

Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

1. Εισαγωγή

Βασικές παράμετροι στην εξέλιξη της παραγωγής έργων Πολιτικού Μηχανικού υπήρξαν τα υλικά κατασκευής.

Η χρήση των υλικών στις κατασκευές τις περισσότερες φορές υπήρξε και η αιτία για τη γέννηση και ανάπτυξη ολόκληρων κλάδων της εφαρμοσμένης μηχανικής, όπως π.χ. *το οπλισμένο σκυρόδεμα, το προεντεταμένο σκυρόδεμα*, κλπ. Κρίσιμα βήματα στην εξέλιξη αυτή απετέλεσαν τα εξής υλικά :

- Η χρήση του λίθου
- Η χρήση των πλίνθων (5^η χιλιετία π.Χ.)
- Η χρήση της ασφάλτου (2^η χιλιετία π.Χ.)
- Η χρήση του ασβεστοκονιάματος
- Η χρήση των πουζολανικών κονιαμάτων (Ρωμαϊκό Μπετόν)
- Η χρήση του χυτοσιδήρου (19^{ος} αιώνας)
- Η χρήση του χάλυβα (20^{ος} αιώνας)
- Η βιομηχανική παραγωγή τσιμέντου (19^{ος}-20^{ος} αιώνας)
- Το οπλισμένο σκυρόδεμα (20^{ος} αιώνας)
- Το προεντεταμένο σκυρόδεμα (20^{ος} αιώνας)
- Τα ινοπλισμένα πλαστικά F.R.P. (τέλος 20^{ου} αιώνα)

Είναι αξιοσημείωτο ότι εδώ και 7.000 χρόνια ο άνθρωπος χρησιμοποιεί μόνον 10 περίπου υλικά για την κατασκευή των έργων.

Απ'όλα τα παραπάνω υλικά το σκυρόδεμα παρουσιάζει την ευρύτερη χρήση απ'όλα τα άλλα δομικά υλικά, τόσο στη χώρα μας όσο και διεθνώς με παγκόσμια κατανάλωση που κυμαίνεται γύρω στα 5,5 δισεκατομμύρια τόννους ετησίως. Αυτό οφείλεται στον εξαιρετικά ευνοϊκό συνδυασμό ιδιοτήτων και κόστους και ειδικότερα :

- ♦ Στην εξαιρετική συμπεριφορά του υλικού στο νερό (είναι εντυπωσιακό το γεγονός ότι ακόμη σώζονται υδραγωγεία από σκυρόδεμα της Ρωμαϊκής εποχής) και γενικά στην πολύ μεγάλη ανθεκτικότητά του στην διάρκεια του χρόνου και στις περιβαλλοντικές επιδράσεις.
- ♦ Στην ευκολία με την οποία κατασκευές από σκυρόδεμα μορφώνονται σε μια τεράστια ποικιλία μορφών, σχημάτων και μεγεθών.
- ♦ Στο χαμηλό, ακόμα, κόστος του, στη μεγάλη και άμεση διαθεσιμότητα των συστατικών του και στη σχετικά μικρή ενέργεια που απαιτείται για την παρασκευή του.

Αυτοί οι λόγοι και πολλοί άλλοι επέβαλαν το σκυρόδεμα σε όλους σχεδόν τους τομείς των κατασκευών και έγινε το δομικό υλικό του αιώνα.

Με το υλικό αυτό « **το σκυρόδεμα** » θα ασχοληθούμε στην παρούσα εργασία ελπίζοντας ότι θα καλύψουμε ένα αρκετά μεγάλο τμήμα της τεράστιας έκτασης του αντικειμένου.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το σκυρόδεμα, με την μορφή που το γνωρίζουμε, είναι σχετικά νέο υλικό, που απέκτησε μεγάλη σημασία και εφαρμογή τα τελευταία 150 χρόνια. Οι ρίζες του όμως φθάνουν πολύ παλιά και η ιστορική του διαδρομή έχει ως εξής:

- Το 500 π.Χ. οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούν ήδη σε τεχνικά έργα ένα είδος πουζολανικού σκυροδέματος, που ήταν μίγμα κονιάς πουζολανικής προέλευσης και αμμοχαλίκων. Με το υλικό αυτό κατασκευάστηκε η δεξαμενή νερού στην αρχαία Κάμειρο της Ρόδου. Το υψηλής αντοχής και στεγανότητας υλικό της ανωτέρω δεξαμενής έγινε αντικείμενο επισταμένης έρευνας,
- Το 150 π.Χ. οι Ρωμαίοι ανακάλυψαν το Ρωμαϊκό σκυρόδεμα, που ήταν ένα χονδρόκοκκο κονίαμα που αποτελείτο κυρίως από ασβέστη, ηφαιστειογενή κονία και χαλίκια ή θραυστά υλικά. Το μίγμα αυτό χρησιμοποιήθηκε ως συνδετικό υλικό λίθων ή πλίνθων για την κατασκευή ναών, θεάτρων, υδραυλικών ή λιμενικών έργων και το αναφέρει ο Βιτρούβιος ως «opus caementitium». Με το υλικό αυτό κατασκευάστηκε το «Πάνθεον της Ρώμης» το 27 π.Χ.
Συνέβαλε σημαντικά στην εξέλιξη της θολοδομίας και των τοξοτών κατασκευών. Ιστορικά συνέπεσε με την καταστροφή της Καρθαγένης.
- Το 1546 μ.Χ. στη Φρανκφούρτη τυπώνονται οι πρώτες οδηγίες κατασκευής έργων και ο τρόπος παρασκευής κονιάματος δόμησης με ασβέστη που προέρχεται από όπτηση ασβεστολίθων. Τις οδηγίες αυτές έγραψε ο L. Fronsperger.
- Τον 17^ο αιώνα ο Belidor έκανε γνωστό τον όρο «beton». Η λέξη προέρχεται από τα Γαλλικά, όπου «betun», «Becton» σημαίνει «ιλύς, πλαστικός πηλός» ή «beter» που σημαίνει υλικό που πήγνυται και σκληρύνεται.

- Το 1786 ο Άγγλος J. Parker παρασκευάζει με όπτηση ασβεστομάργας με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο μια συνδετική κονία που την ονομάζει «Roman Cement» από το λατινικό όρο «caementitium» που σημαίνει άθραυστη πέτρα.
- Το 1788 γίνεται η έναρξη κατασκευής της πύλης του Βραδεμβούργου στο Βερολίνο με χρήση τέτοιων υλικών. Χρονικά συμπίπτει με την κατασκευή του πρώτου ατμόπλοιου (1807), καθώς και με τη Γαλλική Επανάσταση (1789).
- Το 1824 ο Άγγλος J. Aspidin ανακαλύπτει το τσιμέντο Portland. Ο όρος «Portland Cement» δόθηκε από τον Aspidin στη συνδετική κονία που παρασκεύασε από μίγμα ασβεστολίθου και αργίλλου, το οποίο μετά από άλεση και όπτηση το ξαναάλεσε. Επειδή η ανάμειξη της κονίας αυτής με νερό έδινε στο μίγμα χρώμα όμοιο με των πετρωμάτων της πόλης Portland της Αγγλίας ο Aspidin ονόμασε την κονία Τσιμέντο Πόρτλαντ. Για την ανακάλυψη της κονίας αυτής ο Aspidin πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη «Βελτίωση της μεθόδου παρασκευής ενός τεχνητού λίθου», όπως τιτλοφορήθηκε το δίπλωμά του,
- Το 1826 κατασκευάστηκε το πρώτο εργοστάσιο τσιμέντου στην Αγγλία.
- Το 1840 ιδρύθηκε το πρώτο εργοστάσιο τσιμέντου στη Γαλλία.
- Το 1844 ο Άγγλος C.F. Johnson ορίζει τη θερμοκρασία όπτησης του τσιμέντου και έτσι αρχίζει η συστηματική βιομηχανική παραγωγή του τσιμέντου Portland. Με το υλικό αυτό συνεχίστηκε η κατασκευή του καθεδρικού ναού της Κολωνίας που είχε αρχίσει το 1842. Η συστηματική βιομηχανική παραγωγή του τσιμέντου συμπίπτει ιστορικά με την κατασκευή της πρώτης σιδηροδρομικής γραμμής στην Γερμανία (1835) και συνέβαλε στην πραγματοποίησή της.
- Το 1845 ο Γάλλος κηπουρός J. Monier πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας κατασκευάζοντας, για πρώτη φορά, γλάστρες από τσιμεντοκονία και συρμάτινο πλέγμα. Αργότερα ο ίδιος πήρε και διάφορα άλλα διπλώματα ευρεσιτεχνίας κατασκευάζοντας, με την ίδια τεχνική, σωλήνες, πλάκες, γέφυρες και θεωρείται ως ο εφευρέτης του οπλισμένου σκυροδέματος.
- Το 1855 ιδρύθηκε το πρώτο εργοστάσιο τσιμέντου στη Γερμανία. Επίσης ο F. Coignet παίρνει γαλλικά και αγγλικά διπλώματα ευρεσιτεχνίας για οπλισμένες πλάκες και σχεδιάζει τους πρώτους

αναμικτήρες σκυροδέματος, ενώ το 1861 δημοσιεύει στοιχεία για κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Επίσης το 1861 ο Goignet εκδίδει βιβλίο όπου παρουσιάζονται ορισμένες γνώσεις για το σύμμικτο υλικό. Επίσης το 1855 στο Παρίσι ο B.Lambot κατασκευάζει μια βάρκα από οπλισμένη τσιμεντοκονία, η οποία παρουσιάστηκε στη διεθνή έκθεση που έγινε στο Παρίσι και θεωρήθηκε ως ειδική εφαρμογή του οπλισμένου σκυροδέματος.

- Το 1867 παρουσιάζονται για πρώτη φορά στη διεθνή έκθεση του Παρισιού πλάκες και θόλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα και προκαλούν την γενική εντύπωση.
- Το 1873 ο Αμερικανός W.E.Ward έφτιαξε κοντά στη Ν.Υόρκη ένα σπίτι από οπλισμένο σκυρόδεμα, το «ward's Castle» που υπάρχει και σήμερα.
- Το 1875 κατασκευάζεται η πρώτη πεζογέφυρα από οπλισμένο σκυρόδεμα, ανοίγματος 16 μέτρων.
- Το 1877 εκπονείται ο πρώτος Γερμανικός Κανονισμός για το τσιμέντο. Τότε έγινε η ίδρυση πολλών κατασκευαστικών επιχειρήσεων, όπως οι «Dycker hoff and Widman, Held and Franke, Wayss and Freytag», κλπ. Χρονικά συνέπεσε με την κατασκευή του πρώτου ηλεκτρομαγνητικού τηλεφώνου (1872) και την ίδρυση του 2^{ου} Γερμανικού Ράιχ (1871).
- Το 1878 ο T.Hyatt παίρνει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στην Αμερική για σκυρόδεμα ενισχυμένο με ράβδους για την κατασκευή σωλήνων, δοκών, θόλων κλπ. και θεωρείται ο πρωτοπόρος των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο Hyatt από το 1850 άρχισε συστηματικά πειράματα αντοχής και συμπεριφοράς σε πυρκαϊά. Το 1877 εκδίδει βιβλίο για το οπλισμένο σκυρόδεμα. Είχε εξακριβώσει από τότε ότι οι ράβδοι του οπλισμού πρέπει να τοποθετούνται στην εφελκυσμένη ζώνη, οι εφελκυστικές δυνάμεις, που αναλαμβάνουν οι ράβδοι, εξαρτώνται από τη θέση τους στη δοκό και η συνεργασία του σκυροδέματος και του χάλυβα οφείλεται στη συνάφεια.
- Το 1885 ο αρχιτέκτονας M. Koenen στη Γερμανία αναπτύσει για πρώτη φορά μια μεθοδολογία στατικού υπολογισμού των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα με πρόταση χρησιμοποίησης του σιδήρου για την ανάληψη των τάσεων ελκυσμού και του σκυροδέματος για την ανάληψη των τάσεων θλίψεως.

- Το 1892 ο F. Hennebique εισάγει στη Γαλλία την έννοια της «πλακοδοκού» (συνεργασία πλάκας και δοκού στη μόρφωση των φερόντων οργανισμών). Επίσης από τον Hennebique εφαρμόστηκαν οι πάσσαλοι και οι πασσαλοσανίδες σε έργα θεμελιώσεων των κατασκευών.
- Το 1895 ιδρύεται η Γερμανική Ένωση Σκυροδέματος. Χρονικά συμπίπτει με την κατασκευή του πύργου του Eiffel (1889) και την ανακάλυψη των ακτίνων Röntgen (1895), επίσης ιστορικά συμπίπτει με την ασφάλιση των ηλικιωμένων και ανικάνων για εργασία στη Γερμανία (1889).
- Το 1902 ο E. Mörsch δημοσίευσε και ανέπτυξε την πρώτη ρεαλιστική θεωρία υπολογισμού στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιώντας και πειραματικά δεδομένα. Στον καθηγητή αυτόν του Πολυτεχνείου της Στουτγάρδης οφείλεται η ανάπτυξη της θεωρίας του «δικτυώματος» για τον υπολογισμό του οπλισμού διάτμησης. Θεωρείται ότι αποτελεί τη βάση των σύγχρονων μεθόδων διαστασιολόγησης.
- Το 1904 ο Γερμανικός Σύνδεσμος Σκυροδέματος εκδίδει «προσωρινές οδηγίες για την εκτέλεση και τον έλεγχο των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα».
- Το 1906 ο Koennen (Γερμανία) κάνει τα πρώτα πειράματα για προεντεταμένο σκυρόδεμα, τα οποία όμως απέτυχαν λόγω χαμηλής ποιότητας των χαλύβων. Η προένταση από 60 MN/m^2 μόνο, χανόταν λόγω της συστολής ξηράνσεως και του ερπυσμού του σκυροδέματος.
- Το 1915 βγήκαν οι πρώτοι κανονισμοί σιδηροπαγούς σκυροδέματος και συμπίπτουν χρονικά με την κατασκευή του μεγάρου της εκατονταετηρίδας στο Breslau (1913) και βέβαια ιστορικά και μόνο συμπίπτουν με το πρώτο μοντέλο της δομής του ατόμου (1911) και την κήρυξη του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου (1914).
- Από το 1919 αρχίζει η κατασκευή πλήθους κτηριακών έργων και γεφυρών από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως η κατασκευή του πλανηταρίου Zeis στη Jena (1925). Ιστορικά συμπίπτει με την θεωρία της σχετικότητας (1915) και το Σύνταγμα της Βαϊμάρης (1919).
- Το 1928 ο E. Freyssinet αναπτύσσει μεθόδους υπολογισμού με γάλυβες υψηλής αντοχής, που επιτρέπουν την δημιουργία υψηλών μόνιμων θλιπτικών τάσεων στα δομικά στοιχεία και καθιερώνει το «προ-

εντεταμένο σκυρόδεμα». Η ιδέα της προέντασης για την αντιμετώπιση της ρηγματώσης είχε ήδη προταθεί από τον M.Koenen από το 1907 (τάνυση χαλύβδινων ράβδων για την αποφυγή ρωγμών, αλλά τότε οι προσπάθειες απέτυχαν, γιατί τότε δεν ήταν γνωστή η συμπεριφορά του σκυροδέματος λόγω ερπυσμού και γήρανσης, παράγοντες που συντελούν στην απώλεια μέρους της αρχικής δύναμης προέντασης στον κοινό χάλυβα.

- Το 1936 στο Dischinger της Γερμανίας κατασκευάστηκε η πρώτη γέφυρα από προεντεταμένο σκυρόδεμα, ανοίγματος $L = 69 \text{ m}$.
- Το 1937 επιχειρείται προένταση σε ραβδωτούς φορείς και κατασκευάζεται η σιδηροδρομική γέφυρα στο Aue (1937), τότε που έγινε η τεχνητή διάσπαση του ατόμου (1938) και η κήρυξη του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου.
- Το 1940 ο Γάλλος Freyssinet χρησιμοποιεί πολύκλωνους τένοντες και αγκύρωση με σφήνες.
- Από το 1943 έως το 1953 ορίζονται οι πρώτοι κανονισμοί για το προεντεταμένο σκυρόδεμα.
- Το 1945 αμέσως μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο παρατηρείται μεγάλη διάδοση των κατασκευών από προεντεταμένο σκυρόδεμα.
- Το 1950 εισάγονται νέες μέθοδοι στη γεφυροποιία και τα άλλα έργα από σκυρόδεμα. Για πρώτη φορά κατασκευάζεται προεντεταμένη γέφυρα εν προβόλω πάνω από το Lahn (1950). Ιστορικά αναφέρεται ότι το 1948 ανακαλύφθηκε το τρανζίστορ και ιδρύθηκε η Ομοσπονδιακή Δημοκρατία της Γερμανίας (1949).
- Το 1954 εκδίδεται ο Ελληνικός Κανονισμός για τη μελέτη και εκτέλεση οικοδομικών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Το 1955 ο Rüschi στη Γερμανία δημοσίευσε βασικές εργασίες για την αντοχή και την παραμόρφωση του σκυροδέματος.
- Το 1972 πραγματοποιήθηκε η ριζική αλλαγή του κανονισμού οπλισμένου σκυροδέματος DIN 1045 και εισάγεται η μέθοδος της οριακής αντοχής, η διαδικασία αυτή κράτησε μέχρι το 1978.

- Το 1983 καθιερώθηκε ο Ευρωκώδικας 2 (EC2) από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Σκυροδέματος (CEB) στην προσπάθεια θέσπισης διεθνών κανονισμών κατασκευής έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Το 1991 τίθεται σε ισχύ ο νέος Ελληνικός κανονισμός για την μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα με την μέθοδο των οριακών καταστάσεων. Με τον κανονισμό αυτόν καταργείται ο παλιός του 1953, που ουσιαστικά αποτελούσε την Ελληνική μετάφραση των παλαιών κανονισμών DIN 1045 και χρησιμοποιούσε στον υπολογισμό την μέθοδο των επιτρεπομένων τάσεων, ενώ προσωρινά επί δύο χρόνια ίσχυαν παράλληλα και οι δύο. Ο νέος κανονισμός συμπληρώνεται από τον επίσης νέο Ελληνικό αντισεισμικό κανονισμό, που ίσχυσε από τους τελευταίους μήνες του 1992.
- Το 1995 τροποποιούνται ορισμένες διατάξεις των νέων Ελληνικών κανονισμών του 1991 και 1992.

3. ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (Άοπλο – Οπλισμένο)

1. Γενικά

Το σκυρόδεμα (Concrete) είναι ο τεχνητός λίθος, που προκύπτει μετά την σκλήρυνση, του μίγματος από αδρανή, τσιμέντο, που αποτελεί τη συνδετική κονία και νερό. Το σκυρόδεμα έχει μεγάλη θλιπτική αντοχή, αλλά σχετικά μικρή αντοχή σε εφελκυσμό και διάτμηση.

Τα αδρανή (Agregates) είναι η άμμος (ποταμού ή λατομείου) με διάμετρο κόκκων 0-7 mm και τα σκύρα με διάμετρο κόκκων 7-70 mm.

Το τσιμέντο (Cement) είναι το προϊόν όπτησεως σε υψηλή θερμοκρασία ασβεστολιθικής μάργας (ασβεστόλιθος και άργιλος) που μετά την όπτηση αλέθεται για τον σχηματισμό πολύ λεπτόκοκκου υλικού. Η υδραυλική κονία που προκύπτει μετά την άλεση έχει την ιδιότητα να σκληρύνεται και να παραμένει στερεά και μέσα στο νερό. Το τσιμέντο ως υδραυλική συνδετική κονία επηρεάζει αποφασιστικά την αντοχή του σκυροδέματος.

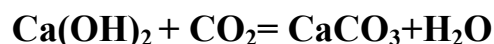
Το οπλισμένο σκυρόδεμα (Reinforced concrete) είναι το σκυρόδεμα που έχει ενσωματωμένο χάλυβα με τη μορφή ράβδων ή πλεγμάτων. Ο χάλυβας αποτελεί τον **οπλισμό** των δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα.

Στα δομικά στοιχεία που καταπονούνται σε κάμψη ή εφελκυσμό, ο οπλισμός παραλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις, τις οποίες αδυνατεί να παραλάβει το σκυρόδεμα, το οποίο σαν τεχνητός λίθος έχει μεγάλη θλιπτική αντοχή αλλά πολύ μικρή εφελκυστική.

Η παρουσία όμως του οπλισμού αυξάνει ακόμα περισσότερο τη φέρουσα ικανότητα των δομικών στοιχείων σε θλίψη.

Η συνεργασία του χάλυβα με το σκυρόδεμα επετεύχθει χάρη στον κοινό **συντελεστή θερμικής διαστολής** των δυο αυτών υλικών που είναι $\alpha_c \approx \alpha_{st} \approx 9.10^{-6}/K$ έως $12.10^{-6}/K$ και λαμβάνεται κατά μέσο όρο ίσος με 10.10^{-6} , δηλαδή επιμήκυνση περίπου 1 mm/m στους 100°C, η συνεργασία επίσης οφείλεται και στις αναπτυσσόμενες τάσεις συνάφειας μεταξύ των ράβδων του οπλισμού και του περιβάλλοντος αυτές σκυροδέματος.

Από χημικής πλευράς προϋπόθεση συνεργασίας για τα δύο αυτά υλικά είναι η διατήρηση αλκαλικού περιβάλλοντος ($pH > 12$) από πλευράς σκυροδέματος. Το περιβάλλον αυτό με την πάροδο του χρόνου καταστρέφεται λόγω ενανθράκωσης (carbonation) σύμφωνα με την αντίδραση:



Σύμφωνα με τη χημική αυτή αντίδραση το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας (CO_2) επιδρά στο υδροξείδιο του ασβεστίου $\{ Ca(OH)_2 \}$ του τσιμεντοπολτού και το μετατρέπει σε ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$) που μπορεί να προκαλέσει οξείδωση του ενσωματωμένου στο σκυρόδεμα χάλυβα.

Η οξείδωση του χάλυβα γίνεται σύμφωνα με την εξίσωση :



Η οξείδωση αυτή μπορεί να αποτραπεί όταν στα δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα υπάρχει πλήρης και επαρκής επικάλυψη του οπλισμού από το σκυρόδεμα και σε πάχος πολύ μεγαλύτερο από το βάθος που μπορεί να εισδύσει η ενανθράκωση.

2. Βασικές έννοιες

Νωπό σκυρόδεμα (Fresh concrete) χαρακτηρίζεται το σκυρόδεμα που μετά την ανάμειξη των υλικών δεν έχει ακόμα σκληρυνθεί και είναι ακόμη εύπλαστο. Το νωπό σκυρόδεμα τοποθετείται μέσα στα καλούπια (ξυλοτύπους ή σιδηροτύπους) προκειμένου να πάρει τη μορφή τους μετά τη συμπύκνωσή του με δονητές και την κατάλληλη συντήρησή του.

Άοπλο σκυρόδεμα (plain concrete) είναι το σκυρόδεμα στο οποίο δεν έχει ενσωματωθεί σιδηρούς οπλισμός.

Προεντεταμένο σκυρόδεμα (Prestressed concrete) είναι το σκυρόδεμα δομικών στοιχείων, όπου με «τάνυση» χαλύβδινων ράβδων υψηλής αντοχής (των τενόντων), εισάγονται στη μάζα του σκυροδέματος μεγάλες θλιπτικές δυνάμεις, οι οποίες αναιρούν τις αναπτυσσόμενες, σε εφελκυστικές περιοχές των διατομών, εφελκυστικές τάσεις, λόγω εξωτερικής φόρτισης και αποτρέπουν τη ρηγμάτωση του δομικού στοιχείου.

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Guniting, Shotcrete, Sprayed concrete) είναι το σκυρόδεμα εκείνο που αμέσως μετά την παρασκευή σε ειδικούς αναμκτήρες εκτοξεύεται μέσω σωλήνων με πίεση πεπιεσμένου αέρα διαμορφώνοντας φέροντα επιφανειακά στοιχεία με μικρό πάχος, αφού προηγουμένως έχει στερεωθεί στην επιφάνεια ο κατάλληλος οπλισμός. Χρησιμοποιείται για επένδυση σηράγγων, για ενίσχυση υπαρχόντων δομικών στοιχείων, από οπλισμένο σκυρόδεμα, με την επαύξηση της διατομής τους.

Έτοιμο σκυρόδεμα (Ready mixed concrete) είναι το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται σε μονάδες μαζικής παραγωγής και μεταφέρεται με ειδικά οχήματα (αναμκτήρες-βαρέλες), σε νωπή κατάσταση έτοιμο για σκυροδέτηση, στο έργο.

Προκατασκευή (Precast concreting) είναι κατασκευή δομικών στοιχείων σε εργοστασιακό επίπεδο και η μεταφορά τους εν συνεχεία στον τόπο του έργου και η δόμησή τους στην οριστική τους θέση. Η συναρμολόγηση έτοιμων δομικών στοιχείων περιορίζει σημαντικά το χρόνο και το κόστος της κατασκευής, αλλά έχει το σημαντικότερο μειονέκτημα της δυσχερούς μεταφοράς τους.

Συνάφεια (Bond) είναι η πρόσφυση και αγκύρωση της τσιμεντοκονίας στα αδρανή και του σκυροδέματος στον οπλισμό ή σε άλλη επιφάνεια με την οποία ήλθε σε επαφή όταν ήταν νωπό. Γενικότερα είναι η πρόσφυση και η αγκύρωση της επιφάνειας ενός υλικού στην επιφάνεια ενός άλλου.

Συνεκτικότητα (Consistency) είναι η ιδιότητα του νωπού σκυροδέματος που καθορίζει την σχετική ικανότητά του να κινείται.

Σκυρόδεμα ακάλυπτο-εμφανές (Exposed concrete, visual concrete) είναι σκυρόδεμα ανεπίχρηστο, που υφίσταται επιφανειακή επεξεργασία,

ώστε να ικανοποιεί ορισμένες αισθητικές απαιτήσεις. Ονομάζεται και αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα (Architectural Concrete, Decorative Concrete).

Σκυρόδεμα ανακυκλούμενο (Recycling concrete) είναι το σκυρόδεμα με αδρανή που προέρχονται από ανακύκλωση δηλαδή τη θραύση παλαιών σκυροδεμάτων.

Σκυρόδεμα αντλητό (Pumped concrete) είναι το σκυρόδεμα που μεταφέρεται στη θέση διάστρωσης με αντλία.

Σκυρόδεμα ινοπλισμένο (Fiber reinforced concrete) είναι σκυρόδεμα στο οποίο έχουν προστεθεί μεταλλικές ή πλαστικές ίνες μικρού μήκους και πάχους.

Σκυρόδεμα ισχνό (Lean concrete) είναι σκυρόδεμα χαμηλής περιεκτικότητας σε τσιμέντο.

Σκυρόδεμα με αερακτικό (Air entrained concrete) είναι σκυρόδεμα με μικροσκοπικές φυσαλίδες που δημιουργούνται από αερακτικό πρόσθετο.

Σκυρόδεμα ξηρής ανάμιξης (Truck-mixed concrete) είναι σκυρόδεμα που αναμιγνύεται, καθ' ολοκληρίαν, σε αυτοκίνητο αναμικτήρα.

Σκυρόδεμα μερικώς αναμιγμένο (Shrink-mixed concrete) είναι σκυρόδεμα που έχει αναμιχθεί μερικώς σε κεντρική εγκατάσταση. Η ανάμιξη συμπληρώνεται σε αυτοκίνητο αναμικτήρα κατά τη διαδρομή στο έργο.

Σκυρόδεμα με διογκούμενο τσιμέντο (Expansive-cement concrete). Σκυρόδεμα με διογκούμενο τσιμέντο, για την κάλυψη των συστολών πήξεως και ξηράνσεως ή για την επιβολή εφελκυστικών τάσεων στον οπλισμό.

Προεντυπισμένο σκυρόδεμα-σκυρόδεμα με τσιμεντοδιαποτισμό (Prepacked concrete). Σκυρόδεμα που σχηματίζεται με σκύρα, τα οποία έχουν πρωτοποθετηθεί στον ξυλότυπο και κατόπιν διαποτίζονται με ρευστή τσιμεντοκονία.

Σκυρόδεμα πλούσιο σε τσιμέντο (Fat concrete). Σκυρόδεμα με σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα τσιμέντου.

Σκυρόδεμα πολυμερικό (Polymer concrete) . Σκυρόδεμα στο οποίο μέρος της τσιμεντοκονίας έχει αντικατασταθεί, στη φάση της

παρασκευής, από ένα μονομερές υλικό που κατόπιν πολυμερίζεται. Επίσης είναι σκυρόδεμα, στο οποίο μετά την ενυδάτωση του τσιμέντου γίνεται εμποτισμός με μονομερές που κατόπιν πολυμερίζεται.

Σκυρόδεμα σκληρυμένο (Hardrent concrete). Σκυρόδεμα που έχει στερεοποιηθεί από ενυδάτωση του τσιμέντου και όχι από εξάτμιση του νερού ή υπερδόνηση.

Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής (High strength concrete, high performance concrete) . Σκυρόδεμα με αντοχή 28 ημερών, συνήθως μεγαλύτερη από 50 MPa.

Σκυροδέτηση-διάστρωση (Placement, concreting, pouring) είναι η διαδικασία τοποθέτησης του νωπού σκυροδέματος στον ξυλότυπο, της διάστρωσης και της συμπύκνωσής του.

Ενυδάτωση (Hydration) . Η χημική αντίδραση του τσιμέντου με το νερό.

Εργασιμότητα (Workability, Consistency, Consistent) είναι η ιδιότητα του νωπού σκυροδέματος που χαρακτηρίζει την ευκολία με την οποία αυτό μεταφέρεται, διαστρώνεται και συμπυκνώνεται.

Αλκαλοπυριτική αντίδραση (Alkali-silica reaction). Χημική αντίδραση μεταξύ των αλκαλίων του τσιμέντου και ενεργών πυριτικών συστατικών μερικών αδρανών, που προκαλεί διόγκωση και ρηγμάτωση του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Καταστροφικές ή άμεσες μέθοδοι ελέγχου (Destructive tests). Μέθοδοι προσδιορισμού της αντοχής του σκυροδέματος από την θραύση δοκιμίων ή πυρήνων (καρότα).

Αναλογίες συνθέσεως (Mix proportions) . Οι ποσότητες των υλικών που συνθέτουν 1m^3 συμπυκνωμένου σκυροδέματος.

Ανάμιγμα (Batch) . Η ποσότητα του σκυροδέματος που αποδίδει ο αναμικτήρας σε μια πλήρη φάση λειτουργίας του (φόρτωση, ανάμιξη, αποφόρτωση).

Ανθεκτικότητα (Durability). Η ικανότητα του σκυροδέματος να ανθίσταται στους δυσμενείς εξωτερικούς παράγοντες, όπως καιρικές συνθήκες, χημικές προσβολές, κρούσεις, τριβές, κλπ.

Απόμιξη (Segregation) . Ο διαχωρισμός των χοντρόκοκκων από τα λεπτόκοκκα υλικά. Οφείλεται σε κακή διαβάθμιση του μίγματος, σε μεγάλη περιεκτικότητα νερού, σε μεγάλη περιεκτικότητα νερού, σε υπερδόνηση ή σε συνδυασμό των προηγούμενων.

Διάβρωση σκυροδέματος (Erosion, corrosion). Βαθμιαία φθορά του σκυροδέματος που προκαλείται από χημικές ουσίες που βρίσκονται στον αέρα, το έδαφος ή τα υπόγεια νερά.

Δοκιμή καθίσεως (Slump test) . Η διαδικασία μέτρησης της κάθισης.

Εξίδρωση (Bleeding). Η ανάδυση νερού στην επιφάνεια του μόλις διαστρωθέντος σκυροδέματος ή της τσιμεντοκονίας.

Δονητής μάζας (Internal vibrator). Δονητής που καταλήγει σε δονούμενο στέλεχος, που βυθίζεται και δονεί τη μάζα του σκυροδέματος.

Εξωτερικός δονητής (External vibrator). Δονητής που συμπυκνώνει έμμεσα τη μάζα του σκυροδέματος, με ταλαντώσεις που δημιουργεί στην επιφάνεια του σκυροδέματος (δονητής επιφανείας) ή στον ξυλότυπο (δονητής ξυλοτύπου).

Μη καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου (Non-destructive tests). Μέθοδοι εκτιμήσεως της αντοχής του σκυροδέματος, από στοιχεία συμπεριφοράς του σε δοκιμές, που είτε δεν το καταστρέφουν (π.χ. μετάδοση υπερήχων, ιδιοσυχνότητες δοκιμίων κλπ.) είτε επιφέρουν τοπικές μικροκαταστροφές (π.χ. κρουσιμέτρηση, εξόλκευση ήλου). Επίσης είναι μέθοδοι υπολογισμού των δυναμικών ελαστικών σταθερών καθώς και εσωτερικών ανομοιομορφιών (Δυναμικές μέθοδοι).

Εξάπλωση (Flow). Μέτρο εργασιμότητας και συνεκτικότητας που εκφράζεται με την μέση διάμετρο σε cm που αποκτά μια κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος, που μορφώθηκε επάνω στην δονούμενη τράπεζα εξαπλώσεως, μετά από ορισμένο αριθμό αναπηδήσεων.

Πρόσθετα, βελτιωτικά σκυροδέματος (Admixtures) . Είναι τα υλικά που προστίθενται στο νωπό μίγμα για τη βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων.

Ερπυσμός (Creep). Το φαινόμενο της παραμόρφωσης με την πάροδο του χρόνου του σκληρυμένου σκυροδέματος, που φορτίζεται με σταθερό φορτίο.

Κάθηση (Slump). Μέτρο εργασιμότητας και συνεκτικότητας που εκφράζεται με την απώλεια ύψους σε cm που παρουσιάζει μία κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος, όταν ανασυρθεί η κωνική μήτρα (κώνος καθήσεως) με την οποία μορφώθηκε.

Ογκοσκυρόδεμα (Mass concrete). Σκυρόδεμα μεγάλου όγκου, για το οποίο πρέπει να ληφθούν μέτρα περιορισμού της θερμότητας ενυδάτωσης.

Ολισθαίνων ξυλότυπος (Slipform). Ξυλότυπος που μετακινείται οριζοντίως, καθέτως ή με ορισμένη κλίση με υδραυλικά συστήματα.

Πήγμα (Cement gel). Το κολλοειδές υλικό που σχηματίζεται από την ενυδάτωση του τσιμέντου.

Συστολή ξηράνσεως (Drying shrinkage). Μείωση του όγκου του σκυροδέματος που οφείλεται σε μείωση της υγρασίας του.

Ποζολάνη (Pozzolan). Πυριτικό ή αργίλοπυριτικό υλικό χωρίς ή με μικρές υδραυλικές ιδιότητες, το οποίο όμως σε λεπτό διαμερισμό και με την παρουσία υγρασίας αντιδρά με το υδροξείδιο του ασβεστίου, σε συνήθη θερμοκρασία και σχηματίζει υλικά που έχουν υδραυλικές ιδιότητες.

Προκατασκευή (Precast concreting). Η διαδικασία κατασκευής προκατασκευασμένου σκυροδέματος.

Προσβολή από θειικά (Sulfate attack). Χημική προσβολή του σκυροδέματος από τα θειικά του εδάφους ή των υπογείων νερών.

Ρηγματώση (Cracking). Λύση της συνέχειας της μάζας που οφείλεται σε εσωτερικούς παράγοντες, όπως η συστολή ξήρανσης, η πλαστική συστολή, αλλά και σε εξωτερικούς όπως υπερβολικά φορτία.

Πυρήνωση (Coring). Η διαδικασία αποκοπής πυρήνων-καρότων.

Σκωρία υψικαμίνων (Blast-furnace slag). Γαιώδη προϊόντα, κυρίως ενώσεις πυριτίου και αργίλοπυριτικού ασβεστίου, που σχηματίζονται κατά την τήξη των μεταλλευμάτων στις υψικαμίνους.

Σκωριόδεμα (Expanded slag concrete). Ελαφροσκυρόδεμα με αδρανή υλικά από διογκωμένη σκωρία υψικαμίνων.

Υφυγρό σκυρόδεμα (Stiff concrete, No slump concrete, Dry mix). Σκυρόδεμα με σχεδόν μηδενική κάθιση, δηλαδή με ελάχιστη εργασιμότητα.

Ωρίμανση (Maturity). Το γινόμενο του χρόνου συντήρησης επί την αντίστοιχη θερμοκρασία.

3. Προδιαγραφές

Οι κανονισμοί που διέπουν την μελέτη, παραγωγή, σκυροδέτηση και συντήρηση του οπλισμένου σκυροδέματος είναι :

- Κανονισμός για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα (1991, 1995).
- Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (1997)
- Κανονισμός Τσιμέντου για έργα από σκυρόδεμα (1980)
- Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ)
- Ευρωκώδικας 2 (EC2 1983)
- Πρότυπο ISO / DP 4357
- Αντισεισμικός Κανονισμός (1992, 1995)
- Αναλυτικό Τιμολόγιο Οικοδομικών Έργων (ΑΤΟΕ)

4. Μονάδες

Σύμφωνα με τον νέο κανονισμό για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα οι μονάδες που χρησιμοποιούνται προέρχονται από το Διεθνές Σύστημα Μονάδων S.I. (Système International).

Οι βασικές μονάδες είναι :

- Για το μήκος το μέτρο (m)
- Για τη μάζα το χιλιόγραμμο μάζας (kg)
- Για το χρόνο το δευτερόλεπτο (sec)

Η δύναμη είναι παράγωγο μέγεθος με μονάδα μέτρησης το **Newton (N)** και ισχύει η σχέση $1\text{N} = 1\text{ kg} \cdot \text{m}/\text{sec}^2$. Για την τάση μονάδα μέτρησης είναι το **Pascal (Pa)** και ισχύει $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μονάδες:

- Για συγκεντρωμένες δυνάμεις **KN**

- Για κατανεμημένες δυνάμεις **KN/m**
- Για συνεχή φορτία **KN/m²**
- Για ροπές **KN/m**
- Για τάσεις και αντοχές **MPa (=10³ KPa=N/mm² =MN/m²)**
- Για πυκνότητες **kg/m³**
- Για το μέτρο ελαστικότητας **GPa (10⁹Pa)**

Για τη μετατροπή μονάδων του Τεχνικού Συστήματος στο Διεθνές ισχύουν :

- Για βάρη, φορτία **1Kp = 10N**
 1t = 10 KN
 1t/m = 10 KN/m
- Για τάσεις **1Kp/cm² = 0,1 MPa**

Συμπερασματικά :

$$1MPa = 1N/mm^2 = 10^3 KN/m^2 = 0,1 KN/cm^2 = 10 kg/cm^2$$

$$1KN = 100 kg (δύναμης) = 0,1^t$$

3.1 Μέθοδοι Παρασκευής Σκυροδέματος (Κανονισμοί – Προδιαγραφές)

1. Κατηγορίες Σκυροδέματος

Με τις ίδιες πρώτες ύλες, δηλαδή αδρανή, τσιμέντο και νερό, αλλά μεταβάλλοντας τις αναλογίες τους στο μίγμα ή την κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών μπορεί να παραχθεί μία μεγάλη ποικιλία σκυροδεμάτων που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τις βασικές τους ιδιότητες.

Σύμφωνα με τον ΚΤΣ οι κατηγορίες σκυροδέματος, που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και κατασκευή των έργων, ορίζονται με βάση τη χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη κυλίνδρου διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm και την αντίστοιχη χαρακτηριστική αντοχή κύβου ακμής 15 cm σε MPa. Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη είναι εκείνη που κάτω απ' αυτήν υπάρχει πιθανότητα 5% να βρεθεί ως τιμή αντοχής σε ένα τυχαίο δοκίμιο. Τα σκυροδέματα περιγράφονται και με βάση κάποιες άλλες ιδιότητες όπως :

- Η κάθιση που σχετίζεται με την εργασιμότητα.
- Ο τύπος του τσιμέντου που επηρεάζει τον χρόνο αφαίρεσης των ξυλοτύπων.

- Ο μέγιστος κόκκος αδρανούς που προσδιορίζει τα πάχη επικάλυψης των οπλισμών.
- Η σύνθεση.
- Η αναλογία νερό/τσιμέντο (N/T).
- Η παρουσία πρόσθετων, όπως επιβραδυντές, πλαστικοποιητές, ρευστοποιητές κλπ.

Η αντοχή του σκυροδέματος και τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν τις βασικές του ιδιότητες προσδιορίζουν τις επιτρεπόμενες εφαρμογές τους και τον τρόπο χρήσης του.

Η κατηγορία C 12/15 επιτρέπεται για οικοδομικά έργα μέχρι 3 ορόφων, ενώ για σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά χρησιμοποιούνται οι κατηγορίες C25/30 και άνω με περιεκτικότητα τσιμέντου τουλάχιστον 350 kg/m³.

Σκυροδέματα με περιεκτικότητα τσιμέντου μικρότερη των 270 kg/m³ δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται σαν οπλισμένα, επειδή δεν παρέχουν ικανοποιητική προστασία στον οπλισμό από διάβρωση.

Αντιστοιχία των παλαιών και των νέων συμβολισμών (B και C).

Από 1/7/95 ισχύουν οι νέες κατηγορίες σκυροδέματος (C) αντί για τις παλαιότερες γνωστές ως (B) που καταργήθηκαν από 17/10/97.

Οι νέες κατηγορίες σκυροδέματος αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα με την αντιστοιχία τους περίπου με τις παλαιές των B225, B300, B450.

Κατηγορία σκυροδέματος	Αντοχή θλίψης κυλίνδρου (MPa)	Αντοχή θλίψης κύβου (MPa)	Αντιστοιχία με τις Παλαιές (B)
C 8/10	8	10	
C 12/15	12	15	B 225
C 16/20	16	20	
C 20/25	20	25	B 300
C 25/30	25	30	
C 30/37	30	37	B 450
C 35/45	35	45	
C 40/50	40	50	
C 45/55	45	55	

2. Συστατικά

Τσιμέντα

Τα τσιμέντα που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος σύμφωνα με το Π.Δ. 244/29-2-1980 (ΦΕΚ 69Α/28-3-1980) διακρίνονται σε 4 τύπους και 3 κατηγορίες αντοχών.

Στα συνήθη δομικά έργα χρησιμοποιείται τσιμέντο τύπου Ι/45, δηλαδή τσιμέντο Portland τύπου Ι αντοχής 45 ΜΡα και το τσιμέντο τύπου ΙΙ/35 (κοινό) δηλ. τσιμέντο Portland τύπου ΙΙ με αντοχή 35 ΜΡα. Μόνο το τσιμέντο αυτό διατίθεται σε σάκους, ενώ οι άλλοι τύποι μόνο σε σιλό.

Τα ποζολανικά τσιμέντα χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη θερμοκρασία ενυδάτωσης γι' αυτό και χρησιμοποιούνται σε ογκώδεις κατασκευές για την αποφυγή ρηγματώσεων, λόγω διαφορικών θερμοδιαστολών.

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κοινά τσιμέντα δεν ικανοποιούν τις κατασκευαστικές ανάγκες συγκεκριμένων έργων και γι' αυτό χρησιμοποιούνται τσιμέντα ειδικών τύπων, όπως τα *διογκούμενα, τα τσιμέντα ταχείας πήξης και σκλήρυνσης, τα λευκά και τα έγχρωμα τσιμέντα, τα αργιλικά τσιμέντα κλπ.*

Αδρανή

Τα αδρανή υλικά ποσοτικά είναι το κύριο υλικό του σκυροδέματος. Προέρχονται από διάφορα πετρώματα και κυρίως ασβεστολιθικά.

Τα αδρανή, είτε είναι λίθινοι κόκκοι φυσικοί και ονομάζονται **φυσικά ή συλλεκτά** αδρανή (ποταμίσια κλπ.), είτε προκύπτουν από θραύση όγκων πετρωμάτων και ονομάζονται **θραυστά** αδρανή.

Η κοκκομετρική σύνθεση, η αντοχή, το σχήμα και το ειδικό βάρος των αδρανών επηρεάζουν άμεσα τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

Με βάση το μέγεθος των κόκκων χωρίζονται σε **λεπτόκοκκα** (<5mm) και σε **χονδρόκοκκα**. Σε ορισμένες εφαρμογές ή σε έργα ειδικών απαιτήσεων χρησιμοποιούνται **ειδικοί τύποι αδρανών**, όπως κίσηρη, περλίτης, σκωρία υψικαμίνων, βαριά αδρανή κλπ. Τα θραυστά υλικά πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ 408.

Τα αδρανή πρέπει να είναι απαλλαγμένα από επιβλαβείς ουσίες, όπως η άργιλος, ο πηλός, οργανικές ουσίες, ζάχαρη, διαλυτά άλατα, θειϊκές και θειούχες ενώσεις κλπ. Φυσικά αδρανή πρέπει να αποφεύγονται, εκτός αν είναι πλυμένα.

Η περιεκτικότητα των αδρανών σε παιπάλη (filler) δεν πρέπει να υπερβαίνει τα επιτρεπτά όρια. Αύξηση της περιεκτικότητας σε παιπάλη προκαλεί μείωση της αντοχής σε θλίψη και αύξηση του κινδύνου ρηγμάτωσης κατά την ξήρανση.

Νερό

Το νερό ανάμιξης και συντήρησης πρέπει να είναι καθαρό, χωρίς την παρουσία διαλυμένων ή αιωρούμενων επιβλαβών, για το σκυρόδεμα ή για τον οπλισμό, ουσιών. Ενδείξεις ακαταλληλότητας είναι η οσμή, το χρώμα, η περιορισμένη διαύγεια, η γεύση και η διατήρηση αφρού μετά την ανάδευση. Το νερό πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ 345. Θαλασσινό νερό απαγορεύεται να χρησιμοποιείται. Η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε νερό εκφράζεται από τον λόγο N/T, όπου N το βάρος του νερού και T το βάρος του τσιμέντου.

Ο λόγος N/T κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 0,7. Αύξηση της τιμής συνεπάγεται μείωση της αντοχής και της στεγανότητας και αύξηση της συστολής ξήρανσης και του ερπυσμού. Τιμή μικρότερη από 0,4 δεν επιτρέπει την ομαλή ενυδάτωση του τσιμέντου.

Πρόσθετα σκυροδέματος

Για τη βελτίωση ή τον έλεγχο ορισμένων ιδιοτήτων του σκυροδέματος, όπως εργασιμότητα, χρόνο πήξης κλπ., χρησιμοποιούμε τα λεγόμενα πρόσθετα ή πρόσμικτα ή βελτιωτικά σκυροδέματος.

Ανάλογα με τα αποτελέσματα της δράσης τους διακρίνονται σε :

- **Ρευστοποιητικά**, με τα οποία αυξάνεται η εργασιμότητα χωρίς αύξηση της απαιτούμενης ποσότητας νερού και χωρίς μείωση της αντοχής.
- **Αερακτικά**, που προκαλούν πολλές μικρές φυσαλίδες με αέρα στη μάζα του σκυροδέματος βελτιώνοντας την εργασιμότητά του και την αντοχή του σε παγετό.
- **Επιβραδυντικά**, που χρησιμοποιούνται για την επιβράδυνση της πήξης του νωπού σκυροδέματος, διευκολύνοντας έτσι τη μεταφορά και την κατεργασία του.
- **Στεγανωτικά**, τα οποία μειώνουν την υδατοπερατότητα του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Τα πρόσθετα-βελτιωτικά πρέπει να χρησιμοποιούνται με μεγάλη προσοχή, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και τις προδιαγραφές της μελέτης. Χρησιμοποίηση ακατάλληλων πρόσθετων μπορεί να βλάψει τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

3. Παρασκευή και διάστρωση

Τρόποι παρασκευής

Η μελέτη και παρασκευή του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται έτσι ώστε:

- ◆ Να παρουσιάζει ομοιογένεια
- ◆ Να έχει την απαιτούμενη εργασιμότητα για να διαστρωθεί και να συμπυκνωθεί ικανοποιητικά
- ◆ Να έχει όλες τις απαιτούμενες ιδιότητες για το συγκεκριμένο έργο.

Ως προς τον τρόπο παρασκευής το σκυρόδεμα διακρίνεται σε:

- **Εργοταξιακό** σκυρόδεμα, όταν κατασκευάζεται στο εργοτάξιο επί τόπου του έργου και ο έλεγχος και η παρακολούθηση της παραγωγής ανήκει στον κύριο του έργου.
- **Εργοστασιακό** που κατασκευάζεται σε κεντρική μονάδα με ιδιότητες εγκαταστάσεις και εξοπλισμό. Ο κύριος του έργου ελέγχει το τελικό προϊόν στη θέση της παράδοσής του, δηλαδή στο έργο.
- **Έτοιμο σκυρόδεμα** που συμπίπτει με το εργοστασιακό, παρασκευάζεται σε κεντρική μονάδα και μεταφέρεται στο έργο, μετά από πλήρη ανάμιξη, με φορητά αυτοκίνητα αναδευτήρες (βαρέλες) με ή χωρίς εισαγωγή νερού.

Εκτός από τα συνήθη έχουμε τα σκυροδέματα ειδικών απαιτήσεων, όπως τα ελαφροσκυροδέματα (με ελαφρά αδρανή, κυψελωτό χωρίς λεπτόκοκκα κλπ.), το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής μεγάλης εργασιμότητας, το ινοπλισμένο σκυρόδεμα, τα σκυροδέματα με πολυμερή, το διογκούμενο, τα βαριά και τα σκυροδέματα για ογκώδεις κατασκευές.

Παρασκευή και μεταφορά

Η ανάμιξη του σκυροδέματος γίνεται μηχανικά με αναμικτήρες, είτε στο εργοτάξιο, είτε σε κεντρική μονάδα μακριά απ' αυτό. Για συνήθη κτιριακά έργα το έτοιμο εργοστασιακό σκυρόδεμα έχει αποκλειστικά καθιερωθεί. Η μέτρηση των αναλογιών των συστατικών γίνεται μηχανικά, αυτόματα στις σύγχρονες μονάδες, κατά βάρος με ακρίβεια $\pm 2\%$ για το νερό και το τσιμέντο και $\pm 3\%$ για τα αδρανή και τα πρόσθετα. Ο **αναμικτήρας** πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ 346. Ο χρόνος ανάμιξης δεν πρέπει να είναι μικρότερος

του ενός λεπτού, ξεκινώντας από την εισαγωγή όλων των υλικών στον κάδο. Σε έτοιμο σκυρόδεμα που μεταφέρεται με βαρέλα επιτρέπεται μόνο προσθήκη ρευστοποιητή και αφού προηγουμένως έχει ενημερωθεί ο παρασκευαστής του έτοιμου σκυροδέματος. Μετά την προσθήκη ρευστοποιητή ακολουθεί επανανάμιξη του μίγματος για 3 λεπτά. Κατά τη μεταφορά και μέχρι τη διάστρωσή του το σκυρόδεμα πρέπει να προστατεύεται για την ομοιογένειά του και τη ρευστότητά του.

Η εκφόρτωση του νωπού σκυροδέματος γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη θέση διάστρωσης. Όταν αυτό δεν είναι δυνατόν η μεταφορά του από τον αναμικτήρα ή τη βαρέλα στη θέση διάστρωσης γίνεται μέσω αντλιών, κεκλιμένων επιπέδων, κάδων οικοδομικών γερανών κλπ., αλλά έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η εργασιμότητα και η ομοιογένεια του μίγματος.

4. Εργοστασιακό Σκυρόδεμα

Παραγωγή

Το έτοιμο εργοστασιακό σκυρόδεμα έχει σχεδόν επικρατήσει σε έργα μικρής και μεσαίας κλίμακας λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του, όπως συστηματικότερο έλεγχο των πρώτων υλών, εγγυημένες ιδιότητες, ελεγχόμενη μέτρηση των αναλογιών, σύγχρονη οργάνωση εργοταξίου, περιορισμένες απώλειες υλικών, στεγασμένων και οργανωμένων χώρων αποθήκευσης κ.α.

Το εργοστάσιο έχει την ευθύνη των ελέγχων αποθήκευσης και ανάμιξης των υλικών, καθώς και του τελικού προϊόντος. Έχει την υποχρέωση να ενημερώσει τον πελάτη, εάν ζητηθεί, για τα αποτελέσματα των ελέγχων. Τα βασικά στοιχεία της παραγγελίας προκύπτουν από τη στατική μελέτη και πρέπει να αναγράφονται στα σχέδια των ξυλοτύπων. Η ποιότητα του σκυροδέματος παρακολουθείται στο εργοστάσιο συνεχώς με δοκίμια.

Ο χρόνος εργασιμότητας του σκυροδέματος είναι 90 min. από τη στιγμή της ανάμιξης. Ο χρόνος αυτός αυξάνεται κατά 20 min. με την προσθήκη επιβραδυντικού. Μέσα σ' αυτό το διάστημα των 90 ή 110 min το σκυρόδεμα πρέπει να μεταφερθεί στο έργο, να διαστρωθεί και να συμπυκνωθεί. Αυτός ο περιορισμός καθορίζει και την απόσταση του εργοστασίου από το έργο, σε σχέση με τις συγκοινωνιακές και κυκλοφοριακές συνθήκες και την προσπελασιμότητα του εργοταξίου. Η θέση εκφόρτωσης πρέπει να είναι εξασφαλισμένη και να επιτρέπει άνετους ελιγμούς των αυτοκινήτων και της αντλίας.

Η εκφόρτωση και διάστρωση πρέπει να είναι συνεχής μέχρις την ολοκλήρωση του προγραμματισμένου έργου. Έτσι τα οχήματα πρέπει να

βρίσκονται στο έργο και να αναμένουν και όχι να αναμένονται να έλθουν.

Η προσθήκη νερού στο σκυρόδεμα απαγορεύεται. Επίσης απαγορεύεται η προσθήκη νερού, τσιμεντοκονίας ή ρευστοποιητικού για να αυξηθεί η ρευστότητα του σκυροδέματος. Η επιθυμητή βελτίωση επιτυγχάνεται με την προσθήκη ρευστοποιητικού στη βαρέλα πριν από την εκφόρτωση και συνοδεύεται από ανάμιξη του μίγματος.

Ελεγχος στο εργοτάξιο

- Έλεγχος συμφωνίας των στοιχείων του Δελτίου Αποστολής με το φορτίο που συνοδεύει.
- Έλεγχος συμφωνίας των στοιχείων του Δελτίου Αποστολής με την παραγγελία.
- Έλεγχος του χρόνου φόρτωσης και του χρόνου άφιξης.
- Έλεγχος της ποιότητας – λήψη δοκιμίων.
- Έλεγχος ποσότητας – ζύγιση.

Απαραίτητα στοιχεία παραγγελίας

- Στοιχεία του έργου (ιδιοκτήτης, επιβλέπων, διεύθυνση κλπ.)
- Κατηγορία σκυροδέματος
- Ποσότητα σκυροδέματος
- Ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου
- Πρόσθετα – βελτιωτικά
- Μέγιστος κόκκος αδρανών
- Μορφή δοκιμίων ελέγχου
- Εμφανές / επιχρισμένο σκυρόδεμα
- Αντλησιμότητα
- Στεγανότητα
- Χημικές προσβολές
- Αντοχή σε επιφανειακή φθορά
- Χαμηλή θερμοκρασία
- Κριτήριο Ε του ΚΤΣ (διάστρωση ποσότητας όχι μεγαλύτερης από 20 m³).

5. Σκυροδέτηση

Εγχυτο σκυρόδεμα

Για να αποκτήσει το νωπό σκυρόδεμα τη μορφή και τις ιδιότητες που προδιαγράφονται από τη μελέτη διαστρώνεται μέσα σε καλούπια και

συμπυκνώνεται. Τα καλούπια (ξυλότυποι) είναι προσωρινές κατασκευές που εκτός από τη μορφή που δίνουν στο σκυρόδεμα, αναλαμβάνουν να στηρίξουν τους φορείς μέχρι μόνοι τους αποκτήσουν την ικανότητα να φέρουν τόσο τα δικά τους φορτία όσο και τα φορτία που προϋπολογίσθηκαν.

Οι ξυλότυποι και τα ικριώματα υπολογίζονται και κατασκευάζονται για να ανταπεξέλθουν στα φορτία και τις παραμορφώσεις που τυχόν θα προκληθούν από ανέμους κλπ.

Οι εσωτερικές επιφάνειες των ξυλοτύπων πρέπει να επαλείφονται με κατάλληλο εγκεκριμένο υλικό αποκόλλησης για την διευκόλυνσή του ξεκαλουπώματος. Η στεγανότητα των αρμών δεν θα επιτρέψει τη διαφυγή του τσιμεντοπολτού.

Οι ξυλότυποι και τα ικριώματα αφαιρούνται μόνο όταν το σκυρόδεμα έχει σκληρυνθεί και πάντως τηρουμένων των χρονικών ορίων που προβλέπουν οι κανονισμοί.

Οι ξυλότυποι των υποστυλωμάτων, βάθρων και τοιχωμάτων, αφαιρούνται πριν τους ξυλοτύπους των δοκών και πλακών, πάντα μέσα στα προβλεπόμενα όρια.

Χρόνοι αφαίρεσης των ξυλοτύπων

A/A	Στοιχεία Κατασκευής	Τσιμέντο τύπου I	Τσιμέντο τύπου II
1	Πλευρικά δοκών, πλακών, υποστυλωμάτων, τοιχίων	2 ημέρες	3 ημέρες
2	Ξυλότυποι πλακών	5 ημέρες	8 ημέρες
3	Ξυλότυποι δοκών και πλακών ανοίγματος	10 ημέρες	16 ημέρες
4	Ικριώματα (υποστύλωση) δοκών, πλαισίων και πλακών ανοίγματος	28 ημέρες	28 ημέρες

Ελεγχοι

Ο έλεγχος των ιδιοτήτων του σκληρυμένου σκυροδέματος γίνεται, είτε με άμεσες, είτε με έμμεσες μεθόδους. Οι άμεσες είναι καταστροφικές μέθοδοι και συνίστανται στη λήψη δειγμάτων (πυρήνων-καρότων) με διατρητικά μηχανήματα από επιλεγμένες θέσεις των δομικών στοιχείων και στην εξέταση των δειγμάτων στο εργαστήριο.

Οι έμμεσες μέθοδοι (μη καταστροφικές μέθοδοι) πραγματοποιούν έλεγχο ορισμένων ιδιοτήτων ή χαρακτηριστικών του σκυροδέματος με

πειραματικές διαδικασίες, όπως με κρουσίμετρο, με μέτρηση της ταχύτητας υπερήχων, με εξόλκευση ήλου, με δοκιμή διείδυσης κλπ.

Εμφανές σκυρόδεμα

Πολλές φορές απαιτείται η διαμόρφωση διακοσμητικής επιφάνειας στα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, ώστε να παραμείνει εμφανής-ανεπίχρηστη.

Το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με κατάλληλη επεξεργασία των ξυλοτύπων ή με την χρησιμοποίηση ειδικών ξυλοτύπων, όπως πλανισμένοι ξυλότυποι, μπετοφόρμ, μεταλλότυποι, χαρτότυποι, κοντραπλακέ, κλπ.).

Οι λεπτομέρειες της κατασκευής δομικών στοιχείων από εμφανές σκυρόδεμα πρέπει να καθορίζονται με προσοχή και μεγάλη επιμέλεια γιατί η παραμικρή αστοχία θα καταστρέψει το αποτέλεσμα.

Οδηγίες για επιτυχημένο εμφανές σκυρόδεμα

A. Ξυλότυποι

- Οι αρμοί μεταξύ των στοιχείων των ξυλοτύπων να εφαρμόζουν στεγανά, ώστε να αποφεύγονται διαρροές λεπτόκοκκου υλικού. Στη θέση των αρμών μπορούν να δημιουργούνται σκοτίες με χρήση πηχίσκων. Οι θέσεις αυτές, όπως και οι θέσεις στερέωσης και σύσφιξης των ξυλοτύπων (μορέλλα, τρυπόξυλα, φουρκέτες κλπ.) καλό είναι να προβλέπονται από τη μελέτη.
- Χρειάζεται καλή επεξεργασία των ξυλοτύπων, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα δηλαδή εάν θέλουμε λεία επιφάνεια, με ανάγλυφες παραστάσεις, κλπ.
- Οι ξυλότυποι εσωτερικά πρέπει να επαλείφονται με ειδικά αντικολλητικά υλικά, που να μην επηρεάζουν όμως το νωπό σκυρόδεμα ούτε να αφήνουν ίχνη, κλπ.
- Οι εσωτερικές γωνίες των ξυλοτύπων να διαμορφώνονται κατάλληλα ώστε να μην τραυματίζεται η επιφάνεια του σκυροδέματος κατά το ξεκαλούπωμα. Πρέπει να τοποθετούνται φαλτσογωνιές ή άλλα διακοσμητικά στοιχεία. Για τον ίδιο λόγο το ξεκαλούπωμα πρέπει να γίνεται με πολύ μεγάλη προσοχή.

B. Οπλισμός

- Στο εμφανές σκυρόδεμα απαιτείται γενικά αυξημένη επικάλυψη του οπλισμού σε σχέση με το επιχρισμένο. Η αύξηση του πάχους εξαρτάται από την ποιότητα του σκυροδέματος και από την περιεκτικότητά του σε τσιμέντο. Για μεγάλο πάχος πρέπει να εξετάζεται η ανάγκη τοποθέτησης επιδερμικού οπλισμού για τον περιορισμό των ρωγμών λόγω συστολής ξήρανσης.
- Για τη σωστή τοποθέτηση και κάλυψη του οπλισμού πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλα εξαρτήματα, όπως στηρίγματα, αποστάτες, κλπ.

Γ. Σκυρόδεμα

- Η τιμή του λόγου N/T πρέπει να κρατείται χαμηλή. Η επιθυμητή εργασιμότητα να επιτυγχάνεται με προσθήκη ρευστοποιητή.
- Η περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή και σε παιπάλη πρέπει να είναι μικρή.
- Η επιμελημένη και προσεκτική διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος είναι πολύ σημαντική, όπως επίσης η σωστή συντήρησή του, για τη βέλτιστη αντοχή και αισθητική των δομικών στοιχείων. Διακοπές εργασίας κατά τη σκυροδέτηση εμφανούς σκυροδέματος πρέπει να αποφεύγονται.

6. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Περιβάλλον και διάρκεια ζωής του έργου

Κατά τον σχεδιασμό του έργου πρέπει να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες του περιβάλλοντος που θα επηρεάσουν την κατασκευή κατά την ενεργό ζωή της και θα παίξουν αποφασιστικό ρόλο στην ανθεκτικότητά της στο χρόνο. Βασικό επίσης ρόλο παίζει το πάχος της επικάλυψης των οπλισμών από το σκυρόδεμα.

Οι απαιτήσεις των κανονισμών για την ελάχιστη επικάλυψη των οπλισμών, ανάλογα με το περιβάλλον πρέπει οπωσδήποτε να τηρούνται. Σημαντικός παράγων στη διάρκεια ζωής των κατασκευών και στην ανταπόκρισή τους στις δυναμικές καταπονήσεις και ιδιαίτερα στον σεισμό, είναι η μορφολογία της κατασκευής. Η διαμόρφωση ενός σαφούς δομικού συστήματος ευνοϊκής μορφολογίας στα επί μέρους δομικά στοιχεία, αλλά και στο σύνολο θα υποστεί χωρίς προβλήματα τις

δυναμικές καταπονήσεις, που αναπόφευκτα θα αντιμετωπίσει στη διάρκεια ζωής του.

Σοβαρά προβλήματα για κατασκευές που υφίστανται σεισμικές καταπονήσεις αποτελούν :

- Οι έμμεσες στηρίξεις κύριων δομικών στοιχείων.
- Η συνεργασία ισχυρών δοκών με ασθενή υποστυλώματα.
- Η συνεργασία μη λυγηρών με λυγηρά υποστυλώματα.
- Η ύπαρξη διαδοχικών ορόφων με σημαντική διαφορά ακαμψίας.
- Εισέχοντα ή εξέχοντα τμήματα της κατασκευής

Επίσης κτίρια μη κλειστής κάτοψης ή κτίρια αποτελούμενα από γειτονικά τμήματα με διαφορετικό αριθμό ορόφων συνιστάται να χωρίζονται με αρμούς σε όσο το δυνατόν πρισματικά υποσυστήματα.

Ανθεκτικότητα σε διάρκεια

Για να εξασφαλιστεί η ανθεκτικότητα σε διάρκεια μιας κατασκευής πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες :

- Η χρήση
- Τα κριτήρια σχεδιασμού
- Οι συνθήκες περιβάλλοντος
- Η σύνθεση, οι ιδιότητες και η συμπεριφορά των υλικών
- Η μορφολογία των δομικών στοιχείων και οι κατάσκευαστικές λεπτομέρειες
- Το επίπεδο του εργατικού δυναμικού και του ποιοτικού ελέγχου
- Τα τυχόν ειδικά προστατευτικά μέτρα
- Η πιθανολογούμενη συντήρηση κατά τη διάρκεια ζωής του έργου

Παρατίθεται ένας πολύ χρήσιμος πίνακας που περιλαμβάνει τις απαιτήσεις σε ελάχιστη επικάλυψη, μέγιστη τιμή N/T, ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου κλπ., ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος :

**ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ
 ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Κατηγορία συνθηκών περιβάλλοντος	Παραδείγματα	Ελάχιστη επικάλυψη (σε mm)	Μέγιστη Τιμή N / T	Ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου (kg/m ³)	Αδρανή ανθεκτικά σε παγετό	Στεγανό σκυρόδεμα
Ξηρό περιβάλλον	Εσωτερικό κτιρίων κατοικίας ή γραφείων	15	0,65	260 (150)	-	-
Υγρό περιβάλλον χωρίς παγετό	Εσωτερικοί χώροι κτιρίων με μεγάλη υγρασία, εξωτερικά δομικά στοιχεία, δομ. στοιχεία σε διαβρωτικά εδάφη	20	0,60 (0,70)	280 (200)	-	-
Υγρό περιβάλλον με παγετό	Εξωτερικά δομ. στοιχεία εκτεθειμένα σε παγετό, δομ. στοιχεία σε μη διαβρωτικό έδαφος και εκτεθειμένα σε παγετό	25	0,55	280 (200)	Ναι	Ναι
Υγρό περιβάλλον με παγετό και αντιπαγετικά άλατα	Εξωτερικά και εσωρικά δομικά στοιχεία τα οποία εκτίθενται σε παγετό και αντιπαγετικά μέσα	40	0,50	300	Ναι	Ναι
Παραθαλάσσιο περιβάλλον χωρίς παγετό	Δομικά στοιχεία διαβρεχόμενα ή καταιονιζόμενα από θαλάσσιο νερό, δομικά στοιχεία σε ατμόσφαιρα κορεσμένη από άλατα	40	0,55	300	-	Ναι
Παραθαλάσσιο περιβάλλον με παγετό	Δομικά στοιχεία, όπως προηγουμένως, που εκτίθενται σε παγετό	40	0,50	300	Ναι	Ναι
Διαβρωτικό περιβάλλον	Ελαφρά διαβρωτικό χημικό περιβάλλον, διαβρωτική βιομηχανική ατμόσφαιρα	25	0,55	280 (200)	-	Ναι
Διαβρωτικό περιβάλλον	Μέτρια διαβρωτικό χημικό περιβάλλον	30	0,55	300	-	Ναι
Διαβρωτικό περιβάλλον	Πολύ διαβρωτικό χημικό περιβάλλον	40	0,45	300	-	Ναι

Ευπαθή σημεία – Αρμοί εργασίας

Σχεδόν πάντα η σκυροδέτηση ενός έργου δεν ολοκληρώνεται σε μια φάση. Η εργασία διακόπτεται σε προβλεπόμενες από τη μελέτη θέσεις για να συνεχιστεί μετά την κατασκευή των ξυλοτύπων και την

τοποθέτηση του οπλισμού του επόμενου τμήματος. Οι αρμοί διακοπής εργασίας είναι κάθετοι στη διεύθυνση του κύριου οπλισμού.

Λίγο μετά τη σκυροδέτηση οι αρμοί εργασίας καθαρίζονται με συρματόβουρτσα, ώστε να αποκαλυφθούν οι κόκκοι των αδρανών. Πριν από τη νέα σκυροδέτηση οι αρμοί καθαρίζονται από κάθε ξένο σώμα και πλένονται με νερό υπό πίεση. Κατά τη σκυροδέτηση πρέπει να είναι κορεσμένοι με νερό, χωρίς όμως αυτό να λιμνάζει σε κοιλότητες της επιφάνειάς τους. Η επάλειψη των αρμών με τσιμεντοκονία απαγορεύεται από τον ΚΤΣ.

Αρμοί διαστολής

Αποστολή των αρμών διαστολής είναι :

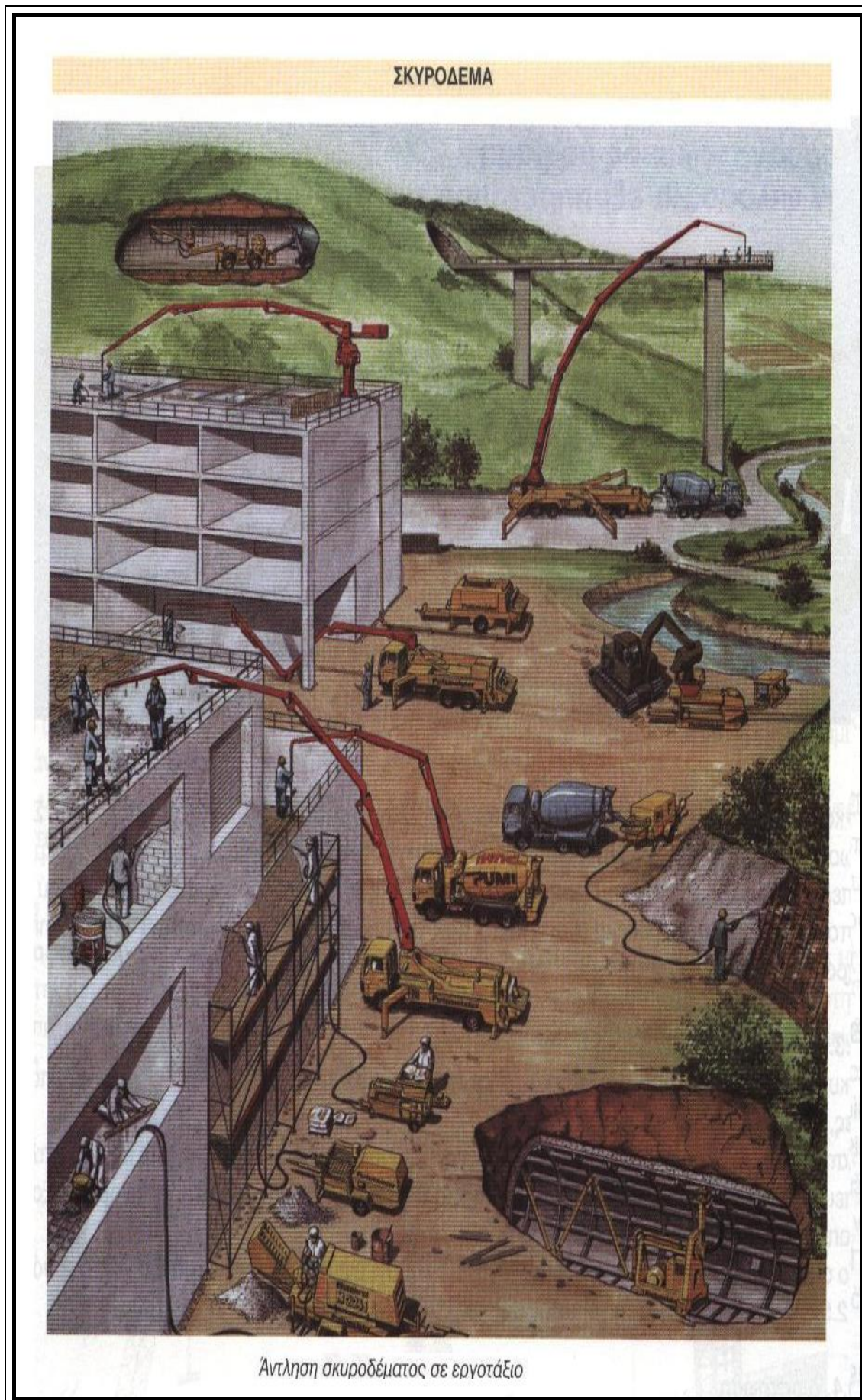
- Η μείωση του μεγέθους των επιβαλλομένων παραμορφώσεων από τη συστολή ξήρανσης, τις θερμοκρασιακές μεταβολές, κλπ. λόγω της μεταβολής του μήκους
- Η ελάττωση των καταπονήσεων από τυχόν διαφορικές καθιζήσεις.
- Η εξασφάλιση ορθότερης συμπεριφοράς σε περίπτωση σεισμικών δράσεων.

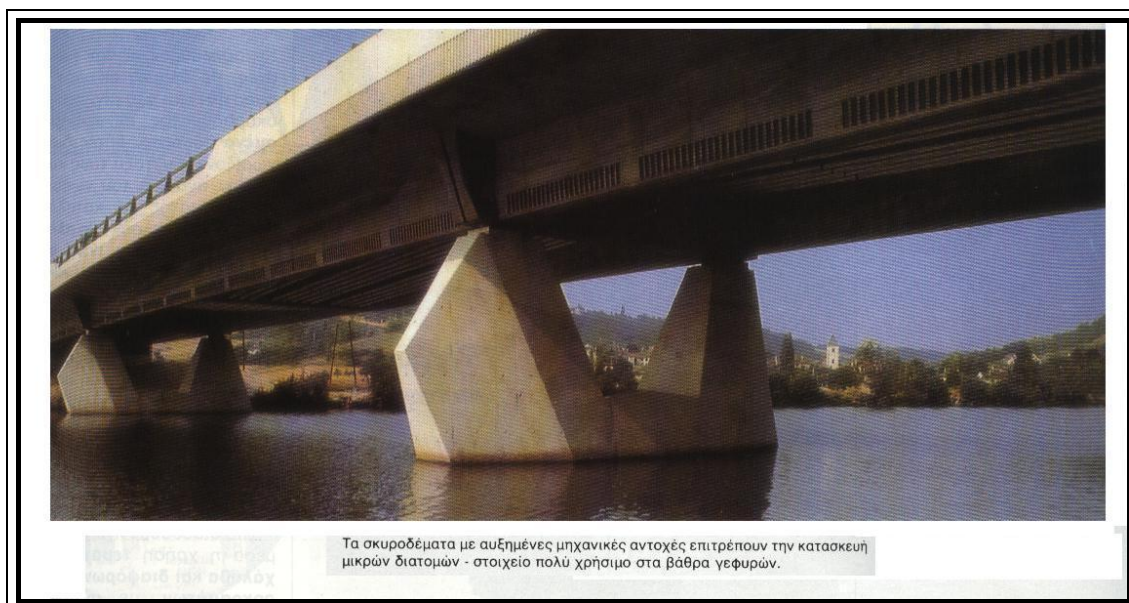
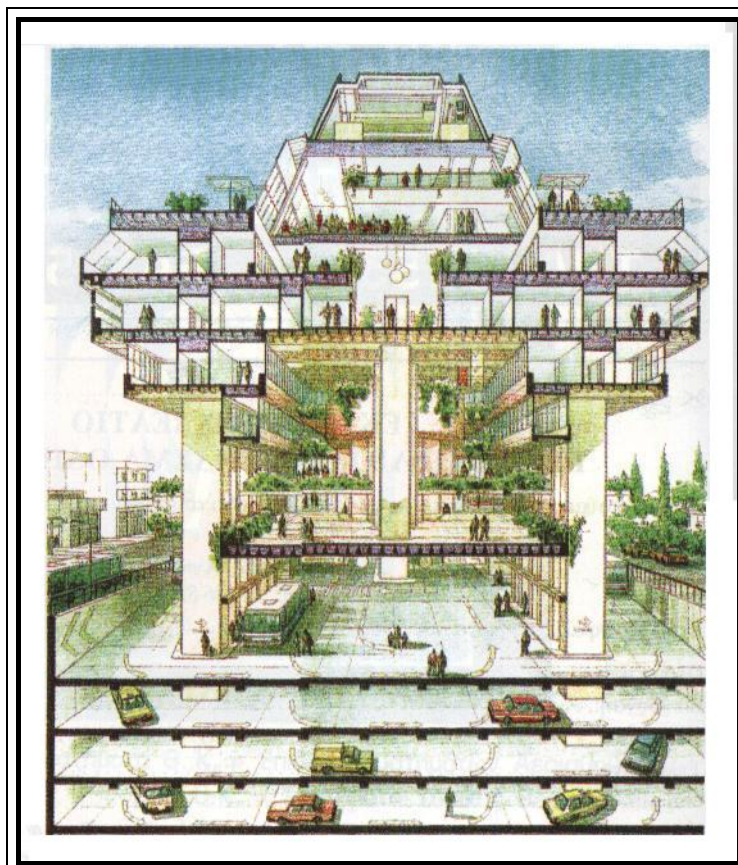
Οι αρμοί χωρίζουν το κτίριο σε διακεκριμένα τμήματα. Η θέση των αρμών συνδυάζεται με τη θέση των τοιχωμάτων δυσκαμψίας και γι' αυτό τοποθετούνται μεταξύ των δύσκαμπτων δομικών στοιχείων.

Το πλάτος των αρμών ποικίλλει και εξαρτάται κυρίως από τη δυσκολία των κατασκευών.

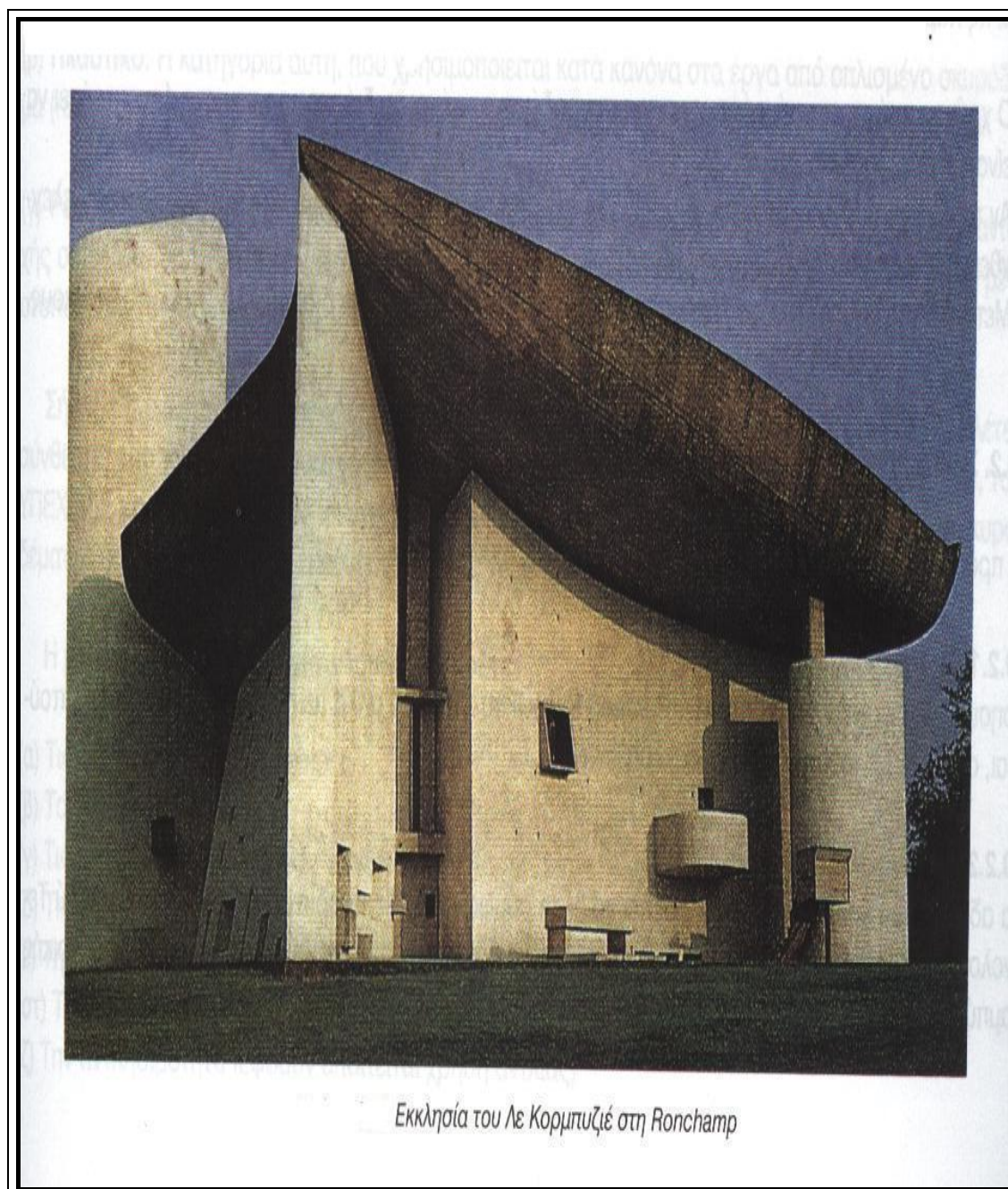
Αποστάσεις μεταξύ αρμών διαστολής

Υλικό	Δομικό στοιχείο	Μέγιστη απόσταση μεταξύ αρμών (σε m)	Παρατηρήσεις
Άοπλο σκυρόδεμα	Τοίχου αντιστήριξης	10 - 20	Ανάλογα με την επίδραση του ήλιου
	Δάπεδα κυκλοφορίας	5 - 10	Επιφάνεια $\leq 25 \text{ m}^2$
	Οδοστρώματα κατά τη διαμήκη έννοια	10 - 15	Επιφάνεια $\leq 40 \text{ m}^2$
Οπλισμένο σκυρόδεμα	Κτίρια μικρής δυσκαμψίας	30 - 40	
	Κτίρια μεγάλης δυσκαμψίας	15 - 25	
	Υπόστεγα	36 - 72	Ανάλογα με τη δυσκαμψία τους
	Εξώστης, στηθαία, προστεγάσματα	8 - 10	

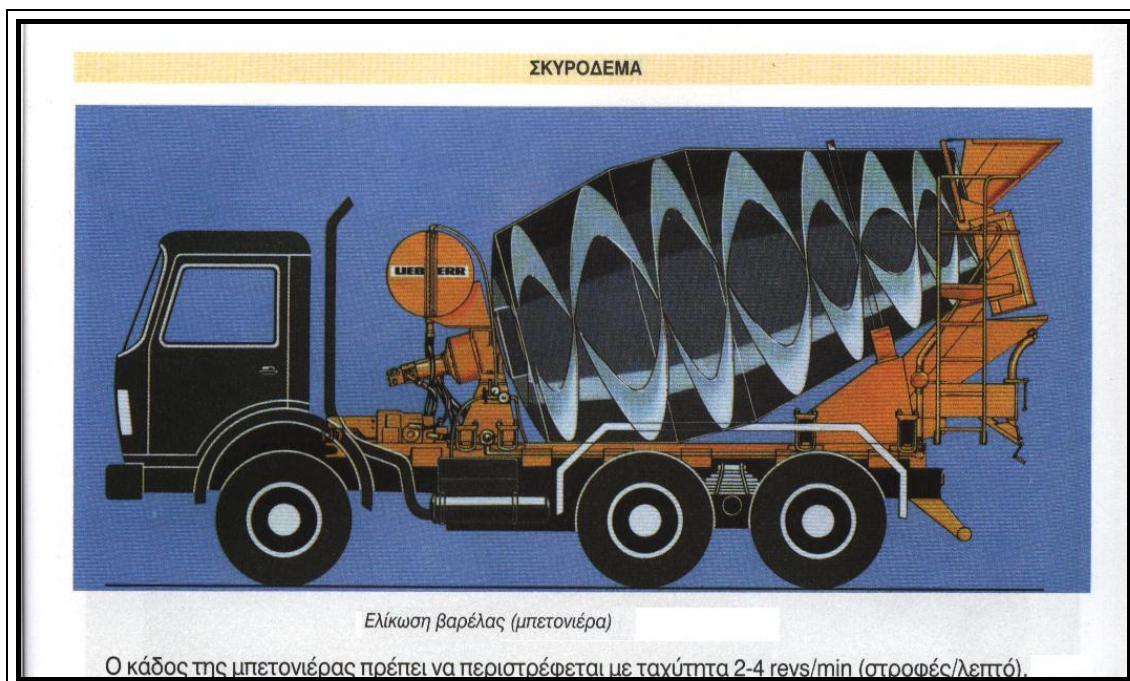
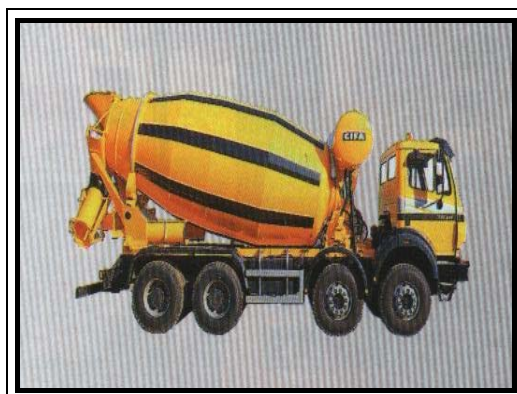




Τα σκυροδέματα με αυξημένες μηχανικές αντοχές επιτρέπουν την κατασκευή μικρών διατομών - στοιχείο πολύ χρήσιμο στα βάθρα γεφυρών.







7. *Επισκευές βλαβών στο σκυρόδεμα*

Βλάβες από δυναμικές καταπονήσεις

Πρόκειται για βλάβες σε βάθος, που πολλές φορές, λόγω της σοβαρότητάς τους, φθάνουν μέχρι την αχρήστευση του δομικού στοιχείου.

Για την επισκευή των βλαβών αυτών απαιτείται ειδική μελέτη, που δεν πρέπει να περιοριστεί μόνο στο βλαβέν δομικό στοιχείο, αλλά να αντιμετωπίσει το κτίριο στο σύνολό του.

Σκοπός των επεμβάσεων είναι η αποκατάσταση του δομικού στοιχείου που έχει πάθει βλάβη, αλλά και η βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου.

Οι εργασίες εκτελούνται από εξειδικευμένο προσωπικό, με ειδικό εξοπλισμό και υλικά υψηλής τεχνολογίας.

Μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι :

- Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Ειδικά επισκευαστικά μη συρρικνούμενα κονιάματα
- Ενέσεις με εποξειδικές ρητίνες
- Τσιμεντενέσεις
- Ενίσχυση οπλισμών
- Συνθετικά υλικά, κλπ.

Οποιαδήποτε μέθοδος χρησιμοποιηθεί πρέπει να συμφωνεί με τη μελέτη επισκευής.

Γενικές οδηγίες

Η βλάβη του φέροντος οργανισμού από οπλισμένο σκυρόδεμα διακρίνεται :

- α) *Σε απλή ρηγμάτωση μικρού πλάτους*, η οποία επισκευάζεται με ρητινενέσεις ή με προσθήκη εξωτερικών συνδετήρων.
- β) *Σε τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος* από διάτμηση, θλίψη ή διόγκωση. Απαιτείται προσθήκη οπλισμού και αντικατάσταση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος.
- γ) *Διακοπή της συνέχειας δομικού στοιχείου* εξ αιτίας πλήρους θραύσης του σκυροδέματος ή βλάβης οπλισμών. Επιβάλλεται η πλήρης αντικατάσταση ολόκληρου του δομικού στοιχείου.

Σε περίπτωση βλάβης περισσότερων στοιχείων της φέρουσας κατασκευής η απόφαση για επισκευή ή ανακατασκευή ολόκληρου του κτιρίου

είναι δύσκολη και θα εξαρτηθεί από την συνεκτίμηση όλων των οικονομικών και κοινωνικών παραμέτρων. Η ηλικία και ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής του κτιρίου, λειτουργικοί και αισθητικοί παράγοντες, καθώς και η ποιότητα και το πλήθος των στοιχείων που δεν έχουν υποστεί βλάβη, θα παίξουν σημαντικό ρόλο στη λήψη της τόσο σοβαρής απόφασης.

Βασική προϋπόθεση πριν από κάθε επισκευή είναι η μελέτη και ερμηνεία του μηχανισμού και των αιτίων που προκάλεσαν τη βλάβη σε κάθε σημείο της κατασκευής, ώστε να αναιρεθούν και να μην επαναληφθεί.

Επίσης ένας προσεκτικός έλεγχος όλων των δομικών στοιχείων είναι απαραίτητος για τον εντοπισμό ενδεχομένων κρυφών βλαβών και τον εντοπισμό σφαλμάτων ή ελλείψεων της στατικής μελέτης, αλλά και κακοτεχνιών ή αστοχιών της κατασκευής, που δεν έχουν ακόμη εκδηλωθεί.

Πριν από κάθε επέμβαση πρέπει να αφαιρεθεί από την κατασκευή κάθε περιττό ή όχι τελείως απαραίτητο φορτίο.

Η κατάλληλη προσωρινή υποστύλωση των φερόντων στοιχείων που παρουσιάζουν βλάβη είναι αναγκαία για την πλήρη ανάληψη των φορτίων και των καταπονήσεων που αυτά θα επιβάλλουν στα φέροντα στοιχεία κατά τη διάρκεια της επισκευής.

Τα δομικά στοιχεία επισκευάζονται διαδοχικά αρχίζοντας από τις πιο σοβαρές ή τις προβληματικότερες θέσεις.

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που θα επιλεγεί, η προσεκτική προετοιμασία των επιφανειών που θα υποστούν την επέμβαση είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία της επισκευής.

Η προετοιμασία περιλαμβάνει οπωσδήποτε την απομάκρυνση του αποδιοργανωμένου υλικού, τον επιμελή καθαρισμό των επιφανειών, καθώς και εξειδικευμένες ενέργειες που προδιαγράφονται από τους κατασκευαστές των υλικών επισκευής, όπως η διαβροχή, εκτράχυνση ή λείανση της επιφάνειας κλπ.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να συντηρούνται κατάλληλα μέχρι την πλήρη απόκτηση των προβλεπομένων ιδιοτήτων και να προστατεύονται από εξωτερικές επιδράσεις, διάβρωση κλπ.

Υλικά και μέθοδοι επισκευών

- ***Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα***

Υπάρχουν δύο μέθοδοι : α) της ξηρής ανάμιξης, όπου τσιμέντο και αδρανή αδρανή αναμιγνύονται και οδηγούνται μέσω πεπιεσμένου αέρα σε σωλήνα με ακροφύσιο. Το μίγμα τροφοδοτείται με νερό που εισέρχεται με πίεση λίγο πριν την έξοδο και κατόπιν το σκυρόδεμα εκτινάσσεται προς την επιφάνεια εφαρμογής, στην οποία έχει ήδη

στερεωθεί ο απαραίτητος οπλισμός, β) της υγρής ανάμιξης, κατά την οποία όλα τα συστατικά αναμιγνύονται ταυτόχρονα και οδηγούνται σε δοχείο του συστήματος εκτόξευσης. Από εκεί μεταφέρονται με τη βοήθεια αντλίας σε σωλήνα με ακροφύσιο, λίγο πριν την έξοδο του οποίου εισάγεται αέρας με πίεση, ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη ταχύτητα εκτόξευσης. Ο ψεκασμός γίνεται πάντοτε πάνω σε σταθερό και καθαρό υπόβαθρο, που παρουσιάζει ικανοποιητική συνάφεια με το σκυρόδεμα.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πρέπει να είναι χαμηλής ρευστότητα, ώστε να συγκρατείται μετά την πρόσκρουση στην επιφάνεια εφαρμογής σε οποιαδήποτε θέση, αλλά και αρκετά υγρό, ώστε να συμπυκνώνεται με την κρούση, χωρίς σημαντικές απώλειες υλικού από ανάκλαση.

Ο λόγος N/T στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κυμαίνεται από 0,35 έως 0,50 και ο μέγιστος κόκκος αδρανούς δεν υπερβαίνει τα 25 mm. Για εργασίες επισκευών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 5 mm.

Στην περίπτωση αυτή η αντοχή του νέου σκυροδέματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη του υπάρχοντος κατά 5 MPa τουλάχιστον.

Λόγω του μεγάλου λόγου επιφάνειας προς τον όγκο η ξήρανση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι γρήγορη και γι' αυτό η ανάγκη σωστής συντήρησης είναι μεγάλη.

- ***Έγχυτο σκυρόδεμα***

Το έγχυτο σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό επισκευής εφ' όσον η πυκνότητα του οπλισμού επιτρέπει τη διέλευση των χονδρών αδρανών και τη σωστή διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος.

Η αντοχή του νέου σκυροδέματος πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή του υπάρχοντος τουλάχιστον κατά 10 MPa και ο μέγιστος κόκκος αδρανούς μικρότερος από 20 mm. Επιβάλλεται η επιμελημένη συντήρηση του νωπού σκυροδέματος.

- ***Εποξεικές ρητίνες***

Πρόκειται για συνθετικά υλικά δυο συστατικών την ρητίνη και τον σκληρυντή δηλαδή τον καταλύτη, που αναμιγνύονται σε καθορισμένες αναλογίες πριν από τη χρησιμοποίησή τους.

Η εφαρμογή των ρητινών γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό, σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή.

Η εισαγωγή του μίγματος στη ρωγμή γίνεται με τη βοήθεια ειδικής αντλίας από καθορισμένες θέσεις από τα χαμηλότερα προς τα υψηλότερα σημεία. Η ρωγμή πρέπει να είναι καθαρή, χωρίς σκόνες,

ξένα υλικά και ρύπους. Η συμπεριφορά των ρητινών επηρεάζεται σημαντικά από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Τα επισκευασμένα με ρητίνες δομικά στοιχεία πρέπει να προστατεύονται από τέτοιες επιδράσεις και ειδικά από φωτιά.

- **Σύνθετα υλικά**

Η επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών με την εφαρμογή των σύνθετων υλικών είναι μια εντελώς νέα τεχνολογική μέθοδος.

Η μέθοδος συνίσταται στην επικόλληση με τη βοήθεια ειδικών ρητινών, εύκαμπτων υφασμάτων από ινώδη οπλισμένα πολυμερή, που συνήθως είναι ίνες γυαλιού ή άνθρακα πάνω σε κατάλληλα προετοιμασμένες επιφάνειες δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα, μέταλλο, οπτοπλινθοδομή, λιθοδομή, ξύλα, κ.α.

Η προετοιμασία της επιφάνειας περιλαμβάνει το σφράγισμα των τυχόν υπαρχουσών ρωγμών. Ο αριθμός των στρώσεων του σύνθετου υλικού εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή και προκύπτει από σχετική μελέτη. Το πάχος κάθε στρώσης κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 mm.

- **Οδηγίες επισκευών**

Οι ρωγμές που δεν συνοδεύονται από αποδιοργάνωση του σκυροδέματος επισκευάζονται με **εποξεικές ρητίνες ή ειδικά επισκευαστικά κονιάματα** μη συρρικνούμενα, που ωθούνται στο εσωτερικό της ρωγμής με υψηλή πίεση. Εναλλακτικά ή σε συνδυασμό με την τεχνική αυτή και μόνο σε δοκούς είναι δυνατόν να εφαρμοστεί η τεχνική της **εξωτερικής περίσφιξης** με μεταλλικούς συνδετήρες, κολλάρα ή ελάσματα. Οι συνδετήρες αυτοί συσφίγγονται με βίδες και καλύπτονται με πατητή τσιμεντοκονία, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή αντισκωριακή προστατευτική στρώση.

Το ίδιο αποτέλεσμα θα έχουμε με την επικόλληση λεπτών ελασμάτων από ανοξείδωτο χάλυβα στις παρειές της δοκού με εποξεική κόλλα.

Όταν η ρωγμή συνοδεύεται από τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, απαιτείται αντικατάσταση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος με εκτοξευόμενο ή έγχυτο σκυρόδεμα με προσθήκη του απαραίτητου οπλισμού, που συγκολλάται στον υπάρχοντα.

Σε περίπτωση μερικής βλάβης του οπλισμού διάτμησης δοκού τοποθετούνται και εξωτερικοί συνδετήρες-κολλάρα, που στερεώνονται στο κάτω πέλμα της πλάκας ή στις παρειές της δοκού, είτε περιβάλλουν τη δοκό, ανάλογα με τη σοβαρότητα της βλάβης. Η κατασκευή καλύπτεται με μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Στην επισκευή υποστυλωμάτων η συμπλήρωση του οπλισμού με κλειστούς συνδετήρες τοποθετημένους σε μικρές αποστάσεις είναι αναγκαία.

Εναλλακτικά σε περίπτωση τοπικής αποδιοργάνωσης σκυροδέματος από διάτμηση, θλίψη ή διόγκωση, αντί για καθαίρεση και αντικατάσταση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος μπορεί να γίνει εμποτισμός της αποδιοργανωμένης περιοχής με κατάλληλο επισκευαστικό κονίαμα με την προϋπόθεση ότι η περιοχή ή ολόκληρο το υποστύλωμα θα περικαλυφθεί με πλήρη περιμετρικό μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις θέσεις των κόμβων. Κάθε ρηγμάτωση κόμβου θεωρείται επικίνδυνη και αντιμετωπίζεται ως σοβαρή βλάβη, η οποία απαιτεί ενίσχυση της διατομής.

- **Βλάβες από άλλες αιτίες**

Βλάβες που προέρχονται από χρήση του κτιρίου διαφορετική από την προβλεπόμενη ή τμημάτων του, δηλαδή μεγαλύτερα από τα ανεκτά ωφέλιμα φορτία, από μεταγενέστερες επεμβάσεις σε δομικά στοιχεία, από διαφορικές καθιζήσεις, διάβρωση ή τυχαία γεγονότα, όπως έκρηξη, πυρκαϊά, κλπ. είναι πιθανόν να μην παρουσιάζουν το βάθος, την έκταση ή τη σπουδαιότητα των βλαβών από σεισμό.

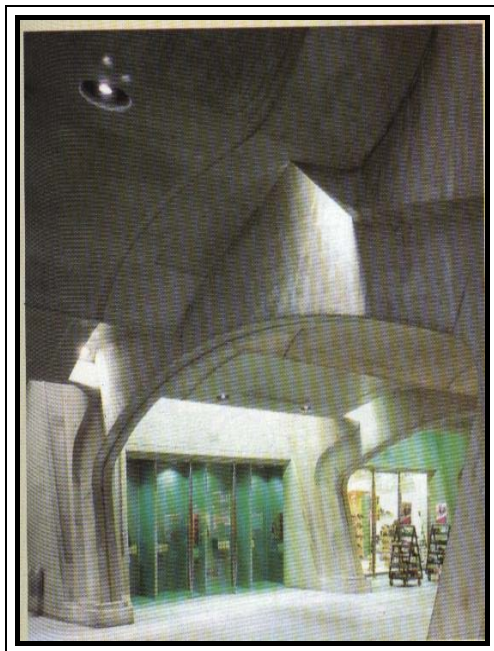
Σε κάθε περίπτωση προέχει η αποτελεσματική αντιμετώπιση της αιτίας, που προκάλεσε τη βλάβη και η εκπόνηση μελέτης επισκευής θεωρώντας το κτίριο ως ενιαίο δομικό σύνολο.

Κατά κανόνα χρησιμοποιούνται τα ίδια υλικά και μέθοδοι, όπως στις επισκευές από σεισμό. Ανάλογα με τη φύση και τη θέση των βλαβών είναι πιθανόν κάποιες επεμβάσεις να γίνουν με συμβατικό τρόπο, η χρησιμοποίηση όμως των υλικών εξελιγμένης τεχνολογίας είναι συνήθως αναπόφευκτη.

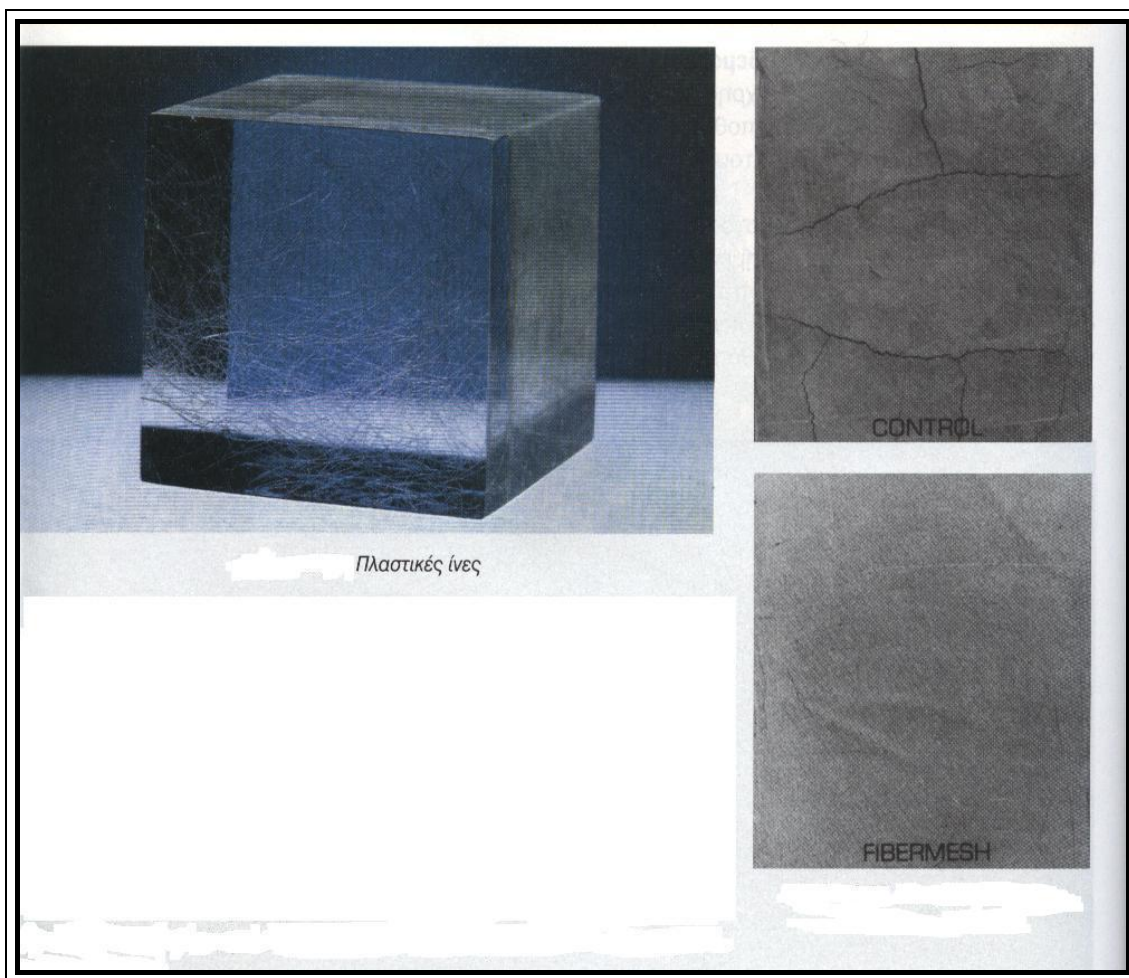
Στο παραπάνω κεφάλαιο αναπτύχθηκαν πολλά θέματα ακροθιγώς, στα οποία όμως θα αναφερθούμε ακολούθως εκτενέστερα.

3.2 ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ (ινοπλισμένα – εκτοξευόμενο)

Σχετικά με τα είδη των σκυροδεμάτων και ιδιαίτερα με το **εκτοξευόμενο σκυρόδεμα** και το **ινοπλισμένο σκυρόδεμα** γίνεται εκτενής αναφορά στο κεφάλαιο 3.1 περί **μεθόδων παρασκευής σκυροδέματος** και στο κεφάλαιο 3.9 περί **νέων τεχνολογιών σκυροδέματος**. Εκρίθη ότι για λόγους ροής της παρούσας εργασίας σ'αυτά τα κεφάλαια ταίριαζε περισσότερο η ένταξή τους.



Δοκιμή δύο κομματιών σκυροδέματος με προσθήκη στο δεξιό δοκίμιο ουσίας, που ελαττώνει την υδροαπορροφητικότητα του σκυροδέματος.





Κόκκοι διογκωμένης πολυστερίνης για χρήση σε ελαφρά σκυροδέματα

3.3. ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ - ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα πρόσθετα βελτιωτικά σκυροδέματος άρχισαν ουσιαστικά να χρησιμοποιούνται την δεκαετία 1960-70 και απετέλεσαν βασικό παράγοντα της τεχνολογίας σκυροδέματος και συνετέλεσαν σημαντικά στην εξέλιξή της. Σήμερα η χρήση τους είναι ευρύτατα διαδεδομένη, ιδιαίτερα σε έργα ειδικών απαιτήσεων και προδιαγραφών. Η ποικιλία των προσφερομένων υλικών είναι τεράστια και η χρήση τους φθάνει στο 20 έως 35% επί του παρασκευασμένου ετοιμού σκυροδέματος.

Πρόσθετο, βελτιωτικό ή απλώς βελτιωτικό σκυροδέματος ή και **πρόσμικτο** σκυροδέματος ονομάζεται κάθε συστατικό, υγρό ή σκόνη που όταν ενσωματωθεί μέσα στο σκυρόδεμα κατά την διάρκεια της ανάμειξης βελτιώνει μια ή περισσότερες ιδιότητες του νωπού ή του σκληρυθέντος σκυροδέματος.

Η αναλογία συνήθως των πρόσθετων υλικών που ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα είναι συνήθως 0,2 - 2,% επί της ποσότητας του τσιμέντου.

Με την προσθήκη των πρόσθετων επιδιώκεται η βελτίωση μιας ή περισσότερων από τις παρακάτω ιδιότητες :

- Η πλαστικότητα ή ρευστότητα και επομένως το εργάσιμο του νωπού σκυροδέματος ή κονιάματος.
- Ο χρόνος πήξης ή σκλήρυνσης του σκυροδέματος με επιβράδυνση ή επιτάχυνση αυτού.
- Η μείωση του κινδύνου απόμειξης του σκυροδέματος.
- Η μείωση της συστολής κατά την πήξη και συνεπώς των ρωγμών και των τριχοειδών ρηγματώσεων.
- Η πρόσφυση του νωπού σκυροδέματος ή των τσιμεντοκονιαμάτων σε παλαιό σκυρόδεμα και σε χάλυβα.
- Η συμπύκνωση του σκυροδέματος και η στεγανότητά του.
- Η αντοχή σε παγετό.
- Η αντοχή σε φθορά και τριβή.
- Η αντοχή σε χημικές επιδράσεις.
- Η προστασία του χάλυβα από την διάβρωση.
- Η εμφάνιση και η ομοιομορφία του χρωματισμού.

Στα πρόσθετα σκυροδέματος και κονιαμάτων περιλαμβάνονται και αυτά που τοποθετούνται όχι στη μάζα τους αλλά επιφανειακά, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση εξασφάλισης ομαλής ενυδάτωσης του τσιμέντου με περιορισμό της εξάτμισης του νερού ή της βελτίωσης της επιφανειακής εμφάνισης του σκυροδέματος με την εύκολη αποκόλληση του ξυλοτύπου ή την βελτίωση της αντοχής σε φθορά από τριβή και της αντοχής σε χημικές επιδράσεις ή της επιβράδυνσης σκλήρυνσης της

επιφάνειας του σκυροδέματος για την καλλίτερη πρόσφυση του επιχρίσματος.

Η ταξινόμηση των πρόσθετων δεν είναι εύκολη, αφού πολλά απ' αυτά επιτελούν περισσότερες από μια λειτουργίες.

Έτσι τα πρόσθετα διακρίνονται ανάλογα με τη δράση τους σε :

- ◆ Χημικά πρόσθετα που δρουν αμέσως στους κόκκους του τσιμέντου.
- ◆ Χημικά πρόσθετα που επηρεάζουν τις αντιδράσεις μεταξύ νερού και τσιμέντου από λίγα λεπτά έως μερικές ώρες μετά την προσθήκη τους.
- ◆ Ορυκτά πρόσθετα ή προσμίξεις, που συνήθως επιδρούν αμέσως στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του νωπού σκυροδέματος, αλλά εμφανίζουν χημική δραστηριότητα αρκετές μέρες ή και μήνες μετά την ανάμιξη των συστατικών του σκυροδέματος.

Προδιαγραφές – χρήσεις – αποτελεσματικότητα

Οι διάφοροι κανονισμοί των διαφόρων κρατών, όπως ASTM, ACI, BS, RILEM, ΚΤΣ καθορίζουν για τα πρόσθετα τα κάτωθι :

- Δοσολογία
- Τρόπο εφαρμογής
- Χρόνο προσθήκης
- Κύρια δράση
- Επιπτώσεις υπερδόσεων
- Περιεκτικότητα σε χλωριούχα ή άλλες βλαπτικές ουσίες
- Συνθήκες φύλαξης-διατήρησης.

1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ

Οι υπερπλαστικοποιητές – Μειωτές νερού

Οι υπερπλαστικοποιητές ανήκουν στα πρόσθετα – βελτιωτικά σκυροδέματος και κύρια δράση τους είναι η πλαστικοποίηση του σκυροδέματος. Ονομάζονται και μειωτές νερού, γιατί χρησιμοποιούνται για να μειώσουν το νερό ανάμειξης. Οι κανονικοί μειωτές νερού επιτυγχάνουν μείωση κατά 10-15%. Μεγαλύτερες ποσότητες για μεγαλύτερη μείωση του νερού προκαλούν ανεπιθύμητα αποτελέσματα στην πήξη, στον περιεχόμενο αέρα, στην ανάμειξη, στην απόμειξη και την σκλήρυνση. Οι υπερπλαστικοποιητές είναι χημικά διαφορετικοί από τους κανονικούς μειωτές νερού και επιτυγχάνουν μείωση κατά 30%. Ονομάζονται επίσης και υπερρευστοποιητές ή υπερμειωτές νερού και τέλος ως υψηλής ικανότητας μειωτές νερού.

Ταξινόμηση υπερπλαστικοποιητών

A) Μειωτές νερού και ρυθμιστές πήξης

- Τύπος A : πλαστικοποιητές
- Τύπος D : πλαστικοποιητές με επιβραδυντική δράση
- Τύπος E : Ομοίως ως άνω-μείωση νερού κατά 5-15%

B) Ρευστοποιητές

- Τύπος F : υπερρευστοποιητές
- Τύπος G : υπερρευστοποιητές με επιβραδυντική δράση, επιτυγχάνουν μείωση νερού κατά 25-35%

Χρήση-Τρόπος δράσης υπερπλαστικοποιητών

Τα βασικά πλεονεκτήματα των υπερπλαστικοποιητικών περιλαμβάνουν:

- Υψηλή εργασιμότητα του σκυροδέματος (workability) με αποτέλεσμα την εύκολη σκυροδέτηση χωρίς αντίστοιχη μείωση της αντοχής.
- Υψηλή αντοχή στο σκυρόδεμα με κανονική εργασιμότητα, αλλά με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό.
- Σκυρόδεμα με λιγότερο τσιμέντο, αλλά με κανονική αντοχή και εργασιμότητα.

Τα πρόσθετα αυτά κυκλοφορούν στο εμπόριο, είτε ως υδατικά διαλύματα, είτε ως στερεά υπό μορφή σκόνης. Η δοσολογία καθώς και ο τρόπος χρήσης δίδεται από τους κατασκευαστές.

Τα πρόσθετα A, D, E ελαττώνουν την επιφανειακή τάση του νερού. Τα πρόσθετα D, λόγω και της παρουσίας υδατανθράκων παρουσιάζουν και επιβραδυντική δράση, ενώ τα E περιέχουν τριαιθανολαμίνη (επιταχυντή), που αναστέλλει την επιβραδυντική δράση και επιταχύνει την ενυδάτωση. Τα πρόσθετα F, G, περιέχουν χημικά στοιχεία που επιταχύνουν την ενυδάτωση του τσιμέντου.

Υδαρές σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα καλής εργασιμότητας επιτρέπει εύκολη και γρήγορη σκυροδέτηση. Ένα αρκετά εργάσιμο σκυρόδεμα μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο ενώ ο λόγος νερό/τσιμέντο (N/T) παραμένει αμετάβλητος ή με αύξηση του περιεχομένου νερού ενώ η περιεκτικότητα σε τσιμέντο παραμένει ίδια. Και οι δύο μέθοδοι οδηγούν σε απόμειξη, υπερβολική συρρίκνωση,

ανεπιθύμητη ανάπτυξη θερμότητας και μακροπρόθεσμες επιζήμιες επιδράσεις.

Με την εφαρμογή των υπερπλαστικοποιητών είναι δυνατή η επίτευξη κάθισης 200 mm από μία αρχική κάθιση 50 mm με δόση 0,3-0,6%. Μέσα σε λίγα λεπτά από την προσθήκη του υπερπλαστικοποιητή το σκυρόδεμα αρχίζει να ρέει εύκολα και γίνεται αυτοεπιπεδούμενο. Παραμένει με συνεκτικότητα και δεν παρουσιάζει εξίδρωση, απόμειξη και χαρακτηριστικά απώλειας αντοχής. Το σκυρόδεμα αυτό είναι γνωστό σαν υδαρές. Για καλλίτερα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιούνται υλικά υψηλής λεπτότητας.

Το υδαρές σκυρόδεμα επιτρέπει σκυροδέτηση με πυκνό οπλισμό και σε σχετικά απρόσιτες περιοχές. Το πρόβλημα παραμόρφωσης και καταστροφής των ξυλοτύπων από τους δονητές εξαλείφεται και η άντληση του σκυροδέματος βελτιώνεται κατά πολύ. Η χρήση των υπερπλαστικοποιητών επιβάλλει αλλαγές στην κανονική διαδικασία παραγωγής και σκυροδέτησης του σκυροδέματος. Η αναλογία του τσιμέντου, της άμμου, του χαλικιού και η δοσολογία του υπερπλαστικοποιητή πρέπει να προσαρμόζεται, έτσι ώστε να αποφεύγεται η απόμειξη. Το υδαρές σκυρόδεμα προκαλεί μεγαλύτερη πίεση από το κανονικό στους ξυλοτύπους και γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για ν' αντέχουν. Το υδαρές σκυρόδεμα αντενδείκνυται σε θέσεις με κλίση πάνω από 3%. Ο υπερπλαστικοποιητής πάνω από μια συγκεκριμένη ποσότητα μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες ενέργειες.

Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής

Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής μπορεί να παρασκευαστεί χωρίς πρόσθετα αρκεί να χρησιμοποιηθεί χαμηλή ποσότητα νερού και να έχει την επιθυμητή εργασιμότητα. Με μείωση του νερού όμως είναι δύσκολο να επιτευχθεί καλή εργασιμότητα. Μια μείωση νερού περίπου 25-30% μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση υπερπλαστικοποιητών χωρίς απώλεια της εργασιμότητας και με σημαντικά υψηλότερη αρχική και τελική αντοχή. Την ίδια υψηλή αρχική αντοχή στο σκυρόδεμα θα μπορούσαμε να επιτύχουμε με υψηλή περιεκτικότητα τσιμέντου, όμως οι υψηλές θερμοκρασίες που θα ανεπτύσσοντο από τις χημικές αντιδράσεις θα προκαλούσαν ανεπιθύμητα ραγίσματα και συρρίκνωση.

Η υπερταχεία ανάπτυξη αντοχής, ένα χαρακτηριστικό του σκυροδέματος που παρασκευάζεται χρησιμοποιώντας υπερπλαστικοποιητές με χαμηλό λόγο N/T, είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη στην παραγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων.

Για τα προεντεταμένα δοκάρια και στοιχεία που χρειάζονται, καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας, θερμική συντήρηση, η χρήση υπερπλαστικοποιητών επιτρέπει μείωση στο χρόνο και στη θερμοκρασία συντήρησης.

Η υπερταχεία ανάπτυξη αντοχής στο σκυρόδεμα έργων όπως δρόμοι ή διάδρομοι προσγείωσης είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη.

Η δυνατότητα των ρευστοποιητών να μειώνουν το νερό χωρίς να ελαττώνεται η εργασιμότητα οδήγησαν στην παραγωγή σκυροδεμάτων πολύ υψηλής αντοχής, πάνω από 40 MPa σε 24 ώρες και πάνω από 100 MPa σε 28 ημέρες με λόγο N/T μικρότερο από 0,3. Τα σκυροδέματα αυτά έχουν περισσότερο ψαθυρή συμπεριφορά από το συνηθισμένο.

Επίσης επιτεύχθηκαν υψηλές αντοχές σε σκυροδέματα με υψηλό ποσοστό ιπτάμενης τέφρας. Για παράδειγμα σκυρόδεμα με 150 kg/m³ τσιμέντο, 190 kg/m³ ιπτάμενη τέφρα, N/T < 0,35, ρευστοποιητή 7,9 lit έδωσε αντοχές : σε 7 ημέρες 26 MPa , σε 28 ημέρες 47 MPa, σε 91 ημέρες 62 MPa.

Πρότυπο σκυρόδεμα χωρίς ιπτάμενη τέφρα έδωσε αντοχές σε 7 ημέρες 39 MPa, σε 28 ημέρες 48 MPa, σε 91 ημέρες 52 MPa.

Εξαιρετικές αντοχές επιτεύχθηκαν με πυριτική άχνη : π.χ. 593 kg/m³ τσιμέντο + 119 kg/m³ πυριτική άχνη με N/T = 0,22, κάθιση 120 mm, αντοχή σε θλίψη μετά 28 ημέρες 115 MPa και σε εφελκυσμό 14 MPa.

Νωπό σκυρόδεμα

Η δράση της πλαστικοποίησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η ενυδάτωση του τσιμέντου εξαρτάται από την καλή διασπορά του συστήματος τσιμέντου-νερού και η προσθήκη υπερπλαστικοποιητή βοηθά τη δράση αυτή.

Η αύξηση της κάθισης στο νωπό σκυρόδεμα εξαρτάται από τον τύπο, τη δοσολογία και την ώρα της προσθήκης του υπερπλαστικοποιητή, το λόγο N/T, την κατηγορία και την ποσότητα των αδρανών, τη θερμοκρασία, κλπ. Η κάθιση αυξάνεται με το ποσό του υπερπλαστικοποιητή που προστίθεται, αλλά η αποτελεσματικότητα δεν θα βελτιωθεί πάνω από μια συγκεκριμένη δοσολογία. Πάντως πολύ υψηλότερες τιμές κάθισης επιτυγχάνονται όταν το πρόσθετο προστίθεται λίγα λεπτά αφού το σκυρόδεμα αναμειχθεί με το νερό.

