποξειδικής πάστας και σε απόσταση μεταξύ τους 10-20mm, ανάλογα με το μέγεθος της ρωγμής. Στη συνέχεια και αφού έχουν περάσει 24 ώρες για να συγκολληθούν τα ακροφύσια πάνω στο σκυρόδεμα στοκάρουμε με πάστα και την ρωγμή και ντα ακροφύσια έτσι ώστε να κλείσει η ρωγμή από παντού αεροστεγώς.

Δ. Μετά την εφαρμογή της πάστας (στοκάρισμα) γίνεται η έκχυση μέσα στη ρωγμή, της ρευστής εποξειδικής ρητίνης (24 ώρες μετά την εφαρμογή της πάστας).

Η έκχυση της πάστας γίνεται ως εξής:

1. Ανακατεύουμε τη ρευστή εποξειδική ρητίνη σε ένα δοχείο ( A+B συστατικό)
2. Τοποθετούμε την ρητίνη σε πιεστικό δοχείο και το κλείνουμε, συνδέοντας το με τον αεροσυμπιεστή.
3. Διοχετεύουμε αέρα υπό πίεση στο πιεστικό δοχείο με τον αεροσυμπιεστή και μέσω σωληνών του πιεστικού, οι οποίοι εφαρμόζουν στα ακροφύσια, γεμίζουμε με υγρή ρητίνη την ρωγμή, βάζοντας ρητίνη από το χαμηλότερο προς το υψηλότερο ακροφύσιο και ταπώνοντάς τα, αφού δούμε ότι χύνεται η ρητίνη μέχρι να γίνει πλήρως πλήρωση της ρωγμής.

Η όλη εργασία ελέγχεται κατά την έκχυση της υγρής ρητίνης και πλήρωση της ρωγμής, έτσι ώστε να είμαστε σίγουροι ότι η ρητίνη δεν χύνεται από κάποιο άλλο σημείο που δεν έχουμε κλείσει καλά με την πάστα της εποξειδικής ρητίνης.

Η εργασία έχει ολοκληρωθεί όταν περάσουν 24 ώρες από την εφαρμογή της υγρής ρητίνης και έχουν συγκολληθεί οι εκατέρωθεν επιφάνειες της ρωγμής.

Η αντοχή σε θλίψη της εποξειδικής πάστας είναι περίπου ίση με  $750\text{Kg/cm}^2$  και η αντοχή σε θλίψη της ρευστής εποξειδικής ρητίνης είναι μεγαλύτερη από  $1000\text{Kg/cm}^2$ .

Και οι δύο δεν έχουν μεγάλη ικανότητα πρόσφυσης στο σκυρόδεμα και ικανότητα συγκόλλησης επιφανειών σκυροδέματος.

Παρακάτω βλέπουμε τον τρόπο εργασίας για την εφαρμογή των ρητινένεσεων σε πλάκα που έχει υποστεί ρηγματώσεις



(1) Σφραγίζεται η ρωγμή με εποξειδική πάστα σε όλο το ανάπτυγμά της



(2) Σε επιλεγμένες θέσεις τοποθετούνται ακροφύσια (ανοιχτοι πόροι) μέσω των οποίων γίνεται η ρητινένεση.



(3) Με πεπιεσμένο αέρα που διοχετεύεται μέσω των ακροφυσίων γίνεται καθαρισμός της ρωγμής σε βάθος.

(4) Με ειδικό πιεστικό δοχείο εποξειδική ρητίνη ρευστής συνθέσεως η οποία είναι αναμεμιγμένη με σκληρυντή διοχετεύεται από τα κατώτερα ακροφύσια στα ανώτερα (για να μην αφήσει κενά) γεμίζοντας την ρωγμή. Μετά από ορισμένο χρόνο – από 6 έως 48 ώρες – ανάλογα την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η εποξειδική ρητίνη σκληρύνεται αποκτώντας αντοχές πολύ ψηλότερες από αυτές του σκυροδέματος ενώ συγχρόνως επανασυγκολλεί το ρηγματωμένο τμήμα.



[Η πηγή του φωτογραφικού υλικού και των οδηγιών που συνοδεύουν είναι από: [www.nakos.com](http://www.nakos.com)]



**Εικόνα:** Κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος μετά την ρητινέυση.  
[www.epoxysystems.com](http://www.epoxysystems.com)



**Εικόνα:** Προσπάθεια επισκευής και ενίσχυσης ρηγματωμένης πλάκας.  
[www.epoxysystems.com](http://www.epoxysystems.com)





### 2.3 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Διακρίνουμε τρία είδη ρητίνης:

- Εποξική
- Πολυεστερική
- Βινυλεστερική

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κάθε μίας.

Είδος ρητίνης	Εφελκυστική αντοχή(MPa)	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Επιμήκυνση θραύσης(%)	Πυκνότητα (gr/cm <sup>3</sup> )
Εποξική	55-130	2-4,5	4-14	1,2-1,3
Πολυεστερική	35-104	2,1-4,1	<5	1,1-1,46
Βινυλεστερική	73-81	3-3,6	3,5-5,5	1,12-1,32

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της χρήσης της εποξειδικής ρητίνης και τα όρια που πρέπει να καλύπτουν.

Ιδιότητες-Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Όρια
Θλιπτική αντοχή (Mpa)	ASTM D695	55-110
Ιξώδες (PS)	ASTM D1824-mod	1,5-40
Επιμήκυνση θραύσης (%)		1,5-2,5
Μέτρο ελαστικότητας (Mpa)	ASTM D695	2100-5500
Αντοχή σε εφελκυσμό (Mpa)	ASTM D638	40-65
Χρόνος απόκτησης αντοχής (ημέρες)		2-20(συνήθως 7)
Χρόνος εργασιμότητας (min)		20-80 min (για 200 gr υλικού στους 25°C)

## **2.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **2.4.1 Η τεχνική των ρητινενέσεων έναντι άλλων τεχνικών επισκευής ρωγμών.**

Τα τελευταία χρόνια έχουν χρησιμοποιηθεί στην πράξη διάφορες μέθοδοι για την επισκευή ρωγμών από οπλισμένο σκυρόδεμα όπως:

-το σφράγισμα των ρωγμών με ειδικά κονιάματα που έχουν ως βάση το τσιμέντο.

-η τεχνική της υγρής μεμβράνης.

-η εφαρμογή της μεμβράνης από ίνες υαλού, ανάμεσα από επάλληλες στρώσεις επιφανειακού σφραγίσματος της ρωγμής με ειδικά κονιάματα τσιμέντου.

-η εφαρμογή διάφορων ειδών σιλικόνης σε όλη την επιφάνεια του δομικού στοιχείου ή σε αυλάκια διεύρυνσης του ίχνους της ρωγμής, σε όλο το μήκος της.

-η χρήση διάφορων ειδών μαστίχας ή εποξειδικής παχύρρευστης κόλλας, για την γεφύρωση του ανοίγματος της ρωγμής.

Το πρόβλημα που δημιουργήθηκε από την χρήση αυτών των μεθόδων με εξαίρεση την εφαρμογή των ρητινενέσεων είχε να κάνει με την γήρανση των υλικών επισκευής. Έτσι αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται πλέον μόνο για την προσωρινή αποκατάσταση των ρωγμών, σε αντίθεση με την τεχνική των ενέσεων με ρητίνες η οποία όπως φαίνεται μπορεί να δημιουργήσει μόνιμη αποκατάσταση , που δεν χάνει την αντοχή της με τον χρόνο.

### **2.4.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης της εποξειδικής ρητίνης**

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης των ρητινενέσεων είναι τα εξής:

A. Οι ρητίνες γεμίζουν το κενό της ρωγμής και δεν ενώνουν απλά το άνοιγμα. Έτσι επιτυγχάνεται η πλήρης συνέχεια του υλικού. Ακόμα οι οπλισμοί στην περιοχή της ρωγμής καλύπτονται πλήρως και έτσι προστατεύονται από κάθε διαδικασία οξείδωσης ή άλλης περιβαλλοντικής προσβολής. Επίσης, αποκαθίσταται πλήρως η συνάφεια του οπλισμού και του περιβάλλοντος του σκυροδέματος.

Β. Οι ρητίνες παρουσιάζουν υψηλές αντοχές εφελκυσμού και συνάφειας με το σκυρόδεμα και με αυτόν τον τρόπο εμποδίζεται η αύξηση του εύρους και του μήκους των ρωγμών.

Γ. Το υλικό της ρητίνης δεν είναι ευάλωτα από παράγοντες που συχνά επιδρούν δυσμενώς στην κατασκευή όπως οι περιβαλλοντικές δράσεις, η αλκαλικότητα και τα ιόντα. Εξάλλου το υλικό που βρίσκεται στο βάθος της ρωγμής, δέχεται πολύ μικρότερες επιδράσεις από το υλικό που βρίσκεται στην επιφάνεια.

Δ. Ένα βασικό ακόμα πλεονέκτημα της χρήσης της ρητίνης σε σχέση με την διαδικασία γήρανσης της, είναι ότι υπερτερεί σε σχέση με άλλες μεθόδους επειδή η μεγαλύτερη ποσότητα της ρητίνης, βρίσκεται στο εσωτερικό της ρωγμής και το άνοιγμα των παρειών, λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, είναι πολύ μικρότερο από ότι στην επιφάνεια του στοιχείου.

Το εύρος της ρωγμής μεταβάλλεται σε σχέση με την θερμοκρασία και οι κινήσεις των παρειών είναι ουσιαστικά μικρές αλλά όχι αμελητέες αφού το υλικό που βρίσκεται στην επιφάνεια του στοιχείου γηράσκει, λόγω της επαναλαμβανόμενης έντασης κάτι που δεν συμβαίνει με το υλικό που βρίσκεται στο βάθος της ρωγμής.

Ε) Επίσης αρκετά σημαντικό είναι το γεγονός ότι η χρήση της εποξειδικής ρητίνης επιφέρει ένα καλαίσθητο αποτέλεσμα κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με την χρήση άλλων μεθόδων αφού είναι ίσως η μόνη επέμβαση που έχει τόσο υψηλό βαθμό διακριτικότητας.

### **2.4.3 Μειονεκτήματα της χρήσης της εποξειδικής ρητίνης**

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που παρουσιάζονται είναι ότι η εφαρμογή της μεθόδου αυτής πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο και έμπειρο προσωπικό όπως επίσης και τα αποτελέσματα της μη σωστής εφαρμογής της.

Επίσης πολύ σημαντικό είναι η επιλογή υλικών με όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας λόγω της επίδρασης στις στροφές της επισκευασμένης διατομής. Μια κατώτερη τιμή του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη που ημπορεί να χρησιμοποιείται προσωρινά λόγω της έλλειψης κανονισμών είναι τα 2000Μρα.

Ένας τρόπος για να επιτευχθεί μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας είναι η χρήση ρητινοκονιαμάτων, κονιάματα δηλ. με την προσθήκη αδρανών αν και τέτοια υλικά έχουν

πολύ μεγάλο ιξώδες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε μεγάλο εύρος ρωγμών, όπως επίσης η χρήση τους μειώνει σημαντικά την αντοχή όπως φαίνεται στο διάγραμμα.

**Εικόνα:** Εφαρμογή των ρητινενέσεων  
[ [www.epoxysystems.com](http://www.epoxysystems.com) ]



### **3.ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΙΝΩΔΗ ΠΟΛΥΜΕΡΗ**

#### **3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΙΝΩΔΗ ΠΟΛΥΜΕΡΗ**

Η χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (Fiber Reinforced Polymers), αποτελεί σήμερα την πιο σύγχρονη τεχνική στον τομέα της ενίσχυσης των κατασκευών. Είναι η εξέλιξη της τεχνικής των χαλύβδινων ελασμάτων αντιμετωπίζοντας με επιτυχία τα μειονεκτήματα της τεχνικής αυτής.

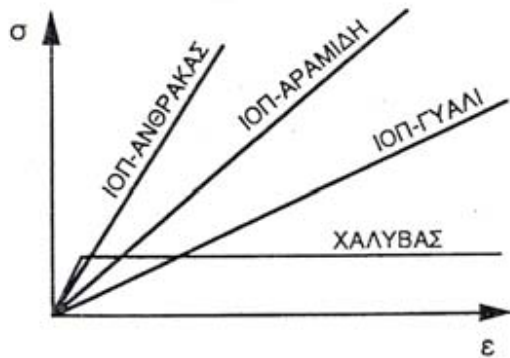
Αυτά τα πολυμερή έχουν πολύ μικρό βάρος και πολύ μεγάλη αντοχή, διατίθενται σε μεγάλα μήκη και είναι ευαίσθητα στην διάβρωση. Η εφαρμογή της τεχνικής είναι απλή και δεν απαιτεί χρόνο για την εκτέλεση της εργασίας. Επίσης πολύ σημαντικό είναι το ότι εφαρμόζονται και σε περιπτώσεις όπου η εφαρμογή των επικολλητών ελασμάτων είναι περιορισμένη. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η ευρεία αποδοχή τους παρ'όλο το υψηλό κόστος τους και την επιφύλαξη που υπάρχει για το νέο αυτό υλικό.

#### **Τα ινώδη σύνθετα υλικά**

Τα ινώδη σύνθετα υλικά (Fiber-reinforced composites), αποτελούνται από έγκλεισμα υπό μορφή ινών μέσα σε μία συνεχή μήτρα. Η μήτρα αυτή μπορεί να είναι ένα οποιοδήποτε υλικό από μία μεγάλη ποικιλία φυσικών ή τεχνητών υλικών.

#### **Οι ίνες**

Χαρακτηριστικό μίας ίνας είναι ο μεγάλος λόγος μήκος/διάμετρος. Έχει παρατηρηθεί ότι τα διάφορα υλικά που βρίσκονται σε συνήθη μορφή είναι λιγότερα άκαμπτα και ανθεκτικά από τις αντίστοιχες ίνες τους που οι τιμές των χαρακτηριστικών αυτών είναι πολύ μεγαλύτερες. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι η γεωμετρία μίας ίνας είναι σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό της αντοχής της.



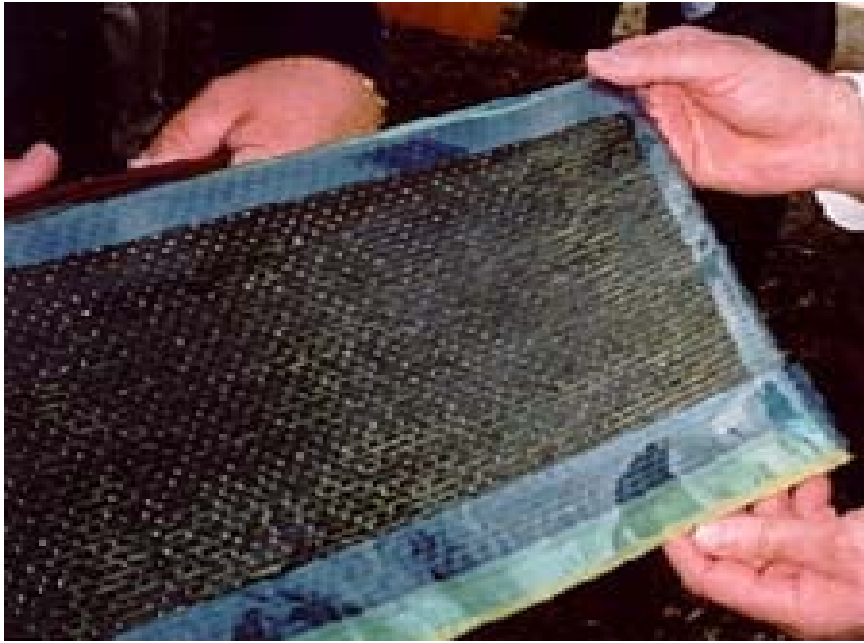
**Εικόνα:** Διάγραμμα σύγκρισης των ινών με τον χάλυβα

### Χρήσεις και προοπτικές των ινωδών σύνθετων υλικών

Τα πλεονεκτήματα των ινωδών σύνθετων υλικών με πολυμερική μήτρα με τα οποία και θα ασχοληθούμε είναι πολλά και για αυτόν τον λόγο υπάρχει μια ευρεία χρήση αυτών στις οικοδομικές κατασκευές.

Τα σύνθετα υλικά αρχικά εφαρμόστηκαν για την ενίσχυση γεφυρών στις Η.Π.Α. και έπειτα για την ενίσχυση κτιριακών κατασκευών. Σήμερα, τα σύνθετα υλικά έχουν εκτενώς εφαρμοστεί στις ενισχύσεις πάσης φύσεως τεχνικών έργων τόσο σε κράτη της Αμερικής, της Ασίας και της Ευρώπης συμπεριλαμβανομένης και της χώρας μας.

Η χρήση των σύνθετων υλικών για την ενίσχυση κατασκευών μπορεί να θεωρηθεί ως η φυσική εξέλιξη των ενισχύσεων με μεταλλικά ελάσματα. Ενώ παλαιότερα χρησιμοποιούσαν ίνες χάλυβα, σήμερα χρησιμοποιούν ίνες πολυμερών.



**Εικόνα:** Μανδύας από FRP

[DAMIAN I. KACHLAKEV, Ph.D., P.E., California Polytechnic State University San Luis Obispo, “STRENGTHENING STRUCTURES USING FRP COMPOSITE MATERIALS”.]



**Εικόνα:** Ενίσχυση δομικού μέλους με ελάσματα από σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή.[[www.truedellcorp.com](http://www.truedellcorp.com)]



**Εικόνες:** Εφαρμογή ανθρακούφασμάτων σε δομικά έργα  
[[www.truesdellcorp.com](http://www.truesdellcorp.com)]





## 3.2 ΕΙΔΗ ΙΝΩΝ

### 3.2.1 Ίνες άνθρακα

Οι ίνες άνθρακα κατασκευάζονται από δύο προγονικά υλικά, που αποτελούν κατά κάποιο τρόπο τις πρώτες ύλες. Είναι πιθανόν, να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτες ύλες μία μεγάλη ποικιλία υλικών, όπως ρητίνη φανικού οξέος, διάφορα πολυμερή, συνθετικό μετάξι και υδρογονάνθρακες. Αυτά όλα έχουν χρησιμοποιηθεί, αλλά τώρα χρησιμοποιούνται μόνο το P.A.N (πολυ-ακρίλο-νιτρίλιο) και η πίσσα από πετρέλαιο ή κάρβουνο. Σε εξέλιξη βρίσκεται η παραγωγή κοντών ινών από αέριους υδρογονάνθρακες και μπορούν να παραχθούν άλλα εμπορικά προϊόντα, που θα είναι διαθέσιμα σε μερικά χρόνια.[1]

Οι ίνες άνθρακα χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή και μέτρο, έχουν διάμετρο 7 με 8 mm και αποτελούνται από κρυσταλλίτες γραφίτη του τύπου 'turbo static' που είναι μία αλλοτροπική μορφή του άνθρακα.[1]

Για να παρουσιάζουν οι ίνες άνθρακα υψηλό μέτρο και αντοχή, πρέπει οι επίπεδες στρώσεις του γραφίτη να είναι διατεταγμένες κατά την διεύθυνση του άξονα της ίνας. Στην πράξη όμως, οι κρυσταλλικές μονάδες είναι πολύ μικρές, άτακτα διατεταγμένες και παρουσιάζουν ασυνέχειες δομής.



**Εικόνα:** Ίνες Άνθρακα [SP Guide to composites]

Διακρίνονται σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές τους ιδιότητες σε ίνες : υψηλής αντοχής (high strength HS), μέσου μέτρου ελαστικότητας (intermediate modulus IM), υψηλού μέτρου ελαστικότητας (high modulus HM) και πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας (ultra high modulus UHM). Οι ίνες άνθρακα έχουν την υψηλότερη ειδική

δυσκαμψία (δυσκαμψία / πυκνότητα) σε σχέση με τις άλλες ίνες και πολύ υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και θλίψη καθώς επίσης είναι ανθεκτικές σε διάβρωση, ερπυσμό και κόπωση.



**Εικόνα:**

Υφάσματα

άνθρακα

[[www.sintecno.com](http://www.sintecno.com)]

### 3.2.2 Ίνες υαλού

Πάνω από το 90% των ινών που χρησιμοποιούνται στην ενίσχυση είναι ίνες γυαλιού, αφού είναι υλικό φθινό, εύκολο στην παραγωγή και έχει υψηλή αντοχή και δυσκαμψία. Η μικρή πυκνότητα του, η ανθεκτικότητα του σε χημικά και η άριστη μονωτική του ικανότητα είναι μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά του.



