



*ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ*

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ
ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ»*

ΒΡΟΝΤΟΥ ΜΑΡΘΑ

ΚΟΥΡΝΕΤΑ ΔΑΝΑΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΛΕΚΤΟΡΑΣ

ΑΥΤΟΥΣΜΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Τίτλος
Διπλωματικής Εργασίας:

**ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή:



Αντώνιος Κυριαζόπουλος

Καθηγητής
Επιβλέπων

Τριαντ.-Φίλης Κόκκινος

Αναπληρωτής Καθηγητής
Μέλος

Νικόλαος Πνευματικός

Αναπληρωτής Καθηγητής
Μέλος

Ιούνιος 2021, ΑΙΓΑΛΕΩ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι ΒΡΟΝΤΟΥ ΜΑΡΘΑ του ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ, με αριθμό μητρώου 44368410226 και ΚΟΥΡΝΕΤΑ ΔΑΝΑΗ του ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ, με αριθμό μητρώου 44547540 φοιτητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

«Είμαστε συγγραφείς της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών, που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγράφει από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματος μας».

Ο Δηλών



Ο Δηλών



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

«Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαιτέρως τον κ. Αυτουσμή Αθανάσιο για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγησή του στην εκπόνηση και ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.»

«Θα ήταν παράλειψή μας να μην ευχαριστήσουμε τα μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής για την αξιολόγηση της διπλωματικής εργασίας μας, τον κ. Κόκκινο Τριαντάφυλλο, τον κ. Κυριαζόπουλο Αντώνη και τον κ. Πνευματικό Νίκο αλλά και τους καθηγητές που όλα αυτά τα χρόνια συνέβαλαν στην επιμόρφωσή μας.»

«Τέλος, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για τη στήριξή τους.»

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	16
1.1	Γενικά	16
1.2	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	17
	Α) Ευρωπαϊκό Κανονιστικό πλαίσιο δομημάτων από σκυρόδεμα	17
	Β) Πρότυπα και τεχνικές προδιαγραφές υλικών παρασκευής σκυροδέματος	19
1.3	ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	20
1.4	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	21
1.5	ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	24
	Α) Τσιμέντο	24
	i. Ιστορικό	25
	ii. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	26
	iii. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	29
	iv. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	31
	Β) Νερό	33
	Γ) Αδρανή	34
	Δ) Πρόσθετα	36
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΙΔΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ	39
2.1	ΕΙΔΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	39
	Α) ΎΓΧΥΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΟΓΚΟΥ	39
	Β) ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	40
	Γ) ΣΚΥΡΟΤΣΙΜΕΝΤΟΠΗΓΜΑ	40
	Δ) ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	41
	i. Εισαγωγή & Ορισμοί	41
	ii. Ιστορία & χρήσεις του εκτοξευόμενου σκυροδέματος	44
	iii. Συστατικά εκτοξευόμενου σκυροδέματος	46
	iv. Σύνθεση	47
	v. Μέθοδος ξηρής ανάμιξης	50
	vi. Μέθοδος υγρής ανάμιξης	52
	vii. Απαιτήσεις προσωπικού- εξοπλισμός	54
	viii. Προετοιμασία επιφάνειας διάστρωσης	55
	ix. Η διαδικασία της εκτόξευσης	57

x.	Διαμόρφωση τελικής επιφάνειας.....	58
xiii.	Παραδείγματα υλικών εκτοξευόμενου σκυροδέματος.....	58
xiv.	Μηχανήματα εκτόξευσης σκυροδέματος	60
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΕΣ ΚΟΛΛΕΣ & ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΡΩΓΜΩΝ	62
3.1	ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΕΣ ΚΟΛΛΕΣ	62
3.2	ΕΠΟΞΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ.....	64
A)	Γενικά.....	64
B)	Ιστορικά Στοιχεία	64
Γ)	Παραγωγή	65
Δ)	Χρήσεις Εποξειδικής Ρητίνης.....	65
E)	Τύποι Εποξικών Ρητινών.....	66
ΣΤ)	Χρόνος επεξεργασίας	66
Ζ)	Μέτρα ασφαλείας	68
3.3	ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ	68
A)	Γενικά.....	68
B)	Πλεονεκτήματα	69
Γ)	Μειονεκτήματα	69
Δ)	Τύποι πολυεστερικών ρητινών	70
E)	Οδηγίες για τη χρήση πολυεστερικής ρητίνης.....	70
3.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗΣ - ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ	71
3.5	ΡΩΓΜΕΣ	72
A)	Γενικά.....	72
3.6	Η μέθοδος των ρητινενέσεων	73
A)	Γενικά.....	73
B)	Η μέθοδος των ρητινενέσεων συγκριτικά με άλλες μεθόδους επισκευής ρωγμών ..	74
Γ)	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα της τεχνικής των ρητινενέσεων	75
Δ)	Η διαδικασία της εφαρμογής της τεχνικής των ρητινενέσεων	76
E)	Εξοπλισμός.....	78
ΣΤ)	Παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία της τεχνικής	80
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ, ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	81
4.1	Μανδύες	81
A)	Ορισμός μανδύων.....	81
i.	Υποστυλώματα.....	81
ii.	Δοκοί	82
iii.	Άγκιστρα κλωβών	83

iv.	Τοιχώματα	83
4.2	Πλεονεκτήματα της χρήσης των μανδύων	84
	A) Βλήτρα	84
	B) Αγκύρια	85
4.3	Επισκευαστικά Κονιάματα.....	86
	A) Πρώτες ύλες	86
i.	Κονιάματα με βάση το τσιμέντο	86
ii.	Κονιάματα με βάση την ρητίνη.....	87
	B) Τεχνικές εφαρμογής	87
4.4	Ινοπλισμένα πολυμερή	88
4.5	Χαλύβδινα επικολλήτα ελάσματα	88
	A) Πλεονεκτήματα	88
	B) Μειονεκτήματα.....	89
4.6	Η τεχνική προέντασης για την ενίσχυση κατασκευών	89
	A) Επισκευή και ενίσχυση μελών πλαισιακού φορέα.....	90
i.	Δοκοί	90
ii.	Πλάκες.....	91
iii.	Ενίσχυση Δυσκαμψίας πλαισίου	91
5.....		92
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	93
5.1	Εισαγωγή.....	93
5.2	Ορισμός των σύνθετων υλικών	94
5.3	Ταξινόμηση των σύνθετων υλικών	95
5.4	Υλικά ινών.....	95
	A) Ίνες γυαλιού	95
	B) Ίνες άνθρακα	96
	Γ) Ίνες πολυαραμίδης.....	97
	Δ) Μεταλλικές ίνες.....	98
	E) Κεραμικές ίνες.....	99
	Z) Ίνες φυσικών ορυκτών.....	99
5.5	Συνολικά οι ίνες.....	100
5.6	Μήτρα.....	100
	A) Η Ρητίνη ως μήτρα.....	101
5.7	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σύνθετων υλικών	102
5.8	Σύνθετα υλικά για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών.....	102

5.9	Συμπεριφορά συνθετών υλικών σε διαφορετικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες	
	106	
	A) Συμπεριφορά σε υδάτινο περιβάλλον	107
	Γ) Υπεριώδης ακτινοβολία	108
	Δ) Αλκαλικό και όξινο περιβάλλον	108
	E) Γαλβανική διάβρωση	108
	ΣΙ) Ερπυσμός	108
	Z) Θραύση και διάβρωση υπό τάση	109
	H) Κόπωση	109
	Θ) Κρούση	109
5.10	Αξιολόγηση τύπου ινών	110
5.11	Σύνθετα υλικά στην Ελλάδα	110
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ		
	111
6.1	Μέθοδος εφαρμογής των ινοπλισμένων πολυμερών	111
	A) Προσωπικό-Εξοπλισμός	111
	B) Υλικά προεργασιών	111
	Γ) Διακίνηση και αποθήκευση των υλικών	111
	Δ) Σύμφυση και Επαφή Διεπιφανειών	112
	E) Προετοιμασία επιφάνειας σκυροδέματος	112
	ΣΤ) Στάδια εφαρμογής σύνθετων υλικών	115
6.2	Συστήματα ενίσχυσης	115
	A) Συστήματα υγρής εφαρμογής	116
	B) Προκατασκευασμένα υλικά	117
6.3	Τεχνικές εφαρμογής	117
	A) Βασική τεχνική	117
	B) Ειδικές Τεχνικές	117
	i. Αυτοματοποιημένη περιτύλιξη	117
	ii. Εφαρμογή με προένταση	118
	iii. Επιταγυμένη σκλήρυνση με θέρμανση	119
	iv. Προκατασκευασμένα στοιχεία	119
	v. Εφαρμογή σε εγκοπές	119
6.4	Απαιτήσεις ποιοτικών ελέγχων	120
	A) Οπτικός έλεγχος	120
	B) Μηχανικός (κρουστικός) έλεγχος	121
	Γ) Επανελέγχοι διορθωτικά μέτρα	122

6.5	Εφαρμογές ενίσχυσης δομικών στοιχείων με ινοπλισμένα πολυμερή	122
	A) Περίσφιξη υποστυλώματος	122
	i. Πλαστιμότητα.....	123
	ii. Αριθμητικό παράδειγμα	125
	B) Ενίσχυση σε κάμψη.....	126
	Γ) Ενίσχυση σε κόμβους δοκών υποστυλωμάτων.....	128
	i. Αριθμητικό παράδειγμα	132
	Δ) Ενίσχυση τοιχοποιίας	133
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ.....	136
	ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	140

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
Πίνακας 1.1	http://paver.gr/images/texnika/prodiagrafes/kts16/KTS_2016.pdf
Πίνακας 1.2	Σημειώσεις για το εργαστηριακό μέρος του μαθήματος, Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος, ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΚΟΝΙΔΑΡΗΣ , ΑΘΗΝΑ 2001
Πίνακας 1.3	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α [Άρθρο 5]
Πίνακας 1.4	Τεχνολογία του σκυροδέματος, ΧΡΙΣΤΟΥ Μ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, ΤΡΙΤΗ ΕΚΔΟΣΗ
Πίνακας 2.1	«Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων», Α μέρος, Άρθρο του Στέφανου Η. Δρίτσου, Καθηγητή Πανεπιστημίου Πατρών
Πίνακας 2.2	«Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα » Στέφανος Η. Δρίτσος, Αναπλ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2005, γ΄ Έκδοση
Πίνακας 3.1	https://fluid-painting.com/en/epoxy-resin-guide/
Πίνακας 3.2	https://fluid-painting.com/en/epoxy-resin-guide/
Πίνακας 3.3	https://www.differencebetween.com/difference-between-polyester-resin-and-vs-epoxy-resin/
Πίνακας 3.4	«Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα » Στέφανος Η. Δρίτσος, Αναπλ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2005, γ΄ Έκδοση
Πίνακας 4.1	Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων, ΚΑΝ.ΕΠΕ 2 ^Η Θεώρηση 2017
Πίνακας 4.2	Λιοφάγος Ν. Ενίσχυση και επισκευή πλαισιακού φορέα με χρήση εξωτερικών τενόντων.17ο φοιτητικό συνέδριο: Επισκευές κατασκευών, Πάτρα 2011
Πίνακας 5.1	https://docplayer.gr/4776370-Syntheta-ylika-haraktirismos-kai-idiotites.html
Πίνακας 5.2	Αθ, Τ. (2004). Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με σύνθετα υλικά (ινοπλισμένα πολυμερή). Πανεπιστήμιο Πατρών 2η έκδοση.
Πίνακας 5.3	http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Syntheta_ilika.pdf
Πίνακας 5.4	http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Syntheta_ilika.pdf
Πίνακας 5.5	http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Syntheta_ilika.pdf

Πίνακας 5.6	Αθ, Τ. (2004). Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με σύνθετα υλικά (ινοπλισμένα πολυμερή). Πανεπιστήμιο Πατρών 2η έκδοση.
Πίνακας 6.1	Σπυράκος, Κ. (2004). Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία. ΤΕΕ, Αθήνα.
Πίνακας 6.2	http://sate.gr/html/pdfDocuments/14-01-08-01.pdf

ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
Σχεδιάγραμμα 2.1:	«ΕΚΤΟΞΕΥΟΝΤΑΣ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ», ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ, 9 ^ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών – 03», Μάρτιος 2003
Σχεδιάγραμμα 5.1	https://apothesis.lib.hmu.gr/bitstream/handle/20.500.12688/8097/ProkopakisGeorgios2017.pdf?sequence=1
Σχεδιάγραμμα 6.1	Σπυράκος, Κ. (2004). Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία. <i>ΤΕΕ, Αθήνα.</i>
Σχεδιάγραμμα 6.2	http://sate.gr/html/pdfDocuments/14-01-08-01.pdf

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται αναφορά στα υλικά και στις τεχνικές που κυριαρχούν μέχρι και σήμερα για την επισκευή και την ενίσχυση των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο τομέας των επισκευών και ενισχύσεων έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο εύρος παγκοσμίως και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα τεχνικά πεδία στην χώρα μας.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση σε ένα από τα βασικότερα υλικά που υπάρχουν στον κατασκευαστικό τομέα, το οποίο αποκαλείται «σκυρόδεμα». Για το υλικό αυτό καθίσταται πλήρως κατανοητό η μεγάλη σημασιολογία του στις κατασκευές, καθώς παρατίθενται παραπομπές σε κανονισμούς, στην ιστορική του αναδρομή, στην δομή και στις κατηγορίες του. Ειδικότερα, αναφέρονται η σύνθεση και η παρασκευή του καθώς επίσης, αναλύονται λεπτομερώς τα συστατικά από τα οποία αποτελείται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα ειδικά σκυροδέματα, δίνοντας έμφαση στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, όπου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα και χρήσιμα εργαλεία για τον Πολιτικό Μηχανικό όσον αφορά την εφαρμογή του. Εν συνεχεία, γίνεται η πλήρη ανάλυσή του, όσον αφορά τις χρήσεις του, τις μεθόδους ανάμιξης, τους απαραίτητους ελέγχους, όπου θα πρέπει να γίνονται για την καλύτερη ασφάλεια και απόδοση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και την αντιμετώπιση των πιθανών κινδύνων που μπορεί να παρουσιαστούν. Στο τέλος του κεφαλαίου, παρατίθενται η αναφορά των υλικών που χρησιμοποιούνται από σύγχρονες εταιρείες για τη δημιουργία του εκτοξευόμενου σκυροδέματος αλλά και ειδικών μηχανημάτων που υπάρχουν σήμερα για την εφαρμογή του.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφονται και αναλύονται οι πολυμερικές κόλλες, δηλαδή οι εποξικές και οι πολυεστερικές ρητίνες. Επιπροσθέτως, αναφέρονται οι ρωγμές και οι λόγοι εμφάνισής τους στο σκυρόδεμα καθώς επίσης γίνεται πλήρη ανάλυση της τεχνικής των ρητινενέσεων. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η μέθοδος, η διαδικασία εφαρμογής της παραπάνω τεχνικής, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αλλά και τον απαραίτητο εξοπλισμό της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στον κανονισμό επεμβάσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ, όπου αναφέρεται η αποτίμηση των υφιστάμενων δομημάτων, η λήψη αποφάσεων για επέμβαση αλλά και του ανασχεδιασμού. Ακόμη, αναφέρεται σε υλικά που συμβάλλουν στην ενίσχυση των κατασκευών, όπως είναι οι μανδύες. Τέλος, παρουσιάζονται διαδεδομένες τεχνικές, όπου δημιουργήθηκαν λόγω της μεγάλης ανάγκης για την επισκευή και την ενίσχυση γηραιών κατασκευών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο εισάγεται μια νέα τεχνολογία υλικών. Γίνεται εκτενής ανάλυση των σύνθετων υλικών όσον αφορά τις χρήσεις τους και τη σύνθεσή τους. Επιπροσθέτως, παρουσιάζεται η αναγκαία χρήση των σύνθετων υλικών στην ενίσχυση προβληματικών δομικών μελών αλλά και ο τρόπος που συμπεριφέρονται στους διαφορετικούς εξωτερικούς παράγοντες.

Καταλυτικά, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέθοδος εφαρμογής των ινοπλισμένων πολυμερών. Διεξάγεται εκτενώς, η διαδικασία εφαρμογής τους, το προσωπικό που απαιτείται αλλά και ο κατάλληλος εξοπλισμός. Σημαντικό είναι να αναφερθεί η παράθεση των ποιοτικών ελέγχων που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό. Τέλος, για την καλύτερη και ουσιαστικότερη κατανόηση των αναγνωστών παρατίθενται εφαρμογές και αναλύονται αριθμητικά παραδείγματα ενίσχυσης δομικών μελών με την χρήση ινοπλισμένων πολυμερών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η δημιουργία της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγινε έχοντας ως βασικό άξονα τη συνολική καταγραφή των υλικών αλλά και των τεχνικών που εφαρμόζονται μέχρι και σήμερα στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα για την επισκευή και την ενίσχυσή τους.

Αρχικά, μελετήθηκε το σκυρόδεμα και στη συνέχεια οι ειδικοί τύποι σκυροδέματος. Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη καταγραφή συμβατικών τεχνικών όπως είναι το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και η τεχνική των ρητινενέσεων. Στη συνέχεια, αναλύθηκε λεπτομερώς το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και ο τρόπος λειτουργίας του. Αναλυτικότερα, παρουσιάζονται πληθώρα υλικών που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω τεχνικές όπως είναι οι πολυμερικές κόλλες, διαφορετικά είδη ρητινών και τα επισκευαστικά κονιάματα.

Εν συνεχεία, παρουσιάζονται υλικά νέας τεχνολογίας όπως είναι τα σύνθετα υλικά. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκαν στα ινοπλισμένα πολυμερή καθώς και στις τεχνικές εφαρμογής τους στον τομέα των επισκευών και ενισχύσεων.

Τέλος, παρατίθενται αριθμητικά παραδείγματα επισκευών και ενισχύσεων καθώς και πληθώρα φωτογραφιών για την καλύτερη κατανόηση των αναγνωστών.

ABSTRACT

The purpose of this diplomat thesis is based on the overall record of materials and techniques applied to date in reinforced concrete structures for repair and reinforcement.

To begin with, it started with the research of concrete and various types of concrete. Most weight was on traditional techniques such as resin injection technique. Furthermore, analyzing the sprayed concrete and its functions. Specifically, are presented a huge variety of materials that are used in these techniques for example polymeric adhesives, various resins and repair mortars.

In addition presented new techniques such as composites Materials. More concretely were examined the fiber reinforced polymer and its applying techniques in the repair and reinforcement sector.

Finally we gave examples with calculations of the repairs and reinforcement, with numerous photos which concludes in the better understanding of the reader.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1.1 Γενικά

«Το σκυρόδεμα είναι δομικό υλικό που παρασκευάζεται με την ανάμειξη τσιμέντου, νερού, φυσικών αδρανών υλικών, και με την ενσωμάτωση πρόσθετων. Το όνομά του παραπέμπει σε μείγμα σκύρων (δηλαδή χαλικιών), με συνδετικά υλικά, όπως το τσιμέντο.» Το σκυρόδεμα προκύπτει θραύοντας τους φυσικούς λίθους (αδρανή) και συγκολλώντας τους μεταξύ τους με το τσιμέντο. [1]

Αποτελεί ένα τεχνητό υλικό με πολλές διαφορετικές και διευρυνόμενες ιδιότητες. Στην πιο βασική του μορφή, αποτελείται από ένα ομογενοποιημένο μείγμα ελεγχόμενων αναλογιών από τσιμέντο σε σκόνη, νερό, άμμο και σκύρα. Στην αρχή η μορφή του γίνεται ρευστή και στη συνέχεια με το πέρασμα του χρόνου σε συνδυασμό με τις εξωθερμικές χημικές διεργασίες παίρνει όψη στέρεης μορφής, έχοντας ως αποτέλεσμα να αποκτά φέρουσα ικανότητα. [2]



Εικόνα 1.1: Εφαρμογή σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα είναι το υλικό που συγκριτικά με όλα τα υπόλοιπα υλικά εμφανίζει την μεγαλύτερη χρήση τόσο στην χώρα μας όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο, με παγκόσμια κατανάλωση που ξεπερνά τα δέκα δισεκατομμύρια τόνους ετησίως. (Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Πάτρα 2013)

Αυτό οφείλεται στον εξαιρετικά ευνοϊκό συνδυασμό ιδιοτήτων και κόστους και πιο συγκεκριμένα στις παρακάτω βασικές του ιδιότητες: [2]

- Στην εξαιρετική συμπεριφορά του υλικού στο νερό, δηλαδή έχει μεγαλύτερη αντοχή στη δράση του νερού που δεν διατίθεται από άλλα δομικά υλικά.

Μάλιστα από τις πρώτες του ακόμη εφαρμογές αλλά μέχρι και σήμερα το σκυρόδεμα χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή έργων διαχείρισης του νερού.

- Επιπρόσθετα, μια άλλη ιδιότητα του σκυροδέματος είναι η ικανότητα του να παρέχει μεγάλη ευελιξία στην εφαρμογή όπως, η μεταφορά, η διάστρωση και η διακίνηση, έχει όμως και την δυνατότητα να μορφώνεται σε οποιοδήποτε επιθυμητό σχήμα. Συνεπώς, οι κατασκευές από σκυρόδεμα μπορούν να μορφώνονται σε μια τεράστια ποικιλία σχημάτων και μεγεθών.
- Το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό ιδιαίτερα φθηνό αλλά και ευέλικτο δομικό υλικό καθώς μπορεί να δημιουργηθεί εκείνη την ώρα ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που υπάρχουν.
- Είναι ένα υλικό όπου η διαθεσιμότητα των συστατικών του είναι άμεση και μεγάλη και απαιτείται σχετικά χαμηλή ενέργεια για την Παρασκευή του. *(Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Πάτρα 2013)*
- Το σκυρόδεμα επίσης, έχει μεγάλη θερμική αδράνεια με αποτέλεσμα σε ότι αφορά το ενεργειακό κόστος λειτουργίας των κατασκευών από σκυρόδεμα να γίνεται πιο αποδοτικό υλικό από ότι τα άλλα δομικά υλικά. Ακόμη, λόγω των ιδιοτήτων του μπορεί να κριθεί κατάλληλο υλικό σε περίπτωση της πυρκαγιάς.

Το σκυρόδεμα αν και είναι ένα υλικό με χαμηλό κόστος, επιτυγχάνει μεγάλη τεχνολογική ανάπτυξη, με στόχο την οικονομικότερη και μακροβιότερη διάρκεια ζωής των κατασκευών.

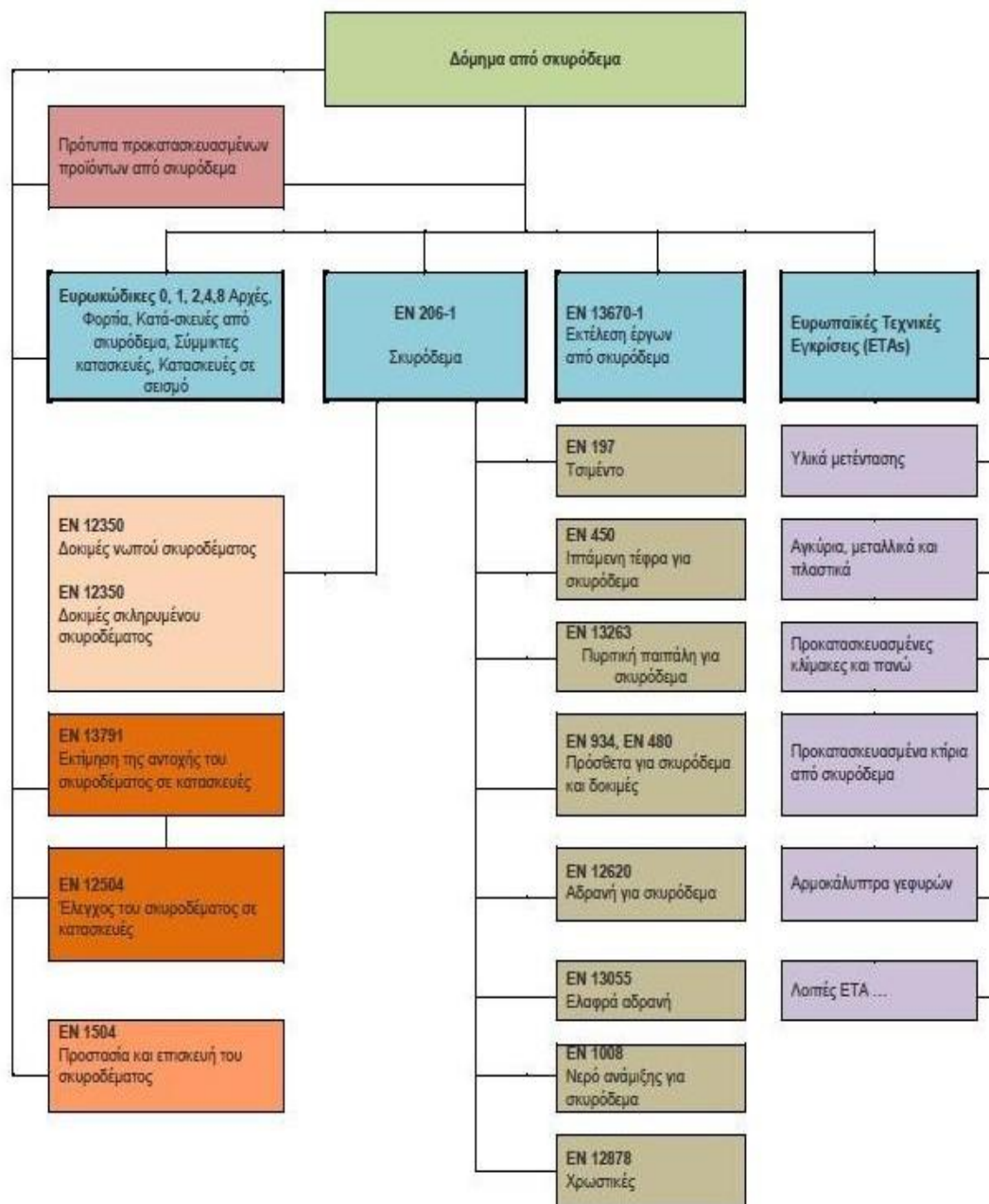
1.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

A) Ευρωπαϊκό Κανονιστικό πλαίσιο δομημάτων από σκυρόδεμα [3]

«Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία, αναγνωρίζονται οι παρακάτω Τεχνικές Προδιαγραφές:»

- «Τα Εναρμονισμένα Ευρωπαϊκά Πρότυπα (εκδίδονται από το CEN)»
- «Οι Ευρωπαϊκές Τεχνικές Εγκρίσεις. Εγκρίνονται από την ΕΟΤΑ με βάση τις Οδηγίες Ευρωπαϊκών Τεχνικών Εγκρίσεων (ETAGs), κατόπιν εντολής της CEN.»
- Οι Ευρωπαϊκές Τεχνικές Εγκρίσεις χωρίς Οδηγία (ETAG)

«Με βάση τα παραπάνω, το πλαίσιο Μελέτης και Εκτέλεσης Δομημάτων από σκυρόδεμα καθορίζεται από την παρακάτω δομή Τεχνικών Προδιαγραφών:»



Εικόνα 1.2: Πλαίσιο προτύπων και κανονισμών CEN για τα έργα από σκυρόδεμα.

«Στη χώρα μας, ο Κανονισμός που αυτή τη στιγμή διέπει την παραγωγή σκυροδέματος και την εκτέλεση των έργων από σκυρόδεμα είναι ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ '97) ΦΕΚ 315Β / 17-4-1997. Ο Κανονισμός αυτός ήδη βρίσκεται υπό αναθεώρηση από τη Διεύθυνση Κεντρικού Εργαστηρίου Δημοσίων Έργων του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, σε εναρμόνιση με το πρότυπο EN206 και το εθνικό προσάρτημά του (ΕΛΟΤ EN206-1:2000+NA και ΕΛΟΤ EN206+NA όταν αυτό περατωθεί).»

B) Πρότυπα και τεχνικές προδιαγραφές υλικών παρασκευής σκυροδέματος

«Από τον Κανονισμό Τεχνολογίας του Σκυροδέματος 2016 (ΚΤΣ-2016) §Α2.1 γίνονται οι παραπομπές στα εξής: Πρότυπα, Τεχνικές Προδιαγραφές και Κανονιστικά κείμενα.» [4]

ΥΛΙΚΟ	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΑ ΚΕΙΜΕΝΑ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΚΤΣ 1997	(ΦΕΚ 315 Β΄/17-4-1997) «Έγκριση Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος»
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΕΛΟΤ EN 206	«Σκυρόδεμα – Προδιαγραφή, επιδόσεις, παραγωγή και συμμόρφωση.»
ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΕΛΟΤ EN 197-1	«Τσιμέντο – Μέρος 1 : Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα.»
ΝΕΡΟ	ΕΛΟΤ EN 1008	«Νερό ανάμειξης σκυροδέματος – Προδιαγραφή για δειγματοληψία, έλεγχο και αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού, συμπεριλαμβανομένου του νερού που ανακτάται από διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος, για τη χρήση του ως νερό ανάμειξης σκυροδέματος.»
ΑΔΡΑΝΗ	ΕΛΟΤ EN 12620	«Αδρανή για σκυρόδεμα.»
ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ	ΕΛΟΤ EN 934-2	«Πρόσθετα σκυροδέματος κονιαμάτων και ενεμάτων – Μέρος 2 : Πρόσθετα σκυροδέματος – Ορισμοί, απαιτήσεις, συμμόρφωση, σήμανση και επισήμανση.»

Πίνακας 1.1: Πρότυπα και τεχνικές προδιαγραφές υλικών παρασκευής σκυροδέματος.

1.3 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η δομή του σκυροδέματος (τύπος, ποσότητα, μέγεθος, σχήμα και κατανομή των διαφόρων φάσεων) είναι εξαιρετικά ανομοιογενής και περίπλοκη. «Όπου ακόμη και σήμερα δεν έχουν γίνει πλήρως κατανοητές οι σχέσεις (δομής – ιδιοτήτων) του υλικού.» «Όμως, η κατανόηση των πιο βασικών στοιχείων της δομής του σκυροδέματος αποτελεί ιδιαίτερα απαραίτητη για να επεξηγηθούν οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τις σπουδαιότερες ιδιότητές του δηλαδή την αντοχή, την ελαστικότητα, τον ερπυσμό, τη συστολή, την ανθεκτικότητα σε διάρκεια και τη ρηγμάτωση.» [6]

“Με μία πρώτη μακροσκοπική εξέταση του υλικού (δηλαδή με γυμνό μάτι, διακρίνονται οι φάσεις με διαστάσεις περίπου μέχρι 0,2 mm) όπου δείχνει ότι το σκυρόδεμα αποτελείται από αδρανή (άμμος, χαλίκι, σκύρα) διαφορετικών σχημάτων και μεγεθών που είναι συγκολλημένα μεταξύ τους όπου περιστοιχίζονται από τον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό, δηλαδή το προϊόν της αντίδρασης του νερού με το τσιμέντο. Επίσης, η πολυπλοκότητα της δομής του σκυροδέματος φανερώνεται σε μικροσκοπικό επίπεδο (δηλαδή με παρατήρηση μέσω ηλεκτρονικού οπτικού μικροσκοπίου, οπότε επιτυγχάνεται μεγέθυνση μέχρι 10^5 περίπου), όπου παρουσιάζονται παρακάτω: [Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Πάτρα 2013]”

- Αρχικά, διακρίνεται μια τρίτη φάση, η οποία αποκαλείται μεταβατική ζώνη, με την οποία αντιπροσωπεύει την περιοχή της διεπιφάνειας μεταξύ των μεγάλων αδρανών και του τσιμεντοπολτού και έχει πάχος 10-50 μm περίπου. Η μεταβατική ζώνη είναι γενικά πιο ασθενείς από τα συστατικά του σκυροδέματος και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη μηχανική συμπεριφορά του.
- Στη συνέχεια, η κάθε μια από τις παραπάνω τρεις φάσεις είναι από τη φύση της πολυφασική. «Έχοντας ως παράδειγμα, τα αδρανή αποτελούνται από διάφορα ορυκτά, κενά και μικρορωγμές, ενώ ο τσιμεντοπολτός αλλά και η μεταβατική ζώνη αποτελούνται από διάφορους πόρους, στερεά σωματίδια και μικρορωγμές.»
- Τέλος, η δομή του σκυροδέματος δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται με την υγρασία του περιβάλλοντος, το χρόνο και τη θερμοκρασία.

Όσον αφορά το σκυρόδεμα είναι σημαντικό να αναφερθεί πως ιδιαίτερη σημασίας αποτελεί η αντοχή του σε θλίψη. Με αποτέλεσμα, ανάλογα με τη θλιπτική του αντοχή έχουμε και τις ακόλουθες κατηγορίες του σκυροδέματος που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.2). [ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΚΟΝΙΔΑΡΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2001]

Πίνακας 1.2: Κατηγορίες Σκυροδέματος [7]

Κατηγορία σκυροδέματος	Αντοχή στο έργο (MPa)	Κύλινδρος 15/30 (cm) f_{ck} (MPa)	Κύβος 15/15/15 (cm) f_{ck} (MPa)
C 8/10	12,9	8	10
C 12/15	18,0	12	15
C 16/20	23,0	16	20
C 20/25	28,2	20	25
C 25/30	33,2	25	30
C 30/37	40,4	30	37
C 35/45	48,6	35	45
C 40/50	53,5	40	50
C 45/55	58,8	45	55
C 50/60	63,7	50	60

1.4 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ [8]

Στην πιο απλή μορφή του, το σκυρόδεμα είναι ένα μείγμα σε μορφή πάστας και αδρανών, ή πετρωμάτων. Το μείγμα της πάστας αποτελείται από το τσιμέντο Πόρτλαντ (Portland) και το νερό, το οποίο καλύπτει την επιφάνεια των λεπτών (μικρών) αδρανών και χονδροειδών (μεγαλύτερων) αδρανών. Μέσω μιας χημικής αντίδρασης που ονομάζεται ενυδάτωση, η πάστα σκληραίνει και αποκτά μεγαλύτερη δύναμη για να σχηματίσει τη μάζα που μοιάζει με πέτρα γνωστή ως σκυρόδεμα.

Στα πλαίσια αυτής της διαδικασίας, βρίσκεται το κλειδί για ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του σκυροδέματος, το οποίο είναι: όταν αναμειχθεί στην αρχή γίνεται εύπλαστο και πλαστικό, ενώ γίνεται πιο ισχυρό και ανθεκτικό όταν σκληραίνει.

Αυτές οι ιδιότητες εξηγούν γιατί ένα υλικό, όπως το σκυρόδεμα, είναι ικανό για να κατασκευάσει ουρανοξύστες, γέφυρες και πεζοδρόμια. Επίσης, μπορεί να κατασκευάσει και υπερυψωμένους δρόμους, σπίτια και φράγματα.

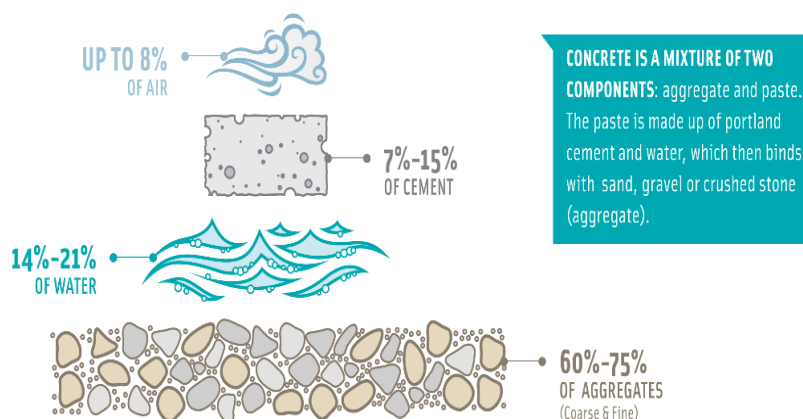
Πολύ σημαντικό είναι να αναφερθεί πώς για να πετύχουμε να έχουμε σαν αποτέλεσμα ένα ισχυρό και ανθεκτικό σκυρόδεμα χρειάζεται να δώσουμε έμφαση στην προσεκτική αναλογία και ανάμιξη των συστατικών. Για παράδειγμα ένα μείγμα που δεν έχει αρκετή πάστα για να γεμίσει όλα τα κενά μεταξύ των αδρανών θα είναι δύσκολο να τοποθετηθεί και θα παράγει τραχιές επιφάνειες και πορώδες σκυρόδεμα. Ενώ ένα μείγμα με περίσσεια τσιμέντου θα είναι εύκολο να τοποθετηθεί και θα παράγει μια λεία επιφάνεια. Ωστόσο, το σκυρόδεμα που προκύπτει δεν είναι οικονομικά αποδοτικό και μπορεί πιο εύκολα να σπάσει.

Η χημεία του τσιμέντου Πόρτλαντ ενεργοποιείται με την παρουσία του νερού. Δηλαδή, το τσιμέντο και το νερό σχηματίζουν μια πάστα που επικαλύπτει κάθε σωματίδιο πέτρας και άμμου. Μέσω μιας χημικής αντίδρασης που ονομάζεται ενυδάτωση, η τσιμεντένια πάστα σκληραίνει και γίνεται πιο ανθεκτική.

Η ποιότητα της πάστας καθορίζει το χαρακτήρα του σκυροδέματος. Η αντοχή της πάστας, με τη σειρά της, εξαρτάται από την αναλογία νερού προς τσιμέντο. Η αναλογία νερού-τσιμέντου είναι το βάρος του νερού ανάμιξης διαιρούμενο με το βάρος του τσιμέντου. Το σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας παράγεται μειώνοντας όσο το δυνατόν περισσότερο την αναλογία νερού-τσιμέντου χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργικότητα του νωπού σκυροδέματος, επιτρέποντάς του να τοποθετηθεί σωστά, καθώς επίσης να ενοποιηθεί και να σκληρύνει.

Ένα σωστά σχεδιασμένο μείγμα διαθέτει την επιθυμητή εργασιμότητα για το φρέσκο σκυρόδεμα και την απαιτούμενη αντοχή του καθώς επίσης την εξαιρετική ανθεκτικότητα και την αντοχή για το σκυρόδεμα που έχει σκληρύνει. Συνήθως, ένα μείγμα είναι περίπου 10 έως 15 τοις εκατό τσιμέντο (10-15%), 60 έως 75 τοις εκατό αδρανή (60-75%) και 15 έως 20 τοις εκατό νερό (15-20%). Ο εγκλωβισμένος αέρας σε πολλά μίγματα σκυροδέματος μπορεί επίσης να καταλάβει άλλα 5 έως 8 τοις εκατό (5-8%).

COMPONENTS OF CONCRETE



Εικόνα 1.3: Ποσοστά αναλογίας συστατικών μείγματος σκυροδέματος.

Ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την αντοχή του σκυροδέματος είναι οι ακαθαρσίες που μπορεί να υπάρξουν στο νερό. Γενικά, οποιοδήποτε φυσικό νερό που είναι πόσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το νερό ανάμιξης του σκυροδέματος. Συνεπώς, θα πρέπει να προσέξουμε στο νερό ανάμιξης να μην εμπεριέχονται πολλές

ακαθαρσίες καθώς, μπορούν να επηρεάσουν το χρόνο ρύθμισης και την αντοχή του σκυροδέματος. Ακόμη, μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση του οπλισμού, αστάθεια όγκου, χρώση και μειωμένη αντοχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, στις περισσότερες περιπτώσεις οι προδιαγραφές μείγματος του σκυροδέματος να θέτουν όρια στα θειικά άλατα, στα χλωρίδια, αλκάλια, και στερεά στο νερό ανάμειξης για να αποφευχθούν τα παραπάνω. Στην περίπτωση όπου πρέπει να γίνουν κάποιες δοκιμές για να προσδιοριστεί η επίδραση που έχουν οι ακαθαρσίες μέσα στο νερό για το τελικό σκυρόδεμα, τότε δεν εφαρμόζονται τα όρια των προδιαγραφών μείγματος σκυροδέματος.

Αν και στην πλειοψηφία το πόσιμο νερό είναι κατάλληλο για ανάμιξη σκυροδέματος, τα αδρανή επιλέγονται προσεκτικά. Τα αδρανή αποτελούν το 60 έως 75 τοις εκατό (60-70%) του συνολικού όγκου σκυροδέματος. Ο τύπος και το μέγεθος των αδρανών υλικών εξαρτάται από το πάχος και την χρησιμότητα του τελικού σκυροδέματος.

Σχετικά λεπτά τμήματα κτιρίου απαιτούν μικρά χονδροειδή αδρανή, αν και αδρανή έως και 6 ίντσες σε διάμετρο έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλα φράγματα. Η συνεχής διαβάθμιση των μεγθών των σωματιδίων είναι επιθυμητή για αποτελεσματική χρήση της πάστας. Επιπλέον, τα αδρανή πρέπει να είναι καθαρά και απαλλαγμένα από οποιοδήποτε πρόβλημα που μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του σκυροδέματος.

Αμέσως μετά το συνδυασμό των αδρανών, του νερού και του τσιμέντου, το μείγμα αρχίζει να σκληραίνει. Όλα τα τσιμέντα Πόρτλαντ (Portland) είναι υδραυλικά τσιμέντα που γίνονται πιο στέρεα και πιο σκληρά μέσω μιας χημικής αντίδρασης με νερό που ονομάζεται ενυδάτωση. Κατά τη διάρκεια αυτής της αντίδρασης, σχηματίζεται ένας κόμβος στην επιφάνεια κάθε σωματιδίου τσιμέντου. Ο κόμβος μεγαλώνει και διαστέλλεται έως ότου συνδέεται με κόμβους από άλλα σωματίδια τσιμέντου ή προσκολλάται σε διπλανά αδρανή.

Μόλις το σκυρόδεμα αναμιχθεί καλά και είναι έτοιμο για εφαρμογή θα πρέπει να τοποθετηθεί σε ειδικές φόρμες πριν το μείγμα γίνει πολύ σκληρό καθώς δεν θα είναι εύκολα διαχειρίσιμο για τον άνθρωπο. Κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης, το σκυρόδεμα ενοποιείται για να μπορέσει να συμπιεστεί σωστά στις φόρμες έτσι ώστε να έχουμε την εξάλειψη πιθανών ελαττωμάτων, όπως τα κενά του αέρα.

Η σκλήρυνση ξεκινά αφού οι εκτεθειμένες επιφάνειες του σκυροδέματος έχουν σκληρύνει αρκετά ώστε να αντισταθούν στη φθορά. Η σκλήρυνση εξασφαλίζει τη συνεχή ενυδάτωση του τσιμέντου έτσι ώστε το σκυρόδεμα να συνεχίζει να αποκτά περισσότερη αντοχή. Οι επιφάνειες από σκυρόδεμα θα σκληρύνουν με ψεκασμό με ατμό νερού ή με υφάσματα που διατηρούν την υγρασία, όπως λινάτσα ή βαμβακερά χαλιά. Άλλες μέθοδοι σκλήρυνσης αποτρέπουν την εξάτμιση του νερού σφραγίζοντας την επιφάνεια με πλαστικά ή ειδικά σπρέι που καλούνται ενώσεις σκλήρυνσης.

Ειδικές τεχνικές χρησιμοποιούνται για τη σκλήρυνση σκυροδέματος σε εξαιρετικά κρύο ή ζεστό καιρό για την προστασία του σκυροδέματος. Όσο περισσότερο το σκυρόδεμα διατηρείται υγρό, τόσο πιο ισχυρό και ανθεκτικό θα γίνει. Ο ρυθμός σκλήρυνσης εξαρτάται από τη σύνθεση και την λεπτότητα του τσιμέντου, τις αναλογίες του μίγματος και τις συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας. Το σκυρόδεμα

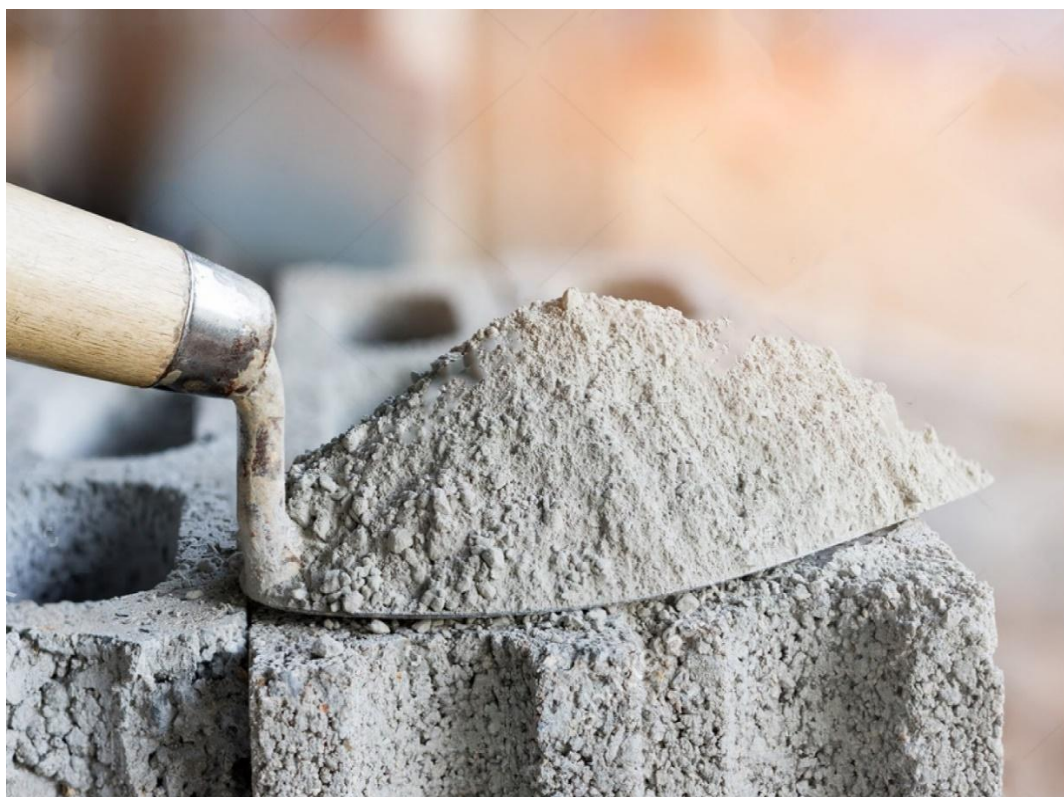
συνεχίζει να γίνεται ισχυρότερο καθώς μεγαλώνει. Το μεγαλύτερο μέρος της ενυδάτωσης και της αύξησης της αντοχής λαμβάνει χώρα εντός του πρώτου μήνα του κύκλου ζωής του σκυροδέματος, αλλά η ενυδάτωση συνεχίζεται με βραδύτερο ρυθμό για πολλά χρόνια.

