

**ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ  
ΣΧΟΛΗ ΣΤΕ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ  
ΦΘΟΡΕΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΦΟΡΕΙΣ  
ΓΕΦΥΡΩΝ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΥΤΩΝ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΣΚΟΥΤΕΛΙΑ ΜΑΡΙΑΝΝΑ

ΤΣΙΡΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Γ. ΖΗΣΙΜΑΤΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2015

## Περιεχόμενα

<b>Περιεχόμενα</b>	<b>0</b>
<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>7</b>
<b>Κεφάλαιο 1ο – Ιστορική Αναδρομή της κατασκευής γεφυρών</b> .....	<b>10</b>
1.1 Οι γέφυρες στα βάθη της ιστορίας .....	10
1.2 Πέτρινα Γεφύρια στην Ελλάδα .....	13
1.3 Οι Γέφυρες απο τον 18 <sup>ο</sup> Αιώνα και μετά .....	14
1.4 Οι γέφυρες στην σημερινή εποχή.....	15
<b>Κεφάλαιο 2ο – Υλικά Κατασκευής Γεφυρών και μέρη γεφυρών</b> .....	<b>17</b>
2.1 Σχεδιασμός Ενιαίων Γεφυρών.....	18
2.1.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ενιαίων Γεφυρών.....	18
2.2 Υλικά κατασκευής Γεφυρών .....	20
2.3 Τα κύρια μέρη μιας γέφυρας .....	21
2.3.1 Η Κατασκευή των Φρεάτων θεμελίωσης .....	21
2.3.2 Τα ακρόβαθρα .....	22
2.3.3 Πτερυγότοιχοι .....	23
2.3.4 Τα μεσόβαθρα .....	24
2.3.5 Οι Αρμοί συστολοδιαστολής .....	24
2.3.6 Τα εφέδρανα.....	25
2.3.7 Οι σεισμικοί συνδέσμοι ( stoppers) .....	27
2.3.8 Το σύστημα αποχέτευσης και αποστράγγισης.....	28
2.3.9 Άλλα μέρη της γέφυρας .....	28
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> – Μεθόδοι Κατασκευής γεφυρών</b> .....	<b>29</b>
3.1 Μέθοδος Κατασκευής με Προεντεταμένους και Προκατασκευασμένους Δοκούς.....	29
3.1.1 Τρόποι κατασκευής.....	30
3.1.2 Κατασκευή Προεντεταμένων δοκών .....	31
3.1.3 Διαδοκίδες.....	33

3.1.4 Συστήματα Προκατασκευής .....	33
3.1.5 Σύνδεση μεταξύ βάθρων και καταστρώματος.....	34
3.1.6 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου κατασκευής των Προεντεταμένων δοκών.....	35
3.1.7 Χρήση της Προέντασης για επισκευή γεφυρών .....	36
<b>3.2 Μέθοδος Κατασκευής με Προβολοδόμηση .....</b>	<b>36</b>
3.2.1 Ιστορικό εφαρμογής.....	38
3.2.2 Τρόπος Κατασκευής .....	39
3.2.3 Κατηγορίες Τενόντων .....	40
3.2.4 Κατασκευή Σπονδύλων.....	41
<b>3.3 Συμπεριφορά και αστοχίες των γεφυρών .....</b>	<b>42</b>
3.3.1 Αστοχίες των Γεφυρών .....	42
3.3.2 Βλάβες απο σεισμούς.....	44
3.3.3 Αποτίμηση του σεισμικού κινδύνου .....	45
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> - .....</b>	<b>47</b>
<b>Επισκευή, Συντήρηση και Διαχείριση Γεφυρών .....</b>	<b>47</b>
4.1 Διαχείριση Γεφυρών.....	47
4.2 Φθορές Γεφυρών .....	49
4.3 Επιθεώρηση Γεφυρών .....	50
4.3.1 Επιθεώρηση Ανωδομής .....	51
4.3.2 Επιθεώρηση Αρμών .....	51
4.3.3 Επιθεώρηση Εφεδράνων.....	52
4.3.4 Επιθεώρηση Πτερυγότοιχων - Ακροβάθρων.....	53
4.3.5 Επιθεώρηση Μεσοβάθρων.....	54
4.4 Επισκευές που πραγματοποιούνται σε μια Γέφυρα .....	55
4.4.1 Επίσκευή και αντικατάσταση των αρμών.....	55
4.4.2 Αντικατάσταση Εφεδράνων.....	55
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> — Φθορές γεφυρών και σκυροδεμάτων γεφυρών.....</b>	<b>57</b>
5.1 Φθορές ακροβάθρων .....	57
5.1.2 Φθορές Ο.Σ στα ακρόβαθρα .....	59
5.1.3 Υποσκαφή .....	60

5.2 Φθορές μεσοβάθρων και πτερυγότοιχων .....	61
5.2.1 Πτερυγότοιχοι .....	61
5.2.2 Μεσόβαθρα .....	61
5.3 Φθορές Ο.Σ σε γέφυρες .....	62
5.3.1 Ερπυσμός .....	62
5.3.2 Διάβρωση .....	63
Μορφές διάβρωσης .....	64
5.3.3 Ενανθράκωση σκυροδέματος .....	65
5.3.4 Ρωγμές σκυροδέματος .....	66
5.3.5 Ρωγμές διάβρωσης .....	67
5.3.6 Ρωγμές οξείδωσης του χάλυβα .....	68
5.4 Κατηγορίες σύνθετων υλικών που χρησιμοποιούνται στην επισκευή Ο.Σ σε γέφυρες .....	68
5.3.1 Ιδιότητες σύνθετων υλικών απο ινοπλισμένα πολυμερή .....	70
5.3.2 Ίνες .....	71
5.3.3 Κόλλα .....	72
5.3.4 Μήτρα .....	73
5.3.5 Σύνθετα υλικά .....	73
5.3.6 Τσιμεντοκονιάματα απο πολυμερή .....	74
5.3.7 Σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται στην ενίσχυση του Ο.Σ .....	76
5.3.8 Τεχνικές εφαρμογής .....	77

## **Κεφάλαιο 6ο – Αποκατάσταση σαθρών σκυροδεμάτων σε γέφυρες .....**

6.1 Επισκευή υποστηλωμάτων σαθρών σκυροδεμάτων .....	80
6.1.1 Μεταλλικοί μανδύες .....	81
6.1.2 Μανδύες απο οπλισμένο σκυρόδεμα .....	83
6.1.3 Μανδύες απο Ε.Σ .....	85
6.1.4 Ρητινενέσεις .....	85
6.1.5 Αντικατάσταση διαβρωμένου οπλισμού .....	87
6.2 Στεγάνωση Ο.Σ έναντι διάβρωσης με τσιμεντοκονίαμα .....	87
6.2.1 Μέθοδος εφαρμογής των τσιμεντοκονιαμάτων .....	90

<b>Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> – Αποκατάσταση σαθρών σκυροδεμάτων γεφυρών απο σύνθετα υλικά και Ινοπλισμένα Πολυμερή (ΙΟΠ) .....</b>	<b>92</b>
7.1 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας στην χρήση μανδύων με σύνθετα υλικά	92
7.2 Εφαρμογή σύνθετων υλικών για την αποκατάσταση σαθρών σκυροδεμάτων .....	93
7.2.1 Προετοιμασία Επιφανειών.....	93
7.2.2 Βασική Τεχνική.....	94
7.2.3 Εφαρμογή Μανδύων Σύνθετων υλικών με Περισφιξη.....	95
7.2.4 Αγκύρια.....	96
7.3 Ενίσχυση Ο.Σ γεφυρών με ινοπλισμένα πολυμερή.....	97
7.3.1 Περιγραφή των ινοπλισμένων πολυμερών .....	98
7.3.2 Πλεονεκτήματα των ινοπλισμένων πολυμερών .....	98
7.3.3 Μειονεκτήματα των ινοπλισμένων πολυμερών.....	100
7.3.4 Ειδικές τεχνικές με προεντεταμένα ελάσματα.....	101
7.3.5 Συστήματα κυρτώμενων δοκών.....	102
7.3.6 Προένταση πάνω στην δοκό .....	103
7.4 Ενίσχυση βάρων γεφυρών έναντι διάβρωσης με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών (FPR).....	104
7.4.1 Τρόποι ενίσχυσης δοκών γεφυρών σε τέμνουσα και κάμψη.....	106
7.4.2 Ενίσχυση καταστρώματος .....	107
<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>111</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>113</b>

## Ευρετήριο Εικόνων

<b>Εικόνα 1: Η Γέφυρα της Καζάρμας</b> .....	12
<b>Εικόνα 2: Το γιοφύρι της Άρτας</b> .....	13
<b>Εικόνα 3: Η πρώτη γέφυρα απο χυτοσίδηρο στην Αγγλία</b> .....	14
<b>Εικόνα 4: Η πρώτη κρεμαστή γέφυρα στην Ουαλλία</b> .....	15
<b>Εικόνα 5: Η πρώτη καλωδιωτή γέφυρα απο σκυρόδεμα στην Βενεζουέλα</b> .....	16
Εικόνα 6: Ακρόβαθρο Γέφυρας .....	23
Εικόνα 7: Μεσόβαθρο.....	24
<b>Εικόνα 8: Ελαστομεταλλικός αρμός διαστολής</b> .....	25
Εικόνα 9: Ελαστομερές Εφέδρανο με πυρήνα μολύβδου.....	26
<b>Εικόνα 10: Η Πρώτη γέφυρα απο Προεντεταμένο Σκυρόδεμα στις ΗΠΑ</b> .....	29
Εικόνα 11: Τοποθέτηση προεντεταμένων δοκών πάνω στα μεσόβαθρα.....	31
Εικόνα 12: Προεντεταμένες δοκοί πάνω στα μεσόβαθρα .....	35
Εικόνα 13: Κατασκευή με την μέθοδο της προβολοδόμησης .....	37
<b>Εικόνα 14: Κατασκευή με την μέθοδο της προβολοδόμησης στην θάλασσα</b> .....	38
Εικόνα 15: Κατασκευή κοιλαδογέφυρας στην ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟ με προβολοδόμηση.....	41
Εικόνα 16: Η Κατάρρευση της Γέφυρας στην Ουάσιγκτον .....	43
<b>Εικόνα 17: Φθορά μεσόβαθρων γέφυρας λόγω σεισμού</b> .....	45
Εικόνα 18: Οπτικός έλεγχος με χρήση ανυψωτικού μηχανήματος .....	50
<b>Εικόνα 19: Διογκωμένο Εφέδρανο</b> .....	53
Εικόνα 20: Καθίζηση ακροβάθρου.....	57
Εικόνα 21: Διάνοιξη αρμού απο οριζόντια και κατακόρυφη μετακίνηση.....	58
Εικόνα 22: Ρωγμές ακροβάθρου.....	60
Εικόνα 23: Υποσκαφή ακροβάθρων.....	60
Εικόνα 24: Κατακόρυφη μετακίνηση του μεσόβαθρου.....	62
Εικόνα 26: Ομοιόμορφη διάβρωση .....	65
Εικόνα 27: Ενίσχυση Υποστυλωμάτων γέφυρας στον ΗΣΑΠ Αμαρουσίου απο σύνθετα υλικά .....	70
Εικόνα 28: Μεταλλικοί Μανδύες σε κυκλικά βάθρα .....	82
Εικόνα 29: Μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος α) σε κυκλικό βάθρο, β) σε ορθογωνικό βάθρο .....	84
<b>Εικόνα 30: Επανασκυροδέτηση Δοκού</b> .....	87
Εικόνα 31: Εφαρμογή Τσιμεντοκονιάματος σε βάθρο γέφυρας .....	91
<b>Εικόνα 32: Βασική Τεχνική Εφαρμογής Σύνθετων υλικών σε κυλινδρικό βάθρο γέφυρας</b> .....	95
Εικόνα 33: Αγκύρια απο Ινοπλισμένα Πολυμερή .....	97
<b>Εικόνα 34: Εφαρμογή Συστήματος Κυρτωμένων δοκών</b> .....	103
<b>Εικόνα 35: Εφαρμογή της μεθόδου με προένταση πάνω στην δοκό</b> .....	104
<b>Εικόνα 36: Σύστημα σκαλωσιάς</b> .....	105
<b>Εικόνα 37: Εφαρμογή και τοποθέτηση FRP κατά το σύστημα pre-preg</b> .....	106
Εικόνα 38: Εφαρμογή και τοποθέτηση FRP κατά το σύστημα wet lay-up.....	106

Εικόνα 39 : Καμπτική ενίσχυση δοκού γέφυρας διατομής T .....	107
Εικόνα 40: Ενίσχυση καταστρώματος της γέφυρας Country Hills Boulevard.....	108
Εικόνα 41: Διαμηκης ρωγή στην κάτω επιφάνεια του καταστρώματος της γέφυρας Martin Springs .....	109
Εικόνα 42: Διαδικασία ενίσχυσης του καταστρώματος της γεφύρας Martin Springs με ελάσματα FRP.....	110
Εικόνα 43: Διαδικασία ενίσχυσης του καταστρώματος της γεφύρας Martin Springs με ράβδους FRP .....	110

## Εισαγωγή

Η κατασκευή μιας γέφυρας είναι ένα μεγάλο τεχνικό έργο αρκετά δαπανηρό και συνήθως πολύπλοκο.

Η οικονομική σημασία της κατασκευής των γεφυρών είναι τεράστια καθώς ολόκληρες περιοχές βρίσκουν διέξοδο σε μεγάλα λιμάνια και περιοχές εμπορικού ενδιαφέροντος με αποτέλεσμα την οικονομική ανάπτυξη ολόκληρης της περιοχής. Επιπροσθέτως η κατασκευή μιας γέφυρας είναι ένα γεγονός απο μόνο του και προσφέρει εκατοντάδες θέσεις εργασίας στην περιοχή κατασκευής, καθώς και αρκετές μετά την αποπεράτωση του έργου καθώς η συντήρηση και η λειτουργία της γέφυρας αποτελεί εξίσου σημαντικό παράγοντα της διάρκειας ζωής της κατασκευής.

Στην σύγχρονη εποχή τα έργα υποδομής όπως αυτοκινητόδρομοι και γέφυρες είναι μοχλοί ανάπτυξης. Σε αυτές τις κατασκευές συνδυάζονται οι πιο σύγχρονες κατασκευαστικές πρακτικές.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, είναι πολύ σημαντική και η αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων των γεφυρών είτε πρόκειται για τα βάθρα και τα θεμέλια μιας γέφυρας είτε πρόκειται για το κατάστρωμα . Κατα κύριο λόγο τα βάθρα είτε είναι τα ακρόβαθρα είτε είναι τα μεσόβαθρα είναι τα πιο σημαντικά όσο αφορά την αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων μιας γέφυρας.

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους φθείρεται το σκυρόδεμα και μετατρέπεται σε σαθρό. Ο κυριότερος λόγος είναι ο σεισμός. Κατα την διάρκεια ενός σεισμού το σκυρόδεμα υπόκεινται σε κίνδυνο αστοχίας που αφορά είτε σε βλάβη,ελαφρά ή σοβαρή, συγκεκριμένων δομικών στοιχείων της κατασκευής είτε ακόμη και σε κατάρρευση του συνόλου ή μέρους του φορέα. Άρα, επιτακτική ανάγκη είναι η επισκευή τους, η επιτυχία της οποίας βασίζεται στην καλή γνώση της κατασκευής,στο χαρακτήρα της βλάβης ,στην ποιότητα και κατάσταση των υλικών κατασκευής και στην εμπειρία των σχεδιαστών πάνω στις σύγχρονες μεθόδους κατασκευής και στα σύγχρονα υλικά.

Ο μηχανικός πλέον, δεν καλείται μόνον να σχεδιάσει νέες κατασκευές. Καλείται και να αποκαταστήσει τις βλαμμένες από σεισμό γέφυρες, όπως επίσης και να ενισχύσει, τόσο αυτές όσο και τις μη βλαμμένες, που κρίνονται ανεπαρκείς από θέμα ασφαλείας, ώστε να τι καταστήσει εξίσου ασφαλείς με εκείνες που σχεδιάζονται σύμφωνα με τους σύγχρονους κανονισμούς.



Αποτελεί σύνηθες πρόβλημα στις υπάρχουσες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος που έχουν διαστασιολογηθεί σύμφωνα με προγενέστερους κανονισμούς στον Ελλαδικό χώρο, η καμπτική κατά κύριο λόγο ανεπάρκεια των κατακόρυφων στοιχείων τους. Αυτό οφείλεται στο ότι αφενός οι παλαιότεροι κανονισμοί θεωρούσαν κατά πολύ μικρότερη σεισμική δράση (έως και μηδενική), σε σύγκριση με τους σύγχρονους κανονισμούς, με αποτέλεσμα τα κατακόρυφα μέλη να κρίνονται σήμερα ως ανεπαρκώς οπλισμένα.

Με τη πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα των δομικών υλικών πληθώρα νέων προϊόντων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις εφαρμογές της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού. Τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια έχει αναπτυχθεί μία νέα τεχνική ενίσχυσης των κατασκευών που βασίζεται στη χρήση προηγμένων υλικών που αποτελούνται από «υφάσματα» από τον συνδυασμό ινών (άνθρακα, γυαλιού, αραμιδίου) σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης. Τα υλικά αυτά είναι γνωστά ως ινοπλισμένα πολυμερή ή αλλιώς σύνθετα υλικά. Τα υλικά αυτά εφαρμόζονται στις εξωτερικές επιφάνειες των δομικών στοιχείων και αποτελούν εξωτερικό οπλισμό και μόνιμη ενίσχυση τους. Τα ινοπλισμένα πολυμερή τοποθετούνται με προσανατολισμό ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν εφελκυστικές τάσεις και να αποκαθιστούν τα σαθρά σκυροδέματα. Η ενίσχυση γεφυρών, κατασκευασμένων από οπλισμένο σκυρόδεμα, στην Αμερική αποτέλεσε μια από τις πρώτες εφαρμογές των ινοπλισμένων πολυμερών.

Η παρούσα εργασία έχει σαν στόχο την εξέταση των τρόπων αποκατάστασης των φθορών και των σαθρών σκυροδεμάτων της γέφυρας και χωρίζεται όσον αφορά τους τρόπους αποκατάστασης στους συμβατικούς τρόπους αποκατάστασης και στους τρόπους αποκατάστασης με σύνθετα υλικά. Πιο αναλυτικά η δομή της παρούσης εργασίας έχει ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην κατασκευή των γεφυρών απο την αρχαιότητα έως σήμερα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα υλικά κατασκευής των γεφυρών τα οποία είναι κατά κύριο λόγο το σκυρόδεμα και ο χάλυβας και παρουσιάζουμε όλα τα μέρη που απαρτίζουν μια γέφυρα απο τα ακρόβαθρα και τα μεσόβαθρα μέχρι και τα εφέδρανα και τους αρμούς διαστολής.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται όλοι οι σύγχρονοι τρόποι κατασκευής των γεφυρών με έμφαση στους τρόπους που χρησιμοποιούνται κατα κύριο λόγω στην Ελλάδα όπως είναι η κατασκευή με προβολοδόμηση και με προεντεταμένους δοκούς.

Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις αστοχίες των γεφυρών και στον σεισμικό κίνδυνο που διατρέχουν αυτές.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τρόποι επιθεώρησης, συντήρησης και διαχείρισης των γεφυρών. Αναλύονται οι τρόποι επιθεώρησης και ο εντοπισμός των βλαβών σε όλα τα μέρη που απαρτίζουν μια γέφυρα καθώς επίσης και οι εργασίες συντήρησης που γίνονται σε μια γέφυρα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται οι φθορές που παρουσιάζονται στο σκυρόδεμα των γεφυρών είτε αυτό αφορά τα μεσόβαθρα είτε αυτό αφορά τα ακρόβαθρα. Επίσης παρουσιάζονται οι αιτίες των βλαβών των σκυροδεμάτων των γεφυρών είτε αυτή είναι ο ερπυσμός του σκυροδέματος είτε είναι η ενθράκωση αυτού. Τέλος γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των σύνθετων υλικών που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες αποκατάστασης των σαθρών σκυροδεμάτων.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι «συμβατικοί» τρόποι αποκατάστασης των σαθρών σκυροδεμάτων των γεφυρών όπως είναι η περίσφιξη με μεταλλικούς μανδύες ή με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος, η περίσφιξη με μανδύες εκτοξευμένου σκυροδέματος, η αντικατάσταση διαβρωμένου οπλισμού και η αποκατάσταση των σκυροδεμάτων με ρητινενέσεις ή τσιμεντοενέσεις. Τέλος παρουσιάζεται η μέθοδος προστασίας του σκυροδέματος από την διάβρωση με τσιμεντοκονιάματα τα οποία αποτελούνται από σύνθετα υλικά επιχειρώντας να κάνουμε στην σύνδεση με τα σύνθετα υλικά.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σύνθετα υλικά και οι τρόποι που αυτά χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων των γεφυρών. Οι τρόποι αυτοί μπορεί να είναι η περίσφιξη με χρήση μανδύων από σύνθετα υλικά, η χρήση αγκυριών από σύνθετα υλικά και η αποκατάσταση με την χρήση των ινοπλισμένων πολυμερών υλικών. Παρουσιάζεται η βασική τεχνική εφαρμογής των σύνθετων υλικών στην αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων και αναλύονται οι τρόποι με τα οποία τα σύνθετα υλικά ενισχύουν τα σκυροδέματα των γεφυρών.

Τέλος στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα μας από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας πάνω στους τρόπους αποκατάστασης των σαθρών σκυροδεμάτων των γεφυρών.

## Κεφάλαιο 1ο – Ιστορική Αναδρομή της κατασκευής γεφυρών

### 1.1 Οι γέφυρες στα βάθη της ιστορίας

Ιστορικά η πρώτη γέφυρα που κατασκευάστηκε ποτέ στην ιστορία της ανθρωπότητας δημιουργήθηκε από την φύση καθώς ένας άνεμος ξερίζωσε τον κορμό ενός πολύ υψηλού δέντρου ο οποίος κάλυψε το χάσμα που υπήρχε μεταξύ 2 πλευρών ενός ποταμού. Η πρώτη γέφυρα ήταν γεγονός!

Απο τότε οι άνθρωποι έκοβαν κορμούς δένδρων και τους χρησιμοποιούσαν προκειμένου να γεφυρώσουν ένα ποτάμι ή μια χαράδρα. Απο τα πρώτα βήματα λοιπόν του πολιτισμού, η συγκοινωνία, η επικοινωνία και η διακίνηση αγαθών ήταν μια απο τις σημαντικότερες ανάγκες του ανθρώπου.

Οι πρώτες γέφυρες κατασκευάστηκαν πριν από χιλιάδες χρόνια και ως κύριο υλικό κατασκευής τους είχαν το ξύλο ή την πέτρα. Αξίζει να σημειώσουμε ότι παρά τα ατελή τεχνικά μέσα που διέθεταν οι γεφυροποιοί εκείνης της εποχής, κατάφεραν να κατασκευάσουν γέφυρες που ακόμη και σήμερα η κατασκευή τους θεωρείται δύσκολη και εντάσσεται στην ξυλουργική τέχνη, που είχε ήδη αναπτυχθεί από τη ρωμαϊκή εποχή.

Απομεινάρια αυτών των πρώτων απόπειρων κατασκευής γεφυριών αποτελεί η «λεσιά» η οποία συναντάται ακόμα και σήμερα σε μικρά ποταμάκια της ελληνικής υπαίθρου. Η λεσιά είναι μια χαρακτηριστική περίπτωση ξύλινης γέφυρας η οποία κατασκευάζεται απο σπασμένα κλαδιά απελέκητα και δεν στηρίζεται σε βάθρα αλλά σε ογκώδη βράχια ή σε δέντρα στις όχθες.

Σε ιστορικές αναφορές του Ηρόδοτου αναφέρεται οτι για την γέφυρα του Ευφράτη στην Βαβυλώνα χτίστηκαν λίθινα μεσόβαθρα πάχους 9 μέτρων και πάνω σε αυτά τα βάθρα στηρίχτηκαν τα ξύλινα δοκάρια της γέφυρας.

Παραδείγματα γεφυρών που χρησιμοποιήθηκαν ξύλινα δοκάρια όχι μόνο στους φορείς αλλά και σαν μεσόβαθρα υπάρχουν στον Αωο ποταμό μεταξύ Βρυσσοχωρίου και Παλιοσελίου - Πάδων

Απο τις πρώτες γέφυρες μέχρι τις σημερινές υπερσύγχρονες κατασκευές η γεφυροποιία έπαιξε σημαντικό ρόλο στην προαγωγή του πολιτισμού.

Η γνωστότερη φυσική γέφυρα του κόσμου βρίσκεται στην Δυτική Βιρτζίνια των ΗΠΑ και είναι η natural bridge που έχει ύψος 66 μέτρα και άνοιγμα 30 μέτρα και είναι κατασκευασμένη από ασβεστολιθικό πέτρωμα.

Οι πρώτες τεχνητές γέφυρες που κατασκευάστηκαν από τον άνθρωπο έγιναν κυρίως με 2 τρόπους:

- Με την τοποθέτηση μεγάλων και επίπεδων πελεκημένων λιθών πάνω από φυσικές ροές.
- Με την τοποθέτηση μεγάλων κορμών δέντρων που γεφύρωναν μικρά ρέματα και ποτάμια. Σύντομα έγινε αντιληπτό ότι όσο περισσότεροι κορμοί τοποθετούνταν και δένονταν μεταξύ τους, τόσο πιο γερή ήταν η κατασκευή.

Ο προπομπός των κρεμαστών γεφυρών θα μπορούσαμε να πούμε ότι ήταν οι γέφυρες που κατασκευάζονταν από φυσικά σχοινιά που βρίσκονταν σε λιμναίους οικισμούς. Η πλέξη αυτών των σχοινιών τα οποία συγκρατούσαν επίπεδους κορμούς δένδρων οδήγησε στην κατασκευή των πρώτων κρεμαστών γεφυρών.

Το 4.000 π.χ ο άνθρωπος της νεολιθικής εποχής μπορούσε να μιμηθεί τα φυσικά τόξα. Έτσι λοιπόν επεξεργάζεται τις μεγάλες πέτρες και τις τοποθετεί σε μορφές τόξων. Όπως προαναφεράμε οι πρώτες γέφυρες ήταν από πέτρα ή ξύλο. Κάποιες πέτρινες γέφυρες έχουν σωθεί μέχρι σήμερα ενώ οι ξύλινες, λόγω και του υλικού τους δεν έχουν διασωθεί μέχρι τις ημέρες μας. Οι Ρωμαίοι ήταν από τους πρώτους που κατασκεύαζαν γέφυρες με ανοικτά τόξα από πέτρα και στην Γαλλία η γέφυρα Πόντ ντε Γκάρντ σώζεται μέχρι σήμερα. ([www.scienceillustrated.gr](http://www.scienceillustrated.gr))

Στις Μυκήνες το 1500 π.Χ κατασκευάστηκαν γέφυρες με λίθους και με οριζόντιες λίθινες δοκούς καλυπτόταν το κενό μεταξύ των απέναντι τοίχων. Σταδιακά οι γεφυροποιοί των Μυκηνών εξέλιξαν το σύστημα κατασκευής χτίζοντας συγκλίνοντα ακρόβαθρα και δημιουργούσαν λίθινους προβόλους

Στην επαρχία Γιουνάν της Κίνας γύρω στο 13ο αιώνα είναι καταγεγραμμένη η πρώτη μαρτυρία για κρεμαστή γεφύρα από τον Μάρκο Πόλο. Το ξύλινο δάπεδο της γέφυρας στην πόλη Κινγκ-Τούνγκ-Φού κρέμοταν από αλυσίδες με κρίκους από σίδηρο. Στην Νότια Αμερική οι Ινδιάνοι Ίνκας είχαν πολλές κρεμαστές γέφυρες πάνω

στις Άνδεις αλλά και κατα μήκος των δρόμων προς τον Ειρηνικό Ωκεανό.(Πετρίδης,2008)

Γέφυρες οι οποίες ποτέ πριν δεν είχαν ανακαλυφθεί στην Ευρώπη ή οπουδήποτε αλλού. Ήταν κρεμαστές γέφυρες οι οποίες γεφύρωναν βαθιές χαράδρες στις Άνδεις. Η ευημερία της αυτοκρατορίας των Ινκας, εν πολλοίς βασιζόταν σε αυτές τις γέφυρες. Οι γέφυρες αυτές ήταν φτιαχμένες απο συνθετικά σχοινιά τα οποία περιπλεκόντουσαν μεταξύ τους και έφτιαχναν ένα χοντρό σχοινί και στην συνέχεια τα τρία αυτά χοντρά σχοινιά ξαναπεριπλεκόντουσαν μεταξύ τους και έφταναν σε πάχος όσο ο κορμός ενός δένδρου. Τα τρία μεγαλύτερα σχοινιά αποτελούσαν το πάτωμα της γέφυρας πλάτους 1,5 μέτρου σε συνδυασμό με κομμάτια απο ξύλο ενώ κομμάτια απο κλαδιά χρησίμευαν προκειμένου να υπάρξει η σύσφιξη του πατώματος. Τέλος, δυο άλλα σχοινιά χρησίμευαν για κιγκλιδώματα τα οποία σε συνδυασμό με κομμάτια ξύλου ήταν τόσο γερά συγκρατημένα τα οποία μπορούσαν να συγκρατήσουν ακόμα και ένα άλογο εάν έχανε την ισορροπία του πάνω στην γέφυρα. Οι κρεμαστές γέφυρες των Ίνκας έφταναν σε μήκος τα 50 μέτρα που για την εποχή ήταν το μεγαλύτερο άνοιγμα τόξου. (Πετρίδης,2008)

Στην Ευρώπη η αρχαιότερη γέφυρα θεωρείται η μυκηναϊκή γέφυρα της Καζάρμας στον δρόμο που οδηγεί απο το Ναύπλιο στην Επίδαυρο. Επίσης διατηρούνται άλλες δυο γέφυρες στο Αρκαδικό και στο Γαλούση στον δρόμο που συνέδεε την δυτική με την ανατολική Αργολίδα. Απο τον δρόμο αυτό περνούσαν Μυκηναίοι πολεμιστές αλλά και πομπές με βασιλικά άρματα.



**Εικόνα 1: Η Γέφυρα της Καζάρμας**

## 1.2 Πέτρινα Γεφύρια στην Ελλάδα

Τα πέτρινα γεφύρια , κυρίως τοξοτά, ανήκουν στην πολιτιστική κληρονομιά της Ελλάδος και δεν θα μπορούσε να λείπει η αναφορά σε αυτά σε μια ιστορική αναδρομή. Συνήθως είναι χτισμένα σε δυσπρόσιτες θέσεις. Πολλά απο αυτά είναι μονότοξα ή πολύτοξα και είναι πέτρινα και εξυπηρετούν πολύπλευρες συγκοινωνιακές ανάγκες. Τα πέτρινα τοξοτά γεφύρια βρίσκονται σε όλη την Ελλάδα και τοποθετούνται κυρίως στις ηπειρωτικές περιοχές εξαιτίας του έντονου ανάγλυφου, ενώ ιδιαίτερα για την χώρα μας έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην τοπική και εθνική ιστορία, πολλές φορές έγιναν μάχες για την κατάληψη τους ενώ το γιοφύρι της Άρτας, εκτός απο πολυτραγουδισμένο ήταν και η επίσημη συνοριακή διάβαση μεταξύ Ελλάδος και Τουρκίας απο το 1881 έως το 1913.

