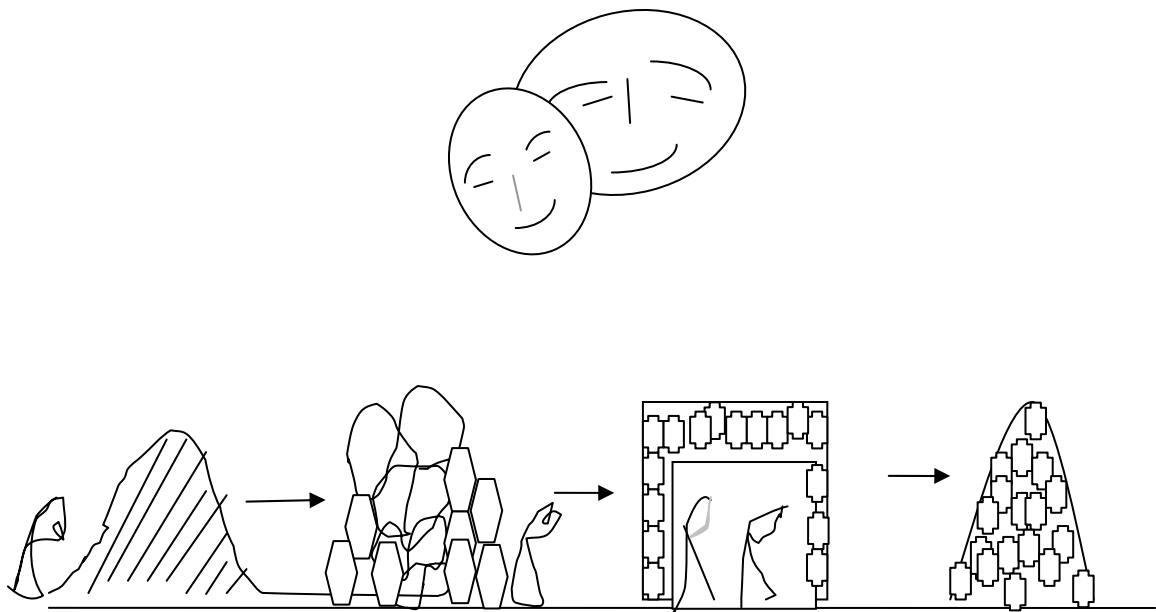


ΜΕΡΟΣ II

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΒΑΣΙΚΩΝ ΟΡΩΝ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ

μελέτη συνθέσεως

ποιοτικός έλεγχος

σκυρόδεμα

αδρανές

τσιμέντο

νερό

εργασιμότητα

κοκκοδιαβάθμιση

ανάμιξη

συμπύκνωση

συντήρηση

αντοχή

συνεκτικότητα

ευστάθεια

τεχνολογία

διαχωρισμός αδρανών

εξίδρωση

συστολή ξηράνσεως

ενυδάτωση τσιμέντου

ΑΓΓΛΙΚΑ

mix design

quality control

concrete

aggregate

cement

water

workability

grading

mixing

compaction

curing

strength

compactability

stability

technology

aggregate segregation

bleeding

shrinkage

hydration

ΓΕΡΜΑΝΙΚΑ

mischungswentwurf

beton

zuschlage

zement

wasser

verarbeitbarkeit

kornzusammensetzung

mischen

verdichten

nachbehandlung

festigkeit

konzistenz

ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1. ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Αναλυτικότερα στοιχεία και διευκρινήσεις στην Ενότητα Γ

1.1 Η Έννοια της Συμβατικής Αντοχής

Η αντοχή f (festigkeit) του σκυροδέματος όπως και τα άλλα χαρακτηριστικά του, δεν αποτελεί ιδιότητά του.

Για το ίδιο σκυρόδεμα, αν υιοθετηθεί δοκίμιο άλλης μορφής και άλλου μεγέθους, φορτιστεί σε άλλη μηχανή, π.χ. με άλλη δυσκαμψία και άλλες συνθήκες στήριξης των πλακών της, με άλλη ταχύτητα, με άλλες συνθήκες πλευρικής έντασης, θα μετρηθεί άλλη αντοχή.

Τα υλικά, όπως και οι άνθρωποι, σε διαφορετικές συνθήκες συμπεριφέρονται διαφορετικά.

Όταν λέμε αντοχή σκυροδέματος, εννοούμε αυτή που μετρήθηκε με συμβατικό (συμφω-νημένο) τρόπο, τη συμβατική.

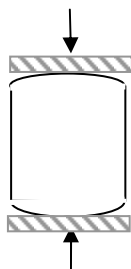
1.2 Οι Συμβατικές Απαιτήσεις για τον Προσδιορισμό της Αντοχής

Σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό τεχνολογίας του σκυροδέματος για τον προσδιορισμό της αντοχής του σκυροδέματος έχουν συμφωνηθεί οι παρακάτω συμβατικές απαιτήσεις κατά την παρασκευή, τη συντήρηση και τη δοκιμασία των δοκιμίων ελέγχου:

➤ Μήτρες

Οι μήτρες έχουν δύσκαμπτα τοιχώματα, είναι χυτοσιδηρές, όχι από λαμαρίνα. Μήτρες με εύκαμπτα τοιχώματα μετά μερικές χρήσεις εμφανίζουν κύρτωση στα τοιχώματά τους λόγω της πίεσης του νωπού σκυροδέματος.

Δοκίμια σε μήτρες με εύκαμπτα τοιχώματα εμφανίζουν μετά την αφαίρεση των μητρών κυρτωμένες τις πλευρές τους με συνέπει-



α, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, σημειακή φόρτιση, ανάπτυξη εγκάρσιων εφελκυστικών τάσεων και, γι' αυτό, μείωση της αντοχής του δοκιμίου.

➤ Συμπύκνωση

Η συμπύκνωση του σκυροδέματος των δοκιμίων γίνεται με πρότυπη ράβδο σε τρεις στρώσεις με 25 κτυπήματα ανά στρώση, ή με λεπτό εσωτερικό δονητή σε κάθετη διεύθυνση μέχρις ότου κατά την απόσυρση του δονητή να μην παραμένει κοιλότητα στο σκυρόδεμα (ένδειξη για ανεπαρκή δόνηση) ούτε στρώμα νερού στην επιφάνεια του δοκιμίου (ένδειξη υπερβολικής δόνησης).

❖ **Ανεπαρκής συμπύκνωση αφήνει κενά στο δοκίμιο με συνέπεια μείωση της αντοχής του, υπερβολική δόνηση απομιγνύει το σκυρόδεμα με συνέπεια διαστρωμάτωσή του (κάτω τα χονδρά αδρανή και επάνω ο τσιμεντοπολτός).**

➤ Συντήρηση του δοκιμίου

Μετά τη σκυροδέτηση η ελεύθερη επιφάνεια των δοκιμίων καλύπτεται με βρεγμένες λινάτσες ή επαλείφεται με μεμβράνη συντήρησης.

Μετά μία ή δύο ημέρες αφαιρούνται οι μήτρες και το δοκίμιο συντηρείται σε υγρό θάλαμο μέχρι την παραμονή της δοκιμασίας του. (Ελλείψει υγρού θαλάμου το δοκίμιο μπορεί να εμβαπτιστεί σε βαρέλι νερού).

Δεν επιτρέπεται μετακίνηση του δοκιμίου που μπορεί να προκαλέσει απόμιξη του νωπού σκυροδέματος.

Ανεπαρκής συντήρηση του δοκιμίου μειώνει σημαντικά την αντοχή του καθώς δεν υπάρχει επάρκεια νερού για την ενυδάτωση (χημική δέσμευση) όλης της ποσότητας του τσιμέντου.

➤ **Μηχανή Δοκιμασίας**

Η μηχανή πρέπει να είναι δύσκαμπτη και οι πλάκες της η μεν μία πάκτωση η δε άλλη ειδική άρθρωση έτσι ώστε κατά την τοποθέτηση του δοκιμίου να μπορεί να στρέφεται για να είναι σε πλήρη επαφή μ'αυτό αλλά κατά την επιβολή του φορτίου να μην στρέφεται.

Η ποιότητα της ειδικής αυτής άρθρωσης των μηχανών προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα της μηχανής και το κόστος της.

➤ **Ηλικία Σκυροδέματος κατά τη Δοκιμασία**

Η δοκιμασία των δοκιμίων γίνεται 28 ημέρες μετά την παρασκευή τους.

Στην πράξη η ηλικία του σκυροδέματος της κατασκευής όταν αναλαμβάνει τα φορτία της είναι σαφώς μεγαλύτερη και η αντοχή του σκυροδέμα-

τος, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 2, είναι σαφώς μεγαλύτερη.

➤ **Διαδικασία Δοκιμής**

Τα δοκίμια κατά τη δοκιμασία τους δεν πρέπει να είναι υγρά, καθώς η εσωτερική πίεση που ασκεί το νερό στους πόρους του σκυροδέματος μειώνει την αντοχή του, ιδιαίτερα την εφελκυστική αντοχή.

- Σημαντική είναι η ορθή κέντρωση του δοκιμίου στις πλάκες της μηχανής δοκιμασίας.

Αν δεν κεντρωθεί το δοκίμιο, μειώνεται η μετρούμενη αντοχή, γιατί, λόγω της εκκεντρότητας της φόρτισης, η επιπόνηση είναι καμπτοθλιπτική.

- ❖ **Η ορθή κέντρωση του δοκιμίου είναι ιδιαίτερα σημαντική στα μικρού μεγέθους δοκίμια.**

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Για το σχεδιασμό του σκυροδέματος και των φορέων από σκυρόδεμα εκτός από τη θλιπτική αντοχή απαιτούνται και τα παρακάτω χαρακτηριστικά του σκυροδέματος:

2.1 Ειδικό Βάρος

Για συνήθη σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή το ειδικό βάρος κυμαίνεται ανάλογα με τη σύνθεσή του σκυροδέματος από 2.250 kg/m³ έως 2400 kg/m³.

Σκυρόδεμα με μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος, καθώς το τσιμέντο είναι το βαρύτερο συστατικό.

Ειδικά βάρη:

- Τσιμέντου 3100 kg/m³
- Νερού 1000 kg/m³
- Αδρανών 2700 kg/m³).

Για το **οπλισμένο σκυρόδεμα** (με ασβεστολιθικά αδρανή) το ειδικό βάρος λαμβάνεται **2500 kg/m³**.

- ❖ Σκυροδέματα με συλλεκτά (ποταμίσια) αδρανή, ιδιαίτερα στην περιοχή της Μακεδονίας, μπορεί να έχουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος, καθώς μπορεί τα αδρανή να μην είναι καθαρά ασβεστολιθικά και οι προσμίξεις που περιέχουν να τα καθιστούν βαρύτερα.

Το ειδικό βάρος του νωπού σκυροδέματος είναι κατά 5% μεγαλύτερο αυτού του σκληρυμένου (στο σκληρυμένο σκυρόδεμα έχει εξατμιστεί το χημικά μη δεσμευμένο νερό).

2.2 Εργασιμότητα

Η εργασιμότητα είναι χαρακτηριστικό του νωπού σκυροδέματος.

Δηλώνει:

- το μέγεθος του έργου (της ενέργειας) που απαιτείται για να συμπυκνωθεί πλήρως το σκυρόδεμα και να πάρει τη μορφή του καλουπιού στο οποίο διαστρώνεται.

Επί μέρους όψεις της είναι:

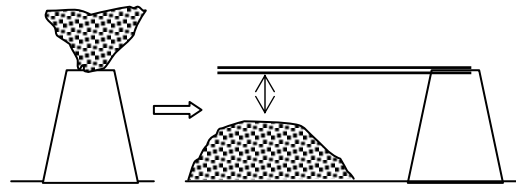
- η ρευστότητα,
- η συνεκτικότητα,
- η πλαστικότητα κ.α.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος μέτρησής της είναι η δοκιμή της κάθισης γνωστή και με τον αγγλόφωνο όρο slump ή του Abrams.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή:

- Το σκυρόδεμα διαστρώνεται σε τρεις στρώσεις με 25 ραβδισμούς κάθε στρώση μέσα σε κωνικό σιδερένιο καλούπι χωρίς βάσεις (κώνο του Abrams).
- Στη συνέχεια αφαιρείται το καλούπι και μετρείται η κάθιση του μίγματος, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Το μέγεθος της κάθισης είναι το μέγεθος της εργασιμότητας.



Σχ. 2.1 Μέτρηση της εργασιμότητας με τη μέθοδο της κάθισης

Η τιμή της εργασιμότητας που απαιτείται εξαρτάται:

- Από τη λεπτότητα και πυκνότητα του οπλισμού των στοιχείων που θα σκυροδετηθούν και
- Από τα μέσα συμπύκνωσης που είναι διαθέσιμα.

Μεγαλύτερη εργασιμότητα απαιτείται για λεπτότερα στοιχεία, στοιχεία με πυκνότερο οπλισμό, και όταν δεν είναι διαθέσιμος ισχυρός εσωτερικός δονητής.

Η τιμή της κυμαίνεται από κάθιση 0 cm (όταν το σκυρόδεμα συμπυκνώνεται σε ισχυρές δονητικές τράπεζες, όπως στην περίπτωση προκατασκευασμένων στοιχείων) έως κάθιση περίπου 20 cm, όπως στην περίπτωση υπόγειων σκυρο-

δετήσεων που δεν είναι δυνατή η δόνηση του μίγματος ή είναι ασθενής (μέθοδος Tremy).