1.5 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Α) Τσιμέντο

Για την παρασκευή του σκυροδέματος το τσιμέντο που χρησιμοποιείται είναι το πιο ισχυρό συνδετικό υλικό. Το τσιμέντο είναι μια λεπτή σκόνη, όπου έχει την ικανότητα να γίνεται σταδιακά πιο στέρεη, να σκληρύνει και να παραμείνει σταθερή όταν έρθει σε επαφή με το νερό. Το κύριο χαρακτηριστικό της μάζας σκόνης είναι ότι, όταν αναμειχθεί με το νερό σχηματίζει μια πάστα που δρα σαν κόλλα και στη πορεία η πάστα αυτή, γεμίζει τα κενά μεταξύ των αδρανών σωματιδίων με αποτέλεσμα να τα μετατρέπει σε έναν ισχυρό σχηματισμό μιας στερεής μάζας. [9]

«Οι ιδιότητες του τσιμέντου οφείλονται στο βασικό δραστικό συστατικό του, το κλίνκερ. Δηλαδή, όταν το κλίνκερ έρθει σε επαφή με νερό δημιουργούνται παράγωγα απειροελάχιστα διαλυτά στο νερό τα οποία με το πέρασμα του χρόνου δημιουργούν σκληρή και δυνατή δομή.» [10] Επίσης, αποτελεί και μια υδραυλική κονία με εξαιρετικές ιδιότητες.



Εικόνα 1.4: Τσιμέντο σε σκόνη

i. Ιστορικό

Αρχικά, χρησιμοποιούσαν ένα μίγμα άσβεστου, νερού, αργίλου και άμμου στις αρχαίες κατασκευές. Επίσης, το χρησιμοποιούσαν ήδη πριν από 2.600 χρόνια και οι Αιγύπτιοι. [11]

Εν συνεχεία και κατά τον 1 αιώνα μ.Χ., οι Ρωμαίοι ολοκλήρωσαν αυτό το «συνδετικό υλικό», το τσιμέντο. «Προσθέτοντας ηφαιστειογενές υλικό από την περιοχή Pozzuoli, κοντά στη Νάπολη, ανακάλυψαν ότι μπορούσαν να επιτύχουν την πήξη αυτού του μίγματος κάτω από το νερό.» Στην σημερινή εποχή ξέρουμε ότι το έδαφος της περιοχής Pozzuoli από την οποία πήρε το όνομά της η ποζολάνη περιέχει άργιλο σε ποσοστό 60 έως 90% και άσβεστο σε ποσοστό 10 έως 40%, ανάλογα με την πηγή. Ακόμη, έχουν ανακαλυφθεί σε πολλές ρωμαϊκές πόλεις, αρχαιολογικά ευρήματα από εκείνη την εποχή. [11]

Το 1756 ο Άγγλος μηχανικός J. Smeaton ανακάλυψε ότι δια οπτήσεως του πετρώματος “αργιλικός ασβεστόλιθος” μπορούσε να παρασκευάσει υδραυλική κονία, δηλαδή κονία που να σκληρύνετε και μέσα στο νερό. [ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΚΟΝΙΑΡΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2001]

Σαράντα χρόνια μετά, το 1796, ένας άλλος Άγγλος, ο James Parker, ανακάλυψε ότι μερικά πετρώματα που εμπειρείχαν οξειδία αργιλίου, ασβεστίου και πυριτίου μετά από λειοτρίβηση και όπτηση έδιναν ως αποτέλεσμα υδραυλική κονία. [ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΚΟΝΙΑΡΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2001]

«Στη συνέχεια, το 1817, ο μηχανικός Louis Vicat έκανε μελέτες στις υδραυλικές ιδιότητες ενός μίγματος «άσβεστου - ηφαιστειογενούς τέφρας». Ο Louis Vicat ήταν ο πρώτος που προσδιόρισε με σαφή, ελεγχόμενο και με αναπαραγωγικό τρόπο τις αναλογίες ασβεστόλιθου και πυριτίου που απαιτούνταν, για να παραχθεί ένα μίγμα, το οποίο, μετά από έψηση σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία και άλεση, έδινε ως αποτέλεσμα ένα υδραυλικό συνδετικό υλικό για βιομηχανικές εφαρμογές.» Αυτό ήταν και το γνωστό σε όλους τσιμέντο. Παρόλα αυτά, χωρίς να καταθέσει την αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας, δημοσίευσε τα αποτελέσματα της έρευνάς του. [11]

Το 1824 ο Άγγλος και κτίστης στο επάγγελμα Joseph Aspdin, προκειμένου να παρασκευάσει τσιμέντο ανωτέρας ποιότητας, δεν χρησιμοποίησε εξ ολοκλήρου τα πετρώματα (δηλαδή, με τυχαίες αναλογίες των οξειδίων αργιλίου, πυριτίου και ασβεστίου) αλλά μείγμα πετρωμάτων. Ακόμη, κάθε ένα από τα μείγματα αυτά περιέχει κυρίως κάποιο από τα παραπάνω οξειδία. Στη συνέχεια, το μείγμα πήγαινε για όπτηση από την οποία δημιουργήθηκαν εκβολάδες (διεθνώς Clinker). Από την άλεση των εκβολάδων προήλθε η κονία, την οποία ο Joseph Aspdin αποκάλεσε και τσιμέντο Πόρτλαντ (Portland), λόγω του γεγονότος ότι η κονία αυτή, μετά την πήξη της, έπαιρνε το χρώμα της πέτρας όπου εξορύσσετε στην Αγγλική νήσο Portland. [ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΚΟΝΙΑΡΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2001]

Από τότε, το τσιμέντο υπεβλήθη με ταχύ ρυθμό και πραγματοποίησε ουσιαστική επανάσταση στην κατασκευή τεχνικών έργων, ιδίως μετά την εφεύρεση του οπλισμένου σκυροδέματος. Στην σημερινή εποχή και σε ολόκληρο τον κόσμο

υπάρχουν τεράστιες βιομηχανίες οι οποίες ασχολούνται εις βάθος με την παραγωγή τσιμέντου Portland. [ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΚΟΝΙΔΑΡΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2001]

ii. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Τσιμέντο Portland

Σε σχέση με τις άλλες φυσικές κονίες, το τσιμέντο αποτελεί βιομηχανικό κατασκεύασμα όπου δημιουργείται από τη σύγχρονη όπτηση αργίλου και ασβεστόλιθου. Το βασικό συστατικό του σκυροδέματος είναι το τσιμέντο Portland. Το σκυρόδεμα αρχίζει να παίρνει μορφή όταν το τσιμέντο Portland δημιουργεί μια πάστα με νερό όπου συνδέεται με την άμμο και τα πετρώματα έχοντας ως αποτέλεσμα την σκλήρυνσή του. Το τσιμέντο παράγεται μέσω ενός στενά ελεγχόμενου χημικού συνδυασμού πυριτίου, αλουμινίου, ασβεστίου, σιδήρου και άλλων ακόμη συστατικών. [12] Για την κατασκευή του τσιμέντου χρησιμοποιούνται τα πιο κοινά υλικά τα οποία περιλαμβάνουν ασβεστόλιθο, κελύφη ή μάρμαρα σε συνδυασμό με σχιστόλιθο, πηλό, σκωρία υψικαμίνου, άμμο πυριτίου και σιδηρομετάλλευμα. Με αποτέλεσμα, τα συστατικά αυτά, όταν θερμαίνονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες να σχηματίζουν μια πετρώδη ουσία που αλέθεται και δημιουργείται μια λεπτή σκόνη όπου αποκαλούμε ως τσιμέντο. [12]

Ένας από τους πιο συνηθισμένους τρόπους παραγωγής τσιμέντου Portland είναι μέσω της ξηρής μεθόδου. Το τσιμέντο Portland είναι το προϊόν μιας σειράς εργασιών που περιλαμβάνουν: [Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Πάτρα 2013]

1) Την εξόρυξη αργιλικών εδαφών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων, τα οποία μέσω των σπαστήρων τεμαχίζονται έτσι ώστε να μετατραπούν σε κόκκους διαμέτρου μερικών εκατοστών.

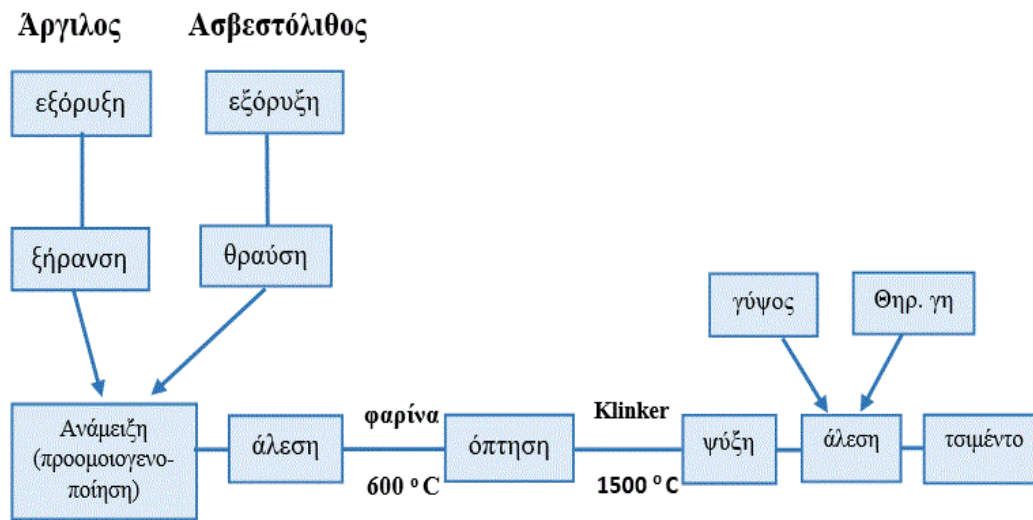
2) Η ανάμιξη των τεμαχισμένων κόκκων γίνεται μετά την έξοδό τους από τους σπαστήρες. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται και προομοιογενοποίηση.

3) Γίνεται το άλεσμα σε τριβεία με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα λεπτόκοκκο μίγμα κόκκων διαμέτρου μερικών χιλιοστών, το οποίο αποθηκεύεται σε σιλό. Το προϊόν της αλέσεως ονομάζεται φαρίνα.

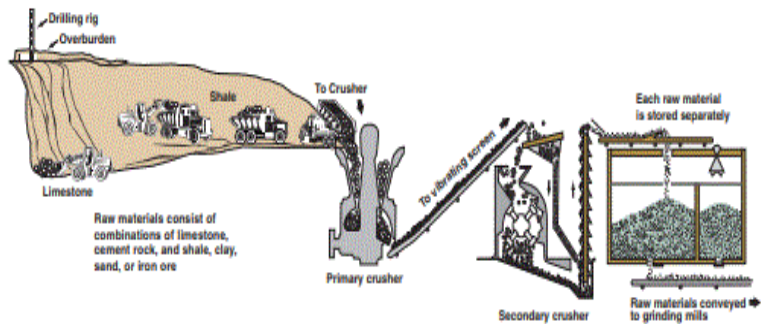
4) «Στη συνέχεια, γίνεται η εισαγωγή του μίγματος στο πάνω μέρος ελαφρά κεκλιμένης κυλινδρικής καμίνου. Στην κάμινο η θερμοκρασία είναι 600 °C όπου οφείλεται στη λειτουργία καυστήρα πετρελαίου στο κάτω άκρο, όπου η θερμοκρασία φθάνει στους 1500 °C και από εκεί βγαίνει το προϊόν του ψησίματος σε μορφή μαυροπράσινων κόκκων διαμέτρου 5-25 mm. Τα προϊόντα της οπτήσεως ονομάζονται εκβολάδες ή διεθνώς Klinker.»

5) «Τέλος, γίνεται το άλεσμα του κλίνκερ, το οποίο μετά την ψύξη του αναμειγνύεται με γύψο, σε ποσοστό 2-3% περίπου, έχοντας ως σκοπό τη ρύθμιση του χρόνου πήξης, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί τελικά το καθαρό τσιμέντο Portland,

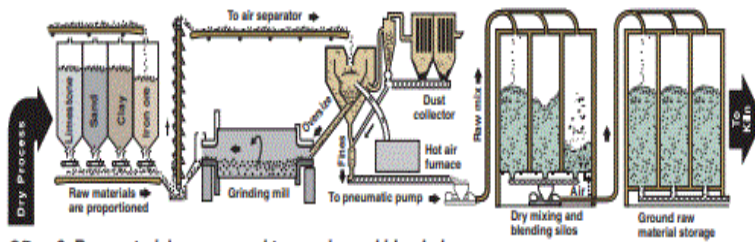
του οποίου οι κόκκοι έχουν διάμετρο της τάξης των 75μm.» Στο παρακάτω σχήμα δίνεται σχηματικά η διαδικασία παρασκευής του τσιμέντου Portland:



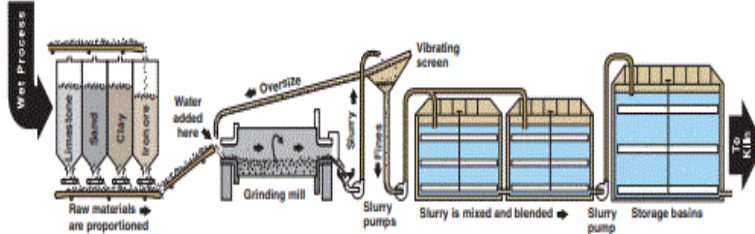
Σχηματικό διάγραμμα παρασκευής τσιμέντου Portland. [6]



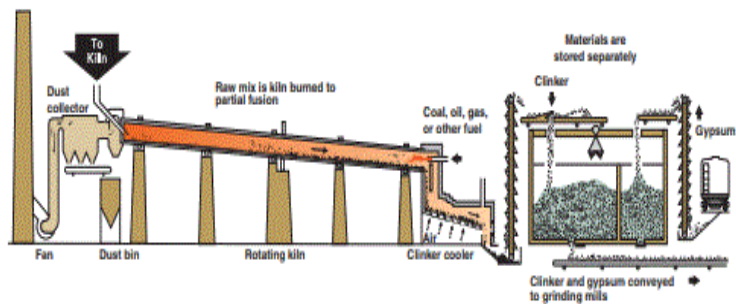
1. Stone is first reduced to 125 mm (5 in.) size, then to 20 mm (3/4 in.), and stored.



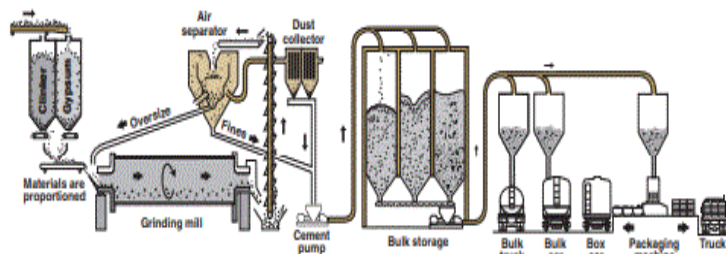
OR 2. Raw materials are ground to powder and blended.



2. Raw materials are ground, mixed with water to form slurry, and blended.



3. Burning changes raw mix chemically into cement clinker.



4. Clinker with gypsum is ground into portland cement and shipped.

Εικόνα 1.5: Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας παρασκευής τσιμέντου Portland (Kosmatka, S., Kerkhoff, B., & Panarese, W. 2003)



Εικόνα 1.6: Κλίνκερ (Klinker)

Στην Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια το κλίνκερ, αλέθεται μαζί με ποζολάνες, οι οποίες έχουν υδραυλικές ιδιότητες και μειώνουν το κόστος, και μπορεί να είναι: [6]

- 1) **Οι Φυσικές ποζολάνες**
- 2) **Η Ιπτάμενη τέφρα**
- 3) **Η Σκωρία καμίνου**

« Κάποιες φορές, κατά την ανάμειξη προστίθενται και ειδικά φυσικά ή τεχνικά ανόργανα ορυκτά υλικά, τα πληρωτικά (filler), έχοντας ως στόχο τη βελτίωση φυσικών ιδιοτήτων του τσιμέντου και κατ' επέκταση του σκυροδέματος. Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι αδρανή ή να έχουν ασθενείς υδραυλικές ιδιότητες. Καταλυτικά στα συστατικά του τσιμέντου μπορεί να προστεθούν σε πιο μικρές ποσότητες και το θεικό ασβέστιο (σε μορφή γύψου) για τη ρύθμιση της ταχύτητας πήξης. Σημειωτέο είναι ότι η γύψος σε ποσοστό μέχρι 3% κ.α. (κατά βάρος) τσιμέντου επιβραδύνει την πήξη, ενώ σε μεγαλύτερο ποσοστό δρα ως επιταχυντικό.» [Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Πάτρα 2013]

iii. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

«Σύμφωνα, με τον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντων ΕΛΟΤ EN 197-1 τα παραγόμενα τσιμέντα, κατατάσσονται στους εξής τύπους»: [ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΚΟΝΙΔΑΡΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2001]

➤ **CEM I Τσιμέντο Πόρτλαντ**

Στο τσιμέντο CEM I επιτρέπεται η προσθήκη ενός δευτερεύοντος συστατικού σε ποσοστό μέχρι 5%.

➤ **CEM II Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ**

Το CEM II μπορεί να παράγεται με τις ακόλουθες προσθήκες:

- Σκωρία υψικαμίνων
- Πυριτική παιπάλη
- Ποζολάνη φυσική ή ψημένη
- Ιπτάμενη τέφρα πυριτική ή ασβεστούχα
- Ασβεστόλιθο
- και συνδυασμό των παραπάνω προσθηκών

Για κάθε είδος προσθήκης υπάρχει η δυνατότητα δύο τύπων Α ή Β ανάλογα με το ποσοστό της προσθήκης. Χαρακτηρίζονται Α αν το πρόσθετο είναι 6-20% και Β αν είναι 21-35%.

➤ **CEM III Σκωριοτσιμέντο**

Ανάλογα με το ποσοστό της σκωρίας χαρακτηρίζεται Α για ποσοστό 36-65%, Β για ποσοστό 66-80% και C για ποσοστό 81-95%.

➤ **CEM IV Ποζολανικό Τσιμέντο**

Μπορεί να παραχθεί με πυριτική παιπάλη ή ποζολάνη ή ιπτάμενη τέφρα ή συνδυασμό αυτών.

➤ **CEM V Σύνθετο Τσιμέντο**

Είναι σύνθετο τσιμέντο και πρέπει να περιέχει σκωρία υψικαμίνων και συνδυασμό ποζολάνης και πυριτικής ιπτάμενης τέφρας.

Από άποψη αντοχής στις εξής κατηγορίες:

➤ **Κατηγορία 35**

(με αντοχή σε θλίψη 28 ημερών από 25 - 45 MPa)

➤ **Κατηγορία 45**

(με αντοχή σε θλίψη 28 ημερών από 35 - 55 MPa)

➤ **Κατηγορία 55**

(με αντοχή σε θλίψη 28 ημερών άνω των 45 MPa)

«Σύμφωνα, με τον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντων ΕΛΟΤ EN 197-1, τα παραγόμενα τσιμέντα κατατάσσονται στους ακόλουθους τύπους»: **(Πίνακας 1.4)**
[ΧΡΙΣΤΟΥ Μ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, ΤΡΙΤΗ ΕΚΔΟΣΗ]

Πίνακας 1.4: Τύποι παραγόμενων τσιμέντων [18]

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Σύνθετο τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο τσιμέντο

iv. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Όμιλος ΗΡΑΚΛΗΣ

➤ ΣΑΚΕΥΜΕΝΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

«Ο Όμιλος ΗΡΑΚΛΗΣ διαθέτει στην Ελληνική αγορά μια μεγάλη γκάμα προϊόντων συσκευασμένου (σακευμένου) τσιμέντου που ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτήσεις της σύγχρονης κατασκευής σε ανθεκτικότητα και αντοχή.» [13]

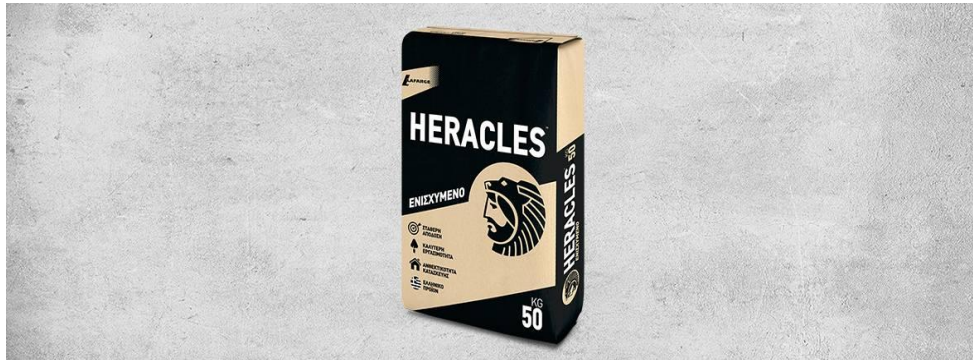
ΥΛΙΚΟ 1

HERACLES ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ [14]

«Το σακευμένο τσιμέντο *HERACLES ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ* (σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1), είναι τύπου CEM II / B-M (W-L) κατηγορίας αντοχής 32,5 R – ταχεία ανάπτυξη αντοχών. Δηλαδή, πρόκειται για ένα τσιμέντο υψηλών πρώιμων αντοχών κατάλληλο για όλες τις οικοδομικές εφαρμογές.»



Εικόνα 1.7: Σακευμένο τσιμέντο HERACLES ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ 25 KG

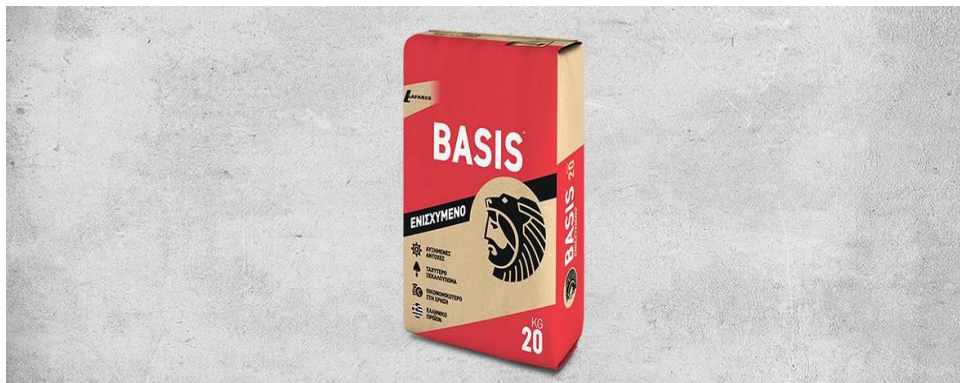


Εικόνα 1.8: Σακευμένο τσιμέντο HERACLES ENISXYMENO 50 KG

ΥΛΙΚΟ 2

BASIS ENISXYMENO [15]

«Το σακευμένο τσιμέντο *BASIS ENISXYMENO* είναι ένα σύνθετο Πόρτλαντ τσιμέντο υψηλών αντοχών. Το μείγμα του περιέχει ιπτάμενη τέφρα, ποζολάνη και ασβεστόλιθο, παρέχοντας την καλύτερη λύση για έργα πολιτικού μηχανικού, για οικοδομικά έργα, για προϊόντα σκυροδέματος και έτοιμο σκυρόδεμα.»



Εικόνα 1.9: Σακευμένο τσιμέντο BASIS ENISXYMENO 20 KG

ΥΛΙΚΟ 3

HERACLES ENISXYMENO ΛΕΥΚΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ [16]

«Το *HERACLES ENISXYMENO ΛΕΥΚΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ* είναι τσιμέντο υψηλής λευκότητας και εργασιμότητας, κατάλληλο για την παρασκευή διακοσμητικών στοιχείων, λευκού σοβά και την αποκατάσταση παλαιών κτιρίων και μνημείων.»



Εικόνα 1.10: HERACLES ENISXYMENO LEYKO TSIMENTO

➤ **Χύδην Τσιμέντο [17]**

Επιπλέον, υπάρχει και η κατηγορία Χύδην Τσιμέντο. Η βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή σκυροδέματος και κονιαμάτων είναι το τσιμέντο χύδην

Παραδείγματα αυτού του τύπου είναι τα εξής:

- ❖ **HERACLES ENISXYMENO CEM II / B-M (W-L) 32.5R**
- ❖ **BASIS ENISXYMENO CEM II/A-M (W-L) 42.5R**
- ❖ **CEM I 42.5R**
- ❖ **CEM I 52.5N**
- ❖ **HERACLES ΛΕΥΚΟ CEM I 52.5R**
- ❖ **HERACLES CEM I 42.5N – SR5**
- ❖ **CEM II A-P 42,5N**

B) Νερό

«Ένα από τα κυριότερα συστατικά του σκυροδέματος είναι το νερό. Το νερό (μαζί με το τσιμέντο) αποτελούν τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Παίρνουν μέρος σε σειρά αντιδράσεων που οδηγούν στη σκλήρυνση του μίγματος.» Η ουσιαστικότερη και η πιο σημαντική αρχή όπου αφορά το νερό είναι να μην εμπεριέχει συστατικά που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τις αντιδράσεις ενυδατώσεως. [18]

➤ **Πόσιμο Νερό [7]**

Οι πιο σημαντικές από τις χημικές ουσίες όπου δρουν αρνητικά στην εξέλιξη των αντιδράσεων και αποτελούν βλαπτικά συστατικά του νερού, είναι οι εξής:

A) **Τα σάκχαρα** γιατί εμποδίζουν την πήξη του σκυροδέματος,

- Β) **Τα οξέα** γιατί δεσμεύουν το ασβέστιο που είναι απαραίτητο για την πήξη,
- Γ) **Τα λίπη και λάδια** όπου δρουν μηχανικά γύρω από τους κόκκους του σκυροδέματος,
- Δ) Τέλος, οι **Οργανικές προσμίξεις** όπου επηρεάζουν ανασταλτικά την πήξη.

➤ **Θαλασσινό Νερό** [7]

Απαγορεύεται στην παρασκευή οπλισμένου σκυροδέματος η χρήση του θαλασσινού νερού, εκτός και αν δεν μπορεί να αποφευχθεί και το επιτρέπει η φύση του έργου. Στην σύμβαση του Έργου πρέπει να προβλέπεται και να περιγράφονται τα πρόσθετα αναγκαία μέτρα που πρέπει να συμπεριφθούν. Για να χρησιμοποιηθεί η χρήση του θαλασσινού νερού θα πρέπει να γίνεται η έγκριση από την ελέγχουσα Δημόσια αρχή. Στην περίπτωση, φέροντος άοπλου σκυροδέματος και για να επιτραπεί η χρήση του θαλασσινού νερού θα πρέπει η αντοχή να αυξηθεί κατά 15% . Καταλυτικά, το πόσιμο νερό θεωρείται κατάλληλο για τη σκλήρυνση του μίγματος.

Γ) Αδρανή

Ως αδρανή υλικά ονομάζονται τα κοκκώδη υλικά φυσικής ή τεχνητής προελεύσεως τα οποία με την προσθήκη τσιμέντου και νερού, σχηματίζουν σκυρόδεμα. Ονομάζονται αδρανή, γιατί δεν αντιδρούν χημικά με τη συγκολλητική ουσία. [ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΚΟΝΙΑΡΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2001]

Ο ρόλος των αδρανών είναι πολύ σημαντικός για τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, του οποίου καταλαμβάνουν το 60-80% του όγκου. Καθώς τα αδρανή χωρίζονται με βάση το μέγεθος, σε χονδρά και λεπτά, δηλαδή χωρίζονται σε **χονδρόκοκκα** (>5mm) και **λεπτόκοκκα** (<5mm). «Επίσης, τα αδρανή με βάση το βάρος, χωρίζονται σε κανονικού βάρους, με πυκνότητα κόκκων μεταξύ 2000-3000 kg/m³, σε ελαφρά αδρανή, με πυκνότητα κόκκων που δεν ξεπερνά τα 2000 kg/m³ και σε βαριά αδρανή, με πυκνότητα κόκκων άνω των 3000 kg/m³.»

Με βάση την προέλευση, χωρίζονται σε τεχνητά που παρασκευάζονται με ειδική επεξεργασία ορισμένων υλικών από βιομηχανικά παραπροϊόντα (για παράδειγμα η ιπτάμενη τέφρα και σκωρία καμίνου), σε φυσικά που προέρχονται από την φύση, και σε ανακυκλωμένα, που προκύπτουν από τη θραύση δομικών υλικών που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε παλαιές κατασκευές. Καταλυτικά, τα αδρανή χωρίζονται με βάση το σχήμα τους, σε κυβοειδή, στρογγυλά, γωνιώδη, επιμήκη και πλακοειδή . [Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Πάτρα 2013]



Εικόνα 1.11: Χονδρόκοκκα Αδρανή



Εικόνα 1.12: Λεπτόκοκκα Αδρανή

Επιπροσθέτως, από κονία και αδρανή υλικά αποτελείται το σκυρόδεμα, το οποίο είναι πάρα πολύ χρήσιμο καθώς λειτουργεί ως συνδετική ύλη αυτών. Στην αντοχή του τελικού προϊόντος μπορούν να συμβάλλουν μηχανικά τα αδρανή υλικά όταν

συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους. [ΧΡΙΣΤΟΥ Μ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, ΤΡΙΤΗ ΕΚΔΟΣΗ]

Θεωρητικά ως αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν οποιαδήποτε υλικά καταλαμβάνουν τις τρεις εξής απαιτήσεις: [18]

1. Επαρκή αντοχή,
2. Επαρκή πρόσφυση,
3. Χημική ανεκτικότητα με την τσιμεντοκονία.

Η ποιότητα του τελικού προϊόντος επηρεάζεται από τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών:

- η **χημική συμπεριφορά** τους με τα άλλα συστατικά του σκυροδέματος
- η **αντοχή** τους (αντοχή του μητρικού πετρώματος),
- η **πρόσφυση** με την κονία,
- η **καθαρότητα**, η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών,
- το **μέγεθος** των κόκκων και
- το **σχήμα**.

Ειδικοί Τύποι Αδρανών: [6]

1) Ελαφρά Αδρανή

- Κίσηρη
- Περλίτης
- Διογκωμένη άργιλος, διογκωμένος σχιστόλιθος
- Διογκωμένη σκωρία καμίνου

2) Βαριά Αδρανή

3) Αδρανή Σκωρίας Καμίνου

4) Αδρανή Ιπτάμενης Τέφρας

5) Αδρανή από ανακύκλωση

Δ) Πρόσθετα [18]

Πρόσθετα υλικά ή βελτιωτικά του σκυροδέματος ονομάζουμε υλικά που προσθέτονται μέσα στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του και μερικές φορές αλλάζουν τις ιδιότητές του.

Τα πρόσθετα υλικά αναλόγως με τον τρόπο που δρουν χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες.

Κατά, την πρώτη κατηγορία χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που δρουν με τρόπο χημικό ή φυσικοχημικό, ενώ η ποσότητά τους είναι μικρή με σκοπό να μην επηρεάζεται η σύνθεση του σκυροδέματος. Τα υλικά αυτά ονομάζονται, πρόσθετα υλικά.

Κατά, την δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα υλικά όπου πέρα από την χημική ή τη φυσικοχημική τους δράση, βρίσκονται σε τέτοια ποσότητά κατά την οποία είναι υποχρεωτικό να συμπεριλφθεί η τροποποίηση συνθέσεως του σκυροδέματος. Τα υλικά αυτά ονομάζονται, ως προσθήκες.

Τα πρόσθετα υλικά ανάλογα με την δράση τους κατηγοριοποιούνται τα εξής:

➤ Ρευστοποιητικά

Χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που προκαλούν αύξηση ρευστότητας του μείγματος, απόρροια αυτού να μπορεί να ελαττωθεί το νερό αναμείξεως για τον ίδιο βαθμό εργασιμότητας, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η αντοχή ή και το εργάσιμο χωρίς να μειωθεί η τελική αντοχή.

➤ Αερακτικά

Τα υλικά αυτά επιτυγχάνουν την δημιουργία μικρών φυσαλίδων μέσα στο κονίαμα. Για τη επίτευξη της δημιουργίας του ελαφρού σκυροδέματος εφαρμόζεται η ανάπτυξη φυσαλίδων σε μεγαλύτερο ποσοστό. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η δημιουργία φυσαλίδων εξυπηρετεί για να αυξηθεί το εργάσιμο και η αντοχή στον παγετό, χωρίς να υπάρξει αισθητή μείωση της θλιπτικής αντοχής.

➤ Επιβραδυντικά

Χαρακτηρίζονται τα υλικά που επιβραδύνουν την εξέλιξη της ενυδατώσεως. Όταν η διαδικασία της διαστρώσεως απαιτεί περισσότερο χρόνο από ότι θέλουμε, χρησιμοποιούνται τα επιβραδυντικά υλικά. Ακόμη, όταν θέλουμε να αποφύγουμε τους αρμούς εργασίας, αλλά και στην περίπτωση του έτοιμου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται τα υλικά αυτά. Τέλος, χρησιμοποιούνται όταν επιδιώκουμε την απάλυνση αιχμών της θερμοκρασίας που δημιουργείτε από τη θερμότητα ενυδατώσεως.

➤ Επιταχυντικά

Χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που επιταχύνουν τη διαδικασία της ενυδατώσεως του τσιμέντου.

- Επιταχυντικά της πήξεως (Η επιτάχυνση αυτή εκδηλώνεται με συντόμευση του χρόνου έως την αρχή της πήξεως).
- Επιταχυντικά της σκληρύνσεως (Η επιτάχυνση αυτή εκδηλώνεται με επιτάχυνση της σκληρύνσεως και της αναπτύξεως της αντοχής).

➤ Στεγανοποιητικά

Λόγω της διέλευσης του νερού μέσα στο σκυρόδεμα είτε με την απορρόφηση του νερού με τις μοριακές έλξεις του υλικού, είτε με την διείσδυση του νερού με πίεση, η δράση των στεγανοποιητικών αποσκοπεί:

- 1) στην αποφυγή μικροσκοπικών κοιλοτήτων και ρηγματώσεων,
- 2) στην ελάττωση της συνάφειας ή στην δημιουργία υδραπωθητικών δυνάμεων μεταξύ νερού και τσιμεντοκονιάματος ,
- 3) και στην ελάττωση του πορώδους

➤ Αντιπαγετικά

Χαρακτηρίζονται τα πρόσθετα υλικά που έχουν σκοπό να μειώσουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις του παγετού κατά την περίοδο της πήξεως με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει η σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Οι **προσθήκες** είναι υλικά που δρουν κυρίως μηχανικά και η μάζα τους θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στη σύνθεση των υλικών. Τέτοια υλικά είναι τα ακόλουθα:

- Παιπάλη ή Φίλερ (γαιώδη αδρανή υλικά)
- Ποζολάνες (γαιώδη υλικά ηφαιστειακής προελεύσεως)
- Ιπτάμενες τέφρες (κατάλοιπα της καύσεως γαιανθράκων)
- Πυριτική παιπάλη (υποπροϊόν της παραγωγής πυριτιούχων μετάλλων στο φούρνο τήξεως)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΙΔΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

2.1 ΕΙΔΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ [19]

Για την επισκευή ή την ενίσχυση μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα οι ειδικοί τύποι επεμβάσεων χρησιμοποιούνται με σκοπό να καταπολεμηθούν τα μειονεκτήματα του συμβατικού έγχυτου σκυροδέματος.

Τα μειονεκτήματα αυτά, σε σχέση με ότι ισχύει για τις νέες κατασκευές, αποκαθίστανται πολύ συχνά ως οι κρίσιμοι καταλύτες για την επιτυχής έκβαση των επεμβάσεων με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη προσοχή.

Επιπροσθέτως, για να ελαττωθεί το αισθητικό αποτέλεσμα της παρέμβασης πολύ συχνά χρειάζεται να απαιτείται η αυξημένη αντοχή του νέου σκυροδέματος.

Εν συνεχεία, αναπτύσσονται οι ειδικοί τύποι σκυροδέματος που αξιοποιούνται στις επεμβάσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι οποίες είναι οι εξής:

1. Έγχυτο σκυρόδεμα σταθερού όγκου
2. Πολυμερικό σκυρόδεμα
3. Σκυροτσιμεντόπηγμα
4. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

A) ΈΓΧΥΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΟΓΚΟΥ [19]

Δημιουργείται πιο σύννηθες με χρήση, είτε με τη χρήση διογκούμενου τσιμέντου, είτε με την προσθήκη ειδικών πρόσθετων που δημιουργούν σταδιακά την αύξηση του όγκου του σκυροδέματος απαλλάσσοντας το από τη συστολή ξήρανσης.

Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να ακολουθούνται με συνέπεια και κατά κανόνα οι οδηγίες του προμηθευτή για το διογκούμενο τσιμέντο ή των πρόσθετων. Ακόμη, ο λόγος νερού προς τσιμέντο βρίσκεται συνήθως από 0,50 έως 0,60 και οι αντοχές που δημιουργούνται είναι λίγο πιο υψηλές, όταν για τον ίδιο λόγο νερού προς τσιμέντο από αυτές του συμβατικού έγχυτου σκυροδέματος.

Από την οπτική πλευρά της πρακτικής απόψεως, τα βασικά πλεονεκτήματα του έγχυτου σκυροδέματος σταθερού όγκου είναι η αποφυγή της ρηγμάτωσης τόσο στις θέσεις επαφής με τα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος, όσο και στην επιφάνειά του.

Επίσης, το έγχυτο σκυρόδεμα πλεονεκτεί όσον αφορά τη σύγκρισή του με το συμβατικό σκυρόδεμα καθώς μπορεί και προσφέρει πολύ καλύτερη πρόσφυση σε παλαιό σκυρόδεμα. Επιπροσθέτως, ένα επιπλέον πλεονέκτημά του, μπορεί να θεωρηθεί η μεγαλύτερη αντοχή του σε επιφανειακή φθορά καθώς επίσης και στη δράση χημικών.

B) ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ [19]

Τα σκυροδέματα με πολυμερή παράγονται:

- «είτε με αντικατάσταση του τσιμέντου με πολυμερές, χρησιμοποιώντας δηλαδή, πολυεστερικές ή εποξειδικές ρητίνες»,
- «είτε κατά ένα μέρος αντικατάσταση του νερού με υδατοδιαλυτό πολυμερές»
- είτε εμποτίζοντας σκληρυμένο συμβατικό σκυρόδεμα με μονομερές όπου στη συνέχεια πολυμερίζεται.

Το σκυρόδεμα με πολυμερή έχει υψηλό κόστος παρασκευής σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους σκυροδέματος. Παρόλα αυτά διακρίνεται από ένα πλήθος πλεονεκτημάτων ύψιστης σημασίας για την τεχνολογία των επεμβάσεων. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

- 1) Όταν αφορά τις αντοχές σε θλίψη που είναι επιτυχείς μπορούν φτάσουν συγκριτικά με τις αντοχές των αντίστοιχων συμβατικών σκυροδεμάτων μέχρι και το τετραπλάσιο.
- 2) Ακόμη, η σκλήρυνση του σκυροδέματος επιταχύνεται όλο και περισσότερο με την αύξηση της θερμοκρασίας, καθώς γίνεται πολύ γρήγορα. Δηλαδή, σε πολύ λίγο χρονικό διάστημα μπορεί να δημιουργηθούν πολύ υψηλές αντοχές.
- 3) «Σε περιπτώσεις όπου στην θέση του τσιμέντου έχει τοποθετηθεί το πολυμερές, το μέτρο ελαστικότητας προκύπτει μέχρι 50% υψηλότερο του αντίστοιχου για συμβατικό σκυρόδεμα.»
- 4) Δημιουργείται πάρα πολύ καλή πρόσφυση με το παλαιό σκυρόδεμα καθώς, επιτυγχάνει σχεδόν μονολιθική συμπεριφορά του τελικού πολυφασικού στοιχείου.
- 5) Τέλος, δημιουργείται αυξημένη αντίσταση στην προσβολή από χημικά και στον παγετό αλλά και στη επιφανειακή φθορά. Ακόμη, παρατηρείται και μια σχετική μείωση της συστολής ξήρανσης και του πορώδους.

Τα σκυροδέματα με πολυμερή έχουν ως βασικά μειονεκτήματα τα ακόλουθα:

- 1) ο υψηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας,
- 2) η μειωμένη αντίσταση στην ενανθράκωση του σκυροδέματος,
- 3) η μικρή αντοχή σε πυρκαγιά και
- 4) ο σχετικά υψηλός ερπυστικός συντελεστής.

Γ) ΣΚΥΡΟΤΣΙΜΕΝΤΟΠΗΓΜΑ [19]

Η δημιουργία του σκυροτσιμεντοπήγματος μπορεί να γίνει με τη διάσπρωση αδρανών, η οποία είναι μεγάλης διαμέτρου στα καλούπια του ως προς τη σκυροδέτηση στοιχείου. Εν συνεχεία ακολουθεί, η εισαγωγή υπο πίεση τσιμεντοκονίας για το γέμισμα των κενών αδρανών. Ακόμη, το ελάχιστο εύρος κόκκων των αδρανών είναι 10-15mm.

Συγκριτικά, με το αντίστοιχο σκυρόδεμα το σκυροτσιμεντόπηγμα έχει μικρότερη αντοχή. Παρόλα αυτά και καθώς παρνάει ο καιρός η διαφορά αυτή ελαττώνεται συνεχώς μέχρι να εξαλειφθεί εντελώς. Ως προς το συμβατικό σκυρόδεμα, το σκυροτσιμεντόπηγμα πλεονεκτεί καθώς έχει μεγαλύτερη στεγανότητα, μικρότερη συστολή ξήρανσης, μια αρκετά καλή πρόσφυση στο παλαιό σκυρόδεμα και τέλος μεγαλύτερη ανροχή στο χρόνο.

Δ) ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

i. Εισαγωγή & Ορισμοί

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία όσον αναφορά την εφαρμογή του σε έργα υποδομής, καθώς διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα ως μέσον κατασκευής και αντιστήριξης. Για έναν πολιτικό μηχανικό στην εφαρμογή, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο λόγω των συνεχών τεχνολογικών εξελίξεων σε προϊόντα, εξοπλισμό αλλά και στη γνώση της εφαρμογής. Σε πολλές περιπτώσεις, έργα όπου δεν μπορούσαν να υλοποιηθούν, όπως για παράδειγμα στα τεχνικά έργα που δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν με συμβατικές μεθόδους, βρίσκουν τώρα τρόπο υλοποίησής τους με την χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

«Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ονομάζουμε ένα μείγμα τσιμέντου, αδρανών, νερού και κατά περίπτωση, πρόσθετων υλικών ή ινών, που εκτοξεύεται επάνω σε μια επιφάνεια με κατάλληλη συσκευή πεπιεσμένου αέρα. Στην αγγλοσαξονική ορολογία για το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται οι ονομασίες *gunite*, *shotcrete* ή *sprayed concrete* και στην γερμανική ο όρος *Spritzbeton*.» [ΧΡΙΣΤΟΥ Μ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, ΤΡΙΤΗ ΕΚΔΟΣΗ]

Παρατηρούμε δύο βασικές τεχνολογίες: [20]

A) της υγρής εκτόξευσης

Αρχικά, γίνεται η ανάμιξη των υλικών πριν από την εκτόξευση και στην συνέχεια γίνεται η εκτόξευση στην τελική σύνθεση, του μίγματος επάνω στην επιφάνεια,

B) της ξηρής εκτόξευσης

Τα ξηρά υλικά αναμιγνύονται, πριν από την εκτόξευση, παράλληλα και ταυτοχρόνως με τα υλικά αυτά, εκτοξεύεται το νερό όπου κατά την ροή αυτή γίνεται και η ανάμιξη αλλά και η πρόσκρουση των υλικών επάνω στην επιφάνεια.

