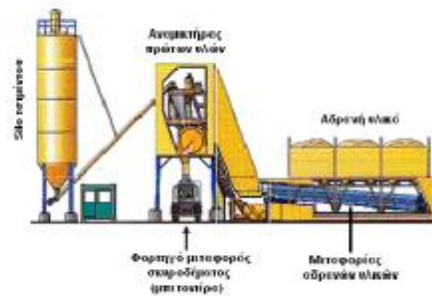


ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ



Σχήμα 7.2. Διάταξη μηχανημάτων και αποθεσίων πρώτων υλών κατά την υγρή μέθοδο παρασκευής έτοιμου σκυροδέματος.

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΦΡΑΓΚΟΥΛΙΑΣ
ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΧΑΤΖΗΓΕΩΡΓΙΟΥ**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΑΚΑΒΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία χωρίζεται σε τρία κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται τα γενικά στοιχεία που περιγράφουν την σύνθεση των κονιαμάτων και τις πρώτες ύλες, ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφουμε την σύνθεση των κονιαμάτων με νανουλικά. Στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας μας περιγράφουμε τους υπολογισμούς που χρειάζονται για τη σύνθεση του σκυροδέματος καθώς επίσης δίνουμε και ένα αριθμητικό παράδειγμα.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 ^ο ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	4
1.1 Ορισμοί, γενική περιγραφή υλικού.....	4
1.2 Πρώτες ύλες.....	6
1.3 Ισχύουσες προδιαγραφές και απαιτήσεις ποιότητας για τον ασβέστη.	11
1.4 Άλλες αερικές κονίες.....	16
1.5 Τεχνικές εφαρμογής.....	23
1.6 Η εξάνθηση των τοιχοποιών.....	25
1.7 Η δημιουργία πεταλίδων (pitting and popping).....	26
1.8 Ρηγματώσεις.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΝΑΝΟΥΛΙΚΑ.....	28
2.1 Εισαγωγή.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ.....	32
3.1 Διαδικασία Μελέτης Σύνθεσης Σκυροδέματος.....	32
3.2 Υπολογισμοί Σύνθεσης Σκυροδέματος.....	36
3.3 Απαιτήσεις για το Σκυρόδεμα.....	37
3.4 Βασικές Σχέσεις της Μελέτης Σύνθεσης.....	38
3.5 Πειραματικό Μέρος.....	40
3.6 Προσδιορισμός της απαιτούμενης ποσότητας αδρανών.....	48
3.7 Επισημάνσεις - Παρατηρήσεις.....	52
3.8 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΤΟΙΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	55
3.8.1 Μέθοδοι παραγωγής και διαγράμματα ροής μονάδων παραγωγής σκυροδέματος.....	55
3.9 Προσδιορισμός της σύνθεσης του σκυροδέματος.....	58
3.10 Τα υλικά του σκυροδέματος.....	61
3.10.1 Τα αδρανή στην παραγωγή σκυροδέματος.....	61
3.10.2 Επίδραση των λεπτομερών αδρανών στη σύνθεση αδρανών σκυροδέματος.....	65
3.11 Μέθοδοι προσδιορισμού των κατάλληλων κοκκομετρικών συνθέσεων αδρανών.....	67
3.12 Βέλτιστη σύνθεση αδρανών σκυροδέματος (Optimum Aggregate Blend).....	75
3.13. Χημικά πρόσθετα.....	80
3.14 Προσδιορισμός της Ογκομετρικής Σύνθεσης του Σκυροδέματος.....	86
3.15. Οι συμπληρωματικές απαιτήσεις.....	91
3.15.1. Προσδιορισμός της % περιεκτικότητας σκυροδέματος σε λεπτομερή αδρανή (fine aggregate content).....	92
3.15.2. Προσαρμογή των αποτελεσμάτων σε περίπτωση περιεχόμενης υγρασίας στα αδρανή.....	93
3.16. Αριθμητικό παράδειγμα προσδιορισμού σύνθεσης πρώτων υλών σκυροδέματος.....	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	99

Κεφάλαιο 1^ο ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 Ορισμοί, γενική περιγραφή υλικού¹

Κονιάματα είναι μίγματα μίας ή περισσότερων συνδετικών υλών (κονιών), νερού, λεπτόκοκκων αδρανών (<4mm) και ενδεχομένως ειδικών προσθέτων, τα οποία έχουν αξιόλογη ρευστότητα και πλαστικότητα όταν είναι νωπά, αποκτούν δε μετά την πήξη και σκλήρυνση της συνδετικής ύλης, μηχανική αντοχή και άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου κονιάματος εξαρτώνται από το είδος και τις αναλογίες των πρώτων υλών, από τον τρόπο ανάμιξης και μορφοποίησης και από τις συνθήκες που επικρατούν και εφαρμόζονται κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης.

Τα κονιάματα μπορούν να διαιρεθούν κατά διάφορους τρόπους όπως :

- Ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης που εξαρτάται από το είδος της κονιάς, σε υδραυλικά και αερικά.
- Ανάλογα με το φαινόμενο βάρος τους σε ελαφριά (<1500Kg/m³) και βαριά (>1500Kg/m³).
- Ανάλογα με το είδος της κονιάς ή των αδρανών σε:

Τσιμεντοκονιάματα με συνδετική ύλη το τσιμέντο

Άσβεστοκονιάματα με συνδετική ύλη τον πολτό άσβεστου ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο.

Τσιμεντοασβεστοκονιάματα ή μικτά κονιάματα με μίγμα τσιμέντου και άσβεστου ως συνδετική ύλη.

Ποζολανικά κονιάματα με συνδετική ύλη άσβεστο (με μερική υποκατάσταση με τσιμέντο) και ποζολάνη (φυσική ή τεχνητή).

1

Μαρμαροκονιάματα με κύριο αδρανές την μαρμαρόσκονη αντί της άμμου και συνδετική ύλη ασβέστη ή τσιμέντο (με ενδεχόμενη μικρή προσθήκη γύψου)

Γυψοκονιάματα με κύριο συνδετικό υλικό την γύψο.

- Ανάλογα με την χρήση τους σε κονιάματα δόμησης ή κονιάματα τοιχοποιίας, κονιάματα επιχρισμάτων, ισοπεδωτικά ή κονιάματα εξίσωσης δαπέδων, επισκευαστικά κονιάματα και συγκολλητικά όπου υπάγονται οι διάφορες κόλλες. Διάφορες επιμέρους κατηγορίες όπως θερμομονωτικά, ηχομονωτικά, πυράντοχα κλπ, είναι υποπεριπτώσεις των παραπάνω γενικών διαιρέσεων.

Η σύνθεση των μικτών κονιαμάτων εκφράζεται με τρεις αριθμούς που αναφέρονται, με την σειρά, σε μέρη όγκου τσιμέντου προς ασβέστη προς άμμο. Όταν γίνεται αναφορά σε απλά κονιάματα (με μία κονία) πάλι προτίθεται ο όγκος της κονίας σε σχέση με τον όγκο της άμμου. Είναι προφανές ότι τα παραπάνω κονιάματα έχουν διαφορετικές συνθέσεις και ιδιότητες ανάλογα με την χρήση τους, όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια.

Τα κονιάματα που προορίζονται για τα διάφορα δομικά έργα, έχουν ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών χρήσεων, ανάλογα με τις επιδιωκόμενες ιδιότητες που εξαρτώνται από την σύνθεση και την ποσοστιαία αναλογία των πρώτων υλών αλλά και τον τρόπο παρασκευής των. Τα σημεία ακριβώς αυτά είναι που διαφοροποιούν τα κονιάματα από τις υπόλοιπες κατηγορίες δομικών προϊόντων. Στα κονιάματα και σε μικρότερο βαθμό στα σκυροδέματα, ο μηχανικός δεν καλείται να επιλέξει από μία κατηγορία παρεμφερών έτοιμων δομικών προϊόντων αυτό που καλύπτει τις ιδιότητες του έργου του, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, συνεκτιμώντας πολλές παραμέτρους, σχεδιάζει ή επιλέγει το καταλληλότερο για την περίπτωση του.

Από όσα περιληπτικά αναφέρθηκαν προηγουμένως, είναι προφανές ότι ένα υλικό όπως είναι το κονίαμα, που προορίζεται για να συνδέσει μεταξύ τους τα διάφορα στοιχεία για δημιουργία μιας ενιαίας μονολιθικής μάζας που να αντέχει σε υψηλά φορτία, είναι

απαραίτητο να αναπτύσσει ικανοποιητικές αντοχές με μεγάλο συντελεστή ασφαλείας. Παράλληλα με τις αντοχές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλες σημαντικές τους ιδιότητες οι οποίες καθορίζουν την ποιότητα του κονιάματος και τα πεδία εφαρμογής του. Οι επιπλέον αυτές ιδιότητες είναι η εργασιμότητα για τα νωπά κονιάματα και η πρόσφυση και η ανθεκτικότητα για τα σκληρυμένα. Οι ιδιότητες αυτές είναι σύνθετες και συντίθενται από άλλες επί μέρους που με την σειρά τους εξαρτώνται από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν στην αρχή και που σχετίζονται με τις πρώτες ύλες και τον τρόπο παρασκευής των κονιαμάτων.

1.2 Πρώτες ύλες

Με βάση τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 998-1:2003 και ΕΛΟΤ EN 998-2:2003, που αναφέρονται στις δύο πρώτες κατηγορίες κονιαμάτων, οι οποίες είναι και οι περισσότερο διαδεδομένες οι συνηθέστερες πρώτες ύλες για τα κονιάματα είναι οι κονίες (συνδετικά υλικά), τα αδρανή, τα χημικά πρόσμικτα, τα πρόσθετα και το νερό. Επιμέρους εξειδικευμένες πρώτες ύλες (όπως πχ είναι το $Mg(OH)_2$ και το $MgCl_2$ για τα κονιάματα διαπέδων κλπ) αναφέρονται στις αντίστοιχες παραγράφους των διαφόρων κεφαλαίων.

Ως κονίες χρησιμοποιούνται τα τσιμέντα, οι ασβέστες, τα τσιμέντα τοιχοποιίας, οι γύψοι και άλλα ανόργανα υλικά με αποδεδειγμένη καταλληλότητα όπως είναι τα ποζολανικά υλικά.

Τσιμέντο.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τύποι CEM I, CEM II και CEM IV κατά ΕΛΟΤ EN 197-1:2000 με την προϋπόθεση ότι δεν έχουν υποστεί αλλοιώσεις από μακροχρόνια ή κακή αποθήκευση. Στο ίδιο πρότυπο αναφέρονται όλες οι απαιτήσεις ποιότητας (ελάχιστες ή μέγιστες τιμές των φυσικών, χημικών και μηχανικών ιδιοτήτων) που πρέπει να καλύπτουν τα τσιμέντα προκειμένου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κονίες στα κονιάματα.

Άσβεστος

Ο όρος άσβεστος (ασβέστης) είναι ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει όλες τις φυσικές και χημικές μορφές των διαφόρων ποιοτήτων με τις οποίες το οξείδιο ή/και το υδροξείδιο του ασβεστίου και του μαγνησίου μπορούν να εμφανισθούν. Επειδή πολλές φορές προκαλείται σύγχυση με την ορολογία του ασβέστη κρίνεται σκόπιμο να δοθούν οι σημαντικότεροι ορισμοί κατά ΕΛΟΤ EN 459-1:2001 καθώς και οι υποδιαιρέσεις των δομικών ασβέστων που είναι κατάλληλες για κονιάματα.

Υδραυλικές άσβεστοι (hydraulic limes).

Είναι άσβεστοι που κυρίως συνίστανται από πυριτικά άλατα του ασβεστίου και του αργιλίου καθώς και υδροξείδιο του ασβεστίου. Παράγονται με έψηση πλουσίων σε αργίλιο ασβεστόλιθων και στην συνέχεια σβήσιμο και άλεση ή με την ανάμειξη των κατάλληλων υλικών με υδροξείδιο του ασβεστίου. Έχουν την ιδιότητα να πήζουν και να σκληραίνονται όταν έρχονται σε επαφή με το νερό. Το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει θετικά στην διαδικασία της σκλήρυνσης. Διακρίνονται στις υδραυλικές και στις φυσικές υδραυλικές ασβέστους. Δεν παράγονται βιομηχανικά στην Ελλάδα.

Η φυσική υδραυλική άσβεστος προέρχεται από έψηση ειδικών μαργαϊκών ασβεστόλιθων που περιέχουν 5-20% άργιλο. Η έψηση γίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες από αυτές του τσιμέντου και συγκεκριμένα από 900-1300°C Η άσβεστος αυτή έχει υδραυλικές ιδιότητες που οφείλονται στις ενώσεις του ασβεστίου με το πυρίτιο το αργίλιο και τον σίδηρο που αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες της κονιάς. Μειονεκτεί όμως σημαντικά λόγω του μεγάλου ποσοστού του ελεύθερου CaO που περισεύει. Για τον λόγο αυτόν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσια στα διάφορα κονιάματα, αλλά απαιτεί ποζολάνες ώστε να δεσμευτεί το ελεύθερο CaO με το ενεργό SiO₂ που αυτές ως γνωστόν έχουν.

Αερικές άσβεστοι (air limes).

Άσβεστοι που κυρίως συνίστανται από οξείδιο ή υδροξείδιο του ασβεστίου και οι οποίες σκληραίνονται αργά στον αέρα κάτω από την επίδραση του διοξειδίου του

άνθρακα της ατμόσφαιρας. Κατά κανόνα δεν σκληραίνονται κάτω από το νερό καθόσον δεν έχουν υδραυλικές ιδιότητες.

Ασβηστοί άσβεστοι (Quicklimes).

Είναι αερικές άσβεστοι που συνίστανται κυρίως από οξείδιο του ασβεστίου και του μαγνησίου και παράγονται κατά την ασβεστοποίηση των ασβεστολίθων.

Παρουσιάζουν εξώθερμη αντίδραση όταν έρχονται σε επαφή με το νερό. Ανάλογα με το μέγεθος των χαρακτηρίζονται ως λίθοι, κοκκώδεις, αλεσμένες, πολύ αλεσμένες.

Σβησμένες άσβεστοι (slaked ή hydrated limes).

Είναι αερικές άσβεστοι που κυρίως συνίστανται από υδροξείδιο του ασβεστίου που προέρχεται από ελεγχόμενο σβήσιμο (προσθήκη νερού) των άσβηστων ασβέστων. Παράγονται ως ξηρά σκόνη (σκόνη υδρασβέστου ή υδράσβεστος) και στην Ελλάδα κυρίως ως πολτός και δεν εμφανίζουν εξώθερμη αντίδραση σε επαφή με το νερό. Με τις μορφές αυτές συμμετέχουν στα κονιάματα. Σε αυτές υπάγονται και οι Δολομιτικές υδράσβεστοι που είναι σβησμένες άσβεστοι που συνίστανται κυρίως από υδροξείδιο του ασβεστίου και του μαγνησίου καθώς και οξείδιο του μαγνησίου. Διακρίνονται σε α) ημιενυδατωμένες που αποτελούνται από υδροξείδιο του ασβεστίου και οξείδιο του μαγνησίου και β) σε πλήρως ενυδατωμένες που είναι μόνο υδροξείδια. Δεν παράγονται βιομηχανικά στην Ελλάδα. Ειδική περίπτωση είναι το Γαλάκτωμα ή γάλα ασβέστου (milk of lime), που είναι το προϊόν που παρασκευάζεται όταν αραιωθεί με νερό, αρίστης ποιότητας πολτός ασβέστου. Χρησιμοποιείται κυρίως στους λευκούς χρωματισμούς σε συνδυασμό με άλλα υλικά που του επαυξάνουν τις ιδιότητες του. Το αιώρημα αυτό συνήθως περιέχει έως 40% κ.β. στερεά.

Η υδράσβεστος σε σκόνη.

Όπως σημειώθηκε προηγουμένως προκύπτει με ελεγχόμενη προσθήκη νερού στο οξείδιο του ασβεστίου. Βιομηχανικά παρασκευάζεται σε διατάξεις διακοπτόμενης ή

συνεχούς λειτουργίας, αφού προηγουμένως η άσβεστος θρυμματισθεί σε κομμάτια μικρότερα από 2cm. Επειδή όμως η αντίδραση είναι εξώθερμη και γίνεται με ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας, ένα μέρος του νερού εξατμίζεται. Γι' αυτό στην βιομηχανική πράξη η σβέση γίνεται με νερό σε αναλογία 60-65%, οπότε προκύπτει η σκόνη. Μετά την παραγωγή της πρέπει πρώτα να υποβληθεί σε καθαρισμό με τον οποίον απομακρύνονται οι άσβεστοι, άψητοι και υπερψημένοι κόκκοι και στην συνέχεια να κονιοποιηθεί λεπτά και να σακκευθεί. Σε περισσότερο σύγχρονες εγκαταστάσεις, η κατεργασία γίνεται με την χρησιμοποίηση αυξημένης πίεσης οπότε η ενυδάτωση είναι συντομότερη και πληρέστερη.

Η σκόνη έχει χρώμα υπόλευκο έως λευκό και προσβάλλεται πολύ λίγο από το CO₂ της ατμόσφαιρας. Αυτό συμβαίνει καθόσον δεν υπάρχει ελεύθερο νερό για να αρχίσουν οι αντιδράσεις που περιγράφονται στο κεφάλαιο του μηχανισμού της ενανθράκωσης. Σε αντίθεση με τον πολτό όπου η παρουσία MgO αποτελεί δυσμενή παράγοντα για την ταχύτητα φύρασης, στην σκόνη η ύπαρξη MgO συντελεί στην αύξηση της, μικρότερης σε σχέση με τον πολτό, πλαστικότητας, λόγω της ικανότητας του MgO να συγκρατεί περισσότερο νερό.

Σε σχέση με τον ασβεστοπολτό που περιγράφεται στην συνέχεια, η σκόνη πλεονεκτεί στο ότι δεν χρειάζεται φύραση και στο γεγονός ότι αποθηκεύεται και μεταφέρεται ευκολότερα και ασφαλέστερα από ότι ο πολτός, ενώ παράλληλα δεν απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή για να προστατευθεί από την προσβολή με το CO₂. Ο προσδιορισμός των αναλογιών των κονιαμάτων είναι πιο εύκολος όπως και η πρόσμιξη των συστατικών των κονιαμάτων είναι ταχύτερη και πληρέστερη. Τα κονιάματα με σκόνη τέλος εμφανίζουν μικρότερη συστολή κατά την πήξη.

Ο πολτός αντίθετα πλεονεκτεί στο ότι έχει μεγαλύτερη ικανότητα παραλαβής άμμου στα κονιάματα τα οποία, όταν κατασκευάζονται με πολτό, είναι πιο πλαστικά. Τα επιχρίσματα με πολτό έχουν μεγαλύτερη αντοχή, πρόσφυση και συνοχή. Παράλληλα ο πολτός έχει μεγαλύτερη απόδοση (m³ παραγόμενου ένυδρου προϊόντος ανά t CaO) κατά

την σβέση του. Στην υδράσβεστο τέλος υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθούν άσβεστοι, άψητοι και υπερψημένοι κόκκοι οι οποίοι προφανώς θα έχουν δυσμενή επίπτωση στην ανθεκτικότητα των κονιαμάτων.

Ο ασβεστοπολτός, (Lime putty).

Είναι σβησμένη άσβεστος αναμειγμένη με νερό προς μία επιθυμητή συνεκτικότητα, που συνίσταται κυρίως από υδροξείδιο του ασβεστίου με ή χωρίς υδροξείδιο του μαγνησίου. Προκύπτει από το σβήσιμο των άσβηστων ασβέστων με ελεγχόμενη περίσσεια νερού ή μετά την ανάμειξη υδρασβέστου με νερό. Στην Ελλάδα, σε αντίθεση με τις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες και τις ΗΠΑ, ο ασβέστης χρησιμοποιείται με την μορφή του πολτού. Ο πολτός αποτελεί μείγμα κολλοειδούς και κρυσταλλικής μορφής του υδροξειδίου του ασβεστίου. Δεδομένου ότι πλαστικές ιδιότητες έχει μόνο η κολλοειδής μορφή, επιβάλλεται όπως το σβήσιμο (η προσθήκη του νερού δηλαδή) γίνεται με συνθήκες που ευνοούν την δημιουργία της μορφής αυτής (κολλοειδούς), η οποία έχει μεγάλο όγκο, μεγάλη πλαστικότητα και την ικανότητα να παραλάβει μεγάλη ποσότητα άμμου κατά την παρασκευή των ασβεστοκονιαμάτων.

Η ποιότητα επομένως του πολτού εξαρτάται, εκτός από την ποιότητα της ασβέστου και από τις συνθήκες σβέσης. Δεδομένου ότι το κολλοειδές υδροξείδιο του ασβεστίου σχηματίζεται με πολύ ταχύτερο ρυθμό από ότι το κρυσταλλικό, επιδιώκεται η ταχύτερη δυνατή σβέση της ασβέστου, γεγονός που επιτυγχάνεται με συνεχή ανάδευση. Το νερό της σβέσης πρέπει να είναι μαλακό και καθαρό. Το θαλασσινό νερό είναι ακατάλληλο γιατί προκαλεί εξανθήματα στις κατασκευές. Επιπλέον κατά την σβέση θα πρέπει το νερό να καλύπτει τελείως την υδράσβεστο και όπως προηγουμένως αναφέρθηκε, για την παραγωγή πολτού η ποσότητά του είναι έως και πενταπλάσια της θεωρητικής απαιτούμενης. Η ακριβής ποσότητα αποτελεί τον βασικό παράγοντα για την επιτυχή δημιουργία πολτού. Εάν υπολείπεται, υπάρχει κίνδυνος τεμάχια της ασβέστου να μένουν ακάλυπτα και να υπερθερμανθούν, οπότε δεν σβήνονται αλλά μετατρέπονται σε σβώλους και τρίμματα αδρανούς υδρασβέστου. Εάν πλεονάζει αυτής που κανονικά απαιτείται, με την απευθείας μάλιστα προσθήκη νερού, τότε επιβραδύνεται η αντίδραση σβέσης λόγω

ψύξης του συστήματος και παράγεται προϊόν κρυσταλλικού μάλλον χαρακτήρα (κοκκώδης υδράσβεστος).

Όταν ο πολτός προέρχεται από την σβέση καλής ποιότητας ασβέστου και έχουν τηρηθεί οι κανόνες της σβέσης, τότε προκύπτει η λεγόμενη παχειά υδράσβεστος. Αυτή έχει λιπαρή υφή, μεγάλη πλαστικότητα και ικανότητα παραλαβής και συγκράτησης μεγάλης ποσότητας άμμου. Αντιθέτως υπάρχει η ισχνή υδράσβεστος που είναι αυτή με μεγάλο ποσοστό προσμίξεων ή η προερχόμενη από αντικανονικό ψήσιμο και σβήσιμο. Η ισχνή υδράσβεστος έχει τις ιδιότητες της παχειάς σε σημαντικά μικρότερο βαθμό.

1.3 Ισχύουσες προδιαγραφές και απαιτήσεις ποιότητας για τον ασβέστη.

Υδραυλικοί και αερικοί ασβέστες

Με βάση τις Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές ΕΛΟΤ EN 459-1:2001, ΕΛΟΤ EN 459-2:2002 και ΕΛΟΤ EN 459-3:2001 που αναφέρονται παρακάτω, προβλέπονται οι παρακάτω τύποι άσβεστων :

CL 90, CL 80, CL 70, DL 85, DL 80, HL 2, HL 3.5, HL 5, NHL 2, NHL 3.5 NHL 5

όπου οι πέντε πρώτοι τύποι (CL=Calcium Lime, DL=Dolomitic Lime), αναφέρονται στην ελάχιστη περιεκτικότητα αθροίσματος $\text{CaO}+\text{MgO}$, ενώ οι έξι τελευταίοι τύποι αναφέρονται για τις υδραυλικές ασβέστους και τις φυσικές υδραυλικές ασβέστους και βασική απαίτηση έχουν τις ελάχιστες αντοχές των στις 28 ημέρες.

Το σύστημα πιστοποίησης που έχει προταθεί να ακολουθηθεί από όλα τα κράτη μέλη της CEN είναι το τύπου 2 που προβλέπει δήλωση της συμμόρφωσης του προϊόντος στις υπάρχουσες προδιαγραφές από τον κατασκευαστή, και πιστοποίηση του ελέγχου ποιότητας στο εργοστάσιο από αναγνωρισμένο οργανισμό

Ο έλεγχος ποιότητας περιλαμβάνει χημικές αναλύσεις και έλεγχο των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων τόσο στον άσβηστο ασβέστη όσο και στις διάφορες ενυδατωμένες μορφές.

Για τον άσβηστο ασβέστη οι τιμές αναφέρονται στην "ως παραλαμβάνεται" ποιότητα ενώ στις άλλες περιπτώσεις (υδράσβεστο, πολτό, υδραυλική άσβεστο) οι τιμές αναφέρονται επί ξηρού. Λεπτομέρειες για την εκτέλεση κάθε αναλύσεως υπάρχουν στην προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 459-2. Οι χημικές απαιτήσεις ανά ποιότητα ασβέστου (%κατά βάρος) εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα ΙΙ.

Πίνακας ΙΙ : Χημικές απαιτήσεις ποιοτήτων ασβέστη κατά ΕΛΟΤ EN 459-1:2001

	Τύπος οικοδομικού ασβέστη	CaO + MgO	Mg O	CO ₂	SO ₃	Διαθέσιμος ασβέστης
1	CL 90	□90	□5 ^c	□4	□ 2	-
2	CL 80	□80	□5 ^c	□7	□ 2	-
3	CL 70	□70	□5	□12	□ 2	-
4	DL 85	□85	□30	□7	□ 2	-
5	DL 80	□80	□5	□7	□ 2	-
6	HL 2	-	-	-	□ 3 ^b	□ 8
7	HL 3,5	-	-	-	□ 3 ^b	□ 6
8	HL 5	-	-	-	□ 3 ^b	□ 3
9	NHL 2	-	-	-	□ 3 ^b	□ 15
10	NHL 3,5	-	-	-	□ 3 ^b	□ 9
11	NHL 5	-	-	-	□ 3 ^b	□ 3

ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Η τιμές είναι εφαρμόσιμες σε όλα τα είδη ασβέστη. Για άσβηστο ασβέστη αυτές οι τιμές ανταποκρίνονται στο τελικό προϊόν; Για όλα τα άλλα είδη ασβέστη (ένυδρο, ασβεστοπολτό, και υδραυλικούς ασβέστες) οι τιμές βασίζονται στο προϊόν μετά από την αφαίρεση της υγρασίας και του περιεχόμενου δεσμευμένου νερού.

^a Τιμές που δίδονται σε ποσοστά από τη μάζα

^b SO₃ περιεχόμενο πάνω από 3% και μέχρι το 7% είναι επιτρεπτό, εάν η πυκνότητα αποδειχθεί σε 28 ημέρες με νερό που χρησιμοποιήθηκε με βάση τη δοκιμή του ΕΛΟΤ EN 196-2.

^c MgO περιεχόμενο μέχρι 7% είναι αποδεκτό εάν περάσει τη δοκιμή πυκνότητας όπως δίδεται στο 5.3 ΕΛΟΤ EN 459-2:2002

Οι υδραυλικές άσβεστοι πρέπει επιπλέον να εμφανίζουν αντοχές (σε N/mm²) ως εξής (Πίνακας Ι2) :

Πίνακας Ι2 : Θλιπτικές αντοχές υδραυλικών ασβεστών

Τύπος του οικοδομικού ασβέστη	Θλιπτική αντοχή N/mm ²	
	7 ημέρες	28 ημέρες
HL 2 και NHL 2		2 με 7
HL 3,5 και NHL 3,5	□ 1,5	3,5 με 10
HL 5 και NHL5	□ 2	5 με 15 ¹⁾
¹⁾ HL5 και NHL5 με φαινόμενη πυκνότητα μικρότερη από 0,90 kg/dm ³ , επιτρέπεται να έχει αντοχή μέχρι 20 N/mm ²		

Οι έλεγχοι των φυσικών ιδιοτήτων περιλαμβάνουν για μεν τον άσβηστο ασβέστη εξέταση της σταθερότητας όγκου, της αντιδραστικότητας, του φαινόμενου βάρους, ενώ για τις ενυδατωμένες μορφές επί πλέον απαιτείται η λεπτότητα, τα διάφορα τεστ με το

νερό (συγκράτηση, διείσδυση, απαίτηση) και ο περιεχόμενος αέρας. Τέλος για τις υδραυλικές ασβέστους απαιτείται ο χρόνος πήξης. Οι τιμές και τα όρια των φυσικών ιδιοτήτων εμφανίζονται στους επόμενους πίνακες (Πίνακες I3 και I4).

Πίνακας I3 : Φυσικές απαιτήσεις του άσβεστου ασβέστη

	Τύπος του οικοδομικού ασβέστη	Σταθερότητα όγκου μετά το σβήσιμο ^{a)} σε σχέση με το 5.5.3 του ΕΛΟΤ EN 459-2 2002 ^{b)}	Απόδοση σε σχέση με το 5.9 του ΕΛΟΤ EN 459-2:2002 ²⁾ dm ³ /10kg.
1	CL 90	Πέρασε	□26
2	CL 80		
3	CL 70		
4	DL 85	Πέρασε	-
5	DL 80	Πέρασε	-

^{a)} Το σβήσιμο σύμφωνα με τις οδηγίες του παραγωγού του ασβέστη.

^{b)} Αυτές οι απαιτήσεις εφαρμόζονται στον οικοδομικό ασβέστη για κονιάματα τοιχοποιίας, και σοβαντίσματα.

Οι τιμές του πίνακα I4 αναφέρονται για διάφορα τεστ που περιγράφονται στο ΕΛΟΤ EN 459-2 του 2002. Περισσότερες επίσης λεπτομέρειες υπάρχουν και στο ΕΛΟΤ EN 459-1.

Τύπος οικοδομικού ασβέστ	Λεπτότητα ⁶	Περιεχόμενο ελεύθερο νερό ¹	Σταθερότητα όγκου ^{2,4}		Δοκιμές κονιάματος ⁵		Χρόνος πήξης ¹	
			Για	Για	Διείσδ	Περιεχό	Αρχ	Τελικ
	Σε σχέση	Σε						

8	HL 5									
9	NHL 2									
1 0	NHL 3,5									
1 1	NHL 5									

1 Για ασβεστοπολτό το περιεχόμενο νερό είναι 70 % \pm 1 45 %

2 Βλέπε 5.3 του ΕΛΟΤ EN 459-2:2002

3 Για υδραυλικούς ασβέστες και φυσικούς υδραυλικούς ασβέστες με SO₃ και περιεχόμενο περισσότερο από 3% και μέχρι 7%, η πυκνότητα δοκιμάζεται επιπροσθέτως σύμφωνα με το 5.3.2.3 του ΕΛΟΤ EN 459-2:2002

4 Επίσης οι ένυδροι ασβέστες του ασβεστίου, ασβεστόστοκοι και ενυδατωμένοι δολομιτικοί ασβέστες που περιέχουν κόκκους μεγαλύτερους των 02,mm θα πρέπει να είναι άρτιοι όταν δοκιμάζονται σύμφωνα με το 5.3.4 του ΕΛΟΤ EN 459-2:2002

5 Χρησιμοποιώντας σταθερό κονίαμα σύμφωνα με το 5.5.1 του ΕΛΟΤ EN 459-2:2002

6 Όχι για ασβεστοπολτό

7 Η λεπτότητα και η περιεχόμενη υγρασία εφαρμόζεται στον οικοδομικό ασβέστη σε όλες τις χρήσεις. Η πυκνότητα, η διείσδυση, ο περιεχόμενος αέρας και ο χρόνος πήξης εφαρμόζονται όταν ο οικοδομικός ασβέστης προορίζεται για κονίαμα τοιχοποιίας, σοβάτισμα και για «λάσπισμα» τοίχου.

e Δεν εφαρμόζεται για HL2 και NHL2

1.4 Άλλες αερικές κονίες.

