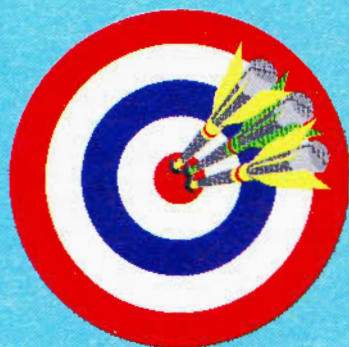


# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14**

## **ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ & ΧΑΛΥΒΑΣ**

- **Σκυρόδεμα**
  - Υλικά-Μίξη
  - Διάστρωση-Συμπύκνωση
  - Ιδιότητες
  - Αντοχή-Κατηγορίες
- **Χάλυβας**
  - Ιδιότητες
  - Κατηγορίες





### ΣΚΟΠΟΣ – ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο, θα μπορείτε:

- Τα υλικά και τη διαδικασία παρασκευής του σκυροδέματος.
- Τις ιδιότητες του σκυροδέματος καθώς και τη διαδικασία διάστρωσης και συμπύκνωσης.
- Τις ιδιότητες και τις κατηγορίες χάλυβα.

Τελικά θα έχετε μια γενικότερη γνώση ως προς τη διαδικασία παραγωγής, ιδιότητες και χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και του χάλυβα, που θα βοηθήσει σε επόμενα κεφάλαια να αντιληφθείτε τη λειτουργία των δύο συνεργαζόμενων υλικών μαζί στο ίδιο δομικό στοιχείο.



## 14.2 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

### 14.2.1 Εισαγωγή

Το σκυρόδεμα (beton) είναι ένα τεχνητό δομικό υλικό, που παρασκευάζεται από τσιμέντο, αδρανή (αμμοχάλικα) και νερό. Το μίγμα του νωπού σκυροδέματος σκληραίνεται και μεταβάλλεται σε στερεό σώμα με υψηλές αντοχές.

Η αντοχή του σκυροδέματος καθορίζεται από την αντοχή του τσιμέντου και των αδρανών, σε ένα δεδομένο μίγμα. Με διαφορετικά πρόσθετα, μπορούμε να βελτιώσουμε ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος, τόσο στη νωπή, όσο και στη στερεά κατάσταση. Για την παρασκευή ενός καλού σκυροδέματος, δεν αρκεί μόνο η εκλογή των κατάλληλων υλικών, αλλά είναι επίσης εξίσου απαραίτητες, η επιμελημένη παρασκευή, η σωστή κατεργασία και τέλος, η συντήρηση του σκυροδέματος.

Το σκυρόδεμα σήμερα είναι το σημαντικότερο δομικό υλικό σε φέροντα δομικά στοιχεία. Κατά συνέπεια, χρειάζεται η βαθιά και ολοκληρωμένη γνώση της τεχνολογίας του σκυροδέματος, ώστε κάθε εμπλεκόμενος στη κατασκευή να μπορέσει να αντιληφθεί και να ενεργήσει για την ασφάλεια και την οικονομικότητα των δομικών έργων, που θα μελετήσει και θα κατασκευάσει.

Το σκυρόδεμα διακρίνεται σε τρία είδη, ανάλογα με το φαινόμενο βάρος του.

α) Σύνηθες σκυρόδεμα  $2-2,8 \text{ g/cm}^3$

β) Ελαφροσκυρόδεμα  $0,3-2,0 \text{ g/cm}^3$

γ) Βαρύ σκυρόδεμα  $>2,8 \text{ g/cm}^3$

Περισσότερες λεπτομέρειες για το ελαφρό και βαρύ σκυρόδεμα δίνονται στο τέλος αυτού του κεφαλαίου.