Τα σχετικά επίπεδα ρευστότητας εξαρτώνται από παράγοντες, όπως τα χημικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του τσιμέντου και την ειδική επιφάνεια. Οι τιμές κάθισης επίσης αυξάνονται με την ποσότητα του τσιμέντου.

Η υψηλότερη από την κανονική εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος που περιέχει υπερπλαστικοποιητή γενικά διατηρείται για περίπου 30-60 λεπτά, γι' αυτό πρέπει να σκυροδετηθεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα

μετά την προσθήκη του πλαστικοποιητή. Σε εργασίες με έτοιμο σκυρόδεμα ο υπερπλαστικοποιητής πρέπει να προστίθεται μόνο στο σημείο χρήσης. Στους παράγοντες που επηρεάζουν την απώλεια κάθισης περιλαμβάνονται ή αρχική τιμή κάθισης, ο τύπος και το ποσό του τσιμέντου, ο χρόνος προσθήκης του υπερπλαστικοποιητή, η υγρασία, η θερμοκρασία, οι συνθήκες ανάμειξης και η παρουσία άλλων πρόσθετων στο μείγμα. Ο ρυθμός απώλειας της κάθισης μπορεί να μειωθεί προσθέτοντας υψηλότερη από την κανονική δόση υπερπλαστικοποιητή, είτε προσθέτοντας τον υπερπλαστικοποιητή σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, είτε περιλαμβάνοντας κάποιον τύπο επιβραδυντή στη σύνθεση.

Οι αρχικοί και τελικοί χρόνοι πήξης του νωπού σκυροδέματος ενδέχεται να αλλάξουν από τη χρήση υπερπλαστικοποιητή, ο τύπος και το ποσό θα επιβραδύνουν ή θα επιταχύνουν τον χρόνο πήξης. Η χρήση υπερπλαστικοποιητή θα επηρεάσει την αύξηση ή την μείωση του περιεχομένου αέρα στο ρευστό σκυρόδεμα.

Σε υψηλής αντοχής σκυροδέματα η χρήση υπερπλαστικοποιητή θα οδηγήσει στην μείωση του νερού. Η μείωση εξαρτάται από τον τύπο και τη δοσολογία του υπερπλαστικοποιητή, αλλά και την αρχική κάθιση. Παραπάνω όμως από ένα όριο δοσολογίας δεν είναι δυνατή περαιτέρω μείωση του νερού.

Η αντοχή επίσης αυξάνεται με τη χρήση υπερπλαστικοποιητών και αυτό οφείλεται, κυρίως, λόγω της βελτίωσης του λόγου N/T .

Η συστολή και ο ερπυσμός δεν επηρεάζονται γενικά από τη χρήση υπερπλαστικοποιητών. Μελέτες επίσης έχουν αποδείξει ότι η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος δεν μεταβάλλεται με τη χρήση υπερπλαστικοποιητών ή αερακτικών, καθώς επίσης δεν μεταβάλλεται και η παραγωγή.

Συμπεράσματα

Με τη χρήση υπερπλαστικοποιητών έγινε πραγματικότητα η επιδίωξη των τεχνικών για παρασκευή σκυροδέματος υψηλής αντοχής και εργασιμότητας με το χαμηλότερο δυνατό λόγο N/T . Έτσι επετεύχθη παραγωγή σκυροδέματος με αντοχή σε θλίψη της τάξης των 90 MPa.

Υπάρχουν αμέτρητες πιθανές εφαρμογές των υπερπλαστικοποιητών σε σκυροδέματα με ιπτάμενες τέφρες, σκωρίες υψικαμίνων, σε ινοπλισμένα και ελαφρά σκυροδέματα.

Με τους υπερπλαστικοποιητές επιτυγχάνεται α) επίτευξη υψηλών αντοχών (μείωση του λόγου N/T χωρίς να μεταβληθεί η εργασιμότητα), β) αύξηση εργασιμότητας (διατηρούνται η ποσότητα νερού και ο λόγος N/T αμετάβλητα), γ) έχουμε οικονομία τσιμέντου (διατηρείται ο λόγος

N/T σταθερός, αλλά μειώνεται το τσιμέντο και έτσι έχουμε μείωση της θερμότητας ενυδάτωσης.

2. ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΗΞΗΣ

Επιταχυντές - Αντιπαγετικά

Η επιτάχυνση της πήξης και της σκλήρυνσης είναι δυνατόν να επιτευχθεί με πρόσθετα επιτάχυνσης. Οι επιταχυντές επιταχύνουν την ενυδάτωση του τσιμέντου, χωρίς όμως να έχουν δράση αντιψυκτικού, απλά διευκολύνουν την ενυδάτωση του αργιλικού ασβεστίου ή των πυριτικών ενώσεων του τσιμέντου. Αποτέλεσμα της χρήσης τους είναι η αύξηση της θερμοκρασίας, λίγο χρόνο μετά τη σκυροδέτηση, η αύξηση της συστολής ξήρανσης και σε ορισμένες περιπτώσεις η μείωση της αντοχής του σκυροδέματος, γι' αυτό η χρήση τους πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο και μόνο στις εντελώς απαραίτητες περιπτώσεις.

Εφαρμόζονται σε σκυροδετήσεις με χαμηλές θερμοκρασίες και όπου απαιτείται συντόμευση του χρόνου των κατασκευαστικών εργασιών, όπως σε διαρροές, συγκράτησης οροφών τούνελ, κλπ.

Ο χρόνος της ανάμειξης-μεταφοράς-διάστρωσης μειώνεται και απαιτείται αυστηρός προγραμματισμός της εργασίας.

Η αποτελεσματικότητά τους επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σε υψηλές θερμοκρασίες η χρήση τους είναι επικίνδυνη, λόγω αύξησης της συστολής ξήρανσης.

Η προσθήκη οποιασδήποτε χλωριούχου ένωσης είναι ανεπίτρεπτη ειδικά για οπλισμένο σκυρόδεμα, λόγω των κινδύνων διάβρωσης του σιδηρού οπλισμού.

Επιβραδυντές

Οι επιβραδυντές χρησιμοποιούνται κυρίως το καλοκαίρι κατ'εξοχήν στις θερμές χώρες και ιδίως όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος υπερβεί τους 25° C.

Οι επιβραδυντές αυξάνουν τον χρόνο πήξης και ελαττώνουν το ρυθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου. Το θειικό ασβέστιο, η φυσική δηλαδή γύψος, μεγαλύτερης ποσότητας, από την προβλεπόμενη από τους διεθνείς κανονισμούς, στη διάρκεια παραγωγής του τσιμέντου προκαλεί σοβαρά προβλήματα σε άλλες ιδιότητες του τσιμέντου. Οι επιβραδυντές επιτυγχάνουν μείωση του νερού έως 3% και μεταβολή της θλιπτικής αντοχής των 28 ημερών κατά $\pm 10\%$ ως προς το πρότυπο.

Εκτός από επιβραδυντές έχουμε τους μειωτές νερού και επιβραδυντές συγχρόνως. Επιτυγχάνουν μείωση νερού κατά 5% και αύξηση της θλιπτικής αντοχής των 28 ημερών κατά 15% ως προς το πρότυπο.

Εφαρμόζονται σε σκυροδέματα με υψηλές θερμοκρασίες, όπου πρέπει να αποφύγουμε αρμούς διακοπής και μικρορηγματώσεις σε καταστρώματα γεφυρών, φράγματα, όπου το σκυρόδεμα διαστρώνεται κατά τμήματα και πρέπει να μείνει πλαστικό, επίσης χρησιμοποιούνται σε τσιμεντενέσεις βαθέων οπών. Η προσθήκη αυτών των προσθέτων δεν πρέπει να υπερβαίνει τη δοσολογία 0,3% κ.β. και πρέπει να προστίθενται μερικά λεπτά μετά το νερό. Εφαρμόζονται κυρίως στο έτοιμο σκυρόδεμα που μεταφέρεται με τους αναμκτήρες στο εργοτάξιο και ένα επιβραδυντής πήξης είναι εύλογος.

3. ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΙΚΑ - ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ

Το σκληρυμένο σκυρόδεμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μικροπορώδες υδρόφιλο στερεό. Κατά συνέπεια υπόκειται σε σοβαρές εσωτερικές τάσεις, όταν το νερό απορροφάται μέσω των τριχοειδών ή όταν εξατμίζεται, ανεξάρτητα από το φαινόμενο του παγετού, που προκαλεί καταστροφικές δράσεις.

Παράλληλα η μεταβολή της υγρασία του σκυροδέματος προκαλεί σοβαρές μεταβολές στις μηχανικές, θερμικές, φυσικές και χημικές ιδιότητές του.

Μια καλή συμπίκνωση του σκυροδέματος σημαίνει μείωση των πόρων και της υδατοπερατότητάς του με αποτέλεσμα την αύξηση της μηχανικής αντοχής, αλλά και όλων γενικά των ιδιοτήτων του σκυροδέματος.

Πρόσθετα στεγανοποιητικά υλικά, σε μορφή υγρή ή στερεή (σκόνη) λειτουργούν και ως πλαστικοποιητές, μειώνουν την τάση δημιουργίας ρωγμών, βελτιώνουν την πρόσφυση και δεν επιβραδύνουν την σκλήρυνση.

Τα πρώτα στεγανοποιητικά μάζας σκυροδέματος, που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα είναι οι πουζολάνες και κυρίως η θηραϊκή γή και ο μπετονίτης, πολλές αλγινικές ενώσεις, καθώς και κάθε υλικό σε μορφή λεπτής σκόνης που μπορεί να αποκτήσει κολλοειδείς ιδιότητες και με το νερό διογκώνεται και φράζει τους πόρους.

Απόλυτα στεγανό σκυρόδεμα δεν υπάρχει, παρά μόνο αν κατασκευάσουμε μια απόλυτα στεγανή επικάλυψη της επιφάνειας. Η δυνατότητα μείωσης της υδατοπερατότητας ενός άριστου κατά τα άλλα σκυρόδεμα, από άποψη σύνθεσης, κοκκομετρικής διαβάθμισης, συμπίκνωσης κλπ. με την βοήθεια ενός στεγανοποιητικού καλής ποιότητας δεν υπερβαίνει το 85-90%.

Ένα σκυρόδεμα άριστης σύνθεσης, διάστρωσης και συμπύκνωσης, μόνο με την κατασκευή στεγανής τσιμεντοκονίας στην επιφάνειά του, με την προσθήκη και σ' αυτήν στεγανοποιητικού μάζας μπορεί να θεωρηθεί στεγανό.

Τα στεγανοποιητικά μάζας λειτουργούν μέσω της διόγκωσης των κολλοειδών συστατικών τους, σε συνδυασμό με την υδρόφοβη ιδιότητά τους, υπό την επίδραση του νερού.

Συμπερασματικά για να καταστεί ένα σκυρόδεμα, κατά το δυνατόν υδατοπερατό απαιτούνται τα κάτωθι:

- μικρός λόγος νερού προς τσιμέντο (N/T)
- άριστη κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών
- προσθήκη στεγανοποιητικού

Η ταυτόχρονη συνύπαρξη και των τριών προϋποθέσεων προκαλεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τα στεγανοποιητικά κυκλοφορούν σε σκόνη ή υγρά και προστίθενται στο μείγμα σε αναλογία 0,5 – 3,0% του βάρους του τσιμέντου.

4. ΑΕΡΑΚΤΙΚΑ – ΑΝΤΙΑΠΟΜΕΙΚΤΙΚΑ – ΑΝΤΙΠΑΓΕΤΙΚΑ

Ο εγκλεισμός αέρα ή αερίων σε μορφή μικρών κυψελών μέσα στο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται από χρόνια στην Αμερική και στην Ευρώπη. Ο εγκλεισμός αυτός γίνεται με τα αερακτικά πρόσθετα είτε κατά την παρασκευή του σκυροδέματος, είτε κατά την παρασκευή του τσιμέντου. Η εφαρμογή αυτή είναι πολύ συνηθισμένη στις βόρειες χώρες, όπου λόγω χαμηλών θερμοκρασιών το σκυρόδεμα κινδυνεύει από παγοπληξία. Το συνηθισμένο σκυρόδεμα περιέχει ένα ποσοστό αέρα, που δεν απομακρύνεται κατά τη συμπύκνωση και δημιουργεί τριχοειδείς αγωγούς και εκεί οφείλει την υδατοπερατότητά του και την υδροαπορροφητικότητα του.

Οι κυψέλες, όμως που εισάγονται με τα αερακτικά πρόσθετα είναι πολύ μικρότερες, ομοιόμορφα διασκορπισμένες 0,05-1,0 mm και δεν σχηματίζουν συνεχείς τριχοειδείς αγωγούς.

Αντίθετα είναι κλειστές κυψέλες, που διακόπτουν τη συνέχεια των τριχοειδών αγωγών, βελτιώνοντας σημαντικά την υδροαπορροφητικότητα του. Ο συνολικός όγκος των κενών που εισάγονται δεν ξεπερνά το 3-4% του όγκου του σκυροδέματος. Σε 1 m³ σκυροδέματος με 3% εγκλεισμό αέρα με αερακτικό, οι κυψέλες ανέρχονται σε μερικά δεκάτομμύρια.

Αυτό το σύστημα κενών προστατεύει το σκυρόδεμα από την παγοπληξία, βελτιώνει την εργασιμότητά του, αυξάνει την αντοχή του κατά του παγετού και το προστατεύει κατά τη απόμειξης. Μειονέκτημα θεωρείται η ελαφρά μείωση των μηχανικών αντοχών, ιδίως σε τριβή και η

μεταβολή της υφής του σκυροδέματος κατά τη διάστρωση, που επιβάλλει την επιφανειακή του επεξεργασία χωρίς καθυστέρηση.

Η συμπύκνωση με δόνηση μειώνει παραπολύ την παραμένουσα ποσότητα του αέρα μέσα στο σκυρόδεμα. Με δόνηση 2,5 λεπτών μειώθηκε ο αέρας κατά 50% και με δόνηση 9 λεπτών κατά 80%. Με τα αερακτικά βελτιώνεται σημαντικά το εργάσιμο άρα υπερβολική δόνηση είναι περιττή και επιζήμια.

Η θερμοκρασία επιδρά σημαντικά στην ποσότητα του εγκλεισμένου αέρα, ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε θερμοκρασία 10°C ο εγκλεισμός αέρα είναι διπλάσιος εκείνου που εγκλείεται σε θερμοκρασία 38° C για την ίδια ποσότητα αερακτικού.

Τα αερακτικά εφαρμόζονται στις εξής περιπτώσεις :

- Σε περιπτώσεις παγοπληξίας ή κύκλου θέρμανσης-ψύξης,
- Στα ελαφροσκυροδέματα για αύξηση της διαπερατότητας,
- Σε φράγματα και μαζικές κατασκευές για να αυξηθεί η εργασιμότητα πτωχών σε τσιμέντο μειγμάτων.

Η επίδραση των αερακτικών σε όλες τις ιδιότητες του σκυροδέματος είναι πολλές φορές σημαντική. Οι ρηγματώσεις λόγω συστολών κατά την αρχική ενηλικίωση του σκυροδέματος μειώνονται, όπως επίσης μειώνονται οι απώλειες νερού λόγω εξάτμισης. Μειώνεται επίσης η πυκνότητα του σκυροδέματος, ενώ αντίστοιχα δεν μειώνεται η θλιπτική αντοχή του, εντούτοις παρατηρείται αύξηση αντοχής. Τέλος η αντοχή του στις καιρικές συνθήκες και η ρηγμάτωσή του μετά την σκλήρυνση λόγω του κύκλου διαβροχής-ξήρανσης, καθώς και η αντοχή του σε παγετό αυξάνονται.

Τα αντιπαγετικά σκυροδέματος διακρίνονται σε αντιπαγετικά του νωπού σκυροδέματος και τα αντιπαγετικά του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Τα αντιπαγετικά του νωπού σκυροδέματος συνίστανται συνήθως από άλατα, που μειώνουν το σημείο τήξης του νερού, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιούν την αντίδραση ενυδάτωσης του τσιμέντου και έκλυση της θερμότητας.

Αντίθετα τα αερακτικά-αντιπαγετικά του σκληρυμένου σκυροδέματος αποβλέπουν στη βελτίωση της αντοχής του σκυροδέματος σε παγετό μετά τη σκλήρυνση. Αυτό το επιτυγχάνουν με τη δημιουργία πόρων αέρα μέσα στη μάζα, του σκυροδέματος, οι οποίοι παραλαμβάνουν τις τάσεις που δημιουργούνται κατά τον παγετό λόγω διαστολής του νερού, προλαμβάνοντας έτσι την καταστροφή του. Τα αερακτικά επίσης λειτουργούν ως απομεικτικά και πλαστικοποιητικά, αφού οι δημιουργούμενοι πόροι διευκολύνουν την ολίσθηση των στερεών κόκκων, ότι ακριβώς συμβαίνει και με οποιοδήποτε άλλο πλαστικοποιητή και επιτρέπει έτσι τη μείωση του νερού. Ταυτόχρονα με τη θιξοτροπία που

προσδίδουν στο μείγμα, μειώνουν αισθητά τον κίνδυνο απόμειξης του σκυροδέματος. Η λειτουργία αυτή είναι σημαντική στις περιπτώσεις που το σημείο παραγωγής είναι μακριά από το σημείο διάστρωσης και μεσολαβεί μεταφορά του έτοιμου σκυροδέματος.

5. ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΦΘΟΡΑ ΑΠΟ ΤΡΙΒΗ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ

Τα πρόσθετα αυτά εξετάζονται μαζί, γιατί τα περισσότερα από τα βελτιωτικά αντοχής σε φθορά από τριβή, βελτιώνουν συγχρόνως και την αντοχή στις χημικές επιδράσεις και αντίστροφα. Η βελτίωση της αντοχής σε φθορά από τριβή αντιμετωπίζεται με τη χρήση σκληρότερων αδρανών. Η αντικατάσταση π.χ. των ασβεστολιθικών αδρανών από πυριτικά ή πεφρυγμένη μαγνησία ή πεφρυγμένο βωξίτη προσδίδει στο σκυρόδεμα αντοχές σε φθορά από τριβή σημαντικά υψηλότερες. Η χρησιμοποίηση, όμως τέτοιων αδρανών αναβάζει εξαιρετικά το κόστος. Εκτός από τα παραπάνω υπάρχουν και τα πρόσθετα επιφανειακής σκλήρυνσης των σκυροδεμάτων και των τσιμεντοκονιαμάτων, που είναι χημικής σύστασης και λειτουργίας. Η λειτουργία τους βασίζεται στην προσβολή της ασβέστου που ελευθερώνεται σε αδιάλυτες σταθερές ενώσεις κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου. Πολλές φορές όμως το φαινόμενο αυτό οδηγεί σε αύξηση του κινδύνου διάβρωσης του οπλισμού.

Τα πιο αξιολογικά είναι τα πρόσθετα, που εκτός της ασβέστου προσβάλλουν και τα ασβεστολιθικά αδρανή, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αδιάλυτων συμπλόκων πυριτικών αλάτων με αυξημένη αντοχή σε φθορά από τριβή και χημική αντοχή.

6. ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ – ΑΝΑΣΤΑΛΤΙΚΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Η προστασία του οπλισμού από την διάβρωση εξασφαλίζεται με επαρκή επικάλυψη σε πάχος 2-5 cm. Η υψηλή περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο, η άριστη κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών και η καλή συμπύκνωση οδηγούν σε σκυροδέματα υψηλής ποιότητας αεροσταγή και υδατοστεγή.

Η προσθήκη μειωτών νερού, υπερρευστοποιητών, στεγανωτικών μάζας και πυριτικής άχνης οδηγούν σε σκυρόδεμα μειωμένου πορώδους. Η εξασφάλιση στεγανού σκυροδέματος αποσκοπεί την προστασία του οπλισμού από διάβρωση, που είναι η σπουδαιότερη αιτία καταστροφής του σκυροδέματος. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται πρόσθετα σκυροδέματος μέσα στη μάζα του, **ανασταλτικά διάβρωσης**, ιδιαίτερα σε έντονα

διαβρωτικό περιβάλλον ή σε περιπτώσεις ύπαρξης διαβρωτικών παραγόντων, όπως ύπαρξης χλωριούχου ασβεστίου.

Η διάβρωση του οπλισμού συντελείται όταν συνυπάρχουν υγρασία και αέρας και σε περιβάλλον όξινο. Με βασικό περιβάλλον δηλαδή pH 11,5-12,5 ο χάλυβας καλύπτεται με μια «παθητική» προστατευτική μεμβράνη. Η εξασφάλιση και διατήρηση, συνεπώς αλκαλικού περιβάλλοντος, δηλαδή pH > 11,5 αποτελεί την καλλίτερη προστασία. Τα προϊόντα της διάβρωσης του οπλισμού, οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου, καταλαμβάνουν όγκο 4-12 φορές μεγαλύτερο του χάλυβα, με αποτέλεσμα την εκτονωτική πίεση στο σκυρόδεμα οδηγώντας σε ραγίσματα, λεκέδες σκουριάς και αποφλοίωση του διαβρωμένου οπλισμού. Τα ανασταλτικά διάβρωσης προστίθενται κατά την παρασκευή του σκυροδέματος σε αναλογία 1-3% επί του βάρους του τσιμέντου.

Οι χημικές αυτές ουσίες είναι οργανικά άλατα, νιτρώδες ασβέστιο, ανόργανα άλατα, φωσφορικά άλατα, λιγνοσουλφόνη με βάση τη λιγνίνη και οργανικά άλατα αμινοαλκοόλης και παρουσιάζουν υψηλή διεισδυτικότητα στο σκυρόδεμα, χημική έλξη με τον χάλυβα, σχηματισμό συμπλόκων αλάτων με τον οπλισμό.

Βασική λειτουργία αυτών είναι :

- Ανοδική προστασία και εμποδίζει την ηλεκτρόλυση στην άνοδο.
- Καθοδική προστασία και εμποδίζει την ηλεκτρόλυση στην κάθοδο.
- Εκτοπίζει ένα σημαντικό ποσοστό χλωριόντων.

Η χρήση τους μπορεί να προκαλέσει μείωση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, επιβράδυνση στη σκλήρυνση του τσιμέντου ή να γίνουν επιβλαβή σε μετέπειτα ηλικία.

Συνήθως προ της διάστρωσης του σκυροδέματος καλύπτεται ο σιδηρούς οπλισμός με συνήθη τσιμεντοπολτό ή τσιμεντοπολτό που περιέχει τα παραπάνω πρόσθετα σε αναλογία έως και 10%. Η πλήρης εξασφάλιση του οπλισμού επιτυγχάνεται με ασφάλεια μέσω της επάλειψης των ράβδων οπλισμού με κατάλληλη εποξεική σύνθεση, προ της διάστρωσης. Οι εποξειδικές ρητίνες παρουσιάζουν καλή πρόσφυση στο χάλυβα και έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα σε αλκαλικό περιβάλλον.

7. ΑΠΟΚΟΛΛΗΤΙΚΑ

Η βελτίωση της επιφάνειας εντός σκυροδέματος προϋποθέτει κατ' αρχήν ένα σκυρόδεμα καλής ποιότητας, έναν καλό ξυλότυπο και ένα καλό αποκολλητικό που θα επιτρέψει την ασφαλή αποκόλληση του ξυλοτύπου από το σκυρόδεμα με τα λιγότερα δυνατά ελαττώματα, ιδιαίτερα εάν πρόκειται για εμφανές, ανεπίχριστο σκυρόδεμα.

Τα χημικά αποκολλητικά περιέχουν μεταξύ των συστατικών τους ουσίες, που αντιδρούν χημικά με την επιφάνεια του σκυροδέματος και

προκαλούν έτσι διάσπαση του δεσμού μεταξύ σκυροδέματος και ξυλοτύπου, είναι νέα προϊόντα και εκτοπίζουν συνεχώς τα κλασσικά ελαιώδη αποκολλητικά λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους.

Δίνουν καλλίτερη επιφάνεια σκυροδέματος, εφαρμόζονται ευκολότερα με εκτόξευση, στεγνώνουν γρήγορα, κατανέμονται ομοιόμορφα επάνω στην επιφάνεια και μπορούν εάν χρειαστεί να επιβραδύνουν την πήξη της επιφάνειας του σκυροδέματος.

Ένα αποκολλητικό πρέπει να έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

- Να δίνει λεία και καθαρή επιφάνεια σκυροδέματος.
- Να επιτρέπει καλή πρόσφυση των επιχρισμάτων και των χρωμάτων επάνω στο σκυρόδεμα.
- Να εξασφαλίζει προστασία στους ξυλότυπους και να μην περιέχει κανένα τοξικό ή δυσάρεστο στη χρήση υλικό.
- Να είναι θιξοτροπικό, να μη ρέει δηλαδή στην κανονική ποσότητα σε κατακόρυφες επιφάνειες.

Εφαρμόζονται εύκολα με όλους τους τρόπους, με εκτόξευση, κύλινδρο, πινέλο ή σφουγγάρι.

8. ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Εφαρμόζονται σε όλες τις επιφάνειες του νωπού σκυροδέματος, που είναι εκτεθειμένες σε υψηλές θερμοκρασίες, σε ξηρό αέρα ή όταν επιθυμούμε ελεγχόμενη ωρίμανση π.χ. σε οδοστρώματα, διαδρόμους αεροδρομίων, πλάκες και κελύφη σκυροδέματος ή προσόψεις κτιρίων, κλπ.

Σχηματίζουν μια αδιάβροχη μεμβράνη επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος, που εμποδίζει την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια.

Η μείωση της εξάτμισης και συνεπώς ο συντελεστής προστασίας ανέρχεται περίπου σε 95% κατά τις πρώτες 12 ώρες.

Αυτό έχει και τα εξής αποτελέσματα :

- Βελτίωση των μηχανικών αντοχών και της εμφάνισης του σκυροδέματος ή του κονιάματος, αφού εμποδίζεται η επιφανειακή ξήρανση και έτσι διευκολύνεται η πλήρης ενυδάτωση.
- Εμποδίζεται η δημιουργία ρωγμών και προφυλάσσεται το νωπό σκυρόδεμα από τη βροχή.
- Αποφεύγεται η κάλυψη με μεμβράνη ή η συνεχής διαβροχή.

Εφαρμόζεται με ψεκαστήρα ή εκτοξευτήρα χαμηλής πίεσης ή κατά περίπτωση με κύλινδρο.

Συνήθως είναι λευκής απόχρωσης για να διευκολύνεται η σωστή εφαρμογή και να ανακλώνται οι ακτίνες του ήλιου. Απομακρίνεται εύκολα με βούρτσισμα, 48 ώρες τουλάχιστον μετά την εφαρμογή του.

Η κατανάλωση εξαρτάται από την επιθυμητή προστασία και κυμαίνεται μεταξύ 100 και 200 gr/m³.

9. ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ

Οι χρωστικές είναι σκόνης καθαρών χρωστικών ουσιών με κόκκους 01 έως 10 μ.μ και συνήθως είναι μεταλλικά οξειδία. Στο χρωματισμό του σκυροδέματος συμβάλλει το χρώμα του τσιμέντου, το χρώμα των αδρανών, η ομοιομορφία των μειγμάτων των διαφόρων σκυροδετήσεων στην ίδια κατασκευή, η ομοιομορφία της υφής των ξυλοτύπων και της υδροαπορροφητικότητάς του, η διατήρηση των ίδιων συνθηκών σκυροδέτησης και συμπύκνωσης και οι συνθήκες ενηλικίωσης του σκυροδέματος.

Οι ιδιότητες που πρέπει να ικανοποιούν οι χρωστικές σκυροδέματος και κονιαμάτων είναι η ομοιομορφία χρωματικού τόνου, η χρωστική ικανότητα, ο ευχερής διαποτισμός από το νερό και η εύκολο ανάμειξη μέσα στο μείγμα, η αδιαλυτότητα στο νερό, η σταθερότητα έναντι των ατμοσφαιρικών συνθηκών, των υπερδοσών ακτίνων, αλλά και της ασβέστου που απελευθερώνεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου και η χημική αδράνεια.

Η δοσολογία είναι μεταξύ 0,5% και 5% του βάρους του τσιμέντου και συνήθως δεν επηρεάζουν αρνητικά την αντοχή του σκυροδέματος.

Η χρωστική ουσία προστίθεται συγχρόνως με τα άλλα υλικά και η ανάμειξή τους πρέπει να γίνεται πολύ καλά.

Ο χρωματισμός του σκυροδέματος μέσα στη μάζα του είναι εξαιρετικά δυσχερής υπόθεση και επιβάλλονται σχολαστικά μέτρα και αρκετές δοκιμές προ της τελικής εφαρμογής.

10. ΑΛΛΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ

- Φίλερ (filler)

Είναι υλικά αδρανή, σε λεπτότατο καταμερισμό, που επιδρούν ευνοϊκά στο εργάσιμο και την υδατοπερατότητα. Η δράση τους είναι κυρίως μηχανική, λειτουργούν δηλαδή σαν λιπαντικό για το εργάσιμο και με την διόγκωση των κόκκων παρουσία υγρασίας αυξάνουν την υδατοστεγανότητα. Η παιπάλη γεμίζει τους πόρους του σκυροδέματος και βελτιώνει τη στεγανότητά του.

- Μπετονίτης

Μπετονίτης ή μπεντονίτης (bentonite) ονομάζεται ένα αργιλικό υλικό που προέρχεται από κατεργασία ηφαιστειακών ορυκτών. Περιέχει

διάφορα επί μέρους ορυκτά υλικά, όπως χαλαζία, άστριους, μαρμαρυγία, πυρίτιο, ασβέστιο, κ.α.

Ο μπετονίτης χρησιμοποιείται με τη μορφή αιωρήματος για τη συγκράτηση των τοιχωμάτων φρεατίων και τάφρων κατά την κατασκευή φρεατοπασσάλων και διαφραγμάτων αντίστοιχα. Ο μπετονίτης χρησιμοποιείται επίσης ως πρόσθετο του σκυροδέματος σε αναλογία από 0,5 έως 3% του βάρους του τσιμέντου στο σκυρόδεμα. Η προσθήκη μπετονίτη καθιστά το σκυρόδεμα πιο ευκατέργαστο. Μεγαλύτερη ποσότητα προκαλεί μείωση της μηχανικής αντοχής του σκυροδέματος, καθώς και της αντοχής του στον παγετό. Η προσθήκη μπετονίτη στο κονίαμα τσιμεντενέσεων σε ποσοστό 2 έως 3% αυξάνει ταχύτητα το ιξώδες του τσιμεντενέματος και επιτρέπει την έμφραξη ακόμη και μεγάλου μεγέθους οπών.

- **Ηφαιστειακές γαίες – θηραϊκή γή**

Πουζολάνες όπως η θηραϊκή γή και η Μηλαϊκή γή χρησιμοποιούνται κυρίως ως προσμίξεις του τσιμέντου για την παρασκευή σκυροδέματος. Οι κόκκοι μετά την κονιοποίηση είναι μικρότεροι από 45 μ.μ. Για να χρησιμοποιηθεί μια πουζολάνη για την παρασκευή τσιμεντών τύπου Ι ή ΙΙ πρέπει να παρουσιάζει μηχανική αντοχή τουλάχιστον 5 MPa.

- **Διατομική γή**

Η διατομική γή απαντάται κυρίως σε εναποθέσεις στις Η.Π.Α. (Καλλιφόρνια), Γερμανία, Δανία, Αλγερία και Καναδά. Κύριο χαρακτηριστικό της ενυδάτωσής της είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε νερό, που όμως μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα αντοχής και ανθεκτικότητας σε διάρκεια.

- **Πυριτική άχνη (Silica Fume)**

Το προϊόν με την ονομασία Silica Fume το αποδίδουμε στα Ελληνικά ως πυριτική άχνη, δηλαδή άμορφο οξείδιο του πυριτίου σε πολύ λεπτή σκόνη (SiO_2). Είναι υποπροϊόν της παραγωγής σιδηροπυριτικών κραμάτων σε ηλεκτρικές καμίνους. Είναι σκόνη γκρι προς λευκή με κόκκους διαμέτρου 0,1 έως 3 μικρά, δηλαδή το 1/100 του μεγέθους των κόκκων τσιμέντου. Οι χημικές και φυσικές ιδιότητες είναι πολύ δραδραστικότερες από τις φυσικές ποζολάνες.

Η πυριτική άχνη όταν χρησιμοποιείται σε οπλισμένα σκυροδέματα ενισχύει την αντιδιαβρωτική προστασία του χάλυβα, λόγω της εξαιρετικά χαμηλής διαπερατότητας που εξασφαλίζει στο σκυρόδεμα.

Σκυρόδεμα με πυριτική άχνη και χαμηλή περιεκτικότητα νερού έχει υψηλή αντίσταση στη διείσδυση χλωριούχων ιόντων και εφαρμόζεται σε κατασκευές γεφυρών ή ανακατασκευές. Η πυριτική άχνη για χρήση σε

σκυροδέματα διατίθεται σε υγρή και ξηρή μορφή. Προστίθεται κατά το στάδιο παραγωγής του σκυροδέματος στο εργοστάσιο ετοιμού σκυροδέματος.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση του είναι :

- Μεγαλύτερη υδροπροστασία, δυσκολία εισόδου υγρασίας, χημικών και άλλων ουσιών.
- Υψηλές τελικές αντοχές σε θλίψη (55-85 MPa).
- Αντοχή στη διάβρωση, τριβή, χημικές επιδράσεις και φθορά από παγετό.

Η πυριτική άχνη είναι ιδανική για κατασκευές εκτεθειμένες σε χημική και περιβαλλοντική επίδραση, όπως σε χώρους στάθμευσης, καταστρώματα γεφυρών, κατασκευές σε θάλασσα, δάπεδα, πλακόστρωτα και αυτοκινητοδρόμους.

Χρησιμοποιείται στην κατασκευή προκατασκευασμένων στοιχείων σε εργοστασιακούς χώρους και δημιουργεί υψηλές αρχικές και τελικές αντοχές σε θλίψη, μείωση των χρόνων σκλήρυνσης, που συντελείται με πίεση υδρατμού 16 έως 21 atm και έχει διάρκεια 4-10 ώρες, εξοικονόμηση σε κόστος θέρμανσης και ταχεία αφαίρεση καλουπιών. Σε εφαρμογές εκτοξευομένου σκυροδέματος υπάρχει λιγότερη απώλεια υλικού και μεγαλύτερη απόδοση, εξασφαλίζει υψηλότερη αντλησιμότητα και μειωμένο κόστος εφαρμογής.

- **Κονιοποιημένη τέφρα καυσίμων για σκυρόδεμα**

Λέγεται και ιπτάμενη τέφρα λιγνιτών ή PFA (Pulverised Fue Ash from concrete). Έχει ποζολανικές και φυσικές ιδιότητες που βελτιώνουν την συμπεριφορά του σκυροδέματος.

Η χρήση του εν λόγω πρόσθετου μειώνει την διαπερατότητα και βελτιώνει την αντοχή, την ανθεκτικότητα, την αντίσταση σε χλωριούχα και θειικά του σκυροδέματος. Η ποζολανική αντίδραση πραγματοποιείται αργά σε κανονικές θερμοκρασίες αυξάνοντας την αντοχή σε μακροχρόνια βάση. Μειώνει την απαίτηση σε νερό για δεδομένη εργασιμότητα, έτσι μειώνεται η διαπερατότητα και αυξάνεται η αντοχή και η ανθεκτικότητα. Επιπλέον το σκυρόδεμα έχει μεγαλύτερη συνεκτικότητα, έχει χαμηλή εξίδρωση και μικρότερη τάση για απόμειξη.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης PFA στο σκυρόδεμα είναι :

- Βελτίωση μακροχρόνια της συμπεριφοράς σε αντοχή και ανθεκτικότητα.
- Βελτίωση της διαπερατότητας που μειώνει τη συρρίκνωση, τον ερπυσμό και προβάλλει μεγαλύτερη αντίσταση στην είσοδο χλωριούχων και στην επίδραση των θειικών.
- Ελαχιστοποίηση του κινδύνου αλκαλοπυριτικής αντίδρασης.
- Μείωση του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας σε χονδρά τμήματα.

- Δημιουργία περισσότερο συνεκτικού σκυροδέματος, που έχει μειωμένη εξίδρωση, είναι περισσότερο αντλήσιμο και βελτιώνει την επιφάνεια των τελειωμάτων στις κατασκευές.

Η PFA μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εργοταξιακά, έτοιμα σκυροδέματα και προκατασκευασμένα, αποθηκεύεται σε Silo, όπως και το τσιμέντο Portland και αναμειγνύεται στον αναμικτήρα.

- Σκωρίες Υψικαμίνων

Οι ιδιότητες του σκυροδέματος μπορεί να τροποποιηθούν, όταν κατά την άλεση του κlinker προστεθεί σκωρία υψικαμίνων. Η σκωρία με μορφή λεπτής σκόνης αποτελεί υδραυλική κονία. Προκύπτει με ταχεία ψύξη της πυρακτωμένης ρευστής σκωρίας, που παράγεται στις υψικαμίνους.

Με λεπτή μηχανική άλεση μείγματος σκωρίας υψικαμίνων σε ποσοστό 35% το πολύ κ.β. και κlinker σε ποσοστό 65% κ.β. το λιγότερο και με προσθήκη θειϊκού ασβεστίου, προκύπτει το σιδηρικό τσιμέντο Portland (EPZ).

Τα τσιμέντα αυτά έχουν χρήση σε περιπτώσεις σκυροδετήσεων μεγάλων μαζών ή όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή.

- Μετακαολίνης (Metakaolin)

Ο μετακαολίνης παράγεται από καθαρό καολίνη. Είναι λευκός, άμορφος, αργυλοπυριτικής σύνθεσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πουζολανικό ορυκτό πρόσθετο, που δίνει αξιοσημείωτη βελτίωση και απόδοση σε πολλά χαρακτηριστικά των τσιμεντοκονιαμάτων, των σκυροδεμάτων και παρόμοιων προϊόντων.

Πεδία εφαρμογής του μετακαολίνης είναι :

- Προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος,
- Προϊόντα σκυροδέματος οπλισμένα με ίνες και σιδηροπλισμό,
- Κονιάματα, υλικά επισκευών,
- Βιομηχανικά επαναληπτικά προϊόντα σκυροδέματος,
- Σκυροδέματα υψηλής απόδοσης, υψηλής θλιπτικής αντοχής και μικρού βάρους.

Ο μετακαολίνης χρησιμοποιείται σε αναλογία 5-15% επί του βάρους του τσιμέντου. Όταν χρησιμοποιείται μετακαολίνης στο σκυρόδεμα, συνιστάται η χρήση υπερρευστοποιητών, αερακτικών και ιπτάμενης τέφρας συνιστάται προς αύξηση και διατήρηση της εργασιμότητας χωρίς να αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό.

Με την χρήση μετακαολίνης επιτυγχάνεται βελτίωση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος και ειδικότερα :

- ◆ Μείωση πορώδους και διαπερατότητας
- ◆ Αύξηση αρχικών θλιπτικών αντοχών
- ◆ Συμπίεση της καθυστέρησης αντοχής των 56 ημερών

- ◆ Ανθεκτικότητα στο χρόνο
- ◆ Εξαιρετική αντοχή σε χημικές προσβολές (θειικά, χλωριούχα, οξέα)
- ◆ Διασκορπίζεται εύκολα στο Μίξερ
- ◆ Βελτιώνει το σκοτεινό χρώμα των κονιαμάτων
- ◆ Μειώνει την κατανάλωση υπερρυστοποιητή για δεδομένη κάθιση
- ◆ Αναστέλλει την αλκαλοπυριτική αντίδραση.

- Τρασσία Γή

Η τρασσία γή παράγεται με τη λεπτή άλεση της τράσσης (trass) που είναι ηφαιστειογενές πέτρωμα. Η λεπτή σκόνη της τρασσίας γής έχει λανθάνουσες υδραυλικές ιδιότητες που ενεργοποιούνται μόνο σε επαφή με το τσιμέντο και μπορεί να προστεθεί στο σκυρόδεμα.

Η προσθήκη τρασσίας γής είναι σκόπιμη σε έργα μεγάλου όγκου σκυροδέματος οπλισμένου ή άοπλου, που πρέπει να προστατευθούν από πρόωρη ξήρανση. Η ικανότητα της τρασσίας γής να συγκρατεί το νερό είναι πολύ σημαντική και χάρη σ' αυτήν αποφεύγεται η παρασκευή υδαρών σκυροδεμάτων. Η τρασσία γή δεσμεύει το υδροξείδιο του ασβεστίου που απελευθερώνεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου. Οι ενώσεις που προκύπτουν από τη χημική αυτή δέσμευση, φράσσουν τους πόρους του στερεοποιημένου τσιμέντου. Το σκυρόδεμα με τρασσία γή έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα (ευκαμψία), έτσι ο κίνδυνος ρηγματώσεων είναι μικρότερος.

Στην πράξη η τρασσία γή χρησιμοποιείται για σκυροδετήσεις μεγάλου όγκου, για έργα σε υδάτινο περιβάλλον, για την παρασκευή υδατοστεγανού σκυροδέματος, ανθεκτικού στη χημική δράση αποβλήτων και για ανεπίχρηστα σκυροδέματα.

11. ΡΗΤΙΝΙΚΕΣ ΔΙΑΣΠΟΡΕΣ

Η ανάγκη βελτίωσης των σκυροδεμάτων και κονιαμάτων, χωρίς όμως να αλλάζουν τα βασικά συστατικά τους οδηγεί σε προσθήκες συνθετικών ρητινών σε γαλακτώματα με υδαρή μορφή.

Τα υλικά αυτά μπορούν να επιστρωθούν σε λεπτά πάχη με πολύ καλή πρόσφυση και μεγάλες μηχανικές αντοχής. Βελτιώνουν αρκετές ιδιότητες των σκυροδεμάτων και εξαλείφουν πολλά μειονεκτήματά τους. Τα γαλακτώματα των συνθετικών ρητινών αναμειγνύονται ευχερώς με τα βασικά υλικά του σκυροδέματος και των κονιαμάτων, είναι απόλυτα συμβατά και δεν δυσχεραίνουν τις χημικές αντιδράσεις σκλήρυνσης των υδραυλικών συστατικών.

Η προσθήκη γαλακτωμάτων συνθετικών ρητινών στο σκυρόδεμα, το καθιστά σκληρότερο και πυκνότερο και το κάνει ανθεκτικότερο έναντι

της τριβής. Προσφέρει αντοχή σε μικρής διάρκειας υγρασία, στα έλαια και στα υγρά καύσιμα.

Χρησιμοποιούνται επίσης για γέφυρες συνάφειας μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος. Τα κονιάματα με γαλακτώματα συνθετικών ρητινών εφαρμόζονται σε όλες τις κατασκευές, επισκευές και συντηρήσεις που χρειάζονται μεγάλες αντοχές, ισχυρή πρόσφυση, ελαστικότητα, απαλλαγή από ρηγματώσεις και αυξημένες χημικές αντοχές.

Η χρήση τέτοιων υλικών κυριολεκτεί σε υψηλής ποιότητας τσιμεντοκονιάματα και επιχρίσματα.

Χρησιμοποιούνται επίσης σε κονιάματα και κόλλες τοποθέτησης κεραμικών πλακιδίων, καθώς ενισχύουν σημαντικά τη συγκολλητική τους ικανότητα. Χρησιμοποιούνται για στεγανά επιχρίσματα και ανθεκτικά στα λάδια, τα λιπαντικά, τους διαλύτες και σε βιομηχανίες τροφίμων και φαρμάκων, χρησιμοποιούνται επίσης για επιχρίσματα και επισκευές σκυροδέματος σε πολύ μικρά πάχη, έως 0,5mm, καθώς επίσης σε λεπτές τσιμεντοκονίες δαπέδων με εξαιρετική αντοχή σε μηχανικές και χημικές καταπονήσεις.

Χρησιμοποιούνται για επιχρίσματα σε λείες επιφάνειες και σε κυψελωτό σκυρόδεμα. Για κονιάματα αρμών διακοπής, επιχρίσματα σε λείες και προβληματικές επιφάνειες, εμφανές σκυρόδεμα, πολυουρεθάνες, πολυστερίνη κλπ. καθώς και σε πλείστες άλλες εφαρμογές.

Βελτιώνει τις παρακάτω ιδιότητές του :

- Αντοχή σε θλίψη, τριβή, κάμψη
- Αντοχή σε χημικές καταπονήσεις
- Αύξηση της πρόσφυσης
- Αύξηση της ελαστικότητας
- Μείωση της συρρίκνωσης κατά την πήξη, αποτρέποντας ρηγματώσεις
- Καθιστούν το σκυρόδεμα αδιάβροχο
- Μικρότερος υδατοτσιμεντοσυντελεστής μέχρι 20%
- Ελάττωση της απόμειξης
- Αντοχή σε άλατα, ορυκτά έλαια και γενικά βελτιώνει τη χημική αντίσταση.

3.4 ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗ (Διάστρωση – συμπύκνωση – συντήρηση)

Το αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου είναι η διάστρωση - συμπύκνωση-συντήρηση. Είναι οι πρώτες εργασίες αμέσως μετά την παρασκευή του σκυροδέματος, που θα απασχολήσουν τον επιβλέποντα και τον εργολήπτη Πολιτικό Μηχανικό. Είναι ίσως η σημαντικότερη διαδικασία του αντικειμένου «σκυρόδεμα» και από την

σωστή εκτέλεση των εργασιών αυτών εξαρτάται η αντοχή, η ανθεκτικότητα και η διάρκεια ζωής μιας κατασκευής.

1. Διάστρωση

- Εκφόρτωση στη θέση της διάστρωσης .

Η εκφόρτωση του σκυροδέματος στη θέση της διάστρωσης πρέπει να γίνεται όσο πιο κοντά μπορούμε στη θέση τοποθέτησης του δονητή. Απαγορεύεται μεταφορά ή μετακίνηση του σκυροδέματος που διαστρώθηκε στον ξυλότυπο, με τον δονητή. Οι κίνδυνοι που παρουσιάζονται κατά τη διαδικασία της διάστρωσης είναι η απόμειξη ή η απόπλυση, όταν σκυροδετούμε μέσα στο νερό. Χρήση αντλιών, κεκλιμένων επιπέδων, μεταφορικών ταινιών παρουσιάζει κάποιο κίνδυνο απομείξεως. Πτώση σκυροδέματος μέσω κεκλιμένου επιπέδου από μεγάλο ύψος έχει τον κίνδυνο τα χοντρά υλικά να μαζευτούν σε κάποια θέση και τα ψιλά σε κάποια άλλη με αποτέλεσμα την απόμειξη. Για να αποτραπεί ο κίνδυνος της απόμειξης ο Κανονισμός δεν επιτρέπει πτώση από ύψος μεγαλύτερο των 2,50 μ. Για μεν τις πλάκες αυτό είναι εφικτό και πρέπει να διαστρώνουμε από όσο πιο μικρό ύψος γίνεται, αλλά για τα υποστρώματα και τα τοιχεία υπάρχει πρόβλημα, που θεωρητικά αντιμετωπίζεται με το άνοιγμα «παραθύρων» σε ενδιάμεσο ύψος. Έτσι κατά τη σκυροδέτηση δεν θα λερώνεται ο οπλισμός σε μεγαλύτερο ύψος. Το «αστάρωμα» δηλαδή η σκυροδέτηση σε δύο στρώσεις ώστε να έχει «τραβήξει» η πρώτη, όταν διαστρωθεί η δεύτερη απαγορεύεται πλέον. Η διάστρωση πρέπει να γίνει κατά ενιαίο τρόπο και το μέγιστο πάχος δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 60 cm. Παλαιότερα με το «αστάρωμα» παρουσιαζότανε το πρόβλημα, ότι όταν πέρναμε «καρότα», πέρναμε τελικά δύο «φλούδες» σκυροδέματος που δεν είχαν σύνδεση μεταξύ τους.

- Βελτίωση εργασιμότητας και καθίσεως

Ο Κανονισμός προβλέπει ότι όταν η κάθιση είναι μικρότερη της συμφωνημένης ή εν τέλει της επιθυμητής, απαγορεύεται η προσθήκη νερού. Μόνο υπερρευστοποιητικά μπορούν να προστεθούν για να βελτιώσουν την εργασιμότητα. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η διάστρωση μετά την προσθήκη υπερρευστοποιητικού πρέπει να γίνει σε διάστημα το πολύ μισής ώρας, αφού τόση είναι η διάρκεια ενέργειάς του και οποιαδήποτε καθυστέρηση θα επιδεινώσει την εργασιμότητα.

- Διάστρωση στο έδαφος

Διάστρωση απ' ευθείας στο έδαφος φέρουσας κατασκευής απαγορεύεται.

Είναι υποχρεωτική η διάστρωση «μπετόν καθαριότητας» πάχους τουλάχιστον 5 cm.

Υπόδειγμα Δελτίου Αποστολής (Τα στοιχεία που πρέπει να αναγράφονται)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΛΑΤΟΥ				ΔΕΛΤΙΟ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ			
ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ				ΣΕΙΡΑ II		ΑΡΙΘΜΟΣ 0001949	
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ				ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 10 / 12 / 97			
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑ				ΩΡΑ : 10:00'			
Α.Φ.Μ. / Δ.Ο.Υ.				ΤΟΠΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ : ΚΟΡΩΠΙ			
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΓΟΥ				ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ : ΠΡΟΣ ΠΩΛΗΣΗ			
ΑΡ. ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ							

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ			
ΚΩΔΙΚΟΣ :		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΘΙΣΗΣ : S3	
ΠΑΡΑΓΓΕΛΩΝ :		ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΚΟΚΚΟΣ : 31.5 mm	
ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ : 40 m ³		ΕΠΙΧΡΙΣΜΕΝΟ : ΝΑΙ	
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ : C 16 / 20		ΚΡΙΤΗΡΙΟ E < 20m ³ : ΟΧΙ	
ΑΝΤΛΗΣΙΜΟ : ΝΑΙ		ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΗΣ : ΟΧΙ	

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΟΥ								
ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΙΔΟΥΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ M ³ ή Τόννοι	ΠΟΣΟΤΗΣ	ΡΕΥΣΤΟ-ΠΟΙΗΤΗΣ	ΕΠΙΒΡΑ-ΔΥΝΤΗΣ	ΚΡΙΤΗΡΙΟ E	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΘΙΣΗΣ	ΤΥΠΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ
010101	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C 16/ 20	M ³	10	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	S3	I / 45

ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΛΟΓΟΣ ΝΕΡΟΥ / ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	ΩΡΑ ΑΦΙΞΗΣ	ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΩΡΑ ΛΗΞΗΣ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ	ΔΟΚΙΜΙΑ		ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΕΛΑΤΗ ΑΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ
					No	ΩΡΑ	
270	0.70	10:30	10:50	11:30	3	11:30	

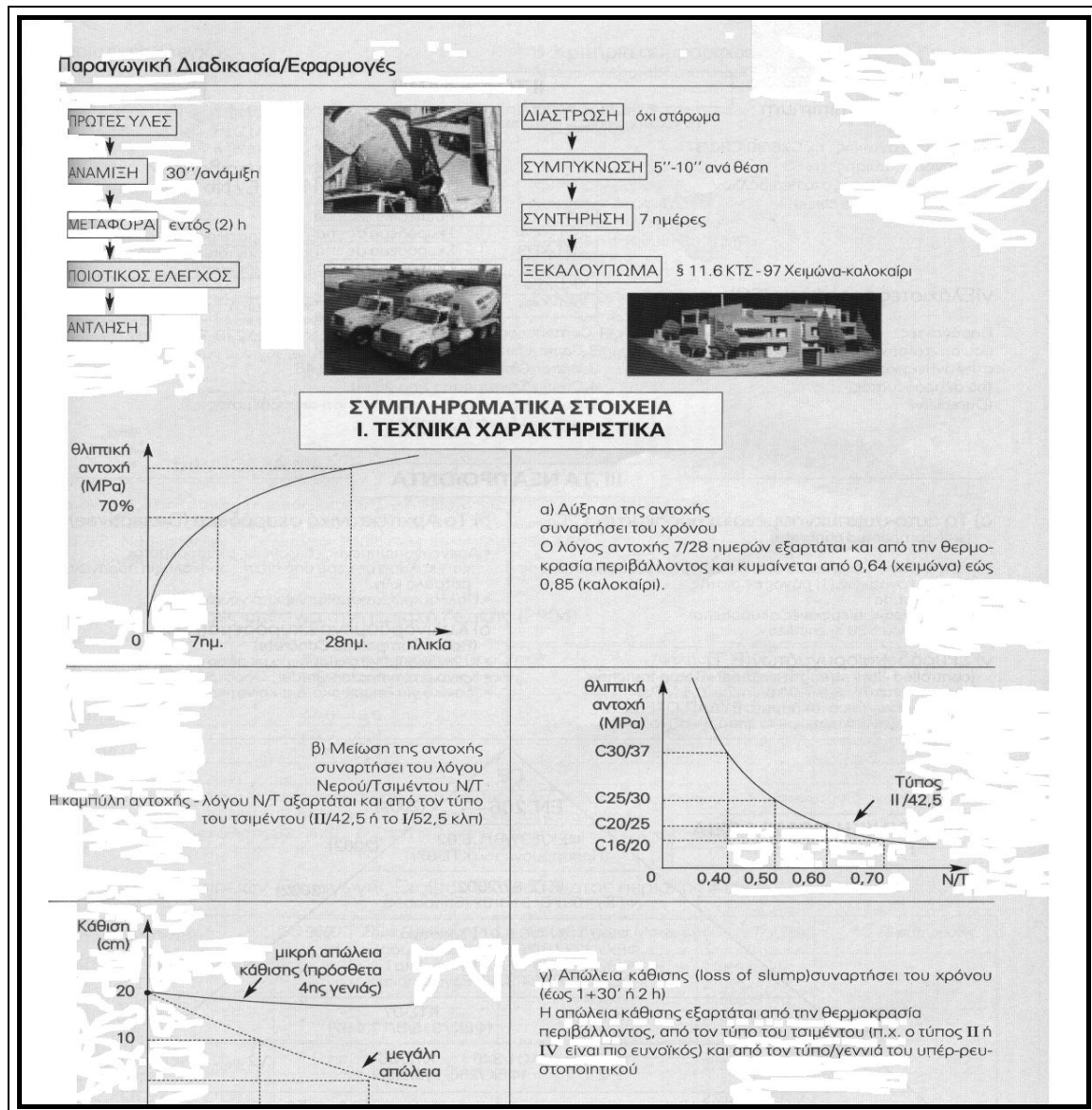
Εκ των αναγραφόμενων M³ στο παρόν δελτίο τα _____ M³ ολογράφως _____

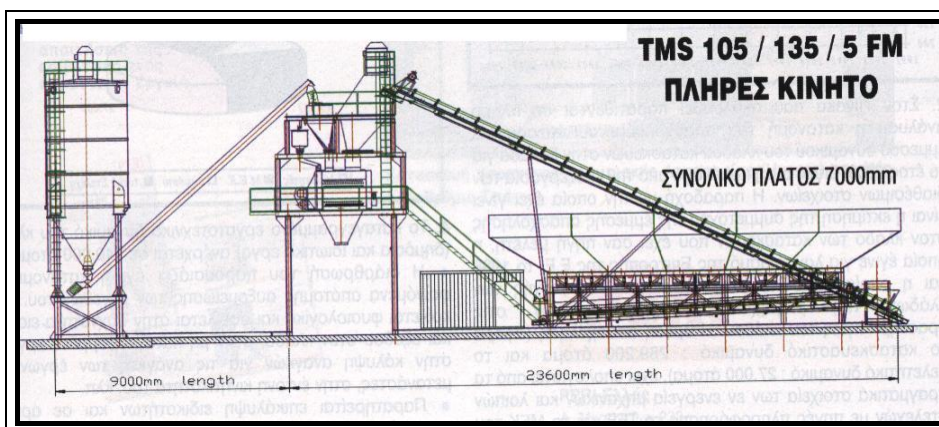
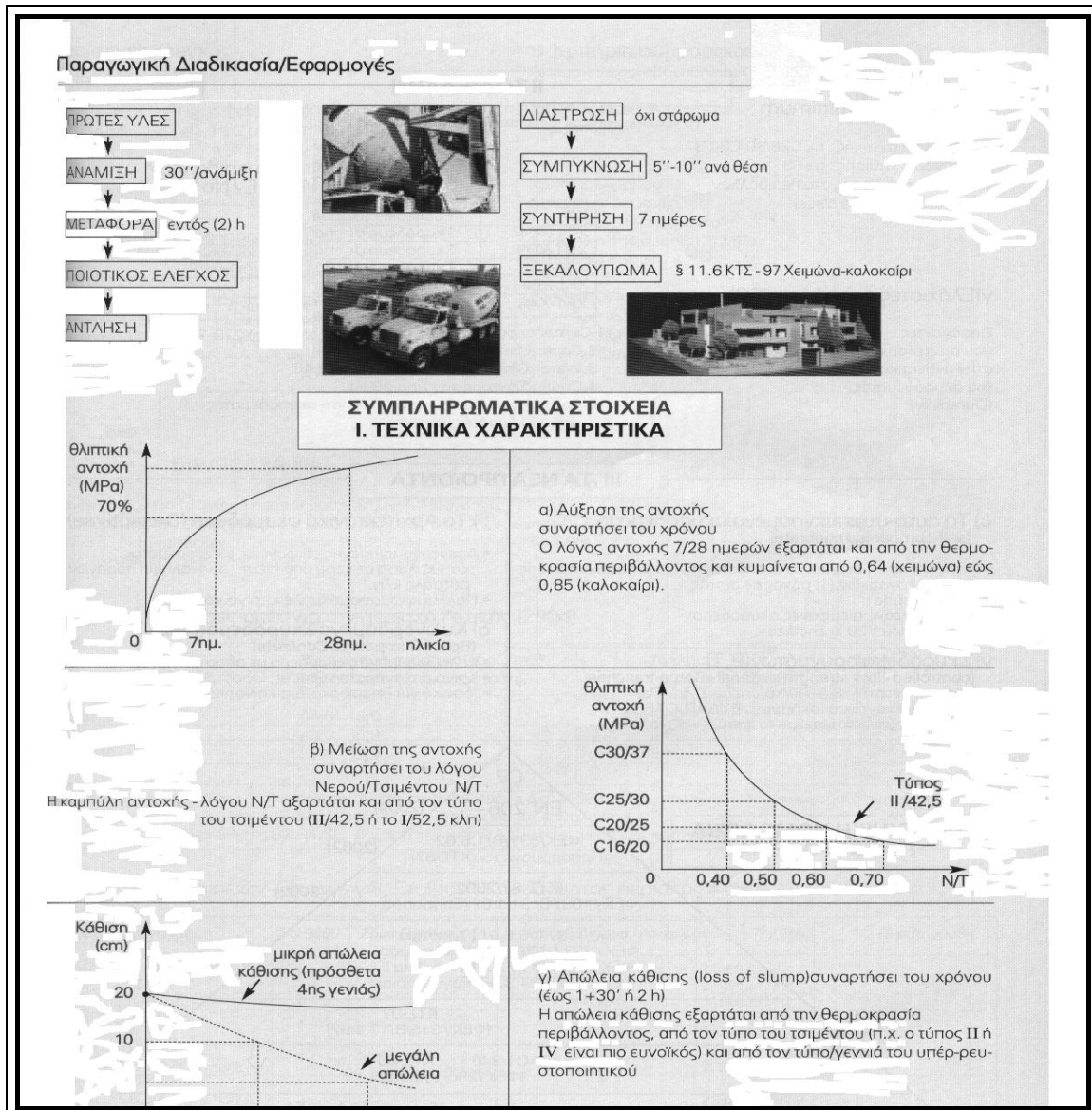
Δεν παρελήφθησαν και επιστρέφονται στην Εταιρία

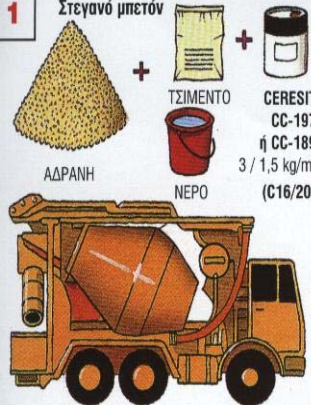
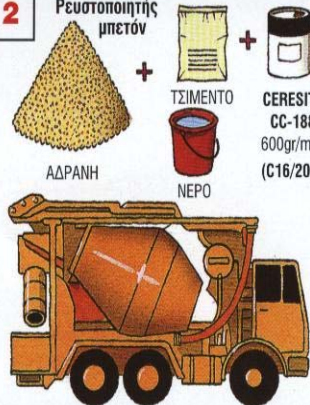


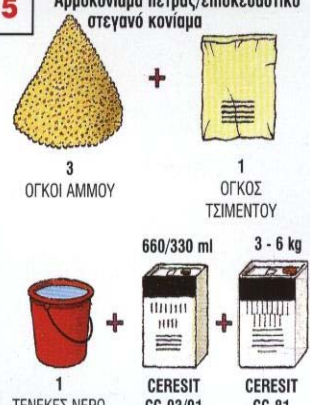
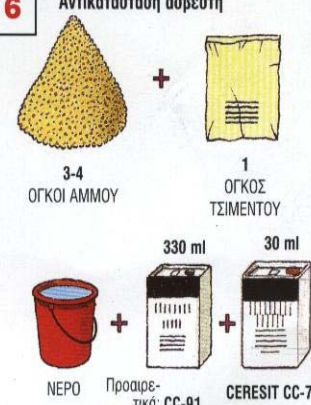
Ο ΠΑΡΑΛΗΠΤΗΣ _____ Ο ΟΔΗΓΟΣ _____

Ο ΠΑΡΑΔΟΥΣ _____ Ο ΠΑΡΑΛΑΒΩΝ _____

ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ Η ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ Κ.Τ.Σ. ΑΡΘΡΟ 6.9. Η ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΘΑ ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΙ ΜΟΝΟ ΜΕ ΥΠΕΡ-ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΘΕΤΟ



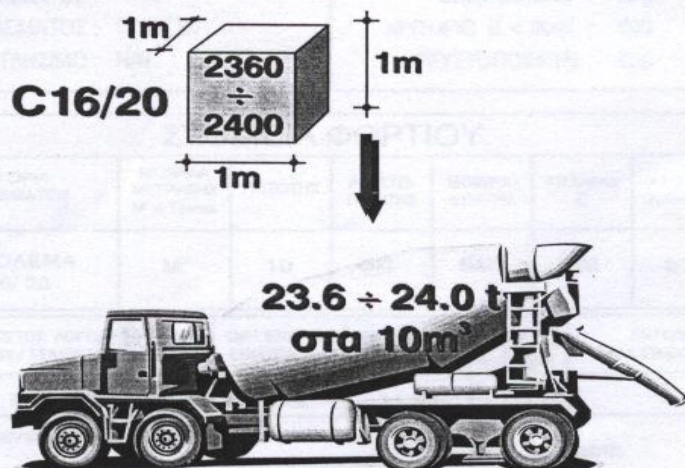


<p>1 Στεγανό μπετόν</p>  <p>ΑΔΡΑΝΗ + ΤΣΙΜΕΝΤΟ + ΝΕΡΟ</p> <p>CERESIT CC-197 ή CC-189 3 / 1,5 kg/m³ (C16/20)</p>	<p>2 Ρευστοποιητής μπετόν</p>  <p>ΑΔΡΑΝΗ + ΤΣΙΜΕΝΤΟ + ΝΕΡΟ</p> <p>CERESIT CC-188 600gr/m³ (C16/20)</p>	<p>3 Στεγανή τσιμεντοκονία</p>  <p>3 ΟΓΚΟΙ ΑΜΜΟΥ + 1 ΟΓΚΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟ</p> <p>ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ :</p> <p>~18 kg + 660 gr</p> <p>1 ΤΕΝΕΚΕΣ ΝΕΡΟ + CERESIT CC-93</p>
<p>Ceresit CC-197 (SP) ή CC-189 Πεδίο εφαρμογής: Στεγανό μπετόν τοιχίων και δαπέδων, υπογείων, δεξαμενών ποτίσιμου ύδατος, κολυμβητικών δεξαμενών, βιολογικών καθαρισμών. Στεγανό μπετόν υδραυλικών έργων, φραγμάτων, στοιών, καναλιών, υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Στεγανό, αντιδιαβρωτικό μπετόν, πύργων ελέγχου, πύργων εκπομπών, πυλώνων, γεφυρών κ.λπ.</p> <p>Προδιαγραφές: Κρατικό σήμα στεγανοποιητικού μάζης μπετόν. Υπέρβαση κρατικών προδιαγραφών άνω του 100%. Αποτελεσματικότητα: Μείωση απορροφώμενου νερού σε τυποποιημένα πρίσματα μπετόν συγκρινόμενα με πρίσματα χωρίς πρόσμιξη: 50 gr (Απαιτήση κρατικής προδιαγραφής: 200 gr).</p> <p>ΤΙΜΑΡΙΟΜΙΚΗ ΥΠΕΧΩΔΕ</p>	<p>Ceresit Novoc (BV) Πεδίο εφαρμογής: Ρευστοποιητής μπετόν.</p> <p>Προδιαγραφές: 1. Επιδροασίας συρρίκνωσης πήξεως: Απαιτήση DIN: Με διπλάσια δόσολογηση από την επιτρεπτή το βέλος κλίσης των κατά DIN 1164 τυποποιημένων δοκιμών οφείλει να μην υπερβαίνει τα 2 mm. Αποτέλεσμα Novoc (BV): 1 mm. 2. Ηλεκτροχημικός έλεγχος προστασίας οπλισμού από οξείδωση: Απαιτήση DIN: Σε ηλεκτροδία παρασκευασμένα από μπετόν με διπλάσια δόσολογηση ρευστοποιητού η πυκνότης ρευστάτος απαγορεύεται να υπερβαίνει το 10μΑ/cm². Αποτέλεσμα Novoc (BV): 0,10 μΑ/cm². 3. Έλεγχος ρευστοποίησης. Βάσει DIN 1164 μέρος 5, η δυνατότης μειώσεως του νερού ανάμιξης πρέπει να είναι 10%. Αποτέλεσμα: 15%.</p> <p>ΤΙΜΑΡΙΟΜΙΚΗ ΥΠΕΧΩΔΕ</p>	<p>Ceresit CC-93 Πεδίο εφαρμογής: Στεγανό τοιχία μπετόν υπογείων, κολυμβητικών δεξαμενών, δεξαμενών ποτίσιμου ύδατος στεγανές τσιμεντοκονίες δωματίων και υπογείων, στεγανό θάλο υποσκάφην στεγανό επιχρίσματα προσόψεων και υπογείων, στεγανή λάσπη κτισματος και αρμολόγησις πέτρας.</p> <p>Προδιαγραφές: Κατάλληλο βάσει κρατικού ελέγχου για αδιάβροχα επιχρίσματα κατά DIN 18 550. Καταπόνηση επιχρίσματος Ισχυρή βροχή κατά DIN 4109 μέρος 3. Κατηγορία καταπόνησης βροχής: 3. Συντελεστής απορρόφησης νερού: W₂₄ = <0,5 kg/m² h^{1/2}. Υπέρβαση DIN: άνω του 100%. Κρατικό πιστοποιητικό ελέγχου Γερμανίας.</p> <p>ΤΙΜΑΡΙΟΜΙΚΗ ΥΠΕΧΩΔΕ</p>
<p>4 Αδιάβροχος σοβάς</p>  <p>9 ΟΓΚΟΙ ΑΜΜΟΥ + 1 ΟΓΚΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ + ΑΣΒΕΣΤΗΣ ΚΑΤΑ ΒΟΥΛΗΣΗ</p> <p>~18 kg + 330 ml</p> <p>1 ΤΕΝΕΚΕΣ ΝΕΡΟ + CERESIT CC-91</p>	<p>5 Αρμονία πέτρας/επισκευαστικό στεγανό κονίαμα</p>  <p>3 ΟΓΚΟΙ ΑΜΜΟΥ + 1 ΟΓΚΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ</p> <p>660/330 ml + 3 - 6 kg</p> <p>1 ΤΕΝΕΚΕΣ ΝΕΡΟ + CERESIT CC-93/91 + CERESIT CC-81</p>	<p>6 Αντικατάσταση ασβέστη</p>  <p>3-4 ΟΓΚΟΙ ΑΜΜΟΥ + 1 ΟΓΚΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ</p> <p>ΝΕΡΟ + Προαιρετικά: CC-91 + CERESIT CC-71</p> <p>330 ml + 30 ml</p>
<p>Ceresit CC-91 Πεδίο εφαρμογής: Στεγανό σοβάδες προσόψεων (χοντρό+μαρμαροκονία), στεγανή λάσπη κτισματος και αρμολόγησεως. Το υλικό CC-91 αντιστέφει τις τριχοειδείς δυνάμεις και απωθεί το νερό από τους πόρους του κονιάματος. Εμποδίζει την απόμειξη και δημιουργεί σοβάδες χωρίς ρωγμές. Εμποδίζει την διείσδυση της βροχής και της ανερχόμενης υγρασίας αλλά όχι την διαπνοή.</p> <p>Προδιαγραφές: Κατάλληλο βάσει κρατικού ελέγχου για αδιάβροχα επιχρίσματα κατά DIN 18 550. Καταπόνηση επιχρίσματος: Ισχυρή βροχή κατά DIN 4109 μέρος 3. Κατηγορία καταπόνησης βροχής: 3. Συντελεστής απορρόφησης νερού: W₂₄ = <0,5 kg/m² h^{1/2}.</p> <p>ΤΙΜΑΡΙΟΜΙΚΗ ΥΠΕΧΩΔΕ</p>	<p>Ceresit CC-81 Πεδίο εφαρμογής: Με την πρόσμιξη του Ceresit-CC-81 επιτυγχάνονται χωρίς κίνδυνο αστάθειας («κούφωμα», ρηγμάτωση, αποκόλληση) οι ακόλουθες οικοδομικές εργασίες: Λεπτές τσιμεντοκονίες δαπέδου ή εξομαλύνσεις, επισκευαστικές εργασίες σε μπετόν, σοβάδες, τσιμεντοκονίες, εξομάλυνση ανεπιχριστού μπετόν, επισκευή φωλεών, ρωγμών, κ.λπ., λεπτά κονιάματα και επιχρίσματα, βελτίωση κονιάματος συγκόλλησης πλακιδίων, πλακών κ.λπ. αρμολόγηση τοιχοποιίας.</p> <p>Προδιαγραφές: Σε τυποποιημένα βάσει DIN δοκίμια: Μείωση απαιτούμενου νερού ανάμιξης 11,8%. Αύξηση εφελκυσμού κάμψης: 45%. Αύξηση εφελκυσμού πρόσφυσης: 300%.</p> <p>ΤΙΜΑΡΙΟΜΙΚΗ ΥΠΕΧΩΔΕ</p>	<p>Ceresit CC-71 Πεδίο εφαρμογής: Σαν πρόσμιξη επιχρισμάτων του Ceres CC-71 (LP) επιτρέπει την πλήρη κατάργηση ή την δραστηκότετη μείωση του ασβέστη, δίνοντας όλα τα πλεονεκτήματα αλλά κανένα από τα μειονεκτήματα του. Προσμίγνεται σε σοβάδες και λάσπη κτισματος, σε τσιμεντοκονίες δαπέδων. Σαν πρόσμιξη ακυροδέματος είναι ιδανικό για παρασκευή προκατασκευασμένων στοιχείων από μπετόν. Το υλικό επιτρέπει την μείωση του νερού ανάμιξης κατά 10%, πράγμα που επιδρά στην αύξηση των αντοχών. Η πρόσμιξη του κονιάματος στο υπόθεθο αυξάνεται καθώς και η επιδεκτικότητα συμπίεσης ή δόνησης του. Η μάζα και επιφάνεια του σκληρωμένου κονιάματος είναι κλειστές και ομοιογενείς.</p> <p>ΤΙΜΑΡΙΟΜΙΚΗ ΥΠΕΧΩΔΕ</p>

Πόσο ζυγίζει 1m^3 C16/20 ;

Συνήθως με ασβεστολιθικά αδρανή ζυγίζει $2.360 - 2.400 \text{ kg/m}^3$, αναλόγως εάν έχει χρησιμοποιηθεί "κοινό" (τύπος II / 35) ή "καθαρό" τσιμέντο (τύπος I / 45), αντιστοίχως.

Χονδρικά, 1 βαρέλα με 10m^3 πρέπει στη γεφυροπλάστιγγα να δείξει καθαρό βάρος = $23,6 - 24,0 \text{ t}$.



Προσοχή



Να μην αδειάσει η δεξαμενή νερού της βαρέλας, πριν από το ζύγισμα, διότι θα φανεί σαν βάρος μπετόν.

- Σκυροδέτηση μέσα στο νερό

Πρέπει να αποφεύγεται σκυροδέτηση μέσα στο νερό σε βάθος μεγαλύτερο του ενός μέτρου, λόγω του κινδύνου της «απόπλυσης». Σε περιπτώσεις αναγκαστικής σκυροδέτησης σε μεγαλύτερα βάθη, υπάρχουν ειδικές διατάξεις, όπως κάδος εκφόρτωσης με κινητό πυθμένα, όπου ο κάδος με το σκυρόδεμα κατέρχεται στο επιθυμητό βάθος και τότε ο κινητός πυθμένας συρόμενος επιτρέπει την εκφόρτωση του σκυροδέματος. Μια άλλη διάταξη είναι σωλήνας που φθάνει στο επιθυμητό βάθος και χοάνη επάνω, που επιτρέπει την κάθοδο του σκυροδέματος χωρίς επαφή με το νερό κατά τη διαδρομή του. Χρησιμοποιείται επίσης αντλία με κινητό πάμα ή σάκοι υφασμάτινοι, οι οποίοι τοποθετούνται, γεμάτοι σκυρόδεμα, ο ένας επάνω στον άλλο. Από τους πόρους του υφάσματος διέρχεται το λεπτό υλικό, η πάστα, που προκαλεί τη συγκόλληση των σάκων μεταξύ τους.

Το σκυρόδεμα σε διαβρωτικό νερό πρέπει να έχει περιεκτικότητα μεγαλύτερη των 350 kg/m^3 ή στη θάλασσα μεγαλύτερη των 400 kg/m^3 , ο δε λόγος Ν/Τ πάρα πολύ μικρός.

Η δόνηση ή η μετακίνηση του σκυροδέματος απαγορεύεται, διότι θα προκαλέσουν απόπλυση.

Στη θάλασσα υπάρχει βεβαίως η ανάγκη, όταν πρόκειται για οπλισμένο σκυρόδεμα, να ληφθούν μέτρα προστασίας του οπλισμού,

- Σκυροδέτηση σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

Το πρόβλημα στη χώρα μας, λόγω κλιματολογικών συνθηκών δεν είναι ιδιαίτερα σοβαρό, όπως σε χώρες του Βορρά.

Παρ' όλα αυτά θα πρέπει, βάσει σχετικής προδιαγραφής του ΕΛΟΤ 515, όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη των 11°C , να προστίθεται στο μίγμα αερακτικό. Στις περιοχές που παρατηρούνται τέτοιες θερμοκρασίες από τον Νοέμβριο μέχρι το Φεβρουάριο, τοποθετείται αερακτικό, έστω και αν την ώρα της διάστρωσης η θερμοκρασία δεν είναι χαμηλή.

Πρέπει να αναβάλλεται η σκυροδέτηση όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη του μηδενός και εν πάση περιπτώσει συνιστάται η αναβολή της σκυροδέτησης όταν πλησιάζει τους μηδέν βαθμούς. Στην περίπτωση που αυτό είναι αδύνατο επιβάλλεται θερμική προστασία μετά το τέλος της σκυροδέτησης και εάν μετά το τέλος αυτής το σκυρόδεμα βρεθεί σε θερμοκρασία παγετού, τότε θα γίνεται χρήση αερακτικού προσθέτου. Απαγορεύεται απολύτως η σκυροδέτηση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μικρότερη από -15°C .

Κατά την διάρκεια του χειμώνα, όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος παραμένει μικρότερη από $+5^\circ\text{C}$, το σκυρόδεμα που διαστρώνεται δεν πρέπει να έχει θερμοκρασία μικρότερη από $+13^\circ\text{C}$.

Οι θερμοκρασίες αυτές πρέπει να κρατηθούν με θερμική προστασία για χρονικά διαστήματα που δίνονται από το Σχέδιο Προτύπου ΕΛΟΤ 515. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τήρηση των χρόνων αυτών εξασφαλίζει την ανθεκτικότητα και όχι την αντοχή του σκυροδέματος.

- Σκυροδέτηση σε υψηλή θερμοκρασία

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο απαγορεύει τη διάστρωση σκυροδέματος για **θερμοκρασία σκυροδέματος** (όχι περιβάλλοντος) μεγαλύτερη των 32°C. Όταν χρησιμοποιούμε αντλία το στόμιο του σωλήνα δεν πρέπει να απέχει περισσότερο από 50 cm.

Η συντήρηση πρέπει να αρχίσει αμέσως μετά τη διάστρωση με την κάλυψη όλων των ελευθέρων επιφανειών του σκυροδέματος από λινάτσες. Οι λινάτσες θα διαβρέχονται και θα διατηρούνται υγρές όλο το 24ωρο για επτά τουλάχιστον ημέρες. Η ίδια μέθοδος θα εφαρμόζεται και στις κατακόρυφες επιφάνειες μετά την απομάκρυνση του ξυλοτύπου.

Γενικές οδηγίες για τη διάστρωση με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος δίνονται στο Σχέδιο Προτύπου ΕΛΟΤ 517.

- Αρμοί διακοπής

Σε περιπτώσεις μεγάλων έργων, που δεν μπορεί να ολοκληρωθεί η σκυροδέτηση την ίδια μέρα, πρέπει να υπάρχει σχεδιασμός των θέσεων διακοπής της σκυροδετήσεως. Συνήθεις θέσεις διακοπής είναι εκείνες όπου ελαχιστοποιούνται ή μηδενίζονται οι τέμνουσες και εκεί πλέον πρέπει να ληφθούν μέτρα συγκόλλησης των δυο σκυροδεμάτων παλαιού και νέου.

Ο Κανονισμός προβλέπει ξήσιμο της επιφάνειας με βούρτσα για να απογυμνωθούν τα σκύρα με τα οποία θα γίνει η συγκόλληση του νέου. Μια δαπανηρότερη αλλά ασφαλέστερη λύση είναι η χρησιμοποίηση ειδικού κονιάματος από τσιμέντο με γαλάκτωμα συνθετικής ρητίνης που επαλείφεται στην επιφάνεια του παλαιού σκυροδέματος και πραγματοποιεί τη γέφυρα συνάφειας.

- Ενσωματούμενα υλικά

Απαγορεύεται η ενσωμάτωση στο σκυρόδεμα αλουμινίου, ξύλων, κλπ. Εάν χρειαστεί κάποιο υλικό μη συμβατό με το σκυρόδεμα να περάσει μέσα απ' αυτό, μπαίνει ένας προστατευτικός μανδύας γύρω τους, ώστε να δημιουργηθεί η οπή ή να απομονώνει τα υλικά αυτά από το σκυρόδεμα.

- Διάστρωση σε κεκλιμένες επιφάνειες-κελύφη, κλπ.

Προβλήματα στη διάστρωση έχουμε με τις κεκλιμένες επιφάνειες. Η διάστρωση αρχίζει από χαμηλά και προχωρά προς τα ψηλά σε συνηθι-

σμένες κλίσεις στεγών και στις σκάλες δεν χρειάζεται διπλό καλούπωμα δηλαδή πάνω-κάτω. Στα κελύφη σφαιρικά ή κυλινδρικά καλουπώνεται το κατώτερο τμήμα και σε ύψος περίπου τα 2/3 του συνολικού ή εφαρμόζεται η μέθοδος του εκτοξευομένου σκυροδέματος.

- Διάστρωση σε μεγάλο πάχος

Όταν η διάστρωση θα γίνει σε πάχος πολύ μεγάλο και πάντως μεγαλύτερο των 80 cm, όπως σε ορισμένα έργα της ΔΕΗ που το πάχος είναι της τάξεως των 2 έως 2,5 μέτρων, πρέπει να ληφθούν ειδικά μέτρα. Η θερμότητα που αναπτύσσεται λόγω της ενυδάτωσης του τσιμέντου του σκυροδέματος είναι σημαντική και η απαγωγή της δεν είναι ομοιόμορφη λόγω του μεγάλου πάχους. Η χρησιμοποίηση πουζολανικών τσιμέντων μετριάζει κάπως το πρόβλημα, αφού η θερμότητα ενυδάτωσης του είναι μικρότερη. Επίσης θα προσπαθήσουμε να μειώσουμε την απότομη έξοδο της θερμότητας θερμομονώνοντας την επιφάνεια, ώστε να μετριάσουμε τον ρυθμό απαγωγής της. Με τον τρόπο αυτό μειώνουμε τη μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των εξωτερικών στρωμάτων και του εσωτερικού και την ανάπτυξη μεγάλων τάσεων λόγω της διαφοράς αυτής.

Βέβαια η μεγάλη ενυδάτωση του τσιμέντου γίνεται αμέσως μόλις προστεθεί το νερό και η μεγάλη θερμοκρασία αναπτύσσεται σε εκείνη ακριβώς τη φάση, όταν δηλαδή το σκυρόδεμα ευρίσκεται ακόμη στους αναμικτήρες κατά τη μεταφορά προς το εργοτάξιο και τότε ακριβώς έχουμε τον μεγάλο ρυθμό απαγωγής, που δεν δημιουργεί πρόβλημα. Μέχρι την έναρξη της πήξεως έχει απαχθεί ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας και εν συνεχεία ο ρυθμός μικραίνει σταδιακά μέχρι τις 24 ώρες.

2. Συμπύκνωση

Με τη συμπύκνωση του σκυροδέματος επιδιώκεται το σκυρόδεμα να είναι πυκνό, να γεμίσει πλήρως τα καλούπια, να μην υπάρξουν κενά, να διαταχθούν έτσι τα συστατικά του, ώστε οι μικρότεροι κόκκοι αδρανών να τοποθετηθούν ανάμεσα στους μεγάλους και τελικά όλος ο όγκος να είναι απολύτως πλήρης.

Παλαιότερα η συμπύκνωση γινότανε με μια ράβδο ή ένα κόπανο. Σήμερα γίνεται μόνο με δονητή. Κατ' εξαίρεση μόνο εάν η κάθιση είναι μεγάλη (μεγαλύτερη από 20 cm) και το πάχος του στοιχείου που διαστρώνεται είναι πολύ μικρό, επιτρέπεται μετά από έγκριση του Επιβλέποντα να παραλειφθεί ο δονητής και η τακτοποίηση του μείγματος να γίνει με σανίδα ή ράβδο.

Οι δονητές είναι βενζινοκίνητοι, ηλεκτροκίνητοι, πνευματικοί (με πεπιεσμένο αέρα). Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους διακρίνονται σε δονητές μάζας ή δονητές επιφανείας ή δονητές ξυλοτύπου.

Με τον δονητή μάζας, που κυρίως χρησιμοποιούμε, δίδεται η ενέργεια συμπύκνωσης, εξάγεται ο περιεχόμενος αέρας, ώστε το μπετόν να είναι πυκνό, να μην έχει κενά να γεμίσει πλήρως το καλούπι, να καλυφθούν οι οπλισμοί. Έχει πειραματικά παρατηρηθεί ότι περιεκτικότητα 1% σε αέρα, που παραμένει στη μάζα, μειώνει την αντοχή κατά περίπου 5%.

Ο αριθμός των δονητών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από το μέγεθος της σκυροδέτησης, από τη μορφή του στοιχείου που σκυροδετείται και τη διαδικασία διαστρώσεως. Όταν το πάχος του στοιχείου είναι μεγάλο η διάστρωση πρέπει να γίνεται σε στρώσεις με πάχος μικρότερο των 60 cm. Η επιφάνεια των στρώσεων πρέπει να διαμορφώνεται οριζόντια κατά τη διάστρωση και όχι με τον δονητή. Κάθε στρώση πρέπει να διαστρώνεται όσο το σκυρόδεμα της προηγούμενης είναι πλαστικό, ώστε ν'αποφεύγεται η δημιουργία αρμού εργασίας. Οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών θέσεων του δονητή θα είναι ίση με 1,5 A, όπου A η ακτίνα ενέργειας του δονητή. Κατά τη δόνηση το στέλεχος του δονητή θα εισχωρεί στην υποκείμενη στρώση κατά 5 cm περίπου. Απαγορεύεται η δόνηση του σιδηροπλισμού, όταν ένα τμήμα του είναι ήδη βυθισμένο σε σκληρυμένο σκυρόδεμα. Η ακτίνα ενέργειας του δονητή είναι άγνωστο μέγεθος και εξαρτάται από το πάχος του διαστρωμένου στοιχείου, πειραματικά έχουν εκπονηθεί σχετικά διαγράμματα, απ' όπου προκύπτει ότι η ακτίνα ενέργειας είναι περίπου πενταπλάσια της διαμέτρου του δονητή.

Οι δονητές που συνήθως χρησιμοποιούμε έχουν διάμετρο 42 mm, άρα η ακτίνα ενέργειας είναι περίπου 200 mm, που βεβαίως εξαρτάται από το πάχος της προς συμπύκνωση στρώσης.

Από τα διαγράμματα που παρατίθενται εξάγονται αρκετά συμπεράσματα σχετικά με την ακτίνα ενέργειας την ικανότητα συμπύκνωσης και την διάρκεια δόνησης.

Σημαντικός περιορισμός στη διαδικασία της δόνησης είναι, ότι ο δονητής δεν πρέπει να πλησιάζει την επιφάνεια του ξυλοτύπου, η κρίσιμη απόσταση είναι 3D, όπου D είναι η διάμετρος του δονητή, διότι αντί να εξάγουμε αέρα τον εισάγουμε πλέον από τους αρμούς του ξυλοτύπου. Σημαντικό επίσης στοιχείο είναι η ταχύτητα εισόδου και εξόδου του δονητή. Ειδικά όταν ο δονητής βγαίνει απότομα στη θέση του αφήνει κενό, που σπεύδει να το καλύψει το λεπτό υλικό, με αποτέλεσμα την ανομοιομορφία και τη διαφοροποίηση της πυκνότητας του σκυροδέματος. Ο χρόνος διάρκειας της δόνησης είναι σημαντική παράμετρος επίσης, Πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5 και 25 δευτερολέπτων ανάλογα με την εργασιμότητα και την κάθιση. Όταν το

σκυρόδεμα είναι πολύ συνεκτικό με κάθιση 30mm η διάρκεια της δόνησης είναι 25 δευτερόλεπτα, ενώ όταν η κάθιση ξεπερνά τα 20 εκατοστά του μέτρου η διάρκεια δεν πρέπει να ξεπερνά τα 5 δευτερόλεπτα. Υπερβολικός χρόνος δόνησης έχει πολύ αρνητικά αποτελέσματα στην ομοιογένεια του σκυροδέματος.

Η εξωτερική δόνηση με δονητή ξυλοτύπου ή επιφάνειας κατ' εξαίρεση επιτρέπεται, μόνο όταν η ακαμψία και η ευστάθεια του ξυλοτύπου ή του σιδηροτύπου το επιτρέπουν.

Επαναδόνηση του σκυροδέματος επιτρέπεται μόνον όταν το σκυρόδεμα είναι αρκετά πλαστικό, τόσο ώστε το δονητικό στέλεχος να βυθίζεται στη μάζα με το δικό του βάρος, χωρίς να πιέζεται από τον χειριστή.

3. Συντήρηση σκυροδέματος

Η επίδραση της θερμοκρασίας της σχετική υγρασίας και της ταχύτητας του αέρα στην εξάτμιση του νερού ενυδάτωσης και κατά συνέπεια στη σκλήρυνση, την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος επιβάλλει τη λήψη μέτρων για μια σωστή συντήρηση.

Η συντήρηση, κατά τον ΚΤΣ είναι υποχρεωτική για κάθε έργο. Αρχίζει αμέσως μετά τη διάστρωση και πρέπει να διαρκεί ένα διάστημα που εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και το είδος του έργου. Στην πρώτη φάση της συντήρησης για το πρώτο επταήμερο και αμέσως μετά τη διάστρωση, όλες οι ελεύθερες επιφάνειες του σκυροδέματος καλύπτονται με λινάτσες, που διατηρούνται υγρές όλο το 24ωρο. Είναι κρίσιμες οι πρώτες ώρες συντήρησης και πρέπει να επιδεικνύεται η μέγιστη επιμέλεια, διότι δημιουργείται μια φλούδα ενυδατωμένου σκυροδέματος, που μετά δεν επιτρέπει τη διείσδυση του νερού στους εσωτερικούς πόρους. Από σχετικά διαγράμματα που παρατίθενται φαίνεται πόσο σημαντική είναι η σωστή συντήρηση. Είναι δυνατόν η αντοχή να κατέλθει στο 60% αυτής που θα μπορούσε να είναι, αν η συντήρηση γινόταν σωστά, επίσης φαίνεται η επίδραση της συντήρησης στη συστολή του σκυροδέματος σε προστατευμένη και απροστάτευτη επιφάνεια. Αν οι λινάτσες απομακρυνθούν πριν τη συμπλήρωση 14 ημερών για το χρονικό διάστημα από 7 μέχρι 14 ημέρες το σκυρόδεμα διαβρέχεται μέχρι κορεσμού της επιφάνειάς του δύο φορές την ημέρα και από τις 14 έως τις 28 ημέρες μια φορά την ημέρα.

Αν η συντήρηση γίνει με μεμβράνη που σχηματίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος με ψεκασμό υγρού, το υγρό αυτό πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της προδιαγραφής ΣΚ-314.

Η διαβροχή γενικά που δεν συνεχίζεται ολόκληρο το 24ωρο δεν θεωρείται ικανοποιητική συντήρηση για τις μικρές ηλικίες σκυροδέματος, παρά μόνο μετά το τέλος της φάσης της κύριας συντήρησης.

3.5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΟΤΥΠΩΝ – ΞΥΛΟΤΥΠΩΝ

Οι μεταλλότυποι (Formwork) πολλές φορές ονομάζονται και σιδηρότυποι και ακόμη και ξυλότυποι. Είναι προσωρινές κατασκευές, στις οποίες γίνεται η έγχυση του σκυροδέματος, το οποίο αφού σκληρυνθεί παίρνει τη μορφή τους. Οι ξυλότυποι-σιδηρότυποι στηρίζουν το σκυρόδεμα μέχρι αυτό να αναπτύξει την αντοχή εκείνη που θα του επιτρέψει να αναλάβει το ίδιο βάρος του.

Παρά την προσωρινότητά τους πρέπει να δίδεται πολύ μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό και την κατασκευή τους, αφού τα φορτία που θα στηρίζουν είναι σημαντικά.

Οι γενικές απαιτήσεις για ένα σωστό ξυλότυπο-μεταλλότυπο είναι:

- Σωστός σχεδιασμός
- Επιμελημένη κατασκευή
- Οικονομία
- Ασφάλεια

Ο σωστός σχεδιασμός και η επιμελημένη κατασκευή σχετίζονται άμεσα με την παραγόμενη τελική επιφάνεια του σκυροδέματος.

Η ακρίβεια των διαστάσεων των επιφανειών απαιτεί ξυλότυπο με επαρκή ακαμψία, απαιτούνται εξαρτήματα που εξασφαλίζουν την κατακορυφότητα, την ευθυγράμμιση και τη στεγανότητα στους αρμούς του ξυλοτύπου, αλλά και στην υπόλοιπη επιφάνειά του.

Οι κανονισμοί δίνουν τις επιτρεπόμενες παραμορφώσεις, αλλά πάντα πρέπει να υπάρχει ένα ικανό περιθώριο ασφαλείας, λόγω αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με τα υλικά, με την ποιότητα των στοιχείων του ξυλοτύπου και την εργασία του προσωπικού.

Η ποιότητα της τελικής επιφάνειας σχετίζεται με την «υφή» της προκύπτουσας επιφάνειας του σκυροδέματος, της συνέχειάς του, την ομοιομορφία του και την ομοιογένεια στο χρώμα.

Σε περίπτωση μεγάλης παραμόρφωσης του καλουπιού θα έχουμε σοβαρές επιπτώσεις στα γεωμετρικά στοιχεία του φορέα, την επιφάνεια του σκυροδέματος, τον χρωματισμό, κλπ.

Πάντως για το τελικό σωστό αποτέλεσμα δεν ευθύνεται μόνο ο ξυλότυπος αλλά και τα παρακάτω:

- Τα γεωμετρικά στοιχεία της κατασκευής
- Η ποσότητα και διάταξη του οπλισμού
- Η ποιότητα του σκυροδέματος

- Η σωστή διάστρωση και συμπύκνωση
- Η προστασία και συντήρηση του σκυροδέματος
- Η σωστή και προσεκτική αποσυναρμολόγηση και απομάκρυνση του ξυλοτύπου.

Ασφάλεια

Οι ξυλότυποι-σιδηρότυποι πρέπει να είναι ασφαλείς, τόσο για το εργατοτεχνικό προσωπικό, όσο και για την ανάληψη των επιβαλλόμενων φορτίων.

Για την ασφάλεια του προσωπικού πρέπει να προβλέπονται πρόβολοι σκυροδέτησης, κουπαστές ασφαλείας, ασφαλείς κλίμακες ανόδου-καθόδου, κράνη, ασφαλή υποδήματα κλπ.

Για την ασφάλεια έναντι των φορτίων, πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στην εκτίμηση και τον υπολογισμό των φορτίων που θα κληθεί να αναλάβει ο ξυλότυπος και να προβλέπεται επαρκές περιθώριο ασφαλείας.

Κατά τη σκυροδέτηση κατακορύφων στοιχείων, όπως τοιχία, υποστυλώματα, αναπτύσσεται μεγάλη υδροστατική πίεση στην περίπτωση ταχείας σκυροδέτησης. Τότε προκαλούνται μεγάλες οριζόντιες ωθήσεις στο καλούπι, ιδιαίτερα κατά τη διαδικασία της δόνησης.

Αργότερος ρυθμός σκυροδέτησης επιτρέπει στο σκυρόδεμα στις χαμηλότερες περιοχές να αναλάβει «μέρος» της αντοχής του, να μην είναι πια ρευστό, μειώνοντας έτσι την υδροστατική πίεση και τις οριζόντιες ωθήσεις.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πίεση του σκυροδέματος στα καλούπια είναι :

- το ύψος του σκυροδετούμενου στοιχείου
- ο ρυθμός σκυροδέτησης
- το ύψος από το οποίο ρίπτεται το σκυρόδεμα
- η θερμοκρασία του σκυροδέματος
- τα πρόσμικτα-ρευστοποιητικά επιμηκύνουν την περίοδο ανάπτυξης της υδροστατικής πίεσης
- οι διαστάσεις κατόψεως του στοιχείου δηλαδή όταν και οι δύο διαστάσεις του στοιχείου είναι μικρότερες από 2.00 μ., παρατηρούνται μεγαλύτερες πιέσεις π.χ. σε υποστυλώματα.

Για τα φορτία σε οριζόντιους ξυλοτύπους (πλάκες-δοκοί) έχουν εφαρμογή τα προβλεπόμενα από το πρότυπο DIN 4221.

Τα συνολικά φορτία πρέπει να περιλαμβάνουν :

- ◆ το ίδιο βάρος του σκυροδέματος
- ◆ το κινητό φορτίο εργασιών σκυροδέτησης, όπως δίνεται από τον κανονισμό

◆ το ίδιο βάρος του ξυλοτύπου-μεταλλοτύπου

Αλλα φορτία που πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη στο σχεδιασμό και την κατασκευή του ξυλοτύπου είναι:

- Φορτία που μπορεί να δημιουργήσουν αστάθεια στην κατασκευή
- Δονήσεις-πλήγματα από τις εργασίες του εργοταξίου
- Ανεμοπίεση, που πολλές φορές είναι σημαντική
- Φαινόμενα δεύτερης τάξης, όπως έκκεντρη φόρτιση θλιβομένων στοιχείων.

Οικονομία

Η ορθολογιστική επιλογή του ξυλοτύπου-μεταλλοτύπου επηρεάζει άμεσα το κόστος του έργου, καθώς και τον χρόνο κατασκευής.

Το κόστος του ξυλοτύπου αναφέρεται στο κυρίως κόστος αγορά ή ενοικίασης και στο κόστος εργασίας συναρμολόγησης-κατασκευής και αποσυναρμολόγησης.

Είναι χαρακτηριστικό ότι με τη χρήση των σύγχρονων συστημάτων επιτυγχάνεται μείωση της εργασίας κατά 0,15-0,25 εργατοωρών ανά m² καλουπιού, που σημαίνει 4-5 φορές ταχύτερα από το παραδοσιακό ξύλινο καλούπι.

Σημαντικά στοιχεία, επίσης, μείωσης του κόστους είναι:

- Όταν η διαδικασία του μεταλλοτύπου είναι επαναλαμβανόμενη, όπως σε ψηλά κτίρια ή τυποποιημένες κατασκευές, μικρή μείωση του χρόνου ανά κύκλο, επιφέρει σημαντική οικονομία στο έργο.
- Η μεγάλη επαναληπτικότητα και τυποποίηση του έργου μειώνει σημαντικά το συνολικό κόστος.

Πριν τα μέσα της δεκαετίας, τα μεγάλα έργα υποδομής ήταν λιγοστά. Ο τρόπος κατασκευή των ξυλοτύπων ακολουθούσε τις παραδοσιακές γνωστές μεθόδους. Τα λατάκια, τα μαδέρια και το πέτσωμα με σανίδες και αργότερα με μπετοφόρμ ήταν ο καθιερωμένος τρόπος. Η φύρα της ξυλείας ήταν μεγάλη, οι χρόνοι κατασκευής και τα κοστολόγια επίσης μεγάλα.

Μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1990, που ξεκίνησαν τα δύο μεγάλα έργα του Μετρό και του Αεροδρομίου των Σπάτων έδωσαν την αφορμή να χρησιμοποιηθούν νέα σύγχρονα συστήματα ξυλοτύπων. Επακολούθησαν αργότερα η Αττική Οδός, η Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου και τα Ολυμπιακά Έργα και παγιώθηκαν πλέον τα σύγχρονα συστήματα.

Οι στόχοι που έπρεπε να επιτευχθούν ήταν :

- ◆ η αύξηση της παραγωγικότητας
- ◆ η μείωση του χρόνου κατασκευής

- ◆ ο αυστηρότερος ποιοτικός έλεγχος και τα καλύτερα ποιοτικά αποτελέσματα
- ◆ η μείωση του κόστους
- ◆ η αύξηση του βιομηχανοποιημένου προϊόντος με παράλληλη μείωση των εργατικών

Αν αναλογισθούμε ότι στις συνηθισμένες κατασκευής τα σκυροδέματα καταλαμβάνουν, σε κόστος, το 35% και το 40% των ημερομισθίων, ενώ απαιτείται και το 35-40% του συνολικού χρόνου του έργου, θα συμφωνήσουμε ότι είναι πλέον επιβεβλημένη η επίτευξη των παραπάνω στόχων.

Σύγχρονα συστήματα μεταλλοτύπων

Η έρευνα και η εξέλιξη των τελευταίων χρόνων αποβλέπει:

- 1.- Στη βελτίωση και απλούστευση της χρήσης, δηλαδή της συναρμο-λόγησης, αποσυναρμολόγησης και μετακίνησης.
- 2.- Στο διαχωρισμό των συστημάτων ανάλογα με τη χρήση δηλαδή για κατακόρυφα στοιχεία (τοιχία, υποστυλώματα κλπ.) και για οριζόντια στοιχεία (πλάκες, δοκούς, κλπ.).

Κυριαρχούν **τρεις βασικοί τύποι-μορφές συστημάτων:**

A) Συστήματα πανέλων

Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από τα ακόλουθα:

- Κύριο χαρακτηριστικό τους ο υψηλός βαθμός τυποποίησης
- Απ'ευθείας χρήση στο έργο, απλότητα χρήσης, μικρή ανάγκη εξειδίκευσης
- Φέρων σκελετός από μέταλλο (χάλυβας ή αλουμίνιο)
- Τελική επιφάνεια σε επαφή με το σκυρόδεμα, τελευταία έχει καθιερωθεί το μπετοφόρμ (συνήθη πάχη 12-21 mm)
- Δυνατότητα συνδυασμού σε μεγαλύτερης επιφάνειας στοιχεία

- Σχετικά μεγάλο κόστος αρχικής επένδυσης και απόσβεση σε μεγαλύτερο αριθμό έργων
- Μεγάλη ευελιξία και προσαρμοστικότητα σε απλές ή πολύπλοκες κατασκευές

B) Συστήματα με ξύλινες κύριες δοκούς

Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από τα ακόλουθα:

- Μικρός ή μέσος βαθμός τυποποίησης
- Προσυναρμολόγηση στο εργοτάξιο. Χρειάζονται μεγαλύτερη εξειδίκευση
- Τα κυρίως φέροντα μέλη είναι ισχυρές ξυλοδοκοί
- Μοιάζουν περισσότερο με τις παραδοσιακές μορφές ξυλοτύπου

- Σχετικά μικρότερο κόστος αρχικής επένδυσης, άρα απόσβεση σε μικρότερο αριθμό έργων
- Μικρότερη ευελιξία. Τα συστήματα είναι ιδανικά για επαναλαμβανόμενες μορφές κατασκευών.

Γ) Αναρριχόμενα συστήματα (jumpforms)

Τα αναρριχόμενα συστήματα εξυπηρετούν τη σκυροδέτηση σε ψηλές κατασκευές, κατά βήματα σε ισοϋψείς φάσεις.

Δεν πρέπει να συγχέονται με τα ολισθαίνοντα συστήματα (slipforms), όπου η σκυροδέτηση γίνεται σε συνεχή 24ωρη βάση, σε καλούπι με συνεχή προς τα άνω ολίσθηση.

Τα αναρριχόμενα συστήματα είναι ουσιαστικά συστήματα πλατφορμών που συνδυάζονται με όλα τα συνήθη συστήματα μεταλλοτύπων.

Προσφέρουν εξαιρετική ταχύτητα στην εργασία, σε κατασκευές με ομοιόμορφη καθ' ύψος διατομή-κάτοψη.

Προσφέρουν ασφαλή και ευρύχωρο χώρο-δάπεδο εργασίας κατά μήκος της κατασκευής.

Τα αναρριχόμενα συστήματα επιτρέπουν την προς τα άνω αναρρίχηση όλου του συστήματος κατά ένα βήμα, με τη χρήση γερανού ή με υδραυλικό αυτοφερόμενο σύστημα.

Με τον τρόπο αυτό, ένας πλήρης κύκλος (καλούπωμα, σιδέρωμα, σκυροδέτηση, ξεκαλούπωμα, ανύψωση μεταλλότυπου) ολοκληρώνεται σε 3-5 ημέρες.

Τα βήματα σκυροδέτησης συνήθως είναι της τάξεως των 3,00-5,00 μ.

Γενικότερα τα συστήματα αναρρίχησης και ολισθαίνοντες ξυλότυποι χρησιμοποιούνται σε πολλές κατασκευές από σκυρόδεμα, όπως ψηλά κτίρια σε κυκλική διατομή, γέφυρες με μεγάλα ανοίγματα, κτίρια με αλλαγές κλίσεων καθ' ύψος, κλπ. Τέτοιες κατασκευές θα ήταν αδύνατο ή έστω εντελώς αντιοικονομικό να καλουπωθούν με τα παραδοσιακά συστήματα ξυλοτύπων.

Η λύση σε τέτοιες κατασκευές δίδεται με τους αυτοαναρριχόμενους ή τους ολισθαίνοντες ξυλοτύπους, οι τύποι αυτοί είναι οι πιο εντυπωσιακοί, καθώς επιτρέπουν την κατασκευή οποιασδήποτε διατομής σε οποιοδήποτε ύψος.

Τα ειδικά πλαίσια διαθέτουν μηχανισμούς ολίσθησης τόσο ολόκληρου του πλαισίου καθ' ύψος, όσο και του καλουπιού οριζοντίως-κατά πλάτος, ώστε αυτό να ανοίγει και να κλείνει για να πραγματοποιούνται οι εργασίες συντήρησης του ξυλοτύπου, αλλά και η τοποθέτηση του σιδηρού οπλισμού.

Η όλη κατασκευή αντιστηρίζεται με αντηρίδες και ιμάντες ενίσχυσης (ελκυστήρες) κατά του ανέμου. Οι πλατφόρμες μεταφέρουν ολόκληρη

την επιφάνεια εργασίας και τους χώρους αποθήκευσης και μαζί τα περιμετρικά προστατευτικά στηθαία.

Στην ίδια λογική κινούνται οι ολισθαίνοντες ξυλότυποι, που μετακινούν οριζόντια το καλούπι για ειδικές κατασκευές, όπως η εν προβόλω δόμηση μιας γέφυρας ή η κατασκευή ενός φράγματος.

Κατά τον κανονισμό

- Απαγορεύεται η χρήση εύκαμπτων λεπτών φύλλων (λαμαρίνες, χαρτόνια κλπ.) για την συμπλήρωση του ξυλοτύπου σε οποιαδήποτε θέση.
- Οι αρμοί του ξυλοτύπου να είναι κλειστοί, ώστε να εμποδίζουν την διαφυγή της τσιμεντοκονίας.
- Πρίν από τη διάστρωση πρέπει να απομακρύνονται από τον ξυλότυπο και το παλαιό σκυρόδεμα κάθε ξένο σώμα, καθώς και κομμάτια ή σαθρά τμήματα του παλαιού σκυροδέματος.
- Αν ο ξυλότυπος είναι υδατοαπορροφητικός (σανίδες-κόντρα πλακέ, κλπ) θα πρέπει να διαβρέχεται μέχρι κορεσμού. Θα διαβρέχονται επίσης οι επιφάνειες του παλαιού σκυροδέματος, που θα καλυφθούν με νέο. Απαγορεύεται η διάστρωση τσιμεντοκονίας σ' αυτές τις επιφάνειες.
- Η αφαίρεση μπορεί να γίνει μόνον όταν το σκυρόδεμα έχει αποκτήσει ικανή αντοχή ώστε να φέρει ασφαλώς τόσο το ίδιο του βάρος, αλλά και όσα φορτία του επιβληθούν μέχρι την ηλικία των 28 ημερών, που θα έχει αποκτήσει την πλήρη αντοχή του.
- Όταν η εξέλιξη της σκλήρυνσης δεν παρακολουθείται με δοκίμια οι ξυλότυποι δεν θα αφαιρούνται πριν από τη συμπλήρωση των ημερών που δίδονται στον παρατιθέμενο πίνακα.

ΧΡΟΝΟΙ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΞΥΛΟΤΥΠΩΝ

A/A	Στοιχεία Κατασκευής	Τύπος Τσιμέντου I	Τύπος Τσιμέντου II
1	Πλευρικά δοκών, υποστυλωμάτων και τοιχίων	2 ημέρες	3 ημέρες
2	Ξυλότυποι πλακών και δοκών	5 ημέρες	8 ημέρες
3	Ξυλότυποι πλακών και δοκών ανοίγματος μεγαλύτερου των 5m	10 ημέρες	16 ημέρες
4	Υποστυλώματα ασφαλείας δοκών, πλαισίων και πλακών ανοίγματος μεγαλύτερου των 5m	28 ημέρες	28 ημέρες

Αν μέσα σ' αυτά τα χρονικά διαστήματα η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατέβηκε κάτω από $+5^{\circ}\text{C}$ για περισσότερο από 2 ώρες και μέχρι 24 ώρες, οι χρόνοι του πίνακα θα αυξάνονται κατά μία ημέρα. Γενικά αν αυτές οι χαμηλές θερμοκρασίες παραταθούν για περισσότερες της μιας ημέρας, για αντίστοιχες ημέρες θα καθυστερήσει το ξεκαλούπωμα.

- Η αφαίρεση των ξυλοτύπων πρέπει να γίνεται χωρίς κρούσεις και δονήσεις. Θ' αφαιρούνται πρώτα οι ξυλότυποι των κατακορύφων στοιχείων (υποστυλώματα, τοιχία κλπ.) μετά οι ξυλότυποι των οριζόντιων στοιχείων (πλακών, δοκών).

Παράταση του χρόνου απομάκρυνσης των ξυλοτύπων μπορεί να απαιτείται για την αποφυγή δημιουργίας ρηγματώσεων, λόγω γρήγορης ξήρανσης των επιφανειών που αποκαλύπτονται μετά την απομάκρυνση των ξυλοτύπων ή στην περίπτωση δομικών στοιχείων με διαφορετικά πάχη.

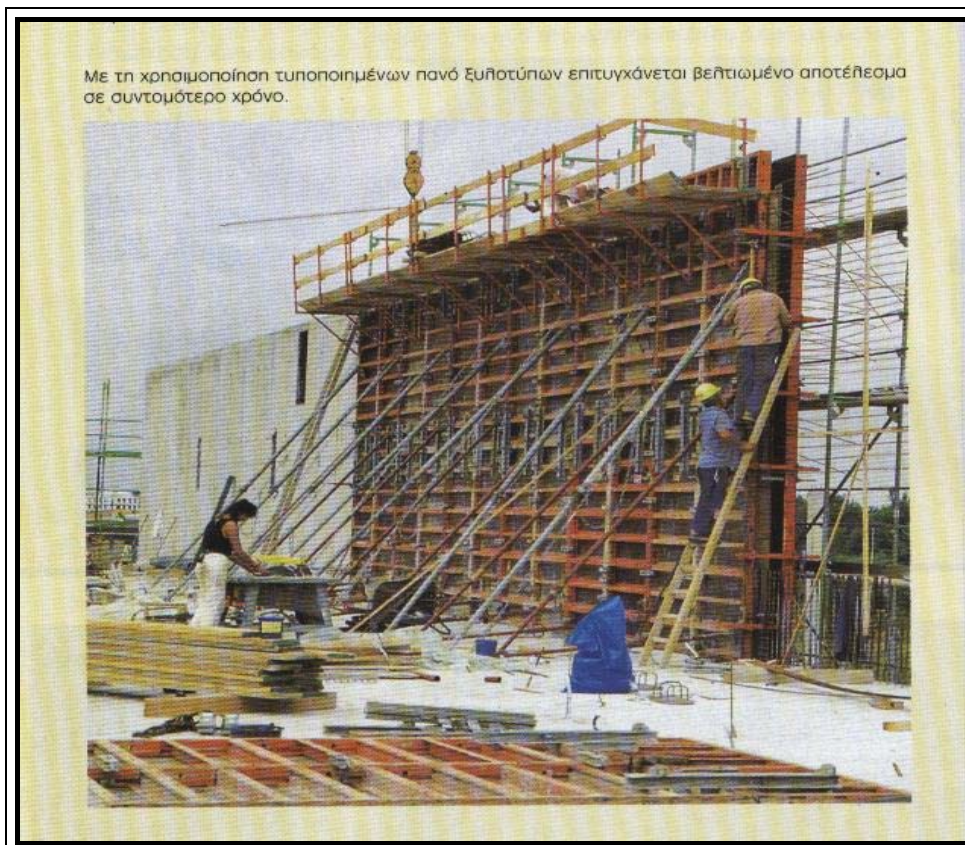
Επίσης η παράταση του χρόνου διατηρήσεως των ξυλοτύπων οδηγεί σε μείωση των ερπυστικών παραμορφώσεων στο σκυρόδεμα, καθώς και σε μείωση των βελών κάμψεως δοκών και πλακών μεγάλων ανοιγμάτων.

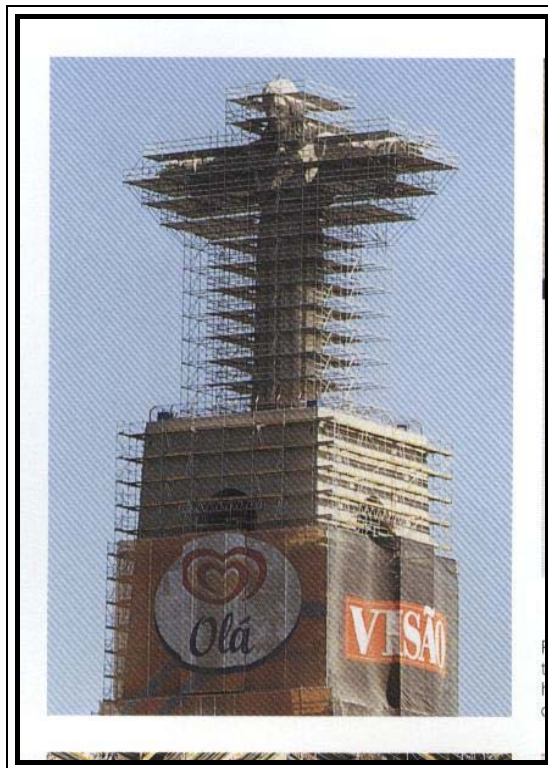
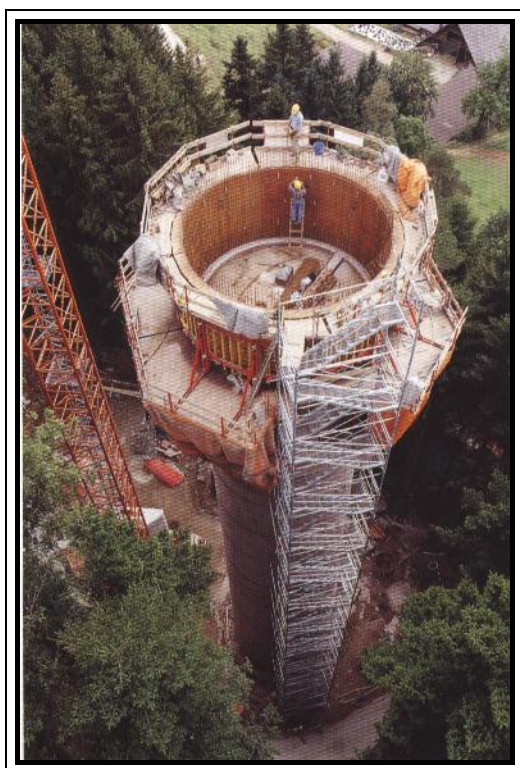
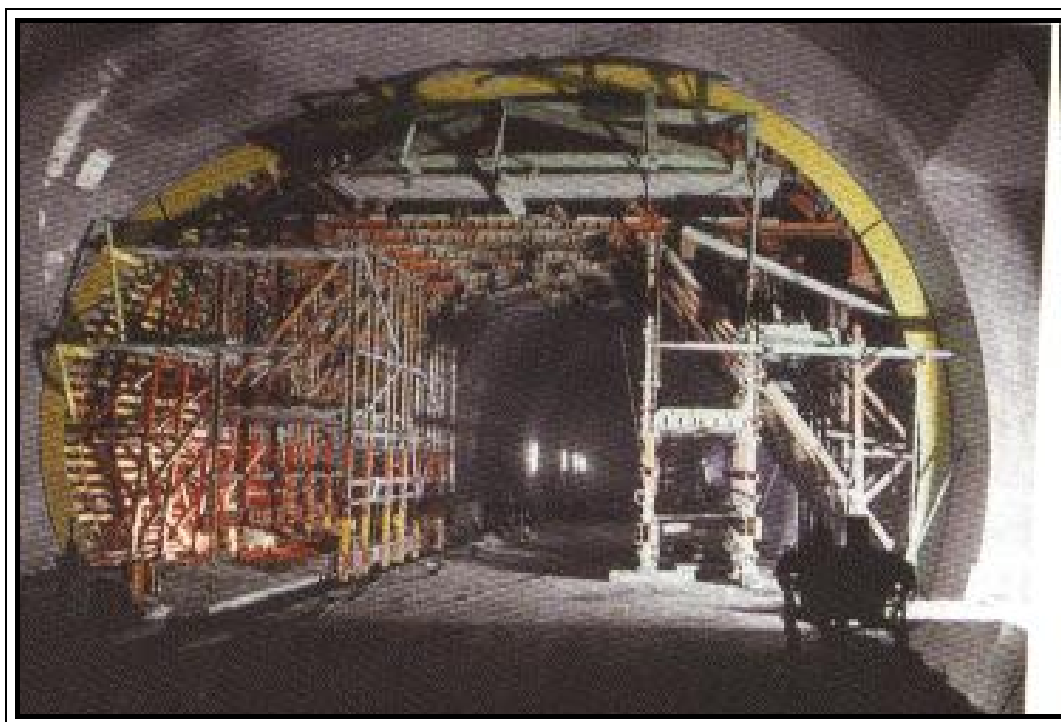
Πολλές φορές για λόγους αποφυγής παραμορφώσεων μετά την αφαίρεση των ξυλοτύπων τοποθετούνται προσωρινές υποστυλώσεις σε πλάκες και δοκούς με μεγάλα ανοίγματα. Τα βοηθητικά αυτά υποστυλώματα μπορούν να προβλέπονται κατά την κατασκευή των ξυλοτύπων.

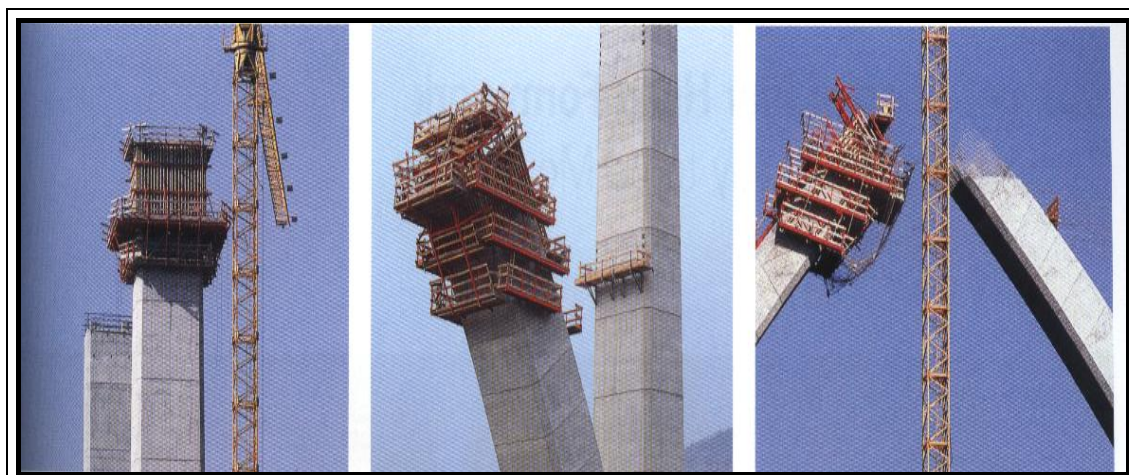
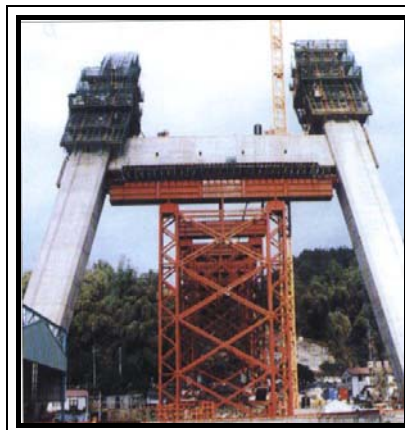
Σε περιπτώσεις πολυορόφων κτιρίων ενδείκνυται η διατήρηση των θέσεων των βοηθητικών υποστυλώσεων στους ορόφους, εάν αυτό είναι εφικτό.

