



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

**ΠΜΣ «Δομοστατικά Έργα»**

**Μεταπτυχιακή εργασία**

**ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ  
ΜΕΛΗ ΜΕ ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ, ΦΘΟΡΕΣ  
ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΑΙΤΙΕΣ**

**Καρελιώτης Ευάγγελος**

Επιβλέπων καθηγητής  
**Αντώνιος Κυριαζόπουλος**

**ΙΟΥΝΙΟΣ 2023**

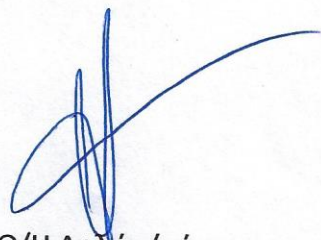
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ..... Καρελιώτης Ευάγγελος ..... του Αλεξάνδρου,  
με αριθμό μητρώου 25 φοιτητής/τρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών  
Σπουδών "Δυναμικά Έργα" ..... του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της  
Σχολής Μηχανικών ..... του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.



Ο/Η Δηλών/ούσα

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

**Κυριαζόπουλος Αντώνιος**

Επιβλέπων καθηγητής /  
Μέλος εξεταστικής επιτροπής

**Δημάκος Κωνσταντίνος**

Μέλος εξεταστικής επιτροπής

**Τριαντ.-Φίλης Κόκκινος**

Μέλος εξεταστικής επιτροπής

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	5
<b>2. Κανονιστικά πλαίσια</b>	
2.1. Πρότυπο EN 1504.....	8
2.2. Πρότυπο ΚΑΝ.ΕΠΕ. ....	10
<b>3. Ρωγμές</b>	
3.1 Γενικά .....	14
3.2 Τύποι ρωγμών .....	15
<b>4. Παθολογία των κατασκευών λόγω φορτίσεων (Τυχηματικών ή/και μη)</b>	
4.1 Βλάβες σε υποστυλώματα .....	27
4.1.1 Τυπικοί βαθμοί βλαβής.....	27
4.1.2 Χαρακτηρας βλαβών.....	29
4.2 Βλάβες σε κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων .....	31
4.3 Βλάβες σε τοιχώματα.....	33
4.3.1 Βλάβες διατμητικού τυπου.....	33
4.3.2 Βλαβες καμπτικου τυπου.....	34
4.3.3 Βλάβες ολίσθησης στους αρμούς διακοπής.....	35
4.4 Βλάβες σε δοκούς .....	35
4.4.1 Βλάβες από κάμψη .....	35
4.4.2 Βλάβες από διατμηση.....	36
4.5 Βλάβες σε πλάκες .....	37
4.6 Βλαβες σε θεμελια.....	38
<b>5. Παθολογία των κατασκευών λόγω διάβρωσης</b>	
5.1 Διάβρωση – Γενικά .....	40
5.2 Μηχανισμος διαβρωσης του χαλυβα στο σκυροδεμα.....	47
5.3 Μηχανισμοί υποβάθμισης της παρεχόμενης προστασίας του Σκυροδεματος στον οπλισμο.....	49
5.3.1 Ενανθρακωση.....	49
5.3.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ενανθράκωση .....	50
5.3.2 Χλωριόντα.....	50
5.3.3 Χημική προσβολή .....	52
5.4 Μέθοδοι ελέγχων & μετρήσεων .....	53
<b>6. Μεθοδοι και οργανα διαγνωσης βλαβων</b>	
6.1 Μη καταστροφικοί έλεγχοι.....	58
6.2 Ημι-καταστροφικοί ελεγχοι.....	61
6.3 Καθολικη φορτιση.....	64
<b>7. Μέθοδοι προστασίας έναντι διάβρωσης</b>	
7.1 Αύξηση Αντίστασης (ΑΑ) του Σκυροδέματος για την μείωση του Κινδύνου Διάβρωσης.....	65

7.2 Διατήρηση ή Αποκατάσταση Παθητικότητας (ΑΠ).....	66
7.3 Αναστολεις διαβρωσης.....	67
7.4 Καθοδικη προστασια.....	69
<b>8. Υλικά επισκευής και ενίσχυσης δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος</b>	
8.1 Σύνθετα υλικά - Ινοπλισμένα πολυμερή .....	76
8.1.1 Ιδιότητες σύνθετων υλικών .....	76
8.1.2 Κατηγορίες σύνθετων υλικών .....	77
8.2 Σκυροδεμα.....	82
8.2.1 Συμβατικό Σκυρόδεμα χυτό επί τόπου .....	82
8.2.2 Χύτευση σκυροδέματος σταθερού όγκου .....	82
8.2.3 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα .....	83
8.2.4 Πολυμερές σκυρόδεμα .....	84
8.2.5 Σκυροτσιμεντοπηγμα .....	85
8.2.6 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ενισχυμένο με ίνες .....	86
8.3 Χαλύβδινα επικολητά ελάσματα .....	86
8.4 Επισκευαστικά Κονιάματα .....	87
8.5 Ενεματα.....	87
8.6 Βλητρα .....	88
<b>9. Τεχνικές επεμβάσεων για επισκευή και ενίσχυση δομικών στοιχείων</b>	
9.1 Ρητινενέσεις.....	90
9.2 Ριζοπλισμοί.....	91
9.3 Επικόλληση ελασμάτων σε σκυρόδεμα.....	94
9.4 Ηλεκτροσυγκόλληση νέων οπλισμών.....	94
9.5 Μανδύες από Ο/Σ.....	94
9.6 Ινοπλισμενα πολυμερη (FRP).....	95
<b>10. Επισκευές και ενισχύσεις δομικών στοιχείων</b>	
10.1 Μεθοδοι επισκευης και ενισχυσης υποστυλωματων.....	97
10.1.1 Επισκευή υποστυλωμάτων.....	97
10.1.2 Ενίσχυση υποστυλωμάτων.....	100
10.2 Μεθοδοι επισκευής και ενίσχυσης Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων.....	107
10.2.1 Επισκευή Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων.....	107
10.2.2 Ενίσχυση Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων.....	107
10.3 Μεθοδοι επισκευής και ενίσχυσης τοιχωμάτων.....	112
10.3.1 Επισκευη τοιχωματων.....	112
10.3.1 Επισκευη τοιχωματων.....	112
10.4 Μεθοδοι επισκευής και ενίσχυσης Δοκών/Πλακών.....	115
10.4.1 Επισκευη Δοκών/πλακών.....	116
10.4.2 Ενίσχυση Δοκών/πλακών.....	117
10.5 Ενίσχυση θεμελίωσης.....	127
Βιβλιογραφια.....	130

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Η ενίσχυση και η επισκευή κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί πλέον έναν από τους θεμελιώδεις κλάδους του Πολιτικού Μηχανικού. Καθώς οι αιτίες φθοράς του σκυροδέματος, και συνεπώς των κατασκευών, είναι πολλές και ποικίλες, οι διάφοροι κανονισμοί και διατάξεις παρέχουν ένα ευρύ φάσμα επιλογών για την επίλυση του προβλήματος.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών σύμφωνα με το ελληνικό και ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο. Σκοπός της παρούσα εργασίας είναι να αναφερθούν όσο πιο σφαιρικά γίνεται οι αιτίες των βλαβών καθώς και η οποιαδήποτε μεθοδολογία στον τομέα των επισκευών και ενισχύσεων.

Αρχικά, γίνεται αναφορά στα κανονιστικά πλαίσια που ισχύουν αυτή την στιγμή στην Ελλάδα, δηλ τον ΚΑΝ.ΕΠΕ που εστιάζει στις ενισχυσεις και στο προτυπο EN 1504 το οποίο εστιάζει στα υλικά επισκευών καθώς και στην προστασία της κατασκευής γενικότερα.

Επίσης γίνεται αναφορά στην παθολογία των κατασκευών, με εκτενή αναφορά στις βλάβες από τις 2 βασικές αιτίες : Δυναμικές φορτίσεις και την διαβρωση. Οσον αφορά την παθολογία των βλαβών λόγω τυχηματικών φορτισεων (πχ. Σεισμος) σε μια κατασκευη, αυτές κατηγοριοποιούνται αναλογα με το είδος των στοιχείων. Οσον αφορά το φαινόμενο της διαβρωσης και τις επιπτώσεις του, γίνεται αναφορά στις κατηγορίες των μηχανισμών υποβαθμίσης του σκυροδεματος, στις μεθόδους αποτιμήςης του προβληματος και στις μεθόδους προστασίας.

Τέλος γίνεται εκτενης αναφορά, ανάλογα με την έκταση του προβλήματος, γίνεται αναφορά στις μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης των φέροντων στοιχείων.

**Λεξείς – κλειδία :** Επισκευες , ενισχυσεις , παθολογία κατασκευων , διαβρωση , μεθοδοι

---

## *ABSTRACT*

---

The reinforcement and repair of reinforced concrete structures is now one of the fundamental disciplines of Civil Engineering. As the causes of deterioration of concrete, and therefore of structures, are many and varied, the various codes and regulations provide a wide range of options for solving the problem.

This thesis deals with the repair and strengthening of structures according to the Greek and European regulatory framework. The aim of this thesis is to report as comprehensively as possible the causes of damage and any methodology in the field of repair and strengthening.

Initially, reference is made to the regulatory frameworks currently in force in Greece, i.e. the KAN.EPE which focuses on reinforcements and the EN 1504 standard which focuses on repair materials and protection in construction in general.

Furthermore, reference is made to the pathology of structures, with extensive reference to damage from the 2 main causes : dynamic loads and corrosion. As regards the pathology of damage due to random loads (e.g. earthquake) in a structure, these are categorised according to the type of elements. With regard to the phenomenon of corrosion and its effects, the categories of concrete deterioration mechanisms, methods of assessing the problem and methods of protection are discussed.

Lastly, depending on the extent of the problem, an extensive reference is made to the methods of repair and strengthening of load-bearing elements.

**Key words** : repairs , reinforcements , construction pathology , corrosion , methods

---

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Τα κτίρια που κατασκευάστηκαν πριν από το 1985, τα οποία αντιπροσωπεύουν το 70% όλων των κτιρίων στην Ελλάδα, είναι σημαντικά πιο ευάλωτα στους σεισμούς. Σε αυτά τα κτίρια, η περίοδος σεισμικής επαναφοράς κατά τη στιγμή του σχεδιασμού έχει παρέλθει. Οι πρόσφατοι σεισμοί, οι οποίοι ευτυχώς δεν έπληξαν μεγάλα αστικά κέντρα, κατέδειξαν για άλλη μια φορά ότι το κτιριακό απόθεμα της χώρας παραμένει ευάλωτο στους σεισμούς. Στο νησι της Σάμου (Οκτώβριος 2020), στη Θεσσαλία (Μάρτιος 2021) και στο Αλκαλοχωρι Ηρακλείου (Οκτώβριος 2021), σημειώθηκαν σημαντικές ζημιές και καταρρεύσεις, ιδιαίτερα πέτρινων κατοικιών και εκκλησιών, καταδεικνύοντας την πολύ διαφορετική τρωτότητα παλαιών και νέων κατασκευών στους σεισμούς και τη σημασία της εφαρμογής διατάξεων αντισεισμικής προστασίας στην ασφάλεια των κατασκευών κατέστη σαφές για άλλη μια φορά. Δημιουργήθηκε επίσης η ανάγκη για:

1. χαρτογράφηση του προφίλ των κτιρίων που δεν έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τους πιο πρόσφατους αντισεισμικούς κανονισμούς
2. εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου των κατασκευών σε διάφορες περιοχές της χώρας και
3. ενός οικονομικού σχεδίου για την προληπτική σεισμική ενισχυση των κτιρίων με τον υψηλότερο σχετικό κίνδυνο.

Για το 1, η απάντηση δίνεται από την ενδελεχή μελέτη της απογραφής του δομικού αποθέματος του Εθνικού Προγράμματος Σεισμικής Αναβάθμισης Υφιστάμενων Κατασκευών ANTYK/ΕΠΑΔΥΚ (1998-2005) του ΤΕΕ, με διάκριση των κτιρίων πριν από την εφαρμογή του πρώτου σεισμικού κανονισμού το 1959 ανά κατηγορία, το σεισμό της Θεσσαλονίκης ( 1978), τον Α/Κ του 1985 μετά τον σεισμό της Αθήνας (1981), τον Α/Κ ΝΕΑΚ του 1995 και τον πιο πρόσφατο κανονισμό ΕΑΚ 2000 μετά την εμπειρία του σεισμού της Αθήνας του 1999.

Η μελέτη διαπίστωσε ότι επτά στα δέκα ιδιωτικά κτίρια (περίπου 2,5 εκατομμύρια σε απόλυτους αριθμούς κατά την απογραφή) είχαν κατασκευαστεί πριν από το 1985. Αυτό σημαίνει ότι εκτιμάται ότι



- 5 % χτίστηκαν πριν από το 1920 και
- 11 % είναι κτίρια από το 1920 έως το 1945
- 17 % από το 1946 έως το 1960.

Από το 1961 μέχρι το 1970 κατεγράφησαν 735.791 κτίρια (18%), από το 1971-1980 737.575 κτίρια (18%) και μεταξύ 1981-1985 404,303 (10%). Συνολικά περίπου το 80% αυτών έχει χρήση κατοικίας.



πηγή: ΕΠΑΝΤΥΚ (ΤΕΕ)

Η σχετιζόμενη με την ηλικία φθορά των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα συνοδεύεται από βλάβες στα δομικά υλικά. Οι σύγχρονες μέθοδοι και κανονισμοί μπορούν να αποτρέψουν, να επιβραδύνουν και να επιδιορθώσουν τη φθορά, εξασφαλίζοντας έτσι τη μακροχρόνια αντοχή των κατασκευών.

Θα πρέπει, ωστόσο, να τονιστεί ότι ενώ οι σεισμοί αποτελούν την κύρια αιτία φθορας κτιρίων, δεν είναι η μόνη αιτία. Όπως αναλύεται παρακάτω, η αστοχία του σκυροδέματος κατα τις οποίες οι μηχανικές και οι φυσικοχημικές ιδιοτητες (ή αλλιώς της αντοχής του σκυροδέματος), είτε επιφανειακά είτε σε ολόκληρη τη μάζα, με δυνατότητα διαχωρισμού των συστατικών του. Ο σχεδιασμός των κατασκευών με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων τείνει να αποτρέπει προβλήματα που οφείλονται σε φυσικές επιδράσεις, αλλά η αναπόφευκτη γήρανση της κατασκευής θα οδηγήσει σε βλάβες της συνδυασμένης χημικής ή φυσικοχημικής υποστασης. Τα συνηθέστερα προβλήματα λόγω γήρανσης του

οπλισμένου σκυροδέματος είναι η ενανθράκωση του σκυροδέματος, η διάβρωση του οπλισμού, η προσβολή από χλωριόντα και οι συνδυασμένες επιδράσεις τους.

**Βασική αρχή επέμβασης :** Οι επεμβάσεις αποκατάστασης βλαβών πρέπει να εξασφαλίζουν ότι η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι τουλάχιστον ίση με το 75% της ονομαστικής τιμής στο τέλος της Χρονοδιαρκείας της Επισκευής (ΧΔΕ).

- **Επέμβαση:** Ως επέμβαση σε μια κατασκευή νοείται κάθε εργασία που έχει ως αποτέλεσμα να επιφέρει μια επιθυμητή αλλαγή στις υπάρχουσες μηχανικές ιδιότητες ενός στοιχείου ή μιας κατασκευής και να τροποποιήσει την απόκρισή της.

- **Επισκευή:** ως επισκευή νοείται η διαδικασία επέμβασης σε μια κατασκευή που έχει υποστεί βλάβη για οποιονδήποτε λόγο, ώστε να αποκατασταθούν οι προ της βλάβης μηχανικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων της κατασκευής και να επανέλθουν στην αρχική τους φέρουσα ικανότητα.

- **Ενίσχυση:** ως ενίσχυση νοείται η διαδικασία επέμβασης σε μια κατασκευή, κατεστραμμένη ή μη, για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας ή της πλαστιμότητας των στοιχείων ή της δομής της σε υψηλότερο επίπεδο από το αρχικά σχεδιασμένο.

---

## 2. ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

---

### 2.1 Προτυπο EN 1504

Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1504 αποτελείται από 10 μέρη και αποτελεί μια συστηματική προσέγγιση για την επισκευή σκυροδέματος. Καθορίζει προϊόντα για την προστασία και την επισκευή κατασκευών από σκυρόδεμα. Ο ποιοτικός έλεγχος των υλικών επισκευής και η εκτέλεση των εργασιών επί τόπου στα έργα αποτελούν επίσης μέρος αυτού του προτύπου.

Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1504 εφαρμόζεται πλήρως από την 1η Ιανουαρίου 2009. Τα υφιστάμενα εθνικά πρότυπα που δεν ήταν εναρμονισμένα με το νέο πρότυπο EN 1504 αποσύρθηκαν στα τέλη του 2008 και η σήμανση CE έγινε υποχρεωτική- στις 21 Ιουλίου 2010, με την κοινή υπουργική απόφαση 8136/390, τέθηκε σε ισχύ το εναρμονισμένο πρότυπο EN 1504 μετά από προσαρμογή στις απαιτήσεις του εν λόγω προτύπου. Επιπλέον, από τις 20 Σεπτεμβρίου 2010, το εναρμονισμένο πρότυπο ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με δημοσίευση στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως. Στο εξής, όλα τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται για επισκευή και προστασία πρέπει να φέρουν σήμανση CE σύμφωνα με τα σχετικά τμήματα του προτύπου EN 1504.

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο αποτελείται από 10 μέρη.

EN 1504-1	Ορισμοί και έννοιες που χρησιμοποιούνται στο Πρότυπο
EN 1504-2	Προδιαγραφές για τα προϊόντα / συστήματα προστασίας της επιφάνειας του σκυροδέματος
EN 1504-3	Προδιαγραφές για δομικές και μη-δομικές επισκευές
EN 1504-4	Προδιαγραφές για δομική συγκόλληση
EN 1504-5	Προδιαγραφές για ενέματα σκυροδέματος
EN 1504-6	Προδιαγραφές για την αγκύρωση χαλύβδινων ράβδων οπλισμού
EN 1504-7	Προδιαγραφές για την προστασία έναντι διάβρωσης του σιδηροπλισμού
EN 1504-8	Ποιοτικός έλεγχος και έλεγχος συμμόρφωσης για τις παραγωγούς εταιρείες
EN 1504-9	Γενικές αρχές για τη χρήση των προϊόντων και συστημάτων επισκευής και προστασίας του σκυροδέματος
EN 1504-10	Πληροφορίες για την επί τόπου εφαρμογή των προϊόντων και τον ποιοτικό έλεγχο των εργασιών.

## **Βασικά στάδια της διαδικασίας επισκευής και προστασίας σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1504**

Η επιτυχής επισκευή και προστασία των κατεστραμμένων ή φθαρμένων κατασκευών από σκυρόδεμα απαιτεί, πρώτα απ' όλα, μια αξιολόγηση από ειδικούς και μια σωστή και σε βάθος κατανόηση της κατάστασης. Επιπλέον, απαιτεί το σχεδιασμό, την εφαρμογή και την επίβλεψη τεχνικά ορθών αρχών και μεθόδων για τη χρήση προϊόντων και συστημάτων σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1504-9.

1. Αξιολόγηση μετά από έρευνα της κατάστασης της κατασκευής Η αξιολόγηση της κατάστασης των κατεστραμμένων ή υποβαθμισμένων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα πρέπει να πραγματοποιείται μετά από έρευνα από ειδικευμένους και έμπειρους μηχανικούς. Οι εργασίες εκτίμησης θα περιλαμβάνουν πάντοτε τα ακόλουθα:

- Την κατάσταση της κατασκευής, συμπεριλαμβανομένων των ορατών, μη ορατών και πιθανών ζημιών.
- Σχεδιασμός με βάση την έκθεση της κατασκευής σε περιβαλλοντικές δράσεις στο παρελθόν, στο παρόν και στο μέλλον.

2..Εντοπισμός και διάγνωση των κύριων αιτιών φθοράς Μετά την επανεξέταση του αρχικού σχεδιασμού και των μεθόδων κατασκευής και την αξιολόγηση της κατάστασης, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι κύριες αιτίες φθοράς και η έκτασή τους:

- Προσδιορισμός της μηχανικής, χημικής και φυσικής φθοράς και των ελαττωμάτων του σκυροδέματος.
- Προσδιορισμός των βλαβών στο σκυρόδεμα λόγω διάβρωσης του οπλισμού

3. Προσδιορισμός των επιλογών και των στόχων των μέτρων επισκευής και προστασίας Στις περισσότερες κατεστραμμένες και υποβαθμισμένες κατασκευές από σκυρόδεμα, ο ιδιοκτήτης είναι σε θέση να επιλέξει, από μια σειρά επιλογών, τα καταλληλότερα μέτρα επισκευής και προστασίας για την ικανοποίηση των μελλοντικών απαιτήσεων της κατασκευής:

- Να μην κάνει τίποτα (για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα).
- Μείωση της φέρουσας ικανότητας ή της λειτουργίας της κατασκευής
- Αποτροπή ή μείωση περαιτέρω ζημιών χωρίς επισκευή ή βελτίωση.

- Αναβαθμιση, ενίσχυση, ολική ή μερική ανακατασκευή της κατασκευής
- Κατεδάφιση.

## 2.2 Κανονισμός επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Σκοπός του παρόντος Κανονισμού είναι να θεσπίσει κριτήρια για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των υφιστάμενων κατασκευών, τους εφαρμοστέους κανόνες για τον σεισμικό ανασχεδιασμό και τις πιθανές επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις.

Σύμφωνα με τον παρόντα κανονισμό, πρέπει να πληρούνται συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης και ανασχεδιασμού. Ο κανονισμός υποχρεώνει τις κατασκευές να πληρούν τις ελάχιστες φέρουσες ικανότητες που διαφέρουν ανάλογα με τη χρήση, τον τύπο, την ημερομηνία κατασκευής και τους ισχύοντες κανονισμούς, προτείνει μεθόδους ενίσχυσης και συσχετίζει το κανονιστικό πλαίσιο με άλλους ισχύοντες κανονισμούς (π.χ. Ευρωκώδικας 8). Ο παρών κανονισμός δεν περιορίζει τον μελετητή από τη χρήση ακριβέστερων μεθόδων ανάλυσης, υπό την προϋπόθεση ότι τηρούνται τα επίπεδα ασφαλείας που επιβάλλει ο μελετητής και σε κάθε περίπτωση απαιτείται έγκριση για τη χρήση τους από την αρμόδια δημόσια αρχή. Ακολουθεί εκτενής αναφορά των βασικών αρχών και κριτηρίων του παρόντος κανονισμού, συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων επιτελεστικότητας και των στόχων αξιολόγησης ή ανασχεδιασμού, των επιπέδων αξιοπιστίας των δεδομένων (και των επιπτώσεών τους) και της πρόβλεψης του δείκτη συμπεριφοράς  $q$ .

### **Οι περιπτώσεις κατά τις οποίες χρησιμοποιείται ο κανονισμός είναι οι εξής:**

- Γενική Απαίτηση [Εκθεση Επικινδύνου, Ιδιοκτήτης / Αγοραστής, Ταυτότητα Κτιρίου, Ενεργειακή Αναβάθμιση, Πρόληψη / Ενημέρωση κλπ.]
- Τακτοποίηση Αυθαιρέτου Ν.4495 - (Φ.Ε.Κ1643Β|11.05.2018)
- Προσθήκη - (Φ.Ε.Κ350Β|17.02.2016)
- Αλλαγή Χρήσης - (Φ.Ε.Κ350Β|17.02.2016)
- Αλλαγή Σπουδαιότητας - (Φ.Ε.Κ350Β|17.02.2016)
- Αλλαγή Στατικού Συστήματος - (Φ.Ε.Κ350Β|17.02.2016)
- Πυρόπληκτο – (Φ.Ε.Κ2774Β | 18.12.2015)
- Σεισμόπληκτο – (Φ.Ε.Κ455Β | 25.02.2014)

### **Μέθοδοι Ανάλυσης**

Το προσομοίωμα της υπό εξέταση κατασκευής πριν και μετά από ενδεχόμενη επέμβαση αναλύεται έτσι ώστε να προσδιοριστούν τα απαιτούμενα εντασιακά ή και παραμορφωσιακά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των οριακών καταστάσεων. Στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. προτείνονται οι παρακάτω μέθοδοι ανάλυσης:

- Ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση με καθολικό (q) ή τοπικούς (m) δείκτες συμπεριφοράς.
- Ελαστική δυναμική ανάλυση με καθολικό (q) ή τοπικούς (m) δείκτες συμπεριφοράς.
- Ανελαστική στατική ανάλυση.
- Ανελαστική δυναμική ανάλυση (ανάλυση χρονοϊστορίας).

### **Στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων**

Με βάση τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί, το ιστορικό της κατασκευής, την καταγραφή των βλαβών και τις διερευνητικές εργασίες στις οποίες έχει προχωρήσει ο Μελετητής Μηχανικός γίνεται και η κατάταξη στην ανάλογη στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων.

Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ.) που αφορούν δράσεις ή αντιστάσεις, εκφράζει την επάρκεια των πληροφοριών περί του υφισταμένου κτηρίου και λαμβάνεται υπόψη κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό. Η Σ.Α.Δ. δεν είναι αναγκαστικώς ενιαία για ολόκληρο το κτήριο. Προσδιορίζονται οι επιμέρους Σ.Α.Δ. για της διάφορες επιμέρους κατηγορίες πληροφοριών και για την επιλογή της μεθόδου ανάλυσης -για την οποία θα γίνει λόγος παρακάτω- επιλέγεται η δυσμενέστερη. Η έννοια της Σ.Α.Δ. εφαρμόζεται και για την πληρότητα της αποτύπωσης του φέροντος οργανισμού και των τοιχοπληρώσεων, ιδίως της περιπτώσεις αφανών στοιχείων. Οι επιπτώσεις της αβεβαιότητας μπορεί να ληφθούν υπόψη της δράσεις ή της αντιστάσεις κατά περίπτωση (π.χ. αβεβαιότητα στο πάχος της επικάλυψης της πλάκας θα ληφθεί υπόψη της δράσεις, αβεβαιότητα στο πάχος της της πλάκας θα ληφθεί υπόψη κυρίως της αντιστάσεις).

Διακρίνονται τρεις Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων:

- i. «Ανεκτή»
- ii. «Υψηλή»
- iii. «Ικανοποιητική»

Οι προηγούμενες Σ.Α.Δ. αντιστοιχούν στα Επίπεδα Γνώσης (ΕΓ ή ΚΛ) 1 έως 3 (περιορισμένη, κανονική, πλήρης) του ΕΚ 8-3 (§ 3.3).

Ανάλογα με τη Σ.Α.Δ.:

- ✓ Επιλέγεται γενικώς κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης και επανελέγχου.
- ✓ Επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας γf για ορισμένες δράσεις με αβέβαιες τιμές, σε συνδυασμό με της κατάλληλους γsd
- ✓ Επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας γm για τα δεδομένα των υφιστάμενων υλικών, σε συνδυασμό με της κατάλληλους γrd.

### **Σεισμική καταταξή & σταθμες επιτελεστικότητας**

Η στάθμη επιτελεστικότητας είναι ουσιαστικά η επιθυμητή συμπεριφορά του δομήματος υπό δεδομένο σεισμό σχεδιασμού. Οι στάθμες επιτελεστικότητας ορίζονται συναρτήσει του βαθμού βλάβης ως εξής, ειδικώς για τις ανάγκες του ΚΑΝ.ΕΠΕ.:

"Περιορισμένες βλάβες" (Α): ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί μόνο μικρές ζημιές και τα δομικά στοιχεία διατηρούν την αντοχή και την δυσκαμψία τους χωρίς σημαντικές διαρροές. Η μόνιμη σχετική μετακίνηση των ορόφων είναι αμελητέα. Δεν υπάρχουν προβλήματα με τη λειτουργία του κτιρίου κατά τη διάρκεια και μετά το σεισμό. Οι αντίστοιχες βλάβες περιλαμβάνουν: Αραιές τριχοειδείς ρωγμές κάμψης χωρίς ενδείξεις μόνιμης μετατόπισης των υποστυλωμάτων και των τοίχων. Κατανεμημένες ρωγμές σε μη φέροντα στοιχεία του κτιρίου, όπως χωρίσματα και τοιχοπληρώσεις, αλλά όχι ουσιαστική πτώση θραυσμάτων σοβά.

"Σημαντικές βλάβες" (Β): η δομή του κτιρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες βλάβες, αλλά είναι επισκευάσιμες και τα δομικά στοιχεία έχουν εναπομένονσα αντοχή και δυσκαμψία και μπορούν να υποστηρίξουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Η μόνιμη σχετική μετατόπιση του δαπέδου είναι μέτρια.

Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, η βλάβη ή η αστοχία του μη φέροντος οργανισμού είναι απίθανο να οδηγήσει σε σημαντικό τραυματισμό ατόμων.

Οι αντίστοιχες βλάβες υποδεικνύονται ως καμπτικές και διατμητικές ρωγμές,

περιορισμένη απολέπιση του σκυροδέματος, τοπικός λυγισμός των διαμήκων ράβδων σπλισμού σε ορισμένα υποστυλώματα και τοιχώματα και ορισμένα ανοίγματα συνδετηρών, μικρή γενική μόνιμη μετακίνηση.

"Οιονεί κατάρρευση" (C): ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες, σοβαρές ή βαριές (κυρίως ανεπανόρθωτες) ζημιές. Μεγάλη μόνιμη σχετική μετατόπιση του δαπέδου. Ο φέροντας οργανισμός μπορεί ακόμη να υποστηρίξει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία, αλλά δεν υπάρχει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμη και σε περίπτωση μετασεισμών.

Για μέτρια αντοχή, υπάρχει ένα άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης.

$\alpha_g / \alpha_{g,ref}$	Στάθμη Επιτελεστικότητας Φέροντος Οργανισμού		
	A «Περιορισμένες Βλάβες»	B «Σημαντικές Βλάβες»	Γ «Οιονεί Κατάρρευση»
1.80	A0	B0	Γ0
1.30	A1 <sup>+</sup>	B1 <sup>+</sup>	Γ1 <sup>+</sup>
<b>1.00</b>	A1	B1	Γ1
0.75	A2 <sup>+</sup>	B2 <sup>+</sup>	Γ2 <sup>+</sup>
<b>0.60</b>	A2	B2	Γ2
0.45	A3 <sup>+</sup>	B3 <sup>+</sup>	Γ3 <sup>+</sup>
0.35	A3	B3	Γ3
0.25	A4 <sup>+</sup>	B4 <sup>+</sup>	Γ4 <sup>+</sup>
<0.25	A4	B4	Γ4

*Εικόνα 1 : Στοιχοι αποτιμησης ή ανασχεδιασμου φεροντος οργανισμου*

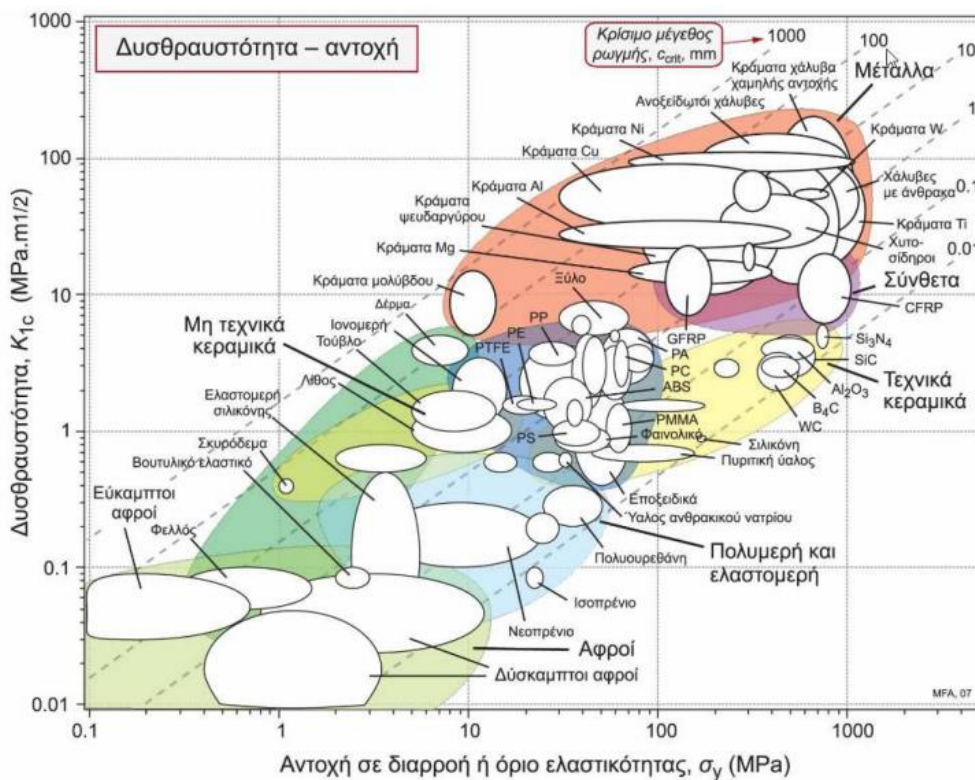


### 3. ΡΩΓΜΕΣ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

#### 3.1 Γενικά

Το σκυρόδεμα είναι ένα ψαθυρο υλικό με χαμηλή αντίσταση στην έναρξη και τη διάδοση ρωγμών. Αντίθετα, ο χάλυβας οπλισμού είναι όλκιμος και έχει υψηλή αντοχή.

Η αντίσταση ενός υλικού στην έναρξη και τη διάδοση ρωγμών (fracture toughness) εξαρτάται τόσο από το όριο διαρροής ( $\sigma_y$ ) όσο και από την ανθεκτικότητα σε θραύση ( $K_{Ic}$ ) του υλικού. Τα διάφορα υλικά ταξινομούνται ανάλογα με την αντοχή τους και την ανθεκτικότητα σε θραύση σύμφωνα με το διάγραμμα Ashby (Σχήμα 1). Το διάγραμμα αυτό περιέχει ένα νομόγραμμα των κρίσιμων διαστάσεων της ρωγμής ως συνάρτηση των παραμέτρων  $\sigma_y$  και  $K_{Ic}$ , το οποίο δίνεται από τη σχέση:  $c_{crit} = 1/\pi \sqrt{(K_{Ic} / \sigma_y)^2}$ .



Εικόνα 2 :: Κατάταξη των υλικών ως προς την αντοχή στην δημιουργία και διάδοση ρωγμών.

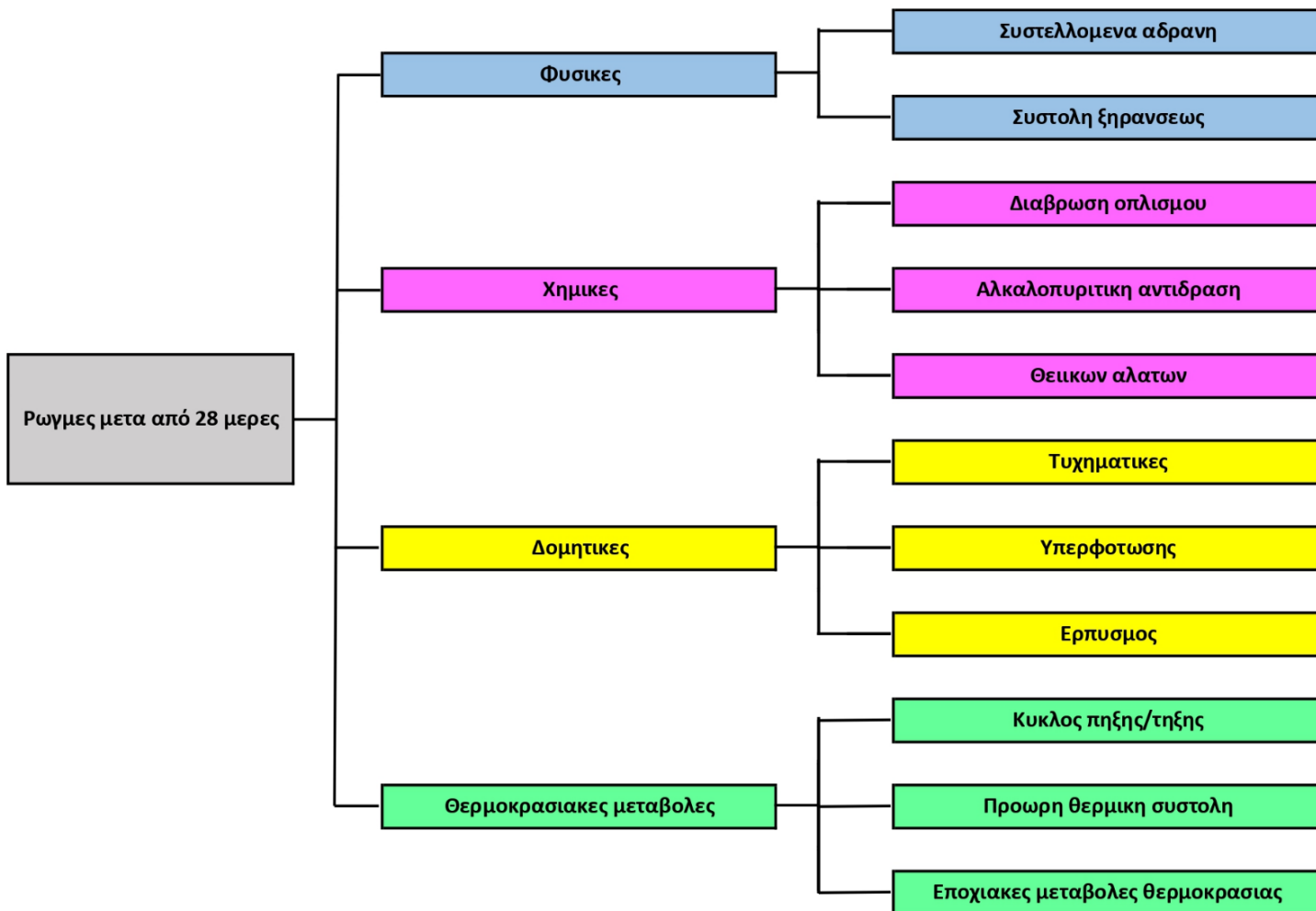
Με βάση το διάγραμμα Ashby, όσον αφορά το σκυρόδεμα και τον χάλυβα προκύπτουν τα εξής, όπου είναι εμφανής η μεγάλη διαφορά της αντίστασης σε ρηγμάτωση των δύο κυριων υλικών του οπλισμένου σκυροδέματος:

Υλικό	$\sigma_y$ (MPa)	K1c (MPa·m <sup>1/2</sup> )	Κρίσιμο μέγεθος ρωγμής (mm)
Σκυροδεμα	2	0,5	1,5 mm
Χαλυβας	500	80	15 mm

Στη μηχανική της θραύσης (Fracture Mechanics) , όταν ένα αντικείμενο φορτίζεται, η ενέργειά του αναβαθμίζεται, δηλαδή το αντικείμενο οδηγείται από το επίπεδο ενέργειας A όταν είναι αφόρτιστο στο επίπεδο ενέργειας >A όταν φορτίζεται. Στην ελαστική περιοχή, αυτή η αύξηση του ενεργειακού επιπέδου του αντικειμένου είναι η ενέργεια ελαστικής παραμόρφωσης (elastic strain energy). Κάθε φορά που εμφανίζεται μια ρωγμή, υπάρχει μείωση της ενέργειας που περιέχεται στο σώμα (απελευθέρωση μέρους της) και η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για να σχηματιστούν δύο νέες επιφάνειες της ρωγμής. Αυτή η απελευθέρωση ενέργειας (ενεργειακή μετάβαση, απελευθέρωση ενέργειας παραμόρφωσης), όπου G είναι ίση με την επιφανειακή ενέργεια  $\gamma$  των δύο επιφανειών της ρωγμής (surface energy) , δίνει την ακόλουθη σχέση :

$$G = 2c \text{ (J/m}^2\text{)} \text{ (1)}$$

## 3.2 Είδη ρωγμών



Εικονα 3 : Τυποι ρωγμων στο σκυροδεμα

## Α. ΦΥΣΙΚΕΣ

### Α1. Ρωγμές συστολής αδρανών πλουσίων σε αργιλικά (Clay rich aggregate cracking)

Η συρρίκνωση των πλούσιων σε αργιλικές προσμίξεις αδρανών είναι πολύ συνηθισμένη. Μερικοί τύποι αργίλου είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε διαστολή κατά την νωπή φάση του σκυροδέματος ενώ κατά την ξήρανση συρρικνώνονται. Οι εκ του λόγου αυτού ρωγμές εμφανίζονται στην επιφάνεια των στοιχείων εντός των πρώτων 7 ημερών από την σκυροδέτηση.

Είναι υψηλής πυκνότητας και συνήθως έχουν εξαγωνικό σχήμα. Συνήθως φθάνουν σε βάθος μερικών χιλιοστών από την επιφάνεια, ενώ το εύρος τους δεν υπερβαίνει το 0,1 mm. Επιφέρουν μείωση της αντίστασης έναντι διείσδυσης ρύπων, άρα και της ανθεκτικότητας της επικάλυψης.

Ανάλογα με το είδος της ενεργής αργίλου και την περιεκτικότητά της στα αδρανή, μετά την πρώτη ξήρανση (συρρίκνωση) ενδέχεται να ακολουθήσει νέα διόγκωση, άρα νέα εκκίνηση ρωγμών, όταν η υγρασία του σκυροδέματος ανέλθει σε υψηλά επίπεδα.