### 14.2.2 Τα υλικά παρασκευής του σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα παρασκευάζεται από τσιμέντο, αδρανή και νερό. Έτσι για κάθε ένα από τα συστατικά αυτά έχουμε:

#### Το τσιμέντο

Το τσιμέντο, σε αντίθεση με άλλες φυσικές κονιές (υλικά δηλαδή που χρησιμοποιούνται ως συγκολλητικά (συνδετικά) σε κατάσταση στερεή, ρευστή, σε μορφή διαλύματος ή αιωρήματος, το οποίο όταν αναμειχθεί και κατεργασθεί υπό ορισμένες αναλογίες με ένα ρευστό μέσο μεταβάλλεται σε πολτό) είναι βιομηχανικό προϊόν, που παρασκευάζεται με ειδική επεξεργασία ασβεστόλιθου και αργίλου. Ανακαλύφθηκε από τον Αγγλο J. Aspdin το 1824, που του έδωσε το όνομα «τσιμέντο Πόρτλαντ», γιατί το νέο υλικό είχε το ίδιο χρώμα με αυτό των εδαφών της περιοχής Πόρτλαντ της Αγγλίας.

Η σειρά εργασιών για την παραγωγή τσιμέντου είναι:

- α. Εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων και αργιλικών εδαφών ξεχωριστά. Τα πετρώματα περνούν από σπαστήρες ώστε να τεμαχιστούν.
- β. Μετά την έξοδό τους από τους σπαστήρες γίνεται ανάμιξη των δύο υλικών.
- γ. Αλέθονται σε τριβεία, ώστε να αποκτήσουν διάμετρο λίγων χιλιοστών.
- δ. Το μίγμα εισάγεται στο πάνω άκρο κυλινδρικής καμίνου, η οποία περιστρέφεται αργά γύρω από τον άξονά της. Η θερμοκρασία μέσα στην κάμινο είναι περίπου 600° στο πάνω άκρο, ενώ φτάνει τους 1500° στο κάτω άκρο, όπου και θερμαίνεται. Τα προϊόντα της οπτήσεως ονομάζονται εκβολάδες ή Klinker.
- ε. Το Klinker αλέθεται και αποκτά τη γνωστή μορφή τσιμέντου. Το υλικό αυτό ονομάζεται «τσιμέντο Πόρτλαντ».

Ανάλογα με τη σύνθεσή τους, τον βαθμό αλέσεως και τα πρόσθετα υλικά, τα τσιμέντα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους και κατηγορίες. Σύμφωνα με τον Κανονισμό Τσιμέντων για τα έργα από Σκυρόδεμα (Π.Δ. 244/29-2-80) τα παραγόμενα τσιμέντα κατατάσσονται στους ακόλουθους τύπους:

- *Τύπος I: Τσιμέντο Πόρτλαντ*

Χαρακτηρίζονται ως τσιμέντα Πορτλαντ τα τσιμέντα που προέρχονται από την άλεση του Klinker με τις ελάχιστες αναγκαίες προσθήκες. Αυτές είναι γύψος για τη ρύθμιση της πήξεως (συνήθως 2-3%) και φίλλερ (filler) έως 3% κατά βάρος.

- *Τύπος II: Τσιμέντα Πόρτλαντ με ποζολάνες*

Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που περιέχουν εκτός από τα προηγούμενα υλικά και ποζολάνη έως 20% κατά βάρος. Ειδικά το τσιμέντο με ποσοστό 10% ποζολάνης ονομάζεται Τσιμέντο Πόρτλαντ Ελληνικού τύπου (τύπος IIa).

Ποζολάνες ονομάζονται πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, που έχουν την ιδιότητα να ενώνονται με την υδράσβεστο και να σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις, που με τον χρόνο σκληρύνονται και αποκτούν μικρές ή μεγαλύτερες αντοχές.

- *Τύπου III: Ποζολανικά τσιμέντα Πόρτλαντ*

Τα ποζολανικά τσιμέντα περιέχουν ποζολάνη σε ποσοστό 20-40% κατά βάρος.