Στις μεθόδους αυτούς διακρίνουμε τους ακόλουθους όρους: [20]

- **στρώση** ονομάζουμε το πάχος του υλικού που μπορεί να διαστρωθεί και να παραμείνει επάνω σε μια επιφάνεια κάθε φορά.
- **απώλεια αναπηδήσεως** ονομάζουμε το ποσοστό του υλικού που δεν επικολλάται στην επιφάνεια και πέφτει σαν απώλεια.

Κατά την πρόσκρουση του υλικού στην επιφάνεια προς την οποία κατευθύνεται ένα μέρος από αυτό αναπηδά και δεν κολλά πάνω της. Τα ποσοστά του υλικού αυτού (απώλεια αναπήδησης) είναι τα ακόλουθα: [ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΚΟΝΙΔΑΡΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2001]

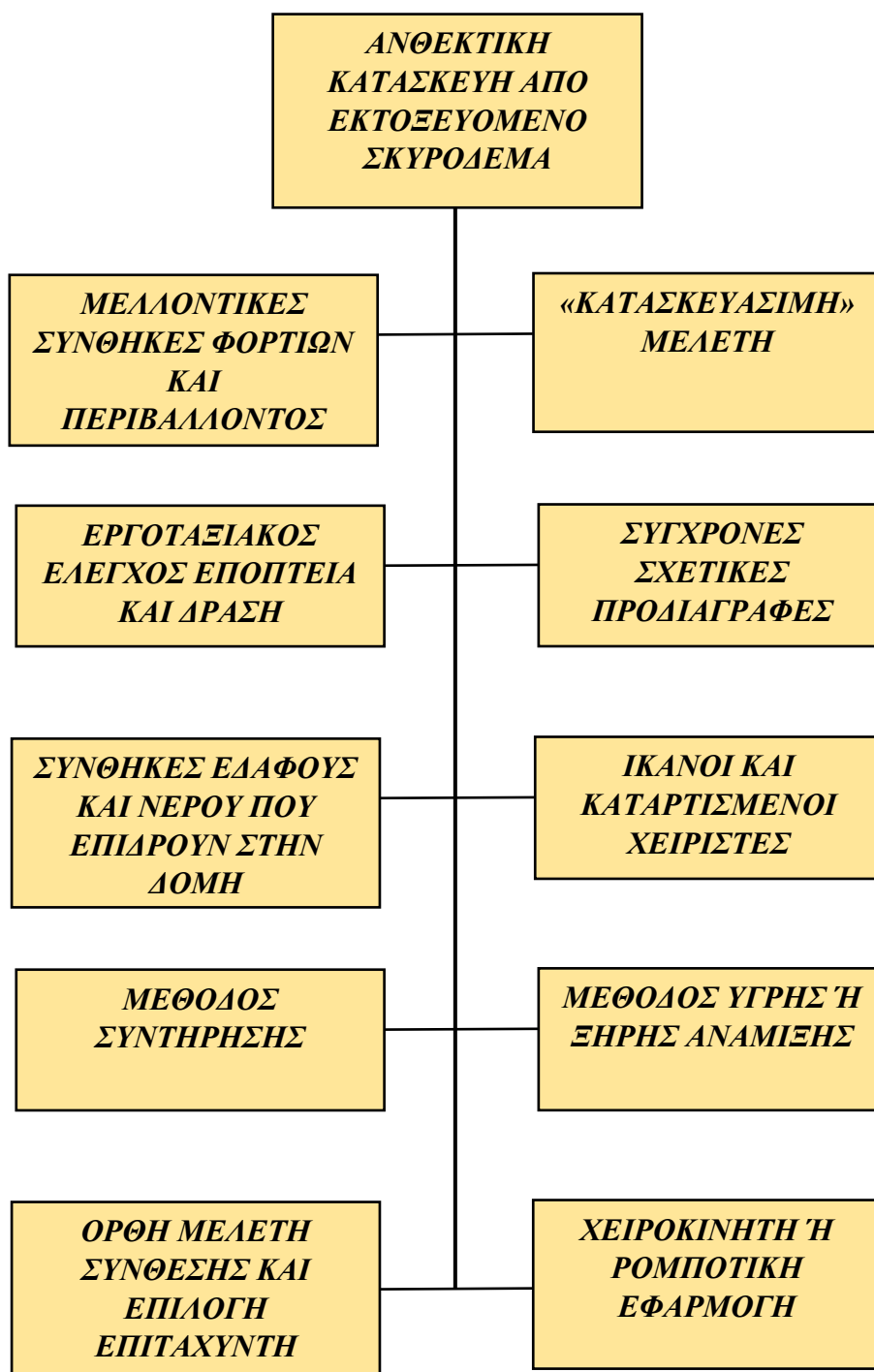
εκτόξευση προς κατακόρυφη επιφάνεια (υποστυλώματα – τοιχώματα)	15 – 30%
εκτόξευση προς οριζόντια επιφάνεια προς τα κάτω (δάπεδα)	5 – 10%
εκτόξευση προς οριζόντια επιφάνεια αλλά προς τα πάνω (οροφές «ταβάνια»)	30 – 50%

Σε καμία περίπτωση δεν επαναχρησιμοποιούμε το υλικό της απώλειας αναπήδησης.



Εικόνα 2.1: Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Όπως φαίνεται στο **Σχεδιάγραμμα 2.1**, η αντοχή μίας κατασκευής από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα καθορίζεται από πολλές πιθανές παραμέτρους. Οι κατασκευές που γίνονται με τη χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος δεν είναι επαρκές, μόνο η σωστή μελέτη σύνθεσης και η επικάλυψη του οπλισμού όπως γίνεται με την τοποθέτηση στα παραδοσιακά σκυροδέματα. Αυτό συμβαίνει γιατί, το υλικό τοποθετείται με εκτόξευση με αποτέλεσμα, να εξαρτάται η ποιότητα του σε μεγάλο ποσοστό από τον ανθρώπινο παράγοντα και την απόδοση του εξοπλισμού εκτόξευσης. (Τ. Α. Melbye, «Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα: Μια σύγχρονη, ολιστική προσέγγιση») [21]



Σχεδιάγραμμα 2.1: Παράγοντες που καθορίζουν την αντοχή της κατασκευής από Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα. [22]

Η αξιοποίηση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος γίνεται για την ενίσχυση κυρίως σοβαρών βλαβών όλων των φερόντων στοιχείων ενός κτιρίου όπως για παράδειγμα σε υποστυλώματα, πλάκες, δοκούς, τοιχία, θεμέλια, φέρουσες τοιχοποιίες. Ακόμη, μπορεί να εφαρμοστεί σε εκσκαφές, βράχο και στο χώμα, πέρα από την εφαρμογή του σε επιφάνεια από σκυρόδεμα. [23]

Τα πλεονεκτήματα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι: [23]

- Μπορεί να εκτοξευθεί και σε κατακόρυφες επιφάνειες ή σε επιφάνειες με μεγάλες κλίσεις
- Εξαιτίας της εκτόξευσης με υψηλή πίεση δημιουργείται μεγαλύτερη πρόσφυση και καλύτερη συνεργασία με το υπάρχον παλιό σκυρόδεμα
- Παρατηρείται το ίδιο αποτέλεσμα με μικρότερα πάχη μανδύα σε σχέση με το έγχυτο (καλουπωτό) σκυρόδεμα
- Δεν απαιτείται ξυλότυπος
- «Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα επιστρώνεται και επιπεδοποιείται μετά την εκτόξευση ώστε να δώσει μία επίπεδη τελική επιφάνεια, όπου αυτό απαιτείται.»
- Λόγω του χαμηλού συντελεστή νερού/τσιμέντου (N/T) έχει και μεγαλύτερες αντοχές

ii. Ιστορία & χρήσεις του εκτοξευόμενου σκυροδέματος [24]

Το 1895 στο Field Museum of Natural Science στο Σικάγο των ΗΠΑ, ο επιμελητής, ο Δρ. Carlton Akeley προσπαθούσε να βρει έναν τρόπο για να δημιουργήσει μοντέλα προϊστορικών ζώων. Στην αρχή είχε δημιουργήσει ένα πλαίσιο σκελετού, παρόλα αυτά τα σχήματα του αμαξώματος δεν μπορούσαν να ταιριάζουν με την εφαρμογή συμβατικών κονιαμάτων. Με αποτέλεσμα, ο Δρ. Akeley να αναπτύξει μια συσκευή για να επιτρέψει τον ψεκασμό του μείγματος κονιάματος. Στη συνέχεια, δημιούργησε ένα δοχείο πίεσης ενός θαλάμου που περιείχε ένα μείγμα τσιμέντου και άμμου. Στο δοχείο αυτό όταν συμπιεστεί με πεπιεσμένο αέρα, το μείγμα ωθείτε μέσω ενός ανοίγματος και κατά μήκος ενός σωλήνα παροχής. Ακόμη, είχε τοποθετηθεί ένα ακροφύσιο στο τέλος του εύκαμπτου σωλήνα το οποίο ήταν εφοδιασμένο με ένα σπρίντ νερού. Κατά τη διέλευση αυτού του ψεκασμού το μίγμα ενυδατώθηκε.

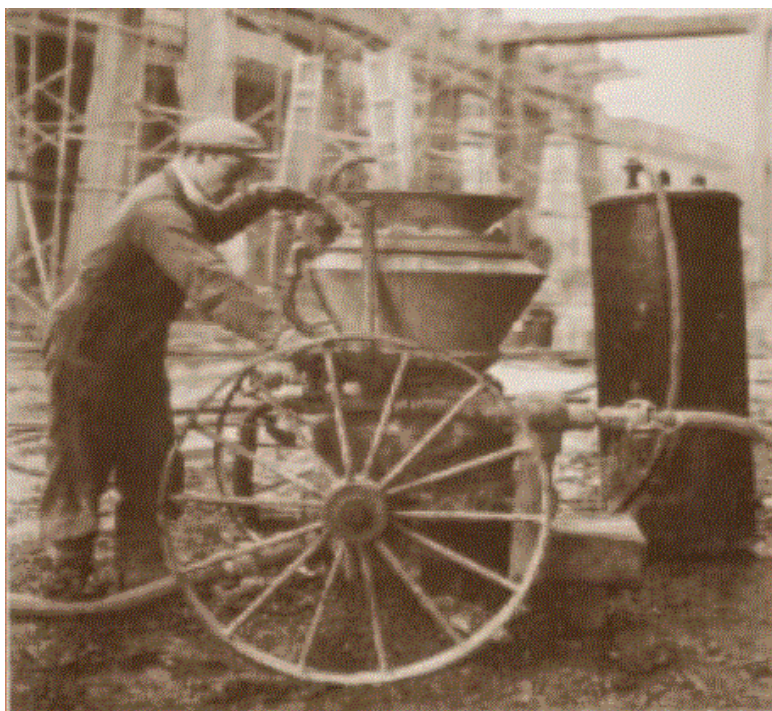


Εικόνα 2.2: Οι πρώτες εφαρμογές εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Ο εξοπλισμός αυτός ήταν γνωστός ως "Cement Gun" και το υλικό ψεκασμού ονομάστηκε "Gunitite". Κατοχυρώθηκαν με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1911 οι μέθοδοι αυτοί και ανακαλύφθηκαν από την Cement Gun Company. Ο Δρ. Carlton Akeley καθώς μετακόμισε από τις ΗΠΑ στη Γερμανία το 1921 έγινε τελικά βρετανική εταιρεία το 1953.

Οι πρώτες μηχανές τοποθέτησαν το ξηρό μείγμα άμμου και τσιμέντου μέσα στον θάλαμο υπό πίεση με την βοήθεια του ακροφύσιου που προεξείχε και στο οποίο προστέθηκε στη συνέχεια νερό. Η διαδικασία αυτή ονομάστηκε «ξηρή μέθοδος».

Αφού αναπτύχθηκε η ξηρή διαδικασία, αναπτύχθηκε επίσης η μέθοδος «True Gun». Αυτή η μέθοδος απαιτούσε το μίγμα του τσιμέντου και της άμμου να έχει αναμιχθεί πλήρως με το νερό προτού τοποθετηθεί στην αντλία της μηχανής. Καθώς η ανάμιξη γίνεται με διαφορετικό τρόπο, η μέθοδος ονομάστηκε ως «υγρή μέθοδος». Αυτή η μέθοδος δεν αναπτύχθηκε πλήρως εμπορικά μέχρι τη δεκαετία του 1970, όμως μεγάλο μέρος του πειραματισμού της πραγματοποιήθηκε στις ΗΠΑ.



Εικόνα 2.3: Εξοπλισμός «Cement Gun» στο Field Museum of Natural Science στο Σικάγο των ΗΠΑ

Αρχικά, παρατηρήθηκαν οι πρώτες εφαρμογές του εκτοξευόμενου σκυροδέματος που χρησιμοποιούνταν για έργα επισκευής από σπλισμένο σκυρόδεμα. Στη συνέχεια όμως, λόγω των πλεονεκτημάτων του χρησιμοποιήθηκε και σε νέες κατασκευές. Κατά την σημερινή εποχή, μπορεί και χρησιμοποιείται και για πυροπροστασία σε χαλύβδινες κατασκευές, για σήραγγες και πυρίμαχες επενδύσεις και για άλλες κατασκευές, όπως πισίνες, τείχη ποταμού, θόλους και δομές κελύφους.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εφόσον εγκατασταθεί και χρησιμοποιηθεί σωστά από τους κατάλληλους ανθρώπους μπορεί να παρέχει στους σχεδιαστές μια οικονομικά

αποδοτική και προσαρμόσιμη λύση για τη δημιουργία και επισκευή κατασκευών σκυροδέματος.

Στην σημερινή εποχή, αναφερόμενοι στην ονομασία gunite εννοούμε εκτοξευόμενο τσιμεντοκονίαμα (δηλαδή κονίαμα με μέγιστο κόκκο αδρανούς 4,5 ή και 8mm, ανάλογα με τη χώρα εφαρμογής), ενώ ως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εννοούμε ένα πραγματικό σκυρόδεμα που εκτοξεύεται, του οποίου βέβαια ο μέγιστος κόκκος δεν ξεπερνά τα 16mm. [25]

Οι *χρήσεις του εκτοξευόμενου σκυροδέματος* είναι πολλές. Συγκεκριμένα εφαρμόζεται για: [25]

- ❖ σταθεροποίηση μετώπου σηράγγων
- ❖ σταθεροποίηση πρανών
- ❖ άμεση ή προσωρινή επένδυση σηράγγων
- ❖ μόνιμη επένδυση σηράγγων
- ❖ επισκευές ή ανακαινίσεις σηράγγων
- ❖ επισκευές ή και ενισχύσεις κατασκευών

Οι δύο πιο βασικές είναι η σταθεροποίηση εδαφών, είτε αυτά είναι σήραγγες είτε είναι πρανή αντιστήριξης και επιπροσθέτως, οι επισκευές και ενισχύσεις οπλισμένου σκυροδέματος. [25]

iii. Συστατικά εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Τα βασικά συστατικά του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι:

- ❖ Τσιμέντο
- ❖ Νερό
- ❖ Αδρανή
- ❖ Πρόσθετα
- ❖ Πρόσμικτα
- ❖ Λεπτόκοκκη Άμμος

A) ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Οι ιδιότητες της ποιότητας του τσιμέντου καταλαμβάνουν κυρίαρχο ρόλο στην υψηλή συμπεριφορά πρόωρης δύναμης. Συνήθως για τη μέθοδο της ξηρής διαδικασίας η περιεκτικότητα σε τσιμέντο είναι μεταξύ 350 και 450 Kg / m³. Για την υγρή μέθοδο, η περιεκτικότητα σε τσιμέντο μπορεί να κυμαίνεται από 400 Kg /m³ έως 500 Kg /m³. [25]

Η κατάλληλη περιεκτικότητα σε τσιμέντο σχετικά με την απαιτούμενη αντοχή μπορεί να επαληθευτεί μόνο με την δοκιμή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. [33]

B) ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ

Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάμειξη τσιμεντοβιομηχανιών συστατικών πρέπει να είναι καθαρό και να ελέγχεται όταν εισέρχεται από άλλες πηγές για αν είναι απαλλαγμένο από σάκχαρα και σωματίδια. Η αναλογία τσιμέντου νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,40 εάν απαιτείται υψηλής αντοχής ή ανθεκτικό εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. [33]

Ο λόγος νερού τσιμέντου (N/T) παίζει σημαντικό ρόλο στην μείωση της αναπήδησης καθώς επίσης και στην επίτευξη θλιπτικής αντοχής. Πιο συγκεκριμένα: [26]

- Λόγος N/T για υγρό σκυρόδεμα χαμηλών προδιαγραφών: < **0,55**
- Λόγος N/T για υγρό σκυρόδεμα μεσαίων προδιαγραφών: < **0,50**
- Λόγος N/T για υγρό σκυρόδεμα υψηλών προδιαγραφών: < **0,46**

Γ) ΑΔΡΑΝΗ [27]

Για να ελαχιστοποιηθεί η διείδυση και η ανάκλαση στο ήδη τοποθετημένο σκυρόδεμα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 10%, το ποσοστό των αδρανών όπου έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από 8mm. Ενώ, για μέγεθος αδρανών πάνω από 12mm πρέπει να απορριφθούν καθώς υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να δημιουργήσουν επικίνδυνη ανάκλαση, αλλά και να φράξουν το ακροφύσιο.

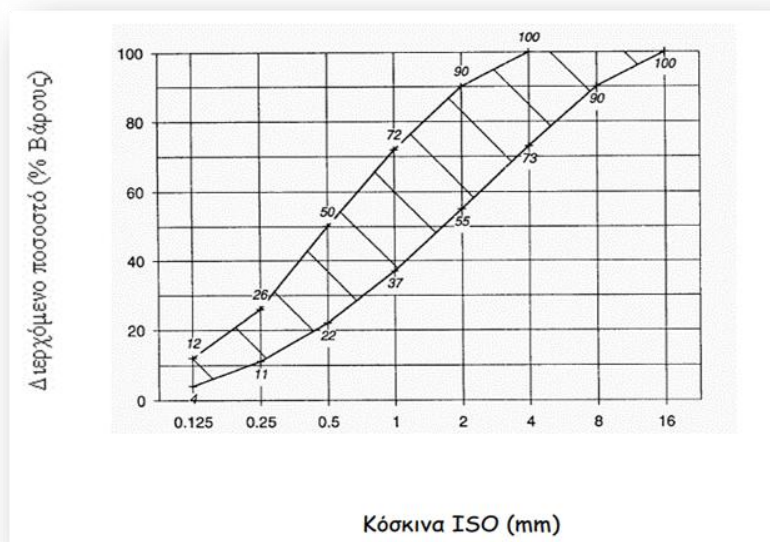
Δ) ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ [27]

- Πρόσφυσης: Δεν είναι απαραίτητα σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να τηρούνται οι οδηγίες των κατασκευαστών.
- Επιταχυντικά Πήξης : Όταν απαιτείται ταχεία πήξη
- Ποζολάνες: Βοηθούν στην εργασιμότητα, υπάρχουν και περιπτώσεις που δημιουργείται καθυστέρηση στην δημιουργία της αντοχής.
- Αεροπροσθετικά: Χρησιμοποιούνται κατά την υγρή διαδικασία για να συμπληρωθούν τα κενά.

iv. Σύνθεση [28]

Κατά τη σύνθεση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος παρατηρείται παρόμοιους κανόνες με αυτούς που εφαρμόζονται και για το συμβατικό έγχυτο σκυρόδεμα. Η επιλογή του μείγματος γίνεται με μέγιστο κόκκο που δεν ξεπερνά τα 12mm. «Επίσης, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 10%, το κλάσμα των αδρανών με κόκκο μεγαλύτερο από 8mm. Ακόμη, το μείγμα των αδρανών πρέπει να βρίσκεται εντός της σκιασμένης περιοχής του διαγράμματος που προτείνεται από την EFNARC στην **Εικόνα 2.4**» [28]. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου της ξηρής ανάμιξης το ανώτερο τμήμα της παραπάνω περιοχής είναι καταλληλότερο ενώ η προύγρυνση των αδρανών

συμβάλλει στην ομαλότερη ροή του υλικού και στη μείωση της σκόνης. Επίσης, παρατηρείται πως πρέπει να είναι λιγότερη από 6% του βάρους τους η φυσική υγρασία των αδρανών.



Εικόνα 2.4: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών για χρήση σε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

«Ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου στο μίγμα θεωρείται η προβλεπόμενη στο Κ.Τ.Σ.-97, ανάλογα και με τις ειδικότερες απαιτήσεις. Παρόλα αυτά, δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από 300 Kg/m^3 .» Ενώ, ο λόγος νερού προς τσιμέντο (N/T) δεν πρέπει να ξεπερνά το 0.55. Σύνηθες όρια του λόγου N/T είναι 0.35 έως 0.45 για την ξηρή μέθοδο και 0.40 έως 0.55 για την υγρή μέθοδο. Από την μελέτη συνθέσεως θα πρέπει να προσδιορίζονται οι ακριβείς ποσότητες νερού και τσιμέντου ανάλογα με την απαιτούμενη θλιπτική αντοχή του τελικού προϊόντος.

Ο προσδιορισμός των αναλογιών σύνθεσης, κατά την εφαρμογή της μεθόδου της υγρής ανάμιξης ανάλογα με την απαιτούμενη θλιπτική αντοχή, γίνεται σύμφωνα με τις αντίστοιχες διαδικασίες που χρησιμοποιούνται και για το συμβατικό αντλήσιμο σκυρόδεμα. «Ακόμη, κατά τον υπολογισμό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στη θέση πρόσπτωσης έχει μεγαλύτερο ποσοστό τσιμέντου και λεπτόκκοκων αδρανών από ότι στην θέση ανάμιξης καθώς τα χονδροειδή αδρανή έχουν μεγαλύτερο ποσοστό ανακλώμενου υλικού.»

Δεν παρατηρείται μια τυποποιημένη διαδικασία προσδιορισμού των αναλογιών σύνθεσης κατά την μέθοδο της ξηρής ανάμιξης. Παρόλα αυτά, μπορεί κανείς να συμβουλευτεί τις αρχές της Τεχνολογίας Σκυροδέματος καθώς επίσης και στην εμπειρία που παρατηρείται από παλιά από σχετικά έργα. Για παράδειγμα είναι τα δεδομένα θλιπτικής αντοχής που έχουν γίνει στο παρελθόν σε παρεμφερή έργα για γνώριμες από το ίδιο συνεργείο ή τον ίδιο χειριστή, χρησιμοποιώντας ίδιου τύπου αδρανή.

« Καθώς υπάρχει έλλειψη δεδομένων, μια αρχική χονδρική εκτίμηση των αναλογιών σύνθεσης θα μπορούσε να γίνει με βάση τον ακόλουθο **Πίνακα 2.1** συσχέτισης αντοχής και αναλογίας τσιμέντου στο μίγμα θεωρώντας $N/T = 0.40$ »

Πίνακας 2.1 Συσχέτιση αντοχής και ποσότητας τσιμέντου Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος ξηράς ανάμιξης. [28]

Αντοχή f_{ck} (MPa)	Ποσότητα Τσιμέντου (Kg/m ³)
20	370
25	400
30	450
35	500

Για παράδειγμα, ας θεωρηθεί ότι η απαιτούμενη χαρακτηριστική αντοχή είναι:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

Προ εκτιμάται πυκνότητα Ε.Σ. 2300 Kg/m³

Ποσότητα τσιμέντου (Πίν. 2.1) : 400 Kg/m³

Ποσότητα νερού $0.40 \times 400 = 160 \text{ Kg/m}^3$

Ποσότητα αδρανών $2300 - 400 - 160 = 1740 \text{ Kg/m}^3$

Οι ποσότητες νερού και τσιμέντου διορθώνονται ανάλογα με την επιφανειακή υγρασία των αδρανών.

Στην παρασκευή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Ε.Σ.) ως πρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- σκωρία υψικαμίνων,
- ιπτάμενη τέφρα,
- βελτιωτικά (όπως επιταχυντικά πήξης και σκλήρυνσης) και
- οξείδια του πυριτίου.

«Υπό τις προϋποθέσεις που αναφέρονται στην παρ. 4.5 του Κ.Τ.Σ.-97. Πάντως η προσθήκη ιπτάμενης τέφρας ή σκωρίας υψικαμίνων δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το 30% του βάρους του καθαρού τσιμέντου (Portland) ενώ το αντίστοιχο όριο για τα οξείδια πυριτίου είναι 15%. Οι επιταχυντές πήξης πρέπει να συμφωνούν με τις απαιτήσεις της προδιαγραφής A.S.T.M. C.»

«Όταν χρησιμοποιείται το ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα το μήκος των ινών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 50mm και το 0.7 της εσωτερικής διαμέτρου των σωλήνων που χρησιμοποιούνται, εκτός και αν αποδεχθεί από επι τόπου δοκιμές ότι δεν δημιουργείται πρόβλημα στην εκτόξευση και διάσθρωση του υλικού.» Από τη

μελέτη συνθέσεως παρατηρείται η ποσότητα και το είδος των ινών. Θα πρέπει να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις A.S.T.M. 820, όταν χρησιμοποιούνται ίνες από χάλυβα. Το μήκος των χαλύβδινων ινών που συνιστάται είναι 25-35 mm.

Όταν παρατηρείται προδιύγρανση των αδρανών, η επάρκεια της εκτιμάται με έναν επιτόπου πρόχειρο έλεγχο δημιουργίας «σβώλου στην παλάμη». Συμπιέζεται ισχυρά κλείνοντας την παλάμη, μια πολύ μικρή ποσότητα μείγματος. Το μείγμα θρυμματίζεται σε διακριτά κομμάτια κατά το άνοιγμα της παλάμης και η διύγρανση θεωρείται μικρή. Η διύγρανση είναι αρκετά ικανοποιητική όταν το υλικό παραμένει σαν «σβώλος» ή θραύεται όμως παραμένει το σχήμα του. Μπορεί να χαρακτηριστεί υπερβολική η διύγρανση όταν η υγρασία αποπλένεται στο χέρι. Παρόλα αυτά, σε οποιαδήποτε περίπτωση θα πρέπει να εφαρμόζεται όσο πιο γρήγορα το ξηρό μείγμα με προδιύγρανση.

Από τα ειδικότερα πρόσθετα αλλά και την τεχνική παραγωγής που χρησιμοποιούνται εξαρτάται και ο χρόνος εργασιμότητας. Η εκτόξευση μιας μάζας σκυροδέματος πρέπει να έχει τελειώσει εντός σαρανταπέντε λεπτών από την αρχική μείξη των υλικών της κατά την εφαρμογή της μεθόδου της ξηρής ανάμιξης. Στη εφαρμογή αυτής της μεθόδου ο παραπάνω χρόνος μπορεί να μειωθεί στα δεκαπέντε λεπτά σε πολύ υψηλές συνθήκες θερμοκρασιών περιβάλλοντος. Θα πρέπει να απορρίπτεται σε άλλες περιπτώσεις το μείγμα ή το υπόλειμμά του.

Με τη χρήση πρόσθετων ελέγχου της ενυδάτωσης μπορεί να μειωθεί αυτός ο χρονικός περιορισμός.

Στην περίπτωση, της εφαρμογής της μεθόδου της υγρής ανάμιξης τα παραπάνω χρονικά περιθώρια αυξάνονται σε ενενήντα λεπτά. Παρατηρείται ότι σαφώς ο συντομότερος χρόνος είναι και καλύτερος.

v. Μέθοδος ξηρής ανάμιξης [24]

Μια προκαθορισμένη αναλογία τσιμέντου και αδρανών κατά την μέθοδο της ξηρής ανάμιξης συγκεντρώνεται και αναμιγνύεται εν ξηρό, χωρίς προσθήκη νερού. Η εισαγωγή του μείγματος γίνεται σε μια ειδικά σχεδιασμένη μηχανή. Με τη βοήθεια του πεπιεσμένου αέρα γίνεται η προώθηση του μείγματος καθώς μεταφέρεται στο σωλήνα διανομής και εν συνεχεία στο ακροφύσιο ψεκασμού.

Στην συνέχεια, στο ακροφύσιο, στην είσοδό του, προστίθεται μια παροχή νερού, με αποτέλεσμα το νερό να εισάγεται με πίεση στο ακροφύσιο, να ψεκάζει το ρεύμα των υλικών για την ενυδάτωση του τσιμέντου και την παροχή της σωστής συνοχής του μίγματος, καθώς αναμιγνύεται με τα άλλα συστατικά του, έτσι ώστε το αδιάκοπο ρεύμα των υλικών να μπορεί να εκτοξεύεται με υψηλή ταχύτητα στην επιφάνεια, όπου η κρούση συμπιέζει το υλικό.

Με τη μέθοδο παραγωγής της ξηρής ανάμιξης το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με τα κατάλληλα αδρανή και τις σωστές αναλογίες (αδρανών / τσιμέντου) μπορεί να τοποθετηθεί σε χαμηλές αναλογίες νερού / τσιμέντου (N/T), χωρίς χαρακτηριστικά πτώσης καθώς το νερό δεν είναι απαραίτητο για να δοθεί εργασιμότητα κατά τη

μεταφορά του. Με αποτέλεσμα να μπορεί να τοποθετηθεί χωρίς προσμίξεις και με περιορισμένα πάχη, σε εναέριες και κάθετες επιφάνειες.

Στο ξηρό προ-μείγμα μπορεί να εισαχθούν σε μορφή σκόνης τα μίγματα και να μετατραπούν σε υγρή μορφή με την προσθήκη νερού όπου θα βγει από το ακροφύσιο ψεκασμού. Επίσης, στο προ-μείγμα μπορεί να προστεθούν και ο χάλυβας ή άλλες ίνες. Στην σήμερον ημέρα μπορεί κανείς να βρει στην αγορά μια ποικιλία εξοπλισμού που προσφέρει ένα ευρύ φάσμα απόδοσης, επιτρέποντας τον ακριβή ελεγχόμενο χαμηλό ρυθμό εφαρμογής για λεπτά στρώματα ή σε δύσκολες και περίπλοκες κατασκευές.

Επιπροσθέτως, το ακροφύσιο εφαρμογής είναι συνήθως χειρός και η ροή των υλικών κατευθύνεται από τον διαχειριστή, ο οποίος ρυθμίζει επίσης την ποσότητα νερού που προστίθεται. Σε περιορισμένο εύρος μπορεί να μεταβληθεί το νερό καθώς πολύ λίγο νερό θα αποτρέψει τη συμπίεση του μείγματος σε ομοιογενή μάζα, ενώ μια περίσσεια θα το κάνει πολύ λειτουργικό, προκαλώντας πτώση.

Τέλος, η ξηρή μέθοδος είναι πολύ ευέλικτη και είναι ικανή για μεγάλη διακύμανση της απόδοσης, καθώς επίσης μπορεί να χειριστεί σχεδόν όλους τους τύπους τσιμέντου και ένα ευρύ φάσμα συμβατικών και ελαφρών αδρανών.



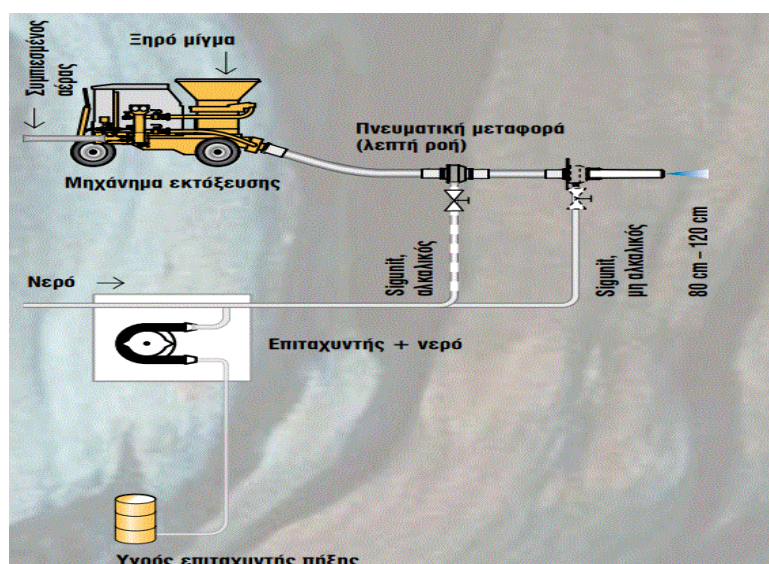
Εικόνα 2.5: Εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με την μέθοδο ξηρής ανάμιξης.

Το επί τόπου εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με την χρήση της μεθόδου ξηρής διαδικασίας έχει διαφορετική σύνθεση από ότι αυτή του μείγματος που εισήχθη στο μηχάνημα. Αυτό συμβαίνει από το γεγονός ότι οι απώλειες που δημιουργούνται επηρεάζουν περισσότερο τα μεγάλα στοιχεία όπως χονδροειδείς κόκκοι άμμου από το τσιμέντο και άλλα προϊόντα. [29]

Ως απόρροια αυτού προκύπτει ότι, για το συγκεκριμένο σκυρόδεμα, η περιεκτικότητα σε τσιμέντο είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτό του βασικού μείγματος, το οποίο προφανώς αυξάνει τη θλιπτική του αντοχή.

Ο εμπλουτισμός τσιμέντου μπορεί να κυμαίνεται από 20% έως μερικές φορές περισσότερο από 100%, ανάλογα με: [29]

- ✚ το πάχος του στρώματος,
- ✚ τη φύση του υποστρώματος,
- ✚ τη σύνθεση του βασικού μείγματος,
- ✚ τη φύση των αδρανών,
- ✚ τη χρήση προσθηκών και πρόσθετων,
- ✚ την απόσβεση,
- ✚ την απόσταση προβολής,
- ✚ ο χειρισμός του ακροφυσίου από τον χειριστή.



Εικόνα 2.6: Μέθοδος ξηρής ανάμιξης

vi. Μέθοδος υγρής ανάμιξης [24]

Στην μέθοδο της υγρής ανάμιξης το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελείται από ένα μείγμα τσιμέντου και αδρανών, όπου αναμιγνύεται με νερό πριν αντληθεί μέσω ενός σωλήνα ή στο σωλήνα του ακροφύσιο εκτόξευσης. Για να ωθηθεί το μίγμα στη θέση του χρησιμοποιείται με μεγάλη ταχύτητα ο αέρας, ο οποίος λόγω της πίεσης του εισάγεται στο ακροφύσιο και η ταχύτητα που δημιουργείται, ωθεί το σκυρόδεμα στη θέση όπου συμπιέζεται από τη δική του ορμή.

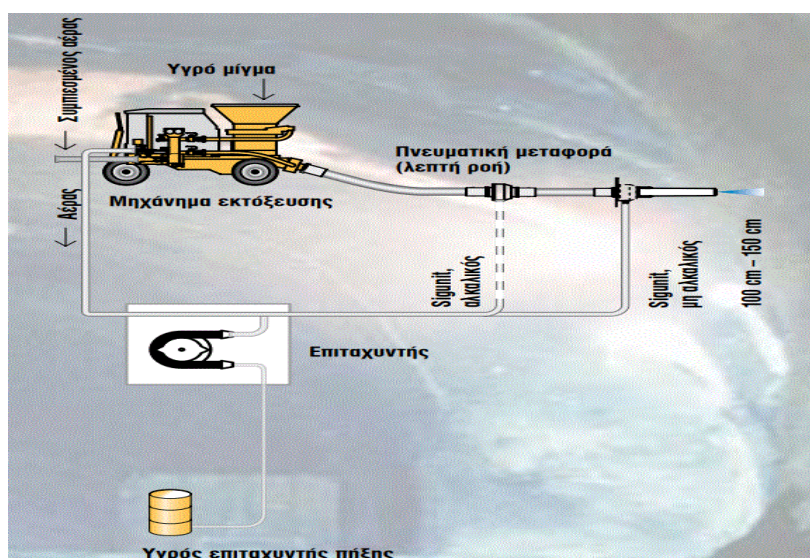
Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε αυτή την μέθοδο μπορεί να παραχθεί σε μορφή έτοιμου μίγματος ή μπορεί να παρέχεται ως ξηρό, προ αναμιγμένο υλικό σε σάκους. Ακόμη, στην μέθοδο αυτή η σκόνη και το τσιμέντο που διαφεύγουν προς τον περιβάλλοντα χώρο είναι πολύ λιγότερη σε σχέση με την ξηρή μέθοδο.[28] Για αυτό τον λόγο συνήθως το υλικό σε σάκους προτιμάται για μικρές εργασίες χαμηλού

όγκου, όπως επισκευές, (σηράγγων) όπου η πρόσβαση στο χώρο είναι περιορισμένη (δεν αερίζονται επαρκώς) και ενδέχεται να απαγορεύει τις παραδοσιακές εφαρμογές σκυροδέματος σε υγρό μείγμα. Με την υγρή διαδικασία, η αναλογία τσιμέντου νερού μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια καθώς, η ποσότητα νερού που εισέρχεται στον αναμικτήρα ελέγχεται αφού, μετριέται επακριβώς με αποτέλεσμα να εγγυάται μια καλύτερη και πλήρη ανάμιξη του νερού με τα άλλα συστατικά.[28]

Οι απαιτήσεις αντοχής σκυροδέματος μπορούν να προσδιοριστούν με παρόμοιο τρόπο με το συμβατικό σκυρόδεμα αν και στην υγρή ανάμιξη επιτυγχάνονται συνήθως υψηλές αντοχές λόγω των ιδιοτήτων του τσιμέντου. Είναι σύνηθες για τα σχέδια του υγρού μίγματος να χρησιμοποιούν ποσότητα τσιμέντου που κυμαίνονται από 350 κιλά έως 450 κιλά ανά κυβικό μέτρο. Με τη χρήση μειγμάτων ελέγχου ενυδάτωσης, η διάρκεια ζωής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με την υγρή μέθοδο μπορεί να παραταθεί έως 72 ώρες επιτρέποντας στο σύστημα μεγάλη ευελιξία και αποτρέποντας την ανάγκη καθαρισμού του συστήματος μετά από κάθε εφαρμογή.

Οι τεχνικές ψεκασμού ποικίλλουν ανάλογα με τη φύση της εργασίας, αλλά τις περισσότερες φορές το σκυρόδεμα δημιουργείται σε στρώσεις πάχους έως 150 mm. Για να επιτευχθούν μεγαλύτερα πάχη μπορούν να εφαρμοστούν επιπλέον στρώματα όταν έχει επιτύχει ένα τελικό σύνολο το υποκείμενο στρώμα. Η επιφάνεια που δέχεται το νέο στρώμα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα πρέπει να δοθεί η κατάλληλη προσοχή, η οποία να είναι απαλλαγμένη από επιβλαβείς ουσίες με την χρήση νερού για τον καθαρισμό της επιφάνειας, ξεκινώντας από την κορυφή της δομής και εργαζόμενοι προς τα κάτω. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί συνήθως με ακροφύσιο του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Ενώ επιτυγχάνονται ανοχές ± 10 mm σε μήκος 3 μέτρων σε απλές επίπεδες επιφάνειες, απαιτούνται ειδικές διατάξεις για πιο περίπλοκα σχήματα ή δύσκολες τοποθεσίες.

Με την υγρή μέθοδο το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να είναι δομικό υλικό και να παρέχει διακοσμητικό φινίρισμα ανάλογα με την επιλογή του κατάλληλου συστήματος. Τέλος, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατά αυτή την μέθοδο μπορεί για αρχιτεκτονικούς σκοπούς να χρωματιστεί.



Εικόνα 2.7: Μέθοδος υγρής ανάμιξης

vii. Απαιτήσεις προσωπικού- εξοπλισμός [28]

Στους μεθόδους παραγωγής με την χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σημαντικό ρόλο έχει ο χειριστής του συστήματος, καθώς επίσης και το σύστημα εκτόξευσης τόσο για την διαμόρφωση της στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε μια επιφάνεια όσο και για την αντοχή του.

Σαν αποτέλεσμα, είναι πολύ σημαντική η χρήση του ίδιου τύπου συστήματος εκτόξευσης κατά την διάρκεια του έργου και μέχρι την ολοκλήρωσή του. Επιπροσθέτως, πολύ σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ο χειριστής του συστήματος θα πρέπει να διαθέτει το ανάλογο ανθρώπινο δυναμικό και εμπειρία.

Όσον αναφορά τον εξοπλισμό που θα διαθέτει το συνεργείο για την σωστή εκτέλεση της εργασίας εξαρτάται από την μέθοδο παραγωγής ανάμιξης που θα χρησιμοποιείται κάθε φορά ανάλογα με τις ανάγκες του έργου.

Ο βασικός εξοπλισμός που εφαρμόζεται στην μέθοδο της ξηράς ανάμιξης είναι:

- Σωλήνες προώθησης του υλικού και του νερού
- Μηχανή ξηρής ανάμιξης
- Ακροφύσιο εκτόξευσης
- Αεροσυμπιεστή με ελάχιστη συμπιεστική ικανότητα (P):
 - ❖ Όπου, $P=200+2,5(1+2h)$ (KPa, m),
 - ❖ «Όπου, l είναι το μήκος σωλήνα προώθησης του υλικού (που δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 20m) δηλαδή, να είναι $l \geq 20$ m »
 - ❖ Όπου, h είναι η μέγιστη διαφορά ύψους της θέσης εκτόξευσης από τη θέση του αεροσυμπιεστή.

Ο βασικός εξοπλισμός που εφαρμόζεται στην μέθοδο της υγρής ανάμιξης είναι:

- Αντλία και σωλήνες προώθησης υγρού μίγματος και ακροφύσιο εκτόξευσης
- Μηχανή ανάμιξης αν το μίγμα παρασκευάζεται στο εργοτάξιο
- Αεροσυμπιεστή με συμπιεστική ικανότητα της τάξεως των 700 KPa.
Η ικανότητα παροχής αέρα να είναι τουλάχιστον $1,5 \text{ m}^3$ αέρα/min για κάθε m^3 εκτοξευόμενου σκυροδέματος ανά ώρα (Ε.Σ. / hr).

Στον Πίνακα 2.2, παρουσιάζονται η συνιστώμενη διάμετρος του σωλήνα προώθησης και του ακροφυσίου, οι απαιτήσεις παροχής αέρα με σκοπό να επιτευχθεί η καταλληλότερη ταχύτητα εκτόξευσης. «Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα» Στέφανος Η. Δρίτσος, Πάτρα 2005, γ' Έκδοση

Απαίτηση Παραγωγή Ε.Σ. (m ³ / hr)	Απαιτήσεις παροχής πεπιεσμένου αέρα (m ³ / min)	Συνιστάμενη εσωτερική διάμετρος σωλήνων και ακροφύσιου (mm)
1	3	25
2	4 - 5	32
4	8 - 10	40
6	12 - 14	50
9	17 - 20	65

Πίνακας 2.2: Απαιτήσεις εξοπλισμού για την μέθοδο παραγωγής – ξηρής ανάμιξης.[19]

viii. Προετοιμασία επιφάνειας διάστρωσης

Κατά την διάρκεια της εκτόξευσης θα πρέπει να προστατεύεται και να προετοιμάζεται η επιφάνεια στην οποία πάνω θα εφαρμοστεί το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Η προετοιμασία της εξαρτάται από τον τύπο του δομικού στοιχείου και η διεξαγωγή της γίνεται ως εξής: [31]

A) Επιφάνεια Σκυροδέματος

Όσον αφορά τις διαδικασίες προετοιμασίας επιφάνειας σκυροδέματος θα πρέπει να κατοχυρώσουν ένα στερεό υπόβαθρο, το οποίο θα μπορεί να δημιουργήσει αρκετή σύνδεση και πρόσφυση με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει σε κάποιο σημείο θραυσμένο ή σαθρό σκυρόδεμα θα πρέπει να αφαιρείται αμέσως. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να γίνεται και η αφαίρεση σε όποια σημεία του σκυροδέματος υπάρχουν λάδια ή δυσμενείς χημικές ουσίες.

Επιπρόσθετα, η διαδικασία που ακολουθείται για την προετοιμασία της επιφάνειας σκυροδέματος, στην οποία επάνω θα γίνει η εκτόξευση, κάθε φορά αποφασίζεται από το προβλεπόμενο από την μελέτη απαιτούμενο βάθος εκτράχυνσης. Ενώ, η αμμοβολή, η υδροβολή και η χρήση αερόσφυρας πολλαπλής κεφαλής χρησιμοποιούνται ως μέθοδοι για τις περιπτώσεις όπου δεν αναγράφεται στην μελέτη η εκτράχυνση. Οι διαδικασίες εκτράχυνσης της επιφάνειας με βάση τις χειρονακτικές μεθόδους ισχυρής τοπικής κρούσης πρέπει αν αποφεύγονται, καθώς η συνάφεια που φέρουν ως αποτέλεσμα είναι μικρή.