### Α2. Ρωγμές συρρίκνωσης (Shrinkage cracking)



Η δομή του σκληρυμένου σκυροδεματος υφίσταται τοπική διαστολή και συστολή λόγω των μεταβολών της περιεκτικότητας σε νερό στους πόρους λόγω υγρασίας, το μέγεθος των οποίων είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Ως αποτέλεσμα, σχηματίζονται ρωγμές όταν οι τάσεις υπερβαίνουν τη διαθέσιμη αντοχή,

γνωστές και ως υδροθερμικές ρωγμές. Οι ρωγμές αυτές εναλλασονται περιοδικά απο ενεργες σε ανενεργες ανάλογα με τις υδροθερμικές συνθήκες. Εμφανίζονται συχνά ακόμη και τρία χρόνια μετά τη σκυροδέτηση, ιδίως σε επιφάνειες μελών (επιφάνειες που εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία, τοίχοι, υποστυλώματα), όπου εμποδίζεται η ελεύθερη

παραμόρφωση του σκυροδέματος. Εμφανίζεται συχνότερα σε πλάκες οροφής που εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία, ιδίως σε περιοχές κοντα στα υποστυλώματα. Το βάθος τους σπάνια υπερβαίνει τα 20 mm και κυμαίνεται από 0,1 έως 0,3 mm. Είναι ένας παράγοντας που μειώνει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος, αλλά μπορεί επίσης να επηρεάσει την αντοχή του σε ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Είναι δύσκολο να επισκευαστεί, καθώς αλλάζει μεταξύ ενεργού και ανενεργού και μπορεί να επανεμφανιστούν ρωγμές σε λιγότερο από 12 μήνες μετά την εφαρμογή ενέματος πλήρωσης. Η ανάπτυξή του αναστέλλεται στους αρμούς. Η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιων ρωγμών μειώνεται σημαντικά λόγω της μειωμένης υγρασίας και θερμοκρασίας των στοιχείων σκυροδέματος.

## B. ΧΗΜΙΚΕΣ

### B1. Ρωγμές διάβρωσης οπλισμού (Reinforcement Corrosion Cracking)



Τα προϊόντα διάβρωσης (οξειδία) του χάλυβα έχουν πολύ μεγαλύτερη μάζα από τον χάλυβα που χρησιμοποιείται για τον σχηματισμό τους, γεγονός που οδηγεί σε εφελκυστικές τάσεις και ρωγμές στη στρώση επικάλυψης του οπλισμού σκυροδέματος. Οι ρωγμές που φτάνουν στην επιφάνεια του σκυροδέματος ακολουθούν την κατεύθυνση του υποκείμενου χαλύβδινου οπλισμού. Η διάβρωση του οπλισμού προκαλείται από τη μείωση του pH του περιβάλλοντος σκυροδέματος λόγω της δράσης χημικών ουσιών (π.χ. CO<sub>2</sub>, χλωρίοντα) που εισέρχονται μέσω των πόρων του σκυροδέματος.

Όσο μικρότερο είναι το πάχος της επικάλυψης των ράβδων οπλισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιων ρωγμών. Επομένως, τα προβλήματα εμφανίζονται κυρίως στη θέση των διατμητικών ράβδων οπλισμού (σύνδετηρες).

Εάν το νερό των αδρανών ή του μίγματος σκυροδέματος περιέχει ιόντα χλωρίου πάνω από τις καθορισμένες τιμές, ο μηχανισμός διάβρωσης του οπλισμού ενεργοποιείται ταχύτερα και σε τυχαίες θέσεις. Η ανάπτυξη ρωγμών λόγω διάβρωσης του οπλισμού

σημαίνει ότι η σύνδεση μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα μειώνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα τη μείωση της φέρουσας ικανότητας του μέλους. Οι ρωγμές αυτές μπορεί να έχουν πλάτος μεγαλύτερο από 1 mm και έως 10 mm (κατάρρευση της μάζας του σκυροδέματος), ενώ το βάθος τους εξαρτάται από το πάχος της επικάλυψης.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τονιστεί ότι αυτός ο τύπος ρωγμών είναι το αποτέλεσμα διαβρωσης οπλισμού και όχι αιτία, σε αντίθεση με τους άλλους τύπους ρωγμών που περιγράφονται στην παρούσα εργασία, οι οποίοι συμβάλλουν στην εμφάνιση φαινομένων διάβρωσης του οπλισμού. Από την εμφανή έκταση της ρηγμάτωσης λόγω διάβρωσης του οπλισμού δεν μπορούν να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα για την έκταση και τη σοβαρότητα της βλάβης. Συχνά παρατηρείται πλήρης αποδιοργάνωση των δομικών στοιχείων γύρω από τον οπλισμό, έστω και σε περιορισμένο βαθμό, στο βάθος των ρωγμών διάβρωσης. Η αρμολόγηση αυτού του τύπου ρωγμών σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 1504-5 δεν λύνει το πρόβλημα. Δεδομένου ότι τα αίτια της διάβρωσης εξακολουθούν να υφίστανται και ότι οι φυσικές και χημικές διεργασίες που προκαλούν διάβρωση λαμβάνουν χώρα εντός της κατασκευής, παρέχει μόνο μια προσωρινή οπτική κάλυψη του προβλήματος.

## **B2. Ρωγμές αλκαλοπυριτικής αντίδρασης αδρανών (Alkali Silica Reaction Cracking)**



Αλκαλοπυριτική είναι η αντίδραση μεταξύ των ιόντων υδροξυλίου του σκυροδεματος και των πυριτικών ριζών ( $-SiO_4$ ) του συστατικού των αδρανών. Η αντίδραση αυτή παράγει ένα πήκτωμα (gel) που απορροφά νερό και αυξάνει τον όγκο του. Αυτή η αύξηση του όγκου προκαλεί εφελκυστικές τάσεις, οι οποίες

οδηγούν σε ρηγμάτωση των κόκκων των αδρανών (εσωτερική θραύση) και ρηγμάτωση στη διεπιφάνεια μεταξύ του αδρανούς και του τσιμεντοπολτού. Οι αλκαλοπυριτικές αντιδράσεις απαιτούν σημαντική ποσότητα νερού στους πόρους του σκυροδέματος και μπορούν να συμβούν σε ολόκληρη τη μάζα του στοιχείου, όταν ευνοούνται από την ορυκτολογική σύνθεση και την υγρασία των αδρανών. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται τόσο στο οπλισμένο όσο και στο άοπλο σκυρόδεμα.

Στις επιφάνειες σκυροδέματος, οι ρωγμές αυτές έχουν την εμφάνιση τυπου"δερμα φιδιου". Σε αντίθεση με τις ρωγμές συρρίκνωσης με υψηλή περιεκτικότητα σε αργιλικά αδρανή, οι διαστάσεις των κελιών είναι μεγάλες και μπορούν να φτάσουν τα 300 mm. Το βάθος μπορεί να κυμαίνεται από μερικά χιλιοστά έως δεκάδες εκατοστά. Οι ρωγμές αλκαλοπυριτικής αντίδρασης είναι πάντα ενεργές, καθώς συνεχίζουν να σχηματίζουν το συγκεκριμένο gel παρουσία υγρασίας.

Εάν η περιεκτικότητα των αδρανών σε πυριτικό άλας είναι υψηλή, η αντίδραση μπορεί να συμβεί κάτω από το όριο της υγροθερμικής καμπυλης του σκυροδέματος. Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει τρόπος προστασίας ή αποκατάστασης του ρυθμού σχηματισμού των πηκτωμάτων. Σε χαμηλές έως μέτριες συγκεντρώσεις πυριτικών αλάτων, η μείωση του ρυθμού σχηματισμού gel μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση υλικών ανάπτυξης μικροκρυστάλλων στους πόρους του σκυροδέματος. Αυτός ο τύπος ρηγμάτωσης μειώνει συντριπτικά τη φέρουσα ικανότητα της κατασκευής και η επισκευή του είναι δύσκολη ή αδύνατη. Ο σωστός σχεδιασμός του σκυροδέματος χαμηλής διαπερατότητας (π.χ. κοκκομετρία αδρανών, τύπος και αναλογία τσιμέντου, λόγος N/T, μίγμα πρόσμικτων) μπορεί να "αποτρέψει" τα προβλήματα της αντίδρασης αλκαλοπυριτικής φουσέως, ακόμη και όταν πρέπει να χρησιμοποιηθούν αδρανή με υψηλή περιεκτικότητα σε πυριτικό άλας για οικονομικούς ή άλλους λόγους. Πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι τα ασβεστολιθικά αδρανή δεν έχουν τέτοια προβλήματα.

### **B3. Ρωγμές λόγω προσβολής θεικών (Sulphate Attack Cracking)**

Διακρίνονται ως προς την θέση τους (εξωτερική ή εσωτερική προσβολή) :

**Εξωτερική προσβολή του σκυροδέματος :** Η πιο συνηθισμένη περίπτωση συμβαίνει όταν νερό που περιέχει θεικά ιόντα διεισδύει στο σκυρόδεμα. Αυτό το θεικό άλας αντιδρά με το ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (C-S-H) της τσιμεντόπαστας και σχηματίζει κρυσταλλικό θεικό άλας, το οποίο μετατρέπεται σταδιακά με διαδοχικές αντιδράσεις σε ετρινγκίτη, ο οποίος γεμίζει τα κενά και δημιουργεί τάσεις στη σκληρυμένη μάζα της τσιμεντόπαστας, σχηματίζοντας ρωγμές. Ο μηχανισμός αυτός έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια της συνοχής του σκυροδέματος. Όταν τα κατακόρυφα φορτία είναι σημαντικά (π.χ. πυλώνες), η μείωση της θλιπτικής αντοχής (μερικές φορές έως και 80%) λόγω της προσβολής από θεικά άλατα οδηγεί στο σχηματισμό ρωγμών υπερφόρτωσης. Οι πηγές των θεικών ιόντων που προσβάλλουν το σκυρόδεμα περιλαμβάνουν

- θαλασσινό νερό
- θειικά ορυκτά σε αργιλώδη εδάφη
- Το διοξείδιο του θείου, που παράγεται από αναερόβια βακτήρια, οξειδώνεται σε θειικό ή θειικό οξύ όταν διαλύεται στο νερό.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, η προσβεβλημένη περιοχή πρέπει να αποξεσθεί και το τμήμα να επισκευαστεί με υλικό επισκευής ανθεκτικό στα θειικά σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1504-3. Αυτό εφαρμόζεται συνήθως με τη χρήση ενός υλικού μικροκρυσταλλικής ανάπτυξης στους πόρους του σκυροδέματος, σε συνδυασμό με τη μείωση της περιεκτικότητας του νερού των πόρων.

**Εσωτερική προσβολή του σκυροδέματος :** Αυτό συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται τσιμέντο με αυξημένη περιεκτικότητα σε γυψο & σε αδρανή πλούσια σε θειικά άλατα. Τα συστατικά αυτά είναι πολύ επιβλαβή για το σκυρόδεμα και η χρήση τους μπορεί να καταστήσει την κατασκευή εκ των προτέρων προβληματική και επικίνδυνη.

## Γ. ΔΟΜΗΤΙΚΕΣ

### Γ1 Δομικές ρωγμές από τυχηματικές φορτίσεις

Πρόκειται για ρωγμές που εμφανίζονται σε κατασκευές λόγω τυχαίων φορτίων που ασκούνται στην κατασκευή, όπως σεισμοί, εκρήξεις, πλημμύρες και πυρκαγιές. Οι σεισμικές ρωγμές ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες σοβαρότητας Α, Β, Γ και Δ σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις: η επισκευή ρωγμών με έγχυση σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 1504-5 αφορά μόνο τις κατηγορίες Α και Β. Οι ρωγμές στις κατηγορίες C και D απαιτούν επίσης ενίσχυση.

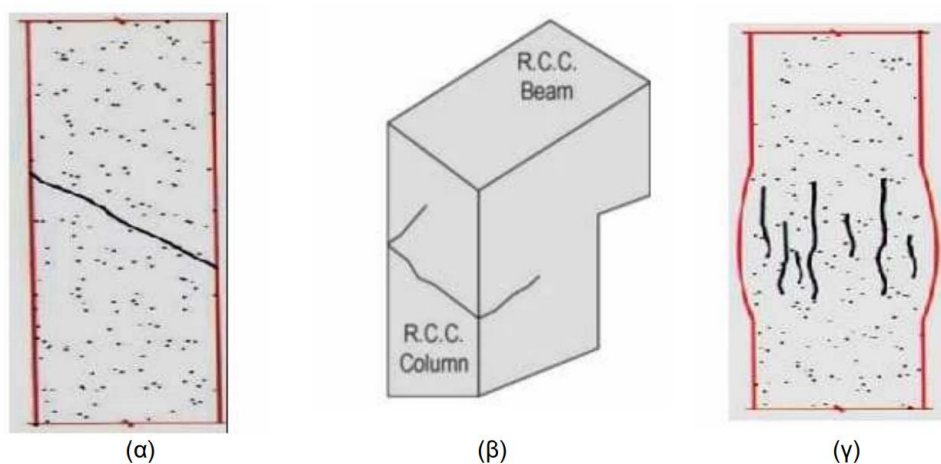
Η κατάταξη στις παραπάνω κατηγορίες βασίζεται στη συμβολή του μονολιθικού (μη ρηγματωμένου) τμήματος στην αποκατάσταση της φέρουσας ικανότητας του στοιχείου. Στην περίπτωση των ρωγμών των κατηγοριών Γ και Δ, έχει επέλθει σημαντική ανακατανομή των τάσεων και το στοιχείο έχει χάσει το μεγαλύτερο μέρος της δυσκαμψίας σχεδιασμού του, οπότε η μονολιθική αποκατάσταση συμβάλλει ελάχιστα. Τα ενέματα μονολιθικής αποκατάστασης, που χαρακτηρίζονται από τον κωδικό F (μεταφορά δύναμης), εφαρμόζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή στοιχεία που δεν έχουν υποστεί σημαντική



παραμόρφωση. Ειδική αναφορά στα υλικά αυτά γίνεται στις επόμενες παραγράφους της εργασίας.

## Γ2 Ρωγμές λόγω υπέρβασης φορτίων σχεδιασμού

Οι ρωγμές σε φέροντα στοιχεία, όπως οι κολώνες και οι δοκοί από οπλισμένο σκυρόδεμα, αποτελούν σοβαρό πρόβλημα που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια αντοχής και σταθερότητας της κατασκευής. Είναι επομένως απαραίτητο να διερευνηθούν οι διάφοροι τύποι ρωγμών που εντοπίζονται στα στοιχεία αυτά, ιδίως στα υποστυλώματα, και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την επισκευή ή τουλάχιστον τον μετριασμό τους.



Εικόνα 4

(α) Διαγώνιες ρωγμές σε υποστυλώματα που διατρέχουν ολόκληρη την επιφάνεια του στοιχείου. Οφείλονται σε ανεπαρκή φέρουσα ικανότητα.

(β) Οριζόντιες ρωγμές στην περιοχή των κόμβων. Παρατηρούνται συνήθως στις έντονα εφελκόμενες περιοχές της διατομής. Η εμφάνισή τους υποδηλώνει ανεπάρκεια στην παραλαβή ροπής (διατομής beton ή/και οπλισμού).

(γ) Ρωγμές διάρρηξης. Συνήθως είναι πυκνές και παράλληλες. Σπάνια διατρέχουν όλο το μήκος του στοιχείου. Υποδηλώνουν, κατά κύριο λόγο, ανεπάρκεια στην παραλαβή του επιβαλλόμενου κατακόρυφου φορτίου (διατομής beton ή/και οπλισμού, αντοχής σε θλίψη).

Στις δοκούς, οι ρωγμές υπερφόρτωσης είναι συνήθως ρωγμές κάμψης. Το πλάτος και το βάθος τους εξαρτώνται από το εφαρμοζόμενο φορτίο, τη δυσκαμψία και τον συνδυασμό αυτών. Το πλάτος αυτών των ρωγμών συχνά υπερβαίνει τα 5-10 mm.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η πλήρωση αυτών των ρωγμών με μονολιθικό επισκευαστικό ένεμα σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 1504-5 για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων

(υπο/υπερφόρτιση) δεν συνιστάται ως η πλέον καταλληλή μέθοδος επισκευής. Η τσιμεντοκονία δεν καλύπτει συνήθως αυτό το πλάτος της ρωγμής.

### **Γ3 Ρωγμές ερπυσμού**

Ως ερπυσμός ορίζεται η παραμόρφωση ενός στοιχείου υπό σταθερό φορτίο. Για παράδειγμα, τα υποστυλώματα συμπιέζονται περαιτέρω με την πάροδο του χρόνου και οι δοκοί κάμπτονται περαιτέρω. Ο ερπυσμός εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου και δεν οδηγεί απαραίτητα στην αστοχία του οπλισμένου σκυροδέματος. Ο υπολογισμός της παραμόρφωσης λόγω ερπυσμού αποτελεί κομμάτι του δομικού σχεδιασμού.

Όταν ένα στοιχείο αποφορτίζεται, η παραμόρφωση/ένταση ερπυσμού μειώνεται αμέσως. Η μείωση της παραμόρφωσης/έντασης, που ονομάζεται ανακαμψη ερπυσμού, είναι συνάρτηση της ελαστικής τάσης σε συγκεκριμένη ηλικία. Η ρηγμάτωση λόγω ερπυσμού παρατηρείται συνήθως σε σκυρόδεμα με υψηλό λόγο  $N/T$ , μικρό μέγιστο μέγεθος κόκκων αδρανών και υψηλή περιεκτικότητα υπολειμματικής υγρασίας στο στοιχείο.

Όταν τα νωπά στοιχεία εκφορτίζονται, παρατηρείται σημαντική ανακαμψη ερπυσμού και εμφανίζεται ρηγμάτωση του στοιχείου. Ο ρυθμός ερπυσμού συνήθως μειώνεται σημαντικά μετά από πέντε έτη (πρωτογενής ερπυσμός), σταθεροποιείται μεταξύ πέντε και 30 ετών (σταθερός ερπυσμός) και υπό ειδικές συνθήκες (ιδίως υψηλή υγρασία) ο ρυθμός που οδηγεί σε πλαστική παραμόρφωση αυξάνεται (τριτογενής ερπυσμός). Τα μέλη των γεφυρών είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στον ερπυσμό.

Μετά τη σταθεροποίηση των ρωγμών λόγω ερπυσμού, η ακεραιότητα του μέλους μπορεί να αποκατασταθεί με τσιμεντενέσεις τύπου F. Για γέφυρες που υπόκεινται σε δυναμική καταπόνηση πρέπει να χρησιμοποιείται τσιμεντενέσεις τύπου D σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1504-5.

## Δ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ

### Δ1 Ρωγμές ψύξης/τήξης (Freeze/Thaw Cracking)

Το μη χημικά δεσμευμένο νερό στους πόρους του σκυροδεματος παγώνει σε χαμηλές θερμοκρασίες (από  $+1^{\circ}\text{C}$  έως  $-10^{\circ}\text{C}$ ) κατά τη διάρκεια του πρώτου κύκλου ψύξης/τήξης. Μετά από επαναλαμβανόμενους κύκλους, υδατοδιαλυτά άλατα εναποτίθενται στα τοιχώματα των πόρων, επιτρέποντας την ψύξη σε υψηλότερες θερμοκρασίες ( $+3$  έως  $+4^{\circ}\text{C}$ ). Καθώς ο πάγος καταλαμβάνει μεγαλύτερο όγκο από το νερό, δημιουργούνται εφελκυστικές δυνάμεις, το μέγεθος των οποίων είναι ανάλογο της ποσότητας του ελεύθερου νερού στους πόρους. Αυτή η εφελκυστική δύναμη προκαλεί ρωγμές στο σκυρόδεμα και στην επιφάνεια εμφανίζεται ένα δίκτυο τυχαίων ρωγμών.



Οι ρωγμές αυτές έχουν βάθος αρκετών mm και πλάτος  $0,01-0,2$  mm. Οι ρωγμές αυτές συνδέονται σταδιακά μεταξύ τους κάτω από την επιφάνεια του στοιχείου, με αποτέλεσμα την αποσυνθεση του σκυροδέματος σε όλο το βάθος όπου δημιουργούνται συνθήκες ψύξης. Η ζημιά βαθμιαία βαθιάει καθώς σχηματίζονται συνεχώς νέες επιφάνειες λόγω της επαναλαμβανόμενης ψύξης και τήξης. Το πρόβλημα αυτό επιδεινώνεται όταν το χονδρόκοκκο αδρανές έχει υψηλή απορρόφηση νερού. Με τον μηχανισμό αυτό οι κόκκοι αδρανούς κοντά στην επιφάνεια, επικαλυμμένοι με λεπτό στρώμα τσιμεντόπαστας αποκολλώνται από το σκυρόδεμα ("pop - out").

Το αρχικό στάδιο μπορεί να αντιμετωπιστεί με την αφαίρεση του κατεστραμμένου στρώματος με υδροβολή υψηλής πίεσης (1000 bar) ή με φρεζα σκυροδέματος και την αποκατάσταση του τμήματος του φορέα με την τοποθέτηση επισκευαστικού κονιάματος σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 1504-3.

Η χρήση υλικού ανάπτυξης μικροκρυστάλλων στους πόρους του σκυροδέματος βοηθάει στον περιορισμό του πρόβληματος χωρίς την ανάγκη αποξέσης, αλλά στα αρχικά στάδια (1-2 χρόνια μετά την έκθεση). Τα υδρόφοβα υλικά ΕΛΟΤ EN 1504-2 μπορούν επίσης να συμβάλουν εάν το πλάτος της ρωγμής δεν υπερβαίνει τα 0,1 mm. Η επεκταση κατά βαθos της ζωνής ψύξης μεταβάλλει τόσο τον μηχανισμό ρηγμάτωσης όσο και την κατεύθυνση της ρωγμής, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές δομικές βλάβες εάν καθυστερήσουν οι επισκευές ή εάν επιλεγούν λανθασμένες μέθοδοι.

## Δ2 Ρωγμές εποχιακών υγροθερμικών μεταβολών (Hygrothermal expansion cracking)



Οι ρωγμές εποχιακής υγροθερμικής μεταβολής είναι ουσιαστικά ρωγμές συρρίκνωσης και εμφανίζονται σε κατασκευές που εκτίθενται άμεσα σε υψηλές θερμοκρασίες ή ηλιακή ακτινοβολία και με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία. Συνήθως απαντώνται σε

εκτεθειμένες πλάκες σε περιοχές με υψηλή υγρασία. Αποτελεί μηχανισμό κυκλικής φθοράς του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα την εσωτερική ρηγμάτωση σε τυχαίες κατευθύνσεις, η οποία μειώνει τη θλιπτική αντοχή και συνεπώς τη φέρουσα ικανότητα της κατασκευής.

Ο συντελεστής διαστολής του σκυροδέματος αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Στις εκτεθειμένες επιφάνειες τσιμεντένιων πλακών οροφής, οι θερμοκρασίες συχνά υπερβαίνουν τους 50°C κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ο ρυθμός σχηματισμού υδατοδιαλυτών αλάτων αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας, και εάν ο λόγος N/T του σκυροδέματος είναι υψηλός (>0,6) και η επιφάνεια του στοιχείου εμφανίζει μεγάλη αδρότητα, η απορρόφηση νερού αυξάνεται εκθετικά.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα έγκειται στον περιορισμό της εσωτερικής υγρασίας των πόρων ή στην αύξηση της ανακλαστικότητας για τη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας του στοιχείου. Η χρήση μικροκρυσταλλικών υλικών ανάπτυξης μέσα στους πόρους του σκυροδέματος, εάν εφαρμοστεί στα πρώτα στάδια της έκθεσης της κατασκευής

(1-2 χρόνια έκθεσης), μπορεί να μειώσει το πρόβλημα και να διατηρήσει τη μείωση της θλιπτικής αντοχής σε αποδεκτά όρια

### **Δ3 Ρωγμές πρώιμης θερμικής συστολής (Early - age cracking)**

Η αρχική θερμική ρηγμάτωση προκαλείται από την υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος από τάσεις που προκύπτουν από τον περιορισμό της θερμικής συρρίκνωσης ή από διαφορές θερμοκρασίας εντός της διατομής. Η κύρια αιτία αυτής της ρηγμάτωσης είναι η διαφορική διαστολή εντός της διατομής του σκυροδέματος λόγω της θερμότητας που απελευθερώνεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου (εξώθερμη αντίδραση). Σε λεπτές διατομές πάχους έως 200 mm, αυτό συμβαίνει εντός 7 ημερών από τη διάστρωση του σκυροδέματος. Σε παχύτερες διατομές, η ρηγμάτωση μπορεί να εμφανιστεί ακόμη και μετά από 6-12 μήνες λόγω της αργής ψύξης.

Το φαινόμενο αυτό επιδεινώνεται από την αυξημένη περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή, την παρουσία πολύ λεπτόκοκκης άμμου, την ασυνεπή κοκκομετρική κατανομή των αδρανών, τα χημικά ασύμβατα πρόσμικτα, την κακή συντήρηση, τις υψηλές θερμοκρασίες, τους ανεπαρκείς ή ακατάλληλους αρμούς και τις ταχείες θερμοκρασιακές μεταβολές. Η πρώιμη θερμική ρηγμάτωση μπορεί να μειώσει σημαντικά την ανθεκτικότητα της κατασκευής, να προκαλέσει διαρροές δεξαμενών και με την πάροδο του χρόνου. Κυμαίνονται από 0,05-0,2 mm και έχουν βάθος 4-500 mm. Οι πρώιμες θερμικές ρωγμές αυξάνονται σε βάθος μετά τις πρώτες 14 ημέρες και παραμένουν ενεργές και πολλαπλασιάζονται μετά από 28 ημέρες.

Οι εργασίες επισκευής πραγματοποιούνται αφού οι ρωγμές αδρανοποιηθούν, με τη χρήση ενέματος σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1504-5. Το ένεμα πρέπει να επιλέγεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ρωγμής (πλάτος, βάθος).

## 4. ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΛΟΓΩ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ (ΤΥΧΗΜΜΑΤΙΚΩΝ Ή ΜΗ)

### 4.1 Βλάβες σε υποστυλώματα

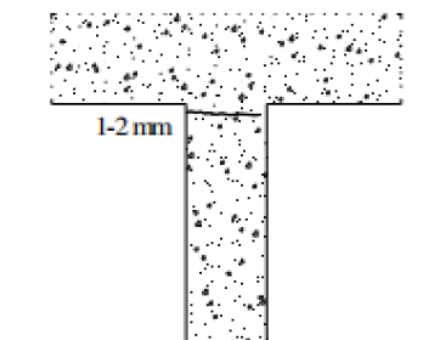
Οι ζημιές στα υποστυλώματα είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα και, ταυτόχρονα, το πιο σοβαρό πρόβλημα, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε μερική ή ολική καταστροφή της κατασκευής. Ως κατακόρυφα μέλη, τα υποστυλώματα είναι τα μέλη που υφίστανται τις περισσότερες βλάβες από τους σεισμούς, κυρίως λόγω των μεγάλων παραμορφώσεων που υφίστανται και των αυξημένων απαιτήσεων στην πλαστιμότητά τους (Σπυράκος 2004).

Οι βλάβες στα υποστυλώματα μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τον τυπικό βαθμό βλάβης και τα χαρακτηριστικά της βλάβης (όπ. αναφ. στο Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).

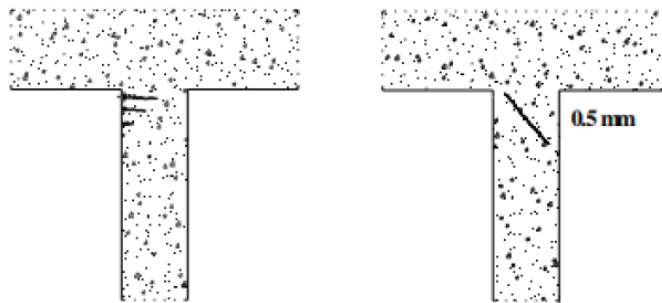
#### 4.1.1 Τυπικοί Βαθμοί Βλάβης

Τυπικοί βαθμοί βλάβης (σύμφωνα με το ΚΑΝ.ΕΠΕ) :

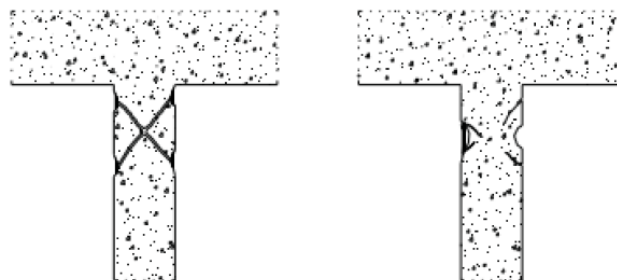
- **Βαθμός βλάβης Α:** Μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές πλάτους μικρότερου από 1-2 mm. Ωστόσο, απλοί υπολογισμοί έχουν δείξει ότι οι ρωγμές αυτές δεν οφείλονται σε καμπτική αστοχία της διατομής, αλλά μάλλον σε τοπικές αδυναμίες όπως για παράδειγμα αρμοί διακοπή ζεργασίας, επίδραση της εν επαφή τοιχοπλήρωσης, ανεπαρκούς αγκύρωσης του οπλισμού κ.λπ..



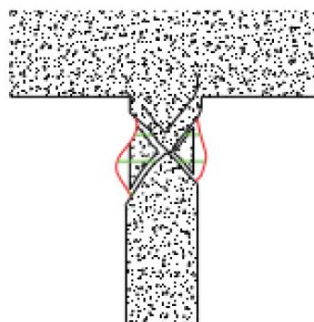
- **Βαθμός βλάβης Β:** πολλαπλές ευρείες καμπτικές ρωγμές πλάτους μικρότερου των 0,5 mm ή μεμονωμένες λοξές διατμητικές ρωγμες όπου δεν παρατηρείται εναπομένουσα μετακίνηση.



- **Βαθμός βλάβης C:** χιαστί (εγκάρσιες) λοξές διατμητικές ρωγμές ή σοβαρή τοπική θλίψη ή αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, υπό την προϋπόθεση ότι δεν παρατηρείται σημαντική παραμένουσα μετακίνηση. Οι ρωγμές σε κόμβους θεωρούνται βαθμού βλάβης C.



- **Βαθμός βλάβης D:** πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στην περιοχή της βλάβης χωρίς κατάρρευση του υποστυλώματος, λυγισμός του διαμήκους οπλισμού, διαρροή ή αστοχία συνδετήρων στην περιοχή και ασυνέχεια στην περιοχή. Θεωρείται επίσης ότι οι παρατηρούμενες παραμένουσες μετακινήσεις (οριζόντιες και κατακόρυφες), ιδίως οι κατακόρυφες μετακινήσεις, είναι σχετικά μικρές. Η σοβαρή διαταραχή σε ένα κομβικό σημείο θεωρείται βαθμός βλάβης D.



- **Βαθμός βλάβης E** : το υποστυλώμα έχει καταρρεύσει πλήρως. Ως γενικότερη παρατήρηση, πρέπει να σημειωθεί ότι εάν η γενική εικόνα βλάβης συμπίπτει με μία από τις εικόνες βλάβης των παραπάνω σχημάτων, αλλά δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις πρόβλεψης για την υπόλοιπη μετακίνηση, ο βαθμός βλάβης θεωρείται ένα επίπεδο υψηλότερος από αυτόν που περιγράφεται στα σχήματα. Έτσι, για παράδειγμα, μια εικόνα βλάβης τύπου D με σημαντική κατακόρυφη μετακίνηση θα πρέπει να θεωρηθεί βαθμός βλάβης E.

#### 4.1.2 Χαρακτήρας βλαβών

Τα υποστυλώματα υπόκεινται σε τρεις χαρακτηριστικές κατηγορίες βλαβών, δηλαδή, στις καμπτικού χαρακτήρα βλάβες, στις διατμητικού χαρακτήρα βλάβες καθώς και στο συνδυασμό και των δύο, καμπτοδιατμητικού χαρακτήρα βλάβες.

- **Καμπτικού χαρακτήρα βλάβες:**

Η βλάβη από κάμψη εμφανίζεται συνήθως στην κορυφή και τη βάση του υποστυλώματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μέγιστες τάσεις κάμψης παρατηρούνται σε αυτές τις περιοχές. Τα μικρά αξονικά φορτία υπερβαίνουν το όριο διαρροής του χάλυβα σε εφελκυσμό, οπότε η βλάβη εμφανίζεται ως οριζόντιες καμπτικές ρωγμές, αλλά το πλάτος της ρωγμής αποτελεί επίσης ένδειξη του βαθμού αστοχίας. Παρόμοια βλάβη μπορεί επίσης να εμφανιστεί ως αποκόλληση του σκυροδέματος στην περιοχή επικάλυψης του οπλισμού με υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος εντός και εκτός του πυρήνα της διατομής.



*Εικόνα 5 Καμπτική αστοχία υποστυλώματος*



### **Διατμητικού χαρακτήρα βλάβες**

Οι διατμητικές βλάβες εμφανίζονται εκεί όπου οι διατμητικές δυνάμεις είναι ασθενέστερες, συνήθως στο μέσο του υποστυλώματος. Αυτός ο τύπος βλάβης παρατηρείται επίσης σε υποστυλώματα με χαμηλό λόγο διάτμησης. Αυτές οι αστοχίες είναι εξ ορισμού σοβαρές επειδή είναι ψαθυρές και εκδηλώνονται με λοξές ρωγμές που έχουν σχήμα σταυρού λόγω της αντιστροφής της διεύθυνσης της σεισμικής δράσης. Οι διατμητικές βλάβες είναι συνήθως αποτέλεσμα κακής ποιότητας σκυροδέματος και έλλειψης επαρκούς διατμητικού οπλισμού.



*Εικόνα 6 Διατμητική αστοχία υποστυλώματος*

### **Καμπτοδιατμητικού χαρακτήρα βλάβες**

Η καμπτική διατμητική αστοχία παρατηρείται στην περίπτωση μεγάλων φορτίων αξονικής θλίψης, όπου η κάμψη και η διάτμηση δρουν ταυτόχρονα. Αυτός ο τύπος βλάβης εκδηλώνεται με εγκάρσια διογκωση του σκυροδέματος, διαρροή ή αστοχία των συνδετήρων στην περιοχή αυτή και, στις περισσότερες περιπτώσεις, λυγισμό του διαμήκους οπλισμού. Οι βλάβες καμπτικού διατμητικού χαρακτήρα είναι αποτέλεσμα ανεπαρκών διαστάσεων διατομής, κακής ποιότητας σκυροδέματος, ανεπαρκούς οπλισμού ή συνδυασμού αυτών. Εκτός από τον ψαθυρο χαρακτήρα της αστοχίας και τη σημαντική μείωση της δυσκαμψίας του υποστυλώματος, αυτός ο τύπος αστοχίας σημαίνει επίσης ότι δεν μπορούν να μεταφερθούν κατακόρυφα φορτία. Αυτή η αδυναμία, σε συνδυασμό με τη συμπεριφορά των παρακείμενων κατακόρυφων στοιχείων, μπορεί να οδηγήσει στην κατάρρευση της κατασκευής



*Εικόνα 7 Καμπτοδιατμητική αστοχία υποστύλωματος*

## 4.2 Βλάβες σε Κόμβους Δοκών- Υποστύλωματων

Οι κόμβοι, δηλαδή οι περιοχές όπου συνδέονται οι δοκοί και τα υποστυλώματα, είναι ένα από τα σημαντικότερα μέρη του φέροντος οργανισμού μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο σχεδιασμός και η σύνθεση των κόμβων των δοκών και των επικαλύψεων πρέπει να :

- Να αποτρέπει την ψαθυρή διατμητική αστοχία.
- Η ακεραιότητα των συνδετικών μελών πρέπει να διατηρείται ώστε να διασφαλίζεται ότι μπορούν να επιδείξουν την αντοχή τους.
- Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος πρέπει να ελαχιστοποιείται και να αποτρέπεται η απώλεια του συναφειας μεταξύ σκυροδέματος και οπλισμού, περιορίζοντας έτσι την απώλεια δυσκαμψίας.

Οι βλάβες στους κόμβους στήριξης των δοκών είναι από τις πιο κρίσιμες για την ασφάλεια της δομικής ακεραιότητας και πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερης σημασίας για την κατασκευή και να αντιμετωπίζονται ανάλογα, ακόμη και στα αρχικά στάδια ανάπτυξής τους (πρώτες ρωγμές).

Η εμφάνιση αυτού του τύπου βλάβης μειώνει τη δυσκαμψία των φερόντων στοιχείων και οδηγεί σε ανεξέλεγκτη ανακατανομή των τάσεων. Είναι σαφές από τα αποτελέσματα καταστροφικών σεισμών ότι οι κόμβοι στήριξης δοκών, ιδιαίτερα οι εξωτερικοί κόμβοι, είναι από τα πιο ευάλωτα στοιχεία σε υφιστάμενες κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι κύριοι λόγοι για το γεγονός αυτό είναι οι εξής:

- Οι διατμητικές τάσεις στους κόμβους είναι ιδιαίτερα υψηλές.

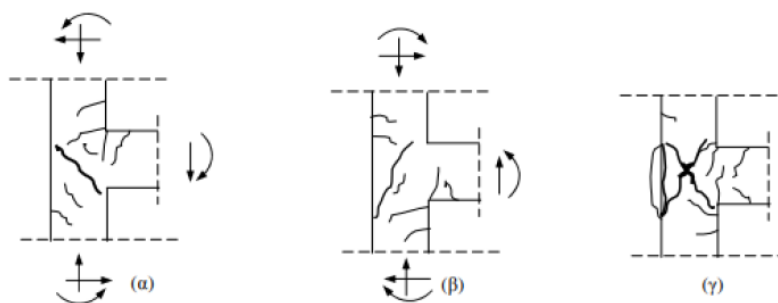
- Ο σχεδιασμός των κόμβων είναι εκτός του πεδίου εφαρμογής των τοπικών εντασεων.
- Οι κόμβοι αποτελούν συχνά στοιχεία κακής σκυροδετησης λόγω της υψηλής πυκνότητας του οπλισμού.

Οι ρωγμές στους κόμβους, ακόμη και αν πρόκειται για μικρές ρωγμές, πρέπει να θεωρούνται επικίνδυνες και να αντιμετωπίζονται ως πιο σημαντική βλάβη από άλλα δομικά στοιχεία με το ίδιο εικονα ρηγματώσης.

Μορφές εκδήλωσης βλαβών σε κόμβους δοκών- υποστυλωμάτων

Οι αστοχίες που είναι πιθανό να εμφανιστούν σε περιοχές κόμβων που υπόκεινται σε κυκλική φόρτιση περιλαμβάνουν:

1. Απώλεια της επικάλυψης του οπλισμού. Αυτή η μορφή αστοχίας οδηγεί σε μείωση της ικανότητας ανάληψης αξονικών φορτίων.
2. Απώλεια της πρόσφυσης των διαμήκων οπλισμών σε δοκούς. Αυτή η μορφή είναι η σημαντικότερη αιτία μειωμένης δυσκαμψίας
3. Ολίσθηση του διαμήκους οπλισμού σε υποστυλώματα. Όταν αυτή η μορφή αστοχίας συνδυάζεται με την εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα, η ακεραιότητα ολόκληρης της κατασκευής διακυβεύεται σε μεγάλο βαθμό.
4. Λυγισμός των διαμήκων ράβδων των υποστυλωμάτων. Αυτή η μορφή αστοχίας εμφανίζεται κυρίως μετά από απώλεια των επικαλύψεων οπλισμού και διαρροή συνδετήρων.
5. Αστοχία από τεμνουσα. Μπορεί να συνδυαστεί με μία ή περισσότερες από τις παραπάνω μορφές αστοχίας και υποδηλώνεται από την εμφάνιση σοβαρών εγκάρσιων ρωγμών

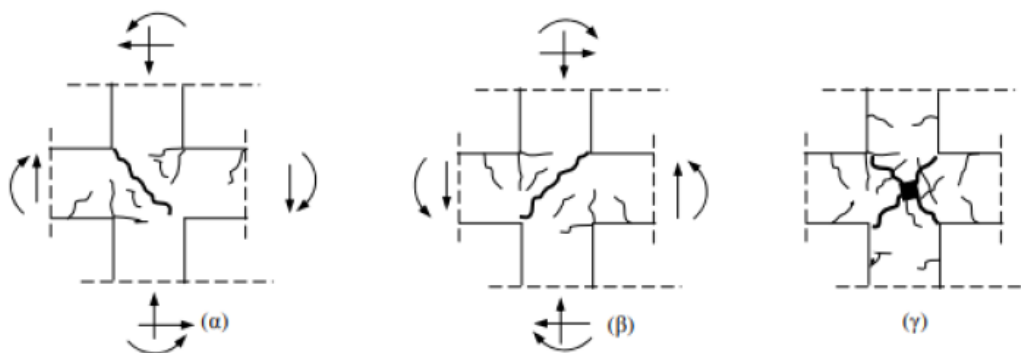


**Εικόνα 8 :** Βλάβες σε ακραίους κόμβους (Πενέλης & Κάππος 1999)

α) σύνθλιψη κάτω παρειάς δοκού, β) σύνθλιψη άνω παρειάς δοκού, γ) αποδιοργάνωση κόμβου από ανακυκλιζόμενη φόρτιση



**Εικόνα 9 :** Διαγώνια ρηγάτωση εξωτερικού κόμβου



**Εικόνα 10 :** Βλάβες σε μεσαίους κόμβους (Πενέλης & Κάππος 1999)

α) σύνθλιψη κάτω παρειάς δοκού, β) σύνθλιψη άνω παρειάς δοκού, γ) αποδιοργάνωση κόμβου από ανακυκλιζόμενη φόρτιση

### 4.3 Βλάβες σε τοιχώματα

Τα τοιχώματα μιας κατασκευής είναι τα δομικά στοιχεία που υπόκεινται περισσότερο στις καταπονήσεις από τους σεισμούς. Οι ζημιές στα τοιχώματα μετά από ισχυρούς σεισμούς είναι εξίσου συχνές με τις ζημιές στα υποστυλώματα.