- Στην περίπτωση των κοινών οικοδομικών έργων η τιμή της εργασιμότητας είναι κάθιση της τάξεως των 10 cm.

Η τιμή της εργασιμότητας προσδιορίζει (βλ. Ενότητα Β) την ποσότητα του νερού στο μίγμα.

Για σχετικά μεγάλες τιμές προστίθεται στο μίγμα ρευστοποιητικό πρόσθετο ώστε να μειωθεί η ποσότητα του νερού (καθώς, όπως εντοπίζεται στο κεφ. 2.3, όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του νερού τόσο μεγαλύτερη προκύπτει και η ποσότητα του τσιμέντου που απαιτείται για μια δεδομένη αντοχή).

- Για **μεγάλες τιμές της εργασιμότητας** απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην κοκκοδιαβάθμιση των αδρανών ώστε να μην **απομιχθεί το μίγμα** του νωπού σκυροδέματος, ιδιαίτερα αν η διάστρωση γίνεται από μεγάλο ύψος, όπως στις υπόγειες σκυροδετήσεις (πάσσαλώσεις κ.λ.π).

Στις περιπτώσεις αυτές είναι καλό:

- να μην χρησιμοποιούνται μεγάλοι κόκκοι αδρανών (**όχι σκύρα**) και
- να χρησιμοποιείται **υπερρευστοποιητικό** πρόσθετο το οποίο προσδίδει στο μίγμα του σκυροδέματος εκτός από ρευστότητα, όπως τα κοινά ρευστοποιητικά, και συνεκτικότητα.

2.3 Θλιπτική Αντοχή f_c

Η θλιπτική αντοχή προσδιορίζεται σε δοκίμια με τη διαδικασία που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο 1.

2.2.1 Οι Δυο Τιμές της Αντοχής

Διακρίνονται δύο τιμές της θλιπτικής αντοχής f_c του σκυροδέματος:

➤ Η Χαρακτηριστική Τιμή f_{ck}

Προκύπτει μετά από στατιστική επεξεργασία των τιμών των τάσεων θραύσεως των συμβατικών δοκιμίων.

Προσδιορίζεται έτσι ώστε μόνον το 5% των αποτελεσμάτων να είναι μικρότερο από την τιμή αυτή.

Διακρίνεται με τον δείκτη **k**.

Υιοθετείται για την ταξινόμηση του σκυροδέματος

➤ Η Υπολογιστική ή Τιμή Σχεδιασμού f_{cd} :

Προκύπτει διαιρώντας την χαρακτηριστική τιμή με συντελεστή ασφαλείας ίσο με $\gamma_c = 1,50$

$$\diamond f_{cd} = f_{ck}/1,5$$

Διακρίνεται με το δείκτη **d**. Υιοθετείται στο σχεδιασμό των φορέων.

2.2.2 Παράμετροι Επιρροής

Το σκυρόδεμα είναι διφασικό υλικό αποτελούμενο από αδρανή και τσιμεντοπολτό ως τις δύο φάσεις του. Γιαυτό:

- ❖ **Η αντοχή και η συμπεριφορά του σκυροδέματος καθορίζεται από την αντοχή και τη συμπεριφορά της ασθενούς του φάσης,**

Για σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή για τις συνήθεις αντοχές για τις οποίες σχεδιάζονται τα σκυροδέματα (κατηγορίες μέχρι C25) ασθενής φάση του σκυροδέματος είναι ο τσιμεντοπολτός. Γι αυτό*:

- ❖ Για συνήθη σκυροδέματα με ασβεστολιθικά **αδρανή η αντοχή του σκυροδέματος εξαρτάται από την αντοχή του τσιμεντοπολτού.**

Η ανάπτυξη της αντοχής του τσιμεντοπολτού είναι το αποτέλεσμα της (εξώθερμης) χημικής αντίδρασης του νερού με το τσιμέντο, γνωστής ως **ενυδάτωσης του τσιμέντου** η οποία εξελίσσεται με το χρόνο και σε μεγάλο βαθμό ολοκληρώνεται σε 28 ημέρες.

Στην αντίδραση αυτή το τσιμέντο δεσμεύει νερό ίσο με το 40% περίπου της ποσότητάς του (το ποσοστό ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου). Η περίσσεια του νερού εξαμιζόμενη αφήνει κενά και, γι' αυτό, μειώνει την αντοχή.

Γι' αυτό:

- ❖ **η αντοχή του σκυροδέματος είναι συνάρτηση του λόγου νερού προς τσιμέντο, γνωστού ως του υδατοτσιμεντελεστή ω .**

Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ω , τόσο μεγαλύτερη είναι η περίσσεια του νερού, τόσο περισσότερα τα κενά και, άρα, τόσο μικρότερη η αντοχή του σκυροδέματος.

* Είναι προφανές ότι η αντοχή και η εν γένει συμπεριφορά μιας αλυσίδας καθορίζεται από την αντοχή και τη συμπεριφορά του ασθενούς της κρίκου.

Η συσχέτιση αυτή δεν ισχύει για σκυροδέματα υψηλής αντοχής στα οποία ασθενής φάση είναι τα αδρανή και η αντοχή των αδρανών είναι ιδιαίτερα καθοριστική.

2.4 Εφελκυστική Αντοχή f_{ct}

Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι της τάξεως του ενός δωδέκατου της θλιπτικής αντοχής του:

$$\diamond f_{ct} \approx 1/12 \cdot f_{cc}$$

Λόγω του μικρού μεγέθους της και των μεγάλων διασπορών της η εφελκυστική αντοχή κατά το σχεδιασμό των φορέων συνήθως θεωρείται **αμελητέα**.

Η μέτρησή της παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, ιδιαίτερα ως προς την ορθή κέντρωση των δοκιμίων.

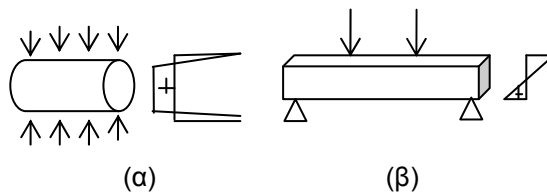
Έμμεση μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής γίνεται σε:

➤ Κυλινδρικά δοκίμια φορτιζόμενα αντιδιαμετρικά, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(α).

Τα δοκίμια υπόκεινται σε διάρρηξη και προσδιορίζεται η εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη

➤ Πρισματικά δοκίμια τα οποία στηριζόμενα αμφιέριστα φορτίζονται καμτοδιαμητικά με ένα φορτίο στο μέσον του ανοίγματός τους ή με δύο φορτία στο τρίτο του ανοίγματός τους, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(β).

Προσδιορίζεται η εφελκυστική αντοχή σε κάμψη.

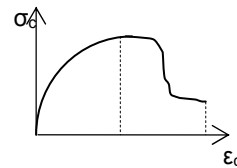


Σχ. 2.2 Προσδιορισμός εφελκυστικής αντοχής (α) σε διάρρηξη και (β) σε κάμψη

2.5 Παραμορφωσιακή Συμπεριφορά

Η παραμορφωσιακή συμπεριφορά του σκυροδέματος, όπως και των άλλων υλικών, δηλώνεται με τη μορφή διαγράμματος των ορθών τάσεων σ

και των ορθών παραμορφώσεων ϵ συμβατικού δοκιμίου επιπονούμενου σε κεντρική θλίψη, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.

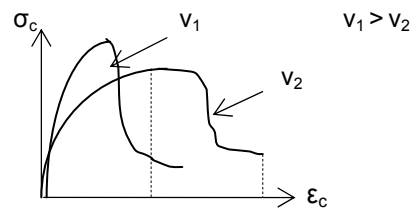


Σχ. 2.3 Διάγραμμα σ - ϵ σκυροδέματος (πραγματικό)

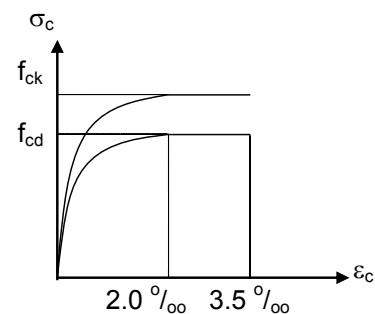
Το διάγραμμα αυτό είναι γνωστό ως **διάγραμμα $[\sigma$ - $\epsilon]$** ή ως **ο καταστατικός νόμος του υλικού**.

Διακρίνεται ανερχόμενος και κατερχόμενος ή φθίνων κλάδος του διαγράμματος.

Η μορφή του διαγράμματος διαφέρει ανάλογα με την αντοχή του σκυροδέματος και την αντοχή των αδρανών, αλλά και ανάλογα με την ταχύτητα επιπόνησης.



Σχ. 2.4 Επιρροή της ταχύτητας v της επιπόνησης στη μορφή του διαγράμματος $[\sigma_c - \epsilon_c]$



$$\begin{aligned} \epsilon < 0.02 & \quad \sigma_c = 1000 \alpha f_{cd} \epsilon \quad (1-250\epsilon) \\ \epsilon \geq 0.02 & \quad \sigma_c = \alpha f_{cd} \end{aligned}$$

Σχ. 2.5 Τυποποιημένο διάγραμμα $[\sigma_c - \epsilon_c]$

Όπως φαίνεται στο Σχ. 4:

➤ Με την αύξηση της ταχύτητας επιπόνησης αυξάνεται η μέγιστη τάση (αντοχή), αλλά μειώνεται η παραμόρφωση.

2.5.1 Τυποποιημένο Διάγραμμα [$\sigma - \epsilon$]

Λόγω των παραπάνω μεταβλητών του διαγράμματος συμπεριφοράς, στο σχεδιασμό των φορέων λαμβάνεται υπόψη ένα τυποποιημένο διάγραμμα που φαίνεται στο Σχ. 5.

Εκτός από τη μορφή του διαγράμματος [$\sigma - \epsilon$] στο σχεδιασμό των φορέων απαιτούνται και τα παρακάτω παραμορφωσιακά χαρακτηριστικά.

2.6 Μέτρο Ελαστικότητας

❖ Το **μέτρο ελαστικότητας E** είναι η κλίση του διαγράμματος [$\sigma - \epsilon$] του σκυροδέματος (βλ. Σχ. 6).

Αποτελεί το μέτρο αντίστασης του αξονικά επιτινούμενου φορέα στην αξονική παραμόρφωσή του.

Η τιμή του μειώνεται (λόγω της καμπύλωσης του διαγράμματος) με τη στάθμη επιτίπνωσης.

Διακρίνονται οι εφαπτομενικές και οι τέμνουσες τιμές του μέτρου ελαστικότητας.

- Όταν το E ορίζεται ως η κλίση της εφαπτόμενης του διαγράμματος [$\sigma - \epsilon$] σε μια στάθμη επιτίπνωσης αποτελεί την **εφαπτομενική τιμή του**, ενώ
- Όταν το E ορίζεται ως η κλίση της ευθείας που συνδέει την αρχή των αξόνων με το σημείο του διαγράμματος στη συγκεκριμένη στάθμη αποτελεί την **τέμνουσα τιμή του**.

Ανάλογα με τη στάθμη μέτρησης της τέμνουσας τιμής του διακρίνεται:

- το **αρχικό E**, ως η κλίση του διαγράμματος [$\sigma - \epsilon$] στην αρχή των αξόνων και
- το **τεχνικό E**, ως η κλίση του διαγράμματος [$\sigma - \epsilon$] σε στάθμη $\sigma = f_c/3$

(όπου f_c είναι η αντοχή του σκυροδέματος).

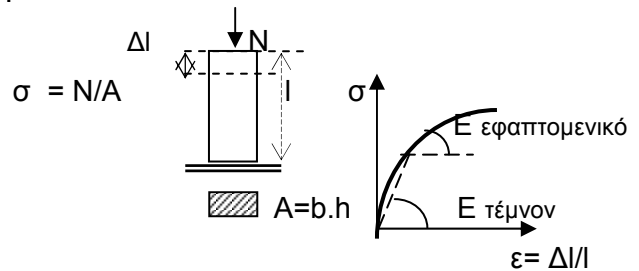
Στο σχεδιασμό υιοθετείται συνήθως το τέμνον μέτρον ελαστικότητας σε στάθμη ίση με το ένα τρίτον της θλιπτικής αντοχής του, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.

❖ Για σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή η τιμή του κυμαίνεται αναλογα με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος από 16.000 MPa έως 35.000 MPa.

Μετρείται σε κυλινδρικά ή πρισματικά δοκίμια με τη βοήθεια μηκυσιομέτρων.

Ελλείψει πειραματικών στοιχείων προσδιορίζεται συναρτήσει της θλιπτικής αντοχής βάσει εμπειρικών τύπων, όπως αυτός στην παρακάτω σχέση:

$$\text{❖ } E_c = 9500 f_c, \quad E_c \text{ και } f_c \text{ σε MPa}$$



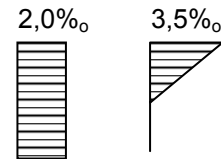
Σχ. 2. 6 Εφαπτομενικό και τέμνον μέτρο ελαστικότητας

2.7 Παραμόρφωση Αστοχίας

Για κεντρική θλιπτική επιτίπνωση η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη θλιπτική τάση είναι της τάξεως του 2%.