Σήμερα πάρα πολλά έχουν καταρρεύσει εξαιτίας της φθοράς απο τον χρόνο.(Συλλογικό,Τα πέτρινα τοξοτά γεφύρια της Ελλάδος,2009)



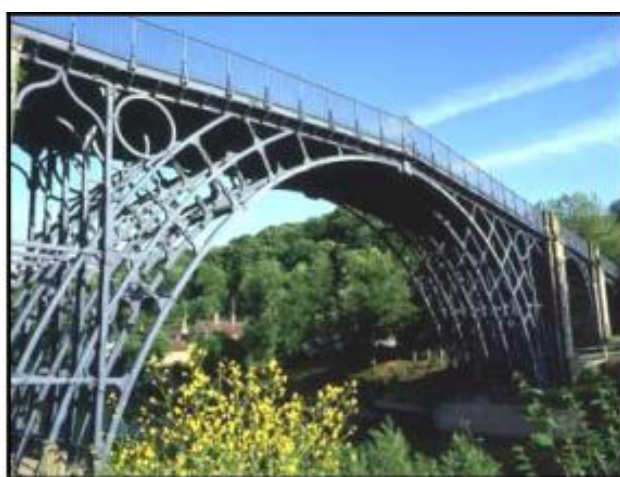
**Εικόνα 2: Το γιοφύρι της Άρτας**

Οι Ρωμαίοι μηχανικοί ήταν οι πρώτοι που ανέπτυξαν τις δυνατότητες του γνήσιου ημικυκλικού τόξου και της θολοδομίας γύρω στον 2<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. Τα τόξα είναι λεπτά και τα βάθρα έχουν μεγάλο πάχος. Επι Ιουστινιανού κατασκευάστηκε για την

ύδρευση της Κωνσταντινούπολης μια υδατογέφυρα μήκους 240 μέτρων και ύψους 33 μέτρων

### 1.3 Οι Γέφυρες απο τον 18<sup>ο</sup> Αιώνα και μετά

Η βελτίωση στην επεξεργασία του χάλυβα έδωσε την δυνατότητα της αύξησης της αντοχής σε εφελκυσμό και να κατασκευαστούν οι πρώτες μεγάλες γέφυρες απο χυτοσίδηρο. Η Ironbridge με άνοιγμα 30 μέτρων κατασκευασμένη απο τον μηχανικό Abraham Darby είναι η πρώτη γέφυρα αυτού του είδους και κατασκευάστηκε το 1779, ενώ το 1818 κατασκευάστηκε στην Ουαλλία η γέφυρα Menai με κεντρικό άνοιγμα 177 μέτρα. Οι μεταλλικές γέφυρες από σίδηρο χρονολογούνται από το τέλος του 18<sup>ου</sup> αιώνα. Από τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, κατασκευάζονταν γέφυρες αρχικά με οριζόντιες ολόσωμες δοκούς και έπειτα με ένα δικτυωτό πλέγμα τριγωνικών ράβδων, που είχε το πλεονέκτημα ότι άφηνε μικρότερη επιφάνεια εκτεθειμένη στον άνεμο. Σύντομα κατασκευάστηκαν και τοξωτές μεταλλικές γέφυρες από ατσάλι (1874). Ο τρόπος κατασκευής αυτών των γεφυρών ακολουθούσε μια διαδικασία σύμφωνα με την οποία κατασκευάζονταν πρώτα οι ολόσωμοι οριζόντιοι δοκοί και έπειτα ένα πλέγμα τριγωνικών ράβδων όπου είχε το πλεονέκτημα να αφήνει μικρότερη επιφάνεια εκτεθειμένη στον άνεμο.



Εικόνα 3: Η πρώτη γέφυρα απο χυτοσίδηρο στην Αγγλία

Η ανάγκη για γεφύρωση μεγαλύτερων ανοιγμάτων έδωσε το έναυσμα για την επινόηση της ανάρτησης των γεφυρών απο καλώδια τα οποία εδράζονται στις κορυφές των πυλώνων της γέφυρας. Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκαν οι κρεμαστές γέφυρες με πρώτη αυτή της Conway Bridge στην Ουαλλία το 1826. (Κοκκίνου,2007).

Ταυτόχρονα σημειώθηκε μεγάλη εξέλιξη στην κατασκευή των σιδηρών γεφυρών για στρατιωτικούς κυρίους σκοπούς οι οποίες ήταν είτε κινητές είτε πλωτές.( Εφημερίδα το Βήμα,σελ 26,αρ.φύλλου 14781,2007)



**Εικόνα 4: Η πρώτη κρεμαστή γέφυρα στην Ουαλλία**

Η μεγαλύτερη κρεμαστή γέφυρα του κόσμου βρίσκεται στην Ιαπωνία με μήκος περίπου 2 km και είναι η Ακάσι Καύκιο.

#### **1.4 Οι γέφυρες στην σημερινή εποχή**

Στην σημερινή εποχή και με την τεχνολογία να έχει πραγματοποιήσει μεγάλη πρόοδο η κατασκευή των γεφυρών πραγματοποιείται απο οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα σε συνδυασμό με σίδηρο ή ακόμα και απο τον συνδυασμό όλων αυτών των υλικών, οπότε μιλάμε για σύμμικτες κατασκευές.

Στην επιλογή των υλικών παίζει ρόλο η ασφάλεια, η αισθητική της κατασκευής αλλά και το μήκος των ανοιγμάτων που πρέπει να καλυφτεί και τα οποία πλέον είναι αρκετά μεγάλα.

Όταν δεν γίνεται να κατασκευαστεί κρεμαστή γέφυρα είτε γιατί το άνοιγμα είναι πολύ μεγάλο είτε για οικονομικούς λόγους είτε για αισθητικούς λόγους, τότε επιλέγεται η λύση της καλωδιωτής γέφυρας. Η ανάρτηση γίνεται απο τους πυλώνες κατά τρόπο ισορροπημένο και αισθητικά άρτιο. Το 1955 κατασκευάστηκε η πρώτη



καλωδιωτή γέφυρα στην Νορβηγία ενώ το 1962 κατασκευάστηκε στην Βενεζουέλα η πρώτη καλωδιωτή γέφυρα απο σκυρόδεμα με συνολικό μήκος 8678 μέτρων.



**Εικόνα 5: Η πρώτη καλωδιωτή γέφυρα απο σκυρόδεμα στην Βενεζουέλα**

## Κεφάλαιο 2ο – Υλικά Κατασκευής Γεφυρών και μέρη γεφυρών

Ο σκοπός για τον οποίο κατασκευάζεται μια γέφυρα διαφέρει απο έργο σε έργο. Μπορεί να χρειαστεί κάποιες φορές να κατασκευαστεί μια γέφυρα για την ζεύξη 2 πλευρών πάνω απο ένα ποτάμι, η δημιουργία ενός συγκοινωνιακού κόμβου, ενώ πολλές φορές η γεφύρωση χαράδρων και η σταθερή ευθυγραμμία ενός αυτοκινητοδρόμου είναι λόγος για την κατασκευή μιας γέφυρας. Σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για κοιλαδογέφυρες και τέτοιες βρίσκονται αρκετές στην ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟ.

Ο τρόπος που σχεδιάζουμε και μελετάμε τις γέφυρες δείχνουν την φιλοσοφία σχεδιασμού με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των τεχνικών έργων σε συνάρτηση με την αισθητική και την στατικότητα. Στο αρχικό στάδιο του γενικού σχεδιασμού λαμβάνονται υπ' όψιν τις ακόλουθες θεωρήσεις:

- Λειτουργικότητα και αισθητική που προσαρμόζεται στο περιβάλλον και ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις σε αυτό.
- Ελαχιστοποίηση του κόστους έτσι ώστε να προκύπτει μια αποτελεσματική και οικονομική λύση
- Ασφάλεια της κατασκευής τόσο κατα την διάρκεια της κατασκευής όσο και κατά την χρήση της
- Συνεχείς φορείς και υπερστατικά συστήματα για την ελαχιστοποίηση της χρήσης των εφεδράνων και των αρμών.
- Προβλέψεις για την επισκεψιμότητα των δομικών στοιχείων για την διευκόλυνση της επιθεώρησης και της συντήρησης
- Προσεκτική επιλογή των δομικών υλικών για την συνεισφορά στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής της γέφυρας .(Τζαβέας κ.α,2009)

Κυρίαρχο κριτήριο είναι το πρώτο. Για να επιτευχθεί η ασφάλεια της κατασκευής εκτός απο την καλή γνώση των ιδιοτήτων των υλικών χρειάζεται και η πολύ καλή μελέτη έναντι στις φορτίσεις που θα δεχτεί η γέφυρα απο:

- Το ίδιο βάρος της κατασκευής
- Τα φορτία της κατασκευής
- Καιρικές συνθήκες
- Σεισμικά φορτία

## **2.1 Σχεδιασμός Ενιαίων Γεφυρών**

Στις πρώτες μελέτες κατασκευής γεφυρών απο σκυρόδεμα υπήρχε σαν κανόνας σχεδιασμού η σύσταση για αποφυγή των αρμών και των εφεδράνων ή ο περιορισμός αυτών. Βέβαια στην πορεία , θα δούμε οτι επικράτησε η τάση για τοποθέτηση αρμών και εφεδράνων στα ανοίγματα, πράγμα που οδήγησε σταδιακά στην κατασκευή μη μονολιθικών γεφυρών παρ'όλο που το σκυρόδεμα σαν υλικό είναι μονολιθικό. Ο χωρισμός της ανωδομής των γεφυρών με αρμούς οδηγεί σε αμφιέρεστα συστήματα τα οποία όμως παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα που θα τα αναλύσουμε παρακάτω.

Ένα πρώτο βήμα στον σχεδιασμό θα ήταν η τοποθέτηση αρμών και εφεδράνων μόνο στα ακρόβαθρα μιας γέφυρας και την κατασκευή μονολιθικών συνδέσεων στα μεσόβαθρα. Αυτός ο σχεδιασμός και τρόπος κατασκευής χαρακτηρίζει τις ενιαίες γέφυρες. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η σεισμική συμπεριφορά της γέφυρας σαν ενιαίος φορέας ενώ μηδενίζονται τα έξοδα επιθεώρησης και συντήρησης των αρμών και των εφεδράνων. Οι αρμοί συστολοδιαστολής μπορούν επίσης να αντικατασταθούν με πλάκες συνέχειας οι οποίες βελτιώνουν την σεισμική συμπεριφορά της γέφυρας.

### **2.1.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ενιαίων Γεφυρών**

Η διάταξη των αρμών και των εφεδράνων στις γέφυρες οφείλεται σε κατασκευαστικούς λόγους καθώς μέσω των αρμών επιτυγχάνεται η αντιμετώπιση των παραμορφώσεων του φορέα. Ένα άλλο μειονέκτημα της κατασκευής ενιαίων γεφυρών είναι η αδυναμία εφαρμογής ορισμένων μεθόδων κατασκευής όπως αυτός της προβολοδόμησης και γενικά της προέντασης. Το μόνο που μπορεί να γίνει είναι η

σύνδεση προκατασκευασμένων και προεντεταμένων στοιχείων σε μια ενιαία κατασκευή αν και σε αυτή την περίπτωση προκύπτουν κατασκευαστικά προβλήματα τα οποία δεν λύνονται εύκολα.

Επίσης η παρουσία τόσων πολλών αρμών στο κατάστρωμα δυνητικά δημιουργεί σημεία βλαβών στο κατάστρωμα το οποίο δεν είναι ένα αναλώσιμο στοιχείο της γέφυρας για να μπορεί να επισκευάζεται και να επιθεωρείται κατα το δοκούν ενώ οι αρμοί πολλές φορές μαζεύουν φερτά υλικά και έτσι εμποδίζουν τις κινήσεις της ανωδομής κάτι που δεν έχει προβλεπτεί στον αρχικό σχεδιασμό . Είναι προτιμότερο στον σχεδιασμό να προβλέπεται εξ' αρχής μια ανθεκτική κατασκευή παρά να προβλέπεται η ευχέρεια αντικατάστασης όλων των αρμών και των εφεδράνων καθώς αυτό εκτός απο δαπανηρό προκαλεί και πολλά προβλήματα στην συγκοινωνία με το κλείσιμο του δρόμου και της κυκλοφορίας.. Επιπλέον η παρουσία τόσων πολλών εφεδράνων και αρμών αυξάνουν το κόστος της κατασκευής και της συντήρησης για αυτό τον λόγο θα πρέπει να επιλέγονται μόνο όταν είναι απολύτως απαραίτητο.

Επιμένουμε στην συντήρηση των αρμών και των εφεδράνων καθώς η ανάγκη τοποθέτησης γρύλλων ανύψωσης για την συντήρηση εφεδράνων οδηγεί σε κατασκευή μεγαλύτερων δοκών και βάθρων και γενικότερα σε πιο πολύπλοκες κατασκευές.

Τα ενιαία συστήματα κατασκευής γεφυρών έχουν επίσης ευνοικότερη συμπερίφορα σε ταλαντώσεις πράγμα πολύ κρίσιμο σε περίπτωση σεισμικών δράσεων. Σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν μπορούν να λειτουργήσουν συστήματα διαχείρισης γεφυρών οι μονολιθικές κατασκευές είναι ανθεκτικές στον χρόνο και είναι εύκολες στην συντήρηση τους και αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Ενώ η μονολιθική σύνδεση φορέα και βάθρων οδηγεί σε μικρότερες διατομές και σε οικονομικότερες κατασκευές σε συνδυασμό με τον περιορισμό των χωματοουργικών εργασιών και τις επιπτώσεις που αυτές έχουν στο περιβάλλον.

Επίσης στην χώρα μας που είναι μια χώρα υψηλής σεισμικότητας η παρουσία των αρμών συνεπάγουν σοβαρούς κινδύνους για την κατασκευή αλλά και στην στατικότητα και στην ασφάλεια της κατασκευής. (Τέγος,2011)

## 2.2 Υλικά κατασκευής Γεφυρών

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα στην γεφυροποιία είναι κυρίως:

- Το σκυρόδεμα συνήθως οπλισμένο και προεντεταμένο

Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι από τα κύρια υλικά κατασκευής των γεφυρών και εξασφαλίζει μεγάλη αντοχή και υψηλή πλαστιμότητα που για την χώρα μας είναι πολύ σημαντικό λόγω της υψηλής σεισμικής δραστηριότητας. Επιπλέον το σκυρόδεμα προστατεύει και τον χάλυβα από διάβρωση.

- Ο χάλυβας

Ο χάλυβας με την μορφή καλωδίων βασικής προέντασης, καλωδίων ανάρτησης αλλά και κυρίως με την μορφή ράβδων οπλισμού του σκυροδέματος. Ο χάλυβας εκτός από την μεγάλη αντοχή που τον χαρακτηρίζει, είναι και από τα πλέον οικολογικά υλικά. Ακόμα και μετά την λήξη της διάρκειας ζωής του, το μεγαλύτερο μέρος του χάλυβα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί χωρίς να χάσει τις βασικές του ιδιότητες. Επίσης οι διορθωτικές επεμβάσεις στον χάλυβα γίνονται ευκολότερα με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου ζωής του. (Περιοδικό Μεταλλικές Κατασκευές, 3<sup>ο</sup> Τεύχος, 2009)

- Τέλος χρησιμοποιείται μια μεγάλη γκάμα βοηθητικών υλικών που χρησιμεύουν για την προστασία των παραπάνω υλικών από εξωγενείς παράγοντες αλλά και για την καλύτερη συντήρηση της γέφυρας.
- Το ξύλο, η πέτρα και οι φυτικές ίνες σπανιότερα τις σημερινές μέρες, χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή γεφυριών μέσα σε παραδοσιακούς οικισμούς και σε χωριά.

## 2.3 Τα κύρια μέρη μιας γέφυρας

Τα κύρια μέρη που αποτελούν μια γέφυρα είναι τα ακόλουθα:

### 1) Το σύστημα θεμελίωσης

Το σύστημα θεμελίωσης που κατασκευάζεται συνήθως είναι αυτό των πασσάλων με κεφαλοδεσμό. Όπου σε αυτό δημιουργούνται οπές στους πασσάλους και αυτές οι οπές γεμίζουν με σκυρόδεμα. Οι πάσσαλοι συνδέονται με κεφαλόδεσμο στον οποίο στηρίζεται ο κορμός των βάθρων. Ο συνήθης τρόπος θεμελίωσης είναι με φρέατα πάκτωσης. Η απόκριση των φρεατίων θεμελίωσης αποτελεί ένα αρκετά σύνθετο πρόβλημα αλληλεπίδρασης θεμελίου – εδάφους και ο σχεδιασμός τους ακολουθεί διεθνή κανονιστικά πρότυπα.

Ο τύπος θεμελίωσης με φρέατα πάκτωσης περιγράφονται ως τα εγκιβωτισμένα θεμέλια κυκλικού σχήματος με διάμετρο μεγαλύτερο των 5 μέτρων και θεμελίωση σε μεγάλο βάθος. Η πλήρωση τους γίνεται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η συγκεκριμένη μέθοδος θεμελίωσης έχει χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις θεμελίωσης σε βραχώδους σχηματισμούς και σε εδάφη χαμηλής αντοχής και σε περιοχές κατολισθήσεων.

Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζονται χαμηλές τιμές μετακινήσεων στην κεφαλή των θεμελίων εξαιτίας και των σημαντικών αξονικών και πλευρικών αντιστάσεων που αναπτύσσονται.

### 2.3.1 Η Κατασκευή των Φρεάτων θεμελίωσης

Η κατασκευή των φρεατίων θεμελίωσης περιλαμβάνει το στάδιο της διάνοιξης (εκσκαφή – αντίστηριξη) και την επακόλουθη σκυροδέτηση. Πριν από την έναρξη της εκσκαφής, κατασκευάζεται το χείλος του θεμελίου της περιμετρικής δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η μέθοδος της διάνοιξης εξαρτάται από την φύση της γεωλογίας στην περιοχή, τον διάθεσιμο μηχανολογικό εξοπλισμό σε συνδυασμό με το βάθος της εκσκαφής. Η εκσκαφή γίνεται με μηχανικά μέσα κυρίως.

Προηγείται βέβαια μια χαλάρωση της μάζας με ανατίναξη, εκτελούμενη σε βήματα των 5 μέτρων με διάταξη των διατηρημάτων ανάλογη με την φύση και την κατάσταση βραχώμαζας.

Βασικό μειονέκτημα των φρεατίων πάκτωσης είναι το υψηλό κόστος κατασκευής λόγω της ιδιαιρετότητας του εξοπλισμού, η δυσκολία κατασκευής σε εδάφη με φαινόμενα αρτεσιανισμού και γενικότερα με υψηλή στάθμη υπόγειων υδάτων, καθώς απαιτούν δαπανήρες εργασίες αποστράγγισης.

Ο οπλισμός των φρεάτων είναι περιμετρικός. Στις διεπιφάνειες μεταξύ των διαδοχικών σκυροδετήσεων τοποθετείται οπλισμός συρρίκνωσης αποτελούμενος από εσχάρες οπλισμού για την αντιμετώπιση δευτερογενών φαινομένων (συρρίκνωση). Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών εκσκαφής και τοποθέτησης των οπλισμών, ακολουθεί η κατασκευή του εγκιβωτισμένου θεμελίου, με τμηματικές, μαζικές σκυροδετήσεις. (Ρεντζεπέρης κ.α,2009)

1) Το σύστημα θεμελίωσης αποτελείται με την σειρά του απο:

- Τα ακρόβαθρα
- Τους Πτερυγότοιχους
- Τα μεσόβαθρα
- Το κατάστρωμα της ανωδομής

2) Υπόλοιπα εξαρτήματα που βοηθούν στην ομαλή λειτουργία της γέφυρας

- Οι αρμοί
- Τα εφέδρανα
- Συσκευές δυναμικής εμπλοκής
- Στηθαία ασφαλείας
- Σύστημα Αποχέτευσης και Αποστράγγισης
- Πυλώνες Ηλεκτροφωτισμού

### **2.3.2 Τα ακρόβαθρα**

Το ακρόβαθρο έχει διπλή σημασία στην θεμελίωση μιας γέφυρας. Αφ'ενός παραλαμβάνει τις οριζόντιες και κατακόρυθες ωθήσεις που προέρχονται απο την ανωδομή, αφ'ετέρου λειτουργεί και σαν πτερυγότοιχος καθώς παραλαμβάνει και τις ωθήσεις που προέρχονται απο το επίχωμα.

Η κατασκευή των ακροβάθρων και των μεσόβαθρων γίνεται με την μέθοδο του αναρριχόμενου ξυλότυπου. Κάθε επιμέρους τμήμα του βάθρου σκυροδετείται με την βοήθεια κατάλληλου ξυλότυπου ύψους 3.00-6.00 μέτρων. Αφού γίνει η σκυροδέτηση και η σκλήρυνση του σκυροδέματος, ο ξυλότυπος αποσυναρμολογείται και τοποθετείται στο επόμενο ύψος.



**Εικόνα 6: Ακρόβαθρο Γέφυρας**

Για αυτούς τους λόγους η ευστάθεια του ακροβάθρου είναι πολύ σημαντική καθώς πάνω στα ακρόβαθρα στηρίζονται οι πλάκες πρόσβασης, οι πτερυγότοιχοι και τα επιχώματα. Τα πιο συχνά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα ακρόβαθρα είναι η μετακίνηση που μπορεί να είναι οριζόντια, κατακόρυφη ή στροφική.(Ανέστης,2008)

Η θεμελίωση του ακρόβαθρου μπορεί να είναι επιφανειακή με πέδιλα στην περίπτωση που έχουμε σαν υπέδαφος τον βράχο, ενώ όταν έχουμε αργιλικά εδάφη ή αποσαθρωμένο βράχο χρησιμοποιούμε πασσάλους με κεφαλόδεσμο.

### **2.3.3 Πτερυγότοιχοι**

Οι πτερυγότοιχοι σε σχέση με τα ακρόβαθρα δεν καταλαμβάνουν κατακόρυφα φορτία και είναι επι της ουσίας τοίχοι αντίστηριξης. Η κατάταξη των πτερυγότοιχων γίνεται σύμφωνα με τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και διακρίνονται σε ευθείς, λοξούς και αντεπιστροφής.



### 2.3.4 Τα μεσόβαθρα

Τα μεσόβαθρα μεταφέρουν τις οριζόντιες και κατακόρυφες δυνάμεις στα θεμέλια της γέφυρας. Ανήκουν και αυτά στην υποδομή της γέφυρας όπως και τα ακρόβαθρα. Η μορφή των μεσόβαθρων μπορεί να είναι τετραγωνικής, ορθογωνικής διατομής ή οκταγωνικής διατομής. (Κωνσταντινίδης, 2008)



Εικόνα 7: Μεσόβαθρο

### 2.3.5 Οι Αρμοί συστολοδιαστολής

Η διαστολή και η συστολή είναι μια από τις βασικές ιδιότητες του οπλισμένου σκυρόδεματος στις θερμές και τις ψυχρές μέρες αντίστοιχα. Αυτή η ιδιότητα «επιτρέπει» στην ανωδομή και στο κατάστρωμα της γέφυρας να μετακινείται. Για αυτό πολλές φορές λέμε ότι η γέφυρα είναι ένας «ζωντανός οργανισμός».

Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου τοποθετούνται οι αρμοί συστολοδιαστολής πάνω στο κατάστρωμα της γέφυρας οι οποίοι επιτρέπουν τις μικρομετακινήσεις χωρίς την αλλοίωση του καταστρώματος. Ταυτόχρονα οι αρμοί παραλαμβάνουν περίπου το 40% των σεισμικών μετακινήσεων. Σύμφωνα με τις Πρόσωρινες Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ, 2001) που εκδόθηκαν από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ οι αρμοί διαστολής θα πρέπει να έχουν τις παρακάτω προδιαγραφές:

1. Οι αρμοί διαστολής καταστρώματος γεφυρών, και η σφράγιση των κενών (gaps) στις γέφυρες και στις κατασκευές θα είναι όπως δείχνεται στα σχέδια και θα είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις αυτών των προδιαγραφών.
2. Μόνο οι αρμοί διαστολής γεφυρών που έχουν λάβει έγκριση σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Βρετανικού Προτύπου BD 33/88, ή άλλου ισοδύναμου Ευρωπαϊκού, θα ενσωματωθούν στις εργασίες.
3. Η αποθήκευση και η εγκατάσταση των υλικών των αρμών διαστολής, όπως υλικά σύνδεσης (joining materials), υλικά πλήρωσης (sealants), και άλλων σχετικών υλικών θα είναι σύμφωνα με τις εισηγήσεις του κατασκευαστή
4. Ο ίδιος αρμός διαστολής, ή υλικό σύνδεσης ή υλικά πλήρωσης θα συνεχιστούν σε όλο το πλάτος της γέφυρας συμπεριλαμβανομένων πεζοδρομίων, των κρασπέδων, του ερείσματος και της κεντρικής νησίδας. Δεν θα επιτρέπεται η χρήση διαφορετικών ειδών αρμών διαστολής στα άκρα του καταστρώματος της γέφυρας, εκτός από την έγκριση του Μηχανικού.



**Εικόνα 8: Ελαστομεταλλικός αρμός διαστολής**

### **2.3.6 Τα εφάδρανα**

Τα εφάδρανα βρίσκονται μεταξύ της ανωδομής και της υποδομής και είναι ένα από τα κυριότερα μέρη μιας γεφύρας, ενώ αποτελούν ξεχωριστό σημείο ως προς

τον υπολογισμό και την επίλυση τους. Τα εφέδρανα μεταφέρουν τα φορτία της κυκλοφορίας, τα σεισμικά φορτία αλλά και το ίδιο βάρος της κατασκευής από την ανωδομή στην υποδομή και με την σειρά τους στα θεμέλια της κατασκευής.

Ο ρόλος των εφεδράνων είναι επίσης σχετικός με τις μετατοπίσεις καθώς αυτά επιτρέπουν τις σχετικές μετατοπίσεις μεταξύ της ανωδομής και της υποδομής.

Οι μετατοπίσεις μπορούν να έχουν εγκάρσια ή διαμήκη διεύθυνση και μπορούν να προέρχονται είτε από το φαινόμενο της συστολής και της διαστολής είτε από τον ερπυσμό του σκυρόδεματος. Τα εφέδρανα χωρίζονται σε 2 κατηγορίες:

- Τα σταθερά εφέδρανα
- Τα κινητά εφέδρανα

Τα σταθερά εφέδρανα είναι αυτά τα οποία δεν επιτρέπουν την εγκάρσια μετάκινηση της ανωδομής, ενώ ανάλογα τα εφέδρανα που επιτρέπουν τις συγκεκριμένες κινήσεις χαρακτηρίζονται ως κινητά. Τόσο τα σταθερά όσο και τα κινητά εφέδρανα επιτρέπουν την στρέψη.

Το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένα τα εφέδρανα είναι κυρίως ελαστομερή υλικά όπως πολυισοπρένιο, πολυχλωροπρένιο, φυσικό ελαστικό κ.α το οποίο είναι οπλισμένο με ελάσματα ισχυρά προσκολλημένο στο ελαστομερές υλικό με βουλκανισμό. Τα ελάσματα παίζουν και τον ρόλο της προστασίας από την διάβρωση και είναι πλήρως εγκιβωτισμένα στο σώμα. (Ανέστης, 2008)



**Εικόνα 9: Ελαστομερές Εφέδρανο με πυρήνα μολύβδου**

Υπάρχουν 2 τύποι εφεδράνων:

- Ελαστομερή Εφέδρανα Χαμηλής Απόσβεσης
- Ελαστομερή Εφέδρανα Υψηλής Απόσβεσης

Τα ελαστομερή εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης παραλαμβάνουν έως και το 100% των διατμητικών τάσεων της αντοχής των στοιχείων τους και ταυτόχρονα είναι απλά στην κατασκευή και επηρεάζονται πολύ λίγο από το φορτίο και την θερμοκρασία.

Τα ελαστομερή εφέδρανα υψηλής απόσβεσης παραλαμβάνουν έως και το 350% των διατμητικών τάσεων της αντοχής των στοιχείων τους. Η απόσβεστικές τους ιδιότητες μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη των στοιχείων πλήρωσης. Η απόσβεση και η δυσκαμψία εξαρτάται επίσης από την ταχύτητα εφαρμογής του φορτίου, τον χρόνο φόρτισης και την θερμοκρασία. (Γραμματικού και Χολέβας,2011)

Σύμφωνα με τις με τις Πρόσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ, 2001) που εκδόθηκαν από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ:

«Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαρακτηρίζονται από την φέρουσα ικανότητά τους, το εύρος των επιτρεπομένων παραμορφώσεων και το τρόπο σύνδεσής τους με την ανωδομή και υποδομή .

Ο συνδυασμός των εφεδράνων αυτών με διατάξεις ολίσθησης ή/και διατάξεις παγίωσης οδηγεί σε πληθώρα τύπων καλύπτουσα ευρύ φάσμα απαιτήσεων στατικής λειτουργίας λόγω των παρεχομένων δυνατοτήτων σχετικής μετακίνησης και στροφής της ανωδομής ως προς την υποδομή, τόσο σε στάδιο λειτουργίας όσο και κατά την φάση ή φάσεις της κατασκευής».

### **2.3.7 Οι σεισμικοί συνδέσμοι ( stoppers)**

Στο υψηλότερο σημείο των μεσόβαθρων τοποθετούνται οι σεισμικοί συνδέσμοι (stoppers) οι οποίοι είναι συνήθω τετραγωνικής διατομής και αποτελούνται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στόχος της τοποθέτησης τους είναι να παραλάβουν σεισμικά φορτία σε περίπτωση σεισμού έτσι ώστε η κατασκευή να μην καταστραφεί αλλά κυρίως να μην ξεκολλήσει η ανωδομή της γέφυρας στα σημεία στήριξης.(Πετρίδης,2008)

### **2.3.8 Το σύστημα αποχέτευσης και αποστράγγισης**

Το σύστημα αποχέτευσης και αποστράγγισης μιας γέφυρας αποτελείται από σωλήνες και φρεάτια τα οποία τοποθετούνται στα δομικά στοιχεία της γέφυρας και ο κύριος στόχος τους είναι η συλλογή και απομάκρυνση από το κατάστρωμα της γέφυρας των ομβρίων υδάτων. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει σύστημα ελέγχου ρύπανσης διότι τα όμβρια ύδατα καθώς ξεπλένουν το κατάστρωμα παρασέρνουν λάδια, χημικά και διάφορα σκουπίδια. Επιγραμματικά, οι κύριοι στόχοι του συστήματος αποστράγγισης είναι οι παρακάτω:

- Κατά την διάρκεια της βροχόπτωσης να διατηρηθεί η κυκλοφοριακή ικανότητα της γέφυρας.
- Η προστασία των ακρόβαθρων, των μεσόβαθρων και της θεμελίωσης από την διάβρωση και την υποσκαφή.
- Ευκολία στην συντήρηση της γέφυρας

### **2.3.9 Άλλα μέρη της γέφυρας**

Μια γέφυρα είναι ολοκληρωμένη όταν τοποθετούνται τα απαραίτητα στηθαία ασφαλείας, τα οποία συνήθως τοποθετούνται εκατέρωθεν του οδοστρώματος και έχουν σαν σκοπό την παροχή ασφάλειας στα αυτοκίνητα σε περίπτωση ατυχημάτων ενώ λειτουργούν και ψυχολογικά στην επισήμανση των ορίων της γέφυρας στους διερχόμενους οδηγούς. Συνήθως είναι μεταλλικά και τοποθετούνται πάνω στα πεζοδρόμια. Τα πεζοδρόμια που κατασκευάζονται στις γέφυρες, σπάνια προορίζονται για την κυκλοφορία των πεζών.

Τέλος οι πυλώνες ηλεκτροδότησης ολοκληρώνουν την κατασκευή και ο προφανής σκοπός τους είναι η παροχή ορατότητας κατά την διάρκεια της νύχτας.