Οι τύποι βλαβών που μπορεί να εμφανιστούν στους τοίχους περιλαμβάνουν :

#### 4.3.1 Βλάβες διατμητικού τύπου

Οι βλάβες διατμητικού τύπου είναι πιο συχνές και πιο σοβαρές. Εμφανίζεται με λοξά ρήγματα που τελικά γίνονται σταυροειδή λόγω της αντιστροφής της σεισμικής δράσης.

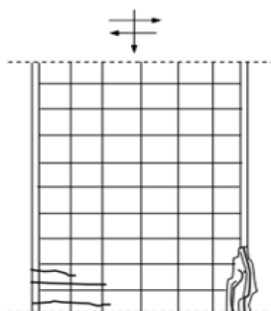
Αυτή η μορφή βλάβης είναι επίσης σημαντική λόγω της ψαθυροτητας της αστοχίας, αλλά και λόγω του γεγονότος ότι, όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, είναι πολύ πιθανό να εμφανιστεί πλευρική μετακίνηση στο τριγωνικό τμήμα του τοίχου, με αποτέλεσμα ολόκληρο το στοιχείο να κονταίνει και ενδεχομένως να μην μπορεί να μεταφέρει κατακόρυφα φορτία. Αυτό συνεπάγεται τον κίνδυνο μερικής ή ολικής κατάρρευσης της κατασκευής σε μια αλυσιδωτή αντίδραση. Συνήθως, η αιτία τέτοιων αστοχιών είναι ένας συνδυασμός ανεπαρκούς οπλισμού και κακής ποιότητας σκυροδέματος (Dritso 2005).



*Εικόνα 11 : Διατμητική αστοχία τοιχώματος με μεγάλες παραμορφώσεις*

#### **4.3.2 Βλάβες καμπτικού τυπου**

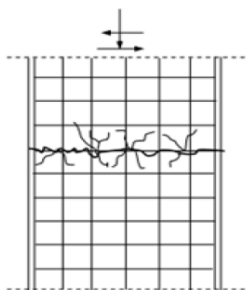
Οι αστοχίες τύπου κάμψης είναι λιγότερο συχνές. Οι αστοχίες αυτές συμβαίνουν στη βάση του τοιχώματος κοντά στη θεμελίωση. Οι αστοχίες αυτές είναι περισσότερο αισθητές σε κτίρια που έχουν κατασκευαστεί με ισχυρά θεμέλια και στο ισόγειο κτιρίων με υπόγεια, όπου οι περιμετρικοί τοίχοι δημιουργούν συνθήκες πακτώσης (Dritso 2005)



*Εικόνα 12 : Καμπτική αστοχία τοιχώματος*

### **4.3.3 Βλάβες ολίσθησης στους αρμούς διακοπής**

Η ολίσθηση των αρμών διακοπής είναι μια άλλη περίπτωση αστοχίας που εμφανίζεται πολύ συχνά σε τοίχους και χαρακτηρίζεται από ρωγμές στους αρμούς διακοπής. Η αστοχία αυτή οφείλεται κυρίως σε ακατάλληλη αρμολόγηση παλαιού και νέου σκυροδέματος. Η αστοχία αυτή δεν αποτελεί άμεσο κίνδυνο για την ευστάθεια της κατασκευής, καθώς οι ρωγμές τοποθετούνται οριζόντια, επιτρέποντας στον τοίχο να αντέχει τα κατακόρυφα φορτία.



*Εικόνα 13: Βλάβη τοιχώματος στον αρμό διακοπής εργασίας*

## **4.4 Βλάβες σε δοκούς**

Οι βλάβες σε δοκούς οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να προκληθούν από σεισμούς ή από κατακόρυφα φορτία στις δοκούς. Οι βλάβες στις δοκούς εμφανίζονται συχνότερα από τις βλάβες στα υποστρώματα, ακόμη και σε περίπτωση σεισμού. Ωστόσο, οι δοκοί είναι λιγότερο επικίνδυνες όσον αφορά τη συνολική ευστάθεια της κατασκευής. Οι βλάβες στις δοκούς μπορούν να χωριστούν σε δύο τύπους :

### **4.4.1 Βλάβες από κάμψη**

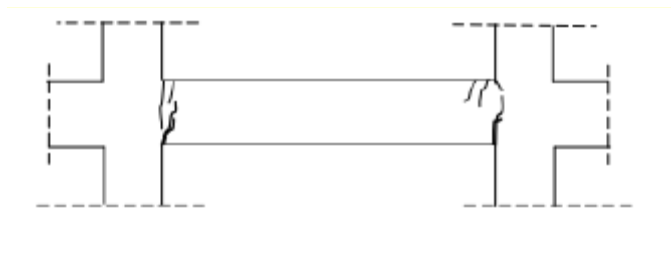
Οι βλάβες κάμψης σε δοκούς εμφανίζονται ως εγκάρσιες ρωγμές στο κάτω πόδι της δοκού, εν μέρει λόγω των σεισμικών τάσεων. Ωστόσο, οι βλάβες αυτές είναι πιθανότερο να είναι αποτέλεσμα ήδη υπάρχουσών τριχοειδών ρωγμών που έχουν αποκαλυφθεί αφού διευρύνθηκαν από την κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού, παρά βλάβες. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις, τέτοιες βλάβες δεν αποτελούν κίνδυνο για την κατασκευή



**Εικόνα 14 :** Καμπτικές ρωγμές στο κάτω πέλμα

Ωστόσο, εάν η βλάβη στη δοκό οφείλεται στη δράση κατακόρυφων φορτίων, στην περίπτωση αυτή παρατηρούνται συνήθως πολλές ρωγμές μεγάλου πλάτους, συγκεντρωμένες σε μια περιοχή της δοκού. Αυτού του είδους οι ρωγμές είναι πιθανώς ενδεικτικές αστοχίας σε κάμψη και διαρροής εφελκυστικού χάλυβα (Dritso 2005).

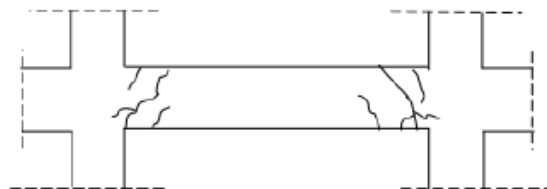
Στο ανω πέλαμα των δοκών μπορεί να εμφανιστούν αστοχίες κάμψης κοντά στις στηρίξεις λόγω σεισμικών και μακροχρόνιων δράσεων. Στα κατω πέλαματα εμφανίζονται επίσης κοντά στις στηρίξεις, αλλά αυτή τη φορά για δύο διαφορετικούς λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι η καμπτική αστοχία της διατομής λόγω διαρροής οπλισμού- ο δεύτερος, και συνηθέστερος, είναι η ανεπαρκής αγκύρωση και η ολίσθηση του οπλισμού στο κάτω πέλδιλο, η οποία συνήθως εμφανίζεται με ρωγμές μεγάλου πλάτους στο επίπεδο της στήριξης.



*Εικόνα 15 : Καμπτικές ρωγμές στο κάτω πέλαμα*

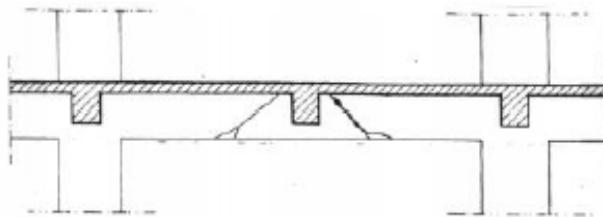
#### **4.4.2 Βλάβες διάτμησης**

Όταν συμβαίνει ένας ισχυρός σεισμός, εμφανίζεται διατμητική αστοχία στις στηρίξεις των δοκών. Αυτή η αστοχία είναι η πιο σοβαρή που μπορεί να συμβεί σε δοκούς και είναι επομένως ανεπιθύμητη λόγω της ψαθυρης μορφής της αστοχίας.



*Εικόνα 16 : Διατμητική αστοχία δοκού*

Ένας άλλος τύπος αστοχίας είναι η διατμητική ή καμπτική αστοχία στη θέση στήριξης των δευτερευουσών δοκών ή των φυτευτων υποστυλωμάτων. Αυτός ο τύπος αστοχίας εμφανίζεται πολύ συχνά και οφείλεται στην κατακόρυφη εναλλασσόμενη συνιστώσα της σεισμικής δράσης στο μοναδιαίο φορτίο.



*Εικόνα 17 : Διατμητική αστοχία στη θέση έμμεσης στηρίξεως*

#### 4.5 Βλάβες σε πλάκες

Οι πλάκες είναι επιφανειακοί φορείς και συχνά υπερστατικοί, πράγμα που σημαίνει ότι οι δυνάμεις που ασκούνται στην πλάκα μπορούν να αναδιανεμηθούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα υψηλή αντοχή σε κάμψη και διάτμηση, σε αντίθεση με τους προβολούς, οι οποίοι είναι ισοστατικοί φορείς και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στην κατασκευή.

Η βλάβη της πλάκας είναι δευτερεύουσας σημασίας, καθώς σπάνια επηρεάζει τη συνολική ευστάθεια της κατασκευής λόγω της υψηλής υπερστατικότητάς της. Επιπλέον, αν και οι πλάκες δεν επηρεάζονται από τη σεισμική δράση, στις διαμήκεις στηρίξεις των δοκών μπορεί να εμφανιστούν εγκάρσιες ρωγμές, δηλαδή ρωγμές κάμψης, μετά από ισχυρούς σεισμούς, λόγω της συνεργασίας μεταξύ πλάκας και δοκού (Dritso 2005).

Οι βλάβες των πλακών εμφανίζονται συχνά ως εξής (Penelis & Karpos 1999):

- Ρωγμές παράλληλες ή κάθετες προς τον οπλισμό σε τυχαίες θέσεις.
- Ρωγμές κάθετες στον κύριο οπλισμό σε κρίσιμα τμήματα με μεγάλα ανοίγματα ή μεγάλες προεξοχές.
- Ρωγμές όπου υπάρχει ανωμαλία στην κάτοψη, π.χ. στις γωνίες μεγάλων ανοιγμάτων (π.χ. φωταγωγοί, ανοίγματα εσωτερικών κλιμάκων κ.λπ.).
- Ρωγμές σε ζώνες όπου η πλάκα συνδέεται με τοίχους ή αδιαπέραστα υποστυλώματα και όπου συγκεντρώνονται σεισμικές δυνάμεις.



Οι ρωγμές που εμφανίζονται παράλληλα ή κάθετα προς τον οπλισμό σε τυχαίες θέσεις είναι ο συνηθέστερος τύπος βλάβης. Αυτός ο τύπος βλάβης είναι συχνότερα το αποτέλεσμα τριχοειδών ρωγμών που προϋπήρχαν στο σκυρόδεμα από την καμπτική λειτουργία λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και συρρίκνωσης και οι οποίες έγιναν εμφανείς λόγω της δυναμικής διέγερσης από το σεισμό (Penelis & Karros 1999).

Οι κατακόρυφες ρωγμές στον κύριο οπλισμό σε κρίσιμα τμήματα μεγάλων ανοιγμάτων και μεγάλων προβαλλόμενων δοκών οφείλονται συνήθως σε ακούσιες μειώσεις του στατικού ύψους που συμβαίνουν πριν από τη σκυροδέτηση ή μετά την τοποθέτηση του οπλισμού. Τέτοιες ρωγμές μπορεί να εκτείνονται μόνο μέχρι την επικάλυψη σκυροδέματος, η οποία είναι σημαντικά παχύτερη και επομένως ορατή λόγω του μειωμένου στατικού ύψους (Dritso 2005).

Οι ρωγμές σε περιοχές με επίπεδες ανωμαλίες, όπως οι γωνίες των μεγάλων οπών, ήταν αποτέλεσμα διατμητικής αστοχίας των πλακών που στηρίζονταν απευθείας στα υποστυλώματα χωρίς δοκούς, η οποία επιδεινώθηκε από τις σεισμικές τάσεις κάμψης.



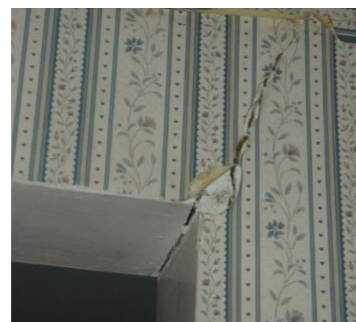
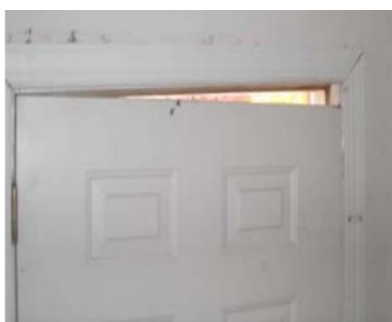
*Εικόνα 18 : Αστοχία λόγω διάτρησης*

#### **4.6 Βλαβες στα θεμελια**

Οι βλαβες στα θεμελια τις περισσότερες φορες είναι αδυνατο να γινουν ορατες, λογω της θεσης τους. Κυρια ενδειξη αστοχίας των στοιχείων θεμελίωσης είναι ρωγμές που συνήθως εμφανίζονται στα πιο αδύναμα σημεία της τοιχοποιίας, δηλαδή γύρω από ανοίγματα.

Ρωγμές τέτοιου είδους μπορούν να εμφανιστούν και σαν οριζόντιος διαχωρισμός λόγω της διαφορετικής καθίζησης των θεμελίων. Επίσης, συνηθέστατη ένδειξη είναι τυχόν διαχωρισμός της καμινάδας από το υπόλοιπο κτίριο. Οι μεγάλες καμινάδες αντιπροσωπεύουν ευμεγέθη σημειακά φορτία στη βάση της θεμελίωσης, δηλαδή μεγάλο βάρος συγκεντρωμένο σε μικρή επιφάνεια. Άλλη ένδειξη είναι δημιουργία κενού, στα ανοίγματα (πόρτες και παράθυρα), μεταξύ του τοίχου και του κουφώματος.

Στο εσωτερικό του σπιτιού, ενδείξεις αποτελούν διαγώνιες ρωγμές στις γωνίες στις κάσες πορτών και παραθύρων, καθώς και πόρτες που δεν κλείνουν, βλ. Φωτ. 4. Επίσης, ρωγμές στην διασταύρωση των τοίχων με το ταβάνι, μη επιπεδότητα των δαπέδων.



**Εικόνα 19 :** Πόρτα που δεν μπορεί να κλείσει

**Εικόνα 20 :** Αποκόλληση καμινάδας

**Εικόνα 21:** Ρωγμή στην κάσα πόρτας

## 5 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

### 5.1 Διαβρωση – Γενικά

Διάβρωση είναι η θερμοδυναμικώς αυθόρμητη ηλεκτροχημική ή χημική αλλοίωση της επιφάνειας των μετάλλων και κραμάτων, η οποία σταδιακά οδηγεί στην επιστροφή του κράματος στην κατάσταση των βασικών οξειδίων (απώλεια ενέργειας) από το οποία κατασκευάστηκε (Εικ. 1). Ξεκινώντας από το πρωτογενές υλικό (οξείδιο του σιδήρου), παρέχοντας ένα ποσοστό ενέργειας και υπό την καταλληλή επεξεργασία μορφοποιείται σε χαλυβα οπλισμού. Στην συνέχεια, στο περιβάλλον ξεκινάει ο μηχανισμός διαβρωσης, ο οποίος προσπαθεί να το επαναφέρει στην αρχική του κατάσταση (οξείδιο του σιδήρου).



**Εικόνα 1:** Ο κύκλος των μετάλλων - ηλεκτροχημική μετάπτωση.

Κατ' ουσίαν η διάβρωση είναι μια ηλεκτροχημική μετάπτωση [ASM, 2000], δηλαδή απώλεια ενέργειας μέσω της διαφυγής ηλεκτρονίων από την μάζα του υλικού. Ως εκ τούτου ο ορισμός της διάβρωσης των μετάλλων διαμορφώνεται ως εξής:

Η διάβρωση, οφείλεται στις ηλεκτροχημικές ή χημικές αντιδράσεις των μετάλλων/κραμάτων με τα στοιχεία του περιβάλλοντος στο οποίο εκτίθενται. Ως χημική διάβρωση θεωρείται η χημική αντίδραση χωρίς μεταφορά ηλεκτρονίων, ενώ η ηλεκτροχημική διάβρωση είναι συνυφασμένη με την απώλεια ηλεκτρονίων (μετάπτωση ενέργειας) και είναι η συνηθέστερη. Στην περίπτωση του οπλισμένου σκυροδέματος, η διάβρωση είναι πάντοτε ηλεκτροχημική.

Η αλλοίωση του σκυροδέματος εξαιτίας της διάβρωσης του οπλισμού επέρχεται επειδή τα στερεά προϊόντα της διάβρωσης (σκουριά) καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο από ότι ο αρχικός χάλυβας και ασκούν σημαντικές πιέσεις λόγω διόγκωσης στο περιβάλλον σκυρόδεμα. Οι εξωτερικές εκδηλώσεις της οξείδωσης του χαλύβδινου οπλισμού περιλαμβάνουν κηλίδωση, ρηγμάτωση και αποφλοίωση του σκυροδέματος. Ταυτόχρονα, η διατομή του οπλισμού μειώνεται ενώ αλλοιώνεται και η συνάφειά του. Με την πάροδο του χρόνου, μπορεί να προκύψει απομείωση της φέρουσας ικανότητας του στοιχείου αλλά και της παραμορφωσιμότητάς του, καθώς ο οξειδωμένος χάλυβας ψαθυροποιείται, είτε εξαιτίας απώλειας συνάφειας μεταξύ του οπλισμού και του σκυροδέματος λόγω της μείωσης των νευρώσεων (εφόσον υπάρχουν), της ρηγμάτωσης και της αποκόλλησης, είτε ως αποτέλεσμα της απομείωσης της διατομής του οπλισμού.

Στην περίπτωση που ο χάλυβας βρίσκεται εκτεθειμένος στην ατμόσφαιρα, ο ηλεκτρολυτής είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας. Υπάρχει αντιστοιχος χαρτης που παρουσιάζει τον ρυθμο διαβρωσης ανα περιοχή. Στην περίπτωση που ο χάλυβας είναι εγκιβωτισμένος, ο ηλεκτρολυτής είναι το σκυροδεμα. Κυριως ομως ο τσιμεντοπολτος, καθως τα αδρανη που βρισκονται μεσα στο σκυροδεμα, παιζουν μικρο ρολο στην διαδικασια. Αναλογα με την κλαση εκθεσης (όπως αυτές ορίζονται στον ΕΛΟΤ 206-1) υπάρχει αντιστοιχος πινακας με τα ορια του ρυθμου διαβρωσης.

Οι μακροσκοπικοί μηχανισμοί που επηρεάζουν την ποιότητα του φίλτρου είναι :

1. Η μελέτη σύνθεσης
2. Σκυροδετήση – συμπίκνωση
3. Συντήρηση
4. Περιβαλλοντικές συνθήκες

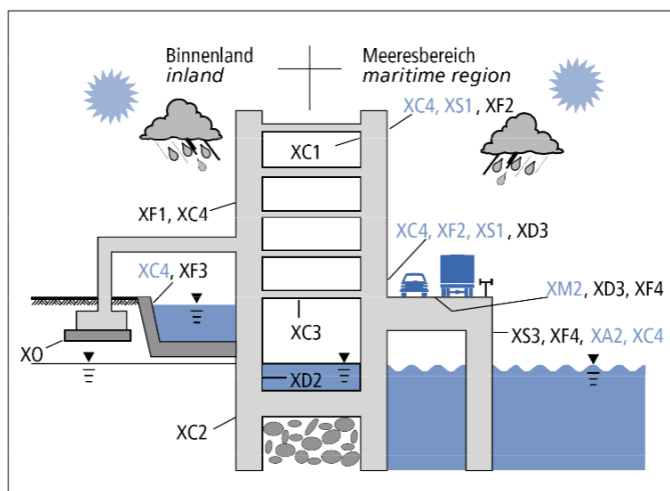
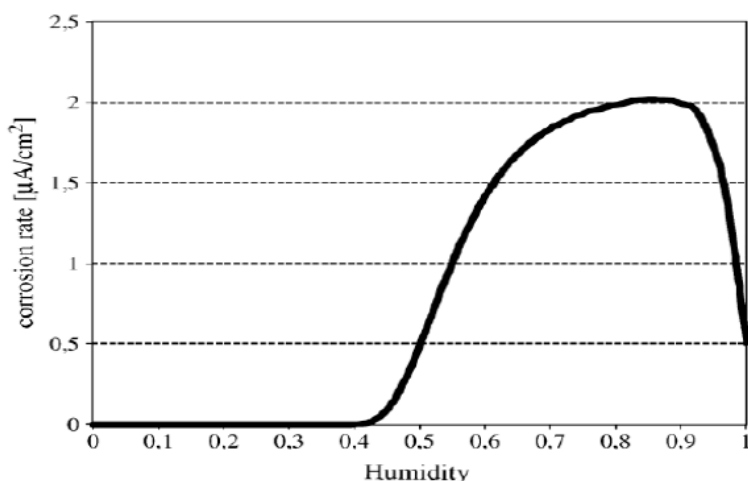


**Εικόνα 22 :** Παραγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της αντοχής του σκυροδεματος

Η διάβρωση δεν εξελίσσεται με τον ίδιο ρυθμό σε όλες τις περιπτώσεις. Υπάρχουν παράγοντες που προκαλούν ταχύτερη εξέλιξη της διάβρωσης και η γνώση αυτών των παραγόντων είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση του ρυθμού με τον οποίο υποβαθμίζεται η λειτουργία και η απόδοση μιας κατασκευής. Αυτοί οι παράγοντες είναι οι εξής:

### A) Υγρασία

Όπως είναι γνωστό, σε ξηρή ατμόσφαιρα, η διάβρωση των μετάλλων και των κραμάτων έχει αργή εξέλιξη. Σε υψηλή υγρασία, αντίθετα, ο ρυθμός διάβρωσης αυξάνεται εκθετικά. Για τον χάλυβα οπλισμού, ο ρυθμός διάβρωσης θεωρείται ότι αυξάνεται σημαντικά σε επίπεδα σχετικής υγρασίας άνω του 65%. Για το λόγο αυτό, το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 206-1 και ο Τεχνικός Κανονισμός Σκυροδέματος 2016 καθορίζουν τις κατηγορίες έκθεσης σε συσχέτιση με τη σχετική υγρασία.



<b>Κανένας κίνδυνος διάβρωσης ή προσβολής</b>	
X0	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με πολύ χαμηλή υγρασία αέρος
<b>Διάβρωση προκαλούμενη από ενανθράκωση σκυροδέματος</b>	
XC1	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με χαμηλή υγρασία αέρα & σκυρόδεμα που είναι μονίμως καλυμμένο με νερό
XC2	Επιφάνειες σκυροδέματος που υπόκεινται σε μακροχρόνια επαφή με το νερό. Πολλές περιπτώσεις θεμελίων.
XC3	Σκυρόδεμα στο εσωτερικό κτιρίων με μέτρια ή υψηλή υγρασία αέρα Εξωτερικό σκυρόδεμα που προφυλάσσεται από τη βροχή
XC4	Επιφάνειες σκυροδέματος που υπόκεινται σε επαφή με το νερό, εκτός της κατηγορίας έκθεσης XC2
<b>Διάβρωση προκαλούμενη από χλωριόντα χλωριόντα διαφορετικά διαφορετικά από αυτά του θαλασσινού θαλασσινού νερού</b>	
XD1	Επιφάνειες σκυροδέματος που εκτίθενται σε αερομεταφερόμενα χλωριόντα
XD2	Σκυρόδεμα που εκτίθεται σε βιομηχανικά νερά που περιέχουν χλωριόντα (πισίνες)
XD3	Μέρη γεφυρών που εκτίθενται σε σταγονίδια που περιέχουν χλωριόντα (Πεζοδρόμια, δάπεδα, οδοστρώματα Πλάκες χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων)
<b>Διάβρωση προκαλούμενη από χλωριόντα θαλασσινού νερού</b>	
XS1	Κατασκευές κοντά ή πάνω στην ακτή
XS2	Μέρη θαλάσσιων κατασκευών
XS3	Μέρη θαλάσσιων κατασκευών
<b>Προσβολή από παγετό ( εναλλαγές ψύξης / απόψυξης) με ή χωρίς αντιπαγωτικά άλατα</b>	
XF1	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος που εκτίθενται σε βροχή και παγετό
XF2	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος κατασκευών οδικών έργων, που εκτίθενται σε παγετό και σε αερομεταφερόμενα αντιπαγωτικά άλατα
XF3	Οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος που εκτίθενται σε βροχή και παγετό
XF4	Οδοστρώματα και καταστρώματα γεφυρών που εκτίθενται σε παγετό και Υψηλός κορεσμός νερού με γεφυρών που εκτίθενται σε παγετό και σε άμεση δράση αντιπαγωτικών αλάτων Επιφάνειες σκυροδέματος που Εκτίθενται σε άμεσο ψεκασμό με αντιπαγωτικά άλατα Περιοχές θαλάσσιων Περιοχές θαλάσσιων κατασκευών κατασκευών που διαβρέχονται από θαλασσινό νερό και εκτίθενται σε παγετό
<b>Χημική προσβολή</b>	
XA1	Ελαφρώς διαβρωτικό χημικά XA1 περιβάλλον
XA2	Μετρίως διαβρωτικό χημικά περιβάλλον
XA3	Μετρίως διαβρωτικό χημικά περιβάλλον

*Εικόνα 23 : Κατηγορίες έκθεσης περιβάλλοντος βάση ΕΛΟΤ EN 206-1*

Σημειώνεται ότι στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 206-1 αναφέρεται :

- Οι κατηγορίες έκθεσης που πρόκειται να επιλεγθούν εξαρτώνται από τις διατάξεις που ισχύουν στον τόπο χρήσης του σκυροδέματος. Η παρούσα ταξινόμηση έκθεσης δεν αποκλείει τη θεώρηση των ειδικών συνθηκών που υπάρχουν στον τόπο χρήσης του σκυροδέματος ή την εφαρμογή προστατευτικών μέτρων, όπως η χρήση ανοξειδώτου χάλυβα ή άλλου μετάλλου ανθεκτικού στη διάβρωση, καθώς και η χρήση προστατευτικών επενδύσεων για το σκυρόδεμα ή τον οπλισμό.
- Το σκυρόδεμα μπορεί να υπόκειται σε περισσότερες από μία δράσεις που περιγράφονται στον πίνακα 1 (Κατηγορίες Έκθεσης), συνεπώς οι περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες υπόκειται ίσως είναι αναγκαίο να εκφράζονται ως ένας συνδυασμός κατηγοριών έκθεσης.
- Για ένα δεδομένο δομικό στοιχείο, οι διαφορετικές επιφάνειες από σκυρόδεμα μπορεί να υπόκεινται σε διαφορετικές περιβαλλοντικές δράσεις.

### **B) Θερμοκρασία.**

Η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά επιταχύνει τη διάβρωση: πάνω από τους 20°C, έχει υπολογιστεί ότι ο ρυθμός διάβρωσης διπλασιάζεται για κάθε 10°C [Liu and Weyers, 1998]. Αυτό αποδίδεται στην αύξηση της κινητικότητας των ηλεκτρονίων που συνδέεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στην Ελλάδα, οι θερμοκρασίες χάλυβα οπλισμού συχνά ξεπερνούν τους 50°C εξωτερικά των κατασκευών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Λόγω της κάλυψης από σκυρόδεμα (35-50 mm), η θερμοκρασία του οπλισμού δύσκολα μειώνεται σε σχέση με την επιφανειακή θερμοκρασία, αλλά η θερμοχωρητικότητα του σκυροδέματος διατηρεί την υψηλή θερμοκρασία του οπλισμού.

### **Γ) Η τιμή pH (οξύτητα/αλκαλικότητα)**

Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του pH της επιφάνειας του χάλυβα, τόσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός απώλειας ενέργειας. Γενικά, οι ρυθμοί διάβρωσης είναι χαμηλοί για τιμές pH άνω του pH 7 και υψηλοί για χαμηλότερες τιμές pH. Για τιμές pH κάτω του 4,5, ο ρυθμός διάβρωσης αυξάνεται εκθετικά [R. Heidersbach, 2011].

### Δ) Οι μηχανικές τάσεις

Η παρουσία μηχανικών τάσεων, ιδίως εφελκυστικών, αυξάνει το ρυθμό διάβρωσης. Υπό ορισμένες συνθήκες, μπορεί ακόμη και να προκαλέσει ψαθυρή θραύση σε όλκιμους χάλυβες [V. S Raja, T. Shoji, 2011].



*Εικόνα 24 : Διάβρωση στο εφελκυσμένο τμήμα της δοκού*

### Ε) Πλαστική παραμόρφωση.

Η μηχανική διαμόρφωση ή η κατεργασία (ψυχρή κατεργασία) που αυξάνει τοπικά τη σκληρότητα του κράματος, όπως η μορφοποίηση συνδετήρων, αγκυρίων κλπ, συμβάλλει στην αύξηση του ρυθμού της διάβρωσης.

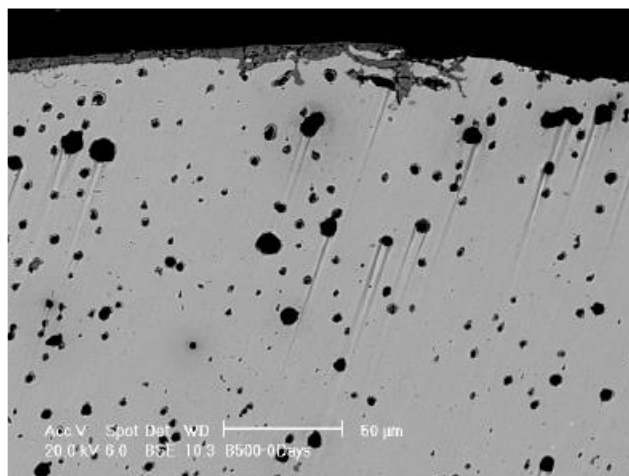


*Εικόνα 25 Διάβρωση εφελκόμενου οπλισμού στην περιοχή μηχανικής κάμψης συνδετήρων (πλαστικής παραμόρφωσης).*



## Z) Εγκλείσματα και προσμίξεις στην κρυσταλλική δομή του μετάλλου.

Ο χάλυβας περιέχει εγκλείσματα (ξένα σωματίδια) που επιταχύνουν τον ρυθμό διάβρωσης.



Εικόνα 26 Εγκλείσματα MnS, Si σε B500C [Rusteel 2012]

## Ε) Διαφυγοντα ηλεκτρικά φορτία.

Γενικά παρατηρείται ότι η παρουσία διαφυγοντων ρευμάτων αυξάνει τη διάβρωση. Κατ' αρχήν, το συνεχές ρεύμα αυξάνει τον ρυθμό διάβρωσης, ενώ το εναλλασσόμενο ρεύμα όχι. Το εναλλασσόμενο ρεύμα αυξάνει τον ρυθμό διάβρωσης μόνο εάν έχουν ήδη σχηματιστεί προϊόντα διάβρωσης (τα οποία δρουν ως ημιαγωγοί και προκαλούν μερική ανόρθωση του ρεύματος) [K.Tang, 2017].

ΕΚΘΕΣΗ	Ετήσιος Ρυθμός Απώλειας Διατομής Οπλισμού (μm/year)			
	ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ			
	Μερική Ενανθράκωση		Πλήρης Ενανθράκωση	
	Κάτω όριο	Άνω όριο	Κάτω όριο	Άνω όριο
XC1	0,232		0,232	
XC2	2,32	11,6	4,64	11,6
XC3	1,16	2,32	2,32	4,64
XC4	0,232	4,64	4,64	11,6
ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ ΑΠΟ ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ - ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ				
	Κάτω όριο		Άνω όριο	
XS1	11,6		116	
XS2	2,32		23,2	
XS3	23,2		232	
ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ ΑΠΟ ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ ΠΟΥ ΔΕΝ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ				
XD1	2,32		4,64	
XD2	2,32		11,6	
XD3	11,6		116	

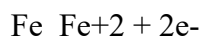
Η ενεργος διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα σχετίζεται με την υποβάθμιση της παθητικής προστασίας του οπλισμού, δηλαδή ενός λεπτού επιφανειακού στρώματος οξειδίου του ένυδρου σιδήρου που σχηματίζεται λόγω της υψηλής αλκαλικότητας του σκυροδέματος (pH 13)

Αυτή μπορεί να συμβεί σε όλη την επιφάνεια του χαλύβδινου στοιχείου (αποπαθητικοποίηση του χαλύβα), λόγω μίας γενικής αλλαγής των θερμοδυναμικών συνθηκών, ή τοπικά (διάβρωση κατά βελονισμό), εξαιτίας επικεντρωμένης χημικής προσβολής ή τοπικής βλάβης λόγω των παραλαμβανομένων τάσεων.

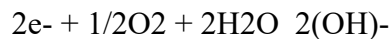
Η πρώτη περίπτωση είναι συνήθως αποτέλεσμα της μείωσης του pH του σκυροδέματος σε τιμές pH κοντά στο 9, με συνεπεία χημική ασταθία της παθητικής μεμβράνης. Η δεύτερη περίπτωση οφείλεται στην δράση ιόντων που προκαλούν φθορές, π.χ. Cl<sup>-</sup>, αλλά μπορεί επίσης να προκληθεί από ρωγμές στην επικάλυψη του οπλισμού (σκυρόδεμα) ή από τοπικές τάσεις.

## 5.2 Μηχανισμος διαβρωσης του χαλύβα στο σκυροδεμα

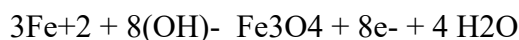
Η διάβρωση είναι ένα σύνθετο χημικό και ηλεκτροχημικό φαινόμενο και για να πραγματοποιηθεί απαιτείται ένας ηλεκτρολύτης και μία ηλεκτρική σύνδεση. Το ρόλο του ηλεκτρολύτη παίζει το σκυρόδεμα το οποίο είναι γεμάτο μικρούς πόρους που περιέχουν υγρασία, ενώ η ράβδος του χαλύβα παρέχει την ηλεκτρική σύνδεση. Το φαινόμενο της ηλεκτρολύσεως μπορεί να διακριθεί σε δύο απλές διαδικασίες: της ανόδου και της καθόδου. Η άνοδος δημιουργείται στην περιοχή του χαλύβα όπου έχει καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα οξειδίων έτσι ώστε τα άτομα του σιδήρου να μετατρέπονται σε ιόντα, ελευθερώνοντας ηλεκτρόνια. (45)



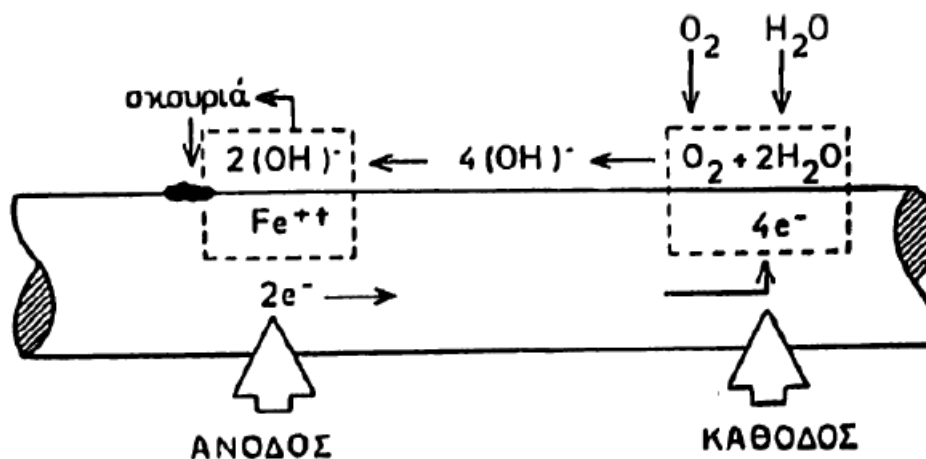
Τα ηλεκτρόνια λόγω διαφοράς δυναμικού που δημιουργείται κατευθύνονται προς την κάθοδο. Ως κάθοδος μπορεί να λειτουργήσει η περιοχή του χαλύβα που έχει νερό και οξυγόνο ανεξάρτητα αν έχει καταστραφεί το στρώμα οξειδίου, συνεπώς ολόκληρη η ράβδος. Εκεί αντιδρούν τα ηλεκτρόνια με το νερό και το οξυγόνο δίνοντας ιόντα υδροξυλίου.



Τα ιόντα υδροξυλίου κινούνται μέσα στο νερό των πόρων, από την περιοχή της καθόδου προς την άνοδο, όπου θα ενωθούν με τα ιόντα του σιδήρου και θα σχηματίσουν σκουριά.



Μετά την παραπάνω αντίδραση είναι δυνατόν να σχηματιστούν, διάφορα οξειδία του σιδήρου, π.χ. FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Συμπερασματικά, για τις αντιδράσεις οξειδώσεως έχουμε ότι οι ποσότητες νερού πριν και μετά παραμένουν σταθερές, το οξυγόνο



Εικόνα 26 : Μηχανισμός διαβρωσης

## Μορφές διαβρωσης

Ανάλογα με την μορφή και τους μηχανισμούς, μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα είδη διάβρωσης :

- Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση (Uniform or General Corrosion)
- Διάβρωση με βελονισμούς (Pitting corrosion)
- Διάβρωση σε σχισμές (Crevice Corrosion)
- Γαλβανική ή διμεταλλική διάβρωση (Galvanic or two metal corrosion)
- Περικρυσταλλική διάβρωση (Intergranular corrosion)
- Διάβρωση εκτριβής (Erosion Corrosion)
- Σπηλαιώδης διάβρωση (Cavitation Corrosion)
- Διάβρωση από τριβή (Fetting Corrosion)
- Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση (Stress Corrosion Cracking)

- Βλάβη από υδρογόνο (Hydrogen damage)
- Θερμογαλβανική διάβρωση (thermogalvanic corrosion)
- Διάβρωση κόπωσης (Corrosion fatigue)
- Βιολογική διάβρωση (Biological corrosion)
- Διάβρωση από ρεύματα διαφυγής (Stray Current Corrosion)

### 5.3 Μηχανισμοί υποβάθμισης της παρεχόμενης προστασίας του σκυροδεματός στον οπλισμό

#### 5.3.1 Ενανθράκωση

Το φαινόμενο της ενανθράκωσης ονομάζεται έτσι επειδή το υδροξείδιο του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  στο σκυρόδεμα μετατρέπεται σε ανθρακικό ασβέστιο  $\text{CaCO}_3$ .

Το υδροξείδιο του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  είναι παρόν σε μικρές ποσότητες μαζί με άλλα υδροξείδια, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα έντονα αλκαλικό περιβάλλον ( $\text{pH} \geq 12,5$ ) που προστατεύει τον οπλισμό και ένα λεπτό φιλμ οξειδίων και υπεροξειδίων προστατεύει τον χάλυβα από τη διάβρωση σε αυτό το περιβάλλον. Αυτό το φιλμ δεν σταματά τη διάβρωση, αλλά περιορίζει σημαντικά το ρυθμό διάβρωσης. Ο σημαντικότερος παράγοντας εδώ είναι η επίδραση του διοξειδίου του ανθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Αυτό αφομοιώνεται από την επιφάνεια του σκυροδέματος με τριχοειδή δράση και διαλύεται στο νερό της βροχής, συχνά μαζί με διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) (σε βιομηχανικές και μολυσμένες περιοχές). Ως αποτέλεσμα της απορρόφησης του  $\text{CO}_2$ , η αλκαλικότητα σταδιακά εξουδετερώνεται και σχηματίζεται ανθρακικό ασβέστιο, ένα φαινόμενο που έχει ονομαστεί ενανθράκωση.

Η ενανθράκωση επιταχύνεται ταχέως από πόρους, φωλιές, κοιλότητες και ανομοιόμορφες φτωχές δονήσεις. Παραδόξως, η ενανθράκωση μπορεί να περάσει απαρατήρητη για χρόνια. Μόνο όταν ο οπλισμός οξειδώνεται, παρατηρούνται αρχικά τριχοειδείς ρωγμές λόγω της αύξησης του όγκου. Συχνά, σοβαρές κρούσεις, όπως σεισμοί ή κρούσεις, αποκαλύπτουν την κατάσταση οξείδωσης μέσω της αποκόλλησης.

Σε συνάρτηση με το PH του σκυροδεματός η ενανθράκωση χωρίζεται ως εξής:

- Ηπια 9,6-8,2

- Οξεία 8,2 – 7,8 (Οξεία σημαίνει ότι έχουμε χάσει πλήρως τα ιόντα Ca.).Απο εκεί και κάτω έχω και χημική προσβολή.