Δύο είναι οι λόγοι που δημιουργείται η μειωμένη συνάφεια. Οι οποίοι είναι οι εξής:

- ❖ «Ο πρώτος λόγος, είναι ότι με αυτές τις τεχνικές είναι πολύ δύσκολο, σχεδόν αδύνατο να επιτευχθεί εκτράχυνση στο σύνολο της επιφάνειας της βάσης.»
- ❖ Ο δεύτερος λόγος, είναι ότι δημιουργούνται μικρές ρηγματώσεις ακριβώς κάτω από την επιφάνεια που προετοιμάζεται με αποτέλεσμα να

δημιουργούν μείωση της συνάφειας και κάνουν πιο γρήγορα εμφανή την εκδήλωση ατελειών και ελαττωμάτων στην περιοχή.

Γενικά, αν το επιτρέπουν οι συνθήκες, συνίσταται να χρησιμοποιείται πρώτα η χρήση της υδροβολής και έπειτα η χρήση της αμμοβολής.

B) Επιφάνεια Τοιχοποιίας

Ακολουθούνται αντίστοιχες διαδικασίες με την επιφάνεια σκυροδέματος, για τις επιφάνειες τοιχοποιίας έχοντας ως στόχο την εξασφάλιση ενός στερεού υπόβαθρου, το οποίο θα ,πορεί να δημιουργήσει επαρκή σύνδεση και πρόσφυση με το εκτοξευόμενο σκυροδέμα. Σε όποια σημεία υπάρχουν θραυσμένα ή σε μεγάλη έκταση ρηγματωμένα ή σαθρά τμήματα τοιχοποιίας αυτά πριν την εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα αντικαθίστανται πλήρως.

Ακόμη, είναι ωφέλιμο οι αρμοί της τοιχοποιίας να διευρύνονται εκτός και αν προβλέπεται διαφορετικά στην μελέτη.

Η επιφάνεια του σκυροδέματος πρέπει να καθαρίζεται με καθαρό πεπιεσμένο αέρα πριν από την εκτόξευση του σκυροδέματος. Κατά συνεχεία η τοιχοποιία θα υγραίνεται μέχρι κορεσμού.

Γ) Επιφάνεια Χάλυβα

Η επιφάνεια θα πρέπει να είναι καθαρή, απαλλαγμένη από πρόσθετο υλικό, (όπως σκουριά και λάδια) σε περιπτώσεις όπου η εκτόξευση γίνεται σε στοιχεία από χάλυβα καθώς μπορεί να αποτρέψει την δημιουργία συνάφειας μεταξύ του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και χάλυβα. Αναλυτικότερα, θα πρέπει να αφαιρείται με βούρτσα από τις γύρω περιοχές το υλικό αναπήδησης όσο είναι ακόμη νωπό, έχοντας ως στόχο την αποφυγή επηρεασμού του νεαρού υφιστάμενου σκυροδέματος. Τέλος, θα πρέπει να στερεώνονται με μεγάλη ασφάλεια ράβδοι οπλισμού ή λεπτά χαλύβδινα στοιχεία για την αποφυγή δονήσεώς τους, κατά την διάρκεια της εκτόξευσης, αφού μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση στρώσης του νωπού σκυροδέματος ή σε απώλεια πρόσφυσης.

Δ) Επιφάνεια Καλουπιών

Η μοναδική κατηγορία επιφανειών υποβάθρων κατά την οποία δεν υπάρχει η απαίτηση της δημιουργίας της αντοχής συνάφειας με το εκτοξευόμενο σκυροδέμα είναι τα καλούπια. Θα πρέπει να απομακρύνονται πριν από την εκτόξευση του σκυροδέματος όλα τα ξένα σώματα όπως είναι για παράδειγμα η πολυστερίνη και το σκληρυμένο σκυροδέμα.

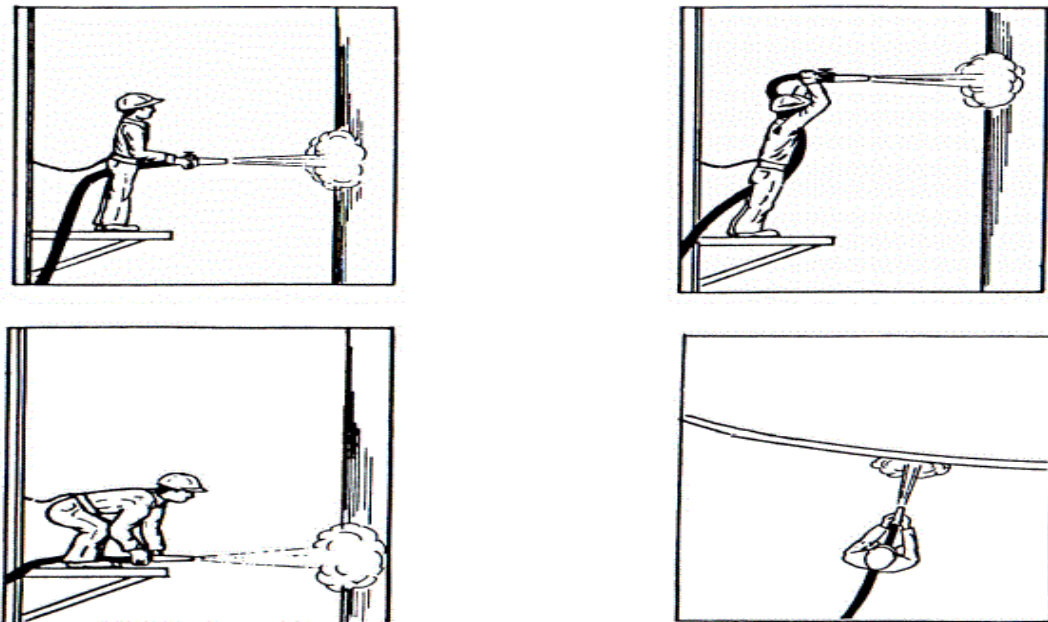
Στην περίπτωση που το καλούπι είναι υδατοαπορροφητικό τότε είτε εφαρμόζεται ένα υλικό που θα αναπτύσσει φράγμα στην απώλεια νερού προς καλούπι, είτε θα βρέχεται μέχρι κορεσμού.

Τέλος, για να αποφευχθεί οποιαδήποτε δόνηση κατά την διάρκεια της εκτόξευσης θα πρέπει τα καλούπια να είναι καλά στερεωμένα. Επίσης, η κατασκευή και ο σχεδιασμός του καλουπιού θα πρέπει να προβλέπουν την απομάκρυνση του υλικού αναπήδησης αλλά και τη δυνατότητα διαφυγής του αέρα.

ix. Η διαδικασία της εκτόξευσης

Θα πρέπει να γίνονται κάποιες προεργασίες πριν από την εκτόξευση του σκυροδέματος οι οποίες είναι οι εξής: [ΧΡΙΣΤΟΥ Μ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, ΤΡΙΤΗ ΕΚΔΟΣΗ]

- ❖ να σκυροδετούνται όλες οι τυχόν υπάρχουσες κοιλότητες (μερεμέτισμα),
- ❖ η αφαίρεση των σαθρών υλικών και ο καθαρισμός της επιφάνειας
- ❖ η εκτόξευση πρέπει να αρχίζει εκ των κάτω και να προχωρεί προς τα επάνω, για να αποτρέπεται η εκτόξευση πάνω σε σκυρόδεμα που πέφτει από τις πιο πάνω στρώσεις,
- ❖ πριν από την εκτόξευση θα πρέπει να βρέχεται καλά η επιφάνεια που ετοιμάζεται να δεχθεί το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα,
- ❖ κατά την εκτόξευση το ακροφύσιο πρέπει να παραμένει κάθετο επάνω στην επιφάνεια,
- ❖ πριν από την εκτόξευση θα πρέπει να προσδιορίζονται με κάποιες δοκιμές η ταχύτητα σκυροδετήσεως και η απόσταση,
- ❖ θα πρέπει να αφαιρούνται υλικά που μπορεί να έχουν επιστρωθεί στην επιφάνεια για την συντήρηση και η επιφάνεια να παραμένει καθαρή σε περιπτώσεις εκτοξεύσεως δεύτερης στρώσεως,
- ❖ η συντήρηση γίνεται όπως και στο κοινό σκυρόδεμα,
- ❖ ο χειριστής του μηχανήματος πρέπει να είναι ειδικά εκπαιδευμένος, για να μπορεί να ρυθμίζει και να ελέγχει συνέχεια την ταχύτητα, την απόσταση και την ποσότητα του νερού.



Εικόνα 2.8: Οι σωστές θέσεις εκτόξευσης σκυροδέματος.

x. Διαμόρφωση τελικής επιφάνειας

Όταν αρχίζει η σκλήρυνση της πήξης και με την χρήση μιας πλαστικής βούρτσας για να γίνει η διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας αφαιρούνται τα ανεπαρκώς σωματίδια που έχουν προσκολληθεί σε αυτήν. Αυτό συμβαίνει τις περισσότερες φορές μια έως δύο ώρες μετά την εκτόξευση. Εκτός της αφαίρεσης οδηγών, πήχιασμα, αλφάδιασμα απαγορεύεται για 48 ώρες μετά την εκτόξευση οποιαδήποτε ενέργεια που θα μπορούσε να διαταράξει τον ιστό του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. («Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων», Β μέρος, Άρθρο του Στέφανου Η. Δρίτσου, ΠΑΤΡΑ)

«Όταν από την μελέτη προβλέπεται τελική επίστρωση για την κάλυψη των κυματισμών ή των κενών της αρχικής επιφάνειας που προέκυψε από την εκτόξευση ή για να δοθεί ο επιθυμητός εξωτερικός χρωματισμός η σύνθεση περιλαμβάνει περισσότερο λεπτόκοκκο υλικό και περισσότερο νερό και προσδιορίζεται από ειδική μελέτη σύνθεσης.» «Σε περίπτωση που γίνει παράλειψή της ειδικής μελέτης, ως μέγιστος αποδεκτός κόκκος αδρανών του μίγματος τελικής επίστρωσης θα μπορούσε να θεωρηθεί το ½ του πάχους της επίστρωσης και η ποσότητα του νερού ανάμιξης θα μπορούσε να αυξηθεί μέχρι και 50%.» («Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων», Β μέρος, Άρθρο του Στέφανου Η. Δρίτσου, ΠΑΤΡΑ)

xi. Παραδείγματα υλικών εκτοξευόμενου σκυροδέματος

❖ RP 4800 GUNITE [34]

(Υψηλών αντοχών εκτοξευόμενο τσιμεντοκονίαμα για δομικές επισκευές σκυροδέματος).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Κονίαμα τσιμεντοειδούς βάσης ενισχυμένο με πυριτική παιπάλη, για την επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών με τη μέθοδο της ξηρής ή υγρής εκτόξευσης. Παράγεται σε δύο τύπους με μέγιστη διάμετρο αδρανών 4mm και 10mm. Ικανοποιεί τις απαιτήσεις σχεδιασμού της Ελληνικής Τεχνικής Προδιαγραφής ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-14-01-14-00 για την ενίσχυση/αποκατάσταση κατασκευών από σκυρόδεμα με μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος, και της EFNARC - European Specification for Sprayed Concrete, ως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατηγορίας C32/40. «Κατατάσσεται ως τσιμεντοειδές κονίαμα για δομικές επισκευές κατασκευών από σκυρόδεμα κατηγορίας CC R3 σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1504-3.»

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Κατάλληλο για την επισκευή μεγάλων όγκων σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, την ενίσχυση και αποκατάσταση της στατικής επάρκειας παλαιών και νέων κατασκευών με τη μέθοδο του εκτοξευόμενου μανδύα.

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

Ενδεικτικά, 20-22kg/m² για στρώση πάχους 1cm.
Η κατανάλωση επηρεάζεται σημαντικά από την επιφάνεια και τη μέθοδο εκτόξευσης.

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Διατίθεται σε:

- Χαρτόσακους των 30kg

Αποθήκευση: Το προϊόν διατηρείται 12 μήνες από την ημερομηνία παραγωγής, εφόσον παραμένει στην αρχική, σφραγισμένη συσκευασία, προστατευμένο από την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία.

❖ FASTSET P [35]

(Επιταχυντής πήξης εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε σκόνη για εφαρμογές Gunita με την ξηρή μέθοδο).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

«Επιταχυντής πήξης εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Gunita) σε μορφή σκόνης, ελεύθερος επιβλαβών χλωριούχων αλάτων. Σχεδιασμένο ειδικά για την ξηρή μέθοδο εφαρμογής, για επιτάχυνση πήξης του σκυροδέματος, βελτίωση της πρόσφυσης, μείωση φαινομένου αναπήδησης (rebound) και την ανάπτυξη υψηλών πρώιμων και τελικών αντοχών. Κατάλληλο για εφαρμογές σε κτιριακές κατασκευές, όπως επενδύσεις – ενισχύσεις φέρουσας κατασκευής σκυροδέματος. Ανάμιξη με το ξηρό μίγμα τσιμέντου, άμμου και αδρανών, πριν την προσθήκη του νερού του μίγματος.»



Εικόνα 2.10: Επιταχυντής πήξης FASTSET P [35]

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Κατανάλωση: 2,0% με 6,0% κ.β. τσιμέντου, ανάλογα με τον επιθυμητό χρόνο πήξης

Συσκευασία: Σάκοι 25 Kg

❖ **FASTSET L**
(Υγρός επιταχυντής πήξης σκυροδέματος).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

«Προστιθέμενος, επιταχύνει την διαδικασία έναρξης της πήξης σε σκυροδέματα και/ή κονιάματα.»



Εικόνα 2.11: Υγρός Επιταχυντής πήξης FASTSET L [35]

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Κατανάλωση: 2,0% με 6,0% κ.β. τσιμέντου, ανάλογα με τον επιθυμητό χρόνο πήξης

Συσκευασία: Σάκοι 25 Kg.

xii. Μηχανήματα εκτόξευσης σκυροδέματος

➤ **Sika® - PM500 [20]**
ΜΗΧΑΝΗΜΑ-ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΚΤΟΞΕΥΣΗΣ

- Υψηλά μηχανοποιημένα συστήματα εκτόξευσης για μεγάλου και μικρού μεγέθους σήραγγες
- Μεγάλη ευελιξία λόγω σπονδυλωτού σχεδιασμού
- Είναι κατάλληλο για μεγάλες κλίσεις



Εικόνα 2.12: Σύστημα εκτόξευσης- Sika PM500 [20]

- Μηχάνημα εκτόξευσης σκυροδέματος **NORMET SPRAYMEC 7110 WPC**
Στη σήραγγα Κλόκοβα στο έργο Ιόνια Οδός της εταιρείας ΤΕΡΝΑ ΑΤΕ



Εικόνα 2.13: Ειδικό μηχάνημα εκτόξευσης σκυροδέματος **NORMET SPRAYMEC 7110 WPC**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΕΣ ΚΟΛΛΕΣ & ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΡΩΓΜΩΝ

3.1 ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΕΣ ΚΟΛΛΕΣ [19]

Λόγω της ανάμειξης των δύο συστατικών επι τόπου δημιουργούνται οι πολυμερικές κόλλες καθώς είναι συγκολλητικά υλικά. Το συστατικό Α το οποίο είναι σε υγρή μορφή αποκαλείται πολυμερές, ενώ το συστατικό Β ονομάζεται σκληρυντής. Λόγω της ανάμειξής τους δημιουργείται ένα συγκολλητικό υλικό το οποίο είναι πάρα πολύ ισχυρό. Αυτός είναι και ο λόγος όπου οι πολυμερικές κόλλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύ εύκολα στον τομέα των επισκευών και ενισχύσεων. Επιπροσθέτως, έχουν την δυνατότητα σε σχέση με άλλα συστήματα σύνδεσης, τον μερισμό των φορτίων σε μεγαλύτερη επιφάνεια και έτσι, απόρροια αυτού είναι η μείωση των τοπικών εντάσεων.

Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται πολλά είδη πολυμερών. Όμως για τις ανάγκες που απαιτούν οι διαδικασίες επισκευής και ενίσχυσης των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα πλέον ενδεδειγμένα πολυμερή είναι:

- ❖ Αρχικά, οι **εποξειδικές (ή εποξικές)** και
- ❖ Δευτερεύον οι **πολυεστερικές** ρητίνες.

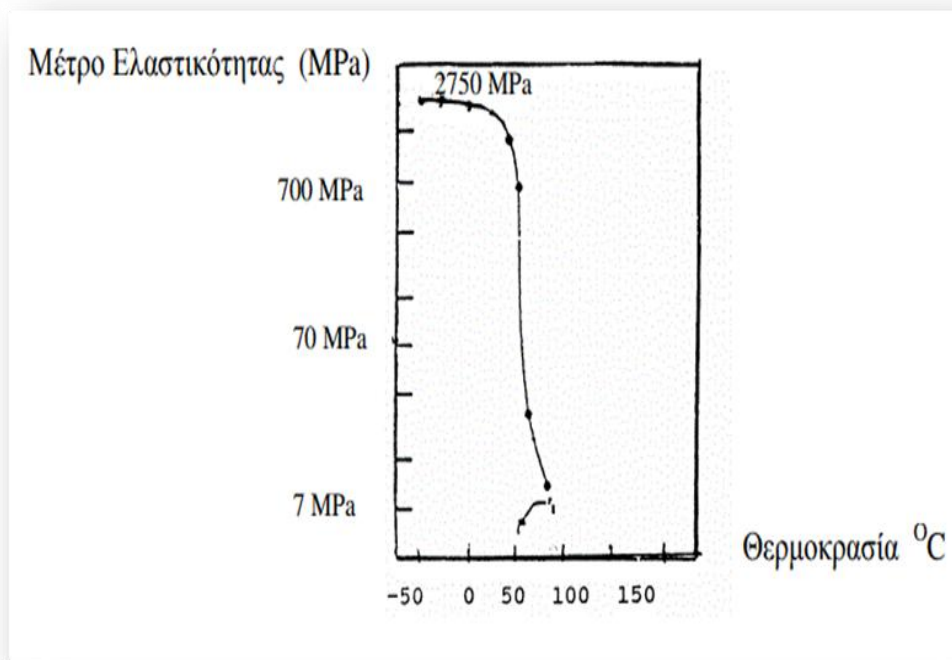
Οι τεχνικές που εφαρμόζονται στις ρητίνες έχουν ως βασικό ελάττωμα την ειδική διαχείριση στον προγραμματισμό των εργασιών επέμβασης καθώς:

- 1) είναι μικρός ο χρόνος της εργασιμότητας τους και
- 2) για το διάστημα που διαρκεί η συγκόλληση τους θα πρέπει να παραμείνουν απείραχτα τα στοιχεία που θα συγκολληθούν.

Επιπροσθέτως, δεν θα πρέπει να αγνοούνται τα βασικά προβλήματα των ρητινοειδών υλικών καθώς οι ιδιότητές τους είναι διαφορετικές από αυτές του σκυροδέματος.

Μερικά βασικά προβλήματα που μπορούν να αναφερθούν είναι τα ακόλουθα:

- 1) Σε υψηλές θερμοκρασίες υπάρχει πολύ μικρή αντοχή του υλικού. Αλλάζουν οι ιδιότητες της ρητίνης και μειώνεται η αντοχή της σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 50° C. Η ρητίνη καίγεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 250° C. Συνεπώς, είναι φανερός ο κίνδυνος που μπορεί να δημιουργηθεί σε περίπτωση της πυρκαγιάς με αποτέλεσμα να πρέπει να παρθούν συγκεκριμένα μέτρα προστασίας των επισκευασμένων δομικών στοιχείων.



Εικόνα 3.1: Η επίδραση της θερμοκρασίας στο μέτρο ελαστικότητας. [19]

- 2) Είναι πολύ μικρότερο το μέτρο ελαστικότητας του υλικού συγκριτικά με αυτό που έχει το σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα, είναι μικρότερο από το 1/10 της τιμής του μέτρου ελαστικότητας του σύνηθες σκυροδέματος.

Όσον αφορά, το πώς χρησιμοποιούνται οι ρητίνες στον τομέα των επισκευών και ενισχύσεων οι πιο σύνηθες εφαρμογές είναι: (Στέφανος Η. Δρίτσος, ΠΑΤΡΑ 2005)

- I. Σε σκληρυμένο σκυρόδεμα γίνεται η συγκόλληση νεπού σκυροδέματος,
- II. Σε σκληρυμένο σκυρόδεμα γίνονται αγκυρώσεις ράβδων,
- III. Η συγκόλληση άλλων υλικών στο σκυρόδεμα και
- IV. Η επισκευή ρωγμών στο σκυρόδεμα.

3.2 ΕΠΟΞΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ

A) Γενικά

Οι εποξικές ρητίνες, γνωστές και ως πολυεποξείδια είναι μια κατηγορία αντιδραστικών προπολυμερών και πολυμερών που περιέχουν εποξειδικές ομάδες. [36]

Οι εποξικές ρητίνες μπορούν να αντιδράσουν (σταυρωτά) είτε με τον εαυτό τους μέσω καταλυτικού ομοπολυμερισμού είτε με ένα ευρύ φάσμα συν-αντιδρώντων όπως πολυλειτουργικές αμίνες, οξέα, φαινόλες, αλκοόλες και θειόλες. Αυτά τα συν-αντιδρώντα αναφέρονται συχνά ως σκληρυντικά ή θεραπευτικά και η αντίδραση της διασταυρούμενης σύνδεσης συνήθως αναφέρεται ως σκλήρυνση. Η αντίδραση πολυεποξειδίων με τον εαυτό τους ή με πολυλειτουργικά σκληρυντικά σχηματίζει θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές, συχνά με ευνοϊκές μηχανικές ιδιότητες και υψηλή θερμική και χημική αντοχή. [36]

«Οι εποξικές ρητίνες είναι ημιδιαφανή ιξώδη υγρά που χρησιμοποιούνται είτε μόνα είτε σε συνδυασμό με ενισχυτικά υφάσματα για την παραγωγή σύνθετων ενισχυμένων δομών. Οι εποξικές ρητίνες είναι θερμοσκληραινόμενα πλαστικά, δηλαδή είναι πετροχημικά υλικά που σκληραίνουν μη αντιστρεπτά.» Η σκλήρυνση μπορεί να επέλθει με θέρμανση, γενικά υψηλής θερμοκρασίας έως και 200 °C , μέσω χημικής αντίδρασης, ή κατάλληλης ακτινοβολήσης. «Τα θερμοσκληραινόμενα υλικά είναι συνήθως υγρά ή ελάσιμα πριν τη σκλήρυνση. Όταν μια θερμοσκληραινόμενη ρητίνη σκληρύνει δεν μπορεί να αναθερμανθεί και να λιώσει σε διαφορετικό σχήμα.» [37]

B) Ιστορικά Στοιχεία

Οι πρώτες εμπορικές προσπάθειες για την παρασκευή ρητινών έγιναν το 1927 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η πίστωση για την πρώτη σύνθεση εποξειδικών ρητινών με βάση την διφαινόλη-A έγινε από τον Δρ. Pierre Castan της Ελβετίας και τον Δρ. S.O. Greenlee των Ηνωμένων Πολιτειών το 1936. [38]

Το έργο του Δρ. Castan εγκρίθηκε από την Ciba, Ltd. της Ελβετίας, η οποία στην πορεία έγινε ένας από τους τρεις μεγαλύτερους παραγωγούς εποξειδικής ρητίνης παγκοσμίως. Η δημιουργία της εποξειδικής ρητίνης σε συνεργασία με την επιχείρηση της Ciba διακόπηκε και αργότερα πουλήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Σήμερα, είναι η επιχειρηματική μονάδα Advanced Materials της Huntsman Corporation των Ηνωμένων Πολιτειών. Η δουλειά του Δρ. Greenlee αφορούσε την εταιρεία Devoe-Reynolds των Ηνωμένων Πολιτειών. Η Devoe-Reynolds, η οποία δραστηριοποιήθηκε στις πρώτες μέρες της βιομηχανίας εποξειδικής ρητίνης, πουλήθηκε στην Shell Chemical. [38]

Μόλις η εποξειδική ρητίνη άρχισε να απογειώνεται για τις βιομηχανικές χρήσεις της στη δεκαετία του '40 και του '50, η χρήση της στην τέχνη έγινε ομοίως δημοφιλής. Οι καλλιτέχνες άρχισαν να αναμιγνύουν εποξειδική ρητίνη με χρωστική ουσία και την χρησιμοποίησαν ως μέσο ζωγραφικής. [39]

Γ) Παραγωγή [40]

Στην σήμερον ημέρα υπάρχουν περίπου 50 - 100 παραγωγοί εποξειδικών ρητινών και σκληρυντών από τους οποίους οι τρεις μεγαλύτεροι είναι:

1. Hexion (άλλοτε ονομαζόταν Shell Company),
2. The Dow Chemical Company και
3. Huntsman Corporation's Advanced Materials (άλλοτε ονομαζόταν Ciba Chemical).

Επιπροσθέτως, υπάρχουν και άλλοι παραγωγοί μικρότεροι από τους προαναφερόμενους που παράγουν κυρίως εποξειδικές ρητίνες μόνο για τοπική κλίμακα, ή παράγουν μόνο σκληρυντές, ή παράγουν εποξειδικούς τροποποιητές.

Όσον αφορά τους πιο πάνω παραγωγούς επειδή υπάρχει και άλλη ομάδα εταιρειών που προμηθεύεται τις αρχικές ύλες από τους αρχικούς παραγωγούς της ρητίνης, δεν πωλούν τις εποξειδικές ρητίνες σε έτοιμη τελική συσκευασία για τον καταναλωτή και εν συνεχεία αναμειγνύουν σύμφωνα με αυτές τις πρώτες ύλες τα εποξειδικά συστήματα. Με ποικίλους τρόπους αυτές οι εταιρείες μπορούν να αλλάξουν τα εποξειδικά.

Καθώς αυτές οι αλλαγές μπορούν να βελτιώσουν το έργο όσον αφορά την εκτέλεσή του αλλά και να ελαττώσουν το κόστος τους. Εφαρμόζονται κυρίως τα πληρωτικά και τα αραιωτικά υλικά.

- ❖ Με τη χρήση αραιωτικών υλικών, μπορεί να επιτευχθεί η μείωση του ιξώδους των εποξειδικών ρητινών που υπάρχουν στο εμπόριο.
- ❖ Η μείωση του κόστους του τελικού προϊόντος μπορεί να γίνει με την χρήση των πληρωτικών υλικών, καθώς αποσκοπούν στο να αυξήσουν το βάρος και τον όγκο του προϊόντος.

Ως συγκολλητικά και επικαλυπτικά υλικά χρησιμοποιούνται στην πράξη τα υλικά που έχουν ως βάση τις εποξειδικές ρητίνες όπως είναι οι ίνες υαλού. Για την πολύ καλή τους πρόσφυση και θερμική αντίσταση είναι ευρέως γνωστά τα εποξειδικά αλλά και για τις καλές μηχανικές ιδιότητές τους.

Δ) Χρήσεις Εποξειδικής Ρητίνης

Στις μέρες μας, η εποξική ή εποξειδική ρητίνη έχει ευρεία εφαρμογή στην επισκευή και την ενίσχυση κατασκευών, καθώς επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για να: [41]

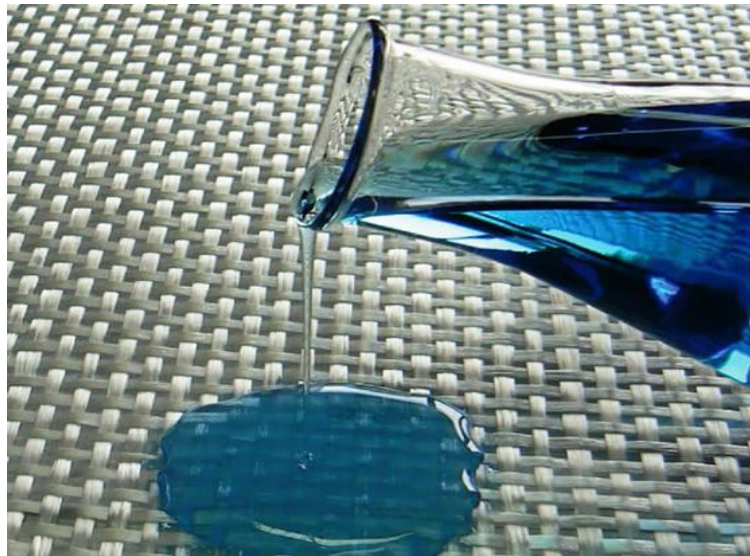
- ✚ Δημιουργήσει ένα προστατευτικό επίστρωμα πάνω από ξύλινες επιφάνειες (π.χ. ξύλινο πάτωμα).
- ✚ Σταθεροποιήσει διακοσμητικά αντικείμενα πάνω σε ξύλο ή γυαλί.
- ✚ Κλείσει κενά μεταξύ ξύλινων σανίδων.
- ✚ Εντείνει την ανθεκτικότητα των πλακακιών.

- ✚ Προστατέψει τους αρμούς από συσσώρευση βρωμιάς (σε αυτή την περίπτωση, βέβαια, καλό θα ήταν να προστεθεί σοβάς ή ρευστοκονίαμα για ακόμα καλύτερα αποτελέσματα).

Ε) Τύποι Εποξικών Ρητινών

Οι εποξικές ρητίνες μπορούν να ταξινομηθούν βάσει των ακόλουθων χαρακτηριστικών: [37]

- Αν γίνεται πολυμερισμός σε θερμοκρασία δωματίου ή αν απαιτείται «ψήσιμο».
- Αναλόγως του τρόπου εφαρμογής τους διακρίνονται σε:
 - ❖ Χύτευση
 - ❖ Open Molding/ Hand Lamination, δηλαδή εφαρμογή με το χέρι
 - ❖ Vacuum Infusion, δηλαδή έγχυση σε κενό αέρα
 - ❖ Closed molding, δηλαδή έγχυση κλειστής χύτευσης
- Αν περιέχουν ή όχι filler (πληρωτικά).



Εικόνα 3.2: Εποξική ρητίνη [37]

ΣΤ) Χρόνος επεξεργασίας

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας κατά την εργασία με εποξειδικές ρητίνες είναι ο λεγόμενος χρόνος επεξεργασίας (pot life). Δηλαδή, το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η ρητίνη μπορεί να υποστεί επεξεργασία μετά την ανάμιξη των δύο συστατικών, τα οποία είναι η ρητίνη (συστατικό Α) και το σκληρυντικό (συστατικό Β). Ο χρόνος αυτός μπορεί να είναι είτε σύντομος είτε με μεγαλύτερη διάρκεια αναλόγως τις απαιτήσεις του έργου κάθε φορά. [42]

Όταν επιλέγεται ο **σύντομος χρόνος επεξεργασίας** της εποξειδικής ρητίνης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
<i>Μερικά αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν κατά τη βαφή των παραλλαγών ρητίνης</i>	<i>Αυξημένος σχηματισμός φυσαλίδων σε δύσκολες καταστάσεις εξαερισμού.</i>
<i>Επιτυγχάνεται ταχύτερη συσσώρευση στρώματος. Συνεπώς, τα διάφορα στρώματα μπορούν να χυθούν το ένα πάνω στο άλλο σε μικρότερα διαστήματα.</i>	<i>Κάτω από την υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να εμφανιστεί κάποιο κιτρίνισμα.</i>

Πίνακας 3.1: Σύντομος χρόνος επεξεργασίας της εποξειδικής ρητίνης [42]

Όταν επιλέγεται ο **μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας** της εποξειδικής ρητίνης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
<i>Σε περίπτωση μεγαλύτερου χρόνου εργασίας υπάρχει αρκετός χρόνος για να αναμειχθούν πολλά διαφορετικά χρώματα και δίνεται η δυνατότητα επεξεργασίας τους</i>	<i>Απαιτούνται περισσότερα μεμονωμένα υλικά, όπως διάφορα αντικείμενα ανάμειξης και σπάτουλες για τη χύτευση πολλών στρωμάτων</i>
<i>Οι μεταβάσεις από το ένα στρώμα στο άλλο είναι ελάχιστα ορατές όταν πολλά διαφανή στρώματα στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο</i>	

Πίνακας 3.2: Μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας της εποξειδικής ρητίνης [42]

Z) Μέτρα ασφαλείας [43]

Καθώς αναγνωρίζονται οι εποξειδικές ρητίνες ως υλικά επικίνδυνα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο χώρο εργασίας τα μέτρα ασφαλείας που θα πρέπει να παρθούν και τα οποία είναι τα ακόλουθα: [43]

- ✚ Να γίνεται η απαραίτητη προστασία των χεριών με κρέμες ή ειδικά γάντια
- ✚ Να είναι ευρέως άμεσα για τον καθαρισμό των ματιών οι απαραίτητες εγκαταστάσεις
- ✚ Να διατίθενται άμεσα οι οδηγίες χρήσεις του υλικού
- ✚ Να χρησιμοποιεί το προσωπικό εργασίας ειδικά γυαλιά προστασίας και ρουχισμό
- ✚ Όπου κρίνεται απαραίτητο να χρησιμοποιείται η μάσκα οξυγόνου
- ✚ Να δίνεται η δυνατότητα παροχής εξαερισμού σε κλειστούς χώρους.
- ✚ Να γίνεται ασφαλής αποθήκευση των επικίνδυνων υλικών.
- ✚ Να παρέχονται τα απαραίτητα υλικά για καθαρισμό των χεριών.
- ✚ Ενημέρωση των κατοίκων της περιοχής όπου γίνονται οι επισκευές, κατά την διάρκεια των διαδικασιών επισκευής.

3.3 ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ

A) Γενικά

Οι πολυεστερικές ρητίνες είναι ημιδιαφανή ιξώδη υγρά που χρησιμοποιούνται είτε μόνα είτε σε συνδυασμό με ενισχυτικά υφάσματα για την παραγωγή σύνθετων ενισχυμένων δομών. «Οι πολυεστερικές ρητίνες είναι θερμοσκληραινόμενα πλαστικά δηλαδή είναι πετροχημικά υλικά που σκληραίνουν με μη ανατρεπτικό τρόπο. Η σκλήρυνση μπορεί να επέλθει με θέρμανση, γενικά υψηλής θερμοκρασίας έως και 200 °C, μέσω χημικής αντίδρασης, ή κατάλληλης ακτινοβολήσης.» Τα θερμοσκληραινόμενα υλικά είναι συνήθως υγρά ή ελάσιμα πριν τη σκλήρυνση. Όταν μια θερμοσκληραινόμενη ρητίνη ξανά σκληρύνει δεν μπορεί να αναθερμανθεί και να λιώσει σε διαφορετικό σχήμα. [44]

Η ρητίνη πολυεστέρα είναι μια ακόρεστη, θερμοσκληρυντική ρητίνη που παράγεται από μια αντίδραση μεταξύ πολλών οργανικών οξέων και πολυυδρικών αλκοολών.

Χρησιμοποιείται συχνότερα στην κατασκευή της φορμαρισμένης ενισχυμένης ίνας και των σύνθετων προϊόντων. Η ρητίνη πολυεστέρα που χρησιμοποιείται στις

περισσότερες εφαρμογές χύτευσης είναι ένα ιξώδες υγρό που απαιτεί την προσθήκη καταλυτών και επιταχυντών για την ολοκλήρωση της διαδικασίας σκλήρυνσης. [45]

Η ρητίνη πολυεστέρα έχει μια σύντομη διάρκεια ζωής και θα πήξει έξω στο χώρο εντελώς μετά από μια εκτεταμένη περίοδο. Οι αναστολές πήξης προστίθενται συχνά στη ρητίνη για να επιβραδύνουν αυτή τη διαδικασία, αλλά τελικά η ρητίνη θα σκληρύνει εντελώς με το πέρασμα του χρόνου. Προστίθεται καταλύτης για την έναρξη της διαδικασίας σκλήρυνσης. Επιπροσθέτως, ένας επιταχυντής επιταχύνει το χρόνο πήξης του προϊόντος με αποτέλεσμα να επιτρέπει στη διαδικασία του έργου να προχωρήσει γρηγορότερα σε θερμοκρασίες δωματίου και χωρίς πίεση. [45]

B) Πλεονεκτήματα

Η πολυεστερική ρητίνη προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα: [46]

- 1) Επαρκής αντοχή στο νερό και ποικιλία χημικών ουσιών.
- 2) Επαρκής αντοχή στις καιρικές συνθήκες και τη γήρανση.
- 3) Χαμηλό κόστος.
- 4) Οι πολυεστέρες μπορούν να αντέξουν θερμοκρασία έως 80 °C.
- 5) Οι πολυεστέρες έχουν καλή διαβροχή σε ίνες γυαλιού.
- 6) Σχετικά χαμηλή συρρίκνωση μεταξύ 4-8% κατά τη διάρκεια της θεραπείας.

Γ) Μειονεκτήματα

Η πολυεστερική ρητίνη έχει τα ακόλουθα μειονεκτήματα: [46]

- 1) Εμπεριέχει ισχυρή οσμή στυρολίου
- 2) Είναι πιο δύσκολο να αναμειχθούν από άλλες ρητίνες, όπως η εποξειδική ρητίνη
- 3) Η τοξική φύση των αναθυμιάσεών του, και ιδιαίτερα του καταλύτη του, θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια εάν δεν χρησιμοποιείται η κατάλληλη προστασία
- 4) Δεν είναι κατάλληλο για συγκόλληση πολλών υποστρωμάτων
- 5) Η τελική θεραπεία είναι πιθανότατα ασθενέστερη από την ίση ποσότητα εποξειδικής ρητίνης

Δ) Τύποι πολυεστερικών ρητινών

Οι πολυεστερικές ρητίνες μπορούν να ταξινομηθούν βάσει των ακόλουθων χαρακτηριστικών: [44]

- Αν περιέχουν ή όχι επιταχυντή
- Αναλόγως του τρόπου εφαρμογής τους διακρίνονται σε:
 - ❖ Χύτευση
 - ❖ Open Molding/ Hand Lamination, δηλαδή εφαρμογή με το χέρι
 - ❖ Vacuum Infusion, δηλαδή έγχυση σε κενό αέρα
 - ❖ Closed molding, δηλαδή έγχυση κλειστής χύτευσης
- Αν περιέχουν ή όχι filler

Ε) Οδηγίες για τη χρήση πολυεστερικής ρητίνης

Σύμφωνα με την εταιρεία ΑΛΦΑΚΕΜ ΕΠΕ, δίνονται κάποιες γενικές συμβουλές για την χρήση της πολυεστερικής ρητίνης οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω: [44]

- Συνιστάται το ανακάτεμα της ρητίνης πολυεστέρα πριν από τη χρήση.
- Εφαρμογή και χρήση των πολυεστερικών ρητινών σε ιδανικές συνθήκες γύρω στους 20-25 βαθμούς Κελσίου και όσο το δυνατόν σε μικρότερη περιβαλλοντική υγρασία.
- Ακόμη πολύ σημαντικό είναι και η αποθήκευση των ρητινών. Πρέπει να αποθηκεύονται πάντα σε δροσερό και σκιερό μέρος. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή το χειμώνα, καθώς αν αποθηκευτούν οι ρητίνες σε κρύο χώρο, τότε δεν θα πρέπει να ξεκινήσει κάποιος την εργασία του αμέσως, χρησιμοποιώντας την ρητίνη η οποία είναι ήδη κρύα. Θα πρέπει να παραμένει για κάποιο χρονικό διάστημα σε θερμό περιβάλλον για να ζεσταθεί και έπειτα θα είναι έτοιμη για να ξεκινήσει οποιοδήποτε είδους εργασία.
- Εάν δεν χρησιμοποιηθεί όλη η ρητίνη σε μία εφαρμογή, τότε μπορεί να σφραγιστεί καλά το δοχείο για να είναι έτοιμη για την επόμενη χρήση.
- Σε όλες τις πολυεστερικές ρητίνες, είναι αναγκαίο να προσθέτουμε καταλύτη για την τελική σκλήρυνση της ρητίνης.
- Μετά την προσθήκη του καταλύτη, ο χρόνος δουλέματος του μίγματος είναι 15-25 λεπτά, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, πριν από την έναρξη του πολυμερισμού.
- Δεν θα πρέπει να αραιώνονται οι πολυεστερικές ρητίνες. Εάν όμως είναι απαραίτητο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το στυρόλιο, όχι περισσότερο από 10% κ.β. (κατά βάρος).

- «Οι πολυεστερικές ρητίνες μπορούν να χρωματιστούν με κατάλληλες χρωστικές ουσίες αρκεί να μην ξεπεραστεί το 10% κατά βάρος.»

3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗΣ - ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ

ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗ ΡΗΤΙΝΗ – ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΗ ΡΗΤΙΝΗ

Η εποξειδική ρητίνη παράγεται με πολυμερισμό συμπύκνωσης	Η ρητίνη πολυεστέρα παράγεται από τον πολυμερισμό ελεύθερων ριζών
--	---

ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι εποξειδικές ρητίνες έχουν συγκολλητικές ιδιότητες	Οι πολυεστερικές ρητίνες δεν έχουν συγκολλητικές ιδιότητες
--	--

ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ

Η συρρίκνωση είναι χαμηλή	Η συρρίκνωση είναι υψηλή
---------------------------	--------------------------

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η περιβαλλοντική διάρκεια είναι υψηλή	Η περιβαλλοντική διάρκεια είναι χαμηλή
---------------------------------------	--

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι εποξειδικές ρητίνες είναι πιθανότερο να χρησιμοποιηθούν σε υψηλές θερμικές εφαρμογές	Οι πολυεστερικές ρητίνες είναι λιγότερο πιθανό να χρησιμοποιηθούν σε υψηλές θερμικές εφαρμογές
---	--

ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΓΥΑΛΙΟΥ

Η θερμοκρασία μετάβασης γυαλιού είναι 40-300 °C	Η θερμοκρασία μετάβασης γυαλιού είναι 40 έως 110 °C
---	---

ΚΟΣΤΟΣ

Η εποξειδική ρητίνη είναι ακριβή	Η πολυεστερική ρητίνη δεν είναι ακριβή
----------------------------------	--

ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Η εποξειδική ρητίνη είναι λιγότερη τοξική	Η πολυεστερική ρητίνη είναι εξαιρετικά τοξική
---	---

Πίνακας 3.3: Σύγκριση χαρακτηριστικών εποξειδικής με την πολυεστερική ρητίνη [47]

3.5 ΡΩΓΜΕΣ

A) Γενικά

Οι ρωγμές εμφανίζονται πάρα πολύ συχνά στις κατασκευές από σκυρόδεμα. Λόγω της μικρής του εφελκυστικής αντοχής είναι σύμφυτη η ρηγματώση με τις κατασκευές από Ο.Σ.[48] Η παρουσία των ρωγμών δεν υπονομεύει την έλλειψη της ανθεκτικότητας μιας κατασκευής και για αυτό θα πρέπει ο μηχανικός του έργου να είναι πολύ προσεκτικός. Ο μηχανικός θα πρέπει να παρέμβει σε έργα που χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί η τεχνική των ρητινενέσεων με στόχο την σωστή εφαρμογή της για την αποφυγή των ρωγμών.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι ρωγμές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις ενεργές και τις μη-ενεργές.

- Οι ενεργές ρωγμές αποκαλούνται οι ρωγμές εκείνες οι οποίες παραμένουν ενεργές όταν συνεχίζονται οι μετακινήσεις. [19]
- Οι μη- ενεργές είναι οι ρωγμές όταν δεν παρατηρούνται πλέον μετακινήσεις. [19]

Στην περίπτωση των ενεργών ρωγμών κατά την οποία δεν αποτελεί μέρος επηρεασμού, η αποφυγή της αιτίας που τις δημιουργεί αλλά κυρίως, να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα, έτσι ώστε να μην δημιουργούνται βλάβες στο φορέα από τις μετακινήσεις και επιπροσθέτως να επιλεγεί το κατάλληλο υλικό με μεγάλη παραμορφωσιμότητα. Τις περισσότερες φορές επιλέγεται η έγχυση του υλικού στις ενεργές ρωγμές την στιγμή που βρίσκονται στην ευρύτερη τους θέση. Δεν θα πρέπει να είναι παραμορφώσιμο το υλικό που θα επιλεγεί για την επισκευή των μη-ενεργών ρωγμών.(Στέφανος Η. Δρίτσος, ΠΑΤΡΑ 2005)

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3.4) εμφανίζονται για τις διαφορετικές συνθήκες του περιβάλλοντος τα μέγιστα αποδεκτά όρια εύρους ρωγμών.