Για καμπτική επιτίπνωση ή έκκεντρη θλιπτική επιτίπνωση (με σχετικά μεγάλη εκκεντρότητα) η αντίστοιχη παραμόρφωση στην ακραία θλιβόμενη ίνα λαμβάνεται, όπως φαίνεται στο σχήμα, ίση με 3,5 %.

Η μεγαλύτερη τιμή στην περίπτωση αυτή σχετίζεται με την πιο σταδιακή αστοχία της θλιβόμενης ζώνης καθώς το διάγραμμα παραμορφώσεων είναι τριγωνικό και όχι ορθογωνικό.



2.8 Μακροχρόνια Παραμόρφωση: Συστολή Ξηράνσεως και Ερπυσμός

Το μήκος ενός δοκιμίου σκυροδέματος δεν παραμένει σταθερό με το χρόνο. Το δοκίμιο με την πάροδο του χρόνου παραμορφώνεται, συστέλλεται.

Η συστολή του σκυροδέματος με το χρόνο, ορίζεται ως:

- **Συστολή Ξηράνσεως**, όταν ο φορέας είναι αφόρτιστος
- **Ερπυσμός**, όταν ο φορέας βρίσκεται υπό μακροχρόνια θλιπτική τάση

2.8.1 Η Φύση της Συστολής Ξηράνσεως και Παράμετροι που την Επηρεάζουν

Η συστολή ξηράνσεως μπορεί (απλοποιητικά) να αποδοθεί στη διαφυγή με την πάροδο του χρόνου του πλεονάζοντος νερού (που δεν δεσμεύεται χημικά με το τσιμέντο) προς το (ξηρότερο) περιβάλλον του φορέα.

Το μέγεθος της ανηγμένης συστολικής παραμόρφωσης ϵ_{cs} του σκυροδέματος του φορέα λόγω της συστολής ξηράνσεως προκύπτει από εμπειρικούς πίνακες ανάλογα με την τιμή των παρακάτω μεγεθών που την επηρεάζουν:

- Την ξηρότητα του περιβάλλοντος (καθορίζει τη διαφορά υγρασίας εσωτερικά και εξωτερικά.)
- Την λεπτότητα του στοιχείου (καθορίζει την επιφάνεια διαφυγής)
- Τη σύνθεση του σκυροδέματος.
Όσο περισσότερα λεπτόκοκκα συστατικά (παιπάλη και τσιμέντο) έχει το σκυρόδεμα τόσο περισσότερο το συγκρατούμενο νερό.
- Την ποσότητα και το είδος του πρόσθετου που περιέχει το σκυρόδεμα.

Σχεδόν όλα τα πρόσθετα του σκυροδέματος (βλ. Ενότητα Β) αυξάνουν τις μακροχρόνιες παραμορφώσεις.

Για συνήθη σκυροδέματα η τιμή της συστολής ξηράνσεως είναι της τάξεως:

$$\diamond \epsilon_{cs} = 5 \text{ έως } 8 \cdot 10^{-4}$$

2.8.2 Η Φύση του Ερπυσμού και Παράμετροι που τον Επηρεάζουν

Η διαφυγή του πλεονάζοντος νερού και κατά συνέπεια και η συστολή είναι εντονότερη, όταν το σκυρόδεμα βρίσκεται υπο μόνιμη θλιπτική τάση (από τα μόνιμα φορτία ή και από τα μακροχρόνια δρώντα κινητά φορτία).

Η επιπλέον συστολή η οφειλόμενη στην επίδραση της μόνιμης τάσης δηλώνεται με τον όρο ερπυσμός.

Η ανηγμένη συστολική παραμόρφωση ϵ_{cc} (c: creep), λόγω του ερπυσμού του σκυροδέματος είναι, προφανώς, τόσο πιο μεγάλη όσο:

- πιο μεγάλη είναι η σταθερή θλιπτική τάση σ_c που ασκείται,

- πιο μικρή είναι η αντίσταση του σκυροδέματος στην παραμόρφωσή του, δηλ. όσο πιο μικρό είναι το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος E_c .

Γιαυτό, το μέγεθος της ερπυστικής παραμόρφωσης είναι ανάλογη του μεγέθους της βραχυχρόνιας παραμόρφωσης του σκυροδέματος:

$$\epsilon_{cc} = \varphi \cdot \epsilon_c = \varphi \cdot \sigma_c / E_c \quad (\alpha)$$

όπου:

φ : ο ερπυστικός συντελεστής

Για συνήθη σκυροδέματα η τιμή του συντελεστή είναι της τάξεως:

$$\diamond \varphi = 2 \text{ έως } 3$$

Η τιμή του εξαρτάται, εκτός από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν για τη συστολή ξηράνσεως και από:

- Το μέγεθος της σταθερής (μακροχρόνιας) θλιπτικής τάσης
- Την ηλικία του σκυροδέματος κατά την επιβολή της σταθερής τάσης.

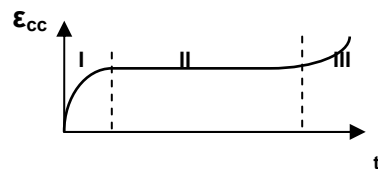
Όσο πιο μικρή η ηλικία του σκυροδέματος, τόσο μικρότερο είναι το μέτρο ελαστικότητάς του, δηλ. η αντίστασή του σε παραμόρφωση.

- ❖ Σε καμπτόμενους φορείς η βραχυχρόνια παραμόρφωση ϵ_c και, άρα [βλ. σχέση (α)] η ερπυστική παραμόρφωση ϵ_{cc} μεταβάλλεται κατά μήκος και καθύψους τους, σε αντίθεση με τη συστολή ξηράνσεως ϵ_{cs} η οποία είναι σταθερή σ όλη την έκτασή τους.

Γαυτό, με την πάροδο του χρόνου, λόγω του ερπυσμού, αυξάνει και το βέλος των φορέων.

2.8.3 Χρονική Εξέλιξη

Η εξέλιξη της μακροχρόνιας παραμόρφωσης συναρτήσσει του χρόνου δίνεται από την καμπύλη στο Σχ. 7.



Σχ. 7.7 Καμπύλη εξέλιξης ερπυστικής παραμόρφωσης με το χρόνο

Παρατηρούνται τα παρακάτω στάδια:

- Πρώτο στάδιο επιταχυνόμενης παραμόρφωσης (τμήμα I: καμπύλη με τα κοίλα προς τα κάτω),.
- Δεύτερο στάδιο ισοροπημένης παραμόρφωσης (τμήμα II: ευθύγραμμο τμήμα) και
- Τρίτο επιταχυνόμενο στάδιο (τμήμα III: καμπύλη με τα κοίλα άνω).

Η μορφή της καμπύλης αυτής μπορεί να αποδοθεί στην αντιτιθέμενη επιρροή περισσότερων παραγόντων, όπως:

➤ *Αύξηση της παραμόρφωσης λόγω της προοδευτικής εσωτερικής ρηγμάτωσης του σκυροδέματος*

➤ *Μείωση της παραμόρφωσης, λόγω:*

1. Αύξησης με το χρόνο του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος
2. Αύξησης της αντοχής του σκυροδέματος, λόγω της συνεχιζόμενης εντονότερης, λόγω της πίεσης του σταθερού φορτίου, ενυδάτωσης του τσιμέντου

Η εξώθερμη αντίδραση της ενυδάτωσης του τσιμέντου επιταχύνεται με την αύξηση της πίεσης.

Στο τμήμα I της καμπύλης υπερισχύει η αυξητική επιρροή και η καμπύλη είναι αύξασα, στο ενδιάμεσο τμήμα οι δύο επιρροές αντισταθμίζονται, ενώ στο τμήμα III παραμένει μόνο η αυξητική επιρροή καθώς το μέτρο ελαστικότητας και η αντοχή σταθεροποιούνται.

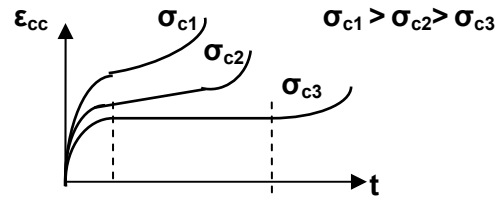
2.8.4 Γραμμικός και Μη-Γραμμικός Ερπυσμός

Όπως φαίνεται στο Σχ. 8, η στάθμη του μακροχρόνιου φορτίου παίζει καθοριστικό ρόλο για την εξέλιξη της ερπυστικής παραμόρφωσης με το χρόνο.

❖

Για στάθμες του σταθερού φορτίου μεγαλύτερες από 50% της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, το ενδιάμεσο τμήμα II συρρικνώνεται και η εξέλιξη της παραμόρφωσης είναι ιδιαίτερα ταχεία, καθώς υπερτερεί σημαντικά η αυξητική επιρροή.

Η συμπεριφορά του στοιχείου περιγράφεται με τον όρο **μη-γραμμικός ερπυσμός**.



Σχ. 7.8 Επιρροή της στάθμης της σταθερής τάσης σ_c στην εξέλιξη της ερπυστικής παραμόρφωσης ϵ_{cc}

Το σκυρόδεμα μπορεί να οδηγηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα σε θραύση για στάθμη φορτίου μικρότερη από τη συμβατική αντοχή του.

Για στάθμη φορτίου της τάξεως του 90% της θλιπτικής αντοχής η θραύση αυτή ενδέχεται να συμβεί εντός ωρών ή λίγων ημερών.

Η συμπεριφορά του στοιχείου για μικρότερες στάθμες περιγράφεται με τον όρο **γραμμικός ερπυσμός**.

Στον γραμμικό ερπυσμό, επειδή η ενδιάμεση φάση (τμήμα II της καμπύλης) είναι ιδιαίτερα μακροχρόνια δεν παρατηρείται θραύση του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της ζωής των κατασκευών από σκυρόδεμα.

2.8.5 Η Επιρροή του Θλιβόμενου Οπλισμού

Στη θλιβόμενη ζώνη των στοιχείων, επειδή ενώ το σκυρόδεμα συστέλλεται με το χρόνο ο θλιβόμενος οπλισμός δεν μεταβάλλεται, συμβαίνει ανακατανομή των τάσεων από το σκυρόδεμα στο χάλυβα.

Το σκυρόδεμα αποφορτίζεται και απομακρύνεται το ενδεχόμενο του μη-γραμμικού ερπυσμού, ενώ ο χάλυβας επιφορτίζεται και ενδέχεται να αστοχήσει.

Γι αυτό, πρέπει να τίθεται αρκετός θλιβόμενος οπλισμός ώστε να είναι μειωμένη η βραχυχρόνια τάση του και να απομακρύνεται το ενδεχόμενο θραύσης του .

2.9 Ανθεκτικότητα Σκυροδέματος

2.9.1 Η Σημασία της Ανθεκτικότητας και οι Συνέπειες από την Διαταραχή της

Η ανθεκτικότητα, η ιδιότητα του σκυροδέματος να διατηρεί την αντοχή και τη λειτουργικότητά του, παραγνωρισμένη στο παρελθόν αποτελεί μέγεθος το ίδιο σημαντικό με την αντοχή και στις ημέρες μας υπερισχύουν.

Σχετίζεται άμεσα με την διάβρωση του οπλισμού και την συνεπαγόμενη απώλεια της συνάφειας σκυροδέματος και οπλισμού που αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για την εν γένει συμπεριφορά των κατασκευών.

Η αυξανόμενη ατμοσφαιρική μόλυνση (από την υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων της γης) και η μόλυνση των υπόγειων υδάτων της (από την υπερεντατική καλλιέργεια των εδαφών της μέσω τοξικών φυτοφαρμάκων) επιταχύνει τον ρυθμό απώλειας της ανθεκτικότητας και την συνεπαγόμενη απώλεια της συνάφειας σκυροδέματος και χάλυβα και θέτει ζήτημα:

- *αναζήτησης νέων τρόπων ενίσχυσης της ανθεκτικότητας των κατασκευών, και*
- *εντοπισμού και κατεδάφισης των «νεκρών» κατασκευών οι οποίες οφείλουν την φαινομενική ανθεκτικότητά τους στην υπολειτουργία τους.*

2.9.2 Η Αποψη για Άμεση Συσχέτιση Αντοχής και Ανθεκτικότητας

Αρχικά ο σχεδιασμός του σκυροδέματος στηριζόταν μόνον στην αντοχή.

Εκ των υστέρων αναγνωρίστηκε η σημασία της εργασιμότητας και τελευταία η ανθεκτικότητα.

Στα σύγχρονα εγχειρίδια τεχνολογίας η ανθεκτικότητα καταλαμβάνει μεγαλύτερο μέρος από την αντοχή.

Η καθυστέρηση της εισαγωγής της ανθεκτικότητας ως αυτόνομου μεγέθους είχε τη βάση της στην αντίληψη ότι:

- *αντοχή και ανθεκτικότητα συνδέονται άμεσα*
- *η απαίτηση της αντοχής καλύπτει και την απαίτηση της ανθεκτικότητας: υψηλή αντοχή εξασφαλίζει και υψηλή ανθεκτικότητα.*

Η αντίληψη αυτή βασίζεται στο σκεπτικό ότι η διαταραχή της ανθεκτικότητας συνδέεται με την δυνατότητα διείσδυσης των βλαπτικών παραγόντων και, γιαυτό, με το πορώδες του σκυροδέματος το οποίο συναρτάται άμεσα με την αντοχή.