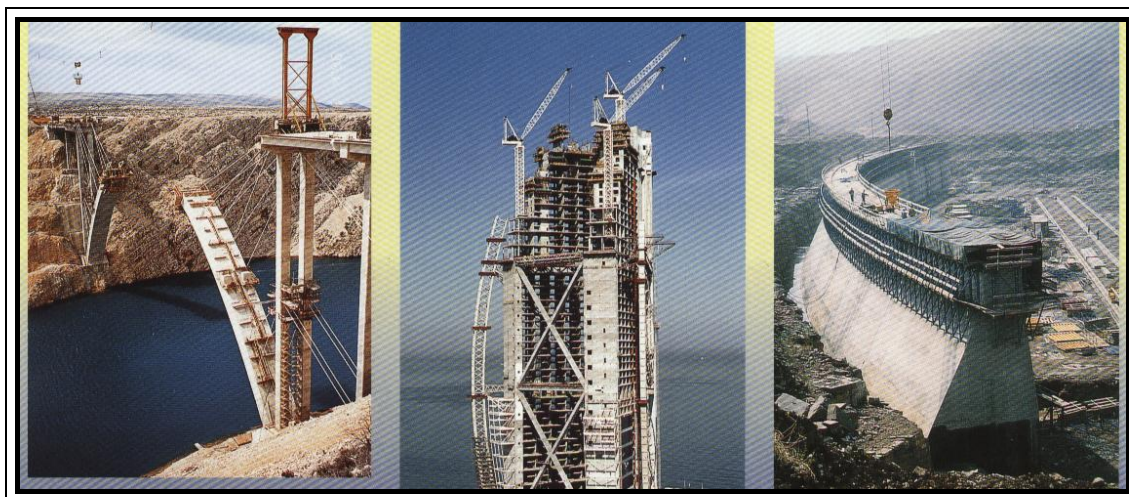
Γενικά συνιστάται η τοποθέτηση βοηθητικών υποστυλωμάτων στην κεντρική περιοχή δοκών και πλακών με άνοιγμα μέχρι 8 μ. ενώ για μεγαλύτερα ανοίγματα συνιστάται η τοποθέτηση υποστυλωμάτων και σε ενδιάμεσες θέσεις.

Για πλάκες με ανοίγματα μικρότερο από 3 μ. κατά κανόνα περιττεύουν τα βοηθητικά υποστυλώματα.

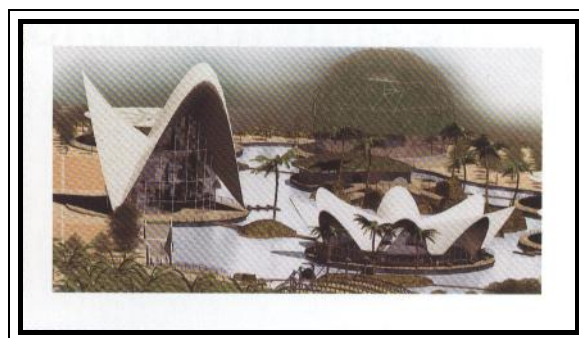
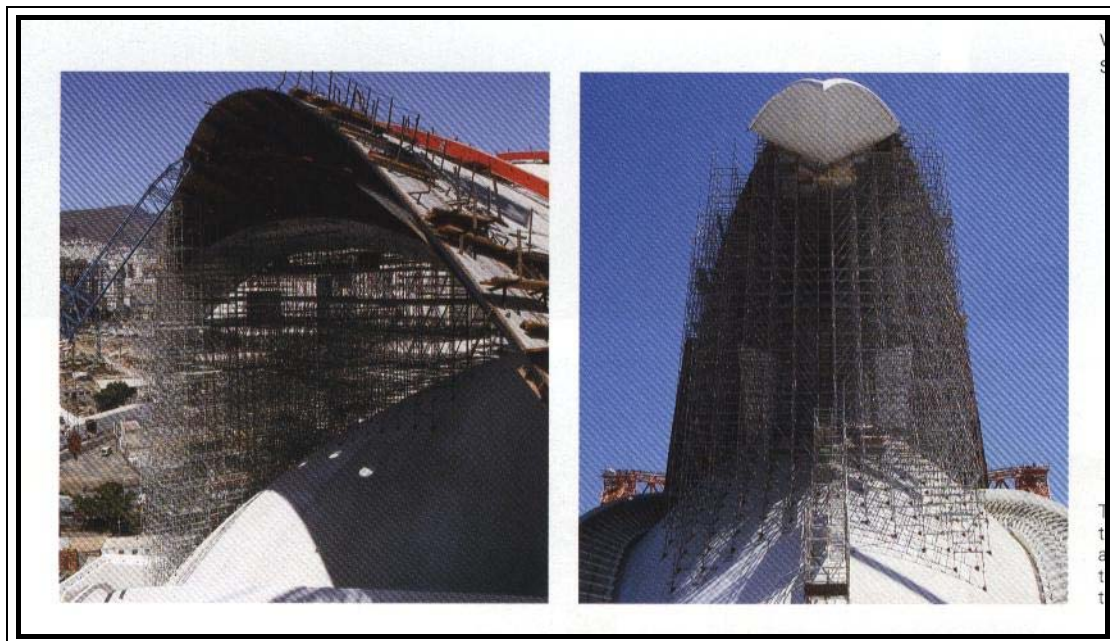


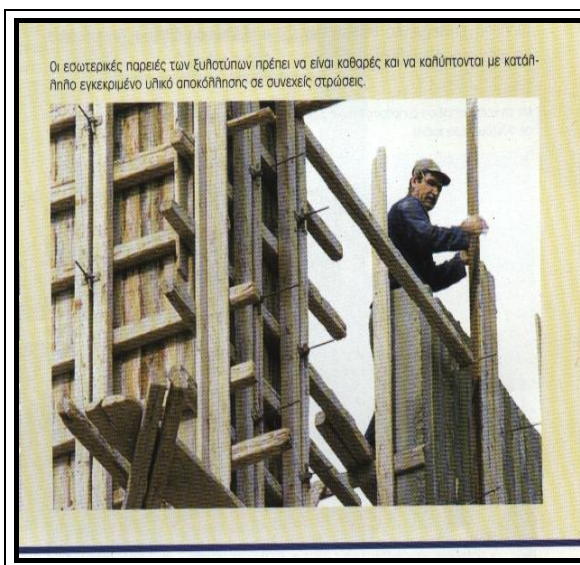
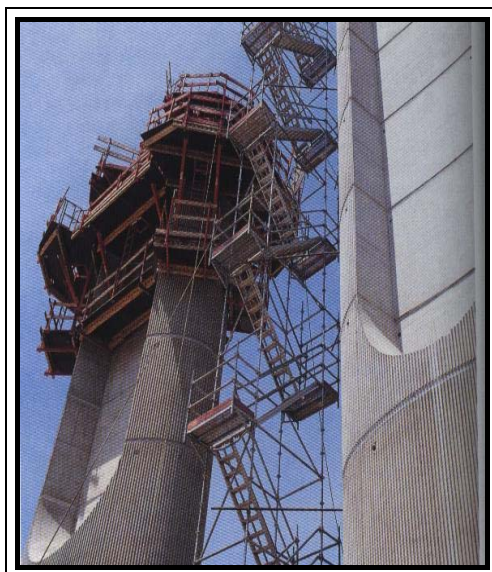
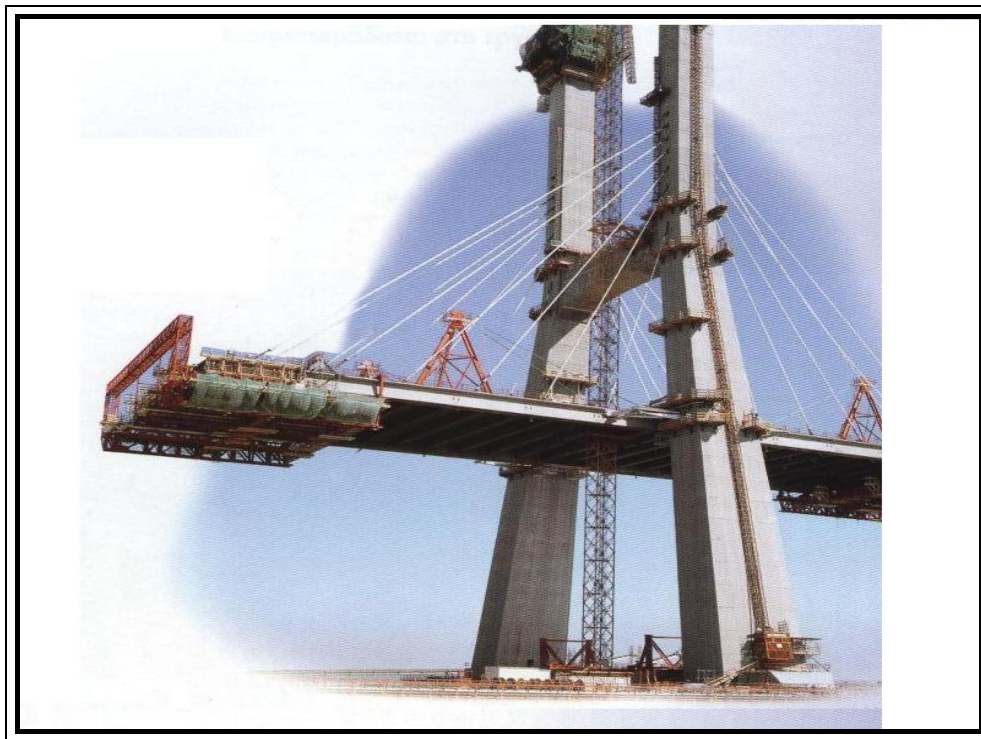


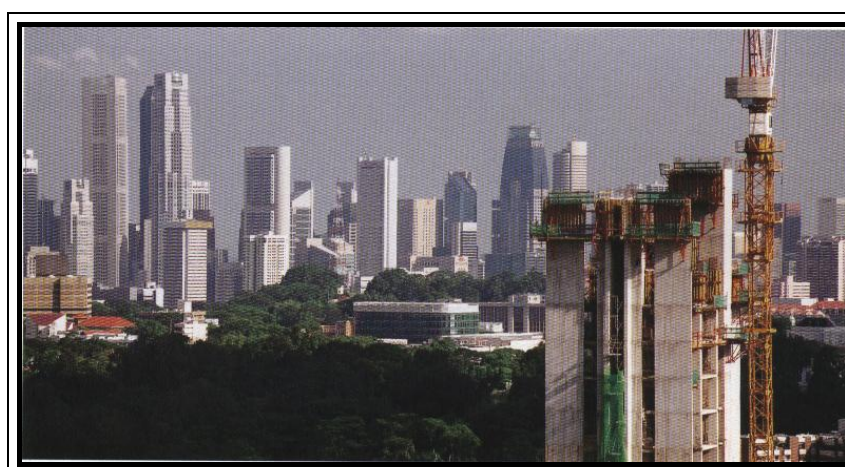
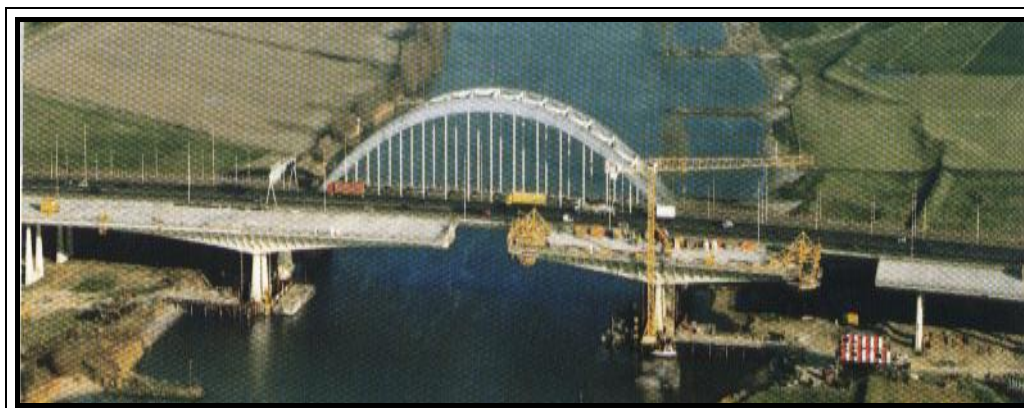


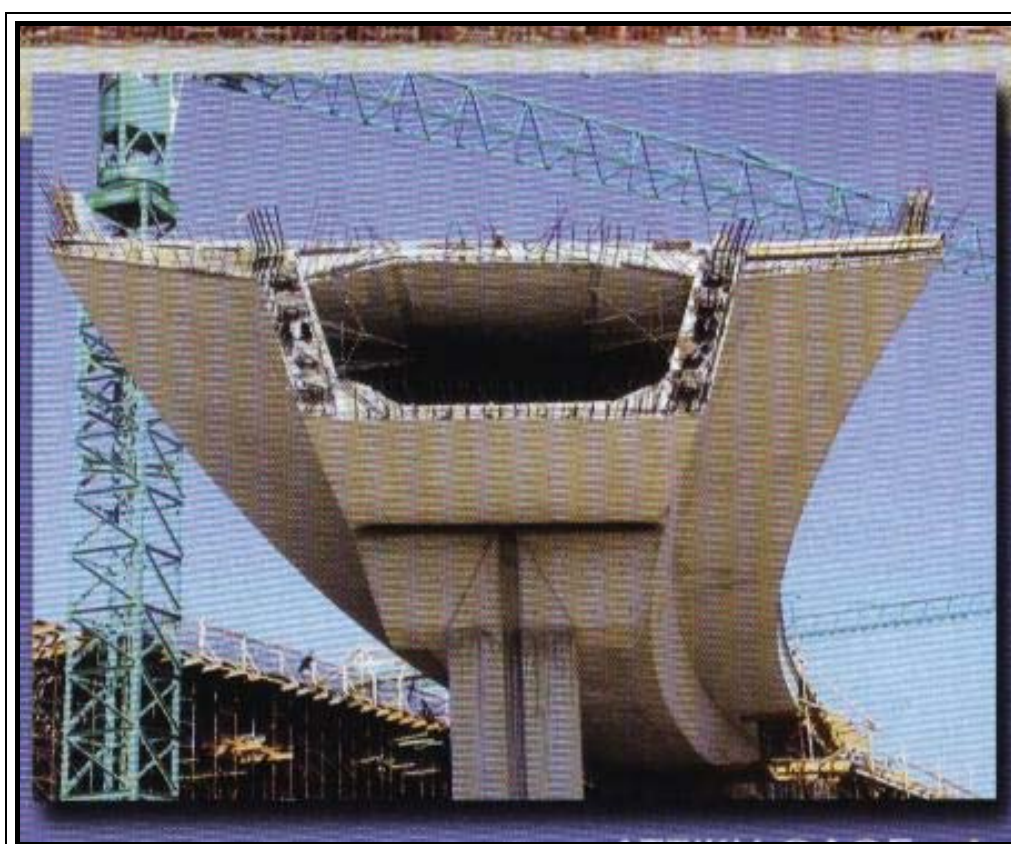


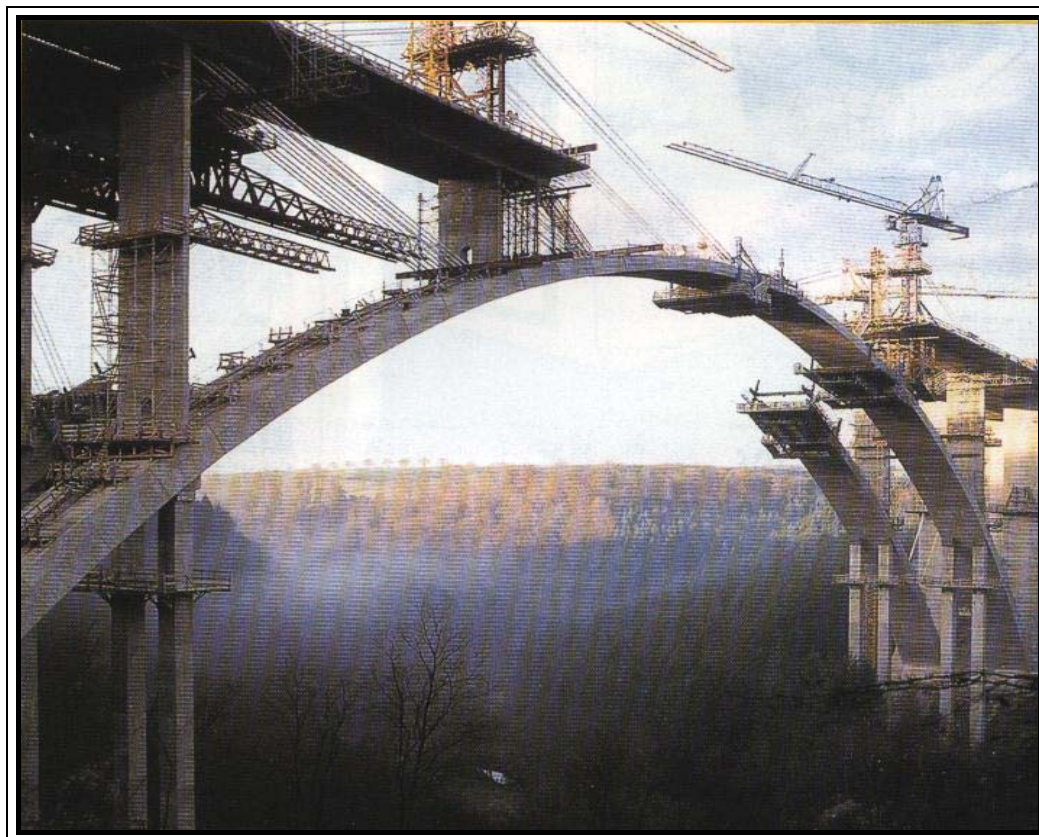


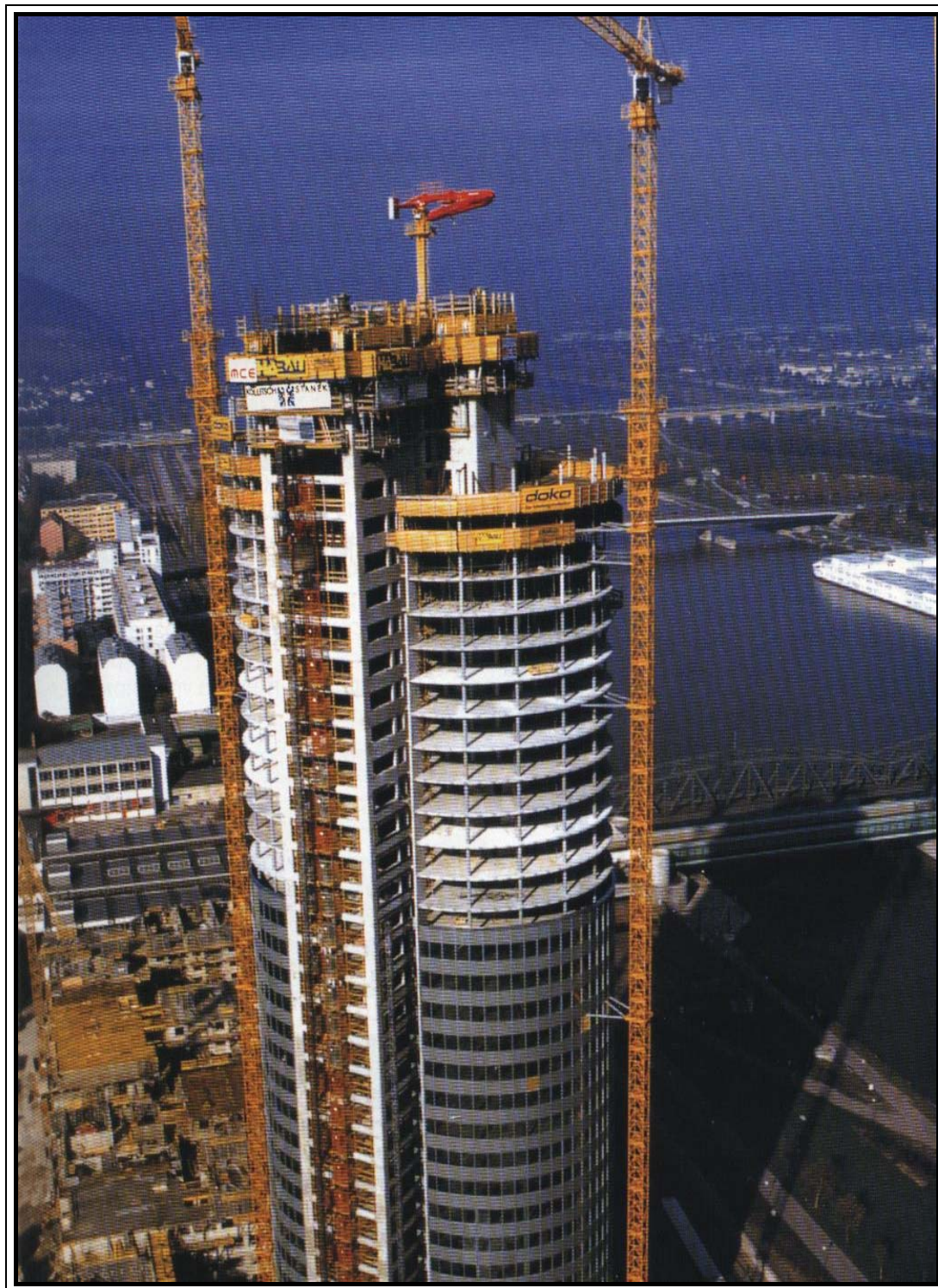


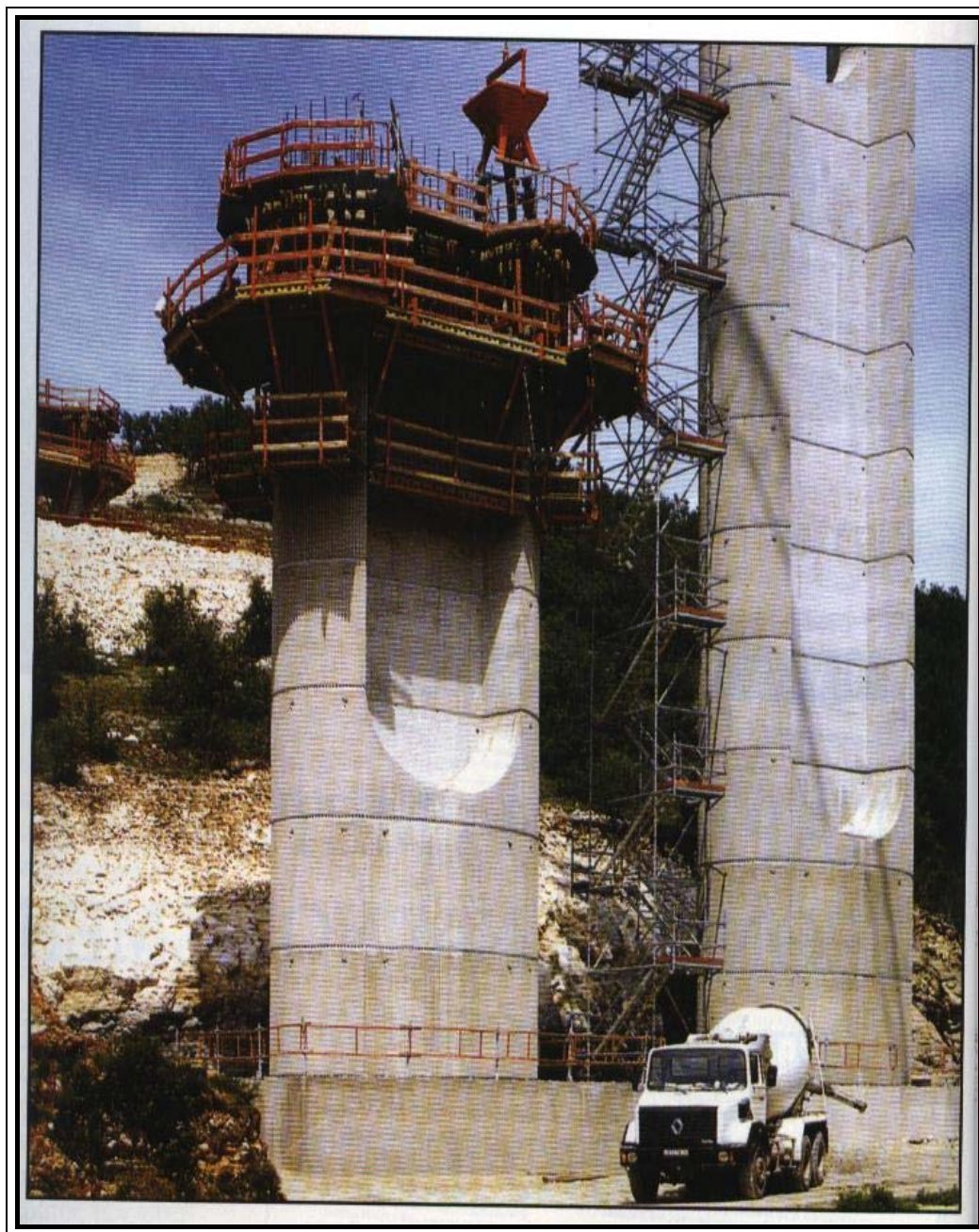


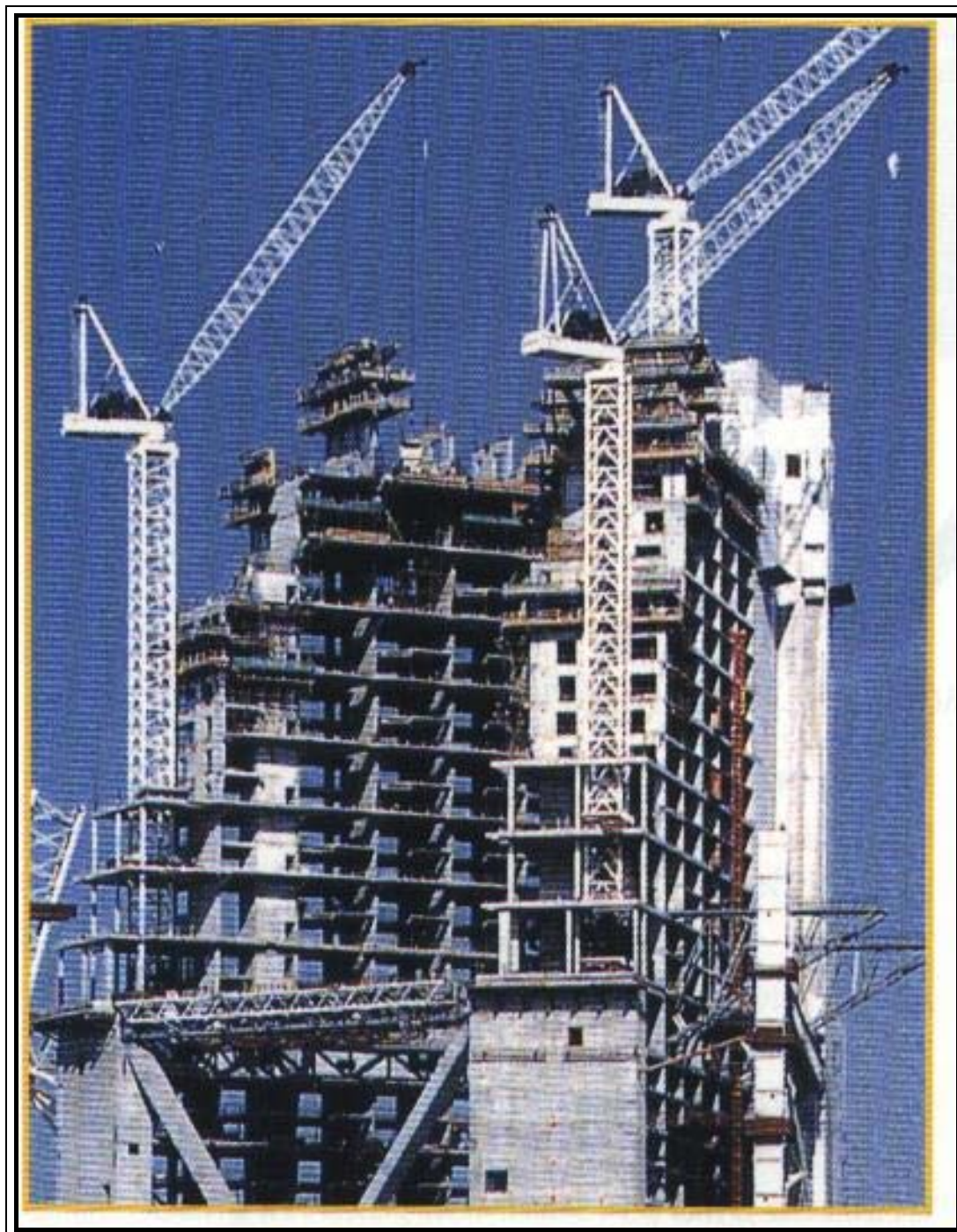












3.6. ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗ ΣΕ ΑΚΡΑΙΕΣ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.6.A. Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

Στο Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 515 καθορίζονται τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν ώστε να εξασφαλισθεί η αντοχή και η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος που παρασκευάζεται και σκυροδετείται όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλή.

Χαμηλή θεωρείται η θερμοκρασία περιβάλλοντος που είναι χαμηλότερη των +5° C.

1. Γενικές οδηγίες

- Πρέπει να προβλέπεται έγκαιρα η προμήθεια των απαραίτητων υλικών για τη **θερμική προστασία** του σκυροδέματος όταν πιθανολογείται πτώση θερμοκρασίας του περιβάλλοντος σε επικίνδυνα όρια.
- Τα λεπτότερα στοιχεία του δομικού στοιχείου από σκυρόδεμα, όπως γωνίες, ακμές που προσβάλλονται ευκολότερα από τον παγετό, πρέπει να προστατεύονται επιμελέστερα.
- Το περισσότερο νερό στο σκυρόδεμα αυξάνει τον κίνδυνο βλαβών από παγετό και γι' αυτό πρέπει να επιδιώκεται μικρότερη δόση νερού αναμίξεως.
- Οι μέθοδοι για την θερμική προστασία του νωπού σκυροδέματος πρέπει να εφαρμόζονται με οικονομία, γιατί σκυροδέτηση με αρχική υψηλή θερμοκρασία έχει αρνητική επίπτωση στην εξέλιξη της αντοχής, ενώ αντίθετα όταν η αρχική θερμοκρασία είναι χαμηλή, χωρίς όμως τον κίνδυνο παγοπληξίας και γίνει σωστή συντήρηση, τότε θα επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή αντοχή.

2. Απαιτούμενα γενικά μέτρα

Ανάλογα με τη βαρύτητα των καιρικών συνθηκών που αναμένονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν μία ή περισσότερες από τις παρακάτω μεθόδους:

- ◆ Αύξηση της δόσης του τσιμέντου ή προσθήκη τσιμέντου ταχείας ανάπτυξεως αντοχής
- ◆ Προσθήκη αερακτικού προσθέτου
- ◆ Επιτάχυνση της σκληρύνσεως με χρήση κατάλληλου ταχυπηκτικού προσθέτου
- ◆ Θέρμανση των υλικών
- ◆ Θέρμανση του περιβάλλοντος χώρου του σκυροδέματος
- ◆ Θερμική μόνωση των στοιχείων του σκυροδέματος

- ◆ Εσωτερική θέρμανση της μάζας του σκυροδέματος και κάθε μέθοδος που μπορεί να συμβάλει στην προστασία του σκυροδέματος.

3. Απαιτούμενα ελάχιστα μέτρα

- Η χρήση αερακτικού πρόσθετου είναι υποχρεωτική όταν η θερμοκρασία σκυροδέτησης είναι μικρότερη από 0° C.
- Η χρήση αερακτικού είναι υποχρεωτική στις περιοχές της χώρας κατηγορίας IV (Κ.Τ.Ε) τους μήνες Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο ανεξαρτήτως θερμοκρασίας. Βεβαίως πρέπει να υπάρχει ετοιμότητα χρησιμοποίησεων των μεθόδων της § 2.

4. Απαιτήσεις θερμοκρασίας σκυροδέματος στις φάσεις ανάμιξης, σκυροδέτησης και διατήρησης

Απαγορεύεται γενικώς η σκυροδέτηση όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι κάτω από -15° C , εκτός εάν υπάρχει ανάγκη, οπότε λαμβάνονται ειδικά μέτρα προστασίας.

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι ελάχιστες θερμοκρασίες που επιτρέπεται να έχει το νωπό σκυρόδεμα κατά την ανάμιξη, τη σκυροδέτηση και τη συντήρηση.

Τα στοιχεία του πίνακα δεν αφορούν προκατασκευασμένα στοιχεία.

Πίνακας 1: Ελάχιστες θερμοκρασίες σκυροδέματος που απαιτούνται στις φάσεις ανάμιξης, σκυροδέτησης, συντήρησης

Α/Α	Φάσεις εργασίας	Θερμοκρασία περιβάλλοντος t° C	Λεπτές διατομές		Ογκώδεις διατομές	
			Σκυρόδεμα με μέγιστη διάμετρο αδρανούς			
			≤ 20 mm	≤ 40 mm	≤ 80 mm	≤ 160 mm
1	Ανάμιξη	-3° C < t < +5° C	13° C 18° C	9° C 15° C	9° C 13° C	8° C 10° C
2	Σκυροδέτηση και διατήρηση	-15° C < t < -3° C	13° C	10° C	7° C	5° C

Σημ. : Σαν ογκώδεις διατομές θεωρούμε αυτές με ελάχιστη διάσταση 400 mm.

Πίνακας 2. Ελάχιστα χρονικά διαστήματα σε ημέρες, που απαιτείται να διατηρηθεί το σκυρόδεμα στις ελάχιστες θερμοκρασίες του Πίνακα 1, Α/Α 2.

Σκυρόδεμα	Τύπος τσιμέντου	Θερμοκρασία περιβάλλοντος $-3^{\circ}\text{C} < t < +5^{\circ}\text{C}$	Θερμοκρασία περιβάλλοντος $t < -3^{\circ}\text{C}$ μόνο για λεπτές διατομές
Αφόρτιστο και μη εκτεθειμένο	Κοινό	3	4
	Ταχείας σκληρύνσεως	2	3
	Κοινό με επιταχυντικό πρόσθετο	2	3
Αφόρτιστο και εκτεθειμένο	Κοινό	4	5
	Ταχείας σκληρύνσεως	3	4
	Κοινό με επιταχυντικό πρόσθετο	3	4
Φορτισμένο και εκτεθειμένο	Κοινό	4	5
	Ταχείας σκληρύνσεως	3	4
	Κοινό με επιταχυντικό πρόσθετο	3	4

5. Διάρκεια θερμικής προστασίας του σκυροδέματος μετά τη σκυροδέτηση

Όταν οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερες των $+5^{\circ}\text{C}$ επιβάλλεται το σκυρόδεμα να διατηρηθεί στις ελάχιστες θερμοκρασίες του Πίνακα 1, Α/Α 2 και για τα ελάχιστα χρονικά διαστήματα που δίνονται στον Πίνακα 2, εφ' όσον το σκυρόδεμα περιέχει αερακτικό πρόσθετο. Εάν δεν περιέχει αερακτικό πρόσθετο τα χρονικά διαστήματα πρέπει να **διπλασιάζονται**.

- Η πρώτη κατηγορία «αφόρτιστο και μη εκτεθειμένο» αφορά σκυροδέματα θεμελιώσεων και υπογείων κατασκευών, που λόγω θέσης έχουν μειωμένο κίνδυνο παγοπληξίας.
- Η δεύτερη κατηγορία «αφόρτιστο και εκτεθειμένο» αφορά σκυροδέματα ογκωδών υποστυλωμάτων και φραγμάτων.
- Η τρίτη κατηγορία «φορτισμένο και εκτεθειμένο» αφορά σκυροδέματα που εκτίθενται στις καιρικές μεταβολές και που μπορεί να φορτιστούν εν μέρει πριν αποκτήσουν την αντοχή τους.

Ο χρόνος προστασίας που δίδεται στον Πίνακα 2 είναι ο αναγκαίος για να εξασφαλιστεί η απαραίτητη ανθεκτικότητα.

Αλλά για να εξασφαλιστεί η αναγκαία αντοχή για την ανάληψη των φορτίων και την ασφάλεια της κατασκευής δεν αρκούν οι χρόνοι του Πίνακα 2. Η διάρκεια προστασίας και υποστυλώσεως καθώς και η ικανότητα του έργου να παραλάβει φορτία θα προσδιορίζεται από τα αποτελέσματα της εξέλιξης της αντοχής δοκιμίων που διατηρούνται στο έργο κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Εάν η εξέλιξη της αντοχής δεν παρακολουθείται με δοκίμια, τότε τα ελάχιστα χρονικά όρια προσδιορίζονται από τον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ελάχιστα χρονικά διαστήματα σε ημέρες διατήρησης σκυροδέματος φορτισμένου και εκτεθειμένου σε θερμοκρασία 10° C και 20° C

Όταν αναμένεται θερμοκρασία περιβάλλοντος για 5 τουλάχιστον ημέρες μετά τη διακοπή προστασίας	Τύπος τσιμέντου			Ποσοστό αντοχής της συμβατικής αντοχής 28 ημερών κατά τη στιγμή της διακοπής της προστασίας
	Κοινό	Ταχείας σκληρύνσεως	Κοινό με επιταχυντικό πρόσθετο	
	Για θερμοκρασία διατήρησης 20° C			
t > 0° C	5	4	4	50 %
0° C > t > -5° C	9	5	5	65 %
-5° C > t > -9° C	17	13	13	85 %
	Για θερμοκρασία διατήρησης 10° C			
t > 0° C	7	4	4	50 %
0° C > t > -5° C	12	6	6	65 %
-5° C > t > -9° C	22	17	17	85 %

6. Μέθοδοι προστασίας

Επιτάχυνση σκληρύνσεως: Επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων τσιμέντων και επιταχυντικών.

- **Τσιμέντα:**

Η χρησιμοποίηση μικρότερου λόγου N/T ή η αύξηση της δόσης του τσιμέντου ή η χρήση τσιμέντων ταχείας αναπτύξεως της αντοχής, μπορεί να μειώσει τον απαιτούμενο χρόνο της προστασίας και να ελαττώσει την απαιτούμενη θέρμανση των υλικών.

- **Επιταχυντικά πρόσθετα**

Τα επιταχυντικά πρόσθετα πρέπει να είναι σύμφωνα με την προδιαγραφή «περί προσθέτων μάζας σκυροδέματος».

Απαγορεύεται η χρήση υλικών που κατεβάζουν το σημείο πήξης του νερού, γιατί λόγω μεγάλης ποσότητας που απαιτείται, επηρεάζονται οι άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος.

Η απλή χρήση επιταχυντικών δεν υποκαθιστά σε καμία περίπτωση την καλή συντήρηση και προστασία από τον παγετό.

- **Θέρμανση υλικών**

Η θέρμανση των υλικών συμβάλλει στην επίτευξη των θερμοκρασιών του Πίνακα 1.

Όμως οι υψηλές θερμοκρασίες στο σκυρόδεμα ενέχουν τον κίνδυνο της ταχύτατης πήξης, της ψευδόπηξης, της ταχείας εξάτμισης του νερού και την δημιουργία θερμικών τάσεων κατά την ψύξη, καθώς και άλλους. Συνιστάται, λοιπόν, οι αρχικές θερμοκρασίες των υλικών και του σκυροδέματος να μην υπερβαίνουν τις τιμές του Πίνακα 1. Είναι προτιμότερη η θέρμανση πρώτα του νερού, λόγω αφ' ενός της ευκολίας, αλλά και λόγω της μεγάλης του θερμοχωρητικότητας (5 φορές μεγαλύτερη από των αδρανών).

Συνήθως αρκεί μόνο η θέρμανση του νερού εάν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη των -1°C . Για θερμοκρασίες μικρότερες και όταν τα αδρανή έχουν πιάσει πάγο επιβάλλεται και η θέρμανση των αδρανών και κυρίως της άμμου.

Για τον ακριβή υπολογισμό της θερμοκρασίας του σκυροδέματος συναρτήσει της θερμοκρασίας των αδρανών και του βάρους τους χρησιμοποιείται η σχέση :

$$T = \frac{0,22(T_a.W_a + T_c.W_c) + T_w.W_w + T_{wa}.W_{wa}}{0,22(W_a + W_c) + W_w + W_{wa}}$$

Όπου:

T	=	θερμοκρασία μίγματος
T _a	=	θερμοκρασία αδρανών
T _c	=	θερμοκρασία τσιμέντου
T _w	=	θερμοκρασία νερού
T _{wa}	=	θερμοκρασία περιεχομένου νερού στα αδρανή
W _a	=	βάρος αδρανών
W _c	=	βάρος τσιμέντου
W _w	=	βάρος νερού
W _{wa}	=	βάρος περιεχομένου νερού στα αδρανή

- **Θέρμανση αδρανών**

Τα αδρανή για να θερμανθούν μπορεί να συσσωρευτούν πάνω από σωλήνες, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί ατμός. Η θέρμανση, επίσης μπορεί να γίνει με εκτόξευση ελεύθερου ατμού, συνήθως υψηλής πίεσεως. Το μειονέκτημα όμως είναι, ότι τα αδρανή παρουσιάζουν διαφορετική υγρασία από θέση σε

θέση, οπότε δυσχεραίνεται η εκτίμηση της ποσότητας του νερού αναμίξεως.

- **Θέρμανση χώρου που περιβάλλει το σκυρόδεμα**
Σε πολλές περιπτώσεις ο χώρος γύρω από το σκυρόδεμα θερμαίνεται κατάλληλα. Ο χώρος κλείνεται με ξυλοπετάσματα, με γυψοσανίδες, με πλαστικά φύλλα και άλλα υλικά για την προστασία από τη διείσδυση του αέρα. Η θέρμανση του χώρου γίνεται με εκπομπή ατμού ή με θερμάστρες. Τα καυσαέρια των θερμαστρών πρέπει να απάγονται έξω από τον κλειστό χώρο, προς αποφυγή της προσβολής του σκυροδέματος από το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και να λαμβάνονται μέτρα για τη διατήρηση της απαιτούμενης υγρασίας.
- **Θερμική μόνωση των στοιχείων του σκυροδέματος**
Άλλη μέθοδος προστασίας είναι η συγκράτηση της θερμότητας που παράγεται μέσα στο σκυρόδεμα κατά την ενυδάτωση τσιμέντου. Προς τούτο μονώνονται οι παράπλευρες επιφάνειες του σκυροδέματος. Για τη μόνωση αυτών χρησιμοποιούνται α) ο ίδιος ο ξυλότυπος, β) φύλλα από θερμομονωτικά υλικά, προστατευμένα όμως από την υγρασία, γ) ινώδη υλικά, ακόμη και άχυρο, αφού όμως συγκρατούνται στη θέση τους, προστατεύονται από την υγρασία και τα ρεύματα αέρα.
- **Εσωτερική θέρμανση της μάζας του σκυροδέματος**
Εν προκειμένω αναφέρονται, εξαιρετικά ειδικές μέθοδοι, απλά και μόνο για την πληρότητα της εργασίας.
Τέτοιες μέθοδοι είναι :
 - Δίοδος ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τους οπλισμούς ή από ειδικές αντιστάσεις που ενσωματώνονται μέσα στη μάζα.
 - Δίοδος ατμού μέσα από σωλήνες που ενσωματώνονται μέσα στο στοιχείο που θα σκυροδετηθεί.

Επισημαίνεται ο κίνδυνος της μείωσης της υγρασίας λόγω θέρμανσης οπότε πρέπει να ληφθούν μέτρα εμπλουτισμού της υγρασίας, είτε με χρήση μεμβρανών συντήρησης, είτε με εισαγωγή ατμού ή ο κορεσμός του αέρα με ψεκασμό νερού.

Ευτυχώς στη χώρα μας είναι λίγες οι περιοχές και το χρονικό διάστημα που θα χρειαστεί να ληφθούν τα παραπάνω μέτρα προστασίας, λόγω κλιματολογικών συνθηκών.

3.6. Β. Σκυροδέτηση με υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

Το Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 517 καθορίζει μέτρα, με τα οποία εξασφαλίζεται η αναγκαία αντοχή και ανθεκτικότητα στο χρόνο, του σκυροδέματος που παρασκευάζεται, σκυροδετείται και σκληρύνεται όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλή, κάτι που είναι σύνηθες στη χώρα μας τους καλοκαιρινούς μήνες.

1. Κίνδυνοι από υψηλές θερμοκρασίες

Οι κίνδυνοι που διατρέχει το σκυρόδεμα είναι:

- ◆ Κακοτεχνίες από μείωση της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος
- ◆ Μείωση της τελικής αντοχής, όταν η αρχική συντήρηση γίνεται σε υψηλή θερμοκρασία.
- ◆ Ρηγματώσεις, λόγω της ταχείας εξάτμισης του νερού, που επιδεινώνονται όταν υπάρχει χαμηλή σχετική υγρασία και συγχρόνως πνέει άνεμος.
- ◆ Ρηγματώσεις συστολής, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύκτας και λόγω αύξησης του νερού ανάμιξης για τη διατήρηση της εργασιμότητας.
- ◆ Επιτάχυνση σκληρύνσεως.
- ◆ Ανεπιθύμητη δημιουργία αρμών κατά τη διάστρωση

2. Θερμοκρασία σκυροδέματος κατά τη διάστρωση

Η θερμοκρασία του σκυροδέματος κατά τη διάστρωση πρέπει να είναι η χαμηλότερη δυνατή και πάντως σε καμία περίπτωση να μην ξεπερνά τους 32° C. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα όπως :

• Αδρανή

Οι σωροί των αδρανών πρέπει να βρίσκονται στη σκιά, να βρέχονται κατά διαστήματα, ή να αερίζονται με ρεύματα αέρα. Οι σωροί πρέπει να είναι ψηλοί και να τροφοδοτούνται οι αναμικτήρες από τα χαμηλότερα μέρη.

• Το τσιμέντο

Η θερμοκρασία δεν πρέπει να ξεπερνά τους 75° C, προτιμότερο είναι να χρησιμοποιείται τσιμέντο με θηραϊκή γή και να αναμιγνύεται με τα αδρανή πριν προστεθεί νερό.

- **Νερό**

Συνιστάται η χρήση τρεχούμενου νερού. Οι δεξαμενές αποθήκευσης νερού πρέπει να θερμομονώνονται, καθώς και οι σχετικές σωληνώσεις. Αποτελεσματικό μέτρο είναι η προσθήκη πάγου, είτε μέσα στις δεξαμενές αποθήκευσης, είτε μέσα στον αναμκτήρα και να μειώνεται ανάλογα η ποσότητα του νερού που προβλέπει η μελέτη συνθέσεως. Ο πάγος πρέπει να έχει λειώσει τελείως πριν τελειώσει η ανάμιξη.

- **Χρήση πρόσθετων μάζας**

Για να καθυστερήσει η έκλυση της θερμότητας ενυδατώσεως μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιβραδυντικά ή επιβραδυντικά ρευστοποιητικά πρόσθετα. Οποσδήποτε, κάτω από τέτοιες συνθήκες, δεν επιτρέπεται η χρήση επιταχυντικών, καθώς επίσης οποιουδήποτε πρόσθετου που δεν είναι γνωστή η επίδρασή του στους κινδύνους της παραγράφου 1.

- **Παρασκευή και διάστρωση**

Η διαδικασία πρέπει να περιορίζεται χρονικά για τον κίνδυνο της ανόδου της θερμοκρασίας. Ο αριθμός των αρμών διακοπής πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό. Οι επιφάνειες διακοπής εργασίας πρέπει να τραχύνονται, να επικαλύπτονται με βρεγμένες λινάτσες για να διατηρηθεί η συγκολλητική ικανότητα του υπάρχοντος με το νέο σκυρόδεμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις καθυστέρησης της επανέναρξης της σκυροδέτησης η επιφάνεια που έχει ήδη σκληρυνθεί πρέπει να καθαρίζεται με απόξεση, με νερό υπό πίεση και με άλλα μέσα για την καλύτερη σύνδεση.

Πριν από τη διάστρωση πρέπει να βραχούν οι ξυλότυποι με νερό, αλλά να μην υπάρχουν στάσιμα νερά.

- **Προστασία και συντήρηση**

Επειδή το νερό εξατμίζεται γρήγορα επιβάλλεται η κάλυψη των ελεύθερων επιφανειών με υγρά υφάσματα που θα διαβρέχονται συνεχώς ή με στεγανές μεμβράνες ή με άλλα μέσα.

Εάν χρησιμοποιηθούν μεμβράνες θα πρέπει, τις πρώτες ώρες να προφυλαχθεί το σκυρόδεμα από την ηλιακή ακτινοβολία.

Τα μέτρα συντήρησης πρέπει να ληφθούν αμέσως μετά τη σκυροδέτηση, χωρίς όμως να προκληθούν αλλοιώσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Τα έργα που εκτίθενται σε ισχυρούς ανέμους πρέπει να προστατεύονται με ειδικά φράγματα ή πετάσματα.

Συνιστάται να διαβρέχονται οι ξυλότυποι και μετά τη σκυροδέτηση, για να διατηρούνται υγροί.

Προκειμένου περί μεταλλικών τύπων συνιστάται η διατήρησή τους σε χαμηλή θερμοκρασία με οποιοδήποτε πρόσφορο τρόπο.

Τα γενικά μέτρα προστασίας και συντηρήσεως πρέπει να εφαρμόζονται τουλάχιστον κατά τις επτά (7) πρώτες ημέρες. Μόλις τελειώσει η υγρή προστασία τα καλύμματα πρέπει να παραμείνουν στις θέσεις τους για μερικές ακόμη μέρες, για να μην ξηραθεί γρήγορα το σκυρόδεμα.

• Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του σκυροδέματος αμέσως μετά την παρασκευή του εφαρμόζονται οι ακόλουθες σχέσεις :

- **Χωρίς προσθήκη πάγου**

$$T = \frac{0,22(T_a.W_a + T_c.W_c) + T_w.W_w + T_{wa}.W_{wa}}{0,22(W_a + W_c) + W_w + W_{wa}}$$

- **Μετά την προσθήκη πάγου**

$$T = \frac{0,22(T_a.W_a + T_c.W_c) + (W_w - W_e).T_w + W_{wa}.T_a - 79,6.W_i}{0,22(W_a + W_c) + W_w + W_i + W_{wa}}$$

Όπου :	T	=	θερμοκρασία σκυροδέματος
	T _a	=	θερμοκρασία αδρανών
	T _c	=	θερμοκρασία τσιμέντου
	T _w	=	θερμοκρασία νερού
	T _{wa}	=	θερμοκρασία νερού αδρανών
	W _a	=	βάρος αδρανών
	W _c	=	βάρος τσιμέντου
	W _w	=	βάρος νερού
	W _{wa}	=	βάρος νερού αδρανών
	W _e	=	βάρος πάγου

3.7. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ – ΕΜΦΑΝΕΣ **ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΓΛΥΠΤΙΚΗ**

Η πλέον χαρακτηριστική ιδιότητα του σκυροδέματος, που κυρίως χάρη σ' αυτήν καθιερώθηκε στις σύγχρονες κατασκευές είναι η ευπλαστία του και οι πρακτικά απεριόριστες δυνατότητες μορφοποίησής του.

Πρόσφατα το εύρος των δυνατοτήτων του ανακαλύφθηκε και από τους καλλιτέχνες που βρίσκουν σ' αυτό ένα υλικό με ενδιαφέρουσα επιφάνεια και εντυπωσιακά αποτελέσματα από πλευράς μορφής.

Ο γλύπτης Heinz Baumuller χρησιμοποίησε το οπλισμένο σκυρόδεμα για να κατασκευάσει διάφορα έργα τέχνης. Έκτοτε και άλλοι καλλιτέχνες κατασκεύασαν αντίστοιχα καλλιτεχνήματα. Ιδιαίτερα στην

Αμερική κατασκευάζονται πολλά γλυπτά και αρχιτεκτονικές συνθέσεις που κοσμούν πλατείες, δρόμους, εισόδους μεγάλων κτιρίων, κλπ.

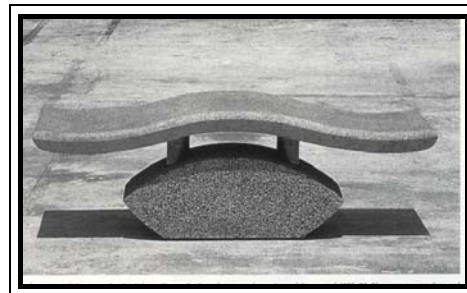
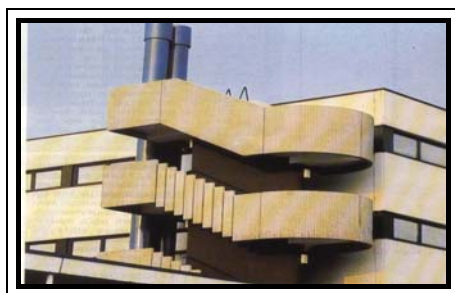
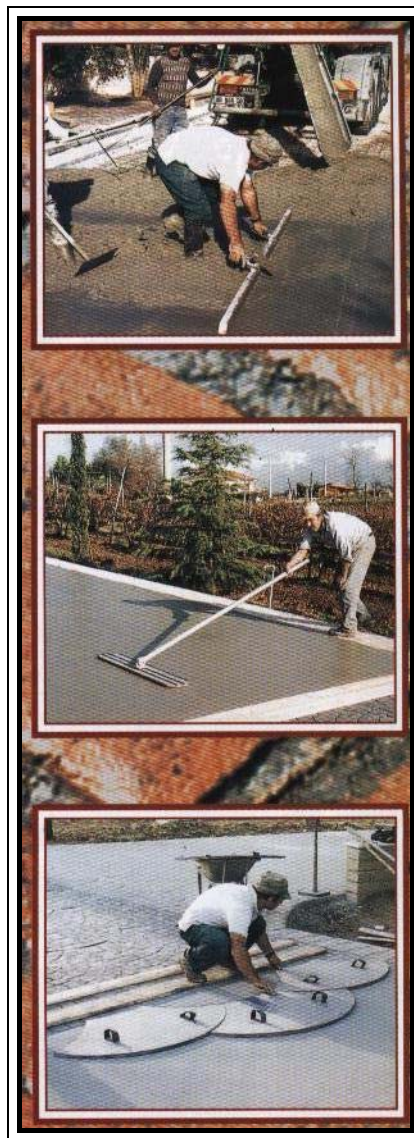
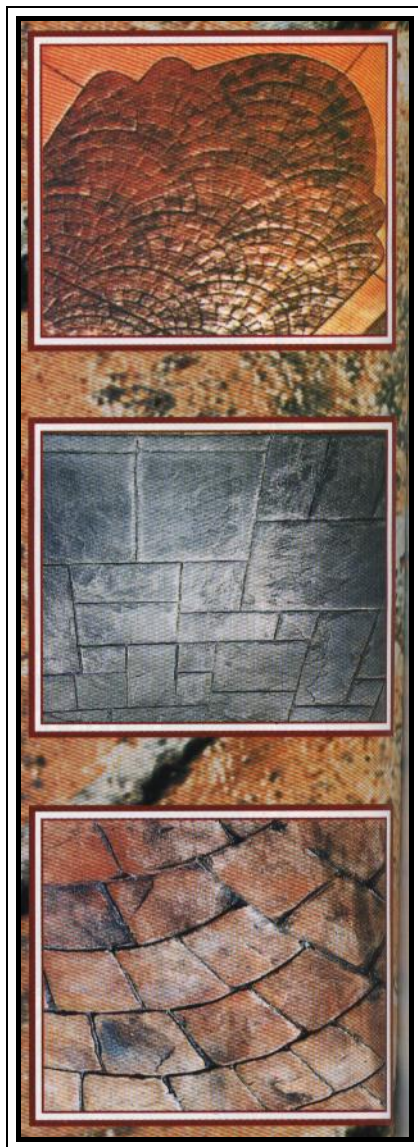
Το καθαρά αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα κατασκευάζεται κυρίως με βάση ένα ειδικό τσιμέντο λευκού χρώματος, επιλεγμένα αδρανή και βελτιωτικές προσμίξεις.

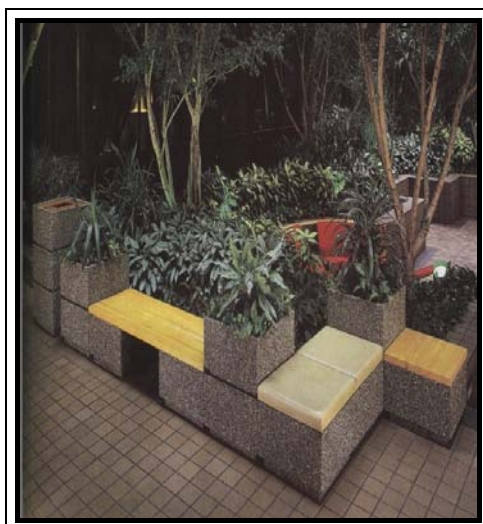
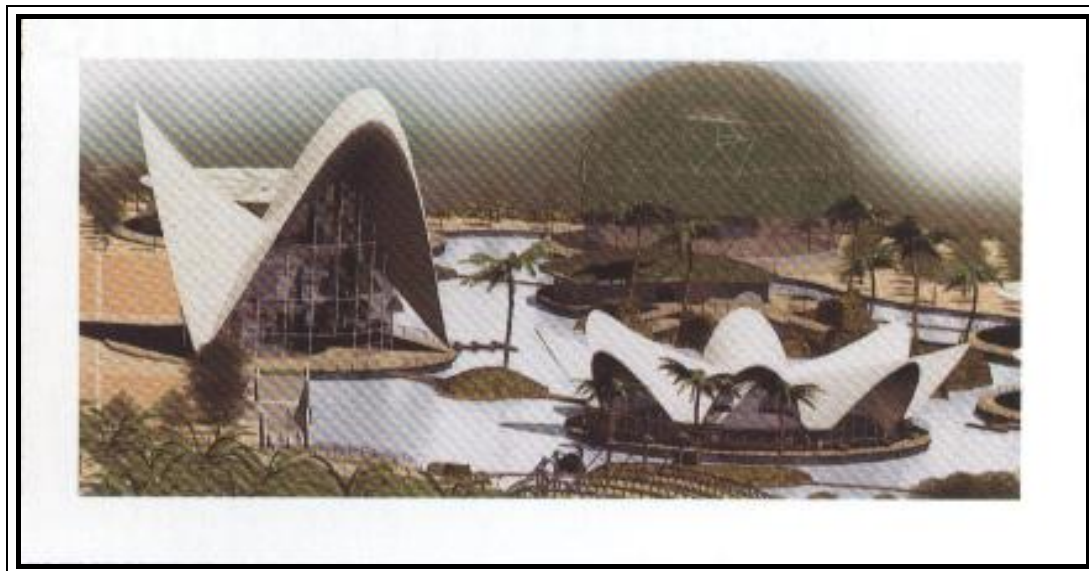
Με την προσθήκη ειδικών χρωστικών και αδρανών, παίρνει διάφορα χρώματα και με τη χρήση ειδικών καλουπιών αποκτά διακοσμητική υφή. Ταυτόχρονα είναι ένα δομικό σκυρόδεμα καλής ποιότητας για ποικίλες δομικές και διακοσμητικές εφαρμογές.

Το σκυρόδεμα γενικά από τις φυσικές του ιδιότητες και τις δυνατότητες ειδικών προσμίξεων παρέχει μεγάλη δυνατότητα δημιουργικότητας στο σχεδιασμό των κτιρίων. Οι βασικές πρόσθετες ιδιότητες που διακρίνουν το αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα από τα κοινά, είναι οι ακόλουθες:

- Παρουσιάζει ονομαστική αντοχή και φυσικές ιδιότητες καλύτερες από τα περισσότερα είδη των σκυροδεμάτων, που κατασκευάζονται με κοινό γκρίζο τσιμέντο Portland.
- Έχει ομοιόμορφο λευκό χρώμα, που του δίνει ωραία διακοσμητική εμφάνιση και αφήνει να διακρίνεται το χρώμα των αδρανών.
- Μπορεί να χρωματιστεί μέσα στη μάζα του με την προσθήκη ειδικών χρωστικών ουσιών από μεταλλικά οξειδία ή άλλων χρωστικών σκυροδέματος.
- Παρουσιάζει πολύ μικρή περιεκτικότητα σε σιδηρούχα και μαγνησιακά οξειδία τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν τον απόχρωματισμό του.
- Κατασκευάζεται σε μεγάλες διακοσμητικές επιφάνειες με τη χρήση ανάλογων καλουπιών και μεθόδων επιφανειακής επεξεργασίας.
- Υπάρχουν ποικιλίες τύπων λευκού τσιμέντου από άποψη αντοχής, ανάλογα με τη χρήση που προορίζεται στο σκυρόδεμα.
- Μπορεί να κατασκευαστεί στο εργοτάξιο και στη συνέχεια να καλουπωθεί ή παρέχεται σε προκατασκευασμένες μονάδες ή δομικά στοιχεία με τεχνικές και αισθητικές ιδιότητες κατά παραγγελία.
- Προσφέρεται τόσο για καθαρά διακοσμητικές εφαρμογές, όσο και για δοκιμές εφαρμογής με διακοσμητική εμφάνιση.

Η επιλογή των αδρανών επηρεάζει άμεσα την εμφάνιση του σκυροδέματος. Το χρώμα των αδρανών παίζει καθοριστικό ρόλο, οι έγχρωμες ψηφίδες, τα χαλαζιακά αδρανή σε λευκό, πράσινο ή ρόζ χρώμα, τα γρανιτικά σε γκρίζο ή λευκό και τα πυριτικά αδρανή σε πράσινο ή πορτοκαλί μπορούν να συνδυαστούν με λευκό ή χρωματισμένο σκυρόδεμα και να δημιουργήσουν διακοσμητικά αποτελέσματα.





Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν **βιομηχανικά** αδρανή, όπως ψηφίδες κεραμικού ή γυαλιού. Στην επιλογή των αδρανών λαμβάνεται υπόψη, βέβαια το σχήμα, το μέγεθος, η κοκκομετρική διαβάθμιση, η αντοχή και η σκληρότητα ανάλογα των επιδιωκόμενων ιδιοτήτων του σκυροδέματος, τη διαθεσιμότητα και το κόστος τους.

Η αναλογία ανάμειξης τσιμέντου αδρανή-νερό είναι 1 : 2,25 - 3 : 5 κατ'όγκο. Η μισή ποσότητα του νερού τοποθετείται σε καθαρή μπετονιέρα και μόλις αρχίζει η περιστροφή προστίθεται η μισή ποσότητα αδρανών, στη συνέχεια το τσιμέντο και ακολουθούν τα υπόλοιπα αδρανή. Η ανάμιξη συνεχίζεται με τη σταδιακή προσθήκη του υπόλοιπου νερού μέχρι να δημιουργηθεί ομοιογενές εργάσιμο μίγμα. Η ανάμιξη πρέπει να συνεχιστεί τουλάχιστον 5 λεπτά μετά την προσθήκη όλων των υλικών.

Πρέπει να αποφεύγεται η προσθήκη των κοινών βελτιωτικών γιατί μπορεί να αλλοιώσουν το χρώμα του αρχιτεκτονικού σκυροδέματος. Η στεγανότητα είναι 5%, εάν σε ειδικές περιπτώσεις χρειάζεται βελτίωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ειδικός τύπος τσιμέντου ή να ψεκαστεί η επιφάνεια με διασπορά σιλικόνης μετά την ωρίμανση. Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιείται στα εργοστάσια προκατασκευής για τη στεγανοποίηση προκατασκευασμένων στοιχείων αρχιτεκτονικού σκυροδέματος.

Τα καλούπια που χρησιμοποιούνται είναι διαφόρων ειδών με ειδική επεξεργασία για τη δημιουργία διακοσμητικής υφή. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν καλούπια με ανάγλυφη επιφάνεια από διάφορα υλικά.

Μπορεί να γίνει έκπλυση και βούρτσισμα της νωπής επιφάνειας, ώστε να μείνουν εκτεθειμένα τα αδρανή. Μπορεί η νωπή επιφάνεια να τριφτεί, να σκαλιστεί με μηχανικά μέσα ή με την επίδραση οξέων ή να γυαλιστεί και να δημιουργηθούν διάφορα είδη επιφανειακής διακόσμησης. Η επίδραση οξέων χρειάζεται προσοχή γιατί μπορεί να αλλοιωθεί το χρώμα.

Επίσης κατασκευάζονται προκατασκευασμένοι τσιμεντόλιθοι, κυβόλιθοι διαφόρων σχημάτων και χρώματος.

Μπορούν επίσης να κατασκευασθούν πανό από αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα σε διάφορα μεγέθη με χαλύβδινο οπλισμό και εξαρτήματα ανάρτησης και ένθετες εγκαταστάσεις. Μπορούν επίσης να κατασκευαστούν σύνθετα πανό από απλό και αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα για μειωμένο κόστος. Το βασικό σώμα των πανό είναι από κοινό σκυρόδεμα, με επιφανειακή επίστρωση από αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα. Ακολουθεί ταυτόχρονη συμπύκνωση των υλικών με δονητές, ώστε να ενσωματωθούν τα δύο σκυροδέματα.

Η επιφάνεια των πανό μπορεί να έχει οποιοδήποτε διακοσμητικό ανάγλυφο, ακόμη και σήματα ή καλλιτεχνικές παραστάσεις.

Πολλές φορές ακολουθείται η εξής τεχνική, όταν επιδιώκεται να μείνουν εκτεθειμένα τα αδρανή στην επιφάνεια. Καλύπτεται η επιφάνεια του καλουπιού με ειδική ουσία που επιβραδύνει την πήξη του σκυροδέματος. Μετά το ξεκαλούπωμα η επιφάνεια ξεπλένεται και βουρτσίζεται, ώστε να αφαιρεθεί ένα ποσοστό τσιμεντοκονίας και τα αδρανή να εμφανιστούν ανάγλυφα.

♦ Κατασκευάζονται επίσης πανό με υαλοΐνες. Στο μίγμα του αρχιτεκτονικού σκυροδέματος προστίθενται υαλοΐνες ανθεκτικές στα αλκάλια. Οι διαστάσεις, το σχήμα και η ποσότητα των ινών είναι μελετημένα, ώστε να προκαλούν την ενίσχυση του σκυροδέματος, ομοιόμορφα σε όλη του τη μάζα. Δημιουργούνται έτσι λεπτά, ελαφρά πανό σκυροδέματος με αυξημένη αντοχή, σε διάφορα σχήματα, χρώματα και διακοσμήσεις.

♦ Υποστρώματα, δοκοί ή άλλα δομικά στοιχεία κατασκευάζονται από αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα με την επιθυμητή αντοχή, σχήμα και μέγεθος.

♦ Διακοσμητικά δάπεδα (σταμπωτά δάπεδα) κατασκευάζονται ευρύτατα, ιδίως στην Αμερική, από αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα. Τελευταία έχουν παρουσιαστεί στην αγορά τα **πλακίδια από σκυρόδεμα και γυαλί** τα οποία είναι πλάκες δαπέδου που έχει αντικατασταθεί ένα ποσοστό των αδρανών από κομμάτια γυαλιού από ανακύκλωση απορριμμάτων. Προκύπτει ένα ιδιαίτερα αισθητικό αποτέλεσμα και συγχρόνως μια πολύ ανθεκτική επιφάνεια, χάρη σε μια επικάλυψη από ειδική ρητίνη. Το μέγεθος του κόκκου των αδρανών από γυαλί κυμαίνεται μεταξύ 5 και 12 mm.

Ως φυσικά αδρανή χρησιμοποιούνται μαρμαροψηφίδες διαφόρων αποχρώσεων και κοκκομετρίας. Οι βασικές αποχρώσεις των αδρανών από γυαλί, που αποτελούν το 12% του συνόλου των αδρανών, είναι κίτρινο, πράσινο, μπλέ και διαφανές.

Οι πλάκες παράγονται σύμφωνα με το DIN18500 σε τυποποιημένες διαστάσεις (30*30*2,8 cm) και (40*40*3,8 cm). Με την ίδια τεχνολογία παράγεται σοβατεπί, καθώς και ειδικά τεμάχια (ποδιές παραθύρων, διακοσμητικά στοιχεία όψεων, πλάκες δαπέδου, λογότυπα κλπ.). Μεταξύ των πλακών αρκεί αρμός πλάτους 2-3 mm που γεμίζει με χρωματισμένο τσιμεντοπολτό.

Μια άλλη εφαρμογή είναι τα **προκατασκευασμένα στοιχεία** για **υπαίθριες κατασκευές**. Με αυτά και με συνδυασμό μεταξύ τους προκύπτουν σύνθετες κατασκευές για τη διαμόρφωση εξωτερικών χώρων. Το σύστημα αποτελείται από τις βασικές δοκιμές μονάδες από συνδετήριες δοκίδες και από δομικές δοκίδες ευθύγραμμες ή σε σχήμα γωνίας. Τα στοιχεία αυτά συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν

τοίχους αντιστήριξης, πετάσιμο ηχοπροστασίας, ζαρντινιέρες, σκάλες, πάγκους, τραπέζι και πολλές άλλες κατασκευές. Οι βασικές μονάδες κατασκευάζονται από κοινό άοπλο σκυρόδεμα ή ελαφροσκυρόδεμα, αλλά και οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι ανηρτημένες όψεις από σκυρόδεμα είναι μια άλλη εφαρμογή του αρχιτεκτονικού σκυροδέματος. Τα προκατασκευασμένα πανό όψεων αναρτώνται στον φέροντα οργανισμό του κτιρίου ως πλήρωση ή ως επένδυση. Τα κατάλληλα εξαρτήματα ανάρτησης και σύνδεσης διευκολύνουν την τοποθέτηση και ελαχιστοποιούν το χρόνο αποπεράτωσης της πλήρωσης του κτιρίου.

Τα πανό κατασκευάζονται από οπλισμένο εμφανές σκυρόδεμα και περιλαμβάνουν κουφώματα, ανοίγματα, τμήματα πληρώσεως από τζάμια κ.α. Υπάρχει δυνατότητα χρωματισμού των πανό στο εργοστάσιο με χρωστικές ουσίες που προστίθενται στη μάζα του σκυροδέματος.

Με τα πανό ανηρτημένων όψεων επιτυγχάνονται εκπληκτικές από πλευράς αισθητικής όψεις.

Αποτύπωση εικόνας σε εμφανές σκυρόδεμα

Η αποτύπωση μιας εικόνας στην επιφάνεια του σκυροδέματος ακολουθεί τα εξής στάδια :

- Κατασκευάζεται *το διάτρητο «αρνητικό» πανό της εικόνας*
- Το πανό αυτό στερεώνεται στην επιφάνεια των καλουπιών του σκυροδέματος
- Στις οπές του διάτρητου πανό γίνεται έγχυση μιας ουσίας που επιβραδύνει την πήξη του σκυροδέματος
- Ακολουθεί η έγχυση του σκυροδέματος και στη συνέχεια το ξεκαλούπωμα στον κανονικό χρόνο. Τότε η επιφάνεια του σκυροδέματος έχει ωριμάσει, εκτός από τις περιοχές των οπών του πανό της εικόνας. Στις περιοχές αυτές μία λεπτή επιφανειακή στρώση σκυροδέματος παραμένει νωπή, λόγω της επίδρασης της επιβραδυντικής ουσίας.
- Η επιφάνεια του σκυροδέματος πλένεται με νερό υπό πίεση. Το νερό παρασύρει το τσιμεντοκονίαμα των νωπών περιοχών, αφήνοντας εμφανή αδρανή.

Με τον τρόπο αυτό στην επιφάνεια του σκυροδέματος εναλλάσσονται δυο είδη υφής : *η λεία υφή του συμβατικού σκυροδέματος* στο επίπεδο επιφάνειας και *η κοκκώδης υφή των εμφανών αδρανών λίγα χιλιοστά πιο βαθιά*. Η εικόνα έχει χαραχθεί στο σκυρόδεμα και ξεχωρίζει από την κοκκώδη υφή της επιφάνειάς της, που έχει αποτυπωθεί στη λεία επιφάνεια του εμφανούς σκυροδέματος.

Η παραπάνω διαδικασία έχει αρκετές δυσκολίες και χρειάζεται μεγάλη εξειδίκευση. Η λεπτή τεχνική της αποτύπωσης αποκλείει τη χρησιμο-

ποίηση δονητών, ενώ το εμφανές σκυρόδεμα πρέπει να εφαρμόζει τέλεια στα καλούπια, ώστε το φόντο της εικόνας να είναι επίπεδο και λείο. Επί πλέον το σκυρόδεμα πρέπει να έχει μεγάλη ρευστότητα και ειδική σύνθεση. Το μείγμα των αδρανών πρέπει να έχει κανονική κοκκομετρία με μέγιστη διάμετρο αδρανών 16 mm και αυξημένη περιεκτικότητα σε πολύ λεπτά υλικά. Η προσθήκη ειδικών πλαστικοποιητικών προσμίξεων είναι απαραίτητη. Η σκυροδέτηση πρέπει να γίνεται σε μικρές δόσεις και με μεγάλη ταχύτητα. Ο οπλισμός πρέπει να τοποθετείται σε κατάλληλο βάθος, ώστε να μην εμφανίζεται κατά την έκπλυση για τη δημιουργία της ανάγλυφης επιφάνειας.

Εφαρμογές

Οι εικόνες που αποτυπώνονται στο σκυρόδεμα έχουν πρωτότυπη αισθητική και μπορούν να αναδείξουν τις επιφάνειες των κτιρίων σε πραγματικά έργα τέχνης.

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε κατακόρυφες και οριζόντιες, εξωτερικές ή εσωτερικές επιφάνειες σκυροδέματος. Οι εικόνες αυτές παραμένουν αναλλοίωτες κατά την διάρκεια ζωής του έργου και η μόνη συντήρηση που απαιτείται είναι η έκπλυση της επιφάνειας με νερό υπό πίεση κάθε λίγα χρόνια, για την απομάκρυνση της σκόνης στο βάθος του ανάγλυφου. Η σκυροδέτηση γίνεται είτε στο εργοτάξιο, είτε στο εργοστάσιο σε περιπτώσεις προκατασκευασμένων στοιχείων.

Η πιο πάνω μέθοδος αντιγράφηκε από την *σεριγραφία* που χρησιμοποιούν οι καλλιτέχνες.

Εμφανές σκυρόδεμα

Η πρόοδος της τεχνολογίας επιτρέπει πλέον την κατασκευή σκυροδεμάτων τόσο καλαίσθητων, ώστε να παραμένουν ανεπίχρηστα.

Οι νέες τεχνολογίες παρασκευής του σκυροδέματος και κυρίως των βελτιωτικών προσμίξεων, η χρήση ειδικών μεθόδων και υλικών επιφανειακής επεξεργασίας του σκυροδέματος δίνουν εξαιρετικά καλαίσθητα αποτελέσματα.

Οι αρχιτέκτονες, πλέον, συνδυάζουν την αισθητική του εμφανούς σκυροδέματος με τη στατική του ικανότητα και χρησιμοποιούν τους όγκους, τα σχήματα, τα ανάγλυφα και τα χρώματα για σχεδιάσουν εντυπωσιακές κατασκευές.

Η επιφάνεια του σκυροδέματος διαμορφώνεται με διάφορες τεχνικές είτε με ειδικά καλούπια, είτε με επεξεργασία της επιφάνειας, είτε με συνδυασμό αυτών και ειδικών αδρανών.

Για την κατασκευή εμφανούς σκυροδέματος χρησιμοποιείται κοινό γκρίζο ή λευκό τσιμέντο. Επειδή το χρώμα του τσιμέντου παίζει μεγάλο ρόλο πρέπει η δοσολογία του στο σκυρόδεμα να είναι σταθερή και λίγο

μεγαλύτερη από το κοινό σκυρόδεμα και ανάλογα με τις διαστάσεις των αδρανών.

Η ποσότητα του νερού πρέπει να είναι σταθερή και ανάλογη με την επιδιωκόμενη εργασιμότητα. Όσο αυξάνεται η ποσότητα του νερού το σκυρόδεμα γίνεται πιο ανοιχτόχρωμο, εκτός από τη μείωση της αντοχής.

Τα αδρανή του εμφανούς σκυροδέματος πρέπει να έχουν σταθερή κοκκομετρική σύνθεση με μέγιστη διάμετρο κόκκου έως 25 mm. Πρέπει να είναι καθαρά, χωρίς προσμίξεις αργίλου, οργανικών υλικών, ενώσεων του σιδήρου και άλλων υλικών που μπορεί να δημιουργήσουν λεκέδες.

Τα βελτιωτικά πρόσμικτα που προστίθενται στο σκυρόδεμα παίζουν σημαντικό ρόλο, αφού επιτυγχάνουν μέσω αυτών οι επιδιωκόμενες ιδιότητες, όπως η πλαστικότητα.

Στα καλούπια του εμφανούς σκυροδέματος, μπορεί να τοποθετηθούν εσωτερικά ειδικά χαρτιά εμποτισμένα με επιβραδυντικό υλικό, που διευκολύνει το ξεκαλούπωμα. Επίσης αμέσως μετά το ξεκαλούπωμα μπορεί να επαλειφθεί η επιφάνεια του σκυροδέματος με ειδικό υγρό που διευκολύνει την ωρίμανσή του.

Σκυροδέτηση

Σημαντικό ρόλο στο εμφανές σκυρόδεμα παίζει η καλή σκυροδέτηση, ώστε το σκυρόδεμα να είναι ομοιογενές χωρίς κενά ή συγκεντρώσεις αδρανών. Γι' αυτό πρέπει:

1. Το ύψος της πτώσης του ρευστού σκυροδέματος μέσα στο καλούπι να μην υπερβαίνει τα 50 cm.
2. Η σκυροδέτηση να γίνει σε διαδοχικές στρώσεις πάχους 20 έως 30 εκ. και να ακολουθεί δόνηση με καθορισμένη διάρκεια και ένταση.
3. Η έγχυση να γίνεται με ομοιόμορφη ταχύτητα.

Οι οπλισμοί

Οι οπλισμοί πρέπει να τοποθετούνται σωστά μέσα στους ξυλοτύπους, να μην έχουν σκουριές, να **μην εφάπτονται** με τους ξυλοτύπους και με επικάλυψη παντού τουλάχιστον 2,5 cm

Οι αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών πρέπει να επιτρέπουν τη διέλευση των αδρανών, αλλά και του δονητή και βέβαια απαραίτητη είναι η χρήση αποστατών.

Οι ξυλότυποι

Οι ξυλότυποι παίζουν τον καθοριστικό λόγο για την ποιότητα του εμφανούς σκυροδέματος. Η ποιότητα της επιφάνειάς τους καθορίζει το τελικό αποτέλεσμα. Οι ξυλότυποι πρέπει να είναι:

- Άκαμπτοι και απαραμόρφωτοι
- Η εσωτερική τους επιφάνεια να είναι τελείως καθαρή και απαλλαγμένη από ξένα σώματα.
- Οι αρμοί τους να είναι στεγανοί για την αποτροπή διαλογής του τσιμεντοπολτού.

Οι ξυλότυποι μπορεί να είναι από ξύλο τραχύ ή λείο με καθορισμένη απορροφητικότητα και να είναι βαμμένοι ή πλαστικοποιημένοι.

Η τραχύτητά τους και η μορφή και φθορά των ινών επηρεάζει το ανάγλυφο του σκυροδέματος.

Πολλές φορές ο ξυλότυπος αποτελείται από πλανισμένες τάβλες ή μπετοφόρμ για εντελώς λεία επιφάνεια.

Τα *χαλύβδινα* καλούπια επίσης προσφέρονται για εμφανές σκυρόδεμα, υπό την προϋπόθεση ότι θα εξασφαλιστεί το απαραμόρφωτο.

Τα *πλαστικά* καλούπια δίνουν λεία επιφάνεια, αλλά μπορεί να παρουσιάσουν *ισχυρή πρόσφυση* και να αποκολλούνται δύσκολα από το σκυρόδεμα.

Νέες τεχνολογίες επέτρεψαν την κατασκευή καλουπιών από εύκαμπτα πολυμερή υλικά, από μονωτικά υλικά κλπ.

Το ξεκαλούπωμα

Το ξεκαλούπωμα πρέπει να γίνεται στον κατάλληλο χρόνο, ανάλογα με το είδος του σκυροδέματος και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αν καθυστερήσει περισσότερο του κανονικού το ξεκαλούπωμα το πρόβλημα της αποκόλλησης των καλουπιών γίνεται εντονότερο. Οι τυχόν επιδιορθώσεις της επιφάνειας πρέπει να γίνουν αμέσως μετά το ξεκαλούπωμα με τσιμεντοκονία.

Επεξεργασία επιφάνειας

Η επιφάνεια του εμφανούς σκυροδέματος μετά το ξεκαλούπωμα μπορεί να παραμείνει ανεπεξέργαστη ή να υποστεί μόνο κάποια μικρή επεξεργασία βελτίωσης, κάλυψης των πόρων και των κενών.

Η υφή της επιφάνειας εξαρτάται απόλυτα από το ανάγλυφο του καλουπιού.

Διάφορες μορφές επεξεργασίας είναι :

- Το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να ξεπλυθεί με ταυτόχρονη τριβή με βούρτσα. Έτσι αφαιρείται μια επιφανειακή στρώση κονιάς και εμφανίζονται ανάγλυφα αδρανή. Το νερό έκπλυσης μπορεί να περιέχει οξέα.
- Μετά την ωρίμανσή του το εμφανές σκυρόδεμα να σκαφτεί σε διάφορα σχέδια χειροκίνητα ή μηχανοκίνητα με ηλεκτρικά εργαλεία.

Μια ειδική μέθοδος αφαίρεσης κονιάς από την επιφάνειά του είναι η αμμοβολή, δηλαδή η ρίψη πυριτικής άμμου με μεγάλη πίεση στην επιφάνεια. Το σκυρόδεμα πρέπει να είναι 1-2 ημερών.

Αν κάποια τμήματα της επιφάνειας δεν θα επεξεργαστούν επικαλύπτονται με προστατευτικά πανό. Η άμμος ανακυκλώνεται και ξαναχρησιμοποιείται. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να δημιουργηθούν πραγματικά έργα τέχνης.

Χρειάζεται όμως ακριβής σχεδιασμός των τμημάτων που θα τύχουν επεξεργασίας, προσεκτική εφαρμογή της μεθόδου και αυστηρά μέτρα ασφαλείας για τον τεχνίτη.

Μια άλλη μέθοδος αφαίρεσης επιφανειακής κονιάς είναι η θερμική επεξεργασία. Σε σκυρόδεμα ηλικίας 2-4 ημερών επιδρά φλόγα θερμοκρασίας περίπου 3000° C. Προκαλεί θερμικό σοκ που διογκώνει, ρηγματώνει και θρυμματίζει την κονία σε βάθος περίπου 5 mm. Ακολουθεί τρίψιμο με βούρτσα και ξέπλυμα των υπολειμμάτων με νερό. Τα αδρανή πρέπει να είναι πολύ σκληρά από βασάλτη, χαλαζία ή γρανίτη και όχι ασβεστολιθικά.

Το χρώμα του εμφανούς σκυροδέματος

Το χρώμα του εμφανούς σκυροδέματος εξαρτάται από το χρώμα των συστατικών του, την εφαρμογή, τη συντήρηση και τον καθαρισμό του.

- **Το τσιμέντο**

Το κλίνκερ από το οποίο προέρχεται το τσιμέντο περιέχει συνήθως ενώσεις σιδήρου και αλουμινίου που του δίνουν το γκρίζο χρώμα. Η περιεκτικότητά τους ποικίλει από 0% στο λευκό τσιμέντο έως 20%. Η περιεκτικότητα σε γύψο και η λεπτότητα του κλίνκερ επηρεάζουν επίσης το χρώμα.

Η δΟΣΟΛΟΓΙΑ του τσιμέντου επηρεάζει το χρώμα. Τα σκυροδέματα και ειδικά αυτά που κατασκευάζονται με λευκό τσιμέντο, μπορούν να χρωματιστούν μέσα στη μάζα τους. Ο χρωματισμός γίνεται με την προσθήκη ειδικών χρωστικών ουσιών με την μορφή λεπτής κονιάς. Τα υλικά αυτά είναι συνήθως οξείδια του σιδήρου σε ποσοστό 1-3% του βάρους του τσιμέντου.

Οι κονίες αυτές πρέπει να έχουν ισχυρή χρωστική ικανότητα, σταθερή σύσταση, να είναι αδιάλυτες στο νερό, σταθερές στο φως και χημικά αδρανείς.

Για να υπάρχει ομοιογένεια οι χρωστικές αναμιγνύονται αρχικά με το τσιμέντο, στη συνέχεια προστίθενται τα αδρανή και ακολουθεί το νερό.

Υπάρχουν χρωστικές σε υδατικό διάλυμα για να διευκολύνεται η δΟΣΟΛΟΓΙΑ και η κατανομή τους μέσα στη μάζα του σκυροδέματος.

- **Το νερό**

Η περίσσεια νερού προκαλεί διαχωρισμό των συστατικών του σκυροδέματος και η έλλειψή του κενά και οπές. Μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό κάνει το σκυρόδεμα πιο ανοιχτόχρωμο.

Αν από κάποιο τμήμα της επιφάνειας απορροφηθεί περισσότερο νερό πριν από την ωρίμανση, όπως π.χ. από κάποιο στοιχείο του ξυλοτύπου τότε το σκυρόδεμα στην περιοχή εκείνη γίνεται σκουρότερο.

Οι πλαστικοποιητές - μειωτές νερού, οι ρευστοποιητές και τα αερακτικά βελτιώνουν τη σταθερότητα του χρώματος.

Η λεπτή άμμος, ανάλογα με το χρώμα της χρωματίζει σε ένα βαθμό το σκυρόδεμα.

Η ομοιογένεια όλων των ιδιοτήτων, αλλά και του χρώματος του σκυροδέματος εξαρτάται από τη σωστή σκυροδέτηση και συμπύκνωση. Οι καιρικές συνθήκες κατά το ξεκαλούπωμα παίζουν επίσης ρόλο. Ο ξηρός καιρός και η ηλιοφάνεια προκαλούν εξάτμιση του νερού και κάνουν το σκυρόδεμα ανοιχτόχρωμο. Αντίθετα ο υγρός καιρός ή η συστηματική ύγρανση για ωρίμανση κάνουν το σκυρόδεμα σκουρότερο.

Με τον καιρό η επιφάνεια του σκυροδέματος ξεθωριάζει ενώ η επίδραση των ρύπων της ατμόσφαιρα μπορεί να επιφέρει σοβαρές αλλοιώσεις στο χρώμα.

3.8 Διάστρωση - συμπύκνωση - συντήρηση

Πριν από τη διάστρωση επιβάλλεται μια προσεκτική επιθεώρηση των ξυλοτύπων και του οπλισμού. Το σκυρόδεμα προωθείται στη θέση διάστρωσης με σωλήνες μέσω ενός από τους παραπάνω τρόπους. Εάν το βάθος σκυροδέτησης είναι μεγάλο (υποστυλώματα, τοιχεία) ανοίγονται οπές (παράθυρα) και μέσω αυτών σκυροδετείται. Η κάθιση πρέπει να είναι περίπου 10 cm, εκτός εάν πρόκειται για λεπτές διατομές με πυκνό οπλισμό, οπότε απαιτείται κάθιση περίπου 14-15 cm που επιτυγχάνεται με προσθήκη ρευστοποιητή. Σε πασσάλους ή σκυρόδεμα κάτω από το νερό, που διαστρώνεται χωρίς δόνηση απαιτείται κάθιση τουλάχιστον 20 cm.

Η συντήρηση του διαστρωμένου και συμπυκνωμένου σκυροδέματος είναι υποχρεωτική, αρχίζει αμέσως μετά τη διάστρωση και διαρκεί για χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και τις ειδικές απαιτήσεις του έργου. Το διάστημα αυτό είναι τουλάχιστον 7 ημέρες για την πρώτη φάση συντήρησης. Σκοπός της συντήρησης είναι η

εξασφάλιση των καταλλήλων συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας για την ενυδάτωση του τσιμέντου του μίγματος και την ομαλή ωρίμανση του σκυροδέματος. Για όλα αυτά υπάρχουν λεπτομερείς προβλέψεις στον ΚΤΣ, αλλά και περιγράφονται αναλυτικότερα σε άλλα κεφάλαια της παρούσας.

Δοκίμια και έλεγχοι

Το σκυρόδεμα ελέγχεται με δοκίμια σύμφωνα με τον ΚΤΣ. Η δειγματοληψία γίνεται αμέσως μετά την έξοδο του αναμκτήρα ή του οχήματος μεταφοράς. Τα συμβατικά δοκίμια με τα οποία γίνεται ο έλεγχος συμμόρφωσης, όπως και τα δοκίμια του έργου είναι κυβικά ακμής 15cm, είτε κυλινδρικά με $D=15$ cm και $H=30$ cm.

Συνοπτικοί κανόνες διάστρωσης και συμπύκνωσης

- Μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος ελεύθερης πτώσης του σκυροδέματος 2,5 m για τα κατακόρυφα δομικά στοιχεία και 1 m για τα οριζόντια.
- Η διάστρωση εκτελείται με επάλληλες στρώσεις μέγιστου πάχους 60cm.
- Σε δομικά στοιχεία με πάχος μέχρι 60 cm η διάστρωση γίνεται με μία μόνο στρώση.
- Η άνω επιφάνεια κάθε στρώσης πρέπει να είναι οριζόντια. Απαγορεύεται η οριζοντίωση με δονητή.
- Η διάστρωση κάθε στρώσης ολοκληρώνεται πριν αρχίσει η πήξη της προηγούμενης.
- Να αποφεύγονται οι μακροχρόνιες διακοπές διάστρωσης και να προτιμούνται οι αρμοί διακοπής, όπου είναι αναγκαίο, που θα προβλέπονται από την μελέτη.
- Ο δονητής εισχωρεί στο νωπό σκυρόδεμα κατακόρυφα με το δικό του βάρος, παραμένει κατακόρυφα στη θέση αυτή για 5 sec και ανασύρεται επίσης κατακόρυφα.
- Η απόσταση των διαδοχικών τοποθετήσεων του δονητή πρέπει να είναι 1,5 φορά η ακτίνα ενέργειάς του ή το 10πλάσιο της διαμέτρου της κεφαλής του.
- Η κεφαλή του δονητή εισχωρεί 5 cm στην προηγούμενη στρώση.
- Απαγορεύεται η δόνηση οπλισμού που είναι κατά ένα μέρος του ήδη βυθισμένος σε σκυρόδεμα που έχει αρχίσει να πήζει.

Συνοπτικές οδηγίες συντήρησης σκυροδέματος

A. Οριζόντιες και κεκλιμένες επιφάνειες αμέσως μετά τη διάστρωση

- Κάλυψη με λινάτσες υγρές ή μεμβράνες στεγανές ή στρώση άμμου υγρή επί 7 ημέρες τουλάχιστον συνεχώς.
- Αν αποκαλυφθεί το σκυρόδεμα στις 7 ημέρες, διαβροχή της επιφάνειας μέχρι κορεσμού επί 7 τουλάχιστον ημέρες 2 φορές την ημέρα.
- Από την 14^η ημέρα μέχρι την 28^η ημέρα διαβροχή της επιφάνειας μέχρι κορεσμού μια φορά την ημέρα.

B. Κατακόρυφες επιφάνειες

- Εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία αμέσως μετά την αφαίρεση των ξυλοτύπων.

Συνοπτικές οδηγίες λήψεως δοκιμίων

A. Εργοστασιακό σκυρόδεμα

- Για διάστρωση ποσότητας μεταξύ 20 m³ και 150 m³ σε μια ημέρα, 6 δοκίμια από διαφορετικά φορτία.
- Για διάστρωση ποσότητας μεγαλύτερης των 150m³ σε μια ημέρα, 12 δοκίμια από διαφορετικά φορτία.
- Για σκυροδέτηση σε περισσότερες από μια διαδοχικές ημέρες 6 δοκίμια ανά ημέρα.

B. Εργοταξιακό σκυρόδεμα μικρών έργων

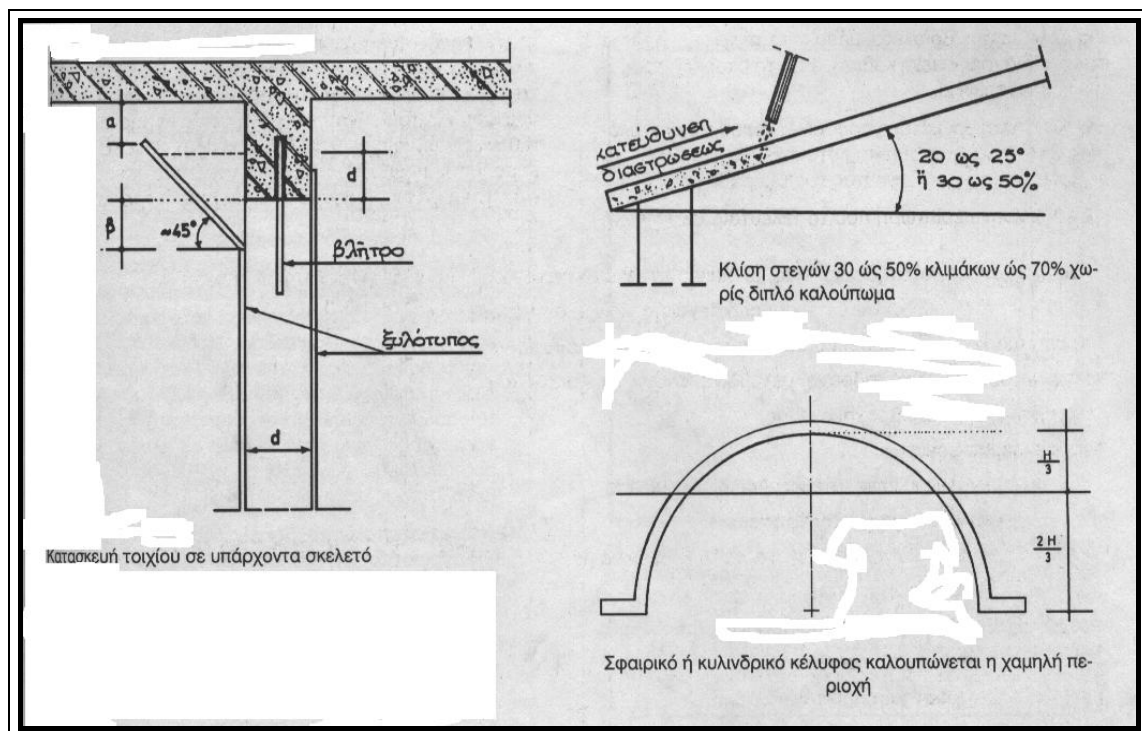
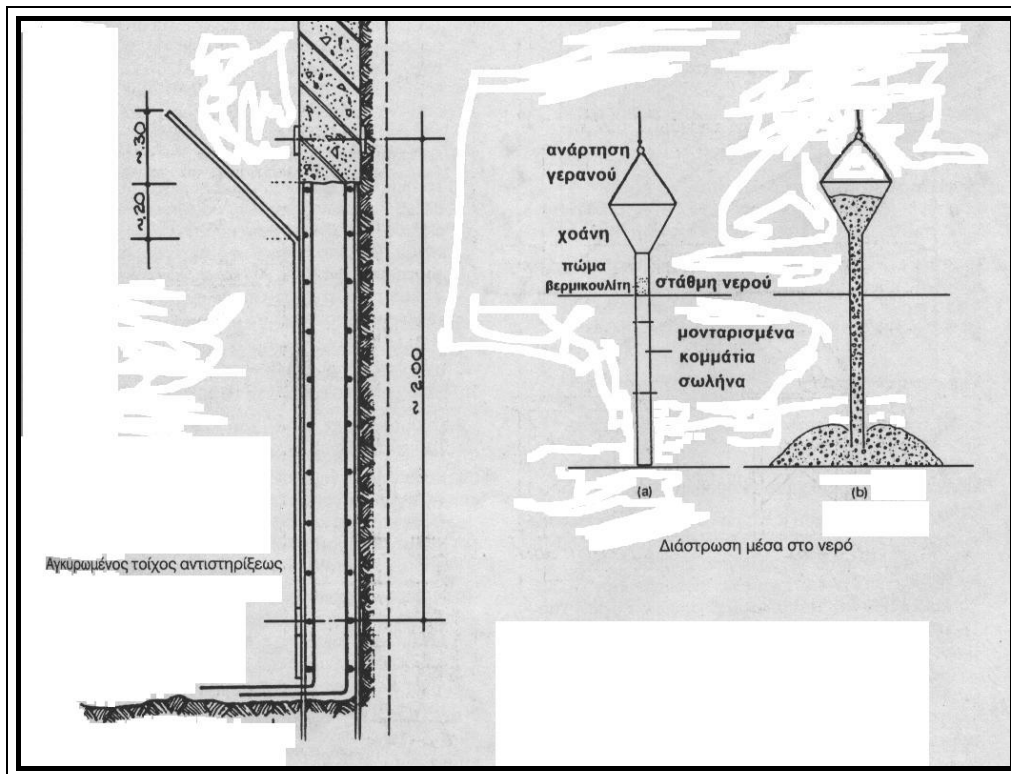
Ισχύουν τα ίδια με το εργοστασιακό

Γ. Εργοταξιακό σκυρόδεμα μεγάλων έργων

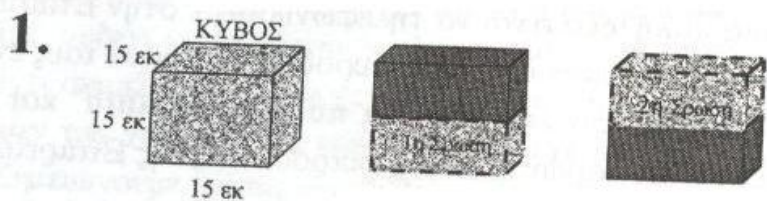
- Από δοκιμαστικά αναμίγματα πριν από την έναρξη του έργου 15 μέχρι 60 δοκίμια.
- Κατά τις 3 πρώτες ημέρες, 12 δοκίμια ανά ημέρα.
- Κατά τις υπόλοιπες ημέρες, 3 δοκίμια ανά ημέρα.
- Όταν πρόκειται για έτοιμο σκυρόδεμα οι δειγματοληψίες θα γίνονται στο συγκρότημα παραγωγής.

Πίνακας 6. Κριτήρια συμμορφώσεως (Compliance Criteria)

Κριτήριο Συμμορφώσεως	Κανόνες Αποδοχής	Τυπική Απόκλιση	Αριθμός δοκιμών - Ποσότητα σκυρ/τος
Κριτήριο Α (§ 13.6.1) (Εργοστασιακό μικρών έργων)	$\bar{x}_6 \geq f_{ck} + 1,60 \cdot S$ $x_i \geq f_{ck} - 2,0 \text{ MPa}$	$S \geq 1,5 \text{ MPa}$ $S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x}_6)^2}{5}}$	♦ 6 δοκίμια/ημέρα και έως 150 m^3 ♦ έως 11 φορτία
Κριτήριο Β (§ 13.6.2) (Εργοστασιακό μικρών έργων)	$\bar{x}_{12} \geq f_{ck} + 1,57 \cdot S$ $x_i \geq f_{ck} - 3,0 \text{ MPa}$	$S \geq 2,2 \text{ MPa}$ $S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x}_{12})^2}{11}}$	12 δοκίμια/ημέρα και άνω των 150 m^3
Κριτήριο Γ (§ 13.6.3) (Εργοταξιακό μεγάλων έργων)	$\bar{x}_{12} \geq f_{ck} + 1,57 \cdot S$ $x_i \geq f_{ck} - 3,0 \text{ MPa}$	$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x}_{12})^2}{11}}$	Στις πρώτες 3 ημέρες λήψη 12 δοκιμών/ημέρα
Κριτήριο Δ (§ 13.6.4) (Εργοταξιακό μεγάλων έργων)	$\bar{x}_{36} \geq f_{ck} + 1,70 \cdot S_{60}$ $x_3 \geq f_{ck} + 1,83 \cdot S_{60}$	$S_{60} = 60$ δοκιμών	♦ Επόμενες ημέρες μετά τις 3 πρώτες. ♦ Τουλάχιστον (1) κανόνας
Κριτήριο Ε (§ 13.6.5) (Εργοστασιακό έως 20 m^3)	$\bar{x}_3 \geq f_{ck} + 3,7 \text{ MPa}$ $x_i \geq f_{ck}$	-	♦ Λήψη 3 δοκιμών ♦ Ημερήσια ποσότητα έως 20 m^3



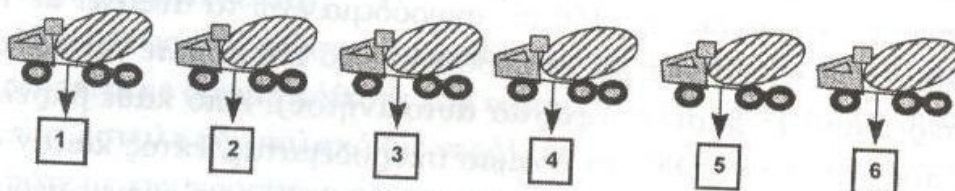
ΠΩΣ ΠΑΙΡΝΩ ΔΟΚΙΜΙΑ ΣΤΟ ΕΡΓΟ



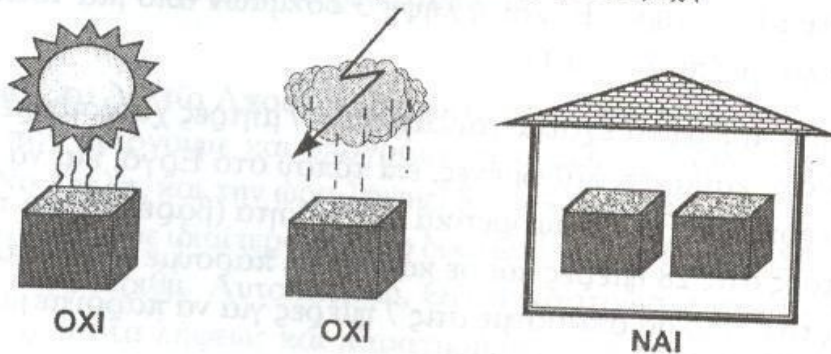
Από 25 κτυπήματα σε κάθε στρώση με την ράβδο $\Phi 16\text{mm}$.

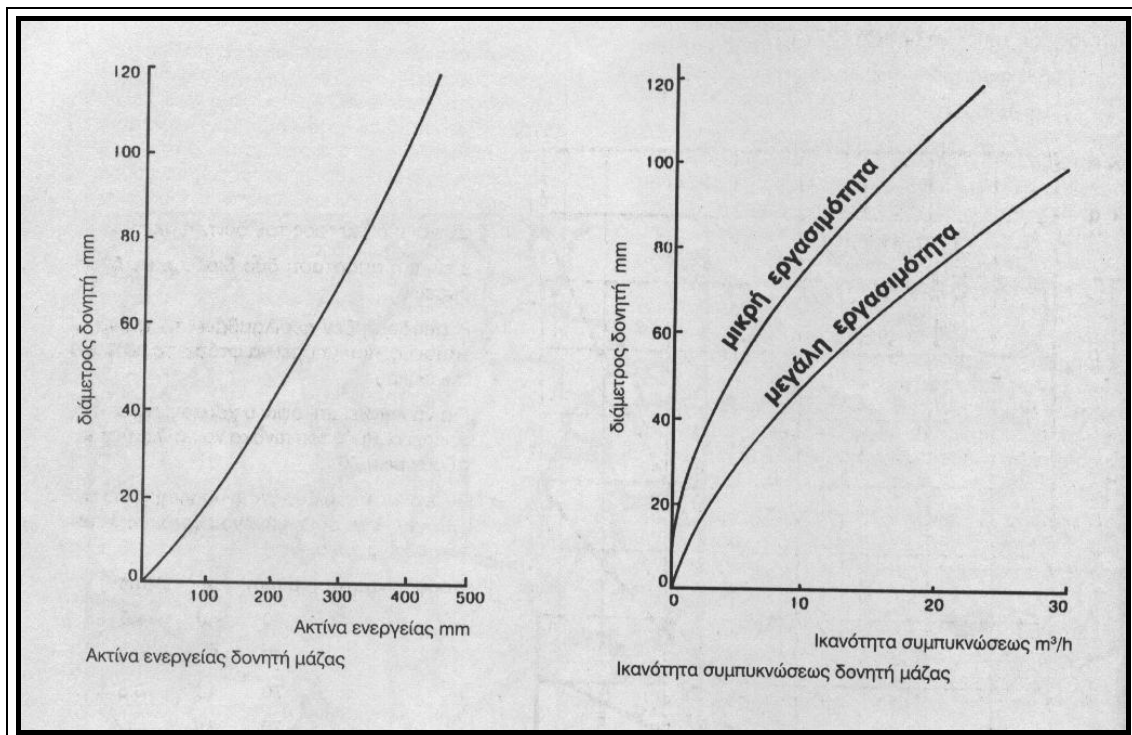
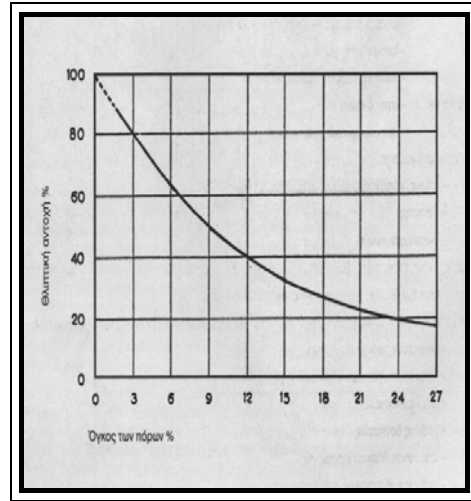
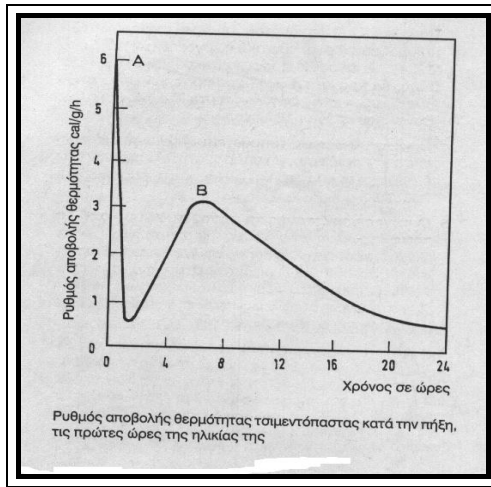
60 εκ
ράβδος $\Phi 16\text{mm}$

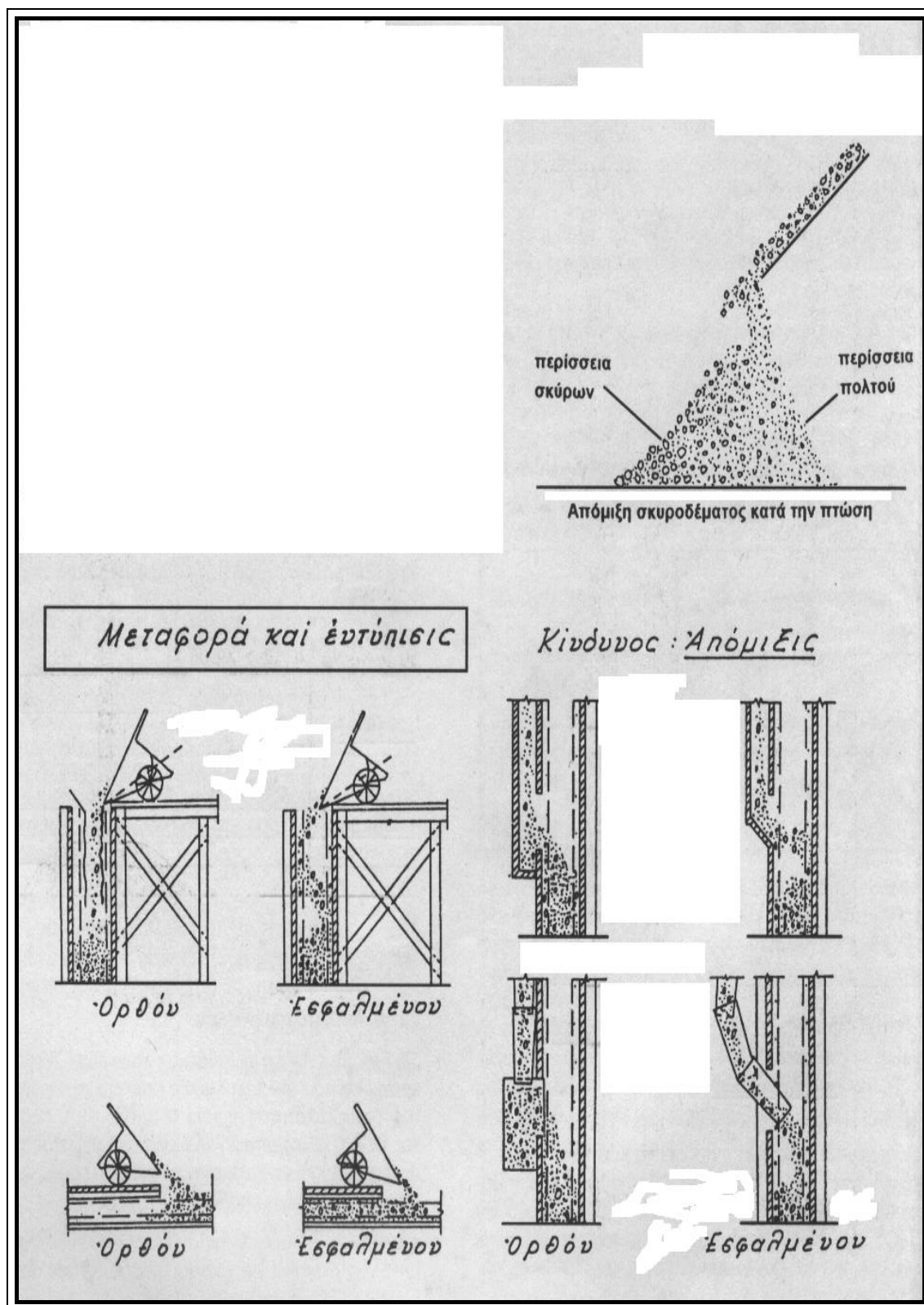
2. Πρέπει να πάρω 6 δοκίμια από 6 διαφορετικά αυτοκίνητα



3. Πρέπει να τα προφυλάξω 1 μέρα από Ηλιο, Κρύο, Βροχή







3.9 ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ

1. Εισαγωγή

Το οπλισμένο σκυρόδεμα συμπληρώνει περίπου 150 χρόνια ζωής. Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες ανακάλυψης ενός νέου υλικού και ενός νέου τύπου σκυροδέματος, προκειμένου να βελτιωθούν οι ιδιότητες ή να ελαχιστοποιηθούν τα μειονεκτήματά του, που όμως απέδωσαν μερικώς.

Οι προσπάθειες που έχουν γίνει αφορούν στην ανακάλυψη σκυροδεμάτων με μεγαλύτερες αντοχές, μέσω της προσθήκης διαφόρων υλικών, όπως μεταλλικών ή συνθετικών ινών. Τα αποτελέσματα δικαίωσαν τις προσδοκίες μόνο μερικώς, αφού υπάρχουν και μειονεκτήματα με σημαντικότερο εκείνο του αυξημένου κόστους.

Επειδή όμως οι ανάγκες και οι αυξημένες απαιτήσεις των έργων πιέζουν προς την αναζήτηση νέων βελτιωμένων υλικών η έρευνα συνεχίζεται προς διάφορες κατευθύνσεις, όπως βελτίωση των τσιμέντων, βελτίωση ή ανακάλυψη νέων προσθέτων και βελτιωτικών κλπ.

Το σκυρόδεμα, ως γνωστόν, αποτελείται από το τσιμέντο, το νερό, τα πρόσθετα και τα αδρανή.

1.1. Το τσιμέντο

Η εξέλιξη και βελτίωση των μηχανημάτων παραγωγής επέτρεψε την αύξηση της λεπτότητας των κόκκων με αποτέλεσμα την καλλίτερη ενυδάτωση και την γρηγορότερη ανάπτυξη της αντοχής.

Στην Ελλάδα το τσιμέντο διέπεται από τον Κανονισμό περί Τσιμέντων Π.Δ. 244 (ΦΕΚ Α/69/28-3-80). Ο κανονισμός αυτός προβλέπει τις ακόλουθες κατηγορίες τσιμέντων :

- Τύπου I : τσιμέντο Portland, που είναι καθαρό τσιμέντο και προέρχεται από την άλεση του κλίνκερ. Μπορεί να περιέχει μικρή ποσότητα γύψου για τη ρύθμιση της ταχύτητας πήξεως ή μικρή ποσότητα (έως 3%) filler.
- Τύπου II : τσιμέντο Portland με ποζολάνη έως 20% (με περιεκτικότητα ποζολάνης 10% ονομάζεται «Ελληνικού τύπου» ή τύπου Πα).
- Τύπου III : Ποζολανικά τσιμέντα με περιεκτικότητα σε ποζολάνη 20-40%.
- Τύπου IV : Ανθεκτικά στα θειικά άλατα (SR Sulfate Resistant).

Εκτός από τον τύπο τα τσιμέντα ανάλογα με την αντοχή τους κατατάσσονται σε 35, 45 και 55 MPa (π.χ. τσιμέντο Π35). Υπάρχουν και τα ειδικά τσιμέντα, όπως τα εξαιρετικά ταχύπηκτα ή χωρίς συστολή

ξηράνσεως ή διαστελλόμενα που χρησιμοποιούνται σε επισκευές πλήρωσης ρωγμών κλπ.

1.2. Χημικά πρόσθετα

Τώρα πλέον υπάρχουν εξαιρετικά αποτελεσματικά πρόσθετα, που βελτιώνουν σημαντικά τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Τέτοια χημικά πρόσθετα είναι τα υπερρευστοποιητικά, τα επιβραδυντικά κλπ., όπως αναλυτικά σε άλλο κεφάλαιο περιγράφονται.

1.3. Προσθήκες και αδρανή

Με την προσθήκη ελαφρών αδρανών, όπως κίσηρη ή τα διάφορα τεχνητά αδρανή επιδιώκεται η μείωση του βάρους ή με την προσθήκη διαφόρων τύπων ινών επιδιώκεται η υποκατάσταση ή υποβοήθηση του οπλισμού.

1.4 Τα διάφορα είδη σκυροδέματος.

Τα διάφορα είδη σκυροδέματος είναι :

- Το κοινό σκυρόδεμα με τα συνήθη λίθινα αδρανή
- Τα ειδικά σκυροδέματα όπως :
 - 1) έτοιμο σκυρόδεμα (ΕΛΟΤ 346)
 - 2) σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά
 - 3) σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας
 - 4) σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές προσβολές
 - 5) σκυρόδεμα μέσα στον νερό
 - 6) σκυρόδεμα στη θάλασσα
 - 7) σκυρόδεμα σε παραθαλάσσιο περιβάλλον
 - 8) σκυροδέτηση σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος (ΕΛΟΤ 515)
 - 9) σκυροδέτηση σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος (ΕΛΟΤ 17)
 - 10) αντλητό σκυρόδεμα
- Άλλα είδη σκυροδέματος είναι :
 - 1) τα ελαφρά σκυροδέματα
 - 2) τα βαρέα σκυροδέματα
- Σκυροδέματα νεώτερη τεχνολογίας :
 - 1) σκυρόδεμα υψηλής αντοχής
 - 2) σκυρόδεμα από ανακυκλούμενα υλικά
 - 3) ινοπλισμένα σκυροδέματα
 - 4) εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
 - 5) ρητινοσκυροδέματα

Το κοινό σκυρόδεμα και η πρώτη ομάδα των ειδικών σκυροδεμάτων καλύπτονται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.) ενώ η δεύτερη και η τρίτη ομάδα δεν καλύπτονται από Ελληνικούς Κανονισμούς.

2. Έτοιμο σκυρόδεμα (Ready mix)

Το έτοιμο σκυρόδεμα (Ε.Σ.) εμφανίσθηκε στην Ελλάδα το 1970 και ταχύτατα αναπτύχθηκε ώστε σήμερα κατέχει την πρώτη θέση στις τεχνολογίες σκυροδέματος.

Το Ε.Σ. παράγεται σε κεντρικές μονάδες όπου, τα επί μέρους υλικά, αναμιγνύονται κάτω από συνθήκες ελεγχόμενες και μεταφέρεται με αυτοκίνητα-αναδευτήρες, που το αναδεύουν αργά κατά τη διάρκεια της διαδρομής.

Μία ενδιαφέρουσα νεώτερη εξέλιξη είναι η παρασκευή και μεταφορά στο εργοτάξιο, με σιλοφόρα οχήματα, έτοιμου μίγματος, το οποίο αναμιγνύεται μετά την προσθήκη νερού στο εργοτάξιο.

Η ζύγιση των υλικών στις κεντρικές μονάδες παραγωγής γίνεται αυτοματοποιημένα με ηλεκτρονικά ζυγιστήρια με τη χρήση κατάλληλων προγραμμάτων H/Y.

3. Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής (High strength, Very high strength, Ultra high strength)

Ως σκυροδέματα υψηλής αντοχής χαρακτηρίζονται εκείνα, που η αντοχή τους είναι μεγαλύτερη των 50 MPa.

Οι υψηλές αντοχές επιτυγχάνονται :

- Με μείωση της ποσότητας νερού στο ελάχιστο δυνατόν, που είναι 0,40 χωρίς υπερρευστοποιητικό ή με τη μέγιστη δόση υπερρευστοποιητικού.
- Με αύξηση της ποσότητας τσιμέντου όχι όμως πάνω από 500 kg/m³.
- Με μείωση του μέγιστου κόκκου των αδρανών σε 20 και 10 mm.
- Με την προσθήκη, για τα πολύ υψηλής αντοχής, πυριτικής παιπάλης (Microsilika fume).

Με την εφαρμογή των παραπάνω και σχολαστική δόνηση έχουν επιτευχθεί αντοχές μέχρι 135 MPa. Με τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής έχουν γίνει πολλά έργα, όπως υψηλά κτίρια, καλωδιωτές προεντεταμένες γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων και άλλα, που δεν θα μπορούσαν να κατασκευασθούν χωρίς τις υψηλές αυτές αντοχές.

4. Σκυρόδεμα με ανακυκλούμενα υλικά (Recycled concrete)

Είναι σκυρόδεμα, που τα αδρανή του προέρχονται από ανακύκλωση παλαιού σκυροδέματος ή άλλα υλικά αποξήλωσης παλαιών κατασκευών.

Οι λόγοι που επιβάλλουν την τεχνική αυτή είναι :

- Οικονομικοί, όταν τα αδρανή στην περιοχή είναι δυσεύρετα και εφόσον το κόστος καθαιρέσεως, τεμαχίσεως κλπ. το επιτρέπει.
- Περιβαλλοντικοί, όταν υπάρχει πρόβλημα με την εναπόθεση του παλαιού υλικού.

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται, όταν υπάρχει παλαιό υλικό σε επαρκή ποσότητα και μάλιστα όταν πρέπει να καθαιρεθεί (σεισμοί, ανακατασκευή παλαιών οδοστρωμάτων, καθαίρεση παλαιών κτιριακών συγκροτημάτων κλπ).

Πολλά σημαντικά έργα στην Ευρώπη έγιναν με την τεχνική αυτή, κατά την οποία παλαιά κτίσματα ή οδοστρώματα καθαιρούνται, τεμαχίζονται σε μεγάλα κομμάτια και εν συνεχεία οδηγούνται σε θραυστήρα αδρανών για να θραυστούν σε κομμάτια αναγκαίου μεγέθους.

Οι αναλογίες συνθέσεως των υλικών πρέπει να βρίσκονται όπως και στο κοινό σκυροδέμα από μελέτη συνθέσεως και δοκιμαστικά μίγματα.

Οι συνθέσεις που έχουν εφαρμοστεί στο εξωτερικό βρίσκονται στα ακόλουθα όρια :

- Λόγος νερού-τσιμέντου $\leq 0,50$.
- Ποσότητα τσιμέντου $T_a = 330 \text{ kg/m}^3$ (με την προσθήκη ή όχι ποζολανικών υλικών).
- Κοκκομετρική διαβάθμιση μεταξύ $3,8 - 0,75 \text{ mm}$.
- Προσθήκη φυσικής άμμου 15-30% του βάρους του λεπτόκοκκου υλικού.
- Συνιστάται η προσθήκη ρευστοποιητικού για τη μείωση του απαιτούμενου νερού και κατά συνέπεια την αύξηση της αντοχής.
- Ενδεχόμενη προσθήκη αερακτικού και ιπτάμενης τέφρας για τη βελτίωση του εργάσιμου.

Η τεχνική της ανακύκλωσης δεν έχει εφαρμοστεί ακόμη στην Ελλάδα. Λόγω όμως των σεισμών που επικρατούν στη χώρα μας, στο μέλλον είναι πολύ πιθανή η επαναχρησιμοποίηση των παλαιών υλικών και κυρίως του σκυροδέματος.

4. *Ινοπλισμένα σκυροδέματα*

Τα ινοπλισμένα είναι σκυροδέματα με προσθήκη διαφόρων τύπων ινών μέσα στη μάζα τους με σκοπό την βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων και κυρίως της αντοχής σε εφελκυσμό και σε παραμόρφωση. Η μέθοδος είναι πολύ παλιά, από την εποχή της χρήσης του «μπαγδατί», της ασβεστοκονίας ενισχυμένης με άχυρο.

Η τυχαία και ακανόνιστη διάταξη των ινών μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, του προσδίδει ομοιογένεια και περισσότερο ισότροπη συμπεριφορά. Προς το παρόν όμως δεν είναι δυνατή η κατάργηση του οπλισμού και η αντικατάστασή του από τον ινοπλισμό.

Σαν ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ίνες αμιάντου, γυαλιού, πλαστικές και μεταλλικές ίνες. Οι μεταλλικές ίνες χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση κυρίως των μηχανικών ιδιοτήτων, ενώ οι πλαστικές για τη βελτίωση της πλαστιμότητας και άλλων ιδιοτήτων.

Δυστυχώς η συμβολή των ινών στην ανάληψη τάσεων αρχίζει μετά το άνοιγμα των ρωγμών και την έναρξη της παραμόρφωσης του υλικού. Με την προσθήκη των ινών δεν αποφεύγεται η ρηγμάτωση, αλλά μετά τη ρηγμάτωση οι ίνες αναλαμβάνουν εφελκυστικές δυνάμεις και έτσι προσδίδουν στο υλικό μεγαλύτερη πλαστιμότητα.

Η προσθήκη ινών μπορεί να γίνει σε όλα τα είδη των σκυροδεμάτων καθώς και στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

5.1. Η τεχνολογία του ινοπλισμού

Με την προσθήκη του ινοπλισμού μεταβάλλονται κυρίως :

- Το εργάσιμο του νωπού σκυροδέματος, και
- Η πλαστιμότητα του στερεού σκυροδέματος

Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται βασικά από την ποσότητα των ινών, που εκφράζεται σε ποσοστό κατά βάρος και όγκο και από το σχήμα και την υφή τους.

Τα συνήθη ποσοστά μεταλλικών ινών είναι 3-8% κ.β. Για ένα σύνηθες σκυρόδεμα με ειδικό βάρος 2400 kg/m^3 η ποσότητα των ινών θα είναι 70 έως 190 kg στο m^3 . Μεγαλύτερη ποσότητα επηρεάζει αρνητικά την εργασιμότητα, ενώ μικρότερη καθιστά τις ίνες αναποτελεσματικές.

Η διάμετρος των ινών είναι 0,2 έως 1,0 mm. Οι λεπτές ίνες είναι αποτελεσματικότερες, αφού η ρήξη και θραύση του σκυροδέματος οφείλεται στην αστοχία της συνάφειας και όχι στη θραύση των ινών.

5.2. Η μηχανική του ινοπλισμού

Η μηχανική συμπεριφορά μιας ίνας σε εφελκυσμό και εξόλκευση ισοδυναμεί περίπου με την μηχανική της εξόλκευσης μιας στρογγυλής μεταλλικής ράβδου από το σκυρόδεμα, τηρουμένων, βεβαίως, των αναλογιών.

Η εξόλκευση της ίνας διέρχεται από τα ακόλουθα στάδια:

A) ελαστικό στάδιο, κατά το οποίο υπάρχει πλήρης επαφή και συνεργασία ράβδου και περιβάλλοντος υλικού.

B) στάδιο αποκόλλησης, κατά το οποίο έχει αρχίσει η μικρορηγμάτωση του υλικού και τοπικές μικροαποκολλήσεις της ράβδου.

Γ) στάδιο τριβής, κατ' αυτό το στάδιο η αποκόλληση έχει ολοκληρωθεί και η μετάδοση δυνάμεων γίνεται κυρίως μέσω τριβής.

Επειδή οι ίνες είναι διατεταγμένες προς όλες τις κατευθύνσεις, δεν συμμετέχουν όλες στην ανάληψη δυνάμεων. Μετά από ορισμένες παραδοχές έχει υπολογιστεί ότι μόνο το 15% των ινών μετέχουν στη

συνολική αντοχή του σύνθετου υλικού. Συνεπώς στην αντοχή του σκυροδέματος θα προστεθεί και η αντοχή των ινών επί τον συντελεστή συμμετοχής τους, δηλαδή $0,15 * \text{αντοχή ίνας} * \text{αριθμός ινών/mm}^2$.

5.3. Ιδιότητες του ινοπλισμένου σκυροδέματος

Η κύρια προσφορά του ινοπλισμού είναι η πλαστιμότητα που δίνει στο σκυρόδεμα μετά τη ρηγμάτωση και αναλυτικότερα:

- Κατά τη θλιπτική καταπόνηση οι ίνες παρεμποδίζουν την εγκάρσια παραμόρφωση και έτσι έμμεσα αυξάνουν την αντοχή σε θλίψη.
- Η αντοχή σε εφελκυσμό μέχρι την εμφάνιση των πρώτων ρωγμών είναι ελαφρά μεγαλύτερη.
- Η αντοχή σε διάτμηση αυξάνει, αφού οι ίνες αναλαμβάνουν μέρος των διατμητικών τάσεων.
- Το μέτρο ελαστικότητας επηρεάζεται πολύ λίγο από την προσθήκη των ινών.
- Ουσιαστική, τέλος, είναι η αλλαγή συμπεριφοράς ως προς την πλαστιμότητα και την «απορροφούμενη ενέργεια».

Τις ιδιότητες αυτές επηρεάζουν κυρίως :

- 1) η ποσότητα των ινών
- 2) η γεωμετρία τους
- 3) η συνάφεια των ινών με την τσιμεντοκονία

5.4. Εφαρμογές του ινοπλισμένου σκυροδέματος

Επειδή τα πλεονεκτήματα των ινών εμφανίζονται σε προχωρημένο στάδιο παραμόρφωσης και ειδικά μετά τη ρηγμάτωση και με δεδομένο τον περιορισμό της εργασιμότητας, αλλά και του κόστους, η εφαρμογή των ινών είναι προς το παρόν περιορισμένη.

Η εφαρμογή γίνεται όπου απαιτείται σημαντική παραμορφωσιμότητα και πλαστιμότητα ή δεν μπορεί λόγω μορφής και σχήματος να τοποθετηθεί οπλισμός.

Τέτοιες περιπτώσεις είναι :

- Η επένδυση σηράγγων
- Η ενίσχυση του σκυροδέματος σε περιπτώσεις επιφανειακών τριβών, πυρκαγιάς, σεισμικών καταπονήσεων, βάσεων μηχανών, κ.α.

6. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Gunit, Shotcrete, Sprayed concrete)

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Ε.Σ.) ονομάζεται ένα μίγμα τσιμέντου, αδρανών, νερού και ενδεχομένως προσθέτων υλικών ή ινών, που εκτοξεύεται επάνω σε μία επιφάνεια με κατάλληλη συσκευή, που λειτουργεί με πεπιεσμένο αέρα.

Διακρίνουμε δύο βασικές τεχνολογίες:

- ♦ την τεχνολογία της υγρής εκτόξευσης, κατά την οποία τα υλικά αναμιγνύονται πριν από την εκτόξευση και το μίγμα εκτοξεύεται με την τελική του σύνθεση επάνω στην επιφάνεια, και
- ♦ την τεχνολογία της ξηρής εκτόξευσης, κατά την οποία αναμιγνύονται πριν από την εκτόξευση όλα τα **ξηρά** υλικά, ενώ το νερό εκτοξεύεται συγχρόνως με αυτά και η ανάμιξη γίνεται κατά τη διαδρομή και κατά την πρόσκρουση των υλικών επάνω στην επιφάνεια. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται ευρύτερα η ξηρή ανάμιξη.

Και στις δύο περιπτώσεις η διάμετρος του σωλήνα είναι 3-5 cm και για την προώθηση και εκτόξευση του υλικού χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας.

Στην τεχνολογία του εκτοξευόμενου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι όροι:

- **στρώση** ονομάζεται το πάχος του υλικού που μπορεί να διαστρωθεί και να παραμείνει επάνω σε μια επιφάνεια.
- **Απώλεια αναπηδήσεως** ονομάζεται το ποσοστό του υλικού που δεν επικολλάται στην επιφάνεια και πέφτει σαν απώλεια. Το υλικό αυτό απαγορεύεται να επαναχρησιμοποιηθεί.

Τα ποσοστά του υλικού, που πέφτει σαν απώλεια, είναι περίπου τα ακόλουθα:

- εκτόξευση σε κατακόρυφη επιφάνεια 15-30%
- εκτόξευση σε οριζόντιες επιφάνειες προς τα κάτω (δάπεδα) 5-10%.
- εκτόξευση σε οριζόντιες επιφάνειες προς τα επάνω (οροφές) 30-50%.

Στο μίγμα μπορούν να προστεθούν ίνες μεταλλικές ή συνθετικές, πρόσθετα και κυρίως ταχυπηκτικά, καθώς και προσθήκες, όπως ιπτάμενη τέφρα, σκουριά υψικαμίνων, σκόνη πυριτίου κ.α., ανάλογα με τις επιζητούμενες ιδιότητες του τελικού υλικού.

6.1. Σύνθεση

Η σύνθεση του Ε.Σ. καθορίζεται από μελέτη συνθέσεως, όπως και στο κοινό σκυρόδεμα, ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές ιδιότητες. Γενικά ισχύουν οι απαιτήσεις των κανονισμών για το σύνθετο σκυρόδεμα με τους ακόλουθους περιορισμούς:

- Η ποσότητα του τσιμέντου δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 300kg/m^3 που μπορεί να φθάσει και 600kg/m^3 .
- Ο λόγος νερού προς τσιμέντο δεν πρέπει να ξεπερνά το 0,55 και συνήθως είναι 0,35-0,55.

- Τα διάφορα πρόσθετα δεν πρέπει να ξεπερνούν τα ακόλουθα όρια:
 - σκόνη πυριτίου (silica fume) 15% του τσιμέντου,
 - ιπτάμενη τέφρα 30% του τσιμέντου,
 - σκωρία υψικαμίνων 30% του τσιμέντου.
- Ο μέγιστος κόκκος δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 5 έως 16 mm, ανάλογα με το επιδιωκόμενο πάχος στρώσεως.
- Το μήκος των ινών δεν πρέπει να ξεπερνά το 0,7 της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα εκτόξευσης.

6.2. Διαδικασία εκτόξευσης

Πριν από την εκτόξευση πρέπει να γίνονται οι ακόλουθες εργασίες:

- να καθαρίζεται η επιφάνεια και να αφαιρούνται όλα τα σαθρά υλικά.
- να σκυροδετούνται όλες οι τυχόν υπάρχουσες κοιλότητες.
- η επιφάνεια που πρόκειται να δεχθεί το Ε.Σ. πρέπει να καταβρέχεται καλά πριν από την εκτόξευση.
- η εκτόξευση πρέπει να αρχίζει εκ των κάτω και να προχωρεί προς τα επάνω, ώστε να αποφεύγεται η εκτόξευση επάνω σε χαλαρό σκυρόδεμα που πέφτει από τις επάνω στρώσεις.
- το ακροφύσιο πρέπει να παραμένει κατά την εκτόξευση κάθετο επάνω στην επιφάνεια.
- η απόσταση και η ταχύτητα σκυροδετήσεως πρέπει να προσδιορίζονται με κάποιες δοκιμές πριν από την σκυροδέτηση.
- η συντήρηση γίνεται όπως και στο κοινό σκυρόδεμα.
- ο χειριστής του μηχανήματος πρέπει να είναι εκπαιδευμένος, ώστε να παρακολουθεί και να ρυθμίζει συνεχώς την απόσταση, την ταχύτητα και την ποσότητα του νερού.

6.3. Το τελικό προϊόν

Το Ε.Σ. στην τελική του μορφή και θέση παρουσιάζει μεγάλη συμπίκνωση και αντοχή λόγω της δύναμης με την οποία εκτοξεύεται και προσκρούει επάνω στην επιφάνεια. Παρουσιάζει όμως και αυξημένη τάση ρηγμάτωσης λόγω του μεγάλου ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού που περιέχει.

Η αντοχή του τελικού προϊόντος προσδιορίζεται σε κυλίνδρους διαμέτρου 50 mm και μήκους 100 mm.

6.4. Εφαρμογές

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως σε επισκευές λόγω της μεγάλης πρόσφυσης που παρουσιάζει με το παλαιό σκυρόδεμα, καθώς και σε ειδικά έργα που είναι δύσκολη η κατασκευή ξυλοτύπου και η τοποθέτηση οπλισμού σε συγκεκριμένες θέσεις, όπως οι επενδύσεις σηράγγων, η ενίσχυση του φέροντος οργανισμού ενός παλαιού κτιρίου,

η σταθεροποίηση των πρανών και των παρειών βαθέων εκσκαφών κ.α. Στις περιπτώσεις ενισχύσεων κατασκευών και αύξηση των γεωμετρικών στοιχείων του σκελετού, ως οπλισμός χρησιμοποιείται πλέγμα ή σχάρα από ράβδους μεγαλύτερης διατομής.

7. Ρητινοσκυροδέματα

Ως ρητινοσκυροδέματα εννοούμε σκυροδέματα με προσθήκη διαφόρων συνθετικών ρητινών.

Τα συνθετικά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα ακόλουθα :

- Μονομερή ονομάζονται οργανικά μόρια που έχουν την ικανότητα να συνδέονται χημικά με άλλα μόρια και σχηματίζουν αλυσίδες, που ονομάζονται **πολυμερή**. Η διαδικασία της συνένωσης των μονομερών σε πολυμερή μόρια ονομάζεται **πολυμερισμός**. Ο πολυμερισμός γίνεται είτε με την παρουσία υλικών που ονομάζονται καταλύτες, είτε με την εφαρμογή μιας ιονίζουσας ακτινοβολίας όπως η **γ-ακτινοβολία**.
- Τα πολυμερή πλαστικά υλικά είναι διαφόρων τύπων, όπως τα **θερμοπλαστικά**, που από κάποια θερμοκρασία γίνονται εύπλαστα και τα μη θερμοπλαστικά που δεν μαλακώνουν από την θερμοκρασία.

Γενικά όμως τα πλαστικά υλικά αλλάζουν ιδιότητες μετά μια θερμοκρασία, περίπου 65°C και καταστρέφονται - καίγονται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες περίπου $200^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$, γι'αυτό και αχρηστεύονται σε περίπτωση πυρκαϊάς.

Τα γενικά χαρακτηριστικά των πλαστικών υλικών είναι περίπου :

- Αντοχή σε θλίψη 75-130 MPa.
- Αντοχή σε εφελκυσμό 35-70 MPa.
- Μέτρο ελαστικότητας 650-700 GPa

Πάντα θα πρέπει να ζητούνται λεπτομερείς οδηγίες χρήσεως από τον προμηθευτή και πληροφορίες για τις ιδιότητές του.

Τα σκυροδέματα με συνθετικά υλικά χωρίζονται σε :

A) σκυροδέματα με προσθήκη ρητινών στη μάζα τους κατά την ανάμιξη και στην περίπτωση αυτή διακρίνονται σε δύο υποομάδες.

- Τα σκυροδέματα που έχουν ως συνδετική ύλη μόνο το συνθετικό υλικό (polymer concrete, PC)
- Τα σκυροδέματα που έχουν ως συνδετική ύλη τσιμέντο και συνθετικό υλικό (polymer portland cement concrete, PPCC).

Στην περίπτωση αυτή, το συνθετικό υλικό προστίθεται στη μάζα του σκυροδέματος σε ποσότητες 5-30 % κ.β. μαζί με τα άλλα υλικά αναμίξεως. Τα συνθετικά υλικά είναι κυρίως εποξειδικές ρητίνες, πολυεστέρες καθώς και άλλα παρόμοια υλικά.

Τα αδρανή πρέπει να περιέχουν λιγότερο από 2% υγρασία. Για την ανάμιξη, μεταφορά και διάστρωση του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται τα ίδια μηχανήματα, όπως και για το κοινό σκυρόδεμα.

Τα μηχανήματα, όμως πρέπει να πλένονται μετά το τέλος της εργασίας με κάποιο διαλυτικό στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται εποξειδικές ρητίνες ή πολυεστέρες.

Το πλύσιμο δεν χρειάζεται στην περίπτωση πτητικών συνθετικών υλικών, όπως τα ακρυλικά, τα οποία όμως χρειάζονται προσοχή γιατί είναι εκρηκτικά.

Μετά την ανάμιξη και την διάστρωση γίνεται ο πολυμερισμός με κάποιο καταλύτη ή μια ιονίζουσα ακτινοβολία. Η ολοκλήρωση του πολυμερισμού απαιτεί μερικά λεπτά έως μερικές ώρες.

Τα πολυμερικά σκυροδέματα είναι γενικά ταχύπηκτα και έχουν αυξημένη συνάφεια, αυξημένη αντοχή, αντοχή στις χημικές επιρροές και αυξημένο μέτρο ελαστικότητας.

Οι επί μέρους ιδιότητες εξαρτώνται από το είδος του συνθετικού υλικού.

Τα πολυεστερικά και εποξειδικά σκυροδέματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη συστολή ξηράνσεως.

Εκτός από τα σκυροδέματα με προσθήκη ρητινών στα μάζα τους κατά την ανάμιξη έχουμε:

B) τα σκυροδέματα εμποτισμένα με συνθετικά υλικά (polymer impregnated concrete).

Στην περίπτωση αυτή ο εμποτισμός γίνεται με κάποιο μονομερές μετά την σκυροδέτηση και στη συνέχεια γίνεται ο πολυμερισμός με κάποιον από τους τρόπους που αναφέρθηκαν.

7.1. Γενικές ιδιότητες των ρητινοσκυροδεμάτων

Τα ρητινοσκυροδέματα παρουσιάζουν, γενικά, υψηλότερη αντοχή, μεγαλύτερη αντοχή σε τριβή, μεγαλύτερη πρόσφυση με το παλαιό σκυρόδεμα και κυρίως μεγαλύτερη ανθεκτικότητα.

Ένα εμποτισμένο με συνθετικές ρητίνες σκυρόδεμα παρουσιάζει τα εξής περίπου χαρακτηριστικά.

- Αντοχή σε θλίψη έως 151 MPa.
- Αντοχή σε εφελκυσμό έως 11 MPa.
- Αντοχή σε κάμψη 23 MPa.
- Μέτρο ελαστικότητας έως 4,6 GPa.

Πολυμερικά σκυροδέματα (P.C.) :

- Αντοχή σε θλίψη 137 MPa.
- Αντοχή σε εφελκυσμό έως 130 MPa.
- Αντοχή σε κάμψη έως 40 MPa.
- Μέτρο ελαστικότητας έως 3,5 GPa.

8. Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (*self compacting concrete-SCC*)

Είναι σύνηθες φαινόμενο σε ένα δομικό στοιχείο με μεγάλη ποσότητα οπλισμού να μην «περνάει» το σκυρόδεμα, είτε λόγω κακής δόνησης, είτε λόγω χονδρόκοκκων υλικών, είτε λόγω κακής τοποθέτησης του σιδηρού οπλισμού, με αποτέλεσμα την δημιουργία φωλεών. Η κάλυψη των φωλεών αυτών και η επισκευή του δομικού στοιχείου γίνεται, στην καλύτερη περίπτωση με ένα επισκευαστικό κονίαμα.

Οι συνέπειες της αστοχίας αυτής είναι σημαντικές. Το δομικό στοιχείο δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του σχεδιασμού από πλευράς αντοχής, έχει μειωμένη ανθεκτικότητα και είναι επιρρεπές σε αποδιοργάνωση σε περίπτωση σεισμού.

Για την πρόληψη τέτοιων αστοχιών, καθώς και για σκυροδετήσεις σε δύσκολες θέσεις, όπου η σωστή σκυροδέτηση και συμπύκνωση δεν είναι ευχερής, ανεπτύχθη η τεχνολογία του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (Α.Σ.).

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μπορεί από μόνο του να συμπυκνωθεί σε οποιοδήποτε καλούπι, αποκλειστικά και μόνο με το ίδιο βάρος του, χωρίς τη χρήση δόνησης.

Είναι μια σημαντική καινοτομία, που αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία το 1983. Το πρότυπο ολοκληρώθηκε το 1988 και ονομάστηκε «Σκυρόδεμα Υψηλών Προδιαγραφών» (High Performance Concrete). Επίσης χαρακτηρίστηκε ως σκυρόδεμα υψηλής ανθεκτικότητας λόγω του χαμηλού λόγου νερού προς τσιμέντο, με τον σύνθετο όρο «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα υψηλών Επιδόσεων» (Self Compacting High Performance Concrete).

Σύμφωνα με την πρόταση των Ιαπώνων, η μέθοδος για την παρασκευή του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιεί δύο συνιστώσες:

- 1) περιορισμένη περιεκτικότητα αδρανών και υψηλή περιεκτικότητα παιπάλης, και
- 2) συνύπαρξη υψηλής πλαστικότητας και έντονης θιξοτροπικότητας .

Τελικά, σήμερα οι ιδιότητες του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος συνοψίζονται σε :

- **Υψηλή ρευστότητα.** Η ρευστότητά του καθορίζεται από την ικανότητά του να ρέει μέσα στους ξυλοτύπους ανεξαρτήτως πυκνότητας οπλισμού. Το επίπεδο ρευστότητας καθορίζεται από τη δοσολογία των υπερρευστοποιητών.
- **Πλαστικότητα.** Η πλαστικότητα του (Α.Σ.) είναι η ικανότητά του να αλλάζει μορφή και να περνά από διάφορες διατομές, χωρίς να χάνει τη συνεκτικότητά του και να μη παρουσιάζει διαχωρισμό. Η

πλαστικότητα του σχετίζεται με τις ιδιότητες της τσιμεντόπαστας και μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση υπερρρευστοποιητών.

- **Αντίσταση σε διαχωρισμό.** Ο διαχωρισμός του σκυροδέματος είναι η τάση που έχει το σκυρόδεμα, όταν είναι πολύ ρευστό, να χωρίζεται σε δύο υλικά που είναι η τσιμεντόπαστα και τα χονδρόκοκκα υλικά. Τα χονδρόκοκκα αδρανή, λόγω βάρους, κάθονται στο κάτω μέρος της κατασκευής και η τσιμεντόπαστα επάνω. Αυτός ο διαχωρισμός είναι σοβαρό μειονέκτημα που μπορεί να οδηγήσει σε δομικά στοιχεία μειωμένης αντοχής.

Η συνεκτικότητα ή η θιξοτροπικότητα του (Α.Σ.) αυξάνεται με τη χρήση πολλών λεπτόκοκκων υλικών μικρότερων από 1,25 mm ή με τη χρήση προσθέτων μετατροπέων θιξοτροπικότητας (Viscosity Modifying Admixtures – VMA).

- **Ικανότητα πλήρωσης.** Είναι η ικανότητα του (Α.Σ.) να γεμίζει πλήρως τα καλούπια, ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα του σχήματός τους και την πυκνότητα του οπλισμού, χωρίς να αφήνει κανένα κενό. Αυτή η ιδιότητα είναι συνδεδεμένη με την πλαστικότητα, τη ρευστότητα, την θιξοτροπικότητα και την αντίσταση στο διαχωρισμό. Η ικανότητα πλήρωσης αυξάνεται με τη χρήση της σωστής περιεκτικότητας λεπτόκοκκων στο μίγμα, που κατά τη σκυροδέτηση πληρώνουν τα κενά μεταξύ των χονδρόκοκκων αδρανών.
- **Υψηλή εργασιμότητα.** Η εργασιμότητα του (Α.Σ.) είναι η ικανότητά του να μπορεί να αναμιχθεί, να μεταφερθεί, να εγχυθεί και να φινιριστεί. Η εργασιμότητά του επιτυγχάνεται με τη χρήση των υπερρρευστοποιητικών και το σωστό ισοζύγιο των λεπτόκοκκων, τα οποία φτιάχνουν την τσιμεντόπαστα, καθώς και τον περιορισμό του μέγιστου κόκκου των χονδρόκοκκων λιγότερο από 20 mm.
- **Η συνεκτικότητα** ενός μίγματος είναι η ικανότητά του να είναι επαρκώς «περιορισμένο» ώστε να αποτραπεί ο διαχωρισμός. Η συνεκτικότητά του (Α.Σ.) εξαρτάται από τις ιδιότητες της τσιμεντόπαστας, που είναι το συνδετικό υλικό για τα αδρανή. Μια τσιμεντόπαστα με σωστή κατανομή λεπτόκοκκων σε συνδυασμό με ένα πρόσθετο VMA, είναι μια καλή βάση για την παρασκευή ενός Άριστου (Α.Σ.).
- **Υψηλή σταθερότητα.** Είναι σημαντική παράμετρος καθώς έτσι διατηρεί τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού αναλλοίωτα κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης και αυτοσυμπυκνώνεται χωρίς τη χρήση δόνησης.

Τα επί μέρους συστατικά του (Α.Σ.) είναι :

■ **το τσιμέντο.** Όλοι οι τύποι τσιμέντου, οι οποίοι συμμορφώνονται με το πρότυπο EN-197 είναι κατάλληλοι για την παρασκευή (Α.Σ.). Η επιλογή του τύπου εξαρτάται από παραμέτρους, όπως η αντοχή, η ανθεκτικότητα κλπ. Περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αργιλικό τριασβέστιο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα εργασιμότητας.

Η τυπική δοσολογία είναι 350-450 kg τσιμέντο ανά m^3 σκυροδέματος. Δοσολογίες πάνω από 500 kg/m^3 εγκυμονούν κινδύνους συρρίκνωσης. Δοσολογίες κάτω από 350 kg/m^3 είναι αποδεκτές μόνο με συνδυασμό μικρόκοκκων υλικών, όπως η ιπτάμενη τέφρα, η πυριτική παιπάλη, ποζολάνες κλπ.

■ **τα αδρανή.** Μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι συνήθεις ποιότητες άμμου σκυροδέματος, θραυστές ή ποταμίσιες, πυριτικές ή ασβεστολιθικές. Η ποσότητα λεπτόκοκκου μικρότερου από 0,125 mm πρέπει να θεωρείται σαν παιπάλη, η οποία είναι πολύ σημαντική για την ρευστότητα του (Α.Σ.). Από πλευράς χονδρόκοκκου είναι αποδεκτοί όλοι οι τύποι. Ο μέγιστος κόκκος είναι συνήθως 16-20 mm. Η διαβάθμιση των αδρανών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Από πλευράς μορφής τα θραυστά βελτιώνουν την αντοχή, ενώ τα ποταμίσια βελτιώνουν τη ρευστότητα του (Α.Σ.).

■ **πρόσθετα.** Το πιο σημαντικό πρόσθετο που χρησιμοποιείται είναι οι υπερρευστοποιητές, δηλαδή οι μειωτές νερού ευρέως φάσματος, οι οποίοι επιτυγχάνουν μείωση νερού μεγαλύτερη από 20%. Οι μετατροπές θιξοτροπικότητας (VMA) μπορούν να ελέγχξουν πολύ καλά τον διαχωρισμό, αν η ποσότητα των λεπτόκοκκων είναι περιορισμένη και να δώσουν ένα ομοιογενές υλικό.

Λόγω των ειδικών ρεολογικών απαιτήσεων του (Α.Σ) χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες λεπτόκοκκων υλικών, αδρανών ή όχι, τα οποία βελτιώνουν την εργασιμότητα και ρυθμίζουν την περιεκτικότητα σε τσιμέντο, μειώνοντας έτσι τη θερμότητα ενυδάτωσης. Συνήθως χρησιμοποιούνται παιπάλες, ασβεστολιθικές, γρανιτικές ή δολομιτικές, ιπτάμενη τέφρα, πυριτική παιπάλη, σκωρία υψικαμίνων (GGBS) και φυσικές χρωστικές.

■ **Ίνες.** Η χρήση τους είναι διαδεδομένη στο (Α.Σ.). Χρησιμοποιούνται μεταλλικές ίνες για τη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών, όπως η καμπτική αντοχή, ή πολυμερικές για την μείωση του διαχωρισμού και της πλαστικής συρρίκνωσης, αλλά και για την κατασκευή σκυροδεμάτων ανθεκτικών στη φωτιά.

■ **Μέθοδοι ελέγχου του (Α.Σ.).** Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι ελέγχου του (Α.Σ.), καμία όμως δεν έχει τύχει της καθολικής αποδοχής, αφού καμία δεν ελέγχει πλήρως και όλες τις ιδιότητες καθώς και τα χαρακτηριστικά του. Έτσι κάθε διαφορετική σύνθεση πρέπει να ελέγχεται με παραπάνω από μια μεθόδους.

Κυρίως ελέγχονται τρεις ιδιότητες του (Α.Σ.), οι εξής:

- Ικανότητα πλήρωσης (Filling Ability)
- Αντίσταση σε διαχωρισμό (Segregation Resistance)
- Πλαστικότητα (Plassing Ability)

Για την αρχική μελέτη σύνθεσης ενός (Α.Σ.) πρέπει να ελεγχθούν και οι τρεις ιδιότητες.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι μέχρι σήμερα ευρύτερα γνωστές και χρησιμοποιούμενες παγκοσμίως μέθοδοι και η ιδιότητα την οποία ελέγχουν.

A/A	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΙΔΙΟΤΗΤΑ
1	Ελεγχος κάθισης-εξάπλησης (slump-flow test) με τον κώνον του Abrams	Ιδιότητα πλήρωσης
2	Ελεγχος κάθισης-εξάπλωσης T50 cm	Ικανότητα πλήρωσης
3	J-ring	Πλαστικότητα
4	V-funnel	Ικανότητα πλήρωσης
5	V-funnel σε T5 minutes	Αντίσταση σε διαχωρισμό
6	L-box	Πλαστικότητα
7	U-box	Πλαστικότητα
8	Fill-box	Πλαστικότητα
9	GTM screen ability test	Αντίσταση σε διαχωρισμό
10	Orimet	Ικανότητα πλήρωσης

■ **Τα πλεονεκτήματα του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος.**

Τα πλεονεκτήματα του (Α.Σ.) έναντι του συμβατικού είναι πολλά:

- 1) Υψηλή ποιότητα τελικού προϊόντος. Το (Α.Σ.) είναι πλέον πολύ ανθεκτικό απέναντι σε επιθετικούς εξωτερικούς παράγοντες, η διάστρωση και η συμπύκνωσή του είναι τέλεια, καθώς και η τελική του εμφάνιση.
- 2) Δεν χρειάζεται συμπύκνωση, πλεονέκτημα πολύ σημαντικό, ιδίως σε περιπτώσεις πολύπλοκων ξυλοτύπων και πυκνού οπλισμού.
- 3) Ο χρόνος σκυροδέτησης μειώνεται, αφού μειώνονται οι αναγκαίες εργασίες.

- 4) Μπορούν να κατασκευαστούν πολύπλοκα στοιχεία από σκυρόδεμα, με απόλυτη ασφάλεια.
- 5) Μειώνεται σημαντικά ο αριθμός του προσωπικού κατά τη σκυροδέτηση.
- 6) Μειώνεται ο θόρυβος δόνησης, που στις μονάδες προκατασκευής είναι ιδιαίτερα σημαντικός.
- 7) Μειώνεται σημαντικά το κόστος κατασκευής από τη χρήση (Α.Σ.).όπως έδειξαν έρευνες βιομηχανιών προκατασκευής.

Τελικά πρόκειται πράγματι για μια επανάσταση στο χώρο του σκυροδέματος, που θα αλλάξει τα δεδομένα όσον αφορά στην ποιότητα, στην ταχύτητα, στο κόστος και σε άλλες λιγότερο σημαντικές παραμέτρους.

Στην Ελλάδα ακόμα δεν έχει καθιερωθεί, αλλά σύντομα αναμένεται να εμφανιστούν οι πρώτες εφαρμογές.

9. Ελαφροσκυροδέματα

Τα σκυροδέματα της κατηγορίας αυτής κατατάσσονται, ανάλογα του σκοπού χρησιμοποιήσεώς τους, σε δύο κατηγορίες.

9.1. Τα μονωτικά, στα οποία η επιδιωκόμενη ιδιότητα είναι η θερμο-μονωτικότητα, η οποία επιτυγχάνεται με τη δημιουργία πορώδους δομής, που απολήγει όμως σε βάρος της αντοχής. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται:

- **Το αφροσκυρόδεμα,** στο οποίο οι πόροι δημιουργούνται κατά την έντονη ανάμειξη του κονιάματος με ειδικά αφρογόνα υλικά. Η προκύπτουσα αφρώδης μάζα παραμένει σταθερή μέχρι τη σκλήρυνσή της.
- **Το αεριοσκυρόδεμα,** που ο πορώδης ιστός του επιτυγχάνεται με την προσθήκη στο λεπτόκοκκο νωπό σκυρόδεμα (μέγεθος κόκκων μέχρι 3 mm) ουσιών που αναπτύσσουν αέρια. Οι προκύπτουσες φυσαλίδες αέρα κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλη τη μάζα του σκυροδέματος. Γι'αυτό χρησιμοποιούνται λεπτή σκόνη αλουμινίου, η οποία εκλύει υδρογόνο (Siporex) ή υπεροξείδιο του οξυγόνου, η οποία εκλύει οξυγόνο.
- **Το μονοκοκκώδες σκυρόδεμα,** που παρασκευάζεται από αδρανή υλικά μίας ή δύο ομάδων κόκκων π.χ. μόνο 1-3 mm, 3-7 mm και σε ειδικές περιπτώσεις 15-30 mm.

9.2 Τα φέροντα, τα οποία έχουν συμπαγή ιστό, αλλά ελαφρά πορώδη αδρανή (lightweight aggregate concrete) με πυκνότητα αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους του κόκκου $\rho = 0,3 - 1,0 \text{ t/m}^3$, αντί των σκύρων και της άμμου με $\rho = 1,9 \text{ t/m}^2$. Συνήθως αντικαθίστανται μόνο τα σκύρα με ελαφρά αδρανή, ενώ ως λεπτό-

κοκκο υλικό μέχρι 3 mm παραμένει η άμμος από ανθεκτικό πέτρωμα και τούτο για την αύξηση της αντοχής και της συνάφειας συνάφειας σκυροδέματος και οπλισμού.

Ως αδρανή χρησιμοποιούνται διογκωμένη άργιλλος (σπογγοκέραμος) (expanded clay) ή διογκωμένος σχιστόλιθος.

Για την παρασκευή ισχύουν γενικά οι τεχνολογικοί κανόνες του κανονικού σκυροδέματος. Η σημαντικά διάφορη όμως πυκνότητα των επί μέρους ομάδων κόκκων, η υψηλή υδατοαπορροφητικότητα των πορωδών (5-20%) και η διαφορετική αντοχή τους συνεπάγονται ορισμένες ιδιομορφίες.

Για τον λόγο αυτό είναι σκόπιμη η σύνθεσή του να καθορίζεται κάθε φορά με δοκιμές καταλληλότητας.

Η θερμομονωτική τους ικανότητα εξαρτάται από :

- Τον όγκο του αέρα, που περικλείεται στους πόρους (κυψέλες) της μάζας τους. Ο αέρας, ως γνωστό, παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή ($\lambda=0,02$).
- Το μέγεθος, το πλήθος και την δομή των κυψελών.

Τα μονωτικά ελαφροσκυροδέματα χρησιμοποιούνται για να θερμομονώσουν ή να ηχομονώσουν διάφορες κατασκευές, όταν δεν είναι ευχρεής η τοποθέτηση κλασικών θερμομονωτικών και ηχομονωτικών υλικών. Κυρίως χρησιμοποιούνται ως εξισωτικές στρώσεις σε δάπεδα, όταν συγχρόνως επιδιώκουμε και θερμοηχομόνωση και για δημιουργία κλίσεων σε εξώστες λόγω του μικρού ίδιου βάρους. Για τους ίδιους λόγους χρησιμοποιούνται ως στοιχεία πληρώσεως του σκελετού. Τα κατασκευαστικά ελαφροσκυροδέματα (φέροντα) χρησιμοποιούνται, όπως τα κοινά σκυροδέματα για την κατασκευή φερόντων στοιχείων.

Το μικρό ειδικό βάρος τους δίνει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, που είναι το 1/2 ως 1/8 του αντίστοιχου συντελεστή του κοινού σκυροδέματος. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής των ελαφροσκυροδεμάτων είναι περίπου ίδιος με του κοινού σκυροδέματος ($\alpha=8 \cdot 10^{-6}/K$ κατά μέσο όρο), αλλά σε συνδυασμό με τη μικρότερη θερμοαγωγιμότητα έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη αντοχή έναντι πυρκαϊάς.

Η θερμομονωτική τους ικανότητα εξαρτάται από την πυκνότητά τους και είναι μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η πυκνότητά τους.

$$\lambda = 0,62 \text{ w/mk} \quad \text{για} \quad \rho = 1,2 \text{ t/m}^3$$

$$\lambda = 1,30 \text{ w/mk} \quad \text{για} \quad \rho = 1,8 \text{ t/m}^3$$

Η αντοχή τους σε θλίψη είναι αισθητά μικρότερη από την αντίστοιχη του κοινού σκυροδέματος, ίδιας κατηγορίας αντοχής.

Το μέτρο ελαστικότητας είναι κατά κανόνα μικρότερο. Τα βέλη κάμψης των στοιχείων, λόγω ίδιου βάρους δεν είναι μεγάλα.

Η συστολή ξηράνσεως και ο ερπυσμός είναι κατά 30-50% μεγαλύτερη έναντι των κοινών σκυροδεμάτων.

Εκτός από τις θερμομονωτικές ικανότητες τους τα ελαφροσκυροδέματα, λόγω του μειωμένου βάρους εξασφαλίζουν και τα εξής :

- Επιβαρύνεται λιγότερο ο σκελετός του κτιρίου έως τα θεμέλια
- Γίνεται οικονομία στην ποσότητα του οπλισμού.
- Χρησιμοποιούνται ελαφρότεροι ξυλότυποι.
- Διευκολύνεται η μεταφορά των υλικών και των μεθόδων παρασκευής των ελαφροσκυροδεμάτων, οι ιδιότητές τους κυμαίνονται σε μεγάλο φάσμα.

10. Ελαφροσκυροδέματα με ελαφρά αδρανή

Σ'ένα σκυρόδεμα τα αδρανή καταλαμβάνουν περίπου τα 3/4 του συνολικού όγκου τους, άρα το είδος και τα χαρακτηριστικά των αδρανών επηρεάζει σημαντικά τις τελικές τους ιδιότητες.

Τα ελαφρά αδρανή που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι οργανικά ή ανόργανα και χαρακτηρίζονται από το μεγάλο πορώδες και το μικρό ειδικό τους βάρος ($10-900 \text{ kg/m}^3$).

Τα πιο συνηθισμένα είναι :

- Υλικά φυσικής προέλευσης χωρίς κατεργασία, όπως η κίσηρη και τα υφαιστειογενή προϊόντα.
- Υλικά φυσικής προέλευσης μετά από κάποια βιομηχανική κατεργασία, όπως η κίσηρη, ο βερμικουλίτης, ο διογκωμένος περλίτης και κεραμικά υλικά με μεγάλους πόρους.

11. Τα περλιτοδέματα, έχουν συνήθως σύνθεση κ.ο. 1:4:0,75 ή 1:6:1,2 ή 1:8:1,78 (τσιμέντο : περλίτη : νερό). Μερικές φορές χρησιμοποιείται και μικρή ποσότητα άμμου και είναι:

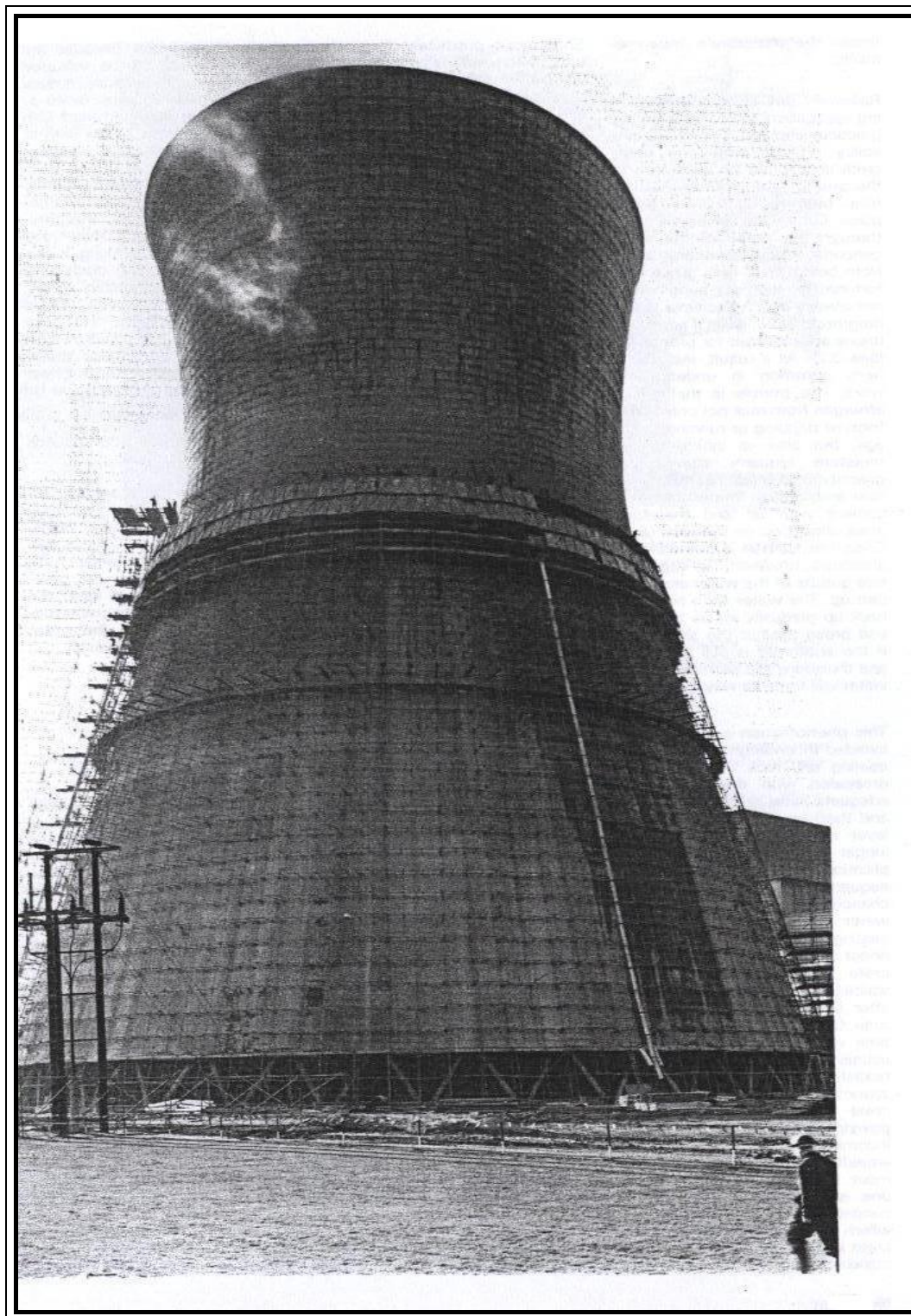
- Βιομηχανικά υποπροϊόντα χωρίς κατεργασία, όπως τα οξειδία του σιδήρου των υψικαμίνων.
- Βιομηχανικά υποπροϊόντα μετά από κάποια κατεργασία, όπως τα διογκωμένα οξειδία του σιδήρου και το διογκωμένο γυαλί.
- Τεχνητά αδρανή που κατασκευάζονται βιομηχανικά, όπως διογκωμένη άργιλος, σχιστόλιθος, κόκκοι γυαλιού, πολυστερίνη. Οι άργιλοι και οι σχιστόλιθοι για να διογκωθούν θερμαίνονται στους $1150-1200^\circ \text{C}$ με εισαγωγή αερίων μέσα στη μάζα τους δημιουργούνται κόκκοι με εσωτερική κυψελωτή δομή και εξωτερική επιφάνεια σκληρή και εφυσωμένη.
- Οργανικά υλικά, όπως πλαστικά και φυτικές ίνες.

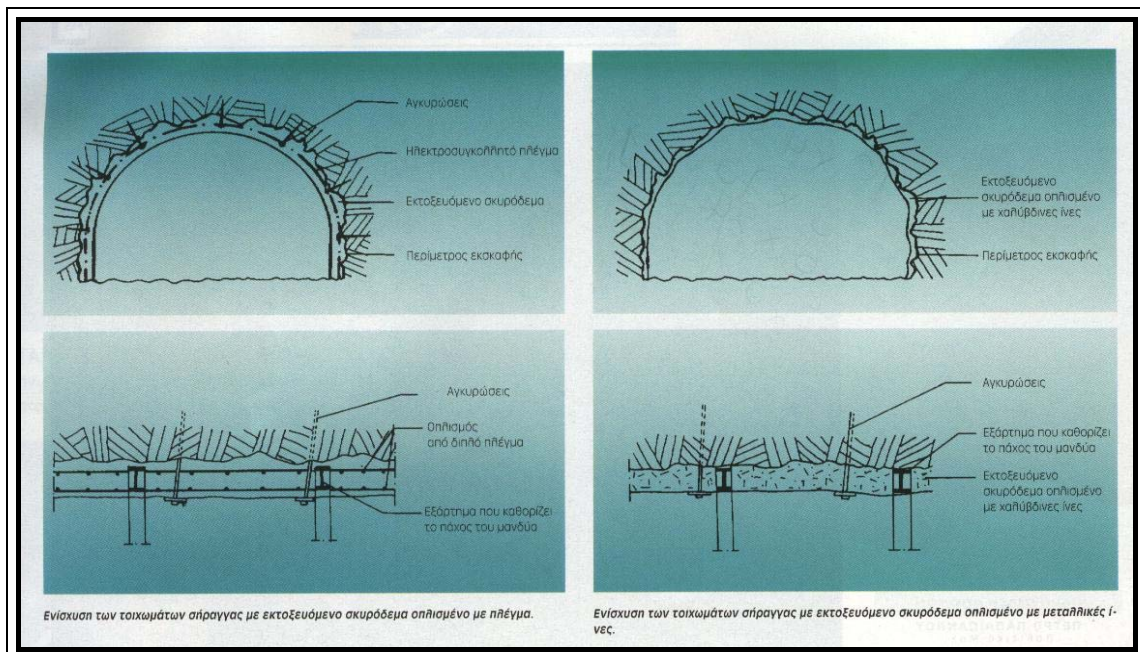
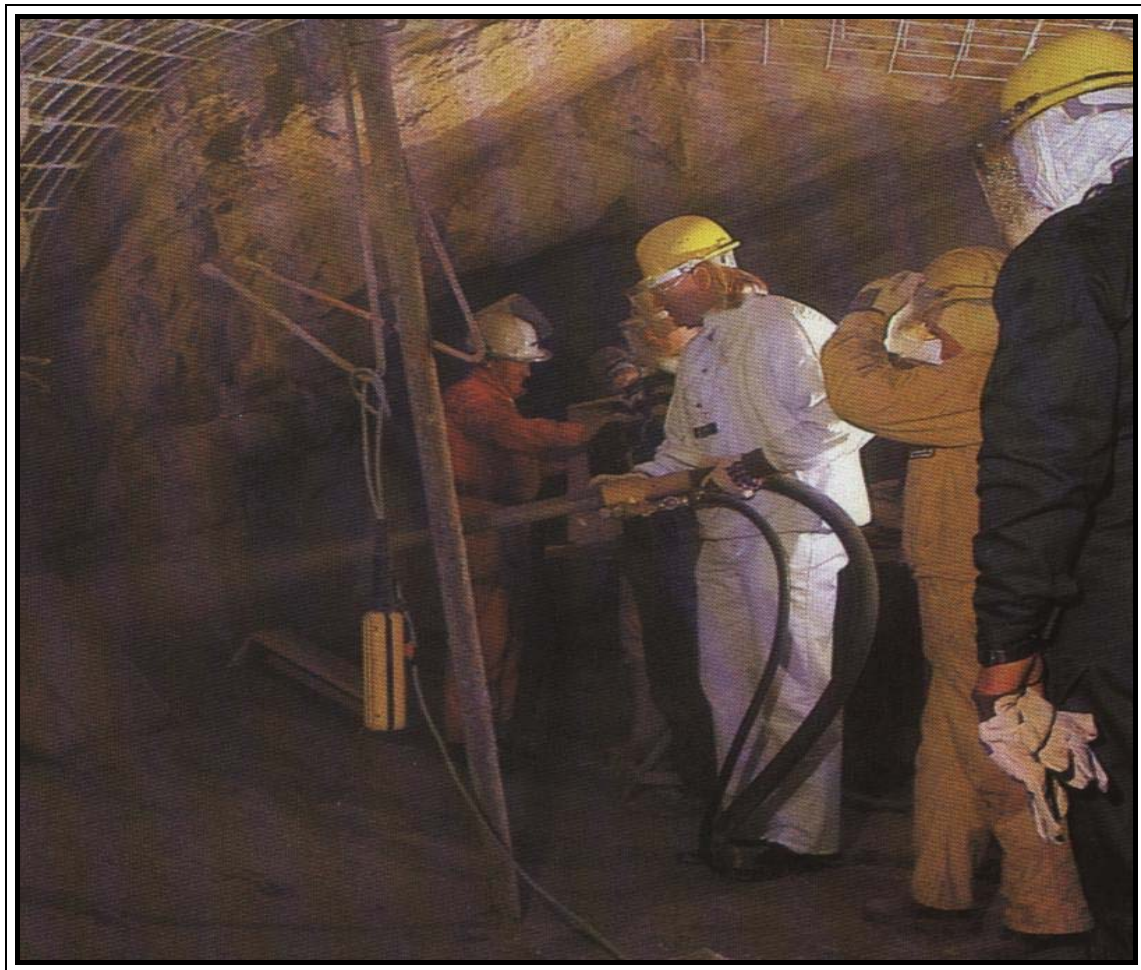
12. Κυψελοσκυροδέματα

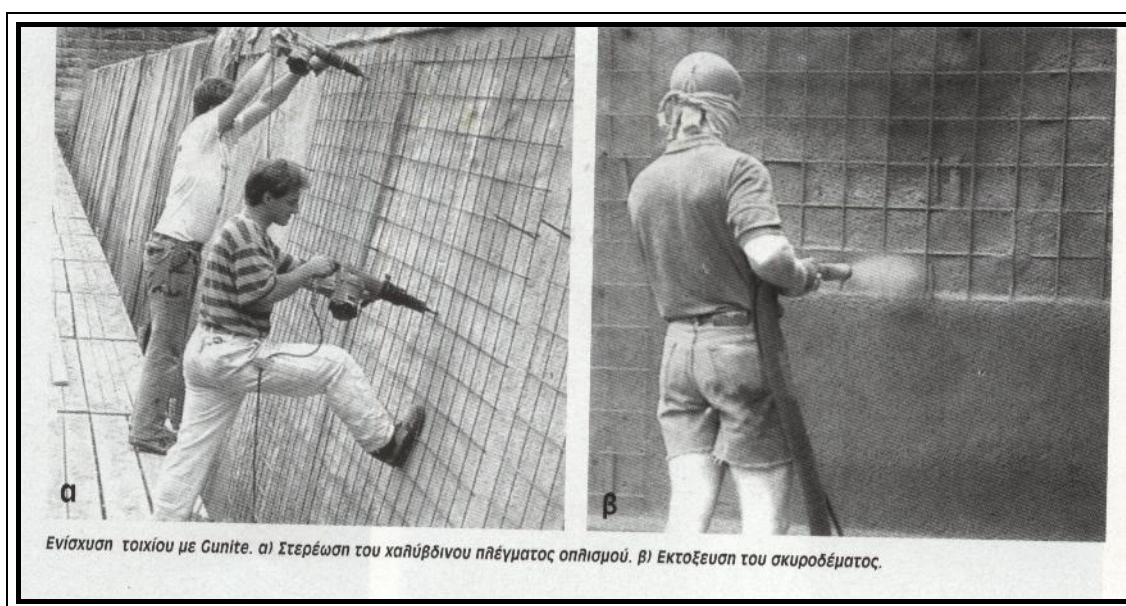
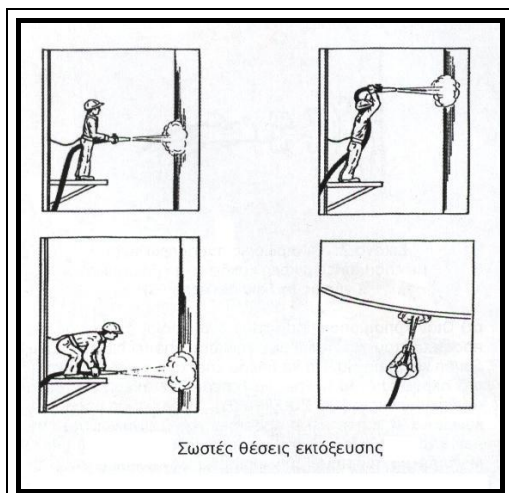
Τα κυψελοσκυροδέματα περιέχουν φυσαλίδες αέρα ή άλλου αερίου μέσα στη μάζα του κονιάματος.

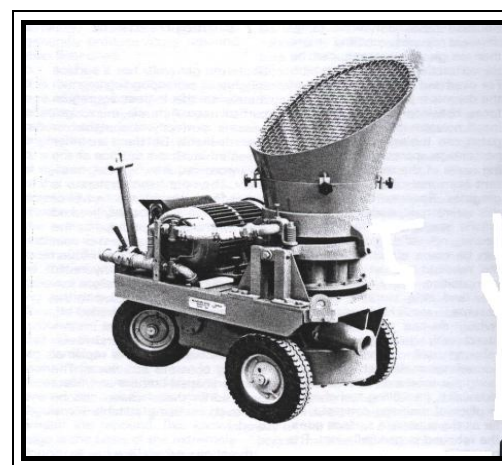
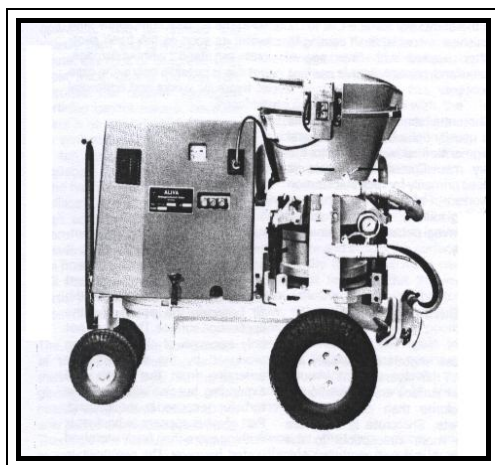
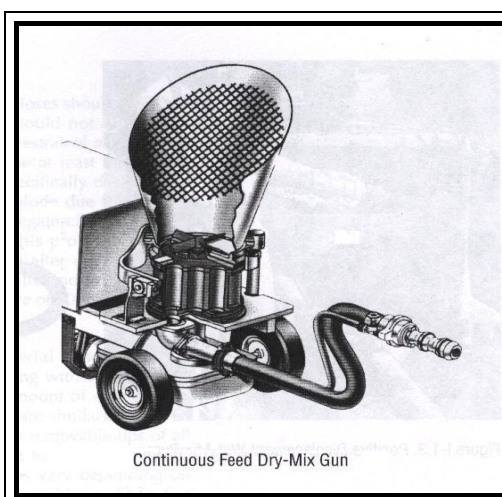
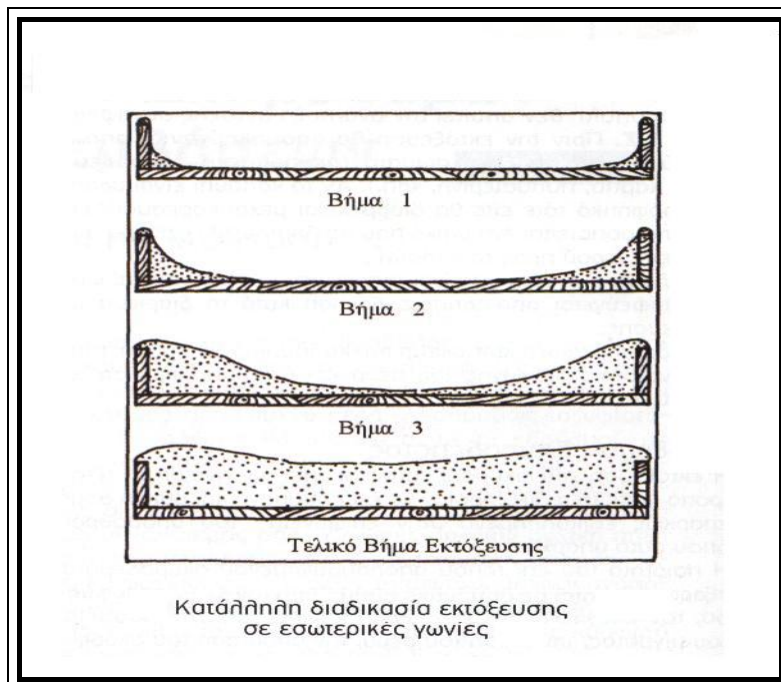
Ανάλογα με τον τρόπο που αναπτύσσονται οι φυσαλίδες διακρίνονται σε αεριοσκυροδέματα και αφροσκυροδέματα.

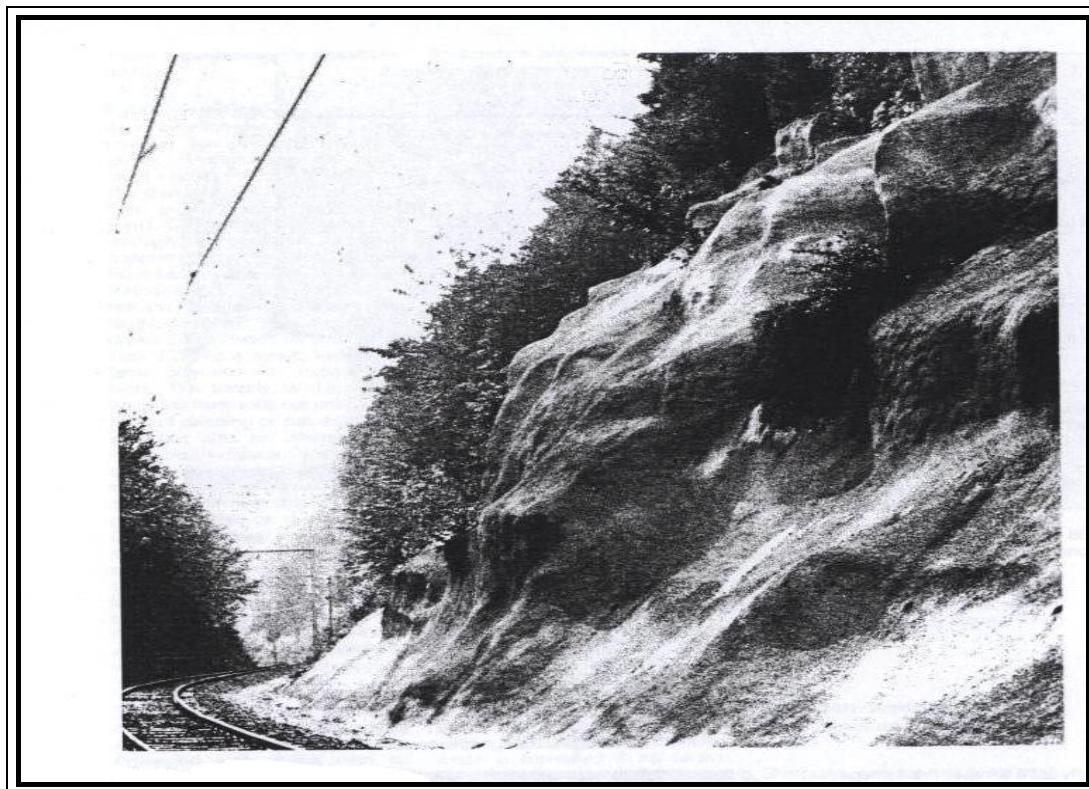
- **Τα αεριοσκυροδέματα.** Σ' αυτά οι φυσαλίδες σχηματίζονται μέσα στη μάζα του νωπού κονιάματος με την προσθήκη χημικών προϊόντων σε μικρές ποσότητες. Αυτά αντιδρούν με τα συστατικά του τσιμέντου και παράγουν αέριο που εγκλωβίζεται σε φυσαλίδες μέσα στη μάζα τους. Συνήθως, όπως ήδη αναφέρθηκε χρησιμοποιείται σκόνη αλουμινίου.
- **Τα αφροσκυροδέματα.** Για τη δημιουργία φυσαλίδων προστίθεται ένα αφροποιητικό υλικό και ένας σταθεροποιητής. Ως αφροποιητικά υλικά χρησιμοποιούνται το ρετσίνι του πεύκου σαπωνοποιημένο με καυστικό νάτριο και κόλλα, ή παραφίνη, αίμα ζώων, κλπ. Ως σταθεροποιητές χρησιμοποιούνται υδρύαλος, κόλλα, κονία άνθρακα, στάχτη, κ.α. Οι σταθεροποιητές αυξάνουν τη συνεκτικότητα, δημιουργώντας ανθεκτικό περίβλημα των φυσαλίδων για τη συγκράτηση του αέρα μέσα στη μάζα.
Μια νέα τεχνολογία είναι *το κολλοειδές ελαφροσκυρόδεμα*. Σ' αυτό χρησιμοποιείται ένα ειδικό πρόσμικτο σύνθετο από αεραγωγό μέσο και κολλοειδή ουσία, έτσι υπάρχει πλήρης επικόλληση των αδρανών που περιλαμβάνονται στη μάζα του. Είναι απαραμόρφωτο, εργάσιμο, αυτοεπιπεδούμενο, ρευστό και τα συστατικά του δεν διαχωρίζονται. Όταν σκληραίνει αποτελεί ένα κυψελωτό υλικό με κλειστούς πόρους. Μπορεί να ενισχυθεί με διάφορες ίνες για αύξηση της αντοχής του σε θλιπτικές τάσεις, σε κρούσεις και για τον περιορισμό της υδραυλικής συρίκνωσης. Οπλίζεται με γαλβανισμένα πλέγματα και με κοινό οπλισμό προστατευμένο από τη διάβρωση. Χρησιμοποιείται για τσιμεντενέσεις και πλήρωση κενών, για μονωτικά δάπεδα και πλάκες, ιδιαίτερα σε ανακαινίσεις. Σε συνδυασμό με ελαφρά αδρανή, το κολλοειδές ελαφροσκυρόδεμα χρησιμοποιείται για πλάκες, δοκίδες, για σχηματισμό κλίσεων, για δάπεδα, για την πλήρωση κενών μεταξύ τοιχοπετασμάτων και ως θερμομονωτικό επίχρισμα.

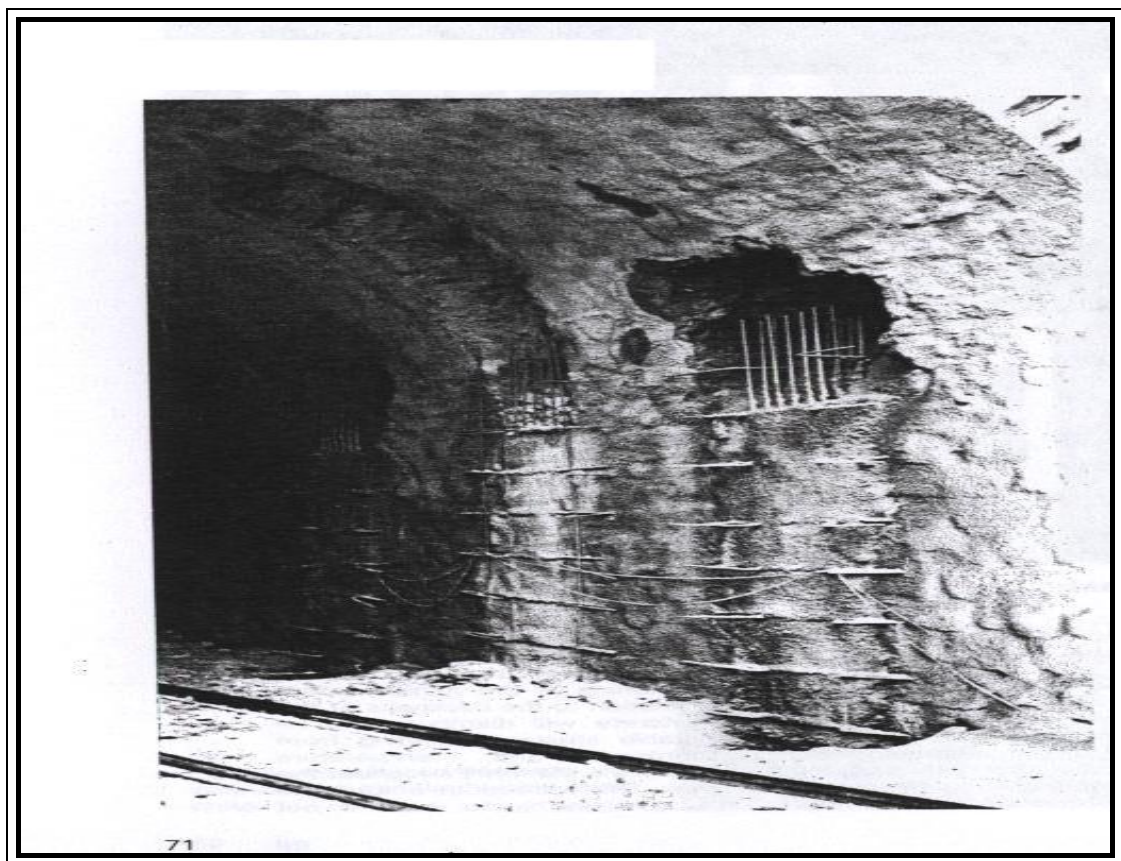
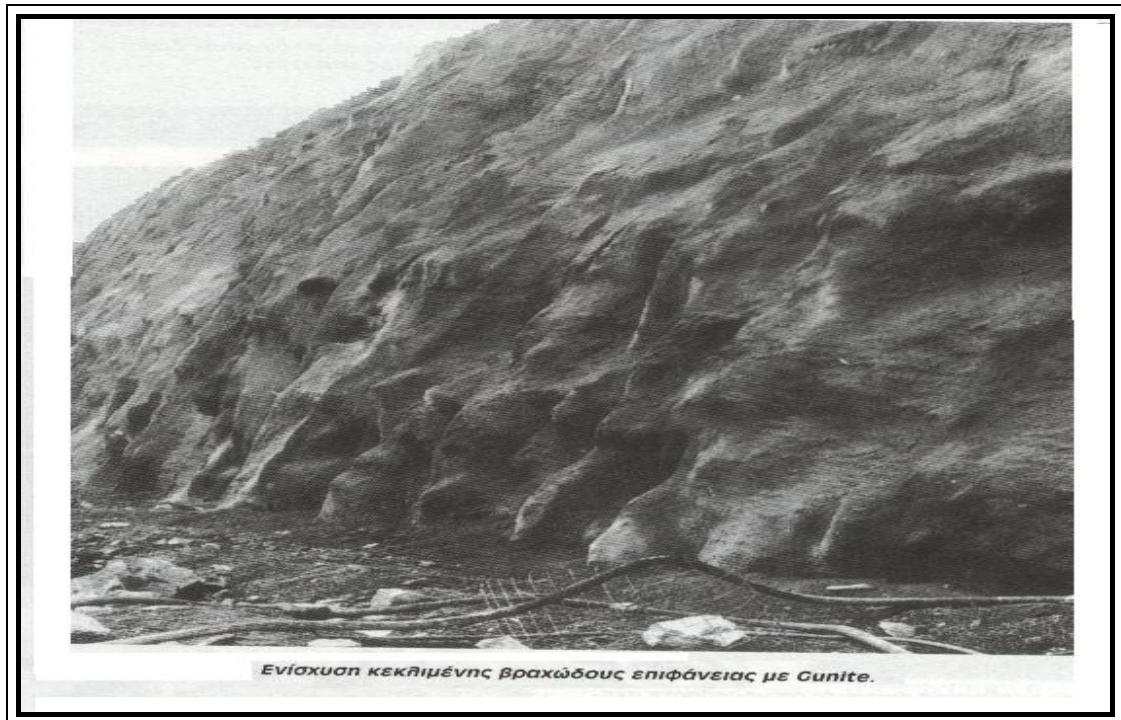












3.10. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

1. *Οι έννοιες της ανθεκτικότητας και επιτελεστικότητας των κατασκευών*

Ανθεκτικότητα (*durability*) του σκυροδέματος ενός δομικού στοιχείου είναι η ικανότητα του να ανθίσταται στη μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων του και στη μείωση της αντοχής του, κάτω από την επίδραση εξωτερικών περιβαλλοντικών παραγόντων φυσικών ή χημικών. Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος των κατασκευών εξαρτάται από τους εξής παράγοντες :

- **Σχεδιασμός της κατασκευής.** Κατά τον σχεδιασμό μιας κατασκευής πρέπει εκτός από τις μηχανικές δράσεις να λαμβάνεται υπόψη το περιβάλλον, στο οποίο εκτίθεται η κατασκευή και οι αναμενόμενες επιρροές του στο σκυροδέμα. Ο σχεδιασμός σε ανθεκτικότητα αφορά το είδος του τσιμέντου, την επικάλυψη, την ποιότητα του σκυροδέματος, την χαρακτηριστική αντοχή του, την διαπερατότητα, την περιεκτικότητά του σε αέρα, κλπ.
- **Φάση κατασκευής.** Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τηρηθούν οι επιβαλλόμενες επικαλύψεις, να συμπτυκνωθεί και να συντηρηθεί σωστά ώστε να επιτευχθεί η προβλεπόμενη ποιότητα σκυροδέματος και να μειωθεί η πιθανότητα πρόωρης γήρανσης.
- **Επιθεώρηση και συντήρηση της κατασκευής.** Πρέπει να γίνονται τακτικές επιθεωρήσεις του σκυροδέματος μιας κατασκευής. Εάν διαπιστωθούν φθορές, όπως απολέπιση, αποφλοιώση, ρηγματώση, κηλίδες σκουριάς, κλπ. πρέπει έγκαιρα να ληφθούν μέτρα επισκευής, ώστε να ανασταλεί η περαιτέρω φθορά.
- **Επιτελεστικότητα (*Performance*)** μιας κατασκευής ονομάζουμε την ταυτόχρονη εκπλήρωση των εξής απαιτήσεων:
 - 1.- **Ασφάλεια**, δηλαδή ικανότητα ανάληψης των επιβαλλόμενων δράσεων, αλλά και την αντοχή σε κόπωση.
 - 2.- **Λειτουργικότητα**, δηλαδή την ικανοποίηση των σκοπών λειτουργίας της κατασκευής, όπως περιορισμό των παραμορφώσεων, στεγανότητα, περιορισμό κραδασμών, κλπ.
 - 3.- **Αισθητική εμφάνιση** χωρίς ρηγματώσεις και βλάβες που αλλοιώνουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, το χρώμα και τελικά μειώνουν το αισθητικό αποτέλεσμα.
- **Φθορά** θα ονομάζουμε κάθε απώλεια επιτελεστικότητας μέσα στον χρόνο.

2. Διάρκεια ζωής μιας κατασκευής ονομάζεται ο ελάχιστος χρόνος στον οποίο η κατασκευή ικανοποιεί τις απαιτήσεις της επιτελεστικότητας για μια κανονική και σύμφωνα με τον σχεδιασμό χρήση. Η διάρκεια ζωής μιας κατασκευής είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο καλλίτερη ήταν η αρχική ποιότητα της κατασκευής, όσο συχνότερα επιθεωρείτο και όσο έγκαιρα και σωστά εγίνοντο οι επεμβάσεις αποκατάστασης.

Ο υπολογισμός της διάρκειας ζωής μιας κατασκευής είναι δύσκολος, διότι υπεισέρχονται πολλές αβεβαιότητες, μερικές από τις οποίες είναι:

- Τυχόν σφάλματα κατά την φάση του σχεδιασμού και παραγνώριση παραγόντων που μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς την κατασκευή.
- Το ίδιο το σκυρόδεμα σαν υλικό ποικίλει πάρα πολύ. Η κατασκευή, η συντήρηση και η προστασία σε σκυροδέματα της ίδιας ποιότητας (ίδια χαρακτηριστική αντοχή, ίδια αναλογία υλικών, κλπ.) μπορεί να διαφέρουν πάρα πολύ, αλλάζοντας αισθητά την αντίστοιχη διάρκεια ζωής.
- Το περιβάλλον δεν μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια λόγω των πολλών παραμέτρων του, ώστε να κατασκευασθεί σκυρόδεμα απόλυτα ανθεκτικό στην προσβλητικότητα του συγκεκριμένου περιβάλλοντος.
- Οι μηχανισμοί φθοράς δεν έχουν γίνει απόλυτα γνωστοί για να μελετηθεί πλήρως η επίπτωση στη φέρουσα ικανότητα της κατασκευής.
- Τα υλικά και η κατασκευή έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής αφού διαφέρει η συμπεριφορά τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα, αλλά και το μικροπεριβάλλον που δημιουργείται από την ίδια την κατασκευή δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο την εκτίμηση της διάρκειας ζωής.

Παρ' όλα αυτά οι αβεβαιότητες αίρονται σε κάποιο βαθμό με πιθανοτικές και στατιστικές μελέτες. Για τις συνήθεις κατασκευές κατά την φάση του σχεδιασμού είναι εξαιρετικά δύσκολο να γίνει μια ποσοτική εκτίμηση της διάρκειας ζωής.

3. Τεχνική θεώρηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών.

Η ανθεκτικότητα των κατασκευών είναι ένα δύσκολο πρόβλημα και δεν περιορίζεται μόνο στην κατάλληλη εκλογή των υλικών και την σωστή παρασκευή του σκυροδέματος, αλλά συνδέεται απόλυτα και με την οικονομικότητά τους.

Για παράδειγμα για μια κατασκευή σε θαλάσσιο περιβάλλον, η χρήση σκυροδέματος άριστης ποιότητας, οπλισμού από ανοξείδωτο χάλυβα, επαρκείς επικαλύψεις και προστατευτικού επιχρίσματος του σκυροδέματος, θα μας εξασφάλιζε μια πραγματικά ανθεκτική κατασκευή της οποίας όμως το κόστος θα ήταν απαγορευτικό.

Στόχος, λοιπόν, πρέπει να είναι η εξασφάλιση ανθεκτικής κατασκευής με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Η τεχνική πλευρά του σχεδιασμού ανθεκτικών κατασκευών περιλαμβάνει κατ' αρχήν την σωστή επιλογή των υλικών και την κατάλληλη μόρφωση του φορέα. Για τον σκοπό αυτό, χρειάζεται μεγάλη προσοχή και καλή γνώση των αιτιών και των μηχανισμών φθοράς, ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα αποτροπής ή θεραπείας της φθοράς. Οι αιτίες της φθοράς του σκυροδέματος είναι :

- Μηχανικές (επιβαλλόμενη παραμόρφωση, υπερφόρτιση),
- Φυσικές (επίδραση παγετού, μεταβολές θερμοκρασίας, ροή ουδέτερου ή αλκαλικού νερού),
- Χημικές (επίδραση οξέων, αλάτων),
- Βιολογικές (επίδραση βακτηρίων, επίδραση ριζών φυτών, κλπ.).

Επίσης υπάρχουν και άλλες αιτίες φθοράς όπως η ακτινοβολία, ο ηλεκτρομαγνητισμός και άλλες των οποίων τα αποτελέσματα δεν έχουν μελετηθεί ή είναι πρακτικά ασήμαντα.

Η συσχέτιση αιτίας φθοράς και αποτελέσματος γίνεται αντιληπτή από τα εξής παραδείγματα.

- Ροή νερού προκαλεί μηχανική διάβρωση του σκυροδέματος με αποτέλεσμα επιφανειακή φθορά.
- Παγετός προκαλεί διαστολή του σκυροδέματος με αποτέλεσμα την ρηγμάτωσή του.
- Διείσδυση CO₂ προκαλεί ενανθράκωση του σκυροδέματος με αποτέλεσμα την διάβρωση του οπλισμού.

Από τους μηχανισμούς αποσταθεροποίησης του σκυροδέματος οι πιο συχνοί στην παθολογία των κατασκευών είναι :

Η διάβρωση του οπλισμού, λόγω ενανθράκωσης, διείσδυσης χλωριόντων ή ταυτόχρονης επίδρασης και άλλων διαβρωτικών παραγόντων, επίσης η θειϊκή προσβολή, η αλκαλοπυριτική αντίδραση και η παγοπληξία.

4. Βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την ανθεκτικότητα.

Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την ανθεκτικότητα των κατασκευών είναι :

- Οι περιβαλλοντικές συνθήκες
- Η διαπερατότητα του σκυροδέματος
- Η δυνατότητα πραγματοποίησης μιας συγκεκριμένης φυσικής ή χημικής επίδρασης.

Περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η διαθέσιμη υγρασία, η παρουσία διαβρωτικών ουσιών και η θερμοκρασία, είναι οι κύριοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη.

Οι μηχανισμοί φθοράς για να δράσουν απαιτούν νερό. Η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε νερό, είτε λόγω αυξημένης υγρασίας, είτε εξ άλλης αιτίας, όπως ροή νερού είναι εξαιρετικά ζημιογόνα.

Η ταυτόχρονη παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό μεγεθύνει υπερβολικά το πρόβλημα. Τέτοιες ουσίες διαλυμένες στο νερό μπορεί να είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το οξυγόνο, άλατα χλωρίου, οξέα, θειϊκά άλατα, αλκάλια ή ιόντα μαγνησίου.

Η επίδραση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος παίζει καθοριστικό ρόλο, ιδιαίτερα όταν στο νερό υπάρχουν διαβρωτικές ουσίες, αφού όπως είναι γνωστό, επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις. Έχει διαπιστωθεί ότι αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C διπλασιάζει την ταχύτητα της αντίδρασης.

Σημαντικό επίσης ρόλο παίζει η διαπερατότητα του σκυροδέματος στην ανθεκτικότητά του. Σκυρόδεμα χαμηλής διαπερατότητας έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε φυσικές ή μηχανικές επιδράσεις.

Η διαπερατότητα εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους:

- Σύσταση τσιμέντου
- Λόγος N/T (Νερό προς Τσιμέντο)
- Πορώδες
- Συμπύκνωση
- Συντήρηση
- Ύπαρξη ρωγμών

Όταν το σκυρόδεμα έχει τσιμέντο σε ποσότητα μεγαλύτερη των 300 kg/m^3 , υπό τον όρο βέβαια ότι θα έχει μικρό λόγο N/T και ότι θα γίνει προσεκτική συντήρηση, τότε έχει σχετικώς μικρή διαπερατότητα. Διάφορα πρόσθετα στο τσιμέντο μπορεί να επηρεάσουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος. Τα τσιμέντα με πρόσθετα είναι πιο ευπαθή και χρειάζεται μεγάλη προσοχή κατά την συντήρησή του.

Ο λόγος N/T είναι επίσης σημαντικός και όταν ξεπεράσει την τιμή 0,6 η διαπερατότητα του σκυροδέματος αυξάνεται δυσανάλογα επειδή αυξάνεται ο αριθμός και το μέγεθος των τριχοειδών πόρων.

Το πορώδες του σκυροδέματος, δηλαδή ο αριθμός, η κατανομή και το μέγεθος των πόρων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την διαπερατότητα του σκυροδέματος. Οι πόροι στη μάζα του σκυροδέματος μπορεί να είναι κενά από εγκλωβισμό αέρα κατά την ανάμιξη ή μη καλή συμπύκνωση, ή

πόροι γεμάτοι με νερό ή από την εφίδρωση του σκυροδέματος, μπορεί επίσης να είναι μικρορηγματώσεις από συστολή ξήρανσης. Το πορώδες μειώνει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε φυσικές και χημικές επιδράσεις.

Με την συμπύκνωση προσπαθούμε να μειώσουμε τα κενά αέρα στο σκυρόδεμα σε περιεκτικότητα μικρότερη από 1%. Με την δόνηση ο αέρας και το νερό μεταφέρονται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος, μειώνοντας έτσι το πορώδες. Όμως κατ' αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διαπερατότητα κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, διότι δημιουργούνται τριχοειδείς πόροι, οι οποίοι όμως σφραγίζονται κατά την διαδικασία της ενυδάτωσης και έτσι το φαινόμενο είναι προσωρινό.

Η συντήρηση γίνεται για να μπορέσει το σκυρόδεμα να συγκρατήσει αρκετή υγρασία, ώστε να γίνει η ενυδάτωση του τσιμέντου και να επιτευχθεί η ανάπτυξη της επιθυμητής τελικής αντοχής. Επίσης γίνεται για να προστατεύσει το σκυρόδεμα από τις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας. Η διάρκεια της συντήρησης εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος κατά την σκυροδέτηση. Ο ελάχιστος χρόνος συντήρησης, χωρίς μεγάλες απαιτήσεις ανθεκτικότητας είναι 7 ημέρες, πρέπει να αρχίσει αμέσως μετά την σκυροδέτηση και να μη διακοπεί. Εάν η συντήρηση αρχίσει μετά την ξήρανση του νεαρού σκυροδέματος θα έχουμε μειωμένη αποτελεσματικότητα.

Με την ύπαρξη ρωγμών διευκολύνεται η διείσδυση βλαβερών ουσιών προς τον οπλισμό του σκυροδέματος. Η δημιουργία ρωγμών μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες, όπως **φυσικές**, δηλαδή συστελλόμενα αδρανή, ή συστολή ξηράνσεως, **χημικές** δηλαδή διάβρωση του οπλισμού ή αντίδραση αδρανών-αλκαλίων (άτακτη ρηγμάτωση), **θερμικές**, δηλαδή εναλλαγές παγετού-τήξεως, ή εποχιακές θερμοκρασιακές μεταβολές ή πρόωρη θερμική συστολή, ακόμα μπορεί να οφείλονται σε κατασκευαστικές αιτίες, όπως υπερφόρτιση, ερπυσμός, κλπ. Για 4 έως 16 ώρες από την σκυροδέτηση η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή και έτσι το νεαρό σκυρόδεμα είναι πολύ ευπαθές σε ρηγμάτωση.

Φυσικές και χημικές επιδράσεις. Γενικά μια κατασκευή από σκυρόδεμα στη διάρκεια της ζωής της μπορεί να υποστεί τις εξής δράσεις:

Α) **Μηχανικές**, όπως επιβαλλόμενα φορτία, επιβαλλόμενες παραμορφώσεις που οφείλονται σε διαφορική καθίζηση, συστολή ξήρανσης, ερπυσμό, σεισμό, μεταβολές της θερμοκρασίας.

Β) **Φυσικές**, όπως μηχανική φθορά που προκαλεί απότριψη, υδροφθορά, σπηλαιώση και ακραίες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα τον παγετό ή την πυρκαϊά.

Γ) **Χημικές – βιολογικές** από οξέα, βάσεις, άλατα, βακτήρια.

Το σκυρόδεμα ως υλικό είναι ένα σύνθετο υλικό του οποίου η σύσταση και οι ιδιότητες μπορεί να ποικίλουν πάρα πολύ. Για παράδειγμα το βάρος του μπορεί να είναι από 800 έως 4000 kg/m³, η θλιπτική αντοχή του έως 140 MPa, η δε διαπερατότητα από ελάχιστη έως πολύ μεγάλη, το σκυρόδεμα είναι τμήμα τσιμεντοπολτού και αδρανών. Η σύσταση του τσιμεντοπολτού είναι πολύ σημαντική, καθώς επίσης οι μηχανικές ιδιότητες των αδρανών και η συνάφεια μεταξύ τσιμεντοπολτού και αδρανών. Το κυρίως χρησιμοποιούμενο τσιμέντο είναι το Portland, το οποίο αποτελείται από πυριτικό τριασβέστιο 45%, πυριτικό διασβέστιο 27%, αργιλικό τριασβέστιο 11%, αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο 8% και 9% άλλες ενώσεις.

Με την προσθήκη νερού πραγματοποιούνται διάφορες αντιδράσεις. Εκτός από το Portland χρησιμοποιούνται και άλλα τσιμέντα με διάφορες προσμίξεις, που επιδρούν φυσικά ή χημικά επηρεάζοντας τις ιδιότητες του τσιμέντου (π.χ. μεταβάλλουν το πορώδες, επιτυγχάνουν μεγάλες αντοχές σε μικρή ηλικία, κλπ.).

Οι προσμίξεις που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι : ιπτάμενες τέφρες, πυριτική παιπάλη, φυσικές ποζολάνες, φυσικοί ηφαιστειακοί λίθοι, σκωρίες υψικαμίνων, τέφρα κελύφους ρυζιού, άνυδρη ή ένυδρη γύψος, άνυδρο ή ένυδρο χλωριούχο ασβέστιο και οργανικές ενώσεις.

Το οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελείται από δύο υλικά με τελείως διαφορετικές ιδιότητες επομένως και η φθορά τους γίνεται με τελείως διαφορετικούς μηχανισμούς. Το σκυρόδεμα ως αδρανές υλικό είναι αρκετά αδρανές σε χημικές και άλλες εξωτερικές επιρροές, ενώ ο χάλυβας είναι υλικό ευαίσθητο σε χημικές δράσεις και κυρίως στην οξείδωση, γι' αυτό και το σκυρόδεμα προστατεύει τον χάλυβα, τον οποίο περιβάλλει, εφ' όσον έχουμε σωστή επικάλυψη.

Μηχανισμοί φθοράς του σκυροδέματος

Οι δράσεις που έχουν αποσθρωτικό αποτέλεσμα κατατάσσονται σε :

1) **Επιφανειακή φθορά λόγω τριβής.** Λόγω κυκλοφορίας πεζών, οχημάτων κλπ. φθορά από κρούσεις βαρέων αντικειμένων και μηχανημάτων, όπως βιομηχανικά δάπεδα, προβλήτες κλπ. φθορά από

κυκλοφορία νερού και φερτών υλών σε σωλήνες, υδραυλικές εγκαταστάσεις, κλπ..

Η φθορά που θα υποστεί το σκυρόδεμα εξαρτάται από την αντοχή του, το είδος και την σκληρότητα των αδρανών και την μορφή και την κατάσταση της επιφάνειας. Την περίπτωση κατασκευής δαπέδων ανθεκτικών σε επιφανειακή φθορά καλύπτει η παρ. 12.2. του ΚΤΣ.

2) **Έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές, ψύξη-απόψυξη.** Κατάπνεται ο σκελετός λόγω συστολοδιαστολών με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρορηγματώσεων που αυξάνουν και επεκτείνονται με το χρόνο. Ψύξη-απόψυξη εννοούμε θερμοκρασιακές μεταβολές περί το σημείο πήξεως του νερού που προκαλούν διαδοχικές πήξεις ή τήξεις του νερού των πόρων με αποτέλεσμα την ρηγμάτωση του σκυροδέματος.

3) **Χημικές προσβολές.** Οι χημικές προσβολές ποικίλουν αναλόγως της χημικής ένωσης που μπορεί να δράσει στο σκυρόδεμα και πρακτικά διακρίνονται σε προσβολές από θειούχες ενώσεις, προσβολές από οξέα, προσβολές από άλατα και προσβολές από έλαια.

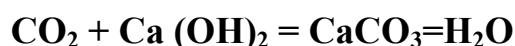
Οι αντιδράσεις που δημιουργούνται έχουν σαν αποτέλεσμα την απώλεια του συνδετικού ιστού του σκυροδέματος, την δημιουργία ενώσεων με σύγχρονη αύξηση του όγκου και την ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων και μικρορηγματώσεων του ιστού, την δημιουργία όξινου περιβάλλοντος με αποτέλεσμα τη δημιουργία μηχανισμών διαβρώσεως του χάλυβα.

Την περίπτωση του σκυροδέματος ανθεκτικού σε χημικές προσβολές καλύπτει το άρθρο 12.4 του ΚΤΣ.

Ειδική περίπτωση αποτελεί το θαλασσινό νερό, που ενώ περιέχει μεγάλες ποσότητες αλάτων, τα θαλάσσια έργα δεν έχουν δείξει κακή διαγωγή. Κατ' άλλους ορισμένα άλατα αλληλοεξουδετερώνονται και κατ' άλλους η συνεχής παρουσία του νερού αποκλείει βαθμιαία τους πόρους του σκυροδέματος.

Περισσότερο βλαπτική είναι η περιοδική διαβροχή όπως συμβαίνει στην ίσαλο γραμμή.

Ενανθράκωση του σκυροδέματος. Ονομάζεται η ένωση διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας με το υδροξείδιο του ασβεστίου που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου και τη δημιουργία ανθρακικού ασβεστίου κατά την αντίδραση :



Η αντίδραση πραγματοποιείται με την παρουσία υγρασίας 50 έως 70%, ενώ σε κορεσμένο από νερό περιβάλλον εμποδίζεται η διείσδυση του CO₂ στους πόρους και έτσι δεν πραγματοποιείται η αντίδραση.

Για την μέτρηση του βάθους της ενανθράκωσης υπάρχει η μέθοδος της φαινολοφθαλεΐνης. Κατ' αυτήν σε μία κάθετη επιφάνεια διαστρώνουμε διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης. Η επιφάνεια γενικά χρωματίζεται ρόζ ενώ στην ενανθρακωμένη περιοχή παραμένει στο χρώμα του τσιμέντου.

Η ενανθράκωση γίνεται με πολύ αργό ρυθμό της τάξεως του 1 mm ανά έτος. Όσο το βάθος αυξάνει τόσο η διείσδυση του CO₂ γίνεται δυσκολότερη και επομένως το φαινόμενο με το χρόνο επιβραδύνεται. Το πρόβλημα επομένως αρχίζει να εμφανίζεται μετά την δεκαετία. Η ενανθράκωση του σκυροδέματος δεν είναι καταστρεπτική για το ίδιο, αλλά η δέσμευση του ασβεστίου μειώνει την αλκαλικότητά του με δυσμενή επίπτωση στην προστασία του χάλυβα.

Αντίδραση των αδρανών με το τσιμέντο. Ορισμένα αδρανή που περιέχουν ενώσεις του πυριτίου (Si) είναι δυνατόν υπό ορισμένες συνθήκες να αντιδράσουν με τα αλκάλια του τσιμέντου και να σχηματίσουν ενώσεις, που προκαλούν διόγκωση και ρηγμάτωση το σκυρόδεμα. Η αντίδραση αυτή ονομάζεται αργιλοπυριτική αντίδραση (alkali-silica reaction).

Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί η αντίδραση είναι : αδρανή με περιεκτικότητα ορισμένων ενώσεων πυριτίου, επαρκή αλκάλια στο τσιμέντο (οξειδία του Καλίου και του Νατρίου), υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)₂, υψηλή υγρασία.

Μηχανισμός φθοράς των οπλισμών

Ο μηχανισμός προστασίας-διαβρώσεως του χάλυβα είναι ο ακόλουθος:

Στην επιφάνεια του χάλυβα δημιουργείται λεπτό στρώμα οξειδίων του σιδήρου, που το προστατεύουν από περαιτέρω διάβρωση.

Η διάτρηση του προστατευτικού στρώματος μπορεί να συμβεί αν η αλκαλικότητα του περιβάλλοντος μειωθεί, ή αν ιόντα χλωρίου διεισδύσουν και το προσβάλλουν.

Στο υγιές σκυρόδεμα ο βαθμός αλκαλικότητας μετρούμενος με την τιμή του pH πρέπει να είναι 12-13 περίπου.

Η δέσμευση του υδροξειδίου του ασβεστίου, που συμβαίνει όταν CO₂ της ατμόσφαιρας ή άλλες βλαπτικές ουσίες διεισδύουν μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, μειώνουν βαθμιαία την αλκαλικότητα του υλικού με αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών διατρήσεως, τοπικά ή σε μεγαλύτερη έκταση, του προστατευτικού στρώματος και την έναρξη διαβρώσεως του χάλυβα.

Διάβρωση είναι η ένωση του χάλυβα με το οξυγόνο και η δημιουργία οξειδίου του σιδήρου παρουσία υγρασίας.

Ανθεκτικό σκυρόδεμα

Για τα συνήθη έργα τα εκτεθειμένα στις συνήθεις περιβαλλοντικές επιρροές οι κύριοι παράγοντες επιρροής της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος και κατ' επέκταση του χάλυβα είναι :

A) η αλκαλικότητα και η πυκνότητά του. Στα σκυροδέματα με τα συνήθη τσιμέντα (τύπος I και II) η αλκαλικότητα του σκυροδέματος είναι περίπου σταθερή (pH = 12-13), μεγαλύτερη σημασία όμως έχει η αποφυγή όξινων ή βλαπτικών ουσιών που μπορεί με το χρόνο να επηρεάσουν την αλκαλικότητα του υλικού. Τέτοιες ουσίες όπως το Cl μπορούν να παρεισφρήσουν στο σκυρόδεμα με το νερό αναμείξεως ή άλλα πρόσθετα υλικά που τυχόν θα χρησιμοποιηθούν κατά την παρασκευή.

B) πυκνότητα σημαίνει αποφυγή διείσδυσης υγρασίας, βλαπτικών ουσιών, υγρών ή αερίων και διατήρηση της αλκαλικότητας του υλικού. Μπορούμε να πούμε ότι για συνήθη, τουλάχιστον έργα η ανθεκτικότητα συμβαδίζει με την πυκνότητα.

Οι παράγοντες για το πυκνό σκυρόδεμα και την προστασία του οπλισμού είναι:

- Χαμηλός λόγος νερού/τσιμέντου και μειωμένη κάθιση,
- Επαρκής περιεκτικότητα σε τσιμέντο,
- Καλή κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών,
- Επαρκής επικάλυψη των οπλισμών,
- Καλή συμπύκνωση,
- Καλή συντήρηση,
- Πρόσθετα που βοηθούν στην ελάττωση του νερού και τη στεγανότητα ,
- Χρήση ποζολανικών τσιμέντων.

Ειδικά έργα

Ο ΚΤΣ δίνει οδηγίες για τις ακόλουθες περιπτώσεις :

- Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά άρθρο 12.2
- Σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας » 12.3
- Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές προσβολές » 12.4
- Σκυρόδεμα μέσα στη θάλασσα » 12.6

Το άρθρο 12.4 του ΚΤΣ δεν καλύπτει τις περιπτώσεις, όπως υγρά, βιομηχανικά απόβλητα, αποθέσεις στερεών αποβλήτων και γενικά εδάφη με περιεκτικότητα θειούχων μεγαλύτερη από 100 mg θειόντων ανά 1 kg εδαφικού υλικού ξεραμένου στον αέρα.

Οι γενικές απαιτήσεις μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα :

- Κάθιση μικρότερη από 5 εκ.

- Αντοχή μεγαλύτερη από 30 MPa,
- Περιεκτικότητα σε τσιμέντο μεταξύ 300 και 400 kg ανά m³,
- Λόγος νερού προς τσιμέντο 0,58 – 0,48,
- Αυξημένη επικάλυψη,
- Στην περίπτωση θειούχων ενώσεων, χρήση τσιμέντου τύπου IV (sulfate Resistant),

Σε ακόμα πιο σοβαρές περιπτώσεις θα πρέπει να ληφθούν πρόσθετα ειδικά μέτρα, όπως :

- Επικάλυψη με πυκνή ανθεκτική επίστρωση (π.χ. πατητή τσιμεντοκονία, τσιμεντοκονία με πολυμερή πρόσθετα),
- Επάλειψη με συνθετικά υλικά, όπως εποξειδικές ρητίνες,
- Εμποτισμός με πολυμερή υλικά.

5. Επιθεώρηση, ενόργανοι έλεγχοι, διάγνωση και επέμβαση σε υφιστάμενες κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος

Η επιθεώρηση συνίσταται στον συχνό οπτικό έλεγχο της κατάστασης του σκυροδέματος, των προστατευτικών επιχρισμάτων και των βαφών των διαφόρων δομικών στοιχείων, όπως δοκοί, υποστυλώματα, αρμοί, εφένδρανα, κλπ.

Ετσι έγκαιρα εντοπίζονται τυχόν φθορές και λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα.

Οι φθορές του σκυροδέματος μπορεί να οφείλονται στους εξής παράγοντες:

- Κακή ποιότητα σκυροδέματος, κακή σύνθεση σκυροδέματος π.χ. σκυρόδεμα μεγάλου πορώδους, κακή διάστρωση, ανεπαρκής συμπίκνωση ή και ανεπαρκής συντήρηση.
- Κακός σχεδιασμός για την απρόσκοπτη αποστράγγιση των νερών της βροχής.
- Εξωτερικές φυσικές ή χημικές επιδράσεις στο σκυρόδεμα π.χ. επίδραση παγετού, αλάτων κλπ.
- Εσωτερικές επιδράσεις από σκυρόδεμα π.χ. αντίδραση αδρανών-αλκαλίων.

Ειδικότερα οι ανωμαλίες και φθορές στο σκυρόδεμα συνίστανται στις εξής περιπτώσεις :

- **Απόμειξη σκυροδέματος** οφείλεται σε κακή σύνθεση ή και κακή διάστρωση του νωπού σκυροδέματος, κατά την οποία παρατηρείται συσσώρευση των σκύρων και διαχωρισμός τους από το τσιμεντοκονίαμα.
- **Φωλιές σκυροδέματος.** Μερικές φορές εμφανίζονται ορισμένες κοιλότητες κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος ή και πιο μέσα

και οφείλονται σε ανεπαρκή συμπύκνωση του σκυροδέματος ή σε απόπλυση, λόγω επιδράσεως διαβρωτικών διαλυμάτων.

- **Απόθεση αλάτων, δημιουργία μικροσταλακτιτών.** Κατά την φθορά αυτού του είδους εμφανίζονται λευκές κηλίδες στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Αυτές δημιουργούνται από τα άλατα του σκυροδέματος, τα οποία με τη βοήθεια νερού που διαπερνά το σκυρόδεμα αποπλένονται και αποτίθενται στην επιφάνεια. Η φθορά οφείλεται σε κακή αρχική ποιότητα του σκυροδέματος (μεγάλο πορώδες ή και ασυνέχειες που επιτρέπουν την διέλευση νερού μέσα από τη μάζα του) ή και κακό σχεδιασμό του συστήματος αποστράγγισης των επιφανειών του σκυροδέματος. Τέτοια φαινόμενα μειώνουν πάρα πολύ την αλκαλικότητα του σκυροδέματος, λόγω μείωσης των τιμών pH.
- **Απολέπιση του σκυροδέματος.** Απολέπιση ονομάζουμε την απόσπαση του τσιμεντοκονιάματος από την επιφάνεια του σκυροδέματος (απογύμνωση των σκύρων). Η απολέπιση οδηγεί σε επιφανειακή φθορά, που μερικές φορές είναι εκτεταμένη και οφείλεται κυρίως σε επίδραση παγετού ή σε επίδραση διαβρωτικών παραγόντων πάνω στο σκυρόδεμα π.χ. θειϊκού οξέος. Η απολέπιση μπορεί να είναι η αφετηρία για σοβαρή διάβρωση του σκυροδέματος και απογύμνωση του οπλισμού.
- **Αποφλοίωση.** Αποφλοίωση ονομάζουμε την απόσπαση μεγάλου επιφανειακού τεμαχίου σκυροδέματος της τάξης των 100 cm σε βάθος ίσο με την επικάλυψη του οπλισμού. Η αποφλοίωση προκαλείται: α) από διογκώσιμα άλατα στο εσωτερικό του σκυροδέματος π.χ. γύψος, εντριγκίτης, κλπ., β) από διάβρωση του χάλυβα, γ) από κακή συντήρηση. Η αποφλοίωση μπορεί να οδηγήσει σε αποκάλυψη και διάβρωση των οπλισμών και σε απώλεια συνάφειας των οπλισμών με το σκυρόδεμα. Αν η αποφλοίωση οφείλεται σε διάβρωση του οπλισμού και εντοπισθεί έγκαιρα, ώστε να επισκευασθεί νωρίς, μπορεί να αποφευχθεί σοβαρότερη περαιτέρω φθορά.
- **Ατακτη ρηγμάτωση.** Η φθορά εμφανίζεται ως συγκέντρωση λεπτών επιφανειακών ρωγμών μικρού βάθους, μικρότερου από 3 cm. Μπορεί να οφείλεται α) σε υπερβολική συρρίκνωση νωπού σκυροδέματος π.χ. από έντονη εξάτμιση νερού από υψηλή θερμοκρασία ή ισχυρό άνεμο, β) σε μεταγενέστερη αλκαλική αντίδραση τσιμέντου-αδρανών.

Η άτακτη ρηγάτωση μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένες απολεπίσεις σκυροδέματος.

- **Απόσπαση τεμαχίων σκυροδέματος.** Η φθορά προκαλείται από πρόσκρουση αντικειμένων επάνω στο σκυρόδεμα, έτσι μπορεί να απογυμνωθεί ο οπλισμός και να αρχίσει η διάβρωσή του.
- **Εκτίναξη.** Η εκτίναξη είναι μικρή επιφανειακή φθορά, που οφείλεται σε επίδραση παγετού ή στην παρουσία διογκώσιμης ενώσεως κοντα στην επιφάνεια του σκυροδέματος π.χ. κόκκοι ασβεστίου.
- **Κηλίδες σκουριάς.** Οι κηλίδες έχουν καφέ χρώμα και εμφανίζονται στις παρειές ή τον πυθμένα των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως δοκοί, πλάκες. Οφείλονται στη διάβρωση του χάλυβα και είναι σκουριά που παρασύρεται προς τα έξω από το εξωτερικό νερό που εισχώρησε στη μάζα του σκυροδέματος, είτε από μόνη της πιεζόμενη από την εσωτερική πίεση που δημιουργείται από το γεγονός ότι ο όγκος των προϊόντων οξειδώσεως είναι κατά 40% μεγαλύτερος από τον αρχικό όγκο του χάλυβα.
- **Μεγαλορηγματώσεις του σκυροδέματος.** Είναι δυνατόν να εμφανιστούν διαμήκεις ή εγκάρσιες μεγαλορηγματώσεις στο σκυρόδεμα, μεμονωμένες ή συγκεντρωμένες σε διάφορα μέλη της κατασκευής. Οι ρωγμές αυτές οφείλονται σε μηχανικές δράσεις (επιβαλλόμενα φορτία, επιβαλλόμενες παραμορφώσεις), σε θερμοκρασιακές μεταβολές ή σε χημικές εσωτερικές επιδράσεις κυρίως από διάβρωση του οπλισμού. Οι εγκάρσιες ρωγμές μπορεί να προκαλέσουν σημαντική διάβρωση του χάλυβα και ακολούθως μια ενδεχόμενη τοπική ρωγμή. Οι διαμήκεις ρωγμές, έστω και μικρού εύρους επιταχύνουν τη διάβρωση του οπλισμού και την μείωση της συνάφειας.
- **Χρωματικές αλλοιώσεις.** Όταν το νερό εισδύει μέσα στη μάζα του σκυροδέματος προκαλώντας εκτεταμένη υγρασία ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος, οι οποίοι εκτός από τις αισθητικές επιπτώσεις μπορεί να προκαλέσουν και χημική διάβρωση στο σκυρόδεμα.

6. Φθορές στον χάλυβα.

Απογυμνωμένοι οπλισμοί

Οι οπλισμοί μπορεί να απογυμνωθούν μετά από απόσπαση τεμαχίων σκυροδέματος λόγω προσκρούσεως, μετά από αποφλοΐωση του σκυροδέματος ή μετά από εκτίναξη της επικάλυψης του σκυροδέματος, λόγω διαβρώσεως των οπλισμών. Οι απογυμνωμένοι χάλυβες διαβρώνονται ταχύτερα και χάνουν την συνάφειά τους με το σκυρόδεμα. Είναι αναγκαία η άμεση επέμβαση προς αποφυγή μεγαλύτερης ζημιάς.

Διάβρωση των οπλισμών.

Η διάβρωση των οπλισμών του σκυροδέματος γίνεται συνήθως αντιληπτή από τις συνέπειές της πάνω στο σκυρόδεμα π.χ. κηλίδες σκουριάς, αποφλοΐωση, διόγκωση, ρηγμάτωση, κλπ.

Θραυσμένοι οπλισμοί.

Θραύση οπλισμών συμβαίνει μετά από ισχυρή πρόσκρουση αντικειμένων επάνω στην επιφάνεια του χάλυβα, είναι δε σημαντική φθορά, αφού μειώνει την φέρουσα ικανότητα της κατασκευής και απαιτεί άμεση αντιμετώπιση.

ΤΥΠΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΛΕΓΧΩΝ

Χρήσιμη για την επιθεώρηση μιας κατασκευής είναι η σύνταξη προηγουμένως ενός τυπικού καταλόγου με τους ελέγχους που πρέπει να κάνει επί τόπου ένας Μηχανικός.

Σκυρόδεμα

Τοπικές φθορές

- Φωλιές σκυροδέματος
- Απολέπιση
- Αποφλοΐωση
- Απόμιξη
- Εκτίναξη
- Ατακτη ρηγμάτωση
- Φθορά λόγω πρόσκρουσης

Φθορές λόγω κακής στεγανότητας

- Απόπλυση
- Σταλακτίτες

- Διείσδυση νερού
- Απόθεση αλάτων, χρωματικές αλλοιώσεις

Φθορές λόγω φυσικής ή χημικής προσβολής

- Χρωματικές αλλοιώσεις
- Ρηγματώσεις
- Αλλοίωση της υφής της επιφάνειας

Χάλυβες

Οπλισμός σκυροδέματος

- Απογυμνωμένοι
- Διαβρωμένοι
- Χωρίς συνάφεια με το σκυρόδεμα
- Σπασμένοι

Χάλυβες προέντασης

- Αποκάλυψη σωλήνων προέντασης
- Διάβρωση σωλήνων
- Αποκάλυψη τενόντων
- Θραύση τενόντων

Φθορές στο σκυρόδεμα λόγω διάβρωσης των οπλισμών

- Κηλίδες σκουριάς
- Διαμήκεις ρηγματώσεις
- Εκτίναξη επικάλυψης
- Αποφλοιώσεις

7. ΕΝΟΡΓΑΝΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

Εκτός από τους οπτικούς ελέγχους που δίνουν μια αρκετά ικανοποιητική εικόνα της κατάστασης του σκυροδέματος μιας κατασκευής, υπάρχουν περιπτώσεις, που ενώ υπάρχει υποψία για πιθανή φθορά, εν τούτοις δεν είναι εμφανής. Σ' αυτήν την περίπτωση καταφεύγουμε στους ενόργανους ελέγχους, που μπορεί να είναι επιτόπιοι ή εργαστηριακοί, να είναι άμεσοι (με μικρή φθορά στο υλικό) ή έμμεσοι (μη καταστροφικοί).

Συνήθως οι έλεγχοι αυτοί αφορούν την εξέταση των πάρα κάτω ιδιοτήτων.

Έλεγχοι σκυροδέματος

- Αντοχή
- Ομοιογένεια
- Ενανθράκωση

- Περιεκτικότητα σε θειϊκά
- Διαπερατότητα, πορώδες
- Συστατικά
- Εύρος ρωγμών
- Βάθος ρωγμών
- Εμπεριεχόμενη υγρασία

Χάλυβας

- Πάχος επικάλυψης
- Διάμετρος ράβδων
- Βαθμός διάβρωσης
- Αντοχή
- Κατάσταση τσιμεντενέματος

Έλεγχοι στην κατασκευή

Παραμορφώσεις και μετατοπίσεις

- Βέλη
- Μετακινήσεις
- Μετατοπίσεις εφεδράνων, αρμών

Αποτύπωση ρηγματώσεων

Κατάσταση εντάσεως

- Ένταση σκυροδέματος
- Ένταση στους οπλισμούς

Ταλαντώσεις

- Ιδιοπερίοδοι
- Απόσβεση

Η εκλογή των θέσεων όπου θα γίνουν οι επιτόπιοι έλεγχοι ή απ' όπου θα ληφθούν δείγματα υλικών για τους εργαστηριακούς ελέγχους πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Πρέπει επίσης να γίνονται σε θέσεις υγιούς και σε θέσεις φθαρμένου υλικού, για να εκτιμηθεί η μεταβολή των ιδιοτήτων και έτσι να προσδιορισθούν τα αίτια των φθορών (διαφορική διάγνωση).

3.11. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ **(Quality Control)**

Ο έλεγχος της ποιότητας ενός έργου γίνεται με διάφορες ενέργειες, όπως δειγματοληψίες, δοκιμές, επιθεωρήσεις κλπ., οι οποίες στοχεύουν να μετρήσουν ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του υλικού, όπως εν προκειμένω για το σκυρόδεμα, την αντοχή του, την εργασιμότητά του κλπ.

Οι έννοιες «**Ποιότητα**», «**Έλεγχος ποιότητας**» και «**Διασφάλιση Ποιότητας**» εξηγούνται στο ΕΛΟΤ/ΕΝ/ISO/8402/1955.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τον *έλεγχο ποιότητας σκυροδέματος* και ειδικότερα του *έτοιμου εργοστασιακού σκυροδέματος*.

Ακολουθώς όπου αναγράφονται :

- ΚΤΣ : αφορά τον *Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος* (ΦΕΚ/315/Β/17-4-97).
- ΕΛΟΤ ; Τα *Σχέδια Ελληνικών Προτύπων του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης*.
- ΑCΙ : Το *Αμερικάνικο Ινστιτούτο Σκυροδέματος (American Concrete Institute)*.
- ASTM, BS, DIN ΚΛΠ. Προδιαγραφές από τους αντίστοιχους *Αμερικάνικους, Βρετανικούς, Γερμανικούς Κανονισμούς Τυποποίησης*.

Ο έλεγχος της ποιότητας του σκυροδέματος πρέπει να είναι περισσότερο προληπτικός γιατί ο εκ των υστέρων έλεγχος είναι αργά. Ο έλεγχος ξεκινά από την κεντρική μονάδα με την οποία θα συνεργαστούμε για να διαπιστώσουμε την σοβαρότητα των εγκαταστάσεών της, την πληρότητά της, τον εκσυγχρονισμό των μηχανημάτων της, τη μεθοδολογία που ακολουθεί κλπ., ειδικότερα :

1.- Έλεγχος Μονάδας

Από επιτόπια επίσκεψη να διαπιστωθεί εάν υπάρχει Μίξερ στο συγκρότημα παραγωγής, να αναζητηθεί ο τύπος του Μίξερ, η χωρητικότητά του και η απόδοσή του σε m³/ώρα.

Να διαπιστωθεί αν υπάρχουν γραμμένες οι συνθέσεις σκυροδέματος, εάν υπάρχει αυτοματισμός με προγράμματα κλπ. ηλεκτρονικά ζυγιστήρια, ηλεκτρονικοί υπολογισμοί, εάν γίνεται αυτόματη καταγραφή των αναλογιών των υλικών του σκυροδέματος σε κάθε ανάμιγμα (χαρμάνι)

σε καταγραφικό εκτυπωτή και εάν δίδεται αντίγραφο του καταγραφικού δελτίου στον πελάτη.

Να διαπιστωθεί εάν τηρούνται οι απαιτήσεις του ΚΤΣ στην ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου.

Για έτοιμο σκυρόδεμα πρέπει κατά την παραγωγή να δίδονται εκτός από την κατηγορία αντοχής π.χ. C 16/20, η επιθυμητή εργασιμότητα, όπως κάθιση 10-15 και S3, όπως ορίζει ο ΚΤΣ, επίσης πρέπει να δίδεται ο μέγιστος κόκκος (π.χ. γαρμπιλομετόν 8 mm), καθώς και άλλες ειδικές απαιτήσεις, όπως αν θα προστεθεί ρευστοποιητικό ή άλλο πρόσθετο, η θέση του δομικού στοιχείου στο έργο (θεμέλια-πλάκα ισογείου κλπ.), αν θα χρησιμοποιηθεί αντλία και το ύψος (36 m αντλία), εάν το σκυρόδεμα θα είναι επιχρισμένο ή ανεπίχριστο και εάν η ποσότητα θα είναι πάνω ή κάτω από 20 m³. Αυτά είναι στοιχεία που επιβάλει ο ΚΤΣ-97 §12.1.16. 1 Κατά την παραλαβή του σκυροδέματος, αλλά και κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης στο έργο πρέπει να γίνεται :

- **Η Μέτρηση της εργασιμότητας** (λεπτομερέστερα αναφερόμαστε σε άλλο κεφάλαιο). Τόσο η χαμηλή εργασιμότητα (π.χ. κάθιση 6-8 cm), όσο και η πολύ υψηλή (π.χ. κάθιση 15-20 cm) προειδοποιούν για προβλήματα αντοχής, αντλησιμότητας κλπ.
- **Η λήψη δοκιμίων** (λεπτομέρειες σε άλλο κεφάλαιο). Ο ΚΤΣ επιβάλει τη λήψη 6 δοκιμίων σκυροδέματος από 6 διαφορετικά αυτοκίνητα (βαρέλες) την ημέρα για ποσότητα μέχρι 150 m³ ή 12 δοκιμίων για ποσότητα άνω των 150 m³ σύμφωνα με την προδιαγραφή του ΣΚ-303 του ΚΕΔΕ.
- **Ο έλεγχος του Δελτίου Αποστολής (ΔΑ)**
Στο ΔΑ φαίνεται η κατηγορία του σκυροδέματος, ο χρόνος φόρτωσης - άφιξης - εκφόρτωσης του σκυροδέματος. Πρέπει σε χρονικό διάστημα 1 ώρας και 30 λεπτών να έχει γίνει η εκφόρτωση. Προσθήκη επιβραδυντικού επιμηκύνει τον χρόνο κατά 20 λεπτά. Μετά την παρέλευση 2 ωρών από τη φόρτωση δεν πρέπει να διαστρωθεί το σκυρόδεμα, ακόμη και τον χειμώνα. Στο δελτίο αποστολής θα αναγραφεί η λήψη και η ώρα λήψης του δοκιμίου.
- **Η μετακίνηση των δοκιμίων** και η μεταφορά τους στο Εργαστήριο μετά 20-32 ώρες για συντήρησή τους σε 20°C ± 2°C

και σχετική υγρασία 90% στον υγρό θάλαμο σύμφωνα με την προδιαγραφή ΣΚ-304 του ΚΕΔΕ .

- **Προσθήκη ρευστοποιητικού**

Οφείλουμε να ενημερώσουμε την εταιρία σκυροδέματος για την επιθυμία μας σχετικά με τη χρήση ρευστοποιητικού ή άλλου πρόσθετου. Το πρόσθετο προστίθεται την τελευταία στιγμή στη βαρέλα, πριν την εκφόρτωση. Η βαρέλα περιστρέφει το μίγμα για 3-5 λεπτά στις γρήγορες στροφές (8-12- στροφές/λεπτό). Πριν από την προσθήκη του ρευστοποιητικού ελέγχουμε, είτε οπτικώς, είτε με δοκιμή κάθισης, εάν το μπετόν που ήρθε στο εργοτάξιο είναι σφικτό ή μήπως είναι μαλακό, οπότε με την προσθήκη ρευστοποιητικού θα γίνει απαράδεκτο. Έτσι για C20/25 θα πρέπει να έρθει το μπετόν στο έργο με μια κάθιση 5 – 7 cm και μετά το ρευστοποιητικό αυτή θα γίνει 12-14 cm.

- **Προσθήκη νερού**

Απαγορεύεται να γίνει προσθήκη νερού στο σκυρόδεμα στη βαρέλα. Ο επιβλέπων έχει δικαίωμα να μην αποδεχθεί το σκυρόδεμα και να διώξει τη βαρέλα εάν το σκυρόδεμα για κάποιο λόγο δεν είναι ικανοποιητικό, αρκεί να γράψουμε στο δελτίο αποστολής την αιτιολογία (π.χ. σφικτό σκυρόδεμα, εργασιμότητα S₂ αντί S₃).

Χρήσιμος και Εύχρηστος Οδηγός για τον Κατασκευαστή-Αγοραστή Έτοιμου Σκυροδέματος

Ενας χρήσιμος οδηγός, κάτι σαν «μπούσουλας» για τον καταναλωτή έτοιμου σκυροδέματος (Ε.Σ.) είναι ο ακόλουθος :

A. Σωστή επιλογή εταιρίας (Ε.Σ.)

- Κριτήρια ποιότητας, τιμής, service, συνεργασίας
- Επίσκεψη στη μονάδα παραγωγής (Ε.Σ.). πριν την έναρξη συνεργασίας.

Έλεγχοι : μίξερ, εργαστήριο, δοκίμια, μητρώα αντοχής

- Συμπληρωματικές πληροφορίες-ειδικές απαιτήσεις της κατασκευής, ειδικές ποιότητες, ζυγολόγια, καταγραφικά.

B. Σωστή παραγγελία

- Ποσότητα (Ε.Σ.)

- Ποιότητα (Ε.Σ.), ειδικές απαιτήσεις (κατηγορία κάθισης)
 - Στεγανωτικό
 - Υπερρευστοποιητικό
 - Μέγιστος κόκκος (γαρμπιλομπετόν)
- Απαιτήσεις ρυθμού τροφοδοσίας (βαρέλες/ώρα)
- Σωστό μέγεθος πρέσας

- Ενημέρωση για λήψη δοκιμίων
- Καθορισμός διαδικασίας ζυγολογίων (ορισμός εξωτερικής γεφυροπλάστιγγας)

Γ. Προετοιμασία πριν τη σκυροδέτηση

- Ορισμός υπεύθυνου παραλαβής του (Ε.Σ.).
- Λήψη μέτρων για στήσιμο της πρέσας (εμπόδια, λαϊκή αγορά, αυτοκίνητα, κλείσιμο δρόμου)
- Έγκαιρη παραλαβή οπλισμού
- Προμήθεια δύο δονητών
- Ενοικίαση μητρών για λήψη δοκιμίων
- Μέτρα προστασίας σκυροδέματος από καιρικές συνθήκες (κρύο, ζέστη, βροχή)
- Βραδυνή σκυροδέτηση (πρόβλεψη φωτισμού, άδεια από Αστυνομία)

Δ. Σωστή παραλαβή (Ε.Σ.) στο έργο

- Έλεγχος Δελτίου Αποστολής
 - Ποιότητα, κατηγορία κάθισης (S_2 , S_3 , κλπ)
 - Χρόνος φόρτωσης στο εργοστάσιο
 - Χρόνος άφιξης στο έργο
 - Υπερρευστοποιητικό
- Έλεγχος ποσότητας (ζύγισμα σε γεφυροπλάστιγγα)
 - Απόβαρο
 - Σφράγισμα βαρέλας
- Έλεγχος ποιότητας (§ 7, §8, ΚΤΣ)
 - Λήψη ενός δοκιμίου / βαρέλα και έως 6 δοκίμια από 6 βαρέλες
 - Έλεγχος εργάσιμου (κάθιση)
 - Θερμοκρασία σκυροδέματος
 - Αναφορά στο Δ.Α. χώρου διάστρωσης βαρέλας και αριθμό δοκιμίου
- Προσθήκη ρευστοποιητικού, εάν απαιτείται και σωστή ανάμιξη του στη βαρέλα επί 3-5 λεπτά στις γρήγορες στροφές (8-12 σ.α.λ.)
- Απαγόρευση προσθήκης νερού επί τόπου.

- Αναγραφή στο Δ.Α. χρόνου έναρξης και πέρατος εκφόρτωσης και κάθε άλλης παρατήρησης
- Έλεγχος αναλογιών Δελτίου Καταγραφικού
- Προφύλαξη δοκιμίων από ζέστη, κρύο, βροχή
- Συνολικός χρόνος εκφόρτωσης (μέγιστος 2 ώρες)

Ε. Άντληση, διάστρωση, συμπύκνωση σκυροδέματος

- Απαγορεύεται το στάρωμα
- Στρώσεις πάχους $< 0,60$ m
- Ύψος πτώσεως σκυροδέματος $< 2,50$ m
- Δόνηση με σωστό μέγεθος δονητή, ανάλογα με το εργάσιμο του σκυροδέματος, οπλισμό, διαστάσεις στοιχείου, απαίτηση «εμφανούς» κλπ.
- Απαγορεύεται η λήψη δοκιμίων από την έξοδο του σωλήνα της αντλίας

ΣΤ. Συντήρηση σκυροδέματος (§ 10 ΚΤΣ)

Υποχρεωτική συντήρηση για 7 ημέρες, τουλάχιστον, με λινάτσες και διαβροχή με νερό ή ψεκάσμο με χημικό υγρό.

- Μέτρα προστασίας για παγετό, καύσωνα, αέρα.
- Πλημμύρισμα πλάκας με νερό
- Δοκίμια έργου

Ζ. Ξεκαλούπωμα (§ 11, ΚΤΣ)

- Χρόνος αφαίρεσης ξυλοτύπου, ανάλογα τύπου τσιμέντου, στοιχείου κλπ. (§ 11, ΚΤΣ)
- Τσιμέντο με ιπτάμενη τέφρα, θερμοκρασία σκυροδέματος χαμηλή (αύξηση χρόνου ξεκαλουπώματος)
- Δοκίμια έργου (παρακολούθηση, εξέλιξη σκλήρυνσης)

Η. Εργασίες μετά τη σκυροδέτηση

- Μεταφορά των δοκιμίων εντός 20-32 ωρών σε αναγνωρισμένο εργαστήριο για συντήρηση επί 28 ημέρες σε θάλαμο (θερμοκρασία $20^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ και σχετική υγρασία 90%).
- Συντήρηση δοκιμίων έργου
- Καθαρισμός συντήρηση εργαλείων, δονητών, προετοιμασία για επόμενη σκυροδέτηση
- Επιμέτρηση, έλεγχοι Δελτίων Αποστολής, ζυγολογίων, ενημέρωση εταιρίας για τυχόν αποκλίσεις, παρατηρήσεις.

Θ. Θραύση δοκιμίων στο εργαστήριο (7 ημερών, 28 ημερών)

- Σκυρόδεμα αποδεκτό, φύλαξη πιστοποιητικού στο φάκελλο «πιστοποιητικά αντοχής σκυροδέματος» του έργου (§ 15.16 ΚΤΣ)
- Σκυρόδεμα μη αποδεκτό, διαδικασία επανελέγχων (εντατική συντήρηση 14-28 ημέρες, καρότα (§ 13.7 ΚΤΣ).

Ι. Οικονομική τακτοποίηση

- Οικονομική τακτοποίηση του έργου, τιμολόγια εταιρίας
- Οριστικοποίηση αποκλίσεων έκδοση πιστοποιητικών

Μετά τον χρήσιμο, όπως ελπίζουμε, οδηγό-δεκάλογο των ενεργειών που πρέπει να κάνει ένας Καταναλωτής Έτοιμου Εργοστασιακού Σκυροδέματος θα επιχειρήσουμε ένα συνοπτικό, αλλά πολύ περιεκτικό κατάλογο όλων των *Μεθόδων Ελέγχου Σκυροδέματος*.

Στον κατάλογο αυτό θα αναγράφεται το είδος του ελέγχου, η περιγραφή του, ο σκοπός του συγκεκριμένου ελέγχου, τα Πρότυπα και οι Οδηγίες, στις οποίες βασίζεται και ο τόπος της εφαρμογής .

2. Μέθοδοι ελέγχου σκυροδέματος

2.1. Οπτικός έλεγχος

Με τον οπτικό έλεγχο εντοπίζονται και καταγράφονται οι φθορές, οι βλάβες που υπάρχουν σε ένα υφιστάμενο κτίριο

Ο έλεγχος συνίσταται στην καταγραφή επάνω σε σχέδια ή σκαριφήματα των εξής στοιχείων :

- ρωγμών (θέση και εύρος)
- διαβρωμένων οπλισμών
- προβλημάτων υγρασίας ανερχόμενης ή κατερχόμενης
- αστοχιών και φθορών σε σκυρόδεμα και χάλυβα, όπως φωλιές αποθέσεις αλάτων, δημιουργία μικροσταλακτητών, απολεπίσεις, αποφλοιώσεις, άτακτη ρηγμάτωση, απόσπαση τεμαχίων, εκτινάξεις, ίχνη-κηλίδες σκουριάς, χρωστικές αλλοιώσεις, απογυμνωμένοι οπλισμοί, θραυσμένοι οπλισμοί, κατάσταση τενόντων προέντασης.
- Οι οδηγίες και τα Πρότυπα που εφαρμόζονται είναι : το ACI-201.1R, ACI-207.3R, ACI- 224.1R, ACI-326.R.
- Οι οπτικοί έλεγχοι γίνονται, προφανώς, επί τόπου του έργου.

2.2. Πυρηνοληψία

Είναι η καταστροφική μέθοδος, που βασίζεται στη διάτρηση και αποκοπή κυλινδρικού δοκιμίου.

- Με την πυρηνοληψία επιδιώκεται ο προσδιορισμός :
 - της αντοχής σε θλίψη
 - της αντοχής σε εφελκυσμό από κάμψη
 - του μέτρου ελαστικότητας
 - του λόγου poisson
 - της υγρασίας του δοκιμίου
 - της υδατοαπορροφητικότητας
 - του πορώδους
 - της μάζας
 - του φαινομένου βάρους
 - της αποτελεσματικότητας επεμβάσεων (πληρότητα ενέσεων κόλλας ή ενεμάτων).
- Τα πρότυπα και οι κανονισμοί που τη διέπουν είναι : ο ΚΤΣ-97, η Εγκύκλιος Ε-7, ΕΛΟΤ 344, DIN 52105, DIN 52112, ISO/7034, BSI-6089, ASTM C42.
- Η πυρηνοληψία εφαρμόζεται επί τόπου και ο έλεγχος γίνεται στο εργαστήριο.

2.3. Μέθοδοι Τασικών Κυμάτων - Υπέρηχοι

Είναι έμμεσες μέθοδοι, μη καταστροφικές, που βασίζονται στη διάδοση τασικών κυμάτων δια μέσου του υλικού ή την αντήχηση (υπερηχητικών ή κρουστικών κυμάτων). Με τη μέθοδο αυτή γίνεται μέτρηση του χρόνου διάδοσης των υπερήχων δια μέσου τμήματος του σκυροδέματος γνωστού πάχους. Παραλλαγή της μεθόδου είναι η αντανάκλαση σε ελεύθερη επιφάνεια ή ρωγμή (εκτενέστερη αναφορά γίνεται σε ιδιαίτερο κεφάλαιο).

- Με τη μέθοδο επιδιώκεται :
 - Η μέτρηση της σχετικής κατάστασης του σκυροδέματος και της τοιχοποιίας με βάση την ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων.
 - Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής του στοιχείου, ύστερα από κατάλληλη βαθμονόμηση
 - Ο εντοπισμός κοιλοτήτων στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων
 - Η εκτίμηση του βάθους επιφανειακών ρωγμών
 - Ο προσδιορισμός της ομοιομορφίας του υλικού
 - Η αποτίμηση του βάθους του στρώματος του δομικού στοιχείου που έχει υποστεί φθορά.
- Τα πρότυπα και οι κανονισμοί που διέπουν τη μέθοδο είναι : ISO 8047, ASTM-C597, RILEM – NDT, BSI – 1881/203
- Η μέθοδος πραγματοποιείται και επί τόπου και εργαστηριακά

2.4. Η μέθοδος του κρουσιμέτρου

Είναι έμμεση μέθοδος μη καταστροφική, η οποία βασίζεται στη μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας του σκυροδέματος, λίθων ή κονιάματος.

- Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται :
 - ο έμμεσος προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, λίθων ή κονιάματος
 - ο έλεγχος της ομοιομορφίας
 - ο έλεγχος της επιφανειακής σκληρότητας και ομοιογένειας υλικών δόμησης και κυρίως του σκυροδέματος
- Οι κανονισμοί και τα πρότυπα είναι : ASTM-C805, RILEM-NDT3, BSI-1881/202, I SO – DIS 8145
- έλεγχος γίνεται τόσο επί τόπου, όσο και εργαστηριακά

2.5. Κρουστικές μέθοδοι

Είναι έμμεσες μέθοδοι, οι οποίες βασίζονται στην ανάλυση συχνότητων των παλμών κατά τη διάδοσή τους δια μέσου του σκυροδέματος.

- Με την μέθοδο αυτή πραγματοποιούμε:
 - προσδιορισμό κακοτεχνιών στο εσωτερικό των στοιχείων από σκυρόδεμα
 - εκτίμηση του πάχους επιφανειακών στοιχείων και του μήκους γραμμικών στοιχείων (πασσάλων)
- Πρότυπα – κανονισμοί : ASTM – D 4580, ASTM – C1383
- Ο έλεγχος γίνεται επί τόπου και εργαστηριακά.

2.6. Εξόλκευση ήλου

Είναι έμμεση μέθοδος, που βασίζεται στη μέτρηση της δύναμης εξόλκευσης ειδικού ήλου, ο οποίος εμπήγνυται κρουστικά στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου (σκυροδέματος, κονιάματος ή ξύλου).

- Με τη μέθοδο αυτή επιδιώκεται :
 - ο προσδιορισμός της αντοχής του σκυροδέματος, μέσω κατάλληλης βαθμονόμησης
 - ο έλεγχος της ομοιομορφίας του σκυροδέματος
 - ο έλεγχος γίνεται επί τόπου και εργαστηριακά

2.7. Ραδιογραφική μέθοδος

Είναι μία μη καταστροφική μέθοδος, η οποία βασίζεται στην προσβολή της ελεγχόμενης επιφάνειας μη ηλεκτρομαγνητική

ακτινοβολία που διέρχεται δια μέσου της μάζας του σκυροδέματος του δομικού στοιχείου.

- Επιδιώκεται :
 - η μέτρηση της πυκνότητας του σκυροδέματος
 - ο εντοπισμός οπλισμών και κενών-σπηλαιώσεων στη μάζα του σκυροδέματος
- Διέπεται από τους κανονισμούς : BS – 1881/205, ASTM-C1040
- Εφαρμόζεται μόνο στο εργοτάξιο

2.8. Μαγνητικές μέθοδοι

Είναι μη καταστροφικές μέθοδοι, οι οποίες βασίζονται στη μεταβολή του μαγνητικού πεδίου από την παρουσία του χάλυβα σε δομικό στοιχείο.

- Επιδιώκεται :
 - ο προσδιορισμός της θέσης του χάλυβα
 - η εκτίμηση της διαμέτρου του οπλισμού
 - η επικάλυψη του οπλισμού
- Διέπεται από τους κανονισμούς : BS-1881/204
- Εφαρμόζεται στο εργοτάξιο αλλά και στο εργαστήριο

2.9. Ηλεκτρικές μέθοδοι

Είναι μη καταστροφικές μέθοδοι, οι οποίες βασίζονται στη μεταβολή του δυναμικού ή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος.

- Επιδιώκεται :
 - ο έλεγχος πιθανότητας διάβρωσης του σιδηροπλισμού και όχι της ταχύτητας διάβρωσης
- Διέπεται από τους κανονισμούς : ACI-222 R-85, ASTM-C876-87
- Εφαρμόζεται στο εργοτάξιο και στο εργαστήριο.

2.10. Διαπερατότητα

Είναι μη καταστροφική μέθοδος (όταν εφαρμόζεται επί τόπου του Έργου) και ημικαταστροφική (όταν εφαρμόζεται στο εργαστήριο). Η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της ροής ρευστού (αέρα ή νερού) δια μέσου του σκυροδέματος, υπό δεδομένες συνθήκες.

- Επιδιώκεται :
 - η σύγκριση σκυροδεμάτων με διάφορες συνθέσεις
 - ο έλεγχος ωρίμανσης του σκυροδέματος
- Εφαρμόζεται στο εργοτάξιο και στο εργαστήριο

2.11. Υπέρυθρη φωτογράφιση

Είναι μία μη καταστροφική μέθοδος που βασίζεται στη μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας δια μέσου δομικού στοιχείου (σκυροδέμα-

τος, χάλυβα, τοιχοποιίας, ξύλου) παρουσία ελαττωμάτων, φθορών ή διαφορετικών υλικών.

- Επιδιώκεται :
 - ο έλεγχος των ρωγμών και αποφλοιώσεων σε δάπεδα και καταστρώματα γεφυρών.
 - ο έλεγχος υγρασίας σε κτίρια
 - ο έλεγχος ιστορικών κτιρίων
 - ο εντοπισμός διαφορετικών υλικών
- Διέπεται από τους κανονισμούς : ASTM-D4788
- Εφαρμόζεται στο εργοτάξιο και στο εργαστήριο

2.12. Ραντάρ

Είναι μη καταστροφική μέθοδος, η οποία βασίζεται στη μελέτη της ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, καθώς διέρχονται από υλικά με διαφορετικές διηλεκτρικές σταθερές.

- Επιδιώκεται :
 - ο προσδιορισμός μεταλλικών αντικειμένων και κενών σε δάπεδα
 - ο εντοπισμός περιοχών με αυξημένη υγρασία
 - η εκτίμηση του πάχους των στοιχείων
- Διέπεται από τους κανονισμούς : ASTM-D4748
- Εφαρμόζεται μόνο στο εργοτάξιο, επί τόπου

2.13. Ενανθράκωση

Είναι ημικαταστροφική μέθοδος, η οποία βασίζεται στη μεταβολή του pH του σκυροδέματος δομικού στοιχείου από την παρουσία διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).

- Με τη μέθοδο αυτή ψεκάζεται διάλυμα φαινολοφθαλείνης σε φρεσκοθραυσμένες ή φρεσκοκομμένες επιφάνειες σκυροδέματος. Προσδιορίζεται το βάθος ενανθράκωσης, το οποίο επηρεάζει την παθητική προστασία του χάλυβα και τις ενδείξεις του κρουσιμέτρου.
- Εφαρμόζεται στο εργοτάξιο

2.14. Ενδοσκόπηση

Είναι μη καταστροφική μέθοδος, με την οποία μπορεί να ελεγχθεί και φωτογραφηθεί η κατάσταση της μάζας δομικού στοιχείου, αφού προηγηθεί μικρή διάτρηση.

- Διανοίγεται μικρή οπή 10-15 mm, εισάγεται ο σωλήνας του ενδοσκοπίου, ελέγχεται ή και φωτογραφίζεται το εσωτερικό ή η παράπλευρη επιφάνεια της διάτρησης για :

- τον εντοπισμό κοιλοτήτων, κενών, φωλεών σε σκυρόδεμα ή τοιχοποιία,
- η κατάσταση του οπλισμού εάν έχει υποστεί διάβρωση, κυρίως προεντεταμένων στοιχείων,
- η κατάσταση και πληρότητα τυχόν ενέσεων κόλλας ή ενεμάτων,
- Εφαρμόζεται επί τόπου στο εργοτάξιο.

2.15. Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων

Είναι μη καταστροφικές μέθοδοι, με τις οποίες μετριοούνται και παρακολουθούνται οι παραμορφώσεις σε δοκιμές που γίνονται στο εργαστήριο ή επί τόπου του έργου. Ο έλεγχος και η μέτρηση γίνεται με μηκυσιόμετρα.

- Επιδιώκεται :
 - η παρακολούθηση και καταγραφή μακροχρόνιων παραμορφώσεων
 - η παρακολούθηση και καταγραφή παραμορφώσεων που προέρχονται από παροδικά φορτία
- Εφαρμόζεται και στο εργοτάξιο και στο εργαστήριο

2.16. Δοκιμαστικές φορτίσεις

Είναι μη καταστροφικές μέθοδοι με τις οποίες γίνεται πειραματικός έλεγχος της φέρουσας ικανότητας ή των δυναμικών χαρακτηριστικών, δηλαδή απόσβεση και ιδιοπερίοδος μιας κατασκευής καθώς και παρακολούθηση της παραμόρφωσης των υλικών. Υπάρχουν δύο μέθοδοι ως ακολούθως :

- 1) **Η Στατική Μέθοδος** με την οποία γίνεται :
 - έλεγχος της φέρουσας ικανότητας
 - ο έλεγχος παραμορφώσεων υλικών και δομικών στοιχείων, από τα οποία κατασκευάζονται διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης ή φορτίου-παραμόρφωσης
 - ο υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας
- 2) **Η Δυναμική Φόρτιση** με την οποία γίνεται :
 - ο προσδιορισμός δυναμικών χαρακτηριστικών
 - η μέτρηση των παραμορφώσεων

► Διέπεται από τους κανονισμούς: ACI 437, ACI 318

- ▶ Εφαρμόζεται μόνο επί τόπου στο εργοτάξιο

2.17. Δοκιμές χάλυβα

Είναι ημικαταστροφικές δοκιμές, οι οποίες γίνονται στο χάλυβα (σιδηροπλισμό ή μορφοσίδηρο) για τον έλεγχο, αφ' ενός των μηχανικών χαρακτηριστικών, αφ' ετέρου της χημικής σύστασης και διάβρωσης.

- Επιδιώκεται ο έλεγχος :
 - του ορίου διαρροής
 - του ορίου θραύσεως
 - της παραμόρφωσης θραύσης
 - της δοκιμής κάμψης-ανάκαμψης, αναδίπλωσης (μόνο για χάλυβες οπλισμένου σκυροδέματος)
 - της χημικής σύστασης
 - της διάβρωσης
- Διέπεται από τους κανονισμούς : ΕΛΟΤ 1045, ΕΛΟΤ 959, ΕΛΟΤ 971, ENV 10080, DIN 488, EU80-85, DIN 50905
- Εφαρμόζονται και στο εργοτάξιο και στο εργαστήριο.

2.18. Χημικές αναλύσεις

Είναι ημικαταστροφικές δοκιμές, με τις οποίες, σε δείγματα που προσκομίζονται στο εργαστήριο, γίνεται χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό της σύνθεσης.

- Επιδιώκεται :
 - α) η ανίχνευση σε κονιάματα:
 - του διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2)
 - του τριοξειδίου του θείου (SO_3)
 - του οξειδίου του αργιλίου και σιδήρου ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$)
 - του οξειδίου του ασβεστίου (CaO)
 - του οξειδίου του μαγνησίου (MgO)
 - του οξειδίου του νατρίου (Na_2O) και
 - του οξειδίου του καλίου (K_2O)
 - β) η ανίχνευση στο σκυρόδεμα του ποσοστού των χλωριόντων κατά βάρος τσιμέντου,
 - γ) η ανίχνευση στον χάλυβα του άνθρακα (C), του Μαγγανίου (Mn), του πυριτίου (Si) και του βολφραμίου (V).

- Διέπεται από τους κανονισμούς : ASTM – C1218, ASTM – C1202, ASTM – C1152.
- Εφαρμόζονται τόσο στο εργοτάξιο, όσο και στο εργαστήριο.

Σημείωση 1η

Ως έμμεσες μη καταστροφικές μέθοδοι χαρακτηρίζονται αυτές οι οποίες εφαρμόζονται με μηδενική επέμβαση στην κατασκευή, ενώ ως ημικαταστροφικές εκείνες οι μέθοδοι, των οποίων η εφαρμογή απαιτεί την αποκοπή μικρών τεμαχίων από φέροντα στοιχεία της κατασκευής.

Σημείωση 2η

Περί των μη καταστροφικών μεθόδων αναφερόμαστε αναλυτικότερα Σε άλλο κεφάλαιο.

3. Οδηγίες εκτελέσεων της Δοκιμής Καθίσεως (Slump test)

Για την εκτέλεση της δοκιμής κάθισης του σκυροδέματος ισχύουν οι διατάξεις του άρθρου 8.6 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ) και η Μέθοδος Ελέγχου ΣΚ-309 του ΥΠΕΧΩΔΕ.

Ειδικότερα προβλέπονται τα ακόλουθα:

- ♦ Η κάθιση μετρείται προ της διάστρωσης σε δείγμα που λαμβάνεται μετά την εκφόρτωση του 1/3 περίπου του περιεχομένου του αυτοκινήτου αναμικτήρα (βαρέλας). Η τιμή της καθίσεως θα προκύψει ως ο μέσος όρος των μετρήσεων δύο δοκιμών από το ίδιο δείγμα. Η τιμή αυτή δεν πρέπει να διαφέρει από την κάθιση της Μελέτης Συνθέσεως περισσότερο από το 1/4 της τιμής. Η κάθιση του έτοιμου εργοστασιακού σκυροδέματος πρέπει να βρίσκεται μέσα στα όρια της κατηγορίας καθίσεως του Πίνακα 12.1.1.16 του (ΚΤΣ) που παρατίθεται κατωτέρω:

Πίνακας 12.1.1.16 Κατηγορίες καθίσεως

Κατηγορία	Κάθιση σε mm
S ₁	10 - 40
S ₂	50 - 90
S ₃	100 - 150
S ₄	≥ 160

Αν η τιμή που μετρήθηκε βρίσκεται έξω από αυτά τα όρια γίνονται ακόμη δύο δοκιμές σε νέο δείγμα και υπολογίζεται ο μέσος όρος των τεσσάρων μετρήσεων. Οι τέσσαρες μετρήσεις πρέπει να γίνουν σε διάστημα 15 mm.

Ο παραγγέλλον το έτοιμο σκυρόδεμα (Επιβλέπων, Υπηρεσία, Ιδιοκτήτης σε συνεργασία με τον Μελετητή ή τον Επιβλέποντα) πρέπει εκτός της κατηγορίας και της ποσότητας να προδιαγράφει την κατηγορία της κάθισης, την ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου, το μέγιστο λόγο N/T και τη θέση της κοκκομετρικής γραμμής του μίγματος για τα σκυροδέματα με ειδικές απαιτήσεις, επίσης τη μορφή των δοκιμίων ελέγχου (κυβικά ή κυλινδρικά) και όλα αυτά θα γράφονται στο δελτίο αποστολής.

♦ Για τη μέτρηση της καθίσεως χρησιμοποιούνται :

α) **κώνος καθίσεως**, που είναι μεταλλική μήτρα σχήματος κώνου με διαμέτρους $D = 200 \pm 2$ mm (κάτω βάση) και $d = 100 \pm 2$ mm (άνω βάση) και ύψους $H = 300 \pm 2$ mm, δηλαδή περιεκτικότητα $0,0055 \text{ m}^3$ ή 5,5 κυβ.παλάμες. Οι δύο βάσεις είναι ανοικτές και κάθετες στον άξονα του κώνου. Η μήτρα έχει δύο χειρολαβές στα $2/3$ του ύψους από την κάτω βάση (μεγάλη) και δύο πτερύγια στήριξης. Το μέταλλο πρέπει να είναι απρόσβλητο από το σκυρόδεμα, η εσωτερική επιφάνεια λεία, χωρίς ανωμαλίες και το πάχος του τοιχώματος τουλάχιστον 1,5 mm.

β) Η χαλύβδινη **ράβδος συμπυκνώσεως**, είναι ευθύγραμμη, μήκους 60 cm, κυκλικής διατομής $\Phi 16$ mm με στρογγυλεμένα άκρα.

- Ο κώνος κάθισης τοποθετείται πάνω σε επίπεδη άκαμπτη επιφάνεια μη απορροφητική, που έχει προηγουμένως διαβραχεί.
- Ο κώνος γεμίζει με τη σέσουλα (όχι με μυστρί) σε τρεις στρώσεις ίσου ύψους. Ο κώνος διατηρείται ακίνητος κατά τη διάρκεια του γεμίσματος.
- Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 κτυπήματα της ράβδου συμπυκνώσεως, που κατανέμονται κατά το δυνατόν ομοιόμορφα στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Οι λεπτομέρειες των ενεργειών καθορίζονται στη μέθοδο ελέγχου ΣΚ-309 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.
- Μετά τη συμπύκνωση και της ανώτερης στρώσης, αφαιρείται το πλεονάζον σκυρόδεμα και επιπεδώνεται η άνω επιφάνειά του με παλινδρομική κίνηση της ράβδου συμπυκνώσεως στα χείλη του κώνου.
- Αμέσως μετά το γέμισμα του κώνου και τη συμπύκνωση του σκυροδέματος, καθαρίζεται η περιοχή γύρω από τη βάση του και ο κώνος ανασύρεται αργά, από τις πλευρικές χειρολαβές. Η

ανάσχυση πρέπει να γίνεται ομαλά, με σταθερή ταχύτητα και κατακόρυφη προς τα άνω κίνηση, χωρίς στροφή και τραντάγματα και να ολοκληρώνεται μέσα σε 5-10 sec. Ολόκληρη η διαδικασία της δοκιμής, από την έναρξη του γεμίματος μέχρι την αφαίρεση του κώνου, πρέπει να ολοκληρωθεί σε χρόνο μικρότερο των 150sec.

- Η διαφορά ανάμεσα στο ύψος του κώνου και του υψηλότερου σημείου του σκυροδέματος, που ελευθερωμένο πλέον από το μεταλλικό περίβλημα «κάθισε» μετριέται με προσέγγιση 5mm, εκφράζεται σε ακέραια εκατοστά του μέτρου και αποτελεί την κάθιση του σκυροδέματος, που ελέγχεται.
- Αν η κάθιση είναι μικρότερη από 10 mm, το σκυρόδεμα είναι τόσο υφυγρό, ώστε η μέθοδος ελέγχου να μην είναι κατάλληλη, τότε απαιτείται η δοκιμή Vebe. Αν διαπιστωθεί κατάρρευση του σκυροδέματος από διάτμηση (κατάρρευση τμήματος του κώνου κατά μήκος κεκλιμένου επιπέδου), η μέτρηση δεν λαμβάνεται υπόψη, η δοκιμή πρέπει να επαναληφθεί σε νέο τμήμα του δείγματος. Αν και η δεύτερη δοκιμή δείξει την ίδια συμπεριφορά δοκιμίου, θεωρείται ότι το σκυρόδεμα δεν έχει την αναγκαία πλαστικότητα και συνοχή για την εφαρμογή της δοκιμής καθίσεως.

4. Οδηγίες λήψεως δοκιμίων σκυροδέματος

Για την παρασκευή των δοκιμίων σκυροδέματος του έργου, ισχύουν οι διατάξεις του άρθρου 13 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος – 97 (ΦΕΚ 315/Β/17-4-97) και των Προδιαγραφών ΣΚ-303 και ΣΚ-350 του Υπουργείου Δημοσίων Έργων.

Ως γνωστόν από τότε που καθιερώθηκαν οι νέες κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος, επεβλήθησαν δύο είδη δοκιμίων, τα **κυβικά** και τα **κυλινδρικά**. Τα **κυβικά δοκίμια** έχουν διαστάσεις 15x15x15 cm και χρησιμοποιούνται όταν ορίζεται η κατηγορία αντοχής σκυροδέματος από τον δεύτερο αριθμό π.χ. για την κατηγορία C 16/20, από το $f_{ck} = 20$ MPa. Τα **κυλινδρικά δοκίμια** έχουν διαστάσεις : διάμετρο D=15 cm και ύψος H=30 cm και χρησιμοποιούνται όταν ορίζεται κατηγορία αντοχής σκυροδέματος από τον πρώτο αριθμό π.χ. για την κατηγορία C 16/20, από το $f_{ck} = 16$ MPa.

Εν προκειμένω θα ασχοληθούμε κυρίως με τα **κυβικά δοκίμια**, που σχεδόν αποκλειστικά εφαρμόζονται στην καθημερινή πράξη.

♦ Ο αριθμός των δοκιμίων για κάθε σκυροδέτηση είναι έξη (6), ένα από κάθε βαρέλα για ποσότητα μέχρι 150 m³ και δώδεκα (12) για ποσότητα άνω των 150 m³.

- ◆ Το σκυρόδεμα, με το οποίο γεμίζουμε τα δοκίμια δεν πρέπει να είναι, ούτε από τα πρώτα 15-20% της ποσότητας της βαρέλας, ούτε από τα τελευταία 15-20%. Αν χρησιμοποιηθεί υπερρευστοποιητικό η λήψη του δοκιμίου θα γίνεται μετά την ανάμιξή του.
- ◆ Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της λήψης του σκυροδέματος και της παρασκευής του δοκιμίου δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 15 λεπτά της ώρας.
- ◆ Οι μήτρες πριν από τη χρήση τους πρέπει να έχουν λαδωθεί ελαφρά με ορυκτέλαιο.
- ◆ Για κάθιση σκυροδέματος μέχρι 50 mm, η συμπύκνωση γίνεται με δονητή αμέσως μετά το πλήρες γέμισμα της μήτρας. Για μεγαλύτερη κάθιση γίνεται με τη ράβδο συμπύκνωσης.
- ◆ Στη δεύτερη περίπτωση της ράβδου, κάθε μήτρα γεμίζεται με τη σέσουλα (όχι με το μυστρί, γιατί διαφεύγει το λεπτό υλικό), σε δύο στρώσεις, από μισή ποσότητα κάθε φορά και κάθε στρώση συμπυκνώνεται ξεχωριστά. Η συμπύκνωση κάθε στρώσης απαιτεί 25 χτυπήματα με την σχετική ράβδο.
- ◆ Η ράβδος συμπύκνωσης είναι Φ16, μήκους 60 cm με στρογγυλεμένα άκρα. Κατά τη συμπύκνωση της πρώτης στρώσης η ράβδος εισέρχεται μέχρι τον πυθμένα της μήτρας. Η συμπύκνωση γίνεται αμέσως μετά την τοποθέτηση του σκυροδέματος στη μήτρα και χωρίς διακοπή μεταξύ 1^{ης} και 2^{ης} στρώσης. Μετά τη συμπύκνωση επιπεδώνεται η τελική επιφάνεια και αριθμείται το δοκίμιο.
- ◆ Τα δοκίμια πρέπει να παραμένουν στη σκιά, μέσα στις μήτρες χωρίς δονήσεις, χτυπήματα τουλάχιστον για 20 ώρες και όχι περισσότερο από 32 ώρες.
- ◆ Μετά την αφαίρεσή τους από τις μήτρες τα δοκίμια μεταφέρονται χωρίς καθυστέρηση στο δημόσιο ή σε αναγνωρισμένο ιδιωτικό εργαστήριο για συντήρηση σε υγρό θάλαμο, όπου επικρατεί θερμοκρασία $20^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ και σχετική υγρασία 90%. Μόλις συμπληρωθούν 28 ημέρες από τη λήψη τους θα θραυστούν (σύμφωνα με την προδιαγραφή ΣΚ-304). Σε περίπτωση που προβλέπεται σημαντική καθυστέρηση παράδοσης στο εργαστήριο, τα δοκίμια πρέπει να διατηρηθούν συσκευασμένα μέσα σε υγρή άμμο, πριονίδια κλπ. για τη διατήρηση της υγρασίας τους. Κρούσεις και δονήσεις κατά τη μεταφορά και αποκλίσεις από τη θερμοκρασία συντήρησης (20°C), πρέπει να αποφεύγονται.
- ◆ Για κάθε δοκίμιο πρέπει να αναγράφεται ο αριθμός του δελτίου αποστολής και ο αριθμός κυκλοφορίας του αυτοκινήτου και η ώρα λήψης του.

3.12 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ (Non Destructive Testing)

1. Εισαγωγή

Το σκυρόδεμα, ως γνωστόν, είναι ένα τεχνητό σύνθετο υλικό, που κατασκευάζεται από αδρανή υλικά, τσιμέντο και νερό σε κατάλληλες αναλογίες. Με την κατάλληλη επεξεργασία αυτών των υλικών κατασκευάζονται δομικά στοιχεία, των οποίων η αντοχή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η απόμειξη, η συμπίκνωση, η συντήρηση, η ηλικία, το είδος του δομικού στοιχείου, οι περιβαλλοντικές δράσεις, κλπ.

Η ποιότητα του σκυροδέματος καθορίζεται κυρίως από την αντοχή του μέσω της καταστροφικής δοκιμής της θλίψεως κυλινδρικών ή κυβικών δοκιμίων ηλικίας 28 ημερών.

Εκτός των παραδοσιακών καταστροφικών μεθόδων ελέγχου της ποιότητας του σκυροδέματος, εσχάτως χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ή επικουρικά και οι λεγόμενες μη καταστροφικές μέθοδοι (ΜΚΜ) ελέγχου σκυροδέματος.

Με τις ΜΚΜ είναι δυνατόν να προσδιοριστούν η πυκνότητα, η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας, η επιφανειακή σκληρότητα, καθώς και η θέση του οπλισμού, οι ρωγμές και τα κενά, που πιθανόν να υπάρχουν στο σκυρόδεμα, του υπό έλεγχο δομικού στοιχείου. Οι κυριότερες ΜΚΜ είναι: η μέθοδος των υπερήχων, της βιομηχανικής ακτινογραφίας (ακτίνες χ ή γ), της ακουστικής εκπομπής, η κρουστική μέθοδος (κρουσίμετρο Schmidt), η μέθοδος εξόλκευσης ήλου, κλπ.

Με τη χρήση των ΜΚΜ είναι δυνατός ο επί τόπου έλεγχος μιας κατασκευής, ακόμη και όταν αυτή βρίσκεται σε λειτουργία χωρίς να απαιτείται η λήψη πυρήνων (καρότων) από αυτήν.

Οι ΜΚΜ έχουν μεγάλα πλεονεκτήματα, καθώς παρέχουν την δυνατότητα του ελέγχου κατασκευών από σκυρόδεμα, που έχουν υποστεί βλάβες από διάφορες αιτίες όπως σεισμούς, πυρκαγιά ή κόπωση, κατά τρόπον άμεσο, ταχύ, ασφαλή, αξιόπιστο και ακίνδυνο. Οι ΜΚΜ ελέγχου του σκυροδέματος εφαρμόζονται τόσο σε νέες όσο και σε παλαιές κατασκευές για τον ποιοτικό έλεγχο προκατασκευασμένων στοιχείων ή επί τόπου σε μια κατασκευή για τον προσδιορισμό των χρησιμοποιηθέντων υλικών, των συνθηκών επεξεργασίας του σκυροδέματος, των συνθηκών συντήρησής του, της εξέλιξης της αντοχής του κλπ. Επίσης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του μεγέθους και της θέσης ρωγμών, κενών κλπ. που πιθανόν υπάρχουν στη μάζα του σκυροδέματος, καθώς επίσης και της θέσης της ποσότητας και της κατάστασης των οπλισμών. Χρησιμοποιούνται επίσης για τον προσδιορισμό της ομοιογένειας του σκυροδέματος πριν την εφαρμογή

άλλων μεθόδων, καθώς και τον έλεγχο των κατασκευών όταν πρόκειται να δεχθούν αυξημένα φορτία, όπως προσθήκη ορόφου, μεταβολή ορίων φορτίων διέλευσης γέφυρας, κλπ.

Σχηματικά στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι ΜΚΜΕ σκυροδέματος με τις ιδιότητές τους και τον επιδιωκόμενο σκοπό.

Σημαντικότερες μέθοδοι μη καταστροφικού ελέγχου σκυροδέματος

Κατηγορία	Μέθοδος	Μετρούμενη ιδιότητα	Βασικές εφαρμογές Ελεγχoi
Μέθοδοι που μετρούν τις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος	- Κρουσίμετρο αναπήδησης - Κρουσίμετρο ουλής	Επιφανειακή σκληρότητα	- Ποιοτικός - Εξέλιξη αντοχής - Επίδρασης φθοροποιών παραγόντων
	Μηκυσιόμετρα ακουστική εκπομπή	Παραμορφώσεις	- Ομοιογένειας - Διαδικασίας παρασκευής - Εξέλιξης αντοχής
Μέθοδοι που μετρούν τις φυσικές ιδιότητες του σκυροδέματος	Μέθοδος συντονισμού	Ιδιοσυχνότητα, ικανότητα απόσβεσης	- Ποιοτικός
	Υπέρηχοι	Ταχύτητα διάδοσης κυμάτων	- Ποιοτικός - Ομοιογένειας - Διαδικασίες κατασκευής - Διαδικασίες παρασκευής - Εξέλιξης αντοχής - Ελαστικές σταθερές
	Ατομικές μέθοδοι (ακτινογραφίες, κλπ)	Απορρόφηση ακτίνων γ, νετρονίων, ακτινογραφίες	- Διαδικασίες παρασκευής
	Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι	Ανίχνευση οπλισμών, προσδιορισμός υγρασίας	- Ομοιογένειας - Διαδικασίας παρασκευής
	Μέτρηση της ωρίμανσης, θερμογραφία	Μεταβολή θερμοκρασίας	- Εξέλιξη αντοχής - Διαδικασίας κατασκευής
Μέθοδοι που προκαλούν τοπική καταστροφή του ιστού του σκυροδέματος	Ελληνική μέθοδος	Αντίσταση στην εξόλκευση ήλου	- Ποιοτικός
	Αμερικανική μέθοδος	Αντίσταση στη διείσδυση βελόνας	- Διαδικασίας κατασκευής
	Ολλανδική μέθοδος	Αντίσταση στην εξόλκευση βήσματος	- Ομοιογένειας
	Ρωσική μέθοδος	Εκτόξευση βλήματος	

2. Η μέθοδος των υπερήχων

Η ΜΚΜ των υπερήχων εφαρμόζεται κυρίως, μέσω του υπολογισμού της ταχύτητας διάδοσης των διαμήκων C_l και εγκάρσιων C_t υπερηχητικών κυμάτων, για τον έμμεσο προσδιορισμό της τάσης θραύσεως, τον έλεγχο της ομοιογένειας, τον έλεγχο των αλλαγών που παρατηρούνται με την πάροδο του χρόνου στις ιδιότητες του σκυροδέματος, τον προσδιορισμό των δυναμικών μέτρων ελαστικότητας E' , G' και τον λόγο του Poisson ν' δια των σχέσεων:

$$E' = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \cdot p \cdot c_l^2 \quad G' = \rho c_t^2 \quad \nu' = \frac{(C_l/C_t)^2 - 2}{2[(C_l/C_t)^2 - 1]}$$

Επίσης γίνεται ο έλεγχος ύπαρξης ρωγμών, πόρων ή άλλων ανωμαλιών στο εσωτερικό της μάζας του σκυροδέματος και ο προσδιορισμός της θέσης και των διαστάσεων του σπλισμού. Από διάφορους ερευνητές έχει εκτιμηθεί η σχέση μεταξύ της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και της ταχύτητας των υπερήχων και έχουν εκπονηθεί σχετικά νομογραφήματα. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα των υπερήχων στο σκυροδέμα και κατά συνέπεια την σχέση μεταξύ αντοχής και ταχύτητας των υπερηχητικών κυμάτων είναι η ηλικία του σκυροδέματος, η περιεκτικότητα σε αέρα, ο λόγος αδρανών προς τσιμέντο, ο τύπος του τσιμέντου, η θερμοκρασία και τέλος το είδος και τα μεγέθη των αδρανών.

3. Η μέθοδος της βιομηχανικής ακτινογραφίας

Με την ΜΚΜ της βιομηχανικής ακτινογραφίας φωτογραφίζεται το εσωτερικό του σκυροδέματος και έτσι αναγνωρίζονται διαφορές της πυκνότητας του σκυροδέματος.

Η ακτινογραφία λαμβάνεται σε ειδικό φίλμ τοποθετημένο στην πίσω επιφάνεια του σκυροδέματος, ενώ μια δέσμη ακτίνων γ ή χ υψηλής ενέργειας εισέρχεται από την μπροστινή πλευρά.

Με τον τρόπο αυτό η παρουσία υλικών υψηλής πυκνότητας όπως ο χαλύβδινος σπλισμός, ή περιοχές χαμηλής πυκνότητας, όπως κενά, ρωγμές, φυσαλίδες, πόροι κλπ. προκαλούν διαφορές στην αμαύρωση του φίλμ.

Με την μέθοδο αυτή προκύπτει, αμεσότερα από κάθε άλλη, η εικόνα του εσωτερικού ενός στοιχείου σκυροδέματος, αλλά απαιτεί σοβαρά μέτρα ακτινοπροστασίας λόγω της χρήσεως των ακτίνων γ και χ και είναι υψηλού κόστους.

Με την ακτινογραφία μπορούν να προσδιορισθούν με αρκετή ακρίβεια η θέση και η διάμετρος των οπλισμών, η ύπαρξη κοιλοτήτων και άλλων ανωμαλιών μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, αλλά τα αποτελέσματά της δεν μπορούν να συσχετιστούν έμμεσα με την αντοχή ή τον υπολογισμό άλλων μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος.

4. Η μέθοδος της ακουστικής εκπομπής

Η ΜΚΜ της ακουστικής εκπομπής αναφέρεται στην ανίχνευση και αξιολόγηση των ελαστικών κυμάτων, που εκπέμπονται κατά την μακροθραύση ή μικροθραύση που παρατηρείται στο εσωτερικό φορτιζομένων σωμάτων, άρα και του σκυροδέματος και στην συνέχεια καταγράφονται και αξιολογούνται από την κατάλληλη συσκευή της ακουστικής εκπομπής. Τα σήματα συλλαμβάνονται από κατάλληλους αισθητήρες, που έχουν τοποθετηθεί επάνω στο στοιχείο σκυροδέματος και στη συνέχεια καταγράφονται και αξιολογούνται από την κατάλληλη συσκευή της ακουστικής εκπομπής.

Γενικά όσο οι τάσεις αυξάνονται σε ένα στοιχείο σκυροδέματος και πλησιάζει τη θραύση του, τόσο τα σήματα αυτά γίνονται εντονότερα και περισσότερα.

Η μέθοδος πλεονεκτεί έναντι των άλλων ΜΚΜ διότι παρέχει την δυνατότητα της συνεχούς καταγραφής της εξέλιξης μιας θραύσεως, όπως και την δυνατότητα προσδιορισμού άμεσα, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, του εναπομένου χρόνου ζωής της κατασκευής.

Η ακουστική εκπομπή όμως εξαρτάται έντονα από τις εσωτερικές αυτές παραμορφώσεις και ουσιαστικά οι ενδείξεις καταγράφονται όσο το στοιχείο σκυροδέματος λειτουργεί ελαστικά.

Οι ηχητικές πηγές συγκεντρώνονται σε σημεία, τα οποία είναι και τα πιθανά σημεία έναρξης της αστοχίας του σκυροδέματος, εφ' όσον οι τάσεις υπερβούν τοπικά την αντοχή του.

Η μέθοδος περιορίζεται σε χαμηλές συχνότητες, άρα δεν είναι κατάλληλη γ[ια χρήση στα περισσότερα κτίρια ή για τον αξιόπιστο προσδιορισμό της θέσεως, του μεγέθους και της διεύθυνσης των ρωγμών.

5. Η μέθοδος της θερμογραφίας

Η μέθοδος της θερμογραφίας καταγράφει με κατάλληλη θερμοκάμερα τις μεταβολές της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Η εκπομπή αυτή επηρεάζεται από τις ασυνέχειες του σκυροδέματος, όπως ρωγμές, κενά κλπ., που βρίσκονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος ή είναι κρυμμένες κάτω απ' αυτήν.

Με κατάλληλη επεξεργασία της λαμβανόμενης εικόνας, του θερμογραφήματος και σύγκρισής του με άλλες προηγούμενες, εξάγονται συμπεράσματα για την εξέλιξη των ασυνεχειών και επομένως της κατάστασης αντοχής του σκυροδέματος.

Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί έναντι των άλλων ΜΚΜ, διότι εφαρμόζεται εξ αποστάσεως και δεν χρειάζονται μέτρα προστασίας του προσωπικού. Το κόστος όμως του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού είναι πολύ μεγάλο.

6. Η μέθοδος του κρουσιμέτρου αναπήδησης

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εκτίμηση της επιφανειακής σκληρότητας των ελεγχόμενων δομικών στοιχείων σκυροδέματος.

Η βασική αρχή είναι η διατήρηση σε επαφή με την επιφάνεια του σκυροδέματος ενός μεταλλικού εμβόλου, ενώ ταυτόχρονα μια μάζα διευθυνόμενη από ελατήριο προσβάλλει την άλλη πλευρά του εμβόλου και αναπηδά. Το ύψος αναπήδησης της μάζας, το οποίο εξαρτάται από την επιφανειακή σκληρότητα του σκυροδέματος, αναγράφεται σε κατάλληλη κλίμακα εντός του οργάνου και αποτελεί δείκτη σκληρομέτρησης (R).

Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφ' ενός για τον ποιοτικό έλεγχο και για την διαπίστωση της ομοιογένειας του σκυροδέματος και αφ' ετέρου για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με τη βοήθεια καμπυλών συσχέτισης, που έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα.

Η σχέση αναπήδησης-αντοχής εξαρτάται από την ποιότητα των αδρανών, την ποιότητα και την ποσότητα του τσιμέντου, τον τρόπο συμπύκνωσης, τον τύπο και τη γεωμετρία των επιφανειών των εξεταζομένων δοκιμίων, την υγρασία, την ηλικία του σκυροδέματος, την ενανθράκωση και την διεύθυνση της κρουσιμετρήσεως.

Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι εκτελεί επιφανειακό έλεγχο (σε βάθος 2 έως 3 cm) της ποιότητας του σκυροδέματος. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η ευκολία στην εφαρμογή της, η ταχύτητα, οι μικρές απαιτήσεις σε εξοπλισμό και το μικρό κόστος του, καθώς και η άμεση εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

7. Η μέθοδος της εξόλκευσης ήλου

Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην έμπηξη ενός ήλου, με συγκεκριμένες διαστάσεις και δύναμη έμπηξεως, στη μάζα του σκυροδέματος και τη μέτρηση της δύναμης που απαιτείται για την εξόλκευσή του. Η τριβή που ασκεί το σκυρόδεμα στην επιφάνεια του ήλου εξαρτάται από την περιμετρική πίεση και επομένως από τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού.

Στη συνέχεια με κατάλληλες καμπύλες, που έχουν προκύψει από πειράματα συσχετίζεται η δύναμη εξόλκευσης με τη συμβατική αντοχή. Στην Ελλάδα εφαρμόζεται κυρίως η λεγόμενη «Ελληνική Μέθοδος», σύμφωνα με την οποία χρησιμοποιείται ήλος μήκους 40 mm και διαμέτρου 4 mm. Ο ήλος αυτός εμπηγνύεται στη μάζα του σκυροδέματος με εκτοξευτήρα με καυσούλι καθορισμένης ισχύος και εξολκείται μετά παρέλευση δεκαλέπτου, από την έμπηξη, με ειδικό εξολκέα με μανόμετρο, με βάση το οποίο μετράται η απαιτούμενη δύναμη για την εξόλκευση. Το κυριότερο μειονέκτημα και αυτής της μεθόδου είναι ότι εκτελεί επιφανειακό έλεγχο σε βάθος 2,5 έως 3 cm. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η ευκολία της εφαρμογής, οι μικρές απαιτήσεις σε εξοπλισμό, το μικρό κόστος του και η άμεση εξαγωγή αποτελεσμάτων.

8. Η μέθοδος προσδιορισμού της παραμορφώσεως

Με την παρακολούθηση της παραμορφώσεως του σκυροδέματος ενός δομικού στοιχείου μπορεί να ελεγχθεί η κατάσταση της αντοχής και να προσδιορισθούν οι αλλαγές των παραμορφώσεων και των ελαστικών σταθερών που δημιουργούνται στο σκυρόδεμα λόγω διαδόσεως ρωγμών ή μηχανικών και θερμικών καταπονήσεων για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Τοποθετούνται ειδικά μηκυσιόμετρα (ηλεκτρομηκυσιόμετρα) στην επιφάνεια ή στο εσωτερικό του σκυροδέματος κατά το χρόνο της σκυροδετήσεως, στη συνέχεια η παρακολούθηση της παραμορφώσεως γίνεται με την βοήθεια ειδικών συσκευών (γέφυρες wheatstone).

9. Άλλες μέθοδοι μη καταστροφικού ελέγχου του σκυροδέματος

Εκτός από τις ήδη αναφερθείσες ΜΚΜ υπάρχουν ορισμένες ακόμη όπως :

9α. Ολλανδική μέθοδος κατά την οποία προκαλείται τοπική καταστροφή του ιστού του σκυροδέματος, όπως και η Ελληνική. Σύμφωνα με τις μεθόδους αυτές τοποθετούνται βήσματα κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης και επακολουθεί η εξόλκευσή τους μετά τη σκλήρυνση.

9β. Ρωσική μέθοδος που ανήκει στην ίδια κατηγορία ΜΚΜ. Κατ' αυτήν εκτοξεύεται βλήμα καθορισμένου τύπου και από ορισμένη απόσταση, με πυροβόλο όπλο και εκτιμάται, εν συνεχεία, η ζημιά που προκλήθηκε.

9γ. Μέτρηση της ακτινοπερατότητας ως ΜΚΜ ή αντίστοιχα της ακτινοαπορρόφησης και η συσχέτισή της με την αντοχή. Ως

ακτινοπερατότητα ορίζεται ο λόγος της διερχόμενης I προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία I₀.

Για την ακτινοβολία χρησιμοποιούνται ραδιοϊσότοπα, όπως το κοβάλτιο (Co⁶⁰), το καίσιο (Cs¹³⁷), το ιρίδιο (Ir¹⁹²) και άλλα. Η συσχέτιση της ακτινοπερατότητας με την αντοχή πραγματοποιείται με την βοήθεια κατάλληλων καμπυλών, που προέκυψαν από πειραματικά δεδομένα.

9δ. Μέτρηση της ωρίμανσης. Ο μη καταστροφικός έλεγχος του σκυροδέματος μπορεί να γίνει με τη μέτρηση της ωρίμανσής του.

Η ωρίμανση βασίζεται σε μετρήσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας ενός στοιχείου σκυροδέματος καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας πήξης, σκλήρυνσης και ανάπτυξης της αντοχής με την τοποθέτηση στο εσωτερικό της μάζας του σκυροδέματος κατά την φάση της σκυροδέτησης, ειδικών αισθητήρων ευαίσθητων στις μεταβολές της θερμοκρασίας.

Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να συσχετιστούν με την εξέλιξη της αντοχής για μια συγκεκριμένη ποιότητα σκυροδέματος. Κύρια εφαρμογή της μεθόδου είναι η επί τόπου εκτίμηση της εξέλιξης της αντοχής, για μια όμως συγκεκριμένη ποιότητα σκυροδέματος, ενώ απαιτούνται πολλά σημεία λήψης των κατάλληλων στοιχείων.

9ε. Ραντάρ. Μια άλλη ΜΚΜ είναι η χρήση ενός συστήματος ραντάρ επιφανειακής διείσδυσης, που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των ανακλάσεων μικρής διάρκειας παλμών στις διεπιφάνειες μεταξύ υλικών από διαφορετικές διηλεκτρικές σταθερές που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να ανιχνευθούν κενά και άλλες ατέλειες, καθώς και οι ράβδοι οπλισμού.

Πρόκειται για μία μέθοδο ταχείας εφαρμογής, που απαιτεί όμως σημαντικές ικανότητες για την σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν, τα οποία με τη σειρά τους εξαρτώνται από την χρησιμοποιούμενη συχνότητα.

9στ. Αντίσταση στη διείσδυση (Αμερικάνικη μέθοδος). Η αντίσταση στη διείσδυση μεταλλικού βλήτρου είναι μια ακόμη μέθοδος μη καταστροφικού ελέγχου του σκυροδέματος. Το μεταλλικό αυτό βλήτρο εισάγεται στη μάζα του σκυροδέματος με την επιβολή καθορισμένης δύναμης και μετριέται το βάθος διείσδυσης (25 έως 75 mm). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συσχετίζονται με την αντοχή του σκυροδέματος με κατάλληλες πειραματικές καμπύλες. Το είδος και η ποιότητα των αδρανών επηρεάζει κυρίως τα αποτελέσματα. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να αποφεύγεται ο οπλισμός και είναι ιδιαίτερα σημαντική η βαθμονόμηση της μεθόδου για διάφορους τύπους αδρανών.

9ζ. Μέθοδος του συντονισμού. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτίμηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος, δηλαδή

τη μεταβολή των ιδιοτήτων του, υπό ορισμένες συνθήκες με την πάροδο του χρόνου. Για τον σκοπό αυτό κατασκευάζονται πρισματικά ή κυλινδρικά δοκίμια, που τοποθετούνται στη συσκευή μέτρησης του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας. Από τον ένα ακροδέκτη της συσκευής (πομπός), μεταδίδονται ηχητικά κύματα ρυθμιζόμενης συχνότητας, τα οποία μέσω της μάζας του σκυροδέματος, λαμβάνονται από τον άλλο ακροδέκτη της συσκευής (δέκτη). Με την μεταβολή της συχνότητας των κυμάτων επιτυγχάνεται συντονισμός μεταξύ της ιδιοσυχνότητας του δοκιμίου και της συχνότητας που έχει επιβληθεί. Από την συσκευή παρακολουθείται το εύρος των ταλαντώσεων και όταν αυτό γίνει μέγιστο τότε έχει επιτευχθεί συντονισμός. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_d).

10. Συνδυασμός των MKM μεθόδων.

Ο συνδυασμός μιας MKM με τη λήψη πυρήνων ή η χρήση δύο ή περισσότερων MKM συγχρόνως, αυξάνουν σημαντικά την ακρίβεια της εκτίμησης της αντοχής του σκυροδέματος. Στην περίπτωση εφαρμογής δύο MKM συγχρόνως η τελική αντοχή προκύπτει από την σχέση :

$$f_c = f_{c1} * S_2 + f_{c2} * S_1 / S_1 + S_2$$

Όπου f_{c1} , f_{c2} είναι οι αντοχές που προκύπτουν από τις μεθόδους 1 και 2 και S_1 , S_2 οι αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

11. Συμπεράσματα

Η σημασία των Μ.Κ.Μ. για τον έλεγχο του σκυροδέματος είναι πολύ μεγάλη, γι αυτό και αναπτύχθηκαν τόσες πολλές Μ.Κ.Μ.

Το κυριότερο μειονέκτημα των Μ.Κ.Μ. είναι η εξάρτηση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος από μεγάλο αριθμό παραμέτρων, που επηρεάζουν την αντοχή του, γεγονός που μειώνει την αξιοπιστία τους. Η αξιοπιστία των MKM έχει σχέση με την φύση του σκυροδέματος και τον τρόπο που συμπεριφέρονται τα υλικά που το αποτελούν στις διάφορες εξωτερικές επιδράσεις, όπως και τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που αυτό εμφανίζει στις διαφορετικές αναλογίες ανάμειξης.

Επομένως απαιτείται η γνώση τόσο των παραμέτρων που επηρεάζουν τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, όσο και ο τρόπος με τον οποίο αυτά επηρεάζουν τον έλεγχο του συγκεκριμένου υλικού με μια MKM. Απαιτείται η διενέργεια πειραμάτων, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις

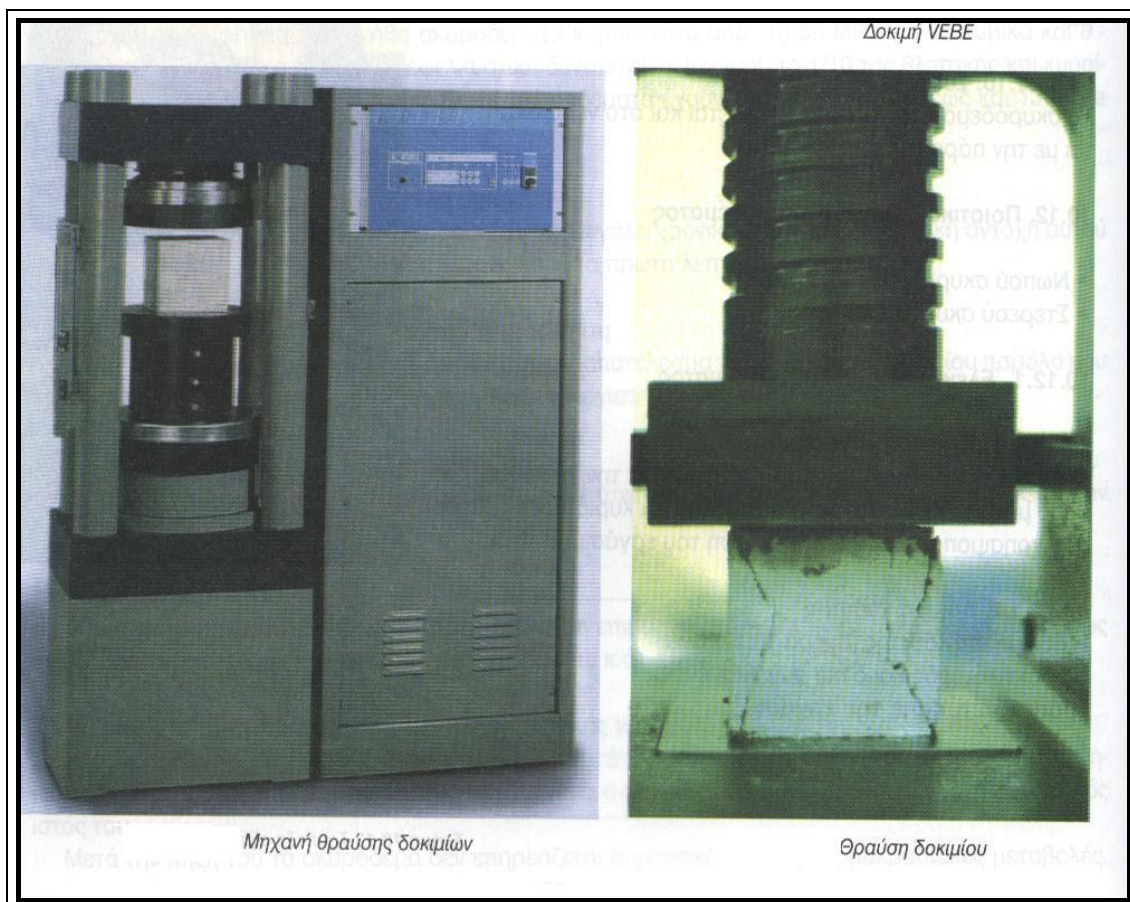
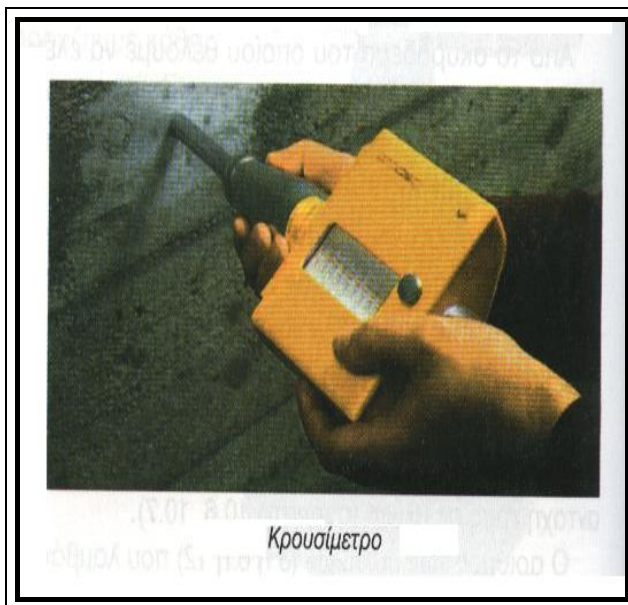
δυνατές παραμέτρους και την εκτίμηση των αντίστοιχων συντελεστών για κάθε περίπτωση. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία από τη στιγμή που οι συνθήκες συντήρησης συμβατικών δοκιμίων στο εργαστήριο και επομένως τα αποτελέσματα μέτρησης μιας ιδιότητας θα διαφέρουν σημαντικά.

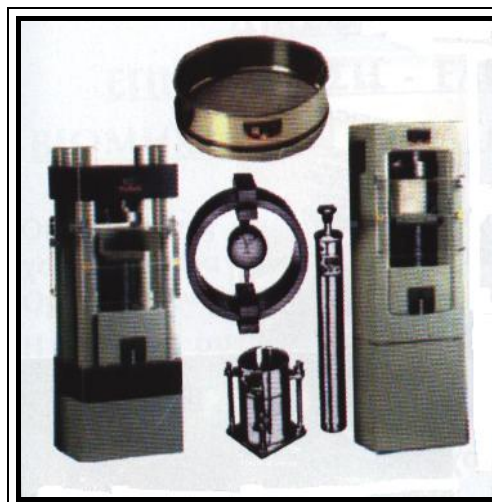
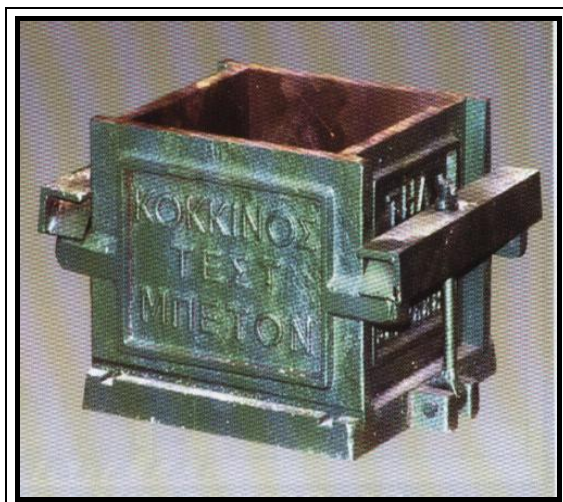
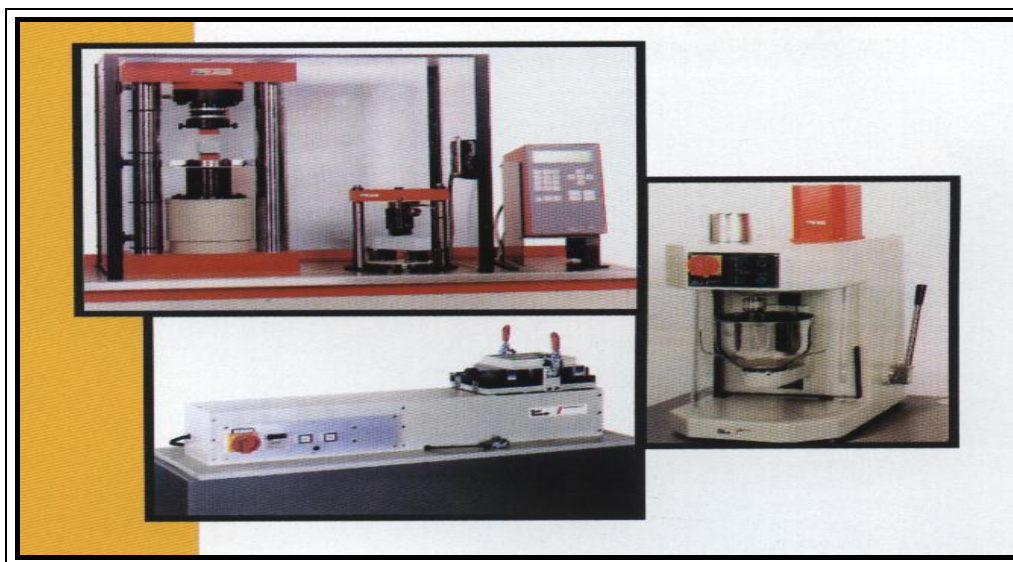
Όπως προκύπτει από την προηγούμενη παρουσίαση των ΜΚΜ η μέθοδος των υπερήχων υπερέχει και έχει τις περισσότερες δυνατότητες, διότι δίνει αφ' ενός την δυνατότητα εκτίμησης της αντοχής του σκυροδέματος, μέσω της συσχέτισής της με την ταχύτητα των υπερηχητικών κυμάτων και αφ' ετέρου τον προσδιορισμό των ελαστικών σταθερών του, τον έλεγχο του εσωτερικού της μάζας του για ανίχνευση ρωγμών ή άλλου είδους ατελειών ή ακόμα και ανίχνευση της θέσης του οπλισμού.

Οι μέθοδοι του κρουσιμέτρου αναπήδησης και εξόλκευσης ήλου είναι σχετικά ευκολότερες στην εφαρμογή τους και ενώ με βάση αυτές μπορεί να εκτιμηθεί η αντοχή του σκυροδέματος, μειονεκτούν γιατί δεν είναι δυνατόν να γίνει έλεγχος του εσωτερικού της μάζας του σκυροδέματος.

Η ιδιότητα που κυρίως ενδιαφέρει στον έλεγχο σκυροδέματος με ΜΚΜ είναι η αντοχή του και ειδικότερα η θλιπτική αντοχή του, για την εκτίμηση της οποίας απαιτείται η εύρεση κατάλληλων καμπυλών συσχέτισης αντοχής-μετρούμενης ιδιότητας με την ΜΚΜ. Επομένως απαιτείται η διενέργεια πειραμάτων υπό διαφορετικές συνθήκες, ώστε να ληφθεί υπόψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερος αριθμός παραμέτρων.

Ολες αυτές οι δυσκολίες αποτρέπουν την χρήση των ΜΚΜ στην καθημερινή πράξη και την περιορίζουν σε ειδικές κατασκευές μεγάλης ή ειδικής σημασίας.

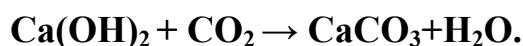




3.13 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΕΠΙΡΡΟΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1. Ενανθράκωση

Το νεαρό σκυρόδεμα έχει μία υψηλή τιμή pH, που είναι περίπου 13. Αυτό συμβαίνει λόγω του υδροξειδίου του ασβεστίου Ca(OH)_2 που παράγεται από το τσιμέντο. Το νερό του μίγματος, που αποτελείται από την υγρασία των αδρανών και το νερό που προστίθεται, εάν πλεονάζει γεμίζει στην αρχή τους τριχοειδείς πόρους. Με την εξάτμιση του νερού που δεν δεσμεύεται, μπορεί, τη θέση του στους τριχοειδείς πόρους να καταλάβει διεισδύοντας το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 που περιέχει ο αέρας. Από την αντίδρασή του με το υδροξείδιο του ασβεστίου, παράγεται ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3 και νερό H_2O με την αντίδραση :



Το ανθρακικό ασβέστιο (ασβεστόλιθος) είναι άλας ουδέτερο με $\text{pH}=7$. Αυτός είναι ο λόγος που η τιμή του pH του σκυροδέματος στην επιφάνειά του πέφτει προοδευτικά. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται «ενανθράκωση». Η επιφάνεια σκυροδέματος με $\text{pH}=9$, ονομάζεται μέτωπο ενανθράκωσης. Η ταχύτητα με την οποία κινείται το μέτωπο της ενανθράκωσης δεν είναι σταθερή στο χρόνο, αλλά γίνεται μικρότερη, όσο το βάθος της ενανθράκωσης αυξάνει, όσο δηλαδή μεγαλώνει η ηλικία του σκυροδέματος. Η μεταβολή στο χρόνο του βάθους της ενανθράκωσης εξαρτάται από :

- Το λόγο N/T και τη συμπύκνωση ή τον όγκο των πόρων που είναι συνέπεια αυτών.
- Την ποιότητα του σκυροδέματος, την περιεκτικότητα, δηλαδή σε τσιμέντο, την κατηγορία αντοχής του τσιμέντου, τον λόγο N/T.
- Την συντήρηση, όσο καλύτερη συντήρηση του σκυροδέματος γίνεται, τόσο βελτιώνεται η αντίστασή του στην ενανθράκωση.
- Τις συνθήκες περιβάλλοντος, την περιεκτικότητα, δηλαδή, του αέρα σε CO_2

Για το άοπλο σκυρόδεμα, η πρόοδος της ενανθράκωσης, είναι χωρίς σημασία, αφού άλλωστε αυξάνεται σε ένα βαθμό η επιφανειακή αντοχή του, λόγω αυτής.

Στα δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, η αυξημένη αλκαλικότητα ($\text{pH} \geq 10$) αποτελεί το μέσον προστασίας του χάλυβα του σκυροδέματος από τη διάβρωση. Λόγω της ενανθράκωσης αίρεται αυτή η προστασία. Η ενανθράκωση λοιπόν είναι η προϋπόθεση για την ενδεχόμενη διάβρωση του χαλύβδινου οπλισμού. Η διάβρωση όμως του χάλυβα μπορεί να αρχίσει να δημιουργείται όταν υπάρχει υπερβολική υγρασία και οξυγόνο. Για τη διάβρωση του χάλυβα πρέπει, κατά συνέπεια να υπάρχουν οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Ενανθρακωμένο σκυρόδεμα + αρκετή υγρασία για αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας + μόνιμη επαφή με τον αέρα, που συνεπάγεται δράση του οξυγόνου.

Από τα προηγούμενα συνάγεται ότι ένα ενανθρακωμένο δομικό στοιχείο που βρίσκεται μόνιμα στο νερό, δεν μπορεί να διαβρωθεί. Λόγω της διάβρωσης σχηματίζεται από τον σίδηρο υδροξείδιο του σιδήρου (σκουριά)



Το υδροξείδιο του σιδήρου έχει 2,5 φορές μεγαλύτερο όγκο από τον σίδηρο. Στο γεγονός αυτό οφείλεται η **διαρρηκτική λειτουργία** του διαβρωμένου χάλυβα προς το σκυρόδεμα που το περιβάλλει και η αποκόλληση της επικάλυψης. Για τον λόγο αυτό πρέπει να εξασφαλίζεται μια επαρκής επικάλυψη του οπλισμού με σκυρόδεμα, ώστε το μέτωπο της ενανθράκωσης να μην μπορέσει να φθάσει τον οπλισμό στη διάρκεια ζωής του έργου και στα σημεία, βεβαίως που είναι δυνατή η προσέγγιση της υγρασίας.

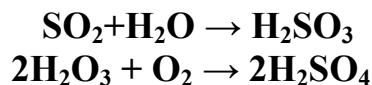
2. Διάβρωση του σκυροδέματος

Ως διάβρωση του σκυροδέματος χαρακτηρίζονται αποκλειστικά οι βλάβες του σκυροδέματος λόγω χημικής προσβολής. Οι χημικές προσβολές διακρίνονται σε :

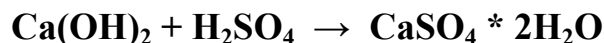
- Αυτές που ευνοούν το σχηματισμό βλαπτικών διαλυμάτων, και
- Εκείνες που καταλήγουν σε διόγκωση.

Οι πρώτες οφείλονται στο διοξείδιο του άνθρακα και στο διοξείδιο του θείου SO_2 . Το SO_2 περιέχεται στην ατμόσφαιρα εξ αιτίας των καυσαερίων. Η υπερϊώδης ακτινοβολία, σε συνδυασμό με την υγρασία του

αέρα, επιτρέπει το σχηματισμό θειϊκού οξέος H_2SO_4 μέσω των αντιδράσεων:



Το θειϊκό οξύ διαλύει το υδροξείδιο του ασβεστίου και καταστρέφει τον ιστό του σκυροδέματος και σχηματίζεται γύψος $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ και έτσι καταστρέφεται το σκυρόδεμα.

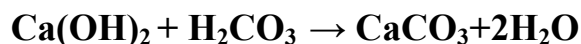


Ο γύψος έχει μεγαλύτερο όγκο από το υδροξείδιο του ασβεστίου, οπότε η δημιουργία του καταλήγει σε διπλή προσβολή (δημιουργία και άλλης χημικής ένωσης και διόγκωσης).

Το διοξείδιο του άνθρακα που περιέχει ο αέρας, αντιδρά με τη βροχή και σχηματίζεται ανθρακικό οξύ H_2CO_3



Το ανθρακικό οξύ με περισσότερη βροχή διαπερνά την επιφάνεια του σκυροδέματος και διαλύει το υδροξείδιο του ασβεστίου, καταστρέφοντας έτσι τον σκληρωμένο τσιμεντοπολλτό και σχηματίζεται ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3 , που είναι άλας αδιάλυτο στο νερό:



3. Δράση των ενώσεων χλωρίου (χλωρίδια)

Οι φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να προσβάλλονται από χλωρίδια στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Άλατα (χλωρίδιο νατίου), που χρησιμοποιούνται το χειμώνα για την μείωση του σημείου πήξεως (αντιπαγετικά άλατα) αποδεσμεύουν χλωριόντα. Επειδή υπάρχουν διαλυμένα στο λιωμένο χιόνι, μπορούν εύκολα να διεισδύσουν στις διαποτισμένες με νερό περιοχές του σκυροδέματος (διαποτισμένες είναι οι περιοχές σε βάθος από 2 έως 10 mm, ανάλογα με την ποιότητα του σκυροδέματος).
- Το θαλάσσιο νερό περιέχει άλατα. Παντού όπου το σκυρόδεμα έρχεται σε επαφή με το θαλασσινό νερό, εισδύουν στο σκυρόδεμα χλωρίδια.

- Σε περίπτωση πυρκαγιάς καίγονται και τα πλαστικά, που συνήθως υπάρχουν σ' ένα κτίριο, που περιέχουν χλωρίδια, π.χ. το PVC περιέχει πολυβινυλικό χλωρίδιο, που μαζί με το νερό της πυρόσβεσης διεισδύουν στο σκυρόδεμα.

Τα χλωρίδια δεν προσβάλλουν άμεσα το σκυρόδεμα, διαχέονται όμως ακόμη και σε πυκνό σκυρόδεμα και καταστρέφουν το αλκαλικό προστατευτικό στρώμα του χάλυβα. Ο χαλύβδινος οπλισμός διαβρώνεται εξ αιτίας των χλωριδίων.

Ενώ το σκυρόδεμα, με τα κατάλληλα μέτρα στη φάση της κατασκευής μπορεί να αντισταθεί αρκετά στην ενανθράκωση και τη διάβρωσή του και να είναι ανθεκτικό κατά τη διάρκεια χρήσης του έργου, όταν το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι εκτεθειμένο στον κίνδυνο των χλωριδίων, δεν μπορεί να προστατευθεί ο οπλισμός του.

Επαρκής προστασία μπορεί να επιτευχθεί με μια προστατευτική στρώση με βάση π.χ. τις εποξειδικές ρητίνες.

4. Ανθεκτικές στο χρόνο κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα

Ένα δομικό έργο που εξαντλεί την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του, που είναι 70 έως 110 χρόνια, κάτω από τις προβλεπόμενες δράσεις, χαρακτηρίζεται σαν ανθεκτικό.

Τα δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ανθεκτικά όταν :

- Σχεδιάζονται και κατασκευάζονται σωστά, σύμφωνα με τους κανονισμούς και τους κανόνες της τέχνης και της επιστήμης.
- Εκτελούνται από εξειδικευμένο προσωπικό με την αρμόζουσα επιμέλεια, με τις επιβεβλημένες επικαλύψεις, τον σωστό λόγο N/T, την επαρκή συντήρηση κλπ.
- Ελέγχονται και συντηρούνται τακτικά, διαπιστώνονται έγκαιρα οι βλάβες, όπως ρωγμές, αποφλοιώσεις, απολεπίσεις κλπ και γίνονται έγκαιρα και ορθολογικά οι ανάλογες επεμβάσεις.
- Προστατεύονται με τρόπο αποτελεσματικό, έγκαιρα και με τα σωστά μέσα και υλικά.

Βλάβες στις κατασκευές προκλήθηκαν όπου δεν τηρήθηκαν οι παραπάνω απαιτήσεις.

3.14 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕΣΑ ΣΕ ΝΕΡΟ

Η σκυροδέτηση μέσα στο νερό γίνεται κατά κανόνα, όταν δεν υπάρχει δυνατότητα απομάκρυνσής του για ορισμένο τουλάχιστον χρονικό διάστημα. Η απομάκρυνση του νερού με άντληση ή με εκτροπή της ροής είναι ο πρώτος στόχος και εφόσον αυτό δεν είναι εφικτό καταφεύγουμε στη σκυροδέτηση μέσα στο νερό.

Η σκυροδέτηση μέσα σε νερό και το σκυρόδεμα κάτω από την επιφάνεια του νερού, που δεν είναι όμως διαβρωτικό, πρέπει να ανταποκρίνεται στις ακόλουθες απαιτήσεις.

- Όταν το βάθος του νερού είναι μεγαλύτερο από 1 μ. το σκυρόδεμα δεν αφήνεται ελεύθερο να πέσει μέσα στο νερό, γιατί θα υποστεί απόπλυση.
- Το σκυρόδεμα θα κατεβαίνει στη θέση διαστρώσεως μέσα σε κάδο με κινητό πυθμένα, που θα ανοίγει μόνο όταν ο κάδος έρθει σε επαφή με το ήδη διαστρωμένο σκυρόδεμα ή με τον πυθμένα.
- Θα υπάρχει συνεχής ροή μέσα από κατακόρυφους σωλήνες επαρκούς διαμέτρου (tremie). Το κάτω μέρος των σωλήνων θα παραμένει βυθισμένο στο σκυρόδεμα και το υλικό που κατεβαίνει μέσα στους σωλήνες θα εκτοπίζει το ήδη διαστρωμένο, μετακινώντας το προς τα πλάγια και προς τα πάνω.
- Θα χρησιμοποιείται αντλία, της οποίας ο σωλήνας εξόδου θα έχει κινητό πώμα που δεν θα επιτρέπει την έξοδο του σκυροδέματος παρά μόνο όταν αυτό πιέζεται.
- Για έργα όχι μεγάλων απαιτήσεων, πλαστικό σκυρόδεμα τοποθετείται μέσα σε υφασμάτινους σάκους, οι οποίοι τοποθετούνται, στο βυθό, ο ένας μετά τον άλλο, σε επαφή όπως οι τσιμεντόλιθοι στη δόμηση τοίχων. Η σύνδεση μεταξύ τους γίνεται μέσω της κονιάς που διαφεύγει από την πλέξη του υφάσματος.
- Ανάλογα με τις περιπτώσεις μπορεί να γίνεται συνδυασμός των προηγούμενων μεθόδων διαστρώσεως.
- Η κάθιση πρέπει να είναι 15-20 cm, η περιεκτικότητα τσιμέντου τουλάχιστον 350 kg/m^3 και ο λόγος Ν/Τ να είναι το πολύ 0,60. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τσιμέντο τύπου Ι ή ΙΙ.
- Το σκυρόδεμα δεν θα δονείται και δεν θα μετακινείται από τη θέση που πήρε μετά την έξοδο από τον κάδο ή τον σωλήνα.
- Η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος πρέπει να βρίσκεται στην υποζώνη Δ και κατά το δυνατόν, κοντά στη μέση γραμμή αυτής της περιοχής.
- Το σκυρόδεμα πρέπει να είναι μεγίστου κόκκου 31,5 mm ή 1" εκτός της περίπτωσης, που η διάστρωση γίνεται με σάκους, που δεν ενδιαφέρει το μέγεθος του μεγίστου κόκκου.

Όταν το νερό, κάτω από την επιφάνεια του οποίου διαστρώνεται σκυρόδεμα, είναι **διαβρωτικό** πρέπει να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για **σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές προσβολές**.

Σκυρόδεμα που εκτίθεται σε προσβολή χημικών ουσιών που περιέχονται στο νερό ή στο έδαφος, πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Η συμπίκνωση πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και η συντήρηση να διαρκεί τουλάχιστον 14 ημέρες.
- Οι συγκεκριμένες απαιτήσεις αναφέρονται αναλυτικά στον πίνακα 12.4 του άρθρου 12.4 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος.
- Οι απαιτήσεις του πίνακα 12.4 ισχύουν για ήπιες κλιματολογικές συνθήκες, για φυσικό νερό που έχει μολυνθεί από χημικές ουσίες και είναι στάσιμο ή ρέει με βραδύτητα, όπως και για εδάφη που είναι υγρά ή υγραίνονται συχνά. Δεν ισχύουν για θαλασσινό νερό και για υγρά ή βιομηχανικά απόβλητα, για αποθέσεις στερεών βιομηχανικών αποβλήτων και γενικά για εδάφη με περιεκτικότητα θειούχων μεγαλύτερη από 100 mg θειοϊόντων (S^2) ανά kg εδαφικού υλικού ξεραμένου στον αέρα.
- Οι απαιτήσεις κάθε στήλης του πίνακα 12.4 ισχύουν έστω και αν ένας μόνο από τους χημικούς παράγοντες που αναγράφονται βρίσκεται στην περιοχή που ορίζεται σ' αυτή την στήλη.

Σκυρόδεμα στη θάλασσα

Για την προστασία του οπλισμού των έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα που βρίσκονται μέσα στη θάλασσα ή διαβρέχονται από θαλασσινό νερό ή καταιονίζονται απ' αυτό, θα ισχύουν τα ακόλουθα:

- Το σκυρόδεμα θα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις για «Σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας» με λόγο N/T 0,48 και περιεκτικότητα τσιμέντου 400 kg/m³ τουλάχιστον

Σκυρόδεμα σε παραθαλάσσιο περιβάλλον (εκτεθειμένο σε αέρα κορεσμένο με θαλάσσια άλατα)

- Η περιεκτικότητα τσιμέντου δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 330 kg/m³ και ο λόγος N/T δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,60
- Η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος αδρανών πρέπει να βρίσκεται στην υποζώνη Δ και κατά το δυνατόν κοντά στη μέση γραμμή αυτής της υποζώνης.
- Η επικάλυψη του οπλισμού δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να είναι μικρότερη των 40 mm.

3.15 ΑΡΧΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ – ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΟΠΛΙΣΗ

Ο σκοπός του οπλισμού στο οπλισμένο σκυρόδεμα είναι, ως γνωστό, η ανάλυση των εφελκυστικών τάσεων και η παρεμπόδιση της δημιουργίας ρωγμών ή η μείωση του εύρους των ρωγμών που αναπόφευκτα εμφανίζονται στο οπλισμένο σκυρόδεμα.

Τον σκοπό αυτό επιτυγχάνουμε με την κατάλληλη επιλογή της διαμέτρου των ράβδων οπλισμού και την κατάλληλη διάταξη των ράβδων αυτών μέσα στο φορέα.

3.15.1 Κατηγορίες οπλισμού

Στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες οπλισμού :

- ***Ο κύριος οπλισμός αντοχής***

Είναι ο κατ'εξοχήν οπλισμός ενός έργου και είναι αντικείμενο του στατικού υπολογισμού της κατασκευής.

Ο κύριος οπλισμός παραλαμβάνει κυρίως εφελκυστικές από κάμψη τάσεις και τοποθετείται ως ευθύγραμμος ή κεκαμμένος.

Ο αριθμός των απαιτούμενων ράβδων και η διάμετρος τους καθορίζεται από τους υπολογισμούς βάσει των εξής στοιχείων:

α) ωφέλιμα φορτία, β) απόσταση στηρίξεως και γ) συνθήκες στηρίξεως.

- ***Ο οπλισμός διανομής ή δευτερέων οπλισμός***

Τοποθετείται κυρίως στις πλάκες και τους προβόλους, είναι εντελώς απαραίτητος, προβλέπεται από τους κανονισμούς, δεν πρέπει ποτέ να παραλείπεται και πρέπει να του δίδεται η δέουσα σημασία.

Ο οπλισμός διανομής χρησιμοποιείται για τη σταθεροποίηση του κύριου οπλισμού σε συγκεκριμένη θέση και τη συνεργασία των διαφόρων ράβδων μεταξύ τους. Στις τετραέριστες πλάκες οι οπλισμοί και προς τις δύο κατευθύνσεις είναι κύριοι δηλαδή έχουν ίσες και σπαστές ράβδους και προς τις δύο κατευθύνσεις. Αυτός είναι ο λόγος που σε αντίθεση με τις αμφιέριστες δεν υπάρχει οπλισμός διανομής.

Πολλές φορές στις κατόψεις των ξυλοτύπων δεν σχεδιάζεται ο οπλισμός διανομής, αλλά αναγράφεται, οπωσδήποτε, και υπολογίζεται στους πίνακες οπλισμού.

Οι συνδέσεις του κύριου οπλισμού αντοχής με τις ράβδους του οπλισμού διανομής γίνεται με δέσιμό τους με μαλακό σύρμα κάθε 60-80 cm.

- ***Ο πρόσθετος οπλισμός***

Αποτελείται από σίδερα ευθύγραμμα και κεκαμμένα και τοποθετείται στις στηρίξεις πλακών και δοκών. Όταν ο οπλισμός είναι ευθύγραμμος

αναλαμβάνει εφελκυστικές τάσεις και ονομάζεται «καπάκι». Όταν ο οπλισμός είναι κεκαμμένος αντιμετωπίζει διατμητικές τάσεις και ονομάζεται «πάπια», χρησιμοποιείται δε στις στηρίξεις των δοκών.

• **Οπλισμός συνεργασίας ή αποσχίσεως**

Τοποθετείται για να αποφεύγονται οι μικρορωγμές της πλάκας παράλληλα προς τη δοκό. Ο οπλισμός συνεργασίας τοποθετείται στις αμφιέριστες πλάκες, κάθετα προς τον κύριο οπλισμό.

• **Οπλισμός συναρμολογήσεως ή τσέρκια**

Τοποθετείται στα υποστυλώματα και στα δοκάρια. Ο οπλισμός συναρμολογήσεως (τσέρκια) είναι απαραίτητος, υπολογίζεται στατικά και φαίνεται στα σχέδια του ξυλοτύπου. Στον οπλισμό συναρμολογήσεως ανήκει και το μοντάζ των δοκών. Το μοντάζ αποτελείται από δύο ή τρία σίδηρα ίσια μικρής διατομής και τοποθετείται στο πάνω μέρος της δοκού για να διευκολύνει την κατασκευή του οπλισμού της δοκού.

• **Οπλισμός συστροφής**

Είναι οπλισμός που τοποθετείται στις γωνίες μιας πλάκας και πολλές φορές με τη μορφή φουρκέτας. Αν και σε ποιες γωνίες θα τοποθετηθεί οπλισμός συστροφής, είναι αντικείμενο της στατικής μελέτης.

Τα μηχανικά και τεχνολογικά χαρακτηριστικά των χαλύβων που χρησιμοποιούνται στο οπλισμένο σκυρόδεμα διέπονται από πρότυπα, κανονισμούς και πιστοποιητικά συμμορφώσεως.

Με βάση τη χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής σε MPa διακρίνονται οι κατηγορίες οπλισμού S220 (αντιστοιχεί στη παλιά κατηγορία St I, S400 (παλιά κατηγορία St IIIa) και S500 (παλιά κατηγορία St IVa) που περιλαμβάνουν χάλυβες συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις (ΕΛΟΤ 959), καθώς και οι κατηγορίες S400_s (παλιά κατηγορία St IIIb) και S500_s (παλιά κατηγορία St IVb) που περιλαμβάνουν χάλυβες συγκολλησίμους (ΕΛΟΤ 971).

Η κατηγορία S 220 περιλαμβάνει λείες κυλινδρικές ράβδους θερμής εξέλασης, ενώ οι υπόλοιπες, ράβδους και σύρματα υψηλής συνάφειας, τους νευροχάλυβες και συγκολλητά δομικά πλέγματα. Σήμερα η κατηγορία S 220 έχει εκτοπιστεί από τις άλλες.

Εκτός αυτών υπάρχει και ο ανοξείδωτος χάλυβας οπλισμένου σκυροδέματος κατηγορίας S 400 από κράμα πλούσιο σε χρώμιο και σε νικέλιο. Οι χάλυβες αυτοί δεν είναι συγκολλησίμιοι και χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες κατασκευές (θαλάσσια έργα, έντονα διαβρωτικό περιβάλλον, κλπ.).

Οι χάλυβες οπλισμού παράγονται σε ευθύγραμμες ράβδους κυκλικής διατομής και μήκους 12 ή 14 m. Οι ονομαστικές διαμέτροι των χαλύβων είναι 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28 και 32 mm.

Απαγορεύεται η παραγωγή, κατοχή, πώληση και χρησιμοποίηση χαλύβων οπλισμού που δεν ανταποκρίνονται στα πρότυπα ΕΛΟΤ.

Απαγορεύεται η χρήση οπλισμού που η εξωτερική του επιφάνεια παρουσιάζει απολεπίσεις, παραμορφώσεις, ρωγμές, χαλαρές πλάκες σκουριάς ή προχωρημένη διάβρωση.

Κατά τη μεταφορά, αποθήκευση κλπ. πρέπει να αποφεύγονται οι μηχανικές βλάβες, οι πλαστικές παραμορφώσεις, οι θραύσεις συγκολλήσεων των πλεγμάτων, οι ρυπάνσεις που βλάπτουν τη συνάφεια κλπ.

Η κοπή των ράβδων πρέπει να γίνεται με μηχανικά μέσα και όχι με φλόγα.

Για την τοποθέτησή τους στους ξυλότυπους και την ενσωμάτωσή τους στο σκυρόδεμα οι ράβδοι οπλισμού έχουν υποστεί την απαραίτητη κατεργασία διαμόρφωσης. Πρόκειται για εργασία που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, τήρηση των προδιαγραφών και των κανονισμών και πιστή εφαρμογή των λεπτομερειών της μελέτης. Η διαμόρφωση μπορεί να περιλαμβάνει την κοπή, κάμψη, αγκύρωση, συγκόλληση ή ένωση των ράβδων ανάλογα με τη θέση και τη λειτουργία τους στην κατασκευή.

Η διαμόρφωση του οπλισμού απαιτεί εμπειρία, αλλά και κατάλληλο εξοπλισμό και χώρο για την εκτέλεση της εργασίας αυτής. Σε μικρά ή μεσαία έργα δεν υπάρχουν αυτές οι δυνατότητες και ο οπλισμός έρχεται προδιαμορφωμένος. Η διαμόρφωση γίνεται στη «μάντρα» συνήθως από το συνεργείο τοποθέτησης που χρησιμοποιεί τον εξοπλισμό της μάντρας.

Οι συνδετήρες κατασκευάζονται, είτε μεμονωμένα, είτε ως μανδύες που παράγονται σε κατάλληλες πρέσες από τυποποιημένο πλέγμα, είτε ως θώρακες, οι οποίοι είναι κλωβοί συνδετήρων που κατασκευάζονται από αυτόματες μηχανές. Χρησιμοποιείται χάλυβας Φ6 μέχρι Φ12 οποιασδήποτε κατηγορίας σε ρολά. Με τη μορφή σπειροειδούς ανέλιξης χωρίς διακοπή για ολόκληρο το δομικό στοιχείο παράγεται ο θώρακας. Οι θώρακες παράγονται συμπυκνωμένοι και ανοίγονται με σχετική ευκολία κατά την τοποθέτησή τους.

Εκτός από την ορθή επιλογή και την ορθή διαμόρφωση του οπλισμού σημαντικό ρόλο παίζει η ορθή τοποθέτηση και στερέωσή του για τη βέλτιστη συμπεριφορά των δομικών στοιχείων, αλλά και για την προστασία του οπλισμού από τη διάβρωση και την πυρκαγιά. Η προστασία αυτή, όπως και η απαιτούμενη συνάφεια επιτυγχάνεται με την επικάλυψη του οπλισμού από το σκυρόδεμα.

Τα ελάχιστα μεγέθη επικάλυψης είναι συνάρτηση των συνθηκών περιβάλλοντος, της κατηγορίας του σκυροδέματος, της διαμέτρου των

ράβδων του οπλισμού και του μέγιστου κόκκου των αδρανών του σκυροδέματος. Περί αυτών εκτενέστερα αναφερόμαστε στο επόμενο κεφάλαιο.

Με τους αποστάτες (εξαρτημάτων στήριξη) γίνεται η τοποθέτηση των ράβδων στις θέσεις της μελέτης και αποφεύγονται αστοχίες επικάλυψης και μετακίνησης των ράβδων κατά τη διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος.

Ενώσεις οπλισμών μπορούν να γίνουν με :

- α) υπερκάλυψη των ράβδων με ευθύγραμμο άκρα, με άγγιστρα ημικυκλικά ή ορθογωνικά, με αναβολείς με ευθύγραμμο άκρα, με συγκόλλητους εγκάρσιους οπλισμούς.
- β) συγκόλληση
- γ) μηχανικά μέσα

Στις περιπτώσεις υπερκαλύψεων κυρίων οπλισμών τοποθετείται εγκάρσιος οπλισμός για την παραλαβή των εγκάρσιων εφελκυστικών δυνάμεων. Σ' αυτήν υπολογίζεται και ο εγκάρσιος οπλισμός που παραβλέπεται γι' άλλους λόγους.

Οι αγκυρώσεις των οπλισμών γίνονται με 4 τύπους:

- 1) ευθύγραμμες αγκυρώσεις
- 2) καμπύλες αγκυρώσεις
- 3) ευθύγραμμες αγκυρώσεις με τουλάχιστον μια συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο στο μήκος της αγκύρωσης
- 4) αγκυρώσεις με πρόσθετα στοιχεία επιτρέποντα μόνο αν υπάρχει σχετική έγκριση από την επίβλεψη

3.15.2. Διαμόρφωση και τοποθέτηση των οπλισμών

Τα τελευταία χρόνια και μάλιστα μετά την έκδοση των προσθέτων διατάξεων του Αντισεισμικού Κανονισμού το 1984, η όπλιση των στοιχείων σκυροδέματος, κυρίως στις αντισεισμικές κατασκευές έχει βελτιωθεί σημαντικά.

Η μεγαλύτερη πρόοδος έχει γίνει στην πυκνότητα, τη διάμετρο και την τοποθέτηση των συνδετήρων, την πύκνωσή τους στην περιοχή των κόμβων και στους γάντζους, οι οποίοι πρέπει πλέον να είναι κλειστοί.

Οι απαιτήσεις των κανονισμών, επέβαλαν την αύξηση της ποσότητας του χάλυβα των οπλισμών, αλλά και την ποιότητα διαμόρφωσης και τοποθέτησής τους, με συνέπεια την αύξηση του κόστους των έργων, αλλά και της ασφάλειάς τους.

Οι βιομηχανίες με σκοπό την βελτιστοποίηση του προϊόντος τους κατασκεύασαν και καθιέρωσαν τους «μανδύες» δηλαδή πλέγματα με ράβδους Φ8/12,5 ή πλέον Φ10/10 κατά την κύρια έννοια, με

συγκολλημένες λεπτές ράβδους Φ6/40 κατά την άλλη έννοια, που χρησιμεύουν για να συγκρατούν μόνο τις κύριες ράβδους στην καθορισμένη απόσταση. Οι κατασκευές αυτές εξαφάνισαν πλέον τους κλασικούς «παλαιού τύπου» μεμονωμένους συνδετήρες, αλλά και αυτές πλέον τείνουν να αντικατασταθούν από τους λεγόμενους «θώρακες».

Οι «θώρακες» δημιουργούν συνδετήρες με την μορφή «μονοκοντυλιάς» στο επίπεδο και «σπείρας» στο χώρο και απαλλάσσουν από την υποχρέωση των γάντζων. Επιτρέπει την βιομηχανοποίηση της εργασίας, με συνέπεια την μείωση του κόστους και του κινδύνου των κακοτεχνιών της διαμόρφωσης.

Τελευταία εμφανίστηκε στην αγορά το σύστημα με την ονομασία «ρομποτάκι» συμπεριλαμβανομένου και αυτού με το εμπορικό όνομα «armasthal», που συνίσταται στην διαμόρφωση του απαιτούμενου σύνθετου σχήματος κάθε συνδετήρα στο επίπεδο, με τη μορφή «μονοκοντυλιάς», όπως στο θώρακα, αλλά μεμονωμένου, χωρίς την σπειροειδή μορφή αυτού.

Οι συνδετήρες μπορούν να είναι οποιασδήποτε διαμέτρου και η συγκράτησή τους στην επιθυμητή απόσταση σε κάθε θέση γίνεται με ηλεκτροσυγκόλληση τριών διαμήκων ράβδων Φ8, με τις οποίες δημιουργείται ο κλωβός, επί του οποίου προσδένεται ο κύριος διαμήκης οπλισμός.

Συνεχώς επινοούνται και νέα συστήματα, που αποσκοπούν, βεβαίως, στην μείωση του κόστους, αλλά και στην αύξηση της ασφάλειας των κατασκευών.

3.15.3 Αντισεισμική όπλιση

Τα υποστυλώματα αστοχούν κατά τη διάρκεια ενός σεισμού στην κεφαλή και στον πόδα εξαιτίας του ανοίγματος των συνδετήρων.

Μόλις λυθούν οι συνδετήρες λυγίζουν τα κολονοσίδερα και αποδιοργανώνεται το σκυρόδεμα.

Η αστοχία αυτή των υποστυλωμάτων δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την ποσότητα του οπλισμού, αλλά και από τον τρόπο κατασκευής του οπλισμού. Φαινόμενα τέτοιας αστοχίας δεν παρατηρούνται μόνο στις παλαιές κατασκευές με λίγα σίδερα, αλλά και σε νεώτερες με πολλά σίδερα με πλημμελή όμως κατασκευή.

Η κυριότερη αιτία των αστοχιών αυτών είναι ο μικρός αριθμός συνδετήρων, η μειωμένη πύκνωσή τους στην κεφαλή και στον πόδα, η έλλειψη αγκίστρων στους συνδετήρες και η έλλειψη ενδιάμεσων συνδετήρων. Από τις βλάβες που έχουν μελετηθεί μετά από διάφορους σεισμούς, προκύπτει ότι ο λόγος που καταρρέουν οι κατασκευές, όσο

πολλά και αν είναι τα σίδερα, σχετίζεται με την έλλειψη σωστά κατασκευασμένων και τοποθετημένων συνδετήρων.

Η αντισεισμικότητα των δοκών και ιδιαίτερα των υποστυλωμάτων εξαρτάται κυρίως από τους συνδετήρες. Αυτοί εξασφαλίζουν αφ' ενός τη συγκράτηση του σκυροδέματος που τείνει να σπάσει με πλευρική διόγκωση.

Κατά τη διάρκεια του σεισμού εξασκούνται πολύ υψηλές εντάσεις, σε ορισμένα τουλάχιστον στοιχεία του σκελετού, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολύ υψηλών θλιπτικών δυνάμεων τόσο στο σκυρόδεμα όσο και στον οπλισμό. Οι δυνάμεις αυτές αναγκάζουν το σκυρόδεμα να διογκωθεί πλευρικά και τις ράβδους να λυγίσουν και τελικά να σπάσουν. Αυτό συμβαίνει γιατί το μέτρο ελαστικότητας, στο επίπεδο αυτής της υψηλής έντασης έχει μειωθεί δραματικά. Οι αστοχίες αυτές του σκυροδέματος και του οπλισμού αντιμετωπίζονται με την ύπαρξη πυκνών και σωστά τοποθετημένων συνδετήρων.

Γενικά τόσο οι δοκοί, όσο και τα υποστυλώματα, κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, αστοχούν με άνοιγμα των συνδετήρων, ιδιαίτερα εάν δεν είναι καλά κλειστοί, που συνήθως συμβαίνει.

Οι κατασκευές μέχρι πρόσφατα στη χώρα μας ακολουθούσαν τα Βορειοευρωπαϊκά πρότυπα και ειδικά τα Γερμανικά. Αυτό οφείλετο στο γεγονός ότι πολλοί Μηχανικοί Έλληνες σπούδασαν εκεί και μετέφεραν τις γνώσεις και τις πρακτικές της χώρας αυτής, η Γερμανία όμως έχει μία σημαντική διαφορά από τη χώρα μας «δεν έχει σεισμούς». Η χώρα μας στον τομέα αυτό μοιάζει πολύ περισσότερο στις Δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και την Ιαπωνία.

Ο νέος αντισεισμικός κανονισμός και ο νέος κανονισμός οπλισμένου σκυροδέματος έχουν ενσωματώσει όλη τη νεότερη παγκόσμια τεχνογνωσία για την ασφάλεια των κατασκευών στους σεισμούς.

Συνοπτικά και περιληπτικά θα αναφέρουμε τις βασικές αρχές και τις προδιαγραφές της αντισεισμικής όπλισης, αφού λεπτομερώς αναφέρονται στους εν λόγω κανονισμούς, όπου μπορούν να αναζητηθούν.

Αρχές – κανονισμοί – προδιαγραφές αντισεισμικής όπλισης

Η αντισεισμική κατασκευή περιλαμβάνει όλες τις προδιαγραφές της στατικής κατασκευής και της κατασκευής για προστασία του οπλισμού και αυτές είναι :

1.- Η εξασφάλιση των επικαλύψεων του οπλισμού

- ***Πλάκες***

Γενικώς η επικάλυψη είναι $C_{mm} \geq 2,0 \text{ cm}$ και για παραθαλάσσιες περιοχές $C_{mm} \geq 3,0 \text{ cm}$.

Η εξασφάλιση της επικάλυψης γίνεται με ειδικά στηρίγματα-αποστάτες (spacers), που είναι ουδέτερα στην οξείδωση και τοποθετούνται ανά 1,5 m. περίπου.

Οι λόγοι που επιβάλλουν την επικάλυψη των οπλισμών είναι :

- α) προστασία του οπλισμού από οξείδωση
- β) εξασφάλιση συνάφειας μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος
- γ) πυρασφάλεια
- δ) δυνατότητα «χαντρώματος», π.χ. από τον ηλεκτρολόγο χωρίς να θιγούν οι οπλισμοί.

• **Δοκοί**

Γενικώς $C_{min} \geq 2,5 \text{ cm}$ και για παραθαλάσσιες περιοχές $C_{min} \geq 3,5 \text{ cm}$.

Η στήριξη των συνδετήρων στη βάση της δοκού διευκολύνεται από ενιαία βέργα (αποστάτη), όπως και στις πλάκες.

• **Υποστυλώματα**

Γενικώς $C_{min} \geq 2,5 \text{ cm}$ και για παραθαλάσσιες περιοχές $C_{min} \geq 3,5 \text{ cm}$.

Στα υποστυλώματα αρκεί η τοποθέτηση τεσσάρων (4) αποστατών στην κορυφή του, αφού στη βάση οι ράβδοι δένονται στις αναμονές.

Οι αποστάτες που υπάρχουν στην αγορά είναι πλαστικοί και ανταποκρίνονται σε κάθε περίπτωση.

2.- **Η εξασφάλιση των αποστάσεων μεταξύ των ράβδων οπλισμού**

Σε πλάκες και υποστυλώματα οι αποστάσεις εξασφαλίζονται εύκολα, στις δοκούς όμως υπάρχει πρόβλημα, κυρίως στις στηρίξεις και στους κόμβους.

Η πυκνότητα του οπλισμού στις δοκούς δυσχεραίνει σημαντικά τη σωστή σκυροδέτηση. Τόσοι οι μεγαλύτεροι κόκκοι των αδρανών, όσο και ο δονητής δεν χωράνε να περάσουν ανάμεσα από τα σίδερα.

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τρεις τρόπους και συνήθως με συνδυασμό αυτών :

- α) με αυξημένο πλάτος δοκών,
- β) με χρήση δεύτερης στρώσης, που όμως βρίσκεται σε επαφή και δεμένη με τους συνδετήρες,
- γ) με χρησιμοποίηση των θέσεων εκατέρωθεν του κορμού, εκτός συνδετήρων, αλλά μόνο μέχρι 25% του συνολικού οπλισμού.

Στις συνδετήριες δοκούς της θεμελίωσης το πρόβλημα είναι κόμη μεγαλύτερο, αφού το ύψος τους είναι μεγάλο και θα πρέπει ο δονητής να περάσει από την στενή κορυφή και να φθάσει μέχρι τον πυθμένα.

Εκεί τα σίδερα είναι προτιμότερο να τοποθετούνται σε δύο ή και τρεις στρώσεις καθ' ύψος και πάντα σε επαφή με τους συνδετήρες.

3.- Η κάμψη των ράβδων οπλισμού

Οι ράβδοι οπλισμού κάμπτονται, είτε για να παρακολουθήσουν τις τάσεις που αναπτύσσονται στο φορέα, είτε για την αγκύρωσή τους στο σκυρόδεμα.

Η κάμψη πρέπει να γίνεται με ελάχιστη διάμετρο τέτοια, ώστε να μη ρηγματωθεί η ράβδος, αλλά και να μη ρηγματωθεί το σκυρόδεμα, αφού τοπικά στη θέση καμπύλωσης δημιουργούνται ισχυρές τάσεις άντυγος.

Αγκύρωση με άγκιστρο

Η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης είναι πρακτικά :

- Για ράβδους πλακών 4Φ δηλαδή 4πλάσια της διαμέτρου της ράβδου για S400 και S500
- Για ράβδους δοκών και υποστρωμάτων που αγκυρώνονται σε κόμβους πλαισίων είναι:

$$\begin{aligned} 5 \Phi & \text{ για } \rho\acute{\alpha}\beta\delta\omicron\upsilon\varsigma \leq \Phi 18 \\ 8 \Phi & \text{ για } \rho\acute{\alpha}\beta\delta\omicron\upsilon\varsigma \geq \Phi 20 \end{aligned}$$

Αγκύρωση με καμπύλωση σε καλά περισφιγμένο κόμβο

Η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης είναι πρακτικά 15 Φ

4.-Οι τρεις προδιαγραφές των αντισεισμικών συνδετήρων

Οι συνδετήρες αποτελούν έναν από τους κρισιμότερους παράγοντες της ποιότητας και της αντισεισμικής αντοχής των κτιρίων.

Τα σημαντικότερα στοιχεία που πρέπει να έχουν οι συνδετήρες είναι:

- α) τα κατάλληλα άγκιστρα στα άκρα τους. Είναι εντελώς απαραίτητα για την εξασφάλιση της λειτουργίας του συνδετήρα. Στην περίπτωση μεγάλου σεισμού και δημιουργίας αποφλοίωσης του σκυροδέματος, ο μόνος μηχανισμός αγκύρωσης που παραμένει είναι τα άγκιστρα.
- β) η διάμετρος καμπύλωσης στις γωνίες : Η κάμψη των συνδετήρων πρέπει να γίνεται με πείρο διαμέτρου τουλάχιστον 4Φ δηλαδή για ράβδο Φ10 είναι D=40 mm
- γ) Τα σκέλη του συνδετήρα σε μέγιστη απόσταση μεταξύ τους 20 cm (π.χ. σε μια κολώνα 50X50 χρειάζονται τρεις συνδετήρες σε κάθε στρώση).

Η τήρηση των παραπάνω προδιαγραφών είναι απόλυτα επιβεβλημένη παρά το αυξημένο κόστος που προκαλούν.

Εάν σε ένα υποστυλώμα τοποθετηθούν 10% λιγότερες ράβδοι, η αντοχή του υποστυλώματος θα μειωθεί κατά 10%, εάν όμως αφαιρεθεί έστω και ένας συνδετήρας η αντοχή του υποστυλώματος μπορεί να φθάσει και το 50%, αφού διπλασιάζεται το μήκος λογισμού των ραβδών που περιβάλλει.

5.-Η κατάλληλη ποιότητα της Α' ύλης

Η πρώτη ύλη πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ 971 (S500_s) που αφορά τους συγκολλησιμους χάλυβες.

Αντοχές για χάλυβα S500_s : όριο διαρροής - f_y (N/mm²) \geq 500
 όριο θραύσης - f_{st} (N/mm²) \geq 550

Η ολκιμότητα του χάλυβα είναι αυτή που επιτρέπει την απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας, της ανακατανομής των τάσεων και την απαιτούμενη πλαστιμότητα των δομικών στοιχείων.

Τα πρότυπα ΕΛΟΤ και τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα θέτουν απαιτήσεις και ως προς την ολκιμότητα του υλικού. Ελάχιστες απαιτήσεις ως προς την ολκιμότητα του χάλυβα οπλισμού είναι : Επιμήκυνση μετά την θραύση - $A5 \geq 12\%$, $f_{st}/f_y \geq 1,05$.

Πρέπει να σημειωθεί ότι χάλυβες με όριο διαρροής πολύ πάνω από τα όρια του ΕΛΟΤ 971 μπορεί να σπάζουν και να έχουν ψαθυρή θραύση, εάν δεν ικανοποιούν στοιχειώδεις απαιτήσεις ολκιμότητας. Κρίσιμοι παράγοντες γι' αυτό είναι αφ' ενός η χημική σύσταση και αφ' ετέρου ο τρόπος κατεργασίας του υλικού.

Οι απαιτήσεις για τη χημική σύσταση καθορίζουν τη συγκολλησιμότητα του χάλυβα, αλλά και τη συμπεριφορά του υλικού σε θραύση.

Απαιτήσεις της χημικής σύστασης για χάλυβα S500_s

%C	%S	%P	%N	Ισοδύναμο C $C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Cu+Ni)/15$
$\leq 0,22$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,012$	$\leq 0,53$ (στο τελικό προϊόν)

Δεν έγινε αναφορά στους χάλυβες S400_s διότι τείνουν να αντικατασταθούν στην πράξη από τους S500_s.

6.- Οι αντισεισμικοί θώρακες

Η δυσκολία επίτευξης υψηλής ποιότητας κατασκευή οπλισμού με τους κοινούς συνδετήρες αντιμετωπίστηκε μερικά από τους λεγόμενους «μανδύες» που είναι κλωβοί πλεγμάτων και οι οποίοι βελτίωσαν σημαντικά την ποιότητα, αλλά τελικά το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε, σχεδόν, ριζικά με τους «αντισεισμικούς θώρακες». Οι αντισεισμικοί θώρακες είναι ένα τυποποιημένο βιομηχανοποιημένο νέο είδος όπλισης με ατέρμονες ανελίσσόμενους σπειροειδείς συνδετήρες.

Η υπεροχή του σε σχέση με τους κοινούς συνδετήρες είναι ότι αποτελείται από ένα μονοκόμματο σίδηρο που κάμπτεται αλληπάληλα αγκαλιάζοντας σφικτά το διαμήκη οπλισμό από τη μία άκρη του μέχρι την άλλη, χωρίς να διακόπτεται πουθενά. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχει ασθενή σημεία, όπως για παράδειγμα οι γωνίες των αγκίστρων στους κοινούς οπλισμούς. Αυτές μπορεί να λυθούν ή να χαλαρώσουν σε περίπτωση ισχυρού σεισμού, επιτρέποντας έτσι στα κολονοσίδηρα να λυγίσουν και στο σκυρόδεμα να αποδιοργανωθεί. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα την αστοχία του υποστυλώματος και την κατάρρευση του κτιρίου.

Τα πλεονεκτήματα του Αντισεισμικού Θώρακα είναι :

1. Εξασφαλίζει την πλήρη ικανοποίηση όλων των απαιτήσεων των κανονισμών δηλαδή του Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000), του Ελληνικού Κανονισμού Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ 2000) και του Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων (ΚΤΧ).
2. Εξασφαλίζει την απόλυτη αγκύρωση, καθώς είναι μια ενιαία ράβδος που ανελίσσεται χωρίς διακοπή.
3. Λόγω της απουσίας αγκίστρων εξασφαλίζει τη δυνατότητα απρόσκοπτης σκυροδέτησης.
4. Επειδή η κατασκευή του είναι βιομηχανική, οι κάμπσεις της ενιαίας ράβδου γίνονται στο σωστό πείρο $D=4\Phi$, που αλλάζει αυτόματα ανάλογα με την διάμετρο.
5. Εξασφαλίζεται η περίσφιγξη.
6. Εξασφαλίζει την πύκνωση των συνδετήρων στις κρίσιμες περιοχές μια και μπορούν να προσαρμόζονται σε οποιαδήποτε απόσταση σε αντίθεση με τους μανδύες που οι αποστάσεις μεταξύ των συνδετήρων είναι σταθερές.

7. Υπάρχει δυνατότητα πύκνωσης και αραίωσης που σημαίνει ότι στις κρίσιμες περιοχές και ιδίως στο εσωτερικό των κόμβων η πύκνωση ανταποκρίνεται πλήρως στη μελέτη και τους κανονισμούς.
8. Τέλος, υπάρχει η βεβαιότητα ότι «θα μπούν όλοι οι συνδετήρες».

Το μοναδικό μειονέκτημα του αντισεισμικού θώρακα είναι το σημαντικά μεγαλύτερο κόστος έναντι των μανδύων.

3.15.4 Διάβρωση οπλισμών (corrosion)

Οι τελευταίοι σεισμοί ανέδειξαν τα προβλήματα που υπάρχουν στα κτίρια και κυρίως αυτά που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα, των οποίων οι οπλισμοί παρουσιάζουν διάβρωση.

Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν ξεκινούσαν από την απλή αποτίναξη της επικάλυψης του σκυροδέματος μέχρι τον μηδενισμό της πρόσφυσης και ακόμα μέχρι την εξαφάνιση των ράβδων οπλισμού.

Τα προβλήματα αυτά κατέδειξαν πόσο μάταιη είναι η προσπάθεια επίτευξης υψηλής αντοχής και ολκιμότητας, καθώς και η τέλεια διαμόρφωση και τοποθέτηση, εάν δεν ληφθούν σοβαρά μέτρα προστασίας από την διάβρωση και οξείδωση του οπλισμού.

Εκτός από την διάβρωση των ενσωματωμένων χαλύβων στο σκυρόδεμα, έχουμε την διάβρωση πριν την ενσωμάτωση, καθώς και την διάβρωση των «αναμονών» του τμήματος δηλαδή των ενσωματωμένων χαλυβδίνων ράβδων, που μένει εκτεθειμένο στο εξωτερικό περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Για την προστασία από την διάβρωση των παραπάνω περιπτώσεων πρέπει να τηρούνται οι απαιτήσεις του ΚΤΧ.

Για την αντιμετώπιση της διάβρωσης των οπλισμών προσφέρονται οι ακόλουθοι τρόποι.

• Οι ανοξείδωτοι χάλυβες (Stainless steel)

Είναι χάλυβες με κράμα γενικώς πλούσιο σε νικέλιο και χρώμιο, οι λεγόμενοι «χρωμονικελιούχοι χάλυβες», που δεν προσβάλλονται από την οξείδωση. Το υψηλό κόστος όμως έναντι των κοινών χαλύβων, που είναι δεκαπλάσιο, καθιστά απαγορευτική την χρήση τους στις συνηθισμένες κατασκευές.

Η χρήση τους περιορίζεται μόνο σε έργα εξαιρετικά μεγάλης σημασίας, όπως στη στήριξη και ενίσχυση αρχαιολογικών μνημείων και σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον και όταν δεν υπάρχει άλλη λύση.

Γίνεται προσπάθεια και έρευνα να παραχθεί ανοξείδωτος χάλυβας με περιορισμό του νικελίου και χρωμίου και χρήση άλλων φθηνών

αντιοξειδωτικών στοιχείων με στόχο τη μείωση της τιμής στο 40% της σημερινής.