Συνθήκες Περιβάλλοντος	Μέγιστο Επιτρεπόμενο Εύρος Ρωγμής
Ξηρό Περιβάλλον	0,41mm
Υγρό Περιβάλλον ή Έδαφος	0,30mm
Χημικές προσβολές	0,18mm
Θαλάσσιες κατασκευές	0,15mm
Δεξαμενές	0,10mm

Πίνακας 3.4: Μέγιστο αποδεκτό εύρος ρωγμών. [19]



Εικόνες 3.3 & 3.4: Εμφάνιση ρωγμών στο σκυρόδεμα

3.6 Η μέθοδος των ρητινενέσεων [19]

A) Γενικά

«Με τον όρο ‘ρητινένεση’ προσδιορίζεται η διαδικασία έγχυσης μιας ρητινοειδούς κόλλας στις ρωγμές του στοιχείου με ενέσιμο τρόπο.» Στις μέρες μας, η τεχνική των ρητινενέσεων έχει αποδειχθεί ως η καλύτερη λύση για την επιδιόρθωση και επισκευή των ρωγμών στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συνήθως, τις συναντάμε σε εύρος τιμών από 0,1mm – 3,0mm. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι έχει χαρακτηριστεί ως μια από τις καλύτερες μεθόδους επισκευής των ρωγμών, καθώς τα αποτελέσματα από πειραματικές έρευνες που έχουν διεξαχθεί έδειξαν πως με την τεχνική αυτή μπορεί να επιτευχθεί πλήρης η επισκευή των ρωγμών καθώς επίσης, και η επαναφορά της μονολιθικότητας και της στατικής ακεραιότητας του στοιχείου ή της κατασκευής. [19]

Συνεπώς, η μέθοδος των ρητινενέσεων αποτελεί μια τεχνική που εφαρμόζεται για την αποκατάσταση των ρωγμών του οπλισμένου σκυροδέματος. «Με την τεχνική αυτή γίνεται αρχικά η σφράγιση της ρωγμής και η τοποθέτηση ακροφυσίων ανά τακτά διαστήματα και έπειτα τοποθετείται με πίεση η λεπτόρρευστη εποξειδική ρητίνη.» Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η συγκόλληση του ρηγματωμένου σκυροδέματος και η αποκατάσταση της στατικής συνέχειας. [50]



Εικόνα 3.5: Εφαρμογή της μεθόδου των ρητινενέσεων [50]

B) Η μέθοδος των ρητινενέσεων συγκριτικά με άλλες μεθόδους επισκευής ρωγμών [19]

Γίνονται πολλές προσπάθειες τα τελευταία χρόνια για την εύρεση νέων μεθόδων για την καταλληλότερη τεχνική για την επισκευή ρωγμών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η πιο διαδομένη μέθοδος και η καλύτερη από όλες όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι η τεχνική των ρητινενέσεων. Παρόλα αυτά, έχουν γίνει προσπάθειες για εύρεση νέας τεχνικής, οι οποίες αποδείχθηκαν ανεπιτυχείς.

Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από αυτές τις τεχνικές, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- ❖ Η εφαρμογή υγρής μεμβράνης.
- ❖ Η εφαρμογή ειδικών κονιαμάτων που έχουν ως βάση το τσιμέντο για να επιτευχθεί το σφράγισμα των ρωγμών.
- ❖ Η εφαρμογή μεμβράνης από ίνες γυαλιού, ανάμεσα από επάλληλες στρώσεις επιφανειακού σφραγίσματος της ρωγμής με ειδικά κονιάματα τσιμέντου.

- ❖ Για τη γεφύρωση του ανοίγματος της ρωγμής εφαρμόζονται διάφορα είδη μαστίχας ή εποξειδικής κόλλας.
- ❖ «Η εφαρμογή διαφόρων ειδών σιλικόνης σε όλη την επιφάνεια του δομικού στοιχείου ή σε αυλάκια διερεύνησης του ίχνους της ρωγμής, κατά την διεύθυνση όλου του μήκους της.»

Ο λόγος για τον οποίο οι παραπάνω μέθοδοι επισκευής των ρωγμών έχουν καθοριστεί ως ανεπιτυχείς είναι η γήρανση του υλικού επισκευής. Συνεπώς αυτοί οι μέθοδοι δεν εφαρμόζονται στην πράξη, παρά μόνο σαν προσωρινοί τρόποι αποκατάστασης. Μια τεχνική που μπορεί να αποτελέσει μόνιμη αποκατάσταση είναι η τεχνική των ενέσεων με ρητίνες καθώς δεν χάνει την αντοχή της με τον χρόνο.

Γ) Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα της τεχνικής των ρητινενέσεων [19]

Μερικά από τα βασικά **πλεονεκτήματα της τεχνικής των ρητινενέσεων** είναι τα ακόλουθα:

- 1) «Τα κενά που δημιουργούνται στις ρωγμές τα γεμίζουν οι ρητίνες οι οποίες δεν γεφυρώνουν απλώς το άνοιγμα. Με αποτέλεσμα, να επιτυγχάνεται απόλυτη συνέχεια του υλικού. Επιπροσθέτως, αποκαθίσταται τελείως η συνάφεια του οπλισμού του σκυροδέματος.»
- 2) Γίνεται η αποφυγή του μήκους των ρωγμών λόγω των υψηλών αντοχών συνάφειας και εφελκυσμού των ρητινών με το σκυρόδεμα.
- 3) «Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται δεν είναι υλικά ευάλωτα από παράγοντες που συχνά επιδρούν δυσμενώς στην κατασκευή, όπως για παράδειγμα οι περιβαλλοντικές δράσεις και τα ιόντα.» Το υλικό που βρίσκεται στην επιφάνεια του στοιχείου δέχεται μεγαλύτερες επιδράσεις συγκριτικά με το υλικό που βρίσκεται στο βάθος της ρωγμής, όπου είναι πολύ μικρότερες.
- 4) Σε σχέση με άλλες τεχνικές επισκευής ρωγμής οι ρητινενέσεις υπερτερούν κατά τη διαδικασία γήρανσης του υλικού επισκευής, αφού η περισσότερη ποσότητα της ρητίνης βρίσκεται στο εσωτερικό της ρωγμής. «Εκεί το άνοιγμα και το κλείσιμο των παρειών, λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών του περιβάλλοντος, είναι πολύ μικρότερο από ότι στην επιφάνεια του στοιχείου.» Το εύρος της ρωγμής μεταβάλλεται λόγω εποχιακών ή και εντός 24ώρου μεταβολών της θερμοκρασίας στο περιβάλλον του στοιχείου. Λόγω του ότι είναι μικρές οι μετακινήσεις των παρειών της ρωγμής παρόλα αυτά δεν περνούν απαρατήρητες στην επιφάνεια του υλικού καθώς υπάρχει έντονη η αλλαγή της ηλιακής ακτινοβολίας με το κρύο. « Με αποτέλεσμα, ενώ το άνοιγμα και το κλείσιμο της ρωγμής να μην είναι ορατό, το υλικό επισκευής

που βρίσκεται στην επιφάνεια του στοιχείου να γηράσκει, εξαιτίας της επαναλαμβανόμενης έντασης, ενώ για το υλικό που βρίσκεται στο βάθος της ρωγμής, η ένταση να είναι μικρότερη.»

- 5) Όσον αναφορά το αισθητικό αποτέλεσμα της επέμβασης, η τεχνική των ρητινενέσεων αποτελεί μια από τις ελάχιστες διαδικασίες με τόσο υψηλό βαθμό διακριτικότητας.

«Όσον αναφορά τα **μειονεκτήματα της τεχνικής των ρητινενέσεων**, επισημαίνεται η ανάγκη για χρησιμοποίηση εξειδικευμένου και έμπειρου προσωπικού.» Καθώς επίσης, και οι σοβαροί κίνδυνοι που μπορεί να προκύψουν από την ανεπιτυχή εφαρμογή της μεθόδου.

Δ) Η διαδικασία της εφαρμογής της τεχνικής των ρητινενέσεων

Όπως, έχει ήδη αναφερθεί η τεχνική των ρητινενέσεων αποτελεί μια από τις καλύτερες μεθόδους επισκευής των ρωγμών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Υλικά: [51]

1. Ακροφύσια.
2. Πάστα εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών.
3. Εποξειδική ρητίνη ρευστή δύο συστατικών:
 - Λεπτόρρευστη για ρωγμές 0.5 – 1 mm και
 - Παχύρρευστη για ρωγμές από 1 – 3 mm.
4. Διαλυτικό υγρό για καθαρισμό των εργαλείων.

Εργαλεία: [51]

- 1) Σπάτουλες διαφόρων μεγεθών.
- 2) Συρματόβουρτσες.
- 3) Πλαστικά δοχεία για την ανάμειξη των υλικών.
- 4) Αεροσυμπιεστής για τη διάθεση πεπιεσμένου αέρα.
- 5) Πιεστικό δοχείο με ρύθμιση πίεσης.
- 6) Μανόμετρα
- 7) Διαφανείς σωλήνες για την έκχυση της ρητίνης.

Επίσης, σε αυτή την ενότητα, θα αναφερθεί η διαδικασία εφαρμογής της τεχνικής των ρητινενέσεων, δηλαδή τα επιμέρους στάδια εκτέλεσης της επισκευής των ρωγμών όπου εφαρμόζονται στην πράξη. Τα οποία είναι τα ακόλουθα: [19]

- I. Η γύρω περιοχή και η ρωγμή καθαρίζεται με πεπιεσμένο αέρα.
- II. «Τοποθετούνται μικρά κομμάτια, ταινίας κατά μήκος της ρωγμής.»
- III. Διανοίγονται οπές διαμέτρου 5-10 mm με τρυπάνι, σε μερικές θέσεις κατά μήκος της ρωγμής. Αυτό είναι ένα κρίσιμο σημείο για την τεχνική αυτή, δηλαδή η κατάλληλη επιλογή των θέσεων των οπών. Κατά συνέχεια, η

περιοχή καθαρίζεται από κάθε υπόλοιπο για να αποφευχθεί ο κίνδυνος απόφραξης της διόδου του ενέματος. Εξαιτίας αυτού του κινδύνου, οι ειδικοί της πράξης προτείνουν αποφυγή της διάνοιξης των οπών. «Ένας επιπλέον λόγος που συμβάλλει στην απομάκρυνση διάνοιξης των οπών είναι το επίπεδο της ρωγμής, καθώς δεν είναι πάντα εύκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια, με αποτέλεσμα να υπάρχει η πιθανότητα η οπή να διανοιχτεί έξω από το επίπεδο της ρωγμής.»

- IV. «Ως σημεία έγχυσης της ρητίνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα επιστόμια που προσαρμόζονται στις θέσεις όπου είτε έχουν ανοιχτεί οπές είτε όχι. χρησιμοποιούνται μηχανές αυτόματης συνεχούς ανάμιξης σε ελεγχόμενη τροφοδοσία. Έτσι, επιτυγχάνεται πλήρης εκμετάλλευση του χρόνου εργασιμότητας.»



Εικόνα 3.6: Τοποθετούνται επιστόμια στις θέσεις όπου έχουν ανοιχτεί οι οπές.



Εικόνα 3.7: Επιφανειακή σφράγιση της ρωγμής με εποξική, η οποία εγχύνεται υπό πίεση στη ρωγμή.

E) Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε κάθε ρητινέυση εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος της επισκευής. [49] Υπάρχουν 2 περιπτώσεις:

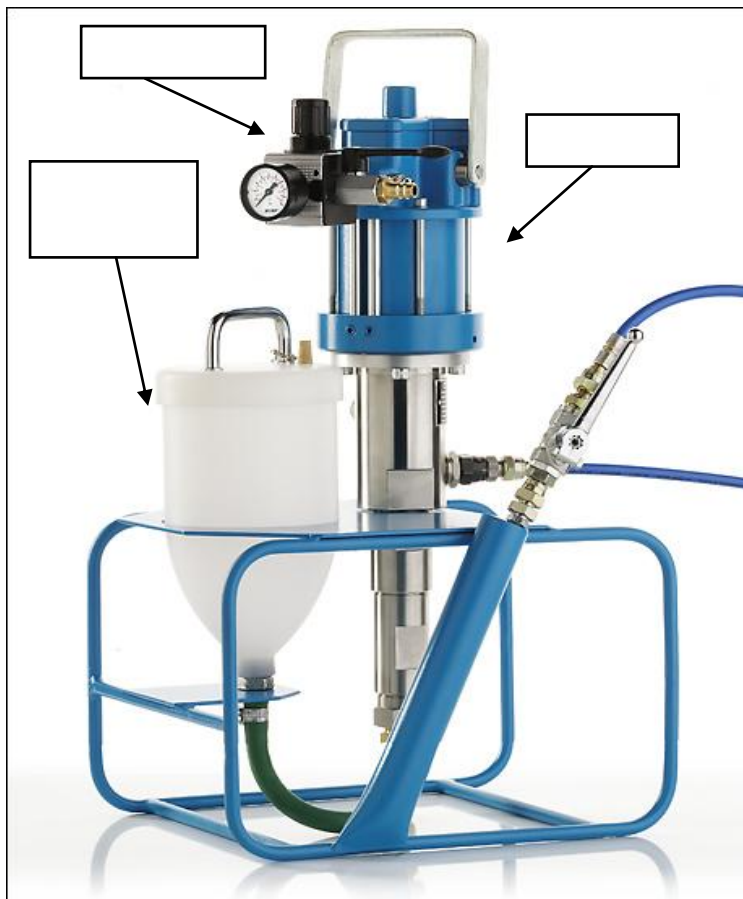
❖ Απλές επισκευές [51]

Στις απλές επισκευές, όπου δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις (όταν πχ. χρειάζονται ρητινέυσεις για την αποφυγή του κινδύνου διάβρωσης σε μη ενεργές ρωγμές που δεν έχουν τον κίνδυνο απώλειας των αντοχών του σκυροδέματος), γίνεται ρητινέυση χαμηλής πίεσης (20 – 40 psi). «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 ανάμιξη των δύο υλικών γίνεται κατά την ρητινέυση στο ακροφύσιο. Η τεχνική αυτή μειονεκτεί αλλά γίνεται η εφαρμογή της, λόγω της απλότητάς της.»

❖ Απαιτητικές επισκευές

«Οι απαιτητικές επισκευές είναι αυτές με ενεργές ρωγμές και παρουσιάζουν τον κίνδυνο απωλειών των αντοχών του σκυροδέματος.» [49] Στις συγκεκριμένες, επισκευές γίνεται ρητινένωση υψηλής πίεσης (1000 - 10000psi). [49] «Ο εξοπλισμός, αποτελείται από το δοχείο ανάμιξης , την αντλία και το μανόμετρο.» [51] Και σε αυτή 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. [51] Τα πλεονεκτήματα αυτής της ταυτόχρονης ανάμειξης των υλικών και ρητινένωσης είναι δύο: [49]

- 1) μεγαλύτερος χρόνος εργασιμότητας της ρητίνης και
- 2) δεν δημιουργείται η ανάγκη διακοπής της διαδικασίας της ρητινένωσης, όταν καταναλωθεί η εποξειδική κόλλα με δυσμενή αποτελέσματα για την επιτυχία της επισκευής.



Εικόνα 3.8: Ενδεικτικός εξοπλισμός για τις απαιτητικές επισκευές.

ΣΤ) Παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία της τεχνικής [19]

«Η επιτυχία της επέμβασης εξαρτάται από τον βαθμό πλήρωσης της ρωγμής με ρητινοειδή κόλλα. Η επισκευή θεωρείται αποδεκτή μόνο όταν εξασφαλιστεί τέλεια η πλήρωση της ρωγμής, ή έστω σε ποσοστό 90%.» Δηλαδή, η έγχυση του μίγματος θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή, έτσι ώστε η ρητίνη να πάει σε κάθε σημείο της ρωγμής.

Η ροή του ενέματος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι είναι οι εξής:

- a) Η απόσταση των σημείων έγχυσης,
- b) Η γεωμετρία της ρωγμής,
- c) Το ιξώδες του υλικού και
- d) Η πίεση του ενέματος.

Παρακάτω γίνεται η ανάλυση των προ αναφερόντων παραγόντων.

- **«Η γεωμετρία της ρωγμής**, σε συνάρτηση με τη γεωμετρία του φορέα είναι σημαντική για την επιλογή των σημείων έγχυσης της ρητίνης.»
- **Η πίεση του ενέματος**, είναι καθοριστική για την συνεχή ροή του υλικού η οποία πρέπει να μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της επέμβασης. «Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη ρύθμιση της πίεσης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται σταθερή πρόοδος του ενέματος για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αποσφράγισης του ρητινόστοκου και η περαιτέρω διεύρυνση της ρωγμής, λόγω υψηλής πίεσης.» Συνιστάται να χρησιμοποιούνται ρητίνες για τις οποίες η απαιτούμενη πίεση ενέματος είναι μικρή. Ακόμη, η εισαγόμενη πίεση του ενέματος, τις περισσότερες φορές δεν ξεπερνά το 1 MPa.
- **Το ιξώδες της ρητίνης**, είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο στην επιτυχία της τεχνικής. Σε περιπτώσεις όπου δεν μπορούν να σφραγιστούν όλα τα μέτωπα της ρωγμής, πρέπει να χρησιμοποιούνται υλικά με υψηλό ιξώδες. «Το ιξώδες του υλικού και η πίεση του ενέματος αλληλεξαρτώνται με αποτέλεσμα, όσο μικρότερο είναι το ιξώδες του υλικού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση της ρητίνης.» Επομένως, τόσο μικρότερη θα είναι η πίεση που χρειάζεται για να εισαχθεί το ένεμα.
- **Ο χρόνος εργασιμότητας**, (pot life). Το στοιχείο αυτό δίνεται πάντα από τον προμηθευτή. Για εποξειδικές ρητίνες του ενός λίτρου (1 Lt), ο χρόνος εργασιμότητας είναι περίπου στα 45 min. Αντίστοιχα, για τις πολυεστερικές ρητίνες είναι στα 60 min. Ο χρόνος αυτός μπορεί και να αυξηθεί στην περίπτωση που το μίγμα επιμεριστεί σε μικρότερες ποσότητες ή κάνοντας ανάμιξη μικρότερες ποσότητες ρητίνης. Στις μεγαλύτερες ποσότητες, ο χρόνος εργασιμότητας είναι μικρότερος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ, ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

4.1 Μανδύες

A) Ορισμός μανδύων

Οι μανδύες είναι προκατασκευασμένος οπλισμός που απαντάται σε πλέγματα. Για την δημιουργία εγκάρσιου οπλισμού δομικών μελών των κατασκευών γίνεται η εφαρμογή των παραπάνω, καθώς τα πλεονεκτημάτα που προσφέρουν είναι πολλά.[55]



Εικόνα 4.1: Πλέγματα (μανδύες).

i. Υποστυλώματα

Οι μανδύες δημιουργούνται από ευθύγραμμες ράβδους χάλυβα ποιότητας B500C. Οι αυστηρές και έντονες απαιτήσεις του αντισεισμικού σχεδιασμού έχουν μεταμορφώσει τα υποστυλώματα, με μια πολύπλοκη μορφή με κυρίαρχα τα στοιχεία πολλών συνδετήρων. Σαν αποτέλεσμα έχει την δημιουργία περίπλοκης γεωμετρίας των συνδετήρων. Τα πλέγματα υποστυλωμάτων με έντονα αναπτύγματα δίνουν την δυνατότητα στην δημιουργία και των πολυπλοκότερων κλωβών συνδετήρων.

❖ Διαδικασία κατασκευής μανδυών υποστυλωμάτων:

Η συνηθέστερη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την την δημιουργία των μανδυών υποστυλωμάτων είναι η εξής:

- Αποφόρτιση και στήριξη στα δομικά στοιχεία που συναντώνται με το υποστυλώμα που ενισχύεται.
- Αφαίρεση του βλαμμένου σκυροδέματος του υποστυλώματος.
- Καθαρισμός οπλισμού, έλεγχος και επισκευή ή αντικατάσταση υφιστάμενου οπλισμού.
- Δημιουργία οπών στις θέσεις αγκύρωσης νέων ράβδων οπλισμού και στις θέσεις που προβλέπονται βλήτρα. Οι πρόσθετοι διαμήκεις οπλισμοί αγκυρώνονται στις εκατέρωθεν δοκούς και πλάκες.
- Απομάκρυνση της εξωτερικής επιδερμικής στρώσης τσιμεντοπολτού για να αποκαλυφθούν τα αδρανή. [54]



Εικόνα 4.2: Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα.

ii. Δοκοί

Στις συνήθεις οικοδομικές εργασίες οι συνδετήρες δοκών είναι απλής ορθογωνικής μορφής, δίμιτοι ή τετράμιτοι ανάλογα με το πλάτος της δοκού. Η δημιουργία τους γίνεται εύκολα χρησιμοποιώντας πλέγματα υποστυλωμάτων. Το ‘κλείσιμο’ του κλωβού γίνεται στις πιο πολλές περιπτώσεις συμβαίνει την ώρα που εκτυλίσσεται το έργο για να διεξαχθεί με εύκολο τρόπο η διάταξη των διαμηκών ράβδων οπλισμού της δοκού. [54]



Εικόνα 4.3: Ενίσχυση κόμβου δοκού υποστυλώματος με μανδύα.

iii. Άγκιστρα κλωβών

Έπειτα από την αναδίπλωση του πλέγματος δημιουργείται ο κλωβός, εσωτερικά δημιουργούνται άγκιστρα και στα δύο άκρα του πλέγματος με γωνία ίση ή μεγαλύτερη των 135 μοιρών και μήκος αγκίστρων όσο προβλέπεται από τους κανονισμούς σε σύγκριση με τη διάσταση. Τα άγκιστρα διασφαλίζουν την επαφή και την σταθερότητα του κλωβού όταν γίνεται η σκυροδέτηση στα δομικά στοιχεία.[55]



Εικόνα 4.4: Ο κλωβός που δημιουργείται μετά την αναδίπλωση του πλέγματος.

iv. Τοιχώματα

Τα τοιχώματα σαν δομικά μέλη χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακαμψία και αντοχή όπου έχουν λάβει την θέση των κλασικών υποστυλωμάτων στις σύγχρονες κατασκευές. Στα τοιχώματα τις περισσότερες φορές οι οπλισμοί κατάσκευάζονται με

ακραία υποστρώματα ορθογωνικής μορφής ή σχήματος ταυ (Τ), γάμα (Γ), πι (Π), τα οποία διαμορφώνονται από πολλούς πολύπλοκους συνδετήρες. [54]



Εικόνα 4.5: Μανδύες επί φερόντων τοίχων και γραμμικών στοιχείων σκυροδέματος.

4.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης των μανδυών

Τα άμεσα πλεονεκτήματα της τεχνικής αυτής είναι:

- Συγκεκριμένη γεωμετρία, με την οποία εξασφαλίζεται η σταθερότητα και συμμετρία όταν διζάγεται η σκυροδέτηση.
- Εξοικονόμηση χρόνου στη διαμόρφωση και στην τοποθέτηση.
- Ευκολία κινήσεων και συγκολλησιμότητα, όπου διασφαλίζεται μικρότερος χρόνος στην αναδίπλωση.
- Μέχρι την ενσωμάτωσή του στο έργο, υπάρχει ευστάθεια στο τελικού προϊόν.
- Μείωση του προϋπολογισμού, συνολικά για την εφαρμογή (κατασκευής και τοποθέτησης). [54],[55]

Για να στερεωθούν οι μανδύες (πλέγματα) που αναλύθηκαν παραπάνω στο υφιστάμενο σκυρόδεμα και κατά την σκυροδέτηση να μείνουν στην θέση τους, αρκεί να χρησιμοποιηθούν μεταλλικοί σύνδεσμοι όπως είναι τα βλήτρα και τα αγκύρια όπου θα αναλυθούν παρακάτω.

A) Βλήτρα

Όπως προαναφέρθηκε τα βλήτρα συμβάλλουν στην αγκύρωση και σταθερή εφαρμογή των προκατασκευασμένων οπλισμών (μανδυών) επί των υφισταμένων δομικών μελών.[56] Βλήτρα ονομάζονται οι μεταλλικοί σύνδεσμοι όπου δέχονται διατμητική καταπόνηση. [19]

Για να γίνει κατανοητή η δράση των βλήτρων πρέπει να γίνει αναφορά στους τρεις τύπους αστοχίας :

- i. «Ο πρώτος (Α) τύπος αστοχίας θεωρείται όταν στη θέση της διεπιφάνειας αστοχεί ο χάλυβας του βλήτρου. »

- ii. «Ο δεύτερος (Β) τύπος σχετίζεται με την αστοχία του σκυροδέματος περιμετρικά του βλήτρου επειδή ασκείται πίεση πλευρικά το βλήτρο στην διεύθυνση του διατμητικού φορτίου λόγω διαρροής της ράβδου-βλήτρου. »
- iii. «Τέλος ο τρίτος (Γ) τύπος αστοχίας οφείλεται στις μικρότερες αποστάσεις του βλήτρου από τα όρια του στοιχείου αγκύρωσης και έχει ως αποτέλεσμα την αστοχία του σκυροδέματος με τη μορφή απόσχισης ενός πλευρικού κώνου. » [19]



Εικόνα 4.6: Τοποθέτηση βλήτρων.

B) Αγκύρια

Όπως προαναφέρθηκε τα αγκύρια συμβάλλουν στην αγκύρωση και σταθερή εφαρμογή των προκατασκευασμένων οπλισμών (μανδύων) επί των υφισταμένων δομικών στοιχείων.[56] Αγκύρια ονομάζονται οι μεταλλικοί σύνδεσμοι που καταπονούνται σε αξονικό φορτίο. [19]

Υπάρχουν δύο τύποι αγκυρίων:[57]

- Μηχανικά αγκύρια. Μπορεί να είναι διαφόρων ειδών και χαρακτηρίζονται από τον μηχανισμό σφήνωσης.
- Χημικά αγκύρια. Πρόκειται για απλές ράβδους οπλισμού που πακτώνονται με συγκολλητά υλικά ή κάποια κονία σταθερού όγκου.

Για να γίνει κατανοητή η δράση των αγκυρίων πρέπει να γίνει αναφορά στους τρεις τύπους αστοχίας : [19]

- i. Ο Α τύπος οφείλεται σε διαρροή του χάλυβα.
- ii. Ο Β τύπος οφείλεται σε απόσχιση ή διάρρηξη του σκυροδέματος.
- iii. Ο Γ τύπος οφείλεται σε ολίσθηση του αγκυρίου.



Εικόνα 4.7: Αγκύρια.

4.3 Επισκευαστικά Κονιάματα

Τα επονομαζόμενα επισκευαστικά κονιάματα χρησιμοποιούνται στην διαδικασία της επισκευής. Είναι ειδικά σχεδιασμένα για την επισκευή και την αποκατάσταση της λειτουργίας του επιδερμικά κατεστραμμένου σκυροδέματος. Με την χρήση τους επιδιορθώνονται οι ατέλειες, η εμφάνιση γίνεται καλύτερη, επανέρχεται η ανθεκτικότητα και τελικά η μακροπρόθεσμη καλή λειτουργικότητα της δομής.[59] Τα συχνότερα απαντημένα συμπτώματα στα δομήματα είναι οι ρηγματώσεις. Συνήθως τα επισκευαστικά κονιάματα χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση της διαπερατότητας στις επιφάνειες και την εξασφάλιση της στεγάνωσης που προσδίδει όταν συναντα υγρασία ή νερό.[58]

Στις περισσότερες περιπτώσεις που τοποθετούνται επισκευαστικά κονιάματα είναι κάποιο από τα παρακάτω:[58]

- Ενέματα (ρητινοενέματα ή τσιμεντενέματα)
- Εκτοξευόμενο κονίαμα/σκυρόδεμα
- Τροποποιημένα με πολυμερή κονιάματα/σκυροδέματα

A) Πρώτες ύλες

Με τον όρο κονίαμα αναφερόμαστε στην ανάμειξη συνδετικής κονιάς και αδρανούς το οποίο έχει κοκκομετρία άμμου (0-4 mm), υπάρχει περίπτωση η κοκκομετρία του αδρανούς υλικού να είναι πολύ πιο λεπτόκοκκη ή πιο χονδρόκοκκη παρόμοια με αυτή του συμβατικού σκυροδέματος. Τέλος μπορεί η προέλευση της συνδετικής κονιάς να είναι οργανική σαν τις πολυμερικές κονίες. [58]

Αν συγκρίνουμε τα επισκευαστικά κονιάματα με βάση την ρητίνη και αυτά με το τσιμέντο διακρίνονται τα παρακάτω :

i. Κονιάματα με βάση το τσιμέντο

Τα τσιμετοκονιαμάτα είναι πιο συμβατά με το υφιστάμενο υπόστρωμα του σκυροδέματος αλλά παρουσιάζουν μικρότερη συνάφεια και πιο μεγάλη συστολή ξήρανσης. [58]

ii. Κονιάματα με βάση την ρητίνη

Σε σχέση με τα κονιάματα με βάση το τσιμέντο, τα ρητινούχα παρουσιάζουν πιο υψηλή εφελκυστική αντοχή αλλά μικρό σχετικά μέτρο ελαστικότητας. Επιπρόσθετα διαθέτουν πιο υψηλό συντελεστή θερμικής διαστολής και εμφανίζουν μικρή συστολή. [58]

B) Τεχνικές εφαρμογής

Οι κανόνες που πρέπει να ακολουθούνται τυφλά για οποιαδήποτε εφαρμογή επισκευαστικών κονιαμάτων είναι:

- Το επισκευαστικό κονίαμα δεν μπορεί ποτέ να εφαρμοστεί σε αποσαθρωμένη επιφάνεια. Καθώς η συμπεριφορά της υφιστάμενης δομής με τα επισκευαστικά κονιαμάτα στηρίζεται στην πρόσφυση παλαιού – νέου, είναι υποχρεωτικό να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες διαδικασίες για την σωστή πρόσφυση των παραπάνω δυο υλικών.
- Είναι καθοριστικός παράγοντας για την αποτελεσματικότητα του υλικού, η γνώση για το υλικό και για την τεχνική εφαρμογής του επισκευαστικού κονιαμάτος .
- Είναι αναγκαίο ο ποιοτικός έλεγχος στον οποίο θα υποβάλλονται να είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές.
- Είναι υποχρεωτικό για να μη προκύπτουν προβλήματα που μπορούν να καταλήξουν σε χειρότερη κατάσταση του υφιστάμενου φορέα, να συμβαδίζουν τα υφιστάμενα προϊόντα της κατασκευής. 58]



Εικόνα 4.8: Διάστρωση επισκευαστικού κονιαμάτος.

4.4 Ινοπλισμένα πολυμερή

Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται, οι ανάγκες για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την εξασφάλιση της ασφάλειας των κατασκευών αυξάνονται. Οι παραπάνω απαιτήσεις έχουν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία νέων τεχνικών που προσπαθούν να λύσουν τα προβλήματα των πολιτικών μηχανικών καθώς και να συμβαδίσουν με την τεχνολογία.

Μία από αυτές τρεις τεχνικές είναι η εφαρμογή των σύνθετων υλικών από **ινοπλισμένα πολυμερή** (ΙΟΠ – Fiber Reinforced Polymer Composites – FRPC), τα οποία έχουν δημιουργηθεί από “υφάσματα” από ινώδη οπλισμένα πολυμερή, εμποτισμένα με εποξικές ρητίνες. Με την χρήση συγκολλητικών ουσιών (π.χ. εποξικής κόλλας,) τα ελάσματα από τα σύνθετα υλικά εφαρμόζονται εξωτερικά στα δομικά στοιχεία προσδίδοντας τη φέρουσα ικανότητα του στοιχείου. Προκειμένου να λειτουργήσει το σύνθετο μέλος, σαν ένα ενιαίο σύστημα η σύνδεση μεταξύ των σύνθετων υλικών και του υφιστάμενου σκυροδέματος είναι σημαντικός. Συνεπώς η σωστή προετοιμασία της επιφάνειας του υφιστάμενου σκυροδέματος είναι καθοριστική, για να επιτευχθεί η συγκόλληση που θα ενισχύσει την κατασκευή. Η παραπάνω μέθοδος θεωρείται σαν μία από τις πιο ήπιες προς τη φύση, αυτό οφείλεται στην απουσία των αποβλήτων καθώς και γενικότερη έλλειψη ρύπων.[60] Στο κεφάλαιο 6 θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε αυτή την τεχνική που ανήκει στην νέα τεχνολογία.

4.5 Χαλύβδινα επικολλήτα ελάσματα

Μια από τις εφαρμογές ενίσχυσης είναι η τεχνική των επικολλητών ελασμάτων από χάλυβα που έχει εξελιχθεί παγκόσμια και χρησιμοποιείται στη Ελλάδα. Η εφαρμογή επικολλητών ελασμάτων από χάλυβα στο εφελκόμενο πέλμα δομικών μελών ως εξωτερικό οπλισμό, είναι μια μέθοδος η οποία στοχεύει στην αύξηση της διατμητικής και καμπτικής αντοχής αντίστοιχα, των παραπάνω δομικών μελών. Επιπρόσθετα, εξασφαλίζεται η ελάττωση της προβλεπόμενης ρηγματώσης και των παραμορφώσεων καθώς και η αύξηση της καμπτικής ακαμψίας.[61]

A) Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής είναι τα εξής:

- Η ευκολία εφαρμογής της τεχνικής.
- Η ελάχιστη όχληση στην χρήση του δομήματος.
- Το μικρό κόστος.[61]

B) Μειονεκτήματα

Τα μειονεκτήματα αυτής της τεχνικής είναι τα εξής:

- Η ξαφνική βλάβη στα άκρα με απόσχιση στη κοντινή στο έλασμα τμήμα σκυροδέματος.
- Η ευαισθησία που παρουσιάζει ο χάλυβας στην διάβρωση όπου κυρίως διαπιστώνεται στην εσωτερική επιφάνεια των ελασμάτων.
- Η δυσχέρεια στην τοποθέτηση των παραπάνω προϊόντων επειδή το βάρος του χάλυβα είναι αυξημένο.
- Η απαίτηση ένωσης των ελασμάτων στις περιπτώσεις που χρειάζεται να επικολληθούν σε μεγάλα μήκη.



Εικόνα 4.9 & 4.10: Διαδικασία εφαρμογής χαλύβδινων επικολλητών ελασμάτων.

4.6 Η τεχνική προέντασης για την ενίσχυση κατασκευών

Η μέθοδος αυτή διαφοροποιείται από τις υπολοιπές για την ευκολία εφαρμογής της, τη δυνατότητα που προσφέρει να μην διαφοροποιεί την αρχιτεκτονική πρόσοψη του υπό κατασκευή κτιρίου και την αποτελεσματικότητα.

Επιπρόσθετα λόγω της μικρής όχλησης κατά την εφαρμογή της μεθόδου εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα της και το σχετικά χαμηλό κόστος.[62] Η σημασία του όρου προέντασης είναι η επιβολή μίας επιπρόσθετης, επίτηδες σχεδιασμένης θλιπτικής φόρτισης όπου αποσκοπεί στην δημιουργία καλύτερης στατικής λειτουργίας του φορέα μέσω της βέλτιστης εκμετάλλευσης των χαρακτηριστικών των υλικών.[63] Η πρόσθετη προένταση μπορεί να αναβαθμίσει σ μεγάλο βαθμό την σεισμική συμπεριφοράς κτηρίων οπλισμένου σκυροδέματος.[62]

Η χρήση της προέντασης για την ενίσχυση πλαισίων βρίσκει εφαρμογή στις εξής περιπτώσεις:

1. Εύλύγιστες κατασκευές που απαρτίζονται από πλαισιακούς φορείς οπλισμένου σκυροδέματος, οι οποίοι δεν ανταποκρίνονται στα απαιτούμενα του αντισεισμικού κανονισμού.
2. Κτήρια όπου εμφανίζουν βλάβες όπως η εμφάνιση μαλακού ορόφου, που έχει προκληθεί είτε από κατασκευαστικά λάθη είτε από αλλαγή αρχιτεκτονικής διαρρύθμισης .
3. Δομήματα που παρουσιάζουν αυξημένες εκκεντρότητες στην μερισμό είτε της δυσκαμψίας είτε της μάζας είτε λόγω αυτού υπάρχει εμφάνιση των έντονων στροφών των πλακών σε περίπτωση καταπόνησης λόγω σεισμικών δονήσεων.[62]

A) Επισκευή και ενίσχυση μελών πλαισιακού φορέα

i. Δοκοί

Η πιο συχνή ενίσχυση των δοκών διεξάγεται με την εξής διάταξη οι τένοντες τοποθετούνται εκατέρωθεν της δοκού, είτε στο κάτω μέρος αυτής. Οι αγκυρώσεις εφαρμόζονται συνηθέστερα στις ακραίες θέσεις, για να δημιουργούνται εκκεντρότητες του τένοντα θα πρέπει οι εκτροπείς είναι τοποθετημένοι στα κατάλληλα σημεία. Συνήθως εφαρμόζονται γραμμικά στοιχεία που διαφοροποιούνται σε δημιουργία σύμφωνα με τον μερισμό του φορτίου που είναι υποχρεωτικό να παραληφθεί. Συγκεκριμένα εφαρμόζεται σημειακά δύναμη στην δοκό στα σημεία που δημιουργείται γωνιά στον τένοντα. Όταν κεντρικός σκοπός της ενίσχυσης είναι η διόρθωση τυχόν βέλους κάμψης όπως και η κάμψη και διάτμηση, η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. Καταλυτικά συμβάλει στην καταπολέμηση κενών, την ελάττωση των δονήσεων στην αύξηση της διατμητικής αντοχής της δοκού. [64]

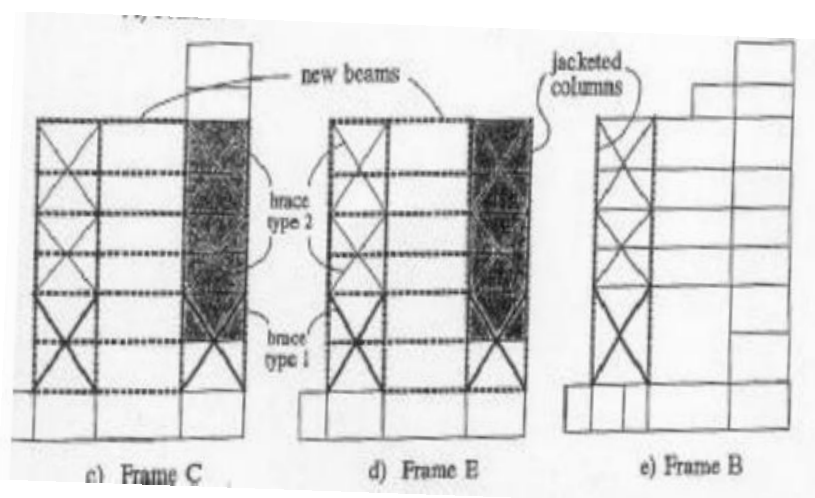
ii. Πλάκες

Η διάταξη που χρησιμοποιείται στην ενίσχυση των πλακών με χρήση προέντασης είναι η εφαρμογή τενόντων στο κάτω μέρος αυτών, συχνά με τένοντα τριγωνικής μορφής με την στήριξη εφαρμοσμένη στο κέντρο του δομικού μέλους. Για μικρά φορτία δίνεται η δυνατότητα οι αγκυρώσεις να τοποθετούνται πάνω στην πλάκα, στις άλλες περιπτώσεις εφαρμόζονται στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία. Αποτελεί ευκολία εφαρμογής της μεθόδου για την ενίσχυση των πλακών σε κτίρια με δοκάρια καθώς προσφέρεται η επιλογή της διάνοιξης οπών σε σημεία με μεγάλο ύψος στα δοκάρια για να να υπάρξει εκκεντρότητα. Οι τένοντες μπορούν να εφαρμοστούν ακόμα και σε περιπτώσεις μεταφοράς των φορτίων σε δοκούς και υποστύλωματα, έπειτα από αφαίρεση κολώνας.[64]

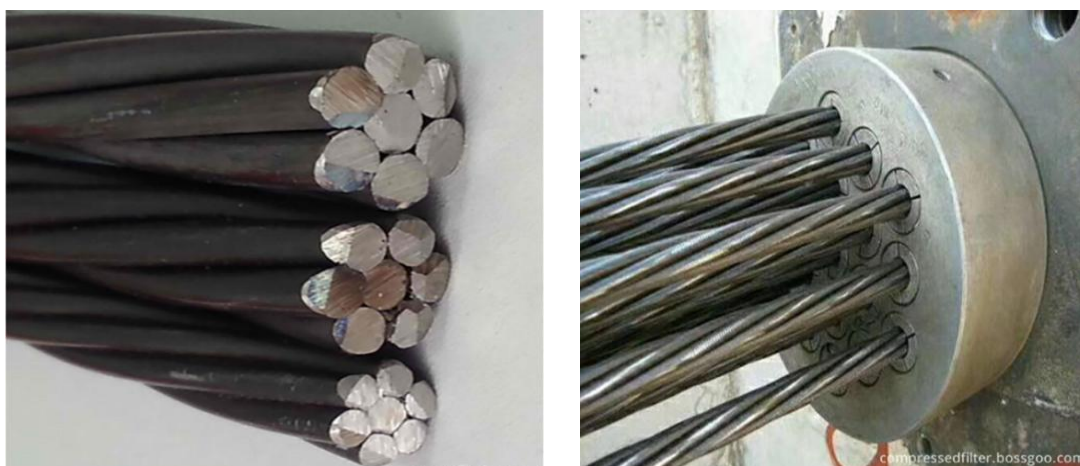
iii. Ενίσχυση Δυσκαμψίας πλαισίου

Οι τένοντες συμβάλλουν στην δημιουργία μεγαλύτερης δυσκαμψίας στο κτίριο έτσι ώστε τα πιο αδύναμα δομικά σημεία της κατασκευής να φέρουν λιγότερη σεισμική δόνηση και να προστατεύονται από μία ψαθυρή αστοχία.

Οι Χιαστοί σύνδεσμοι αποτελούν μία πρόταση για την σεισμική ενίσχυση. Χρησιμοποιώντας τους για την παραλαβή της έντασης, όπου αν είναι ορθά τοποθετημένοι, προσφέρουν λιγότερη σεισμική ένταση με την απουσία του λυγισμού. Πιο συγκεκριμένα την δύναμη την παραλαμβάνει ο ένας εφελκόμενος τένοντας.[64] Η αξονική ατενεία των τενόντων στην ανάληψη οριζοντίων δράσεων λόγω σεισμικής δόνησης είναι η δυνατότητα που προσφέρεται μέσω της μεθόδου της προέντασης όπου την καθιστά απολύτως χρήσιμη. [62]



Σχήμα 4.11: Εφαρμογή τενόντων με μορφή Χ όπου δημιουργούν στους κόμβους των πλαισίων.



Εικόνα 4.12 και 4.13: Τένοντας και τα συρματόσχοινα.

iv. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνικής της προέντασης

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που εμφανίζει η χρήση της μεθόδου καταγράφονται ως εξής: [64]

Πίνακας 4.12: Πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου της προέντασης.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Αποτελεσματική και χαμηλού κόστους μέθοδος για μεγάλου μήκους δοκούς και προβόλους.	Υποχρεωτικά εκπαιδευμένο και πεπειραμένο μηχανικό για την μελέτη και την κατασκευή.
Αύξηση του χρόνου ζωής της κατασκευής λόγω της συμπίεσης του σκυροδέματος.	Εύφλεκτα υλικά και ευάλωτα στη διάβρωση.
Ελάχιστη όχληση του χώρου επισκευής.	Η εγκατάσταση των αγκυρώσεων μπορεί να είναι δύσκολη σε ορισμένες περιπτώσεις.
Μικρός σε βάρος και πρακτικός εξοπλισμός.	Ο χάλυβας προέντασης διαβρώνεται εύκολα.
Ενίσχυση της αντοχής χωρίς την προσθήκη νέων φορτίων στη κατασκευή.	Μείωση του ύψους του ορόφου σε πιθανή τοποθέτηση του τένοντα στο κάτω μέρος δοκού.
Εύκολη διάγνωση βλαβών καθώς τα υλικά της ενίσχυσης (τένοντας) είναι προσβάσιμα.	Δυσκολία στην αύξηση της αντοχής σε διάτμηση κοντά στις στηρίξεις.
Εύκολα αντικαταστάσιμοι και περαιτέρω προεντάσιμοι τένοντες .	Η αντοχή σε διάτμηση δοκαριού με εξωτερικούς τένοντες είναι δύσκολο να βρεθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

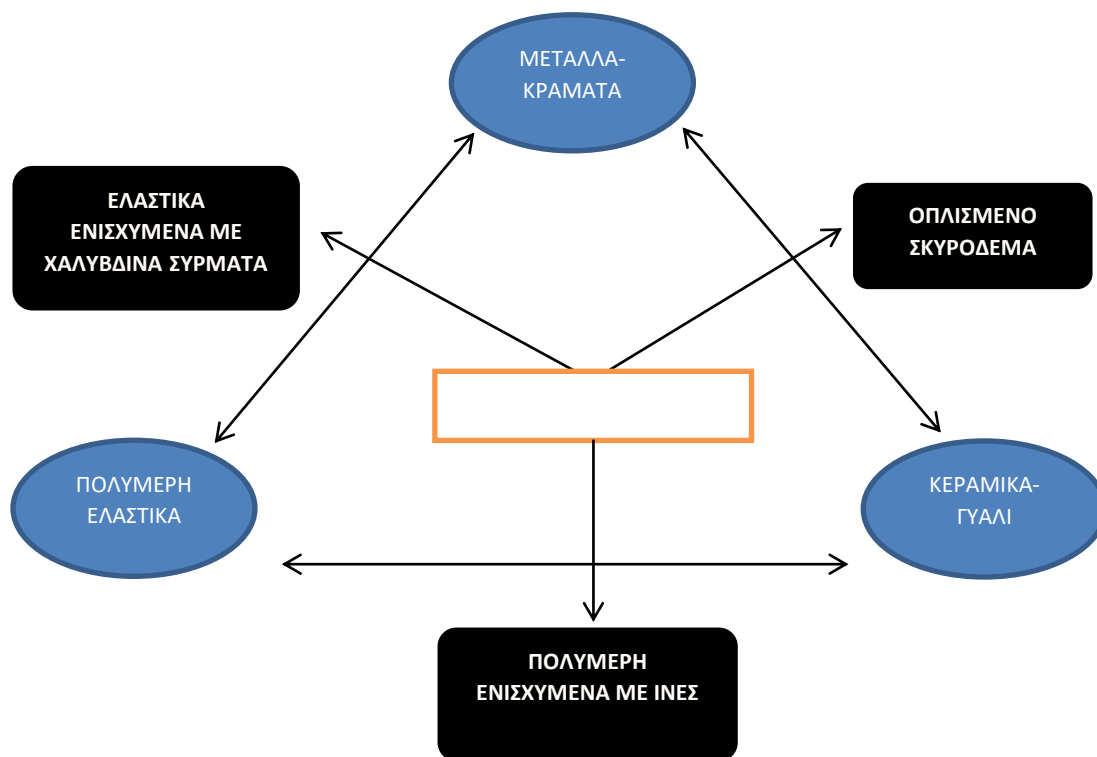
5.1 Εισαγωγή

Οι επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος αποτελούν ένα πεδίο που απασχολεί σε μεγάλο βαθμό τον τεχνικό κόσμο διεθνώς αλλά και εγχώρια, για πολλούς λόγους όπου έχουν σχέση με τις σεισμικές δονήσεις και την μείωση των βλαβών που προκαλούνται καθώς και την αναβάθμιση των κατασκευών λόγω της γηραιότητας τους, φθοράς καθώς και αλλαγής χρήσης. Επιπρόσθετα έχει αναπτυχθεί μία νέα τεχνική ενίσχυσης, η οποία βασίζεται στη χρήση υλικών που υπάγονται στην νέα τεχνολογία και αποτελούνται από το συνδυασμό ινών σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης. Τα προϊόντα που περιγράφηκαν, ονομάζονται σύνθετα υλικά, και εμφανίζουν αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά, που καθιστούν την τοποθέτησή τους στα δομήματα, και ειδικότερα στις κατασκευές και ενισχύσεις έντονα ελκυστική.