- *Τύπου IV: Τσιμέντα Πόρτλαντ ανθεκτικά στα θειικά άλατα*

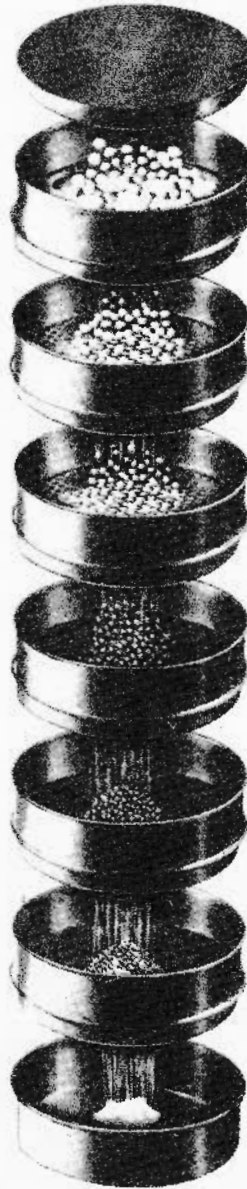
Τα τσιμέντα του τύπου αυτού δεν έχουν προσθήκες αλλά, σε σχέση με τον τύπο I, έχουν αργιλικό τριασβέστιο ( $C_3A$ ) μειωμένο.

Από άποψη αντοχής τα τσιμέντα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, τις 35, 45 και 55, όπου κάθε αριθμός παριστάνει την αντοχή των τσιμέντων σε Μρα, όπως προσδιορίζεται συμβατικά σύμφωνα με τον κανονισμό.

Η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος οφείλεται αποκλειστικά στη χημική δράση μεταξύ τσιμέντου και νερού. Τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό ύστερα από μία σειρά περίπλοκων χημικών δράσεων που διαρκούν επί χρόνια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ενυδάτωση** του τσιμέντου. Για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, το μείγμα νερού-τσιμέντου (και αδρανών για το σκυρόδεμα) δεν φαίνεται να παρουσιάζει καμία μεταβολή. Αργότερα όμως φαίνεται ότι αρχίζει να πήζει προοδευτικά έως ότου στερεοποιηθεί τελείως. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **πήξη** της τσιμεντοκονίας.

## Τα αδρανή

Τα αδρανή υλικά οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι παραμένουν χημικώς αδρανή αντίθετα από το τσιμέντο και το νερό. Τα αδρανή υλικά συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους με την κονία (τσιμέντο) και συμβάλλουν μόνο μηχανικά στην αντοχή του σκυροδέματος.



Σχήμα 14.1 Διαδοχικά κόσκινα για τον διαχωρισμό βάσει του μεγέθους του κόκκου\*.



Κατά κανόνα ως αδρανή χρησιμοποιούνται συντρίμματα διαφόρων πετρωμάτων. Τα πετρώματα ή θραύονται τεχνητά (θραυστά) ή συλλέγονται όπως είναι στη φύση (συλλεκτά). Τα κατάλληλα πετρώματα είναι τα ασβεστολιθικά και τα πυριτικά.

Η καταλληλότητα ενός πετρώματος για την παρασκευή σκυροδέματος έχει να κάνει με την αντοχή του, την καθαρότητα (ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών), την πρόσφυση με την κονία και τη χημική συμπεριφορά.

Ένα πολύ σημαντικό κριτήριο διαχωρισμού των αδρανών είναι η διάμετρος του κόκκου. Έτσι χρησιμοποιούμε την **κοκκομετρική σύνθεση** ή **διαβάθμιση**, δηλαδή τον διαχωρισμό και την κατάταξη των κόκκων σε ομάδες από άποψη μεγέθους. Δηλαδή η κοκκομετρική σύνθεση προσδιορίζει την ποσοστιαία κατ'όγκο αναλογία κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων του υλικού. Για να προσδιορισθούν οι κατηγορίες μεγέθους χρησιμοποιούνται κόσκινα (σχήμα 14.1) που έχουν καθορισμένη διάμετρο οπών. Παραδείγματος χάρη, οι κόκκοι που περνούν από το κόσκινο με διάμετρο οπών 7mm και δεν περνάνε από το κόσκινο με διάμετρο οπών 3mm, λέμε ότι έχουν διάμετρο μεταξύ 3 και 7mm.