**Εικόνα:** Ίνες υαλού [SP Guide to composites]

### 3.2.3 Ίνες αραμιδίου

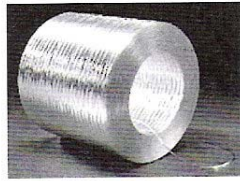
Οι ίνες αραμιδίου παρασκευάζονται από αρωματικά πολυαμίδια (μακριές πολυμερικές αλυσίδες με αρωματικούς δακτυλίους). Προσφέρουν καλές μηχανικές ιδιότητες σε μια χαμηλή πυκνότητα. Χαρακτηρίζονται από υψηλή εφελκυστική αντοχή, υψηλό μέτρο ελαστικότητας και χαμηλό βάρος. Η πυκνότητα των ινών αραμιδίου είναι μικρότερη από αυτή των ινών γυαλιού και άνθρακα. Έχουν υψηλή ανθεκτικότητα τόσο σε πυρκαγιά όσο και υψηλές θερμοκρασίες, καθώς επίσης είναι απρόσβλητες από οργανικούς διαλύτες η συμπιεστική δύναμη [7],[8]. Η πιο επιτυχής οργανική ίνα που παρασκευάστηκε βιομηχανικά είναι εκείνη που αναπτύχθηκε από την εταιρία Du Pont με την επωνυμία Kevlar. Υπάρχουν δύο τύποι ινών Kevlar : Kevlar 29 και Kevlar 49. το Kevlar 29 έχει υψηλή αντοχή και μέτριο μέτρο ελαστικότητας. Το Kevlar 49 έχει υψηλότερο μέτρο ελαστικότητας, αλλά την ίδια αντοχή με το Kevlar 29 και είναι το πλέον κατάλληλο υλικό για ενίσχυση



**Εικόνα:** Ίνες αραμιδίου [SP Guide to composites]



Νήμα Ινών



Ρολό Ινών



Ρολό Ινών



Τεμαχισμένο  
Νήμα



Ύφασμα Κοντών Ινών



Ύφασμα Μακριών Ινών

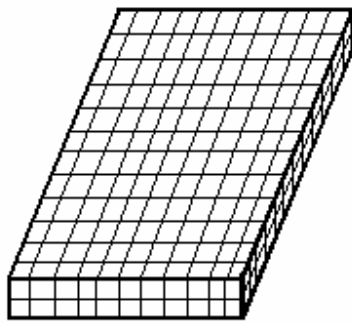
**Εικόνες:** Διάφοροι τύποι ενίσχυσης

[Παπανικολάου Γιώργος, Μουζάκης Διονύσης, «ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ», Κλειδάριθμος, 2007]

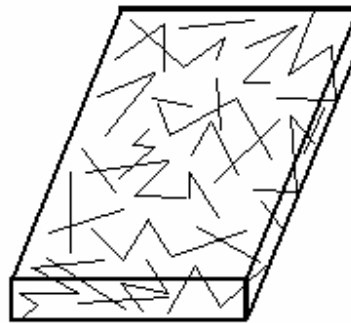


**Εικόνα:** Ύφασματα διάφορων τύπων.

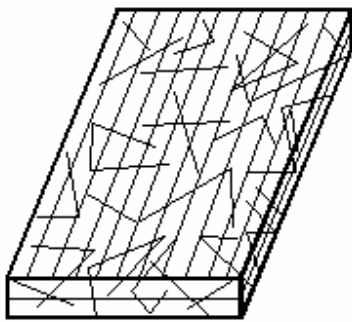
[[www.saint-gobainvetrotex.com](http://www.saint-gobainvetrotex.com)]



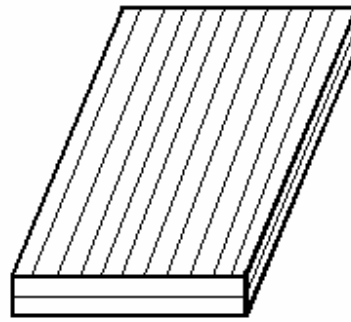
(α)



(β)



(γ)

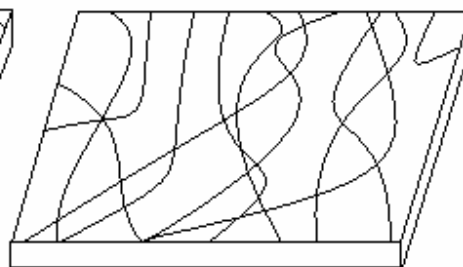
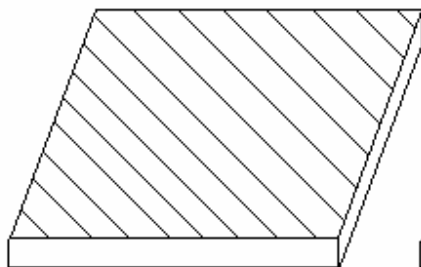


(δ)

**Εικόνες:**

(α) Σύνθετο υλικό πλεκτών ινών. (β) Σύνθετο υλικό ασυνεχών ινών.

(γ) Υβριδικό σύνθετο υλικό. (δ) Σύνθετο υλικό συνεχών ινών.



**Εικόνα:** (α) Προσανατολισμένο σύνθετο υλικό (β) Μη προσανατολισμένο σύνθετο υλικό  
[Π.Π: Κων. Σπυράκος, “Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία”. Εκδόσεις Τεχνικό  
Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα 2004]

### 3.3 ΜΟΡΦΕΣ ΙΝΩΝ

#### Θαύσανοι και «στουπιά» ινών

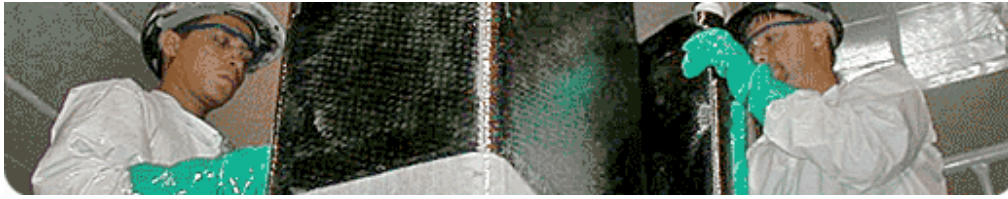
Οι θαύσανοι λεπτών νημάτων φέρουν διαφορετικές, ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαδικασία. Όσον αφορά, τις ίνες άνθρακα και αρωματικού πολυαμιδίου το υλικό κατασκευάζεται ως ένα ελεύθερο δέμα από εκατοντάδες χιλιάδες νήματα, χωρίς στρέψη, το οποίο ονομάζεται «tow» και μοιάζει με «στουπί». Η ίνα γυαλιού κατασκευάζεται ως «πλεξούδα» από 102 ή 204 νήματα, τα οποία δένονται μεταξύ τους, χωρίς στρέψη σε κυλινδρικά τύμπανα ή αν στριφτούν κατά την κατασκευή ονομάζονται «yarn». Κάποιες πλεξούδες μπορεί να στριφτούν μαζί και να σχηματίσουν ένα φύλλο «yarn».[1]

#### Ταινίες μίας διεύθυνσης

Οι μη υφαντές ταινίες αποτελούνται, συνήθως, από «tows» ή «rovings», τα οποία ψεκάζονται σε καλούπια, χωρίς να δημιουργούνται κενά.

Για να παραμείνουν οι ίνες στην θέση τους προεμποτίζονται με ρητίνη, η οποία είναι μερικώς πολυμερισμένη έτσι ώστε να είναι παχύρρευστη με σχετικά υψηλό ιξώδες ή με ένα θερμοπλαστικό πολυμερές. Για να μην κολλήσει η ρητίνη σε άλλα επίπεδα της ταινίας, επικαλύπτεται με ένα αποκολλητικό χαρτί «release paper», το οποίο είναι επικαλυμμένο με σιλικόνη.

Πλεκτές ταινίες, μίας διεύθυνσης έχουν τα «tows» ή «rovings» στη διεύθυνση του στημονιού, δηλαδή κατά μήκος, συγκρατούμενα μεταξύ τους με αραιά τοποθετημένα υφάδια, από ίνες πολυεστέρα ή γυαλιού υπό μορφή πολύ λεπτού νήματος «yarn».



**Εικόνα:** Ενίσχυση δομικού μέλους με ελάσματα από σύνθετα υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή.

[[www.leewens.com/carbon\\_fiber.htm](http://www.leewens.com/carbon_fiber.htm)]

### **Τύποι υφαντών**

Υπάρχουν πολλά είδη ενισχυτικών υφασμάτων από ίνες αλλά στην πρ'αξη χρησιμοποιούνται μόνο πέντε βασικοί τύποι με χαρακτηριστικές πλέξεις οι οποίες αναγράφονται παρακάτω:

#### **A. Απλή πλέξη (Plain Weave)**

Αυτός ο τύπος πλέξης είναι και ο πιο συνήθης λόγω της μεγάλης σταθερότητάς του. Οι διαμήκεις και οι εγκάρσιοι θύσανοι ινών διασταυρώνονται κάθετα μεταξύ τους και βρίσκονται εναλλάξ η μία ομάδα πάνω από την άλλη.

#### **B. Διαγώνια πλέξη (Twill)**

Αυτός ο τύπος πλέξης έχει μεγαλύτερη πυκνότητα ινών ανά μονάδα επιφάνειας από την απλή πλέξη. Επίσης έχει διαφορετική μορφή αν κοιτάξεις το ύφασμα από τις δύο όψεις του. Χαρακτηρίζεται από μία διαγώνιο γραμμή από την οποία φέρει και την ονομασία της.

#### **Γ. Πλέξη Satin**

Η μπροστινή επιφάνεια αυτού του τύπου πλέξης κυριαρχείται από τις διαμήκεις θυσάνους ινών, ενώ έχει διαφορετική μορφή αν κοιτάξουμε το ύφασμα από το πίσω



όψεις του. Η συγκεκριμένη πλέξη χρησιμοποιείται ευρύτατα στην βιομηχανία παραγωγής σύνθετων υλικών.

#### **Δ. Καλαθωτή πλέξη (Basket Weave)**

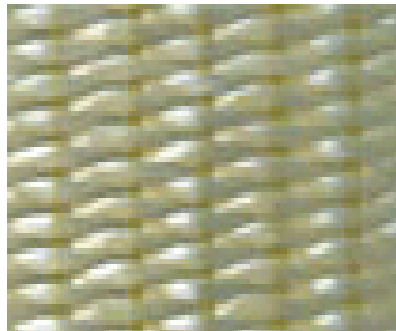
Η καλαθωτή πλέξη είναι μία παραλλαγή της απλής πλέξης στην οποία δύο ή περισσότερες διαμήκεις θύσανοι διασταυρώνονται με δύο ή περισσότερους εγκάρσιους θυσάνους ινών. Η πλέξη αυτή είναι πιο δυνατή από την απλή πλέξη αλλά λιγότερο σταθερή γιατί παρουσιάζει μία σχετική χαλαρότητα.

#### **Ε. Πλέξη Leno**

Αυτός ο τύπος πλέξης χαρακτηρίζεται ως μία «κλειδωμένη» πλέξη η οποία περιορίζει στο ελάχιστο την μετατόπιση των θυσάνων.

**Εικόνα:** Ύφασμα από ίνες υαλού

[[www.saint-gobainvetrotex.com](http://www.saint-gobainvetrotex.com)]



Στην απλή πλέξη κάθε «στημόνι» και «υφάδι», περνάει πάνω από ένα «τέλος» ή «κορυφή» και κάτω από το επόμενο. Το «τέλος» είναι το «στημόνι» και η «κορυφή» το «υφάδι».

Στην πλέξη με διαγώνιες γραμμές κάθε «τέλος» και «κορυφή» περνάει πάνω από δύο και καμιά φορά από τέσσερις διασταυρούμενες «κλωστές». Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα σχέδιο από διαγώνιες γραμμές στην επιφάνεια του «πλεκτού».

Σε όλες τις παραπάνω πλέξεις το κοινό σημείο είναι ότι οι διασταυρώσεις γίνονται στις 90°. Είναι όμως πιθανόν να κατασκευάσουμε «διαγώνια πλεκτά» με κλίση 45° ή 60°.

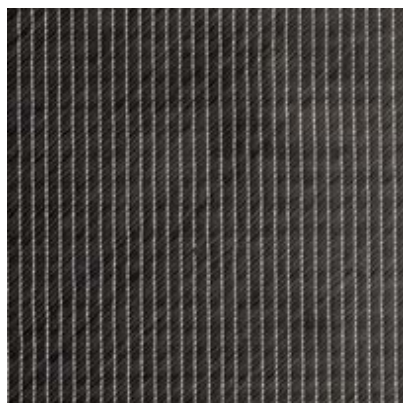
Παρ'όλα αυτά πρέπει να αναφέρουμε ότι σε ένα σύνθετο υλικό η ενισχυτική ίνα καταλαμβάνει λιγότερο από 70% του όγκου του υλικού, συνήθως είναι το 60% και για υφαντούς σκελετούς, το παραπάνω μοιράζεται σε δύο διευθύνσεις, στα «στημόνια» και στα «υφάδια».

Οι ιδιότητες ενός σύνθετου υλικού με υφαντή ενίσχυση είναι πολύ χαμηλότερες από τις τιμές των αντίστοιχων ιδιοτήτων των ινών αφού η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας είναι ανάλογα με την κατ'όγκο περιεκτικότητα των ινών στο σύνθετο.



**Εικόνα:** woven carbon

[[www.saint-gobainvetrotex.com](http://www.saint-gobainvetrotex.com)]



**Εικόνα:** multi-axial carbon

[[www.saint-gobainvetrotex.com](http://www.saint-gobainvetrotex.com)]

### 3.3.1 Επίδραση της γεωμετρίας της δομής και της διάταξης των ινών στις ιδιότητες των σύνθετων υλικών

Πολλές από τις ιδιότητες των ινωδών σύνθετων υλικών εξαρτώνται άμεσα από παραμέτρους της μικροδομής, όπως:

1. Διάμετρος της ίνας
2. Μήκος της ίνας
3. Κατανομή του μήκους των ινών
4. Κ.ο περιεκτικότητα των ινών
5. Τον προσανατολισμό των ινών
6. Την διάταξη των ινών

Η επίδραση καθεμιάς από τις τελικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών, είναι διαφορετική. Είναι απαραίτητο να χαρακτηρίσουμε αυτές τις παραμέτρους αν θέλουμε να προβούμε στον σωστό σχεδιασμό των σύνθετων υλικών.

Τα σύνθετα υλικά υψηλής τεχνολογίας αποτελούνται από πολλές στρώσεις που η διεύθυνση των ινών σε κάθε μία από αυτές είναι αυστηρά προσδιορισμένη. Για την πρόβλεψη των ελαστικών ιδιοτήτων των σύνθετων υλικών, κάθε στρώση θεωρείται ομογενής με την προϋπόθεση ότι η διάταξη και η κ.ο. περιεκτικότητα των ινών είναι ομοιόμορφη. Οι ίνες στις στρώσεις μπορεί να είναι συνεχείς ή μικρού μήκους και μπορεί να είναι προσανατολισμένες προς μία ή περισσότερες διευθύνσεις ή να έχουν τυχαίο προσανατολισμό σε δύο ή τρεις διατάξεις. Το σύνολο των στρώσεων (laminie) ονομάζεται πολύστρωτο σύνθετο υλικό (laminiate). Γενικά, η διάταξη των στρώσεων είναι περίπλοκη διότι θα πρέπει να ικανοποιεί συγκεκριμένες απαιτήσεις. Ακόμη πιο περίπλοκη είναι η γεωμετρία της δομής όταν θεωρήσουμε την διάταξη των ινών μικρού μήκους σε σύνθετα υλικά που κατασκευάζονται με συμπίεση (compression) ή με την μέθοδο injection moulding.

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	€	Αντοχή σε εφελκυσμό (GPa)	Πυκνότητα/cm <sup>3</sup>
Kevlar 29	70		2.9	1.45
Kevlar 49	135		2.9	1.45
ΑνθρακαςHS	235		3.5	1.76
>> IM	295		5.6	1.74
>> HM	400		-	1.86
>> UHM	690		3.3	2.17
ΓυαλίE-Glass	72 - 75		3.5	2.54
Χάλυβας	200		0.7 – 2.0	7.8

Στον παραπάνω πίνακα αναγράφεται το κάθε υλικό και οι τιμές των αντίστοιχων χαρακτηριστικών: μέτρου ελαστικότητας, αντοχή σε εφελκυσμό και πυκνότητας.



**Εικόνα α:** Εργάτες τοποθετούν δύο τμήματα περικαλύμματος ινοπλισμένου πολυμερούς από υαλονήματα σε ένα υποστήλωμα

**Εικόνα β:** Στο ίδιο υποστήλωμα τοποθετείται γκρι χρωματισμός για να ταιριάζει με το σκυρόδεμα του υποστυλώματος.

[<http://www.tfhrc.gov/pubrds/03nov/07.htm>]



### **3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΘΡΑΚΟΥΦΑΣΜΑΤΩΝ**

#### **[ΦΥΛΛΑ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ (FRP) ΚΑΙ ΜΑΝΔΥΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΔΟΚΟΥ – ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ]**

Οι κόμβοι, οι περιοχές όπου ενώνονται οι δοκοί και τα υποστηλώματα αποτελούν ένα από τα πιο κρίσιμα τμήματα του φέροντος οργανισμού κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Η διαμόρφωση των κόμβων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε:

- 1) Να προλαμβάνεται η ψαθυρή διατμητική αστοχία τους.
- 2) Να διατηρείται η ακεραιότητα τους, ώστε τα μέλη που συνδέουν να μπορούν να αναπτύσσουν τις αντοχές τους.
- 3) Να συγκρατείται η μείωση της δυσκαμψίας τους, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα.

Οι βλάβες στους κόμβους των δοκών και των υποστηλωμάτων, θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ανησυχητικές για την κατασκευή και να αντιμετωπίζονται ανάλογα. Οι εξωτερικοί κόμβοι, αποτελούν ένα από τα πιο ευπαθή στοιχεία των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό συμβαίνει συνήθως γιατί η διατμητική ένταση στους κόμβους είναι ιδιαίτερα υψηλή, οι κόμβοι είναι συχνά περιοχές σκυροδέτησης λόγω μεγάλης πυκνότητας οπλισμών και τέλος επειδή οι βλάβες στους κόμβους είναι από τις πιο κρίσιμες για την ασφάλεια της ακεραιότητας του φορέα.

Κάθε ρηγμάτωση κόμβου, έστω και πολύ μικρού ανοίγματος ρωγμών, εξετάζεται ως επικίνδυνη και αντιμετωπίζεται ως σοβαρότερη βλάβη σε σύγκριση με άλλα δομικά στοιχεία που έχουν την ίδια εικόνα ρηγμάτωσης.

#### **Αιτία εκδήλωσης βλαβών**

Οι πρόσφατοι καταστροφικοί σεισμοί στην Ελλάδα έδειξαν ότι σε κατασκευές σχεδιασμένες με παλαιότερες αντιλήψεις και κανονισμούς από ότι οι σημερινοί, οι κόμβοι πάσχουν κυρίως από έλλειψη εγκάρσιων οπλισμών, από έλλειψη περίσφιξης σκυροδέματος και από μειωμένη διατμητική αντοχή.

### **Τρόποι ενίσχυσης – επισκευής κόμβων**

Οι επισκευές και οι ενισχύσεις στην περιοχή του κόμβου, αποτελούν την δυσκολότερη κατασκευαστική διαδικασία λόγω του ότι συντρέχουν πολλά στοιχεία φορέα. Μερικές από τις πιο σημαντικές τεχνικές ενίσχυσης ή επισκευής κόμβων είναι οι εξής:

1. Επισκευή με ρητινενέσεις.
2. Τοπική ενίσχυση με μερική καθαίρεση και αποκατάσταση.
3. Τοπική ενίσχυση κόμβου με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.
4. Περίσφιγξη του κόμβου.
5. Επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων.
6. Ενίσχυση με σύνθετα υλικά (FRP).

#### **3.4.1 Ενίσχυση κόμβου με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος**

Μία από τις παλαιότερες αλλά και πλέον κοινές τεχνικές για την ενίσχυση και την αποκατάσταση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η τοποθέτηση περιμετρικών μανδύων από έγχυτο ή εκτοξευμένο σκυρόδεμα στα υποστηλώματα και στις περιοχές των κόμβων. Η επιτόπου πρόσθεση νέων πυκνών συνδετήρων καθιστά την μέθοδο περισσότερο αποτελεσματική και ταυτόχρονα ιδιαίτερα επίπονη στην εφαρμογή, χρονοβόρα και με απαραίτητη τη διακοπή της λειτουργίας χρήσης του κτιρίου. Η τεχνική αυτή, εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μεγάλης κλίμακας βλάβης στον κόμβο και στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία. Διάφοροι ερευνητές όπως οι Corazao & Durrani 1989, Lowes & Moehle 1999, Tsouros 2001, έχουν παρουσιάσει σχετικές πειραματικές εργασίες για την αναμφίβολη και προφανή αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

#### **Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα**

Η τεχνική ενίσχυσης κόμβων με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα, αλλά και κάποια μειονεκτήματα. Στα κυριότερα πλεονεκτήματα της συγκαταλέγονται τα παρακάτω:

1. Αύξηση καμπτικής αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστικότητας του κόμβου.
2. Βελτίωση διατμητικής αντοχής και ικανότητας παραμόρφωσης.

3. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάτρηση αντοχής, ακαμψίας και ιδιαίτερα μεγάλη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας.
4. Πολύ καλή συμπεριφορά και αντοχή στο σεισμό.
5. Αποτελεί μία από τις πιο παλαιές και δοκιμασμένες μεθόδους ενίσχυσης με αποτέλεσμα την ύπαρξη αρκετών έμπειρων και καταρτισμένων τεχνιτών.
6. Αύξηση του βαθμού πυροπροστασίας.

Στα μειονεκτήματα της μεθόδου ενίσχυσης κόμβων με μανδύα Ο/Σ συγκαταλέγονται τα εξής:

1. Αναποτελεσματικότητα της μεθόδου σε περίπτωση υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας του κόμβου λόγω των υφιστάμενων φορτίων.
2. Σημαντική δυσκολία εφαρμογής των επιτόπου τοποθετήσεων οπλισμών και επίπονες διαδικασίες σκυροδέτησης με έγχυτο ή εκτοξευμένο σκυρόδεμα.
3. Αύξηση των διαστάσεων του υπό ενίσχυση στοιχείου λόγω της τοποθέτησης του οπλισμού ενίσχυσης εξωτερικά και της προσθήκης επικάλυψης. Η αύξηση αυτή προκαλεί πολλές φορές αρχιτεκτονικούς περιορισμούς ή περιορισμούς ιδιοκτησίας.
4. Δημιουργία σκόνης και όχλησης στους ενοίκους.
5. Αύξηση του κόστους λόγω διακοπής λειτουργίας του κτιρίου κατά τη διάρκεια των εργασιών.



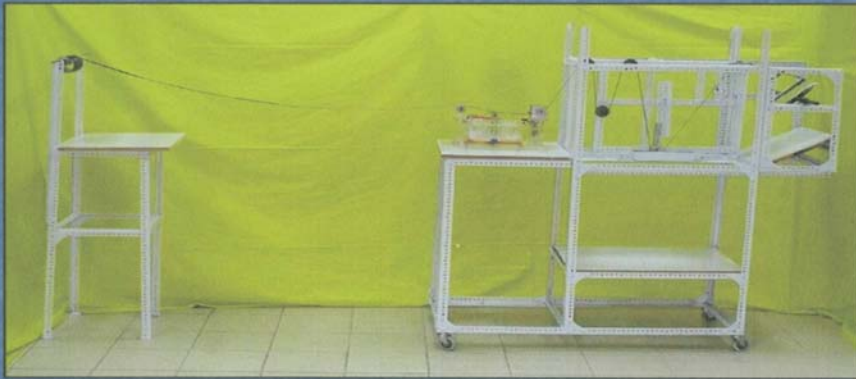
**Εικόνα:** Πιλοτική διάταξη-ιδιοκατασκευή

Πηγή από ημερίδα του ΤΕΕ για την Ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα υλικά



Τον τρόπο παραγωγής των ινών άνθρακα μπορούμε να την δούμε σε αυτές τις τρεις φωτογραφίες όπου απεικονίζεται η πιλοτική διάταξη παραγωγής άνθρακα σε εργαστηριακό χώρο. Μπορούμε να δούμε που γίνεται η επιφανειακή επεξεργασία, διαβροχή και περιτύλιξη των ινών, όπως επίσης την διάταξη ανθρακοποίησης και ενεργοποίησης προσροφητικών υλικών.

**ΠΙΛΟΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ – ΙΔΙΟΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**  
(ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟ ΜΕΛΗ ΤΟΥ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ)



Πιλοτική Διάταξη Παραγωγής Συνθέτου Υλικού με Ίνες Άνθρακα (επιφανειακή επεξεργασία, διαβροχή, περιτύλιξη ινών) : Γενική Άποψη

**Εικόνες:** Πιλοτική διάταξη-ιδιοκατασκευή

Πηγή από ημερίδα του ΤΕΕ για την Ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα υλικά

**ΠΙΛΟΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ – ΙΔΙΟΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**  
(ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟ ΜΕΛΗ ΤΟΥ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ)



Πιλοτική Διάταξη Άνθρακοποίησης και Ενεργοποίησης Άνθρακούχων Προσροφητικών Υλικών : Γενική Άποψη

### 3.4.2 Πολυμερές ενισχυμένο με ίνες άνθρακα

Τα πολυμερή ενισχυμένα με ίνες είναι νέα σύνθετα υλικά με σημαντικά πλεονεκτήματα. Αρχικώς εφαρμόστηκαν στην αεροναυπηγική και την ναυπηγική. Εκεί εκτιμήθηκαν οι ιδιότητές τους και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν και σε άλλους τομείς. Τα βασικά θετικά χαρακτηριστικά τους είναι τα ακόλουθα: η εφελκυστική αντοχή στην διεύθυνση των ινών είναι πολύ υψηλή, το βάρος και το πάχος τους πολύ χαμηλό, προσδίδουν ικανοποιητική – όχι υπερβολική – ακαμψία στα μέλη, είναι ανθεκτικά στην διάβρωση και την κόπωση, εφαρμόζονται πολύ γρήγορα, με ελάχιστο εξοπλισμό και χωρίς να παρεμποδίζουν την χρήση της κατασκευής.

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από την μήτρα (υποξειδική ρητίνη, πολυεστέρας ή βυνίλιο) και τις ίνες (άνθρακα, γυαλιού ή αραμίτη) που είναι εμβαπτισμένες στη μήτρα. Είναι διαθέσιμα σε δύο μορφές: έλασμα (άνθρακας, γυαλί, αραμίτης) και ύφασμα (άνθρακας). Για την σύνδεση των σύνθετων υλικών με το ενισχυόμενο μέλος χρησιμοποιούνται υποξειδικές κόλλες. Στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτική περιγραφή του πολυμερούς ενισχυμένου με ίνες άνθρακα.

#### Χαρακτηριστικά ινών άνθρακα

Ο άνθρακας ως άτομο συνάπτει με άλλα στοιχεία ισχυρούς και σταθερούς δεσμούς. Τα υλικά των οποίων τα στοιχεία συνδέονται με τέτοιους δεσμούς είναι άκαμπτα και ανθεκτικά σε πολλούς δυσμενείς παράγοντες όπως τα χημικώς επιβλαβή περιβάλλοντα καθώς και οι σχετικώς υψηλές θερμοκρασίες. Επιπροσθέτως, η πυκνότητα τους είναι χαμηλή και οι πρώτες τους ύλες άφθονες.

Οι ίνες άνθρακα είναι γνωστές από τον περασμένο αιώνα. Ο Thomas Edison χρησιμοποίησε νήματα από άνθρακα προερχόμενα από ίνες μπαμπού στον πρώτο του ηλεκτρικό λαμπτήρα.

Οι ίνες άνθρακα προκύπτουν από εξέλαση πολυμερούς. Προκύπτει συνεχές νήμα το οποίο υποβάλλεται σε σταθεροποίηση υπό αέρα στους 200° C έως 350° C. Στη συνέχεια θερμαίνεται (απανθράκωση) σε θερμοκρασίες από 350° C έως 1600° C σε περιβάλλον αδρανών αερίων για να απομακρυνθούν το υδρογόνο (H), το οξυγόνο (O), το

άζωτο (N) και άλλα πρόσθετα στοιχεία. Οι μηχανικές ιδιότητες των τελικών ινών μπορούν να τροποποιηθούν από μία μετέπειτα θερμική κατεργασία σε θερμοκρασίες από 1300° C έως 3000° C.

Η ανάγκη εμφάνισης των ινών σε πολυμερές

Το υλικό με το οποίο θα ασχοληθούμε είναι οι ίνες άνθρακα που έχουν εμποτισθεί σε μία μήτρα. Οι συνηθέστεροι τύποι μήτρας είναι η υποξειδική ρητίνη, ο πολυεστέρας και το βινύλιο.

Η διαδικασία παραγωγής του τελικού προϊόντος είναι σύνθετη και έτσι τίθεται το ερώτημα εάν η ειδική επεξεργασία του άνθρακα είναι απαραίτητη ή εάν θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε απλές ράβδους άνθρακα για να ενισχύσουμε τις κατασκευές.

Ο άνθρακας ως πρώτη ύλη είναι πολύ σκληρό υλικό με όλα βέβαια τα πλεονεκτήματα που αποφέρει η σκληρότητα αυτή. Ωστόσο δεν έχει χρησιμοποιηθεί ουσιαστικώς σαν δομικό υλικό λόγω της ψαθυρότητάς του. Μία μικρή εγκοπή στην επιφάνεια ή οποιαδήποτε ατέλεια στο εσωτερικό ομοιογενούς μάζας μπορεί να οδηγήσει σε ξαφνική, πρόωρη και καταστροφική αστοχία ενός δομικού στοιχείου κατασκευασμένου από τέτοιο υλικό. Επίσης, η παρουσία τέτοιου είδους ατελειών είναι συνήθης και δεν μπορεί να αποφευχθεί. Πειράματα που έγιναν σε γραφίτη (υλικό παρόμοιο του άνθρακα) έδειξαν ότι η αντοχή του αυξήθηκε σημαντικά όταν παρήχθηκε στην μορφή ινών.

Η πιθανότητα αστοχίας ενός δοκιμίου, στο οποίο υπάρχει ατέλεια ικανή να οδηγήσει σε ψαθυρή θραύση, μειώνεται όσο μικρότερο είναι το ποσοστό του υλικού στο δοκίμιο. Επιπροσθέτως η ρωγμή σε μία σύνθετη ράβδο δεν διαδίδεται τόσο ακαριαία όσο σε ένα αμιγώς συμπαγές δοκίμιο. Μια ατέλεια σε μία ίνα δεν οδηγεί υποχρεωτικώς σε αστοχία δομικού στοιχείου. Όταν η ίνα είναι εμβαπτισμένη σε μήτρα με πλαστικό μπορεί σε μικρή απόσταση από τη ρωγμή να αναλάβει πλήρες φορτίο.

## **Κόλλα**

Οι κόλλες μας επιτρέπουν να συνδέουμε δομικά τμήματα με στοιχεία οικονομικά και χωρίς να αλλάζει η εξωτερική εμφάνιση της κατασκευής. Η σύνδεση με κόλλες εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων σε όλη την επιφάνεια επαφής. Με την χρήση κόλλας αποφεύγεται το φαινόμενο της συγκέντρωσης των τάσεων που παρατηρείται στις κοχλιωτές συνδέσεις.

Φυσικές ελκτικές δυνάμεις προκαλούνται από την μοριακή έλξη της κόλλας με τα υλικά που πρόκειται να ενωθεί. Η δύναμη της έλξης εξαρτάται από τον τύπο των μορίων και την μεταξύ τους απόσταση. Οι ακαθαρσίες και η λιπαρότητα εξασθενούν σημαντικά την αμοιβαία έλξη των μορίων. Συνεπώς είναι ιδιαίτερα σημαντική η προσεκτική προετοιμασία των επιφανειών των τμημάτων που πρόκειται να ενωθούν. Η εκτράχυνση της επιφάνειας του σκυροδέματος βελτιώνει τον μηχανικό δεσμό ανάμεσα στην κόλλα και τα τμήματα που πρόκειται να ενωθούν και αυξάνει την ειδική επιφάνεια.

Οι κόλλες που χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν ελάσματα άνθρακα με σκυρόδεμα, μέταλλο, ξύλο και τοιχοποιία είναι υποξειδικές με δύο συστατικά μέρη. Αυτός ο τύπος κόλλας έχει υψηλή μηχανική αντοχή και καλή χημική συμπεριφορά σε διαβρωτικό περιβάλλον. Οι καλές ιδιότητες ύγρυνσης εξασφαλίζουν εξαιρετική συνάφεια.

Ο στόχος της κόλλας είναι η μεταφορά των δρώντων φορτίων στα συνδεδεμένα μέλη. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η λείανση και η μείωση των ανωμαλιών. Όσο περισσότερο το στρώμα της κόλλας εξομαλύνει τέτοιες ανωμαλίες τόσο περισσότερο η σύνδεση συμμετέχει στην μεταφορά του φορτίου.

Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά είναι πολύ σημαντικά για κόλλες υψηλών δομικών απαιτήσεων:

- Ισχυρή συνδετική ικανότητα για τα στοιχεία που πρόκειται να ενωθούν.
- Ισχυρή συνεκτικότητα.
- Μικρή τάση προς ερπυσμό κάτω από μόνιμα φορτία.
- Ανθεκτικότητα στην υγρασία και το αλκαλικό περιβάλλον.

Οι κόλλες υποξειδικής ρητίνης, χάρη στην πυκνή σύστασή τους διαθέτουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Για την σύνδεση ελασμάτων ή υφασμάτων ενισχυμένων με



ίνες άνθρακα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο υψηλής ποιότητας υποξειδικές ρητίνες. Ενδεικτικές τιμές των χαρακτηριστικών τους παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

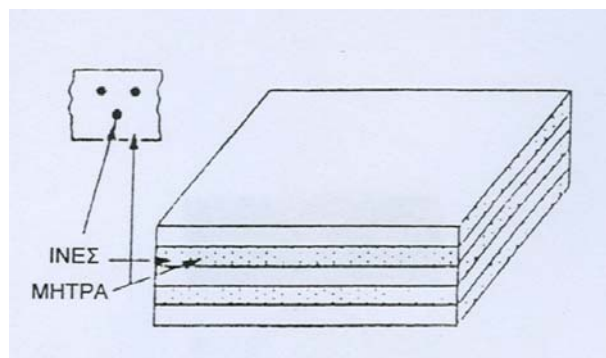
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ
Χρόνος εργασιμότητας	40 – 80 min στους 20° C
Θλιπτική αντοχή	75 – 100 MPa
Εφελκυστική αντοχή	20 – 30 MPa
Διατμητική αντοχή	15 – 20 MPa
E (μέτρο ελαστικότητας)	8000 – 16000 MPa
Συστολή ξήρανσης	0,04 – 0,08%
Αντοχή κόλλας (υγρή)	4 MPa (αστοχία σκυροδέματος)

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά κόλλας

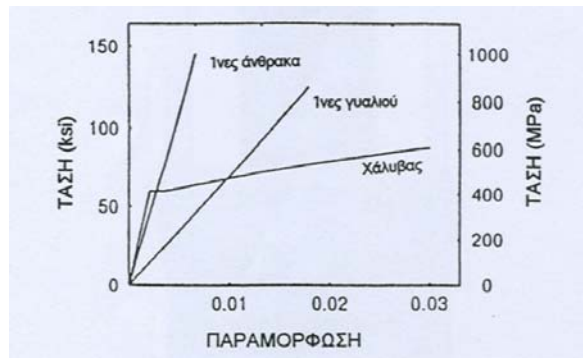
### 3.4.3 Χαρακτηριστικά του σύνθετου υλικού από ίνες άνθρακα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το σύνθετο υλικό αποτελείται από ίνες άνθρακα εμβαπτισμένες σε μήτρα ρητίνης. Η μήτρα μαζί με τις ίνες εισάγεται σε φούρνο για να σκληρυνθεί. Οι ίνες είναι μακριές και συνεχείς. Το μήκος τους μπορεί να φτάσει τα 500m. Η ρητίνη είναι το μέσο που προστατεύει τις ίνες και διανέμει το φορτίο κατά μήκος τους. Το σύνθετο υλικό είναι ανισότροπο. Ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής, οι ίνες μπορούν να τοποθετηθούν σε πολλές διευθύνσεις με στόχο τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού στην επιθυμητή διεύθυνση. Το σχήμα 1 δείχνει μία τυπική διάταξη σύνθετου ελάσματος με τις ίνες προσανατολισμένες σε διεύθυνση 0° – 90°. Τα ελάσματα περιλαμβάνουν συνήθως αρκετά στρώματα ινών. Το τελικό προϊόν έχει πάχος από 1,5 mm έως 25mm, με αποτέλεσμα να είναι σχετικά δύσκαμπτο.

Σχήμα 1: Σύνθετο έλασμα



Η συμπεριφορά του σύνθετου υλικού είναι γραμμικώς ελαστική μέχρι την αστοχία. Η θεωρητική εφελκυστική αντοχή (- 3000 MPa στη διεύθυνση των ινών) και το μέτρο ελαστικότητας (-200000 MPa) έχουν σημαντικώς υψηλές τιμές. Στην πράξη όμως λόγω της προοδευτικής θραύσης των ινών οι τιμές αυτές μειώνονται. Το σχήμα 2 δείχνει τις τυπικές καμπύλες τάσεων – παραμορφώσεων για 3 υλικά: μέταλλο, πολυμερές με ίνες γυαλιού και πολυμερές με ίνες άνθρακα.



Σχήμα 2. Καμπύλες τάσεων – παραμορφώσεων μετάλλων και σύνθετων υλικών.

Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι μολονότι η συμπεριφορά των σύνθετων υλικών είναι γραμμική και ελαστική, η αστοχία πραγματοποιείται σε σχετικά μεγάλες παραμορφώσεις. Συνεπώς, η αστοχία δομικών μελών ενισχυμένα με τέτοια υλικά πραγματοποιείται όταν τα βέλη είναι μεγάλα.

Οι δύο μορφές του σύνθετου υλικού από ίνες άνθρακα.

Το πολυμερές ενισχυμένο με ίνες άνθρακα είναι σήμερα διαθέσιμο σε δύο τύπους: α) έλασμα και β) ύφασμα.

Το έλασμα έχει πάχος 0,5 – 1,5 mm και πλάτος 50 – 300 mm. Το ποσοστό των μονοδιάστατων ινών στην υποξειδική ρητίνη είναι 55 – 65%.

Το ύφασμα προέρχεται από μονοδιάστατες ή διδιάστατες ίνες οι οποίες μπορεί να είναι εμβαπτισμένες σε μήτρα ρητίνης ή όχι.

Τόσο το έλασμα όσο και το ύφασμα κατασκευάζονται κάτω από αυστηρό ποιοτικό έλεγχο και έτσι οι ιδιότητες τους είναι γνωστές με ακρίβεια. Ιδιαίτερη υπάρχει όταν

χρησιμοποιούμε ύφασμα διότι εκατέρωθεν του τοποθετείται ρητίνη η οποία συμπιέζεται και το κατ' όγκο ποσοστό των ινών στο σύνθετο υλικό δεν είναι σταθερό. Συνεπώς, εάν δεν γνωρίζουμε με ακρίβεια το κατ' όγκο ποσοστό των ινών, δεν μπορούμε να είμαστε και ακριβείς σε μεγέθη όπως η εφελκυστική αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας.

### **Δυνατότητες εξέλιξης**

Η σπουδαιότητα των νέων σύνθετων υλικών από ίνες στη μηχανική είναι πολύ μεγάλη. Το συμπέρασμα αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι με κατάλληλη επιλογή μεμονωμένων στοιχείων (ίνες και πλαστικό) με «καλές» ιδιότητες το καθένα, προκύπτει σύνθετο υλικό το οποίο έχει νέες εντυπωσιακές ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές δύσκολα επιτυγχάνονται ή απαιτούν υψηλό κόστος εάν χρησιμοποιηθούν συμβατικά υλικά.

Οι δυνατότητες εξέλιξης και βελτιστοποίησης αυτής της τεχνολογίας είναι μεγάλες. Αυτό οφείλεται στο ευρύ φάσμα δυνατών συνδυασμών ινών και υλικού εμβάπτισης. Θα μπορούσαμε συνεπώς να μιλήσουμε για «υλικό κατά παραγγελία» το οποίο έχει την δυνατότητα να ανταποκρίνεται σε κάθε είδους απαίτηση.



### 3.4.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

#### Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του πολυμερούς ενισχυμένου με ίνες άνθρακα προκύπτουν κατά πρώτο λόγο από την σύγκρισή του με τον βασικό «ανταγωνιστή» του δηλαδή το μέταλλο και κατά δεύτερο λόγο από την σύγκρισή του με τα πολυμερή που έχουν ενισχυθεί με άλλες ίνες – εκτός του άνθρακα.

Η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών είναι πολύ υψηλή (1000 – 3000 MPa) υπερβαίνουν κατά πολύ αυτή του χάλυβα που χρησιμοποιείται ως οπλισμός. Η πυκνότητα των σύνθετων υλικών με ίνες άνθρακα είναι χαμηλή – περίπου  $\frac{1}{4}$  της πυκνότητας του χάλυβα. Έτσι, συγκρίνοντας τα δύο υλικά, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα σύνθετα προσδίδουν μεγαλύτερη αντοχή με μικρότερο βάρος.