Τα υλικά που προαναφέρθηκαν τοποθετούνται έτσι ώστε να λαμβάνουν τον ρόλο του οπλισμού ενίσχυσης σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, επικολλούνται σε επιφάνειες δομικών στοιχείων με την χρήση ειδικών ρητινών, με κατεύθυνση ινών με τρόπο κατά τον οποίο να φέρουν εφελκυστικές δυνάμεις.

Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε πολλούς διαφορετικούς.[65] Στις περιπτώσεις όπου η εφαρμογή παραδοσιακών υλικών δεν είναι επιτυχής, εφαρμόζονται τα σύνθετα υλικά, όπως και σε τομείς του πολιτικού μηχανικού.

Πληθώρα χρήσεων των υλικών αυτών έχουν αναπτυχθεί από επιστήμονες σε διεθνή βάση, όπως ενίσχυση γεφυρών και κτιριακών κατασκευών, η προσφορά τους στη σεισμική ενίσχυση κατασκευών, η χρήση ινοπλισμένων πολυμερών για την όπλιση και προένταση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Οι έρευνες αυτές οδήγησαν σε μία πραγματικά εντυπωσιακή ανάπτυξη των εφαρμογών για την μέθοδο ενίσχυσης κατασκευών με σύνθετα υλικά.[66]



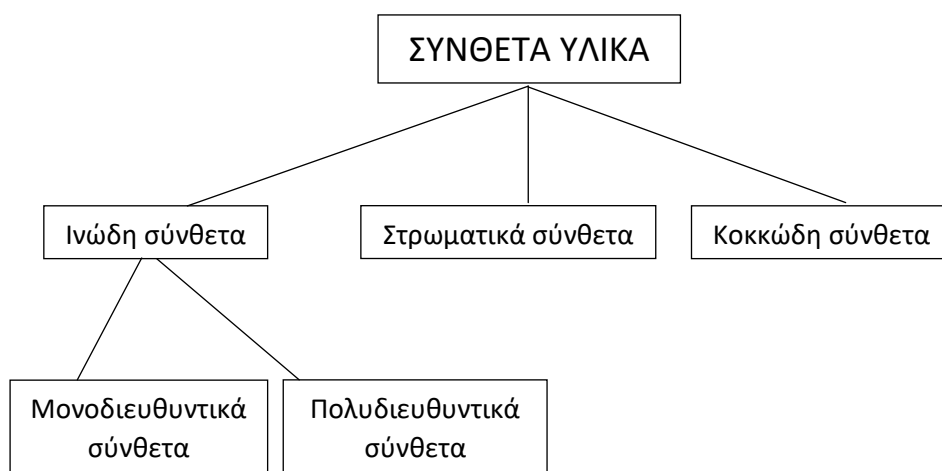
Σχήμα 5.1: Κατηγορίες σύνθετων υλικών. [4]

5.2 Ορισμός των σύνθετων υλικών

Χαρακτηρίζοντας ένα υλικό “σύνθετο”, σημαίνει ότι αυτό απαρτίζεται από δύο ή περισσότερα μέρη. Γενικά ένα προϊόν που απαρτίζεται από δύο ή πιο πολλά διαφορετικά υλικά ή φάσεις, ανήκει στην κατηγορία των σύνθετων υλικών. Συγκεκριμένα, ως σύνθετα συγκαταλέγονται αυτά, τα οποία αποτελούνται από άλλα υλικά με πολύ διαφορετικά μηχανικά και διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους, ενώ και το αποτέλεσμα των επιμέρους χαρακτηρίζεται επίσης πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά από των επιμέρους.

Ένα από τα συστατικά αποτελείται το συστατικό ενίσχυσης και προσφέρει στο τελικό υλικό καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Το άλλο υλικό ονομάζεται μήτρα, τις περισσότερες φορές είναι μικρής πυκνότητας και προσφέρει στο σύνθετο τη μεγαλύτερη εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών της ενίσχυσης.[67]

5.3 Ταξινόμηση των σύνθετων υλικών



Σχήμα 5.2: Ταξινόμηση των σύνθετων υλικών.

5.4 Υλικά ινών

A) Ίνες γυαλιού

Το 1940 στα πρώτα σύνθετα υλικά χρησιμοποιήθηκαν οι ίνες γυαλιού, η χρήση των οποίων συνεχίζεται με επιτυχία. Χαρακτηρίζεται ως ένας δημοφιλής τύπος ενισχυτικών ινών στα σύνθετα υλικά με εφαρμογή της πολυμερικής μήτρας. Αποτελούνται από τα ασβεστίου, οξειδία πυριτίου, αλουμινίου, βορίου, κ.ά. [67] Διαθέτουν από το πιο χαμηλό κόστος. Υπάρχουν έξι διαφορετικοί τύποι υαλονημάτων που διακρίνονται σε σύγκριση με την κατηγορία τοποθέτησης για το οποίο δημιουργήθηκαν.[66]

Τρεις είναι οι τύποι που εφαρμόζονται για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών και αναλύονται παρακάτω:

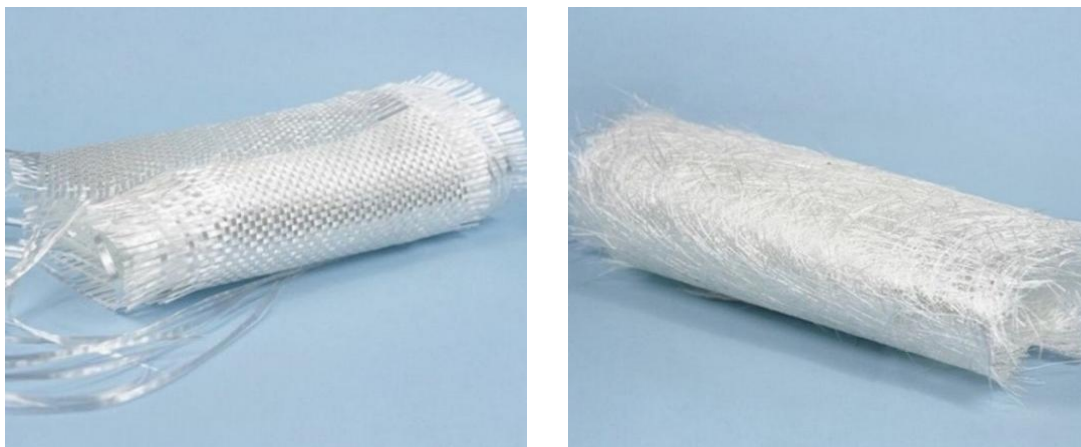
E-glass (E=electrical): Είναι τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα υαλονήματα με καλές ηλεκτρικές ιδιότητες, αντοχή και δυσκαμψία, καθώς και πολύ καλή αντίδραση στις καιρικές αλλαγές, όμως παρουσιάζουν μεσαίου μεγέθους αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια.

C-glass (C=corrosion): Τα συγκεκριμένα υαλονήματα διαθέτουν μεγάλη αντίσταση στη χημική διάβρωση, και παρουσιάζουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες από τις ίνες τύπου E, από τις οποίες έχουν υψηλότερο κόστος.

S-glass (S=stiffness): Μεγαλύτερο κόστος από το E-glass, αλλά πιο μεγάλη δυσκαμψία και θερμική αντοχή. Βρίσκει εφαρμογή στον τομέα της αεροπορίας.

Επιπρόσθετα τυχόν εγχαράξεις και εκδορές δημιουργούν περιοχές συγκέντρωσης τάσεων στην εξωτερική επιφάνεια της ίνας, με αποτέλεσμα την γρήγορη υποβάθμιση

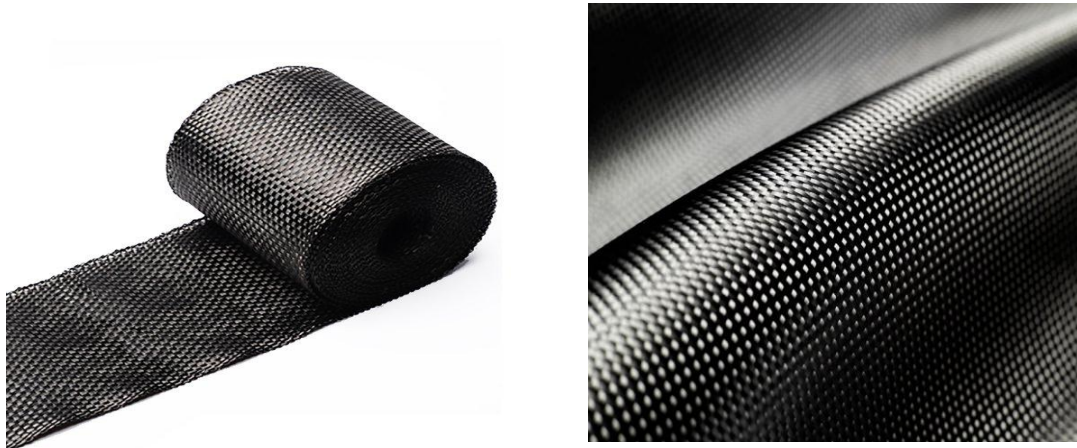
των μηχανικών τους ιδιοτήτων και της ικανότητας πρόσφυσης τους στην πολυμερική μήτρα. [67]



Εικόνα 5.1 και 5.2: Υαλοϋφάσματα.

B) Ίνες άνθρακα

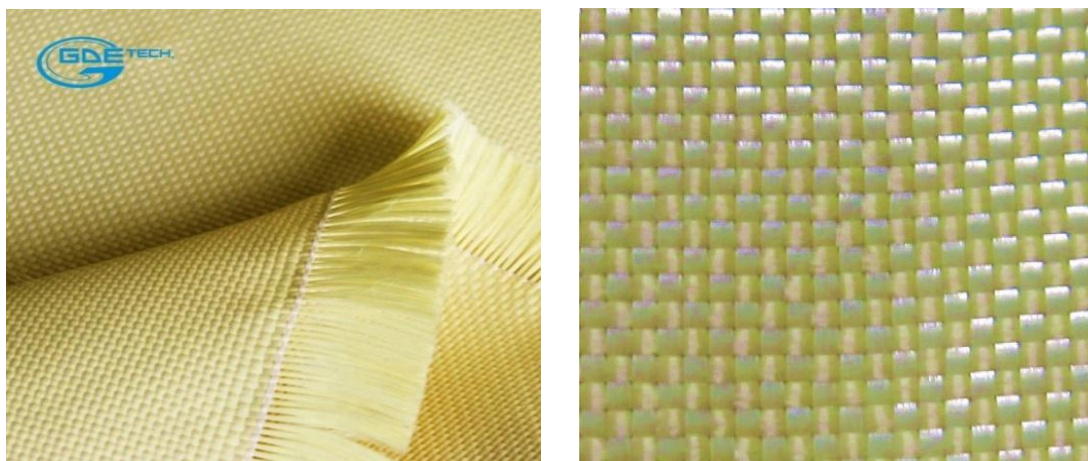
Από τα την δεκαετία του 1950 οι ίνες από άνθρακα πωλούνται στην αγορά.[66] Οι ίνες γραφίτη είναι η πιο διαδεδομένη και δημοφιλής ενίσχυση μεγάλου μέτρου ελαστικότητας και αντοχής, η οποία εφαρμόζεται στην δημιουργία σύνθετων υλικών με βέλτιστες επιδόσεις ρητινικής μήτρας. Συνήθως επιλέγονται σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα για να επιτευχθεί ο καλύτερος συνδυασμός μείωσης του βάρους και μηχανικής συμπεριφοράς. Επιπρόσθετα χαρακτηρίζεται καλύτερο να γίνεται χρήση των ινών άνθρακα όταν η θερμική διαστολή ενός υλικού υποχρεούται να παραμείνει σε χαμηλό επίπεδο ή όταν είναι υποχρεωτικό η συμβατότητα των ιδιοτήτων διαστολής δύο συνενωμένων διαφορετικών υλικών. Η δυνατότητα αυτή των των σύνθετων υλικών από άνθρακα επηρεάζεται από την δομή του υλικού ως στοιχείου και τους δεσμούς που δημιουργούνται με διαφορετικά άτομα άνθρακα.[67] Από την μία οι ίνες άνθρακα μπορούν να αναπτύξουν μηχανικά χαρακτηριστικά που φτάνουν τα 100 GPa εφελκυστικής αντοχής και 1000 GPa μέτρου ελαστικότητας. Από την άλλη οι αριθμοί αυτοί είναι θεωρητικοί και δεν εμφανίζονται ποτέ λόγω ατελειών που εμφανίζονται στην δομή του στοιχείου του υλικού αυτού. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. [66]



Εικόνα 5.3 και 5.4: Ανθρακουφάσματα.

Γ) Ίνες πολυαραμίδης

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 κυκλοφόρησαν οι πρώτες ίνες πολυαραμίδης που αποκαλούνταν Kevlar. Ακόμα είναι πολύ μικρή η χρήση των σύνθετων υλικών από ίνες πολυαραμίδης στον κόσμο των δομικών έργων είναι περιορισμένη σε σχέση με τα υλικά από ίνες υαλού και ίνες άνθρακα. Κεντρικός σκοπός της τοποθέτησης τους είναι η προστασία των κατασκευών από κρουστικά φορτία. Στην υψηλή πυκνότητα και το μεγάλο μέτρο ελαστικότητας οφείλονται αυτά που αναλύθηκαν παραπάνω. Αν εξαιρεθούμε τα ισχρά οξέα και τις βάσεις καθώς οι ίνες πολυαραμίδης είναι υδρόφυλλες, στα υπόλοιπα παρουσιάζουν υψηλή ανθεκτικότητα σε τριβή και κόπωση και είναι ανθεκτικές στους διαλύτες. [66] Παρόλο που από δεν διαθέτουν φοβερές μηχανικές ιδιότητες, όμως η τιμή για να παρασκευαστεί είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες όπου αυτές οι ίνες είναι διασημες στην αγορά. [67]



Εικόνα 5.5 και 5.6: Υφάσματα από Kevlar.

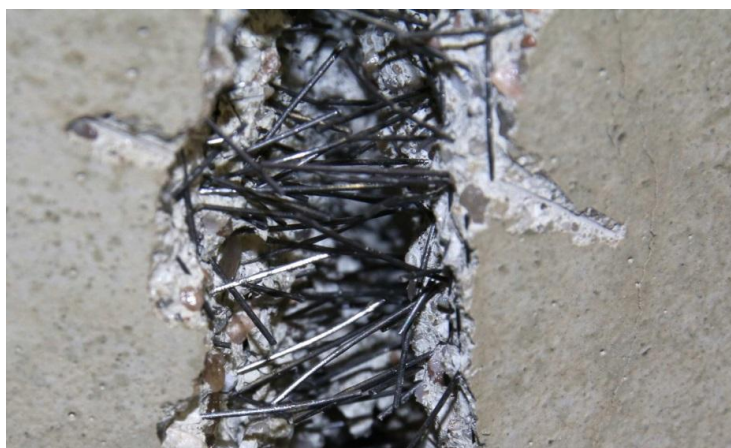
Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται το μέτρο ελαστικότητας, η εφελκυστική αντοχή και η οριστική παραμόρφωση αστοχίας των σύνθετων υλικών που παρουσιάστηκαν πιο πάνω.

Πίνακας 5.2: Ενδεικτικά γνωρίσματα ινών (Feldman 1989, Kim 1995). [65]

ΥΛΙΚΟ	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας(%)
Ανθρακας			
Υψηλής αντοχής	215-235	3500-4800	1.4-2.0
Υπέρ-υψηλής αντοχής	215-235	3500-6000	1.5-2.3
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας	350-500	2500-3100	0.5-0.9
Υπέρ-υψηλού μέτρου ελαστικότητας	500-700	2100-2400	0.2-0.4
Γυαλί			
E	70-75	1900-3000	3.0-4.5
Z	70-75	1900-3000	3.0-4.5
S	85-90	3500-4800	4.5-5.5
Αραμίδιο			
Χαμηλού μέτρου ελαστικότητας (κέβλαρ 29)	70-80	3500-4100	4.3-5.0
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας (κέβλαρ 49, Twaron)	115-130	3500-4000	2.5-3.5

Δ) Μεταλλικές ίνες

Θα μπορούσαν να είναι από τα καλύτερα ενισχυτικά συνθέτων υλικών μέταλλα όπως το βόριο (B), το βηρύλλιο (Be) και το βολφράμιο (W) και αυτό καθώς εμφανίζουν μεγάλη τιμή ακαμψίας σε σύγκριση με το ειδικό βάρος τους. Το πρώτο από τα παραπάνω μέταλλα είναι το πιο υψηλά υποσχόμενο υλικό για την δημιουργία ινών ενίσχυσης, όμως οι μέθοδοι παρασκευής μεταλλικών ινών ενίσχυσης χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος.[67]



Εικόνα 5.7: Μεταλλικές ίνες στον μπετόν.

Ε) Κεραμικές ίνες

Οι κεραμικές ίνες χαρακτηρίζονται από θερμική ευστάθεια, μεγάλη αντοχή, στιβαρότητα για αυτό εφαρμόζονται σε περιβάλλοντα με πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Κάποιες από τις πιο συνηθισμένες κεραμικές είναι είναι το καρβίδιο του πυριτίου όπου προσφέρει την δυνατότητα να είναι υλικό ενίσχυσης είτε σε σχήμα φυλλιδίων είτε σε σχήμα ινών. [67]



Εικόνα 5.8: Κεραμικό πλεκτό κορδόνι με υψηλή θερμοκρασιακή αντοχή.

Ζ) Ίνες φυσικών ορυκτών

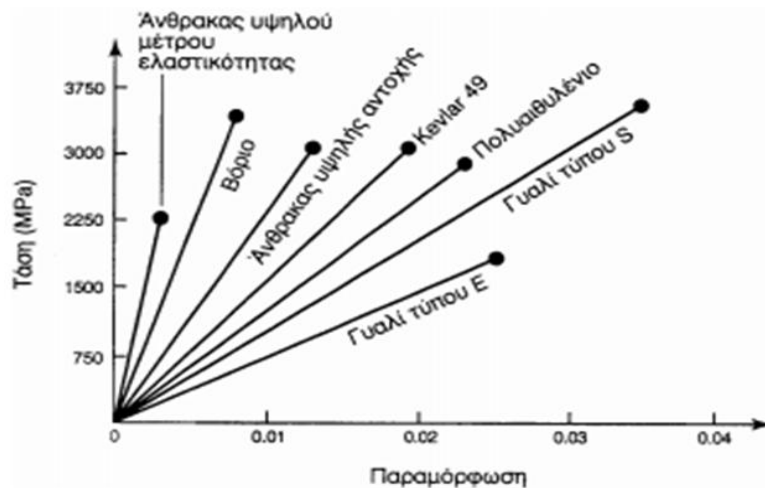
Κάποια από τα ορυκτά που βρίσκονται σε συγκεκριμένη μορφή έχουν την δυνατότητα να συγκαταλέγονται ως ενισχυτικό υλικό με χαμηλό κόστος αλλά όχι υψηλές προδιαγραφές. Τέτοια ορυκτά ευρείας χρήσης είναι η μαρμαρυγία (mica) και ο αμίαντος. Η μηχανική αντοχή μειώνεται καθώς ο αμίαντος σαν υλικό μπορεί να εφαρμοστοί σε περιβάλλοντα με θερμοκρασία 500 °C. Ο αμίαντος χαρακτηρίζεται από τις χαμηλές τιμές στην αγορά για τον λόγο αυτό βρίσκει σε πολλά μέρη εφαρμογή. [67]



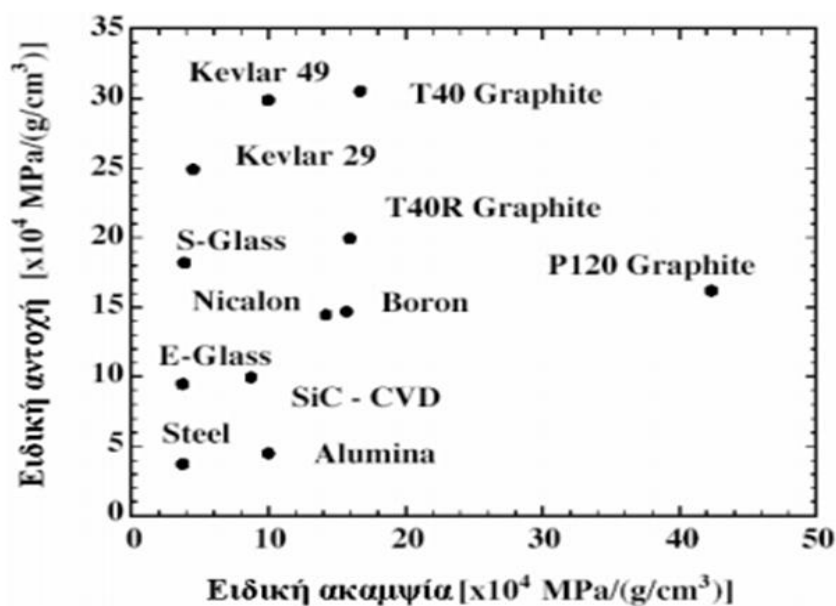
Εικόνα 5.9: Ίνες από φυσικά ορυκτά.

5.5 Συνολικά οι ίνες

Τα παρακάτω σχήματα και πίνακες έχουν ως σκοπό την σύγκριση των ενισχυτικών ινών που προαναφέρθηκαν.



Εικόνα 5.10: Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης (σ) - παραμόρφωσης (ε). [67]



Εικόνα 5.11: Συνολική παράθεση ειδικής ακαμψίας και ειδική αντοχής για διάφορα υλικών ενίσχυσης. [67]

5.6 Μήτρα

Η συγκολλητική ύλη μεταξύ των ινών στα σύνθετα υλικά είναι η μήτρα. Στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελείται από ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές, το οποίο προσφέρει σύνδεση των ινών, τις προστατεύει, διασφαλίζει την μεταφορά δυνάμεων σε αυτές, αλλά συγκαταλέγεται σαν ένας από τους καταλυτικούς

παράγοντες για πληθώρα μηχανικών χαρακτηριστικών των σύνθετων υλικών, όπως είναι η διατμητική αντοχή, η αντοχή κάθετα στη διεύθυνση των ινών και η θλιπτική αντοχή. Επιπροσθέτως, οι μήτρες διακρίνονται στις οργανικές, μεταλλικές και κεραμικές μήτρες. Ο συνηθέστερος καθώς και πιο ακριβός τύπος μήτρας είναι οι εποξειδικές ρητίνες, σαν εξαίρεση ελάχιστες φορές όμως γίνεται χρήση πολυεστέρα ή βινυλεστέρα. Οι εποξειδικές ρητίνες, θεωρούνται η καλύτερη επιλογή από άλλους τύπους μήτρας καθώς προσφέρουν βέλτιστες μηχανικές ιδιότητες, υψηλή ανθεκτικότητα σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.[65]

A) Η Ρητίνη ως μήτρα

Η ρητίνη πολλές φορές χρησιμοποιείται ως μήτρα για την δημιουργία σύνθετων υλικών ινών. Είναι η ύλη που συνδέει μεταξύ τις ίνες και συνεισφέρει στην στην ηλεκτρική μόνωση και στην αντοχή του σύνθετου υλικού. Για να δημιουργηθεί δυνατή σύνδεση μεταξύ ινών και ρητίνης είτε χημική είτε μηχανική, είναι υποχρεωτική η ύπαρξη συνάφειας των δύο. Επιπρόσθετα πρέπει να υπάρχει χημική συνάφεια για να μην προκύψουν μη επιθυμητές αντιδράσεις κατά την συναφειά τους.

Οι ρητίνες σαν υλικό είναι πιο αδύναμες σε σχέση με τις ίνες στις οποίες εμβαπτίζονται. Παρουσιάζουν μεγαλύτερη αδυναμία στις βάσεις, τους χημικούς διαλύτες, , το νερό και τα οξέα σε σχέση με τις ίνες καθώς εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στη θερμότητα και στην πυρκαγιά. Όπως αναφέραμε και στην αρχή η ρητίνη είναι αυτή που κατανέμει τασεις στις ίνες καθώς και μεταφέρει φορτία, για τους παραπάνω λόγους τα ινοπλισμένα πολυμερή δεν θα μπορούσαν να σταθούν χωρίς αυτήν. Το ινοπλισμένο πολυμερές άλλωστε σε συνδιασμό με την ρητίνη χαρακτηρίζεται από ομοιογενής συμπεριφορά.

Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται πιο συχνά για την δημιουργία σύνθετων υλικών, για την επισκευή και ενίσχυση δομημάτων είναι οι εποξικές.

Εποξικές Ρητίνες

Οι εποξικές ρητίνες συγκαταλέγονται ως οι βέλτιστες μήτρες για την εφαρμογή στα ινοπλισμένα πολύμερη.

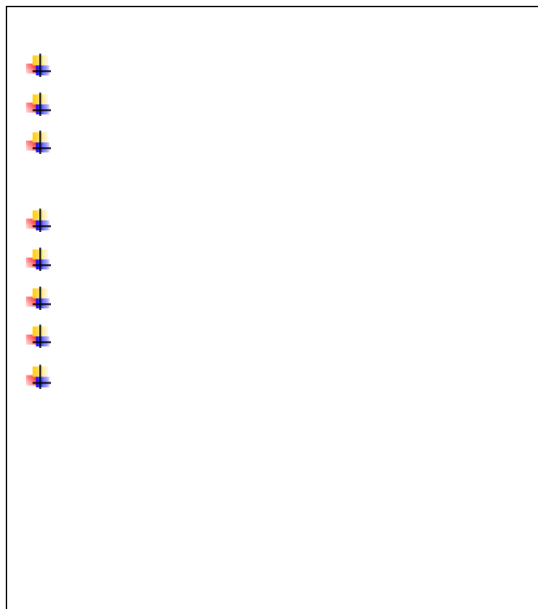
Πλεονεκτήματα:

- ✓ Ανθεκτικότητας σε κόπωση και χημική διάβρωση.
- ✓ Μεγάλη αντοχή.
- ✓ Χαμηλή συστολής ξηράνσεως.
- ✓ Υψηλή συγκολλητική ικανότητα .

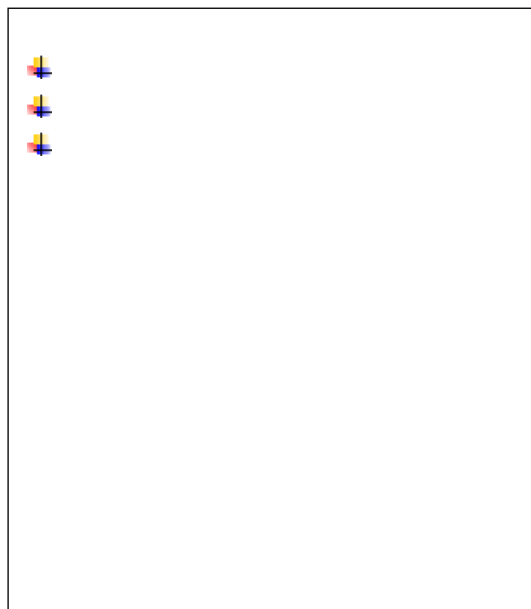
5.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σύνθετων υλικών

Παρακάτω παρατίθενται τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών.

Πλεονεκτήματα[70]



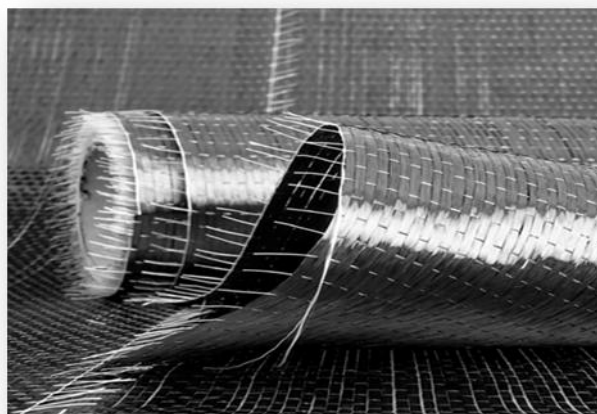
Μειονεκτήματα[67]



5.8 Σύνθετα υλικά για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών

✓ Ανθρακϋφάσματα

Τα υφάσματα της εταιρείας Sika Hellas που παράγονται με ίνες από άνθρακα, γυαλί και αραμιδίο, είναι οι βασικοί τύποι για οικοδομικές ενισχύσεις. Η περίσφιξη υποστρωμάτων και η διατμητική ενίσχυση των δοκών είναι από τις πιο συνήθεις μέθοδοι σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος.[74]



Οι τύποι ανθρακϋφασμάτων που κυκλοφορούν στην αγορά:

- ➔ SikaWrap®-230 C
- ➔ SikaWrap®-300 C
- ➔ SikaWrap®-600 C
- ➔ SikaWrap®-900 C

Εικόνα 5.12: Ανθρακϋφασμα της Sika Hellas.

✓ Υαλοϋφασματα

Οι τύποι υαλοϋφασμάτων που κυκλοφορούν στην αγορά:

- ➔ **SikaWrap®-430 G**
- ➔ **SikaWrap®-930 G**



Εικόνα 5.13: Υαλοαλοϋφασμα της Sika Hellas.

✓ Ανθρακοελάσματα

Η επικόλληση των ανθρακοελασμάτων με εποξειδική ρητίνη είναι από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές εφαρμογές για τη δομητική αναβάθμιση υφιστάμενων κατασκευών. [74]



Εικόνα 5.14: Ανθρακοέλασμα της Sika Hellas.

Οι τύποι ανθρακοελασμάτων που κυκλοφορούν στην αγορά:

- ➔ **Sika® CarboDur® S**
- ➔ **Sika® CarboDur® M**
- ➔ **Sika® CarboDur® E**

SikaWrap®-350 G Grid

Πλέγμα ινών υάλου με επίστρωση, ανθεκτική σε αλκάλια, για ινοπλέγματα ανόργανης μήτρας (TRM)

Το SikaWrap®-350 G Grid είναι δύο διευθύνσεων πλέγμα ινών υάλου με ειδική επίστρωση, με μεγάλη ανθεκτικότητα σε αλκάλια. Συντελεί στο σύστημα του Ινοπλέγματος Ανόργανης Μήτρας (TRM) σε συνδυασμό με το κονίαμα Sika MonoTop®-722 Mur E.[74]



Εικόνα 5.15: Πλέγμα ινών υάλου με επίστρωση ανθεκτική σε αλκάλια.

Sika® CarboDur® BC

Εξηλασμένες ράβδοι από ίνες άνθρακα, ως μέρος του συστήματος δομητικών ενισχύσεων Sika® CarboDur®.



Εικόνα 5.16: Ράβδοι από ίνες άνθρακα της Sika Hellas.

Οι ράβδοι Sika® CarboDur® BC είναι εξηλασμένες ράβδοι ινοπλισμένων πολυμερών άνθρακα, κυκλικής διατομής, με ειδική σχεδίαση για ενισχύσεις κατασκευών σκυροδέματος, ξύλου και φέρουσας τοιχοποιίας. Οι ράβδοι Sika® CarboDur® BC συγκολλούνται σε εγκοπές, με τις εξής συγκολλητικές εποξειδικές ρητίνες: - Sika AnchorFix®-3030, Sikadur®-330 ή Sikadur®-30 για κανονικές θερμοκρασίες εφαρμογής - Sikadur® -30 LP σε περιπτώσεις αυξημένων θερμοκρασιών εφαρμογής - Sikadur® -300 για οριζόντιες εφαρμογές. Επιπλέον οι ράβδοι Sika® CarboDur® BC τοποθετούνται και για την αγκύρωση υφασμάτων SikaWrap® σε στοιχεία σκυροδέματος ή τοιχοποιίας.[74]

Sika® CarboShear L

Γωνιακά ελάσματα ινών άνθρακα, ως μέρος του συστήματος δομητικών ενισχύσεων Sika® CarboDur®.



Εικόνα 5.17: Γωνιακά ελάσματα ινών άνθρακα της Sika Hellas.

Τα Sika® CarboShear L είναι γωνιακά ελάσματα όπου διαθέτουν μεγάλη ανθεκτικότητα στη διάβρωση ίνες άνθρακα, σχεδιασμένα ώστε να βοηθούν στην ενίσχυση κατασκευών σκυροδέματος σε διάτμηση.[74]

✓ Ρητίνες

Η επικόλληση εξωτερικού οπλισμού, είτε πρόκειται για ύφασμα, είτε για έλασμα, είτε για ράβδο, πρέπει να γίνεται με ειδικές, συμβατές ρητίνες που αποδεδειγμένα είναι κατάλληλα με τον οπλισμό και το αποτέλεσμα θα είναι ένα σύστημα.[74]

Sikadur®-30

Η Sikadur®-30 είναι 2-συστατικών, θιξοτροπικό προϊόν δομητικής συγκόλλησης, που βασίζεται σε συνδυασμό εποξειδικών ρητινών και ειδικών αδρανών, σχεδιασμένο για χρήση σε θερμοκρασίες από +8°C έως +35°C.

Είναι θιξοτροπική, εποξειδική ρητίνη επικόλλησης εξωτερικού οπλισμού ενίσχυσης.

Συσκευασία 6 Kg (A+B).

Συστατικό A: λευκό.

Συστατικό B: μαύρο.

Μείγμα A+B: ανοιχτό γκρι.



Εικόνα 5.18: Ρητίνη Sikadur®-30.

Sikadur®-300

Το προϊόν Sikadur®-300 είναι 2 συστατικών, εποξειδική ρητίνη εμποτισμού / έλασης για το σύστημα δομητικής ενίσχυσης με υφάσματα SikaWrap®.

Συστατικό A: 22,305 kg.

Συστατικό B: 7,695 kg.

Συστατικό A: κεχρμπιπαρένιο υγρό.

Συστατικό B: υποκίτρινο υγρό.

Μείγμα συστατικών A + B: ανοικτό κίτρινο υγρό.



Εικόνα 5.19: Ρητίνη Sikadur®-300.

Sikadur® -330

Το προϊόν Sikadur® -330 είναι 2 συστατικών, θιξοτροπική εποξειδική ρητίνη εμποτισμού / συγκόλλησης.

Συσκευασία 5kg (A+B).

Συστατικό A: λευκή πάστα.

Συστατικό B: γκρι πάστα.

Μείγμα (A + B): ανοιχτή γκρι πάστα.



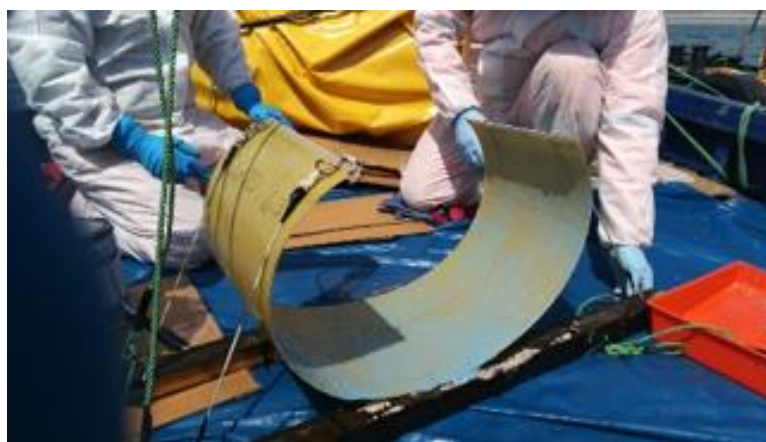
Εικόνα 5.20: Ρητίνη Sikadur®-330.

5.9 Συμπεριφορά σύνθετων υλικών σε διαφορετικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες

Τα σύνθετα πλαστικά ενισχυμένα με ίνες είναι υλικά που επιλέγονται σε διάφορες κατασκευές του πολιτικού μηχανικού και σε εξαρτήματα αεροδιαστημικής υψηλής απόδοσης. Εμφανίζουν ανώτερες μηχανικές ιδιότητες από τα μεταλλικά τους. Ωστόσο, είναι ευαίσθητα σε κάποιες περιβαλλοντικές συνθήκες. Για να αξιοποιήσουν το πλήρες δυναμικό των σύνθετων υλικών FRP, η φυσική, χημική και μηχανική συμπεριφορά τους σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες πρέπει να είναι καλά αποδεδειγμένη.[71]

A) Συμπεριφορά σε υδάτινο περιβάλλον

Τα ινοπλισμένα πολυμερή με άνθρακα μπορούν να τοποθετηθούν σε δομήματα που είναι βυθισμένα υποθαλάσσια, εφόσον έχει γίνει η σωστή επιλογή της ρητίνης. Με την χρήση αυτών των υλικών μπορεί κανείς να εκμεταλευθεί την πληθώρα των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν, όπως αύξηση της πλαστιμότητας, της αντοχής και της δυσκαμψίας των μελών όπου τοποθετούνται, καθώς και την χρήση τους ως στεγανωτική μόνωση. Παραδείγματα τοποθέτησης σύνθετων υλικών σε υδάτινο περιβάλλον είναι ηράγγων μεγάλων διαστάσεων, η ενίσχυση λιμενικών εγκαταστάσεων, η ενίσχυση και στεγάνωση αγωγών, η θεμελίωση θαλάσσιων κατασκευών, κτλ. Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες από την επισκευή διαφόρων μήκους ενός ανυψωτήρα πάνω και κάτω από τη θαλάσσια γραμμή της ανοικτής θάλασσας της Μαλαισίας σε 28 μέτρα νερού. Ο συγκεκριμένος σωλήνας ανάνηψης είχε υποστεί εσωτερικά και εξωτερικά διάβρωση. Επιπλέον, ο κατακόρυφος άξονας είχε υποστεί βλάβες, επανειλημμένα την πάροδο των χρόνων με βάρκες και άγκυρες. Η επισκευή εγκαταστάθηκε σε δύο φάσεις λόγω της διαθεσιμότητας του ανθρώπινου δυναμικού και του χρόνου που επιτρέπεται στο νερό. [66]



Εικόνα 5.21: Οι ειδικοί τεχνικοί στο σκάφος προετοιμάζουν τα σύνθετα μανίκια snar wrap.



Εικόνα 5.22: Οι δύτες εφαρμόζουν το Syntho-Glass XT για την επιδιόρθωση πολλαπλών ελαττωμάτων σε έναν βυθισμένο αγωγό πετρελαίου άνθρακα 10 ιντσών σε βάθος 28 μ. Υπεράκτιας Μαλαισίας

Γ) Υπεριώδης ακτινοβολία

Ένας σοβαρός παράγοντας ο οποίος ευθύνεται για τις τροποποιήσεις μοριακών δομών και γενικά σοβαρές παραμορφώσεις των σύνθετων πολυμερών είναι η υπεριώδης ακτινοβολία. Συνήθως η πιο σοβαρή επίπτωση είναι η αύξηση της ψαθυρότητας του υλικού ήτοι η ελάττωση της εφελκυστικής παραμόρφωσης κατά την αστοχία, τέλος αλλή μία παραμόρφωση που προκαλεί είναι η αλλαγή χρώματος. [6] Υπογραμμίζεται πως στην περίπτωση άμεσης μακροχρόνιας έκθεσης στον ήλιο συστήνεται η τοποθέτηση επιχρισμάτων ή ειδικών βαφών αντί-UV ακρυλικής ή πολυουρεθάνικης σύστασης ανοικτού χρώματος (π.χ. γκρι ανοικτό).[65]

Δ) Αλκαλικό και όξινο περιβάλλον

Τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα δεν υπόκεινται σε δυσμενείς επιδράσεις όταν βρίσκονται σε επαφή, τόσο με αλκαλικό περιβάλλον (π.χ. αυτό του σκυροδέματος) όσο και με όξινο. Από την άλλη τα σύνθετα υλικά με ίνες υαλού είναι όμως ευαίσθητες, ενώ οι ίνες αραμιδίου έχουν μία μέτρια αντίδραση. Επιπλέον η μήτρα (ρητίνη) μπορεί να προσφέρει προστασία σε αδύναμες ίνες, υπό την προϋπόθεση φυσικά ότι αυτή τις απομονώνει από το αλκαλικό ή το όξινο περιβάλλον.[65]

Ε) Γαλβανική διάβρωση

Καθίσταται αναγκαίο η αποφυγή της επαφής χάλυβα με ίνες άνθρακα. Η συνάφεια των παραπάνω υλικών έχει ως αποτέλεσμα την γαλβανική διάβρωση του χάλυβα. Αυτή η περίπτωση μπορεί να αποφευχθεί με την χρήση σύνθετα υλικάινες πολυαραμιδίου ή γυαλιού. [66]

ΣΙ) Ερπυσμός

Μόνο τα σύνθετα υλικά από ίνες άνθρακα και υαλού δεν υπόκεινται σε ερπυσμό. Από την άλλη τα σύνθετα υλικά με ίνες πολυαραμιδίου όσο και οι μήτρες των ρητινών, εμφανίζουν σε κάποιο βαθμό ερπυσμό. Το μέγεθος του ερπυσμού εξαρτάται από την διεύθυνση των ινών σε σύγκριση με την ένταση που ασκείται και το υλικό της ίνας. Δεν σημειώνεται το φαινόμενο του ερπυσμού και το σύνθετο υλικό έχει συμπεριφορά ελαστική, ελαστικά, όταν οι ίνες από τις οποίες έχει κατασκευαστεί είναι υαλού, οι οποίες παραμένουν αμετακίνητες στα άκρα τους. Επιπλέον όταν άξονας βρίσκεται εκτός επιπέδου της φόρτισης, όπου η παραμόρφωση είναι υψηλού βαθμού και η αιτία είναι ο ερπυσμός του υλικού, παρόμοια εξελίσσεται και αν οι ίνες είναι από πολυαραμιδίδη.

Σε πρακτικό επίπεδο όταν διεξάγεται ενίσχυση δομημάτων σε σεισμό ο ερπυσμός σπάνια εξετάζεται καθώς σύνθετα υλικά θα διαμορφώσουν τάσεις μόνο για τις δυνάμεις που δημιουργούνται από το βάρος του υπάρχον σκυροδέματος και που

φέρουν επιπρόσθετα του βάρους της κατασκευής, όπου έχει διαμορφωθεί το μέγιστο των φαινομενικών παραμορφώσεών του. [66]

Z) Διάβρωση και θραύση και υπό τάση

Σημαντική παρατήρηση αποτελεί η εξαιρετικά ελλιπής συμπεριφορά των υαλονημάτων υπό τάση. Οι προαναφερθείσες μπορεί να επέρθουν σε αστοχία υπό μόνιμη τάση, ακόμα και αν αυτή είναι εξαιρετικά μικρή. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται θραύση υπό τάση (stress rupture).

Η διάβρωση υπό τάση (stress corrosion) αναφέρεται στην ελάττωση της ανθεκτικότητας των σύνθετων υλικών καθώς η ταυτόχρονη ύπαρξη αλκαλικού ή όξινου περιβάλλον σε συνδυασμό με την αντίδραση εφελκυστικών δράσεων. Τα ανθρακονήματα δεν είναι ευπαθείς στην διάβρωση υπό τάση ακόμα και αν η τάση φθάνει στο 80% της εφελκυστικής αντοχής. Σε σύγκριση με τα υαλονήματα είναι εξαιρετικά ευαίσθητες ειδικά σε συνδυασμό με ρητίνες όχι τόσο καλές, ενώ οι ίνες αραμιδίου δείχνουν μία μέτρια συμπεριφορά.