Οι συνηθέστερες αερικές κονίες που ανάλογα με την εφαρμογή μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα κονιάματα, περιληπτικά είναι οι εξής :

- Άργιλος: Εκτός από καθαρό λευκό καολίνη ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) περιέχει λίγο ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), οξείδια του σιδήρου (Fe) και άλλες προσμίξεις που καθορίζουν το χρώμα του. Χρησιμοποιείται για τα πυρίμαχα επιχρίσματα.
- Πηλός: Φυσικό μίγμα από άργιλο και λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα αμμώδη συστατικά. Με την ξήρανση σκληρύνεται και συστέλλεται τόσο περισσότερο όσο πιο παχύ είναι, δηλαδή όσο περισσότερο άργιλο περιέχει. Ο πηλός στην τελική ξηρά κατάσταση έχει καλές ηχομονωτικές και θερμομονωτικές ιδιότητες, αλλά είναι ευαίσθητος στο νερό και στον παγετό. Είναι από τις παλαιότερες κονίες που χρησιμοποιήθηκαν.
- Δομικοί γύψοι: Προέρχονται από τον ορυκτό γύψο (CaSO_4) μετά από μερική ή ολική αφυδάτωσή του. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κονιάματα επιχρισμάτων και πολλές φορές αναμιγνύονται με ειδικά πρόσθετα τα οποία βελτιώνουν ορισμένες ιδιότητες (συνεκτικότητα, χρόνος πήξεως, πρόσφυση, κλπ.). Ο κοινός γύψος (ανυδρίτης) πήζει πολύ γρήγορα (αρχή μεταξύ 8 και 20min – τέλος μεταξύ 20 και 60min).

Οι δομικός γύψος είναι σκόνη συνήθως λευκή, υπόλευκη ή κιτρινωπή. Παραδίνεται κυρίως σε σάκους αλλά και χύμα σε σιλό. Όπως οι άλλες κονίες πρέπει να αποθηκεύεται οπωσδήποτε σε στεγνό χώρο. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για εργασίες στόκου, σε κονιάματα επιχρισμάτων σε επιχρίσματα επί μεταλλικών πλεγμάτων, για την κατασκευή δομικών πλακών και σωμάτων καθώς και για την κατασκευή δαπέδων.

- Κονίες ανυδρίτη: Είναι μη υδραυλικές συνδετικές ύλες που παρασκευάζονται με συνάλεση ή ανάμιξη ανυδρίτη και διεγέρτη. Ως ανυδρίτης χρησιμοποιείται φυσικό ή συνθετικό CaSO_4 με περιεκτικότητα τουλάχιστον 85% CaSO_4 . Ως διεγέρτες χρησιμεύουν ύλες με βασικές ιδιότητες (άσβεστοι ή τσιμέντα Πόρτλαντ) ή διάφορα άλατα καθώς και μίγματα μεταξύ των. Η πήξη τους αρχίζει αφού περάσουν τουλάχιστον 20min από την παρασκευή τους και πρέπει να λήξει τις επόμενες 12 ώρες. Πρέπει να έχουν σταθερότητα όγκου και δεν επιτρέπεται η ανάμιξή τους με υδραυλικές κονίες για να αποφευχθεί η διόγκωση κατά την πήξη. Χρησιμοποιούνται κυρίως για δάπεδα και διακοσμητικά επιχρίσματα.

- Ποζολάνες: Γνωστές από τα πολύ παλιά χρόνια. Απαντούν σε οικίες της Δήλου (2ος αιώνας π.Χ.), αλλά και σε μνημεία της Ρωμαϊκής εποχής. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλα έργα του προηγούμενου αιώνα (Διώρυγα Σουέζ, Ισθμός Κορίνθου). Είναι φυσικά ή τεχνητά πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, η χαρακτηριστική ιδιότητα των οποίων είναι ότι σε λεπτότατο καταμερισμό και με την παρουσία υγρασίας ενώνονται χημικά
- με την υδράσβεστο, στη συνήθη θερμοκρασία, και σχηματίζουν υδραυλικές ενώσεις. Αναλυτικά οι ποζολάνες περιγράφονται στο ΕΛΟΤ EN 197 – 1 : 2001.
- Οι ιπτάμενες τέφρες. Περιγράφονται στο ΕΛΟΤ EN 197 – 1 : 2001.
- Τα τσιμέντα τοιχοποιίας

Είναι εργοστασιακά παρασκευασμένες λεπτόκοκκες υδραυλικές κονίες που ενεργοποιούνται σημαντικά και αναπτύσσουν αντοχές με την παρουσία κλίνκερ τσιμέντου πόρτλαντ το οποίο, ανάλογα με την κλάση του τσιμέντου τοιχοποιίας, είναι κατ' ελάχιστον 25 ή 40%. Όταν αναμειγνύεται μόνο με άμμο και νερό, χωρίς άλλα πρόσθετα παράγει ένα εργάσιμο κονίαμα κατάλληλο για τοιχοδομές και επιχρίσματα. Η περισσότερο σημαντική τους χρήση είναι για κονιάματα τοιχοδομών καθώς και για το πρώτο χέρι των επιχρισμάτων, καθόσον πλεονεκτούν μεν ως προς τις αντοχές που προσδίδουν στο κονίαμα, μειονεκτούν όμως σε άλλες ιδιότητες και κυρίως στην πρόσφυση μεταξύ του κονιάματος και των μονάδων της τοιχοποιίας. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες αντοχών MC 5, MC 12,5 και MC 22.5 όπου στην πρώτη το κλίνκερ είναι 25% min, ενώ στις άλλες είναι 40% min. Τα οργανικά υλικά σε όλες τις περιπτώσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 1%. Διακρίνονται σε τσιμέντα που επιτρέπουν (air entraining) ή όχι (non-air entraining) την διείσδυση του αέρα, το δε ποσοστό διάκρισης για την μία ή την άλλη κατηγορία είναι το 6%.

- Αδρανή για κονιάματα

Η άμμος είναι το συνηθέστερο αδρανές υλικό που χρησιμοποιείται στα κονιάματα. Δεν πρέπει να περιέχει προσμίξεις που 1) να είναι ικανές να προκαλέσουν μείωση της αντοχής

και της σταθερότητας των κονιαμάτων, ιι) να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες των και ιιι) να προκαλέσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με την εκάστοτε συνδετική ύλη.

Πιο συγκεκριμένα κατά την επιλογή και την χρήση των αδρανών, έμφαση δίνεται :

α) στην κοκκομετρική διαβάθμιση όπου προτιμάται η χρήση αδρανών με σχετικά μεγάλο εύρος προκειμένου να καλύπτουν οι μικροί κόκκοι τα κενά που αφήνουν οι μεγαλύτεροι. Επιδιώκεται όπως το <math><250\mu\text{m}</math> κλάσμα να είναι το 10-25% του συνολικού βάρους της άμμου. Εάν το κλάσμα αυτό αντιπροσωπεύει ποσοστό μικρότερο του 10%, τότε θα υπάρχουν κενά και τότε θα πρέπει να προστεθεί κονία για να βελτιωθεί η εργασιμότητα. Αυξημένο όμως ποσοστό κονιάς θα οδηγήσει σε ρωγμές λόγω του αυξημένης συστολής ξήρανσης. Όταν όμως υπάρχουν αδρανή υλικά με αυξημένο λεπτόκοκκο κλάσμα (δηλαδή με μέγεθος κόκκου μικρότερο των 63 μm) σε ποσοστό μεγαλύτερο του 5%, τότε δημιουργείται έντονο πρόβλημα καθόσον καλύπτονται οι κόκκοι του αδρανούς και εμποδίζεται η ένωση του με τον πολτό. Το λεπτόκοκκο αυτό κλάσμα λέγεται παιπάλη.

β) Στην παρουσία αλάτων και άλλων προσμίξεων καθώς και στην παρουσία χωματοειδών υλικών που καθιστούν δύσκολη την πρόσφυση μεταξύ αδρανούς και συνδετικού υλικού. Στα επιβλαβή συστατικά περιλαμβάνονται φυτικές και χημικές ουσίες, τεμάχια άνθρακα, τέφρες κλπ

γ) Στην υγρασία όπου οι αναλογίες μίξης των συστατικών των κονιαμάτων που δίνονται στα διάφορα πρότυπα, ισχύουν με την προϋπόθεση ότι η άμμος περιέχει υγρασία περίπου 3%. Ιδιαίτερα ξηρές ή πολύ υγρές άμμοι καταλαμβάνουν διαφορετικό χώρο. Για τον λόγο αυτό κατά τον καθορισμό των αναλογιών ενός κονιάματος οι ποσότητες των άμμων πρέπει να διορθώνονται ανάλογα με την υγρασία που έχουν.

- ***Πρόσμικτα και πρόσθετα***

- ***Βελτιωτικά ή χημικά πρόσμικτα*** (admixture) είναι τα υλικά που προστίθενται, σε μικρές ποσότητες σε σχέση με την μάζα της κονιάς, κατά την διάρκεια της ανάμιξης του κονιάματος με σκοπό να τροποποιήσουν τις ιδιότητες κυρίως του νωπού αλλά και του σκληρυμένου κονιάματος. Δεδομένου ότι ευρίσκονται σε υπερλεπτό διαμερισμό, η προσθήκη τους πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και σε πρώτη φάση να αναμειγνύονται με τις κονίες (και όχι και με τα αδρανή) για να αποφευχθεί ο σχηματισμός συσσωματωμάτων. Σε αυτά υπάγονται οι

ρευστοποιητές οι υπερρευστοποιητές, οι πλαστικοποιητές, οι επιταχυντές πήξης, οι επιβραδυντές και τα αερακτικά. Συνήθως προστίθενται σε μικρά ποσοστά και δεν υπερβαίνουν το 2%. Αν χρησιμοποιηθούν σε μικρότερα ποσοστά όπως 0.2% (2g ανά Kg τσιμέντου), θα πρέπει να προστεθούν με μορφή αιωρήματος με μέρος του νερού.

- **Τα πρόσθετα συστατικά** (addition) είναι τα λεπτομερώς διαμερισμένα ανόργανα υλικά που χρησιμοποιούνται στο κονίαμα στοχεύοντας είτε να βελτιώσουν κάποιες ιδιότητες του είτε να πετύχουν συγκεκριμένες ιδιότητες. Διακρίνονται δύο κατηγορίες προσθέτων : τα σχεδόν αδρανή πρόσθετα (τύπου I, όπου υπάγονται τα φιλλερ αδρανών με προδιαγραφές σύμφωνες με το ΕΛΟΤ EN 12620 και τα χρώματα) και τα πρόσθετα που έχουν ποζολανικές ή λανθάνουσες υδραυλικές ιδιότητες. Τα τελευταία (τύπου II), που περιλαμβάνουν τις Ιπτάμενες τέφρες, σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 450, και την πυριτική παιπάλη, κατά pr-EN 13263, διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες.

- **Το νερό**

Το νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από επιβλαβείς προσμίξεις όπως οργανικά και ανόργανα οξέα, λίπη και λάδια, διαλυτά σάκχαρα, αιωρούμενες ουσίες και υπερβολικά ποσά διαλυμένων αλάτων (κυρίως θεικών και χλωριούχων). Τα πολύ σκληρά νερά καθώς και το θαλασσινό νερό μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις ανάγκης μόνο για κονιάματα τοιχοδομών εφ' όσον ικανοποιούν το τεστ καταλληλότητας νερού. Το Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 345 καθώς και το ΕΛΟΤ EN 1008 αναφέρονται για την καταλληλότητα νερού ανάμιξης και συντήρησης δοκιμίων.

- **Ποιοτικά χαρακτηριστικά**

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά θεωρούμενα ως οι ελάχιστες ή οι μέγιστες τιμές των απαραίτητων ιδιοτήτων που πρέπει να καλύπτουν τα κονιάματα, αναφέρονται για κάθε

κατηγορία, σε σχέση με τις μεθόδους δοκιμών, χωριστά, κυρίως στα πλαίσια της αντίστοιχης ανάπτυξης.

Οι ιδιότητες γενικά διακρίνονται σε ιδιότητες νωπού και σκληρυμένου κονιάματος.

Στο γενικό αυτό κεφάλαιο, αναφέρονται γενικές παρατηρήσεις ως προς τις ιδιότητες των κονιαμάτων, που επιβεβαιώνουν τον αναντικατάστατο ρόλο τους ως δομικό υλικό.

Αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου ότι στα κονιάματα, παράλληλα με τις αντοχές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλες σημαντικές τους ιδιότητες όπως η εργασιμότητα για τα νωπά κονιάματα και η πρόσφυση και η ανθεκτικότητα για τα σκληρυμένα, οι οποίες καθορίζουν την ποιότητα του κονιάματος και τα πεδία εφαρμογής του.

- ***Μηχανική αντοχή***

Ιδιαίτερα όσον αφορά στην μηχανική αντοχή των κονιαμάτων δόμησης θα πρέπει να αναφερθεί ότι, σε αντίθεση με τα σκυροδέματα, δεν πρέπει να υπερτονίζεται η σημασία της. Στα κονιάματα δόμησης, όπως και σε άλλες κατηγορίες κονιαμάτων, η μηχανική αντοχή δεν είναι γενικά απαραίτητο να είναι μεγάλη και κατά κανόνα πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή των δομικών στοιχείων με τα οποία χρησιμοποιείται. Αναφέρονται στην βιβλιογραφία πολλές περιπτώσεις όπου πολλές φορές στην προσπάθεια της επίτευξης των μεγαλύτερων δυνατών αντοχών, να δημιουργούνται τελικώς κατώτερης ποιότητας κονιάματα.

- ***Εργασιμότητα***

Η εργασιμότητα είναι μία σύνθετη ιδιότητα και συντίθεται από την πλαστικότητα που είναι η ικανότητα να μορφοποιείται το κονίαμα χωρίς να χάνει την συνοχή του, την ρευστότητα και το αναπόμικτο που είναι η ικανότητα να διατηρεί την ομοιογένεια και να μην διαχωρίζεται σε στρώσεις διαφόρων συνθέσεων κατά την παραμονή του ή την μεταφορά του.

- ***Ανθεκτικότητα***

Ανθεκτικότητα είναι η ικανότητα μιας κατασκευής να διατηρεί την αρχική της εμφάνιση, την αντοχή της και την ακεραιότητα της για πολλά χρόνια. Στην τοιχοποιία οι δύο πιο σημαντικές προϋποθέσεις για την εξασφάλιση της ανθεκτικότητας είναι μία αμετάβλητη σε διαστάσεις δομική μονάδα και ένα κονίαμα που να εξασφαλίζει μία μόνιμη και τέλεια πρόσφυση, καθιστώντας παράλληλα την όλη κατασκευή υδατοστεγή. Μία συνολική θεώρηση του θέματος της ανθεκτικότητας περιλαμβάνει μεταξύ άλλων αντιμετώπιση των θεμάτων της εξανθήσεως, της αυτογενούς αποκαταστάσεως μικρορωγμών, του περιεχομένου αέρα, του παγετού και της στεγανότητας.

· *Πρόσφυση*

Μεταξύ των διαφόρων παραγόντων που συντελούν στην δημιουργία μιας υγιούς τοιχοποιίας, η πρόσφυση μεταξύ του κονιάματος και των λοιπών στοιχείων της τοιχοποιίας, αναγνωρίζεται από όλους ως ο σημαντικότερος παράγοντας. Είναι προφανές ότι τοιχοποιίες που χαρακτηρίζονται από ισχυρή και ανθεκτική πρόσφυση, είναι ικανοποιητικά αδιαπέραστες από την υγρασία και επαρκώς ισχυρές για να ανθίστανται στις εξωτερικές καταπονήσεις από την πίεση του ανέμου και τις σεισμικές δονήσεις παράμετρο που ενδιαφέρει ιδιαίτερα την Ελλάδα, λόγω της αυξημένης σεισμικότητας που παρουσιάζει.

Η πρόσφυση μπορεί να θεωρηθεί ως το αποτέλεσμα μιας συνδυασμένης δράσης μηχανικής προσφύσεως και χημικής αντιδράσεως. Η μηχανική πρόσφυση επισυμβαίνει όταν ενυδατώνεται το συνδετικό υλικό προκειμένου να σχηματίσει πυριτικούς κρυστάλλους που εισχωρούν μέσα στις ρωγμές ή στα τριχοειδή κενά των τούβλων. Η χημική πρόσφυση λαμβάνει χώρα στην διεπιφάνεια κονιάματος και μονάδας τοιχοποιίας. Η άσβεστος σε ένα κονίαμα δημιουργεί περιβάλλον με pH περίπου 12.4 στο οποίο οι πυριτικές και οι ενώσεις του αργιλίου διαλύονται και αντιδρούν με τα ιόντα ασβεστίου του κονιάματος για να δώσουν κατάλληλα προϊόντα που κατά κάποιο τρόπο εμπλέκουν σε ένα ιδιαίτερα σταθερό δεσμό το κονίαμα και τα τούβλα μεταξύ τους.

1.5 Τεχνικές εφαρμογής

Ο τρόπος και οι συνθήκες που παρασκευάζονται τα κονιάματα, σε συνάρτηση με τις τεχνικές εφαρμογής των επηρεάζουν σημαντικά στην εκδήλωση των ιδιοτήτων τους. Έτσι :

1. Η μηχανική αντοχή των κονιαμάτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες οι κυριότεροι των οποίων είναι :

Η ποιότητα και κοκκομετρική σύνθεση της άμμου, όπου όταν η κοκκομετρική σύνθεση της οδηγεί στον περιορισμό του ποσοστού των κενών χώρων και επομένως του ποσοστού της κονιάς, λαμβάνονται ισχυρότερα κονιάματα.

- Το ποσοστό της κονιάς, όπου κονιάματα με μεγαλύτερο ποσοστό κονιάς είναι ανθεκτικότερα. Ο όρος αυτός ισχύει μέχρι το ποσοστό εκείνο που εξασφαλίζει την συμπλήρωση των κενών της άμμου.
- Το είδος της κονιάς. Η άσβεστος π.χ. χρησιμοποιείται στα διάφορα τσιμεντοκονιάματα, παρόλο που η αντοχή της μετά την σκλήρυνση είναι μικρότερη από εκείνη του τσιμέντου, καθόσον βελτιώνει μερικές βασικές ιδιότητες όπως ι) την αύξηση της ανθεκτικότητας του κονιάματος, ιι) την αύξηση της προσφύσεως του κονιάματος με τις μονάδες τοιχοποιίας καθώς και των παραγόντων που επηρεάζουν την αντοχή, έκταση και ανθεκτικότητα της προσφύσεως, ιιι) την αύξηση της στεγανότητας των τοιχοποιιών, ιιιι) την αύξηση της πλαστικότητας και εργασιμότητας ιιιιι) την εξασφάλιση της ικανότητας για αυτογενή αποκατάσταση μικρορωγμών και ιιιιιι) την μείωση των εξανθημάτων των τοιχοποιιών
- Ο λόγος νερό/τσιμέντο. Ειδικά για τα τσιμεντοκονιάματα, η αντοχή τους αυξάνει (μέσα σε ορισμένα όρια) αντιστρόφως ανάλογα με τον λόγο N/T.
- Ο τρόπος παρασκευής και εφαρμογής του κονιάματος καθώς και οι συνθήκες που επικρατούν ή εξασφαλίζονται κατά την διάρκεια της πήξης ή της σκλήρυνσης
- Ο εγκλωβισμένος αέρας. Η αντοχή των κονιαμάτων μειώνεται σταθερά όσο η περιεκτικότητα σε εγκλωβισμένο αέρα αυξάνει.

Γενικώς η μείωση στην ικανότητα του κονιάματος για συγκράτηση νερού ή άμμου, αυξάνει παράλληλα με την αντοχή και τούτο ισχύει για όλα τα κονιάματα..

2. Οι ιδιότητες που συνθέτουν την εργασιμότητα και αναφέρθηκαν προηγουμένως, επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες με αλληλοσυγκρουόμενες επιδράσεις σε σημείο ώστε η βελτίωση της μιας ιδιότητας να συνεπάγεται επιδείνωση μιας άλλης. Αύξηση π.χ. του ποσοστού του νερού αυξάνει την ρευστότητα αλλά μειώνει το αναπόμικτο. Η ρευστότητα επηρεάζεται επίσης από το μέγεθος και το είδος των κόκκων του αδρανούς. Μεγαλύτερη αναλογία μεγάλων κόκκων, όπως και κόκκων με λεία και καμπύλη επιφάνεια αυξάνουν την ρευστότητα. Κατά κανόνα η πλαστικότητα του κονιάματος αυξάνεται σε συνάρτηση με το ποσοστό της. Η χρησιμοποίηση τέλος χημικών προσμίκτων, των οποίων η προσθήκη προβλέπεται από τους νέους κανονισμούς (ΕΛΟΤ EN 998-1 και ΕΛΟΤ 998-2), τροποποιεί, προς την κατεύθυνση που επιδιώκεται, την εργασιμότητα.

3. Το θέμα της πρόσφυσης τέλος είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο εάν κρίνει κανείς την πληθώρα των παραγόντων που επιδρούν σε αυτήν. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται μεταβλητές όπως:

1. Ο τύπος του κονιάματος: Εργάσιμα, συγκράτηση υγρασίας, ρευστότητα, χαρακτηριστικά πήξης, περιεχόμενος αέρας, αντοχή, σταθερότητα όγκου κλπ

2. Ο τύπος των στοιχείων που συνιστούν την τοιχοποιία : απορροφητικότητα, διαπερατότητα, χαρακτηριστικά επιφανείας κλπ

3. Τεχνική δόμησης : Πλήρωση αρμών, βαθμός πίεσης που ασκείται στα δομικά στοιχεία, τύπος και μορφή εργαλείων κλπ.

6. Έλεγχος ποιότητας

Αναφέρεται με λεπτομέρειες στην ανάπτυξη των επιμέρους κατηγοριών κονιαμάτων.

7. Προβλήματα και μεθοδολογία αντιμετώπισης

Τα προβλήματα που απαντώνται στα κονιάματα σχετίζονται σε μικρό ή μεγαλύτερο βαθμό με την κατηγορία του κονιάματος. Μία γενική θεώρηση περιλαμβάνει τα εξής προβλήματα :

1.6 Η εξάνθηση των τοιχοποιιών

Η εξάνθηση των τοιχοποιιών εμφανίζεται ως μία λευκή επικάλυψη ή λεπτός αφρός που καλύπτει τις εξωτερικές επιφάνειες των τοίχων των οικοδομών. Αν και ορισμένες μορφές εξανθήσεως έχουν προσωρινό χαρακτήρα και διαρκούν για σύντομο χρονικό διάστημα, υπάρχει μία μόνιμη μορφή η οποία είναι πιθανό μετά από μία βροχή να εξαφανίζεται προσωρινά, αλλά με την πάροδο των ετών συνεχώς εμφανίζεται δημιουργώντας προβλήματα καθόσον εκτός του ότι καταστρέφει την όλη εμφάνιση και την αισθητική της κατασκευής, συχνά με την πάροδο του χρόνου προκαλεί την αποσύνθεση του κονιάματος και την χαλάρωση των μονάδων τοιχοποιίας.

Η μόνιμη αυτή μορφή είναι η περισσότερο ολέθρια επειδή συμβαίνει στο εσωτερικό του τοίχου και δεν γίνεται αντιληπτή από την αρχή. Είναι συχνότερη στις περιπτώσεις πυκνών κονιαμάτων και πλίνθων στις οποίες η πρόσφυση έχει διασπασθεί στην επιφάνεια επαφής κονιάματος και πλίνθου. Το νερό της βροχής διεισδύει μέσα από τις ρωγμές, αλλά μετά τη διαβροχή η τοιχοποιία του τύπου αυτού παρουσιάζει αντίσταση στο στέγνωμα επειδή το νερό ευρίσκεται εγκλωβισμένο και δεν μπορεί να εξατμισθεί όπως θα συνέβαινε στην περίπτωση που τα τούβλα ήταν πορώδη. Η κατακρατούμενη αυτή υγρασία, προσελκύει και στη συνέχεια διαλύει διάφορα θειικά άλατα (του καλίου και του νατρίου κυρίως), τα οποία είναι διαλυτά και συνήθως συγκεντρώνονται στις υγρές αυτές περιοχές. Τα άλατα αυτά επιδρούν χημικά στην επιφάνεια της τοιχοποιίας ενώ παράλληλα επισπεύδουν την αποσύνθεση του κονιάματος. Η εξάνθηση που προκαλείται από άλλα διαλυτά άλατα και άλλες αδιάλυτες ουσίες όπως το ανθρακικό ασβέστιο, επιφέρει μικρότερης έκτασης προβλήματα που είναι προσωρινής και όχι μόνιμης φύσεως.

Από τις βασικότερες αιτίες για την δημιουργία εξανθημάτων είναι:

1. Ο λανθασμένος σχεδιασμός και η κακότεχνη κατασκευή (παράλειψη προστασίας, ατελής πλήρωση αρμών και ρωγμών κονιάματος, μη χρησιμοποίηση μονωτικής στρώσεως, ύπαρξη ελαττωματικών στομίων υδρορροών κλπ)
2. Η κακή επιλογή των μονάδων της τοιχοποιίας, ιδίως όταν τα τούβλα είναι αργιλικής προελεύσεως
3. Η κακή επιλογή των υλικών των κονιαμάτων και ιδίως όταν τα χρησιμοποιούμενα τσιμέντα δεν είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε αλκάλια
4. Οι συνθήκες περιβάλλοντος και κυρίως αφ ενός μεν η ύπαρξη βροχοπτώσεων και αφ ετέρου δε η αυξημένη παρουσία καπνού, SO_2 , και H_2S στα βιομηχανικά αέρια..

1.7 Η δημιουργία πεταλίδων (pitting and popping)

Το φαινόμενο pitting και popping είναι πρόβλημα που οφείλεται στις ασβέστους που χρησιμοποιούνται στα επιχρίσματα αν και τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται με μικρότερη ένταση. Οι απαιτήσεις για λεπτόκοκκο υλικό (+200: 15% max) που τίθενται για τους τύπους N και S της υδρασβέστου κατά ASTM έχουν ως σκοπό να ελαχιστοποιήσουν την εμφάνιση των pits και pops. Είναι προφανές ότι όταν το Ca(OH)_2 ευρίσκεται σε μορφή πολτού, όπως συμβαίνει στο 95% των περιπτώσεων στην Ελλάδα, ο κίνδυνος από τα pittings και poppings λόγω κοκκομετρίας στην ουσία είναι ανύπαρκτος λόγω του γεγονότος ότι το Ca(OH)_2 είναι σε κολλοειδείς διαστάσεις. Αντιθέτως στην υδράσβεστο λόγω του κινδύνου να υπάρχουν άσβεστοι κόκκοι CaCO_3 το πρόβλημα είναι εντονότερο.

Ως pits ή φαινόμενο pitting θεωρούνται πολύ μικρές σχεδόν αθέατες τρύπες που έχουν αισθητική επίπτωση στην επιφάνεια του κονιάματος και προκαλούνται περισσότερο από τα μεγαλύτερου μεγέθους σωματίδια (+30 mesh), που κυρίως συνίστανται από SiO_2 ή άψητα CaCO_3 και που είναι ασυμβίβαστα με λεπτομερώς αλεσμένη υδράσβεστο. Τα μεγάλα σωματίδια εξασκούν πίεση και σκάνε με ένα κρότο (pop) από την επιφάνεια του κονιάματος. Αν και έχει ελαχιστοποιηθεί το φαινόμενο εντούτοις περιοδικά συμβαίνει και ως εκ τούτου οι προδιαγραφές των ΗΠΑ για την υδράσβεστο που χρησιμοποιείται σε επιχρίσματα περιλαμβάνουν σχετικό test που πρέπει να καλύπτουν οι υδράσβεστοι αυτοί.

Στο κεφάλαιο των επιχρισμάτων, αναφέρονται τρόποι για την πρόληψη και αντιμετώπιση του φαινομένου.

1.8 Ρηγματώσεις

Έχει παρατηρηθεί ότι τα κονιάματα (ιδίως τα δόμησης και επιχρισμάτων) ενίοτε παρουσιάζουν ατέλειες με μορφή κυρίως α) μικρορωγμών που οφείλονται σε μικροκαθιζήσεις ή μετακινήσεις της τοιχοποιίας και ευρίσκονται μέσα στη μάζα του κονιάματος και β) μικρών κενών και ανωμαλιών στην επιφάνεια επαφής κονιάματος και πλίνθων. Οι ρηγματώσεις αυτές είναι δυνατόν να συμβούν κατά την διάρκεια της αρχικής σκληρύνσεως ως αποτέλεσμα της συρρικνώσεως και συμπυκνώσεως του κονιάματος είτε μετά την σκλήρυνση είτε λόγω διαφορετικού συντελεστή θερμικής διαστολής των επιμέρους στοιχείων της τοιχοποιίας είτε λόγω αλληπαλλήλων μεταλλαγών στον όγκο τους (ύγρανση, ξήρανση), ακόμα και λόγω μετακινήσεως του τοίχου.