Το μέτρο ελαστικότητας των πολυμερών ενισχυμένων με ίνες άνθρακα κυμαίνεται από 165 έως 300 GPa. Τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα έχουν μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας από τα σύνθετα υλικά με ίνες αραμίτη (120GPa) και πολύ μεγαλύτερο από τα υλικά με ίνες γυαλιού (50GPa). Τα πολυμερή με ίνες άνθρακα προσδίδουν ικανοποιητική ακαμψία στα ενισχυόμενα μέλη, χωρίς να είναι υπερβολική η αύξηση (μεταλλική ενίσχυση). Το υψηλό μέτρο ελαστικότητας σε συνδυασμό με την δυνατότητα παραγωγής λεπτών ελασμάτων ή υφασμάτων έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση των διατομών χωρίς ουσιαστική αύξηση των διαστάσεων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό διότι η προσδιδόμενη ακαμψία στα ενισχυόμενα μέλη δεν πρέπει να θέτει σε κίνδυνο τα μη ενισχυμένα τα οποία κινδυνεύουν να υποστούν βλάβες κατά το σεισμό.

Σημαντικό πλεονέκτημα των σύνθετων υλικών με ίνες άνθρακα είναι η πολύ καλή συμπεριφορά τους σε διαβρωτικό περιβάλλον. Δεν χρειάζονται προστασία από την υγρασία και την θερμοκρασία. Η επιλογή μεταλλικών ελασμάτων για την ενίσχυση γεφυρών συνοδεύεται από την μόνιμη φροντίδα για την προστασία τους. Τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα πλεονεκτούν σε αυτόν τον τομέα όχι μόνο σε σχέση με τα μεταλλικά ελάσματα αλλά και συγκρινόμενα με οποιοδήποτε σύνθετο υλικό.

Παρόμοια είναι η υπεροχή των σύνθετων υλικών με ίνες άνθρακα όταν υποβάλλονται σε κόπωση. Η συμπεριφορά τους χαρακτηρίζεται ως άριστη. Ακόμη εξαιρετική είναι η συμπεριφορά τους στον ερπυσμό και την χαλάρωση.

Η συμπεριφορά των σύνθετων υλικών με ίνες άνθρακα στη φωτιά είναι πολύ καλύτερη από αυτή των μετάλλων. Αυτό οφείλεται στην μικρή θερμική αγωγιμότητα στην πλευρική διεύθυνση. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι η φωτιά είναι εχθρός των σύνθετων υλικών.

Βασικό πλεονέκτημα των πολυμερών ενισχυμένων με ίνες είναι το χαμηλό ίδιο βάρος. Τα πολυμερή όντας ελαφρά, πολύ λεπτά και διαθέσιμα σε οποιοδήποτε μήκος είναι ιδιαίτερα εύρηστα και εγκαθίστανται ταχύτατα. Οι μεταξύ τους συνδέσεις είναι εύκολες καθώς και οι διασταυρώσεις τους. Δεν απαιτούν την μετακίνηση πιθανών αγωγών και καλωδίων και δεν αλλοιώνουν αισθητικά την κατασκευή. Η μεταφορά, η τοποθέτηση και η εγκατάσταση είναι εύκολες. Δεν απαιτούνται ικριώματα ή οποιοσδήποτε άλλος ειδικός εξοπλισμός για την εφαρμογή τους.

### **Μειονεκτήματα**

Τα πολυμερή ενισχυμένα με ίνες είναι ψαθυρά υλικά και γραμμικώς ελαστικά. Το ενθαρρυντικό είναι ότι η ψαθυρή αστοχία λαβαίνει χώρα σε σχετικά μεγάλες παραμορφώσεις (1 – 2 % για τις ίνες άνθρακα και 2,5 – 3,5% για τις άλλες ίνες).

Τα σύνθετα υλικά μπορούν να αναλάβουν φορτία μόνο κατά την διεύθυνση των ινών τους σε αντίθεση με τα μεταλλικά ελάσματα που μπορούν σε οποιαδήποτε διεύθυνση.

Σημαντικό μειονέκτημα του σύνθετου υλικού με ίνες άνθρακα είναι το υψηλό κόστος (9 φορές μεγαλύτερο από το κόστος του Fe 360). Ωστόσο, το κόστος του υλικού δεν θα πρέπει να εξετάζεται μεμονωμένα. Ο μικρότερος χρόνος και απλούστερος εξοπλισμός επιδρούν σημαντικά στη μείωση του εργατικού κόστους. Εάν μάλιστα λάβουμε υπόψη μας ότι γενικά στις επισκευές το κόστος του υλικού ανέρχεται περίπου στο 20% του συνολικού κόστους και το υπόλοιπο 80% είναι το κόστος των εργατικών συμπεραίνουμε ότι η διαφορά μικραίνει. Ακόμη υπάρχει εξοικονόμηση χρημάτων γιατί δεν απαιτείται να μετακινηθεί ο υπάρχων μηχανολογικός εξοπλισμός και οι άλλες εγκαταστάσεις τέτοιου είδους και δεν αναστέλλεται η λειτουργία της κατασκευής λόγω των έργων επισκευής. Επιπροσθέτως, το υλικό είναι νέο στην αγορά και αναμένεται στο μέλλον η σταδιακή μείωση της τιμής του.

Στα παραπάνω θα μπορούσαμε να προσθέσουμε την περιορισμένη γνώση που έχουμε σε σχέση με την συμβατότητα των σύνθετων υλικών με το σκυρόδεμα και το χάλυβα.



**Εικόνα:** Ενίσχυση κατασκευής με ανθρακοϋφάσματα

[[www.leewens.com/carbon\\_fiber.htm](http://www.leewens.com/carbon_fiber.htm)]

### **3.4.5 Ενίσχυση έναντι κάμψης, διάτμησης κι αξονικού φορτίου**

Η τεχνική ενίσχυσης που χρησιμοποιεί πολυμερή με ίνες εφαρμόστηκε αρχικά στην Γερμανία και την Ελβετία. Η ενίσχυση έναντι κάμψης μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα με ελάσματα εξωτερικώς επικολλούμενα με υποξειδική ρητίνη έχει μελετηθεί λεπτομερώς από ερευνητές σε διάφορα ιδρύματα, μεταξύ των οποίων EMPA (Ελβετία), IBMG (Γερμανία), MIT (ΗΠΑ), Πανεπιστήμιο της Arizona, (ΗΠΑ).

Ακολούθησαν μελέτες που ερευνούσαν την ενίσχυση έναντι διάτμησης δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι δοκοί είχαν ενισχυθεί με ύφασμα ή με ελάσματα από ίνες άνθρακα και παρουσίασαν σημαντική βελτίωση.

Ένα άλλο πεδίο έρευνας σχετικό με την χρήση σύνθετων υλικών για την ενίσχυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η περιτύλιξη υποστυλώματος με μανδύες από ίνες με στόχο την ενίσχυση έναντι κάμψης διάτμησης και αξονικού φορτίου κάτω από σεισμικά φορτία.

#### **Ενίσχυση έναντι κάμψης**

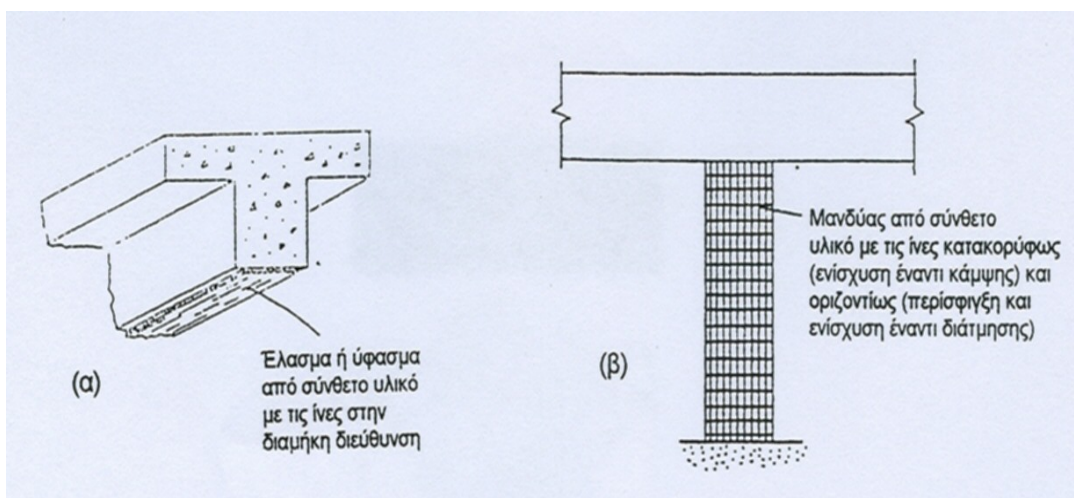
Οι κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος ενισχύονται έναντι κάμψης με σύνθετα υλικά όταν αυτά τοποθετούνται με υποξειδική κόλλα στην εφελκόμενη ζώνη των μελών, με τις ίνες παράλληλα στην διεύθυνση των υψηλών εφελκυστικών τάσεων (άξονας μέλους). Η γενική ιδέα φαίνεται στο σχήμα 1, όπου μονοδιάστατα ελάσματα ή υφάσματα χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση δοκών ή υποστυλωμάτων υπό κάμψη.

#### **Ενίσχυση έναντι διάτμησης**

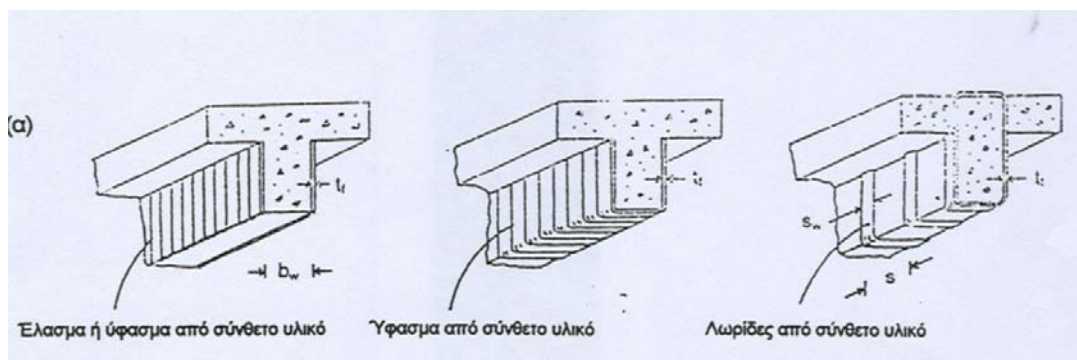
Οι κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος ενισχύονται έναντι διάτμησης με σύνθετα υλικά όταν αυτά τοποθετούνται με υποξειδική κόλλα στα μέλη και με την διεύθυνση των ινών τους όσο το δυνατόν παράλληλη στην διεύθυνση των κύριων εφελκυστικών τάσεων. Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται μέλη που έχουν ενισχυθεί έναντι διάτμησης με μερική ή ολική περιτύλιξη – ανάλογα με την δυνατότητα πρόσβασης σε αυτά.

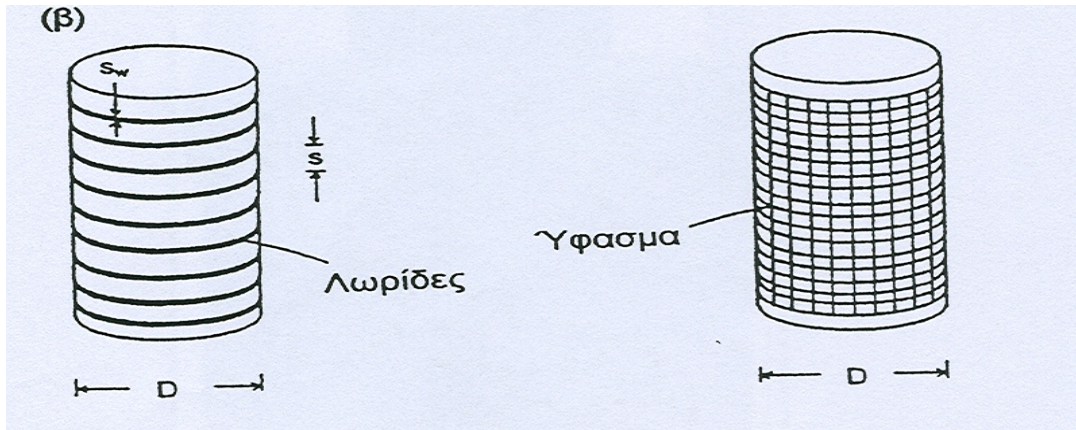
Σχήμα 1. Ενίσχυση έναντι κάμψης μελών οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά: (α) δοκός και (β) υποστύλωμα.

Έλασμα από σύνθετο υλικό   Υφασμα από σύνθετο υλικό   Λωρίδες από σύνθετο υλικό



Σχήμα 2. Ενίσχυση έναντι διάτμησης μελών οπλισμένου σκυροδέματος: (α) δοκοί και (β) υποστυλώματα.





#### 4. ΣΟΒΑΔΕΣ

Με τον όρο «Έτοιμα Επιχρίσματα» (Κοινά σοβάδες) και κονιάματα αναφερόμαστε σε έτοιμα μίγματα που περιέχουν γύψο ή τσιμέντο, αδρανή, ρητίνες, χημικά πρόσθετα και χρωστικές ύλες, που η χρήση τους μόνο με προσθήκη νερού, έχει σαν σκοπό να αντικαταστήσει παραδοσιακές μεθόδους για την παρασκευή επιχρισμάτων και κονιαμάτων στο εργοτάξιο.

Όπως είναι γνωστό, τα επιχρίσματα και τα κονιάματα εφαρμόζονται σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους σε όλες τις δομικές επιφάνειες (σκυρόδεμα, τοιχοποιία) με σκοπό να αποκαταστήσουν τις ανωμαλίες, να προστατέψουν τις επιφάνειες από τις εξωτερικές συνθήκες και να δημιουργήσουν μια διακοσμητική επιφάνεια ή το κατάλληλο υπόστρωμα για τον μετέπειτα χρωματισμό, για να συνδέσουν ίδια ή διαφορετικά υλικά μεταξύ τους.

Με την χρήση των έτοιμων επιχρισμάτων και κονιαμάτων αποφεύγονται τα προβλήματα που υπήρχαν μέχρι τώρα στους παραδοσιακούς τρόπους (τήρηση πάντα της ίδιας αναλογίας κατά την μείξη των βασικών συστατικών του κονιάματος, παράλειψη συστατικών, διαφορετική ποιότητα αδρανών σε κάθε ανάμειξη κ.λ.π.).

Στην επιλογή και την εφαρμογή των έτοιμων επιχρισμάτων θα πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις που έχουν να κάνουν με την προεργασία της επιφάνειας εφαρμογής, αλλά τη μετέπειτα «ζωή» του υλικού, όπως :

- Να διασφαλίζεται η πρόσφυση με το υπόστρωμα.
- Να αντέχουν σε συστολές – διαστολές, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι ρωγμές στην επιφάνειά τους.
- Να είναι υδαταπωθητικά και υδρατμοπερατά, ώστε να μπορεί να αναπνέει το δομικό στοιχείο.
- Να δίνουν όσο το δυνατό καλύτερες επιφάνειες για βαφή.
- Τα έτοιμα επιχρίσματα και κονιάματα, καθώς και τα υλικά που βελτιώνουν τις ιδιότητες τους, ομαδοποιούνται και εξετάζονται ως εξής:
- Έτοιμοι Σοβάδες τσιμέντου Εσωτερικών / Εξωτερικών χώρων.
- Έτοιμοι διακοσμητικοί Σοβάδες Εξωτερικών χώρων.
- Έτοιμοι Σοβάδες Γύψου, Εσωτερικών χώρων (Γυψοσοβάδες).

- Θερμομονωτικοί Σοβάδες.
- Έτοιμα Κονιάματα Κτίσματος και Επισκευών.
- Γύψοι Οικοδομών και Καλλιτεχνίας.
- Πλέγματα και Διατομές Ενίσχυσης Σοβάδων και Κονιαμάτων.

Τα έτοιμα επιχρίσματα με βάση το τσιμέντο είναι προσσκευασμένα υλικά που στη σύνθεσή τους περιέχονται όλα τα απαραίτητα συστατικά (τσιμέντο, άμμος, ασβέστης ή μαρμαρόσκονη), ίδια με των συμβατικών επιχρισμάτων.

Η σύσταση του κάθε έτοιμου επιχρίσματος και η αναλογία των συστατικών του, καθώς και η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών του, εξαρτώνται από :

- Τον αριθμό των στρώσεων (μία ή περισσότερες).
- Το είδος της τελικής επιθυμητής επιφάνειας (αδρή ή λεία).

Υπάρχουν έτοιμα κονιάματα για :

1. Σοβά πεταχτό.
2. Σοβά βασικής στρώσης.
3. Μαρμαροσοβά.
4. Σοβά μιας στρώσης για αδρές επιφάνειες.
5. Σοβά μιας στρώσης για λείες επιφάνειες.

-Η χρήση των έτοιμων επιχρισμάτων στην οικοδομή κερδίζει συνεχώς έδαφος, σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους παρασκευής επιχρισμάτων στον τόπο του έργου, γιατί έχει διάφορα πλεονεκτήματα, όπως :

1. Τα υλικά είναι πιστοποιημένα ως προς την ποιότητα.
2. Μεταφέρονται εύκολα χωρίς απώλειες.
3. Το τελικό κόνιαμα προκύπτει μόνο με ανάμειξη νερού.
4. Ελαχιστοποιείται ο χρόνος παραγωγής του κονιάματος.
5. Το τελικό επίχρισμα έχει καλύτερες μηχανικές και χημικές αντοχές, καθώς και καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα.



#### **4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΤΟΙΜΩΝ ΣΟΒΑΔΩΝ**

Θερμομόνωση: Μονώνουν και μειώνουν τις διαφορές θερμοκρασιών.

Αντοχή στη φωτιά: Είναι άκαυστοι και δημιουργούν ένα πυροπροστατευτικό φράγμα με εξαιρετική αντίσταση στη φωτιά.

Μηχανική αντοχή: Εξαιρετική αντοχή στα καρφιά, στις στηρίξεις, στην συμπίεση και στα γδαρσίματα. Αντοχή στις συστολές και διαστολές του υποστρώματος.

Υψηλή αισθητική: Απόλυτα λεία επιφάνεια χωρίς σπατουλάρισμα. Χάρη στην πορώδη δομή τους αναπνέουν και βοηθάνε στο κλίμα του χώρου.

Κουζίνες – WC: Η υψηλή ικανότητα διαπνοής, τους καθιστά ιδανικούς για χώρους με αυξημένη παρουσία υδρατμών, όπως κουζίνες – WC.

Οικονομία – Ταχύτητα – Παραγωγικότητα: Είναι έτοιμοι για χρήση. Εφαρμόζονται με το χέρι ή με τη μηχανή. Δεν έχετε φθορές και απώλειες υλικών. Είναι ελαφρείς βάρος το ½ περίπου του συνηθισμένου σοβά. Μεγάλη καλυπτικότητα, αυξημένη παραγωγικότητα.

Επιφάνεια έτοιμη για βάψιμο: Στεγνώνουν γρήγορα. Σε λίγες ημέρες είναι εφικτό να βαφτεί ή να περαστεί ταπετσαρία.

Τοποθέτηση πλακιδίων: Εύκολα, γρήγορα, χωρίς προβλήματα πρόσφυσης.