Καταλυτικά η βέλτιστη επιλογή υλικού ινών είναι ο άνθρακας σε συνδυασμό με εποξειδική ρητίνη φέρουν μόνιμα φορτία, [65]

H) Κόπωση

Σε γενικά πλαίσια η συμπεριφορά των σύνθετων υλικών φαίνεται να είναι πιο καλή από το χάλυβα ή το σκυρόδεμα υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση. Για παράδειγμα σε καμπτικές ενισχυόμενες δοκούς με χρήση ανθρακοϋφασμάτων ή ανθρακονημάτων όταν επιβάλλονταν σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση ποτέ δεν παρατηρήθηκαν βλάβες στους εξωτερικούς οπλισμούς ενίσχυσης πάντα στην αρχή αστοχούσε λόγω κόπωσης ο εφελκυσόμενος χάλυβας.[65] Τα σύνθετα υλικά από ίνες άνθρακα εμφανίζουν καλύτερα χαρακτηριστικά από αυτά με τις ίνες πολυαραμιδής, και με της σειρά τους αυτά είναι καλύτερα από τα σύνθετα υλικά με ίνες υαλού. Ειδικά η ανθεκτικότητα των ανθρακονημάτων σε κόπωση είναι πιο αυξημένη από αυτή του χάλυβα οπλισμού. Όπως έχει τονιστεί και παραπάνω το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένη η μήτρα είναι πολύ σημαντικό καθώς από αυτό εξαρτάται και ανθεκτικότητα σε κόπωση ενός συστήματος ινοπλισμένου πολυμερούς

Η φύση της μήτρας των ινοπλισμένων πολυμερών είναι οργανική για αυτό το λόγο είναι ευαίσθητα στη συχνότητα εφαρμογής της επαναλαμβανόμενης φόρτισης. Για να προληφθεί το σενάριο έκλυσης θερμότητας δηλαδή ψαθυρή αστοχία της μήτρας, κατ' επέκτασίν συνολικά του συστήματος του πολυμερούς είναι αναγκαίο η συχνότητα της φόρτισης να παραμένει κάτω από 10 Hz. .[66]

Θ) Κρούση

Σχετικά με την κρούση και πως επηρεάζονται τα διάφορα σύνθετα υλικά από αυτή, η κατάταξη αντιστρέφεται σε σχέση με αυτή της κόπωσης. Πιο συγκεκριμένα οι ίνες πολυαραμιδής ενδείκνυνται για την καλύτερη συμπεριφορά της σε περιπτώσεις κρούσης, ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η χρήση της

πολυαραμίδης στην κατασκευή αλεξίσφαιρων γιλέκων. Τέλος σαν κατάταξη έρχονται οι ίνες υαλού και έπειτα οι ίνες άνθρακα ως οι λιγότερο κατάλληλες για την κρούση. [65]

5.10 Αξιολόγηση τύπου ινών

Στον παρακάτω πίνακα 5 φαίνεται ότι τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα είναι αυτά που έχουν τις καλύτερες αντιδράσεις στα περισσότερα δυσμενή περιβάλλοντα.

Πίνακας 5.6: Αξιολόγηση ινών με βάση την ανθεκτικότητα [65]

Κριτήριο	Ίνες Άνθρακα	Ίνες Γυαλιού	Ίνες Αραμιδίου
Υψηλές θερμοκρασίες	+	-	-
Υγρασία	+	-	-
Υπεριώδης ακτινοβολία	++	+	-
Αλκαλικό και όξινο περιβάλλον	++	--	+
Γαλβανική διάβρωση	--	+	+
Ερπυσμός	++	--	-
Θραύση υπό τάση - Διάβρωση υπό τάση	++	--	+
Κόπωση	++	-	+
Κρούση	-	+	++

5.11 Σύνθετα υλικά στην Ελλάδα

Περίπου στις αρχές του 1998 ο όμιλος exeLTEK A.E έφερε και εφάρμοσε ως πρωτοπόρος στην Ελλάδα, την εφαρμογή των σύνθετων υλικών. Η παραπάνω εταιρεία έκανε χρήση αυτών των υλικών, ήτοι ανθρακοϋφασμάτων και υαλοϋφασμάτων στον μεγάλο σεισμό της Αθήνας το 1999 της Αθήνας. Η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών με την χρήση των παραπάνω σύνθετων υλικών είχαν ως κεντρικό σκοπό την βελτίωση δημόσιων καθώς και ιδιωτικών έργων. Επίσης είναι σημαντικό να υπογραμμιστούν οι θετικές επιπτώσεις όπου συνοδεύονται την σύγχρονη τεχνολογία, όπως είναι το μικρό πάχος, και βάρος με την καλή μηχανική αντοχή, την απουσία όχλησης κατά την ταχεία εφαρμογή και το χαμηλό κόστος, όλα αυτά την καθιστούν μια από τις πιο ελκυστικές τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης.

Στην συμπρωτεύουσα την Θεσσαλονίκη σχετικά με τα δομήματα όπου ενισχύθηκαν κατά των σεισμικών δονήσεων με σύνθετα το ερευνητικό και τεχνικό δυναμικό της ήταν πρωτοπόρο. Τέλος τα σύνθετα υλικά και η εφαρμογή τους αποτέλεσε μια τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για αρκετό χρονικό διάστημα στην πόλη.[73]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

6.1 Μέθοδος εφαρμογής των ινοπλισμένων πολυμερών

A) Προσωπικό-Εξοπλισμός

Το προσωπικό που είναι υπεύθυνο για την εφαρμογή ινοπλισμένων πολυμερών για την διεξαγωγή των επισκευών και ενισχύσεων, είναι απαραίτητο να έχει πιστοποιημένη εμπειρία στις επισκευές και ενισχύσεις. Σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να διαπιστωθεί από την επίβλεψη του έργου, αν το τεχνικό προσωπικό διαθέτει την ικανότητα να εκτελέσει σωστά την διαδικασία, για τον λόγο αυτό θα διεξάγεται δοκιμαστική εφαρμογή. Ο επιβλέπων Πολιτικός Μηχανικός πρέπει να διαθέτει το ελάχιστο πενταετή εμπειρία. Το συνεργείο επισκευών, θα πρέπει να έχει πλήρη εξοπλισμό για την περαίωση του τεχνικού έργου. [75]

B) Υλικά προεργασιών

Τα υλικά προεργασιών στοχεύουν στην προετοιμασία του σκυροδέματος, δηλαδή την πλήρωση κενών, την εξομάλυνση επιφανειών καθώς και στην συγκόλληση επιφανειών.

Συνήθως επιλέγονται μη συρρικνούμενα τσιμεντοειδή κονιάματα ή εποξειδικές πάστες με εφελκυστική αντοχή κατά το ήμισυ μεγαλύτερη από το υπόστρωμα για την επισκευή και την προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος. Τα υλικά πρέπει να εφαρμόζονται σύμφωνα με τα συγκεκριμένα τεχνικά φυλλάδια της εταιρείας που τα προμήθευσαν και να ελέγχονται από την επίβλεψη του έργου. [75]

Γ) Διακίνηση και αποθήκευση των υλικών

Τα υλικά που έχουν επιλεχθεί για την περαίωση του εκάστοτε έργου θα πρέπει να φυλάσσονται και να μεταχειρίζονται σύμφωνα με τις οδηγίες που προέρχονται από πιστοποιημένα τεχνικά φυλλάδια του προμηθευτή. Για παράδειγμα, τα εποξειδικά υλικά υποστρώματος είναι απαραίτητα να αποθηκεύονται σε χώρους με την κατάλληλη θερμοκρασία σύμφωνα με το τεχνικό φυλλάδιο του προμηθευτή. Η ρητίνη και ο σκληρυντής, προτείνεται να φυλάσσονται, σε χώρους με θερμοκρασία που θα τους εξασφαλίζει το επιθυμητό ιξώδες (όπως θέρμανση, ιδιαίτερα κατά τους μήνες με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες). Τα ελάσματα θα παραμένουν στην συσκευασία και κατά την εφαρμογή τους, απαγορεύεται να καμπυλώνονται σε μικρότερη ακτίνα από αυτή που ορίζουν οι τεχνικές προδιαγραφές. Τέλος τα υφάσματα από σύνθετα υλικά θα προστατεύονται από ουσίες που τα ρυπαίνουν όπως εργοταξιακούς ρύπους.[75], [76]

Δ) Σύμφυση και Επαφή Διεπιφανειών

Για να επιτευχθεί η διαρκή σύνδεση ενός δομικού στοιχείου υπό επισκευή και ενίσχυση με ένα σύνθετο υλικό γίνεται χρήση συγκεκριμένων υλικών για παράδειγμα πολυεστερικής κόλλας και εποξικής κόλλας. Τα παραπάνω υλικά προσδίδουν μία διαρκή σύνδεση του σύνθετου υλικού με το δομικό στοιχείο που επισκευάζεται καθώς και εξασφαλίζουν ομοιογενής συμπεριφοράς των δύο στοιχείων (υφιστάμενο δομικό στοιχείο που ενισχύεται, σύνθετο υλικό) με την οήθεια της διατμητικής τάσης που μεταφέρεται στη διεπιφάνεια.

Πίνακας 6.1: Προδιαγραφές της συγκολλητικής ουσίας.

Προδιαγραφές/ Συγκολλητική ουσία
Ικανοποιητική αντοχή σε υγρασία και ερπυσμό.
Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης υάλου (Tg) τουλάχιστον ίση με 45°C.
.Αντοχή στην αλκαλική φύση του σκυροδέματος.
Επάρκεια πλήρωσης κενών και εφαρμογής σε κατακόρυφες και ανεστραμμένες επιφάνειες.
Ελάχιστη διατμητική αντοχή στους 20°C ίση με 18 MPa.

Τα υλικά που προαναφέρθηκαν, συνδέουν δύο υλικά επικολλώντας μία στρώση ουσίας στις επιφάνειες τους. Σύμφυση διεπιφανειών σημαίνει εφελκυστικές μοριακές δυνάμεις που εμφανίζονται σε όλη την διεύθυνση των δύο υλικών. Τα υλικά αυτά λόγω της μορφής που έχουν (υγρή κατάσταση) έχουν την τάση να ρέουν στις ανώμαλες επιφάνειες και να αντιδρούν μεταξύ τους λόγω των δυνάμεων μεταξύ των μορίων. Έπειτα αυτή η υγρή ουσία σταθεροποιείται και τα δύο στοιχεία γίνονται ένα. Αναγκαία συνθήκη αποτελεί η άμεση επαφή των δύο στοιχείων (συγκολλητικής ουσίας-και των δύο υποστρωμάτων), επιπρόσθετα εξίσου σημαντική θεωρείται και η κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας του δομικού στοιχείου για την απουσία σκόνης και αδύναμων και αποσαθρωμένων στρώσεων. Η ορθή διαδικασία της συγκόλλησης έχει άμεση σχέση με την ομοιογενή εφαρμογή της συγκολλητικής ουσίας, η οποία είναι αναγκαίο η ποσότητα να είναι μικρή και η στρώση λεπτή. [66]

Ε) Προετοιμασία επιφάνειας σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα λόγω των υλικών από τα οποία αποτελείται, όπως αδρανή, άμμο, άνυδρα σωματίδια τσιμέντου και τσιμεντοκονίας, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα στην

επιφάνεια του να υπάρχουν τα υλικά αυτά εκτεθειμένα, όπου δημιουργούν ρωγμές καθώς και κενά. Η προετοιμασία της επιφάνειας του δομικού μέλους διεξάγεται με κύριο στόχο την απομάκρυνση, χαλαρών και αδύναμων τμημάτων. Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν για την καλύτερη συγκόλληση των στρώσεων στο δομικό υλικό. Αυτή η διαδικασία αποτυπώνεται στον χρόνο ζωής της σύνδεσης και στην συμπεριφορά του ενισχυμένου δομικού στοιχείου.

Η ακολουθία κατάλληλης μεθόδου είναι εξαρτημένη από:

- ✚ Τον προσανατολισμό της επιφάνειας του σκυροδέματος (οριζόντια, κατακόρυφη, ανεστραμμένη, κτλ.)
- ✚ Την εύκολη πρόσβαση στα υλικά.
- ✚ Τον εξοπλισμό.
- ✚ Το κόστος.
- ✚ Την κλίμακα.
- ✚ Τη τοποθεσία του έργου.
- ✚ Τις προδιαγραφές που προβλέπουν την υγιεινή του προσωπικού και τον παράγοντα της ασφάλειας.

Η διαδικασία προετοιμασίας της επιφάνειας του δομικού στοιχείου συνιστάται να περιέχει τα εξής: [66]

1. Καθαίρεση των επιχρισμάτων.
2. Αν αυτό προβλέπεται από την μελέτη αποφορτίζονται τα δομικά μέλη
3. Αφού καθαριστεί η πάνω στρώση του δομικού στοιχείου και τριφτεί με σμυριδόπετρα, ώστε να αφαιρεθούν κάποια ενανθρακωμένα κομμάτια και να φανούν τα αδρανή. Έπειτα, απομακρύνονται από την επιφανειακή στρώση του σκυροδέματος ουσίες κατάλοιπα που δημιουργήθηκαν από τις παραπάνω διαδικασίες όπως σκόνη, είτε με πεπιεσμένο αέρα είτε με αναρρόφηση (αντλία κενού).
4. Η εξωτερική στρώση του δομικού στοιχείου είναι υποχρεωτικό να είναι λεία, χωρίς ανισόπεδα σημεία, όπως εξάρσεις ή βαθουλώματα. Στην περίπτωση των εξάρσεων θα λειαινούνται με ελαφρές αερόσφυρες ή ηλεκτροσφύρες ενώ στην περίπτωση των βαθουλωμάτων θα επισκευάζονται με επισκευαστικό τσιμεντοειδές κονίαμα ή εποξειδικό στόκο (πάστα). Αν το υποχρεωτικό πάχος πλήρωση είναι λιγότερο από 5 mm προτείνεται η εφαρμογή εποξειδικής πάστας. Για το πάχος των 5 mm και πάνω προτείνεται η χρήση έτοιμου τσιμεντοειδούς κονιάματος.
5. Όταν το σύνθετο υλικό εφαρμοστεί στις ακμές του μέλους ισχύουν οι προδιαγραφές του προμηθευτή για την ειδική διαμόρφωση των ακμών. Η καμπύλωση των ακμών διεξάγεται με την χρήση γωνιακού τροχού, με πολύ

προσεκτικές κινήσεις για την προφύλαξη του δομικού μέλος από τυχόν διατάραξη.

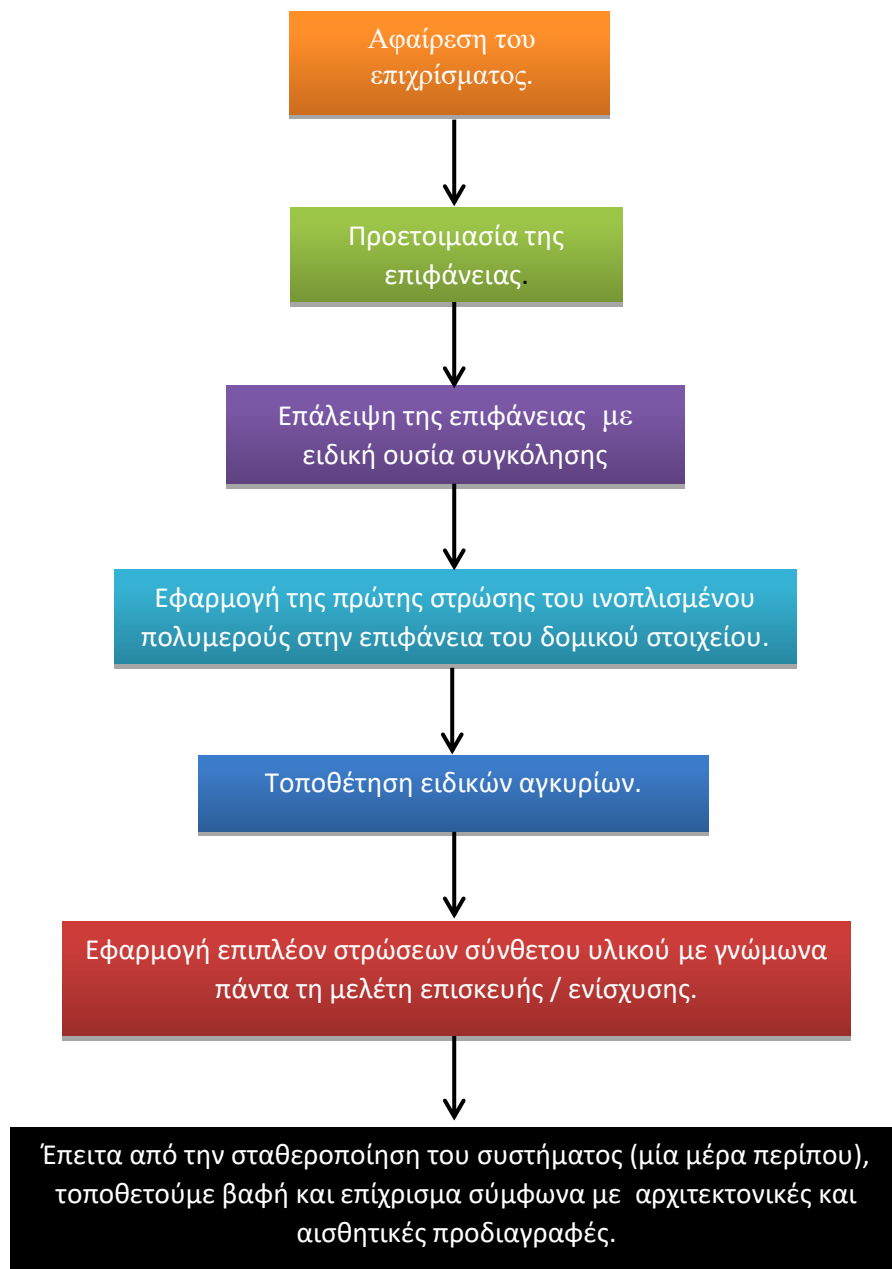
6. Τέλος γίνεται έλεγχος στην υγρασία του σκυροδέματος και συγκρίνεται με τις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή για την εφαρμογή του εποξειδικού συγκολλητικού. Τις πιο πολλές φορές το υπόστρωμα δεν πρέπει να ξεπερνά το 4 % υγρασία.[75],[76]



Εικόνα 6.1: Λείανση της εξωτερικής στρώσης σκυροδέματος με την χρήση τροχού σκυροδέματος.

ΣΤ) Στάδια εφαρμογής σύνθετων υλικών

Περιγραφικά, η διαδικασία τοποθέτησης σύνθετων υλικών περιέχει τα εξής βήματα: [66]



Σχήμα 6.1: Στάδια εφαρμογής σύνθετων υλικών.

6.2 Συστήματα ενίσχυσης

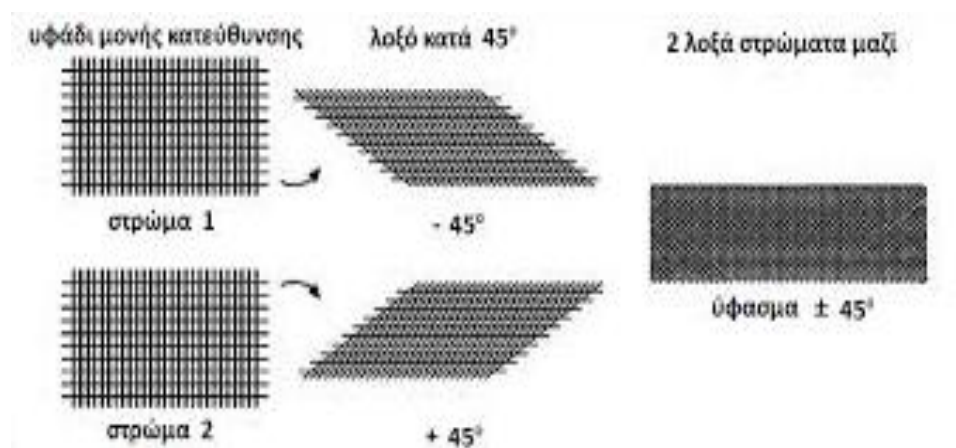
Τα συστήματα ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά είναι γενικά δύο τύπων:

1. υγρής εφαρμογής (ή επι τόπου σκλήρυνσης της μήτρας)
2. προκατασκευασμένα [65]

A) Συστήματα υγρής εφαρμογής

→ Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) συνιστάμενα από συνεχείς ίνες μίας (κυρίως) διεύθυνσης, έλλειψη μήτρας δηλαδή ξηρή κατάσταση. Για την διαδικασία εφαρμογής τους είναι αναγκαία η επίστρωση ασταρώματος στο δομικό μέλος, έπειτα ο εμποτισμός των ινών των σύνθετων υλικών με ρητίνη ακολουθώντας μία από τους παρακάτω μεθόδους:

- Επάλειψη της ρητίνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος, εφαρμογή των ινών αμέσως μετά στη ρητίνη.
 - Βύθισμα των ινών με ρητίνη επιτόπου και μετέπειτα εφαρμογή.
- Υφάσματα που απαρτίζονται από συνεχόμενες ίνες κατ' ελάχιστον δύο διευθύνσεις (π.χ. 0° και 90° ή $\pm 45^\circ$ σε σχέση με τον άξονα του μέλους που ενισχύεται, απουσία μήτρας. Η τοποθέτησή τους διεξάγεται όπως αναλύεται στις δύο παραπάνω περιπτώσεις.
 - Φύλλα ή υφάσματα συγκροτούνται μη διακοπτόμενες μίας (κυρίως) διεύθυνσης, προεμποτισμένα με ρητίνη (μήτρα) σε μη σκληρυμένη μορφή. Η εφαρμογή τους γίνεται με ή χωρίς επιπλέον ρητίνη.
 - Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από αδιάκοπες ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις, κορεσμένα με ρητίνη (μήτρα) σε μη σκληρυμένη μορφή. Η τοποθέτησή τους διεξάγεται με ή την απουσία επιπρόσθετης ρητίνης.
 - Συνεχόμενες ίνες ελλείπει μήτρας, μαζεμένες σε μορφή νήματος (tow), όπου βυθίζεται με ρητίνη ενώ περιτυλίγεται με αυτόματο στη διατομή του σκυροδέματος.
 - Κορεσμένες συνεχόμενες ίνες, συνεχόμενες ίνες, συνολικά ευρεθείσες σε κατάσταση νήματος (tow), το οποίο ενώ περισφίγγετε στο στοιχείο του σκυροδέματος, ίσως να υφίσταται και επιπλέον εμποτισμό. [65]



Εικόνα 6.2: Στρώμα μονής κατεύθυνσης, στρώμα λοξό κατά $\pm 45^\circ$, διδιάστατο πεπλεγμένο ύφασμα.

B) Προκατασκευασμένα υλικά

- Προκατασκευασμένα ευθύγραμμα (και σχετικά δύσκαμπτα) ελάσματα (strips), τα οποία εφαρμόζονται επι των στοιχείων σκυροδέματος μέσω της συγκολλητικής ουσίας της ρητίνης. Η μορφή που μπορούν να απαντηθούν τα ελάσματα τις περισσότερες φορές είναι ρολά και κατασκευάζονται με την διαδικασία της εξέλασης (pultrusion), πιο ασυνήθιστη είναι η διαδικασία της στρωμάτωσης (lamination). Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη τεχνική οι ίνες είναι συνήθως αδιάκοπες και παράλληλα με την διεύθυνση των ελασμάτων, ενώ στην δεύτερη τεχνική προσφέρεται η δυνατότητα της χρήσης ινών σε παράλληλες και κάθετες διευθύνσεις.
- Κελύφη ήδη κατασκευασμένα (shells), μανδύες (jackets) ή γωνιές (angels), τα οποία τοποθετούνται στο υφιστάμενο στοιχείο υπό ενίσχυση μέσω ρητίνης.

Συμπερασματικά τα προκατασκευασμένα ελάσματα επιλέγονται, σε σύγκριση με αυτά των υφασμάτων (ή φύλλων) όταν η επικόλληση γίνεται σε λείες επιφάνειες όπως για παράδειγμα καμπτική ενίσχυση δοκών ή πλακών, ενώ διαφορετικά επιλέγεται η εφαρμογή υφασμάτων μέσω της υγρής τεχνικής.[65]

6.3 Τεχνικές εφαρμογής

A) Βασική τεχνική

Η πιο διαδεδομένη τεχνική εφαρμογής σε μέλη σκυροδέματος υπό ενίσχυση, των ινοπλισμένων πολυμερών είτε με την μορφή προ εμποτισμένων ή μη υφασμάτων είτε με την μορφή προκατασκευασμένων ελασμάτων, είναι η δια χειρός τοποθέτηση μέσω εποξειδικών ρητινών. [65]

B) Ειδικές Τεχνικές

i. Αυτοματοποιημένη περιτύλιξη

Η αυτοματοποιημένη περιτύλιξη 'νημάτων' αποτελεί μία τεχνική όπου εξελίχθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία στις αρχές της δεκαετίας του '90 και έπειτα στις ΗΠΑ. Πρόκειται για μία μέθοδο συνεχής περιτύλιξης κορεσμένων ρητινών νημάτων υπό μικρή γωνία γύρω από διάφορα στοιχεία σκυροδέματος, με την χρήση ειδικής συσκευής-ρομπότ όπως αποτυπώνεται και στην παρακάτω φωτογραφία. Κύριο πλεονέκτημα που προσφέρεται από αυτήν την τεχνική είναι η οικονομία χρόνου.[65]



Εικόνα 6.3 & 6.4: Η ειδική μηχανή ρομπότ για την αυτοματοποιημένη περιτύλιξη υποστρωμάτων.

ii. Εφαρμογή με προένταση

Η προένταση, αποτελεί μία από τις τεχνικές που εξελίχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '90 (Triantafyllou and Deskovic 1991, Deuring 1993), περιλαμβάνει την εφαρμογή ελασμάτων ενώ αυτά βρίσκονται υπό τάνυση. Έτσι εκμεταλλευόμαστε τα βασικά πλεονεκτήματα της προέντασης όπως είναι η:

- Αύξηση δυσκαμψίας
- Ελαχιστοποίηση πλάτους ρωγμών
- Αύξηση καμπτικής και διατμητικής αντοχής σε σύγκριση με την εφαρμογή της τεχνικής απουσία της προέντασης
- Καθυστέρηση ρηγμάτωσης

Το μόνο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το μεγάλο κόστος αλλά και ο βαθμός πολυπλοκότητας της τεχνικής εφαρμογής, αυτό οφείλεται στην χρήση ειδικών ακυρώσεων. Η παραπάνω τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μανδύες υποστρωμάτων, όπως για παράδειγμα επικολλώντας τα ινοπλισμένα πολυμερή με τις ίνες υπό τάνυση, είτε εφαρμόζοντας στο κενό μεταξύ του μανδύα και σκυροδέματος ρητίνη υπό πίεση ή διογκούμενο κονίαμα. [65]



Εικόνα 6.5: Εφαρμογή προέντασης ελάσματος και αγκύρωσης στο άκρο.

iii. Επιταγχυμένη σκλήρυνση με θέρμανση

Η στερεοποίηση της συγκολλητικής ουσίας δηλαδή της εποξειδικής ρητίνης στη διεπιφάνεια (σύνθετου υλικού και υπό ενίσχυση στοιχείου) μπορεί να ολοκληρωθεί ταχύτερα μέσω της εφαρμογής ειδικών συσκευών θέρμανσης, η διαδικασία ολοκληρώνεται γρηγορότερα καθώς οι ίνες άνθρακα είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Έτσι αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος εφαρμογής της ενίσχυσης, ακόμα και σε περιπτώσεις όπως θερμοκρασίες πολύ χαμηλές που δεν συντελούν στην παραπάνω διαδικασία και η σκλήρυνση θα ήταν αδύνατη. Τέλος η επίτευξη της ταχύτερης σκλήρυνσης συνοδεύεται με την αύξηση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης της ρητίνης. [65]



Εικόνα 6.6: Καλωδίωση στα άκρα των ελασμάτων.

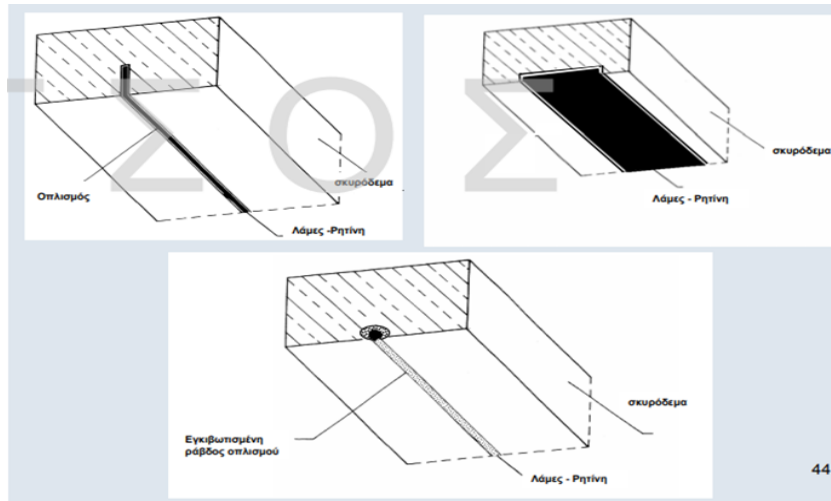
iv. Προκατασκευασμένα στοιχεία

Τα στοιχεία που έχουν ήδη κατασκευασθεί από σύνθετα υλικά απαντώνται ως εξής μορφή:

1. Έλασμα
2. Γωνίες που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ενισχύσεις έναντι τέμνουσας
3. Μανδύα-κελύφους, που εφαρμόζεται σε όλη την περιμετρό υποστρωμάτων με σκοπό την αύξηση της περίσφιξης ή της διατμητικής αντοχής. [65]

v. Εφαρμογή σε εγκοπές

Η διαδικασία εφαρμογής (μέσω εποξειδικής ρητίνης) ράβδων ή ελασμάτων σε εγκοπές στοχεύει τις πιο πολλές φορές στην αύξηση της καμπτικής αντοχής των δομικών στοιχείων υπό ενίσχυση. Η συγκεκριμένη μέθοδος βελτιώνει την πρόσφυση των ινοπλισμένων πολυμερών με το δομικό στοιχείο, έτσι κατ' επέκταση επιτυγχάνεται και η προστασία τους. [65]



Εικόνα 6.7: Τοποθέτηση ελασμάτων σε εγκοπές.

6.4 Απαιτήσεις ποιοτικών ελέγχων

Α) Οπτικός έλεγχος

Οπτικός έλεγχος έχει ως στόχο την εύρεση των κακοτεχνιών, πριν και παράλληλα με την εκτέλεση των εργασιών.

Κακοφτιαγμένα σημεία θεωρούνται:

- Ο εγκλωβισμός αέρα μεταξύ της διεπιφάνειας, υφάσματος και υποστρώματος, ή ελάσματος και υποστρώματος.
- Η ύπαρξη πτυχώσεων
- Ο ελλιπής πολυμερισμός της εποξειδικής κόλλας (ελέγχεται με την αφή)
- Μη επαρκής εμποτισμός των υφασμάτων/ ελασμάτων
- Μη ομοιόμορφη κατεύθυνση των ινών
- Η ελαττωμένη συγκολλητική ικανότητα της εποξειδικής κόλλας μπορεί να διαπιστωθεί με το τράβηγμα του υφάσματος/ ελάσματος με το χέρι όταν η κόλλα έχει πολυμεριστεί
- Το ελλιπές σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις μήκος αλληλοκάλυψης των υφασμάτων/ ελασμάτων

Κατά την διάρκεια του οπτικού ελέγχου δεν εντοπίζονται κακοφτιαγμένα σημεία, ή εάν αυτές οι κακοτεχνίες είναι μικρού βαθμού και μπορούν να αποκατασταθούν, τότε η επέμβαση θεωρείται ορθή.[75], [76]

Πίνακας 6.2: Οπτικός έλεγχος. [75], [76]

ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	
Πριν την επικόλληση των υφασμάτων	Κατά την διάρκεια της επικόλλησης
<ul style="list-style-type: none"> ■ Θα ελέγχεται η κατάσταση τους, (ύπαρξη πτυχώσεων, φθορών ή τραυματισμών) ■ Θα ελέγχεται, επίσης αν έχει γίνει η κατάλληλη προετοιμασία του σκυροδέματος 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Θα ελέγχεται η εφαρμογή των κανόνων έντεχνης εκτέλεσης της εργασίας, ώστε τυχόν κακοτεχνίες να εντοπίζονται έγκαιρα και να απομακρύνονται

B) Μηχανικός (κρουστικός) έλεγχος

Ο μηχανικός (κρουστικός) έλεγχος διεξάγεται στο τέλος ή και παράλληλα με την εκτέλεση της εργασίας. [75], [76]



Σχεδιάγραμμα 6.2: Μηχανικός έλεγχος.

Γ) Επανέλεγχοι διορθωτικά μέτρα

Φυσικά αν οι τιμές των δοκιμών δεν πληρούν τις προδιαγραφές που ορίζει η μελέτη, οι έλεγχοι συνεχίζονται σε δύο κοντινές θέσεις για κάθε δοκίμιο που δεν πληροί τις προϋποθέσεις. Αν τα αποτελέσματα συνεχίσουν να μην ικανοποιούν τότε επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία επανελέγχων. Αν τα αποτελέσματα των νέων δοκιμών κρίνονται επαρκή τότε καταλήγουμε πως η εργασία είναι ορθή.

Όταν από τον οπτικό, κρουστικό ή έλεγχο πρόσφυσης τα αποτελέσματα αποδείξουν ότι η εργασία είναι ελλιπής, οι τιμές των δοκιμών θα ελέγχονται από τον Μηχανικό, ο οποίος θα αποφασίζει για το μέτρα που πρέπει να ληφθούν και τις διορθωτικές ενέργειες, για την προφύλαξη της ασφάλειας και την προφύλαξη της λειτουργικότητας του Έργου. Αναλυτικότερα κάποια από τα διορθωτικά μέτρα μπορεί να είναι η πύκνωση στοιχείων ινοπλισμένων πολυμερών, τοπική ανακατασκευή καθώς και εφαρμογή επαλλήλων στρώσεων. [75], [76]

6.5 Εφαρμογές ενίσχυσης δομικών στοιχείων με ινοπλισμένα πολυμερή

A) Περίσφιξη υποστυλώματος

Η εφαρμογή μανδύων χρησιμοποιείται για την εξωτερική περίσφιξη κυρίως υποστυλωμάτων και βάρθρα γεφυρών. Η ενίσχυση με σύνθετα υλικά φαίνεται να είναι πιο αποδοτική για στοιχεία που διαθέτουν κυκλική και τετραγωνική διατομή. Αναλυτικότερα όσο μεγαλώνει ο λόγος των πλευρών της διατομής του υποστυλώματος τόσο η αποτελεσματικότητα της μεθόδου ελαχιστοποιείται της, στα ορθογωνικής διατομής υποστυλώματα. Όταν πρέπει να περισφυχθεί ένα τετραγωνικό υποστυλώμα, αυτό θα πρέπει οι άκρες του να σμιλευθούν και να γίνουν στρογγυλεμένες. Όλη αυτή η διαδικασία διεξάγεται καθώς πρέπει να υπάρχει μία συνεχόμενη καμπύλη επιφάνειας πάνω στην οποία θα επικολληθεί ο μανδύας.

Με την περίσφιξη του δομικού στοιχείου με την χρήση μανδύα σύνθετων υλικών, εισάγεται τριαξονική θλίψη στο σκυρόδεμα. Οι δυνάμεις περίσφιξης που ασκούνται έχουν ως αποτέλεσμα: [66]

1. Αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος
2. Αύξηση της πρόσφυσης μεταξύ ράβδων οπλισμού και σκυροδέματος σε περιοχές με ματίσεις και άρα παρεμπόδιση της ολίσθησης των διαμηκών ράβδων στα συγκεκριμένα σημεία
3. Αύξηση της παραμορφωσιμότητας
4. Αύξηση της πλαστιμότητας
5. Επιβράδυνση της εμφάνισης λυγισμού των διαμηκών ράβδων σε περιοχές με έλλειψη συνδετήρων. [65]

i. Πλαστιμότητα

Η αύξηση της πλαστιμότητας είναι ένα από τους πιο σημαντικούς στόχους αντισεισμικών ενισχύσεων σε υφιστάμενα δομικά μέλη, η οποία εκφράζεται μέσω του δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων μ_{Δ} (ή γωνιών στροφής χορδής μ_{θ}):

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (= \mu_{\theta} = \frac{\theta u}{\theta y}) \quad (6.1)$$

Όπου:

Ο δείκτης πλαστιμότητας μ_{Δ} ($= \mu_{\theta}$) μπορεί να μεγαλώσει μέσω της κατασκευής μανδύα σύνθετων υλικών στις περιοχές όπου αναμένεται να υπάρξουν σοβαρές παραμορφώσεις στο χάλυβα και στο σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα την δημιουργία σημαντικών καμπυλοτήτων. Η μέθοδος που αναλύεται εάν εφαρμοστεί αυξάνεται η πλαστιμότητα αφού πρώτα έχει αυξηθεί η ανώτερη παραμόρφωση.

Για να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός για δείκτη πλαστιμότητας πρέπει να γίνει η αντίστοιχη αναλογία του μ_{Δ} με τα χαρακτηριστικά του μανδύα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω των παρακάτω βημάτων:

1. Εκτίμηση του απαιτούμενου δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων μ_{Δ} βάσει της μετατόπισης κατά τη διαρροή Δ_y και της επιθυμητής μετατόπισης κατά την αστοχία Δ_u .
2. Υπολογισμός του μήκους πλαστικής άρθρωσης L_p , με βάσει τις διαστάσεις και το μήκος του στοιχείου και των χαρακτηριστικών των διαμηκών ράβδων οπλισμού (π.χ. Priestley et al.1996).

$$L_p = 0.08 L_s + 0.022 f_y d_b \geq 0.044 f_y d_b \quad (6.2)$$

Το L_p διαφορετικά να θεωρηθεί η τιμή ανάλογη με το στατικό ύψος της διατομής.

3. Υπολογισμός δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων, μ_{ϕ} ($= \phi_u/\phi_y$) από την παρακάτω σχέση:

$$\mu_{\Delta} = 1 + 3 (\mu_{\phi} - 1) \frac{L_p}{L_s} (1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s}) \quad (6.3)$$

4. Κατά τη διαρροή γίνεται υπολογισμός της καμπυλότητας της διατομής, ϕ_y . Χρειάζεται ανάλυση της διατομής.
5. Κατά την θραύση του δομικού μέλους γίνεται υπολογισμός της καμπυλότητας της διατομής.
6. Υπολογισμός της καμπυλότητας της διατομής κατά τη διαρροή, ϕ_y . Χρειάζεται ανάλυση της διατομής.
7. Υπολογισμός της καμπυλότητας της διατομής κατά την θραύση του δομικού μέλους.

$$\phi_u = \mu_{\phi} \phi_y \quad (6.4)$$

8. Υπολογισμός της μεγαλύτερης τιμής της παραμόρφωσης στο σκυρόδεμα κατά την θραύση

$$\varepsilon_{ccud} = \varphi_u X_u \quad (6.5)$$

9. Εφαρμογή του αναλυτικού προσομοιώματος περίσφιγξης για τη συσχέτιση του ε_{ccud} με το πάχος, την εφελκυστική αντοχή του μανδύα. [3]

Σε άλλη περίπτωση για να επιτευχθούν τα παραπάνω μπορεί να γίνει η χρήση της παρακάτω εμπειρικής σχέσης (Tastani and Pantozoroulou 2002):

$$\mu_{\Delta} = 1.3 + 12.4 \left(\frac{\sigma_{lud}}{f_{cd}} - 0.1 \right) \geq 1.3 \quad (6.6)$$

[65]



Εικόνα 6.8 & 6.9: Ενισχυμένο υποστώλωμα/ Εφαρμογή υφάσματος για την περίσφιγξη υποστυλώματος.

Η διαφορά της εφελκυστικής αντοχής της περιμέτρου και γενικά της εφελκυστικής αντοχής είναι αυτή μπορεί να ορισθεί ποσοτικά μέσω ενός συντελεστή n_e , που μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά να έχει τιμή ίση με 0.7-0.9:

$$f_{fde} = n_e f_{fd} \quad (6.7)$$

Όταν αναφερόμαστε στους μανδύες το πιο σημαντικό από όλα τα χαρακτηριστικά είναι μανδύων είναι το πάχος t_f καθώς και η προσέγγιση του αριθμητικά, έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή θλιπτική αντοχή σχεδιασμού f_{ccd} , και η επιθυμητή μέγιστη παραμόρφωση σχεδιασμού ϵ_{ccud} . Αναλυτικότερα παρουσιάζονται κάποιες σχέσεις που αφορούν την περίσφιξη ορθογωνικών διατομών πλευρών b και d ($b \geq d$) με ακτίνα καμπυλότητας r_c .

$$f_{ccd} = E_{sec,ud} \epsilon_{ccud} \geq f_{cd} \quad (6.8)$$

Το k_e = συντελεστής αποτελεσματικότητας του μανδύα, που εξαρτάται :

- Από το σχήμα και τις διαστάσεις της διατομής
- Από τον βαθμό περιτύλιξης του σκυροδέματος
- Από την διεύθυνση ινών σε σχέση με τον άξονα του περισφιγμένου μέλους

$$k_e = k_{e1} \times k_{e2} \times k_{e3} \leq 1 \quad (6.9)$$

Συντελεστής διατομής: $k_{e1} = \frac{Ae}{Ag} = 1 - \frac{b'^2 + d'^2}{3Ag \left(1 - \frac{As}{Ag}\right)}$ (6.10)

Συντελεστής κάλυψης: $k_{e2} = \frac{\left(1 - \frac{s'f}{2d}\right)^2}{1 - \frac{As}{Ag}}$ (6.11)

Συντελεστής διεύθυνσης: $k_{e3} = \frac{1}{1 + (\tan \alpha f)^2}$ (6.12)

[65]

ii. Αριθμητικό παράδειγμα

Έχουμε υποστύλωμα ορθογωνικής διατομής 0.30×0.40 m, για το οποίο η σεισμική φόρτιση δρα παράλληλα στη μεγάλη πλευρά. Υποθέτουμε ότι οι γωνίες του υποστυλώματος έχουν στρογγυλευθεί ώστε να είναι $r_c = 25$ mm. Το σκυρόδεμα έχει αντοχή σχεδιασμού $f_{cd} = 10.67$ MPa. Έστω ότι διαθέτουμε ύφασμα ινών άνθρακα με μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230$ GPa, εφελκυστική αντοχή $f_{fk} = 3500$ MPa και πάχος 0.12 mm, προκειμένου να το χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή μανδύα στις κρίσιμες περιοχές με στόχο την επίτευξη δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων $\mu_\Delta = 4$. Υποθέτουμε ότι η εφελκυστική αντοχή του μανδύα είναι κατά 10% μειωμένη σε σχέση με τις αντίστοιχες ιδιότητες ευθύγραμμων δοκιμών (δηλαδή $n_e = 0.90$). Ζητούμενο του προβλήματος είναι ο προσεγγιστικός υπολογισμός του απαιτούμενου αριθμού στρώσεων.

Από την εξ. (6.7) έχουμε ότι:

$$\text{Για το υλικό του μανδύα είναι } f_{\text{ide}} = ne \left(\frac{f f k}{\gamma f} \right)$$

$$\text{Εύρεση συντελεστή αποτελεσματικότητας : } A_g = 1195 \text{ cm}^2 \\ A_s = 15.25 \text{ cm}^2$$

Από την εξ. (6.10) έχουμε:

$$k_{e1} = 1 - \frac{35^2 + 25^2}{3 \times 1195 \times \left(1 - \frac{15.25}{1195} \right)} = 0.48$$

Από την εξ. (6.6) έχουμε:

$$4 = 1.3 + 12.4 \left(\frac{0.48 \times 2625 \times \frac{2t_f}{300} - 0.1}{10.67} \right) \text{ άρα } t_f = 0.40 \text{ mm}$$

Δηλαδή απαιτούνται $\frac{0.40}{0.12} = 3.3 \text{ ----} > 4$ στρώσεις (επανάληψη των υπολογισμών με $t_f = 4 \times 0.12 \text{ mm}$ δίνει $\mu_{\Delta} = 4.75$). [65]

B) Ενίσχυση σε κάμψη

Η τεχνική της καμπτικής ενίσχυσης με σύνθετα υλικά εφαρμόζεται κυρίως σε δομικά στοιχεία, όπως είναι οι δοκοί και οι πλάκες, με την χρήση ελασμάτων ή υφασμάτων τα οποία τοποθετούνται στο εφελκόμενο πέλμα με κατεύθυνση των ινών τέτοια ώστε να φέρουν τις εφελκυστικές δυνάμεις που οφείλονται στο φαινόμενο της κάμψης. Καθώς είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί η συνέχεια των οπλισμών εντός των κόμβων η εφαρμογή της παραπάνω τεχνικής είναι γενικά δύσκολη στην περίπτωση υποστυλωμάτων λόγω των κρίσιμων σε κάμψη διατομών. Η παραπάνω τεχνική μπορεί να στεφθεί με επιτυχία σε δύο περιπτώσεις όταν οι δοκοί έχουν μικρότερο πλάτος από τα υποστυλώματα ή όταν γίνεται χρήση οπλισμών από σύνθετα υλικά μικρού πλάτους.