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> – Μέθοδοι Κατασκευής γεφυρών

### 3.1 Μέθοδος Κατασκευής με Προεντεταμένους και Προκατασκευασμένους Δοκούς

Οι πρώτες γέφυρες που κατασκευάστηκαν με την μέθοδο των προεντεταμένων δοκών κατασκευάστηκαν κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου στην Γερμανία. Η μέθοδος αυτή περιγράφεται επίσης με τον όρο «μηχανοποιημένη μέθοδος κατασκευής γεφυρών» . Η πρώτη γέφυρα από προεντεταμένο σκυρόδεμα που κατασκευάστηκε στις ΗΠΑ δόθηκε σε κυκλοφορία το 1951. Έχει άνοιγμα 47m (Walnut Lane Memorial Bridge)



Εικόνα 10: Η Πρώτη γέφυρα από Προεντεταμένο Σκυρόδεμα στις ΗΠΑ

Στην Ελλάδα η κατασκευή γεφυρών με αυτό τον τρόπο ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 80' για τις ανάγκες του ΟΣΕ και για την ανάπτυξη του σιδηροδρομικού δικτύου. Πλέον στην Ελλάδα, οι περισσότερες γέφυρες είτε είναι οδικές, είτε είναι σιδηροδρομικές κατασκευάζονται με αυτή την μέθοδο. (Πετρίδης, 2008)

### 3.1.1 Τρόποι κατασκευής

Αυτός ο τρόπος κατασκευής είναι ο πιο οικονομικός και ο πιο γρήγορος. Η ανωδομή της γέφυρας αποτελείται από την πλάκα του καταστρώματος, τις πλακοδοκούς τις διαδοκίδες και τα λοιπά εξαρτήματα της γέφυρας που αναλύσαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Με την μέθοδο των προεντεταμένων δοκών μπορούμε να πετύχουμε επι μέρους ανοίγματα 25,0-45,0 μέτρων. Επίσης μπορούμε να πετύχουμε ευθύγραμμες χαράξεις γεφυρών ενώ μπορούμε να εφαρμόσουμε και χαράξεις με ήπιες καμπύλες (π.χ  $R > 500$  m) (Σιγάλας, 2010)

Με αυτό τον τρόπο κατασκευής μπορούμε να αυξήσουμε την φέρουσα ικανότητα της διατομής και να μειώσουμε τις παραμορφώσεις, ταυτόχρονα όμως μπορούμε να αποφύγουμε ή να περιορίσουμε την ρηγμάτωση. Η προένταση είναι μια μέθοδος με την οποία επιβάλλονται θλιπτικές δυνάμεις στις διατομές του οπλισμένου σκυροδέματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των εφελκυστικών τάσεων στην διατομή σε σημείο που δεν ξεπέρνουν την τάση ρηγματώσεως. Με αυτή την μέθοδο το σκυρόδεμα αντιμετωπίζεται σαν ελαστικό υλικό. (Παναγόπουλος, 2010)

Με την διαδικασία της προέντασης μπορούμε να κατασκευάσουμε γέφυρες με τα εξής πλεονεκτήματα:

- Επίτευξη μεγάλων ανοιγμάτων
- Μείωση του ίδιου βάρους
- Μείωση των διατομών
- Αποφυγή ρηγματώσεων σε κατάσταση λειτουργίας
- Μείωση των βέλων κάμψης

Όλοι οι δοκοί πρέπει να κατασκευάζονται με το ελάχιστο βάρος και να υπάρχει αρκετός χώρος για τους τένοντες. (Ανέστης, 2008)

Ο συνηθέστερος τρόπος κατασκευής είναι η μαζική κατασκευή προεντεταμένων δοκών στο εργοτάξιο και μετά ακολουθεί η μεταφορά με γερανοφόρα οχήματα στον τόπο κατασκευής της γέφυρας, στην συνέχεια ακολουθεί η τοποθέτηση των δοκών πάνω στα ακρόβαθρα και στα μεσόβαθρα, η κατασκευή του καταστρώματος και η σκυροδέτηση του με οπλισμένο σκυρόδεμα.



**Εικόνα 11: Τοποθέτηση προεντεταμένων δοκών πάνω στα μεσόβαθρα**

Για να επιτευχθεί η καλύτερη έδραση της προεντεταμένης δοκού πάνω στο μεσόβαθρο κατασκευάζεται και η κεφαλοδοκός και μέσω των εφεδράνων πακτώνεται η προεντεταμένη δοκός πάνω στο μεσόβαθρο.

### **3.1.2 Κατασκευή Προεντεταμένων δοκών**

Σύμφωνα με τον Παναγόπουλο(2010), με την προένταση αυτό που επιτυγχάνεται είναι η επιβολή θλιπτικών δυνάμεων στις διατομές του οπλισμένου σκυροδέματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των εφελκυστικών δυνάμεων με κύριο αποτέλεσμα την αποφυγή της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος. Με αυτό τον τρόπο το σκυρόδεμα αντιμετωπίζεται σαν ελαστικό υλικό.

Η επιβολή των θλιπτικών δυνάμεων επιτυγχάνεται με την χρήση τένοντων οι οποίοι συμπιέζουν το σκυρόδεμα. Κατά την προένταση θα πρέπει να προσέχουμε να μην εξαντλήσουμε την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος διότι σε συνδυασμό με τον χρόνο που μεσολαβεί από την προένταση μέχρι την τοποθέτηση των δοκών πάνω στα βάθρα μπορεί να δημιουργήσει παραμορφώσεις. Η προένταση επιβάλλεται σε 2 στάδια. Το 75% της προέντασης εφαρμόζεται στον χώρο της κατασκευής και το υπόλοιπο 25% επιβάλλεται επιτόπου μετά την σκλήρυνση της πλάκας.

Για να μπορέσει να αρχίσει η κατασκευή πρέπει να υπάρχει μια βάση κατά μήκος έτσι ώστε να μπορεί να διαμορφωθεί ο οπλισμός και στην συνέχεια να τοποθετηθεί ο ξυλότυπος και να ακολουθήσει η σκυροδέτηση. Οι πιέσεις που ασκούνται από την σκυροδέτηση αντισταθμίζονται με μοχλούς που κρατούν τον ξυλότυπο σταθερό. Οι μοχλοί αυτοί αφαιρούνται μόνο όταν ολοκληρωθεί η πήξη του τσιμέντου.



Υπάρχουν 5 είδη προέντασης:

- Προένταση πριν απο την έγχυση του σκυροδέματος.

Σε αυτή την μέθοδο η τένοντες βρίσκονται σε άμεση επαφή με το σκυρόδεμα και αγκυρώνονται μέσω της συνάφειας. Η τάνυση των τενόντων γίνεται απο σταθερά σημεία έξω απο το στοιχείο. Αυτή η μέθοδος είναι η οικονομικότερη σε περίπτωση προκατασκευής των στοιχείων στο εργοτάξιο.

- Πλήρης προένταση όπου δεν επιτρέπονται καθόλου οι εφελκυστικές τάσεις.
- Περιορισμένη προένταση όπου δεν επιτρέπεται η υπέρβαση της επιτρεπόμενης εφελκυστικής τάσεως
- Μερική πρόενταση όπου επιτρέπεται η υπέρβαση της επιτρεπόμενης εφελκυστικής τάσης αλλά το άνοιγμα των ρωγμών πρέπει να είναι μικρότερο ορισμένου ορίου
- Προένταση μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος

Σύμφωνα με τις ΠΕΤΕΠ (2001) που αφορούν τις προεντεταμένες και προκατασκευασμένες δοκούς η προένταση ασκείται μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος και οι τένοντες αγκυρώνονται κατάλληλα σε προεπιλεγμένες θέσεις. Η συνάφεια με το σκυρόδεμα αποκαθίσταται μέσω τσιντενεμάτων.

Η προένταση μπορεί να είναι:

- Κεντρική όπου ο τένοντας περνά απο το κέντρο βάρους της διατομής
- Έκκεντρη όπου ο τένοντας προσαρμόζεται προς το διάγραμμα ροπών
- Αμφίπλευρη όπου η τάνυση γίνεται και απο τα 2 άκρα του τένοντα
- Μονόπλευρη όπου η τάνυση γίνεται μόνο απο το ένα άκρο του τένοντα οπότε το άλλο είναι σταθερά αγκυρωμένο. (Κακαλέτσης, 2000)

Η τοποθέτηση και η τάνυση των τενόντων γίνεται πάνω σε τραπέζια που έχουν την διεύθυνση της μετέπειτα τοποθετήσεως. Η ενσωμάτωση των τενόντων στην κατασκευή γίνεται με την βοήθεια συνδετήρων διαμέτρου Φ12-Φ16 οι οποίοι

τοποθετούνται σε αποστάσεις 1-1,50 μέτρου. Η υψομετρική θέση των τενόντων πρέπει να τηρείται με μεγάλη ακρίβεια.

Ο Τάσσιος το 1986 έγραψε πως στους αμφιέριστους δοκούς η τοποθέτηση των τενόντων γίνεται ανάλογα με το διαγραμμα των ροπών παραβολικά. Στα άκρα της κατασκευής οι τένοντες απομακρύνονται μεταξύ τους για να δημιουργηθούν οι αναγκαίες αποστάσεις για τις αγκυρώσεις. Ο μηχανικός τρόπος εφαρμογής της προέντασης γίνεται με γρύλλους έλξεως τενόντων, με εξωτερικούς θλιπτικούς γρύλλους πίεσεως της δοκού, με επιμήκυνση των τενόντων μέσω θέρμανσης καθώς και με αρκετούς άλλους τρόπους.

### **3.1.3 Διαδοκίδες**

Κατά την μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών η χρήση των διαδοκίδων είναι απαραίτητη. Σκοπός της κατασκευής των διαδοκίδων είναι η εγκάρσια σύνδεση των δοκών. Τοποθετώντας απο πριν αναμονές συνδέουμαι τον οπλισμό των διαδοκίδων με αυτό των δοκών.

Οι τένοντες μέσα στην δοκό, στην οποία έχουμε αφήσει χώρο είτε παραβολικά είτε ευθύγραμμο. Οι τένοντες απο χάλυβα υψηλής προέντασης τοποθετούνται συνήθως σε επτά κλώνους. Ο οπλισμός προέντασης τοποθετείται και εκτείνεται σε όλο το μήκος της δοκού το οποίο όπως είπαμε πριν μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 45 μέτρα. Το ύψος και το πλάτος των προεντεταμένων δοκών εξαρτάται απο το μήκος του δοκαριού αλλά και απο το φορτίο των οχημάτων που θέλουμε να παραληφθεί απο το κατάστρωμα.

### **3.1.4 Συστήματα Προκατασκευής**

Υπάρχουν 2 συστήματα προκατασκευής που μπορούμε να διακρίνουμε ανάλογα με τον τρόπο και το σύστημα δόμησης που εφαρμόζουμε.

- Υπάρχει το μικτό σύστημα προκατασκευής στο οποίο η σύνδεση των προκατασκευασμένων δοκών γίνεται με έγχυση σκυροδέματος επι τόπου.
- Το σύστημα πλήρους κατασκευής στο οποίο ένα προκατασκευασμένο στοιχείο γεφυρώνει το άνοιγμα.

### 3.1.5 Σύνδεση μεταξύ βάθρων και καταστρώματος

Η σύνδεση μεταξύ των βάθρων (είτε είναι ακρόβαθρα είτε είναι μεσόβαθρα) και του καταστρώματος μπορεί να επιτευχθεί με 2 τρόπους:

- Με μονολιθική σύνδεση
- Με παρεμβολή εφεδράνων

Η επιλογή του είδους της σύνδεσης παίζει καθοριστικό ρόλο στην σεισμική απόκριση της κατασκευής. Η επιλογή κάθε είδους σύνδεσης βέβαια εξαρτάται και από τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε γέφυρας, ενώ είναι σύνηθες να παραγματοποιείται η συνδυασμένη εφαρμογή και των δυο, ειδικά σε μεγάλες εφαρμογές.

#### A) Μονολιθική σύνδεση

Με την μονολιθική σύνδεση μπορούμε να πετύχουμε αυξημένη αντοχή και ακαμψία εξαιτίας της υπερστατικότητας. Επιπλέον μπορούμε να σχηματίσουμε και 2<sup>η</sup> θέση πλαστικής αρθρώσεως αυξάνοντας τις θέσεις καταστροφής.

Όμως αυτός ο τύπος σύνδεσης αναπτύσσει τις εντάσεις στο κατάστρωμα και απαιτεί ειδική διαμόρφωση του οπλισμού στην θέση σύνδεσης. Επιπροσθέτως αυξάνεται ο κίνδυνος για εμφάνιση ερπυσμού στο σκυρόδεμα.

#### β) Σύνδεση με στήριξη εφεδράνων

Με την σύνδεση με την στήριξη εφεδράνων μπορούμε να αποφύγουμε την ανάπτυξη καμπτικής έντασης στο κατάστρωμα, ενώ με την χρησιμοποίηση των εφεδράνων μπορούμε να καθορίσουμε τις θέσεις παραλαβής της σεισμικής έντασης. Παράλληλα όμως αυξάνεται το εύρος των μετακινήσεων ενώ η παρεμβολή των εφεδράνων οδηγεί στον γραμμικό σχεδιασμό των βάθρων με αποτέλεσμα την αύξηση της ελαστικότητας τους. (Σιγάλας,2010)

### 3.1.6 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου κατασκευής των Προεντεταμένων δοκών

Αφου αναλύσαμε την μέθοδο κατασκευής με προεντεταμένες δοκούς, συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της μεθόδου κατασκευής είναι τα ακόλουθα:

- Ταχύτητα κατασκευής
- Οικονομία λόγω μη χρήσης ικριωμάτων και πολύπλοκων διατάξεων
- Οι πλακοδοκοί μπορούν να κατασκευαστούν με άνεση στο εργοτάξιο και μετα να μεταφερθούν και να τοποθετηθούν πάνω στα βάθρα



Εικόνα 12: Προεντεταμένες δοκοί πάνω στα μεσόβαθρα

Αντιθέτως τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι:

- Έλλειψη σε μονολιθικότητα σε συνδυασμό με τον σεισμικό κίνδυνο
- Αυξημένες απαιτήσεις σε ελέγχους και συντήρηση λόγω του μεγάλου αριθμού υπάρξης εφεδράνων
- Αυξημένη προσοχή κατά την σκυροδέτηση λόγω της συγκέντρωσης οπλισμού ο οποίος απαιτείται για την μεταβίβαση των δυνάμεων.

### **3.1.7 Χρήση της Προέντασης για επισκευή γεφυρών**

Η φθορά του οπλισμένου σκυροδέματος από την αδιάλειπτη χρήση του σε συνδυασμό με την διαρκή ανάβαθμιση των αντισεισμικών κανονισμών οδηγεί πολλές φθορές στην ενίσχυση και την επισκευή των γεφυρών. Η μέθοδος της προέντασης συγκεντρώνει αρκετά θετικά στοιχεία όσον αφορά την επιλογή της ως μεθόδου επισκευής. Είναι εύκολη στην εφαρμογή της, διατηρείται η αρχιτεκτονική φυσιογνωμία της γέφυρας ενώ υπο προϋποθέσεις αποτελεί και μια οικονομική λύση. Με την προένταση μπορούμε να ενισχύσουμε την αντοχή της γέφυρας έναντι σε κάμψη και διάτμηση, ενώ μπορούμε να θεραπεύσουμε και τις ρωγμές που έχουν παρατηρηθεί.

Ο βασικός λόγος επιλογής της προέντασης είναι ότι μπορούμε να εκτελέσουμε τις εργασίες επισκευής με πολύ μικρή όχληση της κυκλοφορίας καθώς μπορούμε να αποκλείσουμε κάθε φορά μια λωρίδα κυκλοφορίας. Η προένταση ασκείται εξωτερικά. Στα καταστρώματα που στηρίζονται σε δοκούς η προένταση ασκείται τοποθετώντας εξωτερικούς τένοντες στα δοκάρια.

Επίσης η προένταση είναι ο οικονομικότερος τρόπος για την αύξηση της δυνατότητας μεταφοράς μεγαλύτερου φορτίου. (Παύλου και Παναγής,2010)

## **3.2 Μέθοδος Κατασκευής με Προβολοδόμηση**

Η κατασκευαστική διαδικασία κατά την οποία η δόμηση αρχίζει από μια σταθερή βάση και προωθείται κατά διαδοχικά στάδια καλείται προβολοδόμηση. Το δομούμενο στοιχείο στηρίζεται συνήθως στην σταθερή βάση χωρίς πρόσθετη στήριξη από το έδαφος. Τα τμήματα της κατασκευής ονομάζονται σπόνδυλοι και έχουν συνήθως μήκος 3,0 έως 5,0 μέτρα. Με αυτή την μέθοδο μπορούν να επιτευχθούν κατασκευές με ανοίγματα από 80,00-250,00 μέτρα. Η κατασκευή με την μέθοδο της προβολοδόμησης έχει εφαρμογή σε περιοχές όπου δεν μπορούν να τοποθετηθούν ικρίωματα, σε διαύλους ναυσιπλοΐας αλλά και σε βαθιές χαράδρες και κοιλάδες.

Η κατασκευαστική διαδικασία ξεκινά από μια σταθερή βάση η οποία είναι κατά κύριο λόγο η κεφαλή ενός κατασκευασμένου μεσόβαθρου και προωθείται συμμετρικά με την ταυτόχρονη κατασκευή των αντίστοιχων σπονδύλων οι οποίοι

προβάλλουν απο τα προηγούμεως κατασκευασθέντα τμήματα και συνδέονται με την βοήθεια της προέντασης. Το φορείο της προβολοδόμησης εξασφαλίζει της απαραίτητες εξέδρες εργασίας.



**Εικόνα 13: Κατασκευή με την μέθοδο της προβολοδόμησης**

Η κατασκευή απο κάθε βάση επεκτείνεται μέχρι τα μέσα των εκατέρωθεν ανοιγμάτων όπου και γίνεται η σύνδεση με τα αντίστοιχα τμήματα της γειτονικής βάσης με την σκυροδέτηση των ειδικών σπονδύλων. Η πρόοδος της κατασκευής πρέπει να είναι συμμετρική. Η μέθοδος της προβολοδόμησης χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή καλωδιωτών γεφυρών. Πριν συνεχίσουμε θα πρέπει να παραθέσουμε κάποιος ορισμούς σχετικά με κατασκευαστικά στοιχεία που αφορούν την προβολοδόμηση.

**Σπόνδυλος (Segment):** Το κάθε διακεκριμένο τμήμα κατασκευής της ανωδομής της γέφυρας το οποίο έχει ενα συγκεκριμένο σχήμα διατομής και σχετικό μήκος.

**Σπόνδυλος συνέχειας (Closure Segment):** Ο σπόνδυλος με τον οποίο αποκαθίστα η συνέχεια μεταξύ των γειτονικών βραχίωνων προβόλων.

**Συμμετρική προβολοδόμηση (Balanced Cantilever Erection):** Οι σπόνδυλοι ανεγείρονται διαδοχικά συμμετρικά του βάθρου σε πρόβολο, μέχρι το σημείο πέραν του οποίου η συνέχεια του ανοίγματος μεταξύ ακράιων σπονδύλων των προβόλων αποκαθίσταται με την χύτευση του σπονδύλου συνέχειας.

**Μονόπλευρη προβολοδόμηση (Progressive Cantilever Erection):** Οι σπόνδυλοι ανεγείρονται προοδευτικά σε πρόβολο από την μια πλευρά του βάθρου προς το επόμενο βάθρο. Ως σώματα παγίωσης συνήθως χρησιμοποιούνται τα ακρόβαθρα της γέφυρας.

**Φορείο προβολοδόμησης (Form traveler):** Σύνθετος κινητός δικτυωτός σχηματισμός κατάλληλης μορφής επί του οποίου φέρονται οι τύποι διαμόρφωσης της διατομής των σπονδύλων και τα απαραίτητα δάπεδα εργασίας. Επιπλέον διαθέτει επαρκή αντοχή ώστε να παραλαμβάνει τα φορτία του νωπού σκυροδέματος των σπονδύλων.

**Υπερύψωση Φορείου (Form traveler off set):** Η διόρθωση της στάθμης στην οποία τοποθετείται το ελεύθερο άκρο του φορείου. Η διόρθωση αυτή αντισταθμίζει το βέλος του φορείου. (ΠΕΤΕΠ, Προβολοδόμηση γεφυρών με σπόνδυλους σκυροδέματος, 2001)



Εικόνα 14: Κατασκευή με την μέθοδο της προβολοδόμησης στην θάλασσα

### 3.2.1 Ιστορικό εφαρμογής

Αρχικώς η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε σε μεταλλικές γέφυρες με την πρώτη καταγεγραμμένη εφαρμογή να είναι στην Βραζιλία το 1930 σε μια σιδηροδρομική γέφυρα. Την δεκαετία του 50' στην Γερμανία πραγματοποιήθηκε η πρώτη γέφυρα με

ένα άνοιγμα μήκους 62 μέτρων. Σήμερα έχουν ευρύτατη εφαρμογή ακόμα και στην κατασκευή των καλωδιωτών γεφυρών στις οποίες το κατάστρωμα κατασκευάζεται με προβολόδομηση. Στην χώρα μας τα τελευταία χρόνια και για τις ανάγκες κατασκευής των κοιλαδογεφυρών της ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ κατασκευάστηκαν αρκετές γέφυρες με αυτό τον τρόπο.

### 3.2.2 Τρόπος Κατασκευής

Υπάρχουν διάφοροι παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή της μεθόδου κατασκευής με προβολόδομηση μιας γέφυρας. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι ακόλουθοι :

- Το συνολικό μήκος της γέφυρας,
- Η διάταξη ανοιγμάτων ,
- Η γεωμετρία της χάραξης, οριζοντιογραφία και μηκοτομικά,
- Το ύψος από το φυσικό έδαφος ,
- Η προσπελασιμότητα στις επιθυμητές θέσεις βάθρων,
- Η Οικονομία,
- Η Αισθητική,
- Η Ευκολία κατασκευής.

Το μήκος και η διάταξη των ανοιγμάτων θα πρέπει να είναι συμβατά με την κατασκευή ενώ η διάταξη τους επηρεάζεται και απο την μορφή του εμποδίου που πρέπει να γεφυρωθεί. (Κουρουμλής κ.α,2009)

Η προβολόδομηση αναπτύσσεται προς το μεσόβαθρο απο το ακρόβαθρο συμμετρικά συνήθως με την βοήθεια φορέων.

Όταν οι συνθήκες δεν επιτρέπουν την συμμετρική ανάπτυξη οι προβολόδομήσεις γίνονται με χρήση σώματος πακτώσεων (αντίβαρο). Μια τέτοια περίπτωση ήταν η κατασκευή της γέφυρας στον Ισθμό της Κορίνθου.

Με την ολοκλήρωση της προβολόδομησης, κατασκευάζονται τα τμήματα συνδέσεως και έτσι ολοκληρώνεται η τελική μορφή των φορέων.



Οι σπόνδυλοι μπορούν να σκυροδετούνται επι τόπου με την χρήση των ειδικών φορείων και να στηρίζονται στα αμέσως προηγούμενα προενταμμένα τμήματα ή να προκατασκευάζονται και να τοποθετούνται εκ των υστέρων με την βοήθεια ειδικών δικτυωμάτων. Οι νέοι σπόνδυλοι συνδέονται με τους προηγούμενους κυρίως με προένταση.

### **3.2.3 Κατηγορίες Τενόντων**

Οι τένοντες του προβόλου αποτελούν το σημαντικότερο οπλισμό καθώς αναπτύσσονται σε όλο το μήκος της πλάκας καταστρώματος και αγκυρώνονται σε θέσεις συμβολής κορμών και πλάκας. Υπάρχουν 2 είδη τενόντων.

- 1) Οι τένοντες του πάνω πέλματος

Είναι ο σημαντικότερος οπλισμός καθώς αναπτύσσεται σε όλο το πλάτος της πλάκας καταστρώματος και αγκυρώνονται στις θέσεις συμβολής κορμών και πλάκας. Αναλόγως των αναγκών των αγκυρώσεων μορφοποιούνται και οι θέσεις αυτές.

- 2) Οι τένοντες κάτω πέλματος (ανοίγματος)

Οι τένοντες του κάτω πέλματος αναπτύσσονται στο κάτω πέλμα και η τάνυση τους γίνεται μετά την αποκατάσταση της συνέχειας του φορέα. Στην συμβολή του κορμού και της πλάκας κατασκευάζονται ειδικά σώματα αγκυρώσεως όπου εκεί αγκυρώνονται οι τένοντες, ενώ χρειάζεται να τοποθετηθεί ειδικός οπλισμός για να μην εκτιναχθούν οι τένοντες εξαιτίας της κατα μήκος καμπυλότητας.

Η αυξημένη προένταση των τενόντων είναι απαραίτητη για αντισταθμιστεί το ίδιο βάρος. Οι λόγοι που το κάνουμε αυτό είναι για να μειώσουμε τις ελαστικές και ερπυστικές παραμορφώσεις καθώς και την ερπυστική κατανομή.



**Εικόνα 15: Κατασκευή κοιλαδογέφυρας στην ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟ με προβολοδόμηση**

### **3.2.4 Κατασκευή Σπονδύλων**

Για την κατασκευή των σπονδύλων πρωταρχικής σημασίας είναι η ακριβής τήρηση της γεωμετρίας η οποία και πρέπει να ελέγχεται διαρκώς. Υπάρχουν δυο γραμμές κατασκευής τενόντων. Η μακρά γραμμή παραγωγής και η βραχεία γραμμή παραγωγής. Στην μακρά γραμμή παραγωγής κατασκευάζονται οι μισοί ή όλοι οι σπόνδυλοι που αντιστοιχούν στον πρόβολο. Σε αυτή την διαδικασία το καλούπι μετακινείται για την παραγωγή διαδοχικών σπονδύλων. Με αυτό τον τρόπο κατασκευάστηκε το κατάστρωμα στην γέφυρα του Ρίου – Αντιρρίου.

Στην βραχεία γραμμή παραγωγής οι σπόνδυλοι κατασκευάζονται ένας – ένας με το καλούπι να παραμένει ακριβώς στην θέση του.

Οι σπόνδυλοι κατασκευάζονται στην ακριβή τους θέση επι ειδικής βάσεως η οποία είναι αντίγραφο του κάτω πέλματος του φορέα. Η κατασκευή ξεκινάει απο τον σπόνδυλο εδράσεως και προχωράει συμμετρικά όπως φαίνεται στην εικόνα 16, στην κοιλαδογέφυρα της ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ.

Σύμφωνα με τον Σίγαλα (2010), η μέθοδος της προβολοδόμησης έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτεί μικρό χρόνο κατασκευής και σταθερό εξοπλισμό ενώ το κύριότερο μειονέκτημα της είναι η διαρκής παρακολούθηση για ακρίβεια στις μετρήσεις και της διατήρησης της γεωμετρίας.

### **3.3 Συμπεριφορά και αστοχίες των γεφυρών**

Οι γέφυρες εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά στα χαρακτηριστικά τους και αυτό εξαρτάται από τον τύπο του φορέα, τα υλικά κατασκευής και τα μήκη των ανοιγμάτων.

Οι γέφυρες που είναι κατασκευασμένες με προκατασκευασμένες δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι αρκετά άκαμπτες αλλά εμφανίζουν μεγάλες ροπές στα σημεία στήριξης οι οποίες είναι μεγαλύτερες από τις ροπές λυγισμού στο μέσο των ανοιγμάτων. Στις μεταλλικές κατασκευές οι οποίες επίσης είναι αρκετά άκαμπτες οι αξονικές δυνάμεις που καταπονούν τις κατασκευές παραλαμβάνονται από μικρές διατομές και στην συνέχεια μεταφέρονται στην θεμελίωση της γέφυρας με αποτέλεσμα την καθίζηση της κατασκευής, ενώ σημαντικό πρόβλημα αποτελεί το ίδιο βάρος μιας μεταλλικής γέφυρας το οποίο είναι μεγαλύτερο από το ίδιο βάρος μιας αντίστοιχου όγκου γέφυρας από σκυρόδεμα.

Οι τοξωτές γέφυρες μεταφέρουν τα φορτία τα οποία υπόκεινται στις στηρίξεις οι οποίες έχουν αρκετά μεγάλη θλιπτική αντοχή, ενώ οι καλωδιωτές γέφυρες μπορούν να πραγματοποιούν σχετικά μεγάλες μετακινήσεις και να μην υφίστανται μεγάλες βλάβες.

Η ελαστικότητα αυτή οφείλεται στις μικρές ιδιοσυχνότητες αυτού του τύπου γεφυρών και η ταλάντωση αυτή πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο στην κατακόρυφη διεύθυνση. Η καμπτικές τάσεις παραλαμβάνονται από τους τένοντες οι οποίοι μεταφέρουν αυτές τις τάσεις στους πυλώνες.

Σε αντίθεση με τις καλωδιωτές γέφυρες οι κρεμαστές γέφυρες δεν μεταφέρουν τα φορτία στους πυλώνες αλλά σε ένα κεντρικό καλώδιο το οποίο διέρχεται από τους πυλώνες και καταλήγει στα σημεία στήριξης των γεφυρών και στα άκρα των γεφυρών. Ένα άλλο σημείο των κρεμαστών γεφυρών που είναι μειονέκτημα είναι ότι είναι ευάλωτες στα φορτία του ανέμου.

#### **3.3.1 Αστοχίες των Γεφυρών**

Σε μεγάλες εύκαμπτες κατασκευές γεφυρών όπως είναι οι καλωδιωτές και κρεμαστές γέφυρες έχουν γίνει μεγάλες καταστροφές και καταρρεύσεις με ανθρώπινες απώλειες πολλές φορές πέρα από τις υλικές ζημιές.

Ένα τέτοιο παράδειγμα (προς αποφυγήν) είναι η κατάρρευση της γέφυρας Tacoma Narrow στην Ουάσιγκτον η οποία μετά απο 2 χρόνια κατασκευής παρουσίαζε απο την αρχή έντονες μετακινήσεις και στροφές λόγω του πολύ εύκαμπτου καταστρώματος και εξαιτίας του πολύ μικρού πάχους του καταστρώματος. Μόλις τέσσερις μήνες αφ'ότου είχε παραδοθεί στην κυκλοφορία η γέφυρα, αυτή κατάρρευσε εξαιτίας των θυελλωδών ανέμων που επνεαν στην περιοχή. Το λάθος που έγινε κατα την μελέτη ήταν οτι δεν είχε υπολογιστεί η δυναμική φόρτιση του ανέμου και αυτή η δυναμική φόρτιση συνέπεσε με την ιδιοσυχνότητα της γέφυρας.



**Εικόνα 16: Η Κατάρρευση της Γέφυρας στην Ουάσιγκτον**

Ένα ακόμα τέτοιο παράδειγμα είναι η γέφυρα Tay στην Σκωτία η οποία ήταν μια δικτυωτή μεταλλική κατασκευή με μήκος 3264 μέτρα.

Η γέφυρα καταστράφηκε εξαιτίας μιας ισχυρής καταιγίδας με θυελλώδεις ανέμους. Την στιγμή της κατάρρευσης την γέφυρα διέσχιζε ένα τρένο με έξι βαγόνια και 75 επιβάτες οι οποίοι έχασαν την ζωή τους. Κατά την διάρκεια της μελέτης είχε συμβεί το ίδιο λάθος που έγινε στην προηγούμενη περίπτωση δηλαδή είχε υποεκτιμηθεί το φορτίο του ανέμου ενώ διαπιστώθηκε και πρόβλημα στις συγκολλήσεις των μεταλλικών στοιχείων.

Απο τότε βέβαια η τεχνολογική εξέλιξη εχει προχωρήσει με αλματώδεις ρυθμούς και τέτοιου είδους καταρρεύσεις μπορούμε να ισχυριστούμε οτι δεν συμβαίνουν πια.

Οι μηχανισμοί διέγερσης των εύκαμπτων καταστρωμάτων όπως των καλωδιωτών και κρεμαστών γεφυρών δεν καλύπτονται απο τους ισχύοντες κανονισμούς. Οι δοκιμές των καταστρωμάτων έναντι σε στατικές πιέσεις των ανέμων

και στις αεροδυναμικές πιέσεις γίνονται σε αεροσήραγγες για τον προσδιορισμό αυτών των συντελεστών στατικής αντίστασης και δυναμικής απόκρισης.

Στην Ελλάδα η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό είναι 32 m/sec, αλλά ακόμα και αυτή η ταχύτητα αναφοράς πρέπει να επιβεβαιωθεί για κάθε περιοχή μέσα απο λεπτομερείς μετρήσεις.

### **3.3.2 Βλάβες απο σεισμούς**

Οι βλάβες απο σεισμούς που παρατήρηθηκαν παγκοσμίως σε γέφυρες απο σκυρόδεμα και η συνακόλουθη επίδραση τους στις δράσεις άμεσης ανάγκης αλλά και στις ευρύτερες οικονομικές και κοινωνικές δραστηριότητες κατέδειξαν οτι αποτελούν μια ευαίσθητη συνιστώσα στις φθορές των γεφυρών.

Η σοβαρότητα της βλάβης που θα υποστεί μια γέφυρα μετά απο έναν σεισμό εξαρτάται:

- Το έτος κατασκευής της γέφυρας
- Το είδος της γέφυρας
- Την απόσταση απο το επίκεντρο του σεισμού
- Την φασματική επιτάχυνση στην τοποθεσία της γέφυρας και την μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους

Σύμφωνα με αναφορές απο τις Η.Π.Α η φασματική επιτάχυνση στην περιοχή που βρίσκεται η γέφυρα παίζει τον σημαντικότερο ρόλο στις βλάβες που θα υποστεί μια γέφυρα, πολλές φορές παίζει σημαντικότερο ρόλο και απο την επιτάχυνση του εδάφους στην ίδια περιοχή.