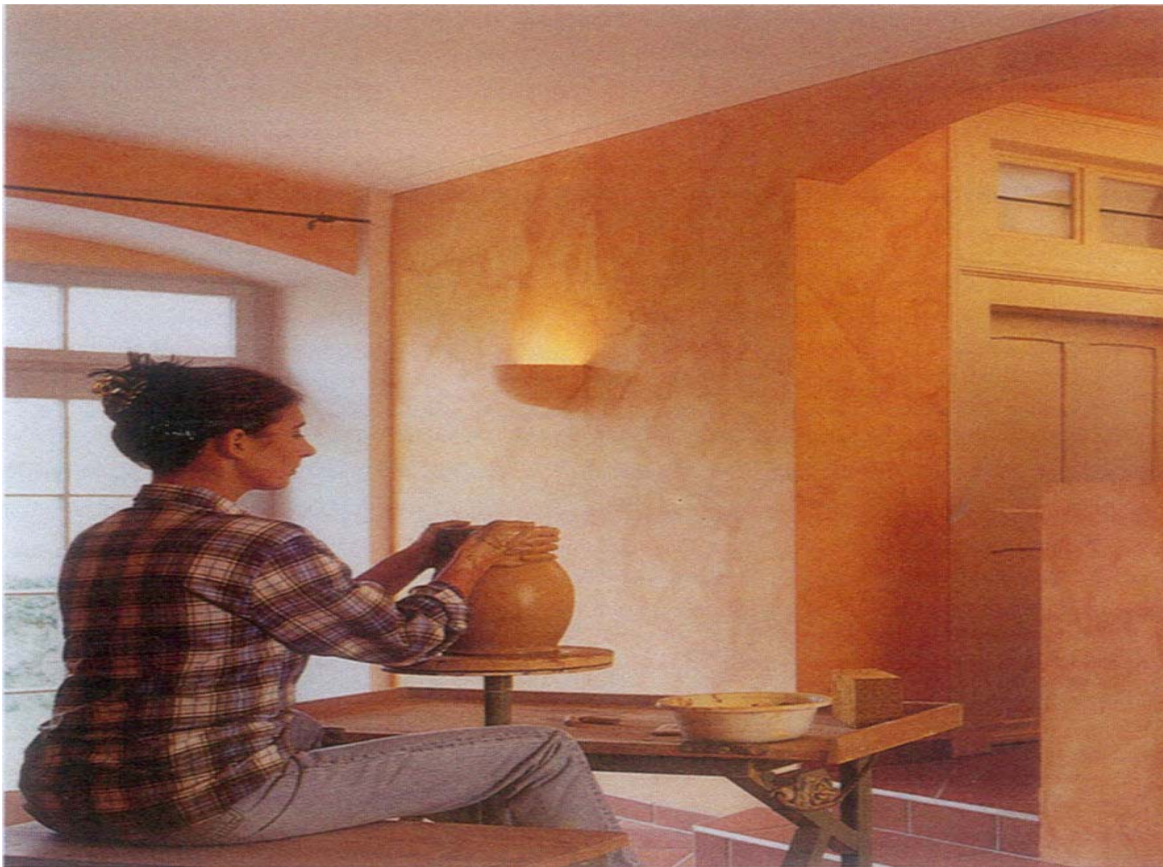
Φίλικοί στο δέρμα: Δεν δημιουργούν αλλεργίες στην επαφή με το δέρμα και την αναπνοή. Είναι ένα φυσικό ορυκτό. Δεν είναι διαβρωτικό, ούτε καυστικό.

Τεχνολογία παραγωγής: Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις και ο συνεχής ποιοτικός έλεγχος κατά την διάρκεια παραγωγής εξασφαλίζουν : προδιαγραφές DIN, ποιότητα, εμπιστοσύνη.

#### **4.2 ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΟΒΑΔΕΣ**

Οι έτοιμοι σοβάδες είναι το ιδανικό επίχρισμα που εφαρμόζεται στην κατοικία, σε μια μόνο στρώση από το υπόγειο μέχρι την σοφίτα, την κουζίνα και το μπάνιο. Έχει βάση τον γύψο και περιέχει μαρμαρόσκονη και περλίτη, πράγμα που σημαίνει ότι είναι ένα οικολογικό και απόλυτα υγιεινό κατασκευαστικό υλικό που διαρκεί για εκατοντάδες χρόνια. Επιτρέπει την «αναπνοή» με αποτέλεσμα ο εσωτερικός αέρας να είναι καθαρότερος από αυτόν που εισπνέουμε σε μία συμβατική κατασκευή.

Το μικροκλίμα που δημιουργείται μέσα στο σπίτι επιτρέπει στην εσωτερική θερμοκρασία και στην υγρασία να παραμένουν σταθερές και έτσι δεν ευνοείται η ανάπτυξη μικροοργανισμών, μυκήτων και μικροβίων. Είναι γεγονός ότι οι έτοιμοι σοβάδες είναι πιστοποιητικά έγκυροι ως προς την υγιεινή και οικολογική συμπεριφορά τους.



**Εικόνα:** Πηγή από τεχνικό οδηγό εφαρμογής της εταιρείας KNAUF

#### **4.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΤΟΙΜΩΝ ΣΟΒΑΔΩΝ**

- Οι έτοιμοι σοβάδες εφαρμόζονται σε όλα τα συνηθισμένα υπόβαθρα. Η κατασκευή του υπόβαθρου έχει πολύ μεγάλη σημασία για την πρόσφυση και την συμπεριφορά τους. Σε ορισμένους απαιτείται έλεγχος και προεργασία πριν την εφαρμογή των σοβάδων. Το υπόβαθρο θα πρέπει να είναι:
- Στεγνό και επαρκώς απορροφητικό.
- Να απομακρύνονται οι σκόνες και τα σαθρά τμήματα.
- Τα δομικά στοιχεία πρέπει να προστατεύονται από την εξωτερικά προερχόμενη υγρασία.

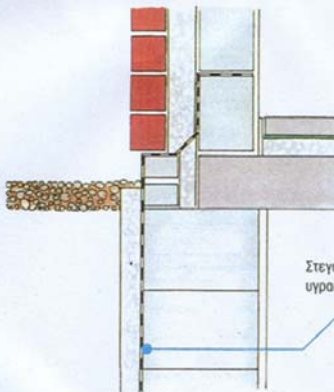
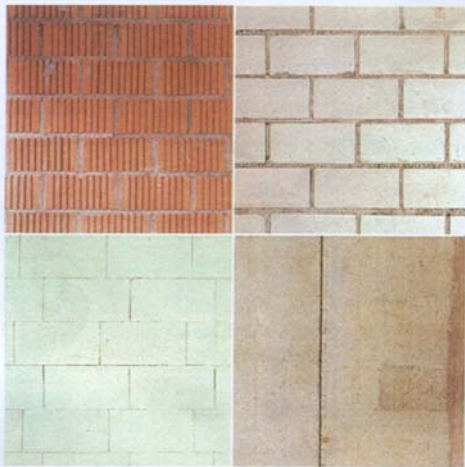
Το υπόβαθρο ελέγχεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές VOB μέρος C, DIN 1961 § 4 και πρέπει να παρουσιάζει τις εξής ιδιότητες:

- Καθαρή επιφάνεια (χωρίς σκόνες, λάδια, καπνά κ.λ.π.)
- Σταθερότητα (χωρίς σαθρά ή παγωμένα τμήματα).
- Ομοιόμορφη απορροφητικότητα.
- Ικανοποιητική πρόσφυση.
- Περιορισμένη υγρασία.
- Επιπεδότητα σύμφωνα με τον DIN 18202

Κατά το σοβάτισμα του τελευταίου ορόφου, για την αποφυγή της δημιουργίας σταγονιδίων νερού από συμπυκνώσεις υδρατμών, θα πρέπει να προηγηθεί η θερμομόνωση και η στεγάνωση της πλάκας. Στα σημεία αλλαγής δομικών στοιχείων μιας επιφάνειας π.χ. δοκάρι – τούβλο, σενάζ κ.λ.π. απαιτείται η τοποθέτηση ενισχυτικού υαλοπλέγματος. Η έναρξη εργασιών επιχρισμάτων εξαρτάται από τον βαθμό υγρασίας των δομικών στοιχείων της οικοδομής (σκελετός – τοιχοποιία κ.λ.π.). Προτεινόμενος χρόνος έναρξης εργασιών, 4 εβδομάδες μετά την σκυροδέτηση το καλοκαίρι και 8-12 εβδομάδες τον χειμώνα.

**Εικόνα:** Πηγή από τεχνικό οδηγό εφαρμογής της εταιρείας KNAUF

## Τεχνικές Προϋποθέσεις για την εφαρμογή των ετοιμών σοβάδων



Στεγάνωση π.χ. κατά της εξωτερικά προερχόμενης υγρασίας με ασφαλτικές επιστρώσεις.

## Έλεγχος επιφανειών σκυροδέματος



Οπτικός έλεγχος



Έλεγχος αφής



Έλεγχος απόξεσης



Έλεγχος  
υδροαπορροφητικότητας



Συσκευή μέτρησης υγρασίας CM

#### 4.4 ΕΙΔΗ ΕΤΟΙΜΩΝ ΣΟΒΑΛΩΝ

##### Έτοιμος σοβάς μηχανής

Ο έτοιμος σοβάς μηχανής ψεκάζεται από τη μηχανή με τη βοήθεια του ακροφύσιου εκτόξευσης επιτυγχάνοντας έτσι ομοιόμορφη πίεση και πάχος σοβά στην επιφάνεια. Η πίεση με την οποία εκτοξεύεται ο σοβάς βοηθάει στην καλή πρόσφυση, διότι το υλικό περνάει στους αρμούς και τα ανοίγματα της τοιχοποιίας. Ο ψεκασμός στην επιφάνεια γίνεται με οριζόντια φορά από πάνω προς τα κάτω γεμίζοντας ομοιόμορφα με σοβά. Η διάστρωση του έτοιμου σοβά πρέπει να γίνεται σε μία στρώση. Μετά τον ψεκασμό ο σοβάς επιπεδώνεται με τον πήχη «Η» και αφήνεται να «τραβήξει» περίπου 90 λεπτά, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και το υπόβαθρο.

**Εικόνα:** Πηγή από τεχνικό οδηγό εφαρμογής της εταιρείας KNAUF





## Έτοιμος σοβάς χειρός.

Ο έτοιμος σοβάς χειρός, απλώνεται ομοιόμορφα στην επιφάνεια με το φραγκόφτυαρο, επιπεδώνεται με τον πήχη «Η» και αφήνεται να «τραβήξει» χωρίς να γίνει καμία παρέμβαση στο υλικό για περίπου 60 λεπτά, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Στη συνέχεια ξύνεται και ευθυγραμμίζεται η επιφάνεια αφαιρώντας το πλεονάζον υλικό. Με την βοήθεια της γωνιακής σπάτουλας και της πλάνης ξυσίματος άκρων και γωνιών, διαμορφώνονται σωστά οι εσωτερικές γωνίες καθώς και οι ταβανογωνίες. Για να δημιουργηθεί μια «άγρια» διακοσμητική επιφάνεια, μετά το τρίψιμο και αφού τραβήξει για λίγα λεπτά ο σοβάς τρίβεται για δεύτερη φορά με ένα λεπτό σφουγγάρι.

**Εικόνα:** Πηγή από τεχνικό οδηγό εφαρμογής της εταιρείας KNAUF



## **Σοβάς ηλεκτρομαγνητικής προστασίας**

Δύο υλικά που συνεισφέρουν στην προστασία:

### 1) Γύψος

Ο γύψος είναι ένα δοκιμασμένο δομικό υλικό με εξαιρετικές τεχνικές και φυσικές ιδιότητες. Η κατανομή των πόρων διαφορετικού μεγέθους βοηθά στο να έχει ο γύψος χαμηλό δείκτη αντίστασης διάχυσης υδρατμών. Για το λόγο αυτό ο σοβάς, με βάση τον γύψο μπορεί να απορροφήσει γρήγορα και σε μεγάλο ποσοστό την υγρασία από τον αέρα και να την αποδώσει στο περιβάλλον, όταν αυτό απαιτείται.

### 2) Ίνες άνθρακα

Διαθέτουν μια σειρά εξαιρετικών ιδιοτήτων. Είναι ανθεκτικές στην υψηλή θερμοκρασία και στη διάβρωση και είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού.

## **Ασπίδα προστασίας ο σοβάς ηλεκτρομαγνητικής προστασίας:**

Εφαρμόζεται εκεί όπου απαιτείται προστασία από στατικό ηλεκτρισμό και από ηλεκτρικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Επιπλέον, ο σοβάς ηλεκτρομαγνητικής προστασίας προσφέρει όλα τα πλεονεκτήματα του κλασικού γυψοσοβά. Η προστατευτική δράση του σοβά ηλεκτρομαγνητικής προστασίας εξακριβώθηκε τόσο στις υψηλές όσο και στις χαμηλές συχνότητες. Είναι κατάλληλος για οικιακή χρήση για την προστασία από το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις του κτιρίου. Για το λόγο αυτό ο σοβάς προορίζεται κυρίως για χρήση σε υπνοδωμάτια και παιδικά δωμάτια και αποτελεί τη λύση σε όσους είναι ευαίσθητοι στην επίδραση των ηλεκτρικών πεδίων.

**Εικόνα:** Πηγή από τεχνικό οδηγό εφαρμογής της εταιρείας INTERMIX

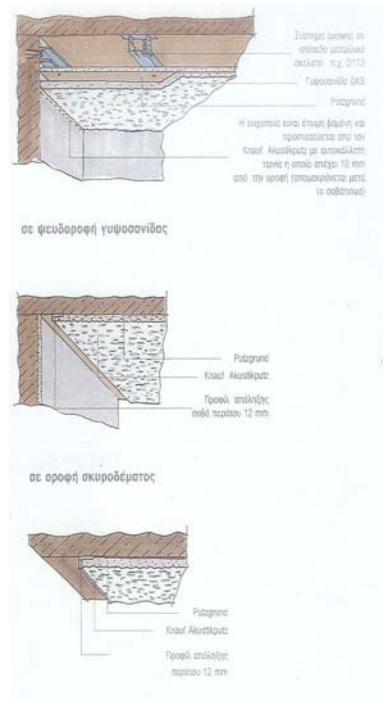


### **Ηχοαπορροφητικός σοβάς**

Είναι ένα βιομηχανοποιημένο κονίαμα κοκκομετρίας 3-5 χιλ. που περιέχει λευκό γύψο, περλίτη και ανόργανα πρόσμικτα. Εφαρμόζεται σε κάθε υπόβαθρο για ηχοαπορρόφηση, κυρίως σε οροφές και σε τοιχοποιίες από ένα ύψος άνω των 2.5 m για να αποφεύγεται η αποτριβή της επιφάνειας. Ρυθμίζει την αντήχηση σε μεγάλους χώρους, με μεγάλες επιφάνειες ανακλάσεως του ήχου. Αποτελεί το ιδανικό σύστημα σοβά με ομοιόμορφη και χωρίς αρμούς τελική επιφάνεια, σε χώρους με προβλήματα ύψους και μεγάλης αντήχησης. Μερικές βασικές του ιδιότητες είναι το Συνδεδετικό υλικό γύψος, η μεγάλη απόδοση και η ταχεία ξήρανση. Δεν πρέπει να αναμειγνύεται με άλλα υλικά γιατί μεταβάλλονται οι ιδιότητες του.



**Εικόνα:** Πηγή από τεχνικό οδηγό εφαρμογής της εταιρείας INERMIX



#### 4.5 ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΤΟΙΜΩΝ ΣΟΒΑΔΩΝ

**Μηχανές έτοιμου σοβά**

**Εικόνα:** Πηγή από τεχνικό περιοδικό ΥΛΗ & ΚΤΙΡΙΟ.



## Εργαλεία ετοιμών σοβάδων

Εικόνα: Πηγή από τεχνικό περιοδικό ΥΛΗ & ΚΤΙΡΙΟ.

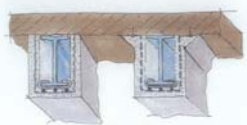


#### 4.5 Πυροπροστασία με έτοιμους σοβάδες

Η πιο απλή μορφή πυροπροστασίας στοιχείων σκυροδέματος είναι η επένδυση τους με έτοιμους σοβάδες με βάση το γύψο. Η επένδυση αυτή από «γύψο» έχει σαν σκοπό μαζί με την επικάλυψη σκυροδέματος, να εμποδίσει την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας στον οπλισμό και να μειώσει τη διατομή, το πάχος του σκυροδέματος, ιδιαίτερα στις κολώνες και στα δοκάρια. Οι έτοιμοι σοβάδες με βάση τον γύψο, μπορούν να εφαρμοσθούν απευθείας σε χαλύβδινους δοκούς ή σε επενδεδυμένους με πλέγμα σοβατίσματος για να επιτευχθεί μια αυξημένη πυραντίσταση. Τα απαραίτητα ελάχιστα πάχη σοβά σε σχέση με την κατηγορία πυραντίστασης αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες:


**Εικόνα:** Πηγή από τεχνικό οδηγό εφαρμογής εταιρείας KNAUF

Πυροπροστασία μεταλλικών δοκών με έτοιμους σοβάδες



U/A	Ελάχιστο πάχος σοβά δ σε mm πάνω από το νεομετάλλ				
m <sup>2</sup>	F 30 A	F 60 A	F 90 A	F 120 A	F 180 A
<90	5	5	15	15	25
90 - 119	5	5	15	25	-
120 - 179	5	15	15	25	-
180 - 300	5	15	25	-	-

Πυροπροστασία μεταλλικών υποστηλωμάτων με έτοιμους σοβάδες



U/A	Ελάχιστο πάχος σοβά δ σε mm πάνω από το νεομετάλλ				
m <sup>2</sup>	F 30 A	F 60 A	F 90 A	F 120 A	F 180 A
<90	10	10	35	35	45
90 - 119	10	20	35	45	60
120 - 179	10	20	45	45	60
180 - 300	10	20	45	60	60

A=εμβαδόν διατομής  
U= περιμετρος διατομής = 2h<sub>1</sub> + 2h<sub>2</sub>

**Συντελεστής διατομής  $U/A$ :**

Το πάχος επένδυσης που αποκτείται για ένα συγκεκριμένο βαθμό πυραντίστασης βασίζεται στον συντελεστή διατομής  $U/A$ . Ο λόγος  $U/A$  είναι μια συνάρτηση της περιμέτρου της διατομής που εκτίθεται στη φωτιά, προς το θερμαινόμενο εμβαδόν διατομής της εκάστοτε χαλύβδινης δοκού. Όσο υψηλότερος είναι ο λόγος  $U/A$ , τόσο πιο σύντομα θερμαίνεται η χαλύβδινη διατομή σε περίπτωση φωτιάς και τόσο μεγαλύτερο πάχος αντιπυρικής προστασίας απαιτείται.

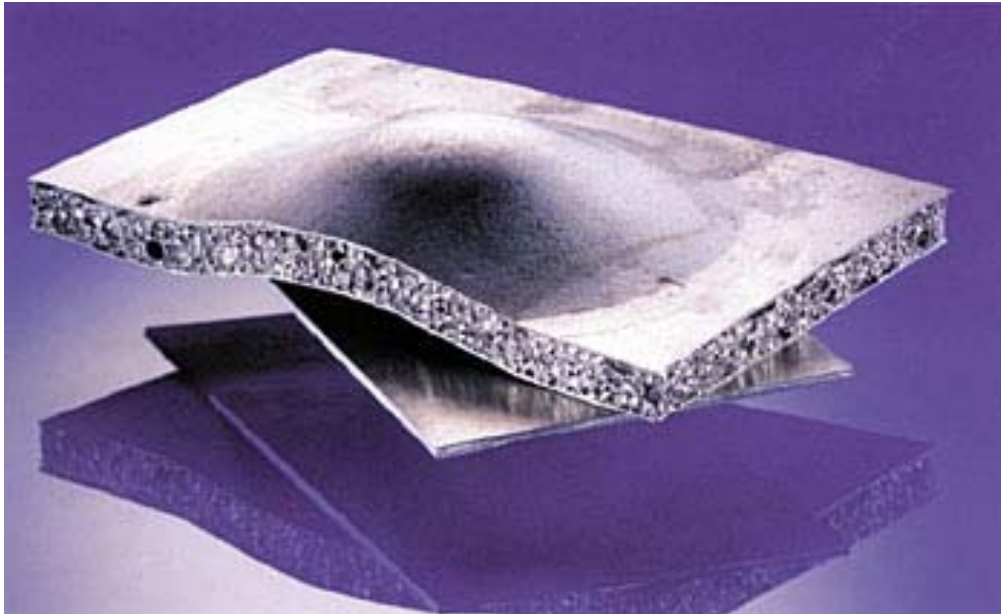
## 5. ΑΦΡΩΔΗ ΥΛΙΚΑ

Οι δομικοί αφροί προσφέρουν ένα πλήθος δυνατοτήτων στους σχεδιαστές μηχανικούς. Πολλά πλαστικά μπορούν να πάρουν την μορφή αφρού αφού τους προσθέσουμε ειδικά διογκωτικά πρόσθετα κατά την φάση της μορφοποίησης τους. Αποτέλεσμα αυτής της προσθήκης είναι η δημιουργία ενός υλικού με κυψελωτό πυρήνα και σκληρό περίβλημα. Αυτός ο τύπος του υλικού είναι πολύ χρήσιμος μία που διαθέτει υψηλή ειδική αντοχή (λόγος αντοχής προς βάρος).

Η αφρώδης δομή του υλικού επιτυγχάνεται με την διάχυση μέσα στην ρευστή ρητίνη αδρανούς αερίου λίγο πριν τη φάση της μορφοποίησής του. Η διάχυση αυτή επιτυγχάνεται είτε άμεσα, είτε έμμεσα με την βοήθεια διογκωτικών προσθέτων που εκλύουν το αέριο (συνήθως άζωτο). Στη συνέχεια γίνεται η απόχυση του μίγματος ρητίνης αερίου μέσα στο καλούπι οπότε το αέριο εκτονώνεται με μεγάλη ταχύτητα και εξαναγκάζει το υλικό να καταλάβει όλον τον χώρο του καλουπιού. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μία δομή κυψελωτού πυρήνα που περιβάλλεται από σκληρό περίβλημα.

Πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται σαν βάση για την δημιουργία αφρών είναι τα: polycarbonate, polypropylene, modified PRO. Οι δομικοί αφροί βρίσκουν πάρα πολλές εφαρμογές, όπως στην επιπλοποιία, στην οικοδομική, στην αυτοκινητοβιομηχανία, κ.α.

Τα αφρώδη υλικά είναι δυνατόν να ενισχυθούν με ίνες γυαλιού με σκοπό την βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων.



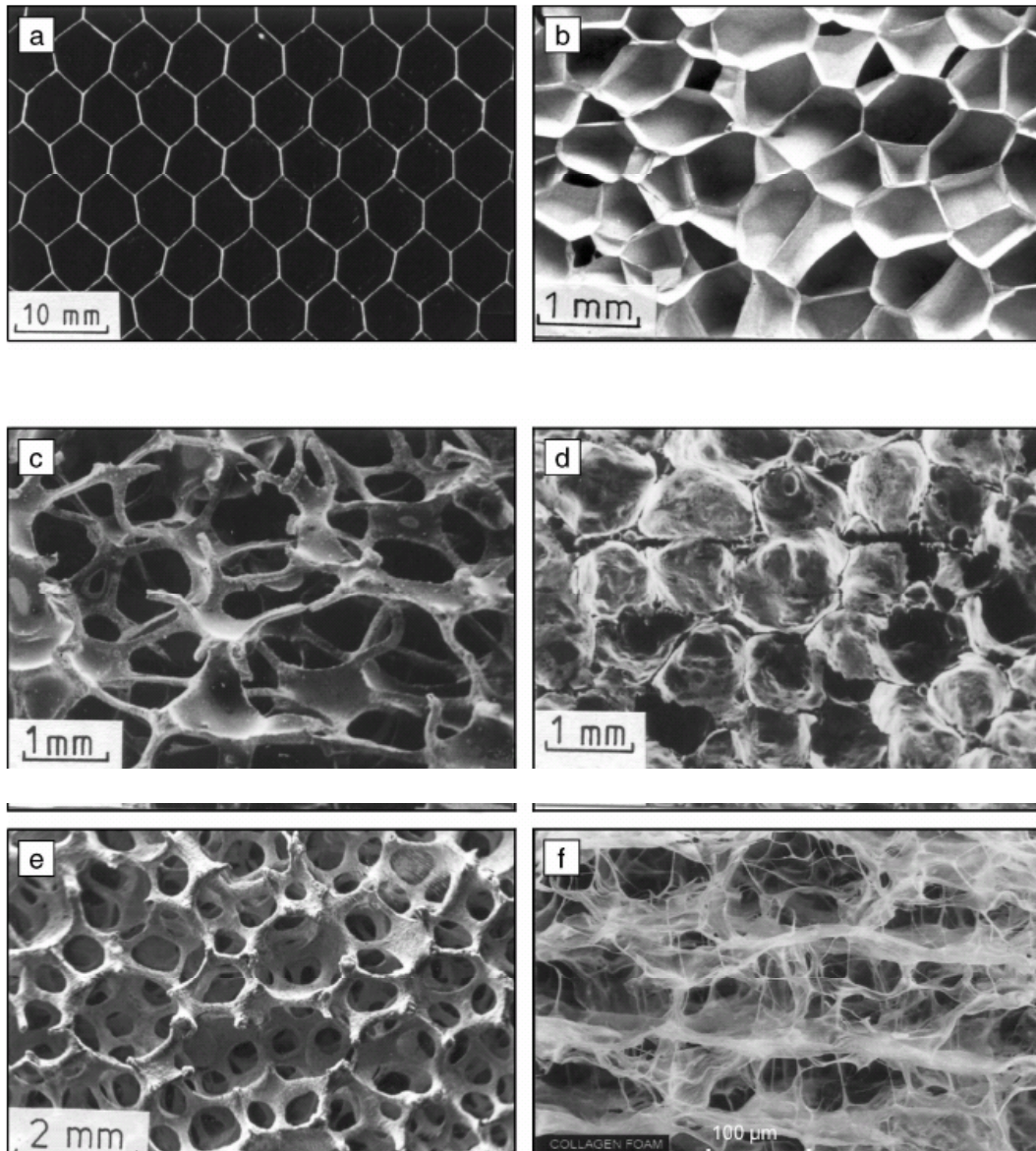
**Εικόνα:** Δημιουργία αφρού σε υγροποιημένα μέταλλα

[Π.Π: [http://georgepehli.googlepages.com/Metallicfoams\\_article.pdf](http://georgepehli.googlepages.com/Metallicfoams_article.pdf)]



**Εικόνα:** Χρήσεις των πάνελ στις κατασκευές  
[ [www.eta-sa.gr/products.htm](http://www.eta-sa.gr/products.htm) ]



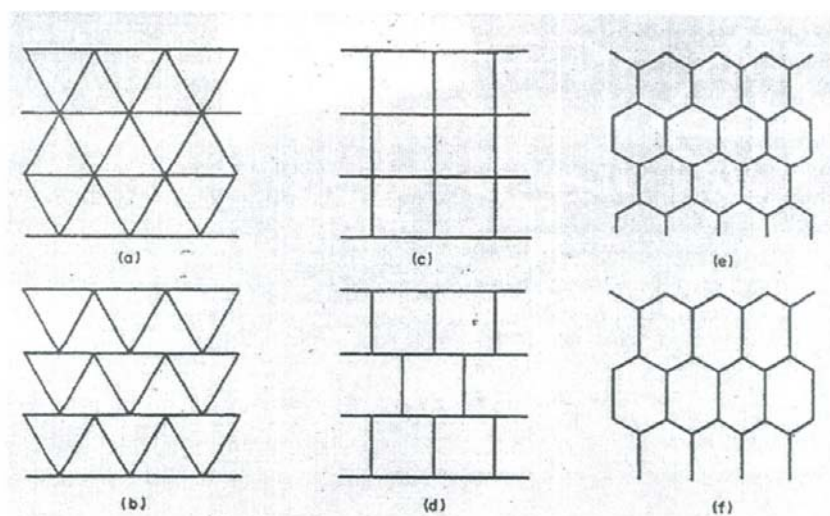


**Εικόνες:** Κυψελωτά υλικά στο μικροσκόπιο. a) Κυψελωτό αλουμίνιο, b) Αφρός πολυαιθυλενίου με κλειστές κυψέλες, c) Αφρός νικελίου με ανοιχτές κυψέλες, d) Αφρώδες γυαλί με κλειστές κυψέλες, e) Αφρός από ζιρκόνιο με ανοιχτές κυψέλες, f) Σύνθετος αφρός με βάση το κολλαγόνο.

[Π.Π: [http://georgepehli.googlepages.com/Metallicfoams\\_article.pdf](http://georgepehli.googlepages.com/Metallicfoams_article.pdf)]

## 5.1 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΦΡΩΝ

Κάθε στερεό μπορεί να μετατραπεί σε αφρό. Στις μέρες μας, υπάρχουν τεχνικές για την κατασκευή τρισδιάστατων κυψελοειδών στερεών από πολυμερή μέταλλα, κεραμικά ακόμη και γυαλιά. Για την αποτελεσματική χρησιμοποίησή τους απαιτείται λεπτομερή γνώση της μηχανικής συμπεριφοράς τους. Ακόμα και όταν ο αφρός χρησιμοποιείται π.χ. για μόνωση, η αντοχή του και η συμπεριφορά του σε θλίψη μας ενδιαφέρουν. Ακόμα και στη φύση η κύρια λειτουργία και εφαρμογή των κυψελοειδών στερεών είναι μηχανικής φύσεως, όπως το ξύλο που αποτελεί μέσο στήριξης όλου του δέντρου ή των οστών που δίνουν στο ζώο έναν ελαφρύ και σκληρό σκελετό. Σε άλλες ωστόσο περιπτώσεις η λειτουργία των αφρών δεν είναι μηχανική. Το σχήμα των κυττάρων στα φύλλα ή στο φελλό και στο σφουγγάρι μπορεί να προκύπτει από την ανάγκη μεταφοράς υγρών ή της θερμικής μόνωσης. Από τα παραπάνω γίνεται σαφής η ανάγκη κατανόησης της μηχανικής συμπεριφοράς των αφρών. Οι πιο σημαντικές ιδιότητες των αφρών έχουν να κάνουν με την δομή τους και με τις ιδιότητες του υλικού από τα οποία είναι κατασκευασμένα τα τοιχώματα των κελιών. Οι πιο σημαντικές ιδιότητες δομής των αφρών είναι η σχετική πυκνότητα  $\rho/\rho_s$ , ο βαθμός που τα κελιά είναι ανοικτά ή κλειστά και ο λόγος ανισοτροπίας σχήματος. Οι ιδιότητες των αφρώδων υλικών αναλύονται σε σχέση με αυτές τις παραμέτρους και συγκρίνονται επίσης. Παράγοντες όπως η θερμοκρασία, ο ρυθμός παραμόρφωσης, η ανισοτροπία και η πολυαξονική φόρτιση επηρεάζουν επίσης τις ιδιότητες των αφρών.

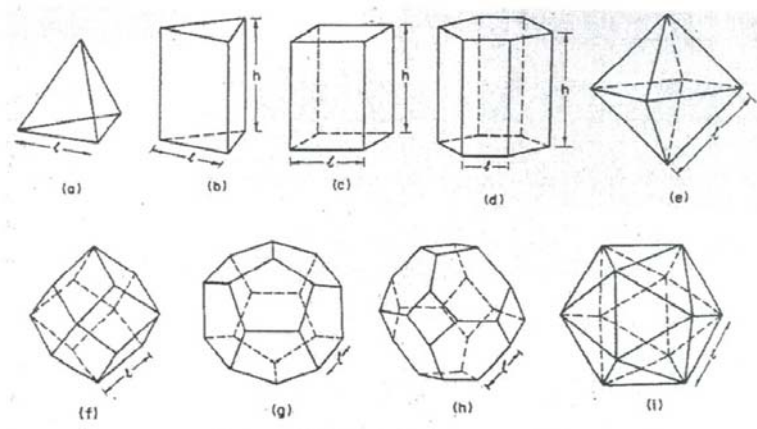




Σχήμα. Δισδιάστατες διατάξεις τριγωνικών, τετραγωνικών και εξαγωνικών κελιών.

Πολλά τέτοια κυψελοειδή υλικά τεχνητά φτιαγμένα από τον άνθρωπο είναι κανονικά. Στην φύση ωστόσο υπάρχουν παρεκκλίσεις εξαιτίας του τρόπου ανάπτυξης των κελιών και την αναδιάταξή τους κατά την δημιουργία τους. Η τυχαία κηρύθρα του Voronoi είναι ένα παράδειγμα, στο οποίο τα κελιά παρουσιάζουν μια διασπορά μεγέθους και διαφορά στον αριθμό των ακμών ανά κελί, από τρεις ως εννιά ή και περισσότερες ακμές.

Τα αφρώδη υλικά μπορεί να είναι κανονικά φτιαγμένα από πολύεδρα, όπως στο σχήμα.



Σχήμα. Πολυεδρικές διατάξεις κελιών.

## 5.2 Σύνθετα πάνελ (τύπου σάντουιτς)

Τα σύνθετα πάνελ (τύπου σάντουιτς) που χρησιμοποιούνται ως δομικά στοιχεία σε οποιαδήποτε εφαρμογή, είναι μία ειδική κατασκευή που γίνεται από συγκόλληση φύλλων διαφορετικών υλικών. Η συγκόλληση του ενός υλικού με το άλλο, δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι ιδιότητες του κάθε συστατικού, από το οποίο αποτελείται το πάνελ, ξεχωριστά, με αποτέλεσμα μέγιστα κατασκευαστικά και μηχανικά πλεονεκτήματα. Τυπικά ένα σύνθετο πάνελ αποτελείται από τρία κύρια μέρη: δύο λεπτά σκληρά και ανθεκτικά φύλλα αποτελούν τις εξωτερικές επιφάνειες ή περίβλημα που ανάμεσα τους υπάρχει ένας ελαφρύς, συμπαγής και χαμηλής πυκνότητας πυρήνας. Με την συγκόλληση των φύλλων με τον πυρήνα επιτυγχάνεται η μεταφορά φορτίων μεταξύ των στοιχείων που συνθέτουν το πάνελ. Ο αρχικός σχεδιασμός του σύνθετου πάνελ βασίζεται στους πλακοδοκούς με διατομή **σχήματος I** που είναι ένα αποτελεσματικό δομικό σχήμα, γιατί τοποθετείται όσο το δυνατόν περισσότερο υλικό στις πατούρες, οι οποίες βρίσκονται όσο πιο μακριά γίνεται από το κέντρο της κάμψης ή τον ουδέτερο άξονα. Αρκετό υλικό μένει μόνο στην συνδετική “ψυχή” του δοκού για τον συντονισμό της λειτουργίας της πατούρας και την αντίσταση στις διατμητικές τάσεις και τα φορτία λυγισμού. Στο σύνθετο πάνελ, οι εξωτερικές επιφάνειες (το περίβλημα) παίζουν τον ρόλο της πατούρας και ο πυρήνας παίρνει την θέση της “ψυχής” του δοκού. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός, ότι ο πυρήνας ενός σάντουιτς είναι από διαφορετικό υλικό από τις εξωτερικές επιφάνειες και “ξεδιπλώνεται” ως ένα συνεχόμενο στήριγμα για τις εξωτερικές επιφάνειες, χωρίς να είναι συγκεντρωμένο σε στενή παρειά όπως στον δοκό. Τα εξωτερικά φύλλα δρουν μαζί για να σχηματίσουν ένα αποτελεσματικό ζεύγος εφαρμοσμένων τάσεων ή ροπών αντίστασης εξουδετερώνοντας τις ροπές κάμψης. Ο πυρήνας αντιστέκεται στην διατμητική τάση και σταθεροποιεί τις εξωτερικές επιφάνειες έναντι των κάμψεων και της ρυτίδωσης. Η κόλλα που ενώνει τα φύλλα με τον πυρήνα είναι κρίσιμης σπουδαιότητας. Το αρχικό πλεονέκτημα ενός σύνθετου πάνελ είναι ο πολύ υψηλός λόγος ακαμψίας - βάρους και υψηλός λόγος αντίστασης καμπτικής καταπόνησης / βάρους. Το σάντουιτς ενισχύει την αντοχή στην κάμψη της δομής χωρίς την προσθήκη ουσιαστικού βάρους.

Τα σάντουιτς πάνελ έχουν δείξει σε πολλές εφαρμογές τις ιδιότητές τους ως προς την αντοχή στην καταπόνηση, ηχομόνωση και πρόσθετη θερμομόνωση. Η απορρόφηση της μηχανικής ενέργειας μπορεί σε μερικούς τρόπους παραμόρφωσης να πολλαπλασιαστεί έναντι μονοσυστάτων υλικών λόγω των περιορισμένων κατά κάποιο τρόπο, επιβαλλομένων κυμάτων παραμόρφωσης. Η χρήση κυψελοειδών πυρήνων προλαμβάνει την ανάγκη ενίσχυσης θερμικής μόνωσης, εξασφαλίζοντας χαμηλό δομικό βάρος, δεδομένου ότι οι περισσότεροι κυψελοειδείς πυρήνες έχουν μία χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Ένα ακόμη από τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα σύνθετα πάνελ τύπου σάντουιτς, είναι η μείωση του κόστους λόγω του χαμηλού βάρους και της μείωσης των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με την αποδοτική σχετικά με το κόστος, παραγωγική διαδικασία.

#### **Αποδοτικότητα και κόστος υλικών**

Η αποδοτικότητα των υλικών καθορίζεται από την ικανότητα μίας δομής να αντέχει φορτία με ελάχιστο βάρος. Αν το γεωμετρικό σχήμα, η φόρτιση και ο τύπος στήριξης δεν αλλάξουν (π.χ. ο συντελεστής των δυναμικών τάσεων είναι σταθερός) η αποδοτικότητα όλης της δομής εξαρτάται μόνο από την αποδοτικότητα των υλικών. Η αποδοτικότητα ενός υλικού συνήθως προσδιορίζεται ως μηχανικές επιδόσεις προς βάρος. Για την αντοχή στην κάμψη και στην στρέβλωση των ελασμάτων η αποδοτικότητα του υλικού προς το βάρος είναι  $E/3\rho$  και για την αντοχή σε εφελκυσμό και συμπίεση είναι  $E/\rho$  (όπου  $E$  είναι ο συντελεστής ελαστικότητας και  $\rho$  η πυκνότητα του υλικού).

### **5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΝΕΛ ΤΥΠΟΥ ΣΑΝΤΟΥΙΤΣ**

Η ιδέα για την κατασκευή στοιχείων τύπου σάντουιτς αναπτύχθηκε στις αρχές του 19ου αιώνα, ωστόσο η ανάπτυξή τους αυτή ολοκληρώθηκε τον 20ο αιώνα, όταν στην αεροναυτική και αεροδιαστημική βιομηχανία έγινε αναγκαία η βελτίωση της σχέσης αντοχής/βάρους των στοιχείων. Οι εξελιγμένες μέθοδοι ανάλυσης, συνδέονται με ονόματα όπως Williams, Laggett, Hopkins, Libove, Batdorf και Hoff.

### 5.3.1 Στατικά χαρακτηριστικά

Εξ ορισμού, τα πάνελ τύπου σάντουιτς, μπορούν να θεωρηθούν ως ελαφριές φέρουσες δομές και αντιπροσωπεύουν την εξέλιξη της παραδοσιακής τεχνολογίας των δοκών σε σχήμα διπλού T, όπου η λειτουργία των εξωτερικών επικαλύψεων (πέλματα δοκών) συνίσταται στην αντοχή στις τάσεις συμπίεσης και εφελκυσμού, ενώ η λειτουργία του ενδιάμεσου θερμομονωτικού υλικού (πυρήνας δοκών) συνίσταται στην αντοχή στις διατμητικές καταπονήσεις, καθώς και της συνεχούς σύνδεσης μεταξύ των δύο εξωτερικών επικαλύψεων. Η θεωρία των πάνελ τύπου σάντουιτς, μαζί με τις σχετικές μεθόδους υπολογισμού, μπορούν να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα μόνο εφόσον υπάρχει τέλεια πρόσφυση μεταξύ των στρωμάτων από τα οποία αποτελούνται τα πάνελ. Στις περιπτώσεις των πάνελ τύπου σάντουιτς, με τον περιορισμό απλού στηρίγματος, η συνολική τάση κάμψης “P” μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$P = K_p * \left[ \frac{p * L^4}{EJ} \right] + K_t * \left[ \frac{p * L^2}{G * S} \right]$$

όπου το “P” ισούται με το άθροισμα της τάσης κάμψεως που οφείλεται στη συνιστώσα κάμψης και της τάσης κάμψεως που οφείλεται στη συνιστώσα διάτμησης.

όπου:

P συνολική τάση κάμψεως σε mm

p φορτίο ομοιόμορφα κατανομημένο σε  $N/mm^2$  ( $1 \text{ kg/cm}^2 = 0,1 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ N/m}^2$ ) L

L ελεύθερο άνοιγμα κάμψης σε mm

E συντελεστής ελαστικότητας των στοιχείων επένδυσης σε  $N/mm^2$  ( $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$ )

J ροπή αδράνειας ανά μονάδα πλάτους του πάνελ σε  $N/mm^4$

G συντελεστής ελαστικότητας σε διάτμηση του STYROFOAM εκφρασμένος σε  $N/mm^2$

S πάχος του πάνελ σε mm

### 5.3.2 Θερμικά χαρακτηριστικά

Το πάχος του θερμομονωτικού υλικού των πάνελ τύπου σάντουιτς εξαρτάται από τις ειδικές απαιτήσεις των εκάστοτε εφαρμογών, ειδικότερα, για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις: κύκλοι λειτουργίας, κόστος ενέργειας, υγραμετρία, ανάλυση ψυκτικών απαιτήσεων κλπ. Απαιτείται λοιπόν μια στενή συνεργασία μεταξύ Εντολοδόχου, Μηχανικού και Τεχνικών από τα αρχικά στάδια της μελέτης για να καθοριστεί με ακρίβεια το απαιτούμενο πάχος του πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί όσον αφορά στην εκτέλεση των υπολογισμών και την κατασκευή των δομών και των εγκαταστάσεων.