2.9.3 Η Πρώτη Διάσταση Αντοχής και Ανθεκτικότητας

Σήμερα, η ανθεκτικότητα θεωρείται σχετικά ανεξάρτητο μέγεθος που απαιτεί ιδιαίτερη αντιμετώπιση.

Σχετίζεται με τη διαπερατότητα του σκυροδέματος και όχι απλά με το πορώδες του.

Η πρώτη ιστορικά διάσταση αντοχής και ανθεκτικότητας μπορεί να εντοπιστεί στις αρχές του εικοστού αιώνα με την παραγωγή του **τσιμέντου αλουμινίου**.

Η εισαγωγή αυτού του τσιμέντου χαιρετίστηκε ως σημαντική ώθηση στην τεχνολογία του τσιμέντου, λόγω της ιδιαίτερα ταχείας ανάπτυξης της αντοχής του (χωρίς σημαντική επιτάχυνση της πήξης του) και της υψηλής στάθμης της και της ιδιαίτερης προστασίας που προσέφερε έναντι χημικών προσβολών (έναντι θειικών).

Με κατανάλωση τσιμέντου 400 kg/m³ και υδατοτσιμεντοσυντελεστή 0.40 προέκυπτε αντοχή περίπου 30 MPa στις 6 ώρες και μεγαλύτερη από 40 MPa στις 24 ώρες (περίπου το 80% της τελικής αντοχής).

Λόγω της ταχείας ανάπτυξης της αντοχής του το τσιμέντο αυτό υιοθετήθηκε σε προεντεταμένες κατασκευές.

Το 1970 απαγορεύτηκε η χρήση του στην Αγγλία μετά από εκτεταμένες αστοχίες των κατασκευών στις οποίες χρησιμοποιήθηκε, οφειλόμενες σε προοδευτική απώλεια της αντοχής του εξ αιτίας της μετατροπής των επί μέρους συστατικών του η κρυσταλλική δομή των οποίων απεδείχθη ιδιαίτερα ασταθής .

2.9.4 Παραδείγματα Αναντιστοιχίας Αντοχής και Ανθεκτικότητας

Αναντιστοιχία αντοχής και ανθεκτικότητας μπορεί να εντοπιστεί κανείς και στα παρακάτω παραδείγματα διαταραχής της που παρατηρήθηκαν σε διάφορες κατασκευές:

➤ Εκτίναξη Σκυρ/τος Οροφής Κτιρίου:

Τρεις μήνες μετά τη σκυροδέτηση της πλάκας οροφής κτιρίου εκτινάσσονταν κατά διαστήματα κωνοειδή κομμάτια (με βάση 8-10 cm και ύψος 5-7 cm).

Μακροσκοπικός έλεγχος αποκάλυψε λευκή απόθεση στην κορυφή των κώνων που αντιστοιχούσε σε μαλακό ασβέστη ο οποίος προσροφώντας νερό διογκωνόταν. Λόγω της παρεμπόδισης της διόγκωσης από το περιβάλλον σκυρόδεμα αναπτύσσονταν εσωτερικές πιέσεις με συνέπεια την εκτίναξη. Η αντοχή της πλάκας ήταν ικανοποιητική.

➤ Τοπική Διάτρηση Σκυροδέματος:

Εξι μήνες μετά τη σκυροδέτηση της πλάκας δώματος κτιρίου εμφανίστηκε κατά τόπους ροή του νερού της βροχής.

Τοπική ανίχνευση στις θέσεις της ροής απεκάλυψε κουκούτσια ελιάς, τα οξέα των οποίων αποσάθρωναν το σκυρόδεμα σχηματίζοντα

➤ Γενικευμένη Αποσάρθρωση του Σκυροδέματος:

Τρία χρόνια μετά τη σκυροδέτηση πλάκας κτιρίου εμφανίστηκαν τοπικές διαταραχές (σκασίματα) οι οποίες διέκοπταν τη συνέχεια του σκυροδέματος και εξελίχθηκαν σε γενικευμένη αποσάρθρωση.

Εργαστηριακός έλεγχος απέδειξε (διογκωτική) αντίδραση μεταξύ του πυριτίου που περιείχαν τα αδρανή και των αλκαλίων του τσιμέντου.

Το φαινόμενο αυτό, συχνό σε χώρες (κυρίως στη Μέση Ανατολή) με προβληματικά αδρανή (αδρανή με περιεκτικότητα σε πυρίτιο) στην Ελλάδα έχει εντοπιστεί σε μία ή δύο περιπτώσεις σκυροδέματος με ποταμίσια αδρανή από την περιοχή της Μακεδονίας (χωρίς να έχει πλήρως τεκμηριωθεί).

2.4 Οι Εσωγενείς (Αυτογενείς) και Εξωγενείς Παράγοντες Διαταραχής της Ανθεκτικότητας

Διαταραχή του σκυροδέματος με το χρόνο προκύπτει λόγω:

- 1) *Βλαπτικής αλληλεπίδρασης των συστατικών του σκυροδέματος, όπως αυτή που εντοπίστηκε παραπάνω.*
- 2) *Βλαπτικής αλληλεπίδρασης των συστατικών του σκυροδέματος και βλαπτικών παραγόντων του περιβάλλοντος*

Ένας από τους πιο σημαντικούς εξωγενείς παράγοντες αποτελεί η **ενανθράκωση του σκυροδέματος**

Κατά την ενανθράκωση το CO₂ της ατμόσφαιρας με την παρουσία νερού (δηλ. το HCO₃⁻) αντιδρά με το CaOH₂ του τσιμέντου και σχηματίζει επιφανειακό στρώμα CaCO₃ το πάχος του οποίου αυξάνει με την πάροδο του χρόνου.

Όταν το μέτωπο της ενανθράκωσης φθάσει στη θέση του οπλισμού λόγω του μικρού PH του ενανθρακωμένου στρώματος, ο οπλισμός διαβρώνεται και διογκούμενος προκαλεί διάρρηξη του σκυροδέματος η οποία με τη σειρά της επιταχύνει τον ρυθμό της ενανθράκωσης και τις συνέπειές της.

Ο εντοπισμός του βάθους της ενανθράκωσης γίνεται ψεκάζοντας την επιφάνεια δείγματος του σκυροδέματος της κατασκευής αμέσως μετά την αποκοπή του με διάλυμα φαινολοφθαλαϊνης (0.1%). Το διάλυμα αυτό προσδίδει ροζ χρώμα στη μη ενανθρακωμένη επιφάνεια, ενώ δεν αποχρωματίζει την ενανθρακωμένη (περιμετρική περιοχή)

Η αύξηση του πάχους της ενανθράκωσης σχετίζεται με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου και μπορεί να αποτελέσει βάση για εκτίμηση της ηλικίας του σκυροδέματος.

3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΙΣΣΗΡΗ

Τα αποθέματα της κίσσηρης (ελαφρόπετρας) στην Ελλάδα, ιδιαίτερα στα νησιά Σαντορίνη, Γυαλί και Νίσυρο είναι μεγάλα και με **υπόγεια λατομεία** (για περιβαλλοντική προστασία) θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενός **ενεργειακά, οικονομικά και αντισεισμικά υποσχόμενου δομικού υλικού**.

Οι επιφυλάξεις που διατυπώνονταν παλιότερα για κίνδυνο διάβρωσης του οπλισμού στο κισσηρόδεμα έχουν από καιρό αρθεί καθώς η περιεκτικότητα σε θείο της κίσσηρης δε βρέθηκε απαγορευτική και εκ των υστέρων εξέταση του οπλισμού σε υπάρχον κτίριο από κισσηρόδεμα στο Γυαλί, έδειξε ιδιαίτερα καλή αντιδιαβρωτική προστασία του οπλισμού από το κισσηρόδεμα.

Δεδομένου ότι οι εσωτερικοί πόροι της κίσσηρης είναι κλειστοί και οι ανοιχτοί επιφανειακοί πόροι καλύπτονται από τον τσιμεντοκονίαμα, το μεγαλύτερο πορώδες του κισσηροδέματος δεν συνεπάγεται και μεγαλύτερη διαπερατότητα.

3.1 Περιγραφή του Υλικού

Στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος του ΕΜΠ κατά την περίοδο 1974-1975 στα πλαίσια διδακτορικής διατριβής σχεδιάστηκε ένα ιδιαίτερα υποσχόμενο κισσηρόδεμα, το μικροκισσηρόδεμα.

Το μικροκισσηρόδεμα συντίθεται από:

- τσιμέντο, νερό και
- κίσσηρη από το Γυαλί **σε ένα κλάσμα: 0-8 mm** (χωρίς προδιαβροχή των κόκκων).

Οι αναλογίες ανάμιξης για αντοχή 30 MPa είναι της τάξεως:

- 400 kg τσιμέντο ελληνικού τύπου,
- 940 kg κίσσηρη (με τη φυσική υγρασία)
- 240 kg νερό (προστιθέμενο νερό), περίπου (για μικρή εργασιμότητα).

Η ποσότητα του προστιθέμενου νερού εξαρτάται από τη φυσική υγρασία της κίσσηρης .

Για μεγαλύτερη εργασιμότητα προστίθεται κατάλληλο υπερρρευστοποιητικό πρόσθετο (βλ. Ενότητα Β). Καλύτερο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με υπερρρευστοποιητικά σχεδιασμένα ειδικά για ελαφροσκυροδέματα (με αερακτική δράση).

Η λογική στην οποία βασίστηκε ο σχεδιασμός αυτός δίνεται στο Παράρτημα, κεφ. Ελαφροσκυροδέματα.

3.2 Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά

Τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του μικροκισ-

σηροδέματος είναι:

- Μέγιστη αντοχή: **30-35 MPa**,
- Βάρος (σκληρυμένου): **1500 kg/m³**
- **Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 0,50 kcal/mhc^o** (εναντι 1,40 kcal/mhc^o για σκυρόδεμα με ασβεστολιθικά αδρανή),
- Μέτρο ελαστικότητας (τέμνον στη στάθμη 30% της αντοχής): $11 \cdot 10^3$ MPa,
- Καταστατικός νόμος τάσεων-παραμορφώσεων: γραμμικός,
- Συνάφεια με το χάλυβα: παρόμοια και ενδεχόμενα καλύτερη από αυτήν του συμβατικού σκυροδέματος (καθώς λόγω του μικρού κόκκου του αυξάνει η ενεργή επιφάνεια επαφής).
- Συντελεστής μακροχρόνιας παραμόρφωσης: παρόμοιος με αυτόν του συμβατικού σκυροδέματος.

Το μικροκισσηρόδεμα εμφανίζει, από πλευράς μηχανικής συμπεριφοράς, ομοιότητα με τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής.

Για την παραγωγή του Μικροκισσηροδέματος δεν απαιτείται:

- προδιαβροχή των αδρανών,
- διαχωρισμός και αποθήκευση των αδρανών σε τρία κλάσματα,
- ιδιαίτερος εξοπλισμός και οργάνωση του εργοταξίου (ή της μονάδας έτοιμου σκυροδέματος).

Λόγω του μικρού μεγέθους των κόκκων:

- Δεν εμφανίζεται το φαινόμενο της αντίστροφης απόμιξης που παρατηρείται στο κλασσικό κισσηρόδεμα με κόκκο 25 έως 30 mm (οι μεγάλοι κόκκοι της κίσσης έχουν μεγαλύτερα κενά και, γιαυτό είναι πιο ελαφρείς από τους μικρούς κόκκους).

3.3 Οικονομικά και Τεχνολογικά Πλεονεκτήματα του Υλικού

Πέραν των προφανών οικονομικών και ενεργειακών πλεονεκτημάτων του υλικού λόγω του σημαντικά μικρότερου βάρους του και της μεγαλύτερης θερμομόνωσής του (βλ. Παράρτημα, κεφ. Ελεφροσκυροδέματα) προκύπτουν σημαντικά πρόσθετα τεχνολογικά και οικονομικά πλεονεκτήματα λόγω του **μικρού και ελαφρού κόκκου του αδρανούς**, όπως:

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κοινοί αναμικτήρες των κονιαμάτων και να εφαρμόζεται επί τόπου για μικρής κλίμακας σκυροδετήσεις.
- Δεν απαιτείται ιδιαίτερος εξοπλισμός και οργάνωση του εργοταξίου (ή της μονάδας έτοιμου σκυροδέματος) για την παραγωγή του.
Με μόνη επιβάρυνση την αποθήκευση ενός πρόσθετου κλάσματος αδρανών είναι δυνατή η παράλληλη παραγωγή κανονικού σκυροδέματος και μικροκισσηροδέματος.
- Μπορούν να υιοθετηθούν μικρότερα δοκίμια για τον ποιοτικό έλεγχο (καθώς το μέγεθος του δοκιμίου είναι συνάρτηση του μέγιστου κόκκου του αδρανούς).
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ελαφρότερες και φθηνότερες μήτρες που χρησιμοποιούνται για τα κονιάματα.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες και φθηνότερες μηχανές δοκιμασίας, αυτές που χρησιμοποιούνται για τα κονιάματα.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με μικρότερη αναπήδηση κόκκων αδρανών και με δυνατότητα μεγαλύτερης απόστασης εκτόξευσης.
- Διευκολύνει τη διάστρωση σε θέσεις με μεγάλη πύκνωση οπλισμού, όπως στις θέσεις των κόμβων.