Οι συνηθέστερες βλάβες που μπορεί να υποστεί μια γέφυρα απο σεισμό είναι οι ακόλουθες:

- 1) Απώλεια στήριξης της ανωδομής της γέφυρας στα ακρόβαθρα ή στα μεσόβαθρα ή στους ενδιάμεσους αρμούς διαχωρισμού.
- 2) Σημαντική απώλεια αντοχής λόγω αποσάθρωσης του σκυροδέματος και αστοχίας των οπλισμών των βάθρων. Ανάλογα με την γεωμετρία του βάθρου οι βλάβες μπορεί να είναι καμπτικού ή διατμητικού τύπου.

- 3) Βλάβες των ακρόβαθρων ή των θεμελίων των βάθρων λόγω αστοχίας του εδάφους θεμελίωσης που οφείλεται σε εκτεταμένη καθίζηση.



Εικόνα 17: Φθορά μεσόβαθρων γέφυρας λόγω σεισμού

### 3.3.3 Αποτίμηση του σεισμικού κινδύνου

Η αποτίμηση του σεισμικού κινδύνου συνιστάται στην ποσοτικοποίηση του αναμενόμενου βαθμού δομικής βλάβης σε συνδυασμό με την σεισμική επικινδυνότητα. Η μελέτη της τρωτότητας μπορεί να γίνει με μεθόδους οι οποίες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- 1) Εμπειρικές μέθοδοι βασισμένες σε στατιστική επεξεργασία πραγματικών στοιχείων.

Στην προσέγγιση αυτή χρησιμοποιούνται στοιχεία βλαβών από προηγούμενους σεισμούς. Αυτή η μέθοδος είναι ανεπτυγμένη στην Ιαπωνία και στις Η.Π.Α κυρίως και μέσα από αυτή την διαδικασία δημιουργούνται οι καμπύλες τρωτότητας ύστερα από στατιστική επεξεργασία. Οι καμπύλες τρωτότητας περιγράφουν την πιθανότητα για δεδομένη σεισμική ένταση, τις πιθανότητες βλάβης της γέφυρας. Συνήθως η σεισμική τρωτότητα κατηγοριοποιείται για τα διάφορα είδη γεφυρών, καθώς γίνεται η παραδοχή πως κατασκευές με παρόμοια χαρακτηριστικά θα παρουσιάσουν παρόμοια συμπεριφορά στην ίδια σεισμική δράση. (Αργυρούδης κ.α,2011)

- 2) Μέθοδοι βασισμένες στην κρίση του μηχανικού

Πρόκειται για έναν εναλλακτικό τρόπο προέκτιμησης της σεισμικής συμπεριφοράς γεφυρών διαφορετικής τυπολογίας χρησιμοποιώντας την εμπειρία του

κάθε μηχανικού. Η μέθοδος βασίζεται στην στατιστική επεξεργασία της κρίσης εμπειρών μηχανικών για την συμπεριφορά της κατασκευής με αποτέλεσμα την δημιουργία μητρώων πιθανότητας βλάβης για κάθε γέφυρα.

### 3) Αναλυτικές μέθοδοι

Η σεισμική συμπεριφορά των γεφυρών και η σεισμική τρωτότητα αυτών εκτιμάται με την βοήθεια προσομοιωμάτων μέσω κατάλληλης συσχέτισης των υπολογιζόμενων μέγεθων απόκρισης με το βάθμο βλάβης και έτσι μπορούν να προκύψουν καμπύλες τρωτότητας.

### 4) Μέθοδοι βασισμένες σε εμπειρικούς δείκτες τρωτότητας

Στοχεύουν σε μια προκαταρκτική ιεραρχική κατάταξη των γεφυρών η οποία πραγματοποιείται βαθμολογώντας μέσω ενός ερωτηματολογίου τα κύρια χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την σεισμική συμπεριφορά μιας γέφυρας και υπολογίζοντας με αυτόν τρόπο έναν συνολικό δείκτη δομικής τρωτότητας. Αντίστοιχα υπολογίζονται δείκτες που σχετίζονται με την σεισμικότητα και το έδαφος και σε αρκετές περιπτώσεις με την σπουδαιότητα της γεφύρας εξάγοντας έτσι έναν συνολικό δείκτη διακινδύνευσης της κατασκευής.

Οι παραπάνω μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε μεμονωμένες γέφυρες όσο και ένα δίκτυο γεφυρών χωρίς να απαιτούνται πολλά και λεπτομερή στοιχεία, οπότε είναι δυνατή η γρήγορη προκαταρκτική αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης και ο καθορισμός του βαθμού προτεραιότητας για περαιτέρω έλεγχο.

Οι μέθοδοι που βασίζονται σε καμπύλες τρωτότητας παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι συσχετίζουν άμεσα την στάθμη σεισμικής διέγερσης με την στάθμη αναμενόμενων βλαβών.

Η αξιοπιστία τους εξαρτάται από την επάρκεια των στατιστικών στοιχείων, την πληρότητα και αξιοπιστία των αναλυτικών προσομοιωμάτων, αλλά και τον επαρκή καθορισμό των κατηγοριών τρωτότητας με βάση τα χαρακτηριστικά των γεφυρών.

## **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> - Επισκευή, Συντήρηση και Διαχείριση Γεφυρών**

Όπως έχουμε προαναφέρει οι γέφυρες αποτελούν μεγάλες πολύπλοκες και κυρίως δαπανηρές κατασκευές. Μέγαλο ρόλο στο κόστος κατασκευής μια γέφυρας παίζει η συντήρηση της και οι επισκευές που θα χρειαστεί να γίνουν σε μια γέφυρα εξαιτίας των φθορών που πιθανόν να προκύψουν.

Ο εντοπισμός και η αναγνώριση των βλαβών και των φθορών σε μια γέφυρα είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας. Η οπτική επιθεώρηση σε συνδυασμό με πολύπλοκες συσκευές και αισθητήρες που καταγράφουν μικρομετακινήσεις ,φθορές και άλλα σημαντικά δομικά στοιχεία μιας γέφυρας.

Το σημαντικότερο είναι η ανάπτυξη ενός αξιόπιστου συστήματος το οποίο θα αποτελείται απο μια βάση δεδομένων με όλα τα στοιχεία μιας γέφυρας και το οποίο σύστημα θα βοηθάει στην αποτελεσματικότερη και γρηγορότερη επιθεώρηση και καταγραφή των φθορών των γεφυρών καθώς και στην ταχύτερη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις επεμβάσεις που χρειάζονται να γίνουν.

### **4.1 Διαχείριση Γεφυρών**

Ένα σύστημα διαχείρισης γεφυρών περιλαμβάνει το σύνολο των ενεργειών που αφορούν μια γέφυρα κατά την διάρκεια της ζωής της, απο τον σχεδιασμό μέχρι την λειτουργία της. Στόχος αυτού του συστήματος είναι η διασφάλιση της λειτουργικότητας της καθώς και της περιοδικότητας των ελέγχων των επιθεωρήσεων που πρέπει να γίνουν σε αυτή αλλά και την διεξαγωγή των κατάλληλων επισκευών και συντήρησης. Η διαχείριση των οικονομικών πόρων για την διένεργεια αυτών των επιθεωρήσεων και των επισκευών είναι επίσης ένας ακόμα παράγοντας που καθιστούν αναγκαία την δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος διαχείρισης. Οι βασικοί στόχοι ενός τέτοιου συστήματος είναι η ακόλουθη:



- Η εγγύηση της ασφάλειας των χρηστών
- Η εγγύηση της διάρκειας της ζωής της γέφυρας
- Η ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας της γέφυρας

Ένα τέτοιο σύστημα υποστηρίζεται από βάσεις δεδομένων με τα δομικά, γεωμετρικά και λειτουργικά στοιχεία των γεφυρών αλλά και με τις προγραμματισμένες επιθεωρήσεις των γεφυρών. Η καταγραφή, η επεξεργασία η μετατροπή των δεδομένων και η απόκριση της κατασκευής σε αυτή την βάση δεδομένων είναι ο κύριος στόχος της δημιουργίας μιας τέτοιας βάσης δεδομένων. Η συλλογή αυτών των δεδομένων γίνεται κυρίως με την χρήση αισθητήρων. Οι αισθητήρες μετρούν τις παραμορφώσεις, τις μετακινήσεις, την θερμοκρασία, το φορτίο, τον ερπυσμό, τις συστολές και διαστολές καθώς και τις χημικές ή μηχανικές ιδιότητες των υλικών. Έτσι λοιπόν η επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα είναι πολύ μεγάλης σημασίας καθώς και του λογισμικού με το οποίο θα καθορίζεται το εύρος των μετρούμενων μεγεθών. Η μεταφορά των δεδομένων γίνεται είτε ασύρματα είτε με επίσκεψη στην γέφυρα και συλλογή των δεδομένων.

Τα μετρούμενα μεγέθη είναι τα ακόλουθα:

- Μετακίνηση και Παραμόρφωση
- Εντοπισμός και μέτρηση ρωγμών
- Θερμοκρασία
- Ερπυσμός και συστολή ξήρανσης
- Ιδιότητες υλικών και δυναμική απόκριση
- Στατικές δοκιμές γεφυρών
- Διάγνωση Βλαβών

Επιπλέον σε μια τέτοια βάση δεδομένων πρέπει να υπάρχει και το ιστορικό των επιθεωρήσεων και των επισκευών της γέφυρας.

Η διαδικασία καθορισμού των προτεραιοτήτων για το ποια γέφυρα πρέπει να συντηρηθεί πρώτα σε συνδυασμό πάντα με την οικονομική προσέγγιση. Οι παράμετροι που καθορίζουν την προτεραιότητα για το ποια γέφυρα θα επιθεωρηθεί πρώτη είναι η ακόλουθη:

- Η φέρουσα ικανότητα και η κατάσταση της κατασκευής
- Ο ρυθμός φθοράς
- Οι διαθέσιμοι μέθοδοι συντήρησης
- Το κόστος διαχείρισης της κυκλοφορίας
- Οι ρυθμοί κυκλοφοριακής ροής
- Οι επιπτώσεις στην ασφάλεια σε περίπτωση μη άμεσης διεξαγωγής των εργασιών συντήρησης

Τεχνογνωσία και εξοπλισμός υπάρχει για την δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος. Η λήψη των αποφάσεων αυτών σε συνδυασμό με τους περιορισμένους οικονομικούς πόρους κάνουν μια τέτοια απόφαση πολύ σημαντική. Η βελτιστοποίηση των προγραμματισμένων εργασιών συντήρησης είναι ένας τρόπος για να γίνει οικονομία σε πόρους και χρόνο σχετικά με την συντήρηση μιας γέφυρας.

Η δημιουργία μιας στρατηγικής συντήρησης η οποία θα παρέχει μακροπρόθεσμα οφέλη και ταυτόχρονα να διασφαλίζεται η διατήρηση της κατασκευής σε αποδεκτό επίπεδο ασφάλειας και λειτουργικότητας. (Καρλαύτης κ.α., 2005)

## **4.2 Φθορές Γεφυρών**

Οι φθορές στις γέφυρες μπορεί να παρουσιαστούν είτε στα στοιχεία της υποδομής είτε στα στοιχεία της ανοδωμής είτε στο κατάστρωμα. Προκειμένου να προλάβουμε τις φθορές πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα να κάνουμε επιθεωρήσεις και ελέγχους των στοιχείων που αποτελούν μια γέφυρα. Αυτό πρέπει να γίνεται για όλα τα μέρη της γέφυρας χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τρόπους για κάθε στοιχείο.

Οι επισκευές που γίνονται σε μια γέφυρα εξαρτώνται από το είδος της φθοράς αλλά και το μέγεθος της φθοράς.

Στην συνέχεια επιχειρούμε την παρουσίαση, συνοπτικά, αρκετών μεθόδων επιθεώρησης, συντήρησης και επισκευής των γεφυρών.

### 4.3 Επιθεώρηση Γεφυρών

Ένα πολύ σημαντικό ζήτημα είναι η επιθεώρηση των γεφυρών. Ο καθορισμός των εργασιών συντήρησης και η αποκατάσταση των πιθανών φθορών καθορίζεται από την επιθεώρηση. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ελέγχου των γεφυρών. Ο απλός οπτικός έλεγχος μέσω επιθεώρησης των διάφορων στοιχείων είναι ο συνηθέστερος τρόπος ελέγχου της κατασκευής και η τεχνική έκθεση που θα προκύψει θα οδηγήσουν στις τελικές αποφάσεις επισκευών ή συντήρησης. Έμπειροι μηχανικοί εφαρμόζουν τους οπτικούς ελέγχους με την βοήθεια συμπλήρωσης ερωτηματολογίων όπου περιέχουν κάποια σταθερά μετρήσιμα στοιχεία έτσι ώστε να αποφευχθεί η υποκειμενικότητα στις αποφάσεις. Υπάρχουν τριών ειδών επιθεωρήσεις:

- Κύριες επιθεωρήσεις με περιοδικότητα κάθε έξι με δεκα χρόνια και λεπτομερή εξέταση όλων των δομικών μελών της γέφυρας.
- Γενικές επιθεωρήσεις με περιοδικότητα κάθε ένα με δύο χρόνια και εξετάζεται όλη η γέφυρα.
- Επιφανειακές επιθεωρήσεις που εξετάζει φθορές της γέφυρας που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα.



Εικόνα 18: Οπτικός έλεγχος με χρήση ανυψωτικού μηχανήματος

Ο μηχανικός επιθεώρησης κατά την διάρκεια του ελέγχου χρησιμοποιεί διάφορα εργαλεία και εξοπλισμό όπως γωνιόμετρο, αλφάδι, παχύμετρο κ.α ενώ πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η γνώση των σχεδίων της γέφυρας.

Ένας άλλος τρόπος είναι ο οπτικός έλεγχος με την χρήση οργάνων όπου η πραγματική κατάσταση της γέφυρας και των κύριων μερών που την απαρτίζουν προκύπτουν μέσα από πειραματικές μετρήσεις. Τα κυριότερα όργανα που χρησιμοποιούνται για τον οπτικό έλεγχο με χρήση οργάνων είναι:

- Κρουσίμετρο
- Σειτ υπέρηχων
- Συσκευές ανίχνευσης, κ.α

Τέλος υπάρχει και ένας τρίτος τρόπος ο οποίος στηρίζεται σε συστήματα παρακολούθησης των γεφυρών με σύγχρονα τεχνολογικά μέσα όπως μέσω δορυφορικών συστημάτων και δημιουργούνται βάσεις δεδομένων για τα στοιχεία της κατασκευής. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να μετρήσουμε τυχόν μικρομετακινήσεις και καθιζήσεις των ακροβάθρων των μεσοβάθρων και την σωστή λειτουργία των αρμών συστολοδιαστολής. Με την χρήση των βάσεων δεδομένων μπορούμε να προβούμε στις απαραίτητες εργασίες που πρέπει να γίνουν.

#### **4.3.1 Επιθεώρηση Ανωδομής**

Η επιθεώρηση της ανωδομής χωρίζεται ανάλογα με την θέση της γέφυρας που εξετάζεται. Στις θέσεις στήριξης για παράδειγμα ελέγχονται οι θέσεις έδρασεις για κατακόρυφες ρωγμές και διάβρωση. Οι ρωγμές μπορούν να προκαλεστούν από μη επαρκή χώρο για συστολή και διαστολή ή λόγω διείσδυσης νερού. Επίσης επιθεωρούνται τα πέλματα στις θέσεις στήριξης για τυχόν θράυσεις οι οποίες προέρχονται από τυχόν διαβρωμένους τένοντες της προέντασης.(Ανέστης,2008)

#### **4.3.2 Επιθεώρηση Αρμών**

Η επιθεώρηση των αρμών συστολοδιαστολής γίνεται με τον έλεγχο των αρμών για μικρομετακινήσεις ανάλογα με την θερμοκρασία που επικρατούν. Επίσης

πρέπει να γίνεται επιθεώρηση για σημάδια θραύσης στους αρμούς και να καταγράφονται τυχόν χτυπήματα απο βαρέα οχήματα. Κατά την συντήρηση του οδοστρώματος και κυρίως κατά την διάστρωση με καινούρια άσφαλτο, πολλές φορές σκεπάζεται ο αρμός και μετά ο αρμός δεν καθαρίζεται με αποτέλεσμα ο αρμός να πάθει φθορές.

Συνοπτικά η επιθεώρηση των αρμών περιλαμβάνει τους ακόλουθους ελέγχους:

- Την σωστή τοποθέτηση των αρμών στο κατάστρωμα
- Για φθορα των στεγανώσεων
- Στα συστήματα αγκυρώσεων των αρμών
- Στις παρεισφρητικές επιστρώσεις
- Στην συσσώρευση φερτών υλικών και ρύπων

#### **4.3.3 Επιθεώρηση Εφεδράνων**

Η επιθεώρηση των εφεδράνων είναι απο τις σημαντικότερες επιθεωρήσεις σε μια γεφύρα διότι η μη σωστή λειτουργία των εφεδράνων μπορεί να επιφέρει ανεπανόρθωτες ζημιές στην γέφυρα. Ένα κατεστραμμένο εφέδρανο μπορεί να μεταφέρει πολύ σημαντικές τάσεις στην υποδομή και στην ανωδομή. Η στήριξη επίσης της ανωδομής εξαρτάται απο την οριζόντια αστοχία των εφεδρανων.

Απο την επιθεώρηση των εφεδράνων, μπορούμε να διαγνώσουμε άλλες φθορές. Για παράδειγμα η καθίζηση των ακροβάθρων και των μεσοβάθρων μπορεί να διαγνωστεί απο τις φθορές των εφεδράνων.

Τα εφέδρανα πρέπει να ελέγχονται για υπερβολική διόγκωση, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι φυσιολογική αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις προκαλείται φθορά στα εφέδρανα.

Ο μηχανικός που κάνει τις επιθεωρήσεις των εφεδράνων χρησιμοποιεί και αυτός κάποιον εξοπλισμό. Ο εξοπλισμός αυτός αποτελείται απο σκαλωσιές και πλατφόρμες εργασίας, εξοπλισμός φωτισμού, εργαλεία καθαρισμού, αλφάδι, παχύμετρο κ.α



**Εικόνα 19: Διογκωμένο Εφέδρανο**

#### **4.3.4 Επιθεώρηση Πτερυγότοιχων - Ακροβάθρων**

Οι πτερυγότοιχοι θα πρέπει να επιθεωρούνται για διάβρωση για ρηγματώσεις και γενικότερα φθορά του σκυρόδεματος.

Τα ακρόβαθρα πρέπει να ελέγχεται η ευστάθεια του καθώς και για μετακινήσεις του είτε αυτές είναι οριζόντιες, κατακόρυφες ή στροφικές. Το ακρόβαθρο επειδή εκτός από την στήριξη της γέφυρας, παίζει και τον ρόλο του τοίχου αντιστήριξης, δέχεται μεγάλες ωθήσεις από το επίχωμα αναλαμβάνοντας μεγάλα φορτία. Για αυτό έχει μεγάλη σημασία η σωστή επιθεώρηση του. Κατά την επιθεώρηση του αρμού, για να παρατηρηθεί εάν ο αρμός έχει υποστεί κατακόρυφη μετακίνηση πρέπει να γίνει ένας οπτικός έλεγχος στην πλάγια όψη της γέφυρας όπου θα φαίνεται η απότομη αλλαγή κλίσης. Επίσης η απότομη κλίση του στηθαίου ασφαλείας. Ένας άλλος έλεγχος που πρέπει να γίνει είναι αυτός για καθίζηση. Η υψομετρική διαφορά του οδοστρώματος σε περίπτωση καθίζησης γίνεται εύκολα αντιληπτή ακόμα και από κάποιον που δεν είναι μηχανικός. Άλλοι έλεγχοι που λαμβάνουν χώρα είναι οι ακόλουθοι:

- Η θεμελίωση για τυχόν υποσκαφή
- Η ευθυγράμμιση ακρόβαθρου και πτερυγότοιχου
- Οι ρηγματώσεις της ασφάλτου

Η κατακόρυφη μετακίνηση του ακρόβαθρου οφείλεται κυρίως απο:

- Απώλεια της φέρουσας ικανότητας του εδάφους
- Ρευστοποίηση του εδάφους
- Υποσκαφή
- Διαβρωση του υλικού θεμελίωσης του ακροβάθρου
- Κακή εκτίμηση στο μέτρο ελαστικότητας των επιφανειακών στρώσεων του εδάφους

Κάποια ακρόβαθρα που έχουν επιφανειακές θεμελιώσεις, υφίστανται πλευρική μετακίνηση διότι οι οριζόντιες δυνάμεις υπερβαίνουν τις δυνάμεις τριβής που τα σταθεροποιούν. Οι κύριες αιτίες της πλευρικής μετακίνησης είναι:

- Αστοχία του πρανούς
- Το φαινόμενο της στερεοποίησης

#### **4.3.5 Επιθεώρηση Μεσοβάθρων**

Οι επιθεωρήσεις των μεσοβάθρων δεν είναι εξειδικευμένες και συσχετίζονται με τους ελέγχους που πραγματοποιούνται στα ακρόβαθρα. Οι μέθοδοι είναι ίδιες και η ευστάθεια των μεσοβάθρων είναι το ίδιο σημαντική με την ευστάθεια των ακρόβαθρων.

Συνοπτικά οι έλεγχοι που πρέπει να γίνονται στα μεσοβάθρα είναι οι ακόλουθοι:

- Οπτικός έλεγχος απο απόσταση
- Έλεγχος των αρμών στις θέσεις των ακρόβαθρων
- Έλεγχος για ρηγμάτωση των μεσοβάθρων
- Έλεγχος για καθίζηση των μεσοβάθρων
- Να γίνει έλεγχος για υποσκάφη
- Έλεγχος της κατακορυφότητας του μεσοβάθρου (με την χρήση του νήματος της στάθμης)

## **4.4 Επισκευές που πραγματοποιούνται σε μια Γέφυρα**

Οι πιο συνηθισμένες επισκευές που γίνονται σε μια γέφυρα είναι οι ακόλουθες:

- Αντικατάσταση εξαρτημάτων (αρμοί, εφεδράνα)
- Αντικατάσταση σωλήνων του συστήματος αποστράγγισης
- Συντήρηση της κοίτης ενός ποταμού με επανατοποθέτηση αδρανών υλικών
- Επισκευές ρηγματώσεων με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Αντικατάσταση διαβρωμένου οπλισμού
- Εργασίες για αποφυγή της διάβρωσης
- Αντικατάσταση της ασφάλτου του καταστρώματος
- Βάψιμο με ειδικά χρώματα στα σιδερένια μέρη της γέφυρας

### **4.4.1 Επίσκευή και αντικατάσταση των αρμών**

Για την επισκευή και την αντικατάσταση των αρμών εργαζόμαστε ως εξής:

A) Έαν το κατάστρωμα χρειάζεται επισκευή θα πρέπει να το καταβρέξουμε με νερό χωρίς να αφήσουμε λιμνάζοντα νερα και στην συνέχεια να τοποθετήσουμε την κατάλληλου πάχους πολυεστέρα στο διάκενο και να την διατηρήσουμε καθαρή.

B) Έαν το κατάστρωμα δεν χρειάζεται επισκευή τότε τοποθετούμε τα τεμάχια στην κατάλληλη θέση και να στερεωθούν με αγκυροβίδες. Ταυτόχρονα πρέπει να τοποθετηθούν και οι εποξειδικές ρητίνες οι οποίες μετά απο 36 ώρες σκλήρυνσης πρέπει να ακολουθήσει νέα σύσφιξη των αγκυροβίδων.

### **4.4.2 Αντικατάσταση Εφεδράνων**

Για την αντικατάσταση και επισκευή των εφεδράνων θα πρέπει καταρχήν να έχει προβλεφθεί ώστε να υπάρχει επαρκής χώρος εργασίας στα βάθρα καθώς επίσης και χώρος εργασίας για την τοποθέτηση των γρύλλων ανύψωσης. Η ανωδομή θα



πρέπει να ανυψωθεί για 40 mm τουλάχιστον, ενώ θα πρέπει να υπάρχει πρόνοια έτσι ώστε να μπορεί να απομακρυνθεί το εφέδρανο χωρίς να εμποδίζεται από τους γρύλλους.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> — Φθορές γεφυρών και σκυροδεμάτων γεφυρών

### 5.1 Φθορές ακροβάθρων

Το ακρόβαθρο λειτουργεί εκτός από στήριξη του φορέα και ως τοίχος αντιστήριξης παραλαμβάνοντας τις ωθήσεις που προέρχονται από το επίχωμα αναλαμβάνοντας μεγάλα φορτία. Για αυτό τον λόγο η ευστάθεια του ακροβάθρου έχει μεγάλη σημασία.

Τα πιο συχνά προβλήματα που συναντούνται στα ακρόβαθρα είναι η κατακόρυφη μετακίνηση, η οριζόντια μετακίνηση και η στρέψη του ακροβάθρου.

Σύμφωνα με τον Παπαδάκη (2010) Η κατακόρυφη μετακίνηση του ακροβάθρου οφείλετε στους παρακάτω λόγους:

- Ρευστοποίηση του εδάφους
- Υποσκαφή
- Απώλεια της φέρουσας ικανότητας του εδάφους
- Διάβρωση του υλικού θεμελίωσης



Εικόνα 20: Καθίζηση ακροβάθρου

Ο Ανέστης (2008) έγραψε η κατακόρυφη μετακίνηση του ακρόβαθρου διακρίνεται σε ομοιόμορφη ή διαφορική. Η ομοιόμορφη κατακόρυφη μετακίνηση των βάθρων της υποδομής έχει μικρή επίδραση στην κατασκευή. Έχουν παρατηρηθεί

τέτοιου είδους μετακινήσεις μέχρι 0,30 m χωρείς ιδιαίτερα προβλήματα. Οι διαφορικές καθιζήσεις δημιουργούν πιο σοβαρά προβλήματα από τις ομοιόμορφες διαφορικές καθιζήσεις μπορούν να συμβούν ανάμεσα στα ακρόβαθρα και τα μεσόβαθρα της γέφυρας και να προκαλέσουν βλάβες ανάλογα του μεγέθους τους , του μήκους του ανοίγματος και του δομικού τύπου της γέφυρας . Μπορούν επίσης κατά μήκος ή και κατά πλάτος του ακρόβαθρου, αυτό μπορεί να προκαλέσει άνοιγμα του αρμού ανάμεσα στο ακρόβαθρο και τον περυγότοιχο ή να προκαλέσει ρηγμάτωση του βάθρου.

Όπως προαναφεράμε το ακρόβαθρο λειτουργεί και ως τοίχος αντίστηριξης δεχόμενο τις οριζόντιες δυνάμεις απο τα επιχώματα. Η πλευρική μετακίνηση δημιουργείται όταν οι οριζόντιες δυνάμεις που ασκούνται υπερβαίνουν τις δυνάμεις τριβής που τα σταθεροποιούν.

Τα αίτια που δημιουργούν τις πλευρικές μετακινήσεις είναι:

- Αστοχία του πρανούς
- Αλλαγές στα χαρακτηριστικά του εδάφους
- Το φαινόμενο της στερεοποίησης

Στην επόμενη εικόνα (εικόνα 21) φαίνεται η διάνοιξη του αρμού στο ακρόβαθρο απο οριζόντια και κατακόρυφη μετακίνηση.



Εικόνα 21: Διάνοιξη αρμού απο οριζόντια και κατακόρυφη μετακίνηση

Σε ότι αφορά την στρέψη του ακρόβαθρου αυτή οφείλεται κυρίως στις μη συμμετρικές καθιζήσεις του εδάφους και στις πλευρικές μετακινήσεις λόγω οριζόντιων εδαφικών δυνάμεων.

Τα αίτια που δημιουργούν την στρέψη των ακρόβαθρων είναι:

- Η υποσκαφή
- Ο κορεσμός του πρανούς
- Η απώλεια τις φέρουσας ικανότητας του εδάφους
- Η διάβρωση του πρανούς στις πλευρές των ακροβάθρων

### **5.1.2 Φθορές Ο.Σ στα ακρόβαθρα**

Σύμφωνα με τον Αργυρούδη κ.α (2011) στα ακρόβαθρα δημιουργούνται και φθορές στο σκυρόδεμα την αποκατάσταση των οποίων θα εξετάσουμε στο υπόλοιπο κεφάλαιο.

Οι φθορές που δημιουργούνται στο σκυρόδεμα ενός ακροβάθρου είναι η ρηγμάτωση, η αποφλοίωση, η διάβρωση, η θράυση και οι γυμνοί οπλισμοί. Πιο αναλυτικά για τις φθορές του σκυροδέματος θα αναφερθούμε στην επόμενη παράγραφο.

Ο Ρεπεντζέρης κ.α(2009) έγραψαν πως όλες οι προαναφερόμενες φθορές μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους. Δηλαδή αν ο οπλισμός του ακρόβαθρου είναι και δεν συντηρηθεί το ακρόβαθρο, θα ακολουθήσει η διάβρωση και στην συνέχεια η αποφλοίωση του σκυροδέματος. Η ρηγμάτωση μπορεί να δημιουργηθεί από πολλές αιτίες, όπως για παράδειγμα από συστολή - διαστολή του τσιμέντου κατά την σκυροδέτηση, ή από την οξείδωση του οπλισμού και από πολλές ακόμη αιτίες. Οι γυμνοί οπλισμοί μπορεί να υπάρχουν είτε από λάθος στο καλούπωμα ή από κάποια πρόσκρουση οχήματος.



**Εικόνα 22: Ρωγμές ακρόβαθρου**

### **5.1.3 Υποσκαφή**

Η διάβρωση του εδάφους λόγω της ορμητικής ροής του νερού στα θεμέλια της γέφυρας δημιουργεί την υποσκαφή των ακροβάθρων. Ο κίνδυνος της υποσκαφής αυξάνεται την χειμερινή περίοδο σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων όπου τα νερά είναι πιο ορμητικά.

Σε μερικές περιπτώσεις , η υποσκαφή οδήγησε σε αστοχίες γεφυρών που ενίοτε με την σειρά τους προκάλεσαν σημαντικές απώλειες σε ανθρώπινες ζωές . Στην γέφυρα του Ρίο-Αντίρριο πάνω από τα θεμέλια των βάθρων τοποθέτησαν χοντρό χαλίκι και πέτρες για να μην παρασύρει η ροή του νερού το έδαφος γύρω από τα βάθρα και δημιουργηθεί υποσκαφή.



**Εικόνα 23: Υποσκαφή ακροβάθρων**

## **5.2 Φθορές μεσοβάθρων και πτερυγότοιχων**

### **5.2.1 Πτερυγότοιχοι**

Όπως είπαμε στην προηγούμενη παράγραφο οι πτερυγότοιχοι αποτελούν την προέκταση των ακρόβαθρων με την διαφορά ότι δεν δέχονται κατακόρυφες δυνάμεις. Οι φθορές των πτερυγότοιχων είναι παρόμοιες με αυτές των ακροβάθρων. Σύμφωνα με τον Ανέστη (2008) οι φθορές των πτερυγότοιχων είναι:

- Οριζόντια μετακίνηση
- Στρέψη
- Κατακόρυφη μετακίνηση
- Φθορές Ο.Σ
- Προβληματική αποστράγγιση
- Διάβρωση του ερείσματος του δρόμου πίσω απο το ακρόβαθρο

### **5.2.2 Μεσόβαθρα**

Τα μεσόβαθρα, όπως και τα ακρόβαθρα, ανήκουν στην υποδομή της γέφυρας αναλαμβάνοντας να μεταφέρουν όλα τα φορτία στο έδαφος. Γι' αυτό η ευστάθειά τους είναι πολύ σημαντική. Οι συνήθεις φθορές και προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα μεσόβαθρα είναι:

- Κατακόρυφη μετακίνηση

Η κατακόρυφη μετακίνηση στα μεσόβαθρα οφείλεται συνήθως στην καθίζηση του εδάφους. Οι κύριες αιτίες είναι, όπως και στην κατακόρυφη κίνηση των ακροβάθρων, η απώλεια της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, η στερεοποίηση του αργιλικού εδάφους, η υποσκαφή και η ρευστοποίηση πολύ χαλαρού αμμώδους εδάφους. (Σιγάλας,2010)



**Εικόνα 24: Κατακόρυφη μετακίνηση του μεσόβαθρου**

- Οριζόντια μετακίνηση και στρέψη του μεσόβαθρου

Οριζόντια μετακίνηση ή στρέψη των μεσόβαθρων μπορεί να προκληθεί σε μια γέφυρα μόνο μετά από πρόσκρουση ενός διερχόμενου οχήματος πάνω στα μεσόβαθρα ή από έναν σεισμό.