### 5.3.1.1 Παραγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα ενανθράκωσης

α) Ο ρυθμός ενανθράκωσης μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας του σκυροδέματος σε τσιμέντο.

β) Λόγος νερού τσιμέντου (N/T). Το τσιμεντο δεσμεύει χημικά και φυσικά περίπου το 0,4 του βάρους του σε νερό. Στην πράξη, ωστόσο, ο λόγος αυτός συχνά αυξάνεται σε 0,5 ή και 0,6 προκειμένου να επιτευχθεί εργασιμότητα. Το πλεονάζον νερό που δεν μπορεί να δεσμευτεί εξατμίζεται και ο όγκος του παραμένει ως τριχοειδή αγγεία και πόροι που αργότερα γίνονται η αφετηρία της ενανθράκωσης.

γ) Σχετική υγρασία στον αέρα, ποιότητα και πάχος της επικάλυψης. Η αντίδραση πραγματοποιείται παρουσία μικρής ποσότητας νερού και το νερό που παράγεται μετά την αντίδραση διαχέεται στο σκυρόδεμα, καθώς και το CO<sub>2</sub> μέσω της αέριας φάσης των πόρων. Ως αποτέλεσμα, το pH του σκυροδέματος πέφτει κάτω από το 9 (περίπου 8,3), ο χάλυβας αποπαθητικοποιείται, οπότε ξεκινάει η διάβρωση.

### 5.3.2 Χλωριοντα

Ονομάστηκε έτσι από τα δημιουργημένα ιόντα χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) : Το νερό είναι ένας εξαιρετικός διαλύτης. Τα άλατα είναι ενώσεις που είναι διαλυτές στο νερό και αποτελούν ενώσεις μετάλλων με μονοατομικές ή πολυατομικές ανιονικές μη μεταλλικές ρίζες. Ένα από αυτά είναι το χλωριούχο νάτριο (NaCl), το οποίο όλοι γνωρίζουμε ως αλατι. Είναι επίσης ένωση ενός ιόντος νατρίου και ενός ιόντος χλωρίου, και επειδή τα ιόντα έχουν διαφορετικά ιοντικά φορτία (θετικό του νατρίου (Na) και αρνητικό του χλωρίου (Cl)) ο δεσμός που τα συνδέει μεταξύ τους είναι ηλεκτροστατικός. Ωστόσο, στο νερό, οι ηλεκτροστατικοί δεσμοί μεταξύ των ιόντων νατρίου και χλωρίου χαλαρώνουν λόγω της πολικότητας του τελευταίου μορίου. Ως αποτέλεσμα, τα ιόντα διαλύονται στο νερό χωρίς να επιστρέφουν στην αρχική τους μορφή, δηλαδή του χλωριούχου νατρίου (NaCl). Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε ιόν Na και Cl περιβάλλεται από μόρια νερού που λειτουργούν ως

ασπίδα για την αποκατάσταση των ιοντικών δεσμών. Ως αποτέλεσμα, κάθε μόριο χλωριούχου νατρίου τείνει να διαλυθεί στο νερό. Με άλλα λόγια, εκφρασμένο χημικά :



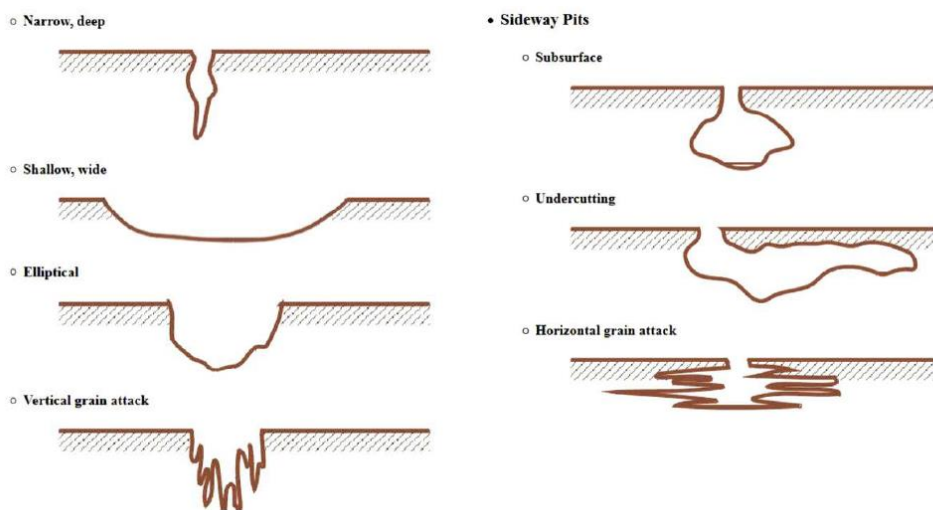
Το νερό διεισδύει μέσα από ρωγμές και κενά στο σκυρόδεμα, μεταφέροντας ιόντα χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) και, φτάνοντας στον οπλισμό, δημιουργεί νέους ιοντικούς δεσμούς με τον χάλυβα, σπάζοντας εύκολα την προστατευτική "ασπίδα" οξειδίου (παθητικο φιλμ) και τρυπώντας τον χάλυβα.

Τα ιόντα χλωρίου που εισέρχονται στα κενά δεν φτάνουν εύκολα στο βάθος του οπλισμού σε συγκεντρώσεις 0,4-0,6% κατά βάρος του τσιμέντου, το κρίσιμο ποσοστό για τη διάτρηση του προστατευτικού οξειδίου του οπλισμού, καθώς τείνουν να συνδέονται με το υδροξείδιο του ασβεστίου.

Ωστόσο, η ενανθράκωση  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ , η οποία μετατρέπει το υδροξείδιο του ασβεστίου σε νερό και ανθρακικό ασβέστιο με τη βοήθεια του διοξειδίου του άνθρακα, επιτρέπει βαθύτερη διείσδυση και υψηλότερη συγκέντρωση ιόντων χλωρίου. Από εκεί και πέρα, η διάβρωση του οπλισμού εξελίσσεται γρήγορα.

Εξαιτίας των παραπάνω διεργασιών παρατηρούνται σε παράκτιες περιοχές φαινόμενα όπως η οξείδωση του οπλισμού και το σκάσιμο του σκυροδέματος.

Ο συνδυασμός νερού και αλατιού (NaCl), σε συνδυασμό με τους ισχυρούς ανέμους και την ενανθράκωση, που βοηθούν το διάλυμα να διεισδύσει βαθύτερα μέσα από τις ρωγμές, αποτελούν το υπόβαθρο αυτού του φαινομένου.



Εικόνα 27 Τυπικές μορφές εξάχνωσης οπλισμού από προσβολή χλωριόντων [ASM, 2000].



Εικόνα 28 Εξαχνώσεις του σπλισμου λόγω προσβολης χλωριονταν

### 5.3.3 Χημικη προσβολη

Κακώς θεωρείται η ενανθράκωση ως η πλέον συνήθης χημική διεργασία που οδηγεί σε πτώση της αλκαλικότητας του τσιμεντοπολτού με συνέπεια την διάβρωση του σπλισμού. Η λανθασμένη αυτή άποψη θα πρέπει μάλλον να αποδοθεί στην συχνή εμφάνιση προβλημάτων διάβρωσης λόγω ενανθράκωσης σε κτίρια εντός αστικών περιοχών.

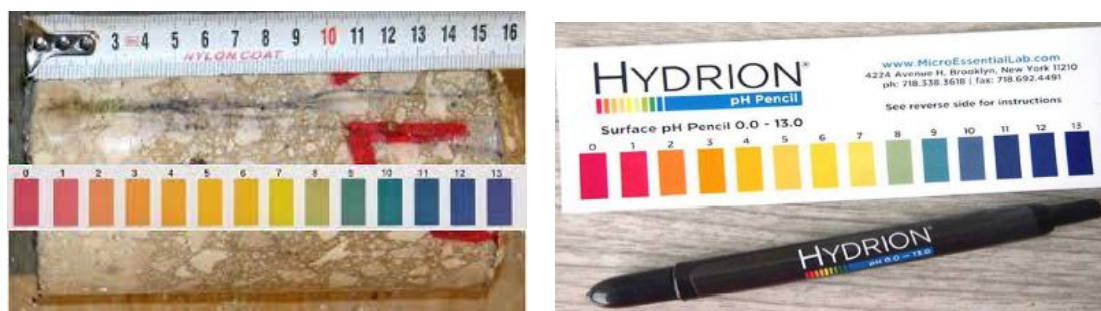
Όμως στην πραγματικότητα το 45% των προβλημάτων διάβρωσης των υποδομών σε ολόκληρο τον κόσμο οφείλεται σε διαρροές των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης. Σύμφωνα με τον Αμερικανικό φορέα NACE (National Association of Corrosion Engineers) η διάβρωση εκ του λόγου αυτού έχει επιφέρει, παγκοσμίως, ζημίες ύψους 825 δις \$ (2015).

Η χημική προσβολή του σκυροδέματος από πληθώρα ιόντων και αλάτων λόγω εναέριας διάχυσης, εισρόφησης από την επαφή του σκυροδέματος με χημικά προσβεβλημένο έδαφος και νερό είτε λόγω έκθεσης σε εξωγενείς παράγοντες, οδηγούν σχεδόν πάντοτε σε σημαντική πτώση της αλκαλικότητας του τσιμεντοπολτού και κατά συνέπεια την αδυναμία του να διατηρεί και να τροφοδοτεί την παθητική μεμβράνη.

## 5.4 Μεθοδοι ελεγχων και μετρησεων

### A) Μετρηση PH σκυροδεματος

Χρωματικός δείκτης ουράνιου τόξου σε μορφή μολυβιού (concrete ph hydrion , βήματος pH =1. Προκειται για σύστημα επιτόπιου προσδιορισμού αλκαλικότητας σκληρυμένου σκυροδέματος βάσει προδιαγραφής ASTM F710-5 σε μολύβι και χρωματικό δείκτη αλκαλικότητας 0-13. Επιτρέπει τον εντοπισμό ενανθράκωσης σκυροδέματος και χημικής προσβολής.



Εικονα 29 : Διαβαθμιση χρωματος σε δοκιμιο πυρηνοληψιας

Οταν κάνουμε μέτρηση pH με μολύβι:

- Καθαρίζουμε μερικά χιλιοστά την επιφάνεια με σβουράκι ή δίσκο.
- Κάνουμε διαβροχή κορεσμού με απιονισμένο νερό και με το μολυβάκι γράφουμε επανω στο δοκιμιο της πυρηνοληψιας. Προσπαθουμε να αποφυγουμε τα μεγαλα αδρανη.
- pH υγιους σκυροδεματος 13-12
- $8 < \text{pH} < 9,6$  ενανθρακωση
- $\text{pH} < 8$  σημαινει χημικη προσβολη

### B) Ελεγχος με διαλυμμα φαινολοφθαλαινης για την ευρεση βαθους ενανθρακωσης

Το βάθος της ενανθράκωσης μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση διαλύματος φαινολοφθαλείνης πανω στην επιφανεια δοκιμιου σκυροδεματος (ειτε με την κλασικη πυρηνοληψια ειτε με carbon test) το οποιο εχει αφαιρεθει από το εκαστοτε φερων στοιχειο.

Το σημαντικότερο λάθος που γίνεται όταν εντοπίζεται η βλάβη, είναι να εκλαμβάνεται η θέση αυτή (της βλαβης) ως κατάλληλη για δειγματοληψία και διενέργεια ελέγχου αλκαλικότητας του σκυροδέματος. Η δειγματοληψία γίνεται πάντα σε σκυρόδεμα που έχει



αποκοπεί πρόσφατα ( $< 7$  ημερών) και δεν επιτρέπεται ποτέ σε περιοχές που έχουν εμφανίσει εκτίναξη. Επίσης το διαλυμμα φαινολοφθαλεινης μετραι μεχρι  $pH \geq 10$ . Από εκεί και κατω δεν χρωματιζεται. Βαση κανονισμου ισχυουν τα εξης:

- Απαγορεύεται ο ψεκασμός δείκτη αλκαλικότητας εντός του διατρήματος. Αυτό οδηγεί σε μόλυνση του δείγματος λόγω ανεξέλεγκτης διαβροχής του από τον δείκτη.
- Απαγορεύεται η δειγματοληψία σε απόσταση  $< 25$  cm από σημεία που εμφανίζουν εκτίναξη.
- Απαγορεύεται ο ψεκασμός δείκτη αλκαλικότητας στην περιοχή που εμφανίζει εκτίναξη.

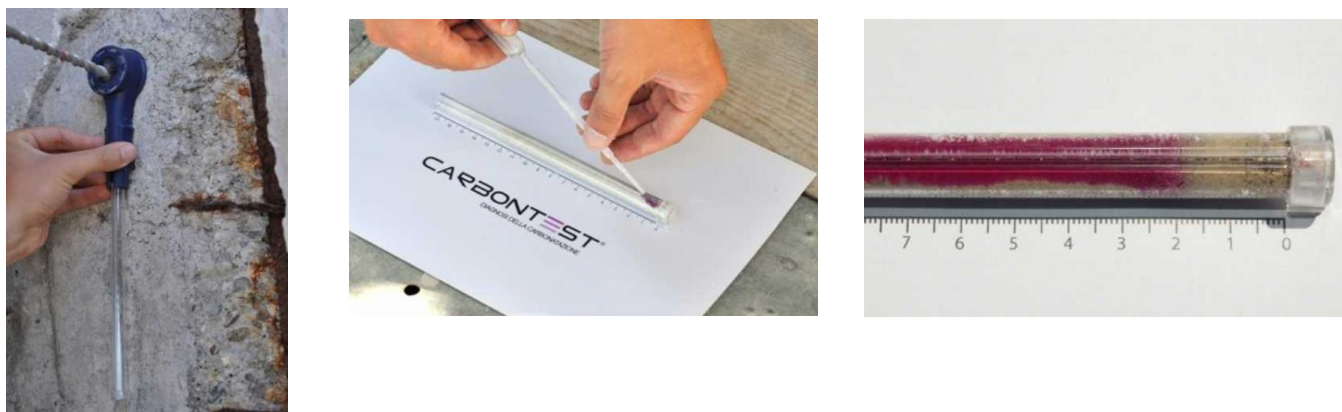
Η δειγματοληψία για την εκτίμηση του βάθους ενανθράκωσης διενεργείται υποχρεωτικά σε "φρέσκια" και σταθερή επιφάνεια (freshly removed and sound concrete sample) βάσει ΕΛΟΤ EN 14630. Ο όρος σταθερή επιφάνεια ορίζει την πιθανή μόλυνση του δείγματος λόγω γειτνίασης με ρωγμές εκτίναξης είτε αυτές είναι ορατές είτε όχι.

Η δοκιμη του διαλυμματος μπορει να γινει σε κλασσικους πυρηνες, ειτε σε δοκιμια μεσω carbon test:



*Εικονα : Εφαρμογη διαλυμματος φαινολοφθαλεινης σε πυρηνα*

*Εικονα : Δοκιμη σε πυρηνα σκυροδεματος. Σύγκριση της χρωματικής μετάπτωσης της φαινολοφθαλεινης με τιμές pH που έχουν μετρηθει ηλεκτρονικα*



*Εικόνα 30 : Δοκιμή σε τριμα σκυροδεματος μεσω carbon test*

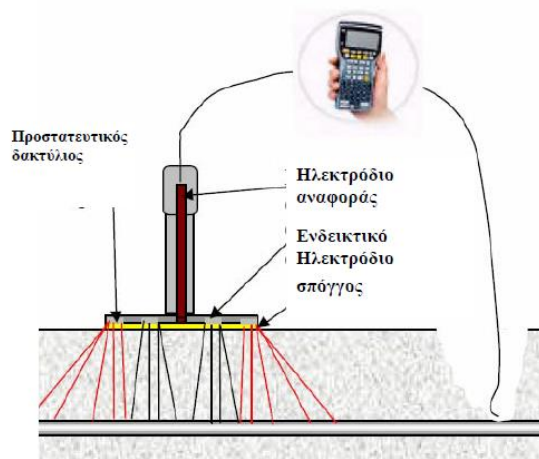
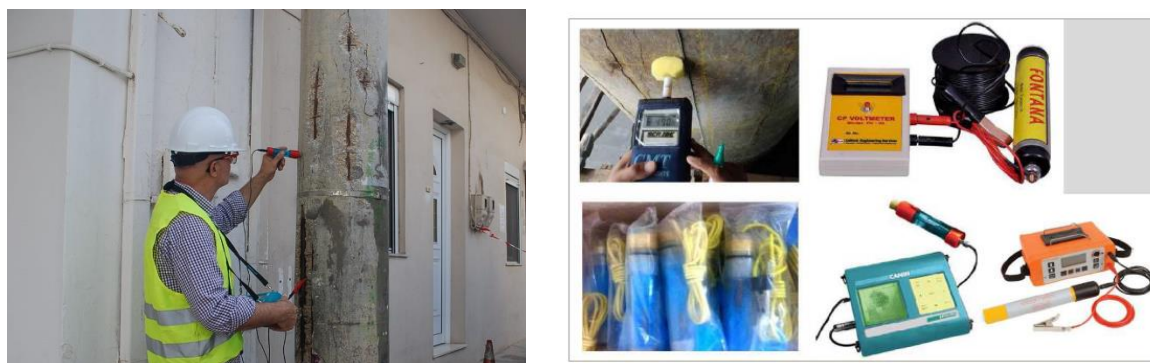
### **Γ) Έλεγχος με διαλυμα Νιτρικου αργυρου $\text{AgNO}_3$ για υπαρξη χλωριοντων**

Για την ανίχνευση χλωριόντων, χρησιμοποιείται ο δείκτης νιτρικού αργύρου ( $\text{AgNO}_3$ ) σε διάλυμα 0,03-0,1 N, σύμφωνα με τη διαδικασία που καθορίζεται στο ASTM C 1202. Ο νιτρικός άργυρος είναι χρωματικός δείκτης της παρουσίας χλωριόντων. Εάν ο νιτρικός άργυρος γίνει μαύρος ή πολύ σκούρος καστανός, το 90% των ελεύθερων χλωριόντων απουσιάζει. Εάν γίνει λευκό ή ανοιχτό καφέ, το 80% των χλωριόντων είναι παρόντα και πρέπει να ληφθεί δείγμα και να μετρηθεί η περιεκτικότητά τους.

Ο πίνακας ρεύματος καθοδικής προστασίας χωρίζεται σε τιμες άνω του 4,5% κ.β τσιμεντου και κάτω του 4,5%, οπότε δεν έχει σημασία πόσα χλωριόντα υπάρχουν. Οι μετρήσεις γίνονται για 10-20 λεπτά. Τότε το χρώμα αλλάζει σε μωβ ή λευκό και η μέτρηση θεωρείται άκυρη. Πρώτα πρέπει να μετρηθεί η τιμή του pH και να προσδιοριστεί η τιμή του χρώματος από τον πίνακα

### **Δ) Μετρηση ημιδυναμικου (Half cell)**

Σύστημα για τον επιτόπιο ποιοτικό προσδιορισμό διάβρωσης σιδηροπλισμού, βάσει προδιαγραφής ASTM C876, με ηλεκτροδιο αναφοράς ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ). Επιτρέπει τον εντοπισμό ενεργής διάβρωσης, βασει πιθανότητων . Όταν έχουμε χλωριοντα δεν μετραμε το ημιδυναμικο. Οι μετρήσεις δίνονται υπό μορφή (-) mV.



**Εικόνα 31:** Έλεγχος ημιδυναμικού και η συσκευή του

Πίνακας 2. Τιμές Ημι-Δυναμικού ηλεκτροδίου Cu/CuSO <sub>4</sub>		Προδιάθεση Διάβρωσης-Πιθανότητα (%)
Κάτω Όριο (-mV)	Ανω Όριο (-mV)	
125	200	Χαμηλή (<10%)
200	350	Μέτρια (>50%)
350	500	Υψηλή (>90%)
500	999	Σίγουρη (100%)

**Εικόνα 32 :** Δυναμικό Διάβρωσης Πιθανότητα διάβρωσης ASTM C867

---

## 6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ

---

Η διαδικασία εκτίμησης βλαβών αποτελείται από ένα συνδυασμό οπτικής εκτίμησης με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού και μεθόδων εκτίμησης βλαβών που αποσκοπούν στην απόκτηση επαρκών πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση της υφιστάμενης κατασκευής. Απαιτείται επαρκής αριθμός ερευνών για την επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής επέμβασης και την επισκευή ή ενίσχυση της δομής.

Αρχικά, μια διάγνωση βλάβης ξεκινά πάντα με μια οπτική επιθεώρηση για την απόκτηση μιας καλής οπτικής της βλάβης που έχει υποστεί. Οι οπτικές παρατηρήσεις καταγράφονται σε ένα πρόχειρο σχέδιο, συμπεριλαμβανομένου του προσδιορισμού και του προσανατολισμού των στοιχείων που επιθεωρήθηκαν. Μόλις ολοκληρωθεί η οπτική επιθεώρηση, διατυπώνεται μια "υπόθεση εργασίας" ως προς την αιτία της βλάβης.

Με βάση την υπόθεση αυτή, επιλέγεται η μέθοδος διάγνωσης βλαβών που θα χρησιμοποιηθεί και καθορίζεται η θέση της περιοχής που θα επιθεωρηθεί. Αφού καθοριστεί η θέση, μετράται η κατακόρυφη απόσταση από το έδαφος. Αφού ολοκληρωθούν όλες οι προγραμματισμένες επιθεωρήσεις, λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα της οπτικής παρατήρησης και της επιθεώρησης προκειμένου να προσδιοριστεί με ακρίβεια η αιτία, η έκταση και η δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης της βλάβης.

Εάν δεν μπορεί να γίνει ακριβής προσδιορισμός, μπορεί να πραγματοποιηθούν πρόσθετες επιθεωρήσεις. Τέλος, εάν τα αποτελέσματα της επιθεώρησης δεν υποστηρίζουν την αρχική υπόθεση σχετικά με τα πιθανά αίτια της βλάβης, η υπόθεση πρέπει να αναθεωρηθεί και ενδέχεται να απαιτηθούν πρόσθετες επιθεωρήσεις για την επιβεβαίωση της αναθεωρημένης υπόθεσης

## 6.1 Μη καταστροφικοί έλεγχοι

### 1. Οπτικός έλεγχος

Η οπτική επιθεώρηση είναι απαραίτητη προϋπόθεση για όλες τις μη καταστροφικές δοκιμές. Χρησιμοποιείται συνήθως για την ανίχνευση ρωγμών, αποκολλήσεων και άλλων επιφανειακών προβλημάτων. Συχνά το άτομο που εκτελεί την επιθεώρηση χρησιμοποιεί μεγεθυντικό φακό, ηλεκτρικό φακό ή ρωγμοσκόπιο. Ο ανιχνευτής ελαττωμάτων είναι ένα μικροσκόπιο με ενσωματωμένη κλίμακα που μπορεί να ποσοτικοποιήσει την έκταση των ορατών επιφανειακών ρωγμών. Η οπτική επιθεώρηση είναι απλή και φθηνή στη διεξαγωγή της, απαιτεί σχετικά σύντομους χρόνους επιθεώρησης και είναι πολύ αποτελεσματική αν εκτελείται σωστά (Σπυράκος 2004, Αναστασιάδης 2016).

### 2. Κρουσιμέτρηση

Η πιο συνηθισμένος έλεγχος είναι η δοκιμή κρούσης. Η δοκιμή κρούσης είναι μια έμμεση μέθοδος που βασίζεται στη μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας του σκυροδέματος. Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος προσδιορίζεται έμμεσα, καθώς η επιφανειακή σκληρότητα του σκυροδέματος προσδιορίζεται έμμεσα από το ύψος αναπήδησης του κρουστικού μηχανισμού. Ο κρουστικός μηχανισμός είναι εύκολος στη χρήση και η μέθοδος είναι σχετικά απλή και αξιόπιστη. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου της κρουσιμετρησης είναι ότι το όργανο πρέπει συχνά να βαθμονομείται ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου και την ποιότητα των αδρανών (σκληρά, μαλακά κ.λπ.). Τα αποτελέσματα μπορεί επίσης να εξαρτώνται από την κατάσταση της επιφάνειας και το μέγεθος του σκυροδέματος. Συνήθως η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι επαρκής μέχρι βάθος 30 mm (Κυριαζόπουλος 2016, Σπυράκος 2004).

Η μέθοδος αυτή μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για τον προσδιορισμό της αντοχής δομικών στοιχείων μόνο σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους, όπως η μέθοδος της ημι-κατεστρωφικής δειγματοληψίας πυρήνα.



Εικόνα 33 : Όργανο κρουσιμετρησης

### **3. Χρήση υπερήχων**

Η μέθοδος μετρά το χρόνο που απαιτείται για τη διάδοση των υπερηχητικών κυμάτων μέσα από ένα τμήμα σκυροδέματος ή τοιχοποιίας γνωστού μήκους. Με βάση την ταχύτητα διάδοσης μετράται η σχετική κατάσταση του σκυροδέματος ή της τοιχοποιίας και επιπλέον επιτυγχάνεται η σχετική κατάσταση του σκυροδέματος ή της τοιχοποιίας (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας, Χατζόγλου 2013):

- Προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής δομικών στοιχείων.
- Προσδιορισμός των κοιλοτήτων εντός των δομικών στοιχείων.
- Εκτίμηση του βάθους των επιφανειακών ρωγμών.
- Προσδιορισμός της ομοιομορφίας.
- Εκτίμηση του βάθους θραύσης σε δομικά στοιχεία.

Μια συσκευή υπερήχων αποτελείται συνήθως από μια γεννήτρια υπερήχων, δύο κρυστάλλους χαλαζία που λειτουργούν ως πομπός και δέκτης και ένα μετρητή που μετρά το χρόνο που χρειάζονται τα υπερηχητικά κύματα για να διεισδύσουν στο υπό δοκιμή δοκίμιο σκυροδέματος. Προκειμένου το υπερηχητικό κύμα να περάσει πλήρως μέσα από τη μάζα του σκυροδέματος, συνιστάται η τοποθέτηση λιπαντικού μεταξύ των κρυστάλλων και του σκυροδέματος για την κάλυψη ατελειών στην εξωτερική επιφάνεια του στοιχείου (Σπυράκος 2004, Κυριαζόπουλος 2016).

Οι μέθοδοι υπερήχων παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον επειδή χρησιμοποιούν απλό, φορητό εξοπλισμό, δεν είναι ακριβές ή βαριές, είναι ευαίσθητες, δεν επηρεάζουν τις ιδιότητες του υπό εξέταση υλικού και, το κυριότερο, είναι μια εντελώς ακίνδυνη πειραματική μέθοδος για το ανθρώπινο σώμα. Μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένου του σκυροδέματος, της τοιχοποιίας και του ξύλου. Στα μέταλλα χρησιμοποιείται μόνο για την ανίχνευση εσωτερικών ατελειών (ρωγμές, πόροι). Εάν υπάρχουν εσωτερικές ατέλειες, λειτουργούν ως ανακλαστική επιφάνεια για τον

κυματικό παλμό. Ως εκ τούτου, οι παλμοί ανακλώνται πίσω. Μετρώντας το χρόνο και γνωρίζοντας την ταχύτητα του υπερηχητικού παλμού στο υλικό, μπορεί να υπολογιστεί η θέση του ελαττώματος (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013).



*Εικόνα 34 : Μέθοδος υπερήχων*

#### **4. Μαγνητικές μέθοδοι**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης του σπλισμού. Συγκεκριμένα, με τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου με κατάλληλα βαθμονομημένη συσκευή, μπορεί να προσδιοριστεί η θέση και η διάμετρος του σπλισμού σε σχέση με την επιφάνεια του σκυροδέματος και το πάχος του καλύμματος σκυροδέματος. Η μέθοδος αυτή είναι γρήγορη και αξιόπιστη. Η λειτουργία της βασίζεται στην επαγωγή ρεύματος στο αγωγίμο υλικό υπό την επίδραση εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Τυχαίες διακοπές στη ροή του φορτίου που προκαλούνται από "αλλαγές" στο υλικό επηρεάζουν το μαγνητικό πεδίο. Αυτές οι "αλλαγές" υποδηλώνουν την παρουσία άλλων ιδιοτήτων ή μορφών (π.χ. υγρασία, διάβρωση).



*Εικόνα 35 : Μαγνητική μέθοδος ο εξοπλισμός της*

#### **6. Ακτινογράφιση με ακτίνες "Χ" και "Γ"**

Οι ακτίνες Χ χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό του σπλισμού και τον προσδιορισμό της πυκνότητας και της σύνθεσης του σκυροδέματος. Οι ακτίνες Γ χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό πιθανών κενών και τον υπολογισμό της διαμέτρου του σπλισμού. Η μέθοδος

αυτή δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα για μεμονωμένες στρώσεις οπλισμού και ο εξοπλισμός είναι εύκολος στη μεταφορά. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής, ωστόσο, είναι το υψηλό κόστος και η χαμηλή ακρίβεια για πάχος σκυροδέματος μεγαλύτερο από 30 cm. Επιπλέον, η αξιοπιστία των μετρήσεων με τη μέθοδο αυτή μειώνεται εάν υπάρχουν περισσότερες από δύο στρώσεις οπλισμού (Μοσχόβου 2017).

### **7. Θερμογράφιση με υπέρυθρη ακτινοβολία**

Μια πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας τοποθετείται στη μία πλευρά του δοκιμίου και η ροή ενέργειας υπέρυθρης ακτινοβολίας καταγράφεται και αναλύεται. Τα κενά και οι ασυνέχειες στο σώμα του σκυροδέματος μπορούν να ανιχνευθούν, καθώς εμποδίζουν τη ροή της ακτινοβολίας. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση διάβρωσης, εσωτερικών ρωγμών, κενών, αυξημένου πορώδους και αλλαγών στη σύνθεση του σκυροδέματος. Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται, ενώ το μειονέκτημα είναι το σχετικά υψηλό κόστος του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται για την εφαρμογή της (Σπυράκος 2004).

### **8. Μέτρηση ποσοστού υγρασίας με εκπομπή νετρονίων**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια φορητή συσκευή μέτρησης, η οποία εκπέμπει ροή νετρονίων στο υπό εξέταση δείγμα και υπολογίζει την περιεκτικότητα σε υγρασία με τη μέτρηση του ρυθμού εκπομπής νετρονίων, καθώς ο ρυθμός εκπομπής μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία. Η μέθοδος αυτή είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδος μέτρησης της υγρασίας του σκυροδέματος, με μοναδικό μειονέκτημα το υψηλό κόστος (Σπυράκος 2004, Μοσχόβου 2017).

## **6.2 Ημι-καταστροφικοί έλεγχοι**

### **1. Πυρηνοληψία**

Μέθοδος ημι-καταστροφικών δοκιμών κατά την οποία γίνεται διατήρηση στο εκατοστό φερων στοιχείο σκυροδεματος για την αποκοπή κυλινδρικών δειγμάτων. Η αντοχή σε θλίψη, η αντοχή σε εφελκυσμό κατά τη θραύση και η αντοχή σε κάμψη καθώς και το μέτρο ελαστικότητας προσδιορίζονται με δειγματοληψία των δομικών στοιχείων. Επιπλέον, η πυρηνοληψία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της γενικής κατάστασης της



κατασκευής από σκυρόδεμα, της θέσης και του μεγέθους του οπλισμού, της παρουσίας ρωγμών ή άλλων βλαβών στο σκυρόδεμα και των επιπτώσεων προηγούμενων επεμβάσεων. Επιπλέον, η πυρηνοληψία μπορεί να παράσχει πληροφορίες σχετικά με τον τύπο των αδρανών, την παρουσία χλωριόντων και την πιθανότητα διάβρωσης του οπλισμού (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013- Σπυράκος 2004).

Η μέθοδος της πυρηνοληψίας είναι η πιο αξιόπιστη και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον έλεγχο των ιδιοτήτων του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών. Τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι το σχετικά υψηλό κόστος του εξοπλισμού και η δυσκολία λήψης δειγμάτων από κατακόρυφα στοιχεία, όπως υποστυλώματα και τοιχώματα. Κατά τη λήψη πυρήνων καλό είναι να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην καταστραφεί η κατασκευή σε βαθμό που να επηρεάζεται η φέρουσα ικανότητα (Σπυράκος 2004).



*Εικόνα 36 : Πυρηνοληψία*

## **2. Χρήση εξολκέα**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της επιτόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Βασίζεται στη συσχέτιση μεταξύ της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και της δύναμης που απαιτείται για να τραβηχτεί ένα ειδικό μπουλονι από την επιφάνειά του. Αντί για μπουλονι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια στρογγυλή μεταλλική πλάκα η οποία συγκολλάται στην επιφάνεια του σκυροδέματος και πιέζεται σε αυτήν με ειδικό εργαλείο μέχρι να σπάσει το σκυρόδεμα. Εκτός από τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με τη χρήση ειδικών διαγραμμάτων, η μέθοδος χρησιμοποιείται επίσης για τον προσδιορισμό της αντοχής συγκόλλησης διαφόρων επιστρώσεων στο σκυρόδεμα. Το πλεονέκτημα της μεθόδου εξολκευσης ηλου έναντι της

μεθόδου πυρηνοληψιας είναι ότι είναι πολύ πιο γρήγορη και στις περισσότερες περιπτώσεις δίνει αποτελέσματα με ικανοποιητική ακρίβεια (Σπυράκος 2004).



*Εικόνα 37 : Μεθοδος εξολκευσης ηλου*

### **3. Έλεγχος ράβδων οπλισμού σε εφελκυσμό**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ορίου διαρροής και της εφελκυστικής αντοχής του οπλισμού. Συγκεκριμένα, αφού αφαιρεθεί το υπάρχον σκυρόδεμα, κόβεται ένα τμήμα οπλισμού 30 cm. Το δοκίμιο υποβάλλεται σε δοκιμή αξονικού εφελκυσμού για τον προσδιορισμό της αντοχής, της επιμήκυνσης κ.λπ. Η μέθοδος αυτή είναι ο πιο αξιόπιστος τρόπος μέτρησης των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα. Ωστόσο, τα μειονεκτήματά της είναι το σχετικά υψηλό κόστος και ο σημαντικός χρόνος που απαιτείται για τις δοκιμές (Σπυράκος 2004).

### **4. Μέθοδος της πετρογραφικής ανάλυσης**

Η μέθοδος ανιχνεύει αντιδραστικά αδρανή και επιβλαβή πρόσθετα στο σκυρόδεμα. Υπολογίζει επίσης το βάθος ενανθράκωσης και το πλάτος των ρωγμών στο σκυρόδεμα. Στη μέθοδο αυτή, λαμβάνονται πυρήνες σκυροδέματος, μέρος του πυρήνα αποκόπτεται και καθαρίζεται και οι χημικές και φυσικές ιδιότητες του σκυροδέματος εξετάζονται σε μικροσκόπιο υψηλής ανάλυσης. Η μέθοδος αυτή είναι εξαιρετικά αξιόπιστη αλλά απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και εκπαιδευμένο συνεργείο (Σπυράκος 2004).

### 6.3 Έλεγχοι καθολικής φόρτισης

Οι ελεγχοι καθολικης φορτίσης πραγματοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν τα αρχικά σχέδια της προς επιθεώρηση κατασκευής, για την οποία η φέρουσα ικανότητα είναι αβέβαιη. Κατά κανόνα, οι κατασκευές που υπόκεινται σε καθολική φόρτιση είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ιδιότητες του δομικού χάλυβα και των ξύλινων στοιχείων είναι εύκολο να μετρηθούν, ενώ η σύνθεση και η ποιότητα του σκυροδέματος δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν. Η μέθοδος καθολικής φόρτισης εφαρμόζεται συνήθως σε πλαισιακες κατασκευές με εμφανή σημάδια φθοράς ή σε κατασκευές που υπερβαίνουν τις επιτρεπόμενες τάσεις σε δεδομένο φορτίο. Στη μέθοδο αυτή, η κατασκευή φορτίζεται με μικροδονησεις ή άλλες αποδεκτές μεθόδους διέγερσης και αρμονικής δόνησης. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι δυναμικές ιδιότητες της κατασκευής, όπως η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος και η απόσβεση της κατασκευής ή τμήματος της κατασκευής, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες για την έκταση της βλάβης. Η κατακόρυφη στατική φόρτιση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση των μετατοπίσεων και παραμορφώσεων των δομικών στοιχείων.

---

## 7. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

---

Όπως αναφερθηκε, υπό κανονικές συνθήκες, ο χαλύβδινος οπλισμός προστατεύεται από το αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος που τον περιβάλλει. Το περιβαλλον αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός παθητικού φιλμ από οξείδια του σιδήρου περιμετρικά του οπλισμού, το οποίος παθητικοποιεί τον χάλυβα και τον προστατεύει από την διάβρωση.

Ωστόσο η παθητική αυτή προστασία παύει να υφίσταται όταν μειωθεί η αλκαλικότητα του σκυροδέματος λόγω ενανθράκωσης ή διείσδυσης χλωριόντων (οδηγούν σε χημικές αντιδράσεις εξουδετέρωσης με αποτέλεσμα την μείωση του pH). Η διατήρηση (συντήρηση) ή η επαναφορά της παθητικότητας του οπλισμού είναι σήμερα εφικτή με διάφορες μεθόδους. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από το αίτιο της απώλειας παθητικότητας (ενανθράκωση σκυροδέματος ή διείσδυση χλωριόντων), το εύρος της βλάβης, τις συνθήκες του έργου, τη μεθοδολογία επισκευής και προστασίας, τις δυνατότητες συντήρησης, το κόστος, κλπ.

### 7.1 Αύξηση Αντίστασης (ΑΑ) του Σκυροδέματος για την μείωση του Κινδύνου Διάβρωσης

Η Αρχή 8 του EN 1504 αναφέρεται στην αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης του σκυροδέματος, με την οποία συσχετίζεται άμεσα το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας εντός των πόρων του σκυροδέματος. Με την αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης μειώνεται το εμπεριεχόμενο ποσοστό υγρασίας, άρα και ο κίνδυνος διάβρωσης του οπλισμού.

#### 7.1.1 Υδροφοβικός εμποτισμός

Ως υδροφοβικός εμποτισμός ορίζεται η επεξεργασία της επιφάνειας του σκυροδέματος για την δημιουργία υδροαπωθητικής επιφάνειας. Το υδροφοβικό υλικό εισχωρεί στους πόρους και το δίκτυο τριχοειδών και επιτυγχάνει την μείωση της επιφανειακής τάσης του περιεχομένου νερού αποτεπώντας έτσι την διόδό του διαμέσου των πόρων, ενώ συγχρόνως επιτρέπει την διαπνοή των υδρατμών.

#### 7.1.2 Εμποτισμος

Ως εμποτισμός ορίζεται η επεξεργασία του σκυροδέματος για την μείωση του επιφανειακού πορώδους και την ενίσχυση της επιφανείας του. Με τον εμποτισμό οι πόροι

και τα τριχοειδή πληρούνται σε μεγάλο βαθμό. Στην επιφάνεια του σκυροδέματος δημιουργείται υμένας πάχους μεταξύ 10 και 100  $\mu\text{m}$ , ο οποίος παρεμποδίζει την εισχώρηση επιβλαβών ουσιών.

### **7.1.3 Βαφή**

Εφαρμογή επιστρώσεων με προϊόντα βελτίωσης της επιφανείας του σκυροδέματος να την επίτευξη αυξημένης αντίστασης ή την εξασφάλιση λειτουργίας υπό συγκεκριμένες εξωτερικές επιδράσεις. Οι λεπτές επιφανειακές ρωγμές εύρους έως 0,3 mm μπορούν να επισκευαστούν και ακολούθως να σφραγιστούν, χωρίς να παρεμποδίζεται η αυξομείωση του εύρους τους, με την χρήση βαφών οι οποίες εμφανίζουν ελα-στικότητα, έχουν την δυνατότητα γεφύρωσης ρηγματώσεων και είναι αδιάβροχες και ανθεκτικές σε ενανθράκωση.

Η επεξεργασία αυτή διασφαλίζει τις θερμικές και δυναμικές παραμορφώσεις των κατασκευών εντός ενός ευρέως φάσματος θερμοκρασιακών διακυμάνσεων, δονήσεων και μπορεί να εντιμετωπίσει προβλήματα οφειλόμενα στον σχεδιασμό των αρμών ή την εφαρμογή των συστημάτων αρμοκάλυψης.

## **7.2 Διατήρηση ή Αποκατάσταση Παθητικότητας (ΑΠ)**

### **7.2.1 Αύξηση επικάλυψης με επιπλέον κονίαμα ή σκυρόδεμα**

Όταν ο οπλισμός δεν έχει επαρκή επικάλυψη σκυροδέματος, με την προσθήκη επί πλέον τσιμεντοειδούς κονιάματος ή σκυροδέματος περιορίζεται η ενανθράκωση και η διείσδυση χλωριόντων. Χρησιμοποιείται πάντα επισκευαστικό κατηγορία R3 για απλες κατασκευες οπλισμενου σκυροδεματος ή R4 για ειδικες κατασκευες (πχ. γεφυρες)

### **7.2.2 Αντικατάσταση του προσβεβλημένου ή ενανθρακωμένου σκυροδέματος.**

Με την απομάκρυνση του σκυροδέματος που έχει προσβληθεί και την αντικατάστασή του αποκαθίσταται η αλκαλικότητα του περιβάλλοντος που εξασφαλίζει συνθήκες προστασίας του οπλισμού (αποκατάσταση παθητικότητας).