- **Χάλυβες με επιφανειακή προστασία**

Είναι χάλυβες με επιφανειακή αντιδιαβρωτική προστασία είτε με επιψευδαργύρωση (γαλβάνισμα), ή άλλη μεταλλική επικάλειψη, είτε με εποξειδική επίστρωση, είτε με επάλειψη από ανοξειδωτο ή αντιοξειδωτικό επίστρωμα. Συνηθέστερη είναι η χρήση της επιψευδαργύρωσης, καθώς οι άλλες θεωρούνται ύποπτες για μείωση της συνάφειας με το σκυρόδεμα. Εξ άλλου δεν πρέπει να αγνοηθεί ότι κάθε «επιδερμίδα» που συνιστά την επιφανειακή προστασία είναι ευαίσθητη στις κάμψεις και στις μηχανικές καταπονήσεις γενικώς, αλλά και στις θερμικές καταπονήσεις και ιδίως στη συγκόλληση.

- **Προστασία των χαλύβων από το σκυρόδεμα που τους περιβάλλει**

Η προστασία παρέχεται κυρίως με το αλκαλικό περιβάλλον που δημιουργεί το σκυρόδεμα γύρω από τον χάλυβα, υπό την προϋπόθεση ότι αυτό διαθέτει $pH > 11$.

Η αύξηση της περιεκτικότητας του τσιμέντου, η χρήση ειδικού τσιμέντου, η χρήση αναστολέων διάβρωσης, η αύξηση του πάχους του σκυροδέματος επικάλυψης των χαλύβων, η μείωση της αναλογίας του νερού, αλλά επίσης η πολύ καλή συμπίκνωση, μειώνουν το πορώδες και την διαπερατότητα του σκυροδέματος, δυσχεραίνουν την δίοδο της υγρασίας και των βλαπτικών στοιχείων και βελτιώνουν την προστασία. Η επίχριση του σκυροδέματος, η επάλειψη της επιφανείας του με στεγανοποιητικά οργανικά ή ανόργανα υλικά, όπως ακρυλικά, εποξειδικά, υδρύαλο κλπ. προσθέτει επίσης στην προστασία του οπλισμού.

Οι αναστολείς διάβρωσης (corrosion inhibitors) μπορούν να εφαρμοστούν ακόμα και επί υπάρχοντος σκελετού δια ψεκασμού, πέραν της δυνατότητας αναμίξεώς τους από νωπό σκυρόδεμα, στην κατάλληλη ποσότητα για τις συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος.

Η προστασία του χάλυβα από την διάβρωση δια του εγκιβωτισμού του στο σκυρόδεμα είναι η κατ' αποκλειστικότητα σχεδόν χρησιμοποιούμενη μέθοδος και για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η τήρηση των απαιτήσεων των Κανονισμών για την αυξημένη περιεκτικότητα σε τσιμέντο, τη μείωση της αναλογίας του νερού, το πάχος επικάλυψης, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις δυσμενών συνθηκών.

Για παράδειγμα είναι εντελώς απαράδεκτη η χρησιμοποίηση «φτωχού» σκυροδέματος δηλαδή σκυροδέματος με τσιμέντο λιγότερο από 330 kg/m^3 σε παραθαλάσσιες περιοχές.

- **Καθοδική προστασία (cathodic protection)**

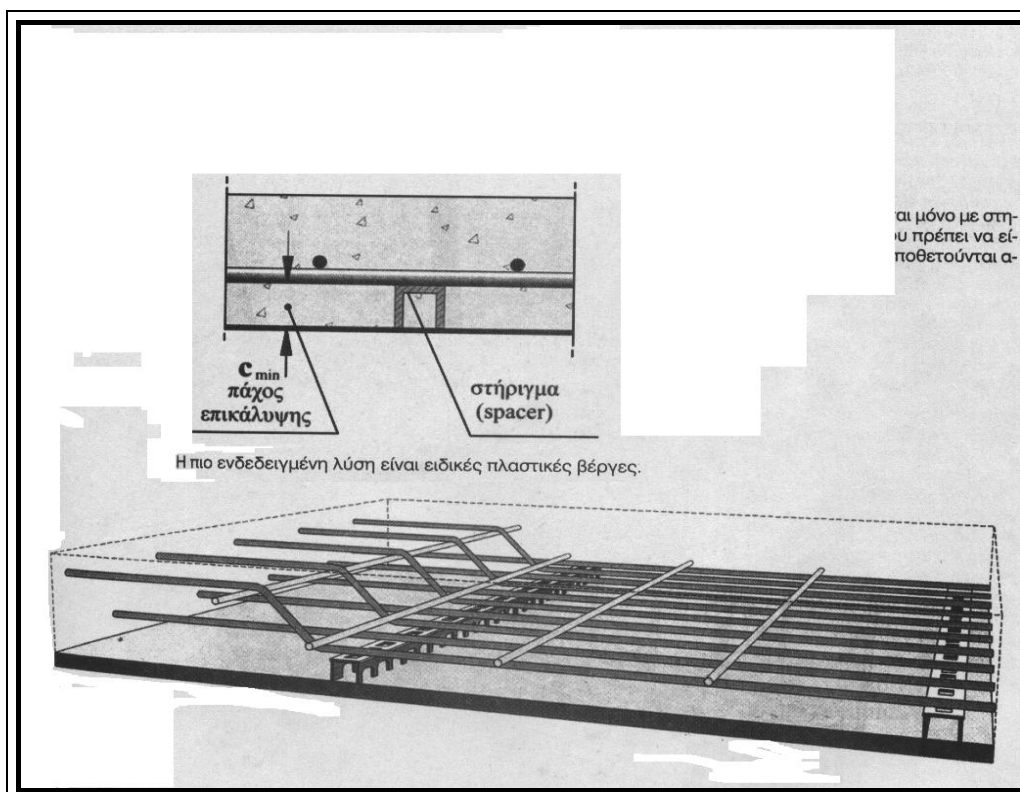
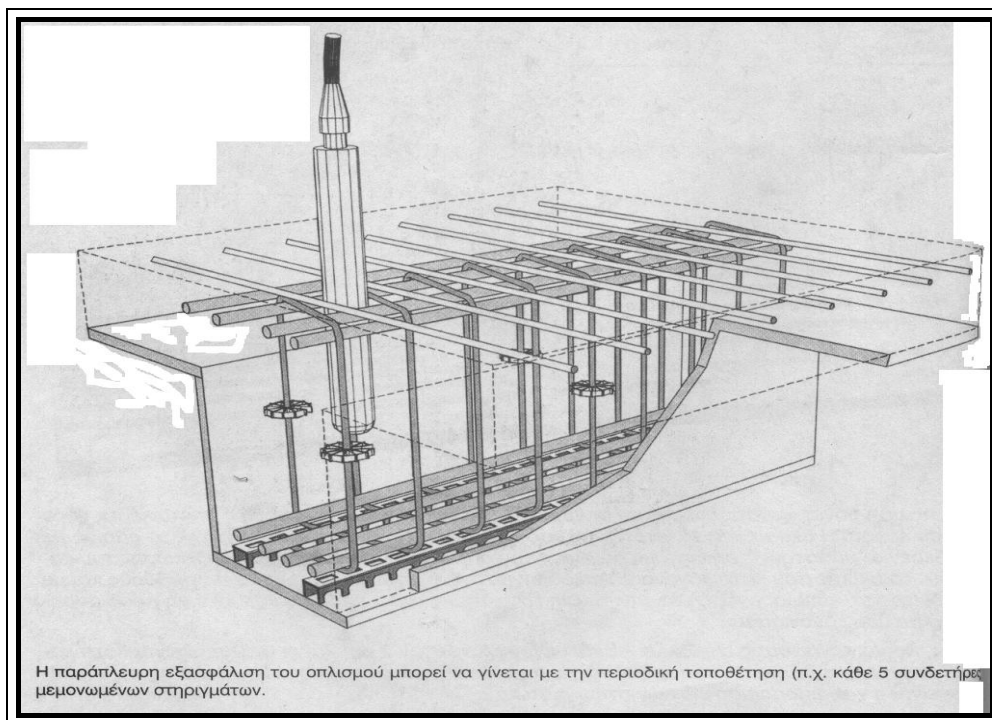
Η οξειδωση-διάβρωση του χάλυβα είναι το αποτέλεσμα μιας σύνθετης ηλεκτροχημικής αντίδρασης, στην οποία ο χάλυβας αναλύεται ως άνοδος σε μια ηλεκτρολυτική διαδικασία, όπου συμμετέχουν, ως απαραίτητα στοιχεία, το οξυγόνο και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του σκυροδέματος, την οποία γενικώς εξασφαλίζει το νερό των πόρων.

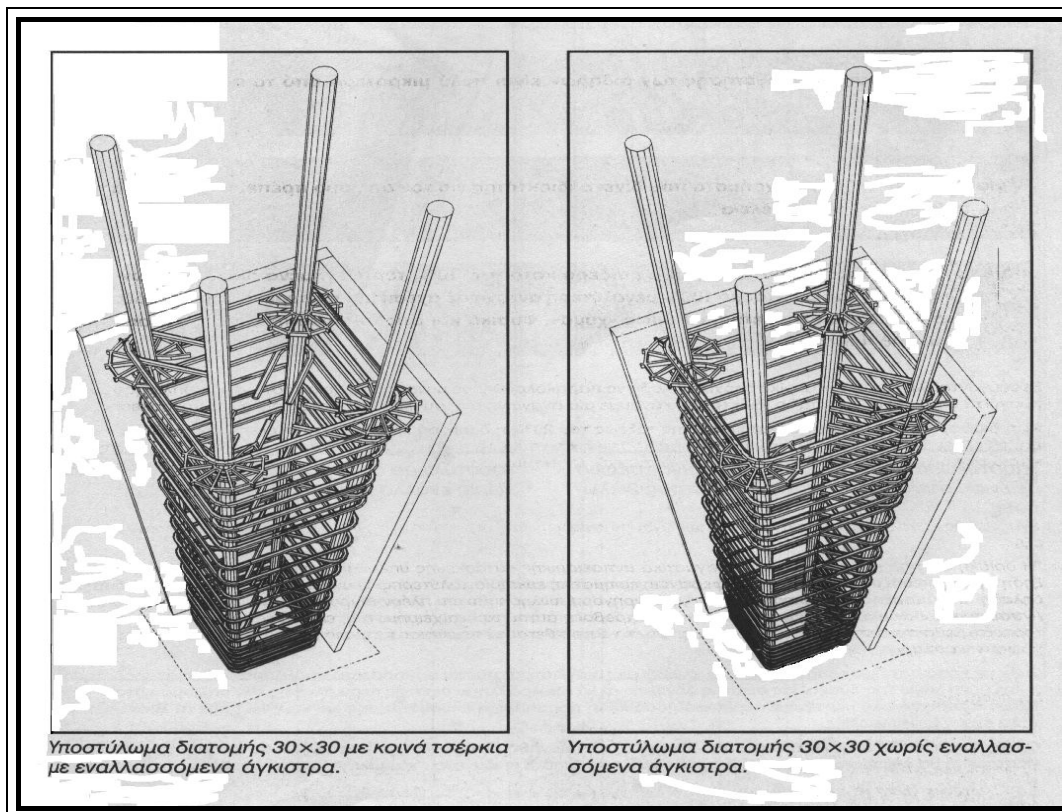
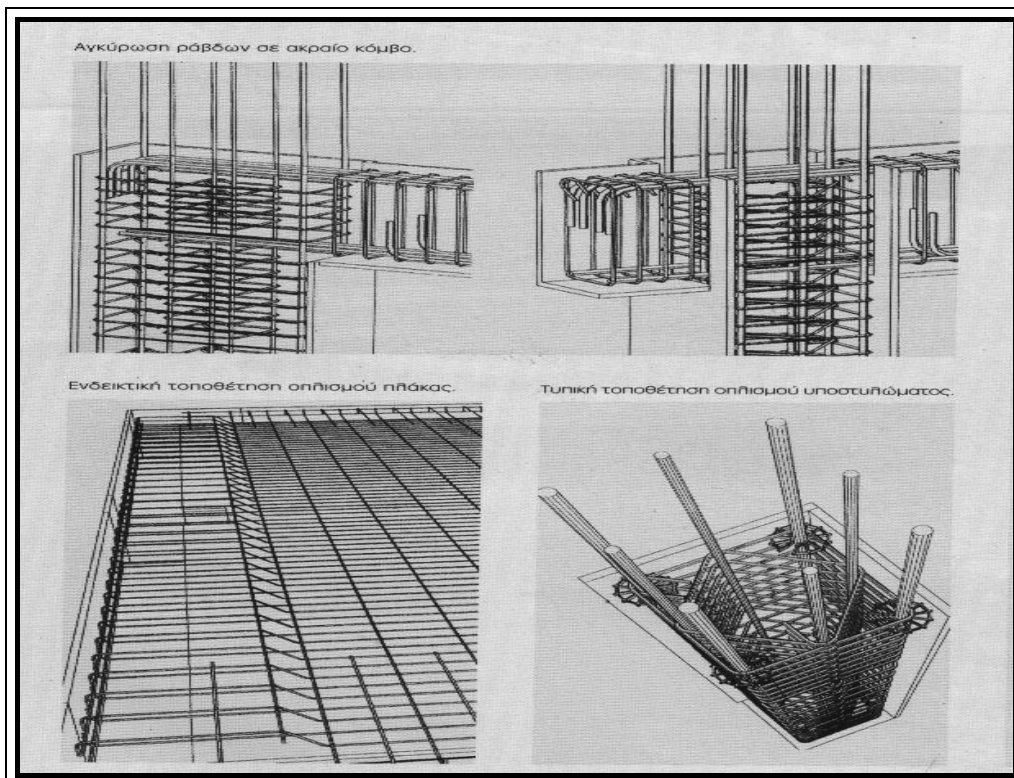
Το φαινόμενο είναι σύνθετο και πολύπλοκο καθώς «τοπικά» γαλβανικά στοιχεία (μικροστοιχεία) μπορούν να σχηματισθούν επάνω στην ίδια τη ράβδο, για διαφορετικές αιτίες σε κάθε θέση, όπως είναι η ύπαρξη εγκοπών στον χάλυβα, ή διαφορά βαθμού οξειδωσης, ή επαφή με άλλο μέταλλο, ή διαφορά υγρασίας στο σκυρόδεμα που περιβάλλει τον οπλισμό, ή ακόμα λόγω μικρών ανομοιομορφιών του κράματος ή και η διαφορά τάσης λειτουργίας. Μπορούν επίσης να δημιουργηθούν «μακροστοιχεία», λόγω συνθηκών περιβάλλοντος π.χ. λόγω διαχύσεως χλωριόντων στο επίπεδο οπλισμού, που βρίσκεται προς τη θάλασσα, ενώ το «προστατευμένο» πίσω επίπεδο μένει απρόσβλητο ή λιγότερο προσβεβλημένο.

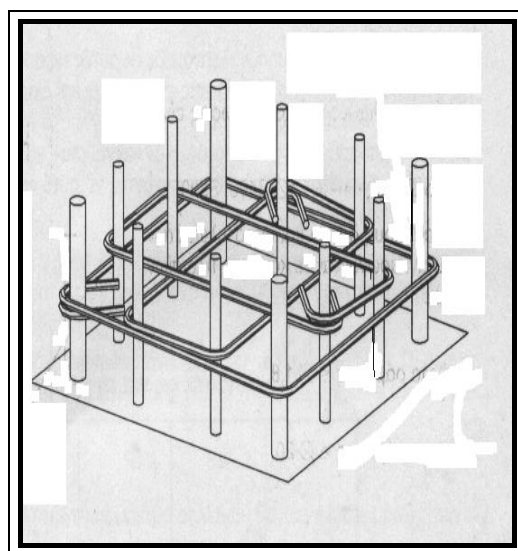
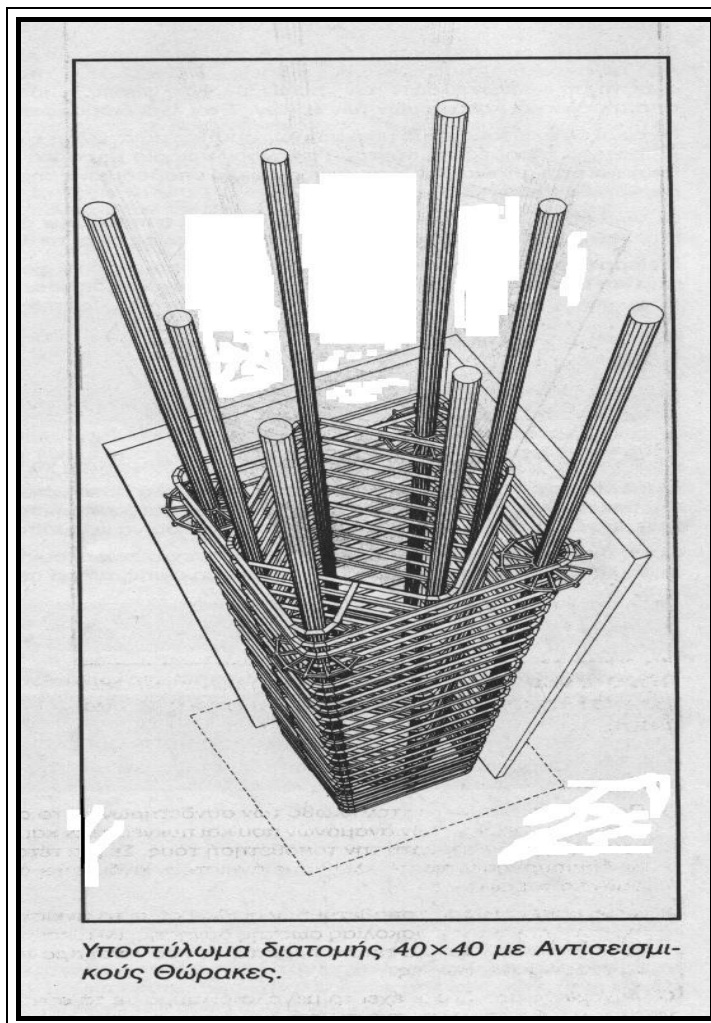
Όταν η είσοδος του οξυγόνου και της υγρασίας δια των πόρων του σκυροδέματος δεν μπορεί να αποτραπεί, η διάβρωση μπορεί να αποφευχθεί με την χρησιμοποίηση ενός μετάλλου-ανόδου με μεγαλύτερο ηλεκτρικό δυναμικό από τον χάλυβα οπλισμού του σκυροδέματος π.χ. ψευδάργυρο, που θα θυσιάζεται να αναλύεται αντί του χάλυβα και θα πρέπει να αντικαθίσταται σε τακτά χρονικά διαστήματα ή να τοποθετείται εξ αρχής σε τέτοια ποσότητα (υπολογισμένη πάντοτε), που να επαρκεί για όλη την προγραμματισμένη διάρκεια ζωής του έργου.

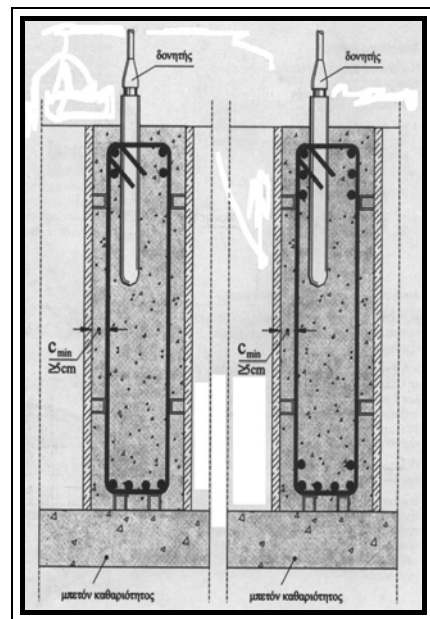
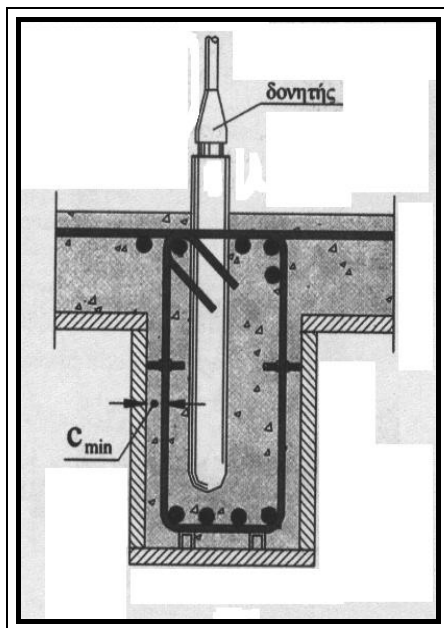
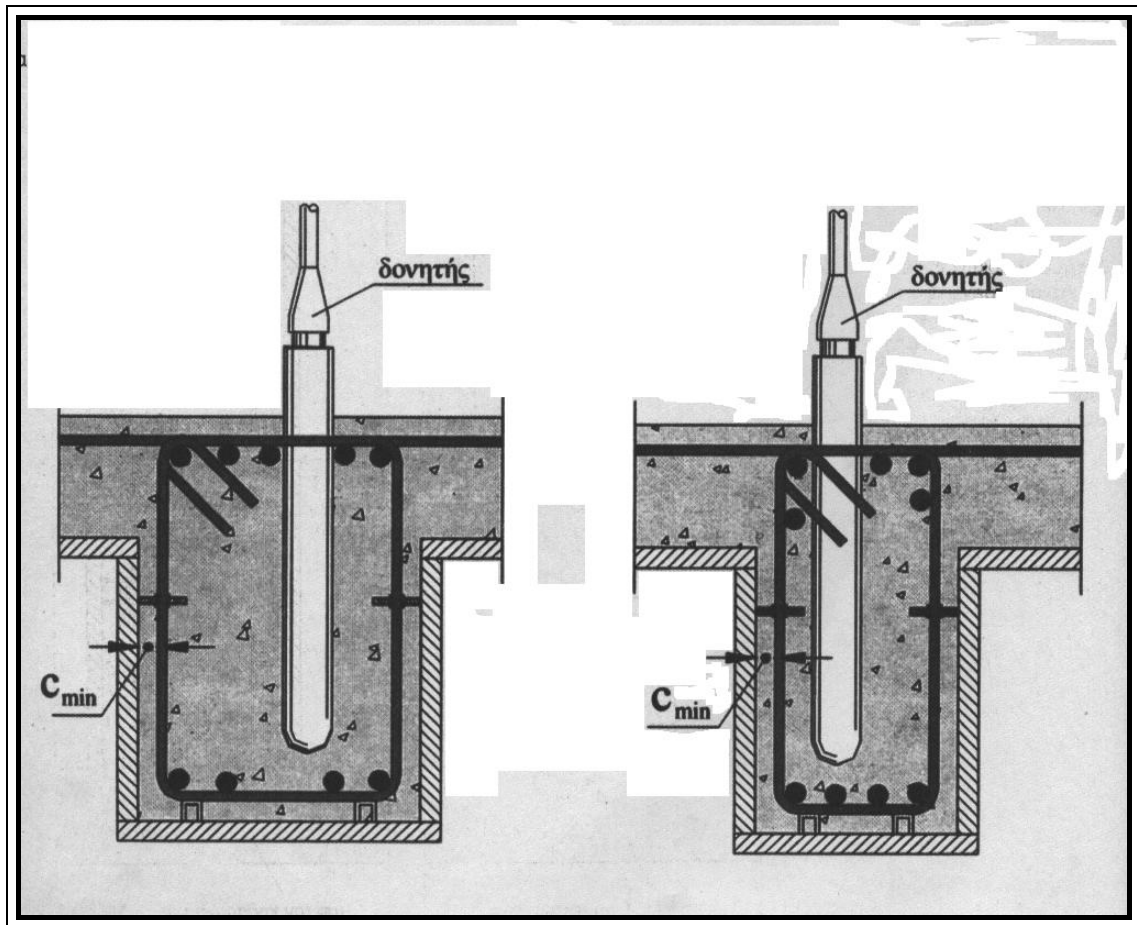
Η μέθοδος αυτή συνιστά την καθοδική προστασία. Καθοδική προστασία επιτυγχάνεται επίσης με την σύνδεση των χαλύβων του σκελετού με τον αρνητικό πόλο, σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα συνεχούς ρεύματος, που θα λειτουργεί συνεχώς καθ'όλη την διάρκεια ζωής του έργου. Ως βοηθητική άνοδος χρησιμοποιείται πλέγμα τιτανίου, επιφανειακά καλυμμένου με οξειδία τιτανίου. Ο έλεγχος καλής λειτουργίας του συστήματος μπορεί να γίνει με ρύθμιση του δυναμικού προστασίας (συνήθως πάνω από 500 mV), με τη βοήθεια ηλεκτροδίων αναφοράς, ενσωματωμένων στο σκυρόδεμα.

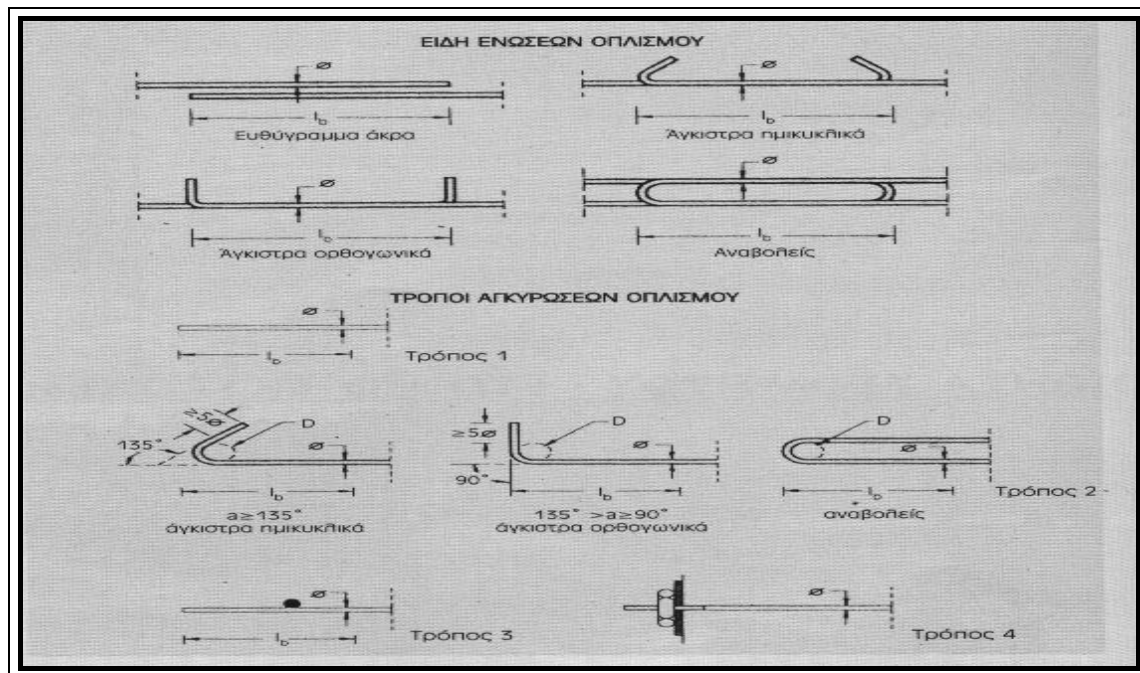
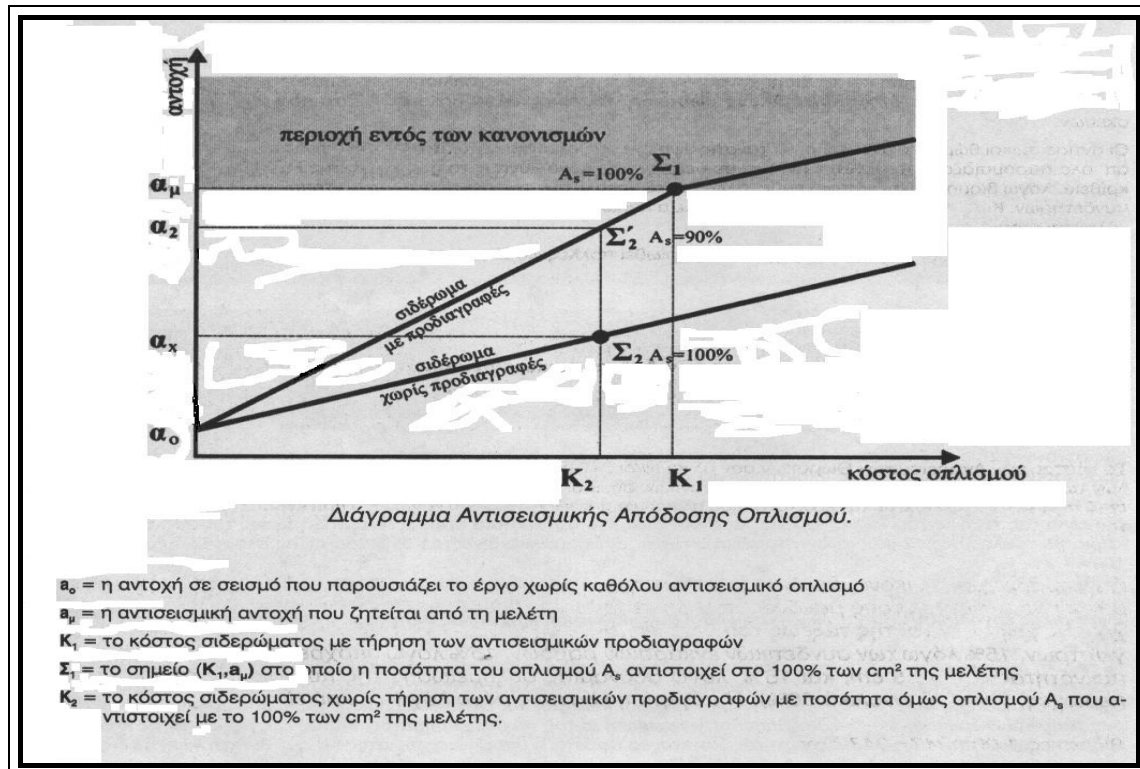
Θεωρητικά η καθοδική προστασία μπορεί να αναστείλει και να προστατεύσει πλήρως τον οπλισμό από τη διάβρωση. Δυστυχώς όμως λόγω ελλειπούς γνώσης του αντικειμένου και παντελούς έλλειψης τεχνικών οδηγιών, αλλά και λόγω κόστους εφαρμόζεται σε ελάχιστες περιπτώσεις.





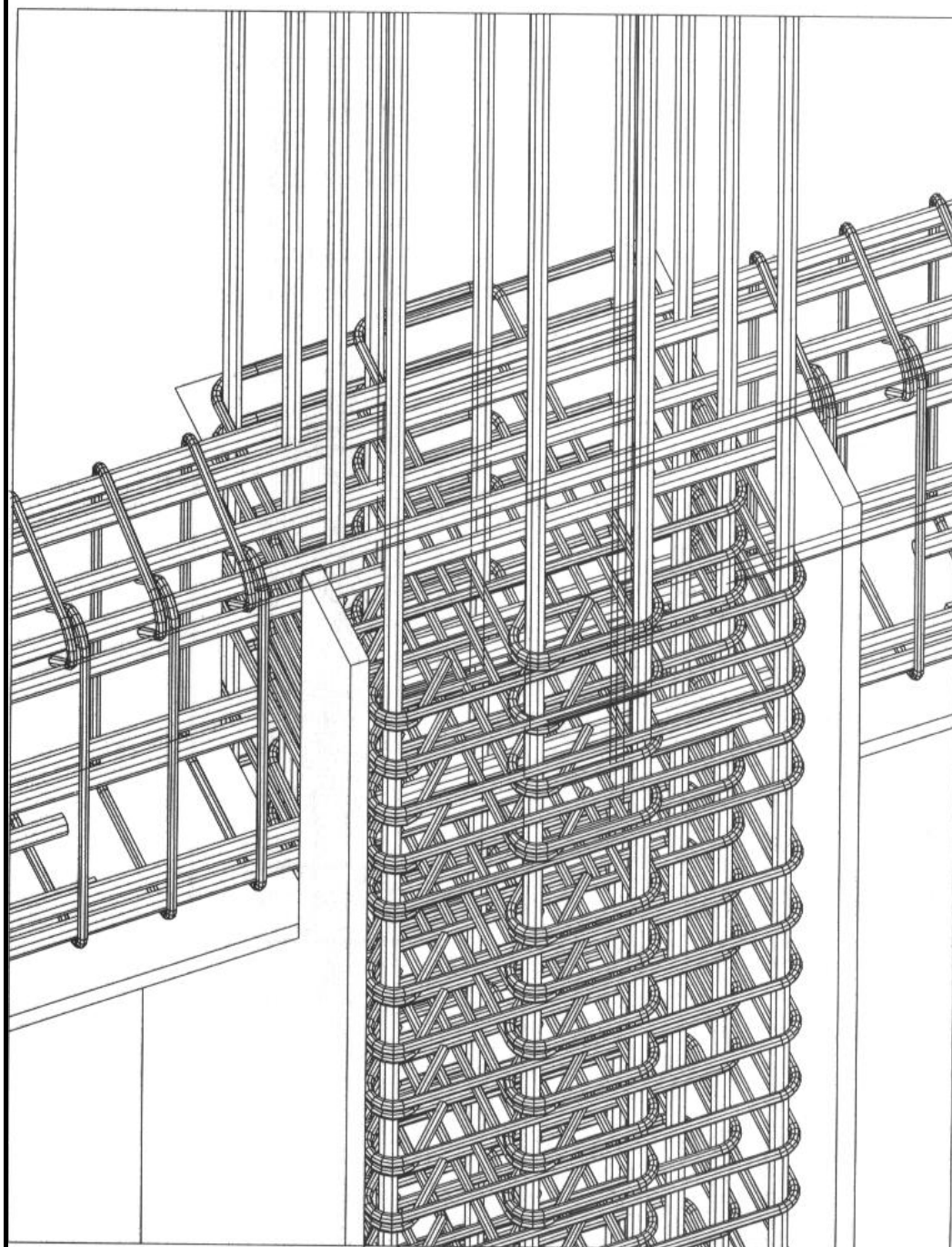






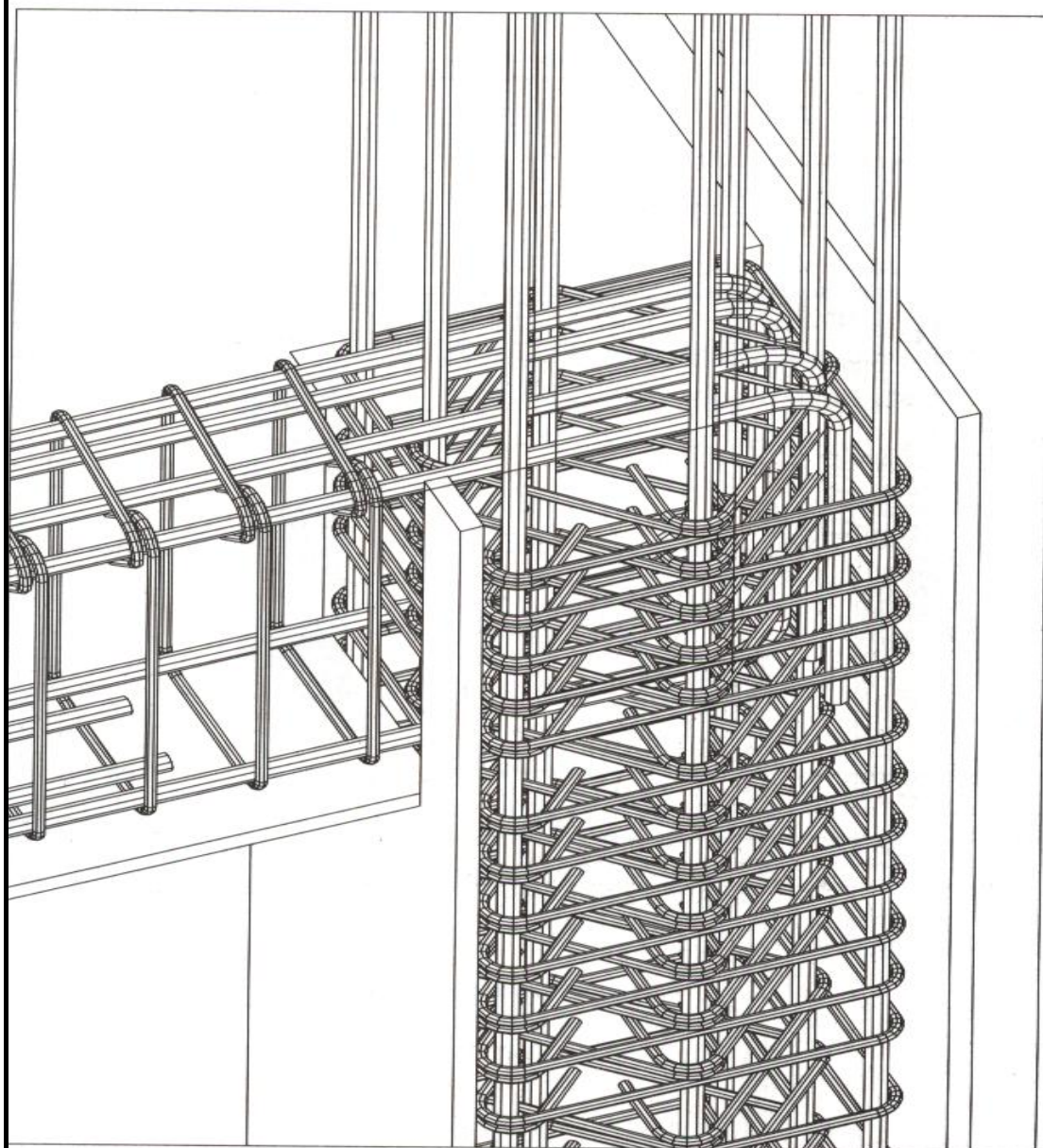
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΜΕΣΑΙΟΥ ΚΟΜΒΟΥ

ΑΞΟΝΟΜΕΤΡΙΚΟ



ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΑΚΡΑΙΟΥ ΚΟΜΒΟΥ

ΑΞΟΝΟΜΕΤΡΙΚΟ



3.16. Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ο πρώτος Ελληνικός Κανονισμός «για την μελέτη και εκτέλεση οικοδομικών έργων εξ οπλισμένου σκυροδέματος» εξεδόθη πριν από 50 χρόνια με το Βασιλικό Διάταγμα Β.Δ./54 (Φ.Ε.Κ. 106/Α/18-2-54) καθώς και η Πρότυπη Τεχνική Προδιαγραφή : ΠΤΠ 504/54 περί σκυροκονιαμάτων.

Το 1959 εκτός από τα πρόσθετα άρθρα για το Αντισεισμικό, εκδόθηκε και το Β.Δ. /59: «Αδρανή σκυροδεμάτων» (ΦΕΚ 255/Α/9-10-59). Μετά 20 χρόνια το 1975 εκδόθηκε η Π.Τ.Π.: «Έτοιμο σκυρόδεμα» (ΦΕΚ 1297/Β/10-11-75) που ήταν αντίστοιχο του Σχεδίου Ελληνικού Προτύπου: ΕΛΟΤ-346 «Το έτοιμο σκυρόδεμα», το οποίο και μέχρι σήμερα έχει παραμείνει στο καθεστώς του «Σχεδίου Προτύπου».

Το 1981 εξεδόθη η σημαντική Εγκύκλιος : Ε-21 με την οποία θεσμοθετήθηκε Αγορανομικός Έλεγχος του Ετοίμου Σκυροδέματος. Για πρώτη φορά εγένοντο έλεγχοι από μικτά Συνεργεία του ΚΕΔΕ παρουσία Αστυνομικών Οργάνων σε διερχόμενες βαρέλες με σκυρόδεμα, ελαμβάνοντο δοκίμια και εάν δεν ικανοποιούσαν τις απαιτήσεις του ΒΔ/54 για Β160, Β225 κλπ. (π.χ. $X_3 \geq 225$, $X_1 \geq 225-20\%$) επεβάλλοντο πρόστιμα αρκετά τσουχτερά για την εποχή εκείνη της τάξεως του 1.500.000 δρχ.

Στη συνέχεια το 1985 εξεδόθη ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΚΤΣ-85 (ΦΕΚ/226/Β/9-5-85). Ο ΚΤΣ-85 κατήργησε πολλά άρθρα του ΒΔ/54 και ολοσχερώς το ΒΔ/59, ΠΤΠ-504, ΠΤΠ για Έτοιμο Σκυρόδεμα και «Υδωρ αναμείξεως» και των Ε-21. Καθιέρωνε για πρώτη φορά την έννοια της χαρακτηριστικής αντοχή (f_{ck}) και των κριτηρίων συμμορφώσεως, Α, Β, Γ, Δ και της αποδοχής / αμφισβήτησης μιας παρτίδας σκυροδέματος με βάσει στατιστικά κριτήρια.

Μετά από 7 χρόνια εκδόθηκε το ΠΔ/393 για την επιβολή ποινών στους παραβάτες του Κανονισμού, σύμφωνα με τον Ν 1418/84 άρθρο 21.

Έτσι αφού δεν υπήρχαν επιπτώσεις, παρά μόνο για όσους έπαιρναν συμβατικά δοκίμια και δεν ικανοποιούνταν οι απαιτήσεις του ΚΤΣ-85, ο κανονισμός είχε μικρή εφαρμογή στην πράξη.

Το 1997 έγινε ευρεία αναθεώρηση του Κανονισμού και εκδόθηκε ο ΚΤΣ-97 (ΦΕΚ/315/Β/17-4-97), στον οποίο καθιερώθηκαν οι νέες κατηγορίες σκυροδέματος π.χ. C16/20, C20/25, C25/30, κλπ. επίσης καθιερώθηκε το κριτήριο: Ε για σκυροδετήσεις, κάτω από 20m^3 , ενώ καταργήθηκε η σειρά των Ελληνικών Κοσκίνων και των Γερμανικών μητρών: $20\chi 20\chi 20\text{cm}$.

Εγινε προσθήκη απαιτήσεων για αδρανή μέγιστου κόκκου: $3/8''$ (8mm), και καθιερώθηκε σε κάθε Μονάδα Ετοιμού Σκυροδέματος ο Υπεύθυνος Παραγωγής και Ποιότητας (§ 12.1.3) που πρέπει να είναι Διπλωματούχος Μηχανικός καθώς και τα Μητρώα Αντοχών και Διαγράμματα Αντοχών κλπ. Τέλος έγιναν αλλαγές στους επανελέγχους με καρότα (§ 13.7), ενώ κυκλοφόρησε η Εγκύκλιος Ε-7 για τις περιπτώσεις «Εκτίμησης κατηγορίας αντοχής του σκυροδέματος υφισταμένων κατασκευών» (Δ14/19066/28-3-97).

Επίσης, στα πλαίσια του Έτους Ποιότητας / 2000, εκδόθηκαν :

- α) Ο Κανονισμός διενέργειας ελέγχων ποιότητας υλικών και έργων (ΦΕΚ/332/Β/28-3-2001), και
- β) ΠΔ / 121, επιβολή προστίμου για παράβαση διατάξεων του άρθρου 21 του Νόμου 1418/1984 (ΦΕΚ/112/Α/6-6-2001). Με το διάταγμα αυτό το μέγιστο ύψος των προστίμων αυξήθηκε από 3.00.000 δρχ. στα 25.000.000 δρχ.

Το 2002 έγινε η προσαρμογή του ΚΤΣ-97 προς τις απαιτήσεις του εναρμονισμένου Προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1 Τσιμέντο-Μέρος Ι: Σύνθεση προδιαγραφές και κριτήρια συμμορφώσεως για τα κοινά τσιμέντα (ΦΕΚ/537/Β/1-5-02). Οι αλλαγές αφορούσαν κυρίως το νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο για τσιμέντο, που καθιέρωνε τις κατηγορίες αντοχής $32,5\text{MP}_a$, $42,5\text{MP}_a$ και $52,5\text{MP}_a$ (π.χ. Π/42,5 κλπ.) αντί των $35-45-55\text{MP}_a$ που ίσχυαν με το ΠΔ/244/80. Συνέχισε να βρίσκεται σε ισχύ ο τύπος SR (Sulphate Resistant) με αντίσταση στα θειικά (τύπος IV). Επίσης προστέθηκε η κατηγορία κάθισης S5 (= 22,0) και άλλαξε ο Πίνακας § 11.6 για τον χρόνο αφαίρεσης ξυλοτύπων.

Τον Μάιο του 2003 τέθηκε σε υποχρεωτική ισχύ το EN 934-2 για τα πρόσθετα σκυροδέματος, ενώ προβλέφθηκε το ίδιο και για το EN 12620 για τα αδρανή από τον Ιούνιο του 2004.

4. ΧΑΛΥΒΕΣ

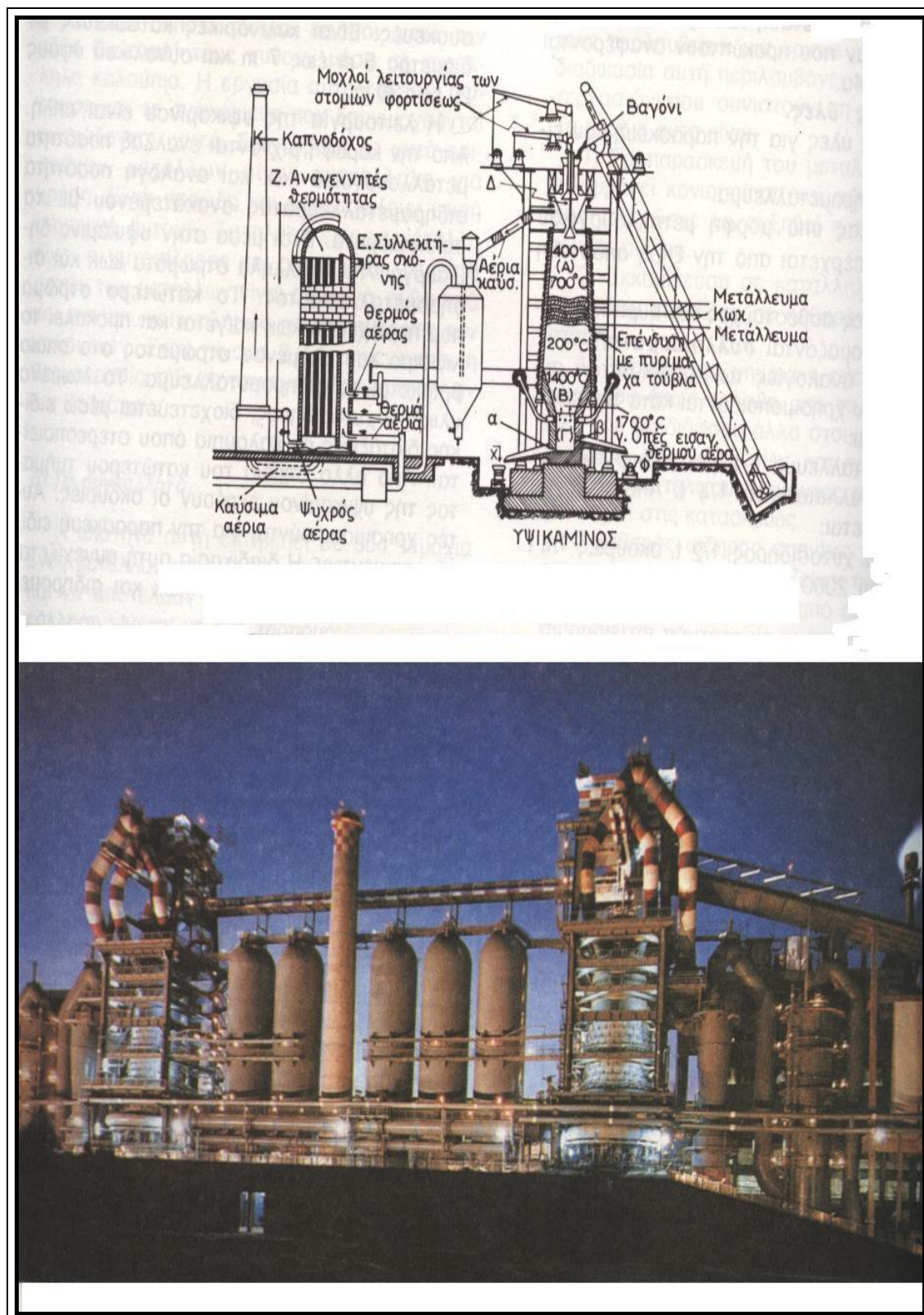
4.1 Ιστορικό

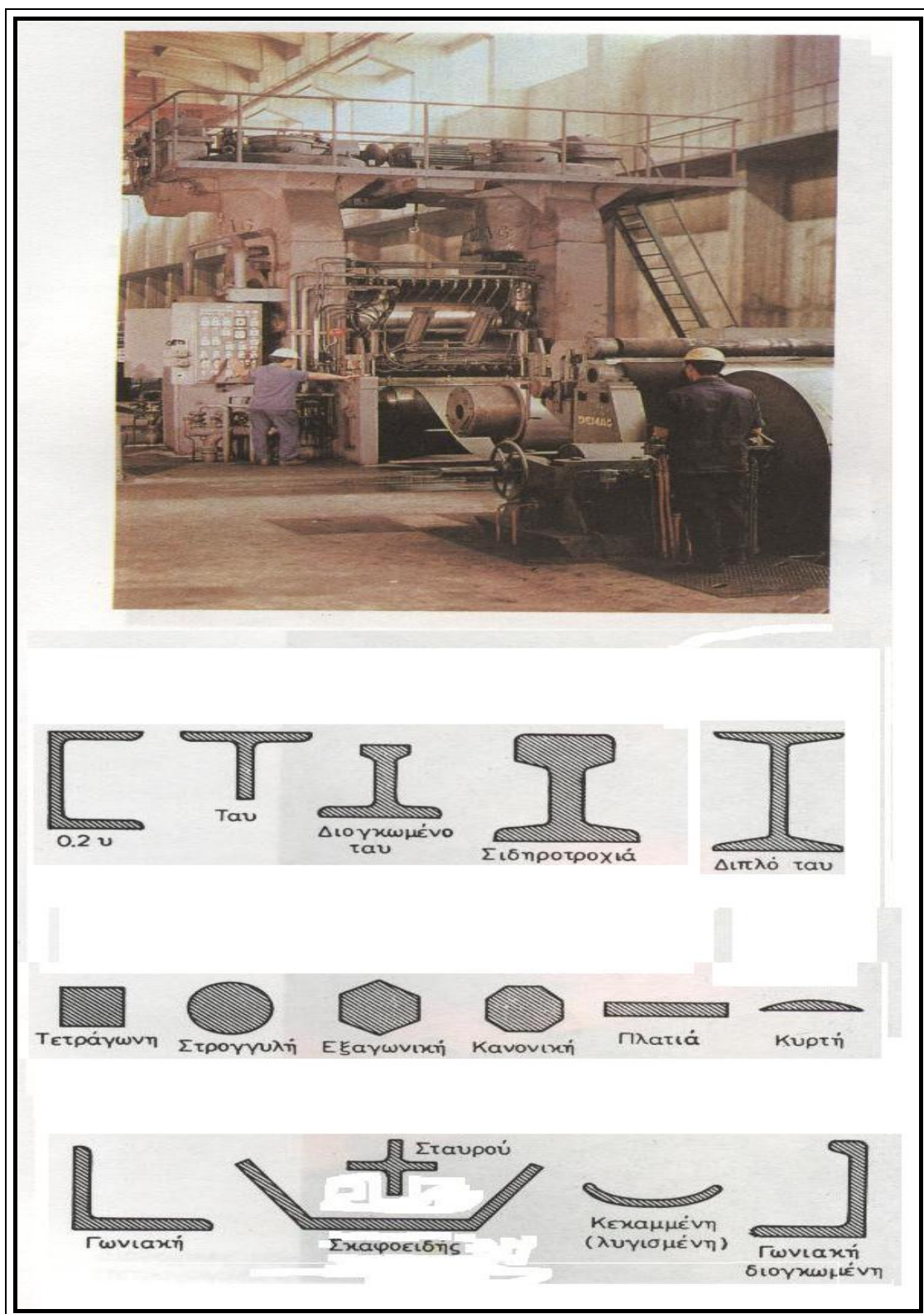
Αναφέρεται από πολλούς αρχαίους Έλληνες συγγραφείς, όπως ο Ηρόδοτος, ο Ξενοφώντας, ο Στράβωνας και άλλοι, ότι οι χάλυβες ήταν ένας πανάρχαιος λαός. Για την γεωγραφική θέση της χώρας τους υπάρχουν διϊστάμενες απόψεις με επικρατέστερη του Ξενοφόντα, δηλαδή τις νότιες ακτές του Εύξεινου Πόντου, μεταξύ Σινώπης και Αμισού, όπου βρέθηκαν ίχνη μεταλλείων.

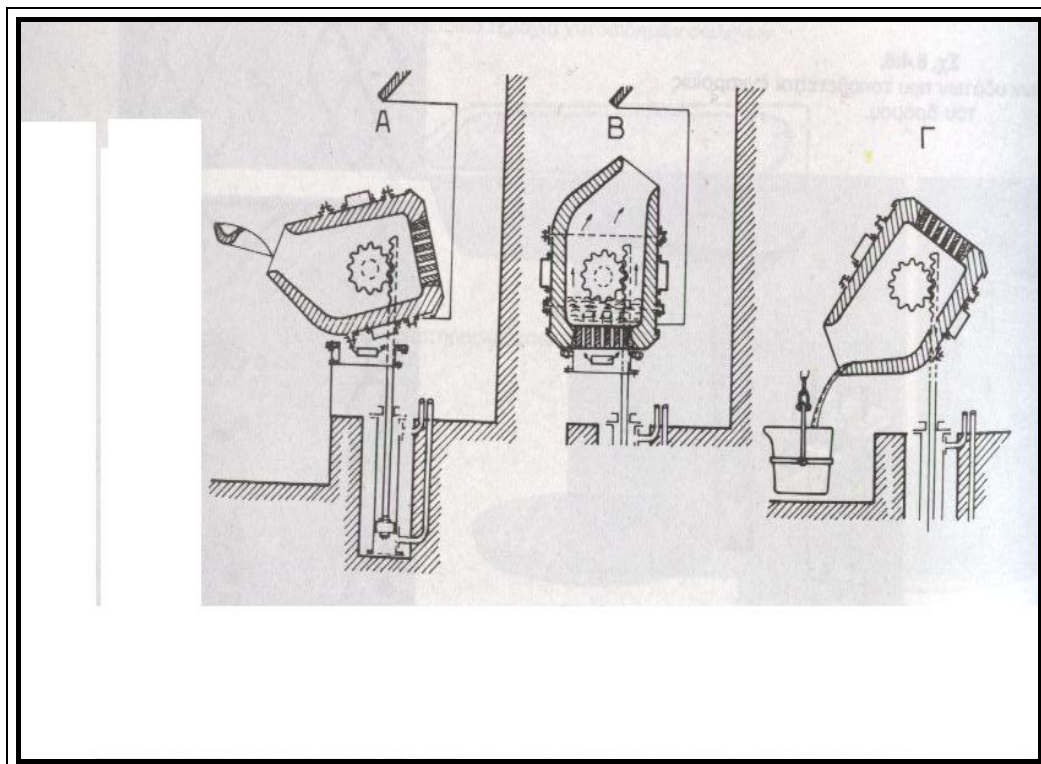
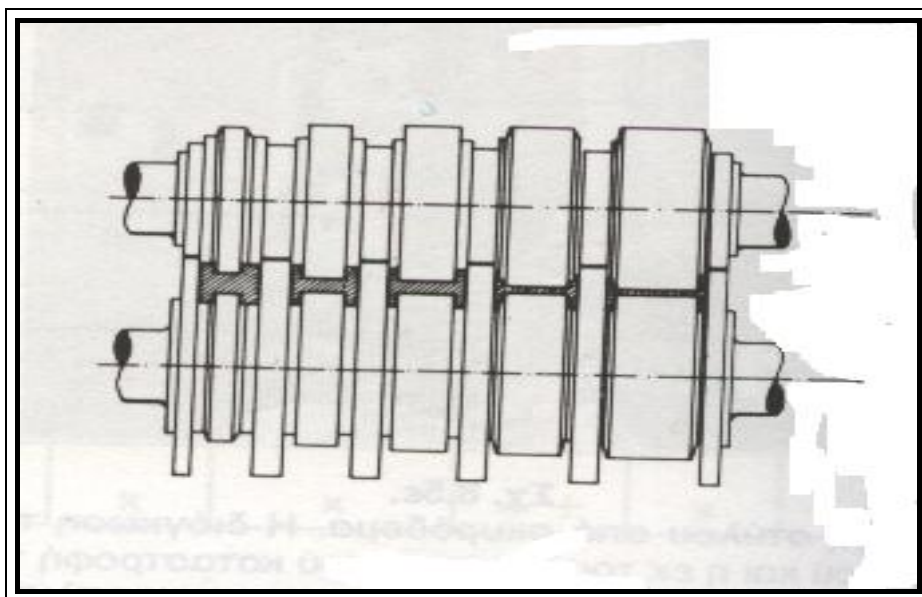
Ο λαός αυτός, όπως πιστεύεται, ανεκάλυψε και κατεργάστηκε τον σίδηρο και εκεί οφείλεται ο όρος «χάλυψ».

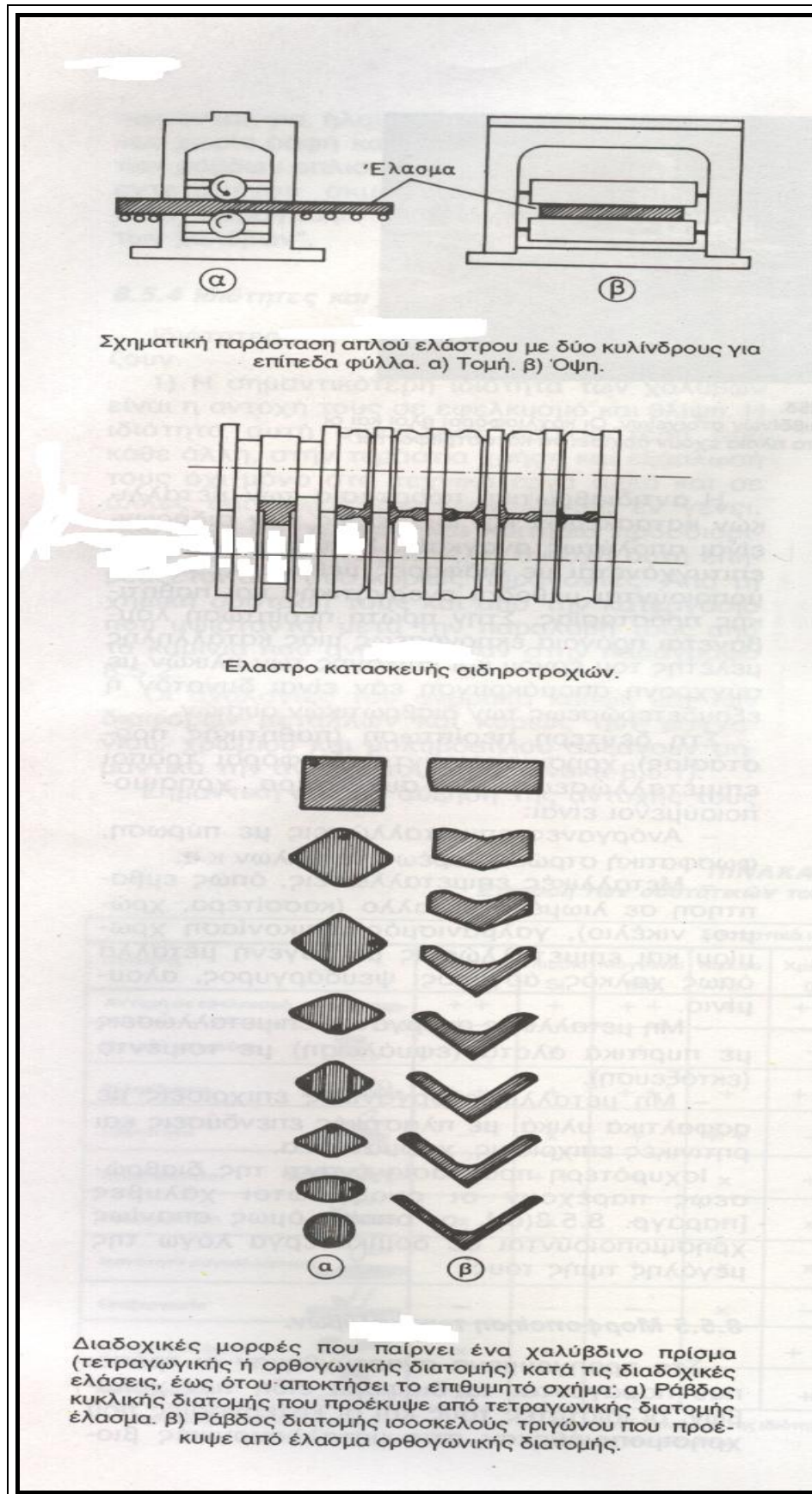
Ο Αισχύλος στον «Προμηθέα Δεσμώτη» ονόμαζε τους χάλυβες «σιδηροτέκτονες». Από πολλούς λαούς της περιοχής λατρευόταν και θεός «Χάλυψ» γιός του Άρη του θεού του πολέμου προς τιμή του μετάλλου, που ήταν βασικό υλικό των όπλων.

Η ανακάλυψη του σιδήρου και κατ' επέκταση του χάλυβα έφερε επανάσταση στην παγκόσμια εξέλιξη, αφού αποτελεί το βασικό υλικό άπειρων και σημαντικότητας κατασκευών. Από πλευράς ενδιαφέροντος Πολιτικού Μηχανικού, είναι η «καρδιά» και το σημαντικότερο συστατικό του φέροντα οργανισμού των έργων. Η προσπάθεια, που καταβάλλεται παγκοσμίως για την βελτίωση των ιδιοτήτων του είναι συνεχής και διαρκώς εντεινόμενη και δεν περιορίζεται μόνο στις ιδιότητες, αλλά επεκτείνεται στην ανεύρεση νέων μεθόδων κατεργασίας των προϊόντων του, της διαμόρφωσης αυτών, της τοποθέτησής τους στον φέροντα οργανισμό μιας κατασκευής, στην προστασία τους από την φθορά, την οξείδωση και την διάβρωση.









4.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

4.2.1 Γενικά

Οι χάλυβες είναι κράματα σιδήρου και άνθρακα σε αναλογία μέχρι 1,7%. Περιέχουν επίσης και άλλα στοιχεία, όπως μαγγάνιο, πυρίτιο, φωσφόρο, θείο σε μικρότερες αναλογίες. Οι χάλυβες αυτοί ονομάζονται χάλυβες φυσικής σκληρότητας. Από τους χάλυβες φυσικής σκληρότητας παράγονται με την προσθήκη άλλων μετάλλων, όπως νικέλιο, χρώμιο κλπ. ή κατόπιν διαφόρων επεξεργασιών, ειδικοί χάλυβες με εξειδικευμένες ιδιότητες.

Οι χάλυβες κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες :

- **Χάλυβες αναδέσεως** : Παράγονται σε φλογοβόλα καμίνια από χυτοσίδηρο υψικαμίνου. Το υλικό στερεοποιείται σε πρίσματα βάρους 40-50 kg που υποβάλλονται σε σφυρηλάτηση. Οι χάλυβες αυτοί χρησιμοποιούνται σπάνια.
- **Ρευστοπαγείς χάλυβες** : Παράγονται και αυτοί από χυτοσίδηρο υψικαμίνου. Προσκομίζεται ρευστός σε ειδικά καμίνια, όπου αποβάλλεται όλος ή μέρος του άνθρακα, καθώς και οι διάφορες ανεπιθύμητες προσμίξεις. Είναι υλικό εξαιρετικά ανθεκτικό και αποτελεί την πρώτη ύλη για την κατασκευή όλων σχεδόν των σιδηρών δομικών υλικών.

4.2.2 Παραγωγή

Για την παραγωγή του ρευστοπαγούς χάλυβα εφαρμόζονται βασικά τρεις μέθοδοι :

1) Μέθοδος *Bessemer and Thomas*.

Λιωμένος χυτοσίδηρος μεταφέρεται σε ειδικά δοχεία τους **μετατροπείς**. Οι μετατροπείς είναι μεταλλικά δοχεία σχήματος αχλαδιού και έχουν εσωτερική πυρίμαχη επένδυση από χαλαζιακό αργιλόλιθο ή βασικό δολομίτη. Στους μετατροπείς εισάγεται κρύο αέρα και καίγονται ο άνθρακας και οι άλλες προσμίξεις. Σε ειδικές περιπτώσεις εισάγεται οξυγόνο.

2) **Η Μέθοδος βασικής καμίνου οξυγόνου**, η οποία είναι παραλαγή της μεθόδου Bessemer και είναι η πλέον συνηθισμένη μέθοδος παραγωγής χάλυβα σήμερα. Το βασικό νέο στοιχείο της μεθόδου είναι η εισαγωγή καθαρού οξυγόνου από το στόμιο του μετατροπέα, ο οποίος έχει

χωρητικότητα που ξεπερνά τους 300 τόννους. Η διαδικασία παραγωγής χάλυβα ολοκληρώνεται σε λιγότερο από 45 λεπτά.

3) Μέθοδος Siemens-Martin (κάμινος ανοικτής εστίας): Κατά τη μέθοδο αυτή, που διαφέρει τελείως από την προηγούμενη χρησιμοποιείται μίγμα χυτοσιδήρου γνωστής περιεκτικότητας σε άνθρακα και τεμάχια παλαιού χάλυβα. Στο καμίνι αυτό εισάγεται θερμός αέρας και μπορεί να αναπτύξει πολύ υψηλές θερμοκρασίες της τάξεως των 1500 – 1700°C.

4) Μέθοδοι ηλεκτρικού καμινιού.

Χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη χάλυβας που παρασκευάστηκε με τη μέθοδο Bessemer ή Thomas από τον οποίο έχει αφαιρεθεί τελείως ο άνθρακας. Στο καμίνι αυτό προστίθεται καθαρός άνθρακας συγκεκριμένης ποσότητας, καθώς και άλλα μέταλλα. Έτσι αποκτάται χάλυβας με απολύτως καθορισμένες αναλογίες των διαφόρων συστατικών του. Με τη μέθοδο αυτή παράγονται χάλυβες εξαιρετικής ποιότητας. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι της τάξεως των 2000° C και επιτυγχάνονται με την βοήθεια ηλεκτρικού τόξου, μέσω ηλεκτροδίων γραφίτη. Η χωρητικότητα της καμίνου φθάνει τους 300 τόννους και ο χρόνος καύσης περίπου 3 ώρες.

Με τις αναφερθείσες μεθόδους παράγεται χάλυβας με ποικίλες ιδιότητες χάρη στην προσθήκη άνθρακα και άλλων μετάλλων σε διάφορες αναλογίες. Περαιτέρω βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων γίνεται με ψυχρή κατεργασία, όπως στρέψη, έλξη, τάνυση, κλπ. Επίσης γίνεται η λεγόμενη βαφή για την επιφανειακή σκληρότητα.

4.2.3 Δομικοί χάλυβες

Μια μεγάλη κατηγορία χαλύβων είναι οι δομικοί χάλυβες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ράβδων οπλισμού για το οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα.

Οι χάλυβες σκυροδέματος είναι το αποτέλεσμα της μορφοποίησης των συμπαγών στερεών σωμάτων πρισματικού ή κωλούρου σχήματος (χελώνες) που παράγουν οι βιομηχανίες χαλύβων.

Με τη μορφοποίηση των στερεών αυτών επιτυγχάνονται ποικίλα σχήματα για πλήθος εφαρμογές. Η μετατροπή του αρχικού σχήματος γίνεται με διάφορες μεθόδους, κυριότερες των οποίων είναι η έλαση (κυλίνδρωση) και η έλξη (τράβηγμα). Σπανίως χρησιμοποιείται η χύτευση και μόνο σε ειδικά τεμάχια, όπως εφένδρανα γεφυρών, κ.α.

Στην έλαση χρησιμοποιούνται ειδικοί κύλινδροι (έλαστρα) που η επιφάνειά τους διαμορφώνεται έτσι, ώστε όταν περάσει ένα έλασμα ή μία ράβδος ανάμεσα σε δύο εν επαφή κύλινδρους να παίρνει ένα

συγκεκριμένο σχήμα, π.χ. μιας τετραγωνικής διατομής ράβδος ή ένα παχύ έλασμα μπορεί ύστερα από πολλές διελεύσεις από τα κατάλληλα έλαστρα να αποκτήσει διατομή, διπλού ταύ (I), κύκλου ή γωνίας. Σε έλαστρα με επίπεδη επιφάνεια παράγονται πλάκες και φύλλα.

Η μέθοδος της έλξεως, που βασίζεται στην ολκιμότητα του υλικού, χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή τετραγωνικής, ορθογωνικής και πολυγωνικής διατομής ράβδων. Η έλξη γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλων μηχανών.

Με τη μέθοδο της ελάσεως και σπανιότερα με τις μεθόδους έλξεως και σφυρηλατήσεως παράγονται από χάλυβα προϊόντα σε μεγάλη ποικιλία και ποιότητα.

Από κοινούς χάλυβες με αντοχή σε θραύση από 33 kP/mm² έως 70kP/mm² παράγονται χωρίς ιδιαίτερη επεξεργασία τα εξής δομικά στοιχεία :

- Ραβδόμορφοι χάλυβες σκυροδέματα,
- Μορφοχάλυβες,
- Επίπεδα ελάσματα (ταινίες, φύλλα, λεπίδες),
- Χάλυβες κοίλης, τετραγωνικής ή ορθογωνικής διατομής,
- Σφυρήλατα εξαρτήματα.

Από ανθεκτικότερους χάλυβες που έχουν υποστεί επεξεργασία εν ψυχρώ ή εν θερμώ ή από ανοξείδωτους χάλυβες κατασκευάζονται τα εξής υλικά:

- 1) Κυκλικοί σωλήνες με ραφή ή χωρίς ραφή
- 2) Επίπεδα ελάσματα εν ψυχρώ χωρίς επικάλυψη
- 3) Επίπεδα ελάσματα με επικάλυψη
- 4) Χάλυβες με λειασμένη επιφάνεια
- 5) Διατομές μορφωμένες εν ψυχρώ

4.2.4. Χάλυβες οπλισμένου σκυροδέματος

Οι χάλυβες οπλισμού καλύπτονται από τον ΚΤΣ (2000), όπως αυτός συμπληρώνεται από τον ΚΤΧ (2000) και τα Πρότυπα ΕΛΟΤ-959 και ΕΛΟΤ-971 και διακρίνονται :

α) Σύμφωνα με την μέθοδο παραγωγής που είναι :

- Θερμή έλαση χωρίς άλλη κατεργασία.
- Θερμή έλαση με εν συνεχεία θερμική κατεργασία.
- Ψυχρή κατεργασία με στρέψη ή έλαση ή διέλκυση ή συνδυασμό αυτών του προϊόντος της θερμής έλασης.

β) Σύμφωνα με τη **μορφή της επιφάνειας**, σε λείες ράβδους κυκλικής διατομής και σε ράβδους με ανάγλυφες νευρώσεις, που είναι και υψηλής συνάφειας.

- γ) Σύμφωνα με τη **συγκολλησιμότητα**, σε χάλυβες συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις και σε χάλυβες συγκολλησίμους (s).
- δ) Σύμφωνα με την **πλαστιμότητα** σε χάλυβες υψηλής πλαστιμότητας (H) και σε χάλυβες συνήθους πλαστιμότητας (N).
- ε) Σύμφωνα με την **αντοχή σε διάβρωση** σε κοινούς χάλυβες (κράματα σιδήρου –άνθρακα) και μικρές περιεκτικότητες σε άλλα στοιχεία και ανοξείδωτους χάλυβες με ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρώμιο 12%.

Στην Ελλάδα παράγεται και κυκλοφορεί χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος σε μορφή ευθύγραμμων ράβδων, ρόλλων, ηλεκτροσυγκολλητών πλεγμάτων, προκατασκευασμένων κλωβών συνδετήρων (μανδύες-θώρακες) και σπανιότερα προκατασκευασμένων ηλεκτροσυγκολλητών δικτυωμάτων.

Χάλυβας S220 : Λέγεται ο κοινός ή μαλακός χάλυβας που είναι αντίστοιχος του παλαιού κατηγορίας St I και έχει όριο διαρροής 220MPa . Είναι λείος παράγεται με θερμή έλαση και οφείλει τις μηχανικές του ιδιότητες στη χημική του σύνθεση. Στο εμπόριο διατίθεται σε διαμέτρους 6-14 mm (Φ6-Φ14) αυξανόμενες κατά 2mm σε μορφή ρόλλων (κουλούρες), ενώ μεγαλύτερες διαμέτροι Φ16-Φ26 κυκλοφορούν σπάνια σε δέσμες ράβδων μήκους 12-14mm.

Νευροχάλυβας S400.

Είναι αντίστοιχος του παλαιού χάλυβα St III και έχει όριο διαρροής 400MPa. Στην επιφάνειά του έχει νευρώσεις για λόγους συνάφειας με το σκυρόδεμα, παράγεται με θερμή έλαση και στη χημική του σύνθεση περιλαμβάνει αυξημένα ποσοστά μαγγανίου και βαναδίου. Στο εμπόριο διατίθεται σε ευθύγραμμες ράβδους διαμέτρου Φ6-Φ32 (6, 8, 10, 12, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32) και μήκους 12 ή 14 m. Ο χάλυβας S400 είναι συγκολλησίμος υπό προϋποθέσεις που σημαίνει ότι χάνει ένα ποσοστό της αντοχής του και άλλων μηχανικών ιδιοτήτων όταν συγκολλάται. Ο νευροχάλυβας S400_s που είναι συγκολλησίμος δεν παράγεται στη χώρα μας.

Νευροχάλυβας S500 και S500_s.

Αντιστοιχεί στον παλαιό χάλυβα St IV ή St IV_s . Είναι παρόμοιος με τον χάλυβα της προηγούμενης κατηγορίας ως προς τις νευρώσεις, τα διαθέσιμα μήκη και τις διαμέτρους και διαφέρει μόνο ως προς το όριο διαρροής που είναι 500 MPa και μερικά άλλα μηχανικά χαρακτηριστικά. Στην Ελλάδα παράγεται και χρησιμοποιείται ευρέως ο χάλυβας S500_s , ο οποίος είναι συγκολλησίμος και είναι τύπου Temcore, ενώ παράγεται

και ο χάλυβας S500 θερμής έλασης και είναι συγκολλησιμος υπό προϋποθέσεις, με βελτιωμένη αντοχή μόνο λόγω χημικής σύνθεσης.

Η μέθοδος Tempcore συνίσταται συνοπτικά στην ακόλουθη διαδικασία: Αμέσως μετά τη θερμή έλαση η χαλύβδινη ράβδος υποβάλλεται σε ταχεία ψύξη, η οποία προκαλεί «βαφή» του μετάλλου, δηλαδή δημιουργία επιφανειακής στρώσης πάχους 1,5 - 2,5 mm, ενώ το εσωτερικό της διατομής είναι ακόμα διάπυρο. Η διατηρούμενη έτσι θερμότητα εκλύεται σταδιακά προκαλώντας έτσι ένα είδος ανόπτησης και ανακρυστάλλωσης του υλικού, που σταθεροποιεί έτσι τις κτηθείσες ιδιότητες π.χ. τη συγκολλησιμότητα και την ολκιμότητα. Εάν όμως υποβληθεί σε περαιτέρω θερμική κατεργασία ή εκτεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες υποβαθμίζονται σημαντικά οι μηχανικές ιδιότητες του υλικού.

Διαφοροποίηση του βάθους βαφής προκαλεί τη διαφοροποίηση μεταξύ των ποιοτήτων S400_s και S500_s.

Μειονέκτημα των χαλύβων τύπου Tempcore είναι ότι σε περίπτωση διάβρωσης καταστρέφεται πρώτα το σκληρότερο τμήμα της διατομής.

Δομικό πλέγμα S500.

Αντιστοιχεί στον παλαιό χάλυβα St IVb και έχει όριο διαρροής 500 MPa. Η επιφάνεια των ράβδων που το αποτελούν είναι λεία ή με νευρώσεις και οφείλει την αντοχή του σε ψυχρή κατεργασία. Κυκλοφορεί σε μορφή εσχάρας (πλέγμα) με ράβδους μικρής διαμέτρου Φ4-Φ12 (αυξανόμενες ανά 0,5mm) σε διαστάσεις 2,15 X 5,00 m με ορθογωνικά ή τετράγωνα ανοίγματα.

Ο νευροχάλυβας έχει σχεδόν εκτοπίσει τον κοινό χάλυβα λόγω της διπλάσιας σχεδόν αντοχής του και δεδομένου ότι είναι ελάχιστα ακριβότερος από αυτόν.

Τα πλέγματα έχουν καθιερωθεί σε επιφανειακά στοιχεία, όπως τοιχώματα, πλάκες, προκατασκευασμένοι σωλήνες, δάπεδα, δεξαμενές, οδοστρώματα, μανδύες ενίσχυσης κλπ.

Τέλος, λόγω της αυξημένης αντοχής και για το ίδιο περίπου κόστος, αλλά και λόγω της συγκολλησιμότητάς του ο χάλυβας S500_s έχει αρχίσει να εκτοπίζει τον S400. Σε πολλές χώρες της Ευρώπης ο S500_s χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά και ο S400 δεν παράγεται πλέον καθόλου. Η τάση αυτή αναμένεται να επεκταθεί και την Ελλάδα.

4.3. Οι δομικοί χάλυβες (reinforcing bars) στη χώρα μας

Μέχρι πρότινος στη χώρα μας, οι χάλυβες οπλισμού του σκυροδέματος, ήταν εναρμονισμένοι με τους Γερμανικούς Κανονισμούς και τα σχετικά DIN και διεκρίνοντο στις κατηγορίες St I, St III και St IV (η κατηγορία

St II είχε προ πολλού καταργηθεί). Τα όρια διαρροής, οι αντοχές του και οι επιτρεπόμενες τάσεις λειτουργίας αυξάνοντο κατά την ίδια σειρά, με ανώτερες τιμές εκείνης του St IV.

Βεβαίως υπήρχαν και οι υποκατηγορίες των κατηγοριών St III και St IV, των «σκληρών χαλύβων» ή άλλως χαλύβων «υψηλής αντοχής» που διακρίνοντο σε St III_a, St III_b, St IV_a, και St IV_b. Η ένδειξη a και b συμβόλιζε τους φυσικώς σκληρούς χάλυβες ή τους εν ψυχρώ κατεργασμένους αντίστοιχα, με διαφορετικές ιδιότητες και κυρίως ως προς την ψαθυρότητα και την συγκολλησιμότητά τους, με πλήρη απαγόρευση της τελευταίας στους εν ψυχρώ κατεργασμένους χάλυβες.

Στη χώρα μας οι «προδιαγραφές» των χαλύβων St I, St III και St IV καλύπτονταν από τον «Κανονισμό για τη Μελέτη και Εκτέλεση Οικοδομικών Έργων από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα» (Β.Δ. 1954) και ακολουθούσαν τον Γερμανικό Κανονισμό DIN 488.

Το 1987 εκδόθηκαν τα Πρότυπα του ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971 για τους κοινούς και τους συγκολλησίμους χάλυβες αντίστοιχα. Μετά την αρχική έκδοση των Προτύπων του ΕΛΟΤ δημοσιεύθηκε η υπ' αριθ. Β 21538/2228/3-12-1987 (ΦΡΚ 702/Β/4-12-87) Απόφαση του Υπουργού Βιομηχανίας, με την οποία τα Πρότυπα έγιναν υποχρεωτικά και βάσει αυτών λειτουργούν οι βιομηχανίες παραγωγής χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, αλλά και με αυτά ελέγχονται ως προς την ποιότητα και τις προδιαγραφές από την «Πολιτεία».

Τελικά το 1995 μετά από τροποποιήσεις και συμπληρώσεις εξεδόθη η υπ' αριθ. 15283/Φ7/422/8-8-95 (ΦΕΚ 746/Β/30-8-95) Υπουργική Απόφαση με την οποία καθορίζονται τρεις κατηγορίες χαλύβων S220, S400 και S500 με βάση την χαρακτηριστική τιμή σε MPa του ορίου διαρροής τους και ανεξάρτητα από την μέθοδο παραγωγής τους.

Συγχρόνως οι χάλυβες με όριο διαρροής 400 και 500 MPa διακρίθηκαν σε S400 και S400_s και αντίστοιχα σε S500 και S500_s ανάλογα με την δυνατότητα συγκόλλησής τους.

Συγκεκριμένα για τους S400 και S500 η ηλεκτροσυγκόλλησή τους είναι δεκτή υπό προϋποθέσεις, ενώ για τους S400_s και S500_s είναι επιτρεπτή χωρίς προϋποθέσεις. Οι χάλυβες S220, για τους οποίους δεν υπάρχει αντίστοιχη κατηγορία S220_s είναι γενικώς, σχεδόν, συγκολλησίμοι.

Εν τω μεταξύ συντάχθηκε και δημοσιεύθηκε ο «Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων», που εγκρίθηκε με την υπ' αριθ. Δ14/36010/29-2-2000 Υπουργική Απόφαση (ΦΕΚ 381/Β/24-3-2000) και αφορά αποκλειστικά τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος και είναι γνωστός με την ένδειξη (KTX 2000).

Ο KTX 2000 προσπάθησε να εκσυγχρονίσει τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και 971, πλησιάζοντας το Ευρωπαϊκό Πρότυπο 10080 και να συμμορφωθεί

προς τους Ευρωκώδικες EC2 και EC8, αλλά και τους Ελληνικούς Κανονισμούς Σκυροδέματος και Αντισεισμικό Κανονισμό.

Ο ΚΤΧ-2000 προβλέπει τις μεθόδους παραγωγής και τις διακρίσεις που αυτές συνεπάγονται, την ολκιμότητα, την μήκυνση υπό το μέγιστο φορτίο, τις οριακές τιμές των στοιχείων που μετέχουν στη σύνθεση του κράματος, την περιεκτικότητα του αζώτου, του χαλκού, ορίζει την πυκνότητα και τις γεωμετρικές απαιτήσεις των νευρώσεων, υποδεικνύει τα όρια διάβρωσης του χάλυβα, αλλά και επισημαίνει τον κίνδυνο της ραδιενέργειας.

Συγχρόνως δίνει χρήσιμες συμβουλές και κατασκευαστικές υποδείξεις για τις συγκολλήσεις, τα είδη, τις μεθόδους και τα ενδεδειγμένα ηλεκτρόδια. Περιγράφει την συμπεριφορά των χαλύβων στα διάφορα επίπεδα υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας, επισημαίνει τους κινδύνους και την ανάγκη σωστού αρχικού σχεδιασμού στις ακραίες ή δύσκολες και επικίνδυνες περιπτώσεις.

Ο ΚΤΧ-2000, επίσης, καθορίζει τις διαδικασίες δειγματοληψίας και ελέγχου των χαλύβων και επιβάλλει κανόνες στη διάθεση, μεταφορά, διαχείριση, διακίνηση και προστασία τους. Θέτει ελάχιστες απαιτήσεις εξοπλισμού και στελέχωσης των επιχειρήσεων διαθέσεως και διαμορφώσεως και καθιερώνει το Δελτίο Αποστολής, κατά την μεταφορά και το Τεχνικό Δελτίο Παράδοσης με σαφώς καθορισμένες απαιτήσεις αναγραφής των στοιχείων, που συγκεκριμενοποιούν απόλυτα το φορτίο, προσδιορίζοντας, έτσι, τις ιδιότητες του υλικού και επιτρέποντας τον έλεγχο σε κάθε στάδιο της διακίνησής του. Κάτι εξ ίσου σημαντικό, που καθιερώνει, για πρώτη φορά, ο ΚΤΧ-2000 είναι η απαίτηση διάθεσης πτυχίου από τους τεχνικούς της επιχείρησης διαμόρφωσης και τοποθέτησης των οπλισμών, που προϋποθέτει ανάλογη εκπαίδευση και εξέταση των γνώσεών τους, αλλά και υπευθυνότητα της εργασίας τους.

Ο ΚΤΧ ανάγκασε τις εγχώριες βιομηχανίες σε άμεση συμμόρφωση, αλλά και το εμπόριο εισαγωγής των χαλύβων από τρίτες χώρες, για τον έλεγχο του οποίου έθεσε σωστούς κανόνες και τρόπους ελέγχου.

Ηδη έχει αρχίσει η επεξεργασία νέων εθνικών προτύπων, που θα αντικαταστήσουν τα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971.

Τα νέα αυτά Πρότυπα θα επιτρέπουν την κυκλοφορία μόνο συγκολλησίμων χαλύβων, κατά την σύγχρονη Ευρωπαϊκή τάση, με τάση διαρροής 500 MPa. Επίσης προδιαγραφές και διαδικασίες ελέγχου θα υπάρξουν και για τα δομικά πλέγματα.

Πιθανώς τα νέα Πρότυπα θα επιβάλλουν στις βιομηχανίες παραγωγής να συνοδεύουν τα προϊόντα τους με διαγράμματα καταγραφής της μεταβολής της αντοχής τους συναρτήσει της θερμοκρασίας για έκθεση σ' αυτήν επί διάστημα 30', 60', 120' κλπ., την συμπεριφορά δηλαδή του χαλύβδινου οπλισμού του σκυροδέματος σε συνθήκες πυρκαϊάς, κάτι που

συμβαίνει σε άλλες χώρες. Έτσι θα είναι δυνατή η λήψη κάποιων μέτρων προστασίας σε χώρους με υψηλό θερμικό φορτίο, όπως ξυλουργία, χαρτοβιομηχανίες κλπ.

Ομοίως ανάλογα θα ισχύουν και στις χαμηλές θερμοκρασίες και ιδιαίτερα κάτω του μηδενός. Με τις προβλέψεις αυτές οι βιομηχανίες χαλύβων θα υποχρεωθούν να δηλώνουν υπεύθυνα τις ιδιότητες των προϊόντων τους.

4.4. Προστασία του οπλισμού από διάβρωση – Αναστολείς διάβρωσης του οπλισμού σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα είναι ένα πορώδες υλικό με αρκετά μεγάλη αλκαλικότητα, η οποία οφείλεται στο διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος. Το διάλυμα αυτό αποτελείται κυρίως από υδροξείδια του ασβεστίου και δευτερευόντως από υδροξείδια του νατρίου και του καλίου. Τα μέταλλα, πλὴν του αλουμινίου, παθητικοποιούνται σε αλκαλικά διαλύματα, ενώ αντίθετα διαβρώνονται και διαλύονται σε όξινα διαλύματα.

Η αλκαλικότητα του σκυροδέματος δημιουργεί ένα παθητικό στρώμα στην επιφάνεια του χαλύβδινου οπλισμού. Η παθητικοποίηση του χάλυβα μέσα στο σκυρόδεμα οφείλεται στη δημιουργία επιφανειακού λεπτού, συνεκτικού επιστρώματος μαγνήτη ($Fe_3 O_4$), που προστατεύει από την διάβρωση τον χάλυβα.

Η έναρξη της διάβρωσης του οπλισμένου σκυροδέματος αρχίζει την διάρρηξη του παθητικού στρώματος που περιβάλλει τον χάλυβα και την μείωση της αλκαλικότητας του σκυροδέματος. Συγκεκριμένα όταν η τιμή του pH κυμαίνεται μεταξύ 9 και 11 τότε ξεκινά η καταστροφή του παθητικού στρώματος. Η μείωση του pH συμβαίνει είτε λόγω διάχυσης των χλωριόντων είτε λόγω τοπικής οξίνησης του σκυροδέματος δηλαδή ενανθράκωση αυτού .

Τα στάδια διάβρωσης του οπλισμένου σκυροδέματος είναι τέσσερα. Κατά το πρώτο στάδιο στην επιφάνεια του σκυροδέματος εμφανίζονται οι πρώτες μικρορηγματώσεις, χωρίς άλλα εμφανή σημάδια διάβρωσης του οπλισμού, όπως εμφανής σκουριά.

Εν συνεχεία στο επόμενο στάδιο το σκυρόδεμα επιφανειακά χρωματίζεται από τα προϊόντα διάβρωσης του χάλυβα, όπως εμφανής σκουριά, ενώ το πλήθος των ρωγμών αυξάνεται.

Κατά το τρίτο στάδιο έχουμε θραύση και μερική αποκόλληση του σκυροδέματος με ταυτόχρονη αποκάλυψη του οπλισμού.

Τέλος, στο τελευταίο στάδιο παρατηρούνται εκτεταμένες φθορές από τη διάβρωση, έκθεση των οπλισμών στην ατμόσφαιρα, λόγω της αποκόλλησης και αποτίναξης του σκυροδέματος που τους περιβάλλει και από το σημείο αυτό αρχίζει η ταχεία καταστροφή του σκυροδέματος.

Για την αποφυγή του σημαντικού αυτού προβλήματος της διάβρωσης του οπλισμένου σκυροδέματος έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα προστασίας, μεταξύ των οποίων η χρήση των αναστολέων διάβρωσης ως πρόσμεικτα στη μάζα του σκυροδέματος. Η χρήση των αναστολέων διάβρωσης είναι μια μέθοδος αρκετά εύκολη και οικονομική.

Τα προστατευτικά μέτρα και μέσα που χρησιμοποιούνται διακρίνονται:

- 1) σε αυτά που τοποθετούνται στη μάζα του σκυροδέματος σαν ανασταλτικά διάβρωσης και περιορίζουν την διαπερατότητα αυτού,
- 2) σε αυτά που τοποθετούνται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, όπως **προστατευτικά επιστρώματα** (επιχρίσματα, βαφές κλπ., **υδατοστεγείς μεμβράνες, επικάλυψη σκυροδέματος, εμποτισμός με πολυμερή,**
- 3) σε αυτά που αναφέρονται στον οπλισμό, όπως ειδικές βαφές του οπλισμού, χρησιμοποίηση ανοξειδωτων χαλύβων ή χρήση χαλύβδινων οπλισμών από τιτάνιο.

Μέσα στη μάζα του σκυροδέματος

Τα ανασταλτικά διάβρωσης είναι ουσίες που προστίθενται στη μάζα του σκυροδέματος κατά την παρασκευή του με σκοπό να προστατέψουν τον ενσωματωμένο χάλυβα από διάβρωση. Ο μηχανισμός επίδρασης των ανασταλτικών είναι σύνθετος και εξαρτάται από το είδος του χρησιμοποιούμενου άλατος (π.χ. τα φωσφορικά άλατα σχηματίζουν σταθερές ενώσεις με τον σίδηρο).

Τα ανασταλτικά διάβρωσης μπορεί να είναι **οργανικά άλατα** (π.χ. άλατα δευτερίου οξέως, αιθυλική ανυλίνη, βενζοϊκό νάτριο, κλπ.) ή **ανόργανα άλατα** (π.χ. διχρωμικό κάλιο, χλωριούχος κασσίτερος, χρωμικά άλατα ψευδαργύρου ή μολύβδου, νιτρώδες ασβέστιο κλπ.).

Από πειράματα έχει αποδειχθεί ότι προσθήκη τέτοιων ουσιών βελτίωσαν σημαντικά την ανθεκτικότητα του χάλυβα. Για παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί ότι χάλυβας βυθισμένος σε διάλυμα ασβέστου, που προσετέθει νιτρώδες ασβέστιο $[Ca (NO_2)_2]$ σε αναλογία 0,44% κατά βάρος, το οποίο επίσης περιείχε και χλωριόντα 0,36% κ.β. επέδειξε μεγάλη ανθεκτικότητα στη διάβρωση και μάλιστα σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον.

Σε άλλα πειράματα διεπιστώθει ότι προσθήκη ποσότητας 3% $NaNO_2$ στο σκυρόδεμα βελτιώνει πολύ την συμπεριφορά του χάλυβα μέσα σε ενανθρακωμένο σκυρόδεμα.

Επίσης από την βιβλιογραφία αναφέρεται, ότι προσθήκη 1,4% φωσφορικού άλατος στο σκυρόδεμα εξουδετερώνει επίδραση

χλωριόντων που βρίσκονται στο σκυρόδεμα σε ποσότητα μέχρι 0,3% κ.β. τσιμέντου.

Ως ανασταλτικό διαβρώσεως έναντι επιδράσεως χλωριόντων αναφέρεται η λιγνοσουλφόνη, η οποία είναι υλικό με βάση την λιγνίνη και είναι παραπροϊόν των απορριμμάτων της βιομηχανίας ξύλου.

Η χρήση όμως ορισμένων ανασταλτικών διάβρωσης έχει και αρνητικές συνέπειες. Έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί να προκαλέσουν μείωση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, να επιβραδύνουν την σκλήρυνση ή να επιφέρουν βλάβες σε μεταγενέστερες ηλικίες.

Μέτρα που λαμβάνονται επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος

Προκειμένου να αποτραπεί η διείσδυση επιβλαβών ουσιών, επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος λαμβάνονται τα παρακάτω μέτρα :

• Υδατοστεγείς μεμβράνες

Οι υδατοστεγείς μεμβράνες που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος είναι είτε φύλλα έτοιμα βιομηχανοποιημένα, είτε υγρά επαλειφόμενα, που μετά την επάλειψη πήζουν και μετατρέπονται σε μεμβράνη.

Οι απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν οι μεμβράνες είναι :

- να εξασφαλίζουν ικανοποιητική πρόσφυση με το υπόστρωμα
- να μην αντιδρούν με τα συστατικά του σκυροδέματος
- να εμποδίζουν την διείσδυση χλωριόντων και υγρασίας υπό οποιεσδήποτε συνθήκες περιβάλλοντος και λειτουργίας
- να έχουν χαμηλό κόστος αγοράς και τοποθέτησης

Η τοποθέτησή τους πρέπει να γίνεται με επιμέλεια, ώστε να αποφευχθούν ατέλειες, που θα περιορίσουν την αποτελεσματικότητά τους.

Το μεγάλο μειονέκτημα των μεμβρανών είναι η περιορισμένη ανθεκτικότητά τους με την πάροδο του χρόνου.

• Προστατευτικά επιστρώματα στην επιφάνεια του σκυροδέματος

Τα προστατευτικά επιστρώματα είναι ειδικά επαλειφόμενα διαλύματα

- άλλα εκ των οποίων είναι επαλειφόμενα ελαστομερή και σχηματίζουν μετά την πήξη στεγανή ελαστική μεμβράνη. Πολλές φορές ειδικά σε ύπαρξη πυκνών, πολλαπλών ρωγμών γίνεται καθολικός οπλισμός με υαλόπλεγμα και πολυεστερικό ύφασμα.
- άλλα είναι έτοιμα υλικά που ψεκάζονται και εισερχόμενα στους πόρους του σκυροδέματος δημιουργούν ένα υδαποθητικό εμποτισμό.

- άλλα είναι έτοιμα πυριτικά διαλύματα με βάση υδροφοβες πυριτικές ενώσεις και σταματούν την τριχοειδή απορροφητικότητα, δηλ. φράσσουν τα τριχοειδή και δημιουργούν παράλληλα υδροφοβία.
- άλλα είναι επαλειφόμενα ειδικά κονιάματα με βάση το τσιμέντο, τα οποία επαλείφονται στο σκυρόδεμα, προσφύονται σε αυτό και προσφέρουν σημαντική στεγανότητα σε υδροστατική πίεση μέχρι και 7 at , μπορούν δε ακόμα να παραλάβουν και αρνητικές πιέσεις.
- άλλα είναι εύκαμπτα στεγανωτικά κονιάματα 2 συστατικών.

Και βεβαίως υπάρχουν ελαστικές ταινίες από σύνθετα υλικά για την στεγάνωση αρμών.

Προστατευτικά επίσης επιστρώματα είναι σκυροδέματα επιστρώσεως πολύ καλής ποιότητας από τσιμέντο Portland ή σκυρόδεμα με πρόσθετα πολυμερή.

- Σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας από τσιμέντο Portland

Το σκυρόδεμα αυτό έχει περιεκτικότητα τσιμέντου τουλάχιστον 470 kg/m³ λόγο $N/T = 0,32$ και κάθιση μικρότερη από 25 mm. Προστίθενται ρευστοποιητικά για την μείωση του νερού, παρασκευάζεται επί τόπου, συμπυκνώνεται με επιμέλεια και συντηρείται τουλάχιστον για 72 ώρες. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως για προστασία του οπλισμού σε γέφυρες από την διάβρωση λόγω γης επίδρασης των αλάτων που ρίπτονται κατά του παγετού.

- Σκυρόδεμα με πρόσθετα πολυμερή

Παρασκευάζεται από τσιμέντο Portland και προστίθεται ακρυλικό γαλάκτωμα για την μείωση του λόγου N/T , την μείωση της διαπερατότητας και την μεγάλη αντίσταση στη διείσδυση χλωριόντων. Το γαλάκτωμα είναι κολλοειδές διάλυμα συνθετικού ελαστικού μέσα σε νερό και εφαρμόζεται σε αναλογία 15% κ.β. τσιμέντου. Χρησιμοποιούνται επίσης και πρόσθετα που εμποδίζουν την παγίδευση αέρα μέσα στη μάζα του σκυροδέματος. Το πάχος του επιστρώματος είναι συνήθως 40 έως 50 mm και συντηρείται επί 72 ώρες.

Τυχόν υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος θα προκαλέσουν πρόωρη ξήρανση του επιστρώματος και συστολή ξήρανσης με πολύ δυσμενή αποτελέσματα.

- Εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή

Σε περιπτώσεις πολύ διαβρωτικού περιβάλλοντος ενδείκνυται ο εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή. Η μέθοδος μπορεί να

εφαρμοστεί σε κατασκευές εξαιρετικής σημασίας λόγω του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται και του υψηλού κόστους. Το τμήμα της κατασκευής για το οποίο είναι επιθυμητός ο εμποτισμός πρέπει να καθαριστεί επιφανειακά επιμελώς, να ξηραθεί σε θερμοκρασία 120°C επί 8 ώρες, να αποψυχθεί σταδιακά και με προσοχή για να μην απορροφηθεί υγρασία από το περιβάλλον (π.χ. διατήρηση στους 38°C επί 12 έως 36 ώρες), να αφαιρεθεί ο αέρας από το σκυρόδεμα με εφαρμογή κενού, να εφαρμοστεί το μονομερές υλικό, να επικαλυφθεί με αδιάβροχες μεμβράνες για να μην εξατμισθεί και

τέλος να γίνει ο καταλυτικός πολυμερισμός του μονομερούς (π.χ. 74°C επί 5 ώρες). Το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο μονομερές είναι το μεθακρυλικό μεθύλιο, που έχει μικρό ιξώδες και διευκολύνεται έτσι η διείδυσή του. Έχει επίσης υψηλό σημείο βρασμού και εύκολο πολυμερισμό, δεν έχει τοξικές ιδιότητες αλλά έχει πολύ υψηλό κόστος.

Τα πλεονεκτήματα είναι σημαντικά και αποδεικνύονται από την σύγκριση των ιδιοτήτων μεταξύ συμβατικού σκυροδέματος και σκυροδέματος εμποτισμένου με πολυμερισμένο μεθακρυλικό μεθύλιο (M.M.).

A/A	Ι Δ Ι Ο Τ Η Τ Α	Συμβατικό σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα εμποτισμένο με M.M.
1	Θλιπτική αντοχή (MPa)	36,00	124
2	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	2,90	10,9
3	Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	24.000,00	43.000
4	Απορρόφηση νερού (%)	6,40	0,34
5	Διαπερατότητα (m/έτος)	1,20	0,43
6	Απότριψη (gr)	14,00	4
7	Σκληρότητα (R)	32,00	73
8	Διάβρωση σκυροδέματος από Διάλυμα 15% Hcl επί 84 ημέρες (% απώλεια βάρους)	10,4	3,49

- Επανακαλοποίηση του σκυροδέματος

Η επανακαλοποίηση είναι μία διαδικασία που εφαρμόζεται στο σκυρόδεμα με σκοπό να αυξήσει την αλκαλικότητά του όταν αυτή έχει μειωθεί από διάφορες αιτίες, όπως ενανθράκωση του σκυροδέματος,

απόπλυση του υδροξυλίου του ασβεστίου από το σκυρόδεμα, κλπ. Κατά την μέθοδο αυτή απλώνεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος αλκαλικό υγρό και ένα ηλεκτρόδιο, το οποίο λειτουργεί σαν άνοδος, ενώ ο χάλυβας του σκυροδέματος λειτουργεί ως κάθοδος και εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση (π.χ. 10 V). Μέσω της αρχής της ηλεκτροωσμώσεως παρουσία εξωτερικού δυναμικού, το αλκαλικό υγρό διεισδύει στους πόρους του σκυροδέματος, αυξάνοντας έτσι το pH του σκυροδέματος.

- Αφαίρεση χλωριόντων από το σκυρόδεμα

Η μέθοδος αυτή, επίσης, βασίζεται στην αρχή της ηλεκτροωσμώσεως και έχει χρησιμοποιηθεί για την αφαίρεση χλωριόντων από καταστρώματα γεφυρών. Η αφαίρεση των χλωριόντων επιτυγχάνεται ηλεκτροχημικώς χρησιμοποιώντας έναν κατάλληλο ηλεκτρολύτη, μία ρητίνη ανταλλαγής ιόντων και ένα μεταλλικό πλέγμα, που απλώνεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος σαν άνοδος, ενώ ο οπλισμός λειτουργεί σαν κάθοδος. Με την εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης τα χλωριόντα, που είναι φορτισμένα αρνητικά ελκύονται από την θετικά φορτισμένη άνοδο και δεσμεύονται από την ρητίνη. Σε πείραμα που έγινε σε κατάστρωμα γέφυρας στις Η.Π.Α. επιτεύχθηκε αφαίρεση του 90% των χλωριόντων.

Η μέθοδος αυτή όμως είναι δαπανηρή και επί πλέον απαιτεί εφαρμογή υψηλού δυναμικού με αποτέλεσμα την ανάπτυξη θερμοκρασιών της τάξης των 90⁰C. Ενδεχόμενο αποτέλεσμα της υψηλής θερμοκρασίας είναι η ρηγματώση του σκυροδέματος και η αύξηση της διαπερατότητάς του κατά 500%. Η αύξηση της διαπερατότητας πλέον πρέπει να αντιμετωπισθεί με εμπλουτισμό του σκυροδέματος με πολυμερή. Η συνολική διαδικασία είναι τόσο δαπανηρή που καθιστά την μέθοδο μη εφαρμόσιμη.

- Αφαίρεση υγρασίας από το σκυρόδεμα

Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαίρεση της υγρασίας από κονιάματα και δεν βασίζεται στην αρχή της ηλεκτροωσμώσεως, γι' αυτό και ονομάζεται απλά «ηλεκτρική μέθοδος». Για να εφαρμοστεί πρέπει το pH του υλικού να είναι αρκετά υψηλό, δηλαδή μεγαλύτερο από 8 και το κονίαμα να περιέχει άλατα σε μικρές ποσότητες. Έχει παρατηρηθεί ότι ξήρανση πορώδους υλικού δεν μπορεί να γίνει χωρίς την παρουσία αλάτων, αλλά ούτε και με την παρουσία μεγάλων ποσοτήτων αλάτων. Παρουσία αλάτων σε περιεκτικότητα 2% είναι ιδανική. Τα θεϊκά ιόντα

διευκολύνουν την διάσπαση του νερού, επομένως εμποδίζουν την διαδικασία.

Η εφαρμογή της μεθόδου στην κατασκευή γίνεται όπως και στην διαδικασία αφαίρεσης των χλωριόντων.

Με την εφαρμογή του δυναμικού, τα ιόντα των αλάτων κινούνται προς τα ηλεκτρόδια, μεταφέροντας μαζί τους και νερό. Η μεταφορά των μορίων από τα ιόντα ερμηνεύεται με διάφορους μηχανισμούς, όπως : α) τα ανιόντα και τα κατιόντα των αλάτων είναι ενυδατωμένα, αλλά σε διαφορετικό βαθμό το καθένα, β) τα ιόντα παρασύρουν κατά την κίνησή του προς τους πόλους το υδατικό περίβλημα των πόρων, και γ) τα ιόντα καθώς μετακινούνται προς τα ηλεκτρόδια, αναπτύσσουν δράσεις προωθήσεως με τις οποίες ωθούν το νερό που βρίσκουν μπροστά τους μέσα στους λεπτούς πόρους, ενώ στους μεγάλους πόρους δεν συμβαίνει η συγκεκριμένη διαδικασία.

Για να πραγματοποιηθεί ικανοποιητική ξήρανση, πρέπει να δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως τουλάχιστον 0,1 έως 1Α.

Πρόκειται πάντως για μια βραδύτατη διαδικασία, αφού έχει βρεθεί ότι η μείωση της υγρασίας ενός τοίχου από 50% σε 30% απαιτεί την εφαρμογή της μεθόδου επί 6 μήνες. Η βραδύτητα εμποδίζει την ευρεία εφαρμογή της μεθόδου, αλλά η έρευνα συνεχίζεται για συντόμευση του χρόνου.

- Καθοδική προστασία

Η καθοδική προστασία χρησιμοποιείται ευρέως ως μέθοδος προστασίας των οπλισμών έναντι διάβρωσης σε σημαντικές κατασκευές όπως γέφυρες, θαλάσσιες εξέδρες, υπόγειες σωληνώσεις από σκυρόδεμα, που λόγω της φύσης τους και των συνθηκών λειτουργίας υφίστανται σοβαρή διάβρωση. Στις περιπτώσεις έντονα διαβρωτικού περιβάλλοντος και αβεβαιότητας ως προς την τελική ποιότητα του σκυροδέματος, εγκαθίστανται εξ αρχής οι αναγκαίες διευκολύνσεις κατά την φάση της κατασκευής για μια ενδεχόμενη εκ των υστέρων εφαρμογή της διαδικασίας καθοδικής προστασίας.

Αρχή λειτουργίας της μεθόδου είναι η «αναίρεση» της διαφοράς δυναμικού μεταξύ ανοδικής και καθοδικής περιοχής του χάλυβα, ώστε να εμποδίζεται η μεταφορά ηλεκτρονίων από την άνοδο προς την κάθοδο και να αναστέλλεται η διαδικασία διάβρωσης του οπλισμού. Η καθοδική προστασία μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μέταλλο με τα εξής συστήματα :

α) Σύστημα γαλβανικής ανόδου.

Το προς προστασία μέταλλο συνδέεται με ένα λιγότερο ευγενές μέταλλο (δηλ. με ένα μέταλλο του οποίου το δυναμικό διαβρώσεως είναι

μικρότερο από το δυναμικό διαβρώσεως του προς προστασία μετάλλου). Αυτό το λιγότερο ευγενές μέταλλο λειτουργεί ως «θυσιαζόμενη άνοδος». Ως θυσιαζόμενες άνοδοι χρησιμοποιούνται συνήθως κράματα μαγνησίου, ψευδαργύρου ή αλουμινίου.

Η παραπάνω μέθοδος καθοδικής προστασίας παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα, ότι η εγκατάστασή της είναι εύκολη, απαιτεί ασήμαντη συντήρηση και υπολογίζεται εύκολα το κόστος. Τα μειονεκτήματά της είναι, ότι οι άνοδοι έχουν μικρή διάρκεια ζωής και απαιτούν αντικατάσταση σε λίγο χρόνο, απαιτείται μεγάλος αριθμός ανόδων για να εξασφαλισθεί η προστασία σε όλους τους οπλισμούς. Υπάρχει επίσης μικρή δυνατότητα επιλογής ανόδων καθώς ο χάλυβας έχει μικρό δυναμικό, είναι δε δυνατόν με τη διάβρωση των ανόδων να εμποδίζεται η μεταφορά ιόντων προς τους οπλισμούς, εξαιτίας της αποθέσεως των προϊόντων διαβρώσεως.

β) Σύστημα με εφαρμοζόμενο ρεύμα.

Οι οπλισμοί συνδέονται με τον αρνητικό πόλο μιας εξωτερικής πηγής ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ χρησιμοποιείται μια άνοδος από αγωγικό υλικό, καθώς και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς για έλεγχο του συστήματος. Με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος, το ηλεκτρικό δυναμικό του υπό προστασία μετάλλου μετατοπίζεται σε αρνητικές τιμές και έτσι αναστέλλεται η διαδικασία διάβρωσης.

Τα καθοδικά δυναμικά είναι της τάξεως του $1V_{cse}$ οι δε πυκνότητες ρεύματος της τάξεως των $60mA/m^2$. Από έρευνες του Αμερικανικού Ινστιτούτου Σκυροδέματος (A.C.I.) ευρέθη, ότι για υψηλές πυκνότητες ρεύματος (μεγαλύτερες από $270mA/m^2$) χάνεται η συνάφεια του σιδηροπλισμού με το σκυρόδεμα, ενώ μπορεί να συμβεί ψαθυροποίηση του χάλυβα λόγω εκλύσης υδρογόνου. Η απώλεια της συνάφειας οφείλεται στη συσσώρευση Na^+ , K^+ στην διεπιφάνεια του σκυροδέματος με τον χάλυβα, λόγω του ηλεκτρικού πεδίου που αναπτύσσεται.

Σε περίπτωση υπόγειων κατασκευών ωπλισμένου σκυροδέματος σε υδατοκορεσμένα εδάφη, τα ρεύματα μειώνονται πολύ γρήγορα και μπορεί να πάρουν τιμές έως και 1000 φορές μικρότερες από την αρχική τιμή. Σε καλά αεριζόμενα εδάφη, απαιτούνται μεγάλες τιμές του καθοδικού ρεύματος λόγω της ύπαρξης οξυγόνου μέσα στους πόρους του εδάφους. Σε θαλάσσιες κατασκευές εφαρμόζονται ρεύματα με πυκνότητα 18 έως $42 mA/m^2$. Γρήγορα όμως οι τιμές των ρευμάτων μειώνονται, πιθανώς λόγω των διαφόρων μικροοργανισμών, που καταναλώνουν το οξυγόνο.

Η μέθοδος καθοδικής προστασίας με εφαρμοζόμενο ρεύμα έχει το πλεονέκτημα, ότι μπορούν να δοθούν ποικίλες τιμές ρεύματος, ώστε να

ανασταλεί πλήρως η διάβρωση του χάλυβα. Οι άνοδοι έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Η μέθοδος όμως έχει το μειονέκτημα ότι το σύστημα υπόκειται σε διακοπές ρεύματος, ενώ είναι απαραίτητος ένας τακτικός έλεγχος και ρύθμιση. Το σύστημα του εφαρμοζόμενου ρεύματος δεν μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα στην περίπτωση προεντεταμένων χαλύβων λόγω του κινδύνου της ψαθυροποίησης από έκλυση υδρογόνου, εκτός εάν εφαρμοσθούν κατάλληλοι αυτοματισμοί περιορισμού της μεταβλητότητας του εφαρμοζόμενου ρεύματος μέσω καταλλήλων ηλεκτροδίων μη βλαπτικών για τον οπλισμό του σκυροδέματος.

- **Μεταλλικά επιχρίσματα**

Τα μεταλλικά επιχρίσματα για την προστασία του χάλυβα εφαρμόζονται κατά διάφορους τρόπους :

- α) Με εμβάπτιση των χαλύβων σε τηγμένο μέταλλο
- β) Με επιμετάλλωση σε ηλεκτρολυτική συσκευή
- γ) Με ψεκασμό τηγμένου μετάλλου

Τα μεταλλικά επιχρίσματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

1) Τα ευγενή προστατευτικά επιχρίσματα που λειτουργούν ως περίβλημα.

Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν τα μέταλλα με δυναμικό διαβρώσεως μεγαλύτερο του χάλυβα π.χ. ο χαλκός, το νικέλιο, ο κασσίτερος, ο ορείχαλκος, κλπ.

Τα μέταλλα αυτά προσφέρουν προστασία στον χάλυβα αναλόγως του πάχους του επιχρίσματος. Στην περίπτωση που καταστραφεί αυτό τοπικά ή ολικά, τότε αρχίζει η διάβρωση του χάλυβα.

2) Μεταλλικά επιχρίσματα προστασίας του χάλυβα με την δική τους καταστροφή.

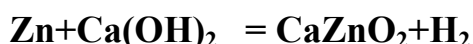
Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν τα μέταλλα με δυναμικό διάβρωσης μικρότερο από του χάλυβα π.χ. ψευδάργυρος, αλουμίνιο και άλλα. Τα επιχρίσματα αυτά διαβρώνονται έως ότου ο υπό προστασία χάλυβας εκτεθεί στο περιβάλλον. Αλλά και τότε, λόγω γαλβανικής δράσεως, επιταχύνεται η διάβρωση αυτού του επιχρίσματος, παρέχοντας και άλλη προστασία στον χάλυβα.

Εκτεταμένης χρήσεως είναι οι γαλβανισμένοι χάλυβες, που είναι χάλυβες επιχρισμένοι με ψευδάργυρο και οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως σε οδοστρώματα γεφυρών, λόγω των αντιπαγωτικών αλάτων, στην επίδραση των οποίων υπόκεινται καθώς και σε θαλάσσιες κατασκευές.

Από έρευνες όμως σε θαλάσσιες κατασκευές έχει διαπιστωθεί ότι τελικά ο γαλβανισμός δεν αποτρέπει την διάβρωση.

Ο ψευδάργυρος έχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε διάβρωση από τον χάλυβα, όταν εκτίθεται σε θαλάσσιο περιβάλλον, ενώ αντίθετα σε θειώδες περιβάλλον δεν παρέχει προστασία.

Η χρήση γαλβανισμένων χαλύβων έχει κινδύνους, γ' αυτό απαιτείται μεγάλη προσοχή, κατά την σχετική αντίδραση:



παρατηρούμε ότι παράγεται υδρογόνο. Το παραγόμενο υδρογόνο σχηματίζει φυσαλίδες στην επιφάνεια του οπλισμού, μειώνοντας έτσι την συνάφεια μεταξύ του σκυροδέματος και του χάλυβα.

Οι αντιδράσεις του ψευδαργύρου με τα συστατικά του σκυροδέματος αποφεύγονται με τη χρήση χρωμικών αλάτων στο σκυρόδεμα ή με κατεργασία του οπλισμού μετά το γαλβάνισμα με διάλυμα χρωμικού άλατος.

Οι αντιδράσεις μειώνονται, επίσης εάν αντί για επίχρισμα από καθαρό ψευδάργυρο χρησιμοποιηθεί κράμα ψευδαργύρου με σίδηρο σε περιεκτικότητα 6 έως 11% ή κράμα ψευδαργύρου με αλουμίνιο.

Με την χρήση γαλβανισμένων χαλύβων έχουμε τον κίνδυνο της γαλβανικής δράσης μεταξύ γαλβανισμένων και μη γαλβανισμένων χαλύβων. Η γαλβανική δράση θα έχει σαν αποτέλεσμα την διάβρωση των ανεπίχριστων χαλύβων.

Σε πειράματα που έγιναν η συμπεριφορά επιχρισμένων χαλύβων με εποξειδικές ρητίνες και γαλβανισμένων χαλύβων παρατηρήθηκε ότι σε θαλασσινό περιβάλλον, οι επιχρισμένοι με εποξειδικές ρητίνες χάλυβες διαβρώθηκαν πολύ λιγότερο από τους γαλβανισμένους, ανεξάρτητα από το νερό αναμείξεως στο σκυρόδεμα και του πάχους επικάλυψης του χάλυβα.

- Ανοξειδωτοι χάλυβες

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες είναι κράματα σιδήρου και χρωμίου σε περιεκτικότητα 11 έως 12%. Το χρώμιο προσδίδει στον χάλυβα μεγάλη παθητικότητα μεγάλωνοντας έτσι την ανθεκτικότητα του χάλυβα σε διάβρωση. Η περιεκτικότητα του κράματος σε χρώμιο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 15% ,διότι τότε έχουμε αντίθετο αποτέλεσμα.

Αν όμως στο κράμα σιδήρου χρωμίου προστεθεί και νικέλιο και επιτευχθεί κατάλληλος συνδυασμός χρωμίου-νικελίου τότε η ανθεκτικότητα του χάλυβα είναι πολύ βελτιωμένη. Για παράδειγμα έχει

παρατηρηθεί ότι κράματα με 18% χρώμιο και 9% ή ακόμη καλύτερα 18% χρώμιο, 9% νικέλιο και 3% μολυβδαίνιο έχουν πολύ μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάβρωση.

Εκτός από το χρώμιο άλλα υλικά που προστίθενται στον χάλυβα για να βελτιώσουν τις ιδιότητές του είναι :

- Το μολυβδαίνιο : έχει την ίδια ακριβώς επίδραση με το χρώμιο
- Το νικέλιο : Με την προσθήκη νικελίου στον χάλυβα, ο σίδηρος αποκτά ωστενίτη. Το κράμα έχει μεγαλύτερη σκληρότητα και παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και σε επίδραση χλωριόντων.
- Το άζωτο : Αλλάζει τη δομή του ανοξειδωτού ωστενικού χάλυβα, όπως και το νικέλιο και μπορεί να το αντικαταστήσει.
- Το τιτάνιο και νιόβιο : Δεσμεύουν τον άνθρακα του χάλυβα και έτσι μειώνεται ο κίνδυνος διάβρωσης μεταξύ των κόκκων.

- Συμπεριφορά των ανοξειδωτών χαλύβων σε διάφορα είδη διαβρώσεων.

Οι ανοξειδωτοί χάλυβες υπόκεινται σε γενική διάβρωση μόνο σε πολύ όξινο ή πολύ αλκαλικό περιβάλλον. Τα χλωριόντα προκαλούν διάβρωση στους ανοξειδωτούς χάλυβες, στους χάλυβες υψηλής αντοχής και στα κράματα αλουμινίου ή μαγνησίου.

Η τοπική διάβρωση αποφεύγεται με την προσθήκη διαφόρων μετάλλων στους ανοξειδωτούς χάλυβες. Εκτός των παραπάνω αναφερθέντων μετάλλων που μπορεί να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα των ανοξειδωτών χαλύβων σε διάβρωση, προστίθεται πυρίτιο σε συνδυασμό με μολυβδαίνιο ή τιτάνιο σε ποσότητα τουλάχιστον 2%. Ο χαλκός, το χρώμιο και το νικέλιο δεν διαβρώνονται μέσα στο σκυρόδεμα αλλά σε θαλάσσιο περιβάλλον.

Οι ανοξειδωτοί χάλυβες έχουν υψηλό ηλεκτρικό δυναμικό, και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να συμβεί διάβρωση λόγω γαλβανικής δράσης. Ο ανοξειδωτός χάλυβας διαβρώνει τα κράματα που περιέχουν ψευδάργυρο, αλουμίνιο ή χαλκό. Ο ανοξειδωτός χάλυβας θα διαβρωθεί όταν έλθει σε επαφή με γραφίτη. Γενικά δεν επιτρέπεται η συγκόλληση ανοξειδωτών χαλύβων και κραμάτων.