- Φθορές Ο.Σ στα μεσόβαθρα

Οι φθορές του σκυροδέματος στα μεσόβαθρα δεν διαφέρουν από τις φθορές του σκυροδέματος που υφίστανται και τα ακρόβαθρα. Μια πρόσκρουση ενός οχήματος πάνω στο μεσόβαθρο μπορεί να προκαλέσει μόνο αποφλοίωση, αλλά στα μεσόβαθρα μπορεί να δημιουργηθεί και αποσάθρωση του σκυροδέματος ή διάβρωση του οπλισμού του σκυροδέματος. (Ανέστης, 2008)

## **5.3 Φθορές Ο.Σ σε γέφυρες**

### **5.3.1 Ερπυσμός**

Ως ερπυσμός χαρακτηρίζεται το μερίδιο της παραμόρφωσης του σκυροδέματος που εξαρτάται από τις τάσεις (δράση φορτίου), οι οποίες εμφανίζονται με την πάροδο

του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, ο ερπυσμός επηρεάζεται από το βαθμό ωρίμανσης του σκυροδέματος κατά την πρώτη επιβολή του φορτίου και εξαρτάται από την διάρκεια και το μέγεθος της φόρτισης. Τα αίτια που προκαλούν τον ερπυσμό δεν έχουν διευκρινιστεί πλήρως. Η μετακίνηση των μορίων του νερού στη μάζα του σκυροδέματος εξαιτίας των φορτίων είναι ένα από αυτά. Επιπλέον, ο ερπυσμός του σκυροδέματος εξαρτάται από την υγρασία, τις διαστάσεις του στοιχείου και τη σύνθεση του σκυροδέματος. Πιο αναλυτικά, το μέγεθος του ερπυσμού εξαρτάται από:

- Τον ξηρό αέρα και τον υδατοτσιμεντοσυντελεστή. Όσο πιο μεγάλος είναι ο υδατοτσιμεντοσυντελεστής τόσο περισσότερο αυξάνεται ο ερπυσμός.
- Το μέγεθος των δομικών στοιχείων. Όσο πιο μικρά είναι τα δομικά στοιχεία τόσο μεγαλύτερο ερπυσμό παρουσιάζουν συγκριτικά με άλλα πιο ογκώδη.
- Την ηλικία του σκυροδέματος. Το σκυρόδεμα νεαρής ηλικίας παρουσιάζει μεγαλύτερο ερπυσμό. (Αποστολόπουλος,2011)

### 5.3.2 Διάβρωση

Η διάβρωση κατά κύριο λόγο είναι αποτέλεσμα της εισόδου νερού ή υγρασίας στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό οφείλεται είτε στο πορώδες του σκυροδέματος είτε στις ρωγμές που υπάρχουν σε αυτό. Συγκεκριμένα, η αύξηση στο πορώδες οφείλεται είτε στην κακή συντήρηση του τσιμέντου είτε στην κακή αναλογία και ποιότητα των αδρανών υλικών.

Σύμφωνα με τον Ανέστη (2008) η διάβρωση προστατεύει τον οπλισμό που υπάρχει μέσα στο σκυρόδεμα, μέσω ενός λεπτού στρώματος ένυδρου οξειδίου που δημιουργείται λόγω της υψηλής αλκαλικότητας του σκυροδέματος. Αυτό το λεπτό στρώμα ένυδρου οξειδίου, προστατεύει τον οπλισμό, για μεγάλο χρονικό διάστημα, από κάθε εξωτερική προσβολή (παθητικοποίηση χάλυβα). Το pH της αλκαλικότητας του σκυροδέματος κυμαίνεται από 12,5 έως 13,2 και οφείλεται στην συγκέντρωση ισορροπίας  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  στο νερό των πόρων.

Σε γενικές γραμμές, η ύπαρξη χλωριόντων και  $\text{CO}_2$  προκαλούν φθορά στον οπλισμό. Ο οπλισμός, με τη βοήθεια των χλωριόντων, διαβρώνεται με ηλεκτροχημική δράση, ενώ το  $\text{CO}_2$  μεταβάλλει το pH του σκυροδέματος και καταστρέφει το



προστατευτικό κάλυμμα που υπάρχει γύρω από τον οπλισμό χάρη στην αλκαλικότητα του τσιμέντου.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διείσδυσης του CO<sub>2</sub> είναι, εκτός από το πορώδες του σκυροδέματος, είναι οι εξής:

- η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub>,
- η θερμοκρασία και,
- το ύψος της σχετικής υγρασίας.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την διείσδυση των χλωριόντων είναι:

- η θερμοκρασία περιβάλλοντος και,
- η χημική σύσταση του τσιμέντου.

Το προστατευτικό κάλυμμα που υπάρχει γύρω από τον οπλισμό μπορεί να καταστραφεί γενικά από την ενανθράκωση και τοπικά από τα ιόντα χλωρίου. Εάν η συγκέντρωση των χλωριόντων υπερβεί το 0,4 - 0,6% του βάρους του τσιμέντου έχουμε τοπικά βλενοειδή διάτρηση του προστατευτικού καλύμματος.

### **Μορφές διάβρωσης**

Οι μορφές διάβρωσης που μπορούμε να διακρίνουμε είναι οι ακόλουθες:

- Γενική ή ομοιόμορφη
- Τοπική
  - i. Διάβρωση κατά βελονισμό (pitting)
  - ii. Μικρορρηγματώδης διάβρωση (crevice)
  - iii. Διάβρωση μεταξύ των κόκκων (intergranular)
- Διάβρωση λόγω ανάπτυξης εξωτερικής διαφοράς δυναμικού
  - i. Γαλβανική δράση (galvanic)
  - ii. Ηλεκτρολυτική διάβρωση (electrolytic)
- Διάβρωση υπό μηχανική τάση (stress corrosion) (Κουρνέτας,2010)



**Εικόνα 25: Ομοιόμορφη διάβρωση**

### **5.3.3 Ενανθράκωση σκυροδέματος**

Η μείωση του pH του σκυροδέματος σε τιμές κάτω του 9, οφείλεται στην αντίδραση του  $\text{Ca(OH)}_2$  του νερού των πόρων με το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) της ατμόσφαιρας, που σταδιακά διαχέεται προς το εσωτερικό του σκυροδέματος μέσω των πόρων. Η διαδικασία αυτή, που έχει σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή του  $\text{Ca(OH)}_2$  σε ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ), ονομάζεται ενανθράκωση του σκυροδέματος.

Ο Κουρνέτας (2010) σημείωσε πως η ύπαρξη του  $\text{Ca(OH)}_2$  μαζί με αυτή άλλων υδροξειδίων, παρέχουν στον οπλισμό ένα προστατευτικό και αρκετά αλκαλικό περιβάλλον ( $\text{pH} \approx 12,5$ ). Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, ένα λεπτό στρώμα οξειδίων προστατεύει το χάλυβα από τη διάβρωση. Το στρώμα αυτό δε σταματά τη διάβρωση, αλλά περιορίζει αισθητά τους ρυθμούς επέκτασής της. Η μετατροπή, όμως, του  $\text{Ca(OH)}_2$  σε ασβεστόλιθο με τη βοήθεια του ανθρακικού οξέος, που προκύπτει από την ένωση του  $\text{CaO}$  με  $\text{H}_2\text{O}$ , μειώνει σταδιακά την αλκαλικότητα στον οπλισμό. Το pH που σηματοδοτεί αυτή τη μετάβαση είναι περίπου 9, ενώ ένα πλήρως ενανθρακωμένο σκυρόδεμα έχει  $\text{pH} \approx 8$ .

Η ενανθράκωση δεν αποτελεί πρόβλημα για το σκυρόδεμα. Αντιθέτως, η μετατροπή του υδροξειδίου του ασβεστίου σε ασβεστόλιθο δίνει ένα πιο πυκνό υλικό (χαμηλό πορώδες) με μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή.

Ωστόσο, η πιο σοβαρή επίπτωση της ενανθράκωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ότι μειώνει την αλκαλικότητα του τσιμέντου με συνέπεια την οξείδωση του οπλισμού. Επιπλέον, συνέπειες της ενανθράκωσης αποτελούν:

- Η αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (30 - 100%)
- Η μείωση του πορώδους
- Η αύξηση του ερπυσμού και της ταχύτητάς του
- Η αύξηση της συστολής του σκυροδέματος λόγω της αποβολής του νερού.

Η διάβρωση του οπλισμού προκαλεί διόγκωση, η οποία στη συνέχεια προκαλεί εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα, που προκαλούν ρωγμές και αποκόλληση της επικάλυψης του οπλισμού. Η οξείδωση του οπλισμού έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της μηχανικής αντοχής του. (Ανέστης,2008)

#### **5.3.4 Ρωγμές σκυροδέματος**

Βασική αιτία για την δημιουργία ρωγμών στα δομικά στοιχεία αποτελεί η μικρή αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό. Επομένως, η εμφάνιση ρωγμών στην εφελκυσόμενη ζώνη των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι αναπόφευκτη. Οι ρωγμές δεν επηρεάζουν την ανθεκτικότητα ή τη λειτουργικότητα της κατασκευής με την πάροδο των χρόνων, εφόσον περιοριστεί το πλάτος των ρωγμών σε επιτρεπτά όρια. Ο Κανονισμός απαιτεί οι ρωγμές που εμφανίζονται σε συνθήκες λειτουργίας να μην προκαλούν ελαττώματα όπως:

- Να μην εμποδίζουν ή παραβιάζουν τη λειτουργικότητα της κατασκευής.
- Να μη μειώνουν την πλαστιμότητα της διατομής και να μην προκαλούν προβλήματα αισθητικής.
- Να μην προκαλούν ανησυχία και αίσθημα φόβου στον χρήστη του δομήματος.
- Να μη θέτουν υπό αμφισβήτηση την ανθεκτικότητα της κατασκευής με την πάροδο των χρόνων, π.χ. λόγω διάβρωσης του οπλισμού, αν το πλάτος της ρωγμής υπερβεί το επιτρεπτό όριο.

Το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό το οποίο φθείρεται από τους εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. καιρικές συνθήκες) και το οποίο αντιδρά «μηχανικά» από τις φορτίσεις της γέφυρας και από της φορτίσεις που δέχεται η γέφυρα. Οι φθορές αυτές προκαλούν με τη σειρά τους ρωγμές. Οι ρωγμές διακρίνονται σε:

- Εγκάρσιες ρωγμές
- Διαμήκειες ρωγμές
- Οριζόντιες ρωγμές
- Κάθετες και διαγώνιες ρωγμές
- Ρωγμές γωνιών
- Ρωγμές προεξοχών

Επίσης οι ρωγμές διακρίνονται σε:

- Ø Πλαστικές ρωγμές διακένωσης
- Ø Ρωγμές διάβρωσης (θα αναφερθούμε εκτενέστερα στην επόμενη παράγραφο)
- Ø Ρωγμές λόγω της οξείδωσης που προκαλείται από την επίθεση χλωριδίου στον οπλισμό του σκυροδέματος
- Ø Ρωγμές λόγω της οξείδωσης του χάλυβα που προκαλείται από ενανθράκωση του σκυροδέματος
- Ø Ρωγμές που οφείλονται στην οξείδωση του οπλισμού, που προκαλείται από την έκθεση στην υγρασία και στις ατμοσφαιρικές συνθήκες
- Ø Ρωγμές λόγω του αλκαλίου (στο τσιμέντο) που αντιδρά με ορισμένους αντιδραστικούς τύπους συνόλων
- Ø Ρωγμές κατασκευής, φορτίων και χειρισμού. (Ανέστης,2008)

### **5.3.5 Ρωγμές διάβρωσης**

Οι διαδικασίες διάβρωσης που μπορούν να προκαλέσουν τις ρωγμές, περιλαμβάνουν την ψύξη και τη θέρμανση, το πάγωμα και το ξεπάγωμα, την ξήρανση και το βρέξιμο.

Όλοι οι τύποι σκυροδέματος είναι πορώδεις και ανάλογα με το πορώδες του κάθε σκυροδέματος (χαμηλό ή υψηλό) θα απορροφηθεί η υγρασία. Για παράδειγμα, όταν

το σκυρόδεμα εκτίθεται σε αρκετά χαμηλή θερμοκρασία, η υγρασία παγώνει με αποτέλεσμα την επέκτασή της και συνεπώς, η υδραυλική πίεση που ασκείται να προκαλεί ρωγμές στη συγκεκριμένη επιφάνεια.

Οι διαδικασίες διάβρωσης που μπορούν να προκαλέσουν τις ρωγμές στο σκυρόδεμα είναι το εναλλασσόμενο βρέξιμο – ξήρανση και η θέρμανση - ψύξη. Σε αυτές τις δύο διαδικασίες οφείλονται οι αλλαγές του όγκου στο σκυρόδεμα. Εάν οι αλλαγές στον όγκο είναι υπερβολικές, οι ρωγμές που εμφανίζονται είναι παρόμοιες με εκείνες που παρατηρούνται στην διακένωση ξήρανσης και στις θερμικές πιέσεις. (Ανέστης,2008)

### **5.3.6 Ρωγμές οξείδωσης του χάλυβα**

Η ενίσχυση, ο χάλυβας προσημπίεσης καθώς και τα περισσότερα από τα στοιχεία χάλυβα, εάν εκτεθούν στην υγρή ατμόσφαιρα θα οξειδωθούν λόγω της χημικής αντίδρασης που γίνεται. Αυτή η αντίδραση θα συνεχιστεί ακόμα κι αν ο χάλυβας ενσωματώνεται στο σκυρόδεμα.

Δεδομένου ότι η σκουριά καταλαμβάνει πολύ περισσότερο όγκο από το βασικό μέταλλο, η διαδικασία δημιουργεί την ακτινωτή επεκτατική πίεση στο περιβάλλον του σκυροδέματος και το σπάσιμο, που διαμορφώνει αρχικά μία γραμμή ρωγμής. Αυτό μπορεί περαιτέρω να οδηγήσει στο χωρισμό των φύλλων του σκυροδέματος (απελασματοποίηση).

Σύμφωνα με τον Ανέστη (2008) επιπλέον, ο χάλυβας ενίσχυσης διαβρώνεται επειδή η αλκαλικότητα του σκυροδέματος μειώνεται εξαιτίας της μείωσης του pH μέσω της ενανθράκωσης, που μειώνει την παθητικότητα γύρω από το χάλυβα.

## **5.4 Κατηγορίες σύνθετων υλικών που χρησιμοποιούνται στην επισκευή Ο.Σ σε γέφυρες**

Η ενίσχυση του οπλισμένου σκυροδέματος των γεφυρών τα τελευταία χρόνια γίνεται απο σύνθετα υλικά όπου συνδυάζονται ινές πολυμερών (άνθρακας,γυαλί) σε μήτρες εποξειδικής ρητίνης. Η χρήση των σύνθετων υλικών στην ενίσχυση του οπλισμένου σκυροδέματος λόγω φθορών δεν χρησιμοποιείται μόνο στις γέφυρες αλλά και σε όλες τις κατασκευές απο οπλισμένο σκυρόδεμα.

Τα σύνθετα υλικά είναι επίσης γνωστά και ως ινοπλισμένα πολυμερή και εφαρμόζονται στις εξωτερικές επιφάνειες των δομικών στοιχείων της γέφυρας και αποτελούν ένα εξωτερικό οπλισμό και μόνιμη ενίσχυση των μεσοβάθρων και ακροβάθρων. Ο προσανατολισμός των ινών των πολυμερών είναι τοποθετημένος με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να παραλαμβάνουν τις εφελκυστικές τάσεις. (Καιάφας και Τσαμόπουλος,2006)

Κύρια πλεονεκτήματα των σύνθετων υλικών όσον αφορά τις αντισεισμικές ενισχύσεις είναι το χαμηλό βάρος, έτσι ώστε να μην επιβαρύνεται περαιτέρω η κατασκευή, καθώς δεν αυξάνουν σημαντικά το ίδιο βάρος της δοκού, η ανθεκτικότητα σε διάβρωση, η μεγάλη εφελκυστική αντοχή, τομέα που υστερούν κατά πολύ οι κατασκευές από σκυρόδεμα. Επίσης σημαντικό είναι η παραγωγή των υλικών αυτών σε πολύ μεγάλα μήκη, η μεγάλη ευκαμψία τους που έχει ως συνέπεια την εύκολη και ταχύτατη εφαρμογή τους σε δύσκολα προσβάσιμα μέρη των κατασκευών.

Ένα παράδειγμα χρήσης των σύνθετων υλικών στην ενίσχυση των δομικών στοιχείων των γεφυρών και στην αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων έχουμε από τις ΗΠΑ όπου το Υπουργείο Συγκοινωνιών της Καλιφόρνια (CALTRANS) πρωτοπόρησε με τη χρήση «υφασμάτων» ινοπλισμένων πολυμερών για τη σεισμική ενίσχυση βάθρων γεφυρών στην Καλιφόρνια πριν από περίπου μια δεκαετία. Η συμπεριφορά των συστημάτων επισκευής και ενίσχυσης κατασκευών με σύνθετα υλικά σε μεγάλο εύρος εφαρμογών κατά την τελευταία εικοσαετία έχει δοκιμαστεί με εξαιρετική επιτυχία και ιδιαίτερα σε χώρες με δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες όπως οι Η.Π.Α., ο Καναδάς, η Ιαπωνία, η Ελβετία, η Αυστραλία κ.α.

Σύμφωνα με τον Καρατζίκη (2007) πραγματοποιήθηκε η ενίσχυση, με στόχο τη σεισμική αναβάθμιση, της γέφυρα του ΗΣΑΠ στο σιδηροδρομικό σταθμό Αμαρουσίου, ηλικίας 30 ετών. Τα μεσόβαθρα (160 τεμάχια) και οι κύριες δοκοί της ανωδομής, που αποτελούν πλαίσια προεντεταμένου σκυροδέματος κατά τη διαμήκη διεύθυνση, ενισχύθηκαν σε όλο το μήκος της γέφυρας (300 μ). Εφαρμόστηκαν ελάσματα άνθρακα κατάλληλα αγκυρομένα στα άκρα με υφάσματα ινών υάλου και ειδικά αγκύρια για την καμπτική ενίσχυση των μεσόβαθρων (Εικόνα 26) και των κυρίων δοκών σε αρνητικές ροπές στις στηρίξεις.



Εικόνα 26: Ενίσχυση Υποστυλωμάτων γέφυρας στον ΗΣΑΠ Αμαρουσίου απο σύνθετα υλικά

### 5.3.1 Ιδιότητες σύνθετων υλικών απο ινοπλισμένα πολυμερή

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ανόργανες ή οργανικές ίνες (γυαλιού, άνθρακα ή αραμιδής) υψηλής εφελκυστικής αντοχής (που οφείλεται στη μικρή διάμετρό τους, της τάξης των 5 – 25 μm) σε μήτρα από πολυμερές (εποξειδική ρητίνη, πολυεστέρας κλπ.) και έχουν βάρος ίσο με ¼ περίπου του χάλυβα. Το μητρικό υλικό (ρητίνη) έχει φτωχές μηχανικές ιδιότητες και η συμπεριφορά του εξαρτάται από τη διάρκεια και το είδος της φόρτισης καθώς και από τη θερμοκρασία. Οι ίνες γυαλιού είναι οι οικονομικότερες αλλά η ευπάθεια τους σε αλκαλικές και όξινες ενώσεις σε συνδυασμό με τη μη ικανοποιητική τους αντοχή σε κόπωση τις κάνει ακατάλληλες για χρήση σε ΙΟΠ φύλλα για ενίσχυση κατασκευών. Οι ίνες άνθρακα και αραμιδής, έχουν αντοχή πολύ καλύτερη από τις ίνες γυαλιού, με τις ίνες άνθρακα να έχουν σχεδόν τη διπλάσια ακαμψία από της ίνες αραμιδής, ενώ είναι και λιγότερο ευπαθείς από τους άλλους δύο τύπους ινών και έτσι προτιμώνται για την ενίσχυση κατασκευών.

Χαρακτηριστικό των σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή είναι η σχεδόν γραμμική καμπύλη έντασης – παραμόρφωσης έως την αστοχία τους. Οι ίνες έχουν μόνο ελαστική παραμόρφωση ενώ τα υλικά που συνθέτουν τις μήτρες δέχονται και πλαστική παραμόρφωση. Εφόσον όμως η συμπεριφορά των σύνθετων υλικών εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις ίνες, είναι πολύ σπάνιο τα ινοπλισμένα πολυμερή που χρησιμοποιούνται για επισκευή και ενίσχυση κατασκευών να παρουσιάζουν

πλαστική παραμόρφωση ή έστω διαρροή. Από την άλλη όμως, η θραύση είναι η τυπική μορφή αστοχίας ενός σύνθετου υλικού που καταπονείται από οριακή τιμή τάσης. (Τριανταφύλλου,2004)

### 5.3.2 Ίνες

Σύμφωνα με τους Καϊάφα και Τσαμόπουλο (2006) οι ίνες έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό την εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή και τη γραμμική ελαστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση τους. Οι βασικοί τύποι ινών όσον αφορά τον τομέα των ενισχύσεων είναι οι ίνες άνθρακα, οι ίνες γυαλιού και οι ίνες πολυαραμίδης.

Οι πρώτες ίνες άνθρακα εμφανίστηκαν στο εμπόριο στα τέλη της δεκαετίας του 1950. Ο άνθρακας παράγεται από πολυακρυλονιτρίλιο,πίσσα ή ρεγιόν με πρόλυση σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Οι ίνες άνθρακα έχουν τη δυνατότητα να αποκτήσουν μηχανικές ιδιότητες έως και 100 Gra εφελκυστικής αντοχής και 1000 Gra μέτρο ελαστικότητας.

Τα φύλλα από ανθρακονήματα και εποξική ρητίνη είναι ανθεκτικά σε κόπωση, ερπυσμό και διάβρωση. Αντίθετα, λόγω της συμπεριφοράς του ως ευγενές μέταλλο, ο άνθρακας έχει υψηλή αγωγιμότητα και μπορεί να προκαλέσει γαλβανική διάβρωση των μετάλλων που έρχονται σε επαφή μαζί του. Έτσι πρέπει να αποφεύγεται η απ'ευθείας επαφή του χάλυβα με τις ίνες άνθρακα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος των ανθρακονημάτων παρότι παραμένει υψηλό σε σχέση με τα άλλα είδη ινών, έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.

Οι ίνες γυαλιού εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στο εμπόριο στα τέλη της δεκαετίας του 1930. Παρασκευάζονται από λιωμένο γυαλί πυκνότητας 2300 – 2500 kgf/m<sup>3</sup>

Τα φύλλα ύαλου παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή σε κόπωση από τα φύλλα άνθρακα και πολυαραμίδης αλλά μεγαλύτερη από τα περισσότερα μέταλλα. Δεν παρουσιάζουν ερπυστικές παραμορφώσεις (όπως και ο άνθρακας), αλλά είναι ευπαθείς σε διάβρωση. Ο ύαλος λειτουργεί ως εξαιρετικό θερμομονωτικό και ηλεκτρομονωτικό υλικό. Οι ίνες ύαλου, αν και είναι ανθεκτικές στους περισσότερους διαλύτες, αντιδρούν με ορισμένες αλκαλικές ενώσεις και ισχυρά οξέα. Οι παραπάνω ιδιότητες επηρεάζονται σημαντικά από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τη μήτρα



που επιλέγεται για τη παραγωγή του σύνθετου υλικού. Το χαμηλό κόστος των ινών ύαλου είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των άλλων τύπων ινών.(Τριανταφύλλου,2004)

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 συναντάμε τις πρώτες ίνες πολυαραμίδης. Διακρίνονται σε αυτές που προέρχονται από αρωματικό πολυαμίδιο (Kevlar, Twaron) και σε αυτές που προέρχονται από αρωματικό πολυαιθεραμίδιο (Technora).

Κύριο χαρακτηριστικό είναι η υψηλή αντοχή τους σε κρουστικά φορτία. Επιπλέον, παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε κόπωση και τριβή και είναι ανθεκτικές στους διαλύτες, με εξαίρεση τα ισχυρά οξέα και τις βάσεις. Λόγω της υδροφιλίας τους, έχουν μερική απώλεια αντοχής σε θερμό περιβάλλον με υψηλά ποσοστά υγρασίας. Η θλιπτική τους αντοχή είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη εφελκυστική, ενώ υπό δεδομένη τάση παρουσιάζουν ερπυστικές παραμορφώσεις.(Τριανταφύλλου,2004)

### **5.3.3 Κόλλα**

Σύμφωνα με τους Τσαμόπουλο και Καϊάφα (2006) η κόλλα που εφαρμόζεται μεταξύ του σκυροδέματος και των σύνθετων υλικών είναι μια εποξειδική ρητίνη δυο συστατικών.

Ο χρόνος εργασιμότητας, ο χρόνος εφαρμογής και η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης είναι τρεις έννοιες που πρέπει να κατανοηθούν για την ορθή χρήση της κόλλας (εποξειδική ρητίνη).

Ο χρόνος εργασιμότητας, είναι ο χρόνος τον οποίο μπορούμε να εκμεταλλευτούμε για να κάνουμε εύκολη χρήση της κόλλας πριν αυτή αρχίσει να σκληραίνει στο δοχείο όπου έγινε η ανάμιξη. Εξαρτάται από το τύπο της κόλλας, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη ποσότητα κόλλας που προκύπτει με την ανάμιξη των δύο συστατικών.

Ο χρόνος εφαρμογής, είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο η κόλλα διατηρεί τις συγκολλητικές της ιδιότητες σε ικανοποιητικό βαθμό. Μέσα στο χρόνο αυτό πρέπει να γίνει η επικόλληση του οπλισμού ενίσχυσης στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

### 5.3.4 Μήτρα

Η συγκόλληση μεταξύ των ινών επιτυγχάνεται με χρήση της μήτρας. Η μήτρα είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές, το οποίο εκτός από το ότι συνδέει τις ίνες μεταξύ τους, τις προστατεύει, εξασφαλίζει τη μεταφορά δυνάμεων σε αυτές αλλά και καθορίζει αρκετές μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών όπως η αντοχή κάθετα στη διεύθυνση των ινών, η διατμητική και η θλιπτική αντοχή. Ο συνηθέστερος τύπος μήτρας είναι οι ρητίνες. Είναι απαραίτητη η συνάφεια μεταξύ των ινών και της ρητίνης έτσι ώστε να αναπτυχθεί χημική και μηχανική σύνδεση μεταξύ των δύο αυτών υλικών. (Τριανταφύλλου,2004)

Οι ρητίνες είναι περισσότερο ευπαθείς στη θερμότητα και στους χημικούς διαλύτες, τα οξέα, τις βάσεις και το νερό σε σχέση με τις ίνες.

Επιπλέον όλες οι ρητίνες εμφανίζουν σημαντικές ερπυστικές παραμορφώσεις. Ένα εξαιρετικό πλεονέκτημα που έχουν οι ρητίνες είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής τους, στην οποία συμβάλλει σημαντικά η προένταση των σύνθετων υλικών. Οι φυσικές ιδιότητες των μήτρων πολυμερών αλλάζουν με το πέρασ του χρόνου και την αλλαγή της φόρτισης.

Στο εμπόριο αυτή την στιγμή μπορούμε να βρούμε τριών ειδών ρητίνες:

- Τις εποξειδικές ρητίνες
- Τις πολυεστερικές ρητίνες
- Τις Βινυλεστερικές ρητίνες

### 5.3.5 Σύνθετα υλικά

Τα σύνθετα υλικά αποτελούν συνδυασμό συνεχών ινών και πολυμερικής μήτρας. Σε περίπτωση ελασμάτων σύνθετων υλικών οι ίνες καταλαμβάνουν το 50 – 70% του συνολικού όγκου ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για μανδύες που κατασκευάζονται με επί τόπου εφαρμογή ρητίνης είναι 20 –35%.

Κανένας δε μπορεί να αμφισβητήσει την αξιοπιστία της χρήσης των ινοπλισμένων πολυμερών η οποία καταδεικνύεται και από την πρακτική αποτελεσματικότητα του όλο και μεγαλύτερου πλήθους των εφαρμογών τους.

Στοχεύοντας όμως στην εξάλειψη των μειονεκτημάτων της τεχνικής αυτής ερευνάται η αντικατάσταση της χρήσης των οργανικών πολυμερικών υλικών από ανόργανα υλικά με βάση το τσιμέντο. Η νεότερη αυτή τεχνική των σύνθετων υλικών ανόργανης μήτρας, εισήχθη στο τέλος της δεκαετίας του 1990 ακολουθώντας την αυξανόμενη παραγωγή των δομικών κονιαμάτων υψηλών επιδόσεων.

Ο Βρεττός το 2009 έγραψε πώς το σύνθετο υλικό που προκύπτει από την προσανατολισμένη επικόλληση των ινών μέσα στο υλικό της μήτρας, έχει σαφώς πολύ καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, εφελκυστική αντοχή και δυσκαμψία, σύμφωνα με τη διεύθυνση των ινών από ότι η μήτρα μόνη της. Η μεταφορά δυνάμεων μεταξύ της μήτρας και των ινών, γίνεται κυρίως με ανάπτυξη διατμητικής τάσης στη διεπιφάνειά τους. Η αστοχία του ιδίου του συνθέτου υλικού, το οποίο εφελκύεται σύμφωνα με τη διεύθυνση των ινών του, μπορεί να συμβεί με δύο διαφορετικούς τρόπους. Πρώτος πιθανός τρόπος αστοχίας είναι η ολίσθηση των ινών μέσα στη μήτρα, και συμβαίνει όταν η συνάφεια ίνας-μήτρας δεν είναι αρκετά ισχυρή ώστε να εξαντληθεί η εφελκυστική αντοχή των ινών. Έτσι η αποκόλληση των ινών προηγείται της θραύσης τους. Προφανώς, ο δεύτερος πιθανός τρόπος αστοχίας, προκύπτει όταν οι ίνες είναι καλά αγκυρωμένες στη μήτρα και υπάρχει επαρκής διατμητική αντοχή της μεταξύ τους διεπιφάνειας, ώστε να αποτραπεί η αποκόλληση της ίνας προτού αυτή φτάσει στη θραύση της.

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

- Υγρής εφαρμογής ή επι τόπου σκλήρυνσης της μήτρας
- Προκατασκευασμένα στα οποία η σκλήρυνση της μήτρας έχει προηγηθεί της εφαρμογής. (Βρεττός,2009)

### **5.3.6 Τσιμεντοκονιάματα απο πολυμερή**

Τα σύνθετα υλικά μπορούν να αντικαταστήσουν και τα τσιμεντοκονιάματα που χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων σε γέφυρες και κατασκευές. Αυτό μπορεί να γίνει με δυο τρόπους:

- Με αντικατάσταση μέρους του νερού με υδατοδιαλυτό πολυμερές
- Με αντικατάσταση του τσιμέντου απο πολυμερές

Στο εμπόριο η ονομασία που έχει επικρατήσει για τα κονιάματα με πολυμερή είναι τα ρητινοκονιάματα διότι η ρητίνη είναι το σύννηθες πολυμερές που χρησιμοποιείται. Τα ρητινοκονιάματα χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση μικρών βλαβών στο σκυρόδεμα. Τα ρητινοκονιάματα είναι ελαφρώς ακριβότερα απο τα τσιμεντοκονιάματα αλλά έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα σε σχέση με τα ρητινοκονιάματα:

- Οι επιτυγχάνόμενες αντοχές σε θλίψη είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερες απο τα αντίστοιχα τσιμεντοκονιάματα ενώ η αντοχή σε εφελκυσμό είναι είκοσι φορές μεγαλύτερες σε σχέση με τα τσιμεντοκονιάματα
- Αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητας κατα 50% σε σχέση με το συμβατικό τσιμεντοκονίαμα
- Επιτυγχάνεται γρήγορη σκλήρυνση με την άυξηση της θερμοκρασίας ενώ σε πολύ μικρο χρονικό διάστημα επιτυγχάνονται υψηλές αντοχές
- Έχουν μεγαλύτερη αντίσταση στην επιφανειακή φθορά και στην προσβολή απο παγετό και χημικά ενώ έχει παρατηρηθεί μείωση του πορώδους και της συστολής ξήρανσης.