### **7.2.3 Ηλεκτροχημική επανακαλοποίηση του ενανθρακωμένου σκυροδέματος.**

Η επανακαλοποίηση των κατασκευών σκυροδέματος με ηλεκτροχημικές μεθόδους

είναι μια διαδικασία κατα την οποία εφαρμόζεται δημιουργείται διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ του ενσωματωμένου στο σκυρόδεμα οπλισμού (κάθοδος) και εξωτερικού μεταλλικού πλέγματος που τοποθετείται στην επιφάνεια του σκυροδέματος εντός περιβλήματος εμποτισμένου με ηλεκτρολύτη (άνοδος). Η διαφορά δυναμικού επιτυγχάνεται με την σύνδεση του οπλισμού και του εξωτερικού πλέγματος με εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος χαμηλής τάσης μέσω καταλλήλων ηλεκτροδίων.

Με την μέθοδο αυτή δεν αποτρέπεται η μελλοντική διείδυση διοξειδίου του άνθρακα. Για να είναι λοιπόν μακροπροθέσμως αποτελεσματική πρέπει να συνδυάζεται με προστατευτικές βαφές που αποτρέπουν ενανθράκωση και την διείδυση χλωριόντων.

### **7.2.5 Επαναλκαλοποίηση του ενανθρακωμένου σκυροδέματος με διάχυση**

Η μέθοδος συνίσταται στην εφαρμογή μιας ισχυρώς αλκαλικής επίστρωσης στην επιφάνεια του σκυροδέματος (με υψηλό pH) και την αργή διάχυση των αλκαλίων διαμέσου της ενανθρακωμένης μάζας του σκυροδέματος. Η διαδικασία είναι χρονοβόρος, ενώ είναι δυσχερής η παρακολούθηση και ο έλεγχος της κατανομής των αλκαλίων στην μάζα του σκυροδέματος. Μετά την επεξεργασία, συνίσταται πάντα η αποτροπή περαιτέρω ενανθράκωσης με την εφαρμογή κατάλληλης προστατευτικής επίστρωσης.

### **7.2.6 Ηλεκτροχημική αφαίρεση χλωριόντων**

Στην διεργασία αυτή χρησιμοποιείται θυσιαζόμενη άνοδος και τροφοδοτικό με δυνατότητα εφαρμογής τάσης 50 volts στην χαλύβδινη ράβδο ενίσχυσης. Το θετικό φορτίο απωθεί τα αρνητικά φορτισμένα ανιόντα χλωρίου και βοηθά στην αναδημιουργία του παθητικού στρώματος σε χρονικό διάστημα μεταξύ 4-6 εβδομάδων. Η πρακτική αυτή παρόλο ότι είναι καθιερωμένη σε μικρότερο βαθμό από την καθοδική προστασία έχει με επιτυχία εφαρμοσθεί σε πάνω από 50 κατασκευές στο Ηνωμένο βασίλειο, την Ευρώπη και την Βόρειο Αμερική.

## **7.3 Αναστολεις διαβρωσης**

Η χρήση αναστολέων διάβρωσης έχει αυξηθεί τα τελευταία 25 χρόνια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι παρέχουν ένα επίπεδο προστασίας και ανθεκτικότητας που διαφορετικά είναι πολύ δύσκολο και δαπανηρό να επιτευχθεί. Οι αναστολεις διάβρωσης αναστέλλουν τη διαδικασία διάβρωσης χωρίς να επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του σκυροδέματος. Σε γενικές γραμμές, οι αναστολεις διάβρωσης αυξάνουν την ποσότητα χλωριόντων που

απαιτείται για την έναρξη της διάβρωσης και μειώνουν τον ρυθμό διάβρωσης όταν αυτή ξεκινήσει. Οι αναστολές διάβρωσης χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με τον μηχανισμό δράσης τους :

- **Ανοδικοί αναστολές διάβρωσης:** αναστέλλουν τη διάβρωση σταθεροποιώντας την προστατευτική επικάλυψη του οπλισμού, η οποία τείνει να φθείρεται όταν αυξάνονται τα επίπεδα χλωριόντων. Τυπικά παραδείγματα είναι οι αναστολές διάβρωσης που περιέχουν νιτρώδες ασβέστιο και χρησιμοποιούνται σε επισκευαστικά κονιαματα. Ωστόσο, το νιτρώδες ασβέστιο έχει το μειονεκτημα της επιτάχυνσης της πήξης, οπότε πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή του φαινομένου.
- **Καθοδικοί αναστολές διάβρωσης:** Αυτοί προσροφώνται στον οπλισμό και σχηματίζουν ένα φράγμα στην επιφάνειά του, το οποίο εμποδίζει την αναγωγή του οξυγόνου, την κύρια αιτία των καθοδικών αντιδράσεων του χάλυβα στο σκυρόδεμα. Ωστόσο, οι περισσότεροι καθοδικοί αναστολές, όπως οι αμίνες και τα φωσφορικά άλατα, μπορούν να καθυστερήσουν σημαντικά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος.
- **Οργανικοί αναστολές διάβρωσης:** Ονομάζονται επίσης αναστολές διάβρωσης με προσρόφηση και δρουν για την ταυτόχρονη προστασία της ανόδου και της καθόδου. Τυπικά παραδείγματα είναι οι οργανικές αμίνες, όπως η αμινοαιθανόλη.
- **Αναστολές διάβρωσης φάσης ατμών:** Δρουν παρόμοια με τους αναστολές διάβρωσης προσρόφησης, αλλά έχουν δημιουργουν υψηλότερη πίεση ατμών και δρουν ως φράγμα για να αποτρέψουν την είσοδο στο σκυρόδεμα διαβρωτικών ουσιών της ατμόσφαιρας.
- **Οξειδωτικοί αναστολές διάβρωσης:** Οι ουσίες αυτές, όπως τα χρωμικά άλατα, δρουν ως αναστολές διάβρωσης με διάφορους τρόπους. Η κύρια εφαρμογή είναι η παρεμπόδιση της διάβρωσης των μετάλλων που παρουσιάζουν ενεργητικές και παθητικές μεταλλάξεις, όπως ο σίδηρος και τα κράματά του.

Από αυτούς, οι οργανικοί αναστολές διάβρωσης, οι οποίοι διαχέονται και διεισδύουν στο σκληρυμένο σκυρόδεμα, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την επισκευή του οπλισμένου σκυροδέματος. Όταν ο αναστολέας έρχεται σε επαφή με τον οπλισμο,

σχηματίζει ένα μονομοριακό προστατευτικό φιλμ που έχει δύο δράσεις - ανοδική και καθοδική - για να αναστείλει σημαντικά τη διάβρωση.

#### **7.4. Καθοδική προστασία**

Η καθοδική προστασία είναι μια τεχνική που μπορεί να εφαρμοστεί σε σημεία ηλεκτροχημικής διάβρωσης για την πλήρη αποτροπή της διάβρωσης ή τη διατήρησή της σε ένα γνωστό αποδεκτό επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται με την τροφοδοσία ηλεκτρονίων στο μέταλλο για να μειωθεί ο ρυθμός διάβρωσης μέχρι να μηδενιστεί.

Το δυναμικό του μετάλλου μετατοπίζεται σε μια πιο αρνητική τιμή, σχηματίζοντας την κάθοδο του ηλεκτρολυτικού κελιού. Σημειώστε ότι εάν το δυναμικό του μετάλλου μετατοπιστεί πολύ αρνητικά, εμφανίζεται υπερπροστασία με την έννοια της αύξησης του ρυθμού καθοδικής αντίδρασης. Το αποτέλεσμα της υπερπροστασίας είναι είτε η αύξηση του pH, η οποία έχει αρνητική επίδραση στην αντοχή του χρώματος, είτε ο σχηματισμός υδρογόνου, ο οποίος προκαλεί ευθραυστότητα του μετάλλου. (93)

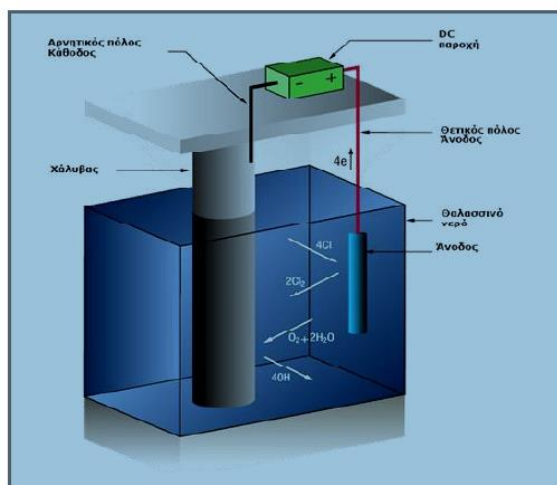
Ο στόχος είναι να αποκατασταθεί η αλκαλικότητα του σκυροδέματος και να αποτραπεί η εναθράκωση του οπλισμού. Στη μέθοδο καθοδικής προστασίας, το προς προστασία στοιχείο φορτίζεται αρνητικά. Αυτό σημαίνει ότι το στοιχείο, το οποίο προηγουμένως ήταν άνοδος, γίνεται τώρα κάθοδος. Με άλλα λόγια, η εγκατάσταση εξακολουθεί να είναι αρνητικά φορτισμένη, όπως ήταν πριν από την εφαρμογή της προστασίας, αλλά το αποτέλεσμα αντιστρέφεται και υφίσταται αποκατάσταση αντί για οξείδωση, όπως θα έπρεπε. Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μια τάση πηγής συνεχούς ρεύματος είτε μια θυσιαζόμενη άνοδος. Η μέθοδος αυτή είναι επομένως μια διαφοροποιημένη μέθοδος:

##### **7.4.1 Σύστημα με εφαρμοζόμενο ρεύμα**

Σε αυτή τη μέθοδο, ο θετικός πόλος της πηγής συνεχούς ρεύματος συνδέεται με την επιφάνεια του σκυροδέματος και ο αρνητικός πόλος με τον οπλισμό. Έτσι, η επιφάνεια είναι η άνοδος και ο οπλισμός η κάθοδος. Τα ανιόντα υδροξυλίου (OH<sup>-</sup>) που σχηματίζονται στο θετικό ηλεκτρόδιο (χάλυβας) ως αποτέλεσμα της αντίδρασης του νερού των πόρων και του οξυγόνου και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια από το θετικό ηλεκτρόδιο δεν ταξιδεύουν κατά μήκος του οπλισμού, αλλά προς την επιφάνεια. Τα χλωριόντα που υπάρχουν στη μάζα του σκυροδέματος και στο νερό των πόρων κινούνται επίσης προς την επιφάνεια υπό σταθερή



τάση. Επομένως, η εξουδετέρωση των ανιόντων, δηλαδή η οξειδωση, λαμβάνει χώρα στην εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος και όχι στον χάλυβα, γεγονός που οδηγεί σε διάβρωση.



*Εικόνα 38: Σχηματική αναπαράσταση συστήματος καθοδικής προστασίας με επιβολή εξωτερικού ρεύματος σε θαλασσινό νερό*

Στην περίπτωση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι χαλύβδινες ράβδοι συνδέονται με το αρνητικό ηλεκτρόδιο του εξωτερικού τροφοδοτικού, με κατάλληλη άνοδο από αγώγιμο υλικό και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς για τον έλεγχο του συστήματος. Η εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος μετατοπίζει το δυναμικό του προς προστασία μετάλλου σε αρνητική τιμή, καταστέλλοντας έτσι τον μηχανισμό διάβρωσης. Το εξωτερικά εφαρμοζόμενο δυναμικό εξαλείφει την επίδραση τόσο των τοπικών γαλβανικών στοιχείων όσο και των μακροστοιχείων. Ως εκ τούτου, η οξειδωτική δράση λαμβάνει χώρα στην άνοδο, η οποία επηρεάζεται από τους παράγοντες διάβρωσης, και όχι στην επιφάνεια της προς προστασία κατασκευής. Επομένως, η εφαρμογή της καθοδικής προστασίας απαιτεί κατάλληλη άνοδο, η οποία καθορίζει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Η διάρκεια της καθοδικής προστασίας εξαρτάται από τη διάρκεια ζωής της ανόδου. Εάν η άνοδος είναι εύκολα αντικαταστάσιμη, η διάρκεια ζωής της καθοδικής προστασίας είναι απεριόριστη και, επομένως, η διάρκεια ζωής της μεταλλικής κατασκευής είναι θεωρητικά απεριόριστη. Στην περίπτωση των υπογειων κατασκευών από σκυρόδεμα σε κορεσμένα με νερό εδάφη, το ρεύμα μειώνεται πολύ γρήγορα και μπορεί να φθάσει σε 1000 φορές την αρχική τιμή. Σε πολύ διαπερατά εδάφη, απαιτούνται υψηλές τιμες καθοδικου ρευματος λόγω της υψηλής διαθεσιμότητας οξυγόνου στο έδαφος. Σε θαλάσσιες κατασκευές εφαρμόζονται πυκνότητες ρεύματος 18-42 mA/m<sup>2</sup>. Ωστόσο, οι τιμές του ρεύματος μειώνονται γρήγορα, ενδεχομένως λόγω διαφόρων μικροοργανισμών που καταναλώνουν οξυγόνο.

Οι μέθοδοι καθοδικής προστασίας με εφαρμοσμένο ρεύμα έχουν πολλά πλεονεκτήματα, αλλά δεν είναι απαλλαγμένες από μειονεκτήματα και περιορισμούς. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου προστασίας είναι ότι η διάβρωση του χάλυβα μπορεί να ελεγχθεί πλήρως με τη μεταβολή του μεγέθους του ρεύματος. Μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε νέες όσο και σε παλιές κατασκευές και με τη σωστή επιλογή των ανοδίων η περίοδος προστασίας είναι εξαιρετικά μεγάλη (πάνω από 100 χρόνια).

Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το σύστημα μπορεί να επηρεαστεί από διακοπές ρεύματος και απαιτεί τακτική παρακολούθηση και ρύθμιση από εξειδικευμένο προσωπικό. Επιπλέον, η καθοδική προστασία μέσω εφαρμοζόμενου ρεύματος δεν είναι εύκολα εφαρμόσιμη στην περίπτωση του προεντεταμένου χάλυβα λόγω του κινδύνου λείανσης.

Τέλος, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην ηλεκτρική ακεραιότητα όλων των στοιχείων οπλισμού και στη σωστή τοποθέτηση της ανόδου ώστε να διασφαλίζεται ότι δεν υπάρχει αγώγιμη επαφή μεταξύ του οπλισμού και της ανόδου. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς πρέπει επίσης να τοποθετείται προσεκτικά και σωστά για να ελέγχεται η σωστή λειτουργία του συστήματος.

Κατά τη χρήση αυτής της μεθόδου πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι, όταν εφαρμόζεται υπό ακατάλληλες συνθήκες, η αύξηση του καθοδικού χαρακτήρα του εξοπλισμού πέραν ενός ορισμένου ορίου (υπερπροστασία) θα οδηγήσει σε ακραία αύξηση του ρυθμού διάβρωσης. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με την επικάλυψη μεγάλου μέρους της επιφάνειας του σκυροδέματος με ένα συνεχές στρώμα αγώγιμου χρώματος (συνήθως με βάση τον άνθρακα), στο οποίο συνδέονται με επαρκή πυκνότητα τα ηλεκτρικά καλώδια από τον θετικό πόλο της παροχής ρεύματος. Αρκεί η σύνδεση του εξαρτήματος ή η επαφή του εξαρτήματος με το ηλεκτρικό καλώδιο. Αντίθετα, είναι απολύτως απαραίτητο να μην παρεμβάλλεται τίποτα μεταξύ του επιφανειακού αγώγιμου στρώματος και του εξαρτήματος που μπορεί να προκαλέσει βραχυκύκλωμα στον αγωγό ή στο ηλεκτρικό κύκλωμα.

### **Πλεονεκτήματα**

- Η μεγάλη διάρκεια ζωής της ανόδου σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να αντικαθίσταται τόσο συχνά
- Η διάβρωση του χάλυβα μπορεί να ελεγχθεί πλήρως με τη μεταβολή του μεγέθους του ρεύματος

- Μία άνοδος μπορεί να παρέχει μεγάλο ρεύμα, προστατεύοντας έτσι μεγάλο μέρος της κατασκευής- 4. υψηλή τάση (έως 100 V)
- Μπορεί να τοποθετηθεί σε απόσταση από την κατασκευή, επειδή παρέχει υψηλή τάση (έως 100 V).

### Μειονεκτήματα

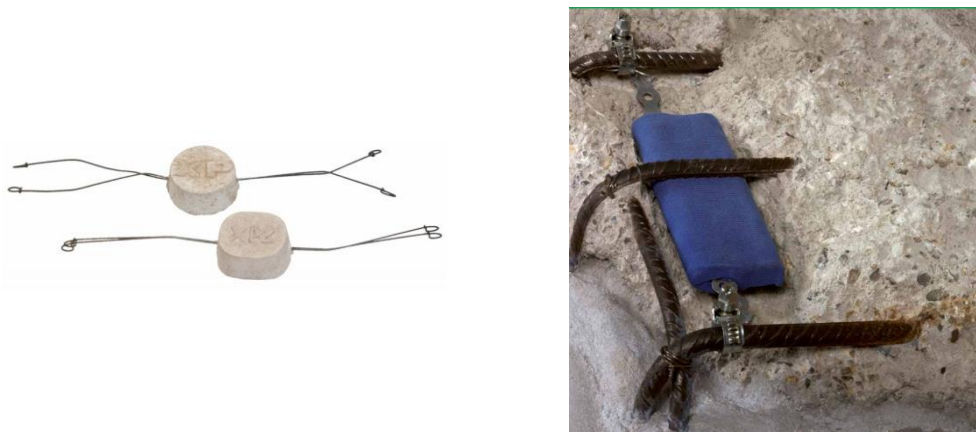
- Απαιτεί συχνή ρύθμιση και προσαρμογή (πιθανές διακοπές ρεύματος, κυμαινόμενο διαβρωτικό περιβάλλον)
- Πιο ακριβής από τη μέθοδο β. (χρησιμοποιούνται ακριβότεροι δυναμοστάτες όπου υπάρχουν περισσότερες διακυμάνσεις στα χαρακτηριστικά του διαβρωτικού περιβάλλοντος).
- Αλληλεπιδρά με γειτονικό εξοπλισμό, προκαλώντας διάβρωση
- Πρέπει να διενεργούνται προκαταρκτικές εργαστηριακές δοκιμές για την επιλογή των σωστών ορίων καθοδικής τάσης.
- Ο προεντεταμένος χάλυβας δεν μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα λόγω του κινδύνου αποστείρωσης των ψαριών λόγω της απελευθέρωσης υδρογόνου.
- Για την υλοποίηση αυτής της μεθόδου είναι απαραίτητη η εξεύρεση σταθερών υλικών ανόδου ικανών να κατανέμουν το καθοδικό προστατευτικό ρεύμα σε μεγάλη έκταση.

#### **7.4.2 Καθοδική προστασία με θυσιαζόμενες ανόδους**

Βασίζεται στη δημιουργία ενός γαλβανικού στοιχείου μεταξύ ενός μετάλλου που δρα ως κάθοδος και μιας θυσιαζόμενης ανόδου από ένα υλικό πιο ανοδικό από το μέταλλο (Σχήμα 5.10).

Το πλεονέκτημα της μεθόδου καθοδικής προστασίας με τη χρήση θυσιαμενων ανόδων είναι ότι είναι εύκολη στην εγκατάσταση και απαιτεί ελάχιστη συντήρηση. Αυτό οφείλεται στη μικρή διάρκεια ζωής των ανοδίων, στην ανάγκη για μεγάλο αριθμό ανοδίων για την προστασία ολόκληρου του οπλισμού και στη δυσκολία συχνής αντικατάστασης των ανοδίων. Τα ανόδια αντικαθίστανται σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, συνήθως 20-25 έτη.

Τέλος, ένα άλλο μειονέκτημα είναι η περιορισμένη επιλογή ανοδίων λόγω του χαμηλού δυναμικού διάβρωσης των χαλύβων που χρησιμοποιούνται συνήθως στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ως θυσιαζόμενες άνοδοι χρησιμοποιούνται συνήθως άνοδοι ψευδαργύρου με τη μορφή πλέγματος ή μεμονωμένες άνοδοι.



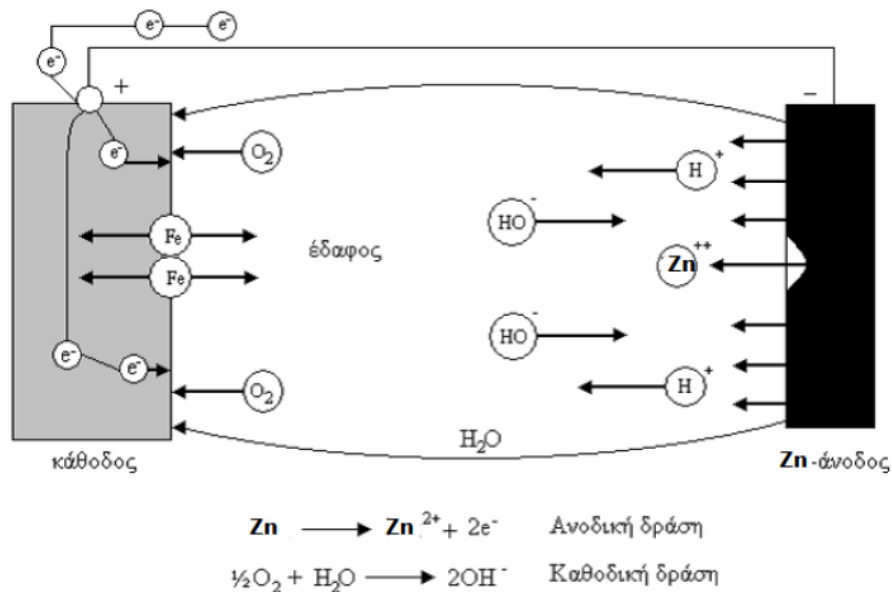
**Εικόνα 39:** Άνοδια εγκιβωτισμού



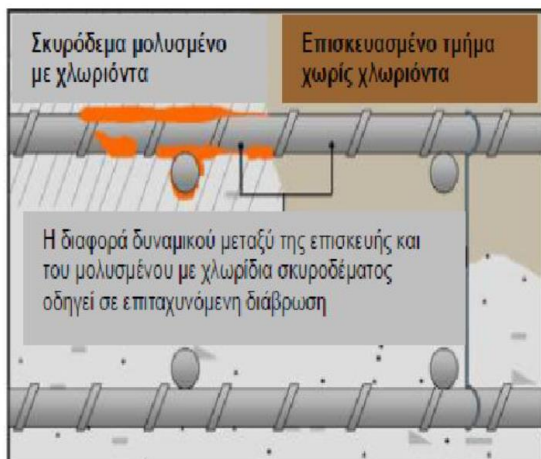
**Εικόνα 39 :** Αυτοκόλλητα φύλλα ψευδαργύρου. Εφαρμόζονται απευθείας πάνω στην επιφάνεια των κατασκευών για καθοδική γαλβανική προστασία ενάντια στη διάβρωση των ράβδων οπλισμού μέσα στο σκυρόδεμα και πρέπει να συνδεθεί με τις ράβδους οπλισμού με ένα απλό μεταλλικό καλώδιο για να καταστεί το σύστημα ενεργό.

Σε αυτόν τον τύπο καθοδικής προστασίας ένας αριθμός πλακών από μέταλλο πιο ανοδικό από τον χάλυβα τοποθετείται στον οπλισμό για να λειτουργήσει ως θυσιαζόμενες άνοδοι. Οι πλάκες αυτές συνδέονται με την κατασκευή ξεχωριστά μέσω ενός εξωτερικού μονωτικού αγωγού και μιας ενδιάμεσης αντίστασης. Τα εν λόγω ανοδικά μέταλλα αποκτούν αυθόρμητα αρνητικό δυναμικό σε σχέση με το διαβρωτικό περιβάλλον. Οι προς προστασία χαλύβδινες κατασκευές φορτίζονται επίσης αρνητικά (σε σχέση με το διαβρωτικό περιβάλλον). Ωστόσο, τα μέταλλα αυτά έχουν ισχυρότερη τάση διάβρωσης

(είναι πιο ανοδικά) και επομένως είναι πιο αρνητικά φορτισμένα σε σχέση με το περιβάλλον από τον χάλυβα. Συνεπώς, ο χάλυβας είναι θετικά φορτισμένος σε σχέση με αυτά τα μέταλλα. Έτσι δημιουργείται ένα γαλβανικό στοιχείο, στο οποίο το μέταλλο είναι ο αρνητικός πόλος και ο χάλυβας ο θετικός πόλος. Με άλλα λόγια, ένα δυναμικό αντίθετο από το δυναμικό διάβρωσης επικάθεται στον χάλυβα από αυτά τα ανοδικά μέταλλα (τα ηλεκτρόνια ρέουν από τη μεταλλική πλάκα στον χάλυβα). Ταυτόχρονα, δημιουργούνται γαλβανικά στοιχεία, με αποτέλεσμα τα ανοδικά μέταλλα να οξειδώνονται (απώλεια ηλεκτρονίων, σχηματισμός ιόντων) και να καταναλώνονται περισσότερο από ό,τι αν υπήρχαν μόνο τους. Με άλλα λόγια, θυσιάζονται για την προστασία της δομής.



Εικονα 40 : Καθοδική Προστασία με άνοδο Zn



**Εικόνα 41:** Τμήμα οπλισμού εντός σκυροδέματος

**Εικόνα 42:** Τοποθέτηση θυσιαζόμενης ανόδου Ψευδαργύρου εντός σκυροδέματος.

## Πλεονεκτήματα

- Εύκολη εγκατάσταση
- Χαμηλή συντήρηση
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προεντεταμένο σκυρόδεμα
- Δεν απαιτείται εξωτερική παροχή ρεύματος
- Αποτελεσματική για την τοπική προστασία των κατασκευών
- Σχετικά χαμηλή αλληλεπίδραση με γειτονικές κατασκευές

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4** Δυναμικό ημιστοιχείων (Volts) βασικών μετάλλων ως προς Πρότυπο Ηλεκτρόδιο Υδρογόνου στους 25 °C.

Όνομασία μετάλλου	Ισοδύναμο Μεταλλικό Ιόν	Δυναμικό ημιστοιχείου (Volts)	Όνομασία μετάλλου	Ισοδύναμο Μεταλλικό Ιόν	Δυναμικό ημιστοιχείου (Volts)
Χρυσός	Au <sup>3+</sup>	+1.498	Μόλυβδος	Pb <sup>2+</sup>	-0.126
Χλώριο	Cl <sup>-</sup>	+1.358	Κασσίτερος	Sn <sup>2+</sup>	-0.136
Πλατίνα	Pt <sup>2+</sup>	+1.200	Νικέλιο	Ni <sup>2+</sup>	-0.250
Παλλάδιο	Pd <sup>2+</sup>	+0.987	Κοβάλτιο	Co <sup>2+</sup>	-0.277
Άργυρος	Ag <sup>+</sup>	+0.799	Κάδμιο	Cd <sup>2+</sup>	-0.403
Υδράργυρος	Hg <sup>2+</sup>	+0.788	Σίδηρος	Fe <sup>2+</sup>	-0.440
Άνθρακας	-	+0.740	Χρώμιο	Cr <sup>3+</sup>	-0.744
Χαλκός	Cu <sup>2+</sup>	+0.337	Ψευδάργυρος	Zn <sup>2+</sup>	-0.763
Υδρογόνο	H <sup>+</sup>	0.000	Αλουμίνιο	Al <sup>3+</sup>	-1.662
			Μαγνήσιο	Mg <sup>2+</sup>	-2.363
			Νάτριο	Na <sup>+</sup>	-2.714
			Κάλιο	K <sup>+</sup>	-2.925

## Μειονεκτήματα

- Μικρή διάρκεια ζωής των ανόδων (οι άνοδοι πρέπει να αντικαθίστανται συχνά μετά από παρατεταμένη χρήση, επειδή το μοτίβο διασπάται και στην επιφάνεια σχηματίζεται ένα μη αγωγίμο στρώμα, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να διεξαγάγει ρεύμα).
- Ανάγκη για μεγάλο αριθμό ανοδίων για την προστασία ολοκληρωτου του οπλισμου
- Ανεπαρκής έλεγχος της εντασης του ρεύματος (ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος)

---

## 8. ΥΛΙΚΑ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

---

### 8.1 Σύνθετα υλικά - Ινοπλισμένα πολυμερή

Ένα σύνθετο υλικό είναι ένας συνδυασμός δύο ή περισσότερων υλικών. Τα σύνθετα υλικά, γνωστά και ως πολυμερή ενισχυμένα με ίνες, αποτελούνται από μια όγκιμη, σκληρυμένη μήτρα με ίνες υψηλής αντοχής και υψηλής διαμόρφωσης ως δομικά στοιχεία. Χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι οι ίνες και η μήτρα διατηρούν τις αντίστοιχες φυσικές και χημικές ιδιότητές τους, συνδυάζοντας ιδιότητες που δεν μπορούν να επιτευχθούν από καμία από αυτές ξεχωριστά. Συνδυάζοντας στοιχισμένες ίνες με ένα μαλακό υλικό μήτρας, επιτυγχάνονται σύνθετα ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) με σημαντικά βελτιωμένες ιδιότητες κατά τη διεύθυνση των ινών (Σπυράκος 2004, Σταθόπουλος κ.ά., Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

Τα σύνθετα υλικά μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το συνδυασμό των υλικών (Σπυράκος 2004):

- Σύνθετα με ίνες, που αποτελούνται από ίνες εμποτισμένες με ρητίνη ή όχι.
- Σύνθετα στρωματοποιημένα υλικά αποτελούμενα από επιπεδα διαφορετικών υλικών.
- Σύνθετα υλικά που αποτελούνται από σωματίδια διαφορετικών υλικών σε ένα σωμα.

#### 8.1.1 Ιδιότητες σύνθετων υλικών

Τα σύνθετα υλικά έχουν πολλά πλεονεκτήματα (Σπυράκος 2004, Χιώτης 2012), μεταξύ των οποίων:

- Χαμηλό ειδικό βάρος.
- Υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος σε σύγκριση με άλλα υλικά.
- Υψηλή αναλογία μέτρου ελαστικότητας προς βάρος.
- Υψηλός λόγος αντοχής σε εφελκυσμό
- Υψηλές ιδιότητες ηλεκτρικής μόνωσης.
- Διατίθενται πολλά διαφορετικά, μεγαλύτερα μήκη υλικού.

- Απλή και γρήγορη εφαρμογή, εύκολη εγκατάσταση ακόμη και σε περιορισμένους χώρους και γρήγορη επαναχρησιμοποίηση κτιρίων.
- Υψηλή αντοχή στη διάβρωση.
- Μικρός χρόνος εργασίας
- Συμβατό με το υπόστρωμα
- Αναστρεψιμότητα των επεμβάσεων

Από την άλλη πλευρά, τα κύρια μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών είναι (Tandele 2018) :

- Υψηλό αρχικό κόστος (2-4% ετησίως για χάλυβα/σκυρόδεμα, τουλάχιστον 10% ετησίως για FRP)
- Χαμηλό όριο ελαστικότητας
- Περιβαλλοντική υποβάθμιση
- Προβληματική συμπεριφορά υπό δυναμικές φορτίσεις λόγω χαμηλού βάρους
- Απαιτεί υψηλά εξειδικευμένο προσωπικό
- Έλλειψη προτύπων
- Ανθεκτικότητα στο χρόνο (δεν υπάρχουν ακόμη δεδομένα)
- Δυσκολία ελέγχου της κατάστασης των κατασκευών από FRP

### 8.1.2 Κατηγορίες σύνθετων υλικών

#### A. Ίνες

Οι ίνες έχουν διάμετρο 5-25  $\mu\text{m}$  και χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και γραμμική ελαστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση. Υπάρχουν τρεις τύποι ινών που χρησιμοποιούνται στα σύνθετα υλικά: ίνες γυαλιού, ίνες άνθρακα και ίνες πολυαραμιδίου (Σταυρόπουλος 2007, Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

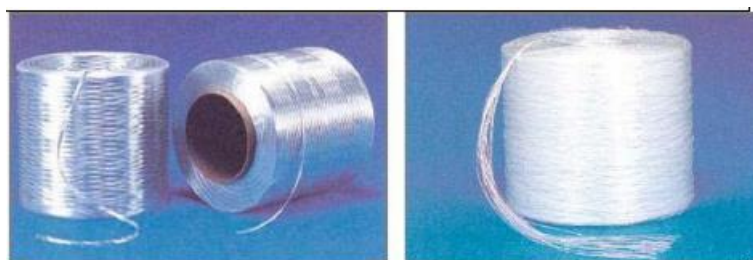
#### A.1. Γυάλινες ίνες

Οι ίνες γυαλιού, που ονομάζονται επίσης ίνες γυαλιού, παράγονται από λιωμένο γυαλί και το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν έχουν ούτε τέλεια κρυσταλλική δομή ούτε ρευστότητα. Οι γυάλινες ίνες έχουν πυκνότητα 2300-2500  $\text{kg/m}^3$  , μέτρο ελαστικότητας



70-90 GPa και οριακή παραμόρφωση αστοχίας σε εφελκυσμό 3-5,5% (Σπυράκος 2004, Χιώτης 2012).

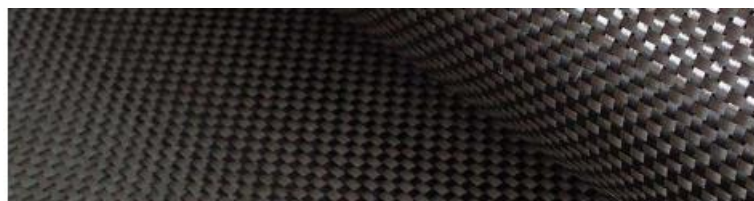
Οι ίνες υαλου χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: τύπος E, τύπος Z και τύπος S. Αρχικά για τις τυπου E, το κυριότερο μειονέκτημα είναι η χαμηλή αντοχή του σε αλκαλικά περιβάλλοντα, όπως το σκυρόδεμα. Ο τύπος Z είναι πιο ανθεκτικός στην αλκαλικότητα, ενώ ο τύπος S έχει υψηλότερη αντοχή και μέτρο ελαστικότητας. Το γυαλί S έχει επίσης υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό και μέτρο ελαστικότητας από το γυαλί E, αλλά το υψηλότερο κόστος του περιορίζει τη χρήση του (Χιώτης 2012, Σπυράκος 2004, Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).



**Εικονα 43** : Ίνες υαλου

## **A.2 Ίνες άνθρακα**

Οι ίνες άνθρακα παρασκευάζονται με θερμική επεξεργασία ή απόσταξη καρβουνου και έχουν πυκνότητα 1800-1900 Kg/m<sup>3</sup>. Οι μηχανικές ιδιότητες των ινών άνθρακα μπορούν να φτάσουν μέχρι 100 GPa αντοχή σε εφελκυσμό και 1000 GPa μέτρο ελαστικότητας. Οι ίνες άνθρακα έχουν υψηλό μέτρο ελαστικότητας (200-700 GPa) και όριο θραύσης σε εφελκυσμό 0,2-2,5%. Επιπλέον, οι ίνες άνθρακα δεν απορροφούν νερό και είναι χημικά αδρανείς στους περισσότερους διαλύτες, επιπλέον έχουν εξαιρετική αντοχή στην κόπωση, τον ερπυσμό και τη διάβρωση και υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (Χιώτης 2012, Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).



**Εικονα 44** : Ίνες ανθρακα

### A.3 Ίνες πολυαραμιδίου

Οι πολυαραμιδικές ίνες διακρίνονται σε αυτές που προέρχονται από αρωματικά πολυαμίδια (Kevlar, Twaron) και αρωματικά πολυαιθεραμίδια (Technora). Οι ίνες πολυαραμιδίου έχουν πυκνότητα 1450 kg/m<sup>3</sup>, μέτρο ελαστικότητας 70-13 GPa και οριακή παραμόρφωση αστοχίας σε εφελκυσμό 2,5-5% (Χιώτης 2012, Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

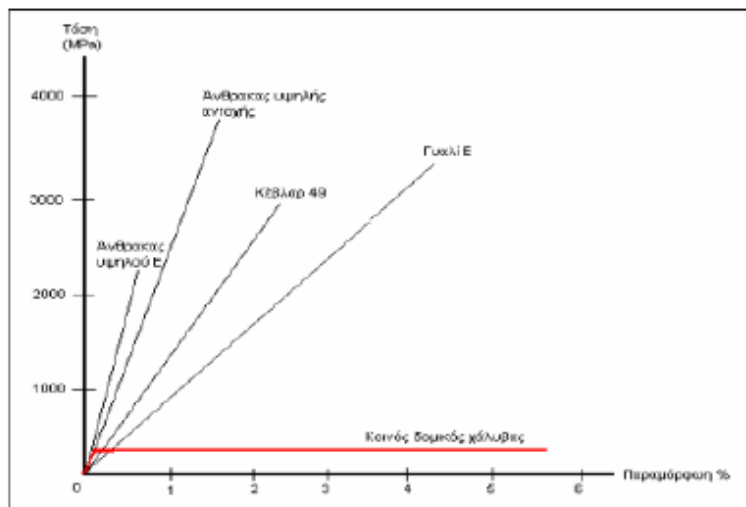
Κύριο χαρακτηριστικό του είναι η υψηλή αντοχή του σε κρουστική φόρτιση. Παρουσιάζει επίσης υψηλή αντοχή σε κόπωση και τριβή και είναι ανθεκτικό σε όλους τους διαλύτες εκτός από τα ισχυρά οξέα και τις βάσεις. Είναι επίσης υδρόφιλα και επομένως πολύ ευαίσθητα σε υγρά και θερμά περιβάλλοντα και υφίστανται ερπυστική παραμόρφωση υπό συνεχή καταπόνηση. Οι ίνες αυτές χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά από τον άνθρακα και το γυαλί σε επισκευές και ενισχύσεις (Χιώτης 2012, Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).



Εικόνα 44 : Ίνες αραμιδίου

	Μέτρο ελαστικότητας(KN/mm <sup>2</sup> )	Εφελκυστική αντοχή(N/mm <sup>2</sup> )	Οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας (%)
<b>Άνθρακας</b>			
Υψηλής αντοχής	215-235	3500-4800	1.4-2.0
Υπερ-υψηλής αντοχής	215-235	3500-6000	1.5-2.3
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας	350-500	2500-3100	0.5-0.9
Υπερ-υψηλού μέτρου ελαστικότητας	500-700	2100-2400	0.2-0.4
<b>Γυαλί</b>			
E	70-75	1900-3000	3.0-4.5
Z	70-75	1900-3000	3.0-4.5
S	85-90	3500-4800	4.5-5.5
<b>Αραμίδιο</b>			
Χαμηλού μέτρου ελαστικότητας(Κέβλαρ 29)	70-80	3500-4100	4.3-5.0
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας(Κέβλαρ 49, Twaron)	115-130	3500-4000	2.5-3.5

Πηγή: cited in Ζωσιμά Ελένη – Στρατήγη Βασιλική (2007)



**Εικόνα 45 :** Τυπικές καμπύλες εφελκυστικής τάσης-παραμόρφωσης για διάφορους τύπους ινών και για τον κοινό χάλυβα (Χιώτης 2012)

## B. Μήτρα

Η μήτρα στα σύνθετα υλικά είναι η συγκολλητική ουσία μεταξύ των ινών. Πιο συγκεκριμένα, η μήτρα είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές το οποίο, εκτός από το ότι συνδέει τις ίνες μεταξύ τους, τις προστατεύει από την περιβαλλοντική υποβάθμιση και μεταφέρει τα φορτία μεταξύ των ινών, αλλά και καθορίζει διάφορες μηχανικές ιδιότητες του σύνθετου υλικού, όπως η αντοχή κάθετα στη διεύθυνση των ινών, η διατμητική αντοχή και η αντοχή σε θλίψη (Χιώτης 2012, Tandele 2018, Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

Ο πιο συνηθισμένος τύπος μήτρας είναι η ρητίνη. Η συναφεια μεταξύ των δύο αυτών υλικών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη του χημικού και μηχανικού δεσμού μεταξύ της ίνας και της ρητίνης. Οι ρητίνες είναι ευαίσθητες στη θερμότητα και τη φωτιά και είναι γενικά πιο ευαίσθητες στους χημικούς διαλύτες, τα οξέα, τις βάσεις και το νερό σε σχέση με τις ίνες. Όλοι οι τύποι ρητίνης παρουσιάζουν επίσης μεγαλύτερη παραμόρφωση λόγω ερπυσμού από τα συμβατικά δομικά υλικά. Ένα εξαιρετικό πλεονέκτημα των ρητινών είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής τους και η προένταση των σύνθετων υλικών συμβάλλει σημαντικά σε αυτό. Οι φυσικές ιδιότητες των πολυμερικών μητρών μεταβάλλονται με το χρόνο και τις αλλαγές στη φόρτιση (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006, Χιώτης 2012, Σταθόπουλος κ.ά.).

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες ρητίνες στην παραγωγή σύνθετων υλικών για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών είναι οι εποξειδικές, οι πολυεστερικές και οι βινυλεστέρας ρητίνες.

### **B.1 Εποξειδικές ρητίνες**

Οι εποξειδικές ρητίνες έχουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, όπως υψηλή αντοχή, υψηλή πρόσφυση, αντοχή στην κόπωση, χημική αντοχή και χαμηλή συρρίκνωση κατά την ξήρανση. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη βάση (ρητίνη) και τις ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της. Αν και πιο δαπανηρή από τις άλλες δύο ρητίνες, θεωρείται η καταλληλότερη μήτρα για χρήση σε ινοπλισμένα πολυμερή (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006, Σταθόπουλος κ.ά., ? Καλαντζής & Χριστόπουλος 2006, Χιώτης 2012).