Στην επιλογή των κονιών που θα συνθέσουν ένα κονίαμα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η άσβεστος έχει την ικανότητα να αποκαθιστά μόνη της τυχόν μικροελαττώματα ή ζημιές στη μάζα της. Αυτό γίνεται καθώς CO_2 από την ατμόσφαιρα αντιδρά χημικά με την άσβεστο σχηματίζοντας CaCO_3 . Το νερό της βροχής που απορροφάται από το κονίαμα διαλύει απειροελάχιστες ποσότητες μη δεσμευμένης ασβέστου (υδροξείδιο του ασβεστίου), που διεισδύει στη ρωγμή ή το κενό και σύντομα στερεοποιείται και εναποτίθεται ως ίζημα που γεμίζει αυτά τα μικροσκοπικά τριχοειδή κενά. Έτσι σχηματίζεται μία συμπαγής και αδιαπέραστη μάζα κονιάματος και μια ακόμα πιο ισχυρή πρόσφυση μεταξύ πλίνθων και κονιάματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΝΑΝΟΥΛΙΚΑ²

2.1 Εισαγωγή

Η νανοτεχνολογία είναι μια νέα προσέγγιση για την κατανόηση και την άρτια γνώση των ιδιοτήτων της ύλης σε νανοκλίμακα: ένα νανόμετρο (ένα δισεκατομμυριοστό του μέτρου) είναι το μήκος ενός μικρού μορίου. Στο επίπεδο αυτό αποκαλύπτονται διαφορετικές και συχνά καταπληκτικές ιδιότητες της ύλης και είναι δυσδιάκριτα τα όρια μεταξύ των καθιερωμένων επιστημών και τεχνικών κλάδων. Ως εκ τούτου, ο χαρακτήρας της νανοτεχνολογίας είναι άκρως διεπιστημονικός. Η νανοτεχνολογία έχει μεγάλη ποικιλία εφαρμογών και προσδίδει μια εναλλακτική πορεία στην εξέλιξη των συμβατικών επιστημών. Η νανοτεχνολογία χρησιμοποιείται ήδη στον τομέα της ιατρικής, της φαρμακευτικής, των ηλεκτρονικών, των βιο υλικών και στην παραγωγή ενέργειας. Επίσης εφαρμογές της νανοτεχνολογίας εμφανίζονται στην επιστήμη των υλικών με ευρείας κλίμακας απήχηση, η οποία αναμένεται να επηρεάσει ουσιαστικά όλους τους τομείς. Νανοδομημένα υλικά χρησιμοποιούνται ήδη για την ισχυροποίηση υλικών και για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα των καλλυντικών. Με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας μπορούν να τροποποιούνται διάφορες επιφάνειες έτσι ώστε να μην χαράσσονται, να γίνονται αδιάβροχες, καθαρές ή αποστειρωμένες. Η επιλεκτική μεταμόσχευση οργανικών μορίων μέσω νανοδομημένων επιφανειών αναμένεται ότι θα επηρεάσει την παραγωγή βιοαισθητήρων και μοριακών ηλεκτρονικών συσκευών. Οι επιδόσεις των υλικών σε ακραίες συνθήκες μπορούν να βελτιωθούν σε σημαντικό βαθμό προς όφελος π.χ. της βιομηχανίας αεροναυτικής και διαστήματος.

Η αρχαία ελληνική ιστορία έχει χαρακτηριστικά παραδείγματα επιστημόνων (Δημόκριτος 440 π.Χ. και Λεύκιππος) που σκέφτηκαν ότι η ύλη μπορούσε να διασπαστεί ως ένα ακατάλυτο σημείο, δηλαδή ως το βασικό συστατικό της ύλης, που σήμερα οι επιστήμονες ονομάζουν «άτομο». Τελικά το 1803 ο John Dalton στην ομιλία του για την

Ατομική Θεωρία ανέφερε την ύπαρξη του ατόμου η οποία βασιζόταν σε παρατηρήσεις πάνω από 100 χρόνων και τελικά αποδείχθηκε το 1908 από τον Γάλλο φυσικό Jean Perrin. Ο Joseph Proust το 1799 και οι James Watson και Francis Crick το 1953 βοήθησαν με ανακαλύψεις να συγκεντρωθούν πληροφορίες σχετικές με τη διαδικασία της κατανόησης της

νανοτεχνολογίας, ενώ η πρώτη επιστημονική αναφορά πραγματοποιήθηκε σε μια ομιλία που έκανε ο Νομπελίστας φυσικός Richard Feynman, το 1959, με τίτλο «Υπάρχει Πολύς Χώρος στον Πάτο».

Ο πρώτος ορισμός για νανοτεχνολογία δόθηκε από τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Επιστημών του Τόκιο Norio Taniguchi το 1974 σε μία διατριβή του με τίτλο «Σχετικά με τη βασική έννοια της 'Νανοτεχνολογίας'», ο οποίος με ελάχιστες προσθήκες διατηρείται και σήμερα και ο οποίος είναι Η «Νανοτεχνολογία» είναι η τεχνολογία παραγωγής με σκοπό την υπέρτατη ακρίβεια και τις υπέρ άριστες διαστάσεις, για παράδειγμα η ακρίβεια και η αρτιότητα στην κλίμακα 1nm (νανόμετρο), 10-9 μέτρα μήκους. Το όνομα «Νανοτεχνολογία» πηγάζει από αυτό το νανόμετρο. Στην επεξεργασία των υλικών, το μικρότερο μόριο απομάκρυνσης αποθέματος, επισώρευσης ή ροής υλικών είναι πιθανώς ενός ατόμου ή ενός μορίου δηλαδή 0.1~0.2 nm σε μήκος. Επομένως, το αναμενόμενο όριο μεγέθους αρτιότητας θα είναι της κλίμακας του 1nm. Κατά συνέπεια η «Νανοτεχνολογία» κυρίως έγκειται στην επεξεργασία διαχωρισμού, εδραίωσης και παραμόρφωσης υλικών από ένα άτομο ή ένα μόριο. Περιττό να λεχθεί ότι οι τεχνικές μέτρησης και ελέγχου της ακρίβειας και της αρτιότητας 1 nm παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο σ' αυτή την τεχνολογία. Ο Eric Drexler είναι γνωστός σαν αυτός που έφερε την επανάσταση της νανοτεχνολογίας, στο σημείο που βρίσκεται σήμερα καθώς αναφέρθηκε το 1986 στο βιβλίο του «Μηχανές Δημιουργίας: Η επερχόμενη Εποχή της Νανοτεχνολογίας» στην μοριακή νανοτεχνολογία. Έγραψε πολλά βιβλία και κείμενα με αναφορές στην νανοτεχνολογία, αύξησε την αναγνώριση του κόσμου σχετικά με την έρευνα, εκπαίδευσε αυτούς που στο μέλλον θα ερευνούσαν και θα ανέπτυσαν τη νανοτεχνολογία, φώτισε τον τομέα αυτό και του προσφέρθηκε το πρώτο διδακτορικό στη νανοτεχνολογία. Η πρώτη ίσως νανοκατασκευή πραγματοποιήθηκε το 1990, όταν ο ερευνητής της IBM Don Eigler τοποθέτησε 35 άτομα Xe πάνω σε υπόστρωμα μονοκρυσταλλικού Ni, δημιουργώντας το λογότυπο της IBM (εικόνα 2.7). Λίγο

αργότερα το 1999, ερευνητές του Πανεπιστημίου Cornell έφτιαξαν μια νανοκιθάρα, οι χορδές της οποίας μπορούσαν να παιχτούν μόνο με δέσμες laser, παράγοντας εξαιρετικά υπέρυχνο ήχο, συχνότητας προφανώς μη αντιληπτής από το ανθρώπινο αυτί[38]. Λόγω του απειροελάχιστου μεγέθους τους, τα νανοσωματίδια εκφράζουν μοναδικές ιδιότητες σε σχέση με τα μόρια, που αλλάζουν πολλά απ' όσα ξέραμε και δίνουν επαναστατικές λύσεις σε άλυτα ως τώρα προβλήματα. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος που όλες οι αναπτυγμένες χώρες χρηματοδοτούν αδρά την ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας και τη θέτουν ως στρατηγική προτεραιότητά τους (όπως οι ΗΠΑ, η Ιαπωνία και η ΕΕ), επενδύοντας δεκάδες δισεκατομμύρια δολάρια. Ειδικά η Ευρώπη αφιέρωσε κατά την περίοδο 2002-2006 1,3 δισ.€ για έρευνα και ανάπτυξη στη νανοτεχνολογία, ενώ τα κεφάλαια που κατευθύνονται προς αυτήν αυξάνονται διαρκώς. Οργανισμοί, ινστιτούτα, φορείς, μεγάλες επιχειρήσεις, αλλά κυρίως χιλιάδες μικρομεσαίες και πολύ μικρές επιχειρήσεις σ' όλο τον κόσμο δραστηριοποιούνται πλέον στον κλάδο, εστιάζοντας στην ανάπτυξη κάποιας συγκεκριμένης συσκευής ή εφαρμογής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα νανοσωματιδίων που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι το διοξείδιο του πυριτίου και του τιτανίου, τα οξείδια του αργιλίου, του σιδήρου και του ψευδαργύρου καθώς και υδροξειδίου του ασβεστίου. Η κατασκευή των νανοσωματιδίων μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους: με λιθογραφία δέσμης ηλεκτρονίων, με άλεση με σφαιρίδια σιδήρου, με συμπύκνωση αερίου, με εκτομή με laser, με θερμική αποσύνθεση, με αποσύνθεση με υπερήχους, με χαμηλή πίεση (πλάσμα χαμηλής θερμοκρασίας), με αυτοσυναρμολόγηση, με την τεχνική διαλύματος-πηκτής (sol-gel) και άλλους. Η σημαντικότερη τεχνική είναι το sol-gel και περιλαμβάνει την μετάβαση του συστήματος από υγρό (κολλοειδές διάλυμα) σε στερεό (πήκτωμα). Έχει χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία και χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η παραγωγή SiO_2 από διάλυμα τετραμεθοξυσιλανίου, νερού και μεθανόλης με προσθήκη καταλύτη. Τα σημαντικότερα από τα νανοσωματίδια που χρησιμοποιούνται στα κονιάματα είναι τα νάνο οξείδια, με συχνότερη την χρησιμοποίηση του SiO_2 και του Fe_2O_3 καθώς και του $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Με την προσθήκη των δύο πρώτων νάνο-οξειδίων, αυξάνεται η αντοχή σε θλίψη των κονιαμάτων, βελτιώνεται η εργασιμότητα των κονιαμάτων ενώ αυξάνεται και η τριβή αντίστασης σε οδοστρώματα. Με την προσθήκη νανοοξειδίων έχει αποδειχθεί ότι

γεμίζουν οι πόροι ενώ μειώνεται η περιεκτικότητα του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ με ταυτόχρονη ενυδάτωση των προϊόντων [39]

Ένα ακόμα σημαντικό συστατικό νανοσωματιδίων που χρησιμοποιείται στα κονιάματα είναι το διοξείδιο του τιτανίου (ή τιτανία) TiO_2 . Η προσθήκη νανοτιτανίας έχει αποδειχτεί ότι επιταχύνει την ενανθράκωση και αυξάνει το βαθμό ενυδάτωσης. Επίσης λόγω των φωτοκαταλυτικών ιδιοτήτων και του αντιβακτηριδιακού ρόλου που έχει η τιτανία, χρησιμοποιείται για απομάκρυνση οργανικών ρύπων από επιφάνειες εκτεθειμένες σε υπεριώδης ακτινοβολίες και την αντιμετώπιση βιολογικών φθορών [40,41,42,43]. Μελέτες έχουν δείξει την επίδραση της νανο τιτανίας στην πρόοδο της ανθρακοποίησης και της υδρόλυσης σε κονιάματα με ποζολανικά πρόσθετα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ

3.1 Διαδικασία Μελέτης Σύνθεσης Σκυροδέματος

ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ: ΚΤΣ'97

Η διαδικασία περιγράφει τον τρόπο που εφαρμόζεται για την διενέργεια εργαστηριακών μελετών σύνθεσης σκυροδέματος σύμφωνα με τα αναφερόμενα στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος στην παράγραφο 5.2

Για τον καθορισμό της απαιτούμενης αντοχής ακολουθείται η παράγραφος 5.2 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (1997)

Διαδικασία

- Καθορισμός απαιτούμενης αντοχής σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2 του ΚΤΣ'97
- Επιλογή κάθισης (μελετητής, επιβλέπον) ή με κάθιση 10-12 cm αν δεν προδιαγράφεται (ΚΤΣ'97 5.2.3.1)
- Επιλογή/καθορισμός μέγιστου κόκκου αδρανών
- Εκτίμηση απαιτούμενου νερού και ποσοστού αέρα
- Επιλογή συντελεστή νερού προς τσιμέντο. Γίνεται εμπειρικά και σύμφωνα με καμπύλες που έχουν υπολογιστεί (βιβλιογραφία, εργαστήριο)
- Καθορισμός ποσότητας και τύπου τσιμέντου. Προσοχή μήπως υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις (π.χ. σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές προσβολές)

- Εκτίμηση περιεκτικότητας χονδρόκοκκου αδρανούς υλικού
- Εκτίμηση περιεκτικότητας λεπτόκοκκου αδρανούς υλικού.
- Ρυθμίσεις στις αναλογίες ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του Κ.Τ.Σ.'97 (π.χ. Ζώνη Δ διαγράμματος I)
- Προσθήκη προσθέτων σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μελέτης σύνθεσης (π.χ. κάθιση κατηγορίας S4) και με τις οδηγίες του κατασκευαστή (π.χ. προσθήκη μέχρι 0,5% κ.β. τσιμέντου)
- Δημιουργία πίνακα ποσοτήτων για την παρασκευή 1m³ σκυροδέματος.
- Παρασκευή δοκιμαστικού(-ών) αναμίγματος στον εργαστηριακό αναμκτήρα (Μέτρηση φαινόμενου βάρους αδρανών, εργασιμότητας, λήψη δοκιμίων, υπολογισμός αντοχών 7 & 28 ημερών)
- Έλεγχος αν ικανοποιούνται τα κριτήρια
- Ρυθμίσεις των αναλογιών (αλλαγή του λόγου νερού/τσιμέντο, διορθώσεις στα βάρη των υλικών ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος) και επανάληψη του αναμίγματος
- Από το τελευταίο ανάμιγμα γίνεται λήψη τουλάχιστον 8 δοκιμίων για τον υπολογισμό της αντοχής σε θλίψη. Τρία (το ελάχιστο) από αυτά χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αντοχής σε θλίψη σε ηλικία 28 ημερών και τα υπόλοιπα για μικρότερες ηλικίες (π.χ. 3 & 7 ημερών)³

Ο Ανάδοχος του έργου είναι υπεύθυνος για την διενέργεια της μελέτης συνθέσεως, για κάθε κατηγορία σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθεί στο έργο, την καταβολή της σχετικής δαπάνης και την ακριβή τήρηση της μελέτης και των επιβαλλομένων από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ) διαδικασιών και ενεργειών. Η μελέτη συνθέσεως θα γίνεται με τα υλικά (αδρανή, τσιμέντο, νερό, πρόσθετα) που πράγματι θα χρησιμοποιηθούν στο έργο και που θα αποστείλει, με τη φροντίδα και υπ' ευθύνη του, ο ανάδοχος στο εργαστήριο στις κατάλληλες ποσότητες. Σ' αυτήν θα ληφθεί υπ' όψη η ενδεχόμενη μεγάλη πυκνότητα οπλισμών σε μερικές θέσεις, ώστε να επιδιωχθεί και

³ Πηγή: Οδηγός δοκιμών υλικών – Σκυρόδεμα – ΤΕΕ

επιτευχθεί η κατάλληλη εργασιμότητα σκυροδέματος που αντιστοιχεί σε ελάχιστη κάθιση 12-14cm, που θα διορθωθεί (μόνο με υπερρυστοποιητικά) εφ' όσον το απαιτήσουν οι ανάγκες του έργου (διαστάσεις διατομών, γυμνό μπετόν, κ.λπ.) και οι ειδικές συνθήκες (αντλία, κάδοι ή σωλήνες μεταφοράς, μέσα συμπυκνώσεως, θερμοκρασία περιβάλλοντος, παρέλευση χρόνου κ.λπ.) ή θα τροποποιείται σε περίπτωση διάστρωσης περιοχών με εξαιρετικά πυκνό οπλισμό. Η επιπλέον δαπάνη από την πιθανή χρήση προσθέτων (υπερρυστοποιητικών, κ.λπ.) βαρύνει τον εργολάβο.

Γενικώς, προκειμένης της συντάξεως της μελέτης συνθέσεως σκυροδέματος, ο ανάδοχος πρέπει να δώσει στο αρμόδιο εργαστήριο τα παρακάτω πραγματικά στοιχεία, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις της εγκεκριμένης μελέτης, τις διαστάσεις των στοιχείων που θα σκυροδετηθούν, την πυκνότητα οπλισμού, τον διατιθέμενο από εκείνον συγκεκριμένο εξοπλισμό και τις πραγματικές οργανωτικές και κατασκευαστικές του δυνατότητες :

- *Σκυρόδεμα εργοστασιακό ή εργοταξιακό, μικρού ή μεγάλου έργου*
- *Κατηγορία ή κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος*
- *Στοιχεία για την τυπική απόκλιση του συγκροτήματος παραγωγής σκυροδέματος (αν υπάρχουν)*
- *Κατηγορία ή κατηγορίες κάθισης, καθώς και τον επιθυμητό χρόνο διατήρησης της κάθισης (χωρίς απώλεια κάθισης απαγορευτική)*
- *Προέλευση αδρανών (λατομείο ή δανειοθάλαμος, θραυστά ή φυσικά)*
- *Μέγιστο κόκκο αδρανούς*
- *Επιθυμητή μορφή δοκιμίων ελέγχου*
- *Στοιχεία ανθεκτικότητας (επίχρισμα ή όχι, παραθαλάσσιο περιβάλλον κ.λπ. λαμβανομένης υπ' όψη και της χρήσεως των στεγαζομένων χώρων)*
- *Τρόπο μεταφοράς (αντλία, γερανός, μεταφορική ταινία, καροτσάκι κ.λπ.)*
- *Τρόπο συμπύκνωσης (δονητές μάζας ή επιφανείας, πήχης κ.λπ.)*

- *Ενδεχόμενες ειδικές απαιτήσεις (υδατοστεγανότητα, διαβρωτικό περιβάλλον, χημικές προσβολές, αντοχή σε επιφανειακή φθορά, διάστρωση μέσα στο νερό ή τη θάλασσα, χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία διαστρώσεως κ.λπ.)*
- *Εντολή για τη χάραξη της καμπύλης με συντεταγμένες το λόγο N/T και την αντοχή, για ένα διάστημα $\pm 3 \text{ MPa}$ (30 kp/cm^2) εκατέρωθεν της απαιτούμενης αντοχής f_a*
- *Πιθανή σκοπιμότητα ή επιθυμία χρησιμοποίησης δύο κατηγοριών τσιμέντου*

Είναι δυνατόν να ζητηθεί η μελέτη συνθέσεως για σκυρόδεμα που θα αποκτά επιθυμητή αντοχή σε χρόνο μικρότερο των 28 ημερών. Σκυρόδεμα έργων ή περιοχών της χώρας που είναι χωρίς επίχρισμα ή εκτεθειμένο σε θερμοκρασίες παγετού και άλλες δυσμενείς συνθήκες (σιλό, γέφυρες κ.λπ.) απαιτείται να παρασκευάζεται με μειωμένη υδατοπερατότητα, ενώ η ελάχιστη επικάλυψη του οπλισμού αυτών των κατασκευών θα είναι 50 mm.

Για κάθε κατηγορία σκυροδέματος που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί στο έργο η μελέτη συνθέσεως πρέπει να δίνει :

- Τις αναλογίες νερού, τσιμέντου, λεπτοκόκκων και χονδρόκοκκων αδρανών κατά βάρος, για την παρασκευή 1 m^3 συμπακνωμένου σκυροδέματος. Στον καθορισμό της ποσότητας του τσιμέντου θα έχουν ληφθεί υπ' όψη (πλην της αντοχής) οι απαιτήσεις ανθεκτικότητας που προκύπτουν από τις κλιματικές και λοιπές συνθήκες της θέσεως του έργου, τη χρήση του, τις συνθήκες κατασκευής και λειτουργίας του κλπ.
- Τις κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των αδρανών υλικών και του μίγματος
- Την αντίστοιχη κάθιση του σκυροδέματος και την απώλεια κάθισης συναρτήσει του χρόνου (loss of slump) για 30', 60' και 90' από τον χρόνο ανάμιξης
- Την δοσολογία των προσθέτων που πιθανώς απαιτείται ή ζητείται να χρησιμοποιηθούν για να αποκτηθούν ή να βελτιωθούν οι επιθυμητές ιδιότητες σε κάθε θέση και κάθε κατηγορία, επιτάχυνση ή επιβράδυνση πήξεως, εργασιμότητα, κ.λπ. ή και για να ικανοποιηθούν οι άλλες ειδικές απαιτήσεις
- Την καμπύλη του λόγου N/T – αντοχής περί την απαιτούμενη αντοχή f_a , κατά την πργρ. 5.2.3.3 του ΚΤΣ.

Στη μελέτη συνθέσεως πρέπει ακόμα να δηλώνεται :

- Η τήρηση της δοθείσης εντολής ως προς τη μορφή των δοκιμίων, το μέγεθος του μέγιστου κόκκου κ.λπ. και ότι ελήφθησαν υπ' όψη ο τρόπος μεταφοράς και συμπίκνωσης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες κ.λπ.
- Η μορφή των δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν (κυβικά ή κυλινδρικά)
- Η σειρά των κοσκίνων που χρησιμοποιήθηκε (Γερμανικά ή Αμερικανικά)
- Οι ικανοποιούμενες ειδικές απαιτήσεις που ενδεχομένως ζητήθηκαν
- Η τήρηση των επιταγών του ΚΤΣ για την περιεκτικότητα σε τσιμέντο αναλόγως μέγιστου κόκκου, τον λόγο N/T και τη θέση της κοκκομετρικής καμπύλης αδρανών

Της μελέτης συνθέσεως θα προηγείται έλεγχος (και θα γνωστοποιείται το αποτέλεσμα του) της πραγματικής στάθμης αντοχής του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου (ανεξαρτήτως τύπου ή κατηγορίας), ώστε να είναι δυνατή η τροποποίηση της συνθέσεως ή να επισημαίνεται η ανάγκη επαναλήψεως της μελέτης συνθέσεως, αν αυτή η στάθμη αντοχής του τσιμέντου (που θα παρακολουθείται) μεταβληθεί ουσιωδώς κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου. Η μελέτη συνθέσεως θα επαναλαμβάνεται ασφαλώς, όταν αλλάζει η πηγή λήψεως των αδρανών, τα πρόσθετα, ο τύπος ή η κατηγορία αντοχής του τσιμέντου κ.λπ. κατά τις διατάξεις του ΚΤΣ 5.2.1.5.

3.2 Υπολογισμοί Σύνθεσης Σκυροδέματος

ΕΦΑΡΜΟΓΗ⁴

Θεωρητικό Μέρος

4

<http://ikaros.teipir.gr/phyche/Subjects/Routoulas/Petyl/%C1%D3%CA%C7%D3%C7%209%20-%20%D4%D3%C9%CC%C5%CD%D4%C1%20-%20%D3%CA%D5%D1%CF%C4%C5%CC%C1.pdf>

1. Η Έννοια της Μελέτης Σύνθεσης

Με τον όρο μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος δηλώνεται ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των επί μέρους συστατικών του σκυροδέματος για την παραγωγή 1 m^3 . Η μελέτη σύνθεσης μπορεί να γίνει μόνο εργαστηριακά, βάσει μίας διαδικασίας διαδοχικών δοκιμών, χρησιμοποιώντας τα συγκεκριμένα υλικά που είναι διαθέσιμα για την παρασκευή του σκυροδέματος. Πρέπει να διεξάγεται στην αρχή κάθε έργου και να επαναλαμβάνεται:

- όταν αλλάζει η πηγή λήψης αδρανών
- όταν τα αδρανή παρουσιάζουν διαφορετική διαβάθμιση από εκείνη που είχαν στη μελέτη σύνθεσης, με αποκλίσεις που ξεπερνούν το 10% για τα κόσκινα τα μεγαλύτερα των $\square 4$ ή No. 4, το 8% για τα κόσκινα της άμμου (πλην του $\square 0.25$) και το 5% για το κόσκινο $\square 0.25$
- όταν αλλάζουν τα πρόσμικτα ή ο τύπος τσιμέντου ή η κατηγορία αντοχής τσιμέντου
- όταν το μίγμα παρουσιάζει τάσεις απόμειξης ή η κάθισή του δεν ικανοποιεί τις σχετικές απαιτήσεις μολονότι τηρούνται οι αναλογίες της μελέτης σύνθεσης.

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997, μελέτες σύνθεσης μπορούν να γίνονται μόνο από Εργαστήρια του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, από Εργαστήρια των Α.Ε.Ι. και από αναγνωρισμένα ιδιωτικά Εργαστήρια (διαπιστευμένα Εργαστήρια και Εργαστήρια που εποπτεύονται από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997 στερείται αριθμητικής διαδικασίας για τη μελέτη σύνθεσης.

3.3 Απαιτήσεις για το Σκυρόδεμα

Η σύνθεση των επί μέρους συστατικών του σκυροδέματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε το σκυρόδεμα που θα προκύψει να εξυπηρετεί το στόχο για τον οποίο παρασκευάζεται. Ο στόχος αυτός είναι διττός:

- Στη νωπή κατάσταση να μπορεί να πάρει τη μορφή του φορέα που σκυροδετείται χωρίς να προκύπτουν κενά (ώστε να μην μειώνεται η αντοχή του σκυροδέματος).
- Στη σκληρυμένη κατάσταση να αποκτήσει την αντοχή, την ανθεκτικότητα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά για τα οποία έχει σχεδιαστεί η κατασκευή.

Ανάλογα με τη χρήση της κατασκευής, ορισμένα από τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος μπορεί να εξειδικεύονται π.χ. η διαπερατότητα (δεξαμενές, υδροηλεκτρικά έργα), η χημική ανθεκτικότητα (έργα θεμελιώσεων, συλλογής λυμάτων), η αντίσταση σε τριβή (βιομηχανικά δάπεδα, χώροι στάθμευσης, οδοστρώματα από σκυρόδεμα) κλπ. Για την ικανοποίηση των στόχων αυτών τίθενται οι παρακάτω απαιτήσεις για την ποσοτική σύνθεση των συστατικών του σκυροδέματος:

- Το νωπό σκυρόδεμα θα πρέπει να διαθέτει συγκεκριμένη τιμή εργασιμότητας. Μέτρο της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος αποτελεί η κάθιση (slump) καθορισμένου όγκου σκυροδέματος, μετά τη συμβατική συμπύκνωση του.
- Το σκληρυμένο σκυρόδεμα θα πρέπει να διαθέτει ορισμένη θλιπτική αντοχή, καθώς όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένα από αυτήν. Μέτρο της θλιπτικής αντοχής του σκληρυμένου σκυροδέματος είναι η συμβατική του αντοχή f_{ck} για δοκίμια κυλινδρικού ή κυβικού σχήματος.

3.4 Βασικές Σχέσεις της Μελέτης Σύνθεσης⁵

Σε οποιαδήποτε μεθοδολογία για την εκπόνηση μελέτης σύνθεσης σκυροδέματος, ακολουθούνται σε γενικές γραμμές τα εξής βήματα, τα οποία διαφοροποιούνται ως προς τα κριτήρια και τις απαιτήσεις των εκάστοτε χρησιμοποιούμενων προδιαγραφών, κανονισμών ή προτύπων.

Τα δεδομένα του προβλήματος είναι συνήθως:

- η απαιτούμενη αντοχή f_a
- η μορφή των δοκιμίων ελέγχου (κυβικά ή κυλινδρικά)
- η κάθιση του νωπού σκυροδέματος
- ο μέγιστος κόκκος αδρανών
- η ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου
- τυχόν ειδικές απαιτήσεις (π.χ. επιχρισμένο ή ανεπίχριστο σκυρόδεμα, παραθαλάσσιο περιβάλλον, υδατοστεγανότητα κ.τ.λ.).

Τα ζητούμενα μεγέθη είναι συνήθως τρία:

- η ποσότητα (σε kg) του τσιμέντου (C),

⁵ Α. Τριαναφύλλου, ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ, Πάτρα (2010)

- η ποσότητα (σε kg) του νερού (W) και
- η ποσότητα (σε kg) των αδρανών (A).

Αναζητούνται τρεις σχέσεις με αγνώστους τα παραπάνω μεγέθη C, W και A.

Η πρώτη σχέση προκύπτει από τον ορισμό της μελέτης σύνθεσης που περιγράφει ότι οι ποσότητες C, W και A αντιστοιχούν σε 1 m³ σκυροδέματος, από όπου υπολογίζεται ο συνολικός στερεός όγκος των αδρανών σε 1 m³ ανά μίγματος, αφαιρώντας από το 1 m³ σκυροδέματος τον όγκο του νερού, του τσιμέντου και του αέρα των κενών :

$$V_A = 1 - \frac{m_c}{\rho_c} - \frac{m_w}{1000} - V_{\text{αέρα}}$$

όπου m_c : η μάζα του τσιμέντου σε 1 m³ σκυροδέματος (kg)

ρ_c : η πυκνότητα του τσιμέντου (περίπου ίση με 3100 kg/m³)

m_w : η μάζα του νερού σε 1 m³ σκυροδέματος (kg)

Η δεύτερη σχέση προκύπτει από την σχέση εργασιμότητας και νερού, η οποία συνήθως δίνεται γραφικά και που προκύπτει εύκολα μετρώντας την κάθιση δοκιμαστικών μιγμάτων με διάφορες ποσότητες νερού. Η καμπύλη αυτή διαφοροποιείται αν αλλάξει η κοκκομετρική διαβάθμιση ή ο τύπος των αδρανών, ιδιαίτερα της άμμου. Η τρίτη σχέση προκύπτει από τη συσχέτιση της θλιπτικής αντοχής και του λόγου νερού/τσιμέντο, $\omega = W/C$, γνωστού και ως υδατοτσιμεντοσυντελεστή, η οποία δίνεται επίσης γραφικά. Προκύπτει μετρώντας την αντοχή δοκιμαστικών μιγμάτων με διάφορους λόγους ω . Η καμπύλη αυτή διαφοροποιείται με τον τύπο του τσιμέντου. Για σκυροδέματα για τα οποία δεν είναι γνωστό το ειδικό βάρος του νεπού μίγματος (με μη ασβεστολιθικά αδρανή) καθώς και για σκυροδέματα με ειδικές απαιτήσεις ακολουθείται ακριβέστερη μελέτη σύνθεσης. Για συνήθη σκυροδέματα (με ασβεστολιθικά αδρανή και τσιμέντο CEM II 32,5) οι αναλογίες σύνθεσης του σκυροδέματος κυμαίνονται στα παρακάτω όρια:

Τσιμέντο: 300 έως 450 kg

Νερό: 180 έως 240 kg

Αδρανή: 1700 έως 1900 kg.

Στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση περιγράφεται αναλυτικά ο σχεδιασμός της μελέτης σύνθεσης για την παραγωγή 1 m³ σκυροδέματος σύμφωνα με την προδιαγραφή ACI-211 (American Concrete Institute).

3.5 Πειραματικό Μέρος

1. Προδιαγραφές

Ο σχεδιασμός της μελέτης σύνθεσης για την παραγωγή 1 m³ σκυροδέματος διεξάγεται σύμφωνα με την προδιαγραφή ACI-211.

2.Υπολογιστική διαδικασία

Γενικά

Η μελέτη σύνθεσης πραγματοποιείται από τον μηχανικό παραγωγής στο γραφείο, πριν δοθεί προς υλοποίηση στο εργοστάσιο παρασκευής σκυροδέματος, αφού προηγουμένως έχουν προδιαγραφεί οι τυχόν ειδικές απαιτήσεις του έργου.