- $Q = 8 \text{ W/m}^2$  για θερμοκρασίες πάνω από το μηδέν
- $Q = 6 \text{ W/m}^2$  για θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν

Για ένα γενικό υπολογισμό του πάχους “d” του πάνελ που αντιστοιχεί στις προαναφερόμενες θερμικές ροές, μπορεί να εφαρμοστεί, για παράδειγμα, ο παρακάτω τύπος:

$$d = \frac{\lambda * T T}{Q}$$

όπου:

$\lambda$  θερμική αγωγιμότητα στη μέση θερμοκρασία που προβλέπεται μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας, εκφρασμένη σε  $\text{W}/(\text{m.K})$ .

$T T$  διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας εκφρασμένη σε  $^{\circ}\text{C}$ .

$Q$  θερμική απώλεια εκφρασμένη σε  $\text{W}/\text{m}^2$ .



**Εικόνα:** Θερμομονωτικό panel πολυουρεθάνης.  
[ [www.eta-sa.gr/products.htm](http://www.eta-sa.gr/products.htm)]

### 5.3.3 Υγρομετρικά χαρακτηριστικά

Για να αποφευχθούν φαινόμενα συμπύκνωσης στις εσωτερικές επιφάνειες, η επιφανειακή εσωτερική θερμοκρασία δεν πρέπει σε κανένα σημείο να είναι μικρότερη του σημείου δρόσου του εσωτερικού αέρα. Για τον έλεγχο της επιφανειακής θερμοκρασίας, θα πρέπει να υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$P_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e}$$

όπου:

$t_{si}$  επιφανειακή εσωτερική θερμοκρασία

$t_i$  εσωτερική θερμοκρασία

$t_e$  εξωτερική θερμοκρασία

Είναι επομένως δυνατό να καθοριστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U$  που απαιτείται για να επιτευχθούν οι προαναφερόμενες συνθήκες, χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$U = \alpha_i * (1 - P_{Rsi})$$

όπου:

$\alpha_i$  εσωτερική θερμομεταφορά

Όσον αφορά την **ενδιάμεση συμπύκνωση**, η επαλήθευση θα πρέπει να πραγματοποιείται με τη μέθοδο του Glaser, συγκρίνοντας τις μερικές πιέσεις υδρατμών στο εσωτερικό των στρωμάτων του πάνελ τύπου σάντουιτς με εκείνες του κορεσμού. Ο σχηματισμός της ενδιάμεσης συμπύκνωσης είναι αποδεκτός, με την προϋπόθεση ότι ο όγκος του συμπυκνώσιμου ύδατος είναι μικρότερος από αυτόν του εξατμιζόμενου. Για τα πάνελ τύπου σάντουιτς με λεπτές εξωτερικές επενδύσεις (χάλυβας, γαλβανισμένη λαμαρίνα, πλαστικά ενισχυμένα με ίνες υάλου, επικολλητά πλαστικά, κλπ.) ο συντελεστής θερμοπερατότητας καθορίζεται ουσιαστικά από τη θερμική απόδοση του χρησιμοποιούμενου θερμομονωτικού υλικού. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U$  εκφράζει τη θερμική ροή που διαπερνά μια δομή ανά μονάδα επιφανείας και τη θερμοκρασία από το ψυχρό στο θερμό περιβάλλον. Αυτός εκφράζεται σε  $W/m^2.K$  και προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

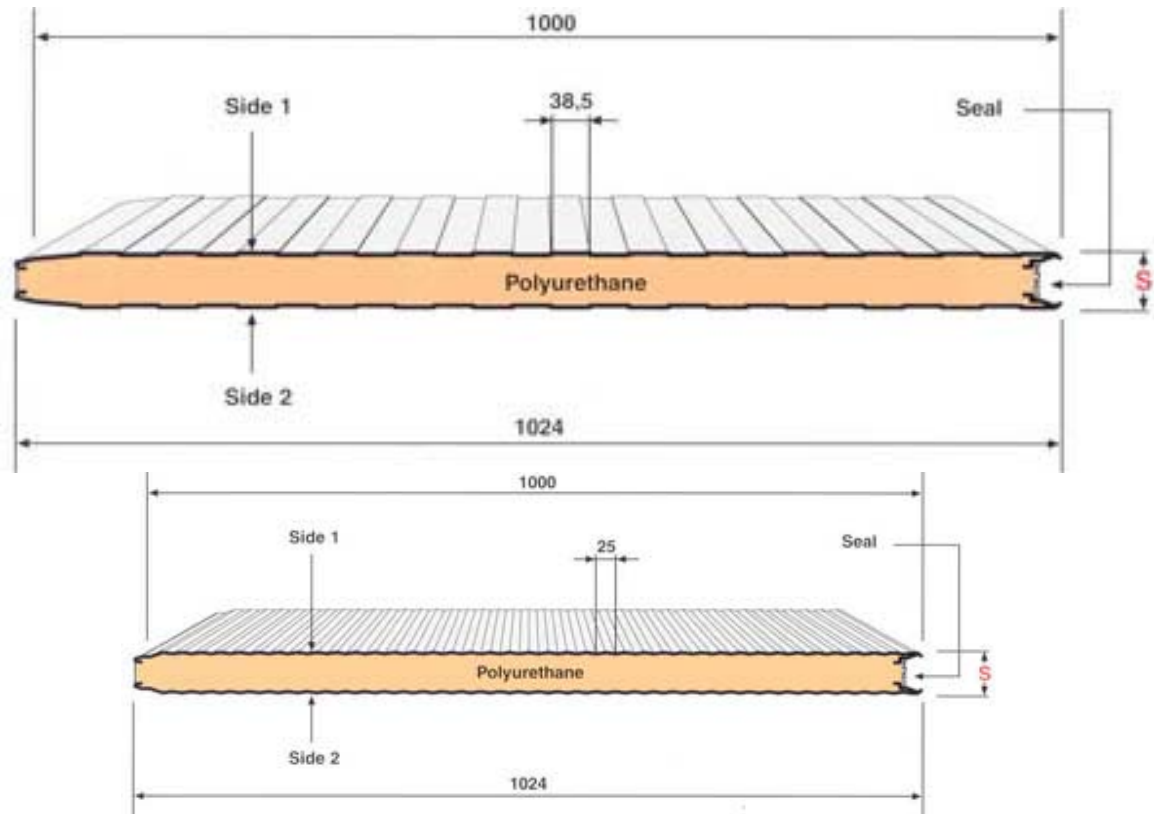
$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

όπου:

$d$  πάχος στρώματος του υλικού εκφρασμένο σε  $m$   
 $\lambda$  θερμική αγωγιμότητα του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί εκφρασμένη σε  $W/(m.K)$   
 $1/\alpha_i$  επιφανειακή εσωτερική αντίσταση ίση προς  $0,13 \text{ m}^2.K/W$   
 $1/\alpha_e$  επιφανειακή εξωτερική αντίσταση ίση προς  $0,04 \text{ m}^2.K/W$

### 5.3.4 Χαρακτηριστικά ενός πάνελ του εμπορίου

**Εικόνα:** Πάνελ πολυουρεθάνης πλαγιοκάλυψης, ωφέλιμου πλάτους 1000mm, διαθέσιμο σε δύο τύπους με διαφορετικά προφίλ διαμόρφωσης των χαλυβδόφυλλων.  
 [ [www.eta-sa.gr/products.htm](http://www.eta-sa.gr/products.htm) ]



Πεδίο εφαρμογής: εσωτερικοί διαχωριστικοί τοίχοι, επένδυση εσωτερικών τοίχων, ψευδοροφές (μη φέρουσες)

Μονωτικό υλικό:

Συμπαγής αφρός αυτοσβαινόμενης πολυουρεθάνης, μέσης πυκνότητας  $40\text{kg/m}^3 \pm 5\%$

Συντελεστής θερμοαγωγιμότητας  $\lambda=0,020\text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$

Μη υγροσκοπικό υλικό, με δομή κλειστών κυψελών σε ποσοστό μεγαλύτερο του 95%

Πάχη αφρού (mm):	25	30	35	40	50	60	80	100	120
Συντελεστής k (kcal/m <sup>2</sup> h °C):	0,66	0,56	0,48	0,43	0,35	0,29	0,22	0,18	0,15



Μεταλλικές επιφάνειες:

Γαλβανισμένο χαλυβδόφυλλο, με τη μέθοδο sendzimir, σύμφωνα με το UNI EN 10147

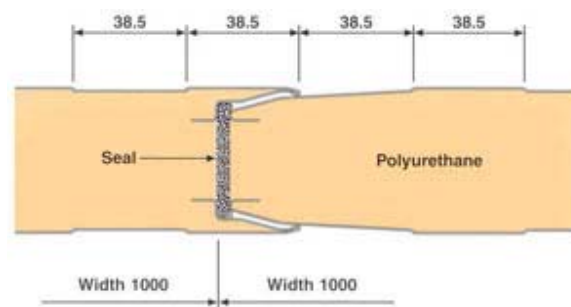
Γαλβανισμένο χαλυβδόφυλλο, ως άνω, με βαφή πολυεστερική / σιλικονούχα πολυεστερική / PVDF, ή επίστρωση PVC για την εξωτερική επιφάνεια, και με βαφή primer για την εσωτερική επιφάνεια.

Φύλλο από καθαρό (99,5) αλουμίνιο, ή από κράμα 3103 αλουμινίου, με βαφή ως άνω.

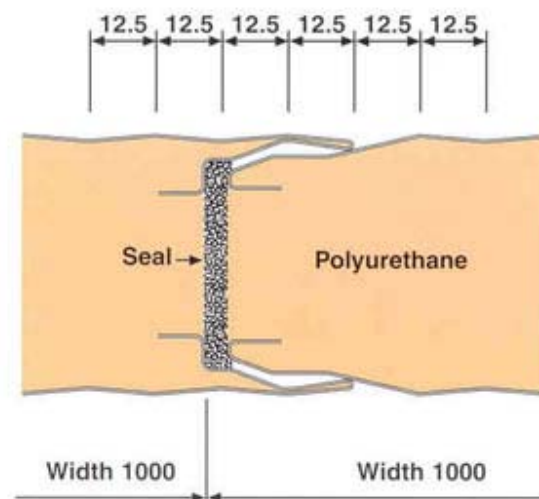
Αρμός σύνδεσης:

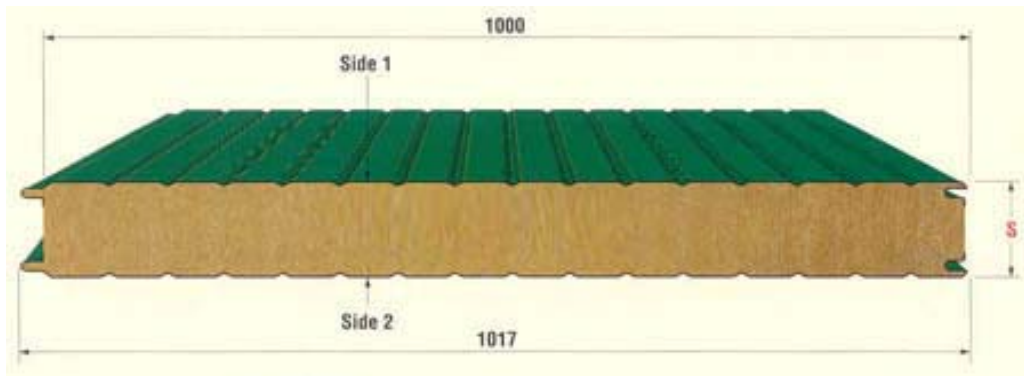
Τυπικός αρμός σύνδεσης τύπου «αρσενικό – θηλυκό», με ενσωματωμένο αφρώδες παρέμβυσμα.

TOPWALL A

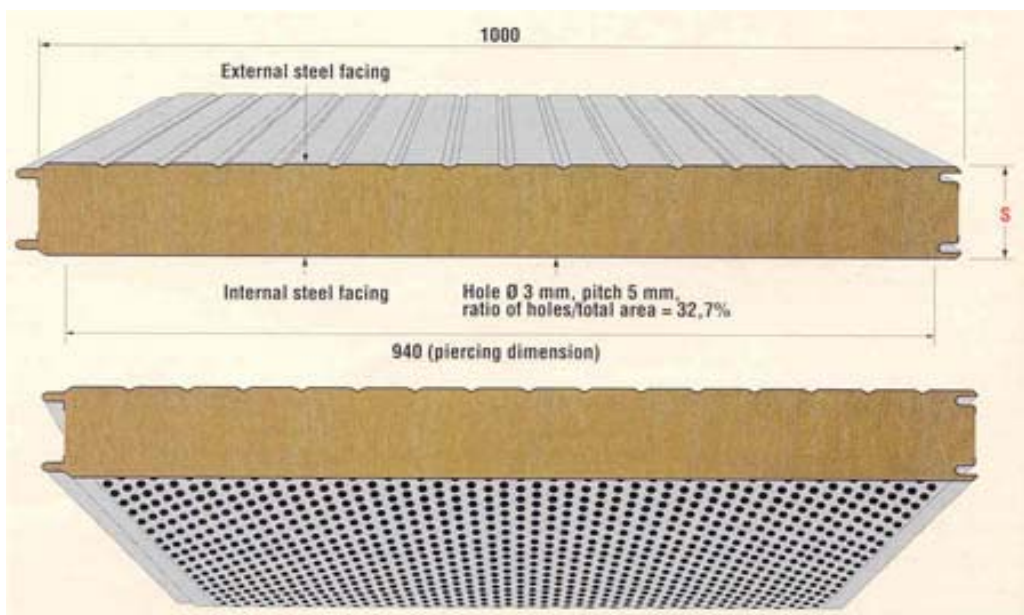


TOPWALL B





**Εικόνα:** Πυράντοχο πάνελ πετροβάμβακα.  
[[www.eta-sa.gr/products.htm](http://www.eta-sa.gr/products.htm)]



**Εικόνα:** Ηχοαπορροφητικό πάνελ πετροβάμβακα.  
[[www.eta-sa.gr/products.htm](http://www.eta-sa.gr/products.htm)]

## 6. ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

### Διάβρωση και προστασία από διάβρωση

Τα μεταλλικά υλικά κατά την διάρκεια του χρόνου αλλάζουν την εμφάνισή τους. Η μεταλλική στιλπνή επιφάνεια που είχαν στην αρχή, θαμπώνει και επικαλύπτεται με μια στιβάδα. Το υλικό προσβάλλεται συνεχώς και μπορεί στο τέλος να καταστραφεί τελείως. Αυτή η εξέλιξη ονομάζεται διάβρωση.

Με τον όρο διάβρωση εννοούμε την καταστροφή των μεταλλικών υλικών, η οποία ξεκινώντας από την εξωτερική επιφάνεια, προσβάλλει τα υλικά με χημικό ή ηλεκτροχημικό τρόπο.

### Μηχανισμός διάβρωσης του οπλισμού στο σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα προστατευτικό περιβάλλον του σιδηροπλισμού για δύο λόγους:

- 1) Το υδατικό διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος είναι έντονα αλκαλικό εξαιτίας του υδρασβεστίου  $[Ca(OH)_2]$ , προϊόν της αντίδρασης της ενυδάτωσης του τσιμέντου, με ΡΗ μεταξύ 12,5 και 13,9. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο χάλυβας καλύπτεται επιφανειακά από ένα παθητικό στρώμα οξειδίων σιδήρου που παρεμποδίζει την διάβρωσή του.
- 2) Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο στην επαφή του οπλισμού με τα διάφορα διαβρωτικά συστατικά του περιβάλλοντος όπως είναι το οξυγόνο ή το διοξείδιο του άνθρακα  $CO_2$  και άλλες ουσίες που βοηθούν την διάβρωση.

Με την πάροδο του χρόνου το σκυρόδεμα μπορεί να χάσει την προστατευτική του ικανότητα λόγω ενανθράκωσης ή διείδυσης χλωριόντων. Ενανθράκωση είναι η αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα με το υδροξείδιο του ασβεστίου προς ανθρακικό ασβέστιο. Ένας άλλος λόγος για την διάβρωση του οπλισμού είναι η παρουσία των χλωριόντων. Τα χλωριόντα διαπερνούν το παθητικό στρώμα των οξειδίων και προκαλούν διάβρωση με βελονισμούς.

## 6.1 ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

### Χημική διάβρωση

Με τον όρο χημική διάβρωση εννοούμε την αντίδραση της επιφάνειας ενός μετάλλου με το υλικό που την περιβάλλει, χωρίς την επίδραση του νερού ή της υγρασίας. Στο χάλυβα, αλουμίνιο και χαλκό δεν σχηματίζεται αξιόλογη χημική διάβρωση, όταν ο αέρας είναι καθαρός και ξηρός και επικρατούν οι συνηθισμένες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Μόνο όταν η θερμοκρασία ανέλθει για παράδειγμα άνω των 600° C για τον χάλυβα, τότε αυτός προσβάλλεται ταχύτατα από τον ξηρό αέρα. Επίσης, το αλουμίνιο και ο χαλκός εμφανίζουν χημική διάβρωση, αλλά σε υψηλές θερμοκρασίες. Η χημική διάβρωση εμφανίζεται κατά την καμίνευση, ανάπτηση ή βαφή καθώς και στις συγκολλήσεις χάλυβα ως κάψιμο. Σε σχέση με την συνολική ζημία λόγω διαβρώσεως η χημική διάβρωση έχει μικρή σημασία.

### Ηλεκτροχημική διάβρωση

Το μεγαλύτερο ποσοστό των διαβρώσεων που εμφανίζονται στην πράξη προκαλείται από ηλεκτροχημικά αίτια. Αυτά οδηγούν για παράδειγμα τον χάλυβα σε σκωρία, όταν τα εξαρτήματα βρίσκονται στην ύπαιθρο. Για να υπάρχει η ηλεκτροχημική διάβρωση θα πρέπει να υπάρχει ένα ηλεκτρικά αγώγιμο υγρό ο ηλεκτρολύτης. Στον υπαίθριο χώρο υπάρχει παντού, σαν λεπτό στρώμα υγρασίας επάνω στις μεταλλικές επιφάνειες. Τα δύο σπουδαιότερα είδη διαβρώσεως είναι η διάβρωση από το οξυγόνο και η διάβρωση από σχηματισμό διαβρωτικό στοιχείων.

1. **Διάβρωση από οξυγόνο:** Οι υγρές επιφάνειες των χαλύβδινων εξαρτημάτων προσβάλλονται από διάβρωση με το οξυγόνο. Τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα σ' αυτήν την περίπτωση μπορεί να παρακολουθήσει κανείς σε μία επιφάνεια του υλικού, η οποία καλύπτεται από μια σταγόνα νερού. Τα ιόντα  $Fe^{3+}$ ,  $DH^{-}$  και το διαλυμένο οξυγόνο αντιδρούν στο νερό και σχηματίζεται σκωρία  $FeOOH$ . Αυτό το φαινόμενο επαναλαμβάνεται στον οξειδούμενο χάλυβα σε άπειρες θέσεις. Αρχικά σχηματίζεται η σκωρία σαν κηλίδες στην επιφάνεια, αλλά με την εξέλιξη της διάβρωσης καλύπτει ολόκληρη την επιφάνεια σαν μια συνεχής στρώση. Η επιφάνεια του χάλυβα καταστρέφεται από την διάλυση του σιδήρου και την αύξηση της σκωρίας. Η στρώση της σκωρίας εξαπλώνεται ελεύθερα στην επιφάνεια. Δεν

σχηματίζει προστατευτική στιβάδα. Κάτω από το στρώμα της σκωρίας, η διάβρωση συνεχίζεται.

## 2. Μορφές εμφάνισης της διάβρωσης:

Η διάβρωση μπορεί να εμφανιστεί με διάφορες μορφές ανάλογα με το προσβαλλόμενο υλικό, την αιτία της διαβρώσεως και το είδος του δραστικού υλικού.