### **B.2 Πολυεστερικές ρητίνες**

Οι πολυεστερικές ρητίνες αντιπροσωπεύουν την πλειονότητα των πολυμερών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία σύνθετων υλικών. Οι πολυεστερικές ρητίνες έχουν ένα ευρύ φάσμα συστατικών και οι ιδιότητές τους μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Οι πολυεστέρες είναι ευαίσθητοι στο νερό, τις υψηλές θερμοκρασίες και τις βάσεις και μέτρια ανθεκτικοί στους διαλύτες και τα οξέα. Είναι λιγότερο ανθεκτικοί στην κόπωση από τις άλλες δύο ρητίνες, αλλά το σημαντικότερο μειονέκτημά τους όταν χρησιμοποιούνται σε ανοιγμένες κατασκευές είναι η δυσάρεστη οσμή τους λόγω της χημικής τους σύνθεσης (Καλαντζής & Χριστόπουλος 2006, Χιώτης 2012).

#### **8.1.2.3 Βινυλεστέρες ρητίνες**

Πρόκειται για υβριδικές ρητίνες που παράγονται από αλυσιδωτές αντιδράσεις εποξειδικών πολυμερών με ακρυλικές ή μεθακρυλικές ενώσεις. Λόγω της παρουσίας εποξειδικών πολυμερών, οι ρητίνες βινυλεστέρας είναι πιο εύκαμπτες, πιο σκληρές, πιο ανθεκτικές στην κόπωση και λιγότερο χημικά δραστικές από τις πολυεστερικές ρητίνες (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006- Σταθόπουλος κ.ά.- Καλαντζής & Χριστόπουλος 2006). Οι υδροξυλικές ενώσεις στις εποξειδικές ρητίνες σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με σχετικές ενώσεις στην επιφάνεια της υαλοΐνας, με αποτέλεσμα τη σημαντικά βελτιωμένη

σύνδεση ρητίνης-ΐνας. Σε σύγκριση με τις εποξειδικές ρητίνες, η αντοχή και η αντοχή σε κόπωση είναι χαμηλότερες. Όπως και οι πολυεστερικές ρητίνες, οι βινυλεστερικές ρητίνες έχουν δυσάρεστη οσμή λόγω της χημικής τους σύνθεσης. Το κόστος τους κυμαίνεται μεταξύ του κόστους των άλλων δύο τύπων ρητίνης (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

<i>Είδος ρητίνης</i>	<i>Εφελκυστική αντοχή (MPa)</i>	<i>Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)</i>	<i>Επιμήκυνση θραύσης (%)</i>	<i>Πυκνότητα (gr/cm<sup>3</sup>)</i>
Εποξειδική	55-130	1.0-4.5	4.0-14.0	1.20-1.30
Πολυεστερική	35 - 104	2.1-4.1	<5.0	1.10-1.46
Βινυλεστερική	73-81	3.0-3.6	3.5-5.5	1.12-1.32

*Πηγή: Καλαντζής & Χριστόπουλος (2006)*

*Εικονα 46 : Μηχανικές ιδιοτητες ρητινων*

## 8.2 Σκυρόδεμα

### 8.2.1 Συμβατικό Σκυρόδεμα χυτό επί τόπου

Το συμβατικό σκυρόδεμα χρησιμοποιείται συχνά σε επισκευές ως υλικό χύτευσης επί τόπου. Σε πολλές περιπτώσεις επιτυγχάνονται μη ικανοποιητικά αποτελέσματα λόγω της συρρίκνωσης του συμβατικού τσιμέντου και της μειωμένης συνοχής μεταξύ του νέου και του παλαιού σκυροδέματος. Προκειμένου να βελτιωθεί η συνοχή, συνιστάται η χρήση επισκευαστικού σκυροδέματος με υψηλότερη αντοχή και χαμηλότερο ειδικό βάρος από την αντοχή του προς επισκευή στοιχείου (λόγος νερού/τσιμέντου).

### 8.2.2 Χύτευση σκυροδέματος σταθερού όγκου

Το σκυρόδεμα σταθερού όγκου παράγεται με τη χρήση διογκούμενου τσιμέντου ή, συνήθερα, με την προσθήκη ειδικών πρόσμικτων που αυξάνουν σταδιακά τον όγκο του σκυροδέματος και αποτρέπουν τη συρρίκνωση κατά την ξήρανση. Ο λόγος N/T του νερού προς το τσιμέντο είναι συνήθως μεταξύ 0,50 και 0,60 και για τον ίδιο λόγο N/T μπορούν να επιτευχθούν σχετικά υψηλότερες αντοχές από ό,τι στο συμβατικό σκυρόδεμα χύτευσης επί τόπου.

Τα κύρια πλεονεκτήματα του σκυροδέματος σταθερής χωρητικότητας χυτού επί τόπου είναι :

- Η ρηγμάτωση μπορεί να ελεγχθεί τόσο στην επιφάνεια όσο και σε επαφή με τα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος.
- Προσκολλάται στο παλιό σκυρόδεμα καλύτερα από το συμβατικό σκυρόδεμα.
- Αυξάνει την αντοχή στην επιφανειακή φθορά και στις χημικές επιδράσεις

### 8.2.3 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι ένα σκυρόδεμα με λεπτόκοκκα αδρανή και η σκυροδετηση επιτυγχάνεται με εκτοξευση. Είναι ένα ευέλικτο υλικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι ένα υλικό με υψηλή αντοχή σε θλίψη, αντοχή στη διάβρωση, χημική αντοχή και καλή πρόσφυση στο υπάρχον σκυρόδεμα και στο χάλυβα. Επιπλέον, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι αυτοφερόμενο και επομένως δεν απαιτεί ξυλότυπους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βάση οριζόντιων στοιχείων σε στρώσεις πάχους έως 50 mm. Επιπλέον, η εγκατάσταση είναι κινητή και, σε συνδυασμό με το είδος του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, η σκυροδετηση μπορεί να γίνει σε δυσπρόσιτα σημεία.



*Εικόνα 47 : Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα*

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εφαρμόζεται κυρίως για την επισκευή κτιρίων, την πλήρωση στοιχείων των κατασκευών, όπως υποστυλώματα, δοκοί και πλάκες, και την ενίσχυση φέρουσας τοιχοποιίας και λιθοδομής. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα διαφέρει θεμελιωδώς από το συμβατικό σκυρόδεμα όσον αφορά τη σύνθεσή του. Το αρχικό μίγμα προς

εκτοξευση έχει διαφορετική αναλογία υλικών από το τελικό κατασκευασμένο υλικό. Αυτό οφείλεται στην αναπήδηση του υλικού. Ως εκ τούτου, οι εκτιμήσεις για τη σύνθεση πρέπει να λαμβάνουν υπόψη και την αναλογία του υλικού που αναπηδά, προκειμένου να επιτευχθεί το σωστό αποτέλεσμα.

Για την ποιοτική κατασκευή, η σωστή εφαρμογή της απαιτεί εξειδικευμένους τεχνίτες. Για την κατασκευή και την εκτόξευσή του απαιτείται μικρός και ευέλικτος εξειδικευμένος εξοπλισμός. Επί του παρόντος, στην πράξη χρησιμοποιούνται δύο διαδικασίες ανάμιξης:

### **A. Ξηρή ανάμιξη**

Στη διαδικασία ξηρής ανάμιξης, ο εξοπλισμός αποτελείται από αεροσυμπιεστή, δεξαμενή νερού, την μηχανή ωθησης (περωτή), ακροφύσια και σωλήνες παροχής αέρα, νερού και υλικού (ΟΑΣΠ 2001). Το τσιμέντο και τα αδρανή αναμιγνύονται χωρίς την προσθήκη νερού και τροφοδοτούνται από την περωτή μέσω σωλήνων στα ακροφύσια με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα. Τα ακροφύσια διαθέτουν ξεχωριστή θύρα παροχής νερού που τροφοδοτεί με νερό υπό πίεση το αναμεμιγμένο υλικό. Η παροχή νερού ελέγχεται από τον χειριστή μέσω μιας βαλβίδας. Στο ακροφύσιο γίνεται η ανάμιξη του νερού και του ξηρού υλικού και το μίγμα ψεκάζεται προς την επιφάνεια εφαρμογής.

### **B. Υγρή αναμιξη**

Στη διαδικασία υγρής ανάμιξης, το τσιμέντο, τα αδρανή και το νερό αναμιγνύονται όπως στο συμβατικό σκυρόδεμα. Το μείγμα τροφοδοτείται σε μια μηχανή ωθησης και ταξιδεύει μέσω ενός σωλήνα σε ένα ακροφύσιο με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα. Από το ακροφύσιο ψεκάζεται προς την επιφάνεια εφαρμογής με τη βοήθεια πρόσθετου πεπιεσμένου αέρα.

## **8.2.4 Πολυμερές σκυρόδεμα**

Το σκυρόδεμα με βάση τα πολυμερή παράγεται με αντικατάσταση του τσιμέντου με ένα πολυμερές (χρησιμοποιώντας πολυεστέρες ή κόλλες), με μερική αντικατάσταση του νερού με ένα υδατοδιαλυτό πολυμερές (λατέξ) ή με εμποτισμό του σκληρυμένου συμβατικού σκυροδέματος με ένα μονομερές το οποίο πολυμερίζεται στην συνέχεια. (OASP 2001, Δρίτος 2005).

Τα κύρια πλεονεκτήματα των πολυμερών σκυροδεμάτων έχουν ιδιαίτερη σημασία στην τεχνολογία επεμβάσεων:

- Η αντοχή σε θλίψη είναι τέσσερις φορές υψηλότερη από το συμβατικό σκυρόδεμα και η αντοχή σε εφελκυσμό έως και 20 φορές υψηλότερη.
- Η ωρίμανση του σκυροδέματος είναι πολύ γρήγορη και επιταχύνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Μπορούν επίσης να επιτευχθούν πολύ υψηλές αντοχές σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.
- Παρουσιάζει εξαιρετικά καλή πρόσφυση στο παλιό σκυρόδεμα.
- Όταν το τσιμέντο αντικαθίσταται με πολυμερές, το μέτρο ελαστικότητας είναι έως και 50% υψηλότερο από το συμβατικό σκυρόδεμα.
- Η αντοχή στην επιφανειακή φθορά, στον παγετό και στις χημικές επιθέσεις αυξάνεται, ενώ υπάρχει σχετική μείωση του πορώδους και της συρρίκνωσης ξήρανσης.

Ωστόσο, το πολυμερές σκυρόδεμα έχει επίσης ορισμένα θεμελιώδη μειονεκτήματα, όπως

- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα.
- Μειωμένη αντίσταση του σκυροδέματος στην ενανθράκωση.
- Χαμηλότερη αντίσταση στη φωτιά.
- Υψηλό κόστος κατασκευής.

### 8.2.5 Σκυροτσιμεντοπηγμα

Το σκυροτσιμεντοπηγμα παρασκευάζεται με την πρώτη διάστρωση αδρανών μεγάλης διαμέτρου στο καλούπι του στοιχείου που πρόκειται να σκυροδετηθεί και στη συνέχεια με την πλήρωση των κενών του αδρανούς με τσιμεντοκονίαμα που παρέχεται υπό πίεση. Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται έχουν ελάχιστο μέγεθος κόκκων 10-15 mm. Ο τσιμεντοπολτός έχει αρχικά χαμηλότερη αντοχή από το αντίστοιχο σκυρόδεμα. Με την πάροδο του χρόνου, ωστόσο, η διαφορά αυτή μειώνεται συνεχώς και δεν υφίσταται πλέον. Το σκυροτσιμεντοπηγμα χρησιμοποιείται κυρίως για την επισκευή και ενίσχυση μεγάλων υπαίθριων έργων (π.χ. σηράγγων) υπό αντίξοες συνθήκες.

Τα κύρια πλεονεκτήματά του έναντι του συμβατικού σκυροδέματος είναι

- Χαμηλή συρρίκνωση κατά την ξήρανση



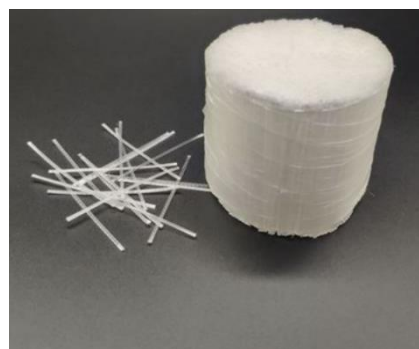
- Μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε βαθος χρονου
- Μεγαλυτερη στεγανοτητα

### 8.2.6 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ενισχυμένο με ίνες

Η προσθήκη ινών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα γίνεται κυρίως για τον έλεγχο της ρηγμάτωσης λόγω της υψηλής συρρίκνωσης κατά την ξήρανση. Συνήθως χρησιμοποιούνται ίνες από χάλυβα, προπυλένιο ή γυαλί. Έχουν μήκος αρκετών εκατοστών και ποικίλλουν σε διάμετρο ανάλογα με το υλικό, αλλά συνήθως είναι μικρότερες από 1 mm. Το ποσοστό των ινών που προστίθενται κυμαίνεται μεταξύ 1% και 3%. Για τις χαλύβδινες ίνες μπορεί να είναι μέχρι 2% και ο λόγος μήκους προς διάμετρο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 100. Εκτός από τη μείωση της ρηγμάτωσης, οι προστιθέμενες ίνες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραμόρφωσης του υλικού κατά τη θραύση και την ελαφρά αύξηση της εφελκυστικής αντοχής.



*Εικονα 45* Εικ Ινες χάλυβα



*Εικονα 46* Ινες πολυπροπυλενιου

### 8.3 Χαλύβδινά επικολλητά ελάσματα

Πρόκειται για χαλύβδινες πλάκες συγκόλλησης που προσκολλώνται στην εξωτερική επιφάνεια δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Χρησιμοποιείται για την ενίσχυση δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα προκειμένου να συμπληρωθούν τα κενά του υφιστάμενου οπλισμού με νέο οπλισμό. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών και πλακών και της διατμητικής αντοχής δοκών.

Συνήθως οι χαλύβδινες πλάκες που χρησιμοποιούνται είναι λεπτές πάχους έως 1-1,5 mm και συγκολλούνται σε επίπεδο παράλληλο με τον υπάρχοντα ανεπαρκή οπλισμό με χρήση κατάλληλης εποξειδικής ρητίνης. Τοποθετούνται επομένως στην εφελκυστική πλευρά του φορέα στην περίπτωση της ενίσχυσης σε κάμψη και στο πλευρικό τοίχωμα της δοκού στην περίπτωση της ενίσχυσης σε διάτμηση (Δρίτσος 2005, ΟΑΣΠ 2001).

Μια μέθοδος μεταλλικών ελασμάτων θεωρείται ότι είναι τα κατακόρυφα γωνιακά ελάσματα με ράβδους. Σε αυτή τη μέθοδο, τέσσερα γωνιακά ελάσματα τοποθετούνται στις γωνίες ενός υποστυλώματος βιδωμένα κατά μήκος του ύψους του. Έξω από αυτές τις γωνιακές πλάκες, σε ορισμένες αποστάσεις, τοποθετούνται ζεύγη εγκάρσιων πηχών γύρω από το υποστύλωμα.

#### **8.4 Επισκευαστικά Κονιάματα**

Τα επισκευαστικά κονιάματα χρησιμοποιούνται γενικά σε εφαρμογές επισκευής και ενίσχυσης όπου το απαιτούμενο πάχος υλικού είναι μικρό και απαιτείται πολύ καλή πρόσφυση. Το κύριο μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος, το οποίο όμως συνήθως αντισταθμίζεται από τις μικρές απαιτούμενες ποσότητες και το υψηλό προστατευτικό αποτέλεσμα.

Υπάρχουν δύο τύποι κονιαμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα :

- Πολυμερή κονιάματα
- Κονιάματα με βάση το τσιμέντο

#### **8.5 Ενέματα**

Το ενέμα είναι ένα ιδιαίτερα ρευστό μείγμα συνδετικού υλικού (τσιμεντοειδές υλικό), νερού (αναλογία νερού/τσιμέντου  $> 1$ ), άμμου, υπερρρευστοποιητών και διογκωτικών ουσιών, το οποίο εγγυάται υψηλή αντοχή και χαμηλή συρρίκνωση κατά την πήξη. Τα ενέματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την πλήρωση σκυροδέματος και τοιχοποιίας με σχετικά βαθιές (μη επιφανειακές) ρωγμές και για την αποκατάσταση της συνέχειας (Δημοσθένους 2009).

Για μια επιτυχημένη επέμβαση αρμολόγησης, το ένεμα πρέπει να είναι σταθερό κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αρμολόγησης και να αποφεύγεται η αποκόλληση. Σε πολλές περιπτώσεις, πραγματοποιείται δοκιμαστική αρμολόγηση και η τελική σύνθεση του ενέματος καθορίζεται με βάση τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής αρμολόγησης. Το ένεμα χρησιμοποιούνται επίσης για τη στεγανοποίηση ρωγμών και ανοιγμάτων κατά τη διάρκεια της κατασκευής ριζοβολίας, ελκυστήρων και μικροδιαβάσεων (Δημοσθένους 2009).

## 8.6 Βλήτρα και αγκύρια

Τα αγκυρια και τα βλητρα είναι μεταλλικοί σύνδεσμοι που διακρίνονται από το είδος της δύναμης στην οποία υπόκεινται. Έτσι, οι μεταλλικοί σύνδεσμοι ταξινομούνται ως βλητρα όταν υπόκεινται σε διατμητικά φορτία και ως αγκύρια όταν ασκούνται εξωτερικά φορτία κατά την αξονική διεύθυνση. Προφανώς, όταν οι μεταλλικοί σύνδεσμοι υπόκεινται σε αξονικές και διατμητικές τάσεις, δρουν ταυτόχρονα ως αγκύρια και βλητρα (Σπυράκος 2004, Σιδέρης κ.ά.).

### A. Οριζόντια βλητρα

Χρησιμοποιούνται κυρίως για υποστυλώματα, δοκούς και τοίχους. Πριν από την τοποθέτηση των αγκυριων, χρησιμοποιείται μια επαρκώς παχύρρευστη ρητίνη για την πλήρωση της οπής με πιστόλι. Στη συνέχεια, σε ορισμένες περιπτώσεις, η περιοχή όπου θα εισαχθεί το βλητρο πλακοστρώνεται και σκυροδετείται. Σε ειδικές περιπτώσεις, η κοιλότητα του βλήτρου και της οπής μπορεί να σφραγιστεί με στεγανωτικό ρητίνης και η ρητίνη να εγχυθεί με δύο ακροφύσια, πάνω και κάτω, για να γεμίσει το βλήτρο και η οπή 100%. Αν και πρόκειται για μια δαπανηρή πρόταση, τα αποτελέσματα είναι εγγυημένα (ΤΕΕ 2007, Σιδέρης κ.ά.).

### B. Κάθετα βλητρα οροφής.

Συνήθως χρησιμοποιούνται για τον οπλισμό της πλάκας. Συνήθως διανοίγεται μια οπή σε αυτήν, η οπή αυτή βουλώνεται από κάτω με πώμα ρητίνης και χύνεται ρητίνη χαμηλού ιξώδους από την κορυφή της πλάκας.

Διαφορετικά, σε περιπτώσεις που δεν μπορεί να γίνει διείσδυση από κάτω, όπως σε δοκούς, χρησιμοποιείται ρητίνη υψηλού ιξώδους και εφαρμόζεται η μέθοδος των οριζοντιων βλητρων. Οι οπές πρέπει πάντα να καθαρίζονται καλά με πεπιεσμένο αέρα και μεταλλική βούρτσα κατάλληλης διαμέτρου για την απομάκρυνση της σκόνης που δημιουργείται κατά τη διάτρηση. Θα πρέπει επίσης να καταβάλλεται προσπάθεια να γεμίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο το κενό μεταξύ της οπής και του κοχλίου (ΤΕΕ 2007, Σιδέρης κ.ά.).

---

## 9. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

---

### 9.1 Ρητινενέσεις

Η ενεση ρητίνης είναι η έγχυση ενός συγκολλητικού υλικού με βάση τη ρητίνη σε ρωγμές στοιχείων, καλύπτοντας ευρος από 0,1 έως 3,0 mm σε άοπλο και οπλισμένο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα, η ρητίνη μπορεί να γεμίσει τα κενά στις ρωγμές, επιτυγχάνοντας τελικά πλήρη συνέχεια του υλικού. Επιπλέον, λόγω της σύνθεσής τους, εμποδίζουν την ελεύθερη είσοδο οξυγόνου και υγρασίας, που αποτελούν τα κύρια συστατικά της διαδικασίας οξείδωσης. Ο οπλισμός προστατεύεται έτσι από τη διάβρωση. Η υψηλή αντοχή της ρητίνης σε εφελκυσμό και εφελκυσμό αποτρέπει επίσης τη διαστολή των ρωγμών. Η μέθοδος αυτή παρέχει πλήρη αποκατάσταση των ρωγμών και αποκατάσταση της δομικής ακεραιότητας του στοιχείου ή της κατασκευής (παρατίθεται στο Καλλιανιώτης & Σταθάς 2009).

Η μέθοδος ρητινενεσεων ακολουθεί την εξής διαδικασία

- Οι ρωγμές καθώς και οι παρακείμενες περιοχές καθαρίζονται με κενό αέρος ή πεπιεσμένο αέρα.
- Σφραγίζεται η ρωγμή με ένα μικρό κομμάτι ταινίας για να αποφευχθεί η διαρροή της ρητίνης μέσω της ρωγμής.
- Ανοίγονται οπές διαμέτρου 5,0-10,0 mm σε συγκεκριμένα σημεία κατά μήκος των ρωγμών. Η θέση της επιλεγμένης οπής είναι ένα από τα σημαντικότερα σημεία της τεχνικής έγχυσης ρητίνης.
- Στη θέση της επιλεγμένης οπής τοποθετείται ένα ακροφύσιο (ανοικτή οπή), μέσω του οποίου πραγματοποιείται η έγχυση της ρητίνης.
- Με πεπιεσμένο αέρα που εγχέεται μέσω του ακροφυσίου επιτυγχάνεται ο καθαρισμός των ρωγμών σε βάθος.
- Εισάγεται μια ρέουσα εποξειδική ρητίνη αναμειγμένη με έναν σκληρυντή. Η εποξειδική ρητίνη εγχέεται από το κάτω ακροφύσιο προς το άνω ακροφύσιο, χωρίς να αφήνει κενά και γεμίζοντας τις ρωγμές.

- Ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, η εποξειδική ρητίνη σκληραίνει μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα, από 6 έως 48 ώρες, αποκτώντας πολύ υψηλότερη αντοχή από το σκυρόδεμα και ταυτόχρονα επανασυσσωματώνοντας τη ρηγματωμένη περιοχή.



*Εικόνα 47 α) Σφράγιση ρωγμής, (β) Τοποθέτηση ακροφυσίων, (γ) Είσοδος πεπιεσμένου αέρα, (δ) Διοχέτευση εποξειδικής ρητίνης*

## 9.2 Ριζοπλισμοί

Η μέθοδος ριζοπλισμων περιλαμβάνει τη διάνοιξη οπών στο σώμα της τοιχοποιίας και την τοποθέτηση ράβδων οπλισμού σε αυτές. Στη συνέχεια, οι οπές γεμίζονται με τσιμεντοκονίαμα. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για τοπικές ή καθολικές επεμβάσεις σε παλιά παλιά τοιχοποιία. Το αποτέλεσμα αυτής της τεχνικής είναι η αύξηση της θλιπτικής και διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας, ανάλογα με την πυκνότητα της εγκατάστασης και τη διάμετρο του ριζικού οπλισμού. Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε μνημεία, είναι ότι η δομή της τοιχοποιίας αλλοιώνεται μη αναστρέψιμα.



*Εικόνα 48 : Ρίζοπλισμοι*

Η τεχνική των ρίζοπλισμων έχει εφαρμοστεί σε διάφορες κατασκευές φέρουσας τοιχοποιίας. Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές αυτής της τεχνικής είναι:

- Ενίσχυση αντηρίδων γεφυρών που ρηγματώθηκαν λόγω διαφορικών καθιζήσεων.
- Εγκατάσταση πασσάλων σε παλιές γέφυρες λόγω αυξημένων ωφέλιμων φορτίων σε σχεδιασμένες και κατασκευασμένες γέφυρες.
- Σταθεροποίηση παραμορφωμένων αψιδων
- Ενίσχυση υπογείων διαβάσεων όπου έχουν σημειωθεί καθιζήσεις ή παραμορφώσεις του εδάφους.
- Ενίσχυση ασθενών τοίχων όπου εφαρμόζονται πλάκες αγκύρωσης τενόντων (προεντεταμένη ενίσχυση τοίχου ή ελκυστήρα).
- Προσάρτηση δομικών τμημάτων, όπως τόξα, στο άνω τμήμα του τοίχου.
- Ενίσχυση του κύριου σώματος των φέροντων κατασκευών, συνδέοντας χαλαρά τμήματα με ισχυρότερα τμήματα τοίχου.
- Δημιουργία υψικορμών δοκών.

### 9.3 Επικόλληση ελασμάτων σε σκυρόδεμα

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την επικόλληση των ελασμάτων με εποξειδική ρητίνη στα πελματα των δοκών, στις κάθετες ακμές των δοκών και στους κόμβους, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Τα ελάσματα κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα και λεπτές χαλύβδινες πλάκες (συνήθως 1,00-1,50 mm) ώστε να δένουν καλά με την επιφάνεια που πρόκειται να ενισχυθεί και να συγκολληθεί.

Η διαδικασία επεξεργασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Η επιφάνεια του σκυροδέματος λυενεται προσεκτικά με γυαλόχαρτο και σβουρακι.
- Η επιφάνεια καθαρίζεται και στεγνώνεται καλά.
- Αμμοβολή για την εκτραχυνση της επιφάνειας για την καλύτερη πρόσφυση του μεταλλικού ελάσματος.
- Εμποτισμός και επαλειψη του σκυροδέματος με εποξειδική ρητίνη υψηλού ιξώδους.
- Κολλάμε τις πλάκες μεταξύ τους και σφίγγουμε με βίδες σύσφιξης για 24 ώρες για να εξασφαλίσουμε την πρόσφυση.
- Εάν απαιτείται δεύτερο έλασμα, επαναλαμβάνεται αυτή η διαδικασία.

### 9.4 Ηλεκτροσυγκόλληση νέων οπλισμών

Ο νέος οπλισμός χρησιμοποιείται με ηλεκτροσυγκόλληση, συνήθως μαζί με τον παλαιό οπλισμό στην προς ενισχυση περιοχή. Για τον νέο οπλισμό προτιμάται ο μαλακός χάλυβας, καθώς συγκολλάται ευκολότερα. Ο νέος οπλισμός συγκολλάται με τον παλαιό οπλισμό σε διαστήματα περίπου 50 cm, χρησιμοποιώντας κοινούς αποστάτες (διάκενα) ίσης διαμέτρου, τουλάχιστον  $\Phi 16$  και μήκους τουλάχιστον  $5\Phi$ .

### 9.5 Μανδύες από Ο/Σ

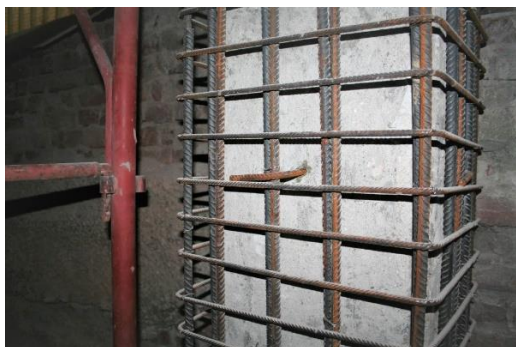
Η μέθοδος κατασκευής μανδύων σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος αύξησης της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητάς τους. Η κατασκευή μανδύων σε στοιχεία από οπλισμένο σκυροδεμα εφαρμόζεται συχνότερα σε υποστυλώματα που υφίστανται σοβαρές βλάβες.



Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την αύξηση της διατομής ενός δομικού στοιχείου με μια νέα στρώση σκυροδέματος και νέες διαμήκεις και εγκάρσιες ράβδους οπλισμού και τη δημιουργία ενός περιβλήματος γύρω από το αρχικό στοιχείο. Με τον τρόπο αυτό, το περίβλημα περιβάλλει το υπάρχον στοιχείο, συμβάλλοντας στη μείωση της πλαστιμότητας και στην αύξηση της δυσκαμψίας (Dritso 2005).

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες κελυφών από οπλισμένο σκυρόδεμα, μεταξύ των οποίων:

1. Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα
2. Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
3. Μανδύες από σκυρότσιμεντοπηγμα
4. Μανδύες από ειδικό σκυρόδεμα ή τσιμεντοκονίαμα



*Εικόνα 49 : Σταδια ενισχυσης με μανδύας*

### **9.5.2. Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα**

Εάν ο προς κατασκευή μανδύας έχει πάχος 10 cm ή λιγότερο, χρησιμοποιείται η μέθοδος εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί τη χρήση ξυλότυπου, αλλά

απαιτεί τη χρήση οδηγών για την εξασφάλιση της κατακόρυφης επιφάνειας του μανδύα. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το φαινόμενο της συρρίκνωσης κατά την ξήρανση είναι μεγαλύτερο από ό,τι με τις άλλες μεθόδους, οπότε πρέπει να λαμβάνεται κατάλληλη μέριμνα για το υπόστρωμα.

### **9.5.3 Μανδύες από σκυρότσιμεντοπηγμα**

Οι μανδύες από σκυροτσιμεντοπηγμα κατασκευάζονται με την τοποθέτηση αδρανών υλικών (ελάχιστου μεγέθους κόκκων 10-15 mm) στον ξυλότυπο και την πλήρωση των κενών με υγροποιημένο τσιμέντο υπό πίεση. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η ευκολία σκυροδέτησης, ακόμη και με πυκνό διαμήκη και εγκάρσιο οπλισμό. Επιπλέον, η μέθοδος ελαχιστοποιεί τη συρρίκνωση κατά την ξήρανση.

### **9.5.4 Μανδύες από ειδικό σκυροδεμα ή τσιμεντοκονιαμα**

Όταν το υπόστρωμα κατασκευής είναι πολύ λεπτό, χρησιμοποιείται ειδικό σκυρόδεμα ή τσιμεντοκονίαμα. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να επιτευχθεί πολύ μεγαλύτερη αντοχή από ό,τι με το κανονικό σκυρόδεμα σε πολύ μικρότερο χρόνο, αλλά το κύριο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος προετοιμασίας.

## **9.6 Ινοπλισμενα πολυμερη (FRP)**

Μία από τις πιο υποσχόμενες μεθόδους για ενίσχυση των υποστρωμάτων είναι η χρήση των FRP ή ΙΟΠ (ινοπλισμένα πολυμερή ή σύνθετα υλικά). Τα υλικά αυτά, όπως αναλυθηκε και στο προηγούμενο κεφαλαίο αποτελούνται από οργανικές ή ανόργανες ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένες με «θερμοσκληρυνόμενη» ρητίνη.

Στην περίπτωση που είναι επιθυμητός ο εγκιβωτισμός του στοιχείου για την αύξηση της διατμητικής του αντοχής οι ίνες τους τοποθετούνται σε οριζόντια διεύθυνση. Στην περίπτωση που θέλουμε αύξηση της καμπτικής αντοχής του στοιχείου, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και φύλλα με τις ίνες τους σε κατακόρυφη διεύθυνση. Η αύξηση της φέρουσας ικανότητας σε αξονικό φορτίο σε ένα υποστύλωμα επιτυγχάνεται μέσω περίσφιξης με τοποθέτηση μανδύων από FRP περιμετρικά. Τα FRP στην αγορά διατίθενται

σε μορφή φύλλου-υφάσματος (CFRP) ή σε μορφή ελάσματος-λωρίδας (CFRP, GFRP, AFRP).

Τα υφάσματα FRP είναι πιο διαδεδομένα στην ενίσχυση υποστυλωμάτων από ότι οι λωρίδες γιατί η εφαρμογή τους είναι πιο εύκολη. Αποτελούνται από μονοδιάστατες ή δισδιάστατες ίνες οι οποίες μπορεί να είναι εμβαπτισμένες σε μήτρα ρητίνης ή όχι. Τα ελάσματα έχουν πάχος από 0,5-1,5 mm και πλάτος από 50-300mm. Το ποσοστό των μονοδιάστατων ινών στην εποξειδική ρητίνη είναι 55-65%. Τα ελάσματα περιλαμβάνουν συνήθως αρκετά στρώματα ινών και έτσι το τελικό πάχος φτάνει μέχρι τα 25mm με αποτέλεσμα να είναι σχετικά δύσκαμπτο. Αντίθετα αν και με τη χρήση ελασμάτων επιτυγχάνουμε οικονομία υλικού απαιτούνται περισσότερα "εργατικά" και γι' αυτό η επιλογή της εξαρτάται από την εκτίμηση του συνολικού κόστους.

Όπως θα δουμε και παρακατω τα FRP τοποθετούνται είτε με τις συμβατικές μεθόδους, είτε με κάποιες νεότερες που χρησιμοποιούνται σε πρώιμο στάδιο. Μια από αυτές είναι το *Sprayed FRP*

---

## 10. ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

---

### 10.1 Μεθοδοι επισκευης και ενισχυσης υποστυλωματων

Καθώς τα υποστυλώματα είναι ιδιαίτερα σημαντικά στον σεισμικό σχεδιασμό των υφιστάμενων κατασκευών, τα στοιχεία επέμβασης στις μελέτες αποτίμησης και ανασχεδιασμού επικεντρώνονται συνήθως σε αυτά (Σπυράκος 2004). Τα υποστυλώματα μπορούν είτε να επισκευαστούν σε περίπτωση βλάβης είτε να ενισχυθούν για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας και τη βελτίωση της γενικής συμπεριφοράς (Σπυράκος 2004).

#### 10.1.1 Επισκευή υποστυλωμάτων

Η επισκευή υποστυλώματος αναφέρεται στη διαδικασία επέμβασης για την αποκατάσταση των αρχικών ιδιοτήτων διατομής ενός δομικού στοιχείου που έχει υποστεί βλάβη. Η επισκευή υποστυλώματος είναι ανάλογη του βαθμού βλάβης του υποστυλώματος.

##### A) Επισκευή με ρητίνη ή επισκευαστικό κονίαμα

Για μικρές βλάβες στο υποστυλώμα, δηλαδή όταν εμφανίζονται ρωγμές ή αποκολλήσεις σκυροδέματος χωρίς θραύση του κλειστού πυρήνα ή λυγισμό του διαμήκους οπλισμού στο τμήμα του υποστυλώματος, οι επισκευές γίνονται με έγχυση ρητίνης ή επισκευαστικού κονιάματος. Ειδικότερα, οι ρητινενεσεις χρησιμοποιούνται για απλές ρωγμές και το επισκευαστικό κονίαμα για αποκολλήσεις της επιφάνειας του σκυροδέματος



*Εικόνα 50 : Επισκευη με ρητινενεσεις*

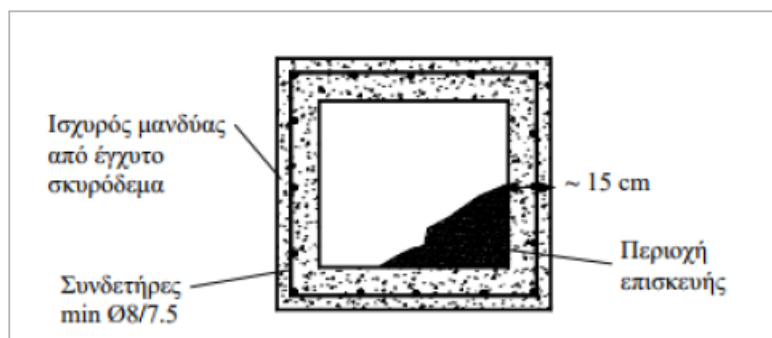
## Β) Αποκαταστάσεις ίσης διατομής

Οι αποκαταστάσεις ίσης διατομής πραγματοποιούνται όταν σε ένα υποστύλωμα υπάρχει τοπική βλάβη με μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ή όταν υπάρχει σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος.

### Β1) Τοπική βλάβη με μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος

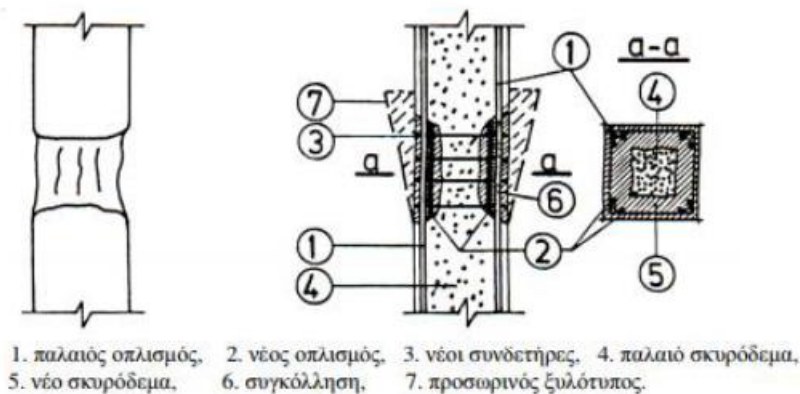
Η διαδικασία επισκευής περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια :

- Υποστυλωση των δοκών που διέρχονται κατά μήκος των κατεστραμμένων στοιχείων.
- Απομάκρυνση του διαταραγμένου σκυροδέματος και αποκαλυψη του οπλισμού.
- Συγκόλληση νέου οπλισμού (1 Φ14 ανά 150 mm) και σφραγισμένων συνδέσμων (min Φ8/10).
- Διάστρωση χυτού σκυροδέματος (τουλάχιστον 100 mm) ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος (τουλάχιστον 30 mm) για τον σχηματισμό του μανδύα. Αντί για σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ειδικό έτοιμο κονίαμα.



*Εικόνα 51 : Επισκευή υποστυλώματος με μανδύα από έγχυτο σκυρόδεμα*

Το μήκος του μανδύα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5 b (b είναι η μεγαλύτερη διάσταση της στήλης) μεγαλύτερο (κατακόρυφα) από το μήκος στο οποίο ένα υποστυλωμα παρουσιάζει βλάβη. Μέσα σε αυτό το μήκος, ο νέος οπλισμός συγκολλάται με τον παλιό σε ολοκληρη την επιφάνεια της βλάβης (Τάσιος 1999). Στην περίπτωση τέτοιων επισκευών, όμως, η ανάγκη για υψηλή συνάφεια μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος είναι ιδιαίτερα σοβαρή (Penelis & Karros 1999).



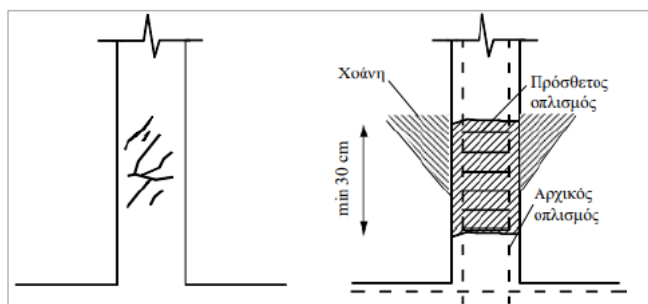
Εικόνα 52: Επίσκεψη υποστυλώματος με μερική αποδιοργάνωση της βλαβείσας περιοχής

## B2) Σοβαρές βλάβες με πλήρη καταστροφή του σκυροδέματος.

Στην περίπτωση αυτή μπορεί να συμβεί πλήρης αστοχία ή ρηγματώση του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα το άνοιγμα των συνδέσμων ή τη θραύση και τον λυγισμό του διαμήκους οπλισμού (Dritso 2005).

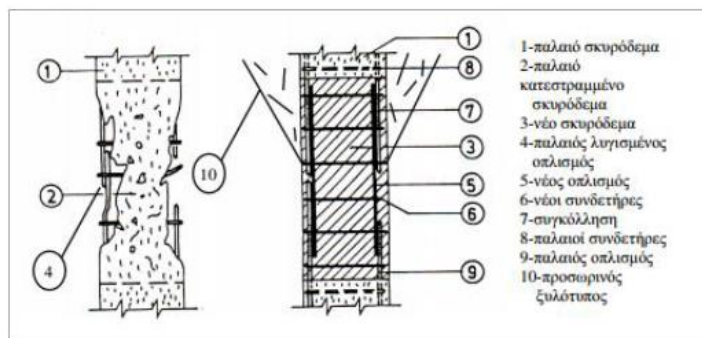
Η διαδικασία επισκευής περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια :

- Υποστυλωση των δοκών που διέρχονται κατά μήκος των κατεστραμμένων στοιχείων.
- Πλήρης καθαιρεση των διαταραγμένων τμημάτων του στοιχειου σε ύψος τουλάχιστον 30 cm.
- Ελέγχος και, εάν χρειάζεται, ενισχύση τον διαμήκη οπλισμό.
- Προσθηκη συνδετήρων (min Φ8/5 στα ελαττωματικά σημεία, min Φ8/10 στο υπόλοιπο ύψος) ή σπείρες.
- Τοποθέτηση του ξυλότυπο.
- Εγχυση σκυροδεματος ή έτοιμου κονιάματος.