Η πορεία εργασίας βασίζεται σε βιβλιογραφικά δεδομένα, σύμφωνα με την προδιαγραφή ACI-211, όπου από Πίνακες παρέχονται κατάλληλα δεδομένα και εξ' αυτών προκύπτουν οι απαραίτητες συστάσεις των υλικών του αναμίγματος. Οι τιμές που αναγράφονται στους Πίνακες και οι προκύπτουσες συστάσεις στηρίζονται σε Αμερικανικά δεδομένα. Θα πρέπει να διευκρινιστεί στο σημείο αυτό ότι τα παραπάνω δεδομένα δεν είναι και υποχρεωτικά στη χρήση τους για την Ελλάδα, δεν αποτελούν απαιτήσεις του νόμου αλλά ελλείψει τέτοιας αριθμητικής διαδικασίας από τον Κ.Τ.Σ.-'97, χρησιμοποιούνται ως εργαλείο αναφοράς. Αν κατά την πορεία υπάρξει άλλη πληροφόρηση, μπορούν να ακολουθηθούν οι ανάλογες τροποποιήσεις από την διαδικασία κατά ACI-211.

Δεδομένα του προβλήματος

Το εργοστάσιο επιζητά να παράξει σκυρόδεμα κατηγορίας θλιπτικών αντοχών C25/30, κατηγορίας κάθισης S2, έκθεσης σε παραθαλάσσιο περιβάλλον (σύμφωνα με την προδιαγραφή ACI-211 η μέγιστη απόσταση κτίσματος στην παραλία από τη θάλασσα είναι τα 2 miles, ενώ η αντίστοιχη τιμή θεωρείται ίση με 1-2 km για την Ελλάδα). Ο μέγιστος κόκκος των αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν θα αντιστοιχεί σε χαλίκι 1" ή

25,4 mm. Επίσης απαιτείται ότι το παραγόμενο σκυρόδεμα θα πρέπει να είναι αντλήσιμο, χωρίς αερακτικό πρόσθετο.

- Οι απαιτήσεις σχετικά με την κατηγορία θλιπτικών αντοχών (C25/30) του σκυροδέματος, το παραθαλάσσιο και την χρήση ή μη του αερακτικού προσθέτου επιβάλλονται/επιζητούνται από τον μηχανικό που εκπονεί τη μελέτη σύνθεσης
- Οι απαιτήσεις σχετικά με την εργασιμότητα (S2), επιβάλλονται/επιζητούνται από/για τον εργολάβο του έργου
- Οι απαιτήσεις σχετικά με τον μέγιστο κόκκο των αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν (1" ή 25,4 mm), επιζητούνται από το εργοστάσιο
- Οι απαιτήσεις σχετικά με το αντλήσιμο, επιζητούνται από τη φύση του έργου.

Ειδικότερα:

Αν το σκυρόδεμα απαιτείται να μην έχει χαλίκι (γαρμπιλομετόν), μπορεί να χρησιμοποιηθεί τότε μόνον όταν στη σκυροδέτηση χρησιμοποιείται πυκνός οπλισμός, οπότε και απαιτείται η χρήση πιο λεπτόκοκκου μίγματος αδρανών ώστε να αποφευχθεί η επικάθιση των κόκκων του χαλικιού στον χάλυβα οπλισμού και η δημιουργία κενών, αλλά απαιτείται ειδική μελέτη.

Η χρήση αερακτικού προσθέτου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χρήση αερακτικού προσθέτου εισάγει φυσαλίδες αέρα στο ανάμιγμα, με συνέπειες:

- την μείωση (υπερβολική ενίοτε) των μηχανικών αντοχών και
- την αύξηση (υπερβολική ενίοτε) του εργασιμίου.

Συνεπώς, η χρήση αερακτικού προσθέτου θα πρέπει υποχρεωτικά να ληφθεί υπόψη στην μελέτη σύνθεσης με αποτέλεσμα η διαδικασία να περιπλέκεται σημαντικά. Αν τελικώς χρησιμοποιηθεί αερακτικό πρόσθετο, θα πρέπει να προστεθεί στο ανάμιγμα επιπλέον ποσότητα τσιμέντου για την αποφυγή της μείωσης των μηχανικών αντοχών, ενώ εφόσον το αερακτικό αυξάνει το εργάσιμο θα πρέπει να μειωθεί η συνολική ποσότητα νερού που θα χρησιμοποιηθεί, άρα πιθανότατα τα παραπάνω θα συνοδεύονται από αύξηση των μηχανικών αντοχών, οι οποίες θα πρέπει να παρατηρηθούν στον έλεγχο των μηχανικών αντοχών των δοκιμίων που θα ληφθούν.

Η χρήση του αερακτικού επιβάλλεται στο έργο όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι κοντά στους 0°C για παρατεταμένες περιόδους (στην Αθήνα συνιστάται η αναμονή για 1-2 μέρες οπότε και συνήθως επέρχεται βελτίωση των καιρικών συνθηκών και άνοδος της θερμοκρασίας), ή αν υποχρεωτικά πρέπει να γίνει σκυροδέτηση. Αν δεν προστίθετο αερακτικό θα υπάρξει κίνδυνος από το φαινόμενο της παγοπληξίας η οποία θα δημιουργήσει προβλήματα στη δομή του παραγόμενου σκυροδέματος από τη δημιουργία πάγου κατά την πήξη του νερού του αναμίγματος, με συνέπεια την διαστολή του η οποία θα οδηγούσε στη ρηγμάτωσή του αφενός, αφετέρου δε στην μείωση των μηχανικών αντοχών και την εισαγωγή ξένων ιόντων. Οι φυσαλίδες αναλαμβάνουν τις εντάσεις και μεταβολές όγκου από την διόγκωση του νερού λειτουργώντας ως θερμική ανάρτηση και έτσι αποφεύγεται η ρηγμάτωση.

Αν στο έργο λαμβανόταν έτοιμο εργοστασιακό σκυρόδεμα χωρίς αερακτικό πρόσθετο και προτεινόταν η εκ των υστέρων προσθήκη αερακτικού, με τη δικαιολογία ότι κατά την διάρκεια της νύχτας θα ακολουθήσει πτώση της θερμοκρασίας η οποία δεν προβλέφθηκε εξ' αρχής, δεν θα πρέπει αυτό να προστεθεί στο προσκομισθέν εργοστασιακό σκυρόδεμα γιατί οι αντοχές του θα μειωθούν. Αν οι καιρικές συνθήκες και ο ιδιάζων χαρακτήρας του έργου επιβάλουν οπωσδήποτε την σκυροδέτηση (π.χ. έργο σε νησί όπου επικρατούν δυνατοί άνεμοι και χαμηλές θερμοκρασίες), η χρήση αερακτικού προτείνεται να αποφευχθεί και αντ' αυτού να χρησιμοποιηθούν τρόποι ανόδου της θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά την συντήρηση, όπως π.χ. το σκέπασμα της κατασκευής με νάυλον οπότε λόγω του εξώθερμου της ενυδάτωσης, το νάυλον θα περιορίσει κατά το δυνατόν τις απώλειες σε θερμότητα, ή τη θέρμανση των δομικών στοιχείων με θερμαντικά μέσα για τις επόμενες 1-2 ημέρες.

Απαιτηση σε νερό

Χρησιμοποιώντας βιβλιογραφικά δεδομένα τα οποία παρέχονται στην προδιαγραφή ACI-211, από τον Πίνακα A1.5.2.3 για το νερό ανάμιξης (mixing water) προκύπτει η απαιτούμενη ποσότητα για το νερό ανάμιξης της σύνθεσης, αφού προηγουμένως έχει δοθεί ως δεδομένο η απαιτούμενη κάθιση του σκυροδέματος και ο μέγιστος κόκκος των αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν.

Πίνακας Α1.5.2.3: Απαιτήσεις κατά προσέγγιση του νερού ανάμιξης συναρτήσει της κάθισης και του μέγιστου κόκκου των αδρανών [18].

Κάθιση (cm)	Απαιτήση σε νερό σε kg/m^3 σκυροδέματος συναρτήσει του μέγιστου κόκκου των αδρανών σε mm							
	10	12,5	20	25	40	50	70	150
Σκυρόδεμα χωρίς τη χρήση αερακτικού								
3 – 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 – 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 – 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Κατά προσέγγιση ποσότητα παγιδευμένου αέρα σε σκυρόδεμα χωρίς αερακτικό (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
Σκυρόδεμα με τη χρήση αερακτικού								
3 – 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 – 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 – 18	215	205	190	185	170	165	160	-
Προτεινόμενο μέσο συνολικό ποσοστό παγιδευμένου αέρα σε σκυρόδεμα χωρίς αερακτικό (%)	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0

Η επιθυμητή εργασιμότητα του σκυροδέματος προδιαγράφεται από την κατηγορία κάθισης, η οποία στην περίπτωση της παρούσης είναι η S2, ήτοι κάθιση 50-90 mm ή 5-9 cm (η ACI χρησιμοποιεί cm). Για μέγιστο κόκκο αδρανών ίσο με 25 mm ($d_{\max}=25$ mm), ο Πίνακας Α1.5.2.3 δεν παρέχει δεδομένα για το νερό ανάμιξης για κάθιση στα 5-9 cm. Γι' αυτό θεωρώντας μια μέση τιμή κάθισης ίση με 7 cm, από τα δεδομένα του Πίνακα Α1.5.2.3 θα είναι:

κάθιση 8-10 cm (μέση τιμή 9 cm) απαιτούνται 195 kg νερού ανάμιξης

κάθιση 3-5 cm (μέση τιμή 4 cm) απαιτούνται 180 kg νερού ανάμιξης

οπότε εφαρμόζοντας γραμμική παρεμβολή ως εξής:

Για διαφορά μονάδων (9-4) cm= 5 cm στην κάθιση, εμφανίζεται διαφορά μονάδων βάσης στο νερό ανάμιξης (195-180) kg= 15 kg, ενώ για διαφορά (7-4) cm= 3 cm στην κάθιση, =9 kg.

Έτσι για κάθιση 4 cm αντιστοιχεί νερό ανάμιξης 180 kg, για κάθιση 9 cm = 189 kg νερού ανάμιξης. Άρα για τη σύνθεση 1 m^3 παραθαλάσσιου σκυροδέματος κατηγορίας αντοχών

C25/30, κατηγορίας κάθισης S2, η απαιτούμενη ποσότητα νερού ανέρχεται σε 189 kg (W=189 kg).

Στο υπόμνημα του Πίνακα A1.5.2.7.1 που αφορά το αερακτικό πρόσθετο, για κατηγορία κάθισης S2 στα 8-10 cm υπάρχει οδηγία που αναφέρει να αφαιρεθούν 20 kg νερού (λόγω αύξησης του εργάσιμου). Στον Πίνακα A1.5.2.4 (a) δίνεται η συσχέτιση μεταξύ της τιμής του λόγου νερού/τσιμέντο, W/C, συναρτήσεως της αντοχής σε θλίψη 28 ημερών για κυλινδρικό και όχι κυβικό δοκίμιο, σε μονάδες kg/cm² (και όχι σε MPa). Έτσι για τη συνέχεια θα πρέπει να εκφραστεί η αντοχή σε θλίψη των 28 ημερών σε μονάδες kg/cm² για κυλινδρικό δοκίμιο, διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm.

Πίνακας A1.5.2.4 (a): Συσχέτιση μεταξύ λόγου νερού/τσιμέντο (W/C) και θλιπτικών αντοχών σκυροδέματος 28 ημερών [18].

Θλιπτική αντοχή 28 ημερών (kg/cm ²)	Τιμή λόγου W/C (κατά βάρος)	
	Σκυρόδεμα χωρίς τη χρήση αερακτικού	Σκυρόδεμα με τη χρήση αερακτικού
450	0,38	-
400	0,43	-
350	0,48	0,40
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,70	0,61
150	0,80	0,71

Χρήση επιβραδυντή

Σε περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί επιβραδυντής στο ανάμιγμα, η μάζα του υπολογίζεται επί τοις % ως προς το τσιμέντο της σύνθεσης.

Απαιτούμενη αντοχή f_a σκυροδέματος

Αυτή δίνεται από τη Σχέση 2:

$$f_a = f_{ck} + 1.64 \cdot S \quad (2)$$

Όπου:

f_{ck} τιμή χαρακτηριστικής αντοχής, S τιμή τυπικής απόκλισης αντοχών του εργοστασίου. Πρέπει να ερωτηθεί το εργοστάσιο σκυροδέματος ποια είναι η τυπική του

απόκλιση (και επειδή συνήθως δεν τη γνωρίζει, τότε χρησιμοποιείται αυτή των 6 δοκιμίων). Αν το εργοστάσιο σκυροδέματος δώσει ως τιμή τυπικής απόκλισης:

- $S < 3$ MPa, τότε στην Σχέση 1 χρησιμοποιείται τιμή τυπικής απόκλισης ίση με $S = 3$ MPa (άρα στη Σχέση 2 δεν νοείται $S < 3$ MPa)
- $S > 3$ MPa, τότε στην Σχέση 2 χρησιμοποιείται ότι βρέθηκε, ότι προσκομίζεται από το εργοστάσιο για τυπική απόκλιση $S > 3$ MPa • αν το εργοστάσιο επικαλεστεί ότι δεν έχει στοιχεία, τότε στην Σχέση 2 χρησιμοποιείται εξ' ορισμού η τιμή τυπικής απόκλισης $S = 5$ MPa (με αυτόν τον τρόπο ο κανονισμός τιμωρεί τον παραγωγό ετοιμού εργοστασιακού σκυροδέματος με μεγάλη τιμή στην τυπική απόκλιση που θα χρησιμοποιηθεί στη Σχέση 2, εφόσον δεν λάμβανε δοκίμια για μέτρηση αντοχών και στατιστική επεξεργασία)
- αν το εργοστάσιο δεν έχει στοιχεία και χρησιμοποιεί φυσικά συλλεκτά αδρανή, τότε στην Σχέση 2 χρησιμοποιείται τιμή τυπικής απόκλισης ίση με $S = 6$ MPa.

Η τιμή 1,64 υποδηλώνει ότι η χαρακτηριστική αντοχή f_{ck} βρίσκεται 1,64 τυπικές αποκλίσεις μακριά από τον μέσον όρο. Κάτω της χαρακτηριστικής αντοχής των 30 MPa το εργοστάσιο θα εμφανίζει 5% τιμές υποαντοχών.

Έστω εδώ ότι δηλώνεται ότι $S < 3$ MPa. Τότε στην Σχέση 2 για την τυπική απόκλιση θα χρησιμοποιηθεί η τιμή $S = 3$ MPa και άρα για τιμή χαρακτηριστικής αντοχής $f_{ck} = 30$ MPa (κυβικού δοκιμίου για την Ελλάδα) προκύπτει η τιμή της απαιτούμενης αντοχής ως:

$$f_a = (30 + 1,64 \cdot 3) \text{ MPa} = 34,9 \text{ MPa}.$$

Το σκυρόδεμα με τιμή απαιτούμενης αντοχής που προκύπτει από τη Σχέση 2 καλείται οριακό, λόγω του minimum 1,64. Ο νόμος δίνει το δικαίωμα να παραχθεί οριακό σκυρόδεμα με ανοχή 5%. Αν και εκ του νόμου δίδεται το δικαίωμα να βρεθούν κάτω από 5% υποαντοχές, εάν δεν ληφθούν από τον μηχανικό δοκίμια για προσδιορισμό των μηχανικών αντοχών τότε δεν μπορεί να βρεθεί τίποτα (δηλαδή εργοστασιακό σκυρόδεμα με τιμή απαιτούμενων αντοχών ίση π.χ. με 36 MPa δεν εξασφαλίζει την καταλληλότητά του από πλευράς αντοχών).

Τα υψηλής ποιότητας εργοστάσια παράγουν συνθέσεις με τιμή απαιτούμενης αντοχής f_a , που προκύπτει από τη σχέση $f_a = f_{ck} + 2.00 \cdot S$ και όχι την $f_a = f_{ck} + 1.64 \cdot S$ (δηλαδή μειώνοντας το ποσοστό των υποαντοχών που πιθανόν να εμφανιστούν σε 2,5% από 5%, αλλά με ταυτόχρονη αύξηση του κόστους του σκυροδέματος αφού απαιτείται η προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας τσιμέντου). Αν όλες οι σκυροδετήσεις ελέγχονταν, θα φαινόταν ότι κάποιοι πελάτες αγοράζουν και λαμβάνουν σκυρόδεμα με μικρότερες αντοχές.

Αν το εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου του εργοστασίου ειδοποιούσε ότι μετρήθηκε η τιμή της απαιτούμενης αντοχής f_a ίση με $f_a=27$ MPa, τότε το εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου του εργοστασίου θα λάμβανε δοκίμια και την επόμενη ημέρα. Αν επαναληφθεί η μέτρηση της ίδιας με την παραπάνω τιμή για την απαιτούμενη αντοχή και την επόμενη ημέρα η (ακραίο ενδεχόμενο με ελάχιστη πιθανότητα να συμβεί), τότε το σκυρόδεμα είναι κακής ποιότητας, προφανώς έχει γίνει λάθος στην παραγωγική διαδικασία και το εργοστάσιο θα πρέπει να σταματήσει να δίνει σκυρόδεμα αυτής της παρτίδας (δεν μπορεί να συμπέσουν 2 ημέρες με 27 MPa) και πρέπει να ενημερώσει τους πελάτες του. Παρόλα ταύτα, για τον λόγο αυτό συνηθίζεται να λέγεται ότι «το σκυρόδεμα έχει φιλότιμο» μιας και οι αντιδράσεις ενυδάτωσης συνεχίζουν να εξελίσσονται σε βάθος χρόνου οπότε και σε 1,5-2 χρόνια το παραπάνω κακής ποιότητας σκυρόδεμα θα αποκτήσει την απαιτούμενη αντοχή.

Από τις απαιτήσεις του Κ.Τ.Σ.-'97 (§ 13.2.3.3.) φαίνεται ότι λόγω διαφορετικής γεωμετρίας, άρα και του διαφορετικού μηχανισμού κατανομής των θλιπτικών τάσεων, το κυβικό δοκίμιο διαστάσεων 20 cm x 20 cm x 20 cm έχει μικρότερη θλιπτική αντοχή κατά 5% έναντι του κυλινδρικού δοκιμίου διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm. Έτσι η τιμή της απαιτούμενης θλιπτικής αντοχής f_a για κυβικό δοκίμιο διαστάσεων 20 cm x 20 cm x 20 cm θα μειωθεί κατά $0,05 \cdot 36$ MPa=1,8 MPa, άρα θα αντιστοιχεί σε $(36,0-1,8)$ MPa=34,2 MPa (τιμή της απαιτούμενης θλιπτικής αντοχής f_a κυλινδρικού δοκιμίου διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm).

Στον Πίνακα 13.2.3. του Κ.Τ.Σ.-'97 δίνεται ο συντελεστής αναγωγής της αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων διαστάσεων 15 cm x 30 cm σε κύβους ακμής 20 cm.

Πίνακας 13.2.3.: Συντελεστές αναγωγής αντοχών κυλινδρικών δοκιμίων σκυροδέματος διαστάσεων 15 cm x 30 cm σε αντοχές κυβικών δοκιμίων ακμής 20 cm (για ενδιάμεσες τιμές γίνεται γραμμική παρεμβολή) [19].

Αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου 15 cm x 30 cm (MPa)	≤ 9,2	12,8	18,4	25,4	≥ 39,5
Συντελεστής αναγωγής σε κύβο ακμής 20 cm	1,3	1,25	1,22	1,18	1,14

Με γραμμική παρεμβολή για τα 34,2 MPa προκύπτει για την τιμή του συντελεστή αναγωγής:

Κύλινδρος 15 cm x 30 cm	Κύβος ακμής 20 cm	Για (45,03-29,9) MPa=15,06 MPa, αντιστοιχεί διαφορά (39,5-25,4) MPa =14,1 MPa. Για διαφορά βάσης (34,2-29,9) MPa=4,23 MPa, πόση θα είναι η διαφορά βάσης για 14,1; Προκύπτει τιμή ίση με 3,96 MPa.
14,1 { 25,4 39,5	4,23 { 29,9 34,2 45,03} 15,06	

Είναι προφανές ότι όσο αυξάνει η αντοχή του κυβικού δοκιμίου, αυξάνει και η αντοχή του κυλινδρικού.

Άρα για το κυλινδρικό δοκίμιο που απαιτείται από την μεθοδολογία κατά ACI η θλιπτική αντοχή να είναι ίση με (25,4+3,96) MPa=29,36 MPa, αυτή θα πρέπει να μετατραπεί σε kg/cm².

Είναι γνωστό ότι 1 N/mm²=1 MPa=10,19 kg/cm², οπότε η τιμή αντοχής 29,36 MPa κυλινδρικού δοκιμίου 15cm x 30cm αντιστοιχεί σε 29,36 MPa·10,19 kg/(cm²·MPa)=299,18 kg/cm².

Λόγος νερού/τσιμέντο (W/C) και προσδιορισμός του απαιτούμενου τσιμέντου της σύνθεσης

Από τα βιβλιογραφικά δεδομένα του Πίνακα A1.5.2.4 (a) της ACI, για σκυρόδεμα χωρίς τη χρήση αερακτικού (non-air entrained concrete), θα προκύψει ο λόγος νερού/τσιμέντο W/C από την απαιτούμενη θλιπτική αντοχή των 28 ημερών (σε kg/cm²) κυλινδρικού δοκιμίου 15 cm x 30 cm με γραμμική παρεμβολή ως εξής:

για τιμή θλιπτικής αντοχής 250 kg/cm² ο λόγος W/C έχει τιμή ίση με 0,62

για τιμή θλιπτικής αντοχής 300 kg/cm² ο λόγος W/C έχει τιμή ίση με 0,55

άρα για διαφορά 300-250=50 kg/cm² η διαφορά στον W/C είναι ίση με W/C =0,62-0,55=0,07 (μιας και είναι ποσά αντιστρόφως ανάλογα),

για διαφορά 299,18-250=49,18 kg/cm² η διαφορά στον W/C=;

οπότε προκύπτει διαφορά στον λόγο W/C ίση με W/C=0,07·49,18/50=0,069.

Έτσι όσο αυξάνεται η τιμή της θλιπτικής αντοχής, η τιμή του λόγου W/C μειώνεται, άρα θα πρέπει να μειωθεί η τιμή του λόγου W/C κατά 0,069, ήτοι W/C=0,62-0,069=0,551.

Στο σημείο αυτό εξάγεται η ποσότητα του τσιμέντου που πρέπει να χρησιμοποιηθεί από τον λόγο νερού/τσιμέντο W/C που προέκυψε, γνωρίζοντας την απαίτηση σε νερό (W=189 kg) ως εξής: W/C=0,551 άρα C=189 kg/0,551, οπότε C=343,0 kg η απαιτούμενη ποσότητα του τσιμέντου της σύνθεσης.

3.6 Προσδιορισμός της απαιτούμενης ποσότητας αδρανών

Θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα του Πίνακα Α1.5.2.6 για τον όγκο των χονδρόκοκκων αδρανών ανά μονάδα όγκου σκυροδέματος, όπου απαιτούνται τα παρακάτω δεδομένα:

1. μέγιστος κόκκος χονδρόκοκκων αδρανών
2. μέτρο λεπτότητας της άμμου (f_m) .

Ως μέτρο λεπτότητας της άμμου (f_m) ορίζεται το πηλίκο του αθροίσματος των % ολικών συκρατούμενων (%R_i) στα κόσκινα 3", 1.5", ¾", 3/8", No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, δια 100 (Σχέση 3).

$$f_m = \frac{\%R_{3"} + \%R_{1.5"} + \%R_{3/4"} + \%R_{3/8"} + \%R_{No4} + \%R_{No8} + \%R_{No16} + \%R_{No30} + \%R_{No50} + \%R_{No100}}{100} \quad (3)$$

Πίνακας Α1.5.2.6: Όγκος χονδρόκοκκων αδρανών ανά μονάδα όγκου σκυροδέματος

Μέγιστος κόκκος χονδρόκοκκων αδρανών (mm)	Όγκος χονδρόκοκκων ξηρών αδρανών ανά μονάδα όγκου σκυροδέματος για διάφορες τιμές λεπτότητας άμμου f_m			
	2,40	2,60	2,80	3,00
10	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
20	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
40	0,76	0,74	0,72	0,70
50	0,78	0,76	0,74	0,72
70	0,81	0,79	0,77	0,75
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Για το συγκεκριμένο πρόβλημα προκύπτει ότι το μέτρο λεπτότητας της άμμου είναι ίσο με $f_m=2,88$, άρα με γραμμική παρεμβολή από τον Πίνακα Α1.5.2.6 υπολογίζεται ο όγκος ξηρών χονδρόκοκκων αδρανών ανά μονάδα όγκου σκυροδέματος αναλόγως του μέτρου λεπτότητας της άμμου ως εξής:

για $f_m=3,00$, ο όγκος ξηρών χονδρόκοκκων αδρανών ανά όγκο σκυροδέματος έχει τιμή 0,65

για $f_m=2,80$, ο όγκος ξηρών χονδρόκοκκων αδρανών ανά όγκο σκυροδέματος έχει τιμή 0,67

Ποια η διαφορά X στην τιμή όγκου ξηρών χονδρόκοκκων αδρανών ανά όγκο σκυροδέματος με τιμή της $f_m= 2,88$;

Μετά από πράξεις προκύπτει ότι $X=0,012$, άρα ο όγκος ξηρών χονδρόκοκκων αδρανών ανά μονάδα όγκου σκυροδέματος είναι ίσος με 0,66 m³. Αν φανταστούμε έναν κύβο σκυροδέματος ακμής 1 m, σύμφωνα με την ACI-211, η παραπάνω τιμή 0,66 m³ για τον όγκο των ξηρών χονδρόκοκκων αδρανών δηλώνει ότι εντός του κύβου το χονδρόκοκκο κλάσμα των αδρανών θα έχει όγκο 0,66 m³. Ο υπόλοιπος όγκος που απομένει αποτελείται από τους κόκκους της άμμου (το λεπτό κλάσμα), του τσιμέντου και του νερού οι οποίοι θα κατανεμηθούν στα ενδιάμεσα κενά και στην πάνω επιφάνεια του σκυροδέματος.

Αυτό είναι και ένα από τα σημεία αδυναμίας της μεθόδου κατά ACI, δηλαδή ότι υπολογίζεται ο όγκος των χονδρόκοκκων αδρανών και όχι η μάζα τους σε kg. Έτσι θα πρέπει να μετατραπούν οι όγκοι σε μάζες (σε kg), με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστά τα φαινόμενα ειδικά βάρη των λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων κλασμάτων αδρανών.

Γνωρίζοντας τα φαινόμενα ειδικά βάρη (Φ.Β.) των χονδρόκοκκων αδρανών διεξάγονται οι προσδιορισμοί της μάζας του γαρμπιλιού, και του χαλικιού από τις μετατροπές του όγκου των χονδρόκοκκων. Για να υπολογιστεί το φαινόμενο βάρος των χονδρόκοκκων πρέπει να δοθεί ποσόστωση για το χαλίκι και το γαρμπίλι (το επιβάλει ο νόμος). Έστω (τυχαία) ότι το φαινόμενο βάρος των χονδρόκοκκων αδρανών είναι ίσο με 1580 kg/m^3 , δηλαδή 1 m^3 χονδρόκοκκων αντιστοιχούν σε μάζα 1580 kg , τα $0,66 \text{ m}^3$ χονδρόκοκκων θα αντιστοιχούν σε $=1043 \text{ kg}$ χονδρόκοκκων.

Για να προχωρήσει η επίλυση στο σημείο αυτό θα πρέπει να επιβληθεί μια ποσόστωση για το μίγμα των χονδρόκοκκων χαλικιού- γαρμπιλιού, είτε τυχαία (π.χ. 20%-80%), είτε να δοθεί μια τέτοια πληροφορία.

Έστω ποσόστωση 80% για το χαλίκι και 20% για το γαρμπίλι αντίστοιχα. Ούτως ή άλλως, ότι σύνθεση και αν προταθεί, το εργοστάσιο θα την ελέγξει στο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου και θα διαπιστώσει αν όλα βαίνουν καλώς (π.χ. για ποσόστωση 60% χαλίκι – 40% γαρμπίλι θα γίνουν όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι. Αν η ποσόστωση είναι μικρή, τότε δοκιμάζεται αυτή με 70-30%, 80-20% κοκ).

Για τον συνδυασμό 80% χαλίκι – 20% γαρμπίλι η ευθεία Φ.Β. τυχαία δίνει 1580 kg/m^3 , οπότε για τα $0,66 \text{ m}^3$ προκύπτουν 1048 kg χονδρόκοκκων με την παραπάνω σύσταση. Συνεπώς, η ποσότητα χαλικιού θα είναι ίση με $0,8 \cdot 1043 \text{ kg} = 834,4 \text{ kg}$ και ομοίως για το γαρμπίλι ίση με $0,2 \cdot 1048 \text{ kg} = 209,6 \text{ kg}$. Μένει εδώ να προσδιοριστεί πόση είναι η απαιτούμενη ποσότητα της άμμου.

Προκύπτουσα σύνθεση ανά m^3 σκυροδέματος

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνονται οι υπολογισμοί με τη μέθοδο ACI-211.

Αν διαιρεθούν τα παραπάνω βάρη με τα Φ.Β. των αδρανών, προκύπτει ο όγκος σε ℓ (λίτρα) των αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν στη σύνθεση. Έτσι, στο 1 m^3 σκυροδέματος (ή 1000ℓ) τα 15ℓ είναι ο αέρας (υποθέτοντας ότι η αεροπεριεκτικότητα είναι περίπου ίση με 1,5%) και τα υπόλοιπα η άμμος. Από το Φ.Β. της άμμου και τον όγκο σε ℓ της άμμου προκύπτει η μάζα της άμμου σε kg.

Τα φαινόμενα ειδικά βάρη των αδρανών θα πρέπει να είναι γνωστά, οπότε με δεδομένες τις παρακάτω τιμές για κάθε κλάσμα αδρανών και για το τσιμέντο και νερό

$$\begin{aligned}\Phi.Β. \text{ άμμου} &= 2670 \text{ kg/m}^3 \\ \Phi.Β. \text{ γαρμπιλιού} &= 2704 \text{ kg/m}^3 \\ \Phi.Β. \text{ χαλικιού} &= 2702 \text{ kg/m}^3 \\ \Phi.Β. \text{ τσιμέντου} &= 3100 \text{ kg/m}^3 \\ \Phi.Β. \text{ νερού} &= 1000 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

καταλήγουμε στους όγκους όλων των συστατικών 1 m^3 σκυροδέματος:

$$\begin{aligned}\text{Αέρας} &= 15 \ell \\ \text{Νερό} &= 189 \ell \\ \text{Τσιμέντο} &= 110,7 \ell \\ \text{Χαλίκι} &= 308,8 \ell \\ \text{Γαρμπίλι} &= 77,5 \ell \\ \text{Άμμος} &= ;\end{aligned}$$

Από τη Σχέση 1 προκύπτει ο όγκος της άμμου:

Όγκος άμμου (ℓ) =

1000ℓ σκυροδέματος – (Όγκος αέρα + νερού + τσιμέντου + χαλικιού + γαρμπιλιού)

ίσος με $299,0 \ell$ ή $299,0 \ell$ άμμου $\cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\ell \cdot 2670 \text{ kg/m}^3 = 798,3 \text{ kg}$ άμμου.