1. Ομοιόμορφη επιφανειακή διάβρωση: χαρακτηρίζεται από μια προσβολή, η οποία δρα σαν να υπάρχει μια ομοιόμορφη αφαίρεση επιφάνειας. Η προσβολή προχωρεί με σταθερή ταχύτητα. Έτσι, γίνεται μία πρόβλεψη και από αυτό είναι σχετικά ακίνδυνη.
2. Διάβρωση κοιλωμάτων και οπών: Προσβάλλεται το υλικό κατά προτίμηση σε ορισμένες θέσεις. Εκεί, δημιουργούνται κοιλώματα και βαθιές οπές. Αυτό το είδος διαβρώσεως εμφανίζεται κατά την επαφή χάλυβα κατασκευών με αλατόνερο. Η διάβρωση αυτή είναι πολύ επικίνδυνη.
3. Διάβρωση λόγω επαφής: Εμφανίζεται κατά την επαφή δύο εξαρτημάτων από διαφορετικά υλικά. Εκεί δημιουργείται ένα διαβρωτικό στοιχείο με αποτέλεσμα την διάλυση του ευγενούς μετάλλου. Αυτό το είδος διάβρωσης είναι πολύ επικίνδυνο, διότι δρα κατά προτίμηση στις θέσεις συνδέσεως.
4. Διάβρωση λόγω σχισμής και εξαερισμού: Εμφανίζεται εκεί όπου στο υγρό του καταλύτη υπάρχουν διαφορετικές συγκεντρώσεις οξυγόνου.
5. Κρυσταλλική διάβρωση: Επεκτείνεται η διάβρωση κατά μήκος τριχοειδών ρωγμών μέσα στο υλικό. Μπορεί να δρα επιλεκτικά κατά μήκος των ορίων των κόκκων ή μέσα από τους κρύσταλλους. Είναι επικίνδυνη διότι απ' έξω δεν αναγνωρίζεται.
6. Διάβρωση λόγω ρωγμών από τάσεις και ταλαντώσεις: Προσβάλλονται εξαρτήματα, τα οποία είναι εκτεθειμένα σε ισχυρές τάσεις ή ταλαντώσεις. Προκαλούνται ρωγμές διαβρώσεως μέσα από τους κρυστάλλους. Αυτή η διάβρωση ευνοείται από την επαφή με διαλύματα αλάτων ή οξέων.

## 6.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΒΡΩΣΕΩΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η συμπεριφορά έναντι της διαβρώσεως των υλικών έχει γι' αυτόν που κατεργάζεται τα μέταλλα μεγάλη σημασία. Η μεγάλη εξασφαλίζεται με την εκλογή του κατάλληλου υλικού για την συγκεκριμένη εφαρμογή και, αντίστοιχα, με την εφαρμογή της ορθής αντιδιαβρωτικής προστασίας.

Ο καθαρός χάλυβας έχει ελάχιστη αντιδιαβρωτική αντοχή. Είναι ανθεκτικός στη διάβρωση μόνο σε θερμαινόμενους χώρους με λιγότερη από 60% υγρασία αέρα. Στον εξωτερικό χώρο ο καθαρός χάλυβας διαβρώνεται πολύ. Ακόμη μεγαλύτερη διάβρωση από αυτήν στον καθαρό αέρα, παθαίνει ο χάλυβας, όταν είναι εκτεθειμένος σε ακάθαρτο αέρα εξαερισμών, βιομηχανικό ή θαλασσινό αέρα ή σε γλυκό ή θαλασσινό νερό.

Οι συνηθισμένοι κραματοχάλυβες με μικρό βαθμό προσμίξεων, έχουν λίγο καλύτερη ανθεκτικότητα στην διάβρωση από τον καθαρό χάλυβα. Για χρήστες σε εξωτερικούς χώρους μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα παραπάνω είδη χαλύβων ανόμως, προστατευθούν κατάλληλα από την διάβρωση.

Οι ανθεκτικοί στις καιρικές συνθήκες χάλυβες μπορούν με περιορισμούς χωρίς αντιδιαβρωτική προστασία, να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικούς χώρους. Παθαίνουν βέβαια διάβρωση, αλλά η απώλεια υλικού λόγω της διαβρώσεως είναι τόσο μικρή ώστε τα εξαρτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνεχώς για πολλά χρόνια. Πολλές φορές όμως η διαβρωμένη τους επιφάνεια είναι ενοχλητική.

Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου: Αυτά είναι εν γένει ανθεκτικά στη διάβρωση, επειδή τα υλικά αλουμινίου σχηματίζουν στην επιφάνειά τους μια αντιδιαβρωτική στιβάδα από οξείδιο. Μεγάλη αντίσταση στην διάβρωση παρουσιάζουν το καθαρό αλουμίνιο και τα κράματά τους με μαγνήσιο, μαγγάνιο και πυρίτιο. Μικρή αντοχή στη διάβρωση έχουν τα κράματα αλουμινίου με πρόσμιξη χαλκού.

Ο Χαλκός: Είναι πολύ ανθεκτικός στη διάβρωση. Στην διάρκεια ετών σχηματίζεται στην επιφάνειά του μια προστατευτική στιβάδα, η πατίνα, η οποία είναι αρχικά καφέ και με την πάροδο των χρόνων γίνεται πράσινη, έχει διακοσμητική εμφάνιση. Ο ορείχαλκος και ο μπρούντζος έχουν όμοια αντίσταση στην διάβρωση. Ακόμη ανθεκτικότερος είναι ο νεάργυρος.

Ο ψευδάργυρος: Είναι ένα μη ευγενές μέταλλο. Σχηματίζει όμως στην ατμόσφαιρα μια φυσική προστατευτική στιβάδα από ανθρακικό ψευδάργυρο. Η στιβάδα αυτή προκαλεί την βραδεία διάβρωση του ψευδάργυρου. Η απώλεια υλικού λόγω διαβρώσεως είναι ομοιόμορφη. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ο ψευδάργυρος ως προστατευτική επίστρωση στις χαλύβδινες κατασκευές.

Ο κασσίτερος: Έχει επίσης καλή αντιδιαβρωτική προστασία. Η απώλεια υλικού κασσίτερου είναι μόνο 1,5μm περίπου ετησίως. Χρησιμοποιείται μόνο για εσωτερικές επικαλύψεις.

Το νικέλιο: Είναι ένα πολύ ανθεκτικό στην διάβρωση υλικό, ιδιαίτερα ως προς ορισμένα δραστικά χημικά, όπως οξέα, βάσεις και διαλύματα αλάτων.

Το χρώμιο: Σχηματίζει από τη φύση του μια σκληρή και συνεχώς στιβάδα. Χρησιμοποιείται ως τελευταία στρώση μιας τριπλής επιμετάλλευσης του χάλυβα, με τη σειρά, χαλκός – νικέλιο – χρώμιο. Εκτός αυτού, το χρώμιο χρησιμοποιείται πολύ και ως στοιχείο κράματος για χάλυβες ανθεκτικούς στην διάβρωση.

### **6.3 ΑΝΤΙΑΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

#### **Αντιδιαβρωτική προστασία χαλύβδινων αντικειμένων**

Ως συστήματα προστασίας από την διάβρωση του χάλυβα χρησιμοποιούνται:

1. Επιστρώσεις προστασίας από διάβρωση όπως το βάψιμο και η λακ από μία έως τέσσερις στρώσεις.
2. Μεταλλικές επικαλύψεις.
3. Μεταλλικές επικαλύψεις και επιπλέον ένα ή δύο βαψίματα.

Για να έχουν τα συστήματα προστασίας πλήρη αποτελέσματα, πρέπει να πληρούνται και κάποιες προϋποθέσεις ως προς την προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας.

#### **Αντιδιαβρωτική προστασία αντικειμένων από αλουμίνιο**

Η σημασία του αλουμινίου στην οικοδομική βασίζεται εκτός από το μικρό του βάρος και στην αντοχή του και στις καιρικές συνθήκες. Το αλουμίνιο από τη φύση του είναι ένα αρκετά στη διάβρωση ανθεκτικό υλικό για το λόγω του ότι εμφανίζεται στην

επιφάνειά του μια στιβάδα οξειδίου με ισχυρή πρόσφυση. Δύο καθιερωμένες μέθοδοι για την αντιδιαβρωτική προστασία του αλουμινίου, είναι η ανοδική οξείδωση και η βαφή με χρώμα, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε μολυσμένες ή δραστικές ατμόσφαιρες, για λιγότερο ανθεκτικά κράματα αλουμινίου.

### **Αντιδιαβρωτική προστασία του οπλισμού στο σκυρόδεμα**

Προκειμένου να αντιμετωπισθεί η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα, η οποία οφείλεται είτε σε ενανθράκωση είτε στην είσοδο κάποιων χλωριόντων στο σκυρόδεμα, η σημερινή τεχνολογία προσφέρει διάφορες λύσεις, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το κόστος εφαρμογής, αλλά και από τους διαφορετικούς χρόνους επέκτασης της διάρκειας ζωής της κατασκευής.

Η ποιότητα του σκυροδέματος ασκεί σημαντικό ρόλο στην αντίσταση κατά της διάβρωσης. Η ποιότητα του σκυροδέματος εξαρτάται κυρίως από:

- Την ποιότητα και τη σωστή κοκκομετρική διαβάθμιση των σκύρων.
- Την ποιότητα και το είδος του τσιμέντου.
- Την ποσότητα του νερού στην παρασκευή του σκυροδέματος.

Βασικός σκοπός της αντιδιαβρωτικής προστασίας είναι ο περιορισμός των κενών του σκυροδέματος. Ως προς τα σκύρα, στόχος είναι να μην υπάρχουν κενά στη μάζα τους, δηλαδή να μην είναι πορώδη. Όσον αφορά τις κατασκευές επιβάλλεται η επικάλυψη του σιδηρού οπλισμού να είναι όχι μικρότερη των 6 εκατοστών και άνω. Για περισσότερη και πιο αποτελεσματική προστασία του σιδηρού οπλισμού η σημερινή τεχνολογία προσφέρει τα εξής είδη προστασίας:

- Καθοδική προστασία, προσθήκη από σκυρόδεμα αναστολέων διάβρωσης, χρήση επικαλύψεων και χρήση ανοξειδωτων χαλύβων.

### **Καθοδική προστασία**

Η αντιμετώπιση του σχηματισμού των γαλβανικών στοιχείων, όταν αυτά έχουν ήδη σχηματιστεί και προξενήσει βλάβες είναι αρκετά δύσκολη. Εάν έχει σχηματιστεί ένα γαλβανικό μακροστοιχείο λόγω της διάχυσης των χλωριόντων και η διάβρωση έχει ήδη προχωρήσει, η κάλυψη του οπλισμένου σκυροδέματος με μανδύα δεν προσφέρει κάποια



προστασία. Στην περίπτωση αυτή η μέθοδος της καθοδικής προστασίας, βοηθάει αισθητά. Βασίζεται στην ύπαρξη πηγής συνεχούς ρεύματος και βοηθητικής ανόδου. Η μέθοδος της καθοδικής προστασίας, έχει τη δυνατότητα να μηδενίσει την διάβρωση του οπλισμού. Εφαρμόζεται είτε σε κατασκευαζόμενες είτε σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές.

#### **6.4 ΑΝΑΣΤΟΛΕΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ**

Οι Αναστολείς διάβρωσης στηρίζονται στη δημιουργία ενός λεπτού χημικού μονομοριακού ή διμοριακού στρώματος στην επιφάνεια του χάλυβα. Το στρώμα αυτό λειτουργεί ως ένα φυσικό εμπόδιο έναντι των διαβρωτικών στοιχείων του περιβάλλοντος. Οι αναστολείς διάβρωσης κατατάσσονται σε ανοδικούς, καθοδικούς και μικτούς. Στο εμπόριο κυκλοφορούν σε υγρή κατάσταση προϊόντα. Η εφαρμογή της μεθόδου είναι πιο φτηνή από την καθοδική προστασία.

#### **Οργανικές επικαλύψεις**

Η χρήση των διάφορων οργανικών προστατευτικών επικαλύψεων πάνω στο σκυρόδεμα είναι μια πολύ συνηθισμένη μέθοδος προστασίας, κυρίως σε κατασκευές μεγάλης κλίμακας, όπου η μακροχρόνια ανθεκτικότητα της κατασκευής και η καλή λειτουργία της είναι βασικοί παράγοντες. Οι επικαλύψεις αυτές λειτουργούν στο φράγμα μεταξύ του σκυροδέματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος, το οποίο περιέχει βλαβερά για το σκυρόδεμα στοιχεία όπως είναι τα άλατα χλωρίου, το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του άνθρακα. Ωστόσο για να μπορέσουν οι επικαλύψεις αυτές να προστατέψουν επιτυχώς το σκυρόδεμα θα πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Θα πρέπει να:

- Έχουν καλή συνάφεια με το σκυρόδεμα.
- Να είναι ανθεκτικά στην υψηλή αλκαλικότητα του σκυροδέματος.
- Να μπορούν να διεισδύουν στους πόρους και στις ρωγμές.
- Να έχουν καλή αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία.
- Να παρεμποδίζουν την είσοδο του νερού.
- Να επιτρέπουν την διέλευση υδρατμών.

### **Ανοξειδωτοι χάλυβες**

Η χρήση ανοξειδωτων χάλυβων οπλισμού σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος σε όλο τον κόσμο, αλλά και στην Ελλάδα, θεωρείται πως αποτελεί μία αξιόπιστη λύση. Η βασική τους ιδιότητα είναι η μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση, ακόμη και όταν βρίσκονται και στο πιο δραστικό περιβάλλον, που θα κατέστρεφε τους κοινούς χάλυβες.

Υπάρχουν πάνω από 60 κατηγορίες ποιότητας ανοξειδωτων χάλυβων. Η επιλογή είναι θέμα σχεδιασμού και εξαρτάται από την επιζητούμενη κατά περίπτωση αντίσταση στη διάβρωση, τις αναγκαίες μηχανικές αντοχές και το κόστος. Λόγω της υψηλής τιμής των ανοξειδωτων χάλυβων, γίνεται μερική αντικατάσταση του οπλισμού. Έτσι δημιουργούνται γαλβανικά στοιχεία μεταξύ ανοξειδωτων και συμβατικών χάλυβων.

### **6.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Οι μέθοδοι προστασίας του οπλισμού από την διάβρωση που προαναφέραμε, προσφέρουν διαφορετικούς χρόνους ζωής, έχουν διαφορετικό κόστος εφαρμογής και κυρίως χρειάζονται κάποιες βασικές προϋποθέσεις για την επιτυχή εφαρμογή τους:

- Απαραίτητη προϋπόθεση για την προστασία του σιδηροπλισμού είναι η σωστή παρασκευή του σκυροδέματος σύμφωνα με τους κανόνες διεθνούς ισχύος που επιβάλλονται από τους κανονισμούς.
- Η μέθοδος της καθοδικής προστασίας παρέχει την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της κατασκευής, η οποία μπορεί να φθάσει έως και 500 χρόνια. Όμως είναι σχετικά ακριβή λύση και για την σωστή εφαρμογή της απαιτείται σωστή αναλογία μεταξύ της επιφάνειας των ανόδων και της επιφάνειας του οπλισμού.
- Η μέθοδος των αναστολέων διάβρωσης θεωρείται η πιο απλή αφού δεν απαιτείται κάτι το ιδιαίτερο εκτός από την αρχική ανάμιξη του αναστολέα διάβρωσης στο σκυρόδεμα. Είναι αρκετά πιο οικονομική λύση από την καθοδική προστασία και προσφέρει τον διπλασιασμό του χρόνου ζωής μιας κατασκευής. Για την επιτυχημένη εφαρμογή της συνιστάται η σωστή προσθήκη ποσότητας αναστολέα διάβρωσης στο σκυρόδεμα.
- Η μέθοδος των οργανικών επικαλύψεων θεωρείται μια απλή και φθηνή λύση. Βασική προϋπόθεση για την σωστή εφαρμογή της είναι η χρήση του κατάλληλου

υποστρώματος πριν εφαρμοστεί η επικάλυψη. Η παράλειψη της χρήσης υποστρώματος προκαλεί αποκόλληση του χρώματος από την επιφάνεια του σκυροδέματος και αστοχία της επικάλυψης.

- Η χρήση των ανοξειδωτων χαλύβων είναι μια καλή, αλλά σχετικά ακριβή λύση για την προστασία της διάβρωσης του οπλισμού. Για το λόγο αυτό, συνήθως προτιμάται η μερική αντικατάσταση του οπλισμού στις πιο επικίνδυνες περιοχές από θέμα διάβρωσης του κτιρίου.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή εργασία κάθε φοιτητή, έχει ιδιαίτερη σημασία, τόσο γιατί επιστεγάζει τις προσπάθειές του, όσο και γιατί σηματοδοτεί το ξεκίνημα της επαγγελματικής του πλέον ενασχόλησης με την επιστήμη του πολιτικού μηχανικού. Στα πλαίσιά της είχαμε την ευκαιρία να πλουτίσουμε τις γνώσεις μας και τις εμπειρίες μας.

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας προς τον κ. Βαρελίδη και τον κ. Αραποστάθη, επόπτες μας στην εργασία καθώς και τις οικογένειές μας για την υποστήριξη και την βοήθειά τους.

ΙΟΥΝΙΟΣ 2008

Γκοτσοπούλου Ιωάννα

Κρεμαστιώτη Αικατερίνη

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Παπανικολάου Γιώργος, Μουζάκης Διονύσης, «ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ», Κλειδάριθμος, 2007
- [2] Τριανταφύλλου Αθανάσιος, «ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ», Πάτρα 2004, 2<sup>η</sup> έκδοση
- [3] Δρίτσος Στέφανος, «ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ», Πάτρα 2001, 2<sup>η</sup> έκδοση
- [4] Κων. Σπυράκος, “Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία”. Εκδόσεις Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα 2004
- [5] Τριανταφύλλου Θ., “Νέα Τεχνική Ενίσχυσης Στοιχείων Οπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά: διαδικασία ανάλυσης και διαστασιολόγησης”, Πρακτικά 13<sup>ου</sup> Ελληνικού συνεδρίου σκυροδέματος, Τομ.1, 1999.
- [6] Τσώνος Α., Γεωργιάδου Σ. “Προσεισμική και Μετασεισμική Ενίσχυση Δομικών Υποσυνόλων Οπλισμένου Σκυροδέματος με χρήση Σύνθετων Υλικών ‘’, Πρακτικά 13<sup>ου</sup> Ελληνικού συνεδρίου σκυροδέματος, Τομ.1, 1999.
- [7] ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ, 4<sup>η</sup> έκδοση 2001-Θανάσης Τριανταφύλλου κεφ.7.6 Διάβρωση των Μετάλλων και Προστασία.
- [8] DAMIAN I. KACHLAKEV, Ph.D., P.E., California Polytechnic State University San Luis Obispo, “STRENGTHENING STRUCTURES USING FRP COMPOSITE MATERIALS”.
- [9] ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΥΛΙΚΑ, Εισήγηση στην ημερίδα του ΤΕΕ, 6 Νοεμβρίου 2007. Μπάτης Γ. Καθηγητής ΕΜΠ
- [10] SP Guide to composites
- [11] Πειραματικές μέθοδοι ελέγχου μηχανικής συμπεριφοράς αφρώδων υλικών, ΑΘΗΝΑ 2003- Γράψας Βασίλειος
- [12] Ενίσχυση υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα μέσω υφάσματος με ίνες άνθρακα- Ε.ΛΑΜΠΙΡΙΝΟΥ, ΑΘΗΝΑ 1998
- [13] Περιοδικό αρχιτεκτονικής και τεχνολογίας ΥΛΗ & ΚΤΙΡΙΟ τεύχος Ιούλιος- Σεπτέμβριος 2006

- [14] Τεχνικός οδηγός εφαρμογής-Έτοιμη σοβάδες, από εταιρίες KNAUF,INTERMIX,isomat,στην έκθεση οικοδομικών υλικών που διεξήχθη τον Απρίλιο 2008 στο πρώην ανατολικό αεροδρόμι
- [15] Τεχνικό περιοδικό ΚΤΙΡΙΟ,Επισκευή και ενίσχυση κατασκευών με σύνθετα υλικά.
- [16] Τσώνος Α.Γ, Στυλιανίδης Κ.Α ‘Σύγκριση Αποδοτικότητας Μετασεισμικής Ενίσχυσης Κόμβου με FRP με την Αποδοτικότητα Ενίσχυσης με Μανδύα από Οπλισμένο Σκυρόδεμα’, Πρακτικά Α’ Ελληνικού Συνεδρίου Σύνθετων Υλικών Σκυροδέματος, Ξάνθη 2000.

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- [17] [www.epoxysystems.com](http://www.epoxysystems.com)
- [18] [www.sintecno.com](http://www.sintecno.com)
- [19] [www.wiwa.de](http://www.wiwa.de)
- [20] [www.nakos.com](http://www.nakos.com)
- [21] [www.saint-gobainvetrotex.com](http://www.saint-gobainvetrotex.com)
- [22] [www.jecomposites.com](http://www.jecomposites.com)
- [23] [www.leewens.com/carbon\\_fiber.htm](http://www.leewens.com/carbon_fiber.htm)
- [24] [http://georgepehli.googlepages.com/Metallicfoams\\_article.pdf](http://georgepehli.googlepages.com/Metallicfoams_article.pdf)
- [25] [www.ktirio.gr](http://www.ktirio.gr)
- [26] [www.eta-sa.gr/products.htm](http://www.eta-sa.gr/products.htm)
- [27] [www.truesdellcorp.com](http://www.truesdellcorp.com)
- [28] [www.tfhr.gov/pubrds/03nov/07.htm](http://www.tfhr.gov/pubrds/03nov/07.htm)