- Επιτρέπει μεγαλύτερη πύκνωση των ράβδων του οπλισμού και, γιαυτό μικρότερες διαμέτρους των ράβδων.
Μικρότερες διάμετροι επιτρέπουν μικρότερα μήκη αγκύρωσης και καλύτερο έλεγχο της ρηγμάτωσης.
- Επιτρέπει διάστρωση του σκυροδέματος από μεγαλύτερο ύψος (στις υπόγειες σκυροδετήσεις κ.α).
Λόγω του μικρού και ελαφρού κόκκου δεν προκύπτει ο διαχωρισμός που παρατηρείται στο κανονικό σκυρόδεμα.
- Διαστρωση από μεγαλύτερα υψώσεων λόγω του μικρότερου διαχωρισμού λόγω του μικρού και ελαφρού κόκκου (υπόγειες σκυροδετήσεις κ.λ.π)

- ❖ Μεγαλύτερη ελευθερία στο σχεδιασμό των στοιχείων.

Για παράδειγμα, μπορούν να υιοθετηθούν διατομές των υποστυλωμάτων μορφής T για αύξηση της δυσκαμψίας στο σταδιο λειτουργίας και αύξηση της πλαστιμότητας στο στάδιο αστοχίας,

- Την εφαρμογή του ως πλεονεκτικού εκτοξευόμενου σκυροδέματος (με μικρότερη αναπήδηση των αδρανών, κ.λ.π) καθώς και την υιοθέτηση νέων τεχνικών.

2.4 Η ιδιαίτερη Αξία του Υλικού

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω στο σχεδιασμό του μικροκισσηροδέματος έχει επιτευχθεί συνδυασμός:

- της μεγαλύτερης δυνατής αντοχής του κισσηροδέματος
- του μικρότερου δυνατού βάρους του
- του μικρότερου κόστους παραγωγής,
- της καλύτερης δυνατής συνάφειας με τον οπλισμό
- σημαντικής θερμομόνωσης
- ❖ Ο κατά 40% μεγαλύτερος λόγος αντοχής προς βάρος του υλικού και ο κατά 70% μικρότερος συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας από το κανονικό σκυρόδεμα (αντίστοιχης αντοχής), αποτελεί πρώτη **θετική ένδειξη της ενεργειακής και αντισεισμικής αξίας** του, η οποία επιβεβαιώνεται από πειραματικά αποτελέσματα.

ΤΥΠΟΙ, ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1. ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα συστατικά του σκυροδέματος είναι τσιμέντο, νερό, αδρανή και πρόσθετα και σε μερικές περιπτώσεις και πρόσμικτα.

Τα πρόσθετα, συνήθως σε υγρή μορφή, προστίθενται στο μίγμα του σκυροδέματος σε πολύ μικρές ποσότητες και δεν επηρεάζουν την ποσοτική σύνθεση του σκυροδέματος για να βελτιώσουν τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του. Δρουν κατά κάποιο τρόπο, όπως τα καρυκεύματα στο φαγητό.

Τα πρόσμικτα, συνήθως σε μορφή σκόνης, προστίθενται στο σκυρόδεμα σε μεγαλύτερες ποσότητες από ό,τι τα πρόσθετα (και, γι αυτό, λαμβάνονται υπόψη στην ποσοτική σύνθεση του σκυροδέματος) για να βελτιώσουν τη στεγανότητα ή και την αντοχή του σκυροδέματος.

1.1 ΤΣΙΜΕΝΤΑ

Τα τσιμέντα που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι σχεδόν αποκλειστικά Portland παρασκευαζόμενα από συνάλεση κλίνκερ* (μίγμα ασβεστόλιθου και αργιλοπυριτικών ψημένο σε θερμοκρασία 1400° C), γύψου και πρόσθετων.

Για προσωρινές χρήσεις (προσωρινές αγκυρώσεις, κλπ) χρησιμοποιούνται επίσης και τσιμέντα αλουμινίου.

Διακρίνονται οι παρακάτω τύποι:

➤ Τύπος I: Καθαρό Portland

Λόγω της λεπτότερης άλεσής του έχει ταχύτερη ανάπτυξη αντοχής.

Είναι γνωστό ως τσιμέντο υψηλής **αντοχής** (αν και οι μακροχρόνιες αντοχές του δεν είναι μεγαλύτερες απ αυτές των άλλων τύπων τσιμέντου).

➤ Τύπος II: Portland και ποζουλάνη 20 %

Η παρουσία της ποζουλάνης* προσδίδει στο τσιμέντο μικρότερη θερμότητα ενυδάτωσης, μικρότερη υδατοπερατότητα, καλύτερη προστασία σε χημικές προσβολές.

ποζουλάνης που προστίθεται στα ελληνικά τσιμέντα αποδίδεται η πολύ καλή συμπεριφορά των ελληνικών λιμενικών έργων σε εποχές που δεν ήταν ιδιαίτερα ανεπτυγμένη η γνώση του σχεδιασμού τους.

➤ Τύπος III: Portland και ποζουλάνη έως 40 %

Λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας του σε ποζουλάνη το τσιμέντο αυτό έχει ακόμη μικρότερη θερμότητα ενυδάτωσης και ακόμη μικρότερη υδατοπερατότητα καθώς και υψηλή ανθεκτικότητα σε προσβολές θειικών.

➤ Τύπος IV: Τροποποιημένο Portland ανθεκτικό στα θειικά

Έχει ιδιαίτερη ανθεκτικότητα σε χημικές προσβολές, ιδιαίτερα σε προσβολές από θειικά.

❖ Το ποζουλανικό τσιμέντο τείνει σήμερα να αντικαταστήσει τον τύπο IV.

Εκτός από πιο οικονομικό και λιγότερο ενεργοβόρο (καθώς σημαντικό ποσοστό του είναι φυσικό τσιμέντο), είναι, όπως παρατηρήθηκε για πρώτη φορά σε έργα στη Σαουδική Αραβία και μεταγενέστερα τεκμηριώθηκε και εργαστηριακά το τσιμέντο αυτό, ιδιαίτερα ανθεκτικό σε προσβολές θειικών (περίπτωση έργων θεμελιωμένων σε έδαφος γύψου κ.λ.π).

Οι παραπάνω τύποι τσιμέντων κυκλοφορούν σε τρεις κατηγορίες αντοχών: 35, 45 και 55 MPa.

* Θηραϊκή γη, ή ιπταμένη τέφρα (τέφρα από την καύση των λιγνιτών στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος). Είναι φυσικό τσιμέντο.

1.2 ΑΔΡΑΝΗ

1. **Ανάλογα με το μέγεθός τους** τα αδρανή διακρίνονται στα παρακάτω κλάσματα.

➤ **Άμμος**

Αδρανές με μέγιστο κόκκο 5 mm (λεπτή άμμος) ή 7mm (χοντρή άμμος).

➤ **Γαρμπίλι**

Αδρανές με μέγεθος μεταξύ 5 και 15 mm.

Σε μερικές περιπτώσεις προβλέπεται και ένα ενδιάμεσο κλάσμα με μέγεθος κόκκων μεταξύ 5 - 10 mm. Το κλάσμα αυτό χαρακτηρίζεται ως **ριζάκι**.

Συνήθως στο κλάσμα αυτό περιέχεται και μικρό ποσοστό άμμου.

➤ **Σκύρα ή Χαλίκια (Κροκάλες)**

Αδρανές με μέγεθος μεταξύ 15 και 30 mm.

Στα συνήθη σκυροδέματα χρησιμοποιούνται τρία κλάσματα: άμμος, γαρμπίλι και σκύρα.

Σε σκυροδέματα υψηλής αντοχής (σε προεντεταμένες κατασκευές) χρησιμοποιούνται συνήθως τέσσερα κλάσματα: χονδρή άμμος, λεπτή άμμος, γαρμπίλι και σκύρα.

❖ Σε σκυροδέματα με **απαιτήση μεγάλης εργασιμότητας** (ρευσιμότητας), όπως σε υπόγειες σκυροδετήσεις, σκυροδετήσεις κελυφών, κ.α. για να αποφευχθεί ο διαχωρισμός των αδρανών (να κατακάθονται τα χοντρά αδρανή) **δεν χρησιμοποιούνται σκύρα** και το σκυρόδεμα ονομάζεται γαρμπιλοσκυρόδεμα.

2. **Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους** διακρίνονται δύο τύποι αδρανών:

➤ **Θραυστά**

Είναι αδρανή που προκύπτουν από θραύση των φυσικών λίθων στα λατομεία.

Είναι εν γένει γωνιώδη με καλή συνάφεια με τον τσιμεντοπολτό.

➤ **Συλλεκτά**

Είναι αδρανή που συλλέγονται από ποτάμια ή ακρογιαλιές. Λόγω της δράσης του νερού είναι στρογγυλεμένα.

❖ Η συλλεκτή άμμος υπερέχει της θραυστής άμμου γιατί, λόγω του στρογγυλεμένου

σχήματός της, προσδίδει μεγαλύτερη εργασιμότητα στο σκυρόδεμα και αν είναι οικονομικά προσιτή (σε κοντινή απόσταση) πρέπει να προτιμάται.

3. **Ανάλογα με το βάρος τους** διακρίνονται τρεις τύποι **αδρανών**:

➤ **Κανονικά**

Είναι αδρανή, στην περιοχή της Αττικής ασβεστολιθικά, με ειδικό βάρος της τάξεως του 2,7 kg/m³.

Τα ποταμίσια λόγω προσμίξεων έχουν ελαφρά μεγαλύτερο ειδικό βάρος.

➤ **Ελαφριά**

Είναι αδρανή με μικρό βάρος, φυσικά, όπως η κίσηρη, ή τεχνητά, όπως αδρανή από σπογγόκεραμο, διογκωμένη άργιλο κ.λ.π.

Το βάρος τους ποικίλλει ανάλογα με την προέλευσή τους και τη μέθοδο παραγωγής τους.

Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ελαφροσκυροδέματος και στο εξωτερικό είναι αρκετά διαδεδομένα.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν τεχνητά αδρανή.

Οι δυνατότητες αξιοποίησης της ελληνικής κίσηρης στην παραγωγή ιδιαίτερα πλεονεκτικού ελαφροσκυροδέματος σχολιάζονται στην Ενότητα Α, κεφ. 3.

➤ **Βαριά**

Είναι αδρανή με βάρος μεγαλύτερο από 3,0 kg/m³ (στην Ελλάδα από βαρυτίτη και μαγνητίτη) και χρησιμοποιούνται σε μικρή κλίμακα για την παραγωγή βαρυσκυροδέματος.

❖ Βαρυσκυρόδεμα χρησιμοποιείται όπου απαιτείται προστασία από ακτινοβολίες, όπως σε ραδιενεργούς σταθμούς, ακτινολογικά εργαστήρια, κλπ. ή σε έργα με απαίτηση μεγάλου έρματος, όπως σε λιμενικούς ογκόλιθους, κλπ.

1.3 ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ

Ανάλογα με την προέλευσή του διακρίνεται:

➤ Νερό Δικτύου Υδρεύσεως

➤ Νερό Γεωτρήσεων

➤ Νερό Θαλασσινό

1.4 ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Είναι υλικά τα οποία προστίθενται σε πολύ μικρές ποσότητες (μικρότερες του 1% της ποσότητας του τσιμέντου) και επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, όπως την εργασιμότητά του, την πήξη του, κ.λ.π.

- Συνήθως είναι παραπροϊόντα βιομηχανιών ή γνωστές ουσίες (όπως υδρύαλος κ.λ.π.) καλυπτόμενες από εμπορικές ονομασίες.
- ❖ Η δράση τους στο σκυρόδεμα έχει εντοπιστεί κατά κανόνα από ατυχήματα (μεταφορά νερού σε βαρέλια με ίχνη ζάχαρης ανέδειξε την επιβραδυντική ή και ανασταλτική της πήξης δράση της ζάχαρης, κ.λ.π).
- ❖ Σημειώνεται ότι τα πρώτα αερακτικά προσθετα ήταν αίμα από σφαγεία.

Η ποσότητά τους καθορίζεται με δοκιμαστικά μίγματα.

Ανάλογα με την δράση τους στα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος διακρίνονται οι παρακάτω τύποι:

➤ Ρευστοποιητικά: Αυξάνουν τη Ρευστότητα του Νωπού Σκυροδέματος

Με την προσθήκη τους μειώνεται το απαιτούμενο νερό ανάμιξης (για την απαιτούμενη εργασιμότητα του μίγματος) και έτσι μειώνεται και το απαιτούμενο τσιμέντο.

Συνήθως είναι σάπωνες ή σουλφονικά οξέα και εκτός από τη μείωση του ιξώδους του νωπού σκυροδέματος (αύξηση ρευστότητας), προκαλούν ανάπτυξη φυσαλίδων αέρα οι οποίες σε κατάσταση κίνησης αυξάνουν τη ρευστότητα του νωπού σκυροδέματος ενεργώντας ως λιπαντικό, ενώ σε κατάσταση ηρεμίας αυξάνουν τη συνοχή του μίγματος, δηλ. το κάνουν "πλαστικότερο".

➤ Υπερρευστοποιητικά: Ρευστοποιητικά με μεγάλη δράση

Υιοθετούνται σε περιπτώσεις απαίτησης μεγάλης ρευστότητας του μίγματος (όπως σε περιπτώσεις λεπτών φορέων, πυκνών οπλισμών, υπόγειων σκυροδετήσεων κ.λ.π).