Τα απαιτούμενα υλικά της σύνθεσης που υπολογίστηκαν δίνονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω Πίνακα:

Υλικό	Απαιτούμενη ποσότητα (kg)	Όγκος (ℓ) ανά m^3 σκυροδέματος
Νερό	189,0	189,0
Τσιμέντο	343,0	110,7
Χαλίκι	834,4	308,8
Γαρμπίλι	209,6	77,5
Άμμος	798,3	299,0
Αέρας	-	15,0
Σύνολο	2274,3	1000,0

3.7 Επισημάνσεις - Παρατηρήσεις

- Σύμφωνα με το υπόμνημα του Πίνακα A1.5.2.7.1 της ACI-211, απαιτούνται διορθώσεις εάν τα δεδομένα που ζητούσε η σύνθεση σε σύγκριση με αυτά που προέκυψαν καλύπτονται ή όχι (π.χ. κατηγορία κάθισης S2, παραθαλάσσιο σκυρόδεμα κτλ).

- Από τον Πίνακα 5.2.5.1 του Κ.Τ.Σ.-'97 για ειδικά σκυροδέματα, για παραθαλάσσιο σκυρόδεμα θα πρέπει:

1. ο μέγιστος λόγος νερού / τσιμέντο να είναι ίσος με 0.60 ($\max W/C=0.60$) > 0.551 που υπολογίστηκε, άρα καλύπτεται αυτή η απαίτηση

2. η ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου να είναι ίση με 330 kg ($\min C=330$ kg) < 343 kg που υπολογίστηκαν παραπάνω, η οποία επίσης καλύπτεται.

- Είναι γνωστό ότι για τη σύνθεση σκυροδέματος κατηγορίας αντοχών C25/30, η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα τσιμέντου της σύνθεσης είναι τα 330 kg, ενώ από την παραπάνω ανάλυση προσδιορίστηκε σε 343 kg. Θα μπορούσε για λόγους μείωσης του κόστους να επιλεγούν στη σύνθεση 330 kg τσιμέντου που είναι και το ελάχιστο, δηλαδή να αφαιρεθούν 13 kg τσιμέντου; Αν επιχειρηθεί να μειωθεί η ποσότητα του τσιμέντου κατά 13 kg, τότε θα μεταβληθεί αυτομάτως και ο λόγος W/C στην τιμή $W/C=189$ kg/ 330 kg= $0.57 < 0.60$ που είναι το μέγιστο, άρα τα κριτήρια του Πίνακα 5.2.5.1 του Κ.Τ.Σ.-'97 για ειδικά σκυροδέματα καλύπτονται ακόμη. Δεν πρέπει να επιχειρείται να μεταβληθεί η ποσότητα του νερού αφού μειώνοντας την απαιτούμενη ποσότητα τσιμέντου θα προκληθεί αναπόφευκτα και μείωση των μηχανικών αντοχών.

- Τέλος θα πρέπει να ελεγχθεί και το αντλήσιμο, δηλαδή θα πρέπει το άθροισμα της ποσότητας του τσιμέντου και της παιπάλης των αδρανών που υπολογίστηκαν να υπερβαίνει τα 450 kg.

Αφού η άμμος στη σύνθεση είναι λίγη σε ποσότητα (περίπου 800 kg), το σκυρόδεμα δεν είναι αντλήσιμο (καθίσταται αντλήσιμο όταν χρησιμοποιηθούν κατ' ελάχιστον 910 kg άμμου). Άρα αποφασίζεται η προσθήκη επιπλέον 110 kg άμμου για να επιτευχθεί το αντλήσιμο, οπότε κατά σύνολο 110 kg θα μειωθεί η μάζα του χαλικιού (σε μεγαλύτερο βαθμό αφού μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή της πρέσας μεταφοράς σκυροδέματος) και το υπόλοιπο από την ποσότητα του γαρμπιλιού.

Η σύνθεση θα αποτελείται σίγουρα από 189 kg νερό, 910 kg άμμο (πληροφορία), 330 kg τσιμέντο και για σύνολο 2375 kg σκυροδέματος θα πρέπει να τροποποιηθεί η ποσότητα του χαλικιού περίπου στα 738 kg (αφαιρούνται 13 kg τσιμέντο και προστίθενται 110 kg άμμου).

Στην υποσημείωση του Πίνακα A1.5.2.7.1 της ACI, αναφέρεται ότι για κάθε 5 kg διαφορά από το νερό ανάμιξης που προκύπτει από τον Πίνακα A1.5.2.3 για κάθιση από 8-10 cm, απαιτείται διόρθωση. Αν επιχειρηθεί να αφαιρεθούν ή να προστεθούν 5 kg νερού, θα πρέπει το σύνολο της σύνθεσης (2375 kg) να μειωθεί κατά 8 kg στην αντίθετη κατεύθυνση. Για κάθε 20 kg διαφοράς στο τσιμέντο, πρέπει να διορθωθεί το βάρος της σύνθεσης κατά 3 kg στην ίδια κατεύθυνση. Δηλαδή αν πρέπει να αυξηθεί η ποσότητα τσιμέντου κατά 20 kg, θα πρέπει να αυξηθεί και η μάζα της σύνθεσης κατά (2375+3) kg. Αντίθετα διεξάγονται οι υπολογισμοί για μείωση της ποσότητας του τσιμέντου κατά 20 kg. Στην πορεία επίλυσης που περιγράφηκε παραπάνω, αφαιρέθηκαν από τη μάζα της σύνθεσης 13 kg τσιμέντου και θεωρήθηκε λανθασμένα ότι το βάρος της σύνθεσης παρέμεινε το ίδιο

ΚΑΝΟΝΑΣ: Οποιαδήποτε προσθαφαίρεση υλικών στο 1 m³ σκυροδέματος (διορθώσεις ποσοτήτων) θα γίνεται με βάση τον όγκο (σε ℓ) και όχι την μάζα (σε kg).

Τα -13 kg τσιμέντο αντιστοιχούν σε $-13 \text{ kg}/(3,1 \text{ kg}/\ell)=4,19 \text{ ℓ}$ τσιμέντου. Εφόσον παραπάνω αποφασίστηκε να προστεθεί άμμος, θα προστεθούν 4,19 ℓ άμμου (Φ.Β.άμμου=2670 kg/m³) ή $4,19 \text{ ℓ} \cdot 2,67 \text{ kg}/\ell=11,19 \text{ kg}$ άμμου, ή κατά προσέγγιση 11 kg άμμου. Άρα όλη η σύνθεση θα έχει βάρος 2373 kg (διαφορά -13+11 kg=2 kg).

Προσθαφαίρεσεις: Τσιμέντο με τσιμέντο (σε ℓ)

Αδρανή με αδρανή (σε kg)

Νερό σε αδρανή (σε ℓ)

Αν προστεθούν στα 800 kg άμμου και επιπλέον 99 kg άμμου, αφαιρώντας ταυτόχρονα 99 kg χαλικιού, η σύνθεση θα γινόταν: άμμος=910 kg, χαλίκι=735 kg, γαρμπίλι=208 kg, τσιμέντο=330 kg, νερό=189 kg). Αν προστεθούν 5 kg νερό (=5 ℓ) τότε θα πρέπει να αφαιρεθούν 5 ℓ χαλικιού (=13,5 kg), άρα από τη σύνθεση χάνονται 8,5 kg (όπως αναφέρεται και στην υποσημείωση του Πίνακα A1.5.2.7.1 της ACI-211).

Τέλος για το αντλήσιμο της σύνθεσης, όπως ειπώθηκε και παραπάνω θα πρέπει η συνολική μάζα των λεπτοκοκκων υλικών να υπερβαίνει τα 450 kg, δηλαδή (τσιμέντο + παιπάλη) > 450 kg, άρα (330 kg τσιμέντο + παιπάλη) > 450 kg. Γνωρίζεται η περιεκτικότητα της παιπάλης στην άμμο που χρησιμοποιήθηκε, π.χ. έστω 17,3%, δηλαδή $0,173 \cdot 910 \text{ kg} = 157,43 \text{ kg}$ παιπάλης, άρα (330 kg τσιμέντο + 157.43 kg παιπάλη) = 487 kg > 450 kg, άρα δεν δημιουργείται πρόβλημα όσον αφορά το αντλήσιμο.

Πρόσθετες ερωτήσεις (για να γίνει αντιληπτή η πολυπλοκότητα των ασκήσεων)

i. Αν στη συγκεκριμένη σύνθεση (όπου θεωρητικά οι αντοχές θα είναι 36 MPa) προστεθεί αερακτικό, πόσο θα μεταβληθεί η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος των 28 ημερών και πόσο η εργασιμότητά του (να υπολογιστούν);

Η πορεία εργασίας περιλαμβάνει την χρήση των αντίστροφων Πινάκων για τη χρήση αερακτικού (non-entrained air concrete).

ii. Πόσα kg τσιμέντο πρέπει να προστεθούν στη σύνθεση ώστε η απαιτούμενη θλιπτική αντοχή να μην μεταβληθεί;

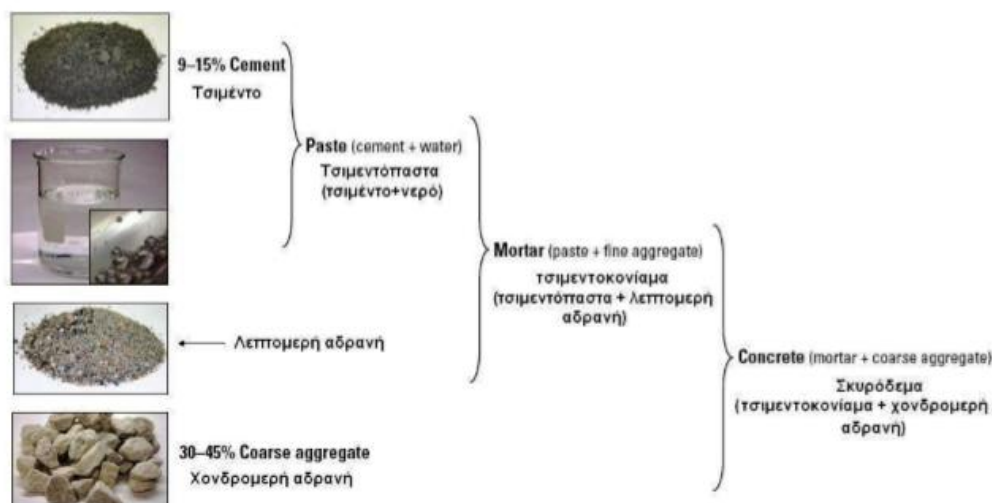
Στην πράξη το εργοστάσιο σκυροδέματος θα πρέπει να διαθέτει διαφορετικές μελέτες σύνθεσης για κάθε διαφορετική κατηγορία εργασιμότητας (π.χ. S2, S3, S4 και S5), για δεδομένη κατηγορία θλιπτικών αντοχών (π.χ. την C16/20). Αν η πρακτική που προταθεί είναι να προστεθεί επιπλέον νερό ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη κατηγορία κάθισης, τότε αυτομάτως θα πρέπει να προστεθεί στην σύνθεση και επιπλέον ποσότητα τσιμέντου ώστε να προκληθεί αύξηση της θλιπτικής αντοχής (η οποία θα μειωνόταν με την προσθήκη νερού), με συνέπεια την αύξηση της τιμής της του σκυροδέματος. Τότε κανείς εργολάβος δεν θα δεχόταν να δίνει διαφορετικές τιμές για σκυρόδεμα ίδιων αντοχών σε κάθιση S2, S3, S4 και S5. Για το λόγο αυτό το εργοστάσιο παρασκευάζει μία σύνθεση για κατηγορία αντοχών C16/20 και κάθιση S2 και για την παραγωγή σκυροδέματος ίδιας κατηγορίας αντοχών αλλά μεγαλύτερης κατηγορίας κάθισης προσθέτει υπερρευστοποιητή. Αυτή είναι η πρακτική της σημερινής εποχής. Παλαιότερα, όπου δεν υπήρχε υπερρευστοποιητής, όλοι οι υπολογισμοί έπρεπε να γίνουν εξ' αρχής.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

http://www.metal.ntua.gr/uploads/1432/Cement_Concrete_Notes_May_2010_v2.pdf

3.8 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΤΟΙΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το σκυρόδεμα είναι μίγμα τσιμέντου, νερού/αέρα, λεπτομερών και χονδρομερών αδρανών. Σύμφωνα με την PCA (Portland Cement Association), η κατ'όγκο συμμετοχή των πρώτων υλών στο σκυρόδεμα δίνεται κατά προσέγγιση στο Σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1. Κατά προσέγγιση συμμετοχή των πρώτων υλών στο σκυρόδεμα.

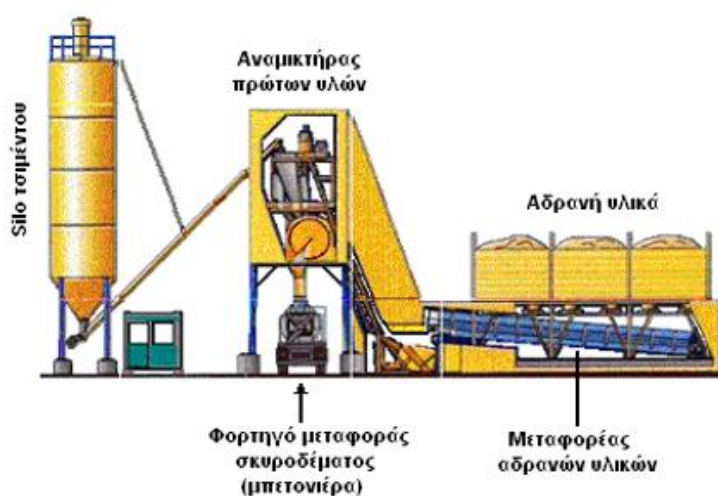
3.8.1 Μέθοδοι παραγωγής και διαγράμματα ροής μονάδων παραγωγής σκυροδέματος

Υπάρχουν δύο (-2-) κύριες μέθοδοι παρασκευής έτοιμου σκυροδέματος:

1. η υγρή αυτοτελής (batch) μέθοδος και
2. η ξηρή αυτοτελής μέθοδος.

Κατά την υγρή μέθοδο παρασκευής, ακριβείς ποσότητες όλων των συστατικών του σκυροδέματος (τσιμέντο ή υποκατάστατά του, αδρανή υλικά, νερό και χημικά πρόσθετα) τροφοδοτούνται σε μηχανικό αναμκτήρα (Σχήματα 7.2 και 7.3).

Το προϊόν της διεργασίας ανάμιξης, που είναι το έτοιμο σκυρόδεμα (ready mixed concrete) μεταφέρεται κατόπιν με ειδικά φορτηγά (συνεχώς αναδευόμενο ως ρευστό μεγάλο ιξώδους) στη θέση (έργο), όπου θα χρησιμοποιηθεί. Εκεί το σκυρόδεμα αποχύνεται σε καλούπια και δονείται ώστε να συμπυκνωθεί και να πάρει τη μορφή του στοιχείου του έργου. Κατά την ξηρή μέθοδο παρασκευής, οι ακριβώς υπολογισμένες ποσότητες των στερεών πρώτων υλών τροφοδοτούνται μαζί με την αναγκαία (λόγος W/C) ποσότητα νερού στο περιστρεφόμενο τύμπανο του οχήματος (π.χ. φορτηγού) παρασκευής-μεταφοράς. Ταυτόχρονα επίσης, προστίθενται στο τύμπανο οι αναγκαίες ποσότητες χημικών πρόσθετων και η ανάμιξη όλων των συστατικών γίνεται εντός του περιστρεφόμενου κάδου, κατά τη μετακίνηση του οχήματος και τη μεταφορά του σκυροδέματος στο κατασκευαζόμενο έργο (Σχήμα 7.3).

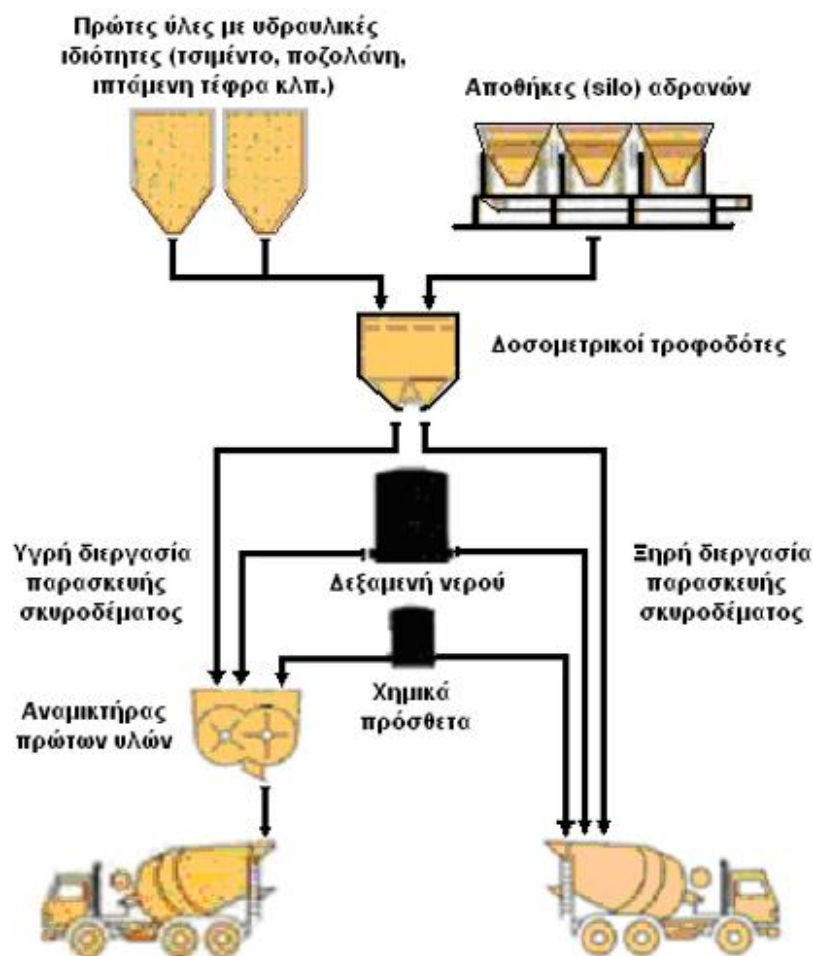


Σχήμα 7.2. Διάταξη μηχανημάτων και αποθηκών πρώτων υλών κατά την υγρή μέθοδο παρασκευής έτοιμου σκυροδέματος.

Στό Σχήμα 7.4. φαίνεται ένα αναλυτικό διάγραμμα ροής διεργασιών σύγχρονης μονάδας παραγωγής έτοιμου (ready mixed concrete) στο οποίο φαίνονται επίσης και οι απαραίτητες συμπληρωματικές διεργασίες που πρέπει να περιλαμβάνονται στο κύκλωμα, ώστε η παραγωγή του σκυροδέματος να γίνεται με τον πιο οικονομικό αλλά και «περιβαλλοντικά» φιλικό τρόπο. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται ο τρόπος διαχείρισης του

αχρησιμοποίητου (περίσσειμα) σκυροδέματος, το οποίο πρέπει στην πλειονότητα των περιπτώσεων να επιστρέφεται στη μονάδα και επίσης υποδεικνύεται ο τρόπος διαχείρισης των παντός είδους στερεών και υγρών αποβλήτων που προκύπτουν, τα οποία σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να απορρίπτονται στο περιβάλλον χωρίς προηγουμένως να έχουν υποστεί την απαραίτητη επεξεργασία.

Η «περιβαλλοντική» διάσταση της παραγωγής του σκυροδέματος είναι μια παράμετρος η οποία πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την ανέγερση και τη λειτουργία μονάδων παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος. Λεπτομερέστερη ανάλυση του παραπάνω προβλήματος γίνεται σε σχετική εργασία που παρατίθεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.



Σχήμα 7.3. Αυτοτελείς διεργασίες (υγρή-ξηρή) παρασκευής σκυροδέματος.

3.9 Προσδιορισμός της σύνθεσης του σκυροδέματος

Εισαγωγή

Οι αναλογίες των συστατικών του σκυροδέματος προσδιορίζονται και «επιβάλλονται» κάθε φορά από το έργο το οποίο θα κατασκευαστεί, δηλαδή εξαρτώνται από τις απαιτήσεις σε εργασιμότητα (workability), αντοχή, ανθεκτικότητα στη διάρκεια του χρόνου (durability), πυκνότητα και τελική επιφανειακή εμφάνιση, που επιβάλλονται από τις προδιαγραφές του έργου.

Σημαντική επίδραση στο σχεδιασμό παίζουν οι καιρικές-περιβαλλοντικές συνθήκες, που αναμένεται να επικρατούν κατά την εποχή της διάστρωσης όπως επίσης και καθ'όλη τη διάρκεια ζωής της κατασκευής από σκυρόδεμα.

1. Μέθοδοι προσδιορισμού της σύνθεσης του σκυροδέματος

Οι δυο κύριες μέθοδοι προσδιορισμού της σύνθεσης του μίγματος για την παρασκευή του σκυροδέματος είναι:

1. Η αυτοτελής μέθοδος δοκιμής και σφάλματος (trial-batch method)
2. Η μέθοδος προσδιορισμού απολύτου όγκου των συστατικών του σκυροδέματος

Η επιλογή των συστατικών για την παρασκευή του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται πάντοτε με γνώμονα, τη με οικονομικό τρόπο χρήση των διαθέσιμων υλικών για την παραγωγή σκυροδέματος, τη μεγάλη αντοχή σε θλίψη (compressive strength), την ανθεκτικότητα στη διάρκεια του χρόνου με ταυτόχρονη όμως εξασφάλιση ικανοποιητικής εργασιμότητας κατά τη χρήση (διάστρωση). Η χρήση βασικών μαθηματικών σχέσεων και εργαστηριακές δοκιμές δίνουν τη δυνατότητα σύνθεσης σκυροδέματος ικανοποιητικών ιδιοτήτων. Από πολυάριθμες παρατηρήσεις έχει διαπιστωθεί ότι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία αυτή είναι:

1. Ο λόγος νερού / τσιμέντο (W/C)
2. Ο τύπος, το μέγεθος και η ποσοστιαία % συμμετοχή των διαθέσιμων αδρανών υλικών
3. Η παραγωγή και χρήση σκυροδέματος με ή χωρίς αερακτικό
4. Η απαιτούμενη κάθιση (slump) ή εξάπλωση του παραγόμενου μείγματος

Για την παραγωγή σκυροδέματος πολύ καλής ποιότητας, ο ρόλος του νερού, που μετριέται μέσω του λόγου νερού προς τσιμέντο (W/C), είναι πολύ σημαντικός:

(W/C, Water-Cement ratio) = Μάζα νερού / Μάζα τσιμέντου

Το σκυρόδεμα, που θα προκύψει, πρέπει να είναι «εργάσιμο» (workable), δηλαδή να έχει κατάλληλο ιξώδες που να του επιτρέπει να ρέει, να μορφοποιείται μέσα στον ξυλότυπο (καλούπι) και αποκτά αντοχή μετά την πάροδο κάποιου χρόνου.

Το νερό προκαλεί μέσω της αντίδρασης ενυδάτωσης (hydration) πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος. Η πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος διατηρεί τα αδρανή υλικά συγκολλημένα μεταξύ τους. Το νερό πρέπει να είναι καθαρό για να μη γίνονται εκτός της ενυδάτωσης και άλλες αντιδράσεις που παράγουν τελικά ασθενές (χαμηλής αντοχής) σκυρόδεμα.

Ο λόγος νερού προς τσιμέντο (W/C) καθορίζεται από διάφορους παράγοντες που εξαρτώνται από την απαιτούμενη αντοχή του σκυροδέματος, από το είδος του σκυροδέματος που σχεδιάζεται να παραχθεί και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος οι οποίες αναμένεται να επικρατήσουν μετά τη διάστρωσή του. Η διαμόρφωση της τιμής του (W/C) καθορίζεται με τη βοήθεια στοιχείων από Πίνακες (π.χ. Πίνακας 7.1.), που ακολουθούν.

Η γενική αρχή που ισχύει στην παραγωγή σκυροδέματος είναι: Μεγάλος λόγος (W/C), δηλαδή περίσσεια νερού, προκαλεί παραγωγή ασθενούς σκυροδέματος, ενώ μικρός λόγος κάνει το σκυρόδεμα «μη εργάσιμο», δεν «δουλεύεται» ικανοποιητικά (έχει πολύ μεγάλο ιξώδες).

Ο μεγάλος λόγος (W/C) επιτρέπει στα αδρανή να κατακάθονται μέσα στο αραιό μείγμα και έτσι στην επιφάνεια της κατασκευής απομένει τσιμεντόπαστα (μείγμα νερού και τσιμέντου). Επίσης, λόγω της «υδαρότητας» (χαμηλού ιξώδους) του σκυροδέματος, προκαλείται διαφορετική ταξινόμηση (ταξινόμηση κατά μέγεθος ή απόμειξη) των αδρανών του σκυροδέματος μέσα στα καλούπια (Εικόνα 7.1, σελ. 165) και απορροή της τσιμεντόπαστας από τα διάκενα του ξυλότυπου ή «εξίδρωση» (bleeding) στην ελεύθερη επιφάνεια του σκυροδέματος. Τελικώς, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη συνδετικής ύλης μεταξύ των αδρανών, δηλαδή την παραγωγή σκυροδέματος ανομοιόμορφης δομής και χαμηλής αντοχής.

Πίνακας 7.1. Λόγος νερού προς τσιμέντο (W/C) ως συνάρτηση του είδους του σκυροδέματος

Συνθήκες έκθεσης σκυροδέματος	Κανονικό σκυρόδεμα (Απόλυτος λόγος νερού προς τσιμέντο W/C κατά βάρος)
Σκυρόδεμα προστατευμένο από συνθήκες παγώματος και τήξης του πάγου (freezing and thawing) ή από αντιπαγωτικά χημικά	Επιλογή του λόγου W/C ανάλογα με την αντοχή του, την εργασιμότητά του και τις ανάγκες φινιρίσματος
Στεγανό σκυρόδεμα*	
• Σε φυσικό νερό	0.50
• Σε θαλασσίνο νερό	0.45
Σκυρόδεμα ανθεκτικό στον παγετό	
• Σκυρόδεμα πάχους μικρότερου από 5 cm πάνω από τον οπλισμό ή εκτεθειμένο σε αντιπαγωτικά χημικά	0.45
• Όλες οι υπόλοιπες κατασκευές	0.50
Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε θειϊκές ενώσεις*	
• Μέτρια έκθεση	0.50
• Έντονη έκθεση	0.45
Σκυρόδεμα μέσα σε νερό	Ποσότητα τσιμέντου όχι μικρότερη από 386 kg/m ³
Σκυρόδεμα δαπέδων	Επιλογή του λόγου W/C ανάλογα με την αντοχή του σκυροδέματος και επίσης ανάλογα με τις ελάχιστες απαιτήσεις σε τσιμέντο λόγω μεγέθους αδρανών (Πίνακας 8.1)
* Για τις ιδιότητες του στεγανού σκυροδέματος, του ανθεκτικού σε παγετό και του εκτεθειμένου σε θειϊκές ενώσεις πρέπει να χρησιμοποιούνται οι αντοχές που αναφέρονται στα σκυροδέματα με χρήση αερακτικού	

3.10 Τα υλικά του σκυροδέματος

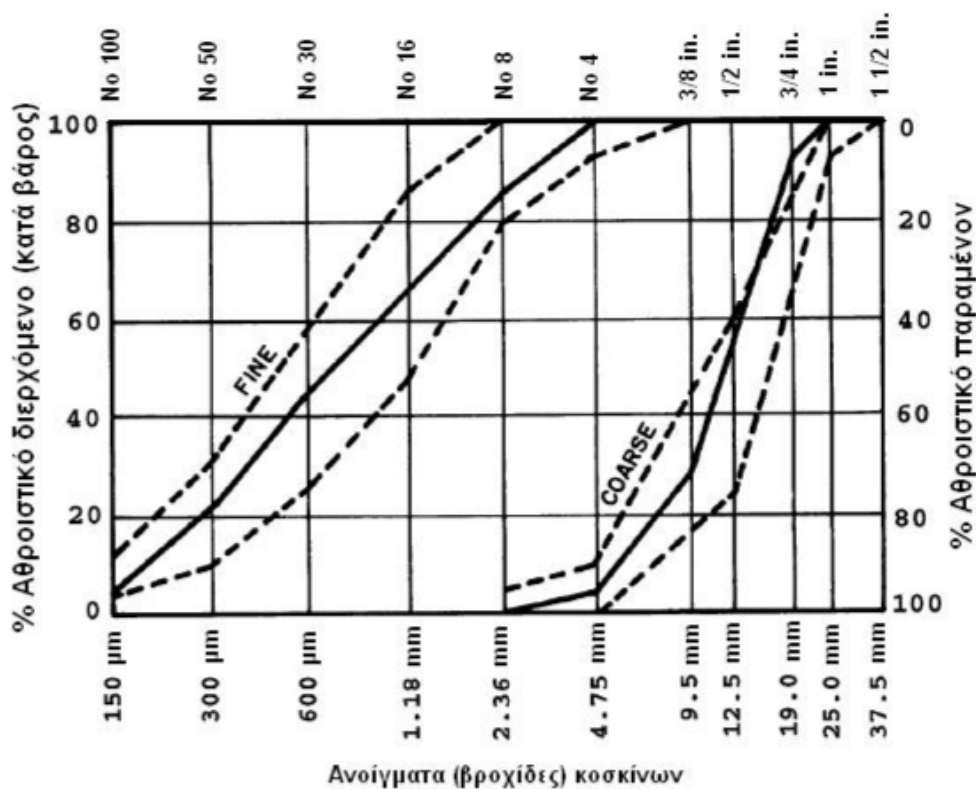
3.10.1 Τα αδρανή στην παραγωγή σκυροδέματος

Γενικά

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή σκυροδεμάτων κατατάσσονται σε τρεις κύριες ομάδες μεγεθών τεμαχίων:

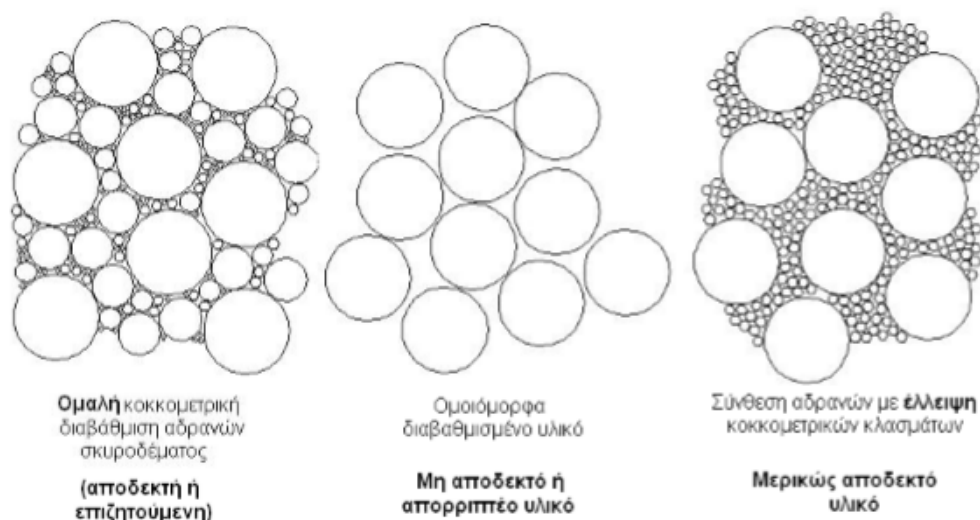
1. Χονδρομερή αδρανή με τεμάχια μεγαλύτερα από 9.5 mm (3/8 in.)
2. Ενδιάμεσου μεγέθους αδρανή με τεμάχια από 2.36 – 9.5 mm (8 mesh-3/8 in.) και τα
3. Λεπτομερή αδρανή με τεμάχια μικρότερα από 2.36 mm (8 mesh)

Το κοκκομετρικό κλάσμα με μεγέθη τεμαχίων (-5+0.075) mm χαρακτηρίζεται και ως «άμμος» (sand), ενώ τα τεμάχια μεγέθους ≤ 0.075 mm (200 mesh) ονομάζονται «παιπάλη».