- Χρήση οπλισμών από τιτάνιο

Τιτάνιο χρησιμοποιείται σε εξαιρετικά διαβρωτικό περιβάλλον εκεί δηλαδή που οι ανοξειδωτοί χάλυβες δεν έχουν πολύ μεγάλη ανθεκτικότητα.

Η εξαιρετικά μεγάλη ανθεκτικότητα του τιτανίου σε διάβρωση οφείλεται στο σχηματισμό ενός συμπαγούς, ισχυρά προσκολλημένου στρώματος οξειδίων, που παρέχει προστασία στο μέταλλο. Το τιτάνιο έχει μικρή πυκνότητα ($\rho = 4,5 \text{ g/cm}^3$) και μεγάλη αντοχή. Το όριο διαρροής του τιτανίου είναι 200 έως 460 MPa, αλλά μπορεί μετά από ειδική κατεργασία να φθάσει έως 1.200 MPa. Ως καθαρό μέταλλο το τιτάνιο είναι πολύ μαλακό, ενώ με προσθήκη διαφόρων στοιχείων, σε συγκεκριμένες ποσότητες, όπως οξυγόνου, αζώτου κλπ., μπορεί να κατασκευασθεί τιτάνιο με συγκεκριμένες ιδιότητες σκληρότητας. Το τιτάνιο αντέχει σε όλα τα είδη των διαβρώσεων, ενώ σε κράμα με αλουμίνιο μπορεί να διαβρωθεί υπό μηχανική τάση, κίνδυνος που δεν υπάρχει στο καθαρό τιτάνιο.

5. ΑΣΤΟΧΙΕΣ – ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το οπλισμένο σκυρόδεμα έχει επικρατήσει πλήρως στην κατασκευή των φερόντων δομικών στοιχείων. Όπως όλα τα υλικά, έτσι και το σκυρόδεμα υπόκειται σε αστοχίες και βλάβες που οφείλονται σε διάφορους λόγους και διακρίνονται σε βλάβες που εκδηλώθηκαν αμέσως μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος ή κατά το ξεκαλούπωμα ή ακόμα μετά από λίγες ημέρες ή και βδομάδες και σε βλάβες που εκδηλώνονται αργότερα και συνήθως μετά από κάποιο γεγονός.

Οι βλάβες της πρώτης κατηγορίας μπορεί να οφείλονται σε πολλές και διάφορες αιτίες όπως :

- Λάθη στη στατική μελέτη και εσφαλμένη διαστασιολόγηση.
- Λάθη στην εφαρμογή της μελέτης π.χ. παραλείψεις ή λανθασμένη τοποθέτηση του οπλισμού.
- Κακή ποιότητα υλικού.
- Κακή συμπίκνωση του σκυροδέματος και γενικότερα κακή εφαρμογή των κανονισμών σχετικά με τη σύνθεση, ανάμιξη, μεταφορά και διάστρωση του σκυροδέματος.
- Κακή συντήρηση και όχι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΚΤΣ.
- Πρόωρο ξεκαλούπωμα.

Οι βλάβες της δεύτερης κατηγορίας οφείλονται κυρίως στην επιβολή υπερβολικών φορτίων, στην επίδραση ενός σεισμού, μιας έκρηξης, ενός βομβαρδισμού, κλπ. Οι βλάβες της δεύτερης κατηγορίας μπορεί να οφείλονται επίσης σε άλλες αιτίες όπως π.χ. στην υποσκαφή των θεμελίων, στην μακροχρόνια οξείδωση του οπλισμού, στη διάνοιξη οπών για τη διέλευση σωλήνων, καλωδίων, αεραγωγών, κλπ., τη μείωση της διατομής ή του οπλισμού δοκαριού, υποστυλωμάτων για την διευκόλυνση λειτουργίας του έργου κλπ. Πολλές φορές οι συνέπειες από

τέτοιες ενέργειες εμφανίζονται μετά την επιβολή πρόσθετων φορτίων π.χ. σε περίπτωση σεισμού.

Μετά τη γενική αναφορά και των αιτίων των βλαβών θα εξειδικεύσουμε τις βλάβες περιγράφοντας τις πιο συνηθισμένες:

5.1. Ρηγματώσεις

Η εμφάνιση των ρωγμών στο σκυρόδεμα πολλές φορές είναι αναπόφευκτη μπορούν όμως να περιοριστούν σημαντικά εάν ληφθούν κάποια μέτρα.

Οι ρωγμές διακρίνονται σε τέσσερα είδη :

1. Ρωγμές πρώιμης συστολής
2. Θερμοκρασιακές ρωγμές
3. Ρωγμές συστολής
4. Ρωγμές καθιζήσεως

Το τελευταίο είδος δεν οφείλεται στην ποιότητα του σκυροδέματος, αλλά στο έδαφος θεμελίωσης και τη στατική αστάθεια του φέροντος οργανισμού.

Τα άλλα είδη των ρωγμών παρουσιάζονται όταν το σκυρόδεμα είναι ακόμη νωπό. Μέχρι να ολοκληρωθεί η πήξη του τσιμεντοπολτού, πραγματοποιείται ανακατανομή του λεπτόκοκκου υλικού και του νερού. Το νερό ελαφρύτερο ανέρχεται και το τσιμέντο βαρύτερο καθιζάνει. Το νερό εμποδίζεται στην άνοδό του από τα αδρανή και τον οπλισμό και εγκλωβίζεται σε ορισμένα σημεία σχηματίζοντας θύλακες νερού, που αλλοιώνουν τον ιστό του σκυροδέματος. Η συρρίκνωση του όγκου του στερεοποιημένου τσιμεντοπολτού σε σχέση με τον όγκο του νωπού, προκαλεί αλλοιώσεις στον ιστό του τσιμεντοπολτού. Όταν η ενυδάτωση είναι πλήρης προκύπτει μείωση του όγκου 6cm^3 για κάθε 100 gr τσιμέντου, σε σχέση με τον αρχικό όγκο του τσιμεντοπολτού. Η αποφυγή της εσωτερικής αυτής συστολής είναι αδύνατη. Η τάση του σκυροδέματος στην δημιουργία ρωγμών περιορίζεται όταν :

- Επιλέγεται κοκκομετρική σύνθεση που απαιτεί τη μικρότερη ποσότητα νερού.
- Επιλέγεται τσιμέντο που εκλύει μικρή ποσότητα θερμότητας κατά την ενυδάτωση.
- Επιλέγεται μικρή τιμή N/T.
- Γίνεται σωστή συμπύκνωση του σκυροδέματος.
- Γίνεται συντήρηση του σκυροδέματος, όπως προβλέπεται από τον ΚΤΣ και λαμβάνονται μέτρα για βραδύτερη εξάτμιση νερού.

5.2. Ρωγμές συστολής

Οι ρωγμές συστολής στο σκυρόδεμα δημιουργούνται με την απομάκρυνση του νερού. Όταν αυτό συμβαίνει στο νωπό σκυρόδεμα

ονομάζονται *ρωγμές πρώιμης συστολής-ρωγμές συρρίκνωσης*, άλλως ονομάζονται απλώς ρωγμές συστολής.

Οι ρωγμές συρρίκνωσης σχηματίζονται στην επιφάνεια του νωπού συμπυκνωμένο σκυρόδεμα, κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης. Είναι επιφανειακές με βάθος μερικών cm και στην αρχή εμφανίζονται σαν τριχοειδείς ρωγμές με μήκος όχι μεγαλύτερο των 2 cm. Συνήθως εμφανίζονται στο μέσον της πλάκας και σπάνια στα όρια. Το πλάτος τους αυξάνει σημαντικά όταν ο καιρός είναι ψυχρός. Τα αίτια που τις προκαλούν είναι η εξάτμιση του νερού, η ψύξη και η εσωτερική συστολή του σκυροδέματος.

Η συρρίκνωση του όγκου είναι η βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία πρώιμων ρωγμών, των οποίων το μέγεθος εξαρτάται κυρίως από το είδος και την ποσότητα του λεπτόκοκκου υλικού, εάν τα αδρανή έχουν υψηλό «ποσοστό» παιπάλης αυξάνονται οι δυνάμεις συνοχής και μαζί τους ο κίνδυνος δημιουργίας ρωγμών. Οι ρωγμές περιορίζονται με τη χρήση ανθεκτικών αδρανών με μικρό ποσοστό παιπάλης και με περιορισμό της εξάτμισης του νερού αναμίξεως, ιδιαίτερα εάν ο καιρός είναι θερμός και πνέει ισχυρός άνεμος.

Παρ' όλα αυτά εάν εμφανισθούν είναι δυνατή η έμφραξή τους όσο στο σκυρόδεμα είναι ακόμα νωπό. Εάν το σκυρόδεμα σκληρυνθεί η έμφραξη γίνεται με τσιμεντοπολτό από 2,5 – 3 kg τσιμέντο με 1 λίτρο νερό και αφού προηγουμένως η ρωγή υγρανθεί. Ο τσιμεντοπολτός μετά την τοποθέτηση πρέπει να παραμείνει υγρός για αρκετό διάστημα.

Όπως όλα τα πορώδη υλικά έτσι και το σκυρόδεμα χάρη στους τριχοειδείς πόρους του έχει την ικανότητα να απορροφά νερό και να το αποδίδει στο περιβάλλον. Το φαινόμενο αυτό συνοδεύεται από μεταβολή του όγκου (συστολή, διαστολή), τα αίτια δεν είναι ακόμη γνωστά, αλλά το βέβαιο είναι ότι όταν απορροφά νερό διογκούται και όταν αποβάλλει νερό συρρικνώνεται με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών.

Πρακτικά ο περιορισμός των ρωγμών επιτυγχάνεται με χονδρόκοκκα αδρανή, που περιβάλλονται με τον ελάχιστο δυνατό τσιμεντοπολτό, ώστε να μη μειώνεται η εργασιμότητα του σκυροδέματος. Ο λόγος νερού προς τσιμέντο πρέπει να είναι και αυτός όσο το δυνατόν μικρότερος.

Ένα τόσο υφυγρό σκυρόδεμα χρειάζεται κατάλληλη συμπύκνωση, αλλά και προστασία από πρόωρη ξήρανση.

5.3. Θερμοκρασιακές ρωγμές

Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται τόσο σε λεπτότοιχα στοιχεία, όσο και σε στοιχεία μεγάλων διαστάσεων.

Το σκυρόδεμα όταν ψύχεται συστέλλεται και όταν θερμαίνεται διαστέλλεται. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής είναι $\alpha_{\tau} = 10^{-5} \text{ Grad}^{-1}$ π.χ. εάν μια πλάκα σκυροδέματος 30 m ψυχθεί κατά 40°C σε σχέση με

την αρχική της θερμοκρασίας, η συστολή που θα προκληθεί υπολογίζεται σε 12 mm.

- Εάν η πλάκα έχει την δυνατότητα ελεύθερης παραμόρφωσης θα εμφανιστούν ρωγμές.
- Η αποφυγή των ρωγμών θα επιτευχθεί με αρμούς διαστολής, ελεύθερη έδραση κλπ.
- Η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά την ενυδάτωση προκαλεί επίσης διαστολή στο νεαρό σκυρόδεμα.
- Η εκλογή τσιμέντου με μικρή θερμότητα ενυδάτωσης, η διατήρηση του νωπού σκυροδέματος σε χαμηλή θερμοκρασία, καθώς και η προστασία των ξυλοτύπων από την ηλιακή ακτινοβολία, περιορίζουν τη διαστολή του νωπού σκυροδέματος.
- Στις σκυροδετήσεις μεγάλου όγκου, λόγω θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ πυρήνος και εξωτερικής στρώσης πλέον των 20° C, εμφανίζονται ρωγμές.
- Οι ρωγμές διαρρήξεως προκαλούνται, όταν μερικές στρώσεις του νωπού σκυροδέματος διαστέλλονται από την θερμότητα ενυδάτωσης, ενώ άλλες που έχουν ήδη στερεοποιηθεί ψύχονται και συστέλλονται.

5.4. Ελαττώματα εμφανούς σκυροδέματος

Προκαλούνται κυρίως από ατέλειες του ξυλοτύπου, από κακή συμπίκνωση, από ανεπαρκή συντήρηση, από πρόωρο ξεκαλούπωμα. αλλά και από το ίδιο το σκυρόδεμα. Εμφανίζονται, είτε σαν απλή τοπική αλλοίωση του χρώματος, είτε σαν ανωμαλίες στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

5.4.1 *Χρωματικές αλλοιώσεις* της επιφάνειας του εμφανούς σκυροδέματος είναι : τοπικοί λεκέδες, εμφανείς διαχωριστικές γραμμές, στρώσεις με διαφορετικές αποχρώσεις, χρωματικές ανομοιομορφίες, εμφάνιση των οπλισμών κλπ.

5.4.2 *Ελαττώματα της επιφάνειας* του εμφανούς σκυροδέματος είναι: κοιλώματα, εγκλεισμός αέρα, αποκόλληση άμμου, δίκτυο ρωγμών, θραύση ακμών, κύρτωση ακμών κλπ.

5.5. Η υδατοπερατότητα του σκυροδέματος

Το νερό διεισδύει ακόμα και σε εξαιρετικά λεπτούς πόρους του σκυροδέματος, έτσι κάτω από συνθήκες παγετού μετατρέπεται σε πάγο, μεταβάλλεται ο όγκος του, αναπτύσσονται εξαιρετικά μεγάλες τάσεις, που δεν αντέχει το σκυρόδεμα και έτσι ρηγματώνεται.

Το νερό λόγω της μεγάλης διαλυτικής ικανότητας που έχει, μεταφέρει χημικές ουσίες στο εσωτερικό της μάζας του σκυροδέματος, προκαλώντας βλάβες.

Συνοψίζοντας θα λέγαμε, ότι η υδατοπερατότητα του σκυροδέματος είναι καθοριστική στην ανθεκτικότητά του στη διάρκεια του χρόνου. Οι παράγοντες που την επηρεάζουν συνοπτικά είναι: ο λόγος Ν/Τ, το πορώδες, η συντήρηση, η συμπύκνωση, η ύπαρξη ρωγμών.

5.6. Επιφανειακή φθορά

Η επιφανειακή φθορά του σκυροδέματος μπορεί να προκληθεί, λόγω *απότριψης, υδροφθοράς και σπηλαιώσης*.

Η απότριψη προκαλείται από την κυκλοφορία πεζών ή οχημάτων. Η υδροφθορά οφείλεται στη δράση του νερού, που συνήθως περιέχει αιωρούμενα σωματίδια π.χ. σε βάρθρα γεφυρών, φράγματα, υπερχειλιστές κλπ. και η σπηλαιώση εμφανίζεται όταν νερό κινείται με μεγάλη ταχύτητα κατά μήκος και σε επαφή με επιφάνεια σκυροδέματος, που ξαφνικά αλλάζει γεωμετρία π.χ. στην συμβολή αγωγών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία φυσαλίδων, που σπάζοντας δημιουργούν κρουστικά κύματα προκαλώντας κοιλότητες και ανωμαλίες.

Η απότριψη ξεκινά από το συστατικό με τη μικρότερη αντοχή δηλαδή τον τσιμεντοπολτό και προχωρεί σταδιακά μέχρι να αποκαλυφθούν τα αδρανή, που εν συνεχεία αποκολλώνται με αποτέλεσμα τη δημιουργία κοιλοτήτων.

5.7. Ρηγμάτωση λόγω κρυστάλλωσης αλάτων στους πόρους

Κάτω από ορισμένες συνθήκες, τα άλατα που πιθανόν να βρίσκονται στους πόρους του σκυροδέματος κρυσταλώνονται προκαλώντας ρηγμάτωση, λόγω ανάπτυξης εσωτερικών τάσεων. Το φαινόμενο είναι συχνό, όταν η μία πλευρά δομικών στοιχείων, όπως οι τοίχοι με διαλύματα αλάτων, ενώ η άλλη πλευρά «αναπνέει», είναι δηλαδή ελεύθερη, επιτρέποντας την εξάτμιση νερού από τους πόρους.

5.8. Επίδραση πυρκαϊάς

Γενικά η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος είναι εξαιρετική, εξαρτάται όμως από παράγοντες που σχετίζονται με την ποιότητα του τσιμεντοπολτού και των αδρανών, που αποσυντίθενται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Σχετίζεται επίσης με το μέγεθος των δομικών στοιχείων, με το ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας, από τον βαθμό ενυδάτωσης και το βαθμό κορεσμού των πόρων. Γενικά όσο περισσότερο είναι το νερό στη μάζα του τσιμεντοπολτού τόσο η αύξηση της θερμοκρασίας σε αυτόν καθυστερεί.

5.9. Χημικές διεργασίες

Η φθορά του σκυροδέματος λόγω χημικών διεργασιών οφείλεται κυρίως σε αντιδράσεις μεταξύ των χημικών ενεργών συστατικών του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού και των διαφόρων ουσιών του περιβάλλοντος.

Το όξινο περιβάλλον προκαλεί χημική αστάθεια στα συστατικά του τσιμεντοπολτού ο βαθμός της οποίας εξαρτάται από το pH του διαβρωτικού μέσου που επιδρά στον τσιμεντοπολτό και από τη διαπερατότητα του σκυροδέματος.

Ανάλογα με τον μηχανισμό που προκαλεί τη φθορά, η χημική διάβρωση μπορεί να οφείλεται στην υδρόλυση των συστατικών του τσιμεντοπολτού, σε αντιδράσεις ανταλλαγής μάζας και στο σχηματισμό προϊόντων που προκαλούν διόγκωση.

5.9.1. Μαλακό νερό.

Το νερό της βροχής, των λιμνών, των ποταμών και το προερχόμενο από τη τήξη πάγου και χιονιού χαρακτηρίζεται ως μαλακό. Σε επαφή με το σκυρόδεμα διαλύει τα προϊόντα του ασβεστίου, προκαλώντας τη χαλάρωση του ιστού του.

Η απόπλυση του υδροξειδίου του ασβεστίου προκαλεί προβλήματα αισθητικής, αφού δημιουργεί λευκές κηλίδες ανθρακικού ασβεστίου, γνωστές ως *εξανθήματα*. Ο βαθμός απόπλυσης εξαρτάται από την σκληρότητα του νερού, την ταχύτητα ροής, την θερμοκρασία του, την πίεσή του, από την ποιότητα του σκυροδέματος, την κατάσταση της επιφάνειάς του και την ηλικία του, καθώς και από το είδος του τσιμέντου.

5.10. Αντιδράσεις ανταλλαγής μάζας

Οι μηχανισμοί φθοράς λόγω ανταλλαγής μάζας οφείλονται: στον σχηματισμό διαλυτών αλάτων ασβεστίου, στον σχηματισμό αδιάλυτων αλάτων ασβεστίου, στην επίδραση διαλυμάτων μαγνησίου κλπ.

5.11. Σχηματισμός προϊόντων που προκαλούν διόγκωση

Τα φαινόμενα που οδηγούν στον σχηματισμό προϊόντων που προκαλούν διόγκωση με αποτέλεσμα την ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων και παραμορφώσεων είναι : η επίδραση θειικών αλάτων, η αντίδραση αλκαλίων-αδρανών, η ενυδάτωση κρυσταλλικών MgO και CaO, η διάβρωση των οπλισμών, η επίδραση του θαλασσινού νερού, κλπ.

5.12. Βιολογική επίδραση

Η φθορά του σκυροδέματος λόγω βιολογικών επιδράσεων προκαλείται από τη δράση διαφόρων φυτικών ή ζωικών μικροοργανισμών, που για την ανάπτυξή τους προμηθεύονται συστατικά από την επιφάνεια

στοιχείων που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα, στο εσωτερικό αγωγών αποχέτευσης και γενικά σε υγρό περιβάλλον. Οι ρίζες των φυτών εισχωρούν στις μικρορωγμές του σκυροδέματος και ασκούν δυνάμεις διάρρηξης. Η σήψη τους προκαλεί διάβρωση, ενώ η έκκριση οξέων προκαλεί χημική φθορά του τσιμεντοπολτού. Τα βρύα, οι λειχήνες έχουν διαβρωτική δράση παρουσία ανθρακικού οξέως. Η κυριότερη μορφή βιολογικής επίδρασης είναι τα βακτήρια που αναπτύσσονται σε αγωγούς αποχέτευσης και σε απορρίματα.

6. ΧΗΜΙΚΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Το κεφάλαιο αυτό έχει καλυφθεί σε μεγάλο βαθμό από άλλα κεφάλαια γι' αυτό εδώ θα περιορισθούμε σε μια συνοπτική παρουσίαση των χημικών επιδράσεων.

Η χημική διάβρωση του σκυροδέματος είναι αποτέλεσμα της χημικής επιδράσεως διαφόρων ουσιών με αποτέλεσμα την αλλαγή της σύστασης του σκυροδέματος και τον ανεπανόρθωτο επηρεασμό των ιδιοτήτων του. Με τις χημικές επιδράσεις, ορισμένα διαβρωτικά συστατικά του περιβάλλοντος μεταφέρονται στο σκυρόδεμα και συναντώνται με χημικώς ενεργά συστατικά του.

Η χημική διάβρωση είναι μία σύνθετη διαδικασία, που επηρεάζεται από τις εξής παραμέτρους:

- Τις ιδιότητες του σκυροδέματος, π.χ. την διαπερατότητά του, το είδος του τσιμέντου, το είδος των αδρανών κ.α.
- Τις ιδιότητες του διαβρωτικού μέσου, π.χ. την συγκέντρωση του οξέος ή του άλατος στο διάλυμα, την κατάσταση του διαβρωτικού μέσου δηλαδή εάν είναι υγρή, στερεά ή αέρια.
- Την λύση των προϊόντων της αντίδρασης, δηλαδή εάν είναι αδιάλυτα ή ευδιάλυτα κλπ.
- Τις περιβαλλοντικές συνθήκες π.χ. παρουσία νερού, θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα ροής κλπ.

6.1. Κατηγορίες της χημικής διάβρωσης

Η χημική διάβρωση μπορεί να οφείλεται σε εξωτερικές επιδράσεις, όπως όξινο διάλυμα, θαλασσινό νερό, έδαφος κλπ. ή σε εσωτερικές επιδράσεις, όπως ευπρόσβλητα αδρανή κλπ.

Ανάλογα με τον μηχανισμό λειτουργία της φθοράς διακρίνουμε τις κατηγορίες :

- **Διάβρωση λόγω αποπλύσεως :** Κατ' αυτήν αφαιρείται ένα τμήμα ή το σύνολο του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού και προκαλείται από νερό με μικρή σκληρότητα, από υδροχλωρικό οξύ και από ανθρακικό οξύ. Η φθορά είναι μικρή και εμφανίζεται κυρίως σε πορώδες σκυρόδεμα, στην αρχή στα άκρα και στις γωνίες, ενώ αργότερα δημιουργούνται κοιλότητες και τέλος επέρχεται η τελική αποσύνθεση.
- **Διάβρωση λόγω αντιδράσεων ανταλλαγής μάζας:** Προκαλείται από οξέα, άλατα, φαινόλες κλπ. Τα προϊόντα της αντίδρασης μπορεί να είναι ευδιάλυτα, που αποπλένονται από το νερό ή αδιάλυτα που παραμένουν μέσα στο σκυρόδεμα και χαλαρώνουν την συνάφεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού.
- **Διάβρωση λόγω διογκώσεως:** Προκαλείται κυρίως από θειικά άλατα. Τα προϊόντα της αντίδρασης καταλαμβάνουν μεγάλο όγκο μέσα στο τσιμεντοκονίαμα. Αποτέλεσμα της διογκώσεως είναι η ανάπτυξη μεγάλων τάσεων που προκαλούν ρηγμάτωση.
Οι χημικές αντιδράσεις μπορούν να περιγραφούν παραστατικά από τον παρακάτω πίνακα:

Κατηγορίες χημικών επιδράσεων στο σκυρόδεμα

Εξωτερικές	Χημικές	Ανθρακικό οξύ Διάβρωση αποπλύσεως	Μαλακό νερό Ανθρακικό οξύ
		Διάβρωση λόγω αντιδράσεων ανταλλαγής μάζας	Οξέα, άλατα, ελαιώδεις ουσίες, ζαχαρίνη, φαινόλες, αλκοόλες
		Διάβρωση λόγω διογκώσεως	Θειικά άλατα Άλατα χλωρίου
	Βιολογικές		Ρίζες φυτών, λειχήνες, βρύα, φύκια, οστρακόδερμα, βακτήρια
Εσωτερικές			Βάσεις, θαλασσινό νερό, νερό αναμίξεως, χλωριούχα άλατα (π.χ. CaCl ₂) ως επιταχυντικό

6.2. Επίδραση μαλακού νερού

Μαλακό είναι το νερό της βροχής, του πάγου, του χιονιού, του υγροποιημένου υδρατμού, το νερό των λιμνών, των ποταμών, των πηγών από εκρηξιγενείς βράχους π.χ. από γρανίτη, βασάλτη, ανδεσίτη.

Η σκληρότητα του νερού εκφράζει την παρουσία ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου στο νερό και ο βαθμός σκληρότητας εκφράζει την ποσότητα αυτών. Για παράδειγμα ένα μέρος CaO κ.β. σε 100.000 μέρη νερού εκφράζει τη σκληρότητα του νερού.

Το πολύ μαλακό νερό έχει σκληρότητα 0-4°, το σκληρό 18° – 25° και το εξαιρετικά σκληρό > 50°.

Η σκληρότητα του νερού οφείλεται κυρίως στα όξινα αναθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου [**Ca(HCO₃)₂** και **Mg(HCO₃)₂**].

Το ανθρακικό ασβέστιο που σχηματίζεται από την αρχική δέσμευση του νερού από το τσιμέντο. Κατόπιν το υδροξείδιο του ασβεστίου διαλύεται στο μαλακό νερό και αποπλένεται από το σκυρόδεμα, τόσο ευκολότερα, όσο μικρότερη είναι η σκληρότητα του νερού.

Ο βαθμός απόπλεισης λόγω επίδρασης μαλακού νερού εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως τη σκληρότητα του νερού, την ταχύτητα ροής του, τη θερμοκρασία του, τη διείσδυση νερού κάτω από πίεση, την ποιότητα του σκυροδέματος, την κατάσταση της επιφανείας του, το είδος του τσιμέντου, την ηλικία του σκυροδέματος.

Η άσβεστος που αποπλένεται από το σκυρόδεμα αποτίθεται στην επιφάνειά του δημιουργώντας **λευκές κηλίδες ή σταλακτίτες**.

Η φθορά αυτή έχει σαν συνέπεια τη χαλάρωση του ιστού του επιφανειακού σκυροδέματος και τη δημιουργία ανωμαλιών στην επιφάνεια και την αποκάλυψη των χονδρών αδρανών.

6.3. Επίδραση ανθρακικού οξέος

Το CO₂ της ατμόσφαιρας διαλύεται στο νερό και σχηματίζει ανθρακικό οξύ H₂CO₃, το οποίο θα διαβρώσει το σκυρόδεμα, μόνο εφ' όσον απουσιάζουν τα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου.

Το ανθρακικό οξύ αντιδρά με το υδροξείδιο της ασβέστου και προκαλεί ενανθράκωση του σκυροδέματος :



Η ενανθράκωση του σκυροδέματος όταν ξεπεράσει το πάχος της επικάλυψης του οπλισμού προκαλεί σοβαρή διάβρωση του χάλυβα.

6.4. Επίδραση των οξέων

Τα οξέα υπάρχουν στα εδάφη και στα εδαφικά νερά, όπως τα οργανικά οξέα, το θειϊκό οξύ, το νιτρικό οξύ, το φωσφορικό οξύ, κ.α. Η φθορά του οξέος στο σκυρόδεμα εξαρτάται από τη συγκεντρωσή του στο διάλυμα, από την θερμοκρασία, αλλά κυρίως από τη φύση του παραγόμενου άλατος ασβεστίου. Η ισχύς του οξέος καθορίζεται από την τιμή του pH (pH είναι ο αρνητικός λογάριθμος της συγκεντρώσεως των ιόντων H⁺

στο διάλυμα. Για $pH = 7$ το διάλυμα χαρακτηρίζεται ως ουδέτερο, για $pH > 7$ ως βασικό και για $pH < 7$ ως όξινο).

Μερικά από τα οξέα, όπως το υδροχλωρικό οξύ, το νιτρικό οξύ, το οξικό οξύ και το γαλακτικό οξύ αντιδρούν με τις ενώσεις του τσιμεντοπολτού και δίνουν ευδιάλυτα άλατα ασβεστίου, που αποπλένονται από το σκυρόδεμα.

Άλλα οξέα, όπως το φωσφορικό οξύ, το υδροφθορικό οξύ, το αλκαλικό οξύ και το χουμικό οξύ σχηματίζουν αδιάλυτα άλατα αργιλίου, τα οποία **προστατεύουν** το σκυρόδεμα από περαιτέρω προσβολή.

Τέλος, το θειϊκό και το θειώδες οξύ σχηματίζουν γύψο, που ενυδατώνεται και διογκώνεται.

6.5. Επίδραση αλάτων

Στη φύση τα άλατα υπάρχουν στο έδαφος, στα εδαφικά νερά και το θαλασσινό νερό. Τα συνηθέστερα συναντώμενα άλατα είναι :

- **Χλωριούχα άλατα**, όπως του νατρίου, του ασβεστίου, του αμμωνίου και του μαγνησίου, που υπάρχουν στο θαλασσινό νερό, σε βιομηχανικά απόβλητα και σε λιπάσματα.
Μερικά όπως το χλωριούχο νάτριο και το χλωριούχο ασβέστιο χρησιμοποιούνται ως αντιπαγωτικά στους δρόμους κατά τη διάρκεια παγετού.
Άλλα χλωριούχα άλατα, όπως το χλωριούχο μαγνήσιο, αλλά και το χλωριούχο ασβέστιο χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στο σκυρόδεμα.
Τα χλωριούχα άλατα προκαλούν σοβαρή διάβρωση του οπλισμού.
- **Νιτρικά και νιτρώδη άλατα**, όπως του νατρίου, καλίου και αμμωνίου. Είναι άλατα ευδιάλυτα στο νερό και διαβρώνουν το σκυρόδεμα.
- **Τα ανθρακικά άλατα**, όπως του ασβεστίου και μαγνησίου προσβάλλουν το σκυρόδεμα που έχει κατασκευαστεί από **αργιλικό τσιμέντο**.
- **Τα θειϊκά άλατα**, όπως του νατρίου, ασβεστίου, αμμωνίου και μαγνησίου είναι τα περισσότερο φθοροποιά για το σκυρόδεμα άλατα.

6.6. Επίδραση ελαιωδών ουσιών

Ελαια που μπορεί να επιδράσουν στο σκυρόδεμα είναι :

- Έλαια θερμάνσεως με μικρό ιξώδες π.χ. το πετρέλαιο.
- Έλαια θερμάνσεως με μεγάλο ιξώδες π.χ. ορυκτέλαιο με βάση την παραφίνη.
- Πετρέλαιο καύσεως κινητήρων
- Λιπαντικά έλαια π.χ. γράσσο, μέσου ή μεγάλου ιξώδους.

Τα έλαια που εισέρχονται στους πόρους του σκυροδέματος το διαβρώνουν λόγω των οξειδωτικών συστατικών τα οποία συγκρατούν.

6.7. Επίδραση άλλων ουσιών

Διάφορες οργανικές ενώσεις, όπως η ζάχαρη, οι φαινόλες, η γλυκερόλη και η γλυκόλη είναι **ελαφρά διαβρωτικές** για το σκυρόδεμα.

Άλλες ενώσεις, όπως η μεθυλική και η αιθυλική αλκοόλη είναι **ισχυρά διαβρωτικές**.

Οι αλδεΐδες, όταν επιδρούν μόνες τους είναι αβλαβείς, ενώ διαλυμένες σε διάλυμα φορμαλεΐδης γίνονται μέτρια διαβρωτικές.

6.8. Βιολογική επίδραση

Διάβρωση του σκυροδέματος λόγω βιολογικών επιδράσεων προκαλείται από διάφορους φυτικούς ή ζωϊκούς μικροοργανισμούς, οι οποίοι για να αναπτυχθούν χρειάζονται ίχνη μεταλλικών στοιχείων, που απορροφούν από το σκυρόδεμα. Το φαινόμενο είναι εντονότερο κοντά στη θάλασσα, σε υγρό περιβάλλον ή στο εσωτερικό αγωγών αποχετεύσεων και σε εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών.

Βιολογική επίδραση στο σκυρόδεμα προκαλείται από τους εξής παράγοντες :

1.- **Ρίζες φυτών.** Εισδύουν στο σκυρόδεμα από τις διάφορες μικρορωγμές και με τις διαρρηκτικές δυνάμεις, που ασκούν, προκαλούν πρόσθετη ρηγμάτωση. Με την ανάπτυξη των φυτών συγκρατείται το νερό στην επιφάνεια του σκυροδέματος, ευνοώντας έτσι τον παγετό στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Η έκκριση οξέων από τις ρίζες προκαλεί χημική διάβρωση του τσιμεντοκονιάματος. Η σήψη των ριζών δίνει χουμικό οξύ, που προκαλεί επίσης διάβρωση.

2.- **Λειχήνες και βρύα.** Αναπτύσσονται, όταν το περιβάλλον είναι υγρό, στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Με την παρουσία ανθρακικού οξέως η δράση τους γίνεται ελαφρώς διαβρωτική.

3.- **Φύκια.** Συνήθως **προστατεύουν** το σκυρόδεμα και τον χάλυβα από διάβρωση, επειδή καταναλώνουν το οξυγόνο του νερού, προτού να εισχωρήσει το οξυγόνο στο σκυρόδεμα. Εάν όμως βρίσκονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος που διαδοχικά διαβρέχεται και ξηραίνεται, τότε συγκρατούν θαλασσινό νερό, στο οποίο η συγκέντρωση αλάτων αυξάνεται με την εξάτμιση.

Διάβρωση του σκυροδέματος προκαλούν, επίσης, ορισμένα μαλάκια που προσκολλώνται στην επιφάνειά του.

4.- Βακτήρια. Αναπτύσσονται σε απορρίμματα και σε αγωγούς απόχευσης και αντέχουν σε μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας, από 4°C έως 80°C.

Η επίδραση ορισμένων βακτηριδίων συνίσταται στη διάσπαση των θειϊκών αλάτων και άλλων στη σύνθεση θειϊκών αλάτων.

5.- Αντίδραση αλκαλίων-αδρανών. Για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση αλκαλίων-αδρανών χρειάζεται η παρουσία επαρκούς ποσότητας αλκαλίων στο σκυρόδεμα, αντιδρώντα αδρανή και επαρκής υγρασία. Αν λείπει κάποιος απ'αυτούς τους παράγοντες τότε η αντίδραση δεν γίνεται.

Η αντίδραση των αλκαλίων είναι δύο ειδών :

- η αντίδραση αλκαλίων-πυριτίου (αλκαλοπυριτική αντίδραση),
- η αντίδραση αλκαλίων-ανθρακικών αλάτων.

Η **αλκαλοπυριτική αντίδραση** είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, όταν συμβαίνει κατά την διάρκεια της ενυδάτωσης του τσιμέντου, που η συγκέντρωση των αλκαλίων στους πόρους του πήγματος γίνεται πολύ μεγάλη.

Έχει βρεθεί ότι οι ιπτάμενες τέφρες και οι σκωρίες υψικαμίνων ως προσμίξεις στο τσιμέντο μειώνουν την διόγκωση. Αυτές οι προσμίξεις μειώνουν έτσι τον κίνδυνο αλκαλοπυριτικής αντίδρασης. Με την αλκαλοπυριτική αντίδραση, η προκαλούμενη ρηγμάτωση κάνει το σκυρόδεμα επιρρεπές στον παγετό και σε άλλες περιβαλλοντικές επιδράσεις και ο χάλυβας εκτίθεται σε διάβρωση.

Η φθορά γίνεται εμφανής με άτακτη ρηγμάτωση (map cracking) του σκυροδέματος, σαν αυτή που προκαλείται λόγω συστολής ξήρανσης. Οι ρωγμές στην αρχή έχουν μικρό εύρος και βάθος και αυξάνονται κλιμακωτά μέχρι να συμβεί καθολική αποσύνθεση του σκυροδέματος. Στην περιοχή των οπλισμών οι ρωγμές εμφανίζονται παράλληλα προς τις ράβδους. Οι ρωγμές λόγω αλκαλοπυριτικής αντίδρασης εμφανίζονται αργά και όχι ενωρίτερα από 5 χρόνια.

Άλλη ένδειξη είναι ο σχηματισμός επιφανειακών εκτινάξεων και η φθορά μοιάζει με τη φθορά που δημιουργείται λόγω παγετού.

Τέλος, η δημιουργία πήγματος οφείλεται αποκλειστικά στην αλκαλοπυριτική αντίδραση. Το πήγμα συνήθως «δακρύζει» από τις επιφανειακές ρωγμές, αλλά με τη διαβροχή διαλύεται και απομακρύνεται.

Η αντίδραση αλκαλίων-ανθρακικών αλάτων. Είναι σπάνια, αλλά όταν παρατηρηθεί προκαλεί σοβαρή φθορά στο σκυρόδεμα. Η φθορά του σκυροδέματος οφείλεται στην διόγκωση του βρουκίτη $[Mg(OH)_2]$ και στην απώλεια συνάφειας μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού.

6.9. Επίδραση θαλάσσιου ύδατος

Κατασκευές από σκυρόδεμα που έρχονται σε άμεση επαφή με το θαλάσσιο νερό είναι γέφυρες, αποβάθρες, λιμενοβραχίονες, κρηπιδότοιχοι κλπ. Ο μηχανισμός φθοράς είναι πολύπλοκος, διότι συνδυάζονται πολλές φυσικές και χημικές επιδράσεις :

- Υδροφθορά
- Επίδραση παγετού-τήξεως
- Επίδραση CO₂ της ατμόσφαιρας
- Επίδραση των αλάτων μέσα στο νερό (κυρίως θειϊκών και χλωριούχων, ιδίως του μαγνησίου)
- Επίδραση αλκαλίων (νατρίου και καλίου)
- Σχηματισμός βιολογικής μεμβράνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος

Η φθορά που θα προκληθεί ποικίλει ανάλογα με τη ζώνη της κατασκευής που προσβάλλεται από το θαλάσσιο νερό, έτσι διακρίνονται τρεις ζώνες :

- **Ζώνη υπό το νερό (*Submerged Zone*)** που βρίσκεται μόνιμως μέσα στο νερό. Στη ζώνη αυτή παρέχεται προστασία στο σκυρόδεμα από παγετό, υπάρχει ομοιόμορφο περιβάλλον ως προς τη θερμοκρασία και την υγρασία και αποφεύγεται η μηχανική δράση λόγω μεταβολής του όγκου του σκυροδέματος από την εναλλασσόμενη διαβροχή και ξήρανση. Η ζώνη αυτή υπόκειται κυρίως σε χημική επίδραση χλωριούχων και θειϊκών αλάτων μαγνησίου.
- **Παλιρροϊκή ζώνη (*Tidal Zone*)**. Είναι η ζώνη μεταξύ άνω και κάτω παλιρροιακής στάθμης. Η ζώνη αυτή επηρεάζεται από τα κύματα και είναι η ζώνη με τη μεγαλύτερη φθορά. Εμφανίζεται και μηχανική φθορά λόγω δράσεως των κυμάτων και των μεταφερομένων σωματιδίων. Στη ζώνη αυτή μπορεί να συμβεί παγετός, ενώ συγχρόνως επιδρούν τα διαλυμένα στο νερό άλατα και υπόκειται σε ενανθράκωση του σκυροδέματος λόγω επιδράσεως του CO₂ της ατμόσφαιρας.
- **Εκτεθειμένη ζώνη (*Exposed zone*)**: Επηρεάζεται μόνον από την υγρασία και τα σταγονίδια του νερού. Το σκυρόδεμα ενανθρακώνεται και μολύνεται από τα χλωριόντα που υπάρχουν στα σταγονίδια του θαλασσινού νερού.

6.10. Επίδραση εδάφους και εδαφικού νερού

Όταν το σκυρόδεμα έρχεται σε επαφή με το έδαφος, υπάρχει ο κίνδυνος της χημικής προσβολής από τις διάφορες ουσίες που υπάρχουν σ' αυτό.

Η περιεκτικότητα του εδάφους και του εδαφικού νερού σε θειϊκά άλατα, η οξύτητα ή αλκαλικότητα του εδαφικού νερού, καθώς και τα ιόντα μαγνησίου που βρίσκονται στο νερό, αλλά και η ύπαρξη

σιδηροβακτηρίων παίζουν καθοριστικό λόγο στη φθορά που θα προκαλέσει το έδαφος και το εδαφικό νερό στο σκυρόδεμα με το οποίο έρχεται σε επαφή.

7. ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ – ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΘΩΡΑΚΙΚΗ

7.1. Γενικά

Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο, που κατά πάσα πιθανότητα στα προσεχή 20-30 χρόνια θα είναι δυνατός ο προσδιορισμός του τύπου, του χρόνου εκδήλωσης και της έντασης προσβολής ενός τόπου, με σχετική ακρίβεια, που θα επιτρέπει τη λήψη κάποιων προληπτικών μέτρων.

Είναι ακόμη γνωστό ότι στον Ελληνικό χώρο αποδεσμεύεται το 50% της συνολικής σεισμικής ενέργειας της Ευρώπης.

Ενας ισχυρός σεισμός που θα πλήξει μια ανοχέρωτη κατοικημένη περιοχή θα έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία πλήθους ανθρώπινων θυμάτων, οικοδομικών και άλλων καταστροφών και πλήθους άλλων δυσεπίλητων οικονομικών και κοινωνικών προβλημάτων.

Αν θυμηθούμε τον σεισμό της 7/9/99 θα δούμε ότι δημιούργησε :

- 1) Ανθρώπινα θύματα (θανάτους, τραυματισμούς, αναπηρίες κλπ.).
- 2) Οικονομικά προβλήματα από καταρρεύσεις και διάφορες άλλες καταστροφές.
- 3) Κοινωνικά προβλήματα σε άτομα, οικογένειες και ευρύτερες ομάδες πολιτών.
- 4) Οικονομικά προβλήματα από την απώλεια του οικιστικού κεφαλαίου της περιοχής, καταρρεύσεις ή εκτεταμένες ζημιές σε επαγγελματικούς χώρους με αποτέλεσμα την ανεργία για μεγάλο διάστημα.
- 5) Ανατροπή του ετήσιου κρατικού υπολογισμού από την ανάγκη ενίσχυσης των σεισμοπαθών, την επισκευή ή εκ νέου ανέγερση δημοσίων κτιρίων, την αποκατάσταση εγκαταστάσεων και έργων κοινής ωφέλειας.
- 6) Ανατροπή της κανονικής ροής εργασίας, τόσο του ιδιωτικού τομέα, όσο και του δημόσιου με αποτέλεσμα τη δημιουργία χαώδους κατάστασης.

Ο σεισμός λοιπόν που είναι ένα καθαρά φυσικό φαινόμενο, πλήττοντας το δομημένο περιβάλλον μετατρέπεται σε τεχνολογικό πρόβλημα με τεράστιες κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες, ανάλογα με το μέγεθός του και το μέγεθος του οικιστικού συστήματος που προσβάλλει.

Όταν ισχυροί δεσμοί πλήττουν τα πολύ μεγάλα μητροπολιτικά αστικά κέντρα οι συνέπειες είναι ανυπολόγιστες σε όλα τα επίπεδα.

Οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί θωρακίζουν σε σημαντικό βαθμό τις νέες κατασκευές, το ποσοστό όμως αυτών σε σχέση με το συνολικό δομικό περιβάλλον είναι πολύ μικρό. Καθίσταται επομένως αναγκαία η μελέτη και εκτέλεση επεμβάσεων για την αντισεισμική θωράκιση των υφισταμένων κτιρίων και τη μείωση του σεισμικού κινδύνου.

Οι αρχές που πρέπει να διέπουν την επέμβαση σε ένα κτίριο που έπαθε ζημιές από σεισμό, για την αποκατάστασή τους, αλλά και για την ενίσχυσή του, ώστε να ανταπεξέλθει ικανοποιητικά σε έναν επόμενο είναι :

- Η ορθή στατική και δυναμική θεώρησή του ή των προς ενίσχυση φορέων.
- Η γνώση των σύγχρονων τεχνολογικών μεθόδων και υλικών επεμβάσεως.
- Η ορθή διαδικασία εκτελέσεως των εργασιών.
- Η διασφάλιση της ποιότητας της επεμβάσεως.

Δυστυχώς η πρακτική που ακολουθείται μετά ένα σεισμό είναι, είτε η πλημμελής αποκατάσταση των ζημιών, το «κουκούλωμα» όπως λέμε, είτε η βεβιασμένη και αλόγιστη ενίσχυση των πάντων.

Χρειάζεται μια ψύχραιμη, ορθολογική και επιστημονικά τεκμηριωμένη αντιμετώπιση του προβλήματος.

Κατά καιρούς έχουν εκδοθεί, από διάφορους φορείς, αξιόλογες οδηγίες, προδιαγραφές και μεθοδολογία επεμβάσεων για την αποκατάσταση βλαβών σε κτίρια και την ενίσχυση αυτών.

7.2. Μέθοδοι επισκευών και ενισχύσεων

Οι συνηθέστερες μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης κτιρίων που έχουν πληγεί από σεισμό είναι :

- 1) Έγχυτο συμβατικό σκυρόδεμα,
- 2) Έγχυτο σκυρόδεμα υψηλής αντοχής και σταθερού όγκου,
- 3) Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (gunite),
- 4) Τσιμεντενέσεις ή τσιμεντοκονιάματα,
- 5) Εποξειδικές ρητίνες, εποξειδικά κονιάματα και ρητινοσκυροδέματα
- 6) δέματα
- 7) Ηλεκτροσυγκόλληση νέων οπλισμών,
- 8) Επισκευές με χρήση σύνθετων υλικών.

7.3. Έγχυτο συμβατικό σκυρόδεμα

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε επισκευές εφόσον μπορούν να διέλθουν τα σχετικά χονδρά αδρανή και σε επιφάνειες, όπου μπορεί να συγκρατηθεί το σκυρόδεμα, όπως π.χ. στην άνω επιφάνεια πλακών ή δοκών ή μέσα σε

τύπους για να αποτελέσει μανδύα υποστυλωμάτων ή παρειών δοκών ή ακόμη για να καλύψει τον τυχόν πρόσθετο οπλισμό ενισχύσεως.

Αντίθετα δεν μπορεί να εφαρμοστεί στα κάτω πέγματα δοκών ή πλακών. Η χρήση της μεθόδου απαιτεί επιμελημένη προετοιμασία και προσεκτική εκτέλεση της σκυροδέτησης.

7.4. Έγχυτο σκυρόδεμα υψηλής αντοχής και σταθερού όγκου

Για την κατασκευή μανδύων από σκυρόδεμα χρησιμοποιείται «ειδικό τσιμεντοκονίαμα» το οποίο είναι μίγμα τσιμέντου, λεπτόκοκκης άμμου, υπερρυστοποιητών και διογκωτικών σε κατάλληλες αναλογίες.

Το τσιμεντοκονίαμα είναι πολύ ρευστό, αποκτά μεγάλες αντοχές πολύ σύντομα και επί πλέον δεν υφίσταται συστολές ξήρανσης, όπως το συμβατικό.

7.5. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (gunite)

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως σε μέτριας έκτασης βλάβες για την ενίσχυση ή επισκευή δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα ή τοιχοποιία. Εφαρμόζεται χωρίς ξυλότυπο σε επιφάνειες οποιασδήποτε κλίσης, ακόμη και σε οροφές. Συνήθως το πάχος εφαρμογής είναι της τάξεως των 7cm. Απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και εκπαιδευμένα συνεργεία.

7.6. Τσιμεντενέσεις ή τσιμεντοκονιάματα

Οι τσιμεντενέσεις εφαρμόζονται για επισκευές ρωγμών ανοίγματος λίγων χιλιοστών σε τοιχοποιίες ή σκυρόδεμα. Τα τσιμεντοκονιάματα εφαρμόζονται σε μεγαλύτερες ρωγμές με πάχος μέχρι 10 mm.

7.7. Εποξειδικές ρητίνες

Οι ρητίνες και ιδιαίτερα οι εποξειδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται ως υλικό πλήρωσης ρωγμών σκυροδέματος ή τοιχοποιίας ή για επικόλληση λεπτών μεταλλικών φύλλων και σύνθετων υλικών επί των επιφανειών του σκυροδέματος.

Οι εποξειδικές ρητίνες αυτούσιες και ρευστές χρησιμοποιούνται για τη σφράγιση ρωγμών πλάτους 0,1 mm έως 3 mm. Τα εποξειδικά κονιάματα χρησιμοποιούνται για συγκόλληση ρωγμών μεγαλύτερου πλάτους. Στα ρητινοσκυροδέματα το τσιμέντο έχει αντικατασταθεί από ρητίνη και χρησιμοποιούνται για συμπλήρωση τεμαχίων σκυροδέματος που έχουν αποσπασθεί.

7.8. Επικόλληση ελασμάτων σε σκυρόδεμα (beton plaque)

Η επικόλληση των ελασμάτων γίνεται με εποξειδική ρητίνη στο εφελκυόμενο πέγμα των δοκών και στις κατακόρυφες παρειές των δοκών ή ακόμα και στους κόμβους. Τα ελάσματα είναι λεπτά 1-1,5 mm για να

περιοριστεί η τάση αποκόλλησης και εύκαμπτα για να κολλήσουν καλά και να συνεργαστούν με την παλαιά δοκό.

7.9. Ηλεκτροσυγκόλληση νέων οπλισμών

Ο συνηθέστερος τρόπος ενίσχυσης εφελκυσμένων τμημάτων μιας κατασκευής είναι η πρόσθετη νέων οπλισμών, των οποίων η συνεργασία με τους παλιούς γίνεται με ηλεκτροσυγκόλληση.

Ο μαλακός χάλυβας προτιμάται από τον νευροχάλυβα για την ευκολία της συγκόλλησής του με τον παλαιό.

Οι νέες ράβδοι συγκολλούνται επάνω στις παλαιές με τη βοήθεια παρεμβλημάτων της ίδιας διαμέτρου.

Με τη συγκόλληση νέων ράβδων οπλισμού συνδυάζεται κατά κανόνα η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, χωρίς να αποκλείεται και το έγχυτο.

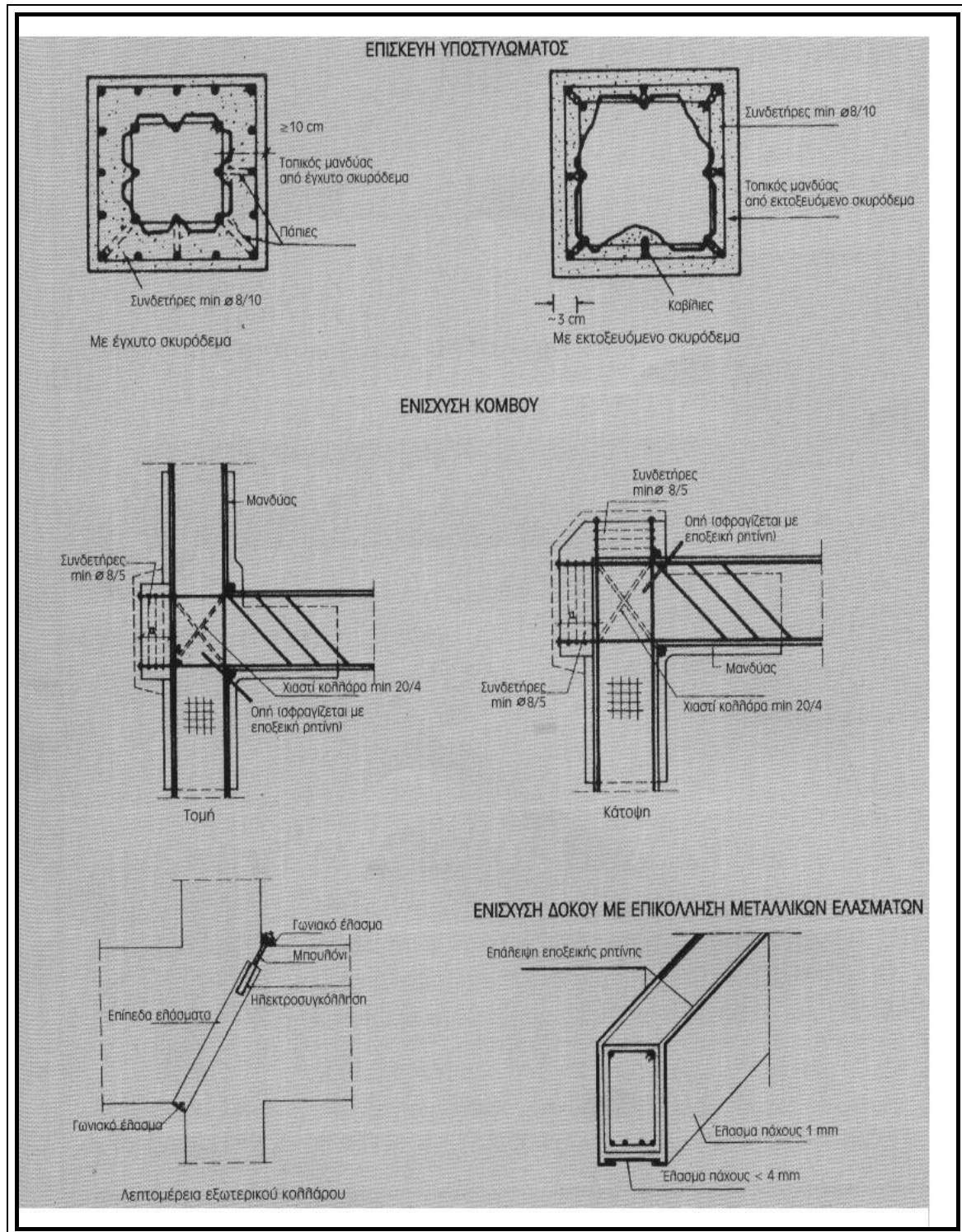
7.10. Επισκευή και ενίσχυση με σύνθετα υλικά

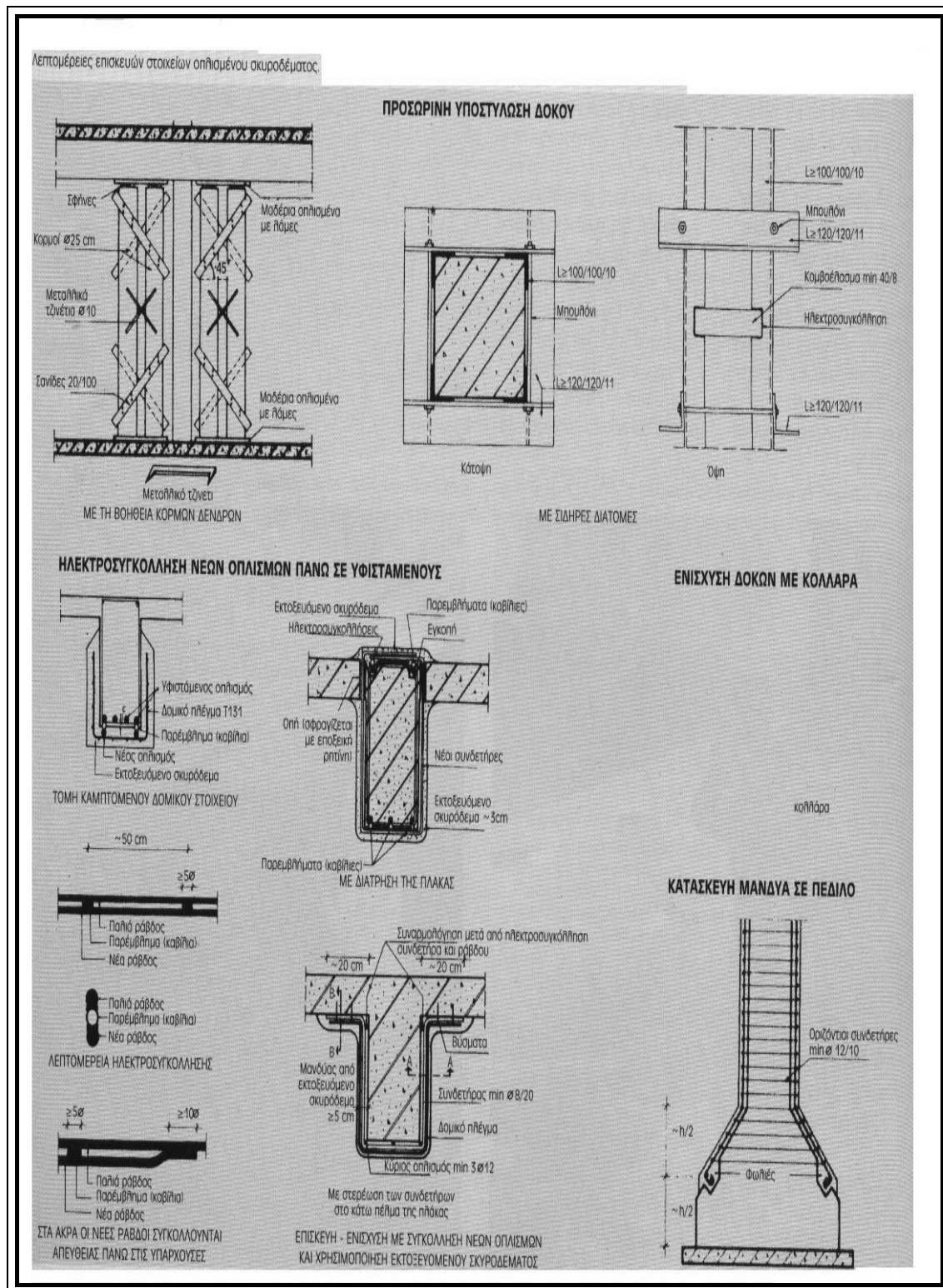
Η μέθοδος αυτή είναι από τις πλέον σύγχρονες. Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ίνες υάλου υψηλής αντοχής, πλέον των 550 MPa, «συραμμένες» ή «πλεγμένες» σε μορφή «υφάσματος». Τα υφάσματα ινών αφού εμποτιστούν με ειδικές εποξειδικές ρητίνες, σχηματίζουν ένα σύνθετο υλικό, το οποίο επικολλάται στις κατάλληλα προετοιμασμένες επιφάνειες του δομικού στοιχείου.

Τα σύνθετα υλικά εφαρμόζονται στα δομικά στοιχεία, αφού προηγουμένως έχουν σφραγιστεί οι ρηγματώσεις με τσιμεντενέσεις, τσιμεντοκονιάματα, εποξειδικές ρητίνες ή εποξειδικά κονιάματα.

Η μέθοδος αποτελεί εξέλιξη των ενισχύσεων με μεταλλικά ελάσματα. Λόγω του μικρού τους πάχους (περίπου 1,3 mm ανά στρώση) οι διαστάσεις του δομικού στοιχείου παραμένουν πρακτικά αμετάβλητες και το πρόσθετο βάρος είναι αμελητέο.

Ακολούθως θα περιγράψουμε αναλυτικότερα ορισμένες από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν, χωρίς να εισέλθουμε σε πολλές λεπτομέρειες, αφού αυτό θα αποτελούσε αντικείμενο ιδιαίτερης πτυχιακής εργασίας.





Θα μας βρείτε στην INFACOMA περ. 5, stand 19

1 Καθαίρεση σοβά

2 Αφαίρεση χαλαρών τμημάτων και καθαρισμός επιφανείας (αμμοβολή, υδροβολή κλπ.)

3 ΕΡΟΜΑΧ-ΕΚ: Εποξειδική πάστα 2 συστατικών

4 ΕΡΟΜΑΧ-L10, ΕΡΟΜΑΧ-L20, DUREBOND: Ενεργές εποξειδικές ρητίνες

5 FERROSEAL: Τσιμενταειδής αντιδιαβρωτική επάλειψη οπλισμού

6 MEGACRET-40, MEGACRET-10: Ισοπλισμένα επισκευαστικά τσιμεντοκονιάματα υψηλών αντοχών

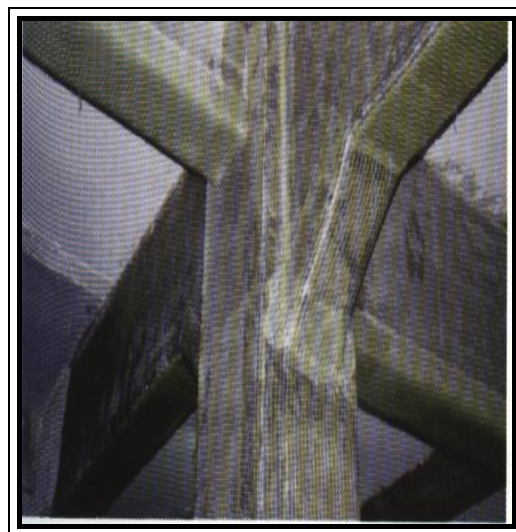
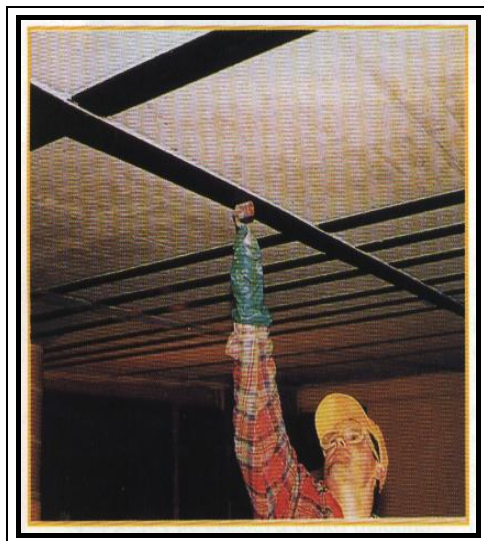
7 ΕΡΟΜΑΧ-ΠΙ: Εποξειδική ρητίνη επικάλυψης ελασμάτων

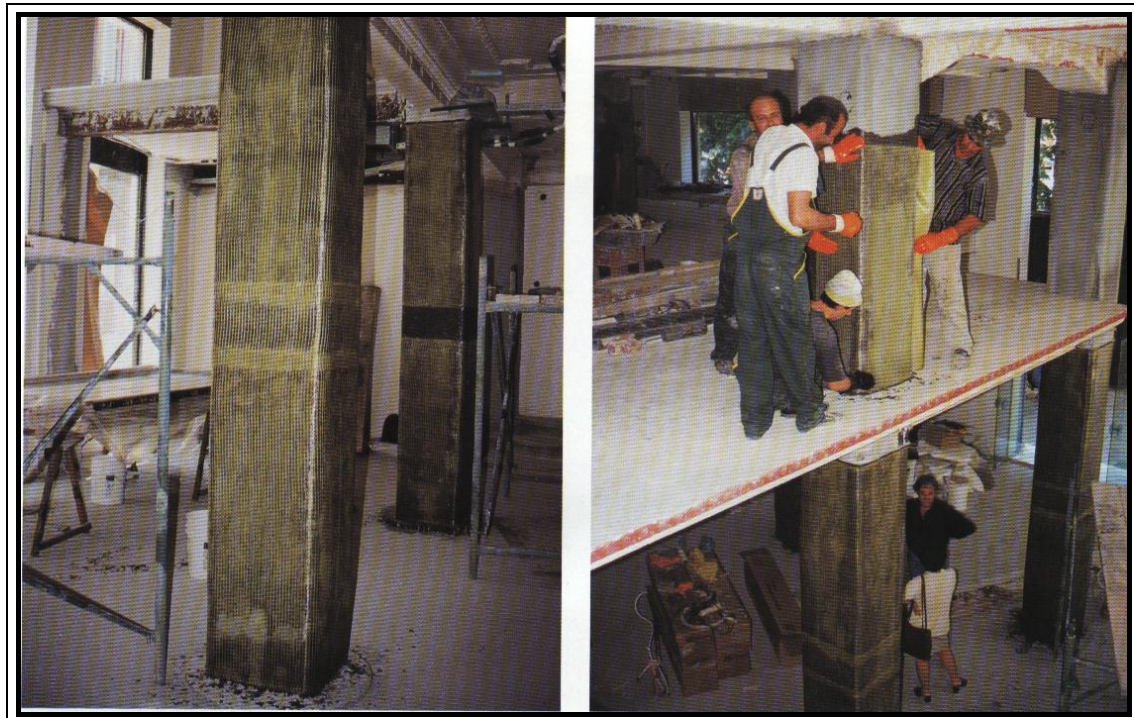
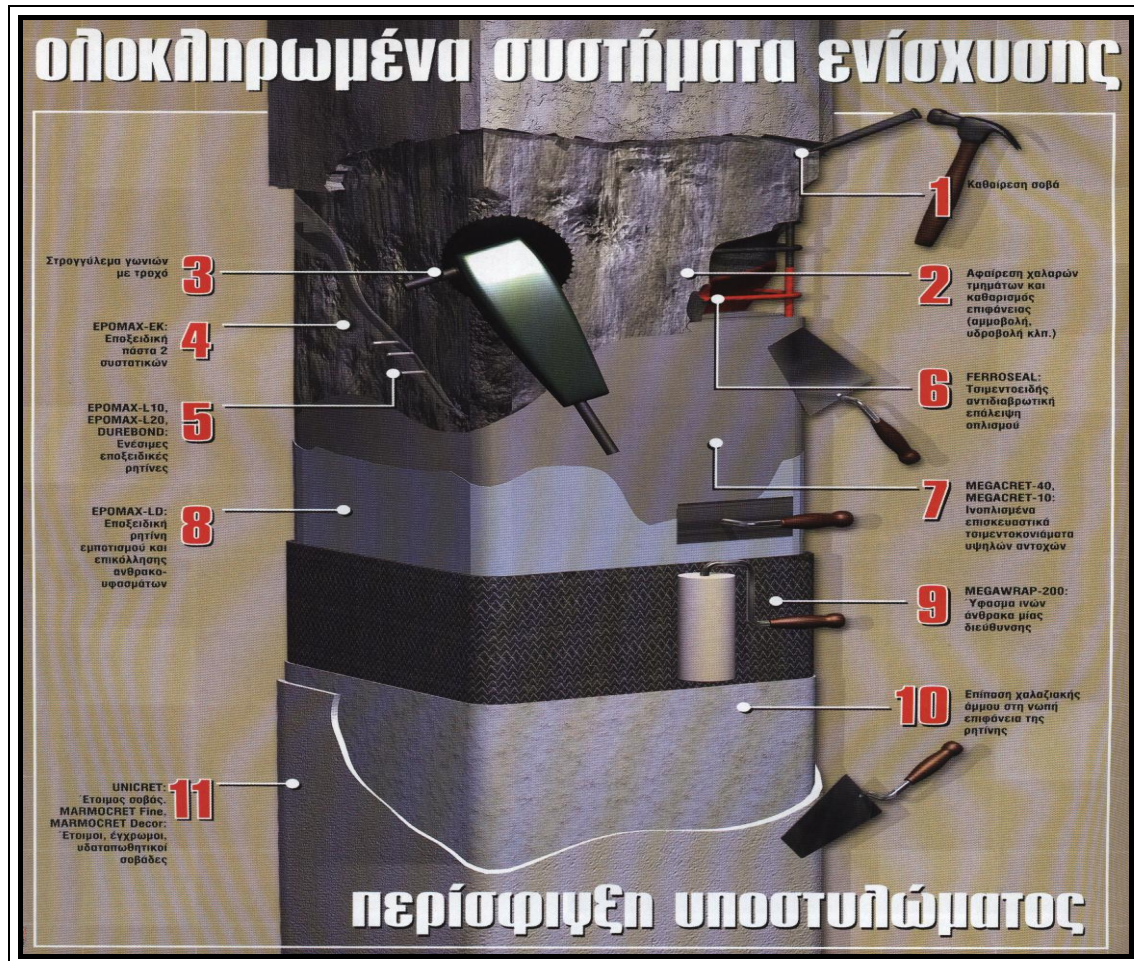
8 MEGAPLATE: Έλασμα από ίνες άνθρακα

9 UNICRET: Έτοιμος σοβάς, MARMOCRET Fine, MARMOCRET Decor: Έτοιμοι, έγχρωμοι, υδατοαπωθητικοί σοβάδες

ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ
801-11-150-150
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΩΣΗΣ
ISOMAT

ενίσχυση δοκού σε κάμψη





ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

**ΜΕ ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ (FPS)
Ή ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ
ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ**

ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
Τρόπος απόκρισης της συμβατικής κατασκευής σε σεισμό:

Η παραμόρφωση γίνεται στον φέροντα οργανισμό. Οι επιταχύνσεις των ορόφων αυξάνονται καθ' ύψος. Οι παραμορφώσεις και οι βλάβες της κατασκευής μπορεί να είναι μόνιμες.

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΩΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
Τρόπος απόκρισης της μονωμένης κατασκευής σε σεισμό:

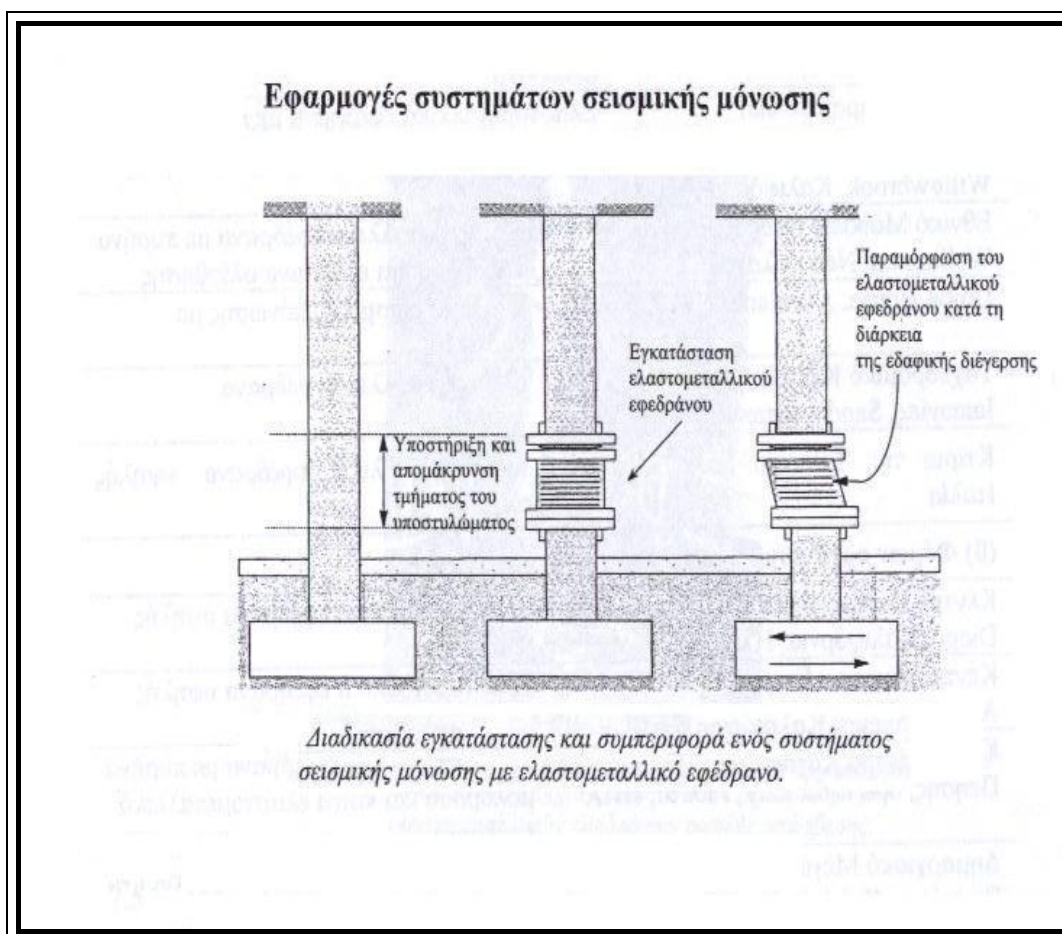
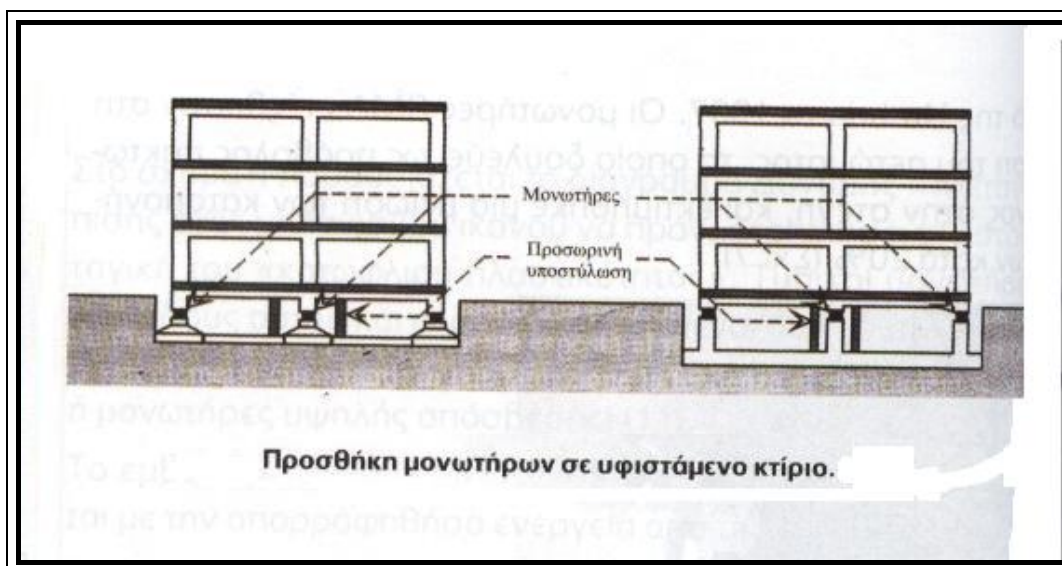
Η παραμόρφωση γίνεται στους σεισμικούς μονωτήρες. Οι επιταχύνσεις των ορόφων είναι μικρές. Η κατασκευή, οι ενοικί της και το περιεχόμενό της είναι ασφαλή. Το σύστημα μόνωσης επαναφέρει την κατασκευή στην πριν από το σεισμό θέση της.

ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΕΦΕΔΡΑΝΟ ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ

ΣΦΑΙΡΙΚΟ ΕΦΕΔΡΑΝΟ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ (FPS)

Ελαστομεταλλικό εφεδράνο με πυρήνα μολύβδου (LRB).

Εφεδράνο ολίσθησης με επάλληλες διεπιφάνειες ολίσθησης.



7.11. Αποκατάσταση και ενίσχυση

Στην αποκατάσταση και ενίσχυση περιλαμβάνονται οι επεμβάσεις που απαιτούνται, όταν απειλείται η ευστάθεια του δομικού στοιχείου ή της κατασκευής. Σε αρκετές περιπτώσεις απαιτείται άμεση υποστύλωση για την αποκατάσταση της ευστάθειας μέχρι την αποκατάσταση της βλάβης. Ως αποκατάσταση ενός δομικού στοιχείου νοείται η επαναφορά της φέρουσας ικανότητάς του στα επίπεδα προ της βλάβης και ως ενίσχυση νοείται η αύξηση της φέρουσας ικανότητάς του, ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των σύγχρονων κανονισμών.

Για την αποκατάσταση μεγάλων τμημάτων και ολόκληρων δομικών στοιχείων συνήθως προτιμώνται οι μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα ή η εφαρμογή σύνθετων υλικών, ενώ σε τοπικές επεμβάσεις χρησιμοποιούνται συνήθως μεταλλικά στοιχεία ή ενέσεις, όπως π.χ. σε σφράγιση ρωγμών

7.12. Επισκευή – ενίσχυση με μανδύες

Πρόκειται για την αποκατάσταση και ενίσχυση δομικών στοιχείων με την εφαρμογή οπλισμένου σκυροδέματος ως περίβλημα, με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας, της πλαστιμότητας, αλλά και των διαστάσεων της διατομής, καθώς και του βάρους του δομικού στοιχείου.

Το σκυρόδεμα εφαρμόζεται, είτε ως έγχυτο, είτε ως εκτοξευόμενο. Χρησιμοποιούνται λεπτόκοκκα υλικά για την ευχερή διέλευση ανάμεσα από τον οπλισμό, τον ξυλότυπο και τις παρειές του δομικού στοιχείου. Στη μάζα του σκυροδέματος προστίθενται κατάλληλα πρόσμικτα για την βελτίωση της πρόσφυσης και εργασιμότητας, την αποφυγή της συρρίκνωσης κατά την πήξη κλπ.

Η αντοχή του νέου σκυροδέματος πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή του υπάρχοντος τουλάχιστον κατά 10 MPa. Ο απαιτούμενος οπλισμός, οι ιδιότητες και το πάχος του μανδύα καθορίζονται από τη μελέτη επισκευής και ενίσχυσης.

Η επιτυχία της επέμβασης εξαρτάται από την προετοιμασία του δομικού στοιχείου. Απαιτείται καθαίρεση των επιχρισμάτων και του σαθρού ή αποδιοργανωμένου σκυροδέματος, καθαρισμός με αμμοβολή, εκτράχυνση της επιφάνειας εφαρμογής, έλεγχος και αποκατάσταση του υπάρχοντος οπλισμού (αποκάλυψη, απομάκρυνση σκουριάς, αντικατάσταση διαβρωμένων τμημάτων, επαναφορά των ράβδων στην αρχική τους γεωμετρία, αντιδιαβρωτική προστασία κλπ.) και καλός καθαρισμός της επιφάνειας εφαρμογής του παλαιού σκυροδέματος με υδροβολή.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως για την ενίσχυση ή επισκευή δομικών στοιχείων με βλάβες μέτριας έκτασης.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πρέπει να είναι χαμηλής ρευστότητας, ώστε με την πρόσκρουση στην επιφάνεια εφαρμογής να συγκρατείται σε οποιαδήποτε θέση, αλλά και αρκετά υγρό, ώστε να συμπυκνώνεται με την πρόσκρουση, χωρίς σημαντικές απώλειες υλικού λόγω ανάκλασης. Ο λόγος νερού προς τσιμέντο N/T κυμαίνεται μεταξύ 0,35 και 0,50.

Η αντοχή του υλικού σε ηλικία 28 ημερών πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την αντοχή σκυροδέματος κατηγορίας C20/25 και οπωσδήποτε μεγαλύτερη από την αντοχή του υπάρχοντος σκυροδέματος τουλάχιστον κατά 5MPa.

7.13. Ενίσχυση με μεταλλικά στοιχεία

Χρησιμοποιούνται κατά κανόνα είτε για τοπική ενίσχυση δομικών στοιχείων με επικόλληση, είτε για προσωρινή περίσφιξη. Τα μεταλλικά στοιχεία της περίσφιξης μπορεί να παραμείνουν και να ενσωματωθούν σε μανδύα ενίσχυσης από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις με ρηγματώσεις χωρίς αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, αλλά δεν ενδείκνυται για την αντιμετώπιση προβλημάτων του οπλισμού (διάβρωση, αστοχία κλπ.).

Η αποκατάσταση του σκυροδέματος, εφ'όσον παρουσιάζει φθορές ή βλάβες είναι απαραίτητη και προηγείται από κάθε επέμβαση έγχυσης.

Ανάλογα με τη λύση, τη σοβαρότητα και το μέγεθος του προβλήματος είναι πιθανόν να απαιτείται υποστύλωση, σφράγιση ρωγμών, καθαίρεση αποδιοργανωμένου σκυροδέματος, καθαρισμός κλπ.

Για την προστασία των μεταλλικών στοιχείων (εάν η επέμβαση είναι μόνιμη) και τη διασφάλιση της συμβατότητάς τους με το σκυρόδεμα (συστολή, διαστολή κλπ.) συνιστάται η κάλυψή τους με στρώση από οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή τουλάχιστον με στρώση τσιμεντοκονίας, ελάχιστου πάχους 2 cm, ινοπλισμένης ή οπλισμένης με πλέγμα επιχρισμάτων (πολυπροπυλενίου, νευρομετάλλ, κλπ.).

Η περίσφιξη γίνεται με κολάρα από έλασμα διαφόρων μορφών (επίπεδα, γωνιακά, κλπ.), τα οποία εφαρμόζονται στις θέσεις ενίσχυσης, ως εξωτερικοί συνδετήρες και σφίγγονται με κοχλίες.

Πολλές φορές απαιτείται η προστασία των ακμών του παλαιού σκυροδέματος από θραύση κατά την περίσφιξη, αυτό γίνεται με τοποθέτηση γωνιακών ελασμάτων.

Η ενίσχυση με ελάσματα είναι μια εναλλακτική δυνατότητα για τη βελτίωση της συμπεριφοράς του δομικού στοιχείου σε κάμψη και διάτμηση. Στην πρώτη περίπτωση τοποθετούνται ένα ή περισσότερα ελάσματα στο κάτω πέλμα της δοκού, ενώ στη δεύτερη αντίστοιχα στις κατακόρυφες πλευρές. Τα ελάσματα εφαρμόζονται πάνω στην επιφάνεια

του σκυροδέματος με επικόλληση μέσω εποξειδικών ρητινών. Προτιμούνται ελάσματα από ανοξείδωτο χάλυβα με πάχος 1-1.5 mm. Προηγείται επιμελής προετοιμασία με λείανση της επιφάνειας του σκυροδέματος, καλός καθαρισμός με υδροβολή και πλήρης απομάκρυνση της υγρασίας. Η επιφάνεια του ελάσματος εκτραχύνεται με αμμοβολή (μεταλλική άμμος) και καθαρίζεται με απολιπαντικό. Στην επιφάνεια του σκυροδέματος εφαρμόζεται υλικό εμποτισμού (αστάρι ή primer) σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή της ρητίνης. Μετά το στέγνωμα ακολουθεί επιμελής επάλειψη της εποξειδικής ρητίνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος και εφαρμογή του ελάσματος με ισχυρή πίεση μέχρι τη διαδικασία πολυμερισμού της ρητίνης.

Αν απαιτείται μπορεί να εφαρμοστεί δεύτερο έλασμα πάνω στο πρώτο με εκτράχυνση και καθαρισμό των επιφανειών επαφής.

7.14. Επισκευή με ενέσεις

Η μέθοδος εφαρμόζεται όπου υπάρχουν ρωγμές, χωρίς όμως αποδιοργάνωση του σκυροδέματος. Πρόκειται για μέθοδο επισκευής με εισαγωγή στις ρωγμές κατάλληλου υλικού συγκόλλησης του σκυροδέματος και πλήρωσης του κενού. Το υλικό εισάγεται στις ρωγμές με πίεση με κατάλληλο εξοπλισμό αρχίζοντας από τις κατώτερες θέσεις και συνεχίζοντας προς τα πάνω. Οι ρωγμές πρέπει να είναι απόλυτα καθαρές, χωρίς σκόνες, θραύσματα υλικών, ρύπους, κλπ.

Η μέθοδος αυτή δεν περιλαμβάνει επεμβάσεις στον οπλισμό. Ως υλικά συγκόλλησης, τα ενέματα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ειδικές εποξειδικές ρητίνες, ρητινοκονιάματα ή τσιμεντοκονιάματα. Οι εποξειδικές ρητίνες εφαρμόζονται σε ρωγμές πλάτους 0,1-3 mm, ενώ τα τσιμεντοκονιάματα σε σχετικά μεγάλου πλάτους ρωγμές μέχρι 10 mm. Τα υλικά των ενέσεων πρέπει να είναι λεπτόρευστα, ενώ αποκλείεται η χρησιμοποίηση ρητινών με διαλύτη.

7.15. Ενίσχυση με σύνθετα υλικά

Η μέθοδος αφορά την επικόλληση ειδικών υφασμάτων από ινώδη οπλισμένα πολυμερή (συνήθως ίνες υάλου ή άνθρακα) με τη βοήθεια κατάλληλων ρητινών σε ανάλογα προετοιμασμένες επιφάνειες σκυροδέματος σε κάθε είδους κατασκευές, ακόμη και σε δομικά στοιχεία σε υγρό ή θαλάσσιο περιβάλλον ή μέσα σε νερό. Οι ρητίνες χρησιμεύουν για την προετοιμασία της επιφάνειας εφαρμογής, αλλά και για τον εμποτισμό του υφάσματος. Το εμποτισμένο με ρητίνη ύφασμα αποτελεί το **σύνθετο υλικό**. Η προετοιμασία της επιφάνειας απαιτεί παρόμοια διαδικασία με αυτή των μεταλλικών ελασμάτων. Σε περιπτώσεις ρηγματωμένων δομικών στοιχείων, πρέπει να προηγηθεί η

αποκατάσταση των ρηγματώσεων, καθώς και ο οπλισμός όπου χρειάζεται.

Με την εφαρμογή του σύνθετου υλικού αυξάνονται η αντοχή και η πλαστιμότητα του δομικού στοιχείου με ασήμαντη αύξηση του βάρους και των γεωμετρικών στοιχείων της διατομής τους. Ο αριθμός των απαιτούμενων στρώσεων για κάθε εφαρμογή είναι αντικείμενο μελέτης. Στα σύνθετα υλικά με υαλονήματα το πάχος κάθε στρώσης κυμαίνεται μεταξύ 1mm και 2 mm, ενώ το βάρος της είναι της τάξεως του 0,5 kg/m². Ο συντελεστής θερμικής διαστολής είναι πρακτικά περίπου ίσος με του σκυροδέματος, που σημαίνει συμβατότητα μεταξύ των δύο υλικών (συστολή-διαστολή). Η χαρακτηριστική αντοχή συνήθως υπερβαίνει αυτή του χάλυβα S500.

Η πυροπροστασία του ενισχυμένου με σύνθετα υλικά δομικού στοιχείου επιτυγχάνεται, είτε με επάλειψη με κατάλληλες ρητίνες, είτε με επίχρισμα, το οποίο βεβαίως μπορεί να βαφεί ή να διακοσμηθεί.

7.16. Σεισμική μόνωση κτιρίων

A.- Εισαγωγή – Ιστορικό

Η σεισμομόνωση των κτιρίων, δηλαδή, η προστασία και η απομόνωσή του φέροντος οργανισμού από τις σεισμικές δράσεις είναι γνωστή από τους αρχαίους χρόνους.

- Οι Βαβυλώνιοι έβαζαν καλάμια στη βάση των πλινθόκτιστων κτισμάτων τους.
- Οι Έλληνες στις αποικίες της Νότιας Ιταλίας τον 5^ο π.Χ. αιώνα κατά το κτίσιμο των εκκλησιών τους έσκαβαν μια τάφρο στην οποία θεμελίωναν με πέτρες την κατασκευή και μεταξύ αυτής και του θεμελίου παρενέβαλαν στρώμα άμμου. Αυτό το «μαξιλάρι» είναι το πρώτο καταγεγραμμένο «**σεισμομονωτικό εφέδρανο**». Στη δεκαετία του 1990 ένας Κινέζος ερευνητής χρησιμοποιεί ένα σύστημα σεισμικής μόνωσης, κατά το οποίο στηρίζεται στη ρευστοποίηση ενός τεχνητού εδάφους, που τοποθετείται κάτω από τη θεμελίωση και διατηρείται υγρό.

B.- Ενεργητικά – παθητικά συστήματα

Τα συστήματα σεισμικής μόνωσης διακρίνονται σε παθητικά και ενεργητικά. Στη δεκαετία του 1970 στην Αμερική και στην Ιαπωνία επιχειρήθηκε για πρώτη φορά η εφαρμογή συστημάτων παθητικής σεισμομόνωσης. Στον σεισμό του Καράκας στη Βενεζουέλα μελετήθηκε η συμπεριφορά των πολιορόφων κτιρίων και διαπιστώθηκε ότι οι «χαμηλοί όροφοι» είχαν υποστεί μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις, κοντά στο όριο θραύσεως, ενώ οι ψηλότεροι είχαν μείνει πρακτικά

ανέπαφοι. Έτσι, λοιπόν, οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα, ότι θα μπορούσε να σχεδιαστεί ένα ειδικό σύστημα στη βάση του κτιρίου, το οποίο θα απομόνωνε το άνω μέρος του φέροντος οργανισμού συγκεντρώνοντας την απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας σε συγκεκριμένα στοιχεία. Έτσι η ανωδομή θα έφερε μόνο τα κατακόρυφα φορτία και θα αντιμετώπιζε την ανεμοπίεση, ενώ τα ειδικά δομικά στοιχεία θα επιτελούσαν την απόσβεση της ενέργειας. Στη φιλοσοφία αυτή αναπτύχθηκαν διάφορα συστήματα **παθητικής σεισμομόνωσης** και διάφοροι μηχανισμοί **ενεργητικής θερμομόνωσης**.

Έτσι οι Fintel και Khan, στην Αμερική και στην Ιαπωνία αντίστοιχα μελέτησαν ένα σύστημα παθητικής σεισμομόνωσης σχεδιάζοντας έναν εύκαμπτο όροφο στο χαμηλότερο τμήμα του κτιρίου (soft-storey), δηλαδή, έναν όροφο που θα μπορούσε να παραμορφωθεί πλαστικά σε μεγάλο βαθμό και το εφήρμοσαν με επιτυχία σε πολύοροφο νοσοκομείο στις Η.Π.Α. το 1969.

Ο καθηγητής Mtsuhita του Πανεπιστημίου του Τόκιο μελέτησε ένα ενεργητικό σύστημα απομόνωσης της ανωδομής τοποθετώντας μεταλλικές σφαίρες διαμέτρου 20cm μεταξύ της Radier θεμελίωσης (γενικής κοιτόστρωσης) και του υπογείου εκτιμώντας, ότι θα επιτυγχάνετο μια μείωση της σεισμικής δύναμης που θα καταπονούσε την ανωδομή κατά 70%.

7.17. Μέθοδοι σχεδιασμού της σεισμομόνωσης των κτιρίων

Ουσιαστικά υπάρχουν 2 μέθοδοι για την μείωση των σεισμικών δράσεων σε ένα κτίριο:

- **Η μέθοδος της αύξησης της ιδιοπεριόδου της κατασκευής.** Έχει παρατηρηθεί ότι για μεγαλύτερη περίοδο ταλάντωσης έχουμε μικρότερη επιτάχυνση των ορόφων. Εάν, δηλαδή, θέσουμε στη θεμελίωση ειδικούς μηχανισμούς που να μπορούν να παραμορφωθούν και να αποσυμπλέξουν την κίνηση της ανωδομής από εκείνη του εδάφους, τότε η ιδιοπερίοδος του κτιρίου αυξάνεται περίπου 2 sec, έτσι μετατοπίζεται μακριά από το κυρίαρχο φάσμα του σεισμού. Κατ' αυτόν τον τρόπο η επίδραση του σεισμού μπορεί να μειωθεί κατά 50% φθάνοντας σε επιταχύνσεις μειωμένες στο 1/3 και με μία αύξηση της μετατόπισης του κτιρίου κατά $\pm 30-70$ mm, ανάλογα με τη σεισμικότητα του εδάφους.

Τυπικοί σεισμομονωτήρες αυτού του είδους είναι οι μονωτήρες τύπου FPS (Friction Pentulum System), οι οποίοι άρχισαν να μελετώνται τη δεκαετία του 1990. Τέτοιοι μονωτήρες τοποθετήθηκαν στο ιστορικό (1905) Εφετείο του San Fransisco (Court appeals) στις Η.Π.Α., αφού

κόπηκαν οι σιδηροκολώνες στη βάση τους και τοποθετήθηκαν οι μονωτήρες μεταξύ αυτών και της θεμελίωσης.

Η αρχή λειτουργίας των FPS στηρίζεται στη λειτουργία του εκκρεμούς, όπου αποδεικνύεται, ότι η περίοδος της ανωδομής είναι ανεξάρτητη της μάζας της και εξαρτάται μόνο από την ακτίνα καμπυλότητας της κοίλης επιφάνειας του μονωτήρα.

- **Η μέθοδος του «κατωφλίου πλαστικότητας».** Με τη μέθοδο αυτή επιδιώκεται η μείωση των σεισμικών δυνάμεων που μεταδίδονται στην ανωδομή θέτοντας μεταξύ αυτής και της θεμελίωσης ειδικούς μηχανισμούς με πλαστική συμπεριφορά, δηλαδή ικανούς να μεταδώσουν στην ανωδομή μια δύναμη περίπου σταθερή ανεξάρτητη από τη μετατόπισή της.

Τυπικοί μονωτήρες του είδους αυτού και ευρέως διαδεδομένοι στην Ιταλία είναι οι HDRB (High Dumping Rings Bearing) ή **μονωτήρες υψηλής απόσβεσης**.

Ειδικά για την τοιχοποιΐα έχουν ανακαλυφθεί ειδικά κράματα χαλύβων «με μνήμη σχήματος» (Shape Memory Alloy), οι οποίοι παρουσιάζουν ευρείς κύκλους υστέρησης, αν και παραμένουν πάντα στην ελαστική περιοχή, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στην τοιχοποιΐα, η οποία υφίσταται «ελεγχόμενες» παραμορφώσεις και μικρορωγμές, να αποσβέσει ένα μέρος της σεισμικής ενέργειας.

Σχεδιάζοντας τη σεισμομόνωση πρέπει να αναφερθούμε σε δύο επίπεδα σεισμού: α) σε συνήθη σεισμό, που προβλέπεται από τον Αντισεισμικό Κανονισμό και έχει περίοδο επανεμφάνισης 45 έτη και β) σε καταστροφικό σεισμό, δηλαδή, τον μέγιστο αναμενόμενο με περίοδο επανάλειψης 450 έτη.

Κατά τον πρώτο η ανωδομή και οι μονωτήρες πρέπει να παραμείνουν στην ελαστική περιοχή.

Σ' ένα βίαιο και καταστροφικό σεισμό, όμως, μπορούν να προκληθούν πλαστικές παραμορφώσεις με αποτέλεσμα την αύξηση των μετατοπίσεων και απορρόφησης ενέργειας.

Οι μονωτήρες πρέπει να είναι αποτελεσματικοί και ο συντελεστής πλαστιμότητάς τους να είναι υψηλός π.χ. για τους ελαστικούς μονωτήρες απαιτείται συντελεστής πλαστιμότητας της τάξεως του 4, ενώ για τους ελαστοπλαστικούς μεγαλύτερος του 10. Σ' αυτή την περίπτωση σε καταστροφικό σεισμό οι μετατοπίσεις είναι της τάξεως του $\pm 150-350$ mm.

7.18. Συμπεράσματα

Είναι προφανές ότι σεισμομονώνοντας ένα κτίριο εξασφαλίζουμε καλύτερη «σεισμική επίδοση» αυτού. Η ανταπόκριση κτιρίων

εφοδιασμένων με τέτοια συστήματα μόνωσης που καταγράφηκε κατά τη διάρκεια βίαιων σεισμών ήταν εντυπωσιακή.

Μετρήθηκαν επιταχύνσεις μειωμένες στο 1/3 εκείνων με σταθερή βάση. Το κόστος τοποθέτησης μονωτήρων δεν είναι υψηλό, εφ' όσον έχουν προβλεφθεί εξ αρχής. Οι επεμβάσεις σε υπάρχοντα κτίρια είναι δυσχερέστερες και πιο «ευαίσθητες» ιδιαίτερα εάν πρόκειται για παλαιά «μνημιώδη» κτίρια.

Η τοποθέτηση μονωτήρων σε μια Pilotis υπάρχοντος κτιρίου «κόβοντας» τις κολώνες στην κεφαλή ή στο λαιμό του πεδίλου είναι μια σύνθετη, αλλά σχετικά ευχερής εργασία.

Πάντως η επέμβαση στη βάση του κτιρίου εξασφαλίζει μια καλύτερη σεισμομόνωση, αλλά και καλύτερη λειτουργικότητα του κτιρίου.

Η σεισμομόνωση ενδείκνυται για κτίρια «στρατηγικής σημασίας», όπως νοσοκομεία, κτίρια Πολιτικής Προστασίας, κτίρια που περιέχουν εξοπλισμό υψηλής αξίας, όπως υπολογιστικά κέντρα, Τράπεζες, εργαστήρια, κλπ.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η σεισμομόνωση σε κατασκευές και κτίρια υψηλού κινδύνου, όπως δεξαμενές υγρών καυσίμων, δεξαμενές φυσικού αερίου (ήδη τοποθετήθηκαν στις δεξαμενές φυσικού αερίου στη Ρεβυθούσα), καθώς και σε κτίρια αποθήκευσης ιδιαίτερα επικίνδυνων υλικών, όπως εκρηκτικά.

Εξαιρετική επίσης σημασία αποκτά η σεισμομόνωση αγαλμάτων και μνημείων ανεκτίμητης αξίας και παγκοσμίου ενδιαφέροντος.

8. ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΥΠΟΣΤΕΙ ΒΛΑΒΕΣ

Το σκυρόδεμα εδώ και πολλά χρόνια έδωσε στο σχεδιασμό και την κατασκευή των κτιρίων νέες τεχνολογικές δυνατότητες. Χρειάζεται όμως προστασία για να μην υποστεί φθορές που απαιτούν μεγάλο κόστος επιδιορθώσεων. Όταν η προστασία του σκυροδέματος δεν έχει γίνει ικανοποιητικά, οι φθορές κάνουν γρήγορα την εμφάνισή τους. Χρειάζεται τότε να γίνουν εργασίες επιδιόρθωσης.

Απαραίτητο είναι αρχικά να διαγνωστούν τα αίτια και το μέγεθος της καταστροφής. Να διαπιστωθεί αν έχει αρχίσει η οξείδωση του οπλισμού και να ελεγχθεί το βάθος στο οποίο έχει προχωρήσει ο σχηματισμός του ανθρακικού ασβεστίου.

Στις κατασκευές εκείνες που έμειναν χωρίς προστασία ή παρά τα μέτρα προστασίας που ελήφθησαν, οι βλάβες του σκυροδέματος δεν αποφεύχθηκαν, είναι ανάγκη να γίνουν οι απαραίτητες επεμβάσεις,

προκειμένου να αποτραπεί η ολοκληρωτική καταστροφή του δομικού στοιχείου.

Κατ' αρχήν πρέπει να αξιολογηθεί η έκταση της βλάβης, να προσδιορισθούν οι γεννεσιουργές αιτίες της, να αναιρεθούν οι λόγοι που την προκάλεσαν και να σχεδιαστεί η διαδικασία επεμβάσεως.

Η μέθοδος που θα επιλεγεί ποικίλει αναλόγως του είδους της βλάβης του είδους του δομικού στοιχείου και των διαθέσιμων μέσων και υλικών.

Ακολούθως θα επιχειρηθεί μια συνοπτική παρουσίαση ορισμένων επεμβάσεων σε συγκεκριμένα δομικά στοιχεία και για συγκεκριμένες βλάβες.

8.1. Επιδιόρθωση διαβρωμένου οπλισμού σκυροδέματος

- Απομάκρυνση των αποσαθρωμένων τμημάτων του σκυροδέματος με κρουστικά εργαλεία.
- Απομάκρυνση της σκουριάς από τον οπλισμό με μηχανικά μέσα ή χημική δέσμευση και μετά εφαρμογή αντισκωριακής προστασίας.
- Επικάλυψη του οπλισμού με τσιμεντοκονίαμα, που περιέχει αντιοξειδωτικά πρόσθετα.
- Εφαρμογή ελαστικού επισκευαστικού τσιμεντοκονιάματος, που παρασκευάζεται με την προσθήκη σε απλό τσιμεντοκονίαμα ειδικών πολυμερών ακρυλικών διασπορών σε νερό. Έτσι επιβραδύνεται η απώλεια αλκαλικότητας.

8.2 Επισκευή δομικών στοιχείων σκυροδέματος

1. Επισκευή προβόλου ή εξώστη που ρηγματώθηκε από σεισμό

- Υποστήλωση της πλάκας του εξώστη, ώστε να αναιρείται ένα ποσοστό του βέλους κάμψης.
- Εμποτισμός της ρωγμής με εποξεική ρητίνη.
- Ενίσχυση του άνω πλέγματος με αποκάλυψη του παλαιού οπλισμού και συγκόλληση νέου.
- Αγκύρωση του νέου οπλισμού στο συνεχόμενο άνοιγμα της πλάκας του εξώστη πέρα από το σημείο μηδενισμού των ροπών μέσα σε φωλιές.
- Διάστρωση έγχυτου η εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους τουλάχιστον 3 cm.

2. Επισκευή δοκού σκυροδέματος με πλήρη αποδιοργάνωση

- Υποστύλωση της δοκού.

- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος σε όλο το τμήμα της δοκού.
 - Έλεγχος του οπλισμού και ενίσχυσή του αν απαιτείται.
 - Διαμόρφωση των παρειών του παλαιού σκυροδέματος.
 - Τοποθέτηση ξυλοτύπου.
 - Διάστρωση έγχυτου σκυροδέματος.
3. ***Επισκευή πλακών σκυροδέματος με έντονη ρηγμάτωση άνω πέλματος***
- Επάλειψη της πλάκας με εποξεική ρητίνη.
 - Οπλισμός με δομικό πλέγμα ή με πυκνές διανομές.
 - Διάστρωση ή εκτόξευση σκυροδέματος σε πάχος μεγαλύτερο από 3 cm.
4. ***Επισκευή τοιχίου σκυροδέματος που αποδιοργανώθηκε από σεισμό***
- Υποστήλωση.
 - Αντικατάσταση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος, όπου αυτό καθαιρέθηκε μόνο του.
 - Τοποθέτηση δομικού πλέγματος 100X100X4,5 (mm) με συγκέντρωση οπλισμού στις άκρες.
 - Σύνδεση των δομικών πλεγμάτων με εγκάρσιους συνδέσμους 1Φ14 ανά 1m².
 - Διάστρωση έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος για τη δημιουργία διπλού μανδύα.
 - Εμποτισμός με εποξεική ρητίνη ή εποξεικό κονίαμα.
5. ***Επισκευή κόμβου στοιχείων σκυροδέματος που αποδιοργανώθηκε από σεισμό***
- Υποστύλωση που επεκτείνεται τουλάχιστο κατά ένα όροφο κάτω από τον κόμβο.
 - Ενίσχυση του κόμβου με εξωτερικούς συνδετήρες χιαστί γύρω από αυτόν και οριζόντιους στα εκατέρωθεν του κόμβου υποστυλώματα.
 - Περιβολή των συνδετήρων και της περιοχής του κόμβου με δομικό πλέγμα 100X100X4,5 (μm).
 - Κατασκευή τοπικού μανδύα με έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
 - Εμποτισμός με εποξεική ρητίνη ή εποξεικό κονίαμα.

6. **Επισκευή δοκού σκυροδέματος με βλάβη από κάμψη**
- Υποστήλωση της δοκού.
 - Αποκάλυψη του υπάρχοντος οπλισμού της δοκού σε ορισμένες θέσεις.
 - Συγκόλληση νέου οπλισμού κάμψης επάνω στον παλιό με παρεμβλήματα (καβίλιες).
 - Τοποθέτηση ελαφρού δομικού πλέγματος γύρω από τη νεύρωση της δοκού.
 - Διάστρωση έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος για τη δημιουργία μανδύα.
7. **Επισκευή πλακών σκυροδέματος με έντονη ρηγματώση κάτω πέλματος**
- Πλήρωση των ρωγμών με εποξεική ρητίνη.
 - Αποκάλυψη παλιού οπλισμού
 - Ηλεκτροσυγκόλληση νέου οπλισμού και δομικού πλέγματος με παρεμβλήματα.
 - Εκτόξευση σκυροδέματος και διάστρωσή του σε πάχος μεγαλύτερο από 3 cm.
8. **Επισκευή πεδίλου με βλάβη υποστυλώματος κατώτατου ορόφου από σεισμό**
- Αποκάλυψη οπλισμού.
 - Συγκόλληση νέου οπλισμού και οριζόντιων συνδετήρων.
 - Τοποθέτηση δομικού πλέγματος.
 - Διάστρωση σκυροδέματος έγχυτου ή εκτοξευόμενου για τη δημιουργία μανδύα ή και έτοιμοι κονιάματος σε σάκους στο ίδιο πάχος με το υποστύλωμα.
 - Αποκάλυψη οπλισμού στο μισό ύψος του πεδίλου.
 - Διαμόρφωση φωλιάς περιμετρικά στο πέδιλο στο μισό ύψος του.
 - Συγκόλληση νέου οπλισμού και πυκνών κλειστών συνδετήρων με ιδιαίτερη προσοχή κάλυψης της φωλιάς.
 - Τοποθέτηση δομικού πλέγματος.
 - Διάστρωση μανδύα.
9. **Επισκευή υποστυλώματος σκυροδέματος με βλάβη από σεισμό σε όλο το ύψος του**
- Υποστήλωση.
 - Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος.

- Αποκάλυψη οπλισμών.
- Συγκόλληση νέου οπλισμού και πυκνών συνδετήρων.
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος ή και ενίσχυση με ενσωματωμένη μεταλλική κατασκευή από γωνιακά και οριζόντια ελάσματα.
- Διάστρωση έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος για τη δημιουργία του μανδύα. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και έτοιμο κονίαμα σε σάκους.

10. Επισκευή δοκού σκυροδέματος με έντονη ρηγμάτωση

- Υποστήλωση της δοκού.
- Συγκόλληση των ρωγμών με εποξεική ρητίνη.
- Τοποθέτηση εξωτερικών συνδετήρων κατακόρυφων ή υπό γωνία 45° στην περιοχή της ρηγμάτωσης.
- Σύσφιξη των συνδετήρων ως τα όριά τους.
- Υποστήλωση της δοκού.
- Συγκόλληση των ρωγμών με εποξεική ρητίνη
- Επικόλληση λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων στην περιοχή της ρηγμάτωσης με εποξεική ρητίνη.

11. Επισκευή υποστρώματος σκυροδέματος με μερική αποδιοργάνωση από σεισμό

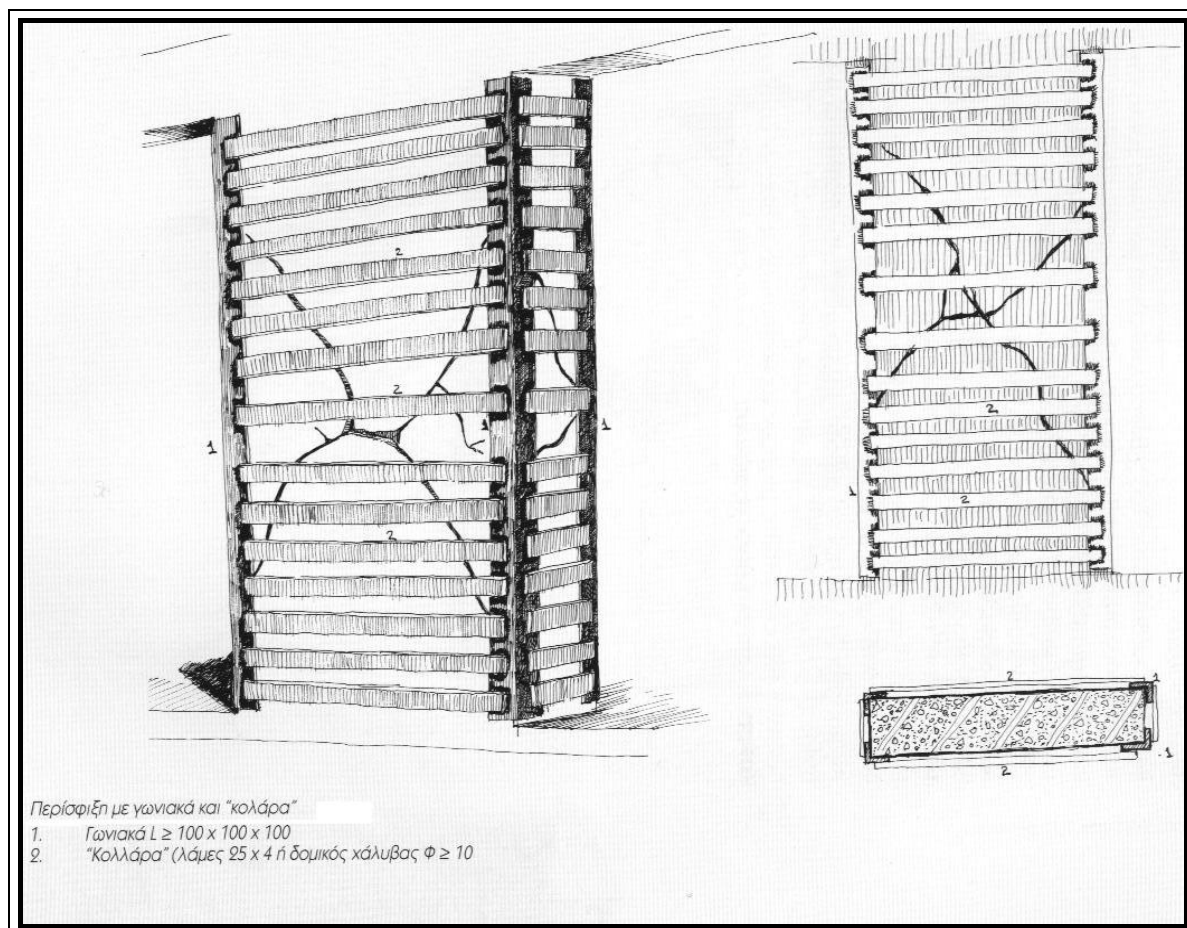
- Υποστύλωση.
- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος, αποκάλυψη οπλισμού, συγκόλληση νέου οπλισμού και πυκνών κλειστών συνδετήρων.
- Τοποθέτηση δομικού πλέγματος ή και ενίσχυση με ενσωματωμένη μεταλλική κατασκευή από γωνιακά και οριζόντια ελάσματα.
- Διάστρωση έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή και έτοιμου κονιάματος σε σάκους για τη δημιουργία του μανδύα.

12. Επισκευή δοκού σκυροδέματος με έντονη ρηγμάτωση με τοπική αποδιοργάνωση

Μετά την υποστήλωση της δοκού :

- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος
- Τοποθέτηση ελαφρού δομικού πλέγματος στην εξωτερική παρεία της δοκού.
- Διάστρωση σκυροδέματος σε πάχος μεγαλύτερο από 3 cm.

- Τοποθέτηση στην περιοχή ρηγματώσης εξωτερικών συνδετήρων ή λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων.
- Θραύση της εξωτερικής επιφάνειας της δοκού που θα συνδεθεί με το μανδύα.
- Τοποθέτηση οπλισμού και συνδετήρων κατά μήκος της δοκού.
- Τοποθέτηση ξυλότυπου ή δομικού πλέγματος
- Κατασκευή μανδύα.



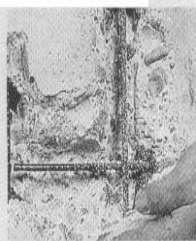
ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΗ ΔΙΑΒΡΩΜΕΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Μετά τη διάγνωση αποκοιμείται η επισκευή: • Απομακρύνονται των αποσπασθωμένων τμημάτων του σκυροδέματος με κρουστικό εργαλείο. • Απομάκρυνση της σκουριάς από τον οπλισμό με μηχανικά μέσα ή χημική δέσμευση και μετά εφαρμογή αντιασχωρικής προστασίας. • Επικάλυψη του οπλισμού με τσιμεντοκονίαμα, που περιέχει αντιοξει-

δωτικά πρόσθετα. • Εφαρμογή ελαστικού επισκευαστικού τσιμεντοκονιάματος, που παρασκευάζεται με την προσθήκη σε απλό τσιμεντοκονίαμα ειδικών πολυμερών ακρυλικών διασπορών σε νερό. Έτσι επιβραδύνεται η απώλεια αλκαλικότητας.



Αποκόλυση οπλισμού.



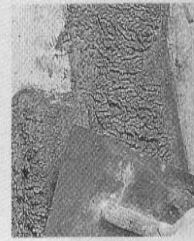
Χημική απομάκρυνση σκουριάς.



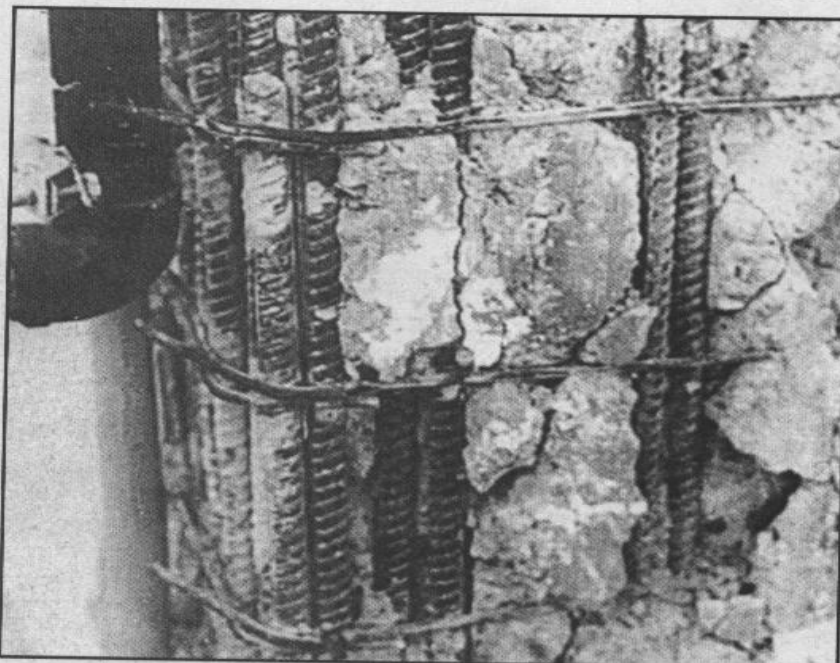
Αντιασχωρική προστασία.



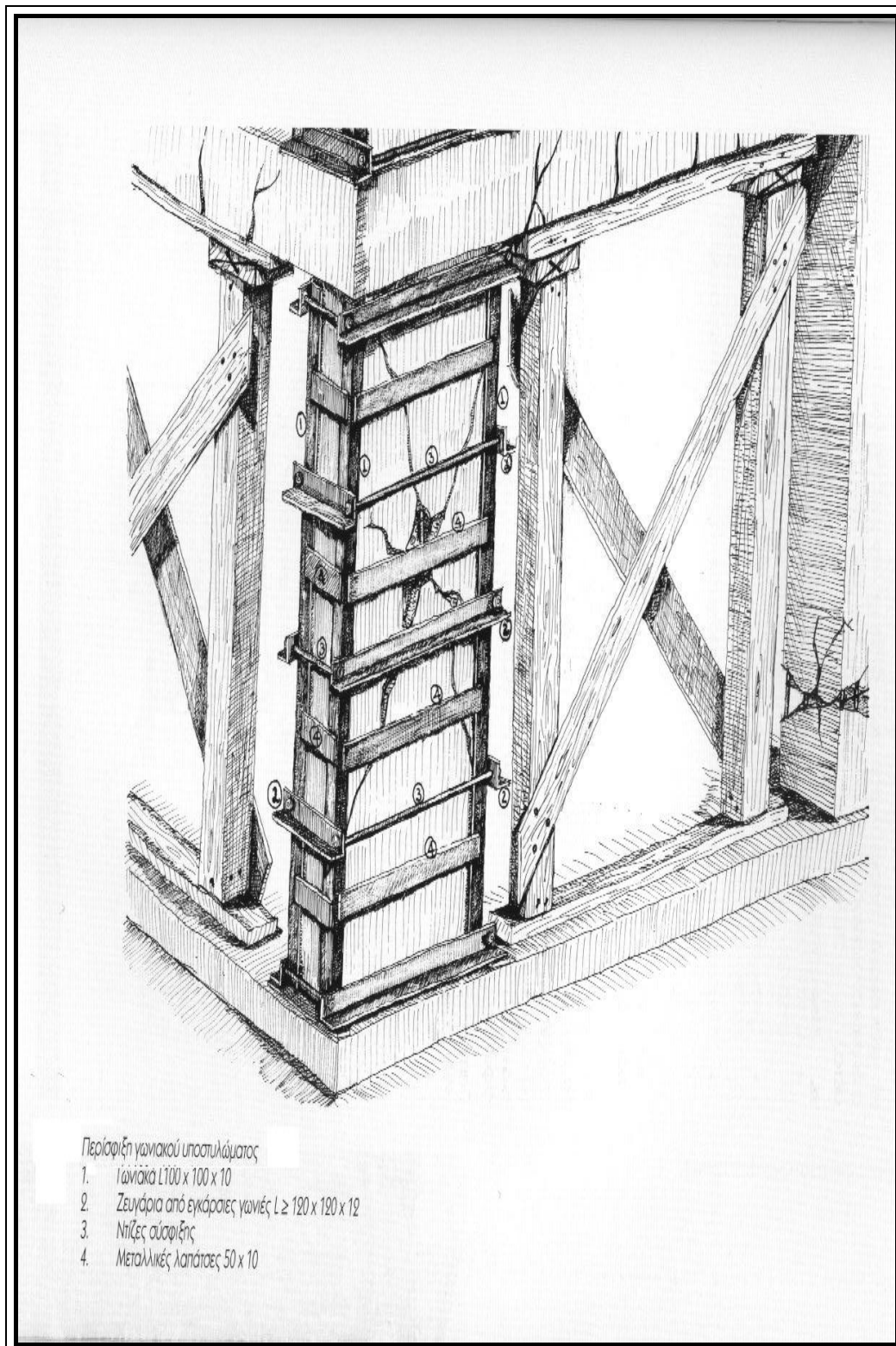
Εφαρμογή τσιμεντοκονιάματος.