Τα ρητινοκονιάματα έχουν όμως και τρία μειονεκτήματα σε σχέση με τα τσιμεντοκονιάματα. Τα μειονεκτήματα αυτά έχουν να κάνουν με:

- Με τον υψηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που αυτά έχουν
- Τον υψηλό ερπιστικό συντελεστή και
- Την μικρή αντοχή σε πυρκαγιά. (Ολοκληρωμένα συστήματα ενίσχυσης κατασκευών με σύνθετα υλικά”, ISOMAT A.B.E.E., 2011)

### 5.3.7 Σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται στην ενίσχυση του Ο.Σ

Τα σύνθετα υλικά που κυκλοφορούν στο εμπόριο και χρησιμοποιούνται στις τεχνικές κατασκευές αλλά και στην αποκατάσταση των φθορών του οπλισμένου σκυροδέματος είναι προϊόν μελέτης και έρευνας για πάνω από 30 χρόνια. Τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- GRC(Glass Reinforced Concrete). Κατασκευάστηκε για πρώτη φορά από τον δόκτορα A.J.Majumdar στην Αγγλία το 1967. Είναι ένα σύνθετο υλικό αποτελούμενο από τσιμεντοειδή μήτρα οπλισμένη με ίνες γυαλιού.
- AR-GRC (Alkali Resistant-Glass Reinforced Concrete). Παρασκευάστηκε για πρώτη φορά το 1979 όπου χρησιμοποιήθηκαν ίνες αλκαλικής αντίστασης προκειμένου να μειωθεί η επίδραση του αλκαλικού τσιμεντοειδούς περιβάλλοντος στις ίνες γυαλιού. Επίσης οι ίνες αυτές μπορούν, αν διαθέτουν κάποια ειδική προστατευτική μεμβράνη που τις βοηθάει, να αυξήσουν την εργασιμότητα τους και να καθυστερήσουν ή ακόμα και να αναβάλουν την δημιουργία κρυστάλλων ασβεστίου ανάμεσα στις δέσμες τους κατά την διαδικασία ενυδάτωσης του υλικού.
- PGRC (Polymer Glass Reinforced Concrete). Εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην Ολλανδία. Αποτελείται από τσιμεντοειδή μήτρα, ίνες γυαλιού και πρόσθετα πολυμερικής σύστασης. τα πολυμερή αυτά δεν είναι παρά μόρια σκόνης αρκετά μεγάλου μεγέθους ώστε μετά την κατακάθιση του υλικού να καλύπτουν όλα τα μικρότερα συστατικά των κονιαμάτων. Η κατακάθιση των πολυμερών γίνεται πριν ή κατά την διάρκεια της ενυδάτωσης της τσιμεντοειδούς μήτρας και αυξάνει την αντοχή του GRC, προστατεύοντας τις ίνες γυαλιού από την αλκαλική δράση και γεμίζοντας τα κενά μεταξύ αυτών.
- CRC (Carbon Reinforced Cement). Αποτελείται από τσιμεντοειδή μήτρα και ίνες άνθρακα. Αποτελέσματα από δοκιμές σε λυγισμό, όπου τα δοκίμια κρατούνταν σε υγρό περιβάλλον 75 οC, έδειξαν διατήρηση της αρχικής εφελκυστικής αντοχής και πολύ καλή απόκριση των ανθρακικών ινών στο αλκαλικό περιβάλλον. (Καϊάφας και Τσαμόπουλος,2006)

### 5.3.8 Τεχνικές εφαρμογής

Η βασική τεχνική, η οποία είναι και η πλέον συνηθισμένη και εφαρμόζεται και στην Ελλάδα περιλαμβάνει την δια χειρός επικόλληση είτε υφασμάτων (προεμποτισμένων με ρητίνη ή μη προεμποτισμένων), είτε προκατασκευασμένων στοιχείων (π.χ. ελάσματα) σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, μέσω εποξειδικών ρητινών.

Την τεχνική αυτή θα την εξετάσουμε πιο αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο, όμως μπορούμε να αναφέρουμε κάποιες βασικές τεχνικές.

Πριν την εφαρμογή των συνθέτων υλικών, πρέπει να γίνεται κατάλληλη προεργασία της επιφάνειας σκυροδέματος επί της οποίας θα γίνει η επικόλληση. Οι επιφάνειες αυτές πρέπει να είναι απαλλαγμένες από σαθρό υλικό, επίπεδες (πλήρωση μεγάλων ρωγμών με ένεμα, επισκευή κοιλοτήτων με κονίαμα, εξομάλυνση προεξοχών), εκτραχυμένες (π.χ. με συρματοβουρτσα ή αμμοβολή ή υδροβολή), απόλυτα καθαρές και στεγνές (τυχόν υγρασία άνω του 4% επιβάλλει τη χρήση ειδικών ρητινών). (Μπουρνάς και Τριανταφύλλου, 2008)

Αφού προετοιμαστεί η επιφάνεια επί της οποίας θα γίνει η επικόλληση, αυτή επαλείφεται με τη συγκολλητική ουσία (κατά κανόνα εποξειδική ρητίνη). Το ύφασμα κόβεται με ψαλίδι στις απαιτούμενες διαστάσεις και αφού εμποτιστεί με ρητίνη, αν φυσικά δεν είναι προεμποτισμένο, τοποθετείται τεντωμένο στη νωπή επίστρωση και πατιέται με ρολό, ώστε αφενός να εμποτιστεί πλήρως και αφετέρου να απομακρυνθεί τυχόν εγκλωβισμένος αέρας. Εφόσον η μελέτη προβλέπει περισσότερες της μίας στρώσης, η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται. Τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα «πεταχτό» τσιμεντοκονίαμα για προστασία των φύλλων του συνθέτου υλικού από υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. πυρκαγιά) και άλλες περιβαλλοντικές προσβολές (Υ.Π.ΕΧ.Ω.Δ.Ε, 2001).

Πριν την έναρξη της διαδικασίας εφαρμογής των συνθέτων υλικών θα πρέπει να έχει κανείς υπόψη του τα εξής:

- Η εφαρμογή ελασμάτων σε σκυρόδεμα προϋποθέτει ελάχιστη εφελκυστική αντοχή του υποστρώματος της τάξης του 1.5 MPa. Η αντοχή αυτή μπορεί να εκτιμηθεί επί τόπου με δοκιμή τύπου pull-off.

- Τα ελάσματα συνθέτων υλικών θα πρέπει να κόβονται με τροχό ή πριόνι στο επιθυμητό μήκος, να καθαρίζονται σχολαστικά (π.χ. με διάλυμα ακετόνης) ή να αφαιρείται από αυτά η προστατευτική μεμβράνη (όπου υπάρχει) λίγο πριν από την εφαρμογή τους, να υφίστανται προσεκτική μεταχείριση από το τεχνικό προσωπικό το οποίο θα πρέπει να φορά απαραίτητα γάντια και να τοποθετούνται χωρίς να υφίστανται στρέβλωση
- Η επιλογή της ρητίνης θα πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη, εκτός από τις συνθήκες υγρασίας, και τις συνθήκες θερμοκρασίας, οι οποίες είναι καθοριστικές για τη σκλήρυνση της ρητίνης αλλά και για την μετέπειτα συμπεριφορά της. Η εφαρμογή των ρητινών σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος ενδέχεται να πρέπει να γίνεται σε συνδυασμό με επιβολή τοπικής θέρμανσης.
- Για να διευκολύνεται η εφαρμογή επιχρίσματος πάνω στα σύνθετα υλικά, θα πρέπει προτού σκληρυνθεί η εξωτερική στρώση ρητίνης να γίνει επίταση επαρκούς ποσότητας χαλαζιακής άμμου, ώστε να δημιουργηθεί τραχεία επιφάνεια.
- Κατά την εφαρμογή των υφασμάτων, θα πρέπει να αποφεύγονται οι πτυχώσεις ώστε οι ίνες να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθύγραμμες. Το ρολό με το οποίο θα εμποτίζεται το ύφασμα με ρητίνη, θα πρέπει να 'δουλεύει' προς την διεύθυνση των ινών και προς μία μόνο κατεύθυνση (όχι εμπρός-πίσω), ώστε να αποφευχθεί η 'χαλαρότητα' του υφάσματος και η δημιουργία πτυχώσεων, έως ότου η ρητίνη διαποτίσει το ύφασμα. Σε περίπτωση λάθους (π.χ. δημιουργία πτυχώσεων, λάθος κατεύθυνση ινών) και εφόσον δεν έχει παρέλθει ο ενεργός χρόνος εφαρμογής της ρητίνης, το ύφασμα θα πρέπει να αφαιρείται με τα χέρια και η εφαρμογή να επαναλαμβάνεται. Αν ο ενεργός χρόνος έχει παρέλθει, ύφασμα και ρητίνη θα πρέπει να απομακρυνθούν, να απορριφθούν και η εφαρμογή να γίνει εκ νέου.
- Για ενίσχυση έναντι διάτμησης, συνίσταται, στην περίπτωση ενίσχυσης πλακοδοκών, να γίνεται αγκύρωση των οπλισμών διάτμησης στην θλιβόμενη ζώνη
- Για ενίσχυση έναντι κάμψης, θα πρέπει να αποφεύγονται οι ματίσεις ελασμάτων (ή υφασμάτων) με υπερκάλυψη. Όπου αυτές είναι τελείως απαραίτητες, θα πρέπει να γίνονται (παράλληλα στην διεύθυνση των ινών) με μήκος υπερκάλυψης τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται ότι η εφελκυστική αστοχία

του οπλισμού θα προηγείται της αποκόλλησης στη μάτιση. Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση πάνω από τρεις στρώσεις ελασμάτων ή πέντε στρώσεις υφασμάτων. Επιπλέον, στις θέσεις απόληξης των ελασμάτων ή υφασμάτων, συνίσταται η επικόλληση υφασμάτων μορφής U ώστε να βελτιώνονται οι συνθήκες αγκύρωσης.

- Εάν η αγκύρωση δεν είναι εφικτή, συνίσταται η έμπηξη του υφάσματος σε εσοχή μέσω ράβδου και ακολούθως η επέκταση του στο κάτω μέρος της πλάκας, σε απόσταση περίπου ίση με 150 mm. Επιπλέον, όταν γίνεται καθολική περιτύλιξη υποστυλωμάτων με υφάσματα, η μάτιση κάθε τμήματος θα πρέπει να γίνεται σε διαφορετική πλευρά. (Βρεττός,2009)



## Κεφάλαιο 6ο – Αποκατάσταση σαθρών σκυροδεμάτων σε γέφυρες

### 6.1 Επισκευή υποστηλωμάτων σαθρών σκυροδεμάτων

Οι γέφυρες ανεξάρτητα από τη σπουδαιότητά τους αποτελούν τεχνικά έργα με εξαιρετικά μεγάλη σημασία για τα συγκοινωνιακά δίκτυα, τόσο για τη μεταφορά ατόμων, όσο και για τη διακίνηση αγαθών. Μπορούμε να τις διακρίνουμε σε δυο κατηγορίες βασιζόμενοι στην ηλικία τους και τον τρόπο κατασκευής τους ως εξής:

- Γέφυρες οι οποίες κατασκευάστηκαν πριν από είκοσι ή περισσότερα χρόνια σύμφωνα με παλαιότερους κανονισμούς και με μη σύγχρονα υλικά χωρίς επαρκή συντήρηση.
- Και νέες γέφυρες οι οποίες κατασκευάστηκαν σύμφωνα με σύγχρονους κανονισμούς, υλικά, διαδικασίες και επαρκή συντήρηση.

Οι μέθοδοι ενίσχυσης των βάρων είτε αυτά είναι ακρόβαθρα είτε είναι μεσόβαθρα στις γεφύρες περιλαμβάνουν διάφορες τεχνικές που θα παρουσιαστούν παρακάτω.

Οι τεχνικές αυτές είναι:

- Ενεργή περίσφιξη με προεντεταμένο πλέγμα
- Χρήση μανδύων απο σύνθετα υλικά όπως είναι τα ινοπλισμένα πολυμερή
- Κατασκευή μανδύων απο οπλισμένο σκυρόδεμα
- Χρήση εποξειδικών ρητινών

Απο τις παραπάνω τεχνικές οι πιο διαδεδομένες στην Ελλάδα είναι η προσαρμογή μεταλλικών μανδύων ή μανδύων απο σύνθετα υλικά ενώ σε μικρότερο βαθμό γίνεται αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος. (Ζαχαροπούλου και Θεωδορόπουλος,2008)

### 6.1.1 Μεταλλικοί μανδύες

Η διαδικασία ενίσχυσης της κατασκευής από μεταλλικούς μανδύες πρωτοχρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυση βάθρων με κυκλική διατομή. Τοποθετούνται 2 ημικυκλικά μεταλλικά ελάσματα τα οποία αγκαλιάζουν το κυλινδρικό βάθρο.

Τα 2 ημικυκλικά κελύφη τοποθετούνται γύρω από το κυλινδρικό βάθρο και συγκολλούνται επιτόπου με συνεχή ραφή έτσι ώστε να σχηματίζεται ένας σώληνας μεταξύ των ελασμάτων και των βάθρων και να υπάρχει ένα μικρό κενό.

Το κενό γεμίζει με τσιμεντένεμα ενώ σύμφωνα και με τον Τάσσιο (1984) αφήνεται και ένα μικρό κενό μεταξύ του μανδύα και της κεφαλής του βάρου της γέφυρας ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα δράσης του μανδύα ως θλιβόμενου οπλισμού που μπορεί να ασκήσει πίεση στο βάθρο.

Η μέθοδος του μεταλλικού μανδύα είναι αποτελεσματική στην ανάπτυξη της παθητικής περίσφιξης στο σκυρόδεμα του βάρου. Σύμφωνα με τους Ζαχαροπούλου και Θεωδορόπουλο (2008), καθώς το σκυρόδεμα προσπαθεί να διογκωθεί πλευρικά, στη μεν θλιβόμενη ζώνη λόγω υψηλών αξονικών θλιπτικών παραμορφώσεων, στη δε εφελκόμενη ζώνη λόγω διαστολής των συνδέσεων οπλισμού με παράθεση που σηματοδοτούν την έναρξη αστοχίας των συνδέσεων, πλευρικές τάσεις περίσφιξης ασκούνται στο σκυρόδεμα από τον εύκαμπτο μανδύα.

Μικρές ράβδοι πρέπει να συγκολλούνται εσωτερικά του κελύφους ώστε να επιβληθεί το ελάχιστο κενό των 2,5 cm σε κάθε σημείο.

Τα σημεία εισπίεσης πρέπει να τοποθετούνται κάθετα. Μόλις το τσιμεντοκονίαμα ξεχυλίσει από την κορυφή, το κέλυφος πρέπει να έχει γεμίσει με αυτό. Μετά από συντήρηση 2 ημερών περίπου, η κορυφή του κελύφους γεμίζει χειρονακτικά με κονίαμα προκειμένου να καλύψει τα κενά και να δημιουργήσει κλίση για την υδροροή. (Κεφαλογιάννης, 2004)

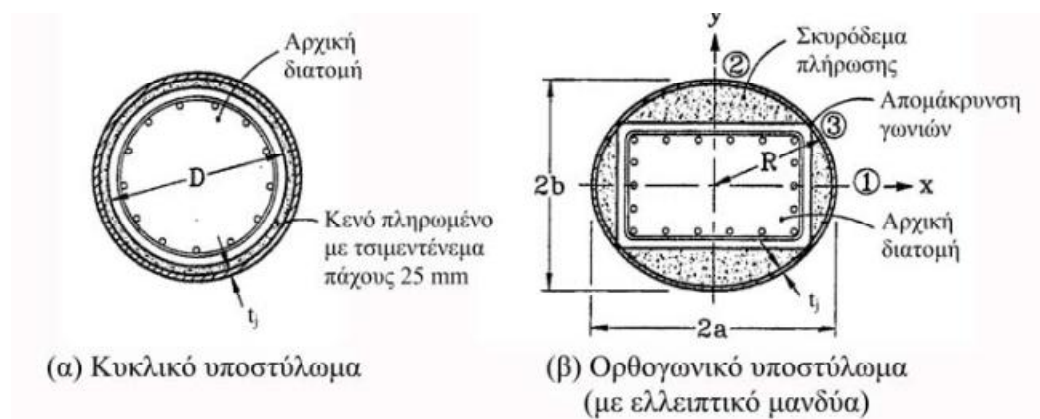
Το επίπεδο περίσφιξης εξαρτάται από την αντοχή και τη δυσκαμψία του μεταλλικού μανδύα. Με παρόμοιο τρόπο ο μανδύας δρα αποτρεπτικά στην πλευρική διογκωση του υποστυλώματος που σχετίζεται με την ανάπτυξη διαγώνιων διατμητικών ρωγμών. Και στις δύο περιπτώσεις – περίσφιξη περιοχών σχηματισμού καμπτικών αρθρώσεων και ενδεχόμενων διατμητικών αστοχιών – ο μανδύας μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμος με επάλληλες στρώσεις κυκλικών συνδετήρων (ή σπειροειδούς οπλισμού).

Σύμφωνα με τον Σπυράκο (2004) σε βάθρα ορθογωνικής διατομής συνιστάται η χρήση ελλειπτικού μανδύα όπως αυτός της εικόνας 27. Ο ελλειπτικός μανδύας παρέχει συνεχή περίσφιξη παρόμοια με αυτή του κυκλικού υποστηλώματος με τη διαφορά ότι η τάση που αναπτύσσεται ποικίλει κατά μήκος της περιφέρειας λόγω της συνεχούς μεταβολής της καμπυλότητας του μανδύα.

Επίσης μια άλλη διαφορά είναι πως το κενό που δημιουργείται μεταξύ του μανδύα και του υποστηλώματος πληρώνεται με έγχυτο σκυρόδεμα και όχι με τσιμεντένεμα όπως γίνεται στα κυλινδρικά βάθρα.

Στα ορθογωνικά βάθρα δεν συνιστάται η τοποθέτηση ορθογώνιων μεταλλικών μανδύων διότι μπορεί οι ορθογωνικοί μανδύες να αυξάνουν την διατμητική αντοχή αλλά δεν αυξάνουν την καμπτική πλαστιμότητα.

Τα μεταλλικά πλαίσια ελλειπτικής μορφής απαιτούν μεγαλύτερη προσπάθεια να σκυροδετηθούν. Εάν σε οποιοδήποτε σημείο η απόσταση υποστυλώματος-κελύφους ξεπερνά τα 10 cm, χαλίκι πρέπει να αναμιγνύεται στο τσιμεντοκονίαμα για να μειωθεί η συρρίκνωση. Τα ελλειπτικά κελύφη τείνουν να μετατραπούν σε κυκλικά κατά την εισπίεση καθώς το κονίαμα πιέζει το κέλυφος προς τα έξω. Περίσφιξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να συγκρατηθεί στην επιθυμητή μορφή, όμως συνήθως απλά περιορίζεται η εισπιεζόμενη ποσότητα για να μειωθεί η πίεση. Αν το τσιμεντοκονίαμα γεμίσει υψομετρικά 4 με 6 m, η πίεση του υγρού μπορεί να είναι αρκετά μικρή ώστε να μην δημιουργήσει οποιαδήποτε παραμόρφωση. Προτοποθετημένες υποδοχές εισπίεσης στα επιθυμητά ύψη εξασφαλίζουν την συνέχεια των εργασιών την επόμενη μέρα οπότε και το τσιμεντοκονίαμα θα έχει σκληρυνθεί. Μετά τη σκλήρυνση έχει εξασφαλιστεί ότι το κέλυφος δεν θα μετατοπιστεί.



Εικόνα 27: Μεταλλικοί Μανδύες σε κυκλικά βάθρα

### 6.1.2 Μανδύες απο οπλισμένο σκυρόδεμα

Οι μανδύες απο οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για την άυξηση της καμπτικής αντοχής, της πλαστισιμότητας και της διατμητικής αντοχής του βάθρου της γέφυρας.

Η τεχνική των μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος χρησιμοποιείται κατα κύριο λόγω για την ενίσχυση υποστυλωμάτων κτιρίων, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται πάρα πολύ στην ενίσχυση γεφυρών στην Ιαπωνία.

Ο διαμήκης οπλισμός του μανδύα αγκυρώνεται μέσα στο βάθρο σε επαρκές μήκος αγκύρωσης έτσι ώστε να αναπτυχθεί η καμπτική αντοχή του υποστυλώματος. Σύμφωνα με τον Σπυράκι η αυξημένη περίσφιξη των βάθρων κυκλικής διατομής με μανδύες σκυροδέματος επιτυγχάνεται εύκολα με την χρήση πυκνών κυκλικών συνδετήρων ή σπειροειδούς οπλισμού με μικρό βήμα σπείρας όπως φαίνεται στην εικόνα 28<sup>α</sup>.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου των μανδύων απο οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ότι η κατασκευή δεν μεταβάλλεται απο αρχιτεκτονικής άποψη ενώ η κατασκευή του μανδύα σκυροδέματος μειώνει την λυγηρότητα του στοιχείου και αυξάνει την δυσκαμψία του.

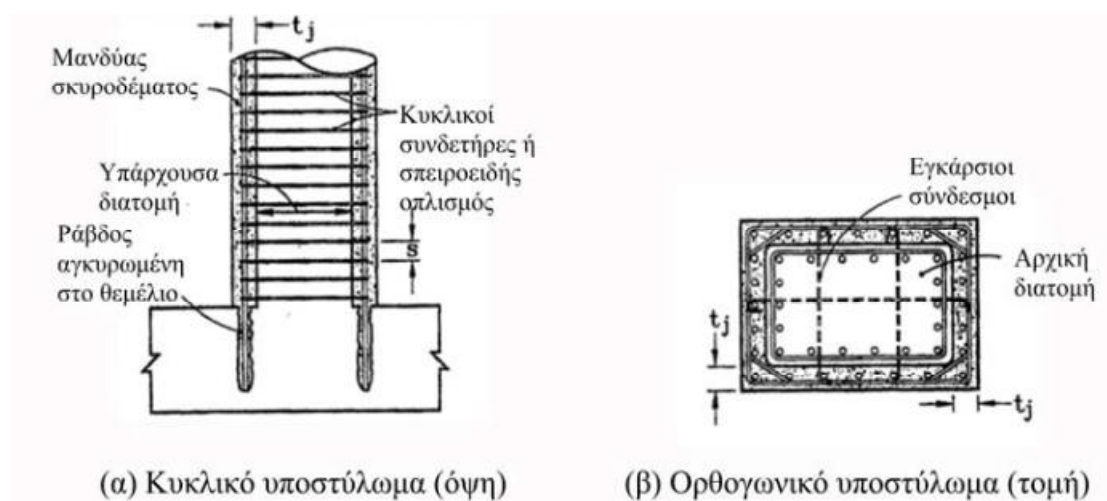
Η περίσφιξη αυτή είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε μανδύες σκυροδέματος με κυκλικό ή ελλειπτικό σχήμα καθώς οι διαμήκεις ράβδοι στο μέσον κάθε πλευράς θα είναι ευάλωτες σε λυγισμό και μόνο το σκυρόδεμα κοντά στις γωνίες θα είναι επαρκώς περισιγμένο. (Ζαχαροπούλου και Θεωδορόπουλος,2008)

Οι μανδύες σκυροδέματος μπορούν να κατασκευάζονται απο έγχυτο σκυρόδεμα και χρησιμοποιείται όταν οι μανδύες που πρόκειται να κατασκευαστούν έχουν πάχος μεγαλύτερο απο 8 εκατοστά, ενώ για την σκυροδέτηση απαιτείται η χρήση ξυλότυπου.

Ένας άλλος τρόπος κατασκευής μανδύων σκυροδεμάτων είναι με την χρησιμοποίηση ειδικών σκυροδεμάτων και τσιμεντοκονιαμάτων. Το πλεονέκτημα αυτών των μανδύων είναι ότι αποκτούν μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με το απλό σκυρόδεμα σε πολύ μικρότερο χρόνο αλλά έχει το μειονέκτημα αυτή η μέθοδος πως έχει πολύ μεγαλύτερο κόστος κατασκευής και για αυτό χρησιμοποιείται όταν απαιτείται μικρός μανδύας.

Σύμφωνα με τον Δρίτσο (2009) για την κατασκευή των μανδύων σκυροδέματος για την αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων των γεφυρών ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Απομακρύνονται τα σαθρά σκυροδέματα απο την επιφάνεια των βάθρων
- Καθαρίζεται η περιοχή του βάθρου μέχρι να εμφανιστούν οι οπλισμοί στους οποίους θα συγκολληθούν καινούριοι οπλισμοί.
- Εκτραχύνεται η επιφάνεια του σκυροδέματος
- Με χρήση εποξειδικής ρητίνης αγκυρώνονται οι διαμήκεις οπλισμοί στα άκρα των οπλισμών που αποκαλύφθηκαν
- Αγκυρώνονται τα βλήτρα
- Διαβρέχεται η επιφάνεια του παλαιού σκυροδέματος και γίνεται η τελική σκυροδέτηση.



Εικόνα 28: Μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος α) σε κυκλικό βάθρο, β) σε ορθογωνικό βάθρο

Σε μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος, η κατασκευή γίνεται πιο γρήγορα χρησιμοποιώντας προκατασκευασμένα κομμάτια από σκυρόδεμα στα οποία έχει εφαρμοστεί προένταση προκειμένου να βελτιωθεί η διατμητική αντοχή και η πλαστιμότητα. (Κεφαλογιάννης,2004)

### 6.1.3 Μανδύες απο Ε.Σ

Η εφαρμογή μανδύων εκτοξευόμενου οπλισμένου σκυροδέματος είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αποκατάσταση σαθρών σκυροδεμάτων βάθρων γεφυρών. Οι ευκολίες που δημιουργεί στην κατασκευή των μανδύων το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα του δίνει το προβάδισμα μεταξύ των άλλων υλικών κατασκευής μανδύων από Ο/Σ, όπως είναι το έτοιμο έγχυτο ειδικό τσιμεντοκονίαμα υψηλής αντοχής και το έγχυτο συμβατικό σκυρόδεμα. Οι πραγματοποιούμενες ενισχύσεις σε γέφυρες Ο/Σ, προσεισμικές και μετασεισμικές, αφορούν στην πλειοψηφία τους στην ενίσχυση των βάθρων, των κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων.

Ανάλογα με το βαθμό βλάβης των βάθρων διακρίνουμε τις δύο ακόλουθες μεθόδους επισκευής τους:

- Όταν παρουσιάζονται απλές ρηγματώσεις του βάρου χρησιμοποιείται η τεχνική των ρητινένεσεων και των επισκευαστικών κονιαμάτων .
- Όταν παρουσιάζονται μεγάλες ρωγμές ή αποδιοργάνωση σε μικρό ποσοστό της διατομής του υποστυλώματος χρησιμοποιείται η τεχνική της καθαίρεσης και αποκατάστασης ίσης διατομής των περιοχών βλάβης .

Οι μανδύες απο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πραγματοποιείται σε περιπτώσεις που το πάχος του μανδύα ξεπερνάει τα 10 εκατοστά. Δεν απαιτείται ξυλότυπος αλλά πρέπει να εξασφαλίζεται η κατακόρυφη επιφάνεια του μανδύα.

Η τεχνική της κατασκευής μανδύων σε βάθρα απο Ο/Σ, όπως είναι γενικά γνωστό, είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητάς τους. Οι μανδύες από Ο/Σ αυξάνουν μόνον τη διατμητική αντοχή και πλαστιμότητα των βάθρων.

### 6.1.4 Ρητινένεσεις

Μια σχετικά καινούρια τεχνική είναι η χρήση των ρητινένεσεων απο εποξειδικές ρητίνες προκειμένου να αποκατασταθούν τα σαθρά σκυροδέματα των

γεφυρών. Οι εποξειδικές ρητίνες συνίσταται απο το βασικό υλικό που είναι η ρητίνη και τον σκληρυντή με τον οποίο ενώνεται χημικά με πολυμερισμό. (Ζαχαροπούλου και Θεωδοροπουλος,2008)

Με τον όρο “ρητινένεση” προσδιορίζεται η διαδικασία έγχυσης μιας ρητινοειδούς κόλλας (ρητίνη) στις ρωγμές του στοιχείου με ενέσιμο τρόπο, καλύπτοντας εύρος ρωγμών (0,1 - 3 )mm σε άοπλο και οπλισμένο σκυρόδεμα. Για την παρασκευή της ρητίνης έχουν επικρατήσει δύο διαδικασίες ανάμιξης της με το σκληρυντή. Κατά την πρώτη ανάμιξη των δύο συστατικών, γίνεται ξεχωριστά και στη συνέχεια το υλικό τοποθετείται στο δοχείο της αντλίας, το οποίο φέρει ακροφύσιο για την εκτέλεση της επέμβασης και μανόμετρο για τη μέτρηση της πίεσης έγχυσης του μίγματος. Σύμφωνα με τη δεύτερη διαδικασία, χρησιμοποιούνται μηχανές αυτόματης συνεχούς ανάμιξης με ελεγχόμενη τροφοδοσία. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται πλήρης εκμετάλλευση του χρόνου εργασιμότητας. (Δρίτσος,2007)

Οι ρητίνες αποτελούν ένα υλικό που μπορεί να γεμίσει το κενό μιας ρωγμής κατορθώνοντας τελικά την πλήρη συνέχεια του υλικού. Επίσης, λόγω της σύστασής, παρεμποδίζουν την ελεύθερη διείσδυση οξυγόνου και υγρασίας, των κύριων δηλαδή συστατικών της οξειδωτικής διαδικασίας. Με τη διαδικασία αυτή οι οπλισμοί εγκιβωτίζονται, με αποτέλεσμα την προστασία τους από τη διάβρωση. Ακόμη, οι υψηλές αντοχές εφελκυσμού και συνάφειας των ρητινών εμποδίζουν τη διεύρυνση των ρωγμών.(Καλλανιώτης και Σταθάς,2009)

Οι ρητινένεσεις χρησιμοποιούνται στις επισκευές βάθρων γεφυρών όπου εφαρμόζονται για συγκολλήσεις ρωγμών οπλισμένου σκυροδέματος που εμφανίζονται συνήθως μετά από σεισμό με πολύ καλά αποτελέσματα χάρη στις εξαιρετικές ιδιότητες.

Ο Σπυράκος (2004) περιέγραψε την μεθοδολογία εφαρμογής των ρητινένεων. Οι ρητινένεσεις εφαρμόζονται ακολουθώντας την εξής διαδικασία:

Σφραγίζεται η ρωγμή με εποξειδική πάστα σε όλο το ανάπτυγμά της.Σε επιλεγμένες θέσεις τοποθετούνται ακροφύσια (ανοιχτοί πόροι) μέσω των οποίων γίνεται η ρητινένεση. Με πεπιεσμένο αέρα που διοχετεύεται μέσω των ακροφυσίων γίνεται καθαρισμός της ρωγμής σε βάθος. Με ειδικό πιεστικό δοχείο εποξειδική ρητίνη ρευστής συνθέσεως η οποία είναι αναμεμιγμένη με σκληρυντή διοχετεύεται από τα κατώτερα ακροφύσια στα ανώτερα (για να μην αφήσει κενά) γεμίζοντας την ρωγμή. Μετά από ορισμένο χρόνο – από 6 έως 48 ώρες – ανάλογα την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η εποξειδική ρητίνη σκληρύνεται αποκτώντας αντοχές πολύ

ψηλότερες από αυτές του σκυροδέματος ενώ συγχρόνως επανασυγκολλεί το ρηγματωμένο τμήμα

### **6.1.5 Αντικατάσταση διαβρωμένου οπλισμού**

Αν και η εργασία έχει σαν θέμα την αποκατάσταση σαθρών σκυροδεμάτων γεφυρών θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθεί έστω και επιγραμματικά η αντικατάσταση διαβρωμένου οπλισμού στα σκυροδέματα των βάθρων των γεφυρών.

Σε περίπτωση διάβρωσης του οπλισμού της γέφυρας πρέπει να προβούμε σε αντικατάσταση του. Για να γίνει αυτή η διαδικασία ακολουθούμε διάφορες διαδικασίες η οποίες παρουσιάζονται επιγραμματικά.

Καταρχήν αφαιρούμαι τον διαβρωμένο οπλισμό μέχρι το σημείο που εμφανίζεται ο υγιείς οπλισμός, στην συνέχεια τοποθετούμε καινούριο οπλισμό τον οποίο ενώνουμε με ειδικές συνδέσεις και μετά τον τεντώνουμε. Τέλος προχωρούμε στην επανασκυροδέτηση της δοκού.