## Το νερό

Το νερό είναι ένα από τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Η βασική απαίτηση απέναντι στο νερό είναι να μην περιέχει συστατικά που μπορούν να βλάψουν ή να επηρεάσουν τις αντιδράσεις ενυδάτωσης ή, εάν τα περιέχει, αυτά, να μην ξεπερνούν όρια που καθορίζονται από τον κανονισμό. Τέτοιες ουσίες είναι:

α. *Ζάχαρη* – είναι μία από τις πύο επιβλαβείς ουσίες, γιατί ανακόπτει τελείως τη χημική αντίδραση ανάμεσα στο νερό και το τσιμέντο και επομένως εμποδίζει την πήξη.

β. *Οξέα* – όπως το ανθρακικό οξύ ή άλλα οργανικής προέλευσης, δεσμεύουν το ασβέστιο που είναι απαραίτητο για την πήξη. Η βλαπτικότητα του γίνεται περισσότερο αισθητή σε τσιμέντα με μικρή περιεκτικότητα σε ασβέστιο.

γ. *Λάδια και λίπη* – δρουν μηχανικά περιβάλλοντας τους κόκκους του τσιμέντου και παρεμποδίζοντας μ'αυτό τον τρόπο την επαφή τους με τα μόρια νερού.

δ. *Οργανικές ουσίες* – γενικά επηρεάζουν ανασταλτικά την πήξη.

### 14.2.3 Νωπό σκυρόδεμα

Η ποιότητα ενός σκυροδέματος εξαρτάται κυρίως από τις ιδιότητες και από τη σύνθεση του νωπού σκυροδέματος. Η σπουδαιότερη ιδιότητα, από την οποία εξαρτώνται, σχεδόν, όλες οι ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος, είναι το πορώδες. Το πορώδες ενός συνήθους σκυροδέματος εξαρτάται κυρίως από τον υδατοτσιμεντοσυντελεστή

$w = \frac{W}{Z} = \frac{\text{νερό}}{\text{τσιμέντο}}$ , τη συμπύκνωση και τον βαθμό ενυδάτωσης. Ο όγκος του

τσιμεντοπολτού σε ένα δεδομένο σκυρόδεμα αποτελείται από τον όγκο του τσιμέντου, από τον όγκο του νερού μίξεως και από τον όγκο των πόρων του αέρος. Οι πόροι του αέρος μπορεί να οφείλονται στη συμπύκνωση ή να είναι τεχνητοί (με πρόσθετα).

Ο όγκος του σκυροδέματος δίνεται με την εξίσωση:

$$V = V_k + V_m$$

με  $V_k =$  όγκος των αδρανών και  $V_m = V_z + V_w + V_a = 1000 - V_k =$  όγκος Τσιμεντοπολτού,

$V_z =$  όγκος τσιμέντου,  $V_a =$  όγκος πόρων αέρος,  $V_w =$  όγκος νερού μίξεως.

Το είδος του τσιμέντου επηρεάζει το πορώδες του τσιμεντολιθώματος, ανάλογα με τη χημική σύνθεσή του και ανάλογα με τη λεπτότητα του κόκκου.

#### 14.2.4 Αναλογίες μίξεως σκυροδέματος

Οι αναλογίες μίξεως του σκυροδέματος πρέπει να υπολογίζονται πάντα σε μέρη βάρους, όπου λαμβάνεται υπόψη και η υγρασία των αδρανών. Σε περίπτωση που οι αναλογίες μίξεως γίνουν σε μέρη όγκου, τότε πρέπει να γνωρίζουμε ότι οι διακυμάνσεις στις αναλογίες μπορούν να φθάσουν έως και 40%, γιατί η υγρασία των αδρανών επηρεάζει σημαντικά το χαλαρό φαινόμενο βάρους τους. Οι αναλογίες μίξεως (AM) δίνονται με τις σχέσεις:

AM=Z:K:W= τσιμέντο: αδρανή: νερό ή

AM= 1:k:w κατά βάρους

$$\text{όπου } k = \frac{K}{Z} = \frac{\text{αδρανή}}{\text{τσιμέντο}} \text{ και } w = \frac{W}{Z} = \frac{\text{νερό}}{\text{τσιμέντο}}$$

Π.χ. 1:k:w= 1:6:0,5

Ο τσιμεντοπολτός που απαιτείται για την παρασκευή ενός σκυροδέματος, καθορίζεται από τον όγκο των κενών του μίγματος των αδρανών και από την ποσότητα του τσιμεντοπολτού μεταξύ των κόκκων, η οποία απαιτείται για την επιθυμητή εργασιμότητα του σκυροδέματος. Έτσι, ο απαιτούμενος τσιμεντοπολτός είναι τόσο μεγαλύτερος όσο μικρότερος είναι ο λόγος w.

Η ποσότητα του τσιμέντου ανά  $m^3$  σκυροδέματος πρέπει να είναι τουλάχιστον:

- α)  $100\text{kg}/m^3$  για άοπλο σκυρόδεμα,
- β)  $280\text{kg}/m^3$  για οπλισμένο και κατηγορία τσιμέντου 35,
- γ)  $240\text{kg}/m^3$  για οπλισμένο και κατηγορίες τσιμέντου 45-55.

Γενικά, η αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος επιφέρει βελτίωση της εργασιμότητας και προστατεύει τον οπλισμό από τη διάβρωση. Για τον λόγο ακριβώς της προστασίας του οπλισμού από τη διάβρωση, θεσπίστηκαν ελάχιστα όρια της περιεκτικότητας του σκυροδέματος σε τσιμέντο.

#### 14.2.5 Νερό μίξεως

Το νερό μίξεως αποτελείται από το νερό που προστίθεται κατά την ανάμιξη του σκυροδέματος και από την υγρασία των αδρανών. Η ποσότητα του νερού μίξεως εξαρτάται από την απαιτούμενη συνεκτικότητα και την εργασιμότητα του σκυροδέματος και κυμαίνεται, συνήθως, από  $w=0,4$  έως  $0,75$ .

Το νερό μίξεως είναι καθοριστικό για την αντοχή και την υδατοπερατότητα του σκυροδέματος, επηρεάζει επίσης την προστασία της διάβρωσης του σιδηρού οπλισμού, γι' αυτό και οι κανονισμοί περιορίζουν τον λόγο  $w$  σε ορισμένα όρια.

#### 14.2.6 Πρόσθετα σκυροδέματος

Τα πρόσθετα είναι ουσίες σε υγρή ή στερεά κατάσταση και χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν κατά περίπτωση ορισμένες ιδιότητες, τόσο του νωπού, όσο και του σκληρυμένου σκυροδέματος. Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 1% του βάρους του τσιμέντου και πρέπει να μη βλάπτουν την προστασία του σιδηρού οπλισμού από τη διάβρωση. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν πρόσθετα σε σιδηροπαγές σκυροδέμα που περιέχουν υδατοδιαλυτό  $Cl$  (όπως π.χ. το  $CaCl_2$ ), το οποίο προκαλεί διάβρωση του σιδηρού οπλισμού.

Τα πρόσθετα επηρεάζουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος κατά χημικό, φυσικό ή φυσικοχημικό τρόπο. Ο τρόπος επενεργείας των προσθέτων είναι γενικά διαφορετικός για κάθε περίπτωση. Μεταξύ των προσθέτων διακρίνουμε δύο κατηγορίες, οι οποίες παρουσιάζουν υδρόφοβο (π.χ. αερακτικά) ή υδρόφιλο χαρακτήρα (π.χ. πλαστικοποιά πρόσθετα). Πριν από τη χρήση οποιουδήποτε προσθέτου, πρέπει να γίνεται εργαστηριακός έλεγχος καταλληλότητας.