➤ Επιταχυντικά Πήξης:

Υιοθετούνται σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών (παγετό), γρήγορης αφαίρεσης των

ξυλοτύπων ή ειδικών τεχνικών όπως είναι το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Συνήθως είναι χλωριούχα άλατα, οξέα, ή βάσεις.

Το πλέον διαδεδομένο είναι το χλωριούχο ασβέστιο, το οποίο, όμως, σε μεγάλη δόση ενδέχεται να προκαλέσει διάβρωση του οπλισμού, ενώ σε πολύ μικρές ποσότητες (<0,5 %) ενδέχεται να επιβραδύνει αντί να επιταχύνει την πήξη. Απαγορεύεται η χρησιμοποίησή του σε προεντεταμένο σκυρόδεμα.

Παρενέργειες όλων των επιταχυντικών είναι:

- Αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος (ταχύτερη έκλυση της θερμότητας ενυδάτωσης του τσιμέντου),
- Αύξηση της συστολής ξηράνσεως,
- Μείωση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε κύκλους ψύξης απόψυξης κλπ.

➤ Επιβραδυντικά Πήξης

Υιοθετούνται σε περιπτώσεις:

- μεταφοράς του νωπού σκυροδέματος σε μεγάλες αποστάσεις (περίπτωση έτοιμου σκυροδέματος),
- σε σκυροδετήσεις υπό υψηλή θερμοκρασία για αντιστάθμιση της επιταχυντικής δράσης της θερμοκρασίας, όταν δεν προβλέπονται αρμοί διακοπής σε σκυροδετήσεις ογκωδών κατασκευών κλπ.

Τα ανόργανα επιβραδυντικά δεν επηρεάζουν τη ρευστότητα και την αντοχή των 28 ημερών.

Τα οργανικά επιβραδυντικά (συνήθως αναμιγμένα με σάκχαρα) δημιουργούν φυσαλίδες αέρα και δρουν ταυτόχρονα και ως ρευστοποιητικά.

➤ Αερακτικά: Εισάγουν στη Μάζα του Σκυροδέματος Φυσαλίδες Αέρα

Οι εισαγόμενες φυσαλίδες αέρα δρουν :

- ως αναστολείς των τριχοειδών ρωγμών διακόπτοντας τη ροή του νερού κατά μήκος τους κι έτσι μειώνουν τη διαπερατότητα του υλικού και
- ως κυβέλες αποτόνωσης της διαστολής του εμπεριεχόμενου νερού σε περιπτώσεις

σκυροδέτησης υπό χαμηλή θερμοκρασία
(μικρότερη από 5° C).

Το μέγεθος των φυσαλίδων κυμαίνεται από 0,02 έως 0,2 mm.

- ❖ Αερακτικά με μεγάλο μέγεθος φυσαλίδας, εκτός από τη σημαντική πτώση της αντοχής που προκαλούν, επιδεινώνουν αντί να βελτιώνουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος.

Το ποσοστό όγκου του παραγομένου αέρα κυμαίνεται από 4% (για χονδρόκοκκες συνθέσεις) έως 8% (για λεπτόκοκκες συνθέσεις).

Υιοθετούνται σε κατασκευές με απαίτηση στεγανότητας (δεξαμενές, υδροηλεκτρικά έργα) και σε περιπτώσεις έργων σε περιβάλλον χαμηλών θερμοκρασιών.

➤ **Διογκωτικά**

Προκαλούν μικρή διόγκωση η οποία αναιρεί τη συρρίκνωση του τσιμεντοπολτού κατά την πήξη του σκυροδέματος.

Υιοθετούνται σε περιπτώσεις τσιμεντενεμάτων για την προστασία του χάλυβα από διάβρωση, όπως στην περίπτωση προεντεταμένων φορέων.

➤ **Λοιπά Πρόσθετα**

Μικρότερης εφαρμογής και, εν γένει, μικρότερης αξιοπιστίας είναι πρόσθετα αντιδιαβρωτικά, στεγανωτικά, επιταχυντικά αντοχής, επιβραντικά αντοχής, κλπ.

1.5 ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ

Είναι υλικά, συνήθως σε μορφή σκόνης, τα οποία προστίθενται σε μεγαλύτερες ποσότητες από ό,τι τα πρόσθετα και, γι' αυτό, λαμβάνονται υπόψη στον προσδιορισμό των ποσοτήτων των συστατικών του σκυροδέματος (μελέτη συνθέσεως).

Προστίθενται για να βελτιώσουν κάποια χαρακτηριστικά, όπως τη στεγανότητα, ή να αίρουν ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις των άλλων συστατικών του σκυροδέματος.

Τα πιο γνωστά πρόσμικτα είναι:

- η θηραϊκή γη που προστίθεται για στεγανότητα και
- η πυριτιακή σκόνη η οποία προστίθεται:
 - για να αυξήσει την αντοχή του σκυροδέματος (καλύπτοντας τα κενά) ή
 - για να εξουδετερώσει τη βλαπτική αντίδραση με τα αλκάλια του τσιμέντου του πυριτίου που εμπεριέχουν κάποια αδρανή, ιδιαίτερα στη Σαουδική Αραβία γνωστή ως "χημική αντιδραστικότητα των αδρανών". ή με τον αγγλόφωνο όρο «alkali aggregate reaction» (βλ. κεφ. 3).

2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

2.1 Τσιμέντο

Επιλέγεται ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της κατασκευής.

- Για **γρήγορο ξεκαλούπωμα** (περίπτωση προκατασκευής) ή γρήγορη ανάπτυξη αντοχών (περίπτωση παγετού) προτιμάται ο **τύπος I**.
- Για υπόγειες ή θαλάσσιες κατασκευές και γενικά κατασκευές στις οποίες απαιτείται **μεγάλη χημική ανθεκτικότητα** ο **τύπος III ή IV**.
- Για **ογκώδεις κατασκευές** ο **τύπος III** (λόγω της μικρής του θερμότητας ενυδάτωσης).
- Για **μεγάλη υδατοστεγανότητα** (δεξαμενές, υδροηλεκτρικά έργα) ο **τύπος II ή III**.
- Για κατασκευές με **απαίτηση χημικής ανθεκτικότητας** (δεξαμενές χημικών, κ.λ.π.) ο **τύπος III ή IV**.

2.2 Αδρανή

➤ Επιλογή Κλασμάτων Αδρανών

Στα **συνήθη σκυροδέματα** χρησιμοποιούνται τρία κλάσματα: **άμμος, γαρμπίλι και σκύρα**.

Για **σκυροδέματα υψηλής αντοχής** ή υψηλών απαιτήσεων χρησιμοποιούνται συχ-νά τέσσερα κλάσματα: **χονδρή και λεπτή άμμος γαρμπίλι και σκύρα**.

Σε **σκυροδέματα** με απαίτηση **μεγάλης εργασιμότητας** (ρευστότητας), όπως στις περιπτώσεις υπόγειων σκυροδετήσεων, σκυροδετήσεων κελυφών κ.λ.π. για να απόφευχθεί ο διαχωρισμός των αδρανών (βλέπε ενότητα Ω) δεν χρησιμοποιούνται σκύρα και το σκυρόδεμα ονομάζεται **γαρμπιλοσκυ-ρόδεμα**.

➤ Επιλογή Είδους Αδρανών

Σε όλες τις περιπτώσεις **προτιμάται**, αν είναι οικονομικά προσιτή **συλλεκτή άμμος**.

Λόγω του στρογγυλεμένου σχήματός της, η συνολική επιφάνεια των κόκκων της είναι, όπως φαίνεται στο σχήμα, μικρότερο απ' αυτό της θραυστής άμμου και, γι' αυτό,

απαιτείται μικρότερη ποσότητα τσιμεντοπολύ και κατά συνέπεια οικονομικότερο μίγμα.

Ως **χονδρόκοκκα αδρανή** μπορούν να χρησιμοποιηθούν συλλεκτά (ποταμίσια ή θαλασσινά) με μέγιστο κόκκο 25 - 30 mm.

Σε στοιχεία από άοπλο σκυρόδεμα (π.χ. σώμα φράγματος) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες κροκάλες 60, 120, 150 mm.

Σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποίηση κόκκου αδρανούς μεγαλύτερου από 25 - 30 mm εξασθενεί τη συνάφεια σκυροδέματος και οπλισμού (λόγω του στρογγυλεμένου σχήματός τους) και απαγορεύονται.

Τα ασβεστολιθικά **συλλεκτά αδρανή**, επειδή περιέχουν αρκετές προσμίξεις, έχουν κατά κανόνα **μεγαλύτερο ειδικό βάρος** από αυτό των ασβεστολιθικών σκύρων και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη συνθέσεως του σκυροδέματος.

Για την απομάκρυνση των αλάτων και των φυτικών προσμίξεων απαιτείται εγκατάσταση πλυντηρίου και ανεμιστήρας.

2.3 Νερό Ανάμιξης

➤ Νερό Δικτύου Υδρευσης και Γεωτρήσεων

Προτιμάται σ όλες τις περιπτώσεις, αν είναι οικονομικά προσιτό, το πόσιμο νερό.

Ελλείψει πόσιμου νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί νερό από γεωτρήσεις, αλλά θα πρέπει προηγουμένως να ελεγχθεί καταλληλότητά του, όπως σχολιάζεται στο κεφ.

➤ Θαλασσινό Νερό

Η δυνατότητα χρησιμοποίησης θαλασσινού νερού ως νερού ανάμιξης για την παρασκευή του σκυροδέματος έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών.

Σύμφωνα με κάποιες απ' αυτές:

- ❖ Μπορεί να χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό σε άοπλο σκυρόδεμα ή οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις προστασίας του οπλισμού από διάβρωση.

- ❖ Τα εμπεριεχόμενα άλατα στο θαλασσινό νερό επιταχύνουν απλά την πήξη του νωπού σκυροδέματος αλλά δεν ασκούν αισθητή επιρροή στο σκληρωμένο σκυρόδεμα, λόγω της σχετικά σύντομης (περίπου σε 1 μήνα) χημικής και κρυσταλλικής δέσμευσής του νερού ανάμιξης από το τσιμέντο (ενυδάτωση του τσιμέντου).

Αντιθέτως,

- ❖ Το θαλασσινό νερό ως νερό συντήρησης είναι ιδιαίτερα επιβλαβές, λόγω της συνεχούς διαθεσιμότητάς του για την εξέλιξη των βλαπτικών αντιδράσεων των βλαπτικών ιόντων που περιέχει με τα συστατικά του τσιμέντου.

2.4 Πρόσθετα

- Στα συνήθη έτοιμα σκυροδέματα χρησιμοποιούνται επιβραδυντικά και υπερρυστοποιητικά πρόσθετα.

Το επιβραδυντικό προστίθεται στη μονάδα παραγωγής, ενώ το υπερρυστοποιητικό προστίθεται, συνήθως, στη βαρέλα του οχήματος μεταφοράς επί τόπου του έργου ώστε να μην μειωθεί η απόδοσή του λόγω του χρόνου μεταφοράς.

Μετά την προσθήκη του πρόσθετου απαιτείται επαρκής ανάδευση του σκυροδέματος και δυο-τρεις αναρροφήσεις στη βαρέλα ώστε να εξασφαλιστεί ότι έχει ομοιομορφηθεί σ' όλη τη μάζα του σκυροδέματος μέσα στη βαρέλα και δεν έχει συσσωρευτεί στο σκυρόδεμα κοντά στο στόμιο τροφοδοσίας.

- ❖ Η **απόδοση μερικών ρυστοποιητικών ή υπερρυστοποιητικών** πρόσθετων **εξαρτάται από τον τύπο της άμμου**.

Γιαυτό, πριν την υιοθέτησή τους πρέπει να δοκιμάζονται με τα συγκεκριμένα αδρανή που θα χρησιμοποιηθούν για το σκυρόδεμα.

Επίσης, ορισμένα πρόσθετα, ιδιαίτερα τα διογκωτικά ενδέχεται να μην συμβιβάζονται με τον τύπο του τσιμέντου του έργου.

- ❖ **Υπάρχουν διογκωτικά** τα οποία ενώ ήταν συμβιβαστά με τα παλιά ελληνικά τσιμέντα που περιείχαν θηραϊκή γη, **δεν δρουν με τα σύγχρονα ελληνικά τσιμέντα** τα οποία πε-ριέχουν ως ποζουλάνη ιπτάμενη τέφρα.
- ❖ Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στη χρήση των αερακτικών και διογκωτικών πρόσθετων, καθώς υπερδότηση τους μπορεί να επιφέρει σημαντική πτώση της αντοχής στην περίπτωση του αερακτικού, ή να υπερεντείνει τα στοιχεία στην περίπτωση του διογκωτικού.

Γιαυτό, καλό είναι τα πρόσθετα αυτά να αποφεύγονται, αν δεν είναι υψηλή η στάθμη οργάνωσης του εργοταξίου.

- ❖ Για τα **αερακτικά** πρόσθετα υπάρχει **αντίδοτο** και είναι καλό να υπάρχει στο εργοτάξιο, καθώς αν προστεθεί στον αναμικτήρα ακυρώνει τη δράση του πρόσθετου.

3. ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ

3.1 Τσιμέντο

Ελέγχεται ως προς την λεπτότητα αλέσεως, τους χρόνους πήξεως (έναρξης και λήξης), την ογκοσταθερότητα, αντοχή σε θλίψη και αντοχή σε κάμψη.

Για τσιμέντα εταιριών με σήμα ποιότητας οι έλεγχοι αυτοί επί τόπου δεν είναι αναγκαίοι.

3.2 Αδρανή

Για αδρανή τα οποία χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά και ελλείπει σήματος ποιότητας του αντίστοιχου προμηθευτή απαιτούνται οι παρακάτω έλεγχοι:

➤ Ανθεκτικότητα σε Φθορά (Δοκιμή Los Angeles)

Αντιπροσωπευτικό δείγμα αδρανών γνωστού βάρους ξηραίνεται σε φούρνο με θερμοκρασία 105° C και ζυγίζεται κάθε 24 ώρες έως ότου απόμακρυνθεί όλη η υγρασία.

Η απουσία υγρασίας πιστοποιείται αν δεν προκύψει διαφορά βάρους σε δύο διαδοχικές ζυγίσεις.

Στη συνέχεια, το ξηρό υλικό ζυγίζεται και τοποθετείται σε χαλύβδινο τύμπανο (διαμέτρου 70 cm) στο οποίο υπάρχουν 6 έως 12 χαλύβδινες σφαίρες (διαμέτρου 47 mm, βάρους 400 gr). Το τύμπανο υποβάλλεται σε 500 περιστροφές με ταχύτητα 30 rpm.

Αφαιρείται το υλικό, κοσκινίζεται σε κόσκινο Νο 12 ώστε να απόμακρυνθεί το λειοτριμμένο υλικό και ζυγίζεται το συγκρατούμενο.

Η διαφορά βάρους πριν και μετά την επιπόνησή του αναγόμενη ως προς το αρχικό του βάρος δίνει το ποσοστό φθοράς του.

- ❖ Τα αδρανή είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα όταν το ποσοστό φθοράς είναι μικρότερο του 50%.
- ❖ Πολύ σκληρά αδρανή με πολύ μικρή φθορά, ενώ βάσει των προδιαγραφών κρίνονται κατάλληλα, πρακτικά είναι ακατάλληλα.

Λόγω της μεγάλης σκληρότητάς τους, προκαλούν μεγάλη φθορά στον μηχανικό εξοπλισμό (αναμικτήρες, αντλίες, κλπ).

➤ Ανθεκτικότητα σε Αποσάθρωση (Υγεία Πετρώματος)

Αντιπροσωπευτικό δείγμα αδρανών γνωστού βάρους εμβαπτίζεται σε κορεσμένο διάλυμα NaSO₄ ή MgSO₄ για 16 ώρες.

Στη συνέχεια πλένεται, ξηραίνεται, και απομακρύνεται το λεπτό υλικό με κοσκίνισμα. Ζυγίζεται και υπολογίζεται η απώλεια βάρους.

- ❖ Τα αδρανή είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα όταν η απώλεια είναι μικρότερη από 18 έως 20%.

➤ Χημική Ανθεκτικότητα (Alkali aggregate reaction)

Ελέγχεται το ενδεχόμενο συστατικά των αδρανών (όπως ο δολομίτης, ζεόλιθος, κλπ) να αντιδρούν με τα αλκάλια του τσιμέντου με συνέπεια προοδευτική αποσάθρωση του σκυροδέματος, λόγω διογκώσεων. (Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται εκτεταμένα στην περιοχή της Μέσης Ανατολής).

Ο έλεγχος επιβάλλεται σε περιπτώσεις προηγούμενου ιστορικού. Στην Ελλάδα βαρύνονται τα ποταμίσια αδρανή στην περιοχή της Μακεδονίας.

Παρασκευάζονται δοκίμια με τα υπό έλεγχο αδρανή και ελέγχεται η αντοχή και η εν γένει συμπεριφορά τους σε διάφορες ηλικίες, τουλάχιστον μέχρι και 3 μήνες.

➤ Ορυκτολογικά Χαρακτηριστικά

Εντοπίζονται επικίνδυνα ορυκτολογικά συστατικά όπως:

- Ενώσεις Θείου: Προκαλούν διογκώσεις
- Ενώσεις Σιδήρου: Προκαλούν κηλίδες και διογκώσεις
- Νιτρικά Άλατα και Αλογόνα: Διαβρώνουν τον χάλυβα
- Ενώσεις Μολύβδου: Επιταχύνουν την πήξη και μειώνουν την αντοχή
- Ενώσεις Ψευδαργύρου: Επιβραδύνουν την πήξη, μειώνουν την αντοχή
- Φωσφωρικές ενώσεις και Χλώριουχα: Επηρεάζουν την πήξη και την εξέλιξη της αντοχής

➤ Οργανικές προσμίξεις

Οι οργανικές προσμίξεις μπορούν να επηρεάσουν την πήξη (κατά κανόνα την επιβραδύνουν) και να προκαλέσουν ρηγματώσεις και αποφλοιώσεις.

Αντιπροσωπευτικό δείγμα των αδρανών κοσκινίζεται και το κλάσμα το μικρότερο από 8 mm τοποθετείται σε γυάλινο δοχείο με διάλυμα NaOH 3%.

Το δοχείο αναταράσσεται και μετά 24 ώρες εξετάζεται το χρώμα του διαλύματος.

Αν το χρώμα είναι σκούρο κίτρινο, καφέ ή κόκκινο, τα αδρανή θεωρούνται ύποπτα οργανικών προσμίξεων και απαιτείται εργαστηριακός χημικός έλεγχος.

3.3 Νερό Ανάμιξης

Πρέπει να ελέγχεται εργαστηριακά ως προς την οξύτητα, την αλκαλικότητα, τα ανόργανα και οργανικά στερεά, τα θειικά και χλωριούχα άλατα, υπερμαγγανικό κάλιο, λιπαρά και ζαχαρώδη.

- ❖ Για τον έλεγχο του νερού η δειγματοληψία πρέπει να γίνεται σε δοχείο που περιέχει κατάλληλο αντιδραστήριο (το προμηθεύει το εργαστήριο ελέγχου), αλλιώς ο έλεγχος είναι αναξιόπιστος.

3.4 Πρόσθετα

Προβλέπεται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές μια σειρά ελέγχων για τη διαπίστωση της καταλληλότητας του πρόσθετου, οι οποίες, όμως, απαιτούν εξειδικευμένους εξοπλισμούς και εμπειρία.

Γι αυτό:

- ❖ σε έργα με αυξημένες απαιτήσεις ασφαλείας, σχολεία και άλλους χώρους συναθροίσεων) είναι καλό να χρησιμοποιούνται πρόσθετα δοκιμασμένα στην πράξη.

Πρέπει, επίσης, να γίνονται (απλοί) έλεγχοι συμβιβαστότητάς τους με τα υλικά του σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθούν στο έργο, όπως αυτοί που αναφέρθηκαν στο κεφ. 1.1.

- ❖ Τα πρόσθετα, εν γένει, κυκλοφορούν στην αγορά της κατασκευής πολύ γρήγορα, χωρίς δοκιμασία για ενδεχόμενες μακροχρόνιες βλαπτικές δράσεις στην κατασκευή.

Η σύνθεσή τους κρατείται μυστική και επανειλημμένα έχει παρατηρηθεί αντίστροφη δράση απ' αυτήν για την οποία διαφημίζονται.

Για παράδειγμα

- Αντιδιαβρωτικά πρόσθετα προοριζόμενα για προστασία από διάβρωση των τενόντων προεντεταμένων φορέων διαβρώνουν αναμικτήρα παραγωγής του σκυροδέματος μετά από μία μόνον χρήση τους.

Έν γένει, η προσθήκη πρόσθετων στο σκυρόδεμα αυξάνει τις χρόνιες παραμορφώσεις, συστολή ξηράνσεως και ερπυσμό, και καλό είναι σε κατασκευές στις οποίες είναι κρίσιμα τα μεγέθη αυτά, όπως σε φορείς από προεντεταμένο σκυρόδεμα η προσθήκη τους να γίνεται με περίσκεψη.

4. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ

Βλέπε και Παράρτημα, Κεφ. Σχεδιασμός Σκυροδέματος

4.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ

4.1.1 Η Έννοια της Μελέτης Συνθέσεως

Με τον όρο «**μελέτη συνθέσεως του σκυροδέματος**» δηλώνεται ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των επί μέρους συστατικών του για 1 m^3 σκυροδέματος.

Οι διάφοροι τύποι για καθένα από τα συστατικά του σκυροδέματος, τα κριτήρια επιλογής τους και οι έλεγχοι καταλληλότητάς τους σχολιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται η μεθοδολογία για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων των συστατικών υλικών: τσιμέντου, νερού, αδρανών και πρόσθετων, η οποία παρουσιάζεται αναλυτικότερα και τεκμηριώνεται στο Παράρτημα, κεφ. Σχεδιασμός Σκυροδέματος.

4.1.2 Οι 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.

Οι στόχοι αυτοί είναι διττός:

1. 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).
2. 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 τα απαιτούμενα μηχανικά χαρακτηριστικά μπορεί να είναι η διαπερατότητα (δεξαμενές, υδροηλεκτρικά έργα), η χημική ανθεκτικότητα (έργα θεμελιώσεων, συλλογής λυμάτων) η αντίσταση σε τριβή (βιομηχανικά δάπεδα, χώροι στάθμευσης, οδοστρώματα από σκυρόδεμα).

Για την ικανοποίηση των στόχων αυτών τίθενται οι παρακάτω απαιτήσεις για την ποσοτική σύνθεση των συστατικών του σκυροδέματος:

- Το νωπό σκυρόδεμα να διαθέτει ορισμένη τιμή **εργασιμότητας**.
- Το σκληρυμένο σκυρόδεμα να διαθέτει

- ορισμένη **θλιπτική αντοχή**, καθώς όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένα από την θλιπτική αντοχή του.

Μέτρο της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος αποτελεί η **κάθιση** καθορισμένου όγκου του σκυροδέματος μετά τη συμβατική συμπίκνωσή του και περιγράφεται στην Ενότητα Α, Κεφ. 2.2 και στο Παράρτημα, Κεφ. Παραγωγή Σκυροδέματος..

Μέτρο της θλιπτικής αντοχής του σκληρυμένου σκυροδέματος είναι η συμβατική αντοχή του η οποία προσδιορίζεται σύμφωνα με τις συμβατικές απαιτήσεις που αναφέρονται στην Ενότητα Α, Κεφ. 1.

4.1.3 Βασικές Σχέσεις της Μελέτης

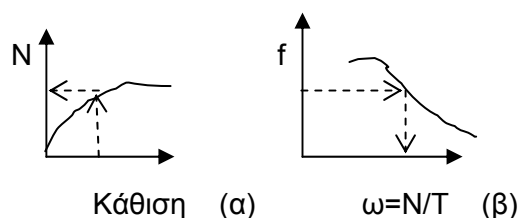
Ζητούμενα μεγέθη είναι τρία:

- Η ποσότητα **T** του τσιμέντου ,
- η ποσότητα **N** του νερού και
- η ποσότητα **A** των αδρανών.

Αναζητούνται τρεις σχέσεις με αγνώστους τα παραπάνω μεγέθη T, N και A.

Η πρώτη σχέση προκύπτει από τον ορισμό της μελέτης συνθέσεως και περιγράφει ότι οι ποσότητες T, N και A αντιστοιχούν σε 1 m^3 σκυροδέματος το οποίο, προκειμένου για σκυρόδεμα με ασβεστολιθικά αδρανή είναι της τάξεως του 2400 kg.

$$\text{❖ } T+N+ A = 2400 \quad (1)$$



Η δεύτερη σχέση προκύπτει από την σχέση εργασιμότητας και νερού η οποία συνήθως δίνεται γραφικά, όπως φαίνεται στο σχήμα (α).

Προκύπτει εύκολα μετρώντας την κάθιση δοκιμαστικών μιγμάτων με διάφορες ποσότητες νερού.

Η καμπύλη αυτή διαφοροποιείται αν αλλάξει η κοκκοδιαβάθμιση ή ο τύπος των αδρανών, ιδιαίτερα της άμμου.

Η τρίτη σχέση προκύπτει από τη σχέση αντοχής και του λόγου $\omega = N/T$, γνωστού ως υδατοσιμεντελεστή, η οποία δίνεται επίσης γραφικά, όπως φαίνεται στο σχήμα (β).

Προκύπτει μετρώντας την αντοχή δοκιμαστικών μιγμάτων με διάφορους λόγους ω .

Η καμπύλη αυτή διαφοροποιείται με τον τύπο του τσιμέντου.

4.1.4 Εύρεση Ποσοτήτων

Οι παραπάνω σχέσεις αποτελούν τις τρεις σχέσεις από την επίλυση των οποίων προκύπτουν οι ποσότητες T, N και A.

Για την εύρεση των επί μέρους κλασμάτων των αδρανών, για συνήθεις κοκκοδιαβαθμίσεις μπορεί να ακολουθείται η εξής αναλογία:

- Άμμος: 50% ,Γαρμπίλι: 30 %, Σκύρα: 20%

Αν η άμμος είναι λεπτόκοκκη η άμμος μειώνεται στο 40%, αν είναι χονδρόκοκκη αυξάνεται στο 60%.

Για σκυροδέματα για τα οποία δεν είναι γνωστό το ειδικό βάρος του νωπού μίγματος (με μη ασβεστολιθικά αδρανή) καθώς και για σκυροδέματα με ειδικές απαιτήσεις ακολουθείται ακριβέστερη μελέτη συνθέσεως όπως σχολιάζεται στο Παράρτημα, Κεφ. Σχεδιασμός σκυροδέματος.