**Εικόνα 29: Επανασκυροδέτηση Δοκού**

## **6.2 Στεγάνωση Ο.Σ έναντι διάβρωσης με τσιμεντοκονίαμα**

Η διείσδυση των υδάτων και των υδρατμών στα δομικά υλικά της γέφυρας προκαλεί μεγάλες φθορές όπως:

- Χημική διάβρωση και οξείδωση του οπλισμού του σκυροδέματος
- Διάβρωση και αποσάθρωση του σκυροδέματος



- Ανάπτυξη γλωρίδας, λειχηνών και κηλίδων

Πολλές από τις άνω φθορές οφείλονται στην άμεση επίδραση της υγρασίας σε συνάρτηση με τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του νερού και σε σχέση με τις αντίστοιχες ιδιότητες των υλικών. Η διαλυτική δράση του νερού, που είναι ο πλέον διαδεδομένος και ισχυρός διαλύτης στη φύση, εμφανίζεται μετά από παρατεταμένη επίδρασή του και αυξάνει σημαντικά όταν το νερό περιέχει διάφορες ουσίες που έχουν διαλυθεί από το νερό της βροχής όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο και τριοξείδιο του θείου και ορισμένα οξείδια του αζώτου.

Μία άλλη παράμετρος που θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι τα προβλήματα της διείδυσης του νερού από την σημαντική αύξηση του όγκου του (κατά 10%) από την επίδραση του παγετού όταν μετατρέπεται από υγρή σε στερεά μορφή. Η καταστροφική επίδραση από την παρουσία παγετού είναι συνάρτηση του πορώδους εκάστου υλικού και της ποσότητας του νερού που έχει απορροφηθεί.

Οι διάφορες κατασκευές προκειμένου να είναι χρησιμοποιήσιμες και βιώσιμες απαιτούν αποτελεσματική στεγάνωση έναντι υγρασίας και νερού. Στην περίπτωση που το πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπισθεί είναι απλή υγρασία ή νερό χωρίς υδροστατική πίεση (π.χ. διειδύοντα νερά βροχής), τότε η στεγανωτική στρώση που θα εφαρμοστεί πρέπει να:

- Να έχει αντοχή, αξιοπιστία, ελαστικότητα, καλή πρόσφυση και διάρκεια στον χρόνο
- Να αντιμετωπίζει με επάρκεια την υγρασία και το νερό

Η εταιρία ISOMAT (2011) προτείνει συγκεκριμένα τσιμεντοκονιάματα έναντι της διάβρωσης και της αποσάθρωσης του σκυροδέματος εξαιτίας της υγρασίας. Σε αυτή την παράγραφο δεν θα αναφερθούμε σε ονομασίες υλικών καθώς σκοπός μας δεν είναι η διαφήμιση αυτών αλλά στους τρόπους εφαρμογής και πως τα τσιμεντοκονιάματα προστατεύουν το σκυρόδεμα από την υγρασία και την αποσάθρωση.

Για την αποτελεσματική υγρομόνωση των γεφυρών, τόσο του καταστρώματος όσο και των στοιχείων από σκυρόδεμα που έρχονται σε άμεση επαφή με το

περιβάλλον, μπορούν να εφαρμοστούν τσιμεντοκονιάματα που αποτελούνται από τσιμέντο, αδρανή υλικά και ειδικά πρόσθετα τα οποία έχουν στεγανωτικές ιδιότητες.

Τα τσιμεντοκονιάματα αυτά είναι κατάλληλα για εξωτερική χρήση πάνω στις επιφάνειες του σκυροδέματος ακόμα και εάν αυτές έχουν ήδη περαστεί από άλλα τσιμεντοκονιάματα.

Η εφαρμογή των τσιμεντοκονιαμάτων μπορεί να γίνει σε

- Σε βάθρα γεφυρών των οποίων η θεμελίωση γίνεται μέσα στο νερό.
- Σε σαθρά σκυροδέματα γεφυρών είτε βρίσκονται στα βάθρα είτε στο κατάστρωμα της γέφυρας
- Προστασία και στεγανοποίηση των σκυροδεμάτων τα οποία είναι πιθανόν να αποσαθρωθούν εξαιτίας του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται

Τα πλεονεκτήματα των τσιμεντοκονιαμάτων σύμφωνα με την εταιρία ISOMAT μεταξύ άλλων είναι:

- Εξουδετέρωση των υδρατμών μέσω της δημιουργίας εφίδρωσης της βάσης
- Δημιουργία στεγανωτικού επίχρισματος στα σκυροδέματα των γεφυρών που είναι εκτεθειμένα σε ακραίες καιρικές συνθήκες
- Ευκολία στην χρήση και μηδενικό κόστος συντήρησης
- Είναι ανθεκτικό στα διαβρωτικά αποτελέσματα του αλμυρού νερού της θάλασσας εφόσον το βάθρο βρίσκεται μέσα στην θάλασσα
- Δεν έχει καμία τοξική επίδραση στο πόσιμο νερό

Επιπροσθέτως μπορεί να χρησιμοποιηθεί τσιμεντοκονίαμα το οποίο περιέχει ένα ελαστικό στεγανωτικό επίχρισμα για την στεγανοποίηση των δομικών στοιχείων των γεφυρών. Τα συστατικά αυτού του τσιμεντοκονιάματος είναι μίγμα τσιμέντου και καλά επεξεργασμένων fillers σε συνδυασμό με υγρό που είναι βασισμένο σε ειδικές συνθετικές ρητίνες.

Το συγκεκριμένο τσιμεντοκονίαμα μετά την επίστρωση και επεξεργασία του σχηματίζει ένα αδιάβροχο, ελαστικό, μη τοξικό επίχρισμα που προσφύεται στο σκυρόδεμα των γεφυρών. Το συγκεκριμένο τσιμεντοκονίαμα εκτός των εφαρμογών

που έχει το απλό τσιμεντοκονίαμα μπορεί να προσφέρει επιπλέον στεγανοποίηση και προστασία κατά της ενανθράκωσης του σκυροδέματος (εισόδου διοξειδίου του άνθρακα).

Τα πλεονεκτήματα του ελαστικού τσιμεντοκονιάματος είναι:

- Καλύπτει τις ρωγμές λόγω της συστολής του σκυροδέματος και ενεργεί σαν μεμβράνη ή αρμός προστασίας των ρωγμών
- Παρέχει προστασία στο σκυρόδεμα έναντι της ενθράκωσης και των χλωριούχων αλάτων
- Είναι ανθεκτικό στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στο θαλασσινό νερό.
- Έχει εξαιρετική πρόσφυση και δεν απαιτεί πρόσθετα συνδετικά μέσα
- Έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από άλλα επιχρίσματα και έτσι αποφεύγεται το κόστος συντήρησης
- Είναι φιλικό προς το περιβάλλον και δεν μολύνει το πόσιμο νερό.

### **6.2.1 Μέθοδος εφαρμογής των τσιμεντοκονιαμάτων**

Οι επιφάνειες των σκυροδεμάτων ή των σαθρών σκυροδεμάτων των γεφυρών στις οποίες θα εφαρμοστεί το τσιμεντοκονίαμα θα πρέπει να είναι καθαρές από υπολείματα χρώματος, σκόνης, υλικών που ξεφλουδίζουν κτλ. Πριν την τοποθέτηση λοιπόν θα πρέπει να έχει αφαιρεθεί ο ασβέστης και τα κομμάτια του σθαρρού σκυροδέματος που πιθανόν να υπάρχουν.

Σε περίπτωση που υπάρχουν ρωγμές θα πρέπει αυτές πρώτα να σφραγίζονται και στην συνέχεια να εφαρμόζεται το τσιμεντοκονίαμα.

Σε περίπτωση ύπαρξης οπλισμού (φουρκέτες) πάνω στην επιφάνεια, θα πρέπει αυτές να κόβονται σε βάθος 2 cm και στην συνέχεια να επισκευάζονται.

Καλό θα ήταν για την καλύτερη εφαρμογή του τσιμεντοκονιάματος και για την καλύτερη αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων να έχει προηγηθεί η διαβροχή της επιφάνειας.

Η τοποθέτηση του τσιμεντοκονιάματος γίνεται με ειδικές βούρστες πρώτα σε οριζόντια κατεύθυνση και μετά σε κάθετη μέχρι να σχηματιστεί μια ομοιόμορφη επίστρωση τσιμεντοκονιάματος. Η ιδανική θερμοκρασία εφαρμογής είναι από 15-20

βαθμοί κελσίου ενώ σε περίπτωση που η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 20 βαθμούς θα πρέπει η επιφάνεια να διαβρέχεται οπωσδήποτε.



**Εικόνα 30: Εφαρμογή Τσιμεντοκονιάματος σε βάθρο γέφυρας**

Οι τσιμεντενέσεις εφαρμόζονται για την επισκευή ρωγμών ανοίγματος λίγων χιλιοστών, ενώ τα τσιμεντοκονιάματα βρίσκουν εφαρμογή σε μεγαλύτερου εύρους ρωγμές μέχρι πάχους 10 mm στα βάθρα των γεφυρών αλλά και στις κατασκευές γενικότερα.

Τα κονιάματα με βάση το τσιμέντο προκύπτουν από ειδικές κονίες με προσθήκη μικρής ποσότητας νερού, της τάξεως 10-20 % του βάρους του κονιάματος. Οι κονίες είναι μίγματα τσιμέντου με λεπτόκοκκα αδρανή που η διάμετρός τους δε ξεπερνά συνήθως τα 2,5 mm, σε συνδυασμό με υπερευστοποιητικά υλικά και πρόσμικτα που παρεμποδίζουν τη συστολή ξήρανσης. Σε μερικές περιπτώσεις τα αδρανή μπορεί να έχουν διάμετρο μέχρι και 10 mm.

Συνήθως τα αδρανή περιέχονται στο μίγμα, που προσφέρεται στην αγορά σε συσκευασμένους σάκους έτοιμο προς χρήση απαιτώντας μόνο την προσθήκη κατάλληλης ποσότητας νερού.

## **Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> – Αποκατάσταση σαθρών σκυροδεμάτων γεφυρών απο σύνθετα υλικά και Ινοπλισμένα Πολυμερή (ΙΟΠ)**

### **7.1 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας στην χρήση μανδύων με σύνθετα υλικά**

Η χρήση σύνθετων υλικών για την αποκατάσταση των αποσαθρωμένων σκυροδεμάτων στα βάθρα των γεφυρών έχει ερευνηθεί πολύ λίγο τα προηγούμενα χρόνια. Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων και των βάθρων έναντι κάμψης προϋποθέτει έναν πρόσθετο διαμήκη οπλισμό που θα αγκυρώνεται πέραν της κρίσιμης διατομής της μέγιστης καμπτικής ροπής. Αυτό μπορεί να γίνει με την χρήση ελασμάτων συνθετικών υλικών.

Τα συνθετικά υλικά επικολλούνται στις παρειές του υποστηλώματος και παραλαμβάνουν τις εφελκυστικές τάσεις αλλά ταυτόχρονα αγκυρώνονται και στον κόμβο.

Σύμφωνα με πείραμα των Bournas et al. (2008) οι οποίοι μελέτησαν την καμπτική αντοχή υποστυλωμάτων με χρήση πρόσθετου οπλισμού απο σύνθετα υλικά όπως ελάσματα άνθρακα και ράβδους γυαλιού και ανοξείδωτου χάλυβα. Τα αποτελέσματα του πειράματος μεταξύ άλλων συμπερασμάτων έδειξε πως ο συνδυασμός πρόσθετων οπλισμών σε εγκοπές με παράλληλη εφαρμογή τοπικού μανδύα απεδείχθη ιδιαίτερα αποτελεσματικός, επιτρέποντας την αύξηση της καμπτικής αντίστασης του μέλους χωρίς μείωση της διαθέσιμης ικανότητας παραμόρφωσης. Ο τοπικός μανδύας, εκτός του ρόλου που παίζει στην περίσφιγξη του σκυροδέματος,εμποδίζει τα σύνθετα υλικά από πρόωρη αποκόλληση, όταν αυτά βρεθούν σε συνθήκες θλίψης. (Βρεττός,2009)

## **7.2 Εφαρμογή σύνθετων υλικών για την αποκατάσταση σαθρών σκυροδεμάτων**

### **7.2.1 Προετοιμασία Επιφανειών**

Για την εφαρμογή των σύνθετων υλικών στα σαθρά σκυροδέματα θα πρέπει να προετοιμαστεί η επιφάνεια που θα εφαρμοστούν τα σύνθετα υλικά για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή συγκόλληση των στρώσεων του σύνθετου υλικού σε αυτή. Η εξομάλυνση της επιφάνειας του σκυροδέματος από ρωγμές, κενά, εκτεθειμένα αδρανή κ.α είναι πολύ σημαντική προκειμένου να έχουμε μια πολύ καλή ποιότητα συγκόλλησης των σύνθετων υλικών πάνω στην αποσαθρωμένη επιφάνεια σκυροδέματος. Η κακή προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος μπορεί να έχει άσχημα αποτελέσματα τα οποία θα φανούν μακροχρόνια για αυτό τον λόγο δίνεται μεγάλη έμφαση στην σωστή προετοιμασία της αποσαθρωμένης επιφάνειας του σκυροδέματος.

Σύμφωνα με τους Καΐαφα και Τσαμόπουλο (2006) η διαδικασία προετοιμασίας της επιφάνειας του σκυροδέματος που θα αποκατασταθεί έχει τα εξής στάδια:

- Απομάκρυνση του αποσαθρωμένου σκυροδέματος από το βάθρο
- Απομακρυνση σκυροδέματος με υψηλή περιεκτικότητα τσιμέντου
- Απομάκρυνση σκόνης και θραυσμάτων με χρήση πεπιεσμένου

Είναι πολύ σημαντικό μετά το τέλος της προετοιμασίας της επιφάνειας του σκυροδέματος να γίνεται όσο το δυνατόν γρηγορότερα η επικόλληση των στρώσεων σύνθετου υλικού ώστε να προλαμβάνεται η ενανθράκωση του σκυροδέματος.

Για την εφαρμογή των σύνθετων υλικών πρέπει να ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία μετά την προετοιμασία του βάρου και την καθαίρεση των επιχρισμάτων και των αποσαθρωμένων επιφανειών σκυροδέματος.

- Επάλειψη της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με εποξική ρητίνη ή άλλη συγκολλητική ουσία
- Τοποθέτηση της πρώτης στρώσης του σύνθετου υλικού στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου
- Τοποθέτηση αγκυρίων όπου χρειάζεται και τοποθέτηση της δεύτερης στρώσης του σύνθετου υλικού
- Μετά απο 24 ώρες εφαρμογή επιχρίσματος.

### 7.2.2 Βασική Τεχνική

Η πλέον διαδεδομένη τεχνική εφαρμογής σύνθετων υλικών σε αποσαθρωμένα βάρθρα γεφυρών απο οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η δια χειρός επικόλληση υφασμάτων ή προκατασκευασμένων στοιχείων σε στοιχεία οπλισμένα σκυροδέματος μέσω εποξειδικών ρητινών.

Η διαδικασία περιλαμβάνει την απομάκρυνση των αποσαθρωμένων σκυροδεμάτων μέχρι να αποκαλυφθούν τα αδρανή σε ένα βάθος 5-7 χιλιοστών. Η αποξήλωση των σαθρών σκυροδεμάτων γίνεται με την χρήση μηχανικού εξοπλισμού ή υδροβολής.

Οι γωνίες του βάρθρου εφόσον πρόκειται για ορθογωνικό βάρθρο εξομαλύνονται έτσι ώστε να αποκτήσουν καμπυλότητας ακτίνας 30 χιλιοστών. Εφόσον όμως πρόκειται για κυλινδρικό βάρθρο γέφυρας τότε δεν χρειάζεται η εξομάλυνση.

Η επιφάνεια σκυροδέματος καθαρίζεται καλά και διαβρέχεται με νερό υπο πίεση. Η υγρασία της τελικής επιφάνειας του σκυροδέματος δεν πρέπει να είναι περισσότερο απο 4%. Η επιφάνεια του σκυροδέματος εμποτίζεται με αραιό διάλυμα εποξειδικής κολλάς σε περίπτωση μικρορηγματώσεων και κατόπιν ακολουθείτε η διαδικασία λείανσης της επιφάνειας. Σε κάποιες περιπτώσεις πριν απο την λείανση επαλείφεται ένας εποξειδικός στόκος που χρησιμεύει σαν συγκολλητικό υλικό.

Αφου εφαρμοστεί το συγκολλητικό υλικό η επιφάνεια λειαίνεται έτσι ώστε να μην υπάρχει κανένα εξόγκωμα στην επιφάνεια του σκυροδέματος σε ύψος μεγαλύτερο του ενός χιλιοστού.

Στην συνέχεια τοποθετείται το φύλλο του σύνθετου υλικού στην εξυγιαμένη επιφάνεια εφαρμόζοντας με ομοιόμορφη πίεση έτσι ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας. Με την πάροδο μιας ώρας αφαιρείται το προστατευτικό κάλυμμα του φύλλου και το συνθετικό υλικό επαλείφεται με μια δεύτερη στρώση της εποξειδικής κόλλας.

Στο τέλος της διαδικασίας χρησιμοποιείται τσιμεντοκονίαμα για την προστασία των φύλλων του σύνθετου υλικού απο υψηλές θερμοκρασίες και άλλες περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Στην εικόνα 30 φαίνεται η επάλειψη της συγκολλητικής κόλλας σε κυλινδρικό βάθρο γέφυρας.



**Εικόνα 31: Βασική Τεχνική Εφαρμογής Σύνθετων υλικών σε κυλινδρικό βάθρο γέφυρας**

### **7.2.3 Εφαρμογή Μανδύων Σύνθετων υλικών με Περισιφιξη**

Η περίσιφιξη σκυροδέματος με μανδύες απο σύνθετα υλικά είναι μια πάρα πολύ καλή λύση στην αποκατάσταση σαθρών σκυροδεμάτων σε γέφυρες. Είναι μια καλύτερη λύση σε σχέση με τους μεταλλικούς μανδύες που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο εξαιτίας του περιορισμού στην διόγκωση του σκυροδέματος που αναπτύσσουν οι μανδύες απο σύνθετα υλικά σε σχέση με τους μεταλλικούς μανδύες.(Τριανταφύλλου,2008) Όταν έχουμε να κάνουμε με κυλινδρικά βάθρα γεφυρών η περίσιφιξη δρα περιμετρικά του βάθρου επιτυχάνοντας την μεγαλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα.

Σε ορθογωνικές διατομές όμως ο περιορισμός της διόγκωσης του σκυροδέματος εξασθενεί, καθώς αυτή λαμβάνει χώρα ανεμπόδιστα με κάμψη του



συνδετήρα ή του μανδύα προς τα έξω στο μέσο των πλευρών. Η περίσφιγξη σ' αυτές τις περιπτώσεις δρα μειωμένη, ξεκινώντας από τις (εξέχουσες) γωνίες της διατομής και επεκτεινόμενη προς τον πυρήνα της.

Οι τάσεις περίσφιγξης έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της θλιπτικής αντοχής και της παραμορφωσιμότητας του σκυροδέματος, την αύξηση της γωνίας στροφής χορδής ενός μέλους στην (καμπτική) αστοχία, που συνεπάγεται αύξηση της πλαστιμότητας του μέλους έναντι κάμψης, την βελτίωση των συνθηκών συνάφειας μεταξύ ράβδων οπλισμού και σκυροδέματος σε περιοχές με ματίσεις και άρα παρεμπόδιση της ολίσθησης των διαμήκων ράβδων στις περιοχές αυτές και τέλος την καθυστέρηση της εμφάνισης λυγισμού των διαμήκων ράβδων σε περιοχές με αραιή διάταξη συνδετήρων. (Καϊάφας και Τσαμόπουλος, 2006)

#### **7.2.4 Αγκύρια**

Τα σύνθετα υλικά όπως παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους είναι μια πολύ καλή λύση στην αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων στις κατασκευές και στις γέφυρες. Ένα σημαντικό πρόβλημα όμως που αντιμετωπίζουν τα σύνθετα υλικά είναι η πρόωρη αποκόλληση αυτών από την επιφάνεια σκυροδέματος προς αποκατάσταση πριν αυτά αναπτύξουν όλες τις εφελκυστικές τους ιδιότητες.

Στα σύνθετα υλικά, η δύναμη που απαιτείται για την αποκόλληση (η οποία γίνεται λόγω ρηγμάτωσης του υποστρώματος κοντά στη στρώση της κόλλας, καθώς η διατμητική αντοχή αυτής ξεπερνά κατά πολύ αυτήν του υποστρώματος), δηλαδή η μέγιστη δύναμη αγκύρωσής τους, αυξάνεται με το μήκος επικόλλησης μέχρις ότου αυτό λάβει μια οριακή τιμή. Πέρα από το μήκος αγκύρωσης αυτό, η δύναμη αποκόλλησης παραμένει πρακτικά αμετάβλητη. Έτσι, δεν είναι εφικτή πολλές φορές η πλήρης αξιοποίηση των συνθέτων υλικών χρησιμοποιώντας μεγάλα μήκη επικόλλησης.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί τεχνικές με τις οποίες είναι δυνατόν να ξεπεραστεί το πρόβλημα της πρόωρης αποκόλλησης. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, χρησιμοποιούνται αγκύρια από ινοπλισμένα πολυμερή τα οποία αγκυρώνονται με την χρήση ρητίνης στο βάθρο στο οποίο έχουν εφαρμοστεί σύνθετα υλικά για την αποκατάσταση αυτού.

Τα αγκύρια αυτά κατασκευάζονται με υφάσματα απο ινοπλισμένα πολυμερή και γίνεται μερική έμπηξη αυτών σε οπές στο υπο ενίσχυση βάθρο.

Στη σημερινή τους μορφή, τα αγκύρια αυτά παρασκευάζονται σε μορφή θυσάνου ινών όπως φαίνεται στην εικόνα 30 και μάλιστα σε ιδιαίτερα μεγάλο εύρος μεγεθών. Οι χρησιμοποιούμενες ίνες, είναι κατά κανόνα άνθρακα ή γυαλιού. Είναι

φορές πάλι, που τα χρησιμοποιούμενα αγκύρια συνίστανται από ίνες άνθρακα και γυαλιού σε συγκεκριμένες αναλογίες μεταξύ τους, ώστε να προσδίδονται οι επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες στο προκύπτων σύνθετο υλικό (σύμμικτα αγκύρια). (Βρεττός,2009)



Εικόνα 32: Αγκύρια απο Ινοπλισμένα Πολυμερή

### 7.3 Ενίσχυση Ο.Σ γεφυρών με ινοπλισμένα πολυμερή

Τα ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην αεροναυπηγική, στη ναυσιπλοΐα αλλά και στην αυτοκινητοβιομηχανία. Οι πολιτικοί μηχανικοί στην προσπάθειά τους να ανακαλύψουν νέα υλικά, ώστε να αντιμετωπιστούν τα ουσιαστικά μειονεκτήματα των δομικών υλικών (σκυρόδεμα, χάλυβας, ξύλο), στράφηκαν στα ινοπλισμένα πολυμερή (FRP). Μολονότι τα συγκεκριμένα υλικά δεν είχαν ξαναχρησιμοποιηθεί, έχουν αρχίσει να εμφανίζονται

ολοένα και συχνότερα σε διάφορα τεχνικά έργα και ειδικότερα στον τομέα των επισκευών και ενισχύσεων.

Μία από τις πρώτες εφαρμογές FRP, αποτέλεσε η ενίσχυση γεφυρών, κατασκευασμένων από οπλισμένο σκυρόδεμα, στις ΗΠΑ. (Κορρές,2007)

### **7.3.1 Περιγραφή των ινοπλισμένων πολυμερών**

Τα FRP αποτελούνται από ίνες εμποτισμένες με κάποιο θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές (εποξειδική ρητίνη, πολυεστέρας κ.ά.).

Οι ίνες αυτές, αναλαμβάνουν κυρίως εφελκυστικές τάσεις παράλληλα στην διεύθυνσή τους.

Στην περίπτωση ελασμάτων σύνθετων υλικών, οι ίνες καταλαμβάνουν το 50% - 70% του συνολικού όγκου του υλικού, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για μανδύες που κατασκευάζονται με επί τόπου εφαρμογή της ρητίνης, είναι 20% - 35%.

Τα FRP καταστρώματα γεφυρών και υπερκατασκευές συνήθως γίνονται με εστέρα βινυλίου ή ρητίνη πολυεστέρα ενισχυμένο με ίνες υάλου E. Είναι προμελετημένα και προκατασκευασμένα σε ένα τμήμα, το οποίο στη συνέχεια θα συναρμολογηθεί και εγκατασταθεί σε ένα τμήμα της γέφυρας. (Κορρές,2007)

Οι FRP είναι υλικά των οποίων η μηχανική αντοχή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως ο τύπος ινών και επί τοις εκατό διαβάθμιση, τη σύσταση των ινών, τον τύπο της ρητίνης, τη μέθοδο παρασκευής και τη συγκόλληση υλικών που χρησιμοποιούνται στην τελική συναρμολόγηση.

### **7.3.2 Πλεονεκτήματα των ινοπλισμένων πολυμερών**

#### *1. Ελαφριά σε βάρος*

Ένα τυπικό κατάστρωμα FRP πάχους 200 mm με τη φθορά της επιφάνειάς του ζυγίζει 122kg/m<sup>2</sup>, έναντι 581 kg/m<sup>2</sup> που ζυγίζει ένα τυπικό κατάστρωμα γέφυρας από σκυρόδεμα πάχους 200 mm. (βλ. τον παρακάτω πίνακα)

Μείωση του μόνιμου φορτίου στην υπάρχουσα γέφυρα οδηγεί σε αυξημένη ικανότητα του ωφέλιμου φορτίου με πιθανή κατάργηση των περιορισμών βάρους.

<b>FRP κατάστρωμα</b>	<b>Κατάστρωμα σκυροδέματος</b>
122 kg/m <sup>2</sup>	581 kg/m <sup>2</sup>

Χαρακτηριστικά αναφέρουμε πως μία τυπική κατασκευή γέφυρας έκτασης 10m, ζυγίζει περίπου 270kg/m<sup>2</sup>.

- Αντοχή σε άλατα αποπάγωσης και άλλες χημικές ουσίες.*
- Γρήγορη τοποθέτηση* που οφείλεται στην προκατασκευασμένη φύση και την εξάλειψη των χρονοβόρας διαμόρφωσης και σκλήρυνσης που απαιτείται για συμβατικές γέφυρες σκυροδέματος.
- Μειωμένη καθυστέρηση της κυκλοφορίας*, η οποία οδηγεί σε μείωση του κόστους χρήσης, λιγότερα έξοδα για τη συντήρηση και προστασία της κυκλοφορίας του.
- Ανθεκτικότητα.* Η πυρόλυση, η διάβρωση του οπλισμού και ο θρυμματισμός που συνδέονται με συγκεκριμένα καταστρώματα αποβάλλονται.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής.* Πολλές μεγάλες, μη αστικές δομές έχουν χρησιμοποιηθεί σε σκληρές συνθήκες για δεκαετίες. Τα FRP καταστρώματα προβλέπεται ότι θα προσφέρουν μεγάλη διάρκεια ζωής με ελάχιστη συντήρηση. Σε αυτό το σημείο, η ωφέλιμη ζωή υπολογίζεται ότι είναι τουλάχιστον 75 ετών.
- Αντοχή σε κόπωση .*
- Κατασκευές σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον είναι ευνοϊκές για καλό έλεγχο της ποιότητας.
- Ευκολία εγκατάστασης.* Ένα έργο αντικατάστασης του καταστρώματος μπορεί να γίνει τάχιστα, λόγω του ότι τα συνεργεία του εργολάβου ή της συντήρησης χρησιμοποιούν προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης. Αυτό το είδος της διαχείρισης έργου μπορεί να φέρει γρήγορη αντιμετώπιση προβλημάτων.
- Η εξοικονόμηση κόστους.* Μια αποκατάσταση γέφυρας χρησιμοποιώντας FRP μπορεί να λύσει ένα πρόβλημα γρηγορότερα από ότι μια αντικατάσταση γέφυρας.

11. Εάν μια γέφυρα μπορεί να αποκατασταθεί παρά να αντικατασταθεί λόγω της χρήσης ελαφρών FRP, θα υπάρξουν λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και λιγότερες απαιτούμενες άδειες. (O'Connor,2013)

### **7.3.3 Μειονεκτήματα των ινοπλισμένων πολυμερών**

1. *Υψηλότερο αρχικό κόστος* σε σύγκριση με ένα συμβατικό κατάστρωμα από σκυρόδεμα. Το μοναδιαίο κόστος των σύνθετων υλικών είναι συχνά πιο ακριβό από τα συμβατικά υλικά. Μερικές φορές, η πρόσθετη δαπάνη αντισταθμίζεται από άλλες οικονομίες, όπως η συντήρηση και η προστασία της κυκλοφορίας (MPT).
2. Ο *Χαμηλός συντελεστής της ελαστικότητας* οδηγεί σε εκτροπές με γνώμονα το σχεδιασμό που δεν επιτρέπει σε ένα σχεδιαστή να αξιοποιήσει πλήρως την ισχύ του FRP του.
3. Επί του παρόντος τα διαθέσιμα σχέδια είναι ιδιόκτητα. *Δεν υπάρχει τυπική διαδικασία κατασκευής.*
4. Η *ανταπόκριση σε θερμική αλλαγή* είναι ελαφρώς διαφορετική από ότι για το σκυρόδεμα και τον χάλυβα και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, όταν σε μια γέφυρα το FRP χρησιμοποιείται σε σκυρόδεμα ή χάλυβα υπερκατασκευής ή όταν το FRP χρησιμοποιείται για την ανωδομή.
5. *Μερικά έργα έχουν αντιμετωπίσει μια αστοχία της προσαρμοσμένης επιφάνειας* (π.χ. ρωγμές ή / και αποκόλληση). Η έρευνα είναι σε εξέλιξη στη Νέα Υόρκη για να προσπαθήσει να προσδιορίσει το καλύτερο υλικό για μια ανθεκτικότερη επιφάνεια. Συμβατική άσφαλτος έχει χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες γέφυρες.
6. Μια ενδελεχής ανάλυση της συμπεριφοράς του υλικού, απαιτεί ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων. Τέτοια σχέδια θα πρέπει πιθανότατα να προεγκριθούν και κοστίζουν.
7. Οι ιδιότητες των FRP υλικών, όπως η αντοχή και η ακαμψία φυσικά υποβαθμίζονται την πάροδο του χρόνου. Η προκύπτουσα τάση να φθαρούν πρέπει να υπολογίζεται κατά τον σχεδιασμό. Κατάλληλοι παραγόντες μείωσης της

αντοχής πρέπει να χρησιμοποιηθούν ώστε να ασφαλίσει επαρκή ακαμψία για ολόκληρη τη διάρκεια ζωής της δομής.

8. *Περιορισμένη εμπειρία FRP στον κλάδο των κατασκευών.*
9. *Η έλλειψη δεδομένων μακροπρόθεσμης απόδοσης.* Υπάρχουν ελάχιστες γέφυρες FRP που έχουν στην χρησιμοποιηθεί για μεγάλο διάστημα. Η πρώτη γέφυρα στις ΗΠΑ που εξυπηρέτησε δημόσιες μετακινήσεις, χτίστηκε το Νοέμβριο του 1996 στο Κάνσας.
10. *Η έλλειψη προτύπων σχεδιασμού και παραδοχών για το χαρακτηρισμό των υλικών.*
11. *Σιδηρογραμμές σε γέφυρες που συνδέονται με FRP καταστρώματα δεν έχουν ακόμη δοκιμαστεί.* Ορισμένες όμως στατικές δοκιμές έχουν γίνει με επιτυχία. (O'Connor,2013)

#### **7.3.4 Ειδικές τεχνικές με προεντεταμένα ελάσματα**

Άλλη μία μέθοδος που αναπτύχθηκε στις αρχές του '90 είναι η εφαρμογή προεντεταμένων ελασμάτων. Η χρήση προεντεταμένων ελασμάτων από ινοπλισμένα πολυμερή είναι μια ειδική εφαρμογή που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα ενός παθητικού κατασκευαστικού συστήματος από ελάσματα FRP με τα πλεονεκτήματα της γενικής εξωτερικής προέντασης. (Καϊάφας και Τσαμόπουλος,2006)

Τα προεντεταμένα ελάσματα από FRP χαρακτηρίζονται, όπως και τα μη προεντεταμένα, από πολύ χαμηλό βάρος (1/4 περίπου του χάλυβα), υλικά που δε διαβρώνονται, υψηλή εφελκυστική αντοχή και ευκολία και ταχύτητα εφαρμογής. Ασκώντας προένταση στο έλασμα, το υλικό χρησιμοποιείται πιο αποτελεσματικά, αφού ένα μεγαλύτερο ποσοστό της εφελκυστικής του αντοχής είναι διαθέσιμο.

Η προένταση ενός συστήματος με εξωτερικά συνδεδεμένα ελάσματα FRP έχει ως πλεονεκτήματα άψογη ανθεκτικότητα και βελτίωση της λειτουργικότητας και της φέρουσας ικανότητας. Τα προεντεταμένα ελάσματα, όταν εφαρμόζονται στην επιφάνεια μιας δοκού από σκυρόδεμα μπορούν να βελτιώσουν τη λειτουργικότητά της και να παρέχουν άριστο έλεγχο στις ρωγμές, κλείνοντας τελείως τις ήδη υπάρχουσες και καθυστερώντας την εμφάνιση νέων. Αυτό βοηθάει στη διατήρηση

της ανθεκτικότητας της κατασκευής, αφού οι ρωγμές παρέχουν πρόσθετη πρόσβαση στην υγρασία στο εσωτερικό του σκυροδέματος.

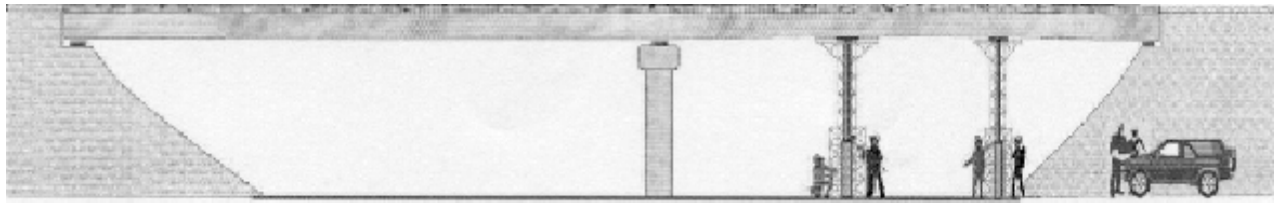
Αρκετά συστήματα έχουν αναπτυχθεί για να προκαλέσουν προένταση στα ελάσματα. Αυτά τα συστήματα συγκαταλέγονται βασικά σε τρεις κατηγορίες που εμπεριέχουν συστήματα κυρτωμένων δοκών, συστήματα προέντασης ελασμάτων σε μία ανεξάρτητη δοκό και συστήματα κατά τα οποία το έλασμα προεντίνεται πάνω στη δοκό προς ενίσχυση. Επίσης, έχει αναπτυχθεί σύστημα για διατμητική ενίσχυση και περίσφιξη του σκυροδέματος καθώς έχει διαχωριστεί η μέθοδος προέντασης ελασμάτων για ενίσχυση υποστυλωμάτων.

Τα ελάσματα που έχουν προενταθεί παρουσιάζουν μεγάλες τάσεις στα σημεία τερματισμού τους. Αυτές οι τάσεις είναι αρκετές για να προκαλέσουν αποκόλληση και για αυτό το λόγο πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αγκύρωση των ελασμάτων. (ΥΠΕΧΩΔΕ,2001)

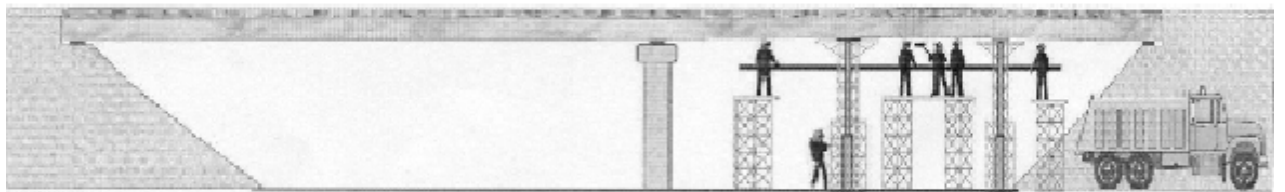
### **7.3.5 Συστήματα κυρτώμενων δοκών**

Στις κυρτωμένες δοκούς, τα ελάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή προεντίνονται εμμέσως, ως εξής:

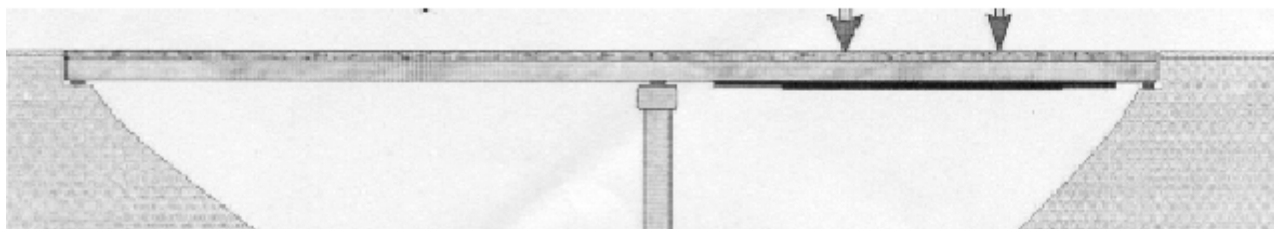
Η δοκός κυρτώνεται με φορά τόξου προς τα πάνω με τη βοήθεια υδραυλικών ανυψωτήρων στο μέσο του ανοίγματος, όπου και τοποθετείται ινοπλισμένο πολυμερές από γυαλί με εποξειδική ρητίνη. Η δοκός παραμένει σε αυτή τη θέση και το έλασμα στην κατώτερη εφελκυσόμενη επιφάνεια της δοκού κάμπτεται. Οι ανυψωτήρες αφαιρούνται όταν η εποξειδική ρητίνη, έχει ανακτήσει τελείως την αντοχή της. Εφαρμογή της παραπάνω τεχνικής φαίνεται στην εικόνα 31.



α. Εφαρμογή κατακόρυφης δύναμης προς τα πάνω, χρησιμοποιώντας υδραυλικούς ανυψωτήρες



β. Τοποθέτηση των FRP ελασμάτων



**Εικόνα 33: Εφαρμογή Συστήματος Κυρτωμένων δοκών**

Μόνο ένα χαμηλό ποσοστό της προέντασης έχει επιδράσει στα ελάσματα κατά την αφαίρεση των ανυψωτήρων. Αυτή η μέθοδος αξιοποιεί πολύ ανεπαρκώς το υλικό και μπορεί να καταστρέψει και να υπερφορτίσει την ενισχυμένη δοκό. Στο πεδίο εφαρμογής, η προσπάθεια που πρέπει να καταβληθεί για την καμπύλωση της γέφυρας στο μέσο του ανοίγματος είναι αρκετά μεγάλη, σε σχέση με την μικρή δύναμη προέντασης που προκαλείται στο έλασμα.

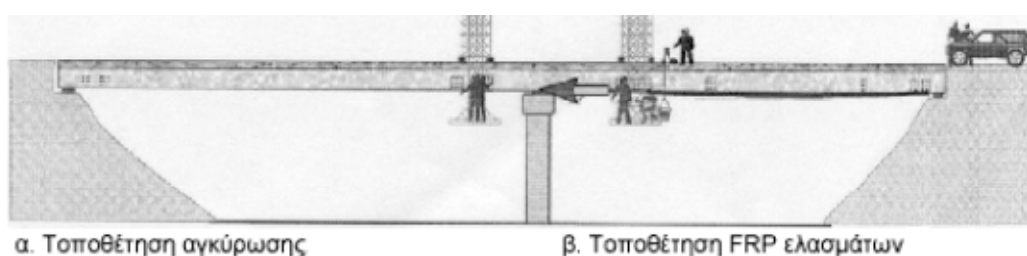
### 7.3.6 Προένταση πάνω στην δοκό

Στην μέθοδο αυτή το κατασκευαστικό σύστημα αποτελείται από ελάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή τα οποία συνδέονται με αγκύρωση στα άκρα της δοκού που έχει σαθρό σκυρόδεμα και χρειάζεται επισκευή και αποκατάσταση.



Ξεχωριστά αγκύρια προσαρμόζονται κατα μήκος της δοκού με τα ελάσματα να εντείνονται άμεσα με εφελκυσμό των αγκυριών τους τα οποία αντιδρούν με τις εξωτερικές αγκυρώσεις πάνω στην ενισχυμένο δοκό.

Με αυτά τα ελάσματα επιτεύχθηκε επίπεδα προέντασης των ινοπλισμένων πολυμερών που αντιπροσωπεύουν το 23% της εφελκυστικής αντοχής ενώ η ευκαμψία των δοκών αυξήθηκε κατά 11%. Η εφαρμογή της μεθόδου φαίνεται στην εικόνα 32.(Τριανταφύλλου,2004)



Εικόνα 34: Εφαρμογή της μεθόδου με προένταση πάνω στην δοκό

#### 7.4 Ενίσχυση βάρων γεφυρών έναντι διάβρωσης με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών (FPR)

Ένα παράδειγμα εφαρμογής FRP, είναι η γέφυρα Friendship Trails .Η γέφυρα αυτή, κατασκευάστηκε το 1956 . Η επισκευή της άρχισε το 1997 και το 1999 πλέον ήταν έτοιμη να επαναλειτουργήσει.

Με μήκος 4,2 km και 275 ανοίγματα εδραζόμενα σε 254 κολώνες από οπλισμένο σκυρόδεμα απαιτήθηκε επισκευή σε ποσοστό 70% των κολωνών.

Αποτέλεσμα ήταν να ενισχυθούν όλες οι κολώνες (διαστάσεις 50,8cm x 50.6cm) από 15 cm κάτω από την επιφάνεια του νερού μέχρι και το κάτω πέλμα των δοκών της γεφύρας. Καθώς τα νερά είχαν βάθος 4,9m απαιτήθηκε ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός νέου συστήματος σκαλωσιάς (Εικόνα 5.3.6.1). Αυτό έπρεπε να είναι ελαφρύ και κατάλληλα διαμορφωμένο ώστε να αντέχει το βάρος 6 ανθρώπων . Η σκαλωσιά αυτή κρεμάστηκε από τις δοκούς και εκτεινόταν 3 m χαμηλότερα από αυτές.

Στη γέφυρα Friendship Trails χρησιμοποιήθηκαν δυο μέθοδοι εφαρμογής των FRP. Στην πρώτη μέθοδο (Εικόνα 5.3.6.2) η διαδικασία κοπής και εμποτισμού των FRP με ρητίνη η οποία ενεργοποιείται όταν έρχεται σε επαφή με το νερό, γίνονται στο εργοστάσιο και εν συνεχεία μεταφέρονται στο εργοτάξιο σε ειδικά θερμομονωτικά πακέτα (pre-preg system). Στην δεύτερη μέθοδο (Εικόνα 5.3.6.3) εφαρμόζεται επιτόπου εμποτισμός του FRP (wet lay-up system) με αδιάβροχη ρητίνη. Και για τις δύο μεθόδους χρησιμοποιήθηκαν FRP φτιαγμένα από άνθρακα και γυαλί. Εφαρμόστηκαν ακόμη, σε κάθε μέθοδο ξεχωριστά και για κάθε υλικό (CERP, GERP) φύλλα FRP τόσο μίας, όσο και δύο διευθύνσεων.

Για το σύστημα «pre-preg» ο χρόνος επισκευής αναλογεί σε 2 κολώνες ανά ώρα. Διεργώντας διάφορα πειράματα, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα φύλλα FRP δύο διευθύνσεων λειτουργούσαν καλύτερα από αυτά της μίας διεύθυνσης. Το σύστημα «pre-preg» ήταν ευκολότερο στην εφαρμογή, ενώ το «wet-lay-up» εμφάνισε προβλήματα. Επίσης, το εγκάρσιο, στον άξονα της υποστύλωσης, τύλιγμα αποδείχτηκε τόσο γρηγορότερο όσο και ευκολότερο. (Κορρές,2007)



**Εικόνα 35: Σύστημα σκαλωσιάς**



**Εικόνα 36: Εφαρμογή και τοποθέτηση FRP κατά το σύστημα pre-preg**

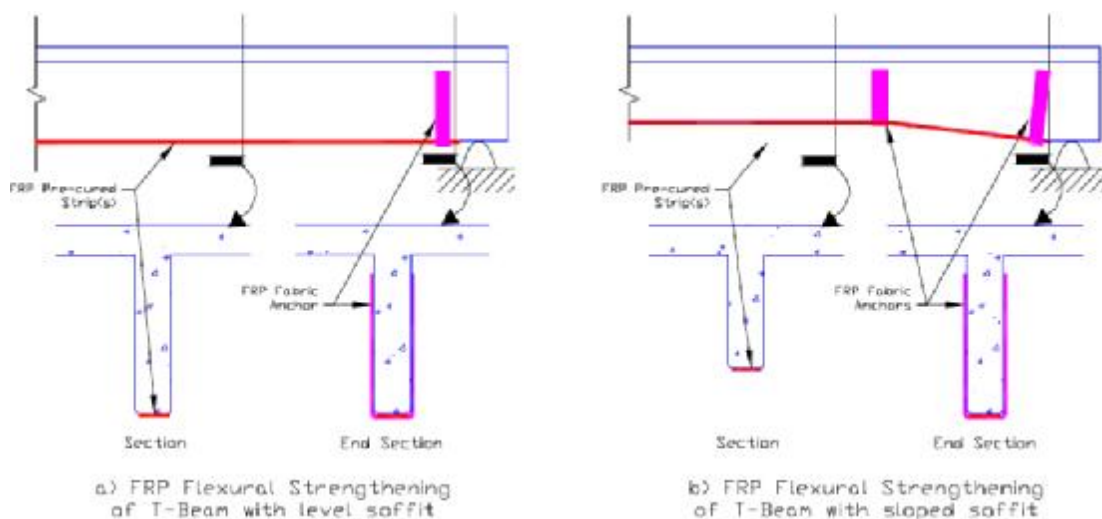


**Εικόνα 37: Εφαρμογή και τοποθέτηση FRP κατά το σύστημα wet lay-up**

#### **7.4.1 Τρόποι ενίσχυσης δοκών γεφυρών σε τέμνουσα και κάμψη**

Σύμφωνα με τον O'Connor,(2013) οι τρόποι που γίνεται η ενίσχυση των δοκών των γεφυρών σε τέμνουσα και κάμψη είναι οι ακόλουθοι:

- Ενίσχυση δοκού γέφυρας διατομής T σταθερής αλλά και μεταβλητής διατομής κελύφους έναντι κάμψης με επικόλληση ελασμάτων στο κάτω πέλμα και αγκύρωση αυτών στα άκρα με ελάσματα FRP.



Εικόνα 38 : Καμπτική ενίσχυση δοκού γέφυρας διατομής T

- Ενίσχυση δοκού γεφύρας διατομής T έναντι διατομής με δυο τρόπους:
  - i. Με κλειστούς συνδετήρες από FRP, όπου απαιτείται να τρυπηθεί η πλάκα του καταστρώματος, με αποτέλεσμα την διακοπή της κυκλοφορίας και,
  - ii. Με ανοιχτούς συνδετήρες ή ελάσματα FRP, τα οποία αγκυρώνονται με στοιχεία από χάλυβα ή FRP και βλήτρα τα οποία αγκυρώνονται στην πλάκα του καταστρώματος και στον κορμό της δοκού.

#### 7.4.2 Ενίσχυση καταστρώματος

Οι φθορές στα καταστρώματα αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό συμβαίνει επειδή το πέρασμα των χρόνων έχει ως συνέπεια τον ερπυσμό, την διάβρωση, την αύξηση των φορτίων και άλλες φθορές, όπως προαναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο. Ωστόσο, η

ενίσχυσή τους και η επισκευή τους με ελάσματα FRP αποτελεί μια αρκετά ικανοποιητική λύση.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της εφαρμογής αποτελεί η γέφυρα Country Hills Boulevard. Από τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετώπιζε ήταν ο κίνδυνος αστοχίας του λεπτού καταστρώματος σε κάμψη στην εγκάρσια διεύθυνση, λόγω των κλίσεων των βάθρων και των μεγάλων φορτίσεων που δεχόταν από τα φορτηγά. Η τυπική ενίσχυση με χαλύβδινες ράβδους θα συνεπαγόταν τμηματικό σπάσιμο του καταστρώματος προκειμένου να δημιουργηθούν λωρίδες για να τοποθετηθούν αυτές οι ράβδοι και στη συνέχεια θα γινόταν επανασκυροδέτηση. Η κυκλοφορία των οχημάτων όμως δεν έπρεπε να διακοπεί, σε ένα από τα δύο ρεύματα τουλάχιστον. Για το σκοπό αυτό κρίθηκε καταλληλότερη μέθοδος η ενίσχυση με FRP. Τελικά, τοποθετήθηκαν ελάσματα FRP από άνθρακα στο πάνω μέρος του καταστρώματος για την πρόσθετη ανάληψη αρνητικών ροπών. Η επιλογή ελασμάτων FRP από άνθρακα αποδείχτηκε ότι ήταν αρκετά καλή επιλογή, καθώς η επίστρωση της ασφάλτου πάνω από αυτά έγινε απλά και γρήγορα λόγω του μικρού τους πάχους. (O'Connor,2013)



**Εικόνα 39: Ενίσχυση καταστρώματος της γέφυρας Country Hills Boulevard**

Ένα ακόμα παράδειγμα ενίσχυσης καταστρώματος αποτελεί η γέφυρα Martin Springs. Το πρόβλημα που παρουσιάστηκε στη συγκεκριμένη γέφυρα ήταν οι διαμήκεις ρωγμές στην κάτω επιφάνεια του καταστρώματος, οι οποίες αφού σφραγίστηκαν εξωτερικά με ρητινόστοκο, στη συνέχεια γέμισαν με ενέσεις ρητίνης υπό υγρή μορφή. Ακολούθησε η ενίσχυση σε κάμψη, η οποία έγινε ως εξής:

- επικόλληση ελασμάτων FRP από άνθρακα (Εικόνα 5.3.8.4) και,
- γέμιση εγχοπών που δημιουργήθηκαν στην κάτω επιφάνεια με ρητινόστοκο και τοποθέτηση ράβδων FRP από άνθρακα (Εικόνα 5.3.8.5). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του βέλους έως και 20%. (O'Connor,2013)



**Εικόνα 40: Διαμηκης ρωγμή στην κάτω επιφάνεια του καταστρώματος της γέφυρας Martin Springs**



i) Surface Preparation with Primer and Putty



b) Application of Saturant



c) Application of CFRP Laminates



d) Application Completed

**Εικόνα 41: Διαδικασία ενίσχυσης του καταστρώματος της γεφύρας Martin Springs με ελάσματα FRP**



a) Grooves Prepared as per Design Geometry



b) Inserting Epoxy Paste into the Groove



c) Insertion of NSM Bar into the Groove



d) Application Completed

**Εικόνα 42: Διαδικασία ενίσχυσης του καταστρώματος της γεφύρας Martin Springs με ράβδους FRP**

## Συμπεράσματα

Η αποκατάσταση των φθορών του σκυροδέματος στις κατασκευές και στις γέφυρες ειδικότερα αποτελούσε πάντα ένα μεγάλο πρόβλημα εξαιτίας του κόστους και του χρόνου που απαιτούσε μια τέτοια αποκατάσταση. Κατα κύριο λόγο τα βάθρα είτε είναι τα ακρόβαθρα είτε είναι τα μεσόβαθρα είναι τα πιο σημαντικά όσο αφορά την αποκατάσταση των σαθρών σκυροδεμάτων μιας γέφυρας.

Η αποσάθρωση του σκυροδέματος μπορεί να συμβεί είτε ως αποτέλεσμα κάποιου σεισμού (σε αυτή την περίπτωση μπορεί να έχουμε πολύ μεγαλύτερες καταστροφές στην γέφυρα) είτε ως αποτέλεσμα των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο σκυροδέμα όπως η ενανθράκωση, η διάβρωση του οπλισμού που προκαλεί ρωγμές, ο ερπυσμός κ.α

Κύριο μειονέκτημα των έως τώρα επεμβάσεων ήταν η δυσκολία εφαρμογής τους.

Είδαμε πως εφαρμόζονται δυο τρόποι αποκατάστασης των φθορών του οπλισμένου σκυροδέματος στις γέφυρες.

Ο ένας είναι ο παραδοσιακός τρόπος με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος, με μανδύες από εκτοξευόμενο σκυροδέμα και με μεταλλικούς μανδύες.

Ο άλλος τρόπος είναι με την χρήση σύνθετων υλικών και κατασκευή μανδύων από σύνθετα υλικά και ινοπλισμένα πολυμερή.

Τα σύνθετα υλικά πλεονεκτούν έναντι των παραδοσιακών μεθόδων ενίσχυσης κτιρίων διότι παρουσιάζουν:

- Μικρό βάρος, ευκαμψία και διαθεσιμότητα σε διάφορα μήκη, που τα καθιστούν κατάλληλα για εύκολη και γρήγορη εφαρμογή
- Αύξηση της αντοχής και πλαστιμότητας της κατασκευής, χωρίς μεταβολή της γεωμετρίας ή της δυσκαμψίας της
- Εξαιρετικά μεγάλη εφελκυστική αντοχή, πολλαπλάσια του χάλυβα
- Πολύ χαμηλό κόστος επέμβασης
- Ανθεκτικότητα σε διαβρωτικά περιβάλλοντα και μεγάλη διάρκεια ζωής



Η ενίσχυση με σύνθετα υλικά γίνεται σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα στις γέφυρες και στις κατασκευές ενώ με τα ινοπλισμένα πολυμερή μπορούμε να ενισχύσουμε ρηγματωμένα δομικά στοιχεία, να προστατεύσουμε τις κατασκευές μας από τη διάβρωση του οπλισμού και την αποσάθρωση του σκυροδέματος. Επίσης χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση γεφυρών είτε για την αύξηση της αντοχής, είτε για την προστασία τους σε κρούση (ίνες πολυαραμιδής). Τα σύνθετα υλικά είναι μια επαρκής λύση σε σχέση με τις σύγχρονες απαιτήσεις αντισεισμικότητας.

Προσδίδουν αντοχή και παραμορφωσιμότητα χωρίς να αυξάνουν τη δυσκαμψία των ενισχυμένων στοιχείων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ενισχυμένα με ινοπλισμένα πολυμερή στοιχεία έχουν αύξηση της σεισμικής τους αντοχής κατά ένα συντελεστή 4.3 (στοιχεία EMPA) και μεγαλύτερη ενδοτικότητα.

Κύρια πλεονεκτήματα των σύνθετων υλικών όσον αφορά τις αντισεισμικές ενισχύσεις είναι το χαμηλό βάρος, έτσι ώστε να μην επιβαρύνεται περαιτέρω η κατασκευή, καθώς δεν αυξάνουν σημαντικά το ίδιο βάρος της δοκού, η ανθεκτικότητα σε διάβρωση, η μεγάλη εφελκυστική αντοχή, τομέα που υστερούν κατά πολύ οι κατασκευές από σκυρόδεμα. Επίσης σημαντικό είναι η παραγωγή των υλικών αυτών σε πολύ μεγάλα μήκη, η μεγάλη ευκαμψία τους που έχει ως συνέπεια την εύκολη και ταχύτατη εφαρμογή τους σε δύσκολα προσβάσιμα μέρη των κατασκευών. Επιπροσθέτως απαιτείται μικρή προετοιμασία στο εργοτάξιο, δεν χρειάζεται εκκένωση του χώρου, όχληση στους χρήστες είναι ελάχιστη. Τα στοιχεία που θέλουμε να ενισχύσουμε χρειάζονται μικρή και σύντομη προετοιμασία.

Τέλος η εφαρμογή των σύνθετων υλικών είναι πολύ σημαντικό να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό και με μεγάλη επιμέλεια. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο ρόλος των σύνθετων υλικών και των ινοπλισμένων πολυμερών θα είναι πρωταγωνιστικός στις ενισχύσεις κι επισκευές και γενικότερα στο κατασκευαστικό χώρο.

## Βιβλιογραφία

- 1) Παύλου Αθανασίου, Παναγής Χρήστος, *Χρήση Προέντασης για την ενίσχυση Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος*, 10ο Φοιτητικό Συνέδριο Επισκευές Κατασκευών, Πάτρα, 2010
- 2) Ματθαίος Καρλαύτης, Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου, Ιωάννης Σφήκας, *Συστήματα Διαχείρισης Γεφυρών*, Αθήνα, Μάιος 2005
- 3) Πετρίδης Θεόδωρος, *Κατασκευή γεφυρών με την μέθοδο των προκατασκευασμένων δοκών*, Αθήνα 2008
- 4) Κοκκίνου Ευαγγελία, *Καταγραφή Ταλαντώσεων Σιδηροδρομικής Γέφυρας Γοργοποτάμου με Ρομποτικό Θεοδόλιχο*, Πάτρα, 2007
- 5) Τα Πέτρινα τοξοτά γεφύρια της Ελλάδος, *ΥΕΠκΘ, Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρυνίτσας*, 2009
- 6) Ανέστης Αναστάσιος, *Επιθεώρηση και Συντήρηση Γεφυρών από Ο.Σ*, Θεσσαλονίκη, 2008
- 7) Κωνσταντινίδης Δ, *Σημειώσεις Μαθήματος Γεφυροποιίας*, Θεσσαλονίκη, 2008
- 8) Γραμματικού Σ – Χολέβας Σ, *Εφαρμογή μεθόδων σεισμικής μόνωσης σε υφιστάμενες κατασκευές*, Πάτρα, 2011
- 9) Σιγάλας Ν., *Εισαγωγή στην Γεφυροποιία - Γέφυρες κατασκευαζόμενες με την μέθοδο της Προβολοδόμησης*, ΕΜΠ, Αθήνα, 2010
- 10) Θ.Π Τάσσιος, *Προεντεταμένο Σκυρόδεμα με βάση το σχέδιο του Νέου Ελληνικού Κανονισμού Σκυροδέματος*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1986
- 11) Δ.Κακαλέτσης, *Ειδικές Κατασκευές Προεντεταμένο Σκυρόδεμα*, ΤΕΙ Σερρών, Σέρρες, 2000
- 12) Κωνσταντινίδης Γ, Κουρουμλή Ο, Παπαζιώγα Ι, Λιώλιος Α, *Επιλογή του Τύπου Γέφυρας Αυτοκινητοδρόμου σε Περιοχή Υψηλής Σεισμικότητας*, 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Πάφος, Κύπρος, 2009
- 13) Θεόδωρος Τζαβέας, Κωνσταντίνος Παρδάλης, *Μελετητικές και Κατασκευαστικές Προκλήσεις στο Τμήμα Παναγιά - Γρεβενά της Εγνατίας Οδού*, 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Πάφος, Κύπρος, 2009
- 14) Ιωάννης Ρεπεντζέρης, Δημήτριος Σαρηγιάννης, Γεώργιος Κωνσταντινίδης, Παναγιώτης Μαντζιάρης, *Αντοχή Συστήματος Θεμελίου –*

- Εδάφους & Κατασκευή Φρεάτων Θεμελίωσης Γεφυρών στην Εγνατία Οδό*, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Πάφος, Κύπρος, 2009
- 15) Παναγόπουλος Γ, *Ειδικές Κατασκευές από Οπλισμένο και Προεντεταμένο Σκυρόδεμα*, Σέρρες, 2010
- 16) Ν. Σιγάλας, *Σύνδεση Βάθρων – Καταστρώματος*, Αθήνα, ΕΜΠ, 2010
- 17) ΠΕΤΕΠ, *Προακατασκευασμένοι και Προεντεταμένοι δοκοί*, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 2001
- 18) Ιωάννης Τέγος, - Νικόλαος Χαλάτης, *Γέφυρες από σκυρόδεμα υψηλού βαθμού μονολιθικότητας*, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Πάφος, Κύπρος, 2009
- 19) Αργυρούδης Σ, Πιτιλάκης Κ, Κάππος Α, Σέξτος Α, *Μελέτη σεισμικής τρωτότητας γεφυρών από σκυρόδεμα. Εφαρμογή στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης*, 2011
- 20) Τριανταφύλλου Α. Χ., *Ενισχύσεις Κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά*, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2η έκδοση, Πάτρα, 2004
- 21) Παναγιώτης Νικολόπουλος, *Τεχνολογία νέων υλικών σε επισκευές-ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα*, 6ο Φοιτητικό συνέδριο “Επισκευές κατασκευών 2000”, Πανεπιστήμιο Πατρών 2000
- 22) Μπουρνάς Α., Τριανταφύλλου Αθ. Χ., *Νέα Τεχνική Αντισεισμικής Ενίσχυσης Υποστυλωμάτων Οπλισμένου Σκυροδέματος Έναντι Κάμψης με Χρήση Πρόσθετου Οπλισμού Συνθέτων Υλικών ή Ανοξειδωτού Χάλυβα σε Εγκοπές*, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνα, 2008
- 23) ΥΠΕΧΩΔΕ, *Συστάσεις για Προσεισμικές και Μετασεισμικές Επεμβάσεις σε Κτίρια*, Ο.Α.Σ.Π, Αθήνα, 2001
- 24) Σπυράκος Κ, *Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία*, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα, 2004
- 25) Δρίτσος Σ, *Ενισχύσεις/ Επισκευές Κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, Διαδικασίες – Τεχνικές και Διαστασιολόγηση*, Πάτρα, 2009
- 26) Καλλιανώτης Φ, - Σταθάς Ν., *Αιτία και Μέθοδοι επισκευής ρωγμών στο οπλισμένο σκυρόδεμα*, 15ο Φοιτητικό συνέδριο “Επισκευές κατασκευών 2000”, Πανεπιστήμιο Πατρών 2009
- 27) *Ολοκληρωμένα συστήματα ενίσχυσης κατασκευών με σύνθετα υλικά*, ISOMAT A.B.E.E., 2011

- 28) Καραντζίκης Μ, *Ενισχύσεις κατασκευών με σύνθετα υλικά στην Ελλάδα*, Παρουσίαση στο Σεμινάριο Ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα υλικά, ΤΕΕ, Αθήνα, 2007
- 29) Βρεττός Ι, *Καμπτική Ενίσχυση Υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά και χρήση αγκυρίων σύνθετων υλικών τύπου Θυσάνου*, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 2009
- 30) Κεφαλογιάννης Μ, *Σεισμική Ενίσχυση και επισκευή γεφυρών*, 10<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών –04», Πάτρα, 2004
- 31) Καΐάφας Ν, - Τσαμόπουλος Ν, *Αντισεισμικές ενισχύσεις κτιρίων με σύνθετα υλικά*, Εκδόσεις ΤΕΙ Πειραιά, Πειραιάς, 2006
- 32) Μίντζας Π, - Σταυρέλη Δ., *Σεισμική αποτίμηση γέφυρας σκυροδέματος και ενίσχυση βάθρων με μανδύα ινοπλισμένων πολυμερών*, 18ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών” Πάτρα, Φεβρουάριος 2012
- 33) Κορρές Πέτρος, *Επισκευή και ενίσχυση γεφυρών απο οπλισμένο σκυρόδεμα με χρήση FPR*, 13ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών “ Πάτρα, 2007
- 34) Ζαχαροπούλου Γ, - Θεοδωρόπουλος Δ, *Βλάβες και επισκευές γεφυρών απο σεισμό*, 14ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών “ Πάτρα, Φεβ. 2008
- 35) Παπαθεωδόρου Ν, - Φιλίνης Χ, *Ενίσχυση υποστυλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος*, 17ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών “ Πάτρα, 2011
- 36) Αποστολόπουλος Χ, *Υλικά και Αντοχή σε Διάρκεια*, ΤΕΕ τμ. Δυτικής Ελλάδας, ΟΑΣΠ, ΣΠΜΕ, Ευρωκώδικας 2, Πάτρα, 2011
- 37) Κουρνέτας Δ, *Διάβρωση Οπλισμένου Σκυροδέματος – Μέτρα Επέμβασης*, 16<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, Πάτρα ,2010
- 38) Jerry O’ Connor , U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Bridges & Structures, Washington, 2013

## **Εφημερίδες – Επιστημονικά Περιοδικά – Ιστοσελίδες**

Εφημερίδα το Βήμα, αρ. φύλλου 14781, 06/12/2007

ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ, τεύχος 3<sup>ο</sup>, 2009

[www.scienceillustrated.gr](http://www.scienceillustrated.gr)