Σχήμα 7.5. Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος.

Οι ομάδες μεγεθών (2) και (3), που αφορούν στα ενδιάμεσου μεγέθους και λεπτομερή αδρανή, περιγράφονται στο Σχήμα 7.5 με τον όρο «FINE», ενώ η ομάδα (1), η οποία συμμετέχει με το μεγαλύτερο ποσοστό σκυροδέμα, ως «COARSE». Κάθε κατηγορία έχει το περιθώριο να κινηθεί στην περιοχή μεταξύ των διακεκομμένων γραμμών διατηρώντας το χαρακτηρισμό της. Σε κάθε περίπτωση, για την παραγωγή σκυροδέματος υψηλών προδιαγραφών, απαιτούνται τουλάχιστον δύο στενές κοκκομετρικές ομάδες τεμαχίων (π.χ. λεπτομερή $\square 5$ mm ή άμμος και χονδρομερή $\square 5$ mm), Σχήμα 7.6.



Σχήμα 7.6. Περιπτώσεις κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών σκυροδέματος.

□ Χονδρομερή αδρανή (περιορισμοί επιλογής μεγέθους)

Στην παραγωγή σκυροδέματος πρέπει να χρησιμοποιείται η χονδρομερέστερη κατα το δυνατόν σύνθεση (κοκκομετρικά κλάσματα) αδρανών, που εξασφαλίζει τη μέγιστη αντοχή στο παραγόμενο σκυρόδεμα και την ανάγκη χρήσης της μικρότερης ποσότητας τσιμεντόπαστας με προφανή μείωση του κόστους του σκυροδέματος. Όμως, το μέγιστο μέγεθος αδρανών εξαρτάται από την «πηγή» (πέτρωμα) των αδρανών, που επηρεάζει, μέσω και της μεθόδου παραγωγής του, τόσο το σχήμα όσο και τη διαβάθμισή του.

Επίσης, το μέγιστο μέγεθος τεμαχίου αδρανών δεν πρέπει να υπερβαίνει το $\frac{1}{3}$ της ελάχιστης διάστασης του δομικού στοιχείου που θα κατασκευαστεί και τα $\frac{3}{4}$ της απόστασης μεταξύ των διαδοχικών ράβδων σιδηροπλισμού του σκυροδέματος. Επίσης, για οδοστρώματα και πλάκες δαπέδου (επίπεδες επιφάνειες) από μη οπλισμένο σκυρόδεμα, το μέγιστο μέγεθος τεμαχίου αδρανούς δεν πρέπει να υπερβαίνει το $\frac{1}{3}$ του πάχους της κατασκευής.

□ Λεπτομερή αδρανή

Όπως προαναφέρθηκε, τα λεπτομερή αδρανή (fine aggregates) χρησιμοποιούνται για την πλήρωση των κενών μεταξύ των χονδρομερών αδρανών (coarse aggregates), με στόχο να αυξήσουν την εργασιμότητα του μίγματος του σκυροδέματος και να ελαττώσουν τον όγκο των κενών που καλύπτεται από την τσιμεντόπαστα, γεγονός που έχει προφανώς θετικό οικονομικό αποτέλεσμα στο κόστος παραγωγής του σκυροδέματος. Η μεθοδολογία προσδιορισμού του συντελεστή ή δείκτη λεπτότητας λεπτομερών αδρανών δίνεται στον Πίνακα 7.2.

Πίνακας 7.2. Προσδιορισμός του δείκτη λεπτότητας λεπτομερών αδρανών

Κόσκινο		Βάρος παραμένουτος, g	Παραμένον, %	Αθροιστικό Παραμένον, %	Δείκτης λεπτότητας (Fineness modulus)
No	mm				
4	4.75	18.4	1.85	1.85	
8	2.36	135.2	13.59	15.44	
16	1.18	202.4	20.35	35.79	
30	0.60	204.4	20.55	56.34	
50	0.30	241.0	24.23	80.57	
100	0.15	184.2	18.52	99.09	
Υποδοχέας	0.0	9.0	0.91	0.91	
ΣΥΝΟΛΟ	-	994.6	100	100	$(1.85+15.44+35.79+56.34+80.57+99.09)/100 = 289.08/100 \approx 2.89$

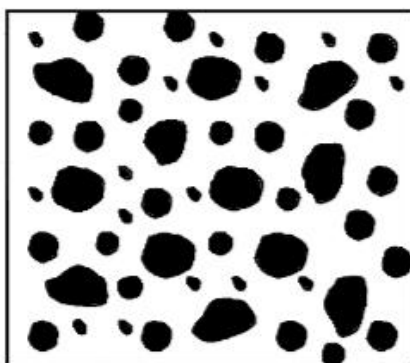
Ο χαρακτηρισμός των λεπτομερών αδρανών συναρτήσεται της τιμής του συντελεστή λεπτότητάς τους, δίνεται στον Πίνακα 7.3.

Πίνακας 7.3. Χαρακτηρισμός λεπτομερών αδρανών ως συνάρτηση του συντελεστή λεπτότητάς τους

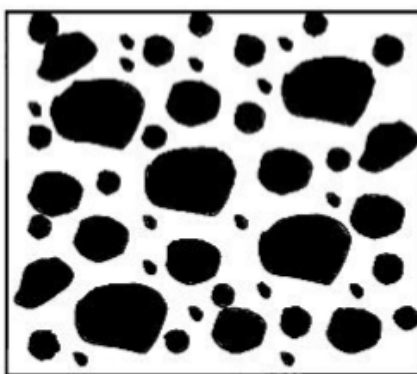
Συντελεστής λεπτότητας λεπτομερών αδρανών (Fineness modulus)	Χαρακτηρισμός αδρανών
2.3 to 2.59	Λεπτομερής άμμος Fine Sand
2.6 to 2.89	Ενδιάμεση άμμος Medium Sand
2.9 to 3.10	Χονδρομερής άμμος Coarse Sand

3.10.2 Επίδραση των λεπτομερών αδρανών στη σύνθεση αδρανών σκυροδέματος

Αδρανή υλικά τα οποία εμφανίζουν ομαλή διαβάθμιση κοκκομετρικών κλασμάτων, χωρίς μεγάλο κενό (έλλειψη) ή αντίστοιχα περίσσεια κάποιου κοκκομετρικού κλάσματος θεωρούνται τα πιο κατάλληλα για την παραγωγή σκυροδέματος (Σχήματα 7.7 και 7.8).



Σχήμα 7.7. Ικανοποιητική διαβάθμιση από πλευράς μεγέθους (grading) σύνθεσης αδρανών υλικών μέγιστου μεγέθους 12.7 mm (1/2-inch).

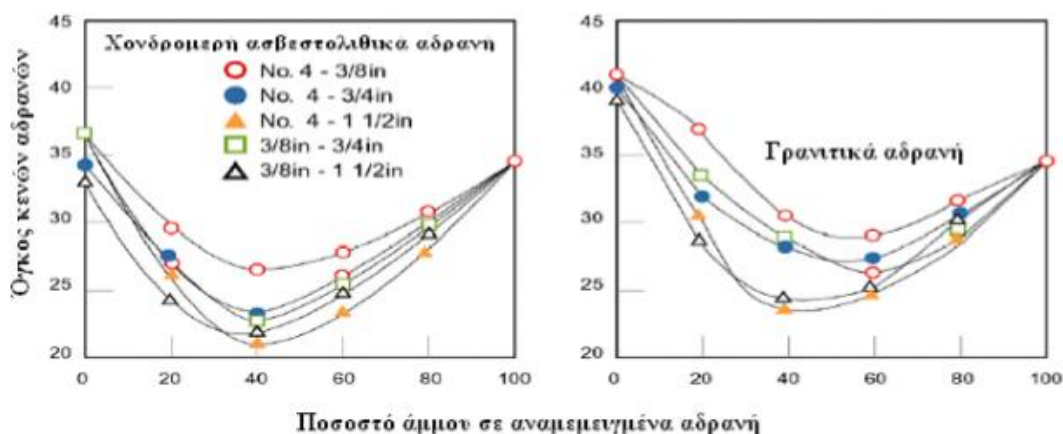


Σχήμα 7.8. Ικανοποιητική διαβάθμιση από πλευράς μεγέθους (grading) σύνθεσης αδρανών υλικών μέγιστου μεγέθους 25.4 mm (1-inch).

Όμως, από τη σύγκριση των δύο παραπάνω σχημάτων διαπιστώνεται ότι, με αντικατάσταση μέρους τεμαχίων, με μέσο μέγεθος 12.7 mm (Σχήμα 7.7), από τεμάχια διαμέτρου 19 έως 25.4 mm (Σχήμα 7.8), μειώνονται τόσο η ειδική επιφάνεια όσο και το

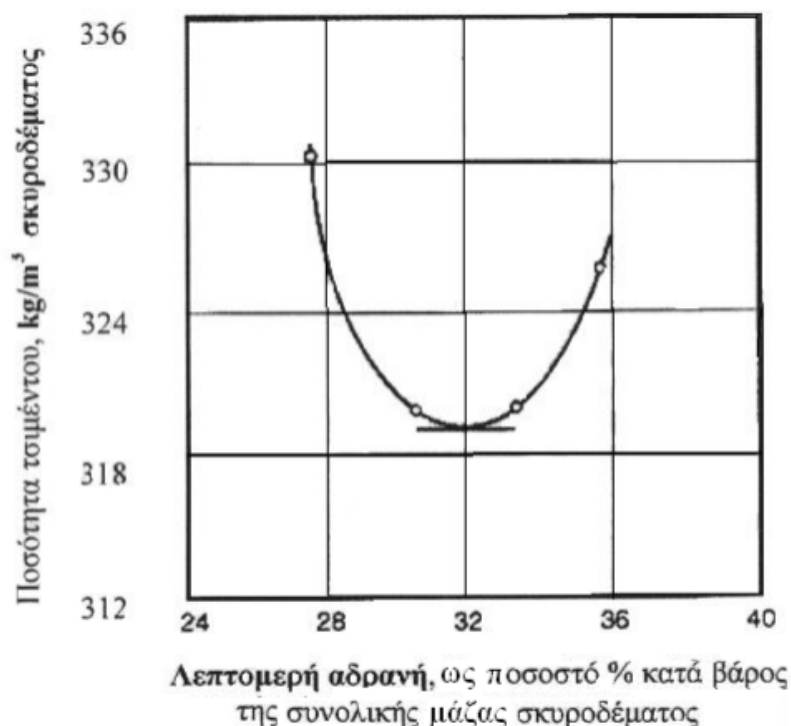
πορώδες της σύνθεσης τεμαχίων, με άμεσο θετικό αντίκτυπο στην κατανάλωση τσιμεντόπαστας.

Η ποσοτική επίδραση της προσθήκης λεπτομερών αδρανών σε χονδρομερή αδρανή δίνεται στο Σχήμα 7.9, στο οποίο φαίνεται η ποσοστιαία % μείωση όγκου των κενών, η οποία επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση τσιμεντόπαστας στο σκυρόδεμα.



Σχήμα 7.9. Μεταβολή του όγκου των κενών αδρανών ως συνάρτηση της ποσοστιαίας προσθήκης λεπτομερούς άμμου.

Η ελάχιστη κατανάλωση τσιμέντου (kg/m^3 σκυροδέματος) αντιστοιχεί σε ποσοστό λεπτομερών αδρανών περίπου 32% στο σκυρόδεμα (Σχήμα 7.10). Ποσοστό λεπτομερών αδρανών στο σκυρόδεμα μικρότερο από 32%, αφήνει προφανώς μεγαλύτερο ποσοστό κενών, το οποίο πρέπει να γεμίσει με τσιμεντόπαστα, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη κατανάλωση τσιμέντου. Αντιθέτως, εάν το ποσοστό των λεπτομερών αδρανών στο σκυρόδεμα είναι αυξημένο ($>32\%$), τότε πάλι η κατανάλωση τσιμέντου είναι αυξημένη, λόγω μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας της σύνθεσης των αδρανών (Σχήμα 7.10).



Σχήμα 7.10. Κατανάλωση τσιμέντου συναρτήσει του ποσοστού λεπτομερών αδρανών στο σκυρόδεμα.

3.11 Μέθοδοι προσδιορισμού των κατάλληλων κοκκομετρικών συνθέσεων αδρανών

Τα σκυροδέματα, που παράγονται χρησιμοποιώντας ένα αποδεκτό συνδυασμό κοκκομετρικών κλασμάτων (ομαλής κοκκομετρικής διαβάθμισης), έχουν την τάση να χρειάζονται μικρότερη προσθήκη νερού (μικρότερος λόγος W/C, άρα παράγουν ανθεκτικότερα σκυροδέματα), εξασφαλίζουν αποδεκτή εργασιμότητα στο σκυρόδεμα, ευκολία στην επιφανειακή διαμόρφωση και “συμπυκνώνονται” χωρίς το φαινόμενο “απόμειξης” των αδρανών. Αυτά τα χαρακτηριστικά ευνοούν τις ιδιότητες απόχυσης και διάστρωσης του σκυροδέματος και συμβάλλουν θετικά στην ανάπτυξη αντοχών και στη συμπεριφορά του σε βάθος χρόνου (durability).

Αντιθέτως, όταν από την κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών σκυροδέματος απουσιάζουν κοκκομετρικά κλάσματα (gap graded aggregate combination), τότε

εμφανίζονται συχνότερα φαινόμενα απόμειξης, αυξάνει η % περιεκτικότητα σε λεπτομερή αδρανή (άρα απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες νερού) και τα σκυροδέματα αυτά είναι επιδεκτικά σε φαινόμενα συρρίκνωσης (συστολή) λόγω ξήρανσης (shrinkage effect).

Η επίτευξη ομοιόμορφης (ομαλής) κοκκομετρικής διαβάθμισης επιβάλλει τη χρήση τριών ή περισσότερων κοκκομετρικών κλασμάτων. Για τη σύνθεση της τροφοδοσίας των αδρανών, στην περίπτωση που γίνεται χρήση του διαγράμματος «δείκτη χονδρομερούς»/εργασιμότητας (Σχήμα 7.11), θεωρείται ως δεδομένο ότι τα αδρανή που χρησιμοποιούνται έχουν αποστρωγγυλεμένο σχήμα ή είναι κυβικής μορφής. Τα μορφολογικά αυτά χαρακτηριστικά των αδρανών εξασφαλίζουν εργασιμότητα και εύκολη επιφανειακή διαμόρφωση μετά τη διάστρωση, ενώ τα πεπλατυσμένα αδρανή, επίπεδης και επιμήκους μορφής, δρούν ανασταλτικά στις παραπάνω ιδιότητες του σκυροδέματος.

1. Διάγραμμα «δείκτη χονδρομερούς»/εργασιμότητας

Ο «Δείκτης Χονδρομερούς» αδρανών (coarseness factor) υπολογίζεται από την εξίσωση:

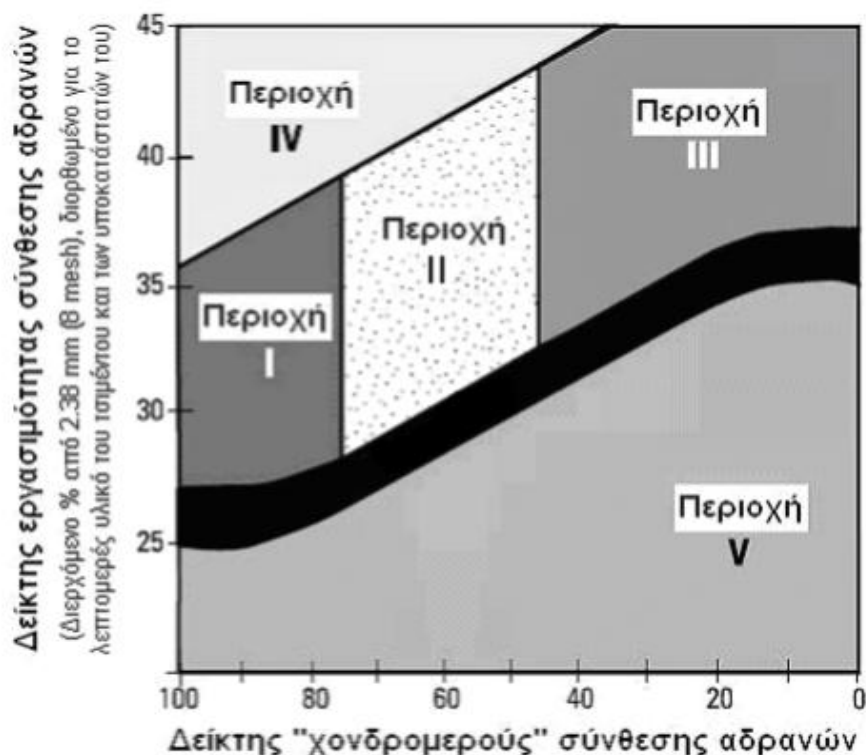
$$\text{Δείκτης χονδρομερούς} = \frac{\% \text{Αθροιστικό παραμενον σε κόσκινο } 9.5 \text{ mm } (3/8 \text{ in})}{\% \text{Αθροιστικό παραμενον σε κόσκινο } 2.36 \text{ mm } (8 \text{ mesh})} \cdot 100, \text{ όπου}$$

Το % Αθροιστικό διερχόμενο από κόσκινο 2.36 mm χαρακτηρίζεται ως «Δείκτης εργασιμότητας» του σκυροδέματος. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

Το % Αθροιστικό διερχόμενο από κόσκινο 2.36 mm χαρακτηρίζεται ως «Δείκτης εργασιμότητας» του σκυροδέματος. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

$$\text{Δείκτης χονδρομερούς} = \frac{\% \text{ Αθροιστικό παραμένον σε κόσκινο } 9.5 \text{ mm } (3/8 \text{ in})}{100 - \text{Δείκτης εργασιμότητας του σκυροδέματος}} \cdot 100, \text{ ελειδή}$$

100-% Αθροιστικό διερχόμενο από κόσκινο 2.36 mm = % Αθροιστικό παραμένον σε



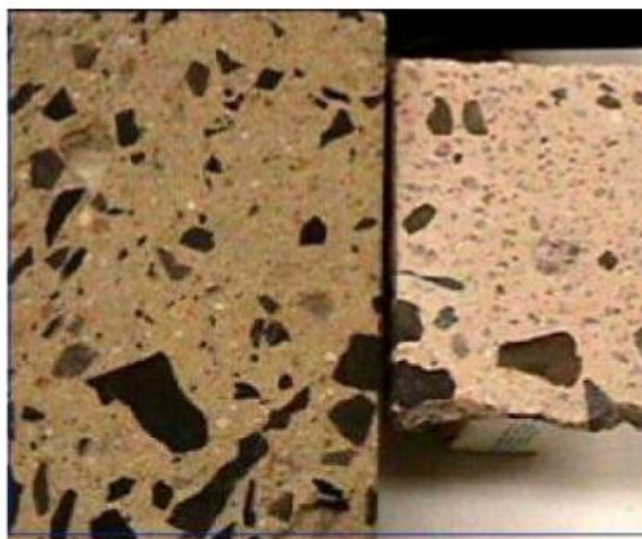
Σχήμα 7.11. Σχέση μεταξύ «Δείκτη χονδρομερούς» αδρανών και «Δείκτη εργασιμότητας» του σκυροδέματος.

κόσκινο 2.36 mm.

Ο Shilstone [13] συνιστά να επιδιώκεται «στόχος» 60 για το «Δείκτη χονδρομερούς» και 35 για το Δείκτη εργασιμότητας (Περιοχή II). Όμως, όταν το μέγιστο μέγεθος τεμαχίων αδρανών κυμαίνεται από 25 mm – 37.5 mm, τότε ο Δείκτης χονδρομερούς πρέπει να είναι περίπου 52 και ο Δείκτης εργασιμότητας να κυμαίνεται από 34 έως 38, ενώ όταν ο Δείκτης χονδρομερούς είναι 68 τότε ο Δείκτης εργασιμότητας πρέπει να παίρνει τιμές από 32 έως 36. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι αποδεκτή περιοχή για σύνθεση αδρανών σκυροδέματος είναι η II (Σχήμα 7.11). Συνθέσεις αδρανών που προσεγγίζουν το κάτω όριο της περιοχής II φαίνονται να έχουν περίσσεια χονδρομερούς υλικού, ενώ οι συνθέσεις αδρανών, που «υπερπηδούν» το κάτω όριο της II και ανήκουν στην περιοχή V,

φαίνεται να έχουν υπερβολική ποσότητα χονδρομερούς υλικού και έλλειψη λεπτομερών αδρανών (άρα έλλειψη τσιμενοκονιάματος). Αυτές οι συνθέσεις είναι προφανές ότι δεν είναι αποδεκτές για την παραγωγή σκυροδέματος. Οι συνθέσεις, που προσεγγίζουν το άνω όριο της II, εμφανίζουν υπερβολική ποσότητα λεπτομερών αδρανών, ενώ όταν εισέλθουν στην περιοχή IV απαιτούν, λόγω της λεπτότητάς τους, μεγάλη ποσότητα νερού που οδηγεί πιθανώς σε «απόμειξη»* (segregation) των αδρανών και παραγωγή τελικώς ασθενούς σκυροδέματος. Συνθέσεις αδρανών, που ανήκουν στην περιοχή I (Δείκτης χονδρομερούς μεγαλύτερος του 75), παράγουν μείγματα με έλλειψη κοκκομετρικών κλασμάτων, με μειωμένη εργασιμότητα και πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου της απόμειξης, δηλαδή «ασθενή» σκυροδέματα. Οι συνθέσεις αδρανών που ανήκουν στην περιοχή III αντιπροσωπεύουν μίγματα αδρανών κατάλληλα για σκυρόδεμα όταν τα μεγέθη αδρανών είναι μικρότερα από 3/4" (19 mm).

** (Ως «απόμειξη, των αδρανών στο σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται το φαινόμενο της διαφορετικής καθ' ύψος κατανομής, λόγω μεγέθους, των αδρανών στη μάζα του σκυροδέματος, Εικόνα 7.1).*



Εικόνα 7.1. Φαινόμενο «απόμειξης» αδρανών υλικών στο σκυρόδεμα (εντονότερο στη δεξιά φωτογραφία)

2. Εξίσωση δύναμης με εκθέτη 0.45 (0.45 Power Curve)

Η καμπύλη του Σχήματος 7.12 αντιστοιχεί σε κατανομή Gates-Gaudin-Schuhmann (G-G-S) με συντελεστή μεγέθους 25.0 mm και συντελεστή ομοιομορφίας $m = 0.45$, δηλαδή δίνει το % αθροιστικό διερχόμενο P και περιγράφεται από την εξίσωση:

$$P = 100 \cdot \left(\frac{x}{25} \right)^{0.45}$$

όπου P είναι το αθροιστικό % διερχόμενο από κόσκινο ανοίγματος (βροχίδας) x .

Τελευταία, οι εξισώσεις αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό κοκκομετρικών συνθέσεων αδρανών σκυροδέματος που εμφανίζουν ομαλή διαβάθμιση μεγεθών τεμαχίων μέχρι μέγιστου μεγέθους τεμαχίων αδρανών 37.5 mm (1 1/2 in.). Οι καμπύλες (ευθείες στο διάγραμμα) χαράσσονται από την αρχή των αξόνων μέχρι του επόμενου μεγαλύτερου μεγέθους που ακολουθεί το κόσκινο της διαβάθμισης με διερχόμενο 90% περίπου ή ελάχιστα μικρότερο (στην περίπτωση του Σχήματος 7.12 μέχρι του μεγέθους 19 mm). Οι ευθείες αυτές καλούνται γραμμές μέγιστης πυκνότητας. Μια αποδεκτή σύνθεση αδρανών πρέπει να ακολουθεί την ευθεία μέγιστης πυκνότητας μέχρι του μεγέθους 1.18 mm (16 mesh), οπότε στρέφεται προς τα κάτω, επειδή συνυπολογίζονται πλέον και τα λεπτομερή των προσμίκτων που εμφανίζουν υδραυλική συμπεριφορά, και τα οποία χρησιμοποιούνται για να υποκαταστήσουν μέρος του τσιμέντου του σκυροδέματος (Σχήμα 7.12). Η απόκλιση αυτή μπορεί να κυμαίνεται κατά μέγιστο $\pm 7\%$ από κάθε αντίστοιχο σημείο της γραμμής μέγιστης πυκνότητας. Μη αποδεκτή σύνθεση αδρανών με έλλειψη κάποιων κοκ. κλασμάτων, εμφανίζει χαρακτηριστική μορφή τύπου τελικού “S”, η οποία αποκλίνει σημαντικά από τη γραμμή μέγιστης πυκνότητας (Σχήμα 7.13).

3. Διάγραμμα παραμένουτος % (Percent Retained Chart)

Το διάγραμμα αυτό απεικονίζει τα ποσοστά του % παραμένουτος της σύνθεσης των αδρανών σκυροδέματος σε κάθε άνοιγμα κοσκίνου (Σχήμα 7.14). Εάν ενωθούν τα

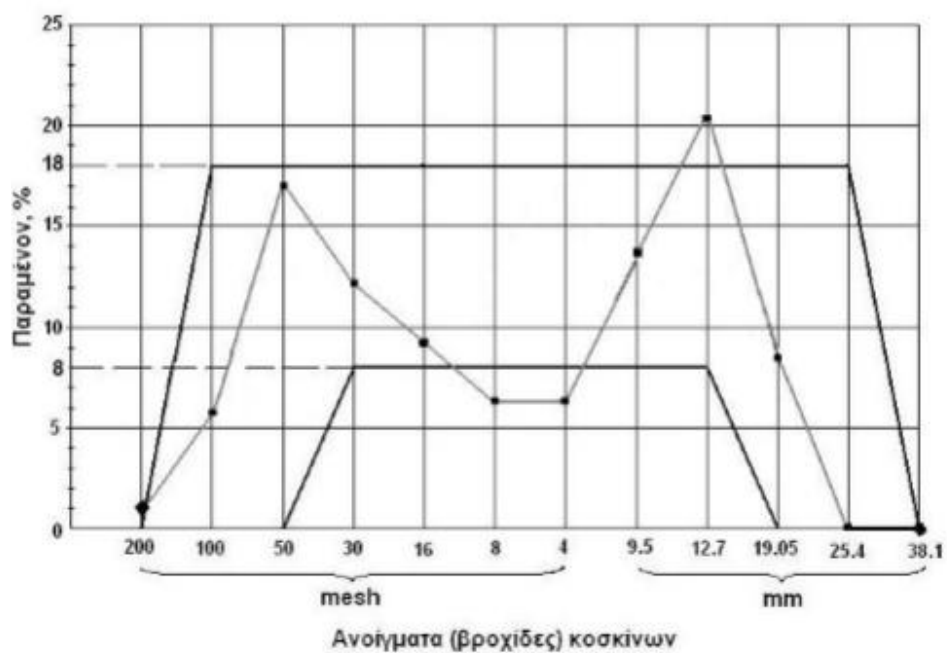
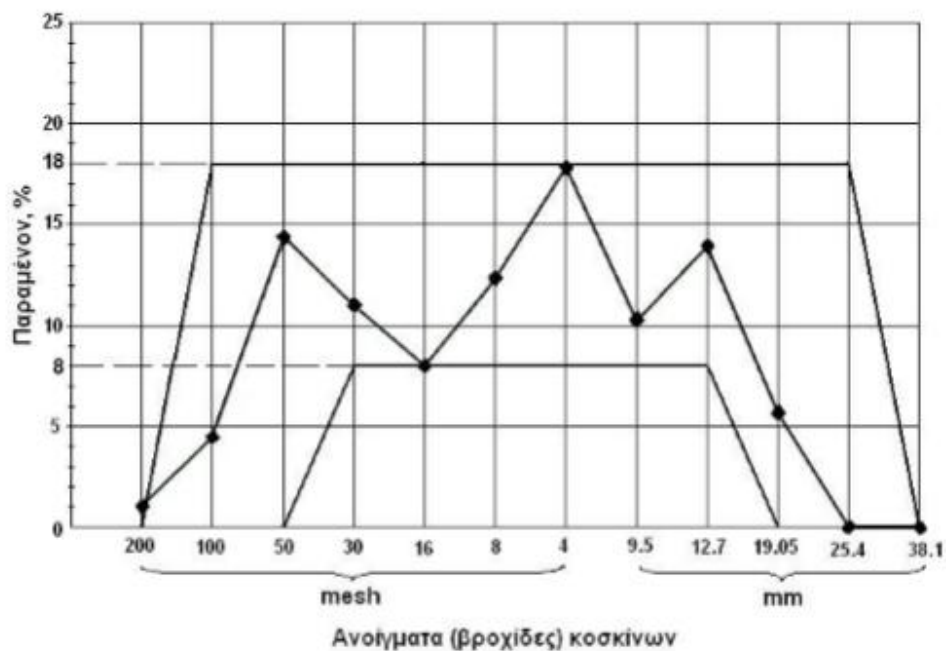
διαδοχικά σημεία μεταξύ τους, παράγεται μια τεθλασμένη γραμμή, η οποία αντιπροσωπεύει την κοκκομετρική ανάλυση της σύνθεσης των αδρανών. Μια αποδεκτή σύνθεση δεν έχει σημαντικό αριθμό «κορυφών» ή «βυθίσεων» και οφείλει, για να θεωρηθεί αποδεκτή κατά τον Shilstone, να δίνει για δύο διαδοχικά κόσκινα άθροισμα % παραμενόντων τουλάχιστον 13%. Τα ποσοστά αυτά του % παραμένοντος σε κάθε κόσκινο πρέπει να περιλαμβάνονται μεταξύ των ορίων 8 και 18%, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.14. Στο Σχήμα 7.15 η κοκκομετρική σύνθεση αδρανών, η οποία δεν υπακούει στους παραπάνω κανόνες, δεν θεωρείται αποδεκτή και χαρακτηρίζεται ως σύνθεση με έλλειψη κάποιων κοκ. κλασμάτων (gap graded aggregate combination).