Για συνήθη σκυροδέματα (με ασβεστολιθικά αδρανή και τσιμέντο ελληνικού τύπου) οι αναλογίες σύνθεσης του σκυροδέματος κυμαίνονται στα παρακάτω όρια:

- Τσιμέντο: 300 έως 450 kg
- Νερό: 180 έως 240 kg
- Αδρανή: 1700 έως 1900 kg.

4.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ

Αντοχή: Στη μελέτη του έργου απαιτείται κατηγορία σκυροδέματος C20.

Εργασιμότητα:

- Από τη μελέτη δεν προκύπτει ιδιαίτερη λεπτότητα των στοιχείων ούτε μεγάλη πυκνότητα του οπλισμού τους (κοινό οικοδομικό έργο)
- Από την οργάνωση του εργοταξίου προκύπτει ότι θα χρησιμοποιηθεί συνήθης εσωτερικός δονητής.

Με βάση τα παραπάνω επιλέγεται:

- Εργασιμότητα με τιμή κάθισης: 10 cm.
- Μέγιστος κόκκος αδρανών: 30 mm

Ειδικές Απαιτήσεις του Έργου

Δεν προκύπτουν ιδιαίτερες απαιτήσεις (όπως στεγανότητα, χημική ανθεκτικότητα, κλ.π).

Επιλέγονται οι συνήθεις ποιότητες των συστατικών:

Τσιμέντο: Ελληνικού τύπου

Νερό: Του δικτύου ύδρευσης

Αδρανή: Θραυστά ασβεστολιθικά σε τρία κλάσματα: άμμο, γαρμπίλι και σκύρα.

Ειδικές Συνθήκες Εργοταξίου

Δεν προκύπτουν ειδικές συνθήκες, όπως διάστρωση από μεγάλα ύψη, κλ.π και δεν

απαιτείται κάποια αλλαγή στις παραπάνω επιλογές.

Σχέσεις Υπολογισμού:

Από ορισμό μελέτης συνθέσεως:

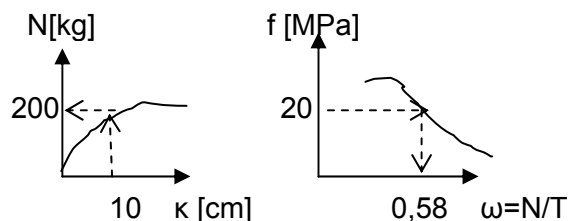
$$\Rightarrow T + N + A = 2400 \quad (1)$$

Από διάγραμμα N-κ (για θραυστά αδρανή):

$$\Rightarrow N = 200 \text{ kg} \quad (2)$$

Από διάγραμμα f_c - ω (για τσιμέντο τύπου II):

$$\Rightarrow \omega = N/T = 0,58 \quad (3)$$



Από τις σχέσεις (1),(2) και (3):

$$\Rightarrow T = 350 \text{ kg}, \\ N = 200 \text{ kg}, \\ A = 1850 \text{ kg}$$

Κλάσματα αδρανών

$$\begin{array}{l} \text{Άμμος : } 50 \% \Rightarrow 925 \text{ kg} \\ \text{Γαρμπίλι: } 20\% \Rightarrow 370 \text{ kg} \\ \text{Σκύρα: } 30\% \Rightarrow 555 \text{ kg} \\ \hline 1850 \text{ kg} \end{array}$$

4.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ

Η ποσότητα των πρόσθετων είναι πολύ μικρή και δεν λαμβάνεται υπόψη στον ποσοτικό προσδιορισμό των υλικών του σκυροδέματος.

Η παρουσία ρευστοποιητικών πρόσθετων επηρεάζει μόνον την τιμή της αρχικής εργασιμότητας του σκυροδέματος με την οποία θα υπολογιστεί η ποσότητα του νερού ανάμιξης:

- Αν χρησιμοποιηθεί απλό ρευστοποιητικό, το σκυρόδεμα θα σχεδιαστεί για εργασιμότητα περίπου 5-6 cm
- Αν χρησιμοποιηθεί υπερρευστοποιητικό, το σκυρόδεμα θα σχεδιαστεί για εργασιμότητα 2-3 cm.

Αυτές είναι οι μικρότερες τιμές της εργασιμότητας για τις οποίες μπορούν να ενεργοποιηθούν τα αντίστοιχα ρευστοποιητικά.

Η ποσότητα του πρόσθετου που θα χρησιμοποιηθεί θα προκύψει με προοδευτικές δοκιμές ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη τελική τιμή της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος.

Αν δεν χρησιμοποιηθούν ρευστοποιητικά προσθετα, ο σχεδιασμός του σκυροδέματος πρέπει να γίνει για την τελική τιμή της εργασιμότητας και θα προκύψει μεγάλη ποσότητα νερού ανάμιξης και, γι αυτό, και μεγάλη ποσότητα τσιμέντου.

Με τη χρησιμοποίηση του πρόσθετου θα προκύψει μικρότερη ποσότητα νερού (αφού το σκυρόδεμα θα σχεδιαστεί για μικρότερη εργασιμότητα) και, γιαυτό, μικρότερη ποσότητα τσιμέντου.

Παράδειγμα:

Στις αναλογίες της μελέτης συνθέσεως του παραδείγματος στο προηγούμενο κεφάλαιο αν χρησιμοποιηθούν ρευστοποιητικά πρόσθετα θα προκύψουν οι παρακάτω μεταβολές:

- Αν προστεθεί απλό ρευστοποιητικό:

Από διάγραμμα N-κ για τιμή κ = 5 cm (εργασιμότητα στην οποία ενεργοποιείται το απλό ρευστοποιητικό) προκύπτει:

$$\Rightarrow N = 185 \text{ kg} \quad (2\alpha)$$

Από σχέση (3) προκύπτει:

$$\Rightarrow T = 185: 0,58 = 318 \text{ kg}$$

Από τη σχέση (1) προκύπτει:

$$\Rightarrow A = 2400 - 185 - 318 = 1890 \text{ kg}$$

- Αν προστεθεί υπερρευστοποιητικό:

Από διάγραμμα N-κ για τιμή κ = 2 cm (εργασιμότητα στην οποία ενεργοποιείται το υπερρευστοποιητικό) προκύπτει:

$$\Rightarrow N = 175 \text{ kg} \quad (2\beta)$$

Από σχέση (3) προκύπτει:

$$\Rightarrow T = 175: 0,58 = 300 \text{ kg}$$

Από τη σχέση (1) προκύπτει:

$$\Rightarrow A = 2400 - 175 - 300 = 1920 \text{ kg}$$

Όπως φαίνεται από τη σύγκριση των ποσοτήτων νερού που προκύπτει χωρίς και με το πρόσθετο μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι:

- ❖ Τα ρευστοποιητικά πρόσθετα κατά κάποιον τρόπο είναι ισοδύναμα του νερού, αφού αντικαθιστούν μέρος του.

Το σκυρόδεμα με το πρόσθετο δεν είναι κατ'ανάγκη πιο οικονομικό, καθώς η οικονομία που προκύπτει από το λιγότερο τσιμέντο αντισταθμίζεται από το κόστος του πρόσθετου.

- ❖ Τα πλεονεκτήματα των ρευστοποιητικών είναι, κυρίως, τεχνολογικά στις περιπτώσεις που απαιτούνται μεγάλες εργασιμότητες ή μεγάλες αντοχές.

Λόγω της μικρότερης ποσότητας του νερού, αποφεύγεται ο διαχωρισμός του σκυροδέματος στην πρώτη περίπτωση και

λόγω της μικρότερης ποσότητας του τσιμέντου περιορίζονται οι χρόνιες παραμορφώσεις (συστολή ξηράνσεως και ερπυσμός) στην δεύτερη περίπτωση.

4.4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ

➤ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Κατηγορίες Σκυροδέματος:

C16/20 C20/25 C25/30

Εργασιμότητα: Κάθιση 10÷12 cm.

Πρόσθετες απαιτήσεις: Αντλησιμότητα.

➤ ΤΥΠΟΙ, ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

• Τύποι Υλικών

Αδρανή: Ασβεστολιθικά θραυστά σε τρία κλάσματα: άμμος-γαρμπίλι-χαλίκι

Τσιμέντο: Portland αμιγές τύπου I45 και Portland με προσθήκη πουζολάνης τύπου II35

Νερό: Πόσιμο δικτύου υδρεύσεως Αθήνας.

• Δειγματοληψία και Κοκκομετρία Υλικών

Τα αδρανή και το τσιμέντο προσκομίστηκαν από τον αιτούντα μέσα σε πλαστικούς σάκους βάρους 20 kg περίπου.

Οι σάκοι με το τσιμέντο έφεραν την ένδειξη “καθαρό” και “κοινό”.

Κατά δήλωση του αιτούντος αντιστοιχούν στους τύπους τσιμέντου I45 και II35, αντίστοιχα.

Δείγμα των αδρανών που προσκομίστηκε σε ιδιαίτερους σάκους, αντιπροσωπευτικό του συνόλου των αδρανών σύμφωνα με δήλωση του αιτούντα, κοκκοδιαβαθμίστηκε μετά από ξήρανση σε φούρνο σε 105° C επί 48 ώρες.

Οι κοκκομετρικές καμπύλες των επιμέρους κλασμάτων των αδρανών δίνονται στο τέλος.

➤ ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΟΥΣ

Δοκιμάστηκαν διάφορες αναλογίες ανάμιξης των επιμέρους κλασμάτων αδρανών.

Συνεκτικότερα μίγματα προέκυψαν για αναλογία ανάμιξης:

- άμμος 59%
- γαρμπίλι 13,5%
- χαλίκι 27,5%.

Αυτή η αναλογία χρησιμοποιήθηκε στα δοκιμαστικά μίγματα.

➤ ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

Παρασκευάστηκαν δοκιμαστικά μίγματα για τις συνθέσεις που φαίνονται στον πίνακα 1.

Από κάθε δοκιμαστικό μίγμα παρασκευάστηκαν έξι κυβικά δοκίμια ακμής 15 cm.

Χρησιμοποιήθηκαν πρότυπες χυτοσιδηρές μήτρες. Η συμπύκνωση έγινε σε δονητική τράπεζα. Τα δοκίμια συντηρήθηκαν για 3 μέρες εμβαπτισμένα σε νερό και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε υγρό θάλαμο.

Μια μέρα πριν τη θραύση αφέθηκαν εκτός υγρού θαλάμου στον εσωτερικό χώρο του εργαστηρίου.

Πίνακας 1: ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

α/α	τσιμέντο*	Νερό	ω	άμμος	Γαρμπίλι	Χαλίκι
A1	270	180	0,67	1060	250	600
A2	270	180	0,67	1060	250	600
B	280	180	0,64	1050	260	600
Γ	300	185	0,62	1040	260	600
Δ	310	185	0,60	1030	260	600
Ε	320	185	0,58	1030	260	600

➤ **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ**

Στον πίνακα 2 δίνονται οι τάσεις θραύσεως και τα ειδικά βάρη των δοκιμίων των δοκιμαστικών συνθέσεων.

Η μηχανή θραύσεως ήταν υδραυλική του οίκου Amsler 2000 kN.

Οι μορφές θραύσεως ήταν ομαλές.

Δεν παρατηρήθηκαν κενά συμπύκνωσης ή διαστρωμάτωση αδρανών λόγω απόμιξης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

No	Σύνθεση	A1	A2	B	Γ	Δ	Ε
1		29,8	31,2	33,0	35,3	35,8	36,8
2		31,1	31,2	32,1	35,0	36,3	37,1
3		29,5	30,5	32,8	34,0	36,0	36,3
4		29,8	30,1	32,8	34,1	36,7	37,5
5		28,6	30,0	31,5	34,5	35,0	37,0
6		31,0	31,7	33,0	34,5	35,5	37,9
	Μ.Ο. Αντοχής MPa	30,0	30,1	32,5	34,6	35,9	37,1
	Μ.Ο. Βάρους kN/m ³	23,7	23,7	23,8	23,9	24,0	24,1

➤ **ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΣΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ**

Ελείπει στατιστικών στοιχείων, σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας σκυροδέματος υιοθετείται τυπική απόκλιση παραγωγής 5 MPa.

Οι απαιτούμενες μέσες αντοχές κύβου για τις ποιότητες C16/20, C20/25 και C25/30 προκύπτουν 25 MPa, 30 MPa και 35 MPa, αντίστοιχα.

➤ **ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ**

Βάσει των αποτελεσμάτων αντοχής των δοκιμαστικών μιγμάτων και των απαιτούμενων μέσων αντοχών, για τα συσχεκκριμένα αδρανή και τσιμέντο που προσκομίστηκαν προτείνονται οι παρακάτω συνθέσεις:

α/α	Κατηγορία	Τσιμέντο	Νερό	Άμμος	Γαρμπίλι	Χαλίκι	[kg]
1	C16/20	270	180	1060	250	600	
2	C20/25	270	180	1060	250	600	
3	C25/30	300	185	1040	260	600	

*Το τσιμέντο ήταν τύπου Ι45 εκτός από τη σύνθεση Α1 στην οποία χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο 50% τύπου Ι45 και 50% τύπου Ι Ι35.

Υιοθετήθηκε ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου 270 kg για λόγους ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας σκυροδέματος