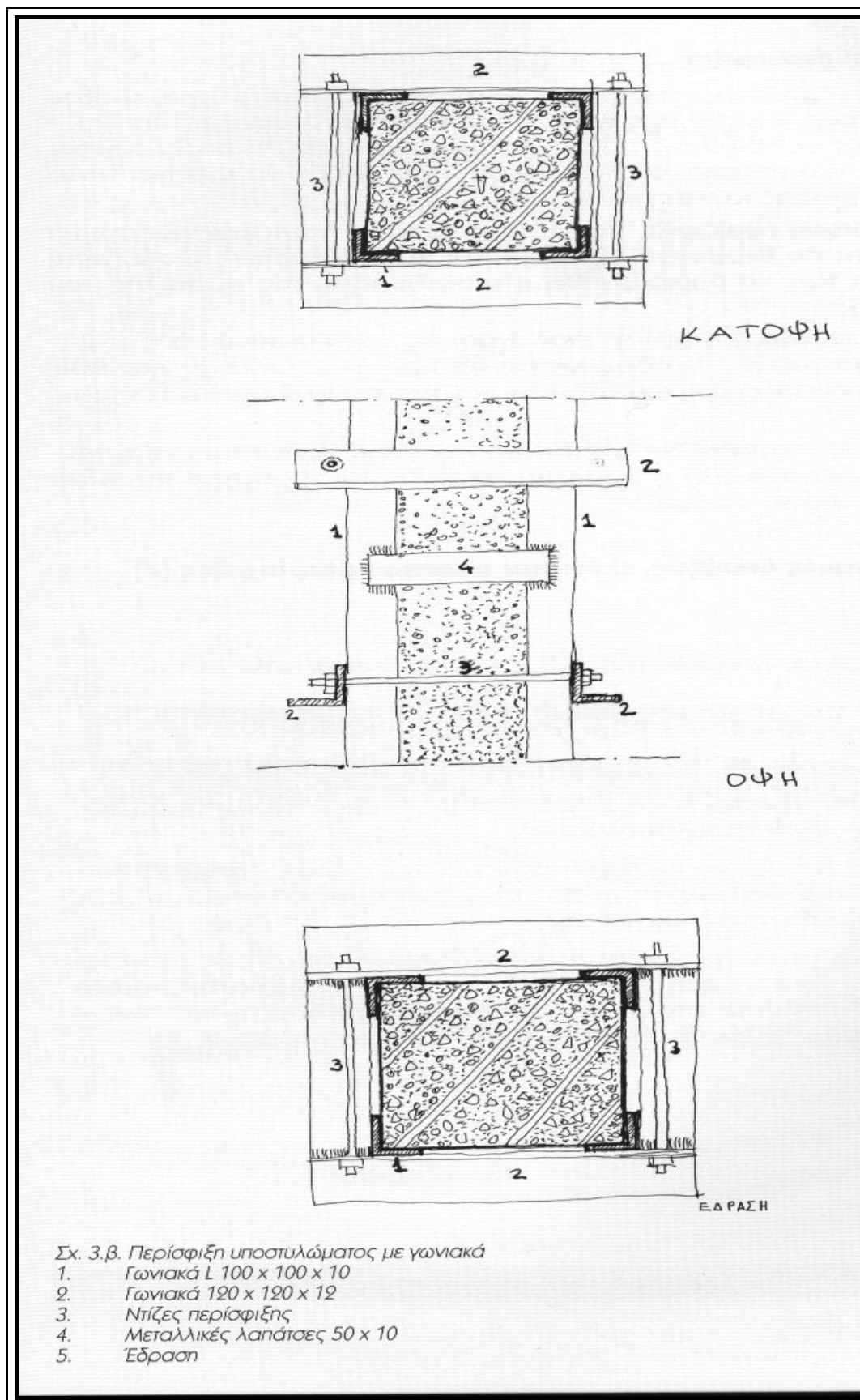


Ελαστικό επισκευαστικό τσιμεντοκονίαμα.



Λεπτομέρεια του υποστυλώματος που δείχνει το "κλότσιμα" των λανθασμένων αγκίστρων, (γωνία κάμψης 90° αντί 45°).





**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ
ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΟΥΝ**

ΥΨΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (cm ²)	ΠΛΕΥΡΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ cm
6-10μ.	1	170	13
10-12μ.	2	250	16
12-18μ.	3	325	18
>18m	4	625	25

**ΦΟΡΤΙΑ ΣΕ ΧΙΛΙΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΦΕΡΟΥΝ ΟΙ ΞΥΛΙΝΟΙ ΔΟΚΟΙ
ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ Ή ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥΣ**

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ή ΠΛΕΥΡΑ σε cm	ΜΗΚΗ					
	2m		3m		4m	
	τετραγωνική	κυκλική	τετραγωνική	κυκλική	τετραγωνική	κυκλική
8	1.800	1.300	1.000	600	600	400
12	6.000	4.200	4.000	2.600	2.700	1.700
16	13.000	9.400	10.800	6.600	7.200	4.700
20	22.600	16.600	18.100	12.700	14.300	9.600

**ΦΟΡΤΙΑ ΣΕ ΧΙΛΙΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΦΕΡΟΥΝ ΟΙ ΞΥΛΙΝΟΙ ΔΟΚΟΙ
ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥΣ**

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ σε cm x cm	ΜΗΚΗ			
	2m	3m	4m	5μ.
5,5 x 6,5	600	300	-	-
6,5 x 7,5	1.000	600	300	-
7,5 x 10,5	2.000	1.100	700	500
6,5 x 16,5	2.300	1.200	700	500
7,5 x 20,5	4.000	2.200	1.400	900
7,5 x 22,5	4.400	2.400	1.500	1.000
10,5 x 22,5	8.800	5.600	3.700	2.600

ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

A. ΓΕΝΙΚΗ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ

Απομάκρυνση όλων των σαθρών τμημάτων και του μπετόν που βρίσκεται στην ενανθρακωμένη ζώνη πλησίον του σπλισμού, με σφυρί και καλέμι (1), κρουστικό πιστόλι (2) ή με οποιοδήποτε άλλο δοκίμο τρόπο.

B. ΑΝΤΙΣΚΩΡΙΑΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Καθαρισμός σπλισμού με γυαλόχαρτο, φλόγιστρο ή αμμοβολή (3). Η απομάκρυνση της σκουριάς περιγράφεται στο DIN 55 928 και η απαιτούμενη καθαρότης οφείλει να ανέλθει στο βαθμό Sa 2,5. Το αργότερο **ΕΝΤΟΣ 2 ΩΡΩΝ** ακολουθεί προστατευτική αντισκωριακή επάλειψη του σπλισμού (4) αλλά και του μπετόν γύρω του, ιδίως όταν έχει αποκαλυφθεί μόνον η πρόσθα οψη του σπλισμού με το εποξειδικό μίνιο **CD-31**. Ακολουθεί δεύτερο χέρι (5) εντός 2 ωρών και προτού αυτό στεγνώσει, επίταση με χαλαζιακή άμμο. Το **CD-31** εξουδετερώνει ηλεκτροχημικά την κρυμμένη σκουριά.



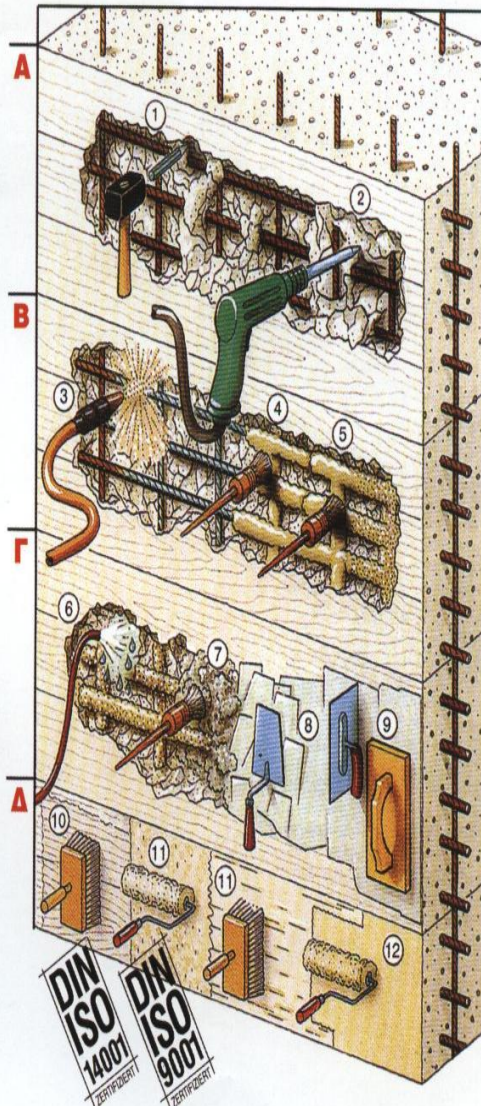
Γ. ΑΝΑΠΛΑΣΗ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΜΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ

Διαβροχή επιφάνειας (6) ώστε να μην έχει απορροφητικότητα. Διάτρωση με βούρτσα του υλικού **CD-23** σαν γέφυρα πρόσφυσης (7) και άμεση διάτρωση της εξομολογητικής κονιάς **CD-22** (8). Αν στο τέλος επιθυμούμε λεπτή ολική κάλυψη της επιφάνειας του μπετόν για αισθητικούς λόγους ομοιομορφίας, αυτή μπορεί να γίνει σπατουλαριστά με την κονιά **CD-24** (9).



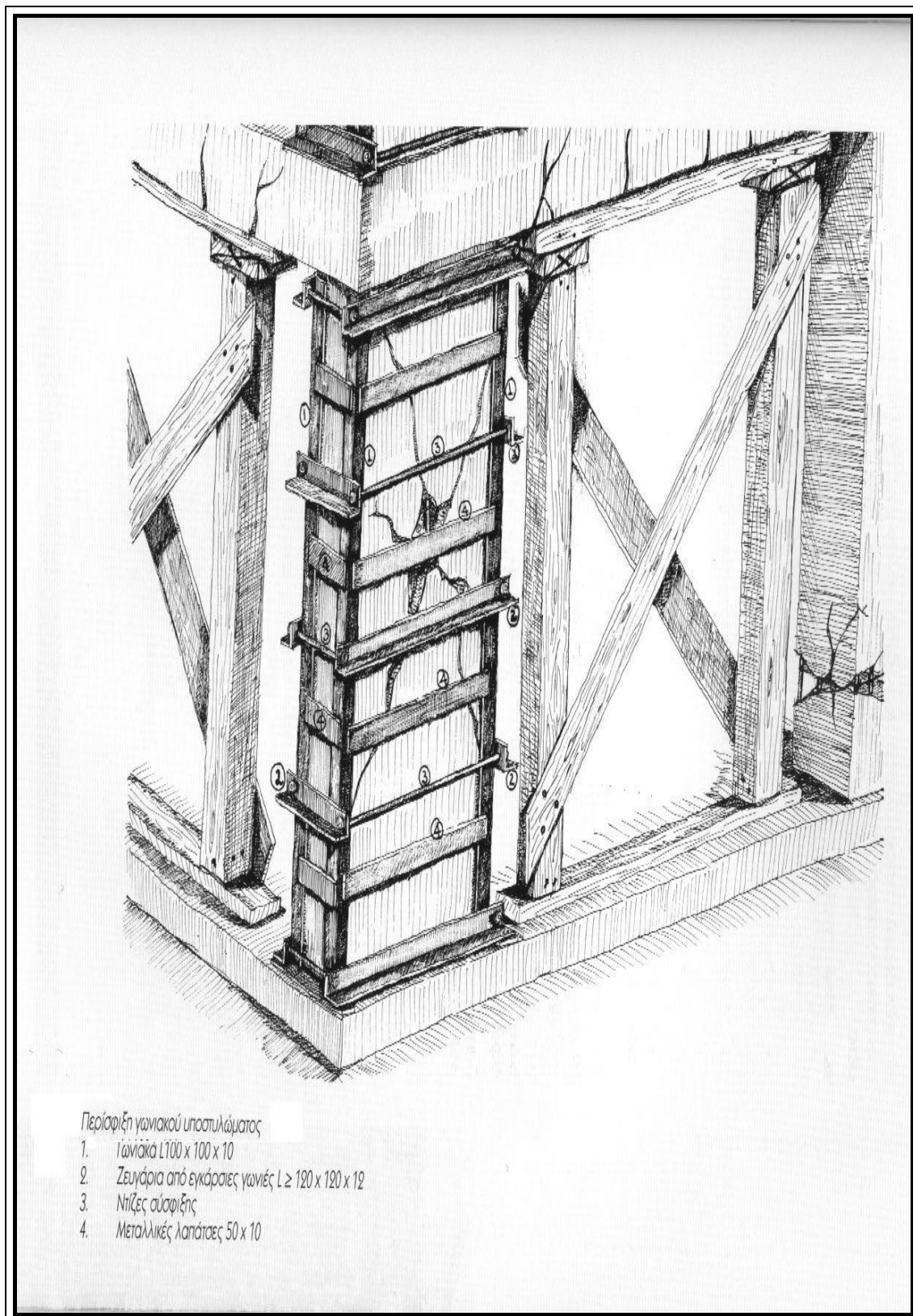
Δ. ΦΡΑΓΜΑ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΧΡΩΜΑ CT-44

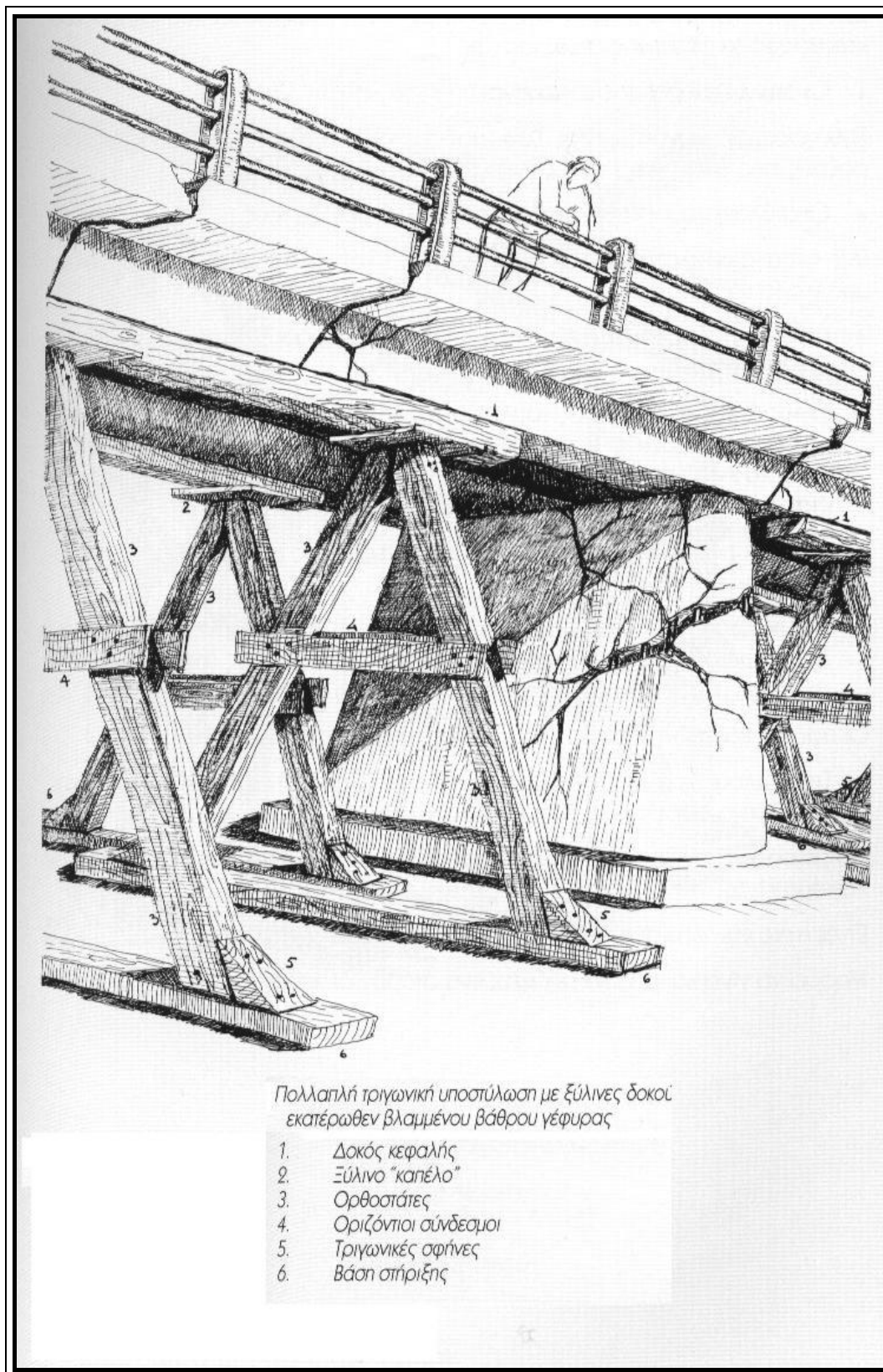
Επανάληψη υλικού προεπάλειψης **CT-14** με βούρτσα (10). Πρώτο χέρι χρώματος **CT-44** αραιωμένο με 7% νερό με ρολό ή βούρτσα (11). Ακολουθεί ένα τελειώς σκέτο χέρι χρώματος (12).

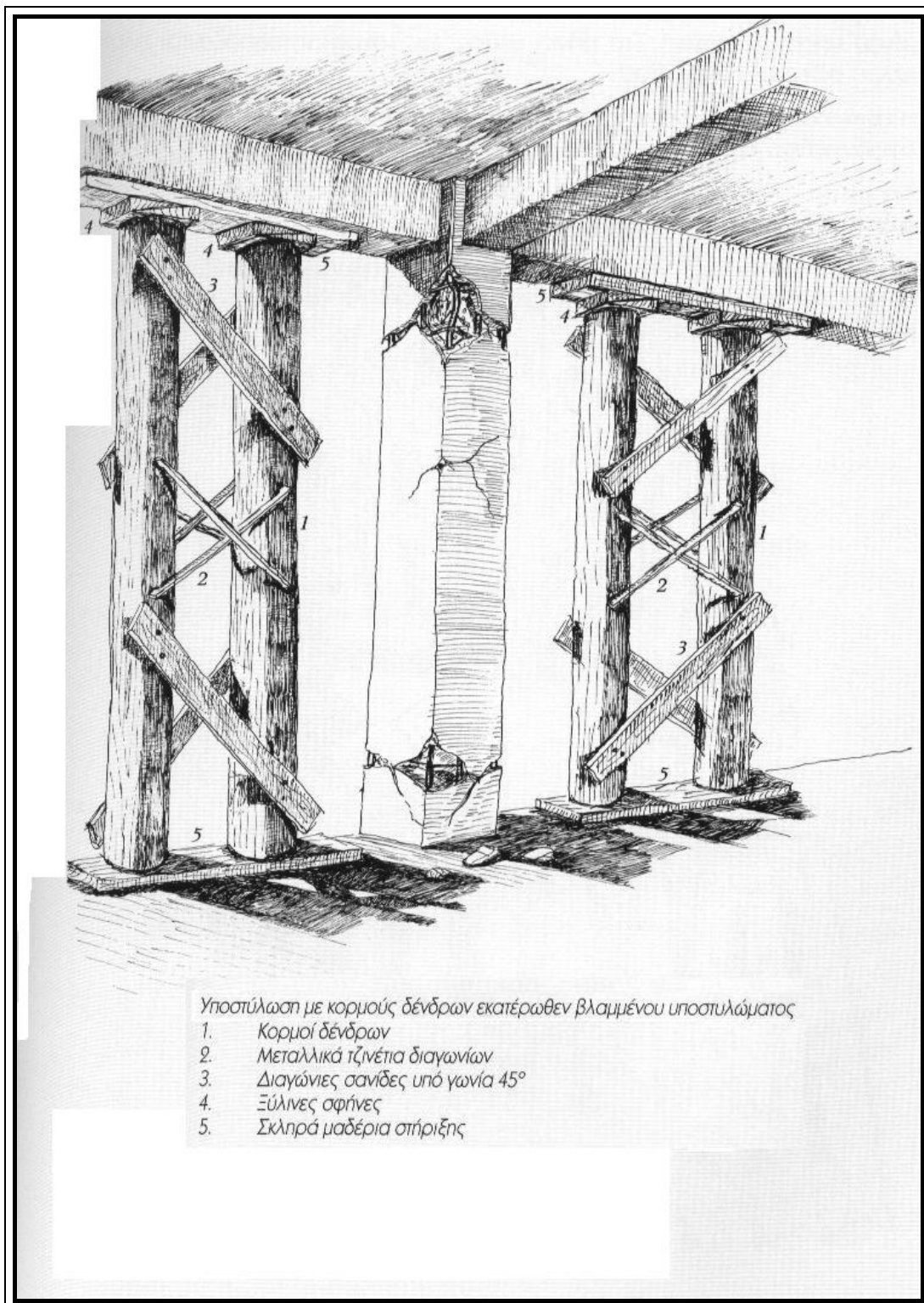


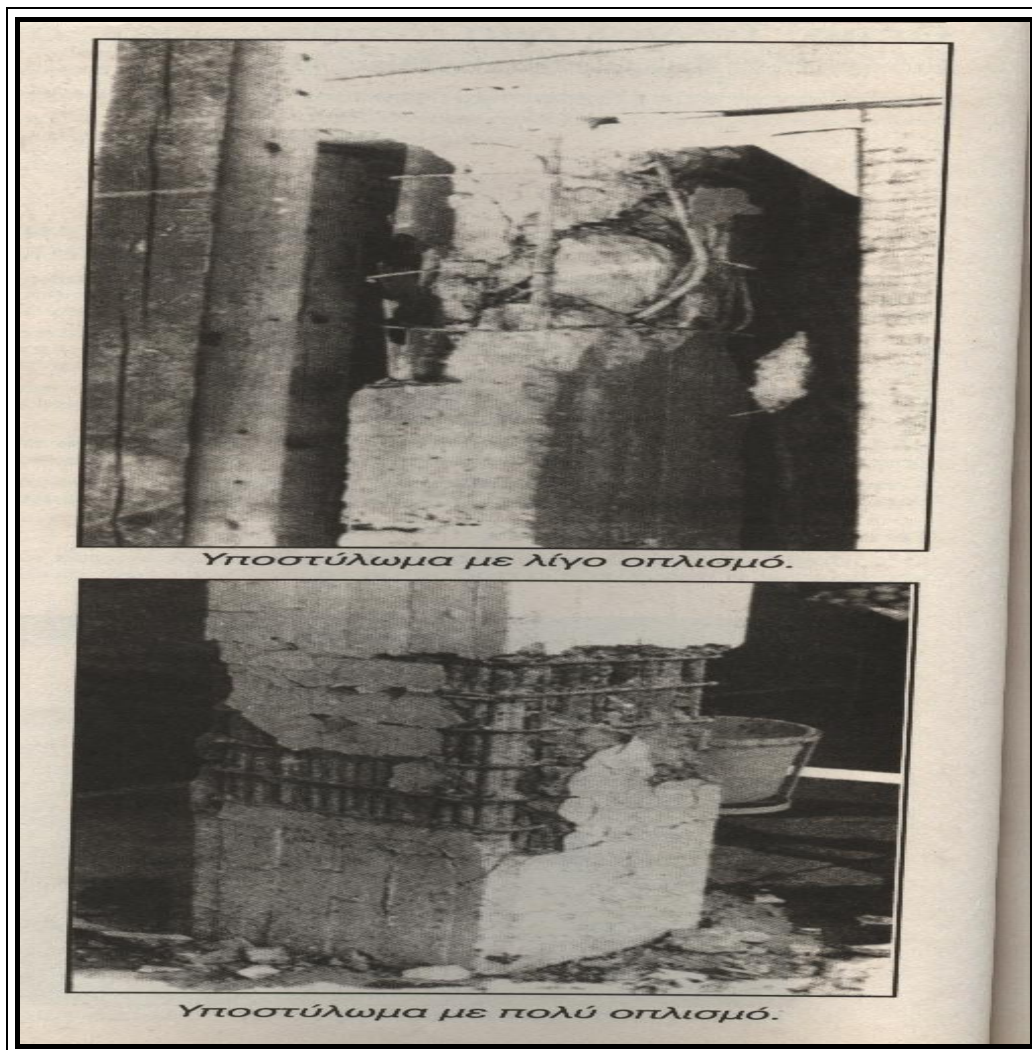
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΛΑΣΗΣ	Ceresit CD-22 5-30 mm	Ceresit CD-23 3-12 mm	Ceresit CD-24 0,5-5 mm	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΠΟΞΙΔΙΚΟΥ ΜΙΝΙΟΥ CD-31	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ CT-14, CT-44
ΘΛΙΨΗ	47 N/mm ²	42 N/mm ²	45 N/mm ²	ΔΟΚΙΜΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΒΑΣΕΙ DIN 488-BST 500 S-8 ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΕΝΑ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟ ΕΛΑΣΜΑ ST-37 ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ 200x90x1 mm ΕΠΑΛΕΙΦΟΝΤΑΙ ΜΕ CD-31 (ΠΑΧΟΥΣ ΦΙΛΜ 420μ) ΚΑΤΑ ΤΟ ΗΜΙΣΥ. ΑΚΟΛΟΥΘΩΣ ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΟ ΠΛΕΥΡΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΠΟΝΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΚΛΙΜΑ CO₂ ΚΑΤΑ DIN 50017 , ΣΕ ΚΛΙΜΑ SO₂ ΚΑΤΑ DIN 50018 , ΣΕ ΚΛΙΜΑ ΑΛΑΤΩΝ ΚΑΤΑ DIN 50021 . ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ: ΚΑΜΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΠΛΕΥΡΑ ΑΚΟΜΗ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΦΙΛΜ ΤΟΥ ΜΙΝΙΟΥ.	ΠΑΧΟΣ ΦΙΛΜ: 280 μm ΥΔΑΤΟΠΕΡΑΤΟΤΗΣ ΦΙΛΜ: $W_{s1} = 4,6 \times 10^3 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ ΥΔΡΑΤΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΣ ΦΙΛΜ: $\mu_{H_2O} = 2,2 \times 10^3$ (Αντιστοιχεί σε ισοδύναμη στρώση αέρα $S_{e,H_2O} = 0,62 \text{ m}$) ΔΙΑΠΙΔΥΣΗ CO₂ ΤΟΥ ΦΙΛΜ: $\mu_{CO_2} = 1,8 \times 10^6$ (Αντιστοιχεί σε ισοδύναμη στρώση αέρα $S_{e,CO_2} = 504 \text{ m}$) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ: Η απαίτηση DIN για φράγμα ενανθράκωσης, είναι 50m S_{e,CO_2} . Το αποτέλεσμα είναι 10-πλάσιο της απαίτησης.
ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ	2,7 N/mm ²	2,8 N/mm ²	2,8 N/mm ²		
ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΚΑΜΨΗΣ	7,7 N/mm ²	8,8 N/mm ²	8,9 N/mm ²		
ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ	14x10 ⁻⁶ /k	13,7x10 ⁻⁶ /k	12,8x10 ⁻⁶ /k		
ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ	-0,97 mm/m	-0,95 mm/m	-0,97 mm/m		
ΔΥΝ. ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	21,5x10 ⁹ N/mm ²	17,9x10 ⁹ N/mm ²	14,8x10 ⁹ N/mm ²		

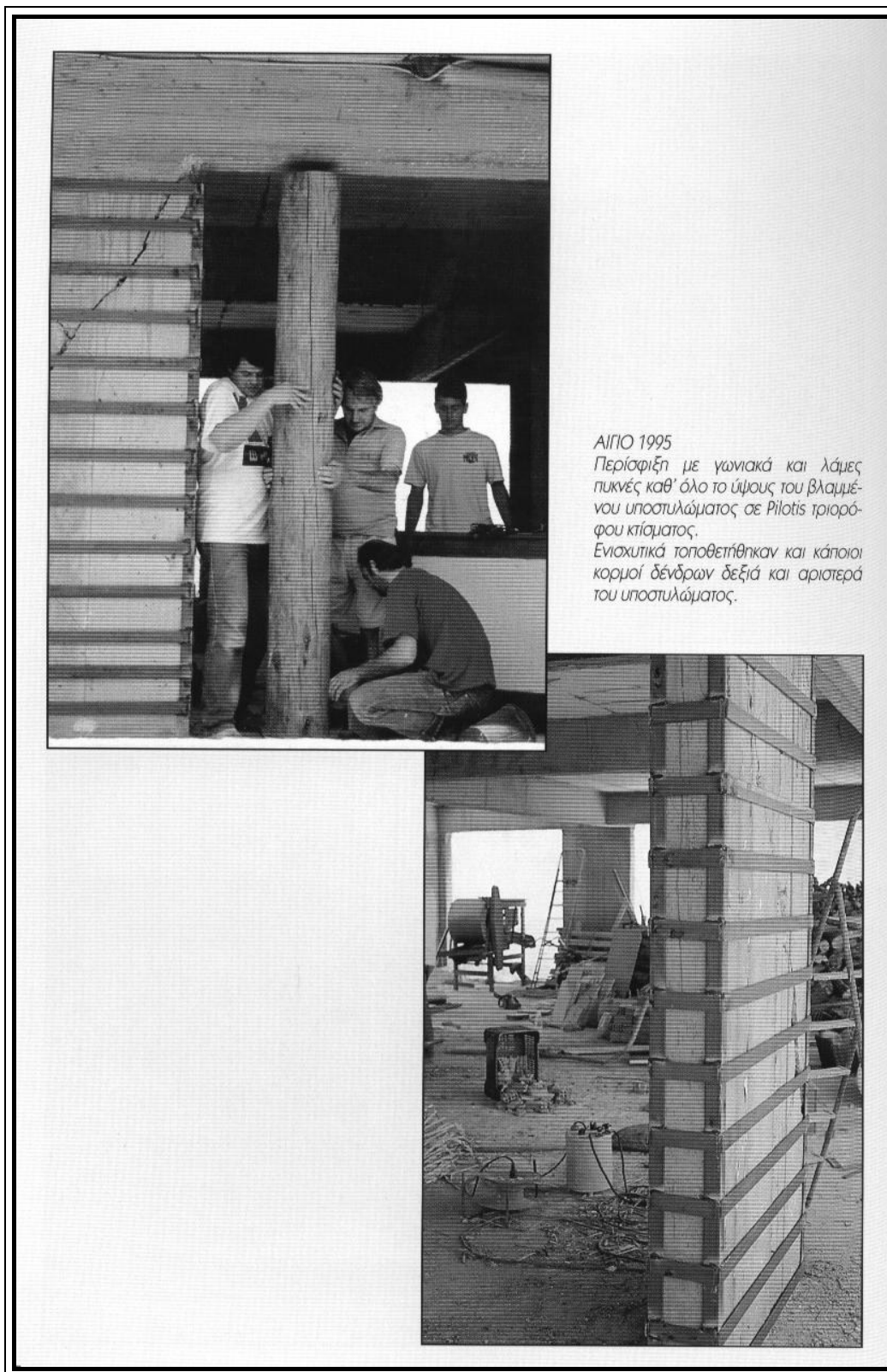






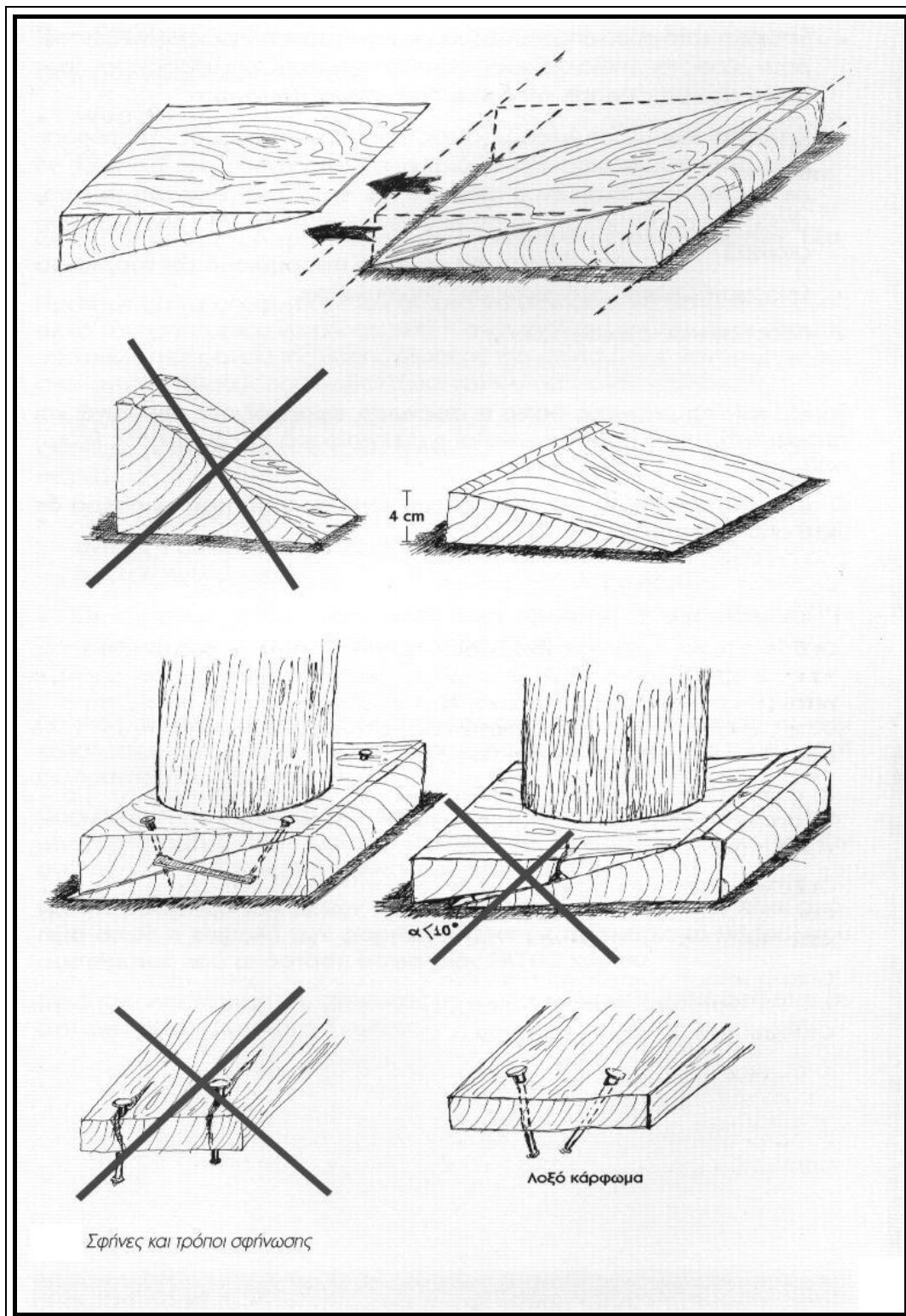


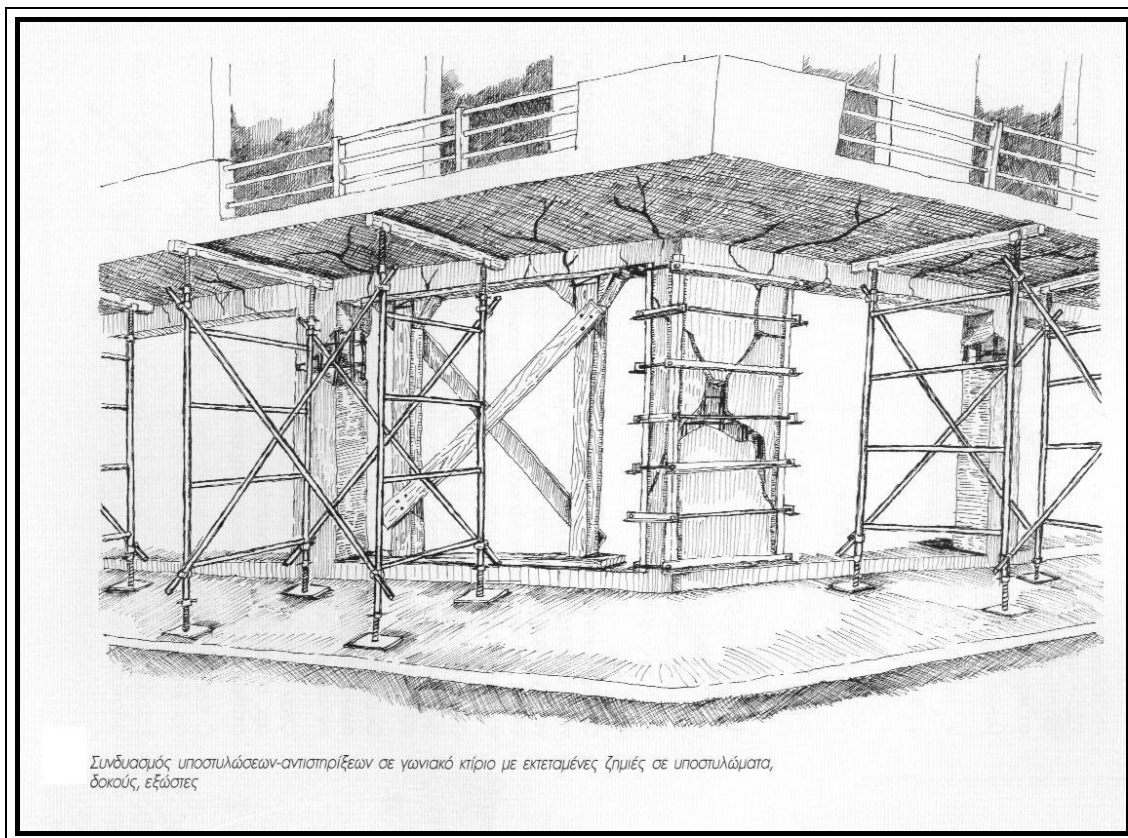
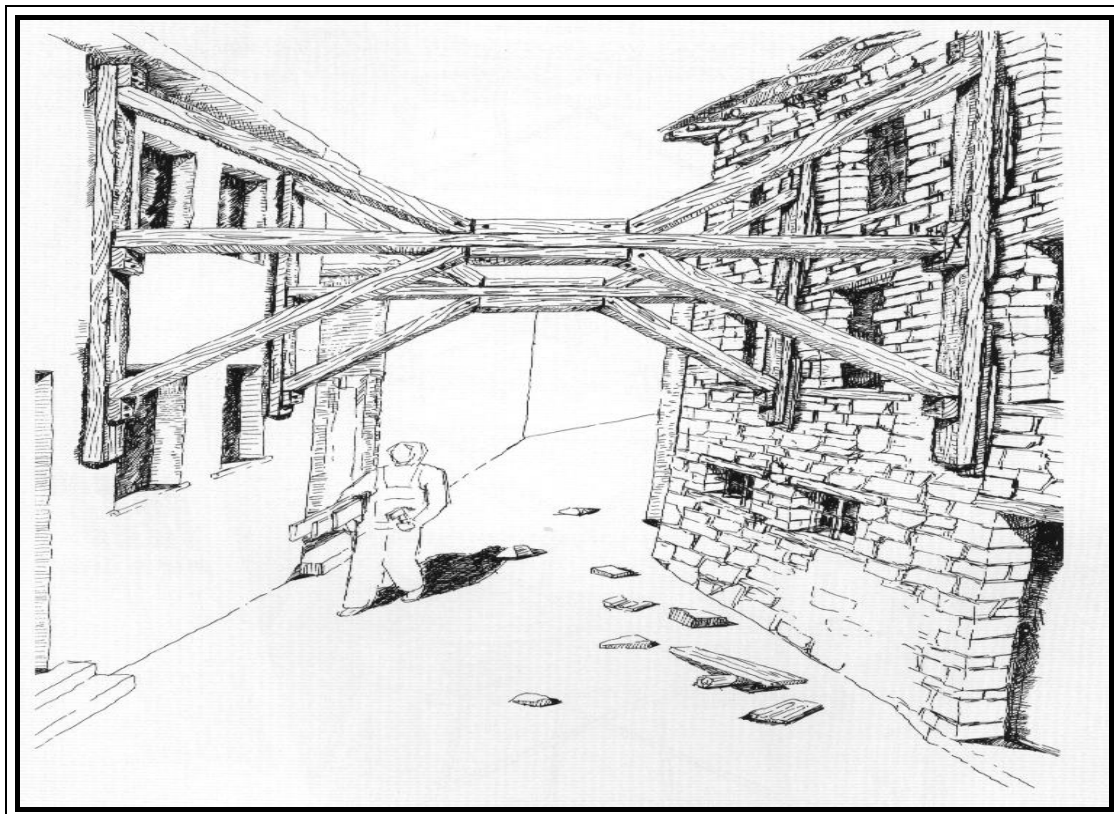


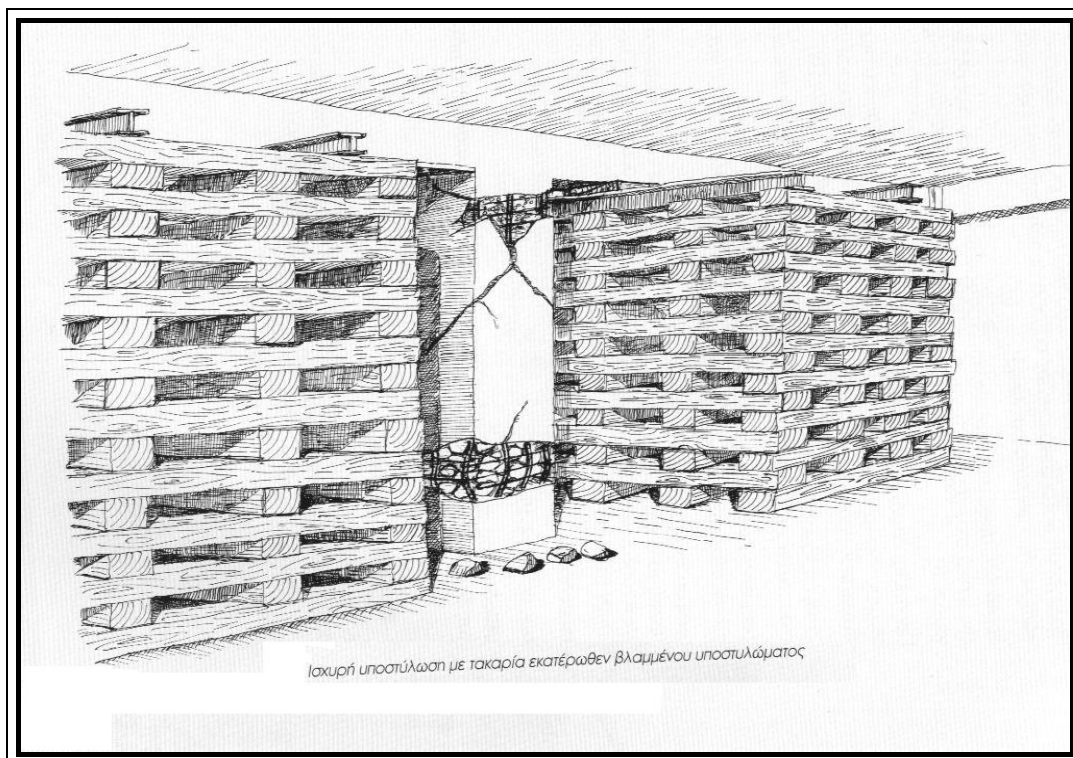
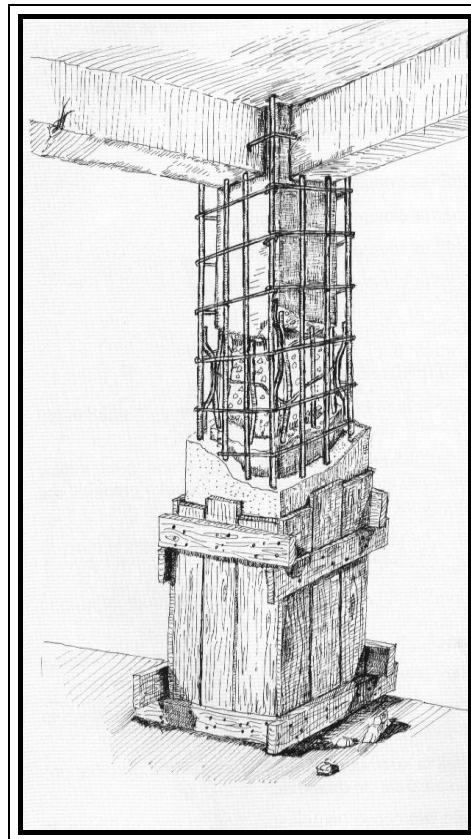
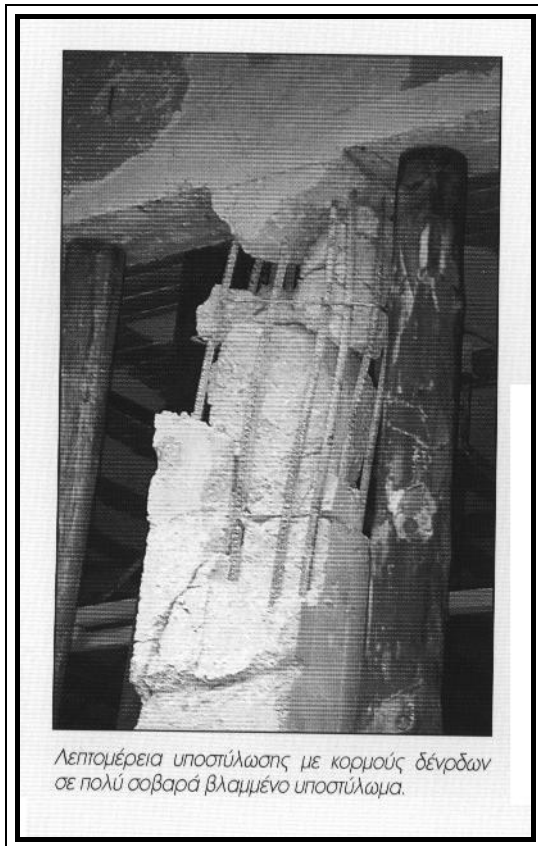


ΑΓΙΟ 1995

Περίσφιξη με γωνιακά και λάμες
πικνές καθ' όλο το ύψους του βλαμμέ-
νου υποστυλώματος σε Pilotis τριπόρ-
φου κτίσματος.
Ενισχυτικά τοποθετήθηκαν και κάποιοι
κορμοί δένδρων δεξιά και αριστερά
του υποστυλώματος.







9. ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Το πρόβλημα που απασχολεί τον Τεχνικό κόσμο εδώ και δεκαετίες είναι η ποιότητα των κατασκευών. Είναι λογικό να αναζητούνται λύσεις και μέθοδοι που να τις ανεξαρτοποιούν από τα καιρικά φαινόμενα και την εμπειρία του προσωπικού

Οι αναζητήσεις αυτές εντείνονται κάθε φορά που μια φυσική καταστροφή έρχεται να καταδείξει τα προβλήματα ποιότητας των υπαρχουσών κατασκευών.

Κατ'αυτόν τον τρόπο οδηγηθήκαμε στη μελέτη μεθόδων βιομηχανοποίησης των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στην Ελλάδα η παραγωγή προκατασκευασμένων κατασκευών υστερεί ακόμα, έτσι ενώ στην Ευρώπη ανέρχεται στο 12%, στην Ελλάδα το ποσοστό αυτό είναι μόνο 2%.

9.1. Βασικές έννοιες

Τα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος μπορούν συνοπτικά να περιγραφούν σαν «οποιοδήποτε στοιχείο από σκυρόδεμα, το οποίο κατασκευάζεται και ωριμάζει σε εργοστασιακές συνθήκες και κατόπιν αποστέλλεται στο εργοτάξιο για να ενσωματωθεί σε μια κατασκευή».

Με βάση τα παραπάνω τα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος περιγράφονται σαν προϊόντα που κατασκευάζονται σε ειδικές εγκαταστάσεις όπου κρίσιμες παράμετροι για το σκυρόδεμα, όπως οι συνθέσεις του, οι καιρικές συνθήκες, τα καλούπια του, οι τρόποι σκυροδέτησης και τέλος οι τρόποι συντήρησής του, είναι πολύ εύκολο να παρακολουθούνται και να ελέγχονται. Το γεγονός αυτό επιτρέπει στα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος να υπερέχουν ποιοτικά από οποιοδήποτε στοιχείο κατασκευάζεται επί τόπου στο εργοτάξιο με έγχυτο σκυρόδεμα.

Με την πάροδο των ετών, ο τομέας της προκατασκευής εξελίχθηκε από μια μηχανοποιημένη γραμμή παραγωγής, σε μια άκρως αυτόματοποιημένη βιομηχανία. Τα κύρια χαρακτηριστικά της βιομηχανίας προκατασκευής σήμερα, μπορούν να περιγραφούν ως εξής :

- Η κατασκευή γίνεται σε ένα εργοστάσιο, το οποίο λειτουργεί ανεξάρτητα από καιρικά φαινόμενα και σε ελεγχόμενες συνθήκες.
- Γίνεται χρήση ειδικών τεχνολογιών σκυροδέματος, όπως π.χ. το υφυγρό σκυρόδεμα με μηδενική κάθιση, η προένταση, ειδικοί τρόποι καλουπώματος και συμπύκνωσης καθώς και τεχνικές επιτάχυνσης της σκλήρυνσης του σκυροδέματος.

- Υπάρχει αυστηρός και προηγμένος ποιοτικός έλεγχος, ο οποίος δεν περιορίζεται μόνο στον έλεγχο του έτοιμου σκυροδέματος, αλλά περιλαμβάνει ακόμα ελέγχους για την ακρίβεια των διαστάσεων των στοιχείων, των ιδιοτήτων του σκληρυμένου σκυροδέματος, την ακρίβεια στην τοποθέτηση των κλωβών οπλισμού και όλα αυτά πραγματοποιούνται προτού το προϊόν ενσωματωθεί στην κατασκευή.
- Τέλος, υπάρχει μεγάλη αυτοματοποίηση στη γραμμή παραγωγής των προκατασκευασμένων στοιχείων και συμπερασματικά υπάρχει αυξημένος βαθμός βιομηχανοποίησης και τυποποίησης των προϊόντων.

Για να γίνει κατανοητή η σημασία της προκατασκευής, θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα στοιχεία από σκυρόδεμα σε μια κατασκευή ανέρχονται περίπου στο 30% του συνολικού κόστους της κατασκευής αυτής. Το μερίδιο της βιομηχανίας προκατασκευής παγκόσμια ανέρχεται περίπου στο 15-20% του παραπάνω ποσοστού.

9.2. Πλεονεκτήματα

- **Ποιοτικός έλεγχος:** Καθώς τα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος παράγονται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, επιδεικνύουν υψηλή ποιότητα και ομοιομορφία. Οι μεταβλητές που επηρεάζουν την ποιότητα και απαντώνται τυπικά σε κάθε εργοτάξιο είναι: η θερμοκρασία, η υγρασία, η ποιότητα των υλικών, η εμπειρία του προσωπικού. Αυτές σχεδόν εξαφανίζονται στο περιβάλλον ενός εργοστασίου.
- **Αντοχή :** Η αντοχή των προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος, σταδιακά αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου. Άλλα υλικά μπορεί να αλλοιωθούν να υποφέρουν από ερπυσμό, απώλεια αντοχής ή και παραμορφώσεις. Η φέρουσα ικανότητα των προκατασκευασμένων στοιχείων προέρχεται από τη δομική ποιότητα και υπεροχή έναντι στοιχείων που βασίζονται στην ποιότητα υλικών που βρίσκονται επί τόπου ή κοντά σε ένα έργο.
- **Ανθεκτικότητα :** Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι τα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος μπορούν να διατηρούν τα τεχνικά και μηχανικά χαρακτηριστικά για περιόδους που ξεπερνούν ακόμα και τα 100 χρόνια. Σε επιθετικές περιβαλλοντικές συνθήκες υπάρχει η δυνατότητα να ληφθούν υπόψη επιπρόσθετες παράμετροι σχεδιασμού, οι οποίοι θα επιμηκύνουν τη διάρκεια ζωής των χαρακτηριστικών των προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος.
- **Μηδαμινή εξάρτηση από καιρικές συνθήκες :** Η προκατασκευή στοιχείων σκυροδέματος αυξάνει την αποτελεσματικότητα, καθώς οι καιρικές συνθήκες δεν καθυστερούν την εξέλιξη των εργασιών στο

εργοστάσιο. Επιπρόσθετα οι κακές καιρικές συνθήκες στο εργοτάξιο επίσης δεν καθυστερούν σημαντικά την τοποθέτησή τους.

- **Ταχύτητα και αποτελεσματικότητα :** Τα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος, φτάνουν στο εργοτάξιο έτοιμα για τοποθέτηση. Δεν υπάρχει η ανάγκη παραγγελίας των πρώτων υλών (όπως χάλυβας και σκυρόδεμα) και δεν υπάρχει σπατάλη χρόνου για το στήσιμο του ξυλότυπου, τη χύτευση του σκυροδέματος και τέλος την αναμονή για την ωρίμανσή του.
- **Αισθητικό αποτέλεσμα :** Τα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος εκτός του ότι είναι πολύ λειτουργικά, μπορούν να δώσουν ένα άριστο αισθητικό αποτέλεσμα. Κι' αυτό γιατί υπάρχει η δυνατότητα να παραχθούν σε οποιοδήποτε μέγεθος και σχήμα η δυνατότητα να παραχθούν σε οποιοδήποτε μέγεθος και σχήμα, αλλά επίσης και σε μια μεγάλη σειρά χρωμάτων. Τέλος, η επιφάνειά τους μπορεί να διαφέρει από το κοινό σκυρόδεμα καθώς μπορεί να παραχθεί σε διάφορες υφές (αμμοβολημένη, εντελώς λεία, με εμφανή αδρανή, κλπ.).
- **Οικονομία :** Το φαινόμενο των υπερβάσεων σε ένα έργο λόγω κατασκευαστικών δυσκολιών είναι πολύ συνηθισμένο. Σε ένα έργο όμως που έχει σχεδιαστεί να γίνει με τη μέθοδο της προκατασκευής, οι αστάθμητοι παράγοντες είναι πολύ περιορισμένοι ως ανύπαρκτοι. Από την άλλη πλευρά και όσο μεγαλύτερο σε έκταση είναι ένα έργο, μπορεί να προκύψει πολύ μεγάλη οικονομία σε αυτή καθ' αυτή την τιμή κόστους ανά m², λόγω της τυποποίησης.
- **Ασφάλεια :** Όπως είναι γνωστό, τα περισσότερα εργατικά ατυχήματα στα εργοτάξια συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των εργασιών κατασκευής των οπλισμένων σκυροδεμάτων. Από τη μια πλευρά οι αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες ενός εργοστασίου και από την άλλη πλευρά η μείωση των εργασιών που θα πραγματοποιηθούν στο εργοτάξιο, περιορίζουν δραστικά τα ατυχήματα αυτά.
- **Μείωση εξειδικευμένου εργατικού προσωπικού :** Καθώς το μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας παραγωγής είναι αυτοματοποιημένο, η ανάγκη για εξειδικευμένο εργατικό προσωπικό (η έλλειψη του οποίου είναι φανερή στο σημερινό κατασκευαστικό τοπίο) μειώνεται σε μεγάλο βαθμό και κατ' ουσία μεταλλάσσεται σε εξειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό.

9.3. Μειονεκτήματα

- **Μεταφορά :** Το σοβαρότερο μειονέκτημα της όλης σύλληψης της ιδέας της προκατασκευής, αποτελεί ο περιορισμός της ακτίνας δράσης ενός εργοστασίου λόγω του υψηλού μεταφορικού κόστους. Θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι μιλάμε για ένα προϊόν με ειδικό βάρος 2.400

kg/m³ χωρίς να υπολογίζεται το βάρος του σιδηρού οπλισμού. Επίσης τα προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος (ειδικά στη «βαριά» προκατασκευή) είναι μεγάλα τόσο σε βάρος όσο και σε διαστάσεις. Τα γεγονότα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα να υπάρχει περιορισμός ως προς την απόσταση που μπορεί να αποσταλεί ένα προκατασκευασμένο στοιχείο, τόσο πρακτικά, όσο και οικονομικά. Όλα τα προαναφερθέντα, σε συνδυασμό με το κακό δικό δίκτυο τη χώρας μας και βέβαια με τις εδαφικές ιδιομορφίες της, εμπόδισαν σε μεγάλο βαθμό τη βιομηχανία προκατασκευής στην Ελλάδα.

Τα τυποποιημένα προϊόντα είναι γεγονός, ότι υστερούν αισθητικά. Και σίγουρα το θέαμα τεράστιων ομοειδών όγκων από σκυρόδεμα δεν είναι ότι καλύτερο για την ανθρώπινη αισθητική. Σήμερα όμως είναι δυνατή η πραγματοποίηση οποιασδήποτε αρχιτεκτονικής σύλληψης, καθώς η εισαγωγή των υπολογισμών και των ρομποτικών μηχανημάτων στις γραμμές παραγωγής, εξαλείφουν τα εμπόδια που υπήρχαν παλιά.

9.4. Οι κατηγορίες των προκατασκευασμένων στοιχείων

- **Στοιχεία διαχείρισης νερού και υγρών αποβλήτων :** Είναι προϊόντα που χρησιμοποιούνται ως δεξαμενές νερού, ελαίων, υγρών αποβλήτων σε εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών, συλλεκτήριοι αγωγοί παραγώνων πετρελαίου, σηπτικές δεξαμενές, δοχεία διακλάδωσης, υδροδεξαμενές, κλπ.
- **Βιομηχανικά προϊόντα :** Είναι προϊόντα που ενσωματώνονται στη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών, ηλεκτρισμού, φυσικού αερίου κ.α., όπως βάσεις πυλώνων φωτισμού, ηλεκτρολογικές και τηλεπικοινωνιακές ανθρωποθυρίδες, αποθηκευτικοί χώροι επικίνδυνων υλικών κλπ.
- **Προϊόντα διαχείρισης ομβρίων υδάτων και λυμάτων:** Ανθρωποθυρίδες, συλλεκτήριες λεκάνες, πτερυγότοιχοι, σωλήνες drainage, δακτυλίδια υπονόμων κλπ.
- **Προϊόντα για τον κλάδο των μεταφορών :** Προϊόντα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, στην ασφάλεια και την εργοταξιακή προστασία σε συστήματα μεταφορών, όπως δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές, αεροδρόμια κλπ. Ειδικότερα κατασκευή διαχωριστικών και προστατευτικών αυτοκινητοδρόμων, ηχοπετασμάτων, τοίχων αντιστηρίξεων, στρωτήρων σιδηροδρομικών τροχιών, δακτυλίων επένδυσης σηράγγων κ.α.
- **Κτιριακά προϊόντα :** Προϊόντα για την κατασκευή όλων των ειδών των κτιρίων, όπως κατοικίες, εμπορικά κτίρια, βιομηχανικά κτίρια, καθώς επίσης και για την κατασκευή στοιχείων για περιβάλλοντες

χώρους (θεμελιώσεις, δοκοί, κολόνες, πλάκες, τοιχεία, κράσπεδα, χρηματοκιβώτια, ανεξάρτητες αίθουσες ΑΤΜ, καταφύγια κλπ.).

9.5. Νέες τεχνολογίες και εξελίξεις στο χώρο της προκατασκευής

• Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (S.C.C. – *Self compacting Concrete*).

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (S.C.C.) είναι η νέα επαναστατική τεχνολογία στο χώρο του σκυροδέματος. Είναι ένα σκυρόδεμα που έχει την ικανότητα να ρέει και να συμπυκνώνεται μόνο του, αποκλειστικά από το ίδιο βάρος του και χωρίς τη χρήση μηχανικών μέσων.

Πρόκειται για σκυρόδεμα με μεγάλη περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα ($\Phi < 0,125$ mm) – συνολικά $500-600$ kg/m³ το οποίο με χαμηλούς λόγους Ν/Τα $< 0,45$ και χρήση ισχυρών ρευστοποιητικών (νέας γενιάς υπερρευστοποιητές ευρέως φάσματος). Με τη βοήθεια αυτών το σκυρόδεμα γίνεται εξαιρετικά ρευστό και διαστρώνεται και συμπυκνώνεται χωρίς καμία δόνηση.

Ήδη στο εξωτερικό, που χρησιμοποιείται αρκετά ευρέως τα πλεονεκτήματά του έχουν διαφανεί και αυτά είναι :

- 1.- Αυξημένη ταχύτητα διάστρωσης που συνεπάγεται αυξημένη παραγωγικότητα,
- 2.- Άριστη συμπύκνωση με αποτέλεσμα την αυξημένη ανθεκτικότητα του σκυροδέματος,
- 3.- Άριστη τελική επιφάνεια,
- 4.- Αυξημένες αρχικές αντοχές,
- 5.- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή διαφόρων αρχιτεκτονικών μορφών,
- 6.- Χαμηλοί λόγοι νερού προς τσιμέντο,
- 7.- Μειωμένη υδατοπερατότητα,
- 8.- Εξαιρετική αντλησιμότητα.

9.6. Σκυρόδεμα οπλισμένο με ίνες υάλου (G.R.C. – *Glass reinforced Concrete*).

Το οπλισμένο με ίνες υάλου σκυρόδεμα, είναι μίγμα από τσιμέντο, λεπτόκοκκα αδρανή, νερό, χημικά πρόσθετα και ίνες γυαλιού ανθεκτικές σε αλκάλια. Συνήθως παράγεται με Ν/Τα $< 0,4$, δηλαδή πολύ χαμηλότερο από τα κοινά σκυροδέματα και με περιεκτικότητα τσιμέντου όχι λιγότερο από 800 kg/m³, δηλαδή πολύ μεγάλη σε σχέση με το κανονικό. Ένα τυπικό ανάμιγμα GRC περιέχει περίπου 5% ίνες γυαλιού μήκους 25 mm,

οι οποίες έχουν εφελκυστική αντοχή τρεις με τέσσερις φορές πάνω από αυτή των ινών από χάλυβα.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του σκυροδέματος οπλισμένου με ίνες γυαλιού είναι α) το βάρος του είναι περίπου το $\frac{1}{4}$ του συνήθους σκυροδέματος και β) μπορεί να παραχθεί σε πολύ λεπτά στοιχεία (10mm). Οι συνήθειες εφαρμογές του είναι πλαγιοκαλύψεις (πετάσματα τοίχων) στη λογική της γυψοσανίδας, επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν παραμένων ξυλότυπος. Η χρήση του σαν πετάσματα, λόγω μικρού βάρους, επιτρέπει την μείωση του όγκου της θεμελίωσης.

Η μεταφορά, η ανύψωση και η τοποθέτησή τους είναι πολύ πιο εύκολη από τις συμβατικές μεθόδους τοιχοποιίας.

Σαν παραμένων ξυλότυπος (συνηθισμένη χρήση στη γεφυροποιία) έχει το πλεονέκτημα, ότι μπορεί να φέρει τα φορτία του νωπού σκυροδέματος και περιορίζει σημαντικά τα εργατικά για την κατασκευή του ξυλοτύπου.

Προσφέρουν έναν ελαφρύ ξυλότυπο, χωρίς ανάγκη συντήρησης, προστατεύουν τον οπλισμό από τη διάβρωση (πολύ χαμηλός βαθμός ενανθράκωσης, λόγω του χαμηλού λόγου N/T, άρα μικρότερου πορώδους, ενώ ταυτόχρονα δίνουν καλό βαθμό πυροπροστασίας. Τέλος έχουν εξαιρετικό φινίρισμα καθώς πρόκειται για ένα βιομηχανικά παραγόμενο και ελεγχόμενο προϊόν.

9.7. Πλήρης αυτοματοποίηση της γραμμής παραγωγής

Η παραγωγή πλέον των προκατασκευασμένων στοιχείων έχει αυτοματοποιηθεί. Με την εισαγωγή των συστημάτων CAD/ CAM (Computer aided Design/Computer Aided Manufacturing) ο χρήστης εισάγει τις παραμέτρους της κατασκευής του, ενώ υπάρχει ήδη σε βάση δεδομένων αποθηκευμένος ο εξοπλισμός του σε κομμάτια. Η επίλυση του προβλήματος δίνει τον τρόπο οργάνωσης της παραγωγής. Εν συνεχεία τα ρομποτικά συστήματα λαμβάνουν εντολές από τον υπολογιστή και προχωρούν στις επιμέρους εργασίες που μπορεί να είναι :

- Προετοιμασία του καλουπιού
- Τοποθέτηση του οπλισμού
- Διάστρωση σκυροδέματος
- Μεταφορά της πλατφόρμας στον θάλαμο ωρίμανσης
- Μεταφορά της πλατφόρμας στο σημείο ξεκαλουπώματος
- Ξεκαλούπωμα του προϊόντος
- Καθαρισμός καλουπιού

Οι λόγοι που οδηγούν στην αυτοματοποίηση των γραμμών παραγωγής είναι η μείωση του εργατικού κόστους, η ανάγκη για ανταγωνισμό, η ποιότητα του προϊόντος και το κόστος ενέργειας.

9.8. Η Ελληνική πραγματικότητα

Στην Ελλάδα η προκατασκευή έχει περιορισθεί κατά βάση στην κατασκευή τσιμεντοπροϊόντων (τσιμεντόλιθοι, αποχετευτικοί σωλήνες, φρεάτια, βάσεις φωτιστικών στύλων κλπ.) , προϊόντα για τη διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου (κράσπεδα, βάσεις δέντρων, πλάκες, παγκάκια, κρήνες κλπ.), προϊόντα του κλάδου των μεταφορών (στρωτήρες σιδηροτροχιών, διαχωριστικά αυτοκινητοδρόμων προστατευτικά οδικών έργων, δακτύλιοι επένδυσης σηράγγων κλπ.) και τέλος κτιριακά με κύρια προϊόντα τις εξοχικές συνήθως κατοικίες ενός ή το πολύ δύο ορόφων και τα βιομηχανικά κτίρια μεγάλων ανοιγμάτων.

Η προκατασκευή είναι ένας κλάδος που μπορεί να προσφέρει λύσεις αξιόπιστες, ποιοτικές, γρήγορες και με χαμηλό κόστος. Το κόστος μιας κατασκευής με προκατασκευή δεν υπερβαίνει το 70% του αντίστοιχου κόστους με συμβατικές μεθόδους και ο χρόνος είναι το 1/3 του συμβατικού.

10. ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το προεντεταμένο σκυρόδεμα αποτελεί μια μέθοδο κατασκευής που απαιτεί βαθιά γνώση για την εφαρμογή της. Είναι ευαίσθητο σε υπολογιστικές και κατασκευαστικές ανακρίβειες γιατί τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη σύνθεση της κατασκευής είναι ασυνήθιστα υψηλής αντοχής και εργάζονται σε υψηλές τάσεις.

10.1 Ιστορική αναδρομή

Η τεχνολογία του προεντεταμένου σκυροδέματος αναφέρεται για πρώτη φορά στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. το 1886 με την έκδοση μιας άδειας ευρεσιτεχνίας. Ακολούθησε αργότερα, γύρω στα 1900, ο Γάλλος μηχανικός Eugène Freyssinet που ασχολήθηκε συστηματικά με την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας. Τα βήματα που έκανε αναγνωρίστηκαν και από άλλους μηχανικούς της εποχής όπως ο Magnel στο Βέλγιο και ο Hoyer στη Γερμανία. Στις πρώτες δεκαετίες του αιώνα οι κατασκευές στις οποίες χρησιμοποιήθηκε προεντεταμένο σκυρόδεμα ήταν πολύ περιορισμένες. Η πραγματική ώθηση στην τεχνολογία αλλά και στη χρήση της μεθόδου, δόθηκε τόσο στις Η.Π.Α. όσο και στην Ευρώπη κατά την ανοικοδόμησή της, μόνο μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Οι ανάγκες για έργα σε αυτήν την περίοδο ήταν πολύ μεγάλες και οι διαθέσιμες

ποσότητες οικοδομικού χάλυβα σχετικά μικρές. Στράφηκαν λοιπόν οι μηχανικοί στις κατασκευές με προεντεταμένο σκυρόδεμα.

Σήμερα η μέθοδος του προεντεταμένου σκυροδέματος χρησιμοποιείται σε κάθε είδους ειδική κατασκευή (λιμενικά έργα, εξέδρες άντλησης πετρελαίου, πυρηνικούς σταθμούς), αλλά και σε κτίρια που ο σχεδιασμός τους θα ήταν αδύνατος αν οι κατασκευές δεν είχαν στη διάθεσή τους τις δυνατότητες που παρέχονται με τις μελέτες και τις κατασκευές με προεντεταμένο σκυρόδεμα.

10.2 Βασικές αρχές της μεθόδου

Είναι γνωστό ότι το σκυρόδεμα έχει εξαιρετικά περιορισμένη εφελκυστική αντοχή σε σχέση με τη θλιπτική του. Έτσι παρουσιάζονται εύκολα ρηγματώσεις στο κάτω πέλμα του και το δομικό στοιχείο αστοχεί. Για να ξεπεραστεί αυτή η αδυναμία, το σκυρόδεμα συνδυάζεται με το χάλυβα. Τα δύο υλικά παρουσιάζουν σημαντικές τάσεις συνάφειας και κοινό συντελεστή θερμικής διαστολής. Μπορούν να λειτουργήσουν μαζί κατά δύο τρόπους, δημιουργώντας αντίστοιχα δύο είδη σκυροδέματος:

- **Σιδηροπαγές σκυρόδεμα.**

Είναι η πιο διαδεδομένη σήμερα δομική κατασκευή. Μέσα στη μάζα του τσιμεντοσκυροδέματος, στις θέσεις και κατά τις διευθύνσεις εκείνες που θα αναπτυχθούν εφελκυστικές τάσεις, τοποθετούνται χαλύβδινες ράβδοι. Οι θλιπτικές τάσεις παραλαμβάνονται από το σκυρόδεμα και οι εφελκυστικές από το χάλυβα.

- **Προεντεταμένο σκυρόδεμα.**

Εδώ στις θέσεις εκείνες που θα εμφανιστούν εφελκυστικές τάσεις εισάγονται τάσεις θλιπτικές. Αυτές κατά τη φάση λειτουργίας του στοιχείου θα αντιδράσουν στις αναπτυσσόμενες εφελκυστικές. Δηλαδή το σύστημα σκυροδέματος και χάλυβα παραλαμβάνει τελικά και τα δύο είδη τάσεων με έντονη συμμετοχή του σκυροδέματος σε αμφότερες τις τάσεις με τη θλιπτική του αντοχή.

Ειδικότερα με την εφαρμογή προέντασης αναπτύσσονται θλιπτικές τάσεις στο εσωτερικό της δοκού σκυροδέματος. Αυτό εξασφαλίζεται με συγκεκριμένα εξαρτήματα και μέθοδο. Αν για παράδειγμα εξεταστεί μία δοκός που απαιτείται να προενταθεί, η γενική διαδικασία που ακολουθείται για την εφαρμογή της προέντασης έχει ως εξής: Η χαλύβδινη ράβδος της δοκού αγκυρώνεται σταθερά στο ένα άκρο της με κατάλληλες σφήνες. Με άσκηση δύναμης από το άλλο άκρο, εφελκύεται η ράβδος, Μετά τον εφελκυσμό η ράβδος

στερεώνεται στην άλλη άκρη της δοκού με αντίστοιχες σφήνες. Αποτέλεσμα αυτής της αγκύρωσης είναι να ασκεί η ράβδος **προένταση** στη δοκό σκυροδέματος στην οποία έχει εφαρμοστεί. Το σκυρόδεμα αντιδρά σε αυτή τη φόρτιση που θα υπάρχει σε όλη τη ζωή του δομικού στοιχείου, με θλιπτικές τάσεις. Οι τάσεις αυτές αντιδρούν στις εφελκυστικές αλλά και στις διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του στοιχείου εξ αιτίας των εξωτερικών φορτίων.

Για λόγους καλύτερης λειτουργίας του προεντεταμένου στοιχείου, καλό είναι να διαταχθεί ο τένοντας σε καμπύλη μορφή. Έτσι εξισορροπούνται σε όλο το μήκος της δοκού οι θλιπτικές και εφελκυστικές τάσεις. Για σωστή κατασκευή των προεντεταμένων στοιχείων, ο κατασκευαστής πρέπει να λάβει υπόψη του τα ακόλουθα βασικά σημεία ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική λειτουργία του προεντεταμένου σκυροδέματος.

- Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν (σκυρόδεμα και χάλυβας) να είναι υψηλής αντοχής.
- Να ελέγχεται απόλυτα η έγχυση του σκυροδέματος.
- Να εφαρμόζεται με ακρίβεια η δύναμη προέντασης όπως αυτή καθορίζεται από τους υπολογισμούς.

10.4. Είδη προέντασης

Η αρχή λειτουργίας του προεντεταμένου σκυροδέματος αναφέρθηκε προηγουμένα. Όλες όμως οι προεντάσεις δεν εφαρμόζονται με τον ίδιο τρόπο και δεν έχουν πάντα την ίδια λειτουργία. Τέσσερα είναι τα κριτήρια διαχωρισμού τους :

- **Ο βαθμός προέντασης:** καθολική, περιορισμένη, μερική προένταση.
- **Η χρονική στιγμή προέντασης :** πριν από τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος.
- **Το είδος συνεργασίας σκυροδέματος με χάλυβα:** με άμεση συνάφεια, χωρίς συνάφεια, με μεταγενέστερη συνάφεια.
- **Οι πλευρές της δοκού που εφαρμόζεται η τάνυση:** μονόπλευρη ή αμφίπλευρη προένταση όταν ο χάλυβας εντείνεται από το ένα ή και τα δύο άκρα της δοκού αντίστοιχα.

Η επιλογή του βαθμού προέντασης γίνεται κατά τους υπολογισμούς, ανάλογα με τα φορτία και το κόστος του κάθε τύπου. Με την πλήρη προένταση εξασφαλίζεται σκυρόδεμα χωρίς ρωγμές. Με την περιορισμένη προένταση διαπιστώνονται περιορισμένες ρωγμές. Τέλος κατά τη μερική προένταση, για τις λιγότερο συχνές φορτίσεις, επιτρέπεται ο σχηματισμός ρωγμών περιορισμένου ανοίγματος που ξανακλείνουν με την άρση της φόρτισης.

Η πλήρης προένταση είναι γενικά ακριβή και τεχνικά δύσκολη μέθοδος. Η μερική προένταση δεν χρησιμοποιείται ακόμη ευρέως παρά το ότι πολλές φορές είναι ευκολότερη και πιο οικονομική από τις άλλες προεντάσεις. Γενικά η περιορισμένη προένταση αποτελεί τη συνηθέστερη και καταλληλότερη επιλογή για πιο κοινές κατασκευές.

Το σκυρόδεμα όπως αναφέρθηκε, είναι δυνατό να προενταθεί πριν ή μετά από τη σκλήρυνσή του. Στην πρώτη περίπτωση τανύεται ο χάλυβας γυμνός και κατόπιν γίνεται η έγχυση του σκυροδέματος. Μετά από τη σκλήρυνση του σκυροδέματος αναπτύσσεται συνάφεια και λειτουργεί η προένταση. Το κόστος της κατασκευής αυτού του είδους είναι υψηλό και χρησιμοποιείται κυρίως σε προκατασκευασμένα στοιχεία βιομηχανικής παραγωγής.

Όταν το σκυρόδεμα εντείνεται μετά την έγχυσή του, η διαδικασία είναι απλούστερη και η δαπάνη σημαντικά χαμηλότερη. Η έντασή του αρχίζει μόλις αρχίζει και η ένταση των χαλύβδινων ράβδων. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει συνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος και γι' αυτό απαιτείται ιδιαίτερη αντιδιαβρωτική προστασία. Τέτοιου είδους προένταση, χωρίς συνάφεια, εφαρμόζεται κυρίως σε λυόμενες κατασκευές και σε ειδικές περιπτώσεις, όπου γίνεται συνεχής έλεγχος των δυνάμεων προέντασης (αντιδραστήρες, φράγματα, κλπ.).

Ένα άλλο είδος προέντασης δημιουργείται με την τοποθέτηση των τενόντων μέσα σε σωλήνες ολίσθησης. Τότε η συνάφεια προκύπτει με τσιμεντένεμα, μετά την ένταση στους σωλήνες ολίσθησης. Ο τρόπος αυτός προέντασης συναντάται συχνά στην κατασκευή προεντεταμένων στοιχείων στο εργοτάξιο.

10.5. Μηχανικοί τρόποι εφαρμογής της προέντασης.

Γενικά, στα εργοτάξια εφαρμόζεται προένταση μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος. Η προένταση πριν τη σκλήρυνση του σκυροδέματος απαιτεί ιδιαίτερη τεχνολογία και εφαρμόζεται σε στοιχεία βιομηχανικής παραγωγής.

Οι τρόποι με τους οποίους εφαρμόζεται η προένταση μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος έχουν ως εξής :

- Με γρύλους έλξης τενόντων
- Με εξωτερικούς θλιπτικούς γρύλους πίεσης της δοκού που στηρίζονται σε εξωτερικά σταθερά στηρίγματα.
- Με προκατασκευασμένες προεντεταμένες δοκίδες που ενσωματώνονται στη μάζα του σκυροδέματος.
- Με επιμήκυνση των τενόντων με θέρμανση (διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα μέσω των τενόντων και μόλις διακοπεί ή παροχή του γίνεται η σφήνωση).

- Με τη χρήση διογκώσιμου τσιμέντου που θα προκαλέσει διόγκωση και του σκυροδέματος. Σε αυτή την περίπτωση οι τένοντες προσφηνώνονται στα άκρα της δοκού.

10.6 Υλικά :

Οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στις προεντάσεις καθορίζονται είτε σύμφωνα με την κατεργασία που ακολουθείται για την παραγωγή τους (θερμή κατεργασία, μηχανική κατεργασία). Είτε σύμφωνα με τον τύπο τους (σύρματα και ράβδοι, συρματόσχοινα ή καλώδια). Γενικά, έχουν διαφορετική λειτουργία από αυτή που εμφανίζεται στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Πρέπει να είναι ικανοί να δημιουργήσουν την απαιτούμενη θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα. Έτσι πρέπει να έχουν υψηλή εφελ-κυστική αντοχή για να μην υπάρχει ελάττωση της δύναμης προέντασης εξ αιτίας του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης του σκυροδέματος. Γενικά, τα σύρματα είναι κατάλληλα για μικρές δυνάμεις. Για πιο μεγάλες δυνάμεις εφαρμόζονται ράβδοι ή συρματόσχοινα.

Το **σκυρόδεμα** που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι υψηλής αντοχής και ταχείας σκλήρυνσης γιατί είναι σημαντικό οικονομικό να αποχωριστούν έγκαιρα οι ξυλότυποι των στοιχείων.

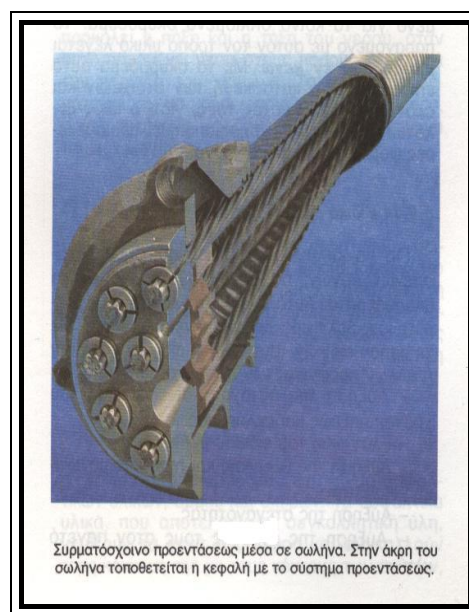
Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στην προένταση είναι καθορισμένων προδιαγραφών και παράγονται από περιορισμένο αριθμό κατασκευαστών. Συνήθως βασίζονται σε κοχλίες που με τη σύσφιξή τους επιμηκύνουν τη ράβδο δημιουργώντας ένταση, και σε ειδικές σφήνες στερέωσης.

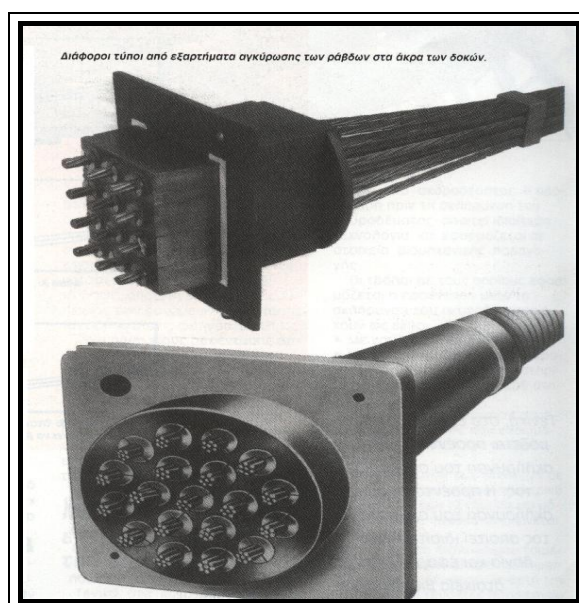
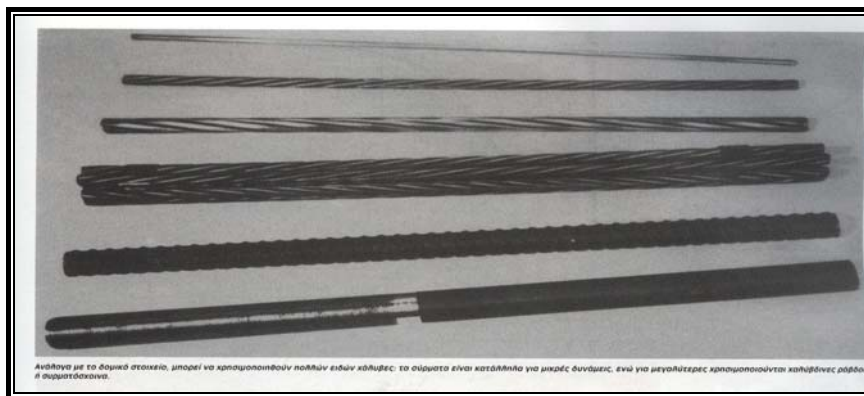
Η επιλογή συγκεκριμένου συστήματος εξαρτάται από το μέγεθος των απαιτούμενων δυνάμεων προέντασης.

- **Εξοπλισμός εφαρμογής.** Για την εφαρμογή προέντασης χρησιμοποιούνται κυρίως γρύλοι, μηχανικοί ή υδραυλικοί και κοχλιωτές ιδιοκατασκευής.
- **Πλεονεκτήματα.** Το προεντεταμένο σκυρόδεμα παρουσιάζει σε σχέση με το σιδηροπαγές ορισμένα πλεονεκτήματα καθοριστικά για την επιλογή του:
 - Τα υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα κατασκευές πολύ πιο ελαφριές από αυτές που γίνονται με το συμβατικά οπλισμένο σκυρόδεμα.
 - Η ίδια η τεχνολογία εφαρμογής της προέντασης οδηγεί σε σκυρόδεμα πυκνό και υψηλής αντοχής, που είναι πολύ ανθεκτικό στις καιρικές επιδράσεις και τη διάβρωση.
 - Οι δοκοί και οι πλάκες έχουν μεγάλο λόγο ανοίγματος/πάχους και παρουσιάζουν μικρά βέλη κάμψης.

- Το νεκρό φορτίο του στοιχείου μπορεί να είναι μέχρι και 50% χαμηλότερο από αυτό το αντίστοιχου στοιχείου σιδηροπαγούς
 - σκυροδέματος, ενώ η οικονομία στο χάλυβα είναι 10-20%.
- **Εφαρμογές**
Οι εφαρμογές των στοιχείων προεντεταμένου σκυροδέματος είναι πολλές. Μερικές από τις πιο συνηθισμένες είναι :
 - **Στρωτήρες σιδηροδρομικών γραμμών.** Ως κατασκευή είναι 3,5 φορές πιο βαριά από την ξύλινη αλλά έχει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
 - **Πλάκες μεγάλων ανοιγμάτων.** Με μεταλλικές δοκούς γεφυρώνοντας το άνοιγμα και στη συνέχεια πληρώνονται οι επιφάνειες μεταξύ των δοκών με στοιχεία προεντεταμένου σκυροδέματος. Έτσι, μια πλάκα 5X8 m μπορεί να έχει πάχος 14 cm χωρίς να εμφανίζονται δοκοί και ασυνέχειες.
 - **Δοκοί κάθε είδους.** Φέρουν το υλικό επικάλυψης σε εκθεσιακούς ή βιομηχανικούς χώρους με μεγάλα ανοίγματα, σε γέφυρες, πυλώνες και σε ειδικές κατασκευές.

Σε κάθε περίπτωση, η εφαρμογή προέντασης είναι καθοριστική και οι μελετητές, οι κατασκευαστές και οι επιβλέποντες πρέπει να αντιμετωπίζουν με μεγάλη σοβαρότητα το έργο χωρίς όμως να το φοβούνται.





11. Μέτρα ασφαλείας εργαζομένων

Τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται στο εργοτάξιο συνοπτικά είναι τα ακόλουθα:

- Στην είσοδο του εργοταξίου, σε εμφανές σημείο, πρέπει να υπάρχει ευμεγέθης και ευανάγνωστη επιγραφή με την ένδειξη: «Απαγορεύεται η είσοδος σε μη εργαζόμενους» .
- Όλοι οι εργαζόμενοι, αλλά και οι επισκέπτες πρέπει να φέρουν κράνη και κατάλληλα ασφαλή υποδήματα (απαγορεύονται πέδιλα, σαγιονάρες, τακούνια και πάνινα παπούτσια). Απαγορεύονται μαντήλια λαιμού, αλυσίδες, ταυτότητες, δακτυλίδια, κλπ.
- Όλα τα κατακόρυφα και οριζόντια ανοίγματα, που μπορούν να οδηγήσουν σε πτώση, όπως φρεάτια ανελκυστήρων, κλίμακες, αίθρια, καταπακτές, φωταγωγοί, κλπ.) θα περιφράσσονται επιμελώς και με ασφάλεια. Η περιμετρική περίφραξη θα έχει ύψος 1.0 μ. τουλάχιστον και θα διαθέτει κουπαστή και ενδιάμεση σανίδα στο μεσοδιάστημα.
- Τα ικριώματα και οι ξυλότυποι θα κατασκευάζονται από εξειδικευμένους τεχνίτες με υλικά ανθεκτικά και καλά συντηρημένα. Τα μεταλλικά ικριώματα θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις της υπ' αριθ. 16440/Φ10.4/445/16-9-93 Κοινής Υπουργικής Απόφασης.
- Μεγάλη προσοχή θα δίδεται στην έδραση των ορθοστατών των ικριωμάτων, ιδιαίτερα όταν εδράζονται στο έδαφος ή σε κατάσκευη επιδεκτική παραμορφώσεως ή υποχωρήσεως. Πρόχειρες εδράσεις σε πέτρες, τσιμεντόλιθους, μάζα, ασυμπιέστα εδάφη, κεκλιμένα επίπεδα κλπ. απαγορεύονται. Οι θέσεις εδράσεως θα προστατεύονται από πρόσκρουση οχημάτων ή εκφόρτωση υλικών κοντά τους.
- Ο σκελετός των ικριωμάτων και των ξυλοτύπων θα είναι ισχυρός και άκαμπτος, ανθεκτικός στα κατακόρυφα φορτία, αλλά και στις οριζόντιες ωθήσεις. Η σύνδεση των κατακορύφων και οριζοντίων στοιχείων θα γίνεται, όπως προβλέπεται από το Π.Δ. 778/8 στα άρθρα 4 μέχρι και 16 και θα ενισχύεται με πυκνή διάταξη διαγωνίων ράβδων «χιαστί» (τιραντών).
- Τα πέρατα των ξυλοτύπων και των πλακών θα ασφαρίζονται με προσωρινό, αλλά ασφαλή τρόπο για την προστασία των εργαζομένων από πτώσεις. Τα στοιχεία περίφραξης (διπλοσανίδα κουπαστής, θωράκιο και σανίδα μεσοδιαστήματος) θα στηρίζονται

στους ορθοστάτες του ξυλοτύπου και τον ξυλότυπο των περιμετρικών στύλων.

- Οι εργαζόμενοι πλησίον του πέρατος των ξυλοτύπων και πλακών κατά το καλούπωμα ή το ξεκαλούπωμα, την τοποθέτηση οπλισμού, την διάστρωση του σκυροδέματος και τις βοηθητικές εργασίες, εφ' όσον δεν υπάρχει προστατευτικό προστέγασμα (σκάφη) ή περίφραγμα, θα φέρουν ειδικές ζώνες ασφαλείας και θα εργάζονται κατά ζεύγη. Η προσοχή θα πολλαπλασιάζεται στις περιπτώσεις κεκλιμένων στεγών.
- Οι ράμπες εργασίας θα έχουν κλίση 30° (1:2 κατακόρυφο προς οριζόντιο), ελάχιστο πλάτος 60 cm και θα διαθέτουν αντολισθηρή προστασία (πηχάκια 4X2,5 cm ανά 35 cm) και στηθαίο ασφαλείας.
- Απαγορεύεται η διακίνηση οπλισμών ή στοιχείων του ξυλοτύπου από άτομο σε άτομο και από όροφο σε όροφο (σύστημα «πάσας»).
- Η έδραση πρέσας, μπετονιέρας και λοιπών εργοταξιακών και ανυψωτικών μηχανημάτων θα είναι σταθερή, οριζόντια, ανθεκτική και σε ασφαλή θέση. Απαιτείται η εξασφάλιση της συνεχούς οπτικής επαφής του χειριστή πρέσας, οικοδομικού ή άλλου γερανού με τα κινούμενα στοιχεία (βραχίονα, σωλήνα, ανυψούμενο αντικείμενο και της θέσης αποθέσεως) για τον σωστό και ασφαλή χειρισμό, διαφορετικά απαιτείται η συνεργασία κουμανταδόρου.
- Ιδιαίτερη προσοχή θα δίδεται σε γειτνιάζοντα ηλεκτροφόρα καλώδια και θα λαμβάνονται μέτρα για την αποφυγή του κινδύνου ηλεκτροπληξίας από επαφή του οπλισμού, στοιχείων ξυλοτύπου, σωλήνων, αναβατορίων, μηχανημάτων, αυτοκινήτων, πρέσας σκυροδέματος, γερανών κλπ.
- Απαγορεύεται η παραμονή και η εργασία προσώπων κάτω από μετακινούμενα φορτία, γερανούς, μπούμα αντλίας κλπ., καθώς και κάτω από φωταγωγούς, ικριώματα, κλίμακες κλπ. επί των οποίων εκτελείται εργασία.
- Απαγορεύεται η κατανάλωση οινόπνευματων ποτών στο εργοτάξιο, καθώς και η είσοδος σ' αυτό προσώπων σε κατάσταση μέθης.
- Απαγορεύεται η εκτέλεση εργασιών κατά τη νύκτα ή με ανεπαρκή φωτισμό. Απαγορεύεται επίσης η εκτέλεση εργασιών με δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Οι εργασίες επαναλαμβάνονται μόνο μετά την αποκατάσταση ασφαλών συνθηκών.
- Γενικώς θα τηρούνται όλες οι διατάξεις των νόμων.

Νομοθεσία

Ακολουθως παρατίθεται συνοπτικά η νομοθεσία που αφορά στην ασφάλεια των εργαζομένων στα εργοτάξια:

- ΠΔ 22-12-1933 (τροπ. ΠΔ 17/1978)(ΦΕΚ 406/Α?1933-ΦΕΚ 20/Α/17-2-1978
- ΠΔ 95/1978 (ΦΕΚ Α/20/17-2-1978
- ΠΔ 778/1980 (ΦΕΚ 193/Α/26-8-1980)
- ΠΔ 1073/1981 (ΦΕΚ 260/16-9-1981)
- Ν.1396/1983 (ΦΕΚ 126/Α/15-9-1983)
- Υ.Α. 130646/1984 (ΦΕΚ 154/Β/19-3-1984)
- Ν1430/1984 (ΦΕΚ 49/Α/18-4-1984)
- Ν 1568/1985 (ΦΕΚ 177/Α/18-10-1985)
- ΥΑ 131325/1987 (ΦΕΚ 467/Β/28-8-1987)
- ΠΔ 315/1987 (ΦΕΚ 149/Α/25-8-1987)
- ΠΔ 294/1988 (ΦΕΚ 138/Α/1988)
- ΠΔ 70^α/88 (τροπ. ΠΔ 175/1997) (ΦΕΚ 31/Α/17-2-1988-ΦΕΚ150/Α/15-7-1997)
- ΠΔ 225/1989 (ΦΕΚ 106/Α/2-5-1989)
- ΚΥΑ Β 4373/1205/11-3-93)
- ΚΥΑ 8881/3-6-94 (ΦΕΚ 450/Β/1994)
- ΚΥΑ 5261/190/97 (ΦΕΚ 113//Β/1997)
- ΠΔ 395/1994 (ΦΕΚ 220/Α/19-12-1994)
- ΠΔ 89/1999 (ΦΕΚ 94/Α/13-5-1999)
- ΠΔ 304/2000 (ΦΕΚ 241/Α/3-11-2000)
- ΠΔ 155/2004 (ΦΕΚ 121/Α/5-7-2004)
- ΠΔ 396/1994 (ΦΕΚ 220/Α/1994)
- ΠΔ397/1994 (ΦΕΚ 221/Α/19-12-1994)
- ΠΔ 105/95 (ΦΕΚ 67/Α/10-4-1995)
- ΠΔ 17/96 (ΦΕΚ 11/Α/18-1-1996)
- ΠΔ 305/1996 (ΦΕΚ 212/Α/29-8-1996)
- ΠΔ 31/1990 (ΦΕΚ 11/Α/5-2-1990)
- Αποφ. 3046/304/30-1-1989 (ΦΕΚ 59/Δ/1989)
- Αποφ. 7568/9-2-1996 (ΦΕΚ 155/Β/13-3-1996)
- Υγ.διατ. ΦΕΚ 371/Β/4-4-1975 και ΦΕΚ 338/Β/2-4-1980
- Αποφ. 31245/22-5-1993 (ΦΕΚ 451/Β/24-6-1993)
- Εγκ. 38935/54/95 ΥΠΕΧΩΔΕ
- Αποφ. 433/2000 (ΦΕΚ 266/Β/22-9-2000)
- Αποφ. 177/2-3-2001 (ΦΕΚ 266/Β/14-3-2001)
- ΚΥΑ 105085/59 (ΦΕΚ 1186/25-8-2003)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Γκρός Γ.** Ωπλισμένο Σκυρόδεμα κατά τον Ελληνικό Κανονισμό 1998 και τον Ευρωκώδικα 2, Αθήνα 1998
2. **Καραβεζύρογλου-Βέμπερ Μ.** Στοιχεία Υπολογισμού και Διαμόρφωσης Ολόσωμων Κατασκευών, Θεσσαλονίκη 1999
3. **Παπαθεοδώρου Θ.** Το Μπετόν Αρμέ εις την Οικοδομική, Αθήνα 1960
4. **Μαρσέλος Ν.** Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Αθήνα 1997
5. **Wendehorst R.** Δομικά Υλικά, Hanover 1975
6. **Σπυράκος Κ.** Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία, Αθήνα 2004
7. **Τάσιος, Συρμακέζης, Χρονόπουλος.** Επισκευές Κτιρίων Βλαμμένων από Σεισμό, Αθήνα 1988
8. **Τάσιος Θ.** Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα
9. **Κορωνάιος Δ.** Ωπλισμένο Σκυρόδεμα, Αθήνα 1956
10. **Μαρκέτος Ε.** Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα 1984
11. **ΥΠ.ΕΘ.Ο.** Οδηγός Ελέγχου Ποιότητας Κατασκευής Δημοσίων Έργων, ΕΣΠΕΛ, Αθήνα 1999
12. **Δειμέζη Α.** Γενική Δομική Ι και ΙΙ, Αθήνα 1993
13. **Λεγάκις Α.** Τεχνολογία Δομικών Υλικών, Αθήνα 1999
14. **Σακελλαρίου, Σερέφογλου, Μαραβέας.** Κτιριακά Έργα Ι, Αθήνα 2000
15. **Μαραβέας, Παπακωνσταντίνου.** Κτιριακά Έργα ΙΙΙ, Αθήνα 2000
16. **Πατσαβούδη Δ.** Τεχνολογία Δομικών Υλικών, Αθήνα 1976
17. **Anak R.** Ευρωπαϊκές Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, εκδόσεις Γκιούρδα, Αθήνα 1993
18. **Frey, Hermany, Kuhn κλπ.,** Κτιριακά Έργα Ι, ΙΙ και ΙΙΙ
19. **Τάσιος Θ.** Κατασκευές και Θεμελιώσεις από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα, Αθήνα 1986
20. **Σπυρόπουλος Π.** Ιδιότητες και Συμπεριφορά του Σκυροδέματος (Αντοχή-Παραμόρφωσις-Ρηγμάτωσις), Θεσσαλονίκη
21. **Τ.Ε.Ε.** 12^ο Συνέδριο Σκυροδέματος
22. **Τ.Ε.Ε.** 13^ο Συνέδριο Σκυροδέματος
23. **Τ.Ε.Ε.** 14^ο Συνέδριο Σκυροδέματος

24. **Τάσιος, Αγγιζάκης,** Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Σκυροδέματος (έναντι περιβαλλοντικών δράσεων), Αθήνα 1993
25. **Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων (ΚΤΧ),** ΦΕΚ 381/Β/24-3-2000
26. **Γκεριμέζη, Ζωτάλης.** Συμβολή στη Διερεύνηση των Παραγόντων που Επηρεάζουν την Ανθεκτικότητα του Σκυροδέματος
27. **Τριανταφύλλου Α.** Ενισχύσεις Κατασκευών Ωπλισμένου Σκυροδέματος με Σύνθετα Υλικά (Ινοπλισμένα Πολυμερή), Πάτρα 2003
28. **Πρασιανάκης, Γκιόκας.** Έλεγχος Σκυροδέματος με Μη Κατάστροφικές Μεθόδους, Θεσσαλονίκη 2001
29. **Τάσιος, Γιαννακόπουλος, Τρέζος, Τσουκαντάς.** Προεντεταμένο Σκυρόδεμα, Αθήνα 1986
30. **Δρίτσας Στ.** Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα, Πάτρα 2001
31. **Κωνσταντινίδη Απ.** Εφαρμογή Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα 1994
32. **Aldinger, Bauman, Ignatowitz,** κλπ., Τεχνολογία Υλικών Κατασκευών, Germany 1991
33. **Ε Π Ε Σ .** Βοήθημα για την Χρήση του Κανονισμού Μελέτης και Κατασκευής Έργων από Σκυρόδεμα
34. **Beton Kalender 1984**
35. **Τ.Ε.Ε.** Ημερίδα, Ευρωπαϊκό Πρότυπο Σκυροδέματος (EN206-1), Προδιαγραφές, Επιτελεστικότητα, Παραγωγή και Συμμόρφωση
36. **Καλεύρα Βλ.** Μαθήματα Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Ξάνθη 1981
37. **Kong F., Evans R., Reinforced and Prestressed Concrete,** Gr. Britain 1975
38. **Φούντας Γρ.** Υπολογισμός Σύμμικτων Κατασκευών με τον Ευρωκώδικα 4
39. **Περιοδικό :** Κτίριο
40. **Περιοδικό :** Ύλη και Κτίριο
41. **Περιοδικό :** Δομές
42. **Περιοδικό :** Εργοληπτικό Βήμα
43. **Περιοδικό :** Κατασκευή
44. **Οικονόμου Χρ.** Τεχνολογία Σκυροδέματος, Ξάνθη
45. **Σιδέρη Κ.** Τεχνολογία Δομικών Υλικών, Ξάνθη 1984
46. **Frey, Hermann, Kuhn,** κλπ., Τεχνολογία Δομικών Υλικών Germany
47. **Δαπόντε Ιωάν.** Παραδόσεις Τεχνολογίας Δομικών Υλικών, Θεσσαλονίκη

48. **Μηλιωρίτσας Ε.** Εργαστήριο Δομικών Έργων, Αθήνα 1995
49. **Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος**
50. **Βιάζης Γ.** Θέματα Δομικών Υλικών, Αθήνα 1997
51. **Ζαχαριάδης Αγ.** Οικοδομική Τεχνολογία, Θεσσαλονίκη 1993
52. **Σπυρόπουλος Π.,** Εγχειρίδιο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Θεσσαλονίκη 1983
53. **Gani M.** Cement and Concrete, U.K. 1997
54. **Τ.Ε.Ε.** Ημερίδα, Ο Σιδηρούς Οπλισμός στις Κατασκευές, Ποιότητα-Τεχνικές-Εφαρμογή, Πάτρα
55. **Πενέλης Γ.** Μαθήματα Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος, Θεσσαλονίκη 1973
56. **Σπυρόπουλος Π.** Κατασκευαστικά Οδηγία Δια το Σκυρόδεμα και τον Οπλισμό, Θεσσαλονίκη
57. **Macginley T., Chood B.,** Reinforced Concrete, London 1997
58. **Σπυρόπουλος Π.,** Προεντεταμένο Σκυρόδεμα, Αθήνα 1972
59. **Τριανταφύλλου Θαν.** Δομικά Υλικά, Πάτρα 2001
60. **Λίτινας Ν., Γιαννακόπουλος Φ.,** Τεχνολογία Δομικών Υλικών, Αθήνα 1999
61. **ΟΑΣΠ, ΣΠΕΜΕ, ΕΚΩΣ 2000**
62. «**Άνωση**» Σκυρόδεμα - Οδηγός 1998
63. «**Άνωση**» Σκυρόδεμα - Οδηγός 1999
64. **Holland R.** Reinforced Concrete, London 1997
65. **Askeland D.,** The Science and Engineering of Material, London
66. **Περιοδικό :** Concrete Construction
67. **Περιοδικό :** Concrete
68. **A.S.C.E. (American Society of Civil Engineers),** Journal of Composites for Construction
69. **Neville A.,** Properties of Concrete, U.S.A. 1981
70. **Allen Ed.,** Fundamentals of Building Construction Materials and Methods, U.S.A.
71. **LEONARDT F., MOENNING E.,** Ολόσωμες Κατασκευές, Στουγγκάρδη 1974
72. **Nawy E., Eng P.** Fundamentals of High Strength - High Performance Concrete, U.S.A. 1996
73. **FIB (Federation Internationale du beton),** Structural Concrete, 1999
74. **FIB, Managment maintenance and strengthening of concrete structures,** 2002
75. **Κεφαλιακός Α.** Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Αθήνα 1999
76. **Γεωργόπουλος Θ,** Ωπλισμένο Σκυρόδεμα, Πάτρα 2002
77. **Olin H – Schmidt J. – Lewis W,** Construction-Principles, Materials and Methods, U.S.A.

78. **P.C.I. (Prestressed Concrete Institute)**, Architectural Precast Concrete, Chicago 1973
79. **Κωνσταντινίδης Απ.** Η ποιότητα των αντισεισμικών κατασκευών
80. **A.T.O.E. (Αναλυτικό Τιμολόγιο Οικοδομικών Έργων)**, Αθήνα 1976
81. **T.E.E.** Κανονισμός για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα, Αθήνα 1991
82. **Μακρυθανάση Α.** Σχεδιάσεις Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα
83. **Μαργέτης Δ.** Αρμοί Διαστολής-διακοπής, Αθήνα 2002
84. **A.C.I.** Guide for Measuring, Mixing, Transporting and Placing Concrete.
85. **A.C.I.** Cold Weather Concreting
86. **Σιδέρης Κ.** Σημειώσεις Εργαστηρίου Δομικών Υλικών, Ξάνθη 1979
87. **Χουλιάρας Ι.** Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα 2003
88. **A.C.I.** Concrete Craftman Series-Cast-in-Place Walls
89. **A.C.I.** Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots
90. **A.C.I.** Composite Concrete and Steel-High-Pressure Vessels for General Industrial Use.
91. **A.C.I.** Response of Concrete Buildings to Lateral Forces
92. **A.C.I.** Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete
93. **A.C.I.** Guide for Concrete Floor and Slab Construction
94. **A.C.I.** Shotcrete
95. **A.C.I.** Secretes of Hot or Cold Weather Concreting
96. **Messersmith J.** Concrete Inspection Handbook
97. **Allen R., Edwards S.,** The Repaire of Concrete Structures
98. **American Concrete Institute: Repair and Rehabilitation**
99. **ΟΑΣΠ** Συστάσεις για Προσεισμικές και Μετασεισμικές Επεμβάσεις σε Κτίρια.
100. **ΟΑΣΠ** Άρση Επικινδυνότητων, Προσωρινές Υποστυλώσεις-Αντιστηρίξεις
101. **The Steel Construction Institute**, Application Guidelines for Steel-Concrete-Steel Sandwich Construction
102. **A.C.I.** Guide for Consolidation of Concrete
103. **A.C.I.** Guide for the Design, Construction and Repair of Ferrocement

104. **Clark J.** Alternative Materials for the Reinforcement and Prestressing of Concrete
105. **Perkins P.** Repair, Protection and Waterproofing of Concrete Structures, London 1997
106. **Schmit H.** Κτηριακές Κατασκευές, Γκιούρδας 1980

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή	1
2. Ιστορική εξέλιξη του σκυροδέματος	2
3. Το σκυρόδεμα (άοπλο-οπλισμένο)	7
3.1. Μέθοδοι παρασκευής σκυροδέματος (κανονισμοί – προδιαγραφές)	15
2. Συστατικά	17
3. Παρασκευή – διάστρωση	19
4. Εργοστασιακό σκυρόδεμα	20
5. Σκυροδέτηση	21
6. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες	24
7. Επισκευές βλαβών στο σκυρόδεμα	33
3.2. Είδη σκυροδεμάτων (ινοπλισμένα-εκτοξευόμενο)	37
3.3. Πρόσμικτα – βελτιωτικά σκυροδέματος	40
1. Περιγραφή προσθέτων	41
2. Ρυθμιστές του χρόνου πήξης	46
3. Συμπυκνωτικά – Στεγανοποιητικά	47
4. Αερακτικά – Ααντιαπομεικτικά – Αντιπαγετικά	48
5. Βελτιωτικά αντοχής	50
6. Αντιδιαβρωτικά πρόσθετα	50
7. Αποκολλητικά	51
8. Προστατευτικά	52
9. Χρωστικές	53
10. Άλλα πρόσθετα	53
11. Ρητινικές διασπορές	57
3.4. Σκυροδέτηση	58
1. Διάστρωση	59
2. Συμπύκνωση	67
3. Συντήρηση	69
3.5. Συστήματα μεταλλοτύπων – ξυλοτύπων	70
3.6. Σκυροδέτηση σε ακραίες κλιματολογικές συνθήκες	90
Α. Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος	90
1. Γενικές οδηγίες	90
2. Απαιτούμενα γενικά μέτρα	90
3. Απαιτούμενα ελάχιστα μέτρα	91
4. Απαιτήσεις θερμοκρασίας σκυροδέματος στις φάσεις ανάμιξης, σκυροδέτησης και διατήρησης	91

5. Διάρκεια θερμικής προστασίας του σκυροδέματος μετά τη σκυροδέτηση	92
6. Μέθοδοι προστασίας	93
B. Σκυροδέτηση με υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος	96
1. Κίνδυνοι από υψηλές θερμοκρασίες	96
2. Θερμοκρασία σκυροδέματος κατά τη διάστρωση	96
3.7. Αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα – εμφανές σκυρόδεμα και Γλυπτική	98
3.8. Διάστρωση – συμπύκνωση – συντήρηση	109
3.9. Νέες τεχνολογίες σκυροδεμάτων	117
1. Εισαγωγή	117
1.1. Το τσιμέντο	117
1.2. Χημικά πρόσθετα	118
1.3. Προσθήκες και αδρανή	118
1.4. Τα διάφορα είδη σκυροδέματος	118
2. Έτοιμο σκυρόδεμα	119
3. Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής	119
4. Σκυρόδεμα με ανακυκλούμενα υλικά	119
5. Ινοπλισμένα σκυροδέματα	120
5.1. Η τεχνολογία του ινοπλισμού	121
5.2. Η μηχανική του ινοπλισμού	121
5.3. Ιδιότητες του ινοπλισμένου σκυροδέματος	122
5.4. Εφαρμογές του ινοπλισμένου σκυροδέματος	122
6. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	122
6.1. Σύνθεση	123
6.2. Διαδικασία εκτόξευσης	124
6.3. Το τελικό προϊόν	124
6.4. Εφαρμογές	124
7. Ρητινοσκυροδέματα	125
7.1. Γενικές ιδιότητες των ρητινοσκυροδεμάτων	126
8. Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα	127
9. Ελαφροσκυροδέματα	131
9.1. Τα μονωτικά	131
9.2. Τα φέροντα	131

10.	Ελαφροσκυροδέματα με ελαφρά αδρανή	133
11.	Τα περλιτοδέματα	133
12.	Κυψελοσκυροδέματα	134
3.10.	Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος	141
1.	<i>Οι έννοιες της ανθεκτικότητας και επιτε-</i> <i>λεστικότητας των κατασκευών</i>	141
2.	<i>Διάρκεια ζωής μιας κατασκευής</i>	142
3.	<i>Τεχνική θεώρηση της ανθεκτικότητας των</i> <i>κατασκευών</i>	142
4.	<i>Βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την</i> <i>ανθεκτικότητα</i>	143
5.	<i>Επιθεώρηση, ενόργανοι έλεγχοι, διάγνωση και</i> <i>επέμβαση σε υφιστάμενες κατασκευές οπλισμέ-</i> <i>νου σκυροδέματος</i>	150
6.	<i>Φθορές στον χάλυβα</i>	153
3.11.	Έλεγχος ποιότητας σκυροδέματος	156
1.	Έλεγχος μονάδας	156
2.	Μέθοδοι ελέγχου σκυροδέματος	161
2.1.	<i>Οπτικός έλεγχος</i>	161
2.2.	<i>Πυρηνοληψία</i>	161
2.3.	<i>Μέθοδοι τασικών κυμάτων-υπέρηχοι</i>	162
2.4.	<i>Μέθοδος του κρουσιμέτρου</i>	163
2.5.	<i>Κρουστικές μέθοδοι</i>	163
2.6.	<i>Εξόλκευση ήλου</i>	163
2.7.	<i>Ραδιογραφική μέθοδος</i>	163
2.8.	<i>Μαγνητικές μέθοδοι</i>	164
2.9.	<i>Ηλεκτρικές μέθοδοι</i>	164
2.10.	<i>Διαπερατότητα</i>	164
2.11.	<i>Υπέρυθρη φωτογράφιση</i>	164
2.12.	<i>Ραντάρ</i>	165
2.13.	<i>Ενανθράκωση</i>	165
2.14.	<i>Ενδοσκόπηση</i>	165
2.15.	<i>Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος</i> <i>παραμορφώσεων</i>	166
2.16.	<i>Δοκιμαστικές φορτίσεις</i>	166
2.17.	<i>Δοκιμές χάλυβα</i>	167
2.18.	<i>Χημικές αναλύσεις</i>	167
3.	Οδηγίες εκτέλεσεως της δοκιμής καθίσεως	168
4.	Οδηγίες λήψεως δοκιμίων σκυροδέματος	170
3.12.	Ο έλεγχος του σκυροδέματος με μη καταστρο-	
	φικές μεθόδους	172
1.	<i>Εισαγωγή</i>	172

2.	<i>Η μέθοδος των υπερήχων</i>	174
3.	<i>Η μέθοδος της βιομηχανικής ακτινογραφίας</i>	174
4.	<i>Η μέθοδος της ακουστικής εκπομπής</i>	175
5.	<i>Η μέθοδος της θερμογραφίας</i>	175
6.	<i>Η μέθοδος του κρουσιμέτρου αναπήδησης</i>	176
7.	<i>Η μέθοδος της εξόλκευσης ήλου</i>	176
8.	<i>Η μέθοδος προσδιορισμού της παραμορφώσεως</i>	177
9.	<i>Άλλες μέθοδοι μη καταστρικού ελέγχου του σκυροδέματος</i>	177
	9.α. Ολλανδική μέθοδος	177
	9.β. Ρωσική μέθοδος	177
	9.γ. Μέτρηση της ακτινοπερατότητας	177
	9.δ. Μέτρηση της ωρίμανσης	178
	9.ε. Ραντάρ (επιφανειακής διείσδυσης)	178
	9.στ. Αντίσταση στη διείσδυση (Αμερικανική μέθοδος)	178
	9.ζ. Μέθοδος του συντονισμού	178
10.	<i>Συνδυασμός των Μ.Κ.Μ. ελέγχου</i>	179
11.	<i>Συμπεράσματα</i>	179
3.13.	<i>Διάβρωση σκυροδέματος-επιρροές από το περιβάλλον</i>	183
	1. <i>Ενανθράκωση</i>	183
	2. <i>Διάβρωση σκυροδέματος</i>	184
	3. <i>Δράση των ενώσεων χλωρίου (χλωρίδια)</i>	185
	4. <i>Ανθεκτικές στο χρόνο κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα</i>	186
3.14.	<i>Σκυρόδεμα μέσα στο νερό</i>	187
3.15.	<i>Αρχές όπλισης – αντισεισμική όπλιση</i>	189
	1. <i>Κατηγορίες οπλισμού</i>	189
	2. <i>Διαμόρφωση και τοποθέτηση των οπλισμών</i>	192
	3. <i>Αντισεισμική όπλιση</i>	193
	4. <i>Διάβρωση οπλισμού</i>	199
3.16.	<i>Η ιστορική διαδρομή των Ελληνικών Κανονισμών Σκυροδέματος</i>	209
4.	<i>Χάλυβες</i>	212
	4.1. <i>Ιστορικό</i>	212
	4.2. <i>Μέθοδοι παρασκευής</i>	217
	4.2.1. <i>Γενικά</i>	217
	4.2.2. <i>Παραγωγή</i>	217

	4.2.3. Δομικοί χάλυβες	218
	4.2.4. Χάλυβες οπλισμένου σκυροδέματος	219
4. 3	<i>Οι δομικοί χάλυβες στη χώρα μας</i>	221
4. 4.	<i>Προστασία του οπλισμού από διάβρωση- Αναστολείς διάβρωσης του οπλισμού σκυροδέματος</i>	224
5.	<i>Αστοχίες – Βλάβες κατασκευών από σκυρόδεμα</i> ...	235
5. 1.	<i>Ρηγματώσεις</i>	236
5. 2.	<i>Ρωγμές συστολής</i>	236
5. 3.	<i>Θερμοκρασιακές ρωγμές</i>	237
5. 4.	<i>Ελαττώματα εμφανούς σκυροδέματος</i>	238
5. 5.	<i>Η υδατοπερατότητα του σκυροδέματος</i>	238
5. 6.	<i>Επιφανειακή φθορά</i>	239
5. 7.	<i>Ρηγμάτωση, λόγω κρυστάλλωσης αλάτων στους πόρους</i>	239
5. 8.	<i>Επίδραση πυρκαϊάς</i>	239
5. 9.	<i>Χημικές διεργασίες</i>	240
5.10.	<i>Αντιδράσεις ανταλλαγής μάζας</i>	240
5.11.	<i>Σχηματισμός προϊόντων που προκαλούν διόγκωση</i>	240
5.12.	<i>Βιολογική επίδραση</i>	240
6.	<i>Χημική προσβολή σκυροδέματος και οπλισμού</i>	241
6. 1.	<i>Κατηγορίες χημικής διάβρωσης</i>	241
6. 2.	<i>Επίδραση μαλακού νερού</i>	242
6. 3.	<i>Επίδραση ανθρακικού οξέως</i>	243
6. 4.	<i>Επίδραση των οξέων</i>	243
6. 5.	<i>Επίδραση αλάτων</i>	244
6. 6.	<i>Επίδραση ελαιοειδών ουσιών</i>	244
6. 7.	<i>Επίδραση άλλων ουσιών</i>	245
6. 8.	<i>Βιολογική επίδραση</i>	245
6. 9.	<i>Επίδραση θαλάσσιου ύδατος</i>	247
6.10.	<i>Επίδραση του εδάφους και εδαφικού νερού</i> ...	247
7.	<i>Ενισχύσεις κατασκευών – Αντισεισμική θωράκιση</i> ..	248
7. 1.	<i>Γενικά</i>	248
7. 2.	<i>Μέθοδοι επισκευών και ενισχύσεων</i>	249
7. 3.	<i>Έγχυτο συμβατικό σκυρόδεμα</i>	249
7. 4.	<i>Έγχυτο σκυρόδεμα υψηλής αντοχής και σταθερού όγκου</i>	250
7. 5.	<i>Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα</i>	250
7. 6.	<i>Τσιμεντενέσεις ή τσιμεντοκονιάματα</i>	250
7. 7.	<i>Εποξειδικές ρητίνες</i>	250
7. 8.	<i>Επικόλληση ελασμάτων σε σκυρόδεμα</i>	250

7.9.	<i>Ηλεκτροσυγκόλληση νέων οπλισμών</i>	251
7.10.	<i>Επισκευή και ενίσχυση με σύνθετα υλικά</i>	251
7.11.	<i>Αποκατάσταση και ενίσχυση</i>	258
7.12.	<i>Επισκευή – ενίσχυση με μανδύες</i>	258
7.13.	<i>Ενίσχυση με μεταλλικά στοιχεία</i>	259
7.14.	<i>Επισκευή με ενέσεις</i>	260
7.15.	<i>Ενίσχυση με σύνθετα υλικά</i>	260
7.16.	<i>Σεισμική μόνωση κτιρίων</i>	261
	Α. Εισαγωγή - ιστορικό	261
	Β. Ενεργητικά-παθητικά συστήματα	261
7.17.	<i>Μέθοδοι σχεδιασμού της σεισμομόνωσης των κτιρίων</i>	262
7.18.	<i>Συμπεράσματα</i>	263
8.	<i>Επισκευές κατασκευών που έχουν υποστεί βλάβες</i>	264
8.1.	<i>Επιδιόρθωση διαβρωμένου οπλισμού</i>	265
8.2.	<i>Επισκευές δομικών στοιχείων σκυροδέματος</i>	265
	1. Επισκευή προβόλου ή εξώστη που ρηγματώθηκε από σεισμό	265
	2. Επισκευή δοκού σκυροδέματος με πλήρη αποδιοργάνωση	265
	3. Επισκευή πλακών σκυροδέματος με έντονη ρηγμάτωση άνω πέλματος	266
	4. Επισκευή τοιχίου σκυροδέματος που αποδιοργανώθηκε από σεισμό	266
	5. Επισκευή κόμβου στοιχείων σκυροδέματος που αποδιοργανώθηκε από σεισμό	266
	6. Επισκευή πλακών σκυροδέματος με βλάβη από κάμψη	267
	7. Επισκευή πλακών σκυροδέματος με έντονη ρηγμάτωση κάτω πέλματος	267
	8. Επισκευή πεδίλου με βλάβη υποστυλώματος κατώτατου ορόφου από σεισμό	267
	9. Επισκευή υποστυλώματος σκυροδέματος με βλάβη από σεισμό σε όλο το ύψος του..	267
	10. Επισκευή δοκού σκυροδέματος με έντονη ρηγμάτωση	268
	11. Επισκευή υποστυλώματος σκυροδέματος με μερική αποδιοργάνωση από σεισμό	268
	12. Επισκευή δοκού σκυροδέματος με έντονη ρηγμάτωση με τοπική αποδιοργάνωση	268
9.	<i>Προκατασκευή</i>	284

10. Προεντεταμένο σκυρόδεμα	290
11. Μέτρα ασφάλειας εργαζομένων	297
12. Βιβλιογραφία	300