Σχήμα 7.12. Αποδεκτή καμπύλη (τύπου 0.45) κοκκομετρικής σύνθεσης αδρανών μέγιστου τεμαχίου 25 mm.



Σχήμα 7.13. Μη αποδεκτή καμπύλη (τύπου 0.45) κοκκομετρικής σύνθεσης αδρανών μέγιστου τεμαχίου 25 mm.



Σχήμα 7.15. Μη αποδεκτή κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών σκυροδέματος.

3.12 Βέλτιστη σύνθεση αδρανών σκυροδέματος (*Optimum Aggregate Blend*)

1. Βέλτιστη κοκκομετρική σύνθεση αδρανών Τα ζητήματα, που αφορούν στο κόστος, στην εργασιμότητα, στην αντοχή σε θλίψη και στην ανθεκτικότητα στη διάρκεια του χρόνου, οδηγούν στη διαμόρφωση της άποψης ότι η σύνθεση με τη μεγαλύτερη «πυκνότητα» (αυτή με το μικρότερο ποσοστό κενών) αναμένεται να είναι η πιο οικονομική λύση, επειδή απαιτεί τη μικρότερη ποσότητα συνδετικής ύλης (τσιμεντόπαστα). Αυτή όμως η πρακτική δεν προτιμάται σήμερα, επειδή η εφαρμογή της συνήθως δεν παράγει εργάσιμα σκυροδέματα, εκτός του ότι μια τέτοια πρακτική μπορεί να αποδειχθεί ταυτόχρονα και αντιοικονομική, όσον αφορά στη διαδικασία παραγωγής (προετοιμασία) των κοκκομετρικών κλασμάτων που θα αποτελέσουν την τροφοδοσία των αδρανών.

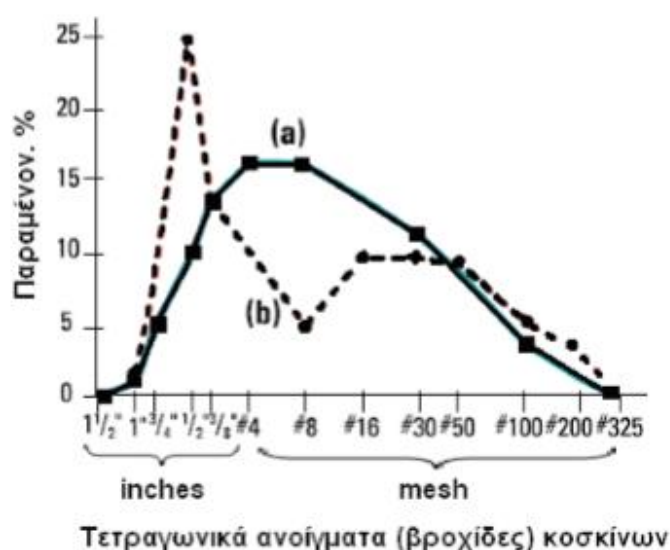
Για το σκοπό αυτό, κατά κύριο λόγο, εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προβλέπει το Αμερικανικό πρότυπο ASTM C33, η οποία όμως και πάλι δεν εξασφαλίζει πάντοτε σκυροδέματα με αποδεκτή εργασιμότητα, λόγω του ευρέος φάσματος μεγεθών των κλασμάτων που χρησιμοποιούνται. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, σε σκυροδέματα με σύνθεση αδρανών χονδρομερούς και λεπτομερούς κλάσματος στα οποία διαπιστώνεται ότι από το λεπτομερές κλάσμα λείπει σημαντικό ποσοστό του υλικού με μεγέθη τεμαχίων από 4.75-9.5 mm, προτείνεται από τον Shilstone η αντικατάσταση ποσοστού 15-30% του χονδρομερούς υλικού με υλικό κοκκομετρικού εύρους 4.75-9.5 mm.

2. Προσδιορισμός της βέλτιστης σύνθεσης αδρανών σκυροδέματος Για τον προσδιορισμό μιας βέλτιστης σύνθεσης αδρανών σκυροδέματος πρέπει να χρησιμοποιηθούν και οι τρεις (-3-) παραπάνω μεθοδολογίες και να επιστρατευθεί επίσης και η όποια εμπειρία υπάρχει στο εργοτάξιο. Το διάγραμμα «Δείκτη χονδρομερούς/εργασιμότητας» είναι αυτό που πρέπει να χρησιμοποιηθεί αρχικά για την εξασφάλιση σύνθεσης με τις κατάλληλες ρεολογικές ιδιότητες και την παραγωγή

ανθεκτικού στο χρόνο σκυροδέματος. Οι άλλες μέθοδοι (Εξίσωση δύναμης με εκθέτη 0.45 και Διάγραμμα

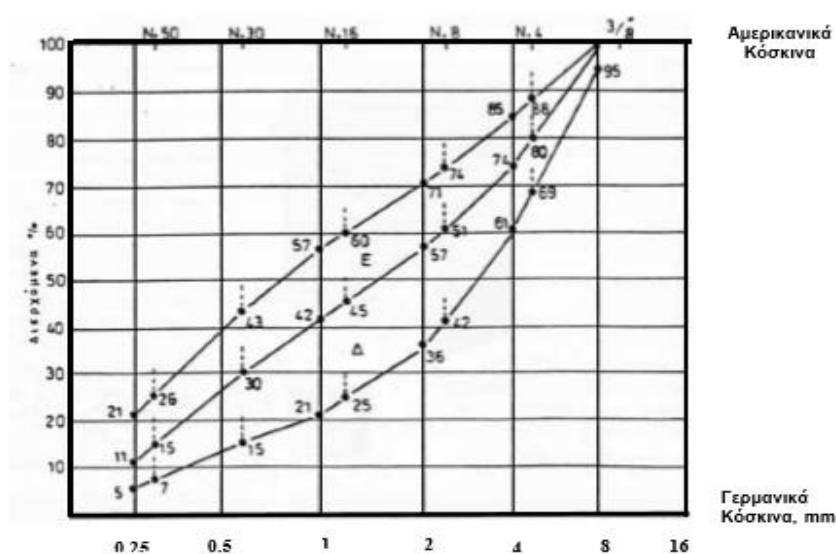
παραμένοντος %) είναι οι δευτερεύουσες μέθοδοι που επιβεβαιώνουν την ορθότητα των υπολογισμών του διαγράμματος «Δείκτη χονδρομερούς /εργασιμότητας» και προσδιορίζουν τις περιοχές απόκλισης της σύνθεσης από την ομαλή κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών.

Στο Σχήμα 7.16, με συνεχή γραμμή φαίνεται μια ομαλή (αποδεκτή) κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών (a), ενώ με τεθλασμένη γραμμή δείχνεται μια κοκκομετρική διαβάθμιση (b) με έλλειψη κάποιων κλασμάτων. Στη γραμμή (b), όπως είναι προφανές, ελλείπουν τα κοκκομετρικά κλάσματα $-4.75+2.36$ mm, $-2.36+1.18$ mm και $-1.18+0.6$ mm (τρία κλάσματα), ενώ υπάρχει σε περίσσεια το κλάσμα $-1+3/8$ in. ($-25.4+9.5$ mm) που είναι χονδρομερές υλικό. Εάν από μια σύνθεση αδρανών ελλείπουν μόνο δύο διαδοχικά κοκκομετρικά κλάσματα, τότε είναι πιθανό τα γειτονικά αυτών που ελλείπουν να αποκαταστήσουν αυτή την ασυνέχεια στη διαβάθμιση, πράγμα που είναι εντελώς αδύνατο να συμβεί σε περίπτωση έλλειψης τριών διαδοχικών κλασμάτων.



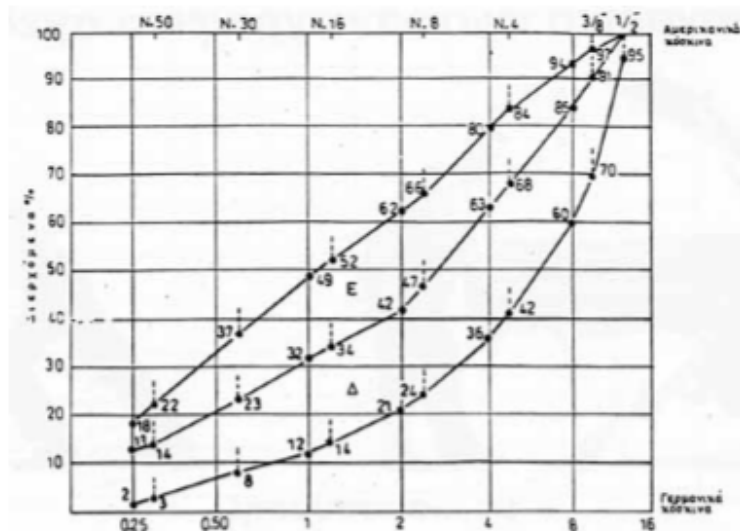
Σχήμα 7.16. Καμπύλες % παραμένουσας σύνθεσης αδρανών υλικών σκυροδέματος (Διάγραμμα προσδιορισμού της κλασματικής βέλτιστης ποσοστιαίας % κοκκομετρικής σύνθεσης αδρανών για την παραγωγή σκυροδέματος).

Οι κοκκομετρικές ομάδες τεμαχίων που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος, σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ97), δίνονται στα Σχήματα 7.17, 7.18, 7.19, και 7.20 που ακολουθούν, και δίνουν το ποσοστό % αθροιστικώς διερχόμενου από κόσκινα τετραγωνικών βροχίδων (σε mm) σύμφωνα με τη Γερμανική τυποποίηση (DIN 4187 και 4188) ή σύμφωνα με την



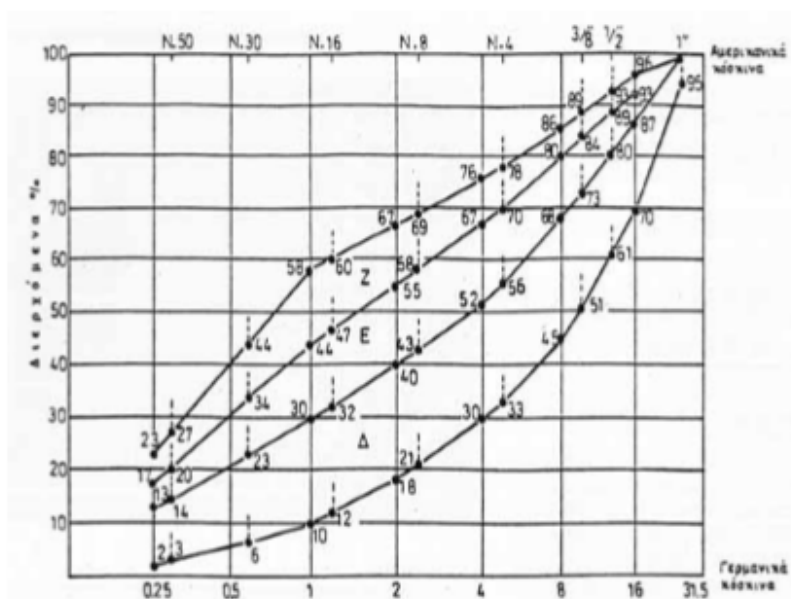
Σχήμα 7.17. Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου τεμαχίου 8 mm (Γερμανικά κόσκινα) ή 9.5 mm (3/8") κατά τα Αμερικανικά κόσκινα.

Αμερικανική τυποποίηση ASTM E 11 (Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος '97 ή

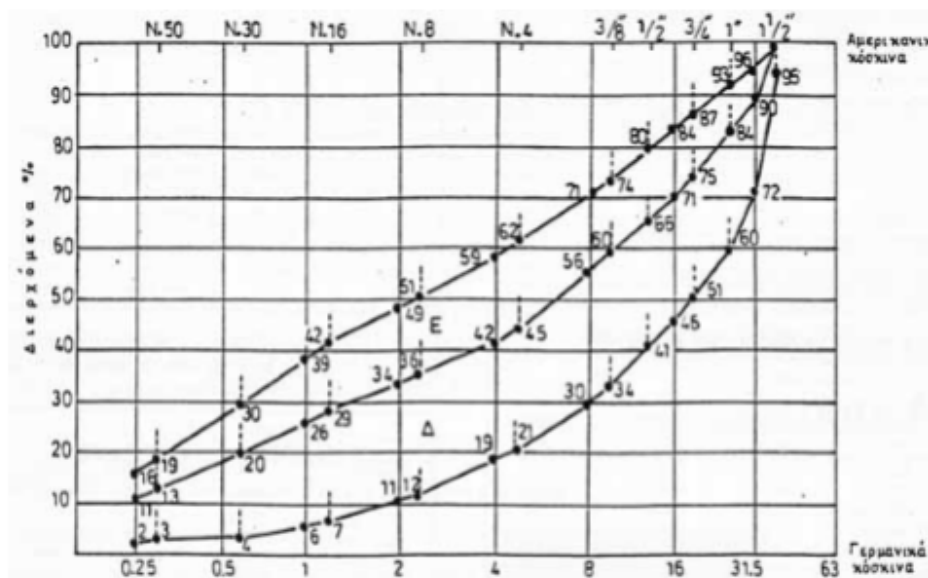


Σχήμα 7.18. Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου τεμαχίου 16 mm (Γερμανικά κόσκινα) ή 12.5 mm (1/2") κατά τα Αμερικανικά κόσκινα.

ΚΤΣ-97).



Σχήμα 7.19. Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου τεμαχίου 31.5 mm (Γερμανικά κόσκινα) ή 25.4 mm (1") κατά τα Αμερικανικά κόσκινα.



Σχήμα 7.20. Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου τεμαχίου 37.5 mm (1 1/2") κατά τα Αμερικανικά κόσκινα.

7.3.2. Χημικά πρόσθετα και υποκατάστατα τσιμέντου στην παρασκευή σκυροδέματος - Η δράση τους

Τα πρόσθετα σκυροδέματος είναι υλικά διαφορετικά από το τσιμέντο, τα αδρανή και το νερό, τα οποία προστίθενται στο σκυρόδεμα πριν από ή κατά τη διάρκεια της ανάμιξης των παραπάνω κύριων πρώτων υλών.

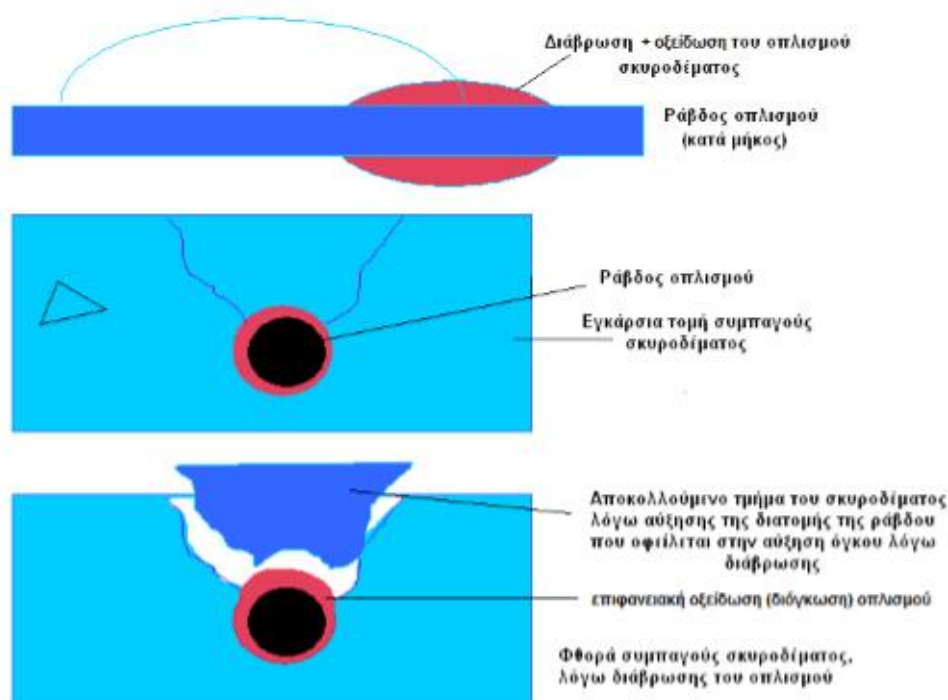
Τα πρόσθετα σκυροδέματος χωρίζονται σε δύο (-2-) κατηγορίες:

3.13. Χημικά πρόσθετα

Τα χημικά πρόσθετα δρουν ευεργετικά στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε βάθος χρόνου (durability) και επηρεάζουν την εργασιμότητα (workability), το χρόνο πήξηςσκλήρυνσής του, τη θερμοκρασία συντήρησής του και την αναμενόμενη αντοχή δεδομένου μείγματος σκυροδέματος. Χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση (1) δύσκολων κατασκευαστικών συνθηκών (σκυροδέτηση σε υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος), (2) απαιτήσεις αυξημένης αντλησιμότητας του σκυροδέματος (υψηλά κτίρια), (3) απαιτήσεις υψηλών αρχικών αντοχών σκυροδέματος

και (4) απαιτήσεις πολύ χαμηλών λόγων νερού/τσιμέντο που επιδρούν στην αντοχή του έργου.

□ Επιταχυντικό πρόσθετο (accelerating admixture) προστίθεται στο σκυρόδεμα με στόχο να μειώσει το χρόνο πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος και να επιταχύνει το χρόνο απόκτησης της πρώιμης αντοχής του και η χρήση τους ενδείκνυται σε περιπτώσεις που επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη σκυροδέτηση. Η ποσοστιαία μείωση του χρόνου πήξης και σκλήρυνσης ποικίλλει και εξαρτάται από την ποσότητα του προστιθέμενου στο σκυρόδεμα «επιταχυντικού» αντιδραστηρίου πήξης. Το χλωριούχο ασβέστιο (σε ποσότητες μικρότερες από 2% της ποσότητας του τσιμέντου) χρησιμοποιείται ως ένα φθινό επιταχυντικό, αλλά οι προδιαγραφές σκυροδέματος συνήθως επιβάλλουν την αποφυγή χρήσης χλωριούχων ενώσεων, λόγω της πιθανής διάβρωσης του σιδηροπλισμού (Σχήμα 7.21), σε περίπτωση οπλισμένων σκυροδεμάτων, γεγονός που έχει αρνητικές επιπτώσεις στην αντοχή του σκυροδέματος σε βάθος χρόνου (durability) και καλύπτονται από την προδιαγραφή ASTM C 494 (Types B και D).



Σχήμα 7.21. Δράση της διάβρωσης του σιδηροπλισμού επί του οπλισμένου σκυροδέματος.

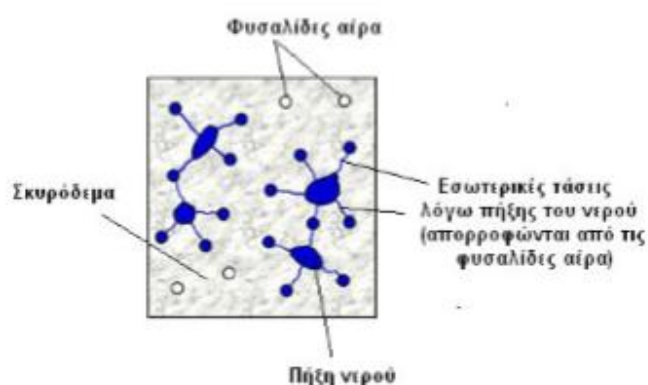
Εναλλακτικά, για να επιτευχθεί αύξηση της πρώιμης αντοχής του σκυροδέματος, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω μεθοδολογίες:

1. Χρησιμοποίηση τσιμέντου τύπου III (υψηλής αρχικής αντοχής)
2. Μείωση του λόγου νερό/τσιμέντο ή αύξηση της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου ανά m³ σκυροδέματος και
3. . αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης των κατασκευών από σκυρόδεμα.

□ Επιβραδυντικό πήξης (Retarding admixture). Η κύρια δράση του είναι προς την κατεύθυνση της επιμήκυνσης του χρόνου (κατά μία 1 ώρα ή και περισσότερο) εντός του οποίου το έτοιμο σκυρόδεμα πρέπει να μεταφερθεί, να διαστρωθεί και να συμπκνωθεί. Συνήθως προστίθεται στο σκυρόδεμα κατά την παραγωγή του με στόχο να επιβραδύνει την πήξη και σκλήρυνσή του, ιδιαίτερος όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες κατά τη σκυροδέτηση, ώστε να ελεγχθούν φαινόμενα επιτάχυνσης των αντιδράσεων ενυδάτωσης.

Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν, ιδιαίτερος σε περιπτώσεις ογκωδών κατασκευών όπου λαμβάνει χώρα έντονη έκλυση θερμότητας κατά την ενυδάτωση των C3A και C3S, η χρήση τους είναι προφανής και απαραίτητη. Χρησιμοποιείται επίσης, όταν για «αισθητικούς» λόγους της εμφάνισης του σκυροδέματος απαιτείται αρκετός χρόνος για τη διαμόρφωση της εμφανούς επιφάνειάς του, δηλαδή δεν είναι επιθυμητή π.χ. η εμφάνιση στην εξωτερική του επιφάνεια του σκυροδέματος των κόκκων των αδρανών υλικών. Στις περιπτώσεις αυτές επαλείφεται εσωτερικά ο ξυλότυπος με επιβραδυντικό πρόσθετο πήξης, το οποίο συντελεί τοπικά στην επιβράδυνση της ταχύτητας πήξης-σκλήρυνσης του σκυροδέματος. Πολλά επιβραδυντικά της πήξης δρουν επίσης θετικά στην κατεύθυνση της μείωσης του απαιτούμενου νερού για την ενυδάτωση του τσιμέντου με αποτέλεσμα, λόγω της μείωσης του χρησιμοποιούμενου νερού, να παράγεται σκυρόδεμα αυξημένης τελικής αντοχής (καλύπτονται από την προδιαγραφή ASTM C 494 Types B και D).

□ Αερακτικά (air-entraining admixtures or agents). Είναι υγρές χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή (δημιουργία) μικροσκοπικών φυσαλίδων αέρα στη δομή του σκυροδέματος με στόχο τον έλεγχο των φαινομένων “αποσάθρωσης”, λόγω γένεσης εσωτερικών τάσεων σε περιπτώσεις συχνού παγώματος και τήξης (freeze and thawing) του νερού του σκυροδέματος και σε περιπτώσεις επιφανειακής φθοράς του σκυροδέματος από τη δράση χημικών αντιπαγωτικών (de-icers). Στις περιπτώσεις αυτές οι μικροσκοπικές φυσαλίδες αέρα, στο εσωτερικό της μάζας του σκυροδέματος, παραλαμβάνουν και απορροφούν τις δημιουργούμενες τάσεις (Σχήμα 7.22 και Εικόνα 7.2). Γενικώς, για κάθε 1% αύξηση του περιεχόμενου αέρα στο σκυρόδεμα προκαλείται δημιουργείται μείωση της θλιπτικής αντοχής του κατά 5% περίπου. Εν τούτοις, η προσθήκη αερακτικών (1) αυξάνει την εργασιμότητα του σκυροδέματος., (2) συμβάλει στη μείωση της τάσης για απόμειξη (διαφορική κατά μέγεθος ταξινόμηση μέσα στο σκυρόδεμα) των αδρανών, (3) μειώνει το φαινόμενο της «εξίδρωσης» (bleeding) στην επιφάνεια του σκυροδέματος και επίσης (4) μειώνει τη διαπερατότητά του, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στη διατήρηση της καλής κατάστασής του σε βάθος χρόνου (durability).



Σχήμα 7.22. Δράση των φυσαλίδων αέρα μέσα στο σκυρόδεμα.



Εικόνα 7.2. Μεγέθυνση τομής σκυροδέματος στην οποία φαίνονται οι φυσαλίδες αέρα στο εσωτερικό του.

□ Water reducing admixtures (πρόσθετα μείωσης της αναγκαίας ποσότητας νερού) Είναι χημικές ενώσεις που συμβάλλουν στη μείωση του απαιτούμενου νερού στη παραγωγή σκυροδέματος, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα (1) την αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος σε βάθος χρόνου και (2) την αύξηση της κάθισης (εργασιμότητα) του σκυροδέματος για ίδια περιεκτικότητα σε νερό (ίδιο λόγο νερό/τσιμέντο). Τα

αντιδραστήρια αυτά συμβάλλουν επίσης στην αύξηση της αντίστασης του σκυροδέματος σε προσβολή από θειικά ιόντα και στη μείωση της περατότητας του. Η μείωση του νερού που προκαλούν είναι συνήθως της τάξης του 5-10% και καλύπτονται από την προδιαγραφή ASTM C 494 (Type A). Τα ευρέως φάσματος πρόσθετα (High range water reducers, HRWR) αυτής της κατηγορίας μπορούν να προκαλέσουν μείωση της τάξης του 12-30% με διατήρηση εξαιρετικής εργασιμότητας του σκυροδέματος, είναι όμως σχετικώς ακριβά και δεν συμφέρει να χρησιμοποιούνται σε συνήθειες αλλά μόνο σε ειδικές κατασκευές από σκυρόδεμα. Τα ειδικά αυτά χημικά αντιδραστήρια ονομάζονται επίσης υπερ-ρευστοποιητικά (superplasticizers) και καλύπτονται από τις προδιαγραφές ASTM C 494 (Types F και G) και ASTM C 1017 (Types 1 και 2). Τα σκυροδέματα στα οποία χρησιμοποιούνται αυτού του τύπου τα υπερρευστοποιητικά αποκτούν τη συνηθισμένη κάθιση 75-100 mm εντός χρονικού διαστήματος 30-60 min.

□ Στεγανοποιητικά (waterproofing admixtures)

Υποκατάστατα (ποζολάνες, βιομηχανικά παραπροϊόντα κλπ.)

Είναι συνήθως φυσικά αργιλοπυριτικά υλικά ή βιομηχανικά παραπροϊόντα (ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα, αλεσμένη σκωρία υψικαμίνων ή ατμοί πυριτίας), τα οποία λόγω της ορυκτολογικής τους σύστασης μπορούν να υποκαταστήσουν σε ποσοστό 15-35% κατά βάρος το χρησιμοποιούμενο τσιμέντο στο σκυρόδεμα. Από τη φύση τους δεν έχουν υδραυλικές ιδιότητες, αλλά ενώνονται εύκολα με το υδροξείδιο του ασβεστίου $[Ca(OH)_2]$ που παράγεται κατά την ενυδάτωση των διαφόρων φάσεων του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου και παράγουν ενώσεις με υδραυλικές ιδιότητες. Η συμβολή τους στην παραγωγή του σκυροδέματος είναι η παρακάτω:

1. Αυξάνουν την εργασιμότητα του σκυροδέματος
2. Βελτιώνουν την εμφάνιση των κατασκευών από σκυρόδεμα (φινίρισμα)
3. Μειώνουν την εκλυόμενη θερμότητα από την ενυδάτωση του τσιμέντου
4. Έχουν χαμηλότερο κόστος (κυμαινόμενο μεταξύ 25-50%) από το τσιμέντο που αντικαθιστούν, μειώνοντας έτσι το συνολικό κόστος του σκυροδέματος και κατά συνέπεια της κατασκευής.

3.14 Προσδιορισμός της Ογκομετρικής Σύνθεσης του Σκυροδέματος

Γενικά:

Εκτός των προαναφερθέντων προδιαγραφών (ελάχιστη αντοχή σε θλίψη π.χ. 28 ημερών, προβλεπόμενες κλιματικές συνθήκες και περιβάλλον έκθεσης του σκυροδέματος στη διάρκεια ζωής του), για τον προσδιορισμό της ογκομετρικής σύνθεσης του σκυροδέματος στις αναγκαίες πρώτες ύλες, είναι απαραίτητα και τα παρακάτω δεδομένα, τα οποία είτε είναι γνωστά και επιβάλλονται, είτε προσδιορίζονται εύκολα στο εργαστήριο:

1. Η «κάθιση» ή εξάπλωση του σκυροδέματος (Σχήμα 8.1), η οποία καθορίζεται από το σχήμα και το μέγεθος των τύπων (καλούπια) στους οποίους θα αποχυθεί και θα διαστρωθεί
2. Τα χαρακτηριστικά της άμμου (λεπτομερή αδρανή), για την οποία είναι γνωστά ή προσδιορίζονται: η κοκκομετρική της ανάλυση ο συντελεστής ή δείκτης λεπτότητάς της (Fineness modulus) η % απορροφητικότητα των τεμαχίων της σε νερό (πόροι τεμαχίων) και η % (ποσοστιαία) υγρασία της, λόγω των συνθηκών αποθήκευσής της στο περιβάλλον
3. Τα χαρακτηριστικά των χονδρομερών αδρανών με το μέγιστο ονομαστικό μέγεθος των τεμαχίων τους, η % απορροφητικότητά τους, η υγρασία τους κλπ.
4. Η πυκνότητα (συμπεριλαμβανομένων των κενών μεταξύ των τεμαχίων) και το % ποσοστό κενών των δονημένων (fully compacted aggregates) των χονδρομερών αδρανών

Από τις παραπάνω τιθέμενες προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών, που θα χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή του σκυροδέματος, μπορούν να προκύψουν οι κλασματικές (κατ' όγκον ή κατά βάρος) αναλογίες τους, με τη βοήθεια των παρακάτω Πινάκων και Διαγραμμάτων.