Τα κυριότερα πρόσθετα περιγράφονται παρακάτω.

##### *A. Πλαστικοποιά πρόσθετα*

Τα πλαστικοποιά πρόσθετα ελαττώνουν την επιφανειακή τάση του νερού και έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη διάβρεξη των κόκκων, η οποία έχει ως συνέπεια τη βελτίωση της πλαστικότητας του σκυροδέματος (καλύτερη εργασιμότητα) και τη μείωση του νερού μίξεως. Η μείωση του νερού μίξεως βελτιώνει το πορώδες και την αντοχή του σκυροδέματος.

### *Β. Αερακτικά πρόσθετα*

Τα αερακτικά σχηματίζουν στο σκυρόδεμα μικροφουσαλλίδες διαμέτρου περίπου 0,2mm, με απόσταση μεταξύ τους 0,25mm περίπου. Οι μικροφουσαλλίδες διακόπτουν την τριχοειδή ενέργεια των τριχοειδών πόρων και επιφέρουν κυρίως προστασία έναντι του παγετού και της δράσης διαφόρων διαλυμάτων αλάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται στους δρόμους λόγω του παγετού.

### *Γ. Στεγανωτικά μάζας*

Τα πρόσθετα του είδους αυτού, έχουν ως κύριο σκοπό να μην επιτρέψουν τη διείσδυση του νερού μέσα στη μάζα του σκληρυμένου σκυροδέματος. Ο τρόπος επενεργείας μπορεί να είναι ο υδρόφοβος χαρακτήρας τους, η διακοπή των τριχοειδών πόρων, ή η μείωση της διαμέτρου των τριχοειδών πόρων. Τα στεγανωτικά μάζης μειώνουν επίσης και την απαιτούμενη ποσότητα του νερού μίξεως σε μια δεδομένη σύνθεση σκυροδέματος.

Κατά της χρήσεως των προσθέτων μάζης, επικρατεί η άποψη, ότι τα πρόσθετα αυτά δεν εξασφαλίζουν πάντοτε τον επιδιωκόμενο σκοπό, επειδή έχουν καλή αποτελεσματικότητα μόνο σε περίπτωση ευνοϊκής σύνθεσης του σκυροδέματος και επιπλέον η διάρκεια δράσεως δεν είναι απόλυτα εξασφαλισμένη. Άλλωστε η τεχνολογία του σκυροδέματος μας επιτρέπει σήμερα, να παρασκευάσουμε ένα τελείως πυκνό σκυρόδεμα και χωρίς πρόσθετα.

### *Δ. Επιβραδυντικά πρόσθετα*

Η δράση των προσθέτων επιβραδύνσεως οφείλεται στο γεγονός, ότι τα υλικά αυτά σχηματίζουν ένα φιλμ επάνω στην επιφάνεια του κόκκου του τσιμέντου και έτσι επιφέρουν επιβράδυνση στην πήξη. Η επιβράδυνση αυτή βοηθάει, γιατί το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να συμπυκνωθεί και μετά από πολλές ώρες, έτσι ώστε σε πολλά έργα να μη χρειάζονται αρμοί διακοπής (π.χ. στα υδραυλικά έργα).

### *Ε. Επιταχυντικά πρόσθετα*

Τα πρόσθετα που επιταχύνουν την πήξη χρησιμοποιούνται συνήθως σε εποχές που επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες ή στην κατασκευή προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων.

Ο τρόπος της δράσης τους είναι συνήθως η ταπείνωση του σημείου πήξεως του νερού και η επιτάχυνση του μηχανισμού της σκλήρυνσης του τσιμεντοπολτού.

Το πιο διαδεδομένο πρόσθετο του είδους αυτού ήταν το  $\text{CaCl}_2$ , το οποίο σήμερα απαγορεύεται να χρησιμοποιείται στο σιδηροπαγές σκυρόδεμα, λόγω της διάβρωσης που επιφέρει στο σιδηρού οπλισμό.