Εικόνα 53: Αποκατάσταση υποστυλώματος με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαμμένης περιοχής

Η συγκόλληση νέων οπλισμών πάνω σε παλιούς μπορεί να γίνει με καβίλιες ή με πρόσθετα τεμάχια («πάπιες»), ούτως ώστε, ανεξάρτητα από το αν το φορτίο μεταβιβάζεται από την παλιά στη νέα διατομή ή αντίστροφα, ένα σκέλος της «πάπιας» να εφελκύεται. Η διατομή της «πάπιας» πρέπει να είναι min Φ10 (Τάσιος 1999).



**Εικόνα 54:** Αποκατάσταση υποστυλώματος με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείσας περιοχής

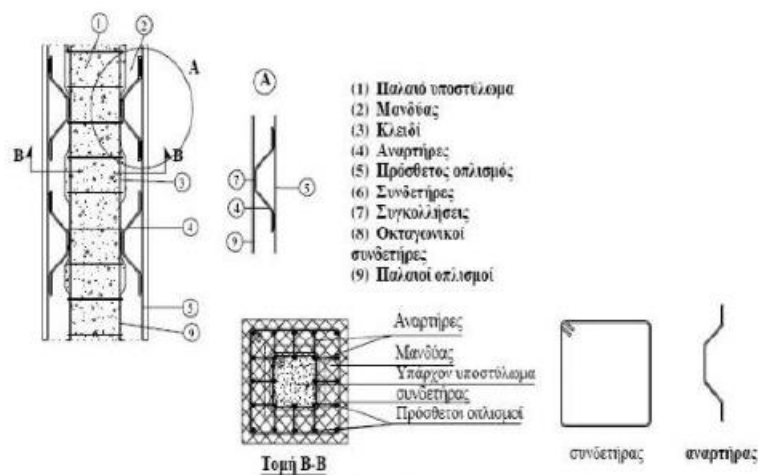
### 10.1.2 Ενίσχυση υποστυλωμάτων

Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων αναφέρεται στην αύξηση της φέρουσας ικανότητας των υποστυλωμάτων και, γενικότερα, στη βελτίωση της συμπεριφοράς τους όταν προσπαθούν να απορροφήσουν φορτία που υπερβαίνουν τη διαθέσιμη αντοχή.

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι μεθόδων ενίσχυσης στύλων: μέθοδοι που δεν αυξάνουν τη διατομή ενός υποστυλώματος, δηλαδή με περισφιξη, και μέθοδοι που αυξάνουν τη διατομή ενός.

#### Α) Ενίσχυση υποστυλωμάτων με αύξηση της διατομής

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για την ενίσχυση υποστυλωμάτων που δεν έχουν επαρκή αντοχή, δυσκαμψία και ολκιμότητα είναι η χρήση μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, η μέθοδος αυτή αυξάνει τη διατομή του υποστυλώματος με την προσθήκη μιας νέας στρώσης σκυροδέματος και νέων διαμήκων και εγκάρσιων ράβδων οπλισμού που σχηματίζουν ένα κέλυφος γύρω από το αρχικό υποστυλωμα. Με αυτόν τον τρόπο το περίβλημα περιβάλλει τα υπάρχοντα στοιχεία, συμβάλλοντας στη μείωση της πλαστιμότητας και στην αύξηση της ακαμψίας (Dritso 2005).



**Εικόνα 55:** Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος

Οι μέθοδοι επέμβασης μπορεί να είναι ένας γενικός μανδύας σε όλο το μήκος του υποστυλώματος ή ένας τοπικός μανδύας μόνο σε τμήμα του υποστυλώματος. Εναλλακτικά, το υποστύλωμα μπορεί να είναι είτε ένα κλειστό υποστύλωμα που καλύπτει ολόκληρη τη διατομή είτε ένα ανοικτό υποστύλωμα που καλύπτει μέρος της διατομής, και τέτοιες περιπτώσεις εμφανίζονται στην περίπτωση υποστυλωμάτων που βρίσκονται στα όρια με άλλα κτίρια.

Εάν ο μανδύας περιορίζεται στο ύψος του ορόφου, αυξάνεται η αξονική και διατμητική αντοχή του υποστυλώματος, αλλά όχι και η ικανότητα κάμψης στους κόμβους. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται η διάτρηση του μανδύα να διεισδύει στην οροφή και στο δάπεδο του ορόφου όπου απαιτείται.

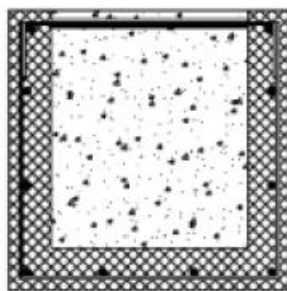


**Εικόνες 56 :** Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος



Στην πιο συνηθισμένη περίπτωση της κατασκευής με περιμετρικό μανδύα, η σύνδεση παλαιού και νέου σκυροδέματος γίνεται με εκτραχυνση της παλιάς επιφανείας ούτως ώστε να υπάρχει μεγάλη συναφεια καθώς και μερικές φορές με την συγκόλληση οπλισμών (παπιών) μεταξύ των παλαιών και νέων διαμήκων ράβδων, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Η σύνδεση αυτή κρίνεται απαραίτητη όταν υπάρχει πλήρης αποδιοργάνωση του υποστύλωματος ή το υψος του είναι πολύ μεγάλο, οπότε υπάρχει κίνδυνος λυγισμού του ενδιάμεσου οπλισμού .

Οι ανοικτοί και κλειστοί μανδύες κατασκευάζονται ανάλογα με τη μορφή των υφιστάμενων στοιχείων. Ειδικότερα, η μέθοδος του ανοικτού κελύφους επιλέγεται όταν το κέλυφος δεν μπορεί να καλύψει ολόκληρη τη διατομή, π.χ. σε ενδιάμεσα τοιχώματα και αρμούς. Στην περίπτωση αυτή ο μανδύας καλύπτει τρεις πλευρές του υποστύλωματος, γεγονός που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στην προετοιμασία του αρμού και στη συγκόλληση του παλαιού και του νέου οπλισμού. Εάν η μία πλευρά του υποστύλωματος συνορεύει με παρακείμενο όριο, απαιτούνται πρόσθετα μέτρα για την προστασία του νέου συνδέσμου από τη διάβρωση, καθώς ο οπλισμός δεν είναι ενσωματωμένος στο σκυρόδεμα. Εάν το υπόστρωμα περιβάλλει μόνο μία ή δύο πλευρές του υποστύλωματος, θα αποτελεί προέκταση του υποστύλωματος (Δρίτσος 2005).



*Εικόνα 57: Παράδειγμα ανοικτού τύπου μανδύα*

Στην περίπτωση μονόπλευρης επένδυσης, απαιτείται επίσης ιδιαίτερη προσοχή στη σύνδεση του παλαιού και του νέου τμήματος, η οποία επιτυγχάνεται με συγκόλληση πυκνων συνδετηρων στον παλαιό οπλισμό.

## **B) Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιγξη**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την αύξηση της πλαστιμότητας και της διατμητικής αντοχής του υποστυλώματος χωρίς να αυξάνει τη διατομή του στοιχείου. Χρησιμοποιείται επίσης όταν μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο η ακεραιότητα του επικαλυπτόμενου κατακόρυφου οπλισμού των υποστυλωμάτων ή όταν πρέπει να αυξηθεί η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Επιτυγχάνεται οπλισμός με περίσφιγξη υποστυλώματος :

### **B1) Χρήση σφικτήρων ή ταινιών από ινοπλισμένο πολυμερές (FRP) / Χρήση προεντεταμένων χαλύβδινων σφικτήρων ή σφικτήρων ινοπλισμένου πολυμερούς (FRP) σε μορφή "πακετου"**

Τα επικολλητά κολλάρα είναι μεταλλικά ελάσματα πάχους 1-2 mm και τοποθετούνται σε όλη τη διατομή της στήλης οπλισμού. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι η προένταση του μεταλλικού κολλάρου αυξάνει την αποτελεσματικότητα του σφικτήρα (Σπυράκος 2004).



*Εικόνα 52 : Περίσφιξη υποστυλώματος με χαλύβδινα ελάσματα*

*Εικόνα 53 : Περίσφιξη υποστυλώματος με ινοπλισμένα πολυμερή της μορφής ταινιών «πακεταρίσματος»*

### **B2) Χρήση σπειροειδούς οπλισμού απο μεταλλικο ελασμα ή ινοπλισμένο πολυμερές (FRP)**

Ο σπειροειδής οπλισμός αποτελείται από μεταλλικά ελάσματα και εφαρμόζεται κυρίως στα υποστυλώματα κυκλικής διατομής. Πιο συγκεκριμένα, ο σπειροειδής οπλισμός τοποθετείται εξωτερικά του υποστυλώματος και περιβάλλει ολόκληρο το στοιχείο.



*Εικόνα 54 : Περίσφιξη με σπειροειδή οπλισμό*

### **B3) Χρήση μανδύα από ινοπλισμένο πολυμερές ή χαλύβδινη πλάκα στις πλευρές του υποστλώματος.**

Τα φύλλα ινοπλισμένου πολυμερούς είναι πιθανώς ο πιο ευχρηστος τρόπος για την περισφιξη των κατακορυφων στοιχειων. Οι ίνες σε αυτά τα φύλλα είναι τοποθετημένες οριζόντια, γεγονός που συμβάλλει στον εγκιβωτισμο και στην αύξηση της διατμητικής του αντοχής του στοιχειου. Φύλλα με κάθετη κατεύθυνση ινών χρησιμοποιούνται επίσης εάν ο στόχος είναι να αυξηθεί η αντοχή του στοιχείου σε κάμψη (Dritso 2005).

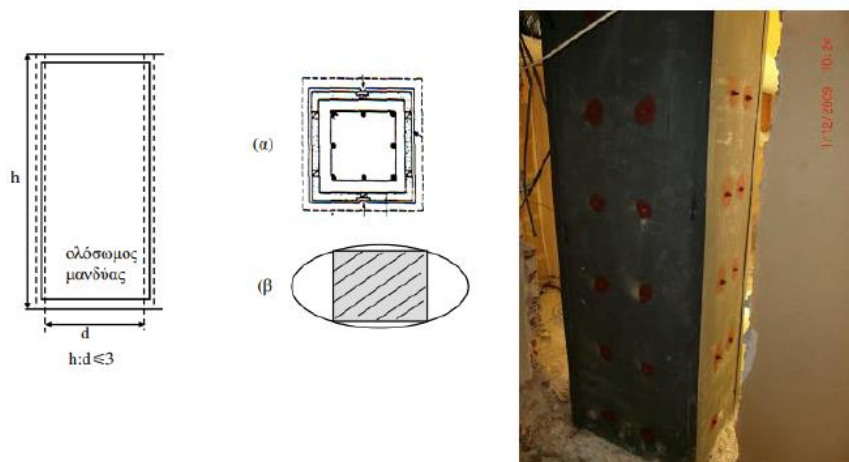


*Εικόνα 55: Περίσφιξη υποστλώματος με μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή (FRP's)*

### **B4) Ολόσωμος μεταλλικός μανδύας**

Οι μεταλλικοί μανδύες χρησιμοποιούνται συνήθως για κυκλικά υποστλωματα. Μεταξύ του περιβλήματος και της υφιστάμενου στοιχειου αφήνεται ένα δακτυλιοειδές κενό, το οποίο γεμίζεται με σκυρόδεμα. Για ορθογώνια

υποστυλώματα χρησιμοποιείται ένα ελλειπτικό κέλυφος. Επιπλέον, αυτή η ειδική μέθοδος οπλισμού όχι μόνο αυξάνει τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, την αντοχή των υποστυλωμάτων σε κάμψη και διάτμηση, αλλά συμβάλλει και στην πλαστιμότητα των στοιχείων (Σπυράκος 2004).



**Εικόνα 56:** Περίσφιξη με ολόσωμο μεταλλικό μανδύα: α)ορθογωνική διατομή, β)ελλειψοειδής διατομή

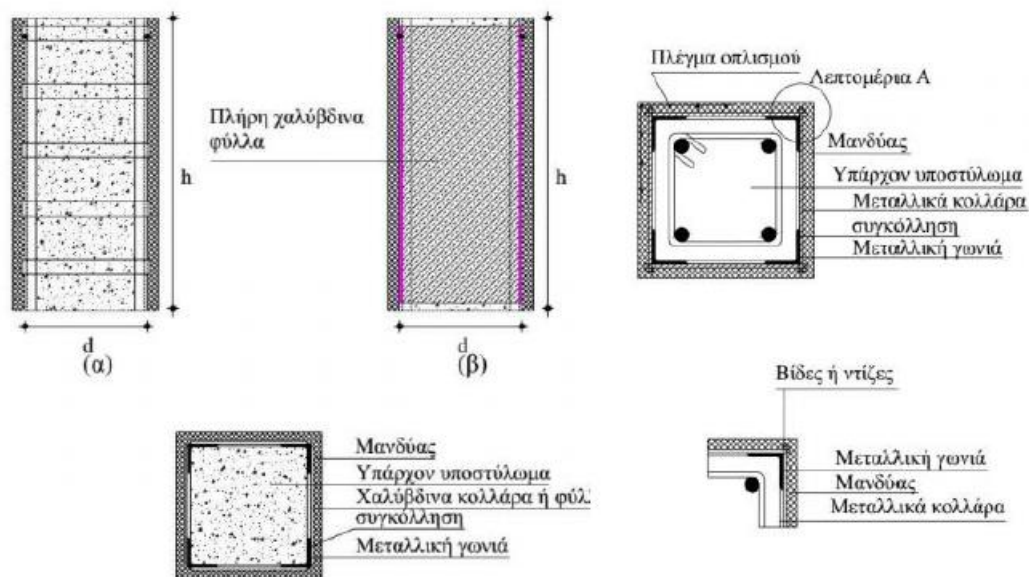
**Εικόνα 57:** Ενίσχυση υποστυλώματος με μεταλλικό μανδύα

### B5) Μεταλλικός κλωβός

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η χρήση μεταλλικής επένδυσης. Αυτή η μέθοδος παρέχει προσωρινή περισφιξη για τα υποστυλώματα που δεν μπορούν να αντέξουν αξονικά φορτία, έτσι ώστε σε περίπτωση βλάβης να μπορούν να απορροφήσουν άμεσα τα κατακόρυφα φορτία. Περιλαμβάνει την τοποθέτηση τεσσάρων κατακόρυφων μεταλλικών γωνιακών πλακών πάνω στο κατεστραμμένο στοιχείο και τη σύσφιξή τους με ειδικά κλειδιά για να στερεωθεί ο στύλος στη θέση του. Τα γωνιακά στηρίγματα στερεώνονται στη φέρουσα κατασκευή με συγκόλληση ή βίδωμα με χημικά συνδεδεμένα αγκύρια. Οι οριζόντιες μεταλλικές πλάκες (ελασματα) συγκολλούνται στις γωνιακές πλάκες (ελασματα). Εναλλακτικά προς τη περισφιξη των γωνιακών πλακών, οι οριζόντιες πλάκες μπορούν να προθερμανθούν στους 200-400°C, να αποψυχθούν και να συρρικνωθούν.

Τα κενά που σχηματίζονται εκεί όπου το μεταλλικό περίβλημα έρχεται σε επαφή με το σκυρόδεμα σφραγίζονται με μη συρρικνούμενο τσιμεντοκονίαμα ή εποξειδική κόλλα. Η τελική επιφάνεια διαμορφώνεται με ισχυρό τσιμεντοκονίαμα ενισχυμένο με ελαφρύ δομικό πλέγμα και δεν απαιτεί τη χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Εάν το ύψος των

υποστυλωμάτων είναι σχετικά μικρό ( $h/d \leq 3$ ), μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαλύβδινες πλάκες αντί για μεταλλικές ελασματα .



**Εικόνα 58:** Ενίσχυση υποστυλώματος με μεταλλικό κλωβό: α) μεταλλικά ελάσματα, β) πλήρη χαλυβδόφυλλα (Δρίτσος 2005)

Το πάχος της οριζόντιας μεταλλικών ελασμάτων είναι συνήθως ίσο με αυτό των γωνιακών και το πλάτος της κυμαίνεται από 25 έως 60 mm. Η μεταξύ τους απόσταση δεν πρέπει να υπερβαίνει το μισό της ελάχιστης διάστασης της διατομής ή τα 15 cm, όποιο από τα δύο είναι μικρότερο (Σπυράκος 2004).

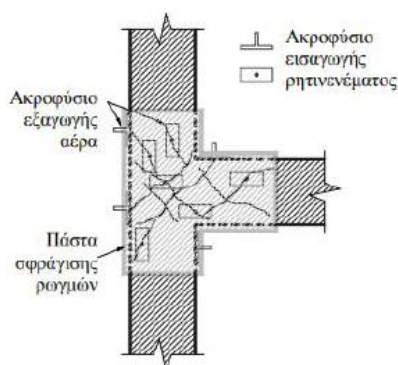


**Εικόνα 59:** Ενίσχυση υποστυλώματος με μεταλλικό κλωβό

## 10.2 Μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων

### 10.2.1 Επισκευή Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων

Για την επισκευή των κομβων στήριξης των δοκών χρησιμοποιούνται οι ίδιες μέθοδοι όπως και για τα άλλα δομικά στοιχεία. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται ενέσεις ρητίνης (εποξειδικής) και επισκευαστικά κονιάματα για ελαφρές ρωγμές και ισομετρικές μέθοδοι επισκευής για σοβαρές βλάβες (Dritso 2005).



*Εικόνα 60: Επισκευή κόμβου με ρητινενέσεις*

#### A) Επισκευή κόμβων με αποκατάσταση ίσης διατομής

Η επισκευή κομβων με αποκατασταση ίσης διατομης περιλαμβάνει συνήθως τη διόρθωση των ελαττωμάτων οπλισμού. Ειδικότερα, βελτιώνεται η αγκύρωση των οπλισμων (με συγκόλληση νέων τμημάτων), καθώς επίσης τοποθετούνται περισσότεροι συνδετηρες.

#### B) Επισκευη με ρητινενεσεις

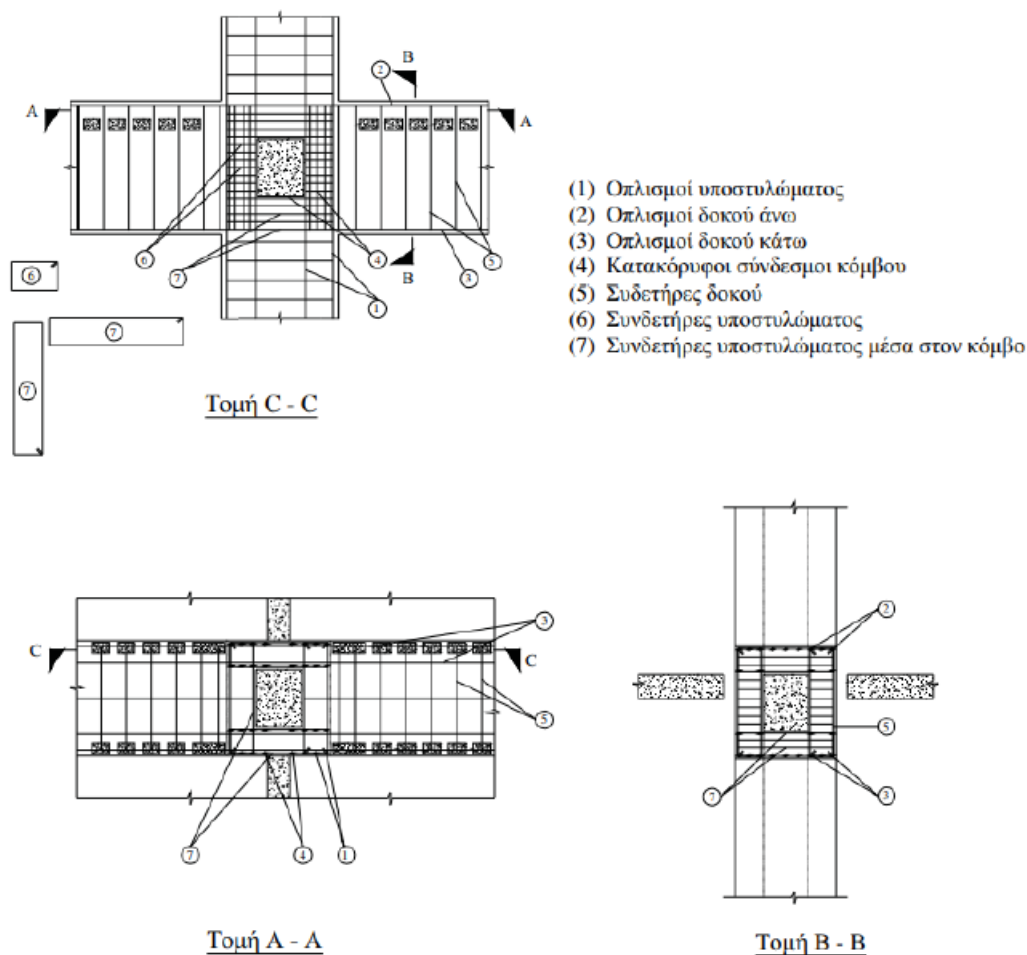
Με την εφαρμογή της τεχνικής των ρητινενέσεων για την επισκευή των κόμβων, αποκαθίσταται πλήρως η αντοχή των κόμβων και αποκαθίσταται σχεδόν πλήρως η δυσκαμψία. Επιπλέον, με την εφαρμογή των ρητινενέσεων αποκαθίσταται η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και μπορεί ακόμα και να αυξηθεί (ΟΑΣΠ 2001).

### 10.2.2 Ενίσχυση Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων

Οι συχνότερες μέθοδοι ενίσχυσης της περιοχής των κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων που εφαρμόζονται είναι οι εξής (ΟΑΣΠ 2001):

### A) Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος

Η κατασκευή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η πιο αποτελεσματική μεθοδος ενίσχυσης των κομβων δοκων-υποστυλωματων. Αυτός ο μανδύας είναι συνήθως η συνεχεια του μανδύα που χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων. Η μέθοδος αυτή μπορεί επίσης να εφαρμοστεί τοπικά μόνο σε κόμβους (OASP 2001).

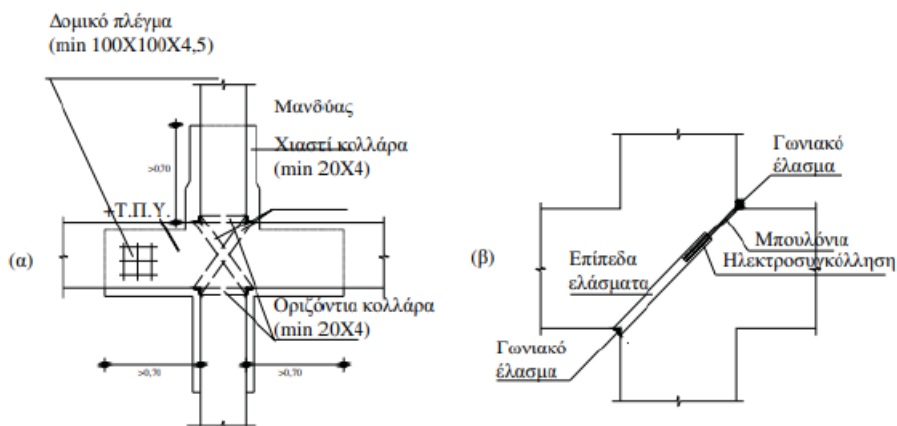


*Εικόνα 61: Ενίσχυση κόμβου με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (ΟΑΣΠ 2001)*

### B) Χρήση χιαστί κολλάρων

Μια άλλη μέθοδος ενίσχυσης των κομβων στήριξης δοκών είναι η χρήση εγκάρσιων σφικτήρων - κολλαρων. Στη μέθοδο αυτή, η περιοχή του κόμβου ασφαλίζεται με την τοποθέτηση και τη μηχανική σύσφιξη των εγκάρσιων σφικτήρων. Επιπλέον, δύο οριζόντιοι σφικτήρες - κολλαρα μπορούν να τοποθετηθούν στο τμήμα του υποστυλώματος και να συγκολληθούν στους εγκάρσιους σφικτήρες για να σταθεροποιήσουν το σύστημα περισφιξης. Ολόκληρη η περιοχή του κόμβου καλύπτεται

συνήθως με ένα περίβλημα από χυτό ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ενισχυμένο με ένα ελαφρύ πλέγμα από ανοξείδωτο χάλυβα. Μερικές φορές η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο συνδυασμός αυτός οδηγεί σε πολύ υψηλό βαθμό ενίσχυσης του κόμβου (ΟΑΣΠ 2001).



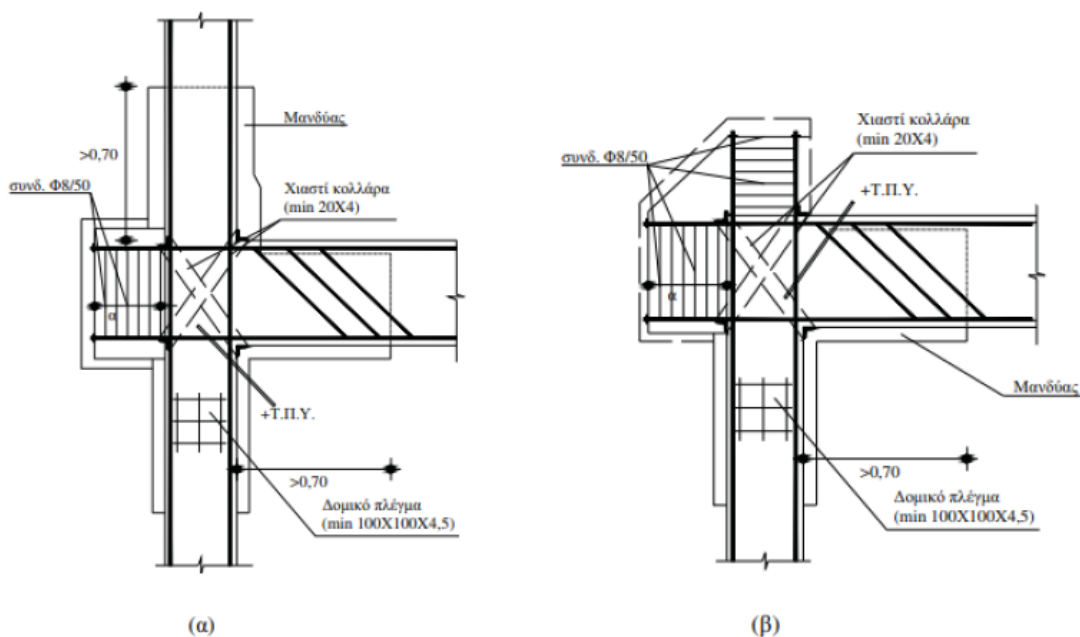
**Εικόνα 62:** Ενίσχυση με χιαστί κολλάρα: α) Γενική διάταξη β) Λεπτομέρεια εφαρμογής (ΟΑΣΠ 2001)

Το πρόβλημα αυτής της τεχνικής είναι ότι όταν συνυπάρχουν τέσσερις δοκοί σε έναν κόμβο, οι εγκάρσιες δοκοί πρέπει να διατηρηθούν και να διασταυρωθούν και οι διατομές των υποστυλωμάτων πρέπει να επανασχεδιαστούν ώστε να χωρέσουν στρογγυλές ράβδους. Για το λόγο αυτό η μέθοδος αυτή δεν είναι εφαρμόσιμη σε τέτοιες περιπτώσεις .

### Γ) Τεχνική της «καμπούρας»

Στην περίπτωση των εξωτερικών κομβών δεν είναι εύκολο ή αξιόπιστο να διαγνωστεί η λεπτομερής αιτία της βλάβης, οπότε συνιστάται η μέθοδος της "καμπούρας". Συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την επιμήκυνση δοκών ή, στην περίπτωση των ανώτερων ορόφων, δοκών και υποστυλωμάτων. Τα άκρα του διαμήκους οπλισμού της δοκού ή του υποστυλώματος αποκαλύπτονται και πάνω από αυτά συγκολλάται ένα νέο κομμάτι οπλισμού σε μήκος τουλάχιστον 200 mm από το εξωτερικό άκρο της διασταύρωσης. Στη συνέχεια τοποθετούνται συνδετηρες πυκνοί S500 Φ8/50 .





**Εικόνα 63:** Εφαρμογή χιαστί κολλάρων σε εξωτερικούς κόμβους

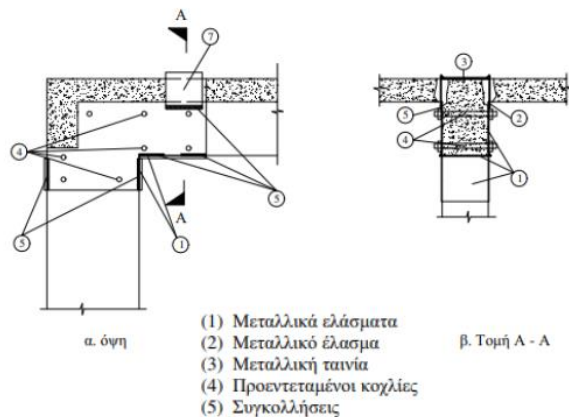
A) Με υποστύλωμα στον ανώτερο όροφο

B) Χωρίς υποστύλωμα στον ανώτερο όροφο

τεχνική αυτή ονομάζεται έτσι λόγω της μορφής της. Η "καμπούρα" μπορεί στη συνέχεια να ενσωματωθεί σε μανδύα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, όπως περιγράφεται παραπάνω. Επιπλέον, η επέκταση των στοιχείων (δοκών και των υποστυλωμάτων) σταθεροποιεί τη θέση των κολλάρων και βελτιώνει την αγκύρωση του οπλισμού των δοκών και των υποστυλωμάτων που συγκλίνουν στους κόμβους.

#### Δ) Εφαρμογή επικολλητών φύλλων από χάλυβα

Η χρήση της τεχνολογίας των χαλύβδινων ελασμάτων προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για την ενίσχυση των κόμβων. Πρόκειται για μια τεχνολογία που ενισχύει τους κόμβους χωρίς να μεταβάλλει το μέγεθος του κόμβου. Η τεχνολογία περιλαμβάνει την επέκταση των χαλύβδινων πλακών και στις δύο πλευρές του κόμβου και σε παρακείμενες δοκούς και υποστυλώματα για μήκος τουλάχιστον ίσο με το αντίστοιχο πλάτος του κόμβου (ΟΑΣΠ 2001).



**Εικόνα 64:** Ενίσχυση κόμβου με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα (ΟΑΣΠ 2001)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, η σύνδεση των πλακών στις υπάρχουσες δοκούς βασίζεται σε συγκολλητική σύνδεση, αλλά επιπλέον χρησιμοποιούνται βίδες και ντιζες για τη σύσφιξη των πλακών στα απέναντι πλευρικά τοιχώματα. Το πάχος των πλακών (ελασμάτων) που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι τουλάχιστον 4,0 mm και θα ενισχυθούν με βίδες και ντιζες ώστε να μην προκύψουν προβλήματα πρόσφυσης (ΟΑΣΠ 2001, Penelis & Karpos 1999).



**Εικόνα 65:** Ενίσχυση κόμβου με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα (Δρίτσος 2014)

### Ε) Συνθετικά υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs)

Η χρήση φύλλων ινοπλισμένου πολυμερούς (FRP) για την ενίσχυση των κόμβων έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι τα φύλλα είναι πολύ εύκολο να τοποθετηθούν σε δύσκολες περιοχές των κόμβων. Με τη μέθοδο αυτή, τα φύλλα στερεώνονται όχι μόνο στους κόμβους αλλά και σε παρακείμενα υποστυλώματα και δοκούς, όπως περιγράφεται στην εφαρμογή των χαλύβδινων πλακών (ΟΑΣΠ 2001).



*Εικόνα 66 : Ενίσχυση κόμβου με ινοπλισμένα πολυμερή (Δρίτσος 2014)*

### **10.3 Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης τοιχωμάτων**

#### **10.3.1 Επισκευη τοιχωματων**

Για την επισκευή των τοίχειων εφαρμόζονται οι ίδιες τεχνικές όπως και για τα υποστυλώματα. Για μικρές βλάβες χρησιμοποιούνται ρητινευσεις και επισκευαστικά κονιάματα, ενώ για μεγαλύτερες βλάβες χρησιμοποιείται η τεχνική της ισης διατομής με την χρήση μανδύα.

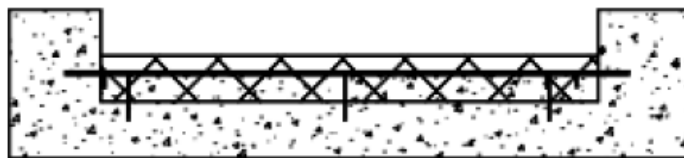
#### **10.3.2 Ενίσχυση τοίχωματων**

Όπως και στα υποστυλώματα, τα τοιχώματα μπορούν να ενισχυθούν με αύξηση της διατομής με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα ή με εξωτερική περισφιξη. Και στις δύο περιπτώσεις, ωστόσο, η επιλεγείσα μέθοδος πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να ληφθούν υπόψη τόσο η ιδιαίτερη συμπεριφορά του τοίχειου έναντι σεισμών όσο και οι περιορισμοί που επιβάλλει η γεωμετρία του στοιχείου (Σπυράκος 2004).

#### **Α) Ενίσχυση τοιχωματων με αυξηση αυξηση της διατομής τους (μανδύας Ο/Σ)**

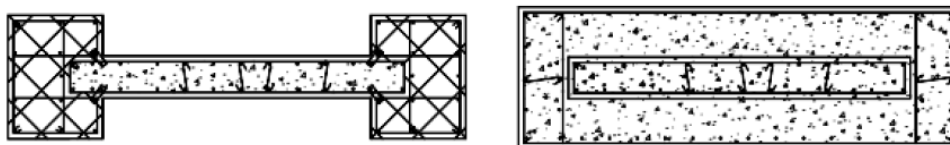
Η κατασκευή μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η πιο κοινή και αποτελεσματική μέθοδος ενίσχυσης των τοίχων. Σε αντίθεση με τα υποστυλώματα, όπου συνήθως επιλέγονται κλειστοι μανδύες, στα τοιχώματα γενικά δεν επιλεγονται κλειστοι. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο μήκος κάθε πλευράς, το οποίο ουσιαστικά αυξάνει το πάχος του

τοιχώματος στη μία ή και στις δύο πλευρές, με κύριο στόχο την αύξηση της διατμητικής αντοχής του τοιχώματος στην περίπτωση του μονοπλευρου μανδύα (Σπυράκος 2004).



*Εικόνα 67: Καμπτική ενίσχυση τοιχώματος*

Μια άλλη συνήθης μέθοδος, που χρησιμοποιείται κυρίως για την αύξηση της καμπτικής αντοχής των τοιχωμάτων, είναι η κατασκευή δύο κρυφουποστρωμάτων. Είναι επίσης δυνατή η κατασκευή κλειστού μανδύα γύρω από ολόκληρο το υφιστάμενο τοίχωμα.



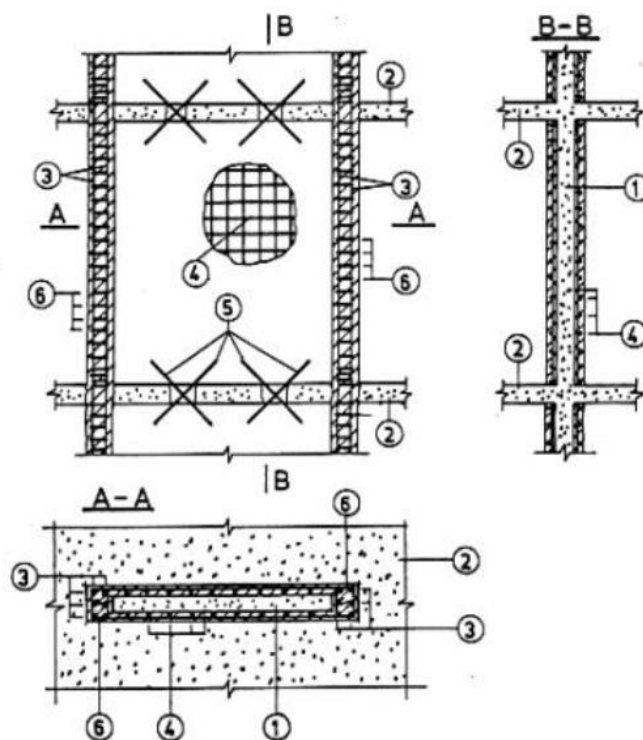
*Εικόνα 68(αριστερα) : Καμπτική ενίσχυση τοιχώματος*

*Εικόνα 69 (δεξια) : Διατμητική και καμπτική ενίσχυση τοιχώματος με κλειστό μανδύα*

Σε γενικές γραμμές, σε όλες τις περιπτώσεις, η εφαρμογή της τεχνικής της προετοιμασίας της παλιάς επιφάνειας και τοποθέτησης νέου οπλισμού είναι ακριβώς η ίδια με αυτή των υποστρωμάτων που περιγράφηκε προηγουμένως. Επιπλέον, το νέο σκυρόδεμα μπορεί είτε να χυτευτεί επί τόπου είτε να χρησιμοποιηθεί ως εκτοξευόμενο.



*Εικόνα 70: Ενίσχυση τοιχώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2014)*



1. παλαιό τοίχωμα, 2. παλαιά πλάκα, 3. πρόσθετος διαμήκης οπλισμός, 4. πρόσθετο πλέγμα, 5. διαγώνιοι σύνδεσμοι, 6. πρόσθετοι συνδετήρες.

*Εικόνα 70: Γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστό μανδύα (Δρίτσος 2005)*

## Β) Ενίσχυση τοιχωμάτων με περίσφιξη

Η χρήση εξωτερικών σφικτηρών στους τοίχους είναι πολύ λιγότερο συνηθισμένη από ό,τι στα υποστυλώματα. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ιδιαίτερη γεωμετρία του τοίχου, η οποία μειώνει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της περισφιγξης, και για το λόγο αυτό η μέθοδος αυτή δεν συνιστάται. Μεταξύ των διαδικασιών που μπορούν να επιτευχθούν με τη μέθοδο της περισφιγξης, η μέθοδος του μανδύα από ινοπλισμένο πολυμερές και η μέθοδος του μεταλλικού κλωβού έχουν εφαρμογή λόγω των πλεονεκτημάτων τους (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004).

Η μέθοδος του μανδύα από ινοπλισμένο πολυμερές έχει πλεονεκτήματα όπως η ευκολία εφαρμογής και η ικανότητα απορρόφησης διατμητικών και καμπτικών τάσεων. Από την άλλη πλευρά, τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου του μεταλλικού κλωβού είναι η υψηλή

ικανότητα απορρόφησης διατμητικών δυνάμεων και η χρησιμότητά της ως προσωρινή λύση για την απορρόφηση κατακόρυφων φορτίων σε περίπτωση σοβαρά κατεστραμμένων τοιχωμάτων που δεν μπορούν να μεταφέρουν με ασφάλεια αξονικά φορτία (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004).



*Εικόνα 71: Ενίσχυση τοιχώματος με μεταλλικό κλωβό*

Κατά τη περισιφιξη με τη μέθοδο των μεταλλικών κλωβών, η αποτελεσματικότητα μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση διαμπερών συνδέσμων τύπου Π ή Ζ που συγκολλούνται ηλεκτρικά σε απέναντι πλάκες κλωβού ανά 30 cm (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004).

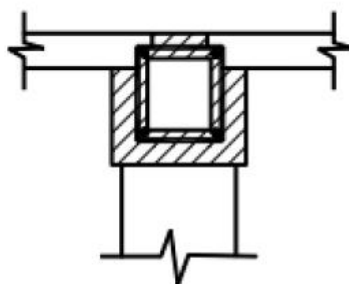
#### **10.4 Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης Δοκών/Πλακών**

Οι επεμβάσεις σε δοκούς περιλαμβάνουν όχι μόνο την αποκατάσταση των υφιστάμενων βλαβών αλλά και την ενίσχυση των δοκών, δηλαδή την περαιτέρω βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Στους σεισμούς οι βλάβες συγκεντρώνονται συνήθως στα σημεία σύνδεσης υποστυλωμάτων και δοκών. Επομένως, οι επεμβάσεις σε δοκούς αποτελούν συνήθως μέρος μιας συνολικής επέμβασης που αφορά κυρίως τα κατακόρυφα στοιχεία και τις συνδέσεις (Σπυράκος 2004).

Όπως και στην περίπτωση των υποστυλωμάτων, έτσι και στις δοκούς, ανάλογα με την έκταση της βλάβης, εφαρμόζονται τεχνικές όπως η συγκόλληση με μεταλλικά ελάσματα, οι ρητινενεσεις και οι μανδύες. Οι μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης των πλακών είναι οι ίδιες όπως και για τις δοκούς.

### 10.4.1 Επισκευή δοκών και πλακών

Οι επισκευές δοκών αποκαθιστούν τις αρχικές ιδιότητες των βλαμμένων δοκών. Οι επισκευές δοκών πραγματοποιούνται ανάλογα με την έκταση της βλάβης του στοιχείου. Σε περίπτωση μικρής βλάβης, οι ρωγμές κολλούνται με εποξειδική ρητίνη. Σε περίπτωση ρωγμών σε συνδιασμό με αποφλοιωση της επιφάνειας του σκυροδέματος, η βλαβη επισκευάζεται με επισκευαστικό κονίαμα. Συνήθως επιλέγεται ένα κονίαμα με βάση τη ρητίνη, αν και για μεγαλύτερο βάθος αποφλοιωσης προτιμώνται κονιάματα με βάση το τσιμέντο που δεν προκαλούν ρωγμές (Σπυράκος 2004).