Οι πράξεις για τους ελέγχους αντοχής και λειτουργικότητας διεξάγονται λαμβάνοντας υπόψη:

1. Τις ιδιαιτερότητες της μηχανικής συμπεριφοράς των σύνθετων υλικών.
2. Το ενδεχόμενο πρόωρης αποκόλλησης τους από το σκυρόδεμα. [65]



Εικόνα 6.10: Καμπτική ενίσχυση δοκού με ανθρακοελάσματα.



Εικόνα 6.11: Καμπτική ενίσχυση πλάκας με ανθρακοελάσματα.

Η διαδικασία που προτείνεται για τους ελέγχους στην οριακή κατάσταση αντοχής αναλύεται περιεκτικά:

1. Διεξάγονται οι κατάλληλοι υπολογισμοί για την ροπή αντοχής πριν από την ενίσχυση ($M_{o,Rd}$).
2. Γίνονται οι κατάλληλες πράξεις για την εύρεση της αρχικής παραμόρφωσης ϵ_o στην ακραία εφελκόμενη ίνα βάσει της ροπής M_o που ασκείται στην κρίσιμη διατομή κατά τη φάση της ενίσχυσης.
3. Υπολογισμός της ποσότητας σύνθετων υλικών A_f που απαιτείται (για δεδομένη ροπή) για τις εξής περιπτώσεις αστοχίας:
 1. σύνθλιψη σκυροδέματος με διαρροή εφελκόμενου χάλυβα,
 2. θραύση σύνθετων υλικών με διαρροή εφελκόμενου χάλυβα και

3. αποκόλληση σε ενδιάμεση λοξή ρωγμή.

Έπειτα σειρά έχει ο έλεγχος των απαιτήσεων πλαστιμότητας σύμφωνα με τους οποίους πρέπει η διαρροή του εφελκυσμένου χάλυβα να προηγείται οποιασδήποτε άλλης αστοχίας ώστε να διασφαλίζεται η μικρότερη τιμή πλαστιμότητας καμπυλοτήτων μ_{ϕ} .

4. Γίνονται οι αντίστοιχες διαδικασίες για να βρεθεί το μήκος αγκύρωσης και γενικά σταθεροποιηθεί η διάταξη των σύνθετων υλικών βάσει του ελέγχου αγκύρωσης.
5. Έλεγχος του μηχανισμού διατμητικής αστοχίας. Αν ο έλεγχος δεν ικανοποιείται γίνεται ενίσχυση σε τέμνουσα με βάση τις διατάξεις.
4. Έλεγχος της οριακής κατάστασης αστοχίας του μέλους από διάτμηση (δεδομένου ότι έχει αυξηθεί η καμπτική αντοχή). Εάν ο έλεγχος δεν πληρείται είναι υποχρεωτική η ενίσχυση.[65]

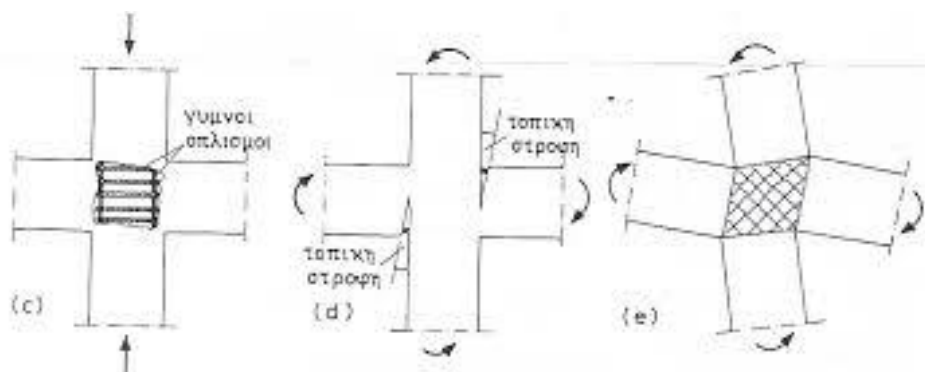
Γ) Ενίσχυση σε κόμβους δοκών υποστυλωμάτων

«Η ενίσχυση δομικών μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα σε διάτμηση με σύνθετα υλικά επιτυγχάνεται με την εφαρμογή υφασμάτων, καθώς και σπανιότερα με την χρήση ελασμάτων, τα οποία τοποθετούνται στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες κατά το δυνατόν παράλληλες στις τροχιές των κυρίων τάσεων, δηλαδή περίπου κάθετα σε πιθανές ρωγμές.» Επειδή αυτό τις περισσότερες φορές δεν είναι δυνατόν να συμβεί, οι ίνες εφαρμόζονται στις πιο πολλές περιπτώσεις με διεύθυνση κάθετη στον άξονα των δομικών στοιχείων. [65]



Εικόνα 6.12: Ενισχυμένος κόμβος.

Σε ένα δόμημα, οι περιοχές που έχουν κοινό σημείο συνάντησης καλούνται κόμβοι. Στην περίπτωση της διασταύρωσης δοκών και υποστηλωμάτων, που το εμβαδόν δεν είναι απεριόριστο, είναι υποχρεωτικό να ελέγχεται η διατμητική αντοχή τους, αλλά και οι συνθήκες αγκύρωσης στα τμήματα αυτά των οπλισμών των κόμβων. Είναι αναγκαίο να παρεμποδιστεί η πρόωγη αστοχία των κόμβων της σύνδεσης τους για να έχουν την δυνατότητα τα μέλη του δομήματος να αναπτύξουν τις αντοχές τους. Τα είδη των κόμβων διακρίνονται στα εξής: ο εσωτερικός κόμβος, ο εξωτερικός κόμβος και ο γωνιακός κόμβος.



Εικόνα 6.13: α) αποφλοίωση επικάλυψης σκυροδέματος, β) αστοχία αγκύρωσης διαμηκών ράβδων, γ) αστοχία από διάτμηση

Κεντρικός σκοπός του σχεδιασμού ενός κόμβου είναι να ασφαλιστεί το είδος αστοχίας κατά τον οποίον οι πλαστικές αρθρώσεις δημιουργούνται στα μέλη που βρίσκονται στις κοινές περιοχές.

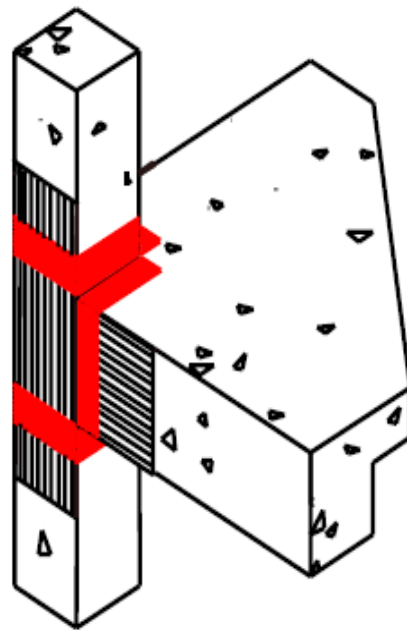
Το είδος της αστοχίας, καθορίζει τις τεχνικές ενίσχυσης κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων:

- I. Ρητινενέσεις
- II. Προεντεταμένα κολλάρα με την μορφή χιαστί
- III. Εφαρμογή ελασμάτων
- IV. Μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα

Θεωρείται ένα από τα πιο ‘δυσβατά μονοπάτια’, η κατασκευή ενός κόμβου από την μεριά του τεχνικού τομέα. Είναι προφανές ότι η επισκευή ενός κόμβου είναι από το τεχνικό κομμάτι το δυσκολότερο εγχείρημα λόγω ότι στο σημείο αυτό συντρέχουν πολλά δομικά μέλη.

Η χρήση επικολλητών φύλλων ινοπλισμένων πολυμερών έχει αρχίσει να εφαρμόζεται για την ενίσχυση των κόμβων. Η τεχνική αυτή προσφέρει αναμφίβολα αρκετά οφέλη στην ενίσχυση των κόμβων. «Τα ελάσματα προεκτείνονται εκατέρωθεν του κόμβου, στις συντρέχουσες δοκούς και τα υποστυλώματα σε μήκος τουλάχιστον ίσο με το αντίστοιχο πλάτος του κόμβου.» Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα που παρέχει η μέθοδος ενίσχυσης με σύνθετα υλικά είναι η μεγάλη ευκολία εφαρμογής στην δύσκολη περιοχή του κόμβου. «Τα φύλλα επικολλώνται με

εποξειδική ρητίνη όχι μόνο στο κόμβο αλλά και στα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκού (όπως φαίνεται στην εικ.6.14 και 6.15).”[77]



Εικόνα 6.14 και 6.15: Εφαρμογή ανθρακούφασμάτων για την ενίσχυση κόμβου/
Σχήμα ενίσχυσης κόμβου με σύνθετα υλικά.

Κατά την οριακή κατάσταση διατμητικής αστοχίας οι ίνες που διαπερνούν μία λοξή ρωγμή ‘ενεργοποιούνται’ και φέρουν δυνάμεις κατ’ αναλογία με τους εσωτερικούς συνδετήρες.

Για την περίπτωση χρήσης λωρίδων πάχους t_f και πλάτους b_f , ανά αποστάσεις s_f , η τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού που περιλαμβάνεται από τα σύνθετα υλικά, V_{fd} , δίνεται από τη σχέση:

$$V_{fd} = \frac{2t_f b_f}{s_f} d_f (\varepsilon_{fe,d} E_f) (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha \quad (6.13)$$

Στην πιο συνηθισμένη περίπτωση εφαρμογής συνεχούς υφάσματος αντί λωρίδων :

$$V_{fd} = 2t_f d_f (\varepsilon_{fe,d} E_f) ((\cot \theta + \cot \alpha) (\sin^2 \alpha)) \quad (6.14)$$

Ο συνιθέστερος τρόπος εφαρμογής των ινών στα σύνθετα υλικά είναι κάθετα στον άξονα του μέλους ($\alpha=90^\circ$), οπότε:

$$V_{fd} = 2t_f d_f (\varepsilon_{fe,d} E_f) \cot \theta \quad (6.15)$$

$$\text{Όπου: } \varepsilon_{fe,d} = d_f \varepsilon_{fd,max} = \left(1 - \frac{0.5df}{0.9d}\right) \varepsilon_{fd,max} \quad (6.16)$$

Η τιμή της παραμόρφωσης κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω τέμνουσας εξαρτάται από το μηχανισμό αστοχίας λόγω τέμνουσας εξαρτάται από το μηχανισμό αστοχίας, που μπορεί να είναι ένας από τους παρακάτω :

Θραύση των σύνθετων υλικών

Αναμένεται να συμβεί κατά κανόνα σε επαρκώς αγκυρωμένους μανδύες:

$$E_{fd,max} = \frac{f_{fde}}{E_f} \quad (6.17)$$

Ελλείψει περισσότερων στοιχείων μπορεί να θεωρηθεί ότι ο μειωτικός συντελεστής n_e για τον υπολογισμό της f_{fde} είναι 80%.

Αποκόλληση των σύνθετων υλικών

Για μανδύες ανοιχτού τύπου η πιθανότητα αστοχίας με θραύση του μανδύα είναι σχετικά μικρή. Κύριος μηχανισμός είναι η αποκόλληση των σύνθετων υλικών, για την οποία αποδεχόμαστε την ισχύ του αναλυτικού προσομοιώματος.

Στο προσομοίωμα αυτό εδώ θεωρούμε $k_c=1$, $k_b=1$ και μία προσαύξηση της παραμόρφωσης αποκόλλησης, δεδομένου ότι η πραγματική εντατική κατάσταση στη διεπιφάνεια σύνθετων υλικών-σκυροδέματος στην περιοχή της ρωγμής διαφέρει ως προς αυτήν της πειραματικής διάταξης του.

- Για $l_b \geq l_{b,max}$: $E_{fd,max} = \alpha_{sh} \frac{0.5}{\gamma b} \sqrt{\frac{f_{ctm}}{E_f t f}}$ (6.18)

- Για $l_b \leq l_{b,max}$: $E_{fd,max} = \alpha_{sh} \frac{0.5}{\gamma b} \sqrt{\frac{f_{ctm}}{E_f t f}} \frac{l_b}{l_{b,max}} \left(2 - \frac{l_b}{l_{b,max}} \right)$ (6.19)

Όπου:

$$\alpha_{sh} = 1.25$$

$$l_b = \frac{df}{\sin \alpha} \quad \text{για 'τρίπλευρο' μανδύα U, μήκος αγκύρωσης } \frac{df}{\sin \alpha} \quad (6.20)$$

$$l_b = \frac{df}{2 \sin \alpha} \quad \text{για 'δίπλευρο' μανδύα τύπου II} \quad (6.21)$$

$$l_{b,max} = \sqrt{\frac{E_f t f}{c^2 f_{ctm}}} \quad (6.22)$$

[65]

i. Αριθμητικό παράδειγμα

Έχουμε πλακοδοκό, με πλάτος κορμού 250 mm, ύψος 500 mm και στατικό ύψος 460mm. Η εφελκυστική αντοχή υπολογίζεται σε μια τιμή κοντά στα 2 MPa. Το ζητούμενο αυτού του προβλήματος είναι ο σχεδιασμός μανδύα σύνθετων υλικών για να έχει ως αποτέλεσμα το δομικό στοιχείο να μπορεί να φέρει πρόσθετη 75 kN τέμνουσα στις κρίσιμες περιοχές. Θεωρούμε ότι έχουμε στη διάθεση μας ύφασμα σύνθετων υλικών, πάχους 0.12mm, με ίνες άνθρακα, μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230$ GPa και εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού 3200 MPa. Η τιμή αυτή, μειωμένη κατά 20%, δίνει την αντοχή σχεδιασμού του μανδύα:

$$f_{fde} = 2560 \text{ MPa.}$$

Ο μανδύας θα είναι τρίπλευρος.

Από την εξ.(6.17) έχουμε:

$$\varepsilon_{fd,max} = \frac{2560}{230000} = 0.0111$$

Από την εξ.(6.20) έχουμε:

$$d_f = 310 \text{ mm, } \alpha = 90^\circ, l_b = 310 \text{ mm}$$

Κάνουμε δοκιμές, έστω ότι δοκιμάζουμε με τρεις στρώσεις:

Από την εξ.(6.22) έχουμε:

$$l_{b,max} = \sqrt{\frac{230000 \times (3 \times 0.12)}{2 \times 2}} = 144 \text{ mm} < l_b$$

Από την εξ.(6.18) έχουμε:

$$\varepsilon_{fd,max} = 1.25 \times \frac{0.5}{1.5} \sqrt{\frac{2}{230000 \times (3 \times 0.12)}} = 0.0020$$

Τελικά λαμβάνεται $\varepsilon_{fd,max} = \min(0.0111, 0.0020, 0.0060)$

Από την εξ.(6.16) έχουμε:

$$\varepsilon_{fe,d} = d_f \varepsilon_{fd,max} = \left(1 - \frac{0.5 \times 310}{0.9 \times 460}\right) \times 0.0020 = 0.62 \times 0.0020 = 0.0012$$

Από την εξ.(6.15) έχουμε:

$$V_{fd} = 2 \times (3 \times 0.12) \times 310 (0.0012 \times 230) = 61.60 \text{ kN} < 75 \text{ kN}$$

Ακολουθώντας τον ίδιο τρόπο δοκιμάζουμε με 4 στρώσεις:

$$l_{b,max} = \sqrt{\frac{230000 \times (4 \times 0.12)}{2 \times 2}} = 166 \text{ mm} < l_b$$

$$\varepsilon_{fd,max} = 1.25 \times \frac{0.5}{1.5} \sqrt{\frac{2}{230000 \times (4 \times 0.12)}} = 0.0018$$

Τελικά λαμβάνεται $\varepsilon_{fd,max} = \min(0.0111, 0.0018, 0.0060) = 0.0018$

$$\varepsilon_{fe,d} = d_f \varepsilon_{fd,max} = \left(1 - \frac{0.5 \times 310}{0.9 \times 460}\right) \times 0.0018 = 0.62 \times 0.0018 = 0.0011$$

$$V_{fd} = 2 \times (4 \times 0.12) \times 310 (0.0011 \times 230) = 75.30 \text{ kN} < 75 \text{ kN}$$

Επομένως απαιτούνται 4 στρώσεις.[65]

Δ) Ενίσχυση τοιχοποιίας

Κατά την εφαρμογή των σύνθετων υλικών για την ενίσχυση τοιχοποιίας είναι σημαντικό να ακολουθείται πιστά μία συγκεκριμένη τεχνική. Η αποφυγή ξαφνικής αστοχίας του υλικού ενίσχυσης λόγω τοπικών συγκεντρώσεων τάσης ή την αποκόλληση τους από το σώμα του ενισχυόμενου δομικού μέλους(τοιχοποιίας,) αποτελεί μία από τις προτεραιότητες αυτής της μεθόδου.

Για να αποκατασταθεί το βλαμμένο δομικό μέλος από τοιχοποιία είναι αναγκαίο να διεξαχθεί η προκαταρκτική εργασία, ήτοι η αποκατάσταση της συνέχειας των τοιχοποιιών με κλείσιμο των ατελειών τους. Η κάλυψη των ρωγμών μπορεί να επιτευχθεί με εφαρμογή ενέματος. Το ένεμα θα πρέπει να εμπλουτίζει το υφιστάμενο κονίαμα, να επισκευάζει μικρορωγμές και κενά λόγω συστολών, χωρίς να δημιουργεί θύλακες αυξημένης ακαμψίας σε άλλες θέσεις του τοίχου. Επίσης το υλικό αυτό θα πρέπει να είναι λεπτόκοκκο, ανόργανο, λεπτόρρευστο και παρόμοιας σύστασης με το υπάρχον συνδετικό κονίαμα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές γενικές οδηγίες για την επικόλληση ανθρακονημάτων σε περιοχές τοιχοποιίας. Η αντισεισμική ενίσχυση των κτιρίων διεξάγεται με την προσθήκη ενός κανάβου μακρόστενων τμημάτων από ύφασμα με ανθρακονήματα συγκεκριμένου μήκους και πλάτους και χαρακτηριστικών που προκύπτουν από τη μελέτη και διαστασιολόγηση της ενίσχυσης. Επίσης απο αυτήν καθορίζονται τα ακριβή σημεία που θα επικολλούνται οι λωρίδες των υφασμάτων για να διασφαλισθεί η ορθή περίδεση του κτιρίου με γνώμονα πάντα τα σημεία όπου υπάρχουν ανοίγματα καθώς και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των όψεων των κτιρίων. Συχνά οι εσωτερικοί τοίχοι ενισχύονται εντός επιπέδου διάτμησης με με εφαρμογή τμημάτων σε μορφή χιαστί (όπως φαίνεται στην εικόνα 6.16) και την περίδεση ορισμένων χαρακτηριστικών και ανοιγμάτων κατά τη κρίση του επιβλέποντα Μηχανικού.



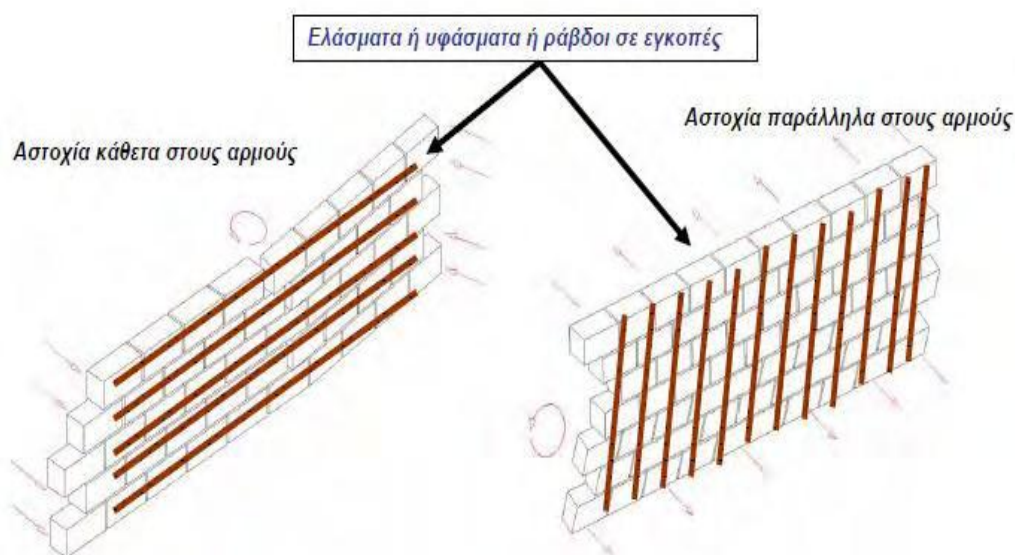
Εικόνα 6.16: Ενίσχυση τοιχοποιίας με χιαστή διάταξη από ανθρακούφάσματα και ανθρακοελάσματα.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την διάστρωση των σύνθετων υλικών στο δομικό στοιχείο που θα ενισχυθεί, την τοιχοποιία:

1. Θα πρέπει να απομακρύνονται τα επιχρίσματα μόνο στα σημεία από τα οποία διέρχονται οι λωρίδες ανθρακονημάτων και σε πλάτος μεγαλύτερο κατά 5 περίπου εκατοστά από το υπολογισμένο πλάτος των λωρίδων. Για την απομάκρυνση αυτή απαιτείται διενέργεια πολύ καλού καθαρισμού με μηχανικά μέσα ή όπου είναι δυνατό με υδροβολή ή αμμοβολή.
2. Μετά τον καθαρισμό και τη διύγρυνση, διαστρώνονται οι θέσεις των λωρίδων του σύνθετου υλικού με κάποιου είδους τσιμεντοειδές κονίαμα σταθερού όγκου, με σκοπό να αποφευχθεί η δημιουργία παρασιτικών τάσεων λόγω συρρίκνωσης στη διεπιφάνεια τσιμεντοπολτού και τοιχοποιίας. Το τσιμεντοειδές κονίαμα θα πρέπει να περιέχει ειδικά πρόσμικτα που εξασφαλίζουν την συνάφεια πάνω στη τοιχοποιία για τη διαμόρφωση συνεχούς και ομαλής επιφάνειας.
3. Στη συνέχεια και στην περίπτωση χρήσεων κλειστού μανδύα σύνθετων υλικών ή αν οι λωρίδες περνούν από εξωτερική γωνία, γίνεται καμπύλωση των ακμών του τοίχου με τριβείο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται εξασφάλιση επαρκούς ακτίνας καμπυλότητας στις γωνίες που εξασφαλίζουν την ομαλή ροή των τάσεων μέσα από τις λωρίδες του σύνθετου υλικού. Σε περίπτωση που δε γίνουν αυτές οι ενέργειες, υπάρχει κίνδυνος πρόωρης αστοχίας του υλικού ενίσχυσης λόγω συγκέντρωσης τάσεων στις ακμές του δομικού μέλους.
4. Ακολουθεί εμποτισμός της επιφάνειας του τσιμεντοκονιάματος με διάλυμα ρητίνης έτσι ώστε να ενισχυθεί η δομή του και να διαμορφωθεί η επιφάνεια του για να μπορεί να δεχθεί το ύφασμα ανθρακονημάτων.
5. Μετά την εξάτμιση του διαλύτη, διαστρώνεται όλη η επιφάνεια των ζωνών με θιξοτροπική ρητίνη κατάλληλου ιξώδους και εργασίμου επί της οποίας τοποθετούνται τα υφάσματα. Το υλικό αυτό διεισδύει στην ύφανση και η περίσσεια που προκύπτει μετά τη διείσδυση διαστρώνεται με επιμέλεια στην εξωτερική επιφάνεια του υφάσματος.
6. Την επόμενη μέρα η επιφάνεια του υφάσματος από ίνες επενδύεται με καθαρή υγρή ρητίνη επί της οποίας, ενώ είναι νωπή, γίνεται διασπορά χαλαζιακής άμμου

με σκοπό ν' αποκτήσει την απαραίτητη αδρότητα για την επίστρωση του νέου επιχρίσματος.

Πολύ σημαντική θεωρείται η εφαρμογή υφασμάτων μεγάλου μήκους για την αποφυγή ματίσεων, καθώς συμπεριλαμβάνονται στην λίστα με τις κατασκευαστικές ατέλειες. Όπου ωστόσο η σύνδεση των λωρίδων ανθρακονημάτων δε μπορεί να αποφευχθεί καλό είναι το μήκος αλληλοεπικάλυψης να ξεπερνά το μισό μέτρο. Στις θέσεις απ' όπου οι λωρίδες του υφάσματος θα πρέπει να περάσουν από εσωτερικές γωνίες τοίχων, απαιτείται ειδική διάταξη μεταλλικής αγκύρωσης που μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τη περίπτωση, συνηθέστερα όμως χρησιμοποιείται συνδυασμός γωνιακών ελασμάτων και χημικών βλήτρων. Όπως έχει τονιστεί και πιο πάνω, είναι αναγκαίο το προσωπικό να είναι εξειδικευμένο σε αυτή τη μέθοδο της επισκευής και ενίσχυσης, καθώς και η επίβλεψη να διαθέτει τουλάχιστον πενταετή επαγγελματική εμπειρία. [77]



Εικόνα 6.17: Ενδεικτική διάταξη σύνθετων υλικών για ενίσχυση τοιχοποιίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ

- 1) <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%BA%CF%85%CF%81%CF%8C%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B1>
- 2) <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/>
- 3) <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/regulations/>
- 4) http://paver.gr/images/tehnika/prodiagrafes/kts16/KTS_2016.pdf
- 5) <http://www.interbeton.gr/default.asp?siteID=1&pageid=38&langid=1>
- 6) Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, *Δομικά Υλικά, Πάτρα 2013, 10^η Έκδοση*
- 7) *Σημειώσεις για το εργαστηριακό μέρος του μαθήματος, Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος, ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ε. ΚΟΝΙΔΑΡΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2001*
- 8) <https://www.cement.org/cement-concrete-applications/how-concrete-is-made>
- 9) <https://el.decorexpro.com/cement/iz-chego-delayut/>
- 10) <https://www.lafarge.gr/tsimento>
- 11) https://www.lafarge.gr/istoria_tsimentou
- 12) <https://www.cement.org/cement-concrete-applications/how-cement-is-made>
- 13) https://www.lafarge.gr/sakeumeno_tsimento
- 14) <https://www.lafarge.gr/enisxumeno>
- 15) <https://www.lafarge.gr/basis-enishymeno>
- 16) <https://www.lafarge.gr/heracles-leyko-tsimento>
- 17) https://www.lafarge.gr/xydin_tsimento
- 18) *Τεχνολογία του σκυροδέματος, ΧΡΙΣΤΟΥ Μ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, ΤΡΙΤΗ ΕΚΔΟΣΗ «Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα» Στέφανος*
- 19) *Η. Δρίτσος, Αναπλ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2005, γ' Έκδοση*
- 20) [HE_00016_Sika_Shotcrete_Systems_gr.pdf](#)
- 21) *T. A. Melbye, R.H. Dimmock, ΤΕΕ ΑΘΗΝΑ (2001) «Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα: Μια σύγχρονη, ολιστική προσέγγιση»*
- 22) *«ΕΚΤΟΞΕΥΟΝΤΑΣ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ», ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ, 9^ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών – 03», Μάρτιος 2003*
- 23) <http://www.gunite-magnisia.4ty.gr/more2.php?l=el&id=7368>
- 24) [Intro to Sprayed Concrete \(upatras.gr\)](#)
- 25) *ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ «ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ-ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ, ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ», ΣΙΑΧΟΥ ΤΖΕΝΣΙΛΑ, ΠΑΤΡΑ 2016*
- 26) *«ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ», ΚΟΥΤΡΟΥΒΕΛΗ ΘΕΟΦΑΝΩ, ΠΑΥΛΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ, «15^ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών» Πάτρα, Φεβρουάριος 2009*

- 27) «Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα», Μαυρίδης Κυριάκος, 10^ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών – 04», Μάρτιος 2004
- 28) «Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων», Ά μέρος, Άρθρο του Στέφανου Η. Δρίτσου, Καθηγητή Πανεπιστημίου Πατρών
- 29) Technical Committee Asquapro, Booklet “controls”– part A, «Quality of sprayed concrete», Version 2013
- 30) «ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ», ΧΑΤΖΗΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ – ΜΑΚΡΙΔΟΥ ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ, 9^ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών – 03», Μάρτιος 2003
- 31) «Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων», Β μέρος, Άρθρο του Στέφανου Η. Δρίτσου, Καθηγητή Πανεπιστημίου Πατρών
- 32) «Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων», Γ μέρος, Άρθρο του Στέφανου Η. Δρίτσου, Καθηγητή Πανεπιστημίου Πατρών
- 33) <http://civilengineerblog.com/shotcrete-component/>
- 34) [RP 4800 GUNITE | FINOMIX](#)
- 35) [Πρόσμικτα Εκτοξευόμενου \(για ξηρή ή υγρή μέθοδο εφαρμογής\) \(sintecno.gr\)](#)
- 36) <https://en.wikipedia.org/wiki/Epoxy#History>
- 37) [Εποξικές ρητίνες – ΑΛΦΑΚΕΜ \(alfakem.com\)](#)
- 38) <https://www.fastfix-it.com/post/history-of-epoxy-resin>
- 39) <https://magicresin.ca/blogs/magic-resin-blog/the-history-of-epoxy-resin>
- 40) <https://www.e-archimedes.gr/faq/item/30->
- 41) <http://diy-home.gr/epoxiki-ritini/>
- 42) <https://fluid-painting.com/en/epoxy-resin-guide/>
- 43) <https://www.concrete.org/portals/0/files/pdf/rap-1.pdf>
- 44) [Πολυεστερικές ρητίνες – Πολυεστέρας – ΑΛΦΑΚΕΜ \(alfakem.com\)](#)
- 45) <https://www.wisegeek.com/what-is-polyester-resin.htm>
- 46) https://en.wikipedia.org/wiki/Polyester_resin
- 47) <https://www.differencebetween.com/difference-between-polyester-resin-and-vs-epoxy-resin/>
- 48) «ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΡΩΓΜΩΝ ΣΤΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ» ΚΑΛΛΙΑΝΙΩΤΗΣ ΦΩΤΗΣ & ΣΤΑΘΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, “15ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών” Πάτρα, Φεβρουάριος 2009
- 49) «ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΡΩΓΜΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΡΗΤΙΝΕΝΕΣΕΩΝ» ΤΣΑΛΕΣΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ – ΧΟΝΔΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ,
- 50) [Ρητινενέσεις | Τσιμεντενέσεις \(epidomos.gr\)](#)
- 51) [ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΑΠΟΣΑΡΘΡΩΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΣΤΟ ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.pdf \(teimes.gr\)](#)
- 52) Μητρολιού, Σ. Α. (2015). *Αποτίμηση και ενίσχυση υφισταμένου κτιρίου βάσει ΚΑΝ. ΕΠΕ*. Aristotle University of Thessaloniki.

- 53) Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων, ΚΑΝ.ΕΠΕ 2^H Θεώρηση 2017
- 54) <https://sidenor.gr/proionta-kai-luseis/olokliromeno-systima-oplismenou-skyrodematos/enischytiko-plegma-sd/plegmata-ypostylomaton-sd/>
- 55) <http://www.georgantas.gr/proionta/plegmata/plegmata-ypostilomaton-mandies.html>
- 56) Διπλωματική Εργασία. *Αποτίμηση φέρουσας ικανότητας και προτάσεις ενίσχυσης σεισμόπληκτης κατοικίας*. Χατζηττοφής, Χ. Σ. ΑΘΗΝΑ 2014.
- 57) http://library.tee.gr/digital/m751_800/m781_2/m781_2_zavliaris.pdf
- 58) http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMAT_A/ko6.1.htm
- 59) <https://grc.sika.com/el/45787/46973/48330.html>
- 60) <https://jkconstruction.gr/inoplismena-polymeri/>
- 61) Δήμητρα ΚΡ.16-1 εφαρμογή επικολητών ελασμάτων (χάλυβας – ινοπλισμένα). 10^ο φοιτητικό συνέδριο «Επισκευές κατασκευων-04» Μάρτιος 2004
- 62) Παύλου Αθανάσιος , Παναγής Χρήστος-Παναγιώτης. *Χρήση προέντασης για την ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος*. 10^ο φοιτητικό συνέδριο «Επισκευές κατασκευων-04» Μάρτιος 2004
- 63) https://www.esofia.net/sites/default/files/indicative-capital/endeiktiko_kef_4.pdf
- 64) Λιοφάγος Ν. *Ενίσχυση και επισκευή παισιακού φορέα με χρήση εξωτερικών τενόντων*. 17^ο φοιτητικό συνέδριο: Επισκευές κατασκευών, Πάτρα 2011
- 65) Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου. *Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με σύνθετα υλικά (ινοπλισμένα πολυμερή)*. Πανεπιστήμιο Πατρών 2η έκδοση 2004
- 66) Σπυράκος, Κ. (2004). *Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία*. ΤΕΕ, Αθήνα.
- 67) http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Sintheta_ilika.pdf
- 68) Προκοπάκης, Γ. (2017). *Μελέτη αντοχής σε θλίψη σύνθετου πολυμερούς (επόξυ-ρητίνης ενισχυμένης με υαλοϋφασμα)*
- 69) <https://docplayer.gr/4776370-Syntheta-ylika-haraktirismos-kai-idiotites.html>
- 70) Διπλωματική εργασία. Ζουφιάκος, Κ. (2017). *Επίδραση γραφενικών νανοπροσθηκών σε σύνθετο μονοστρωματικό υλικό εποξικής ρητίνης/υαλοϋφάσματος*
- 71) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pc.22967>
- 72) Πτυχιακή εργασία. Κόλλια, Ε. (2013). *Περιβαλλοντική γήρανση σε ακραίες θερμοοξειδωτικές ή/και υγροθερμικές συνθήκες ινώδων σύνθετων υλικών κυανοεστερικής μήτρας. Θερμομηχανικός χαρακτηρισμός και αρχική μελέτη των μηχανισμών υποβάθμισης του υλικού*

- 73) Πτυχιακή εργασία. ΣΟΝΑΪΔΗΣ, Θ.-Ν., & ΜΠΕΛΔΕΚΑΣ, Β. ΠΑΤΡΑ 2018.
Χρήση και εφαρμογή σύνθετων υλικών σε δομικά στοιχεία
- 74) <https://grc.sika.com/el/home.html>
- 75) Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή, ΕΛΟΤ EN 1501-14-01-01-01
- 76) Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 1501-14-01-01-02
- 77) Χιώτης Δ. Δημήτριος. Μεταπτυχιακή εργασία/ «Ενίσχυση δομικών μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα και φέρουσα τοιχοποιία με ινοπλισμένα πολυμερή»

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
Εικόνα 1.1	https://www.thebalancesmb.com/types-of-concrete-joints-845022
Εικόνα 1.2	http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/regulations/
Εικόνα 1.3	https://www.cement.org/cement-concrete-applications/how-concrete-is-made
Εικόνα 1.4	https://el.decorexpro.com/cement/iz-chego-delayut/
Εικόνα 1.5	<i>Kosmatka, S., Kerkhoff, B., & Panarese, W. (2003). Design and Control of Concrete Mixtures. Skokie, Illinois, USA: Portland Cement Association</i>
Εικόνα 1.6	https://el.decorexpro.com/cement/iz-chego-delayut/
Εικόνα 1.7	https://www.lafarge.gr/enisxumeno
Εικόνα 1.8	https://www.lafarge.gr/enisxumeno
Εικόνα 1.9	https://www.lafarge.gr/basis-enishymeno
Εικόνα 1.10	https://www.lafarge.gr/heracles-leyko-tsimento
Εικόνα 1.11	https://gharpedia.com/blog/how-concrete-made/
Εικόνα 1.12	https://gharpedia.com/blog/how-concrete-made/
Εικόνα 2.1	https://dot.state.mn.us/materials/manuals/concrete/Chapter8.pdf
Εικόνα 2.2	Intro to Sprayed Concrete (upatras.gr)
Εικόνα 2.3	Intro to Sprayed Concrete (upatras.gr)
Εικόνα 2.4	«Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων», Ά μέρος, Άρθρο του Στέφανου Η. Δρίτσου, Καθηγητή Πανεπιστημίου Πατρών
Εικόνα 2.5	http://www.gunite-magnisia.4ty.gr/more2.php?l=el&id=7368
Εικόνα 2.6	HE_00016_Sika_Shotcrete_Systems_gr.pdf
Εικόνα 2.7	HE_00016_Sika_Shotcrete_Systems_gr.pdf
Εικόνα 2.8	«Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε έργα επεμβάσεων», Β μέρος, Άρθρο του Στέφανου Η. Δρίτσου, Καθηγητή Πανεπιστημίου Πατρών
Εικόνα 2.9	RP 4800 GUNITE FINOMIX
Εικόνα 2.10	Πρόσμικτα Εκτοξευόμενου (για ξηρή ή υγρή μέθοδο εφαρμογής) (sintecno.gr)
Εικόνα 2.11	Πρόσμικτα Εκτοξευόμενου (για ξηρή ή υγρή μέθοδο εφαρμογής) (sintecno.gr)
Εικόνα 2.12	HE_00016_Sika_Shotcrete_Systems_gr.pdf
Εικόνα 2.13	ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΕΚΤΟΞΕΥΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΡΜΑΤΟΣ NORMAT SPRAYMEC 7110 WPC - ΤΕΧΝΟΧΗΜΙΚΗ - Εξοπλισμός Τεχνικών Έργων & Πρώτες Ύλες (technochimiki.gr)

Εικόνα 3.1	«Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα » Στέφανος Η. Δρίτσος, Αναπλ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2005, γ' Έκδοση
Εικόνα 3.2	Εποξικές ρητίνες – ΑΛΦΑΚΕΜ (alfakem.com)
Εικόνα 3.3	http://liftrightconcrete.com/are-concrete-cracks-caused-by-poor-construction-practices/
Εικόνα 3.4	https://www.giatecscientific.com/education/cracking-in-concrete-procedures/
Εικόνα 3.5	http://www.epidomos.gr/page.php?id=51&lang=&p_id=29
Εικόνα 3.6	https://www.concrete.org/portals/0/files/pdf/rap-1.pdf
Εικόνα 3.7	https://www.concrete.org/portals/0/files/pdf/rap-1.pdf
Εικόνα 3.8	https://www.wiwa.de/index.php?id=3583&L
Εικόνα 4.1	http://www.georgantas.gr/proionta/plegmata/plegmata-ypostilomaton-mandies.html
Εικόνα 4.2	Microsoft Word - 20 ΜΠΑΣΑΓΙΑΝΝΗΣ.doc (upatras.gr)
Εικόνα 4.3	Πτυχιακή εργασία, ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, Ελένη Καλαμά, ΠΑΤΡΑ 2017
Εικόνα 4.4	http://www.georgantas.gr/proionta/plegmata/plegmata-ypostilomaton-mandies.html
Εικόνα 4.5	http://www.bcs.net.gr/index.php?id=38,54,0,0,1,0
Εικόνα 4.6	http://sideris-konstantinos.blogspot.com/p/blog-page_8741.html
Εικόνα 4.7	https://monosimacn.blogspot.com/2018/12/ximika-agkiria-ximikes-agkiroseis-lokfix-e75-fosroc-efarmogi-2.html
Εικόνα 4.8	https://monotikirafinas.gr/products/steganotika-ilika/episkevastika-koniamata/
Εικόνα 4.9	http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=1043
Εικόνα 4.10	http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=1043
Εικόνα 4.11	10 ^ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ «ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ-04» ΜΑΡΤΙΟΣ 2004, ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
Εικόνα 4.12	http://compressedfilter.gr.bossgoo.com/pc-steel-strand/7wires-low-relaxation-prestressed-concrete-strand-55093332.html
Εικόνα 4.13	http://compressedfilter.gr.bossgoo.com/pc-steel-strand/7wires-low-relaxation-prestressed-concrete-strand-55093332.html
Εικόνα 5.1	https://chemical.kalochem.shop/index.php?route=product/category&pa

	th=376
Εικόνα 5.2	https://chemical.kalochem.shop/index.php?route=product/category&path=376
Εικόνα 5.3	https://www.andreoy.gr/domika-ylika/prosmikta-sfragistika/veltiotika-ines/sikawrap-300-c-30cmx1m-yfasma-enischysis-me-ines
Εικόνα 5.4	https://www.gazzetta.gr/in-motion/article/693107/ines-anthraka-neo-megalo-stoihima
Εικόνα 5.5	https://www.alibaba.com/showroom/kevlar-29-fabric.html
Εικόνα 5.6	https://www.researchgate.net/figure/Plain-weave-fabric-made-of-Kevlar-49R-yarns-by-DuPont-source-authors-own-photo_fig5_319939173
Εικόνα 5.7	https://monosimacn.blogspot.com/2017/05/metallikes-xalivdines-ines-gia-mpeton-eidi-times-dosologia-2.html
Εικόνα 5.8	http://gr.techoseal.com/gland-packing/ceramic-fiber-packing/ceramic-fiber-packing-with-wire.html
Εικόνα 5.9	http://oryktos.blogspot.com/2014/12/y-ii.html
Εικόνα 5.10	http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Sintheta_ilika.pdf
Εικόνα 5.11	http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Sintheta_ilika.pdf
Εικόνα 5.12	https://grc.sika.com/el/home.html
Εικόνα 5.13	https://grc.sika.com/el/home.html
Εικόνα 5.14	https://grc.sika.com/el/home.html
Εικόνα 5.15	https://grc.sika.com/el/home.html
Εικόνα 5.16	https://grc.sika.com/el/home.html
Εικόνα 5.17	https://grc.sika.com/el/home.html
Εικόνα 5.18	https://grc.sika.com/el/home.html
Εικόνα 5.19	https://grc.sika.com/el/home.html
Εικόνα 5.20	https://grc.sika.com/el/home.html
Εικόνα 5.21	Σύνθετα για επισκευή αγωγών (oedigital.com)
Εικόνα 5.22	Σύνθετα για επισκευή αγωγών (oedigital.com)
Εικόνα 6.1	DGH 130 - Τροχοί σκυροδέματος - Hilti Greece
Εικόνα 6.2	Μέθοδοι Μορφοποίησης Υφασμάτων Ενίσχυσης Βασισμένων σε Τεχκές Νηματουργίας (emmanouela.yolasite.com)

Εικόνα 6.3	https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1167&context=ectfs
Εικόνα 6.4	https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1167&context=ectfs
Εικόνα 6.5	<i>Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου. Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με σύνθετα υλικά (ινοπλισμένα πολυμερή). Πανεπιστήμιο Πατρών 2η έκδοση 2004</i>
Εικόνα 6.6	<i>Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου. Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος με σύνθετα υλικά (ινοπλισμένα πολυμερή). Πανεπιστήμιο Πατρών 2η έκδοση 2004</i>
Εικόνα 6.7	file:///C:/Users/user1/Downloads/%CE%A3.%20CE%94%20CE%A1%20CE%99%20CE%A4%20CE%A3%20CE%9F%20CE%A3%20CE%A3.%20CE%94%20CE%A1%20CE%99%20CE%A4%20CE%A3%20CE%9F%20CE%A3%20(1).pdf
Εικόνα 6.8	http://www.gunite.eu/index.php/2-others/33-e-beton-plaque
Εικόνα 6.9	https://roumpa.com/enisxisi-frp/
Εικόνα 6.10	Pavleas Κατασκευαστική Ανακαίνιση διαμερισματος επισκευη δοκου
Εικόνα 6.11	ΑΝΘΡΑΚΟΕΛΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΔΟΜΗ ΛΤΔ (anadomi.com)
Εικόνα 6.12	https://pithos.okeanos.grnet.gr/public/h3iXTRDlmrLuVrEVWlpfD4
Εικόνα 6.13	<i>«ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ ΔΟΚΟΥ-ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΙΟΠ» ΜΑΝΤΖΟΥΚΑ ΛΟΥΚΙΑ & ΧΑΡΑΤΣΑΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, “16ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών” Πάτρα, Φεβρουάριος 2010</i>
Εικόνα 6.14	http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/wp-content/uploads/2018/01/13t.-%CE%9C%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%99%CE%91%CE%A1%CE%97%CE%A3.pdf
Εικόνα 6.15	«Ενίσχυση δομικών μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα και φέρουσα τοιχοποιία με ινοπλισμένα πολυμερή» - PDF ΔΩΡΕΑΝ Λήψη (docplayer.gr)
Εικόνα 6.16	https://docplayer.gr/52802906-Spyridona-polydoropoyloy-politikoy-mihanikoy.html
Εικόνα 6.17	https://docplayer.gr/52802906-Spyridona-polydoropoyloy-politikoy-mihanikoy.html