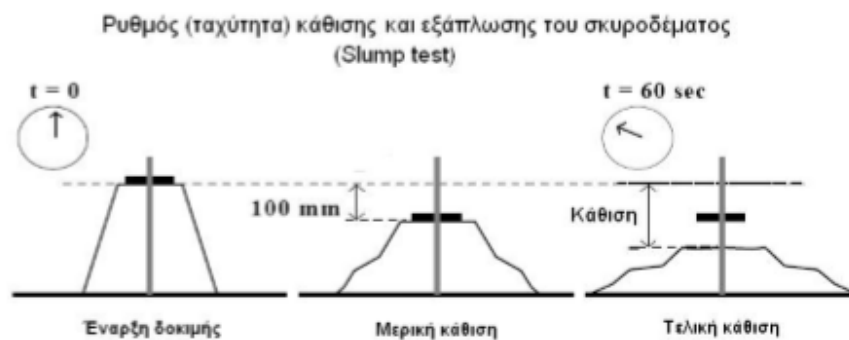
Πίνακας 8.1. Κατά προσέγγιση απαιτούμενο νερό σκυροδέματος (kg/m^3 ή l/m^3) και % ποσοστό αέρα συναρτήσει της επιδιωκόμενης κάθισης (κατά ACI, American Concrete Institute)

Απαιτούμενη ποσότητα νερού σκυροδέματος συναρτήσει του ονομαστικού μεγέθους αδρανών, mm								
Κάθιση ή εξάπλωση, mm ↓	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
Σκυρόδεμα χωρίς αερακτικό (χωρίς δημιουργία φυσαλίδων με γημικό πρόσθετο)								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	242	228	216	202	190	178	160	-
Κατά προσέγγιση εγκλωβισμένος αέρας, %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Σκυρόδεμα με προσθήκη αερακτικού (δημιουργία φυσαλίδων με γημικό πρόσθετο)								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
Συνιστώμενη περιεκτικότητα σε αέρα, %								
Συνθήκες ήπιας έκθεσης σκυροδέματος ¹	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Συνθήκες μέσης έκθεσης σκυροδέματος ²	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Συνθήκες έντονης έκθεσης σκυροδέματος ³	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

¹ **Ήπια** έκθεση (δεν χρειάζεται δημιουργία φυσαλίδων αέρα με γημικό πρόσθετο για αύξηση αντοχής στη διάρκεια του χρόνου)

² **Μέση** έκθεση (όταν το σκυρόδεμα δεν είναι εκτεθειμένο συνεχώς σε περιβάλλον νερού πριν εκτεθεί σε παγετό και σε αντιπαγωτικά άλατα)

³ **Έντονη** έκθεση (όταν χρησιμοποιούνται αντιπαγωτικά άλατα ή όταν το σκυρόδεμα είναι κορεσμένο με νερό πριν από παγετό)



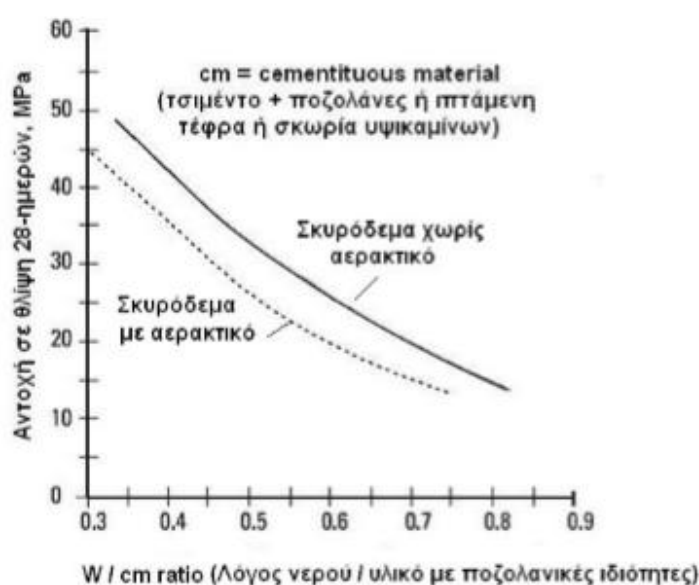
Σχήμα 8.1. Κάθιση (slump) ή εξάπλωση του σκυροδέματος.

Πίνακας 8.2. Λόγος νερού/τσιμέντο ως συνάρτηση της επιζητούμενης αντοχής σε θλίψη 28 ημερών (κατά ACI, American Concrete Institute)

Θλιπτική αντοχή 28 ημερών σε MPa ή σε (psi)	Λόγος νερό/τσιμέντο κατά βάρος (W/C, Water-cement ratio)	
	Σκυρόδεμα χωρίς αερακτικό	Σκυρόδεμα με αερακτικό
41.4 (6000)	0.41	-
34.5 (5000)	0.48	0.40
27.6 (4000)	0.57	0.48
20.7 (3000)	0.68	0.59
13.8 (2000)	0.82	0.74

Η σχέση μεταξύ της αναμενόμενης θλιπτικής αντοχής 28 ημερών δοκιμίων σκυροδέματος και των λόγων νερό/υλικό με ποζολανικές ιδιότητες ή νερό/τσιμέντο δίνεται στον Πίνακα 8.2 και στα Σχήματα 8.2 και 8.3, από τα οποία διαπιστώνεται η σημαντική επίδραση της σχέσης μαζών νερού και τσιμέντου στην αντοχή του παραγόμενου σκυροδέματος.

Στον Πίνακα 8.3 δίνεται το κλάσμα όγκου χονδρομερών αδρανών στη μονάδα όγκου σκυροδέματος ως συνάρτηση του συντελεστή ή δείκτη λεπτότητας των λεπτομερών αδρανών, σύμφωνα με το ACI (American Concrete Institute, προδιαγραφή ACI 211-1-



Σχήμα 8.2. Λόγος νερού/υλικό με υδραυλικές ή ποζολανικές ιδιότητες (W/cm) συναρτήσει της επιζητούμενης αντοχής σε θλίψη 28 ημερών (κατά American Concrete Institute, ACI).

91).

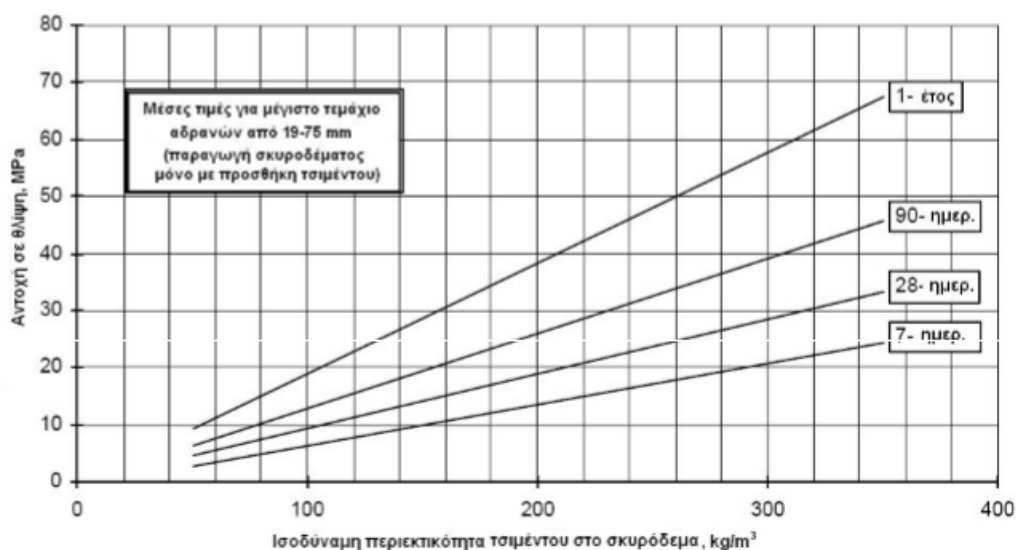
Πίνακας 8.3. Κλάσμα όγκου χονδρομερών αδρανών στη μονάδα όγκου σκυροδέματος ως συνάρτηση του συντελεστή ή δείκτη λεπτότητας των λεπτομερών αδρανών, (Πηγή: American Concrete Institute, προδιαγραφή ACI 211-1-91).

Ονομαστικό μέγιστο μέγεθος αδρανών, mm	Δείκτης λεπτότητας λεπτομερών αδρανών (Fineness modulus)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
	Κλάσμα όγκου χονδρομερών αδρανών στη μονάδα όγκου σκυροδέματος			
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	0.66	0.64	0.62	0.60
25.0	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50.0	0.78	0.76	0.74	0.72
75.0	0.82	0.80	0.78	0.76
150.0	0.87	0.85	0.83	0.81

Ο Πίνακας 8.4 και το Σχήμα 8.4 είναι ενδεικτικά της ελάχιστης απαιτούμενης ποσότητας τσιμέντου και υποκατάστατών του (υλικό με ποζολανικές ιδιότητες) στο σκυρόδεμα, ως συνάρτηση του μέγιστου μεγέθους τεμαχίων αδρανών και της επιζητούμενης αντοχής σε θλίψη του σκυροδέματος.

Πίνακας 8.4. Ελάχιστη ποσότητα απαιτούμενου τσιμέντου ως συνάρτηση του μέγιστου μεγέθους τεμαχίων αδρανών

Μέγιστο μέγεθος τεμαχίων αδρανών		Μάζα τσιμέντου, kg / m ³ σκυροδέματος	Περιεκτικότητα αερακτικού, (%)
in	mm		
1 ½	37.5	278.9	5 1/2
1	25.0	308.7	6
¾	19.0	320	6
½	12.7	350	7
¾	9.5	362	7 1/2



Σχήμα 8.4. Ισοδύναμη (ελάχιστη) περιεκτικότητα τσιμέντου στο σκυροδέμα (kg/m³) ως συνάρτηση της αντοχής σε θλίψη σε MPa.

Τεχνικές απαιτήσεις για τον προσδιορισμό της σύνθεσης του σκυροδέματος

Η αντοχή του σκυροδέματος

Ο προσδιορισμός της σύνθεσης του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται για αντοχή σε θλίψη (f_{cr}), η οποία προσδιορίζεται σύμφωνα με τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις:

$$f_{cr} = f_c + 1.4 \cdot \sigma, \text{ όταν η αντοχή σε θλίψη } f_c \text{ του παραγόμενου σκυροδέματος έχει τυπική απόκλιση } \sigma \text{ (από προηγούμενη εργοταξιακή εμπειρία) μέχρι } 3.5 \text{ MPa}$$

$$f_{cr} = f_c + 2.4 \cdot \sigma - 3.5, \text{ όταν η τυπική απόκλιση } \sigma \text{ της αντοχής σε θλίψη } f_c \text{ του παραγόμενου σκυροδέματος (από προηγούμενη εργοταξιακή εμπειρία) είναι μεγαλύτερη από } 3.5 \text{ MPa}$$

Όπου f_c είναι η ελάχιστη αντοχή σε θλίψη (συνήθως 28 ημερών), που τίθεται εξαρχής ως προαπαιτήση για το συγκεκριμένο έργο και σ η τυπική απόκλιση που έχει παρατηρηθεί ή αναμένεται να υπάρχει στα παραγόμενα σκυροδέματα. Επίσης, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη οι κλιματικές συνθήκες ή το περιβάλλον (θαλάσσιο, θειικά άλατα κλπ.) στα οποία θα εκτεθεί το σκυροδέμα στη διάρκεια ζωής του

Για τον προσδιορισμό της ογκομετρικής σύνθεσης του σκυροδέματος στις αναγκαίες πρώτες ύλες, εκτός των παραπάνω προδιαγραφών (ελάχιστη αντοχή σε θλίψη π.χ. 28 ημερών, προβλεπόμενες κλιματικές συνθήκες και περιβάλλον έκθεσης του σκυροδέματος στη διάρκεια ζωής του), είναι απαραίτητα και τα παρακάτω δεδομένα, τα οποία, είτε είναι γνωστά είτε προσδιορίζονται εύκολα στο εργαστήριο:

3.15. Οι συμπληρωματικές απαιτήσεις

- Η «κάθιση» ή εξάπλωση του σκυροδέματος, η οποία επιβάλλεται από το σχήμα και το μέγεθος των τύπων στους οποίους θα αποχυθεί και θα διαστρωθεί
- Τα χαρακτηριστικά της άμμου (λεπτομερή αδρανή), για την οποία είναι γνωστή ή προσδιορίζεται η κοκκομετρική της ανάλυση, ο συντελεστής ή δείκτης λεπτότητας της (Fineness modulus), η % απορροφητικότητα των τεμαχίων της σε νερό (πόροι τεμαχίων) ή η % (ποσοστιαία) υγρασία της, λόγω των συνθηκών αποθήκευσής της στο περιβάλλον
- Τα χαρακτηριστικά των χονδρομερών αδρανών με το μέγιστο ονομαστικό μέγεθος των τεμαχίων τους, η % απορροφητικότητά τους, η υγρασία τους κλπ.
- Η πυκνότητα (συμπεριλαμβανομένων των κενών μεταξύ των τεμαχίων) και το % ποσοστό κενών των δονημένων (fully compacted aggregates) χονδρομερών αδρανών (Εικόνα 8.1)

Από τις παραπάνω τιθέμενες προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών, που θα χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή του σκυροδέματος, μπορούν να προκύψουν οι κλασματικές (κατ' όγκον ή κατά βάρος) αναλογίες τους, όπως περιγράφεται παρακάτω στο αριθμητικό παράδειγμα.

Μεθοδολογία προσδιορισμού αναλογίας πρώτων υλών στο σκυρόδεμα

1. Προσδιορισμός (από σχετικό Πίνακα 8.1) της απαιτούμενης ποσότητας προσθήκης νερού (kg ή λίτρα νερού L / m³ σκυροδέματος), που υπολογίζεται συναρτήσει: Της αποδεκτής κάθισης ή εξάπλωσης (σε mm), η οποία έχει

σχέση με την εργασιμότητα του σκυροδέματος και τίθεται ως προαπαίτηση από το είδος και τις απαιτήσεις του έργου □ Του ονομαστικού μέγιστου μεγέθους τεμαχίων αδρανών (σε mm).

2. Μετά τον προσδιορισμό της ποσότητας του νερού ανά m³ σκυροδέματος, προσδιορίζεται η απαιτούμενη ποσότητα τσιμέντου (kg τσιμέντου/ m³ σκυροδέματος) από διάγραμμα (Σχήμα 8.2.) ή Πίνακα 8.2, μέσω του λόγου (W/cm, νερό προς υλικό με ποζολανικές ή υδραυλικές ιδιότητες), όταν υπάρχει ως δεδομένο από τις απαιτήσεις του έργου η ελάχιστη αντοχή σε θλίψη 28 ημερών (f_{cr}).
3. Ακολούθως, προσδιορίζεται (Πίνακας 8.3) η ογκομετρική συμμετοχή (κλασματικά ή ποσοστιαία) των χονδρομερών αδρανών στο σκυρόδεμα, συναρτήσει: □ του ονομαστικού μέγιστου μεγέθους τεμαχίων αδρανών (σε mm) και □ του δείκτη λεπτότητας των διατιθέμενων λεπτομερών αδρανών (ο δείκτης λεπτότητας υπολογίζεται εύκολα από την κοκκομετρική τους ανάλυση).

Σημείωση: ο όγκος αυτός μετατρέπεται σε μάζα (σε kg) με τη βοήθεια της φαινόμενης πυκνότητας (συνυπολογιζόμενων των κενών) των χονδρομερών αδρανών και κατόπιν με την πραγματική πυκνότητα του πετρώματος προκύπτει ο πραγματικός όγκος που καταλαμβάνουν τα χονδρομερή αδρανή στο σκυρόδεμα (χωρίς τα κενά). 4. Μετά τον ογκομετρικό υπολογισμό των παραπάνω, υπολογίζεται η ογκομετρική συμμετοχή (κλασματικά ή ποσοστιαία) των λεπτομερών αδρανών στο σκυρόδεμα με αφαίρεση από τη μονάδα (1 m³ σκυροδέματος), όπως φαίνεται παρακάτω.

3.15.1. Προσδιορισμός της % περιεκτικότητας σκυροδέματος σε λεπτομερή αδρανή (*fine aggregate content*)

Ο όγκος των λεπτομερών αδρανών, που απαιτούνται για την πλήρωση των κενών μεταξύ των χονδρομερών αδρανών και για την εξασφάλιση εργασιμότητας, προκύπτει με αφαίρεση του αθροίσματος των επί μέρους όγκων από τον όγκο της μονάδας όγκου σκυροδέματος, όπως φαίνεται παρακάτω:

Όγκος μονάδας σκυροδέματος (Unit volume of concrete), π.χ. 1 m³)

- Απαιτούμενος όγκος νερού (μείον)
- Απαιτούμενος όγκος αέρα (μείον)
- Απαιτούμενος όγκος τσιμέντου Portland (μείον)
- Απαιτούμενος όγκος χονδρομερών αδρανών (μείον)
- Απαιτούμενος όγκος λεπτομερών αδρανών (Ίσον)**

Γνωρίζοντας τις πυκνότητες των πρώτων υλών (νερού, τσιμέντου, αέρα, χονδρομερών και λεπτομερών αδρανών) οι παραπάνω ογκομετρικές συμμετοχές (ανά m³ σκυροδέματος) μπορούν να μετατραπούν σε μάζες (kg ή t) και να παρουσιαστούν σε μορφή συγκεντρωτικού Πίνακα.

3.15.2. Προσαρμογή των αποτελεσμάτων σε περίπτωση περιεχόμενης υγρασίας στα αδρανή

Στην παραπάνω διαδικασία έχουν υπολογιστεί οι όγκοι των διαφόρων πρώτων υλών που συμμετέχουν στην παραγωγή σκυροδέματος (υπό ξηρή μορφή). Όμως επειδή, κατά τη διεργασία παραγωγής του σκυροδέματος, τα αδρανή τροφοδοτούνται με δοσομετρικούς τροφοδότες και περιέχουν συνήθως ποσοστό υγρασίας, η υγρασία αυτή πρέπει να συνυπολογιστεί στη διαδικασία ανάμιξης, λόγω του ότι επηρεάζει σημαντικά τη μάζα τους άρα και την ποσότητα των προστιθέμενων πρώτων υλών. Είναι επίσης προφανές ότι, το είδος της περιεχόμενης υγρασίας στα αδρανή (υγρασία πόρων αδρανών, επιφανειακή υγρασία, κατάσταση κορεσμού τους κλπ.), επηρεάζει επίσης την ποσότητα του απαιτούμενου νερού ανάμιξης. Εξαιτίας του πορώδους τους ή της υγρασίας αυτής, τα αδρανή, είτε απορροφούν είτε συνεισφέρουν νερό στη διεργασία.

3.16. Αριθμητικό παράδειγμα προσδιορισμού σύνθεσης πρώτων υλών σκυροδέματος

1. Χαρακτηριστικά του έργου (απαιτήσεις) Δεδομένα:

- Τύπος σχεδιαζόμενης κατασκευής: Φορτιζόμενη βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα (χωρίς αερακτικό)
- Συνθήκες έκθεσης: Μέση έκθεση (κατασκευή εντός του εδάφους, μη εκτιθέμενη σε συνθήκες παγετού ή θειικά άλατα)
- Μέγιστο μέγεθος τεμαχίων αδρανών: 1½ in. (≈ 37.5 mm)
- Όρια κάθισης ή εξάπλωσης: 3-4 in. (≈ 75-100 mm)
- Ελάχιστη αντοχή σε θλίψη: 24 MPa (Τυπική απόκλιση 2 MPa)

Χαρακτηριστικά των επιλεγμένων υλικών (πρώτες ύλες σκυροδέματος)

Πίνακας 8.5. Χαρακτηριστικά πρώτων υλών σύνθεσης σκυροδέματος

Ιδιότητα	Υλικό		
	Τσιμέντο	Χονδρομερή αδρανή	Λεπτομερή αδρανή
Ειδικό βάρος	3.15	2.60	2.70
Πυκνότητα (δονημένων) χονδρομερών αδρανών, kg/m³ (με κενά)	-	1602	-
Δείκτης λεπτότητας, Fineness modulus	-	-	2.80
Απόκλιση υγρασίας από την πλήρως κορεσμένη κατάσταση, (%)	-	+2.5	+0.5



Εικόνα 8.1. Προσδιορισμός της φαινόμενης πυκνότητας χονδρομερών αδρανών.

2. Προσδιορισμός της αναλογίας πρώτων υλών σκυροδέματος (Μέθοδος απόλυτων όγκων)

Οι υπολογισμοί που αφορούν στην αντοχή σε θλίψη αναφέρονται σε τιμή:

1. $f_{cr} = 24 + 1.4 \cdot 2 = 26.8 \text{ MPa}$
2. Από τον Πίνακα 8.1 προκύπτει ότι (για μέγιστο ονομαστικό μέγεθος αδρανών 37.5 mm) και κάθιση 75-100 mm χρειάζονται 181 kg νερού / m³ σκυροδέματος
3. Από το διάγραμμα (Σχήμα 8.2) ή τον Πίνακα 8.2 (με παρεμβολή) και για αντοχή $f_{cr} = 26.8 \text{ MPa}$, ο λόγος W/C = 0.58, οπότε η αναγκαία ποσότητα τσιμέντου ανέρχεται σε: $C = 181/0.58 = 312 \text{ kg τσιμέντου / m}^3 \text{ σκυροδέματος}$
4. Όγκος «δονημένων» χονδρομερών αδρανών Από τον Πίνακα 8.3, για μέγιστο ονομαστικό μέγεθος χονδρομερών αδρανών 37.5 mm και για δείκτη λεπτότητας λεπτομερών αδρανών 2.80, το κλάσμα όγκου χονδρομερών αδρανών στη μονάδα όγκου σκυροδέματος είναι 0.71, οπότε η μάζα των χονδρομερών αδρανών είναι: $0.71 \cdot 1602 = 1137.42 \text{ kg χονδρομερών αδρανών / m}^3 \text{ σκυροδέματος}$, τα οποία αντιστοιχούν σε όγκο: $1137.42/2600 = 0.4375 \text{ m}^3 \text{ αδρανών / m}^3 \text{ σκυροδέματος}$

1. Ο όγκος του απαιτούμενου τσιμέντου είναι: $312/3150 = 0.099 \text{ m}^3 / \text{m}^3$ σκυροδέματος
2. Ο όγκος του νερού είναι: $0.181 \text{ m}^3 / \text{m}^3$ σκυροδέματος
3. Ο όγκος του εγκλωβιζόμενου αέρα είναι: $0.01 \text{ m}^3 \text{ αέρα} / \text{m}^3$ σκυροδέματος

192

4. Ο όγκος των λεπτομερών αδρανών υπολογίζεται ως: $1 - (0.4375 + 0.099 + 0.181 + 0.01) = 0.2725 \text{ m}^3$ λεπτομερών αδρανών / m^3 σκυροδέματος, και η μάζα τους: $0.2725 \cdot 2700 = 736 \text{ kg}$ λεπτομερών αδρανών / m^3 σκυροδέματος

Άρα, το συνολικό ισοζύγιο μαζών στο 1 m^3 σκυροδέματος είναι:

1. 181 kg νερού
2. 312 kg τσιμέντου
3. 1137.42 kg χονδρομερών αδρανών
4. 736 kg λεπτομερών αδρανών
5. 2366.42 kg / m^3 σκυροδέματος

Όμως, λόγω της περιεχόμενης υγρασίας στα χονδρομερή (0.5%) και λεπτομερή αδρανή (2.5%), πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις, οι οποίες επηρεάζουν τις ποσότητες των αδρανών που ζυγίζονται και τροφοδοτούνται και επίσης την παροχή του προστιθέμενου νερού.

1. 312 kg τσιμέντου
2. $736 + 0.025 \cdot 736 = 754.4 \text{ kg}$ λεπτομερών αδρανών (όπως είναι αποθηκευμένα)
3. $1137.42 + 0.005 \cdot 1137.42 = 1143.1 \text{ kg}$ χονδρομερών αδρανών (όπως είναι αποθηκευμένα)
4. 156.92 kg νερού (μείωση της ποσότητας του νερού λόγω υγρασίας αδρανών)
5. 2366.42 kg / m^3 σκυροδέματος.

Ανάλογες διορθώσεις θα πρέπει να γίνουν, εάν είναι γνωστή και ληφθεί υπόψη και η ικανότητα απορρόφησης των αδρανών, δηλαδή ο όγκος των πόρων τους ο οποίος μπορεί να γεμίσει με νερό, το οποίο όμως θα χρειαζόταν για την ενυδάτωση του τσιμέντου.

9. ΓΡΗΓΟΡΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ (%) ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Πίνακας 9.1. Κατά βάρος σύσταση πρώτων υλών σκυροδέματος συναρτήσει του λόγου (W/C).

Συστατικό	Βάρος, %	Βάρος, %	Βάρος, %
W/C	0.5	0.4	0.45
Τσιμέντο	12	12	13
Πόρτλαντ			
Άμμος	34	34.56	33.85
Χονδρομερή αδρανή	48	48.60	47.3
Νερό	6	4.84	5.85
Αέρας	-	-	-
Σύνολο	100	100	100

1. Αναλογίες πρώτων υλών στο σκυρόδεμα

Οι αναλογίες πρώτων υλών για την παρασκευή 1 m³ σκυροδέματος υπολογίζονται από τη γνωστές σχέσεις (εξισώσεις 1 και 2), από τις τιμές των λόγων W/C (νερό προς τσιμέντο) και $B_1/(B_1 + B_2) =$ (λεπτομερή προς συνολικό βάρος αδρανών ανά m³ σκυροδέματος). Η ποσοστιαία κατά βάρος σύσταση πρώτων υλών σκυροδέματος (Πίνακας 9.1) αφορά σε διάφορους τύπους σκυροδεμάτων συναρτήσει του λόγου W/C.

$$\frac{W}{1000} + \frac{C}{1000 \cdot \rho_c} + \frac{B_1}{1000 \cdot \rho_1} + \frac{B_2}{1000 \cdot \rho_2} = 1 \text{ m}^3 \text{ σκυροδέματος} \quad (1)$$

Όπου :

W είναι η μάζα σε kg (ή lt) του προστιθέμενου νερού/m³ σκυροδέματος,

C είναι η μάζα σε kg του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου/m³ σκυροδέματος,

B1 είναι η μάζα σε kg της χρησιμοποιούμενης άμμου/m³ σκυροδέματος

B2 είναι η μάζα σε kg των χρησιμοποιούμενων χονδρομερών αδρανών/m³ σκυροδέματος και

ρ_c = η πυκνότητα του τσιμέντου \square 3.10 t/m³

ρ_1 = η πυκνότητα της άμμου (λεπτομερή αδρανή) \square 2.69 t/m³

ρ_2 = η πυκνότητα των χονδρομερών αδρανών \square 2.69 t/m³. Επίσης, η πυκνότητα του σκυροδέματος είναι 2.4783 t/m³

Οπότε, εκτός της εξίσωσης (1) ισχύει και η εξίσωση (2)

$$C + W + B_1 + B_2 = 2478.3 \text{ kg} \quad (2)$$

Συνεπώς, για λόγους $W/C = 0.5$ και $B_1/(B_1 + B_2) = 0.416$ και πυκνότητα (ή μάζα 1 m³) σκυροδέματος 2478.3 kg/ m³, από τις εξισώσεις (1) και (2) προκύπτουν:

$C = 297.4$ kg τσιμέντου

$W = 148.7$ kg νερού,

$B_1 = 842.6$ kg άμμου (λεπτομερή αδρανή) και

$B_2 = 1189.6$ kg χονδρομερών αδρανών.

Η διαδικασία λοιπόν απλοποιείται στην επίλυση συστήματος 4 εξισώσεων με 4 αγνώστους.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι η πυκνότητα του σκυροδέματος είναι \square 2.48 t/m³, η οποία στην πραγματικότητα είναι σημαντικά μικρότερη λόγω του περιεχόμενου αέρα (3-6%) στο σκυρόδεμα (για 4.5% αέρα η πυκνότητα είναι 2.37 t/m³ περίπου).

Σημείωση: Η παραπάνω έκφραση της εξίσωσης (1) αναφέρεται στην περίπτωση υπολογισμού των πρώτων υλών παραγωγής σκυροδέματος σε kg (με τα ειδικά βάρη σε t/m³), ενώ στην περίπτωση

υπολογισμού σε t (τόννους) η κατάλληλη μορφή της εξίσωσης (1) είναι:

$$\frac{W}{1} + \frac{C}{\rho_c} + \frac{B_1}{\rho_1} + \frac{B_2}{\rho_2} = 1 \text{ m}^3 \text{ σκυροδέματος} \quad (3)$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Α. Τριανταφύλλου, **Δομικά Υλικά**, 7η Εκδ., Πάτρα, 2010
2. European Committee for Standardization, **EN 998-1, Specification for mortar for masonry, Part 2 Masonry mortar**, 2000
3. Oates, J.A.H. **Lime and Limestone, Chemistry and Technology, Production and uses**, Wiley-VCH, Germany 1998, pg 456.
4. Χ. Οικονόμου, **Τεχνολογία του Σκυροδέματος**, 3η Έκδοση, Εκδόσεις “ΣΕΛΚΑ - 4Μ” ΕΠΕ - ΤεΚΛΟΤΙΚΗ, Αθήνα, 2003
5. Hedin, R., **Plasticity of lime mortars**. N.L.A., Washington D.C., Annual operating meeting, (1962) pg.3
6. ASTM C-207-79, **Standard specification for hydrated lime for masonry purposes**, Philadelphia, PA 19103.
7. Walker, D.D., **Hydrated lime, an irreplaceable mortar plasticizer** Proc. of 7th International Lime Congress. Rome (1990), pp 289-313.
8. Boynton, R.S., Gutschick, K.A., **Durability of mortar and masonry**, Masonry Mortar Technical Notes I N.L.A. Washington D.C. (1964)
9. Boynton, R.S., Gutschick, K.A., **Strength considerations in mortar and masonry**, Masonry Mortar Technical Notes II N.L.A. Washington D.C. (1964)
10. Boynton, R.S., Gutschick, K.A., **Bond of mortar to masonry units**, Masonry Mortar Technical Notes III N.L.A. Washington D.C. (1964).
11. Boynton, R.S., Gutschick, K.A., **Efflorescence of masonry**, Masonry Mortar Technical Notes IV, N.L.A. Washington D.C. (1966).
12. Boynton, R.S., Gutschick, K.A., **Effect of mortar composition on wall leakage**, Masonry Mortar Technical Notes V N.L.A. Washington D.C. (1979).
13. Matthys, J.H., **Conventional masonry mortar investigation on concrete block**, N.L.A., (1989).

14. Matthys, J.H., *Flexural bond strength of portland cement lime and masonry cement mortars*, Proc of 8th International Brick/block Conference, Dublin, (1988), Vol.1, pp.284-91.
15. Ritchie, T., Plewes, W.G., *Moisture penetration of brick masonry panels*, A.S.T.M. Bulletin (1960).
16. Voss, W.C., *Exterior masonry construction*, N.L.A. Bulletin No 324, (1960).
17. Mehlmann, M., Oppermann, B., *The role of masonry mortar and rendering mortar in modern masonry construction*, Proc of 8th International Brick/block Conference, Dublin, (1988), Vol.1, pp 139-49.
18. Tsimas, S. *Lime an irreplaceable mortar constituent Civil Engineering*, European Courses - Mechanics and structural restoration of masonry structures. Lab of reinforced concrete. Athens (1992).
19. . R. Wendehorst. *Δομικά Υλικά*, Εκδόσεις Μ.Γκιούρδας, Αθήνα (1981), σ. 720
20. Τσίμας Σ., Αποστολίδου Α., *Μελέτη της ασβέστου που προορίζεται για δομικές χρήσεις*, ΤΕΕ, Αθήνα 1984. Σελ 56
21. Πατσαβούδης Δ., *Τεχνολογία δομικών υλικών*, ΟΕΔΒ, Αθήνα 1989
22. Τσίμας, Σ., και άλλοι, *Διατύπωση προτάσεων για την σύνταξη προ-διαγραφών για τα επιχρίσματα*, ΤΕΕ/Ε.Ε.Δ.Υ.Σ, 1987
- 23 Τσίμας Σ. *Δομικά υλικά (Τσιμέντο - Ασβέστης - Σκυρόδεμα - Κονιάματα)*, ΕΜΠ, Αθήνα 2001.
- 24 ΕΛΟΤ EN 998.01:2003 *Προδιαγραφή κονιαμάτων τοιχοποιίας- Μέρος 1: Εξωτερικά και εσωτερικά επιχρίσματα*
- 25 ΕΛΟΤ EN 998.02:2003 *Προδιαγραφή κονιαμάτων τοιχοποιίας- Μέρος 2: Κονίαμα τοιχοποιίας*
- 26 Popovics Sandor, 1992, **CONCRETE MATERIALS**, Properties, Specifications and Testing, 2nd Edition, NOYES PUBLICATIONS, New Jersey.
- 27 Neville, A. M., 2000, **Properties of Concrete**, 4th Edition, Prentice Hall.