*Εικόνα 72 : Ρητινενέσεις για συγκόλληση ρωγμών σε δοκό*

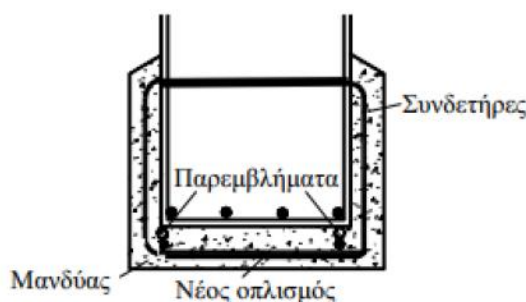
Εάν οι δοκοί έχουν τοπικές αστοχίες σκυροδέματος σε περιορισμένη έκταση, για την επισκευή χρησιμοποιείται η ακόλουθη διαδικασία (Σπυράκος 2004, Κυριαζόπουλος 2015):

1. Υποστύλωση της δοκού
2. Απομάκρυνση του σκυροδέματος που έχει υποστεί φθορά
3. Τοποθετείται ελαφρύ δομικό πλέγμα στην εξωτερική πλευρά των δοκών.
4. Πραγματοποιείται η κατασκευή μανδύα εκτοξευόμενου ή εγχυτού σκυρόδεματος

Συνήθως, αντί της τοποθέτησης πλέγματος για την επισκευή των κατεστραμμένων στοιχείων, επιλέγεται ταυτόχρονα η ενίσχυση της δοκού με επένδυση από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η πλάκα πρέπει να καθαιρεθεί ("χαντρωμα") στην περιοχή τοποθέτησης του μανδύα, πριν την κατασκευή του, καθώς και εκτράχυνση της εξωτερικής επιφάνειας της δοκού που θα συνδεθεί με τον μανδύα. Έπειτα, τοποθετούνται κατά μήκος οπλισμοί και συνδετήρες και για την κατασκευή του μανδύα χρησιμοποιείται έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Σπυράκος 2004).

Εάν η βλάβη της δοκού οφείλεται σε κάμψη, ο υφιστάμενος οπλισμός της δοκού αφαιρείται σε συγκεκριμένο σημείο πριν από τη σκυροδέτηση και ο νέος οπλισμός κάμψης συγκολλάται στον παλιό οπλισμό μέσω σύνδεσης μεταξύ των παρεμβλημάτων πριν από τη σκυροδέτηση και την κατασκευή του μανδύα. Η σύνδεση του μανδύα με την

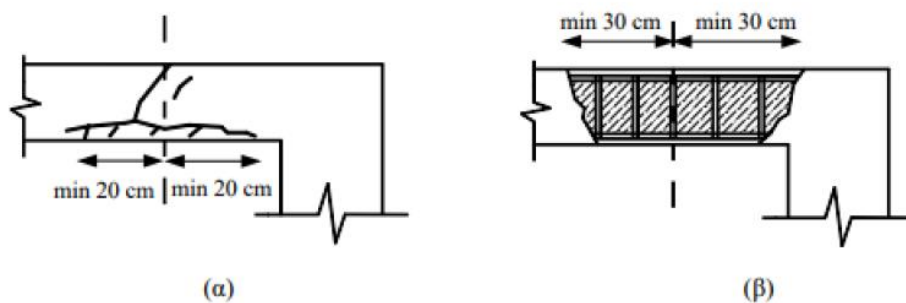
υφιστάμενη διατομή σκυροδέματος γίνεται είτε μέσω συνδετήρων που στερεώνονται σε εγκάρσιες οπές που ανοίγονται στο ενισχυμένο πλαίσιο της δοκού είτε μέσω χημικών αγκυριών. Εάν το πάχος της πλάκας αυξάνεται καθώς ενισχύεται η δοκός, οι συνδετήρες για τη σύνδεση των παλαιών και των νέων στοιχείων θα καλύπτουν ολόκληρη την ενισχυμένη δοκό (Σπυράκος 2004).



*Εικόνα 73 : Μανδύας για επισκευή δοκού σε κάμψη*

Σε περίπτωση πλήρους αποδιοργάνωσης της δοκού και ο διαμήκης και ο εγκάρσιος οπλισμός έχει υποστεί ζημιές, ακολουθείται η εξής διαδικασία (Σπυράκος 2004):

1. Υποσυλωση της δοκου
2. Καθαίρεται όλο το σκυρόδεμα από τη δοκό που έχει υποστεί βλάβη και καθαρίζεται καλά το υπόλοιπο τμήμα.
3. Επιθεωρούμε τον υπάρχοντα διαμήκη οπλισμό και, εάν είναι απαραίτητο, τον ενισχύουμε με ηλεκτροσυγκόλληση με νέο οπλισμό.
4. Αφαιρούνται τυχόν σπασμένα τμήματα και τοποθετούνται νέοι πυκνοί συνδετηρες
5. Διαμορφώνονται τις πλευρές του παλιού σκυροδέματος.
6. Τοποθετείται ο ξυλότυπος
7. Σκυροδέτηση του αφαιρεθέντος τμήματος



*Εικόνα 74 : Επισκευή δοκού με καθαίρεση και αποκατάσταση ίσης διατομής:  
(α) Ρηγματωμένη διατομή (β) Προσθήκη νέου οπλισμού*

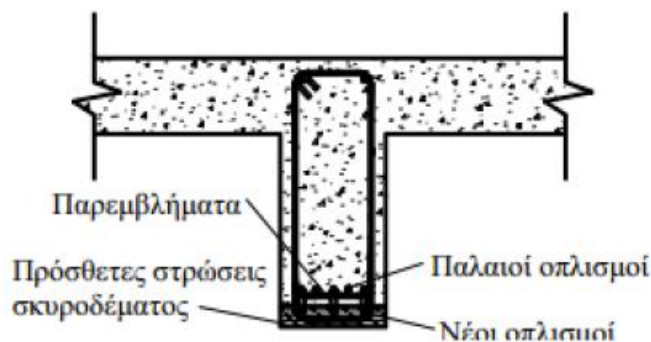


## 10.4.2 Ενίσχυση Δοκών/πλακών

### A) Ενίσχυση Δοκών σε κάμψη

#### A1) Καμπτική ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για την ισχυρή ενίσχυση των εφελκυσμενων πέλματων σε δοκούς και πλακες, είτε για την ενίσχυση των θλιβομενων πέλματων. Τα πέλματα που εφελκυνονται ενισχύονται συνήθως με νέο οπλισμό που καλύπτεται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 50-100 mm κατά τη διεύθυνση του πλάτους της δοκού. Τα πέλματα που θλιβονται ενισχύονται με επένδυση ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οπότε δεν απαιτείται πρόσθετος οπλισμός. Επιπλέον, οι προς ενίσχυση δοκοί πρέπει να αποφορτίζονται όσο το δυνατόν περισσότερο πριν από τη χρήση αυτής της μεθόδου (Dritso 2005, Σπυράκος 2004).



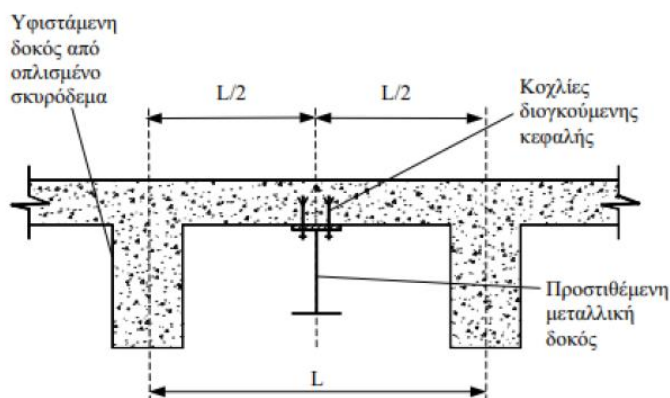
*Εικόνα 75 : Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος*

Η νέα στρώση σκυροδέματος και η δοκός συνδέονται συνήθως με χαλύβδινους βλητρα (διατμητικοί συνδέσμοι) ή συγκολληση με τον παλιό και τον νέο οπλισμό. Ανάλογα με το πάχος της νέας στρώσης, ο αποστάτης μπορεί να είναι είτε μια απλή κοιλότητα (λεπτομέρεια G1) είτε μια ράβδος σχήματος Z (λεπτομέρεια G2) (Dritso 2005).

Ωστόσο, η επιφάνεια του ενισχυμένου πέλματος πρέπει να έχει προηγηθεί επεξεργασία πριν από την αποκάλυψη του αδρανούς υλικού. Η εκκραχυνση της επιφανειας του τοιχώματος γίνεται με υδροβολή ή με κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό. Η προσεκτική προετοιμασία της διεπιφάνειας για την ένωση των παλαιών και των νέων στοιχείων είναι ιδιαίτερα σημαντική για να αποφευχθεί η αποκόλληση του επιπλέον στρώματος σκυροδέματος όταν ο ενισχυμένος φορέας υποστεί πρόσθετα φορτία (Σπυράκος 2004)

## A2) Ενίσχυση με προσθήκη νέων μεταλλικών μελών

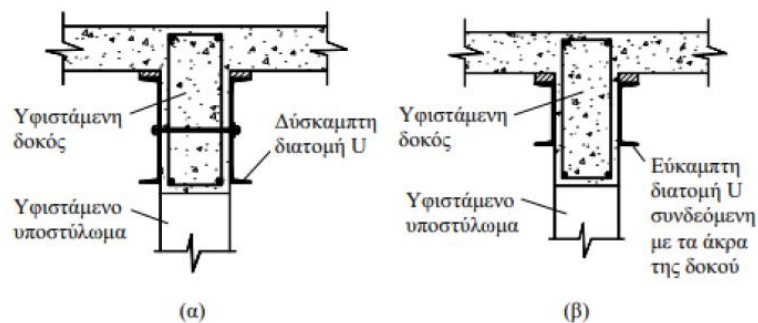
Η ενίσχυση δοκών οπλισμένου σκυροδέματος με την προσθήκη μεταλλικών στοιχείων είναι μια αποτελεσματική αλλά και οικονομικά αποδοτική μέθοδος ενίσχυσης. Ανάλογα με την αντοχή της πλάκας, το πρόσθετο στοιχείο μπορεί να τοποθετηθεί είτε μεταξύ των υφιστάμενων δοκών είτε σε επαφή με τα πλευρικά τοιχώματα της δοκού. Το προφανές πλεονέκτημα της τοποθέτησης των στοιχείων στη μέση των δοκών είναι ότι αυτόματα αυξάνεται σημαντικά η φέρουσα ικανότητα τόσο της πλάκας όσο και του συστήματος των δοκών, καθώς το άνοιγμα στην πλάκα μειώνεται στο μισό (Σπυράκος 2004, Σταθόπουλος κ.ά.).



*Εικόνα 76 : Ενίσχυση με την προσθήκη μεταλλικών δοκών στο μέσο του ανοίγματος της πλάκας*

Εάν οι νέες δοκοί τοποθετηθούν στις πλευρές των υφιστάμενων δοκών και λειτουργήσουν ως ενιαίος φορέας, θα δημιουργήσουν μια νέα σύνθετη διατομή με αυξημένη αντοχή σε σχέση με τις αρχικές δοκούς. Με αυτόν τον τρόπο, οι νέες δοκοί θα υποστηρίζουν μόνο το πρόσθετο φορτίο, ενώ η υπάρχουσα πλάκα και οι δοκοί θα συνεχίσουν να φέρουν το δικό τους βάρος. Ωστόσο, πριν από την τοποθέτηση των νέων στοιχείων, η πλάκα και οι δοκοί πρέπει να ανυψωθούν με γρυλούς για να εξαλειφθεί η παραμόρφωση που προκαλείται από τα βαρυντικά φορτία.

Μια άλλη μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί για την ενίσχυση δοκών οπλισμένου σκυροδέματος είναι η προσθήκη μεταλλικών διατομών U εκατέρωθεν της υπάρχουσας δοκού.



**Εικόνα 77 :** Προσθήκη νέων μεταλλικών μελών στις παρειές υφιστάμενης δοκού

(α) Δύσκαμπτες διατομές. (β) Εύκαμπτες διατομές

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, συνιστάται η σύνδεση των τριών δοκών μεταξύ τους μέσω αγκυρίων που διαπερνούν το σώμα της δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα και βιδώνονται στα άκρα στις μεταλλικές δοκούς, ώστε να εξασφαλίζεται ίση φέρουσα ικανότητα. Εάν χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος, η επιφάνεια της πλάκας πάνω από τις εν λόγω δοκούς πρέπει να εκκενωθεί και να αφαιρεθούν τα κινητά φορτία από τις δοκούς κατά τη διάρκεια των εργασιών ενίσχυσης (Σπυράκος 2004). Ένας άλλος τρόπος ενίσχυσης της ίδιας δοκού είναι η τοποθέτηση εύκαμπτων μεταλλικών διατομών U και στις δύο πλευρές της προς ενίσχυση δοκού και η σύνδεση μόνο των άκρων της. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να εφαρμοστεί μια ανοδική δύναμη στην υπάρχουσα δοκό για να μειωθεί το φορτίο της δοκού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε δίνοντας στη δοκό μια προκαθορισμένη θετική παραμόρφωση είτε σφηνώνοντας ένα διάκενο μεταξύ του πυθμένα της πλάκας και του μεταλλικού τμήματος (Σπυράκος 2004).

### A3) Ενίσχυση με μείωση του ανοίγματος της Δοκού

Μια άλλη μέθοδος ενίσχυσης των δοκών σε κάμψη είναι η μείωση του ανοίγματος της δοκού. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί όταν η εν λόγω δοκός βρίσκεται στο ισόγειο της κατασκευής. Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνεται με την κατασκευή πρόσθετων νέων υποστυλωμάτων. Η κατασκευή νέων υποστυλωμάτων απαιτεί θεμελίωση και η ανέγερσή τους απαιτεί την αφαίρεση μέρους της πλάκας (Σπυράκος 2004, Σταθόπουλος κ.ά.).

Ένας άλλος τρόπος μείωσης του ανοίγματος στη δοκό είναι η τοποθέτηση διαγώνιων συνδέσμων από τη βάση των υφιστάμενων υποστυλωμάτων σε κάποιο σημείο στην κάτω πλευρά της δοκού. Με τον τρόπο αυτό, ο διαγώνιος σύνδεσμος μεταφέρει το φορτίο στη βάση του υποστυλώματος και η υποκείμενη πλάκα το απορροφά καλύτερα. Με τη χρήση αυτής της μεθόδου μπορούν να αποφευχθούν πρόσθετες εργασίες θεμελίωσης (Σπυράκος 2004).

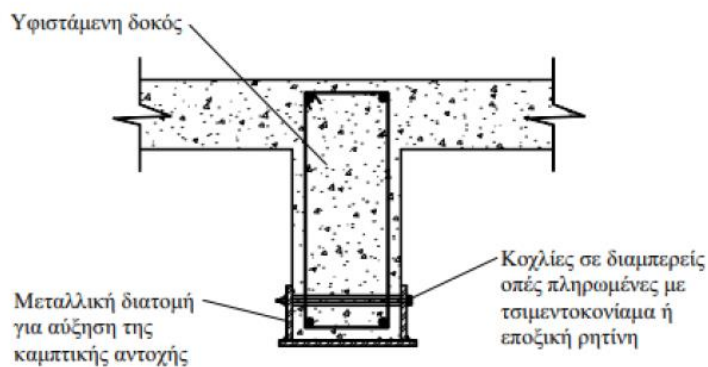


*Εικόνα 78 : Μείωση του ανοίγματος δοκού με χρήση μεταλλικού υποστυλώματος*

Και στις δύο παραπάνω μεθόδους, συνιστάται η χρήση μελών από χάλυβα καθώς μπορεί να τοποθετηθεί γρήγορα και εύκολα. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ζεύγος αγκυριών από χάλυβα για τη στερέωση του νέου στοιχείου στο υπάρχον, καθώς όλοι οι συνδεσμοί θλιβονται (Σπυράκος 2004).

#### **A4) Ενίσχυση με Προσθήκη Κοχλιωμένου Εφελκυσμένου Οπλισμού**

Εάν η υπάρχουσα δοκός δεν έχει επαρκή αντοχή σε κάμψη, μπορεί να ενισχυθεί είτε με την προσθήκη μεταλλικών πλακών (ελασμάτων) είτε με τη κοχλίωση συγκολλημένων μεταλλικών τμημάτων μεταξύ τους. Εάν η πρόσθετη περιοχή ενίσχυσης είναι μεγάλη, χρησιμοποιείται μια ανεστραμμένη συγκολλητή δομή σχήματος U, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Σύμφωνα με την προσέγγιση του παθητικού σχεδιασμού, ο νέος χάλυβας παραμένει αδρανής έως ότου το σκυρόδεμα αρχίσει να παραμορφώνεται υπό την επίδραση πρόσθετων φορτίων.



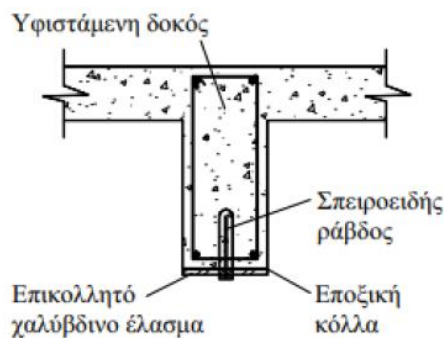
*Εικόνα 79 : Κοχλιωτή σύνδεση συγκολλητής μεταλλικής διατομής για αύξηση της καμπτικής αντοχής υφιστάμενης δοκού από σκυρόδεμα*

Το μέγεθος και η απόσταση των κοχλιών που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του νέου μεταλλικού τμήματος με την υφιστάμενη δοκό εξαρτάται από το μέγεθος του φορτίου σχεδιασμού που μεταδίδεται από το μεταλλικό μέλος στο σκυρόδεμα στην άρθρωση μέσω της εφελκυστικής και διατμητικής αντοχής των κοχλιών. Εάν οι κοχλίες διαπερνούν πλήρως το σώμα της δοκού, η θέση των οπών που θα διανοιχθούν πρέπει να επιλέγεται ιδιαίτερα προσεκτικά- γενικά συνιστάται η διάνοιξη των οπών όσο το δυνατόν πιο μακριά από τον άξονα του διαμήκους οπλισμού της δοκού (Σπυράκος 2004).

Εάν η δοκός είναι πολύ ασθενής, μια άλλη επιλογή είναι η προσθήκη δύο πλακών στην κορυφή και στο κάτω μέρος της δοκού. Οι πλάκες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους με βίδες που διατρέχουν κάθετα όλο το ύψος της δοκού. Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα, είναι πολύ δύσκολο να διανοιχθούν οπές διαμέσου του ύψους της δοκού και, επιπλέον, πρέπει να εφαρμοστεί ειδική επίστρωση στην επιφάνεια της πλάκας πάνω από τη δοκό για να καλυφθεί η άνω πλάκα και τα αγκύρια της (Σπυράκος 2004).

#### **A5) Ενίσχυση με Προσθήκη Επικολλητών Χαλύβδινων Ελασμάτων ή ινοπλισμένων πολυμερών**

Η αντοχή των δοκών σε κάμψη μπορεί να αυξηθεί με την επικόλληση των χαλύβδινων πλακών στην επιφάνεια του σκυροδέματος με εποξειδική κόλλα (ρητίνη). Προφανώς, είναι ευκολότερη η επικόλληση ελασμάτων στο σκυροδεμα και όχι η κοχλιωση τους σε αυτο. Τα ινοπλισμένα πολυμερή μπορούν επίσης να κολληθούν με τον ίδιο τρόπο όπως τα ελάσματα. Με την τεχνική αυτή, εκτός από την αύξηση της καμπτικής αντοχής, επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της καμπτικής δυσκαμψίας, περιορισμός της παραμόρφωσης και της ρηγμάτωσης.



*Εικόνα 80 : Ενίσχυση καμπτικής αντοχής δοκού με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα*

Η εφαρμογή των εποξειδικών κολλών μπορεί να επιτευχθεί με ρητινευση ή με εφαρμογή της κόλλας και στις δύο προς συγκόλληση επιφάνειες. Η σύνδεση δοκών με χαλυβδοέλασμα απαιτεί συνήθως πίεση για να επιτευχθεί η απαιτούμενη αντοχή της κόλλας. Για την ανάρτηση του ελάσματος και την αύξηση της διατμητικής αντοχής στην ένωση χρησιμοποιούνται μερικές φορές σπειροειδείς ράβδοι στερεωμένες σε κατακόρυφες οπές γεμάτες με τσιμέντο (Σπυράκος 2004, Σταθόπουλος κ.ά.).

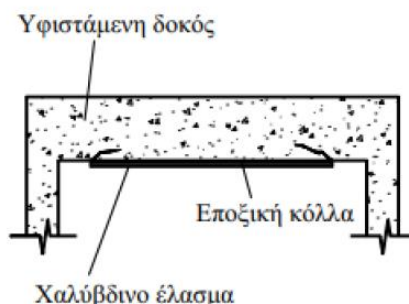
Οι τρεις πιο καθοριστικοί παράγοντες για την επιτυχία αυτής της μεθόδου είναι :

- η προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος στην οποία πρόκειται να συγκολληθούν οι χαλύβδινες πλάκες. Αυτό απαιτεί την εκτραχυνση και την αφαίρεση των ασθενών στρωμάτων σκυροδέματος στην επιφάνεια, ιδίως όπου υπάρχουν ίχνη ενανθράκωσης.
- Η αντοχή της συναφείας της εποξειδικής κόλλας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με εκείνη του σκυροδέματος. Η κόλλα πρέπει επίσης να είναι συμβατή με τις περιβαλλοντικές συνθήκες του εργοταξίου.
- Οι χαλύβδινες πλάκες (ελάσματα) πρέπει να έχουν επαρκές μήκος και πλάτος ώστε να αποφεύγεται η αστοχία του συστήματος λόγω αποκόλλησης των χαλύβδινων πλακών από τις δοκούς.



*Εικόνα 81 : Ενίσχυση δοκού με μεταλλικές λάμες*

Το κύριο μειονέκτημα αυτής της μεθοδου είναι οι υψηλές συγκεντρωμένες τάσεις που εμφανίζονται στα στερεωμένα άκρα των πλακών. Οι εν λόγω ακραίες τάσεις μπορεί να οδηγήσουν σε αποκόλληση των τμημάτων σκυροδέματος που γειτνιάζουν με την πλάκα.



*Εικόνα 81 : Αστοχία στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων ελάσματος*

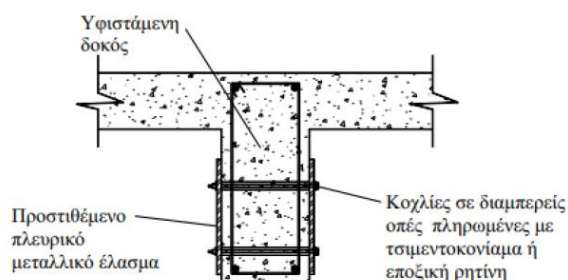
Για να αποφευχθεί αυτό η αστοχία το μήκος της αγκυρωσης των ελασματος πρέπει να είναι επαρκές, εκτός από τις περιοχές όπου απαιτείται οπλισμός κάμψης. Θα πρέπει επίσης να ελέγχεται η συγκέντρωση καμπτικών και διατμητικών τάσεων στις ζώνες των άκρων λόγω ασυνεχειών στα συγκολλημένα ελάσματα. Μια συνήθης μέθοδος μείωσης των συγκεντρωμένων τάσεων είναι η σταδιακή μείωση του πάχους των ακμών της πλάκας (Κ. Σπυράκος 2004). Ένα άλλο μειονέκτημα του συστήματος ενίσχυσης δοκών με συγκολλημένες χαλύβδινες πλάκες είναι ο κίνδυνος διάβρωσης του χάλυβα στη διεπιφάνεια με το σκυρόδεμα. Η επικάλυψη των χαλύβδινων πλακών με ειδικές αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις δεν είναι η καλύτερη λύση λόγω της πιθανής αλληλεπίδρασης με την εποξειδική κόλλα. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η προσθήκη εξωτερικού οπλισμού με τη μορφή ελάσματος δεν αποτελεί μακροπρόθεσμη λύση εάν η κατασκευή αντιμετωπίζει προβλήματα διάβρωσης (Σπυράκος 2004, Σταθόπουλος κ.ά.).



*Εικόνα 82: Ενίσχυση δοκού με χαλύβδινα ελάσματα*

### **B) Ενίσχυση Δοκών σε Διάτμηση**

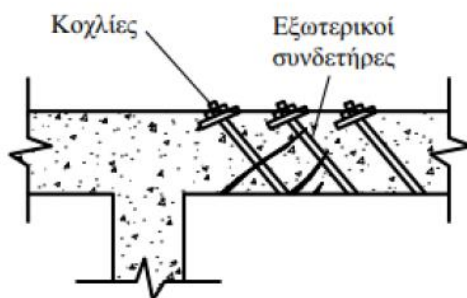
Για τον διατμητική ενίσχυση των δοκών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες μέθοδοι όπως και για την ενίσχυση σε κάμψη. Ειδικότερα, για να αυξηθεί η διατμητική αντοχή μιας δοκού, δύο μεταλλικές πλάκες μπορούν να τοποθετηθούν στις εγκάρσιες πλευρές της δοκού και να συνδεθούν με τη δοκό με κοχλίες που διατρέχουν εγκάρσια το σώμα της δοκού σε τουλάχιστον δύο σημεία.



*Εικόνα 83 : Προσθήκη πλευρικών μεταλλικών ελασμάτων για αύξηση της διατμητικής αντοχής δοκού*

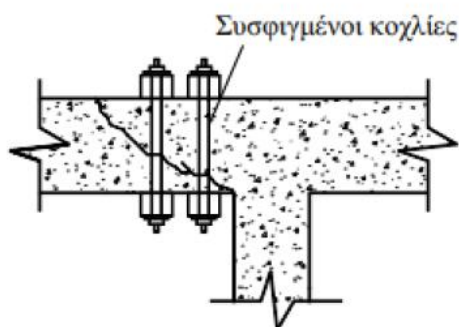
Μια άλλη μέθοδος αύξησης της διατμητικής αντοχής των δοκών είναι η προσθήκη συνδετήρων (σφιγκτήρων) που περισφιγγουν τη δοκό από έξω. Οι συνδετήρες αυτοί έχουν σχεδιαστεί για επιτρεπόμενη τάση ίση με το 50% της κανονικής επιτρεπόμενης τάσης και μπορούν να τοποθετηθούν κάθετα ή υπό γωνία 45°. Ωστόσο, η κατακόρυφη τοποθέτηση των συνδετήρων είναι απλούστερη και χρησιμοποιείται ευρύτερα. Οι συνδετήρες μπορούν να παραμείνουν ακάλυπτοι μετά τη βαφή, αλλά θα πρέπει να καλύπτονται με στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή τσιμεντοκονιάματος πάχους περίπου 20 mm (Τάσιος 1999, Σπυράκος 2004, Σταθόπουλος κ.ά.).





**Εικόνα 84 :** Διατμητική ενίσχυση δοκού με διαγώνιους εξωτερικούς συνδετήρες

Σε περίπτωση σοβαρής διατμητικής βλάβης, η προσθήκη πλευρικών ελασμάτων ή εξωτερικών στοιχείων συγκόλλησης δεν αρκεί για την επισκευή και ενίσχυση της δοκού, απαιτείται πρόσθετη ενίσχυση των στοιχείων μέχρι το σημείο αστοχίας. Ως εκ τούτου, ένα ζεύγος κοχλιών τοποθετείται και στις δύο πλευρές της ρηγματωμένης δοκού για την ενίσχυση του σκυροδέματος ώστε να μην καταρρεύσει κατά μήκος των ρωγμών.



**Εικόνα 85 :** Αύξηση διατμητικής αντοχής δοκού με σοβαρές διατμητικές βλάβες μέσω συσφιγμένων κοχλιών

## Γ) Ενίσχυση σε κάμψη και Διάτμηση

### Γ1) Ενίσχυση Δοκών με Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος

Η ενίσχυση των δοκών με μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για την αύξηση της αντοχής της δοκού σε κάμψη και διάτμηση. Πριν από τη σκυροδέτηση του κελύφους του μανδύα, τοποθετείται νέος διαμήκης οπλισμός στο παρακείμενο στοιχείο (παρεία υποστυλωματος) και νεοι συνδετήρες περιμετρικά του στοιχείου. Οι μανδύες μπορούν να δημιουργηθούν είτε με εγχυτο είτε με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αν και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα προτιμάται γενικά λόγω της ευκολίας κατασκευής.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως όταν απαιτείται διατμητικός οπλισμός δοκών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εάν απαιτείται μόνο αύξηση της αντοχής της δοκού σε κάμψη, η ενίσχυση με την προσθήκη μιας νέας στρώσης σκυροδέματος είναι η προτιμώμενη μέθοδος.

Εάν δεν μπορεί να κατασκευαστεί κλειστος μανδύας επειδή η πλάκα δεν μπορεί να καθαιρεθεί στην περιοχή πάνω από το επίπεδο θλίψης της δοκού, κατασκευάζεται ανοικτό κέλυφος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Σπυράκος 2004).



*Εικόνα 86 : Ενίσχυση δοκού και υποστρώματος με κατασκευή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος*

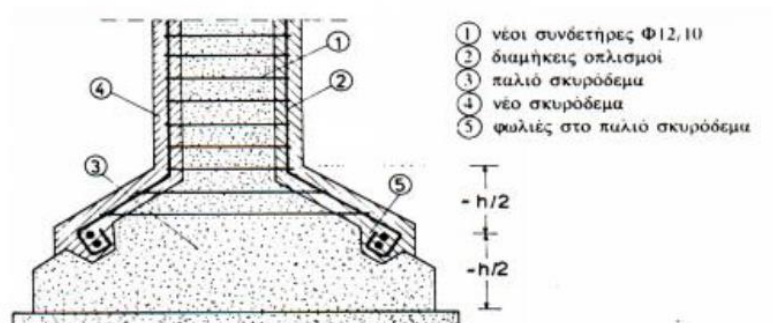
## 10.5 Ενίσχυση θεμελίωσης

Οι μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης των θεμελίων σχετίζονται κυρίως με παρεμβάσεις που διέπουν το αντικείμενο της εδαφομηχανικής. Όταν παρουσιάζονται βλάβες στα θεμέλια, οι λύσεις ενίσχυσης περιλαμβάνουν σχεδόν πάντα επεμβάσεις στο έδαφος θεμελίωσης, π.χ. ενίσχυση του εδάφους με σκυρόδεμα, κατασκευή ριζικών τοίχων κ.λπ. Ωστόσο, η ενίσχυση της θεμελίωσης δεν περιλαμβάνει μόνο την ενίσχυση της θεμελίωσης, αλλά και μεθόδους αγκύρωσης της βάσης των υποστρωμάτων στη θεμελίωση (Penelis & Karpos 1999).

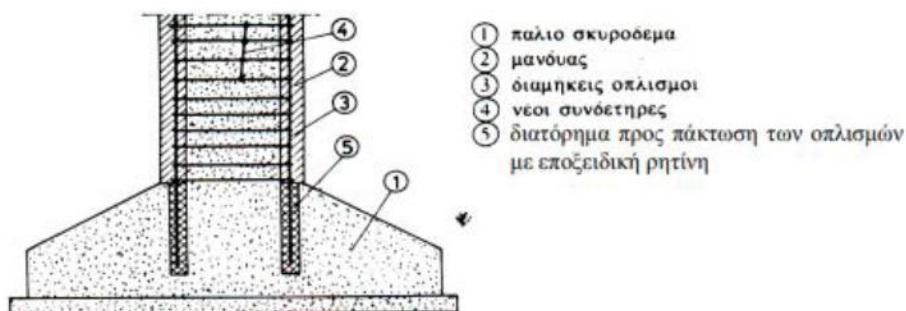
### **Α) Σύνδεση μανδύα υποστρώματος με πέδιλο**

Η απόφαση για διεύρυνση της βάσης του πεδிலου της θεμελίωσης μπορεί να βασίζεται είτε σε ανεπαρκή αρχική εκτίμηση των επιτρεπόμενων τάσεων είτε στο γεγονός ότι ενδέχεται να μεταφερθούν μεγάλες αξονικές δυνάμεις ως αποτέλεσμα της τοποθέτησης νέων

φερόντων στοιχείων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η επέκταση της βάσης του βάρου πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις ακόλουθες διατάξεις .



*Εικονα 87: Μανδουας στο πεδילו*

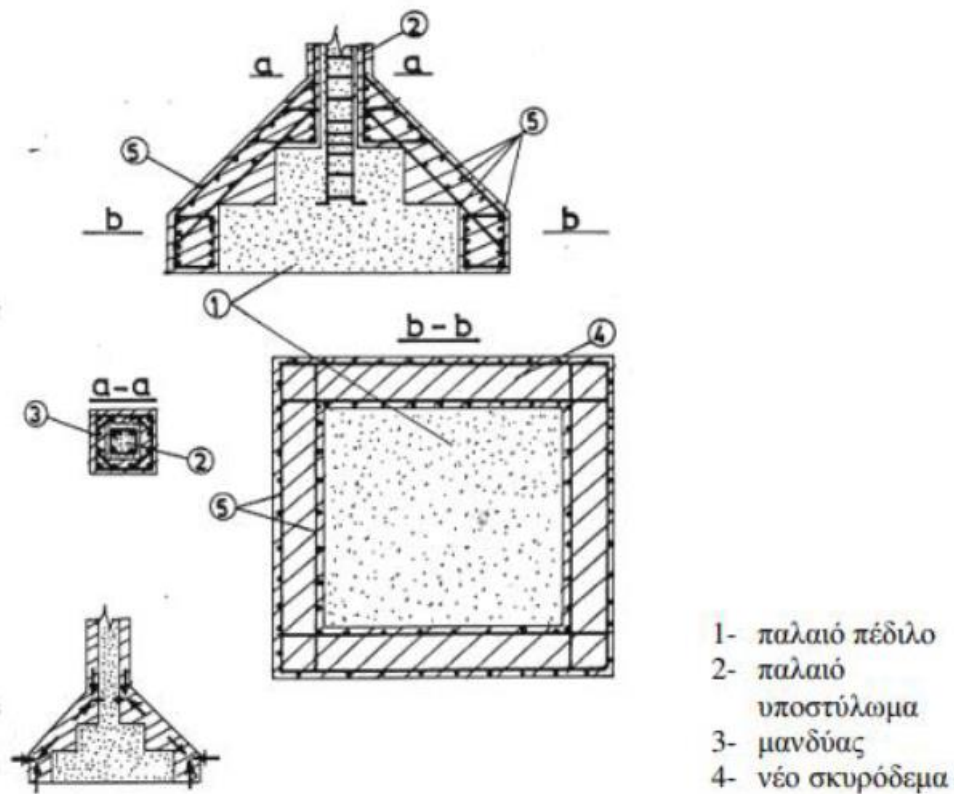


*Εικονα 88: Αγκόρωση οπλισμών μανδύα υποστυλώματος στο πέδιλο*

## **B) Ενίσχυση πεδύλου**

Οι παραπάνω διατάξεις ισχύουν όταν ο οπλισμός της βάσης συνεχίζεται μαζί με την μανδουα στο υποστυλώματος. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να τοποθετείται κλειστός ορθογωνικός δακτύλιος οπλισμού, που σχηματίζεται με μακρόστενες επικαλύψεις ή συγκολλήσεις, για την απορρόφηση των απαραίτητων δυνάμεων παραμόρφωσης και τη μεταφορά της πίεσης του εδάφους στον μανδύα του υποστυλώματος (Penelis & Karros 1999).

Το παραπάνω περιγραφόμενο σύστημα είναι πιο περίπλοκο από το συμβατικό, καθώς απαιτεί περιμετρική εκσκαφή κάτω από τα υφιστάμενα θεμέλια και εφαρμόζεται όταν ο οπλισμός της θεμελίωσης δεν είναι συνεχής με τον μανδύα στο υποστύλωμα. Επιπλέον, συχνά απαιτεί προσωρινή στήριξη και κατασκευή μόνο μιας θεμελίωσης κάθε φορά.



Εικόνα 89 : Ενίσχυση πεδίλου – υποστυλώματος

---

## ***ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ***

---

- Ροδοπουλος Χ. – Οι ρωγμες στο σκυροδεμα (e-archimedes)
- Ροδοπουλος Χ. - Αποκατάσταση στοιχείων σκυροδέματος που εμφανίζουν ενεργό διάβρωση του οπλισμού (e-archimedes)
- EN 1504-5:2005 – Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definition, requirements, quality control and evaluation of conformity. Part 5: Concrete injection, CEN.
- SIKA – Concreting Joints, Cracks and Voids Injection (in Portuguese). SIKA Products and Equipment Slideshow (provided by SIKA, September 2015).
- ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-14-01-07-02: Πλήρωση ρωγμών σκυροδέματος μεγάλου εύρους
- Εκπαιδευτικό Υλικό προγράμματος εξειδίκευσης TUV Austria Hellas on EN 1504
- Αγγελή, Γ., και Σταματοπούλου, Α. (2011). ‘Μέθοδοι ενίσχυσης και επισκευής υποστυλωμάτων – σύγκριση μεθόδων.’ 51–60
- Αναστασιάδης, Γ. (2016). “Πρωτογενής Οπτικός Έλεγχος”. 9ο Εθνικό Συνέδριο: “Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι”, Αθήνα.
- Αντωνιάδης, Π., Γκλαβίνας, Ι. και Χατζόγλου, Στ. 2013. “Έλεγχοι Υφιστάμενων Κατασκευών”. < <http://www.elykat.gr> > (Φεβρουαρίου 12, 2018).
- Αποστολόπουλου, Π. (2008). “Στρατηγικές επισκευής – ενίσχυσης κτιρίων Ο.Σ.”. 14ο Φοιτητικό Συνέδριο: “Επισκευές Κατασκευών”, Πάτρα.
- Βότσης, Ρ, 2017, Έλεγχος και παρακολούθηση των κατασκευών/υποδομών, σημειώσεις μαθήματος, Έξυπνη Διαχείριση Έργων Υποδομής με Αισθητήρες ΠΟΜ 328 Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, delivered 30 Ιανουαρίου 2017.
- Δρίτσος, Σ. (2005). Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Πάτρα.
- Δημοσθένους, Μ. Α., Τεχνικής, Ι., και Κατασκευών, Α. (2009). ‘Μέθοδοι και υλικά αποκατάστασης και ενίσχυσης διατηρητέων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία.’ Δημάδη Κ. και Κατσενίου Γ. (2007). “Διάβρωση Χάλυβα Οπλισμένου Σκυροδέματος & Τρόποι Αποκατάστασης.”
- Δρίτσος, Σ. (2007). “Στρατηγικές και Σχεδιασμός Αντισεισμικής Ενίσχυσης Κτιρίων”. Αθήνα.

- Ζώσιμα, Ε., και Στρατήγη, Β. (2007). 'Ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με ffr (ινοπλισμένα πολυμερή).
- Καϊάφας, Ν., και Τσαμόπουλος, Ν. (2006). 'Αντισεισμικές ενισχύσεις κτιρίων με σύνθετα υλικά.' Πτυχιακή εργασία, Αθήνα.
- Καϊρης, Σ., και Χατζηβασιλειάδης, Α. (2008). 'Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος.' 14ο Φοιτητικό Συνέδριο: «Επισκευές Κατασκευών», Πάτρα.
- Κκολός, Α, 2018, Αποκατάσταση συντήρηση και ενίσχυση παραδοσιακών κατασκευών, σημειώσεις μαθήματος, Οικοδομική ΙΙ ΠΟΜ 453 Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, delivered 7 Μαρτίου 2018.
- Καραγιάννης, Χ.Γ. (2006) "Επισκευές - Ενισχύσεις στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα Έμφαση σε ακραίους κόμβους δοκού - υποστυλωμάτων". 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη.
- Κάππος, Α. (2009). "Ανάλυση κτιρίου πριν και μετά την επέμβαση". Σεμινάριο:
- "Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ)", Αθήνα.
- Κυριαζόπουλος, Α 2015, Επισκευή, Ενίσχυση στοιχείων από Ο. Σ., σημειώσεις μαθήματος, Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών ΡΕΥ155 ΤΕΙ Αθήνας, delivered, 24 Νοεμβρίου 2015.
- Κυριαζόπουλος, Α 2015, Μέθοδοι Διάγνωσης Βλαβών Φέροντος Οργανισμού, σημειώσεις μαθήματος, Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών ΡΕΥ155 ΤΕΙ Αθήνας, delivered, Νοεμβρίου 2016.
- Μοσχοβού, Π. (2017). "Αποτίμηση και Ενίσχυση Πενταώροφης Οικοδομής με ΚΑΝ.ΕΠΕ." Πτυχιακή εργασία, Θεσσαλία.
- Μπάρος, Γ. και Μπαρούνη, Ε. (2007). "Ενίσχυση Κόμβου Δοκού –Υποστυλώματος με φύλλα Ινοπλισμένων Πολυμερών (Ffr) σε σύγκριση με την τεχνική Ενίσχυσης με μανδύα Οπλισμένου Σκυροδέματος". 13ο Φοιτητικό Συνέδριο: "Επισκευές Κατασκευών". Πάτρα.
- ΟΑΣΠ. 2001. "Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια". Αθήνα.
- Πενέλης, Γ. και Κάππος, Α. (1999). " Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα". Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Σπυράκος, Κ. (2004). Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία,