



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.):

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

**ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ
ΣΕ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΚΑΙ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΟΥΚΟΥΛΗ Ι. ΙΩΑΝΝΑ

Διπλωματούχου Πολιτικού Μηχανικού

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Γ. ΜΠΑΤΗΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.):
"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ ΣΕ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΟΥΚΟΥΛΗ Ι. ΙΩΑΝΝΑ

Διπλωματούχου Πολιτικού Μηχανικού

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Γ.ΜΠΑΤΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δ. ΠΑΝΤΕΛΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Α.ΚΑΡΑΝΤΩΝΗΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Κύριο Γεώργιο Μπατή για την βοήθεια που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια της εκπόνησής της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τις Διδακτορικές Φοιτήτριες Αγγελική Ζαχαροπούλου, Ευγενεία Ζαχαροπούλου και Αρχοντία Ζαφειροπούλου για την βοήθεια που μου προσέφεραν καθ' όλη την διάρκεια της Μεταπτυχιακής Εργασίας.

Και τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξή τους στις σπουδές μου όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σκυρόδεμα είναι το υλικό που παρουσιάζει την ευρύτερη χρήση από όλα τα άλλα δομικά υλικά τόσο στη χώρα μας όσο και διεθνώς, με παγκόσμια κατανάλωση που κυμαίνεται γύρω στα 5.5 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως. Το σκυρόδεμα παρουσιάζει πολύ υψηλή αντοχή στη θλίψη, αλλά η εφελκυστική του αντοχή είναι χαμηλή.

Για την ενίσχυσή του συνεπώς χρησιμοποιείται ο χάλυβας, και έτσι προκύπτει ο όρος οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο χάλυβας όμως με την πάροδο του χρόνου διαβρώνεται προκαλώντας σοβαρές ζημιές στις κατασκευές με αποτέλεσμα να χρειάζονται επισκευές, κάτι το οποίο κοστίζει αρκετά.

Κάτι το οποίο ενισχύει την διάβρωση του χάλυβα, είναι το NaCl το οποίο μπορεί να περιέχεται μέσα στο νερό ανάμιξης του σκυροδέματος. Για τον λόγο αυτό γίνονται έρευνες για να βρεθεί ποια είναι η ποσότητα NaCl που μπορεί να περιέχεται μέσα στο νερό και δεν θα προκαλέσει προβλήματα στην κατασκευή.

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι να γίνει εξέταση της θλιπτικής αντοχής σε σχέση με τα συστατικά του σκυροδέματος, και να εξεταστεί η επίδραση στις μηχανικές αντοχές του, που έχει η χρήση NaCl και MgSO₄ στο νερό ανάμειξης του σκυροδέματος.

ABSTRACT

Concrete is a material that is widely used among other building materials in Greece, as well as internationally, and its worldwide annual consumption reaches the number of 5,5 billion tones. Concrete shows very high durability in compression, but its tensile strength is low.

Steel is used for the reinforcing of concrete, and that is how the term reinforced concrete results. After a considerable lapse of time, steel tends to show corrosion and serious damages in constructions take place, as a result all the necessary repairs cost a considerable amount of money.

NaCl can reinforce the corrosion of steel and it is usually a part of the water that is used for the mixture of concrete. For these reasons, academic research is taking place to calculate the quantity of NaCl allowed in the water, so that there will be no significant problems with the construction.

The aim of this dissertation is to examine the compression strength of concrete in comparison with the ingredients of concrete as well as to examine the effect of NaCl and $MgSO_4$ usage in the water that is used for the mixture of the concrete.

<u>Κεφάλαιο 1 : Τσιμέντο</u>	<u>3</u>
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Τύποι και Σύσταση Τσιμέντου.....	4
1.3 Αντοχές Τσιμέντων	6
1.4 Ενυδάτωση τσιμέντου Portland.....	7
1.5 Μηχανισμός ενυδάτωσης	7
1.6 Θερμότητα ενυδάτωσης	10
1.7 Η ενυδάτωση των σύνθετων τσιμέντων Portland	11
<u>Κεφάλαιο 2 : Νερό Ανάμιξης - Αδρανή</u>	<u>14</u>
2.1 Νερό ανάμιξης.....	14
2.1.1 Προκαταρκτικοί Έλεγχοι EN 1008	15
2.2 Αδρανή	16
2.2.1 Γενικά	16
2.2.2 Προέλευση αδρανών	17
2.2.3 Κατηγορίες αδρανών ανάλογα με το μέγεθός τους.....	18
2.2.4 Ποιότητα των αδρανών υλικών	20
2.2.5 Κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών υλικών.....	21
2.2.6 Κοκκομετρική Διαβάθμιση	22
<u>Κεφάλαιο 3 : Σκυρόδεμα.....</u>	<u>29</u>
3.1 Γενικά.....	29
3.2 Νωπό Σκυρόδεμα	30
3.3 Αναλογία ανάμιξης των υλικών	30
3.4 Πρόσθετα του Σκυροδέματος.....	32
3.5 Αναστολείς Διάβρωσης.....	34
3.5.1 Σύγκριση της μεθόδου των αναστολέων διάβρωσης με άλλες μεθόδους προστασίας του οπλισμού από διάβρωση	37
3.6 Μεταφορά και διάσπρωση του σκυροδέματος.....	38

3.6.1 Ανάμειξη σκυροδέματος και μεταφορά στο έργο -Έτοιμο σκυρόδεμα	39
3.7 Μέθοδος πειραματικού ελέγχου αντοχής.....	41
3.8 Συμπύκνωση του σκυροδέματος.....	42
3.9 Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σε θλίψη	44
3.9.1 Το σκυρόδεμα υπό φόρτιση.....	45
3.9.2 Συμπεριφορά σε μονοαξονική θλίψη	45
3.10 Μέθοδοι μη καταστρεπτικού Ελέγχου (Εμμεσες Μέθοδοι)	48
3.10.1 Το κρουσίμετρο αναπήδησης Schmidt.....	48
3.10.2 Δοκιμή ταχύτητας υπερήχων.....	50
3.10.3 Εξόλκευση Ήλου	51
3.10.4 Άλλες μέθοδοι	52
3.11 Ταξινόμηση σκυροδεμάτων	53
3.12 Το πορώδες.....	57
3.13 Συντήρηση σκυροδέματος.....	60
3.14 Η Φθορά σκυροδέματος.....	62
3.14.1 Δράση χλωριόντων	64
3.14.2 Επίδραση θεικών	65
3.14.3 Σκυρόδεμα σε θαλασσινό νερό	67
<u>Κεφάλαιο 4 : Πειραματική διαδικασία.....</u>	<u>72</u>
4.1 Κατασκευή δοκιμίων.....	72
4.2 Κρουσιμέτρηση.....	92
4.3 Επεξεργασία Αποτελεσμάτων.....	92
4.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.	103
4.4 Συμπεράσματα.....	104
<u>Βιβλιογραφία.....</u>	<u>105</u>

Κεφάλαιο 1 : Τσιμέντο

1.1 Γενικά

Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος είναι βιομηχανικό κοκκώδες υλικό σε μορφή σκόνης που όταν αναμιχθεί με το νερό σε κατάλληλη αναλογία σχηματίζει πολτό που πήζει, σκληρύνεται και κατόπιν διατηρεί το σχήμα και την αντοχή του ακόμα και μέσα στο νερό. [2]

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 197 – 1 δίνει τον παρακάτω ορισμό για το τσιμέντο:

Τσιμέντο είναι μία υδραυλική κονία, δηλαδή ένα λεπτοαλεσμένο ανόργανο υλικό, το οποίο όταν αναμιχθεί με νερό σχηματίζει μία πάστα που λόγω των αντιδράσεων ενυδάτωσης πήζει και σκληρύνεται έχοντας την ικανότητα να διατηρεί τις αντοχές της και την σταθερότητα της ακόμα και κάτω από το νερό.

Ως κύρια συστατικά, εκτός του κλίνκερ του τσιμέντου Πόρτλαντ (K) το οποίο έχει και τον δεσπόζοντα ρόλο, χρησιμοποιούνται η κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων (S), διάφορα ποζολανικά υλικά φυσικά (P) ή φυσικά ψημένα (Q), διάφορες τέφρες πυριτικές (V) ή ασβεστούχες (W), ψημένος σχιστόλιθος – burnt shale (T), ασβεστόλιθος (L ή LL) και πυριτική παιπάλη – silica fume (D).

Τα δευτερεύοντα συστατικά (minor additional constituents - mac) επιτρέπεται να προστεθούν σε μικρά ποσοστά στα οποία περιλαμβάνονται και τα υλικά που είναι γνωστά και ως γεμιστικά (fillers). Για τα mac επιτρέπεται η ενσωμάτωση έως 5% κατά βάρος στο τσιμέντο, ενώ σε άλλες χώρες κρατούν το ποσοστό αυτό στο 3%. Ως mac κυρίως χρησιμοποιείται ένα από τα συστατικά, προσθήκη των οποίων γίνεται σε υψηλότερο ποσοστό στους αντίστοιχους τύπους τσιμέντου όπως σκωρία υψικαμίνων, φυσική ποζολάνη ηφαιστειογενούς προέλευσης, βιομηχανική ποζολάνη, ιπτάμενες τέφρες, burnt shale, ασβεστόλιθοι, silica fume και φίλλερ.

Fillers είναι ειδικά επιλεγμένα φυσικά ή τεχνητά ανόργανα ορυκτά υλικά τα οποία μετά από κατάλληλη προετοιμασία που στοχεύει στην κοκκομετρική τους κατανομή, βελτιώνουν φυσικές ιδιότητες του τσιμέντου όπως π.χ. είναι η εργασιμότητά του, ενώ παράλληλα δεν αυξάνουν την απαίτησή του σε νερό και δεν επηρεάζουν αρνητικά

την ανθεκτικότητα των σκυροδεμάτων ή των κονιαμάτων. Είναι αδρανή ή έχουν ασθενείς υδραυλικές ή λανθάνουσες υδραυλικές ή ποζολανικές ιδιότητες χωρίς να πρέπει να υπακούουν σε συγκεκριμένες απαιτήσεις.

Το **θεικό ασβέστιο** προστίθεται στα άλλα συστατικά του τσιμέντου κατά την τελική άλεση σε κλίνκερ με σκοπό να ρυθμίσει την πήξη του τσιμέντου. Το ακριβές ποσοστό προσθήκης εξαρτάται από την περιεκτικότητα των κύριων συστατικών σε SO₃ καθώς και από τα θειικά του καυσίμου, συνήθως όμως κυμαίνεται μεταξύ 4 - 5% του βάρους του κλίνκερ.

Το θεικό ασβέστιο μπορεί να προστεθεί κυρίως ως γύψος (CaSO₄·2H₂O) που είναι και η περισσότερο συνηθισμένη μορφή, καθώς επίσης και ως ημιυδρική (CaSO₄·1/2H₂O) ή ως ανυδρίτης (CaSO₄) που πολλές φορές υπάρχει ως παραπροϊόν διαφόρων βιομηχανικών διαδικασιών.

Ως **πρόσθετα** χαρακτηρίζονται τα συστατικά που προστίθενται στο τσιμέντο και δεν ανήκουν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες. Ο σκοπός προσθήκης τους είναι να βελτιώσουν είτε την παραγωγική διαδικασία είτε τις ιδιότητες του τσιμέντου. Η ποσότητα των προσθέτων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1% κ.β. του τσιμέντου για ανόργανα πρόσθετα ή το 0.5% κ.β. για οργανικά πρόσθετα. Τα πρόσθετα αυτά δεν πρέπει να προκαλούν διάβρωση του οπλισμού ή να επιβαρύνουν τις ιδιότητες του τσιμέντου καθώς και των σκυροδεμάτων ή κονιαμάτων που προκύπτουν από αυτό.
[3]

1.2 Τύποι και Σύσταση Τσιμέντου

Τα κοινά τσιμέντα που προδιαγράφονται στο **Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 197 – 1** υποδιαιρούνται στους παρακάτω πέντε κύριους τύπους :

CEM I , Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II , Σύνθετα τσιμέντα Πόρτλαντ
CEM III , Σκωριοτσιμέντα
CEM IV, Ποζολανικά Τσιμέντα
CEM V, Σύνθετα Τσιμέντα

Πίνακας 1 : Πέντε κύριοι τύποι τσιμέντου

Από τους πέντε τύπους τον χαρακτηρισμό του Πόρτλαντ έχουν οι δύο πρώτοι τύποι όπου το κλίνκερ, που είναι το βασικό συστατικό του τσιμέντου, συμμετέχει τουλάχιστον κατά 65 %. Στα κατηγορίες τσιμέντων του τύπου II, εκτός από τα τσιμέντα με silica fume, διακρίνονται δύο ομάδες Α και Β ανάλογα με ποσοστό προσθήκης του μετά το κλίνκερ κύριου συστατικού από το οποίο έχει πάρει και την ονομασία της η κατηγορία. Στην Α το ποσοστό του κλίνκερ δεν μπορεί να είναι μικρότερο από 80%, ενώ στην Β αυτό κατεβαίνει στο 65%. Τα ποσοστά αυτά διαφοροποιούνται στους τρεις τελευταίους τύπους τσιμέντου σε πολλούς από τους οποίους το κλίνκερ δεν είναι το κύριο συστατικό.

Τσιμέντο Πόρτλαντ CEM I : χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση Κλίνκερ και γύψου. Στα τσιμέντα αυτά επιτρέπεται η προσθήκη φίλλερ μέχρι 3% κατά βάρος, οπότε το κλίνκερ μαζί με το γύψο πρέπει να είναι τουλάχιστον το 97% κατά βάρος.

Τσιμέντα Πόρτλαντ με ποζολάνη CEM II : χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ Πόρτλαντ, φυσικής ή τεχνητής ποζολάνης και του απαραίτητου γύψου. Το ποσοστό της ποζολάνης ορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα (AY) του τσιμέντου που πρέπει να είναι κατά 20%. Τα τσιμέντα αυτά δεν είναι απαραίτητο να ικανοποιούν τη δομική ποζολανικότητα.

Σκωριοτσιμέντα CEM III : χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την συνάλεση του κλίνκερ, γύψου και σκωρίας μόνο σε ποσοστό από 36-95% κατά μέγιστο.

Ποζολανικά Τσιμέντα Πόρτλαντ CEM IV : χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ – Πόρτλαντ, φυσικής ή τεχνητής ποζολάνης και του απαραίτητου γύψου. Το ποσοστό της ποζολάνης ορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα (AY) του τσιμέντου που πρέπει να είναι από 20-40%. Τα τσιμέντα αυτά συνιστώνται ιδιαίτερα για ογκώδη έργα όπου απαιτείται χαμηλός βαθμός θερμότητας ενυδάτωσης ή βελτιωμένη αντοχή έναντι διαβρωτικών μέσων. Τα τσιμέντα αυτά πρέπει να ικανοποιούν τη δοκιμή ποζολανικότητας. [3]

Σύνθετα Τσιμέντα CEM V : χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την συνάλεση κλίνκερ, γύψου, σκωρίας και σε ίσο ποσοστό ποζολάνης φυσική ή ψημένη

ή πυριτική ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστά από 36-50% κατά μέγιστο. Δεν μπορεί να περιέχει πυριτική παιπάλη. [8]

1.3 Αντοχές Τσιμέντων

Οι κανονικές αντοχές του τσιμέντου είναι οι θλιπτικές που προσδιορίζονται σε συμφωνία με το EN 196 – 1 στις 28 ημέρες και θα πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις που δίνονται στον Πίνακα 2. Έχουν θεσπιστεί τρεις κατηγορίες αντοχών : 32.5 N/mm², 42.5 N/mm² και 52.5 N/mm².

Κατηγορία αντοχών (ονομαστική)	Αντοχή σε θλίψη (N/mm ²)			Αρχή πήξης (min)	Διόγκωση (mm)
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες		
32.5N	-	≥16	32.5-52.5	≥75	≤10
32.5R	≥10	-	32.5-52.5		
42.5N	≥10	-	42.5-62.5	≥60	
42.5R	≥20	-	42.5-62.5		
52.5R	≥20	-	≥52.5	≥45	
52.5R	≥30	-	≥52.5		

Πίνακας 2 : Μηχανικές και φυσικές απαιτήσεις τσιμέντων στο EN 197-1

Οι πρώιμες αντοχές μετρώνται στις 2 ημέρες εκτός από την κατηγορία 32.5 όπου και μετρώνται στις 7 ημέρες. Για κάθε κατηγορία προβλέπονται δύο τάξεις πρώιμων αντοχών, η πρώτη αναφέρεται στις κανονικές πρώιμες αντοχές (συμβολισμός με το γράμμα N), και η άλλη συμβολίζεται με το γράμμα R στις μεγάλες πρώιμες αντοχές ή διαφορετικά αντιστοιχεί σε τσιμέντα ταχείας ανάπτυξης αντοχών.

Όσον αναφορά τις φυσικές ιδιότητες προβλέπεται ο έλεγχος μόνο της αρχής χρόνου πήξης και της σταθερότητας του όγκου. Και τα δύο αυτά μεγέθη πρέπει να καλύπτουν τις απαιτήσεις του Πίνακα 2. [3]

Συντμήσεις

Επειδή οι ενώσεις που απαρτίζουν το κλίνκερ είναι και πολλές και πολύπλοκες, για την καταγραφή των αντιδράσεων και για την καλύτερη εξήγηση των φαινομένων ενυδάτωσης, έχει διεθνώς επικρατήσει η χρήση των παρακάτω συντμήσεων :

C = CaO	A = Al₂O₃	S = SiO₂	F = Fe₂O₃
M = MgO	H = H₂O	N = Na₂O	K = K₂O
P = P₂O₅	T = TiO₂	Č = CO₂	Ś = SO₃

1.4 Ενυδάτωση τσιμέντου Portland

Στην χημεία ο όρος «ενυδάτωση» υποδηλώνει το σύνολο των αλλαγών που πραγματοποιούνται όταν άνυδρο τσιμέντο, ή κάποιο από τα συστατικά του, αναμιγνύεται με νερό. Η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι μία διαδικασία περισσότερο πολύπλοκη από την απλή μετατροπή άνυδρων ενώσεων στις αντίστοιχες ενυδατωμένες και περιλαμβάνει ένα σύνολο χημικών και φυσικο-χημικών μεταβολών που έχουν ως αποτέλεσμα την πήξη και την ανάπτυξη αντοχών του συστήματος τσιμέντο – νερό. [3]

1.5 Μηχανισμός ενυδάτωσης

Η ενυδάτωση του τσιμέντου αρχίζει αμέσως μετά την ανάμιξη και προχωρεί από την επιφάνεια των κόκκων προς το εσωτερικό τους με συνεχώς επιβραδυνόμενους ρυθμούς, συνεχίζεται δε για διάστημα πολλών ετών. Λόγω της διαφορετικής τους σύνθεσης, τα συστατικά του τσιμέντου ενυδατώνονται με διαφορετικούς ρυθμούς. Έτσι, αργιλικά συστατικά είναι κυρίως υπεύθυνα για την απώλεια ρευστότητας και την πήξη του τσιμεντοπολτού, ενώ τα πυριτικά, που καταλαμβάνουν και το μεγαλύτερο ποσοστό παίζουν κυρίαρχο ρόλο στη σκλήρυνση, δηλαδή στο ρυθμό ανάπτυξης της αντοχής.

Τα προϊόντα της αντίδρασης των βασικών συστατικών του τσιμέντου (C₃S, C₂S, C₃A και C₄AF) με νερό δίνονται παρακάτω. Ας σημειωθεί ότι η ακριβής και τελική μορφή των ενώσεων είναι καθορισμένη.

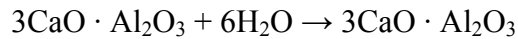
Για το C₃S :



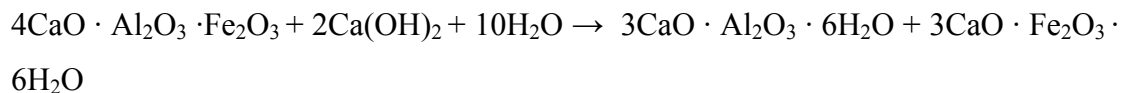
Για το C₂S :



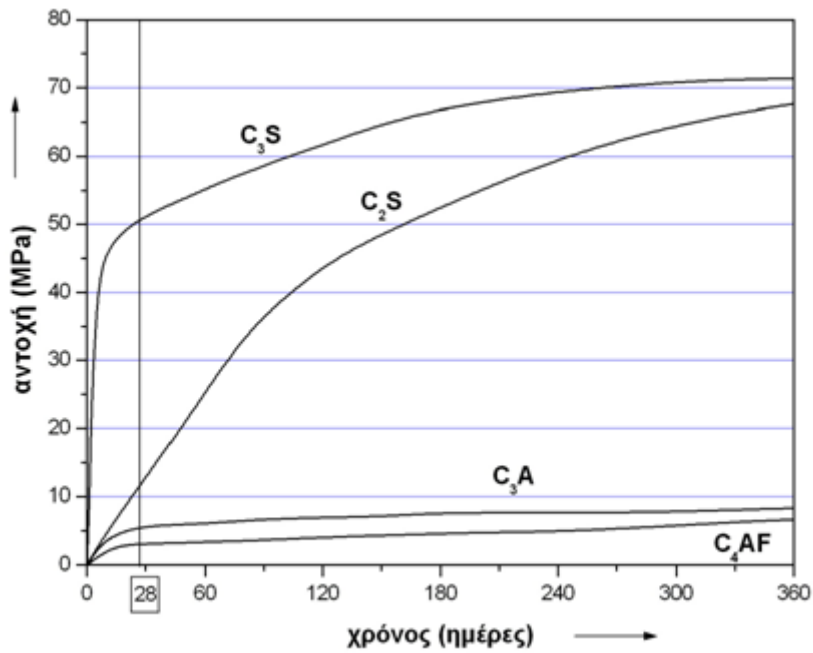
Για το C₃A :



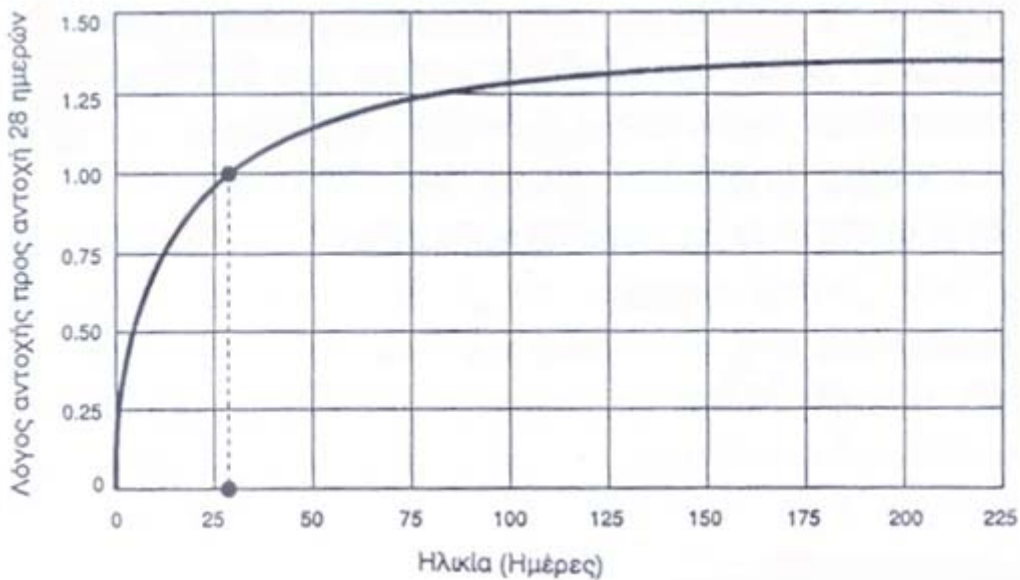
Για το C₄AF :



Τα προϊόντα της ενυδάτωσης σχηματίζουν το πήγμα, που καταλαμβάνει όγκο κατά 60% περίπου μεγαλύτερο από αυτόν του τσιμέντου. Έτσι, με την πρόοδο της ενυδάτωσης γεμίζουν τα κενά και δημιουργούνται επαφές μεταξύ κόκκων και των κρυστάλλων του πήγματος. Υπενθυμίζεται ότι αποτέλεσμα της ενυδάτωσης είναι η ανάπτυξη κυρίως δεσμών Van der Waals, που έχουν μικρή ένταση μεταξύ των κόκκων και σχετικά μεγάλη ακτίνα δράσης συνδέοντας γειτονικούς κρυστάλλους, και ιοντικών δεσμών, που ουσιαστικά αναπτύσσονται μόνο στα σημεία επαφής των κρυστάλλων αλλά έχουν μεγαλύτερη ένταση. Σε αυτούς τους δεσμούς οφείλεται η μονολιθικότητα και η αντοχή του τσιμεντοπολτού, η οποία παρακολουθεί την πρόοδο της ενυδάτωσης όπως δίνεται στο Σχήμα 1 για τα κύρια συστατικά του τσιμέντου και στο Σχήμα 2 για τον τσιμεντοπολτό συνολικά.



Σχήμα 1 : Συμβολή των συστατικών του τσιμέντου στην εξέλιξη της αντοχής του τσιμεντοπολτού



Σχήμα 2 : Εξέλιξη της αντοχής του τσιμεντοπολτού

Τέλος, το νερό που συνδέεται χημικά με το τσιμέντο αποτελεί το 25-30% του βάρους του τελευταίου, ενώ αυτό που συγκρατείται στους πόρους του τσιμεντοπολτού αποτελεί το 10-15%. Για να γίνει πλήρης ενυδάτωση ο λόγος N/T πρέπει να είναι

περίπου 0.42, οπότε και παραμένουν τριχοειδείς πόροι άδαιοι από νερό καταλαμβάνοντας όγκο περίπου ίσο με 8% του όγκου του τσιμεντοπολτού. [2]

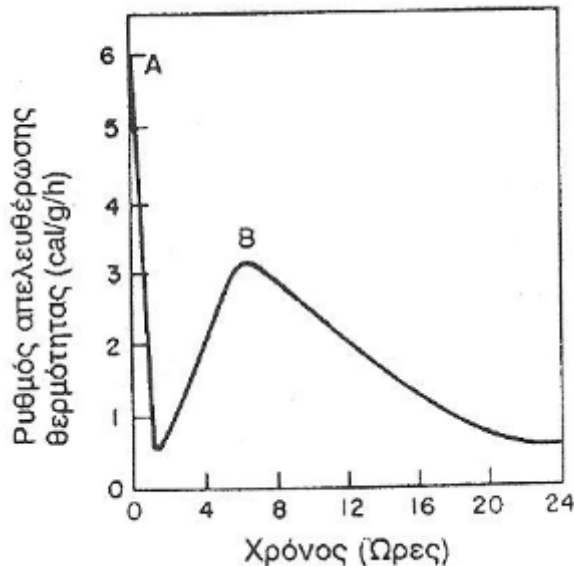
1.6 Θερμότητα ενυδάτωσης

Η ενυδάτωση των συστατικών του τσιμέντου είναι εξώθερμη χημική αντίδραση με μέγιστο ρυθμό έκλυσης θερμότητας μία έως δύο ημέρες μετά την ανάμιξη. Το 50% περίπου της συνολικής θερμότητας εκλύεται μέχρι την τρίτη ημέρα, το 75% περίπου μέχρι την εβδομή και το 85-90% περίπου μέχρι τους 6 μήνες. Η συνολική ποσότητα θερμότητας εξαρτάται από τη σύσταση του τσιμέντου και είναι, σε πρώτη προσέγγιση, ίση με το άθροισμα των ποσοτήτων θερμότητας που αντιστοιχούν στην ενυδάτωση των συστατικών του τσιμέντου ξεχωριστά, οπότε και ο έλεγχός της είναι εν μέρει δυνατός με κατάλληλη σύνθεση του τσιμέντου. Ενδεικτικές τιμές δίνονται στον Πίνακα 3.

<u>Συστατικό</u>	<u>3 ημέρες</u>	<u>90 ημέρες</u>	<u>13 χρόνια</u>
C₃S	58	104	122
C₂S	12	42	59
C₃A	212	311	324
C₄AF	69	98	102

Πίνακας 3 : Θερμότητες ενυδάτωσης (cal/g) των συστατικών του τσιμέντου.

Ο ρυθμός της θερμότητας ενυδάτωσης κατά τα στάδια πήξης και αρχικής σκλήρυνσης του τσιμεντοπολτού είναι έντονος στα πρώτα λεπτά ενυδάτωσης (γεγονός που αντιστοιχεί στην ενυδάτωση αργλικών και θεικών συστατικών), κατόπιν μειώνεται απότομα, έπειτα αρχίζει να αυξάνεται (αρχική πήξη) σχεδόν γραμμικά μέχρι τις πρώτες 4-8 ώρες ενυδάτωσης (ενώ σχηματίζεται ετρινγκίτης), οπότε ολοκληρώνεται η τελική πήξη, και το τέλος αρχίζει πάλι να μειώνεται με την έναρξη της σκλήρυνσης. (Σχήμα 3)



Σχήμα 3 : Ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας κατά την πήξη και αρχική σκλήρυνση

Για συγκεκριμένη σύνθεση τσιμέντου, η συνολική θερμότητα ενυδάτωσης εξαρτάται σημαντικά από τη θερμοκρασία (π.χ. για τα συνηθισμένα τσιμέντα είναι περίπου 75 cal/g τσιμέντου στους 5 °C και περίπου 160 cal/g στους 40 °C). Τέλος, η θερμότητα ενυδάτωσης είναι πιθανό να αποτελέσει αιτία ρηγμάτωσης, όπως π.χ. σε ογκώδη στοιχεία από σκυρόδεμα (π.χ. μεγάλα θεμέλια, βάθρα, φράγματα), όπου η θερμότητα που παράγεται στο εσωτερικό καθυστερεί να μεταφερθεί στην επιφάνεια και από εκεί στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να ρηγματώνεται το σκυρόδεμα λόγω διαφορετικής θερμικής συστολής. Για την αποφυγή αυτής της ρηγμάτωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί τσιμέντο με μειωμένη περιεκτικότητα σε C_3S και C_3A . Αντίθετα, σε περίπτωση σκυροδέτησης σε χαμηλές θερμοκρασίες η θερμότητα ενυδάτωσης μπορεί να παίζει ευεργετικό ρόλο, γιατί με κατάλληλη μόνωση μπορεί να προστατεύσει το έργο από τον παγετό κατά τα πρώτα στάδια πήξης. [2]

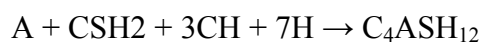
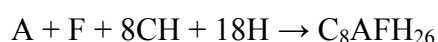
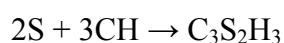
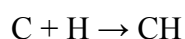
1.7 Η ενυδάτωση των σύνθετων τσιμέντων Portland

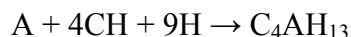
Τα υλικά που συνήθως προστίθεται στα σύνθετα τσιμέντα Πόρτλαντ συνίστανται από τα ίδια οξείδια (κυρίως SiO_2 και Al_2O_3) με τα τσιμέντα Πόρτλαντ, αλλά σε διαφορετικά ποσοστά και ορυκτολογικές συνθέσεις. Το κοινό χαρακτηριστικό για όλα αυτά τα υλικά είναι η ποζολανική αντίδραση, δηλαδή η αντίδραση τους με το $Ca(OH)_2$ που προκύπτει από τις αντιδράσεις ενυδάτωσης των κύριων ορυκτολογικών συστατικών του κλίνκερ.

Είναι προφανές ότι δεν εμφανίζουν ποζολανική δράση όλα τα πυριτικά και τα αργιλικά ορυκτά. Είναι γνωστό ότι τα κρυσταλλικά ορυκτά π.χ. χαλαζίας και το κορούνδιο ή διάφορα αργιλοπυριτικά όπως ο σιλλιμανίτης και ο μουλίτης δεν αντιδρούν με διάλυμα $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σε θερμοκρασία δωματίου. Μόνον όταν τα πυριτικά και τα αργιλικά ορυκτά βρεθούν με τη μη κρυσταλλική τους μορφή (άμορφη ή υαλώδη) και σε λεπτόκοκκο διαμερισμό, μπορούν να αντιδράσουν με αργό ρυθμό σε αλκαλικά διαλύματα με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$, συμβάλλοντας στην ενυδάτωση. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις συνθήκες ενυδάτωσης του τσιμέντου Πόρτλαντ, όπου τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά είναι αισθητά κρυσταλλικά αλλά αποσυντίθενται ταχέως στο νερό για να εξασφαλίσουν τα επιθυμητά ιόντα για το σχηματισμό των ένυδρων φάσεων. Συνεπώς θα πρέπει να τονισθεί με έμφαση ότι το ποσοστό της περιεχόμενης υαλώδους φάσης και το μέγεθος των σωματιδίων προσδιορίζουν καλύτερα από την χημική σύσταση αφενός μεν εάν ένα συστατικό μπορεί να αντιδράσει με την άσβεστο και αφετέρου δε πόσο γρήγορα αυτό το συστατικό θα αντιδράσει με την άσβεστο.

Η ποζολανική δραστηριότητα δεν οριοθετείται μόνο από την αλληλεπίδραση $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και πυριτίου αλλά περιλαμβάνει όλες τις ποζολανικές και υδραυλικές αντιδράσεις στο σύστημα $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3 - \text{H}_2\text{O}$. Γίνεται γενικά αποδεκτό ότι η διαφορά μεταξύ ποζολανικών αντιδράσεων και των αντιδράσεων ενυδάτωσης του τσιμέντου σχετίζεται περισσότερο με τα αντιδρώντα σώματα και την ταχύτητα της αντίδρασης και λιγότερο με το χαρακτήρα των προϊόντων της ενυδάτωσης. Ειδικότερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στη φύση των δραστικών συστατικών των ποζολανών και ειδικότερα στο ποσοστό και τη μορφή της υαλώδους φάσης. Αν και τα κρυσταλλικά συστατικά, όπως C_3A και $\text{C}_4\text{A}_3\hat{\text{S}}$, είναι δραστικές.

Σε απλοποιημένη μορφή οι αντιδράσεις ενυδάτωσης που χαρακτηρίζουν την ποζολανική δραστηριότητα μπορούν να αποδοθούν από τις ακόλουθες αντιδράσεις :





Σε αυτό το σχήμα παίρνουν μέρος μόνο τα ποσοστά των οξειδίων των ποζολανικών υλικών που βρίσκονται σε μη κρυσταλλική μορφή. Ο προσδιορισμός των ποσοστών των οξειδίων γίνεται είτε με περίθλαση ακτίνων X είτε με χημικές μεθόδους. Το $Ca(OH)_2$ που αντιδρά προέρχεται τόσο από το CaO της ποζολάνης, αλλά κύρια από το παραγόμενο $Ca(OH)_2$ από την ενυδάτωση του κλίνκερ. Η αντικατάσταση μέρους του τσιμέντου Πόρτλαντ από ποζολάνη χαμηλής περιεκτικότητας σε CaO έχει ως αποτέλεσμα τη δέσμευση μέρους του $Ca(OH)_2$ που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου από τα ελεύθερα οξείδια S, A, F της ποζολάνης. Το δεσμευόμενο αυτό $Ca(OH)_2$ μετατρέπεται τελικά σε CSH μικρότερης πυκνότητας και με την μετατροπή αυτή εξηγούνται πολλές ιδιότητες των σκυροδεμάτων που προέρχονται από σύνθετα τσιμέντα.

Σε μία απλουστευμένη απόδοση, η ενυδάτωση των ποζολανών, συγκρινόμενη με αυτή του τσιμέντου Πόρτλαντ, θα μπορούσε να αποδοθεί με τις παρακάτω δύο γενικές αντιδράσεις :

Τσιμέντο Πόρτλαντ (ταχεία)	$C_3S + aq \rightarrow C - S - H + CH$
Τσιμέντο Πόρτλαντ με ποζολάνη (αργή)	Ποζολάνη + CH + aq \rightarrow C- S -H

Η χρήση τσιμέντων με ποζολάνες (φυσικές ποζολάνες ή παραπροϊόντα με ποζολανικές ιδιότητες) έχει ως στόχο τη βελτίωση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος μέσω μείωσης της θερμότητας ενυδάτωσης, του ποσοστού του υδροξειδίου του ασβεστίου και του πορώδους. Ειδικότερα :

- Η ποζολανική αντίδραση είναι αργή και ως εκ τούτου η εκλύομενη θερμότητα μειώνεται με αντίστοιχη μείωση του κινδύνου ρηγμάτωσης του υλικού. Παράλληλα βέβαια και η ανάπτυξη των αντοχών στις πρώιμες ηλικίες επιβραδύνεται.
- Η ποζολανική αντίδραση καταναλώνει υδράσβεστο, γεγονός που έχει ιδιαίτερη σημασία όσον αφορά την ανθεκτικότητα των κατασκευών, αφού το $Ca(OH)_2$ είναι υδατοδιαλυτό και πολύ δραστικό χημικά.

- Το πορώδες και η διαπερατότητα των κατασκευών μειώνεται σημαντικά και αυτό αποδεικνύεται από τη μελέτη της κατανομής των πόρων των προϊόντων ενυδάτωσης των σύνθετων τσιμέντων. Οι βελτιωμένες αυτές ιδιότητες αποδίδονται αφενός μεν στην αντικατάσταση των πυκνών κρυστάλλων του υδροξειδίου του ασβεστίου με το επιπρόσθετο C –S –H που έχει μικρότερη πυκνότητα και αφετέρου στο ότι τα χρησιμοποιούμενα άλλα κύρια συστατικά έχουν μεγαλύτερη λεπτότητα και μικρότερη πυκνότητα από το κλίνκερ που είναι το βασικό δομικό συστατικό του τσιμέντου. [3]

Κεφάλαιο 2 : Νερό Ανάμειξης - Αδρανή

2.1 Νερό ανάμειξης

Η καταλληλότητα του νερού ανάμειξης για την παραγωγή σκυροδέματος εξαρτάται από την προέλευσή του. Το πρότυπο EN 1008 κατηγοριοποιεί τους ακόλουθους τύπους :

- Πόσιμο νερό κατάλληλο για σκυρόδεμα και δεν απαιτείται έλεγχός του.
- Νερό που έχει ανακτηθεί μετά από επεξεργασία σε βιομηχανίες παραγωγής σκυροδέματος (π.χ. νερά εκπλύσεων)
- Υπόγεια ύδατα τα οποία μπορεί να είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα, αλλά πρέπει πρώτα να ελεγχθεί η καταλληλότητά τους.
- Νερό φυσικών πόρων και νερό βιομηχανικών διεργασιών τα οποία μπορεί να είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα, αλλά πρέπει πρώτα να ελεγχθεί η καταλληλότητά τους.
- Θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό περιέχουν χλωριούχα και θειικά άλατα, και αν χρησιμοποιηθούν σαν νερό ανάμειξης δίνουν μεγαλύτερες αρχικές αντοχές σκυροδέματος και 15-20% μικρότερες τελικές. Για τον λόγο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άοπλο σκυρόδεμα αλλά δεν είναι κατάλληλο για οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα. Το μέγιστο επιτρεπόμενο περιεχόμενο σε χλώριο στο σκυρόδεμα πρέπει να τηρείται για σκυρόδεμα με χαλύβδινο οπλισμό ή εμβαπτισμένα μεταλλικά τμήματα.

- Νερό αποβλήτων που περιέχει βιομηχανικά και αστικά λύματα δεν είναι κατάλληλο για σκυρόδεμα.

2.1.1 Προκαταρκτικοί Έλεγχοι EN 1008

Το νερό πρέπει πρώτα να αναλυθεί για ίχνη λιπαρών ουσιών και ελαίων, αφρογόνες ουσίες, αιωρούμενα συστατικά, οσμές, οξύτητα ($\text{pH} \geq 4$) και χημικές ενώσεις.

- **Χλώριο**

Το περιεχόμενο του νερού σε χλώριο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα επίπεδα που περιλαμβάνονται στον ακόλουθο πίνακα :

Τελική Χρήση	Μέγιστο περιεχόμενο σε χλωριόντα σε mg/l
Προεντεταμένο σκυρόδεμα ή κονίαμα χυτών αγκυρώσεων	500
Σκυρόδεμα με οπλισμό	1000
Σκυρόδεμα χωρίς οπλισμό	4500

Πίνακας 4 : Επιτρεπόμενα επίπεδα χλωρίου στο νερό ανάμειξης

- **Αλκάλια**

Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα αδρανή ευαίσθητα σε αλκάλια, πρέπει να ελέγχεται το περιεχόμενο του νερού σε αλκάλια. Το περιεχόμενο σε αλκάλια δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1500 mg/l. Σε περίπτωση που το όριο αυτό ξεπεραστεί, το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε περίπτωση που αποδειχθεί ότι έχουν ληφθεί κατάλληλα μέτρα για να αποτραπούν οι επιζήμιες αντιδράσεις αλκαλίων – αδρανών.

- **Θειικά ιόντα**

Το περιεχόμενο του νερού σε θειικά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2000 mg/l

- **Επιβλαβείς ρύποι**

Πρέπει πρωτίστως να διεξαχθούν ποιοτικοί έλεγχοι για σάκχαρα, φωσφορικά οξείδια, νιτρικά οξέα, μόλυβδο και ψευδάργυρο. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα είναι

θετικά πρέπει είτε να καθοριστεί το περιεχόμενο ποσοστό της εντοπισμένης ουσίας είτε να διεξαχθούν έλεγχοι για το χρόνο πήξης και τη θλιπτική αντοχή.

<u>Ουσία</u>	<u>Μέγιστο περιεχόμενο σε mg/lit</u>
Σάκχαρα	100
Φωσφορικά άλατα, εκφρασμένα σε P ₂ O ₅	100
Νιτρικά άλατα, εκφρασμένα σε NO ⁻³	500
Μόλυβδος, εκφρασμένος σε Pb ²⁺	100
Ψευδάργυρος, εκφρασμένος σε Zn ²⁺	100

Πίνακας 5 : Όρια ουσιών κατά τη χημική ανάλυση

- **Χρόνος πήξης και αντοχές**

Η αρχή της πήξης κατά τον έλεγχο των δοκιμίων με το νερό πρέπει να γίνει το νωρίτερο σε 1 ώρα και δεν πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 25% από τον αρχικό χρόνο πήξης σε δοκίμια με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό. Η ολοκλήρωση της πήξης δεν πρέπει να ξεπερνά τις 12 ώρες και δεν πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 25% από το χρόνο ολοκλήρωσης της πήξης σε δοκίμια με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό. Η μέση θλιπτική αντοχή μετά από 7 ημέρες σε δοκίμια που έχουν παραχθεί με την συγκεκριμένη ποιότητα νερού πρέπει να φτάνει τουλάχιστον το 90% της θλιπτικής αντοχής αντίστοιχων δοκιμίων που έχουν παραχθεί με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό. [7]

2.2 Αδρανή

2.2.1 Γενικά

Τα αδρανή είναι υλικά, τα οποία προέρχονται από τη φυσική αποσάθρωση ή την τεχνητή θραύση των πετρωμάτων, καθώς και διάφορα υλικά, όπως σκουριές από υψικαμίους, βιομηχανικά παραπροϊόντα κ.ά. Αποτελούνται από συμπαγείς κόκκους του ίδιου ή διαφορετικού μεγέθους.

Τα πετρώματα από τα οποία προέρχονται τα θραυστά αδρανή για την Παρασκευή του σκυροδέματος, πρέπει να παρουσιάζουν ανθεκτικότητα και σταθερότητα στο χρόνο και η συμβατική αντοχή τους πρέπει να είναι μεταξύ 45-65 MPa. Δηλαδή, τα πετρώματα αυτά πρέπει να είναι άριστης ποιότητας, γιατί από αυτά εξαρτάται η τελική αντοχή των δομικών έργων στις στατικές καταπονήσεις και στις επιδράσεις του περιβάλλοντος και των χημικών ουσιών. [5]

2.2.2 Προέλευση αδρανών

Τα αδρανή υλικά, τα οποία προέρχονται από τα πετρώματα, διακρίνονται σε φυσικά και σε τεχνητά αδρανή. [5]

2.2.2.1 Φυσικά αδρανή

Φυσικά είναι τα αδρανή που δημιουργούνται από τη φυσική κονιοποίηση των πετρωμάτων, η οποία οφείλεται στις μεταβολές διάφορων καιρικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, ο αέρας, η δημιουργία παγετού κ.ά. Τα αδρανή αυτά προέρχονται συνήθως από πετρώματα μειωμένης αντοχής και με τη μορφή χαλικιών και άμμου συλλέγονται στις όχθες των λιμνών και των ποταμών, καθώς και στις παραθαλάσσιες περιοχές. [5]

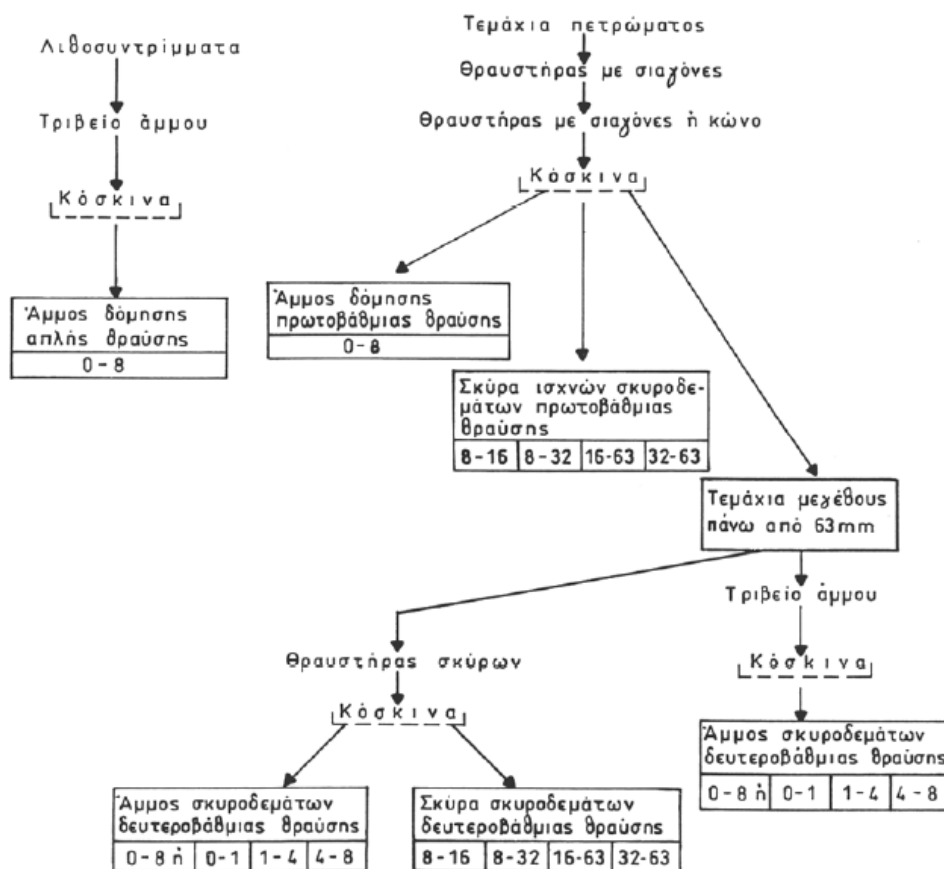
2.2.2.2 Τεχνητά αδρανή

Τα τεχνητά αδρανή λαμβάνονται από τη θραύση των πετρωμάτων με τεχνητό τρόπο. Μία ποσότητα λαμβάνεται από τα λιθοσυντρίμματα, όπως ονομάζονται τα μεγάλα κομμάτια που προέρχονται από τη φυσική αποσάθρωση των πετρωμάτων με διάμετρο μεγαλύτερη από 63mm.

Τα λιθοσυντρίμματα ρίχνονται σε τριβεία άμμου και αφού κοσκινιστούν με τη σειρά των πρότυπων κοσκίνων λαμβάνεται η άμμος δόμησης (Σχήμα 4), η οποία είναι προφανώς μειωμένης αντοχής.

Τα τεχνητά αδρανή, όμως λαμβάνονται συνήθως από τα πετρώματα που κόβονται στα λατομεία με τη βοήθεια σπαστήρων. Τα κομμάτια ρίχνονται σε τριβεία άμμου και σε θραυστήρες πετρωμάτων και λαμβάνονται οι διάφορες κατηγορίες αδρανών από την πρωτοβάθμια θραύση.

Τα κομμάτια με διαστάσεις μεγαλύτερες από 63mm ξαναρίχνονται σε τριβεία και σε θραυστήρες και λαμβάνονται τα αδρανή υλικά από τη δευτεροβάθμια θραύση, τα οποία είναι αυξημένης αντοχής (Σχήμα 4)



Σχήμα 4 : Διαδικασία παραγωγής θραυστών αδρανών υλικών

Η άμμος των συλλεκτών αδρανών, όπως και αυτή που προέρχεται από την πρωτοβάθμια θραύση, ονομάζεται άμμος δόμησης και χρησιμοποιείται στην Παρασκευή κονιαμάτων γύψου, άσβεστου και τσιμέντου, όπως και τεχνητών λίθων.

Τα χονδρόκοκκα συλλεκτά αδρανή, όπως γαρμπίλι και τα σκύρα της πρωτοβάθμιας θραύσης, χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κρασπέδων και στην υποδομή για την κατασκευή δρόμων. Το γαρμπίλι και τα σκύρα της δευτεροβάθμιας θραύσης χρησιμοποιούνται στην παρασκευή σκυροδεμάτων και στην κατασκευή οδοστρωμάτων. [5]

2.2.3 Κατηγορίες αδρανών ανάλογα με το μέγεθός τους

Τα αδρανή υλικά, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, διακρίνονται σε άμμο, γαρμπίλι και σκύρα. Το αδρανές υλικό, το οποίο περιλαμβάνει κόκκους όλων των μεγεθών ονομάζεται αμμογάλλικο.

α. Άμμος

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους d , ικανοποιεί τη σχέση $0 \leq d \leq 8 \text{ mm}$, και συμβολίζονται με (0/8).

Το τμήμα των αδρανών, το οποίο αποτελείται από τους πιο λεπτούς κόκκους του υλικού και διέρχεται από το αμερικάνικο πρότυπο κόσκινο Νο 200, που έχει διάμετρο 0,75 mm, ονομάζεται παιπάλη, ενώ το τμήμα των αδρανών, που η διάμετρος των κόκκων τους ικανοποιεί τη σχέση $4 \leq d \leq 8 \text{ mm}$ και συμβολίζονται με (4/8), ονομάζεται ρυζάκι.

β. Γαρμπίλι

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους ικανοποιεί τη σχέση $8 \leq d \leq 16 \text{ mm}$ και συμβολίζονται με (8/16)

γ. Σκύρα

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους ικανοποιεί τη σχέση $16 \leq d \leq 64 \text{ mm}$ και συμβολίζονται με (16/64).

Τα χονδρόκοκκα συλλεκτά υλικά γαρμπίλι και σκύρα ονομάζονται χαλίκια.

Στον Πίνακα 6 δίνεται αναλυτικά η κατάταξη των αδρανών υλικών ανάλογα με την προέλευσή τους και το μέγεθος των κόκκων τους.

α/α	Προέλευση				Συγκρα- τείται	Διέρχε- ται	Συμβο- λισμός
	Συλλεκτά		Θραυστά				
1	Άμμος	Λεπτού κόκκου		—	1	0/1	
		Ποικίλου κόκκου		—	4	0/4	
		Ποικίλου κόκκου		—	8	0/8	
		Μέσου κόκκου		1	4	1/4	
		Χονδρού κόκκου		4	8	4/8	
2	Χαλίκια	Λεπτά Συνήθων οπλισμένων σκυροδεμάτων Χονδρά	Σκύρα	Λεπτά, Γαρμπίλι	8	16	8/16
				Συνήθων	8	31,5	8/31,5
				οπλισμένων σκυροδεμάτων Χονδρά	31,5	63	31,5/63
3	Άμμο- χάλικο	Ποικίλου κόκκου		—	31,5	0/31,5	
		Ποικίλου κόκκου		—	63	0/63	

Πίνακας 6 : Κατηγορίες αδρανών υλικών

Οι κόκκοι του αδρανούς υλικού, οι οποίοι διέρχονται από το κόσκινο με τη μικρότερη διάμετρο οπών, ονομάζεται υποδιάστατοι, ενώ εκείνοι, οι οποίοι δεν διέρχονται από το κόσκινο με την μεγαλύτερη διάμετρο οπών, ονομάζονται υπερδιάστατοι. [5]

2.2.4 Ποιότητα των αδρανών υλικών

Η καταλληλότητα των αδρανών υλικών προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στα δομικά έργα, εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες.

❖ Μηχανική αντοχή

Τα αδρανή, ανάλογα με το σκυρόδεμα που πρόκειται να παρασκευαστεί, πρέπει να έχουν την κατάλληλη μηχανική αντοχή, η οποία καθορίζεται από τον αντίστοιχο κανονισμό.

❖ Ανθεκτικότητα σε φθορά από τριβή και κρούση

Τα αδρανή υλικά πρέπει να παρουσιάζουν ικανοποιητική αντοχή στην καταπόνηση σε τριβή και σε κρούση. Ο προσδιορισμός της φθοράς μόνο από τριβή γίνεται με τη συσκευή Bohme, ενώ της φθοράς από τριβή και κρούση με τη συσκευή Los Angeles.

❖ Ανθεκτικότητα στην αποσάθρωση

Τα αδρανή υλικά πρέπει να παρουσιάζουν σταθερότητα ως προς την αποσάθρωση από το νερό, τον αέρα και τον παγετό. Ο έλεγχος των αδρανών ως προς την αποσάθρωση γίνεται κατά τη δοκιμή «υγείας πετρώματος». Κατά τη δοκιμή αυτή η άμμος πρέπει να παρουσιάζει απώλεια μικρότερη από το 10% και τα αδρανή με μεγαλύτερους κόκκους απώλεια μικρότερη από το 12%.

❖ Μορφή κόκκων

Οι κόκκοι των αδρανών υλικών πρέπει να έχουν, κατά το δυνατόν, μορφή, η οποία να πλησιάζει την κυβική ή σφαιρική. Ένας κόκκος αδρανούς θεωρείται ότι έχει δυσμενή μορφή, όταν η σχέση της μεγαλύτερης προς την μικρότερη διάστασή του ξεπερνά το 3 : 1.

Όταν είναι :

l το μήκος του κόκκου

b το πλάτος του κόκκου και

d το πάχος του κόκκου,

τότε οι κόκκοι με λόγο $b/d > 2$ ονομάζονται πλακοειδείς και εκείνοι με $l/d > 1,5$ επιμήκεις. Το ποσοστό των κόκκων με δυσμενή μορφή δεν πρέπει να ξεπερνά το 50%. Ο περιορισμός αυτός επιβάλλεται, ώστε να μειωθεί η ολική επιφάνεια των κόκκων που θα πρέπει να καλύψει ο τσιμεντούπολης κατά την Παρασκευή του σκυροδέματος. Ο έλεγχος της μορφής των κόκκων γίνεται σε αντιπροσωπευτικό δείγμα του αδρανούς με ελάχιστο βάρος 500g με τη μέτρηση των διαστάσεων κάθε κόκκου με ειδικό παχύμετρο. [5]

2.2.5 Κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών υλικών

Κοκκομετρική ανάλυση ενός αδρανούς είναι ο προσδιορισμός της αναλογίας με την οποία περιέχονται στο υλικό τα διάφορα μεγέθη κόκκων του αδρανούς.

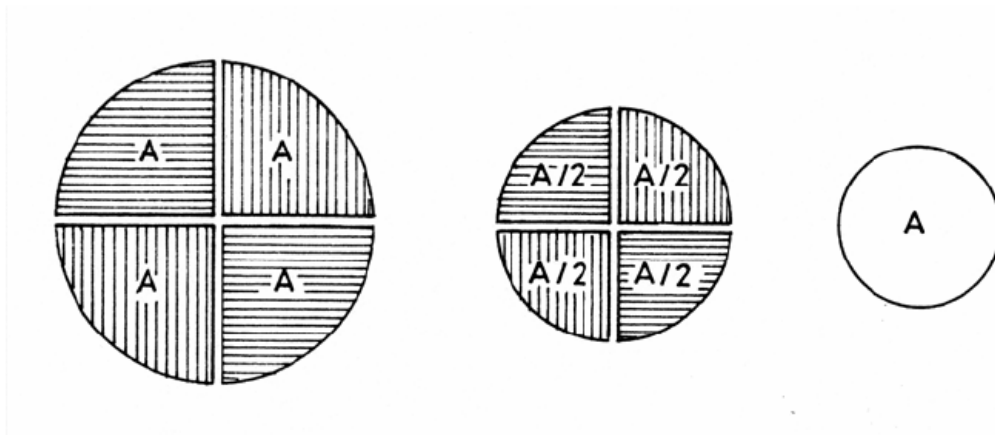
Τα αδρανή υλικά που προέρχονται από τα λατομεία είναι ένα μίγμα, το οποίο περιέχει κόκκους όλων των μεγεθών. Για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύνθεσης του αδρανούς λαμβάνεται ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του υλικού και κοσκινίζεται με όλη τη σειρά των αντίστοιχων πρότυπων κοσκίνων. Η απαιτούμενη ποσότητα του υλικού εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων του και καθορίζεται ως εξής :

Για άμμο 20 kg

Για γαρμπίλι 30 kg

Για χαλίκι ή σκύρα 40 kg

Η δειγματοληψία της αντιπροσωπευτικής ποσότητας του αδρανούς γίνεται με τη μέθοδο του τεταρτημερισμού. Από διάφορες θέσεις του σωρού των αδρανών υλικών λαμβάνεται τετραπλάσια ποσότητα από την απαιτούμενη για την κοκκομετρική ανάλυση. Η ποσότητα αυτή ανακατεύεται πολύ καλά και απλώνεται ώστε να λάβει κατά το δυνατόν τη μορφή ισοπαχούς δίσκου. Ο δίσκος αυτός διαιρείται σε τεταρτοκύκλια με ένα κατάλληλο όργανο, το σταυρό διαχωρισμού.



Σχήμα 5 : Δειγματοληψία αδρανών υλικών με τη μέθοδο του τεταρτομερισμού

Ακολουθώς, λαμβάνονται τα αδρανή από δύο κατά κορυφή τεταρτοκύκλια, σχηματίζεται ένας δίσκος και επαναλαμβάνεται η προηγούμενη διαδικασία. Η ποσότητα, η οποία προέρχεται από δύο κατά κορυφή τεταρτοκύκλια του δεύτερου δίσκου, είναι το αντιπροσωπευτικό δείγμα για την κοκκομετρική ανάλυση του αδρανούς υλικού.

Ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών υλικών γίνεται με κοσκίνισμα στο χέρι ή με ηλεκτροκίνητες συσκευές, στις οποίες τοποθετούνται διαδοχικά τα πρότυπα κόσκινα με σειρά μεγέθους οπών. Κάτω τοποθετείται το τυφλό κόσκινο, δηλαδή το κόσκινο χωρίς οπές, και τελευταίο, στο επάνω μέρος, το κόσκινο με τη μεγαλύτερη διάμετρο οπών. Το κοσκίνισμα διαρκεί μέχρις ότου περάσουν από τα αντίστοιχα κόσκινα και οι πιο λεπτοί κόκκοι υλικού.

Με το κοσκίνισμα προσδιορίζονται τα ποσοστά διόδου D , επί τοις εκατό του αδρανούς από κάθε πρότυπο κόσκινο κατά βάρος. Η γραφική παράσταση των ποσοστών αυτών σε σχέση με τις διαμέτρους των οπών των πρότυπων κοσκίνων, οι οποίες δίνονται σε ημιλογαριθμική κλίμακα, απεικονίζει την κοκκομετρική γραμμή του αδρανούς υλικού. [5]

2.2.6 Κοκκομετρική Διαβάθμιση

2.2.6.1 Γενικά

Για την Παρασκευή σκυροδέματος καλής ποιότητας, η κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η απαιτούμενη ποσότητα τσιμεντοπολτού, η οποία γεμίζει τα κενά μεταξύ των κόκκων και περιβάλλει τους

κόκκους, να είναι η ελάχιστη δυνατή. Συνεπώς, πρέπει τα χρησιμοποιούμενα αδρανή υλικά να έχουν όσο το δυνατόν μικρότερο όγκο κενών μεταξύ τους και μικρότερη επιφάνεια. Αυτό επιτυγχάνεται όταν οι κόκκοι τους έχουν μεγάλο μέγεθος και κατάλληλη μορφή.

Όμως, ο μέγιστος κόκκος των αδρανών που χρησιμοποιούνται δεν πρέπει να χειροτερεύει τη μίξη, τη συμπίκνωση, τη διάστρωση και την επεξεργασία του σκυροδέματος. Η μέγιστη διάσταση των κόκκων εξαρτάται από την πυκνότητα του οπλισμού και το πάχος του παρασκευασμένου δομικού στοιχείου, και μάλιστα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το $1/3$ της μικρότερης διάστασης του στοιχείου.

Η ύπαρξη παιπάλης συμβάλλει στην αύξηση της πλαστικότητας, βελτιώνει το εργάσιμο και την υδατοπερατότητα του σκυροδέματος. Όμως υπάρχουν ανώτατα ανεκτά όρια, γιατί η μεγαλύτερη ποσότητα παιπάλης παρεμποδίζει την πρόσφυση των αδρανών με το κονίαμα και μειώνει την αντοχή του σκυροδέματος.

Η παιπάλη της άμμου δεν πρέπει να ξεπερνά το 16% του ξηρού βάρους της και εκείνη των χονδρόκοκκων υλικών το 1%. Για άοπλα σκυροδέματα χωρίς ειδικές απαιτήσεις επιτρέπεται παιπάλη στην άμμο μέχρι 20% του ξηρού βάρους της.

Γενικά από τεχνικής και οικονομικής άποψης ένα σκυρόδεμα είναι καλύτερο όσο λιγότερος τσιμεντοπολτός χρησιμοποιείται, ώστε να εκπληρωθούν όλες οι απαιτήσεις του δομικού στοιχείου.

Από τους κανονισμούς καθορίζονται όρια ως προς την κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών υλικών ανάλογα με τη διάμετρο του μέγιστου κόκκου τους, τα οποία δίνονται στους Πίνακες 8,9,10,11 για τους γερμανικούς και στους Πίνακες 12,13,14,15 για τους αμερικάνικους κανονισμούς. Οι Πίνακες 8 και 12 παρίστανται γραφικά στο Σχήμα 65, οι Πίνακες 9 και 13 στο Σχήμα 66, οι Πίνακες 10 και 14 στο Σχήμα 67 και οι Πίνακες 11 και 15 στο Σχήμα 68. Στα διαγράμματα αυτά έχουν οριστεί οι περιοχές μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται οι κοκκομετρικές γραμμές των αδρανών, ώστε τα υλικά αυτά να είναι κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν στη σύνθεση σκυροδέματος.

Η γραμμή η οποία διαχωρίζει τις υποζώνες Δ και Ε, για όλες τις περιπτώσεις, είναι η αντίστοιχη ιδανική κοκκομετρική γραμμή. Αυτή συμβολίζεται με Ε για

τους αμερικάνικους και με Β για τους γερμανικούς κανονισμούς, με δείκτη την αντίστοιχη διάμετρο του μέγιστου κόκκου.

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
<u>Ονομασία</u>	<u>Άνοιγμα</u>	<u>Υποζώνη Δ</u>	<u>Υποζώνη Ε</u>
0,25	250 μm	5 - 11	11 - 21
1	1 mm	21 - 42	42 - 57
2	2 mm	36 - 57	57 - 71
4	4 mm	61 - 74	74 - 85
8	8 mm	95 - 100	100

Πίνακας 7 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μέγιστου κόκκου 8 mm των γερμανικών κανονισμών

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
<u>Ονομασία</u>	<u>Άνοιγμα</u>	<u>Υποζώνη Δ</u>	<u>Υποζώνη Ε</u>
0,25	250 μm	2 - 13	13 - 18
1	1 mm	12 - 32	32 - 49
2	2 mm	21 - 42	42 - 62
4	4 mm	36 - 63	63 - 80
8	8 mm	60 - 85	85 - 94
16	16 mm	100	100

Πίνακας 8 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μέγιστου κόκκου 16 mm των γερμανικών κανονισμών

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
<u>Ονομασία</u>	<u>Άνοιγμα</u>	<u>Υποζώνη Δ</u>	<u>Υποζώνη Ε</u>
0,25	250 μm	2 - 13	17 - 23
1	1 mm	12 - 30	32 - 49
2	2 mm	18 - 40	55 - 67
4	4 mm	30 - 52	67 - 76
8	8 mm	45 - 68	80 - 86
16	16 mm	70 - 87	93 - 96
31,5	31,5 mm	100	100

Πίνακας 9 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μέγιστου κόκκου 31,5 mm των γερμανικών κανονισμών

Κόσκια		Διερχόμενα %	
<u>Όνομασία</u>	<u>Άνοιγμα</u>	<u>Υποζώνη Δ</u>	<u>Υποζώνη Ε</u>
0,25	250 μm	2-Νοε	Νοε-16
1	1 mm	Ιουν-26	26 - 39
2	2 mm	Νοε-34	34 - 49
4	4 mm	19 - 42	42 - 59
8	8 mm	30 - 56	56 - 71
16	16 mm	46 - 71	71 - 84
31,5	31,5 mm	72 - 90	90 - 96
63	63 mm	100	100

Πίνακας 10 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου 63 mm των γερμανικών κανονισμών

Κόσκια		Διερχόμενα %	
<u>Όνομασία</u>	<u>Άνοιγμα</u>	<u>Υποζώνη Δ</u>	<u>Υποζώνη Ε</u>
0,25 *	250 μm	5-Νοε	11-Δεκ
No 50	300 μm	Ιουλ-15	15 - 26
No 30	600 μm	15 - 30	30 - 43
No16	1,18 mm	25 - 45	45 - 60
No 8	2,36 mm	42 - 61	61 - 74
No 4	4,75 mm	69 - 80	80 - 88
3/8"	9,5 mm	100	100

* Το κόσκινο αυτό ανήκει στη σειρά των γερμανικών κοσκίων

Πίνακας 11 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου 3/8" των αμερικάνικων κανονισμών

Κόσκια		Διερχόμενα %	
<u>Όνομασία</u>	<u>Άνοιγμα</u>	<u>Υποζώνη Δ</u>	<u>Υποζώνη Ε</u>
0,25 *	250 μm	2 - 13	13 - 18
No 50	300 μm	3 - 14	14 - 22
No 30	600 μm	8 - 23	23 - 37
No16	1,18 mm	14 - 34	34 - 52
No 8	2,36 mm	24 - 47	47 - 66
No 4	4,75 mm	42 - 68	68 - 84
3/8"	9,5 mm	70 - 91	91 - 97
1/2"	12,5 mm	95 - 100	100
3/4"	19,0 mm	100	100

Πίνακας 12 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου 1/2" των αμερικάνικων κανονισμών

Κόσκινα		Διερχόμενα %		
<u>Όνομασία</u>	<u>Άνοιγμα</u>	<u>Υποζώνη Δ</u>	<u>Υποζώνη Ε</u>	<u>Υποζώνη Ζ</u>
0,25 *	250 μm	2 - 13	13 - 17	17 - 23
No 50	300 μm	3 - 14	14 - 20	20 - 27
No 30	600 μm	6 - 23	23 - 34	34 - 44
No16	1,18 mm	12 - 32	32 - 47	47 - 60
No 8	2,36 mm	21 - 43	43 - 58	58 - 69
No 4	4,75 mm	33 - 56	56 - 70	70 - 78
3/8"	9,5 mm	51 - 73	73 - 84	84 - 89
1/2"	12,5 mm	61 - 80	80 - 89	89 - 93
1"	25,0 mm	95 - 100	100	100
1 ½ "	37,5 mm	100	100	100

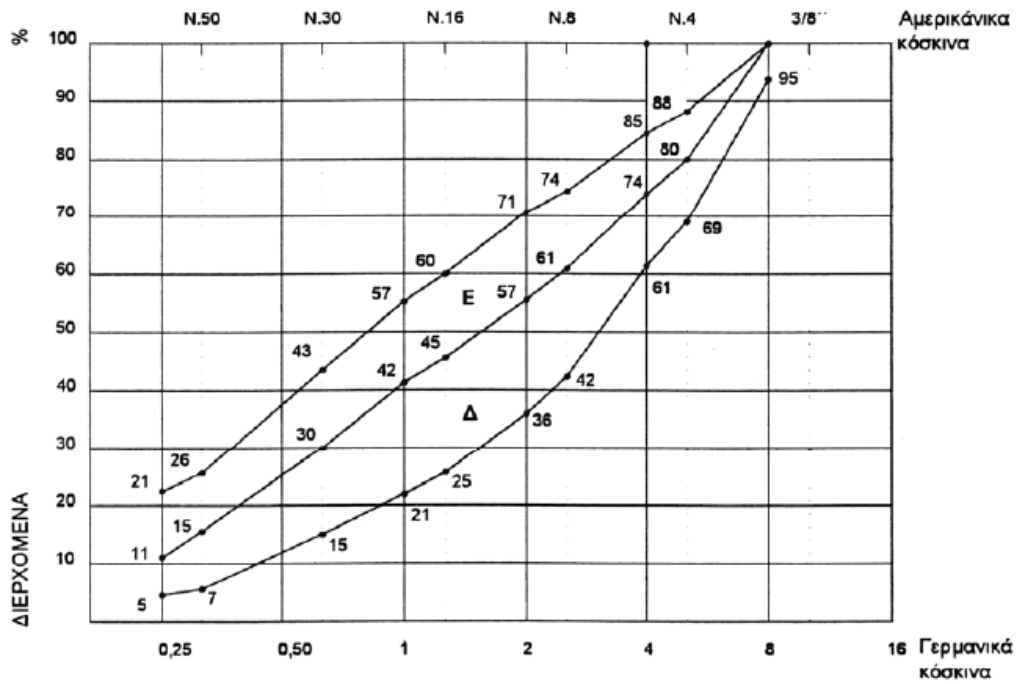
* Το κόσκινο αυτό ανήκει στη σειρά των γερμανικών κοσκίνων

Πίνακας 13 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου 1" των αμερικάνικων κανονισμών

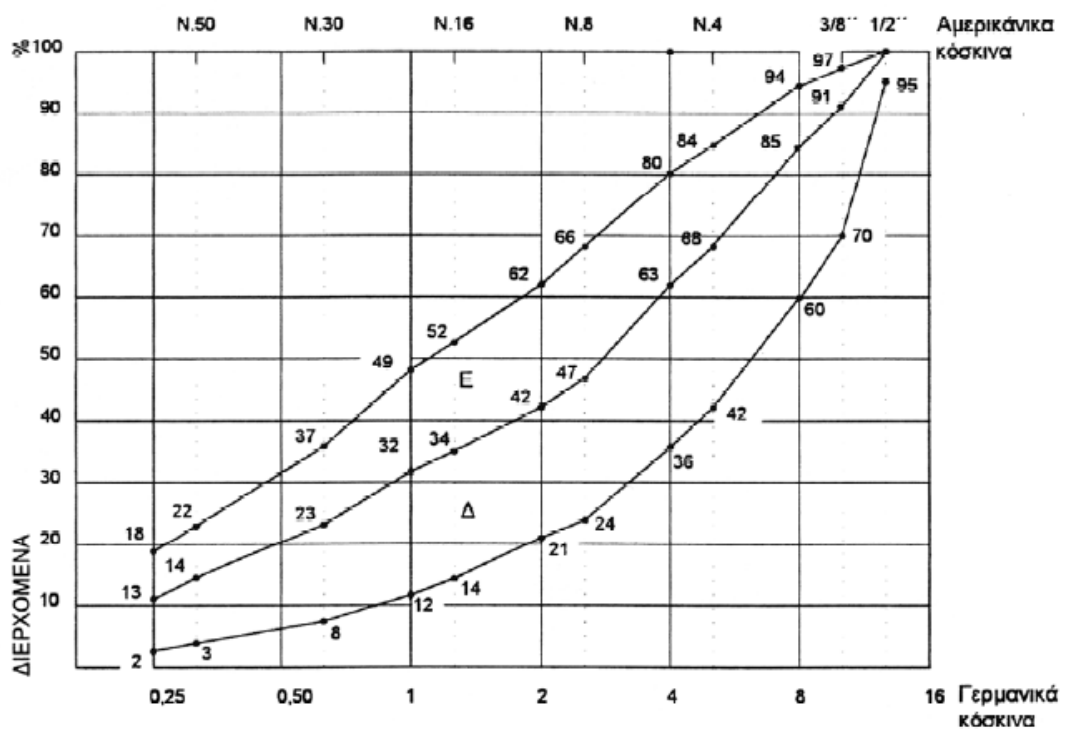
Κόσκινα		Διερχόμενα %	
<u>Όνομασία</u>	<u>Άνοιγμα</u>	<u>Υποζώνη Δ</u>	<u>Υποζώνη Ε</u>
0,25 *	250 μm	2 - 11	11 - 16
No 50	300 μm	3 - 13	13 - 19
No 30	600 μm	4 - 20	20 - 30
No16	1,18 mm	7 - 29	29 - 42
No 8	2,36 mm	21 - 45	45 - 62
No 4	4,75 mm	34 - 60	60 - 74
3/8"	9,5 mm	41 - 66	66 - 80
1/2"	12,5 mm	41 - 66	66 - 80
3/4"	19,0 mm	51 - 75	75 - 87
1 "	25,0 mm	60 - 84	84 - 93
1 ½ "	37,5 mm	95 - 100	100
2 "	50,0 mm	100	100

* Το κόσκινο αυτό ανήκει στη σειρά των γερμανικών κοσκίνων

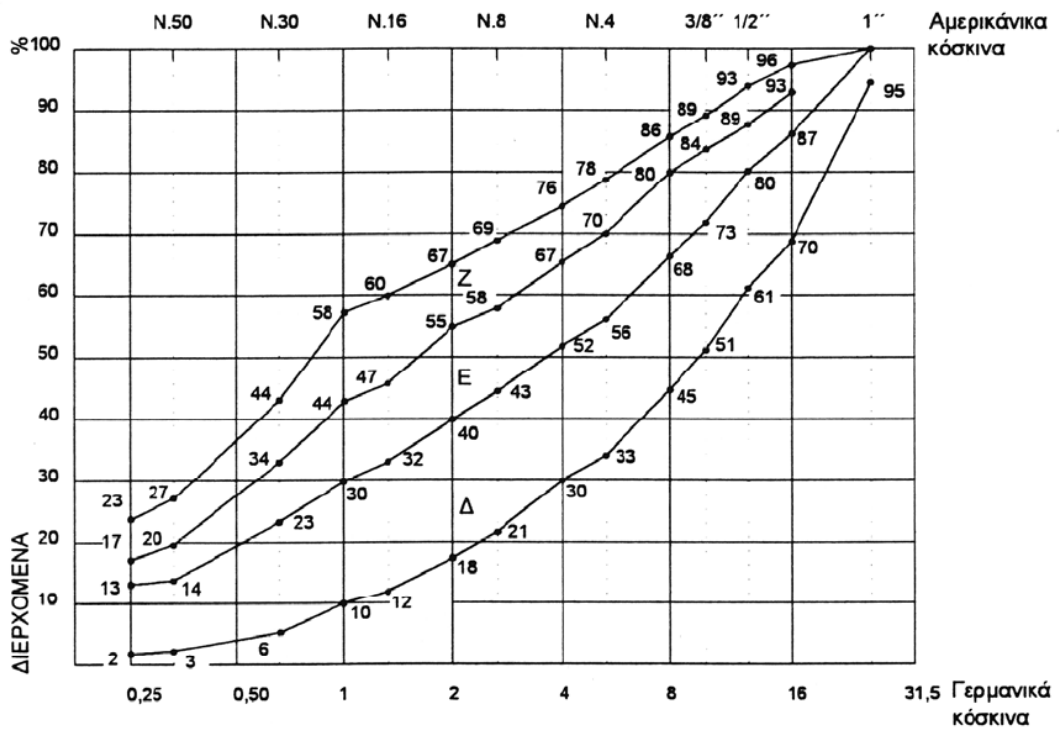
Πίνακας 14 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου 1 ½ " των αμερικάνικων κανονισμών



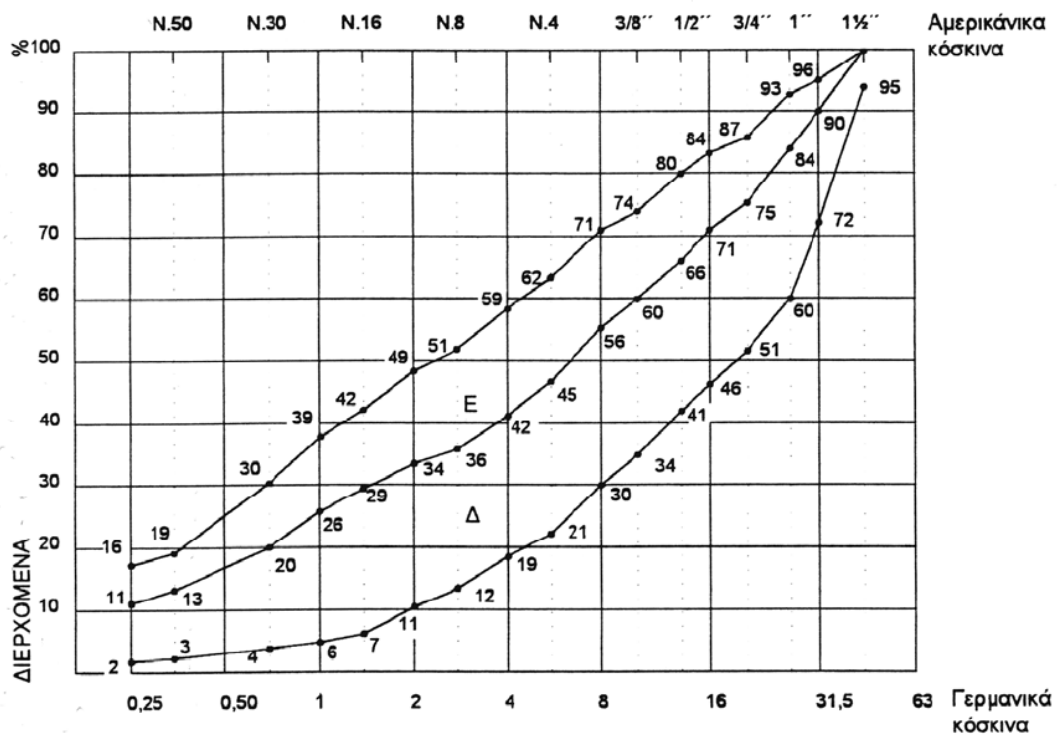
Σχήμα 6 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου \square 8 ή 3/8 "



Σχήμα 7 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου \square 16 ή 1/2 "



Σχήμα 8 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου □ 31,5 ή 1"



Σχήμα 9 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου □ 63 ή 1 1/2"

Η καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης του μίγματος των αδρανών, που προορίζεται για οπλισμένο σκυρόδεμα, πρέπει να βρίσκεται στην υποζώνη Δ του αντίστοιχου διαγράμματος ανάλογα με το μέγιστο κόκκο του χρησιμοποιημένου αδρανούς. Για σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 ή μικρότερης η καμπύλη αυτή πρέπει να βρίσκεται στην υποζώνη Ε αντίστοιχα. Η υποζώνη Ζ του διαγράμματος 67 αφορά μόνο το άοπλο σκυρόδεμα.

Για κόκκους αδρανών μεγαλύτερους ή ίσους του $\square 1 \text{ mm}$ ή του Νο 16 οι κοκκομετρικές καμπύλες του μπορούν να αποκλίνουν μέχρι δύο μονάδες από τις καθορισμένες οριακές τιμές, με την προϋπόθεση ότι η απόκλιση παρατηρείται σε μη διαδοχικά κόσκινα.

Ανάλογα, για κόκκους αδρανών με μικρότερες διαστάσεις επιτρέπεται απόκλιση μέχρι μία μονάδα. Με τις προϋποθέσεις αυτές η σχετική κοκκομετρική γραμμή του αντίστοιχου μίγματος αδρανών υλικών θεωρείται ότι ανήκει στη ζώνη ή υποζώνη στην οποία βρίσκεται το μεγαλύτερο τμήμα της.

Επομένως, τα αδρανή υλικά πρέπει να έχουν τέτοιες κοκκομετρικές γραμμές, ώστε να ικανοποιούνται συγχρόνως όλες οι προϋποθέσεις που έχουν αναφερθεί.

Οι κοκκομετρικές γραμμές διακρίνονται σε συνεχείς και σε ασυνεχείς. [5]

Κεφάλαιο 3 : Σκυρόδεμα

3.1 Γενικά

Το σκυρόδεμα είναι το υλικό που παρουσιάζει την ευρύτερη χρήση από όλα τα άλλα δομικά υλικά τόσο στη χώρα μας όσο και διεθνώς. Αυτό οφείλεται κυρίως στον εξαιρετικά ευνοϊκό συνδυασμό ιδιοτήτων και κόστους, και ειδικότερα : α) στην εξαιρετική συμπεριφορά του υλικού στο νερό (ακόμα και σήμερα σώζονται υδραγωγεία από σκυρόδεμα της Ρωμαϊκής εποχής) και γενικά στην πολύ μεγάλη ανθεκτικότητά του σε διάρκεια και σε περιβαλλοντικές επιδράσεις, β) στην ευκολία με την οποία κατασκευές από σκυρόδεμα μορφώνονται σε μία τεράστια ποικιλία σχημάτων και μεγεθών και γ) στο χαμηλό κόστος του, στη μεγάλη και άμεση διαθεσιμότητα των συστατικών του και στη σχετικά χαμηλή ενέργεια που απαιτείται για την παρασκευή του. [2]

Το σκυρόδεμα είναι τεχνητό δομικό υλικό, το οποίο παρασκευάζεται με την ανάμιξη τσιμέντου, νερού, αδρανών υλικών και προσθέτων.

Το τσιμέντο και τα αδρανή, τα οποία χρησιμοποιούνται για την Παρασκευή του σκυροδέματος, πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των αντίστοιχων κανονισμών. Το νερό πρέπει να είναι καθαρό, δηλαδή να μην περιέχει επιβλαβείς ουσίες, οι οποίες θα προκαλούσαν προβλήματα στη σκλήρυνση, στην αντοχή, στην προστασία του οπλισμού από την διάβρωση ή θα επηρεάζουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος. Το κοινό σκυρόδεμα θεωρείται πρακτικά ως υλικό δύο φάσεων. Το τσιμέντο αποτελεί την πρώτη φάση που είναι κλειστή, τη μήτρα, στην οποία είναι διασκορπισμένα τα αδρανή υλικά που αποτελούν την άλλη φάση.

Οι ιδιότητες του σκυροδέματος εξαρτώνται από τις ιδιότητες των δύο φάσεων, καθώς και από την αναλογία ανάμιξης των υλικών κατ'όγκο.

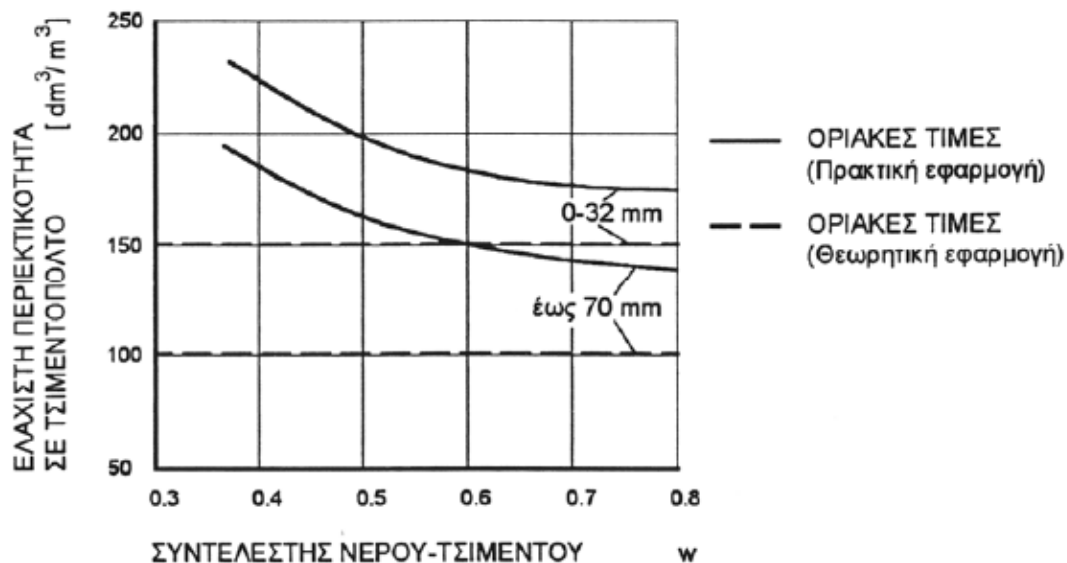
3.2 Νωπό Σκυρόδεμα

Νωπό σκυρόδεμα ονομάζεται το σκυρόδεμα, το οποίο προκύπτει από την ανάμιξη των πρώτων υλών του και για όσο χρονικό διάστημα διατηρεί το εργάσιμο, δηλαδή όσο είναι δυνατόν να μεταφέρεται και να διαστρώνεται. Όταν το τσιμέντο ενωθεί με το νερό, αρχίζει η ενυδάτωση του και δημιουργείται ο τσιμεντοπολτός, ο οποίος είναι η συνδετική ύλη του σκυροδέματος. Κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου γίνονται διάφορες χημικές αντιδράσεις και δημιουργούνται ένυδροι κρύσταλλοι. Ο τσιμεντούπολης αρχίζει να πήζει, γειμίζει τα κενά μεταξύ των κόκκων των αδρανών και καλύπτει την επιφάνεια τους. Με την πάροδο του χρόνου ο τσιμεντούπολης γίνεται πιο συμπαγής και συνεκτικός, αποκτά αυξημένες αντοχές, δηλαδή αρχίζει η σκλήρυνση με τη στερεοποίηση του σκυροδέματος, η οποία διαρκεί πάρα πολύ χρόνο. [5]

3.3 Αναλογία ανάμιξης των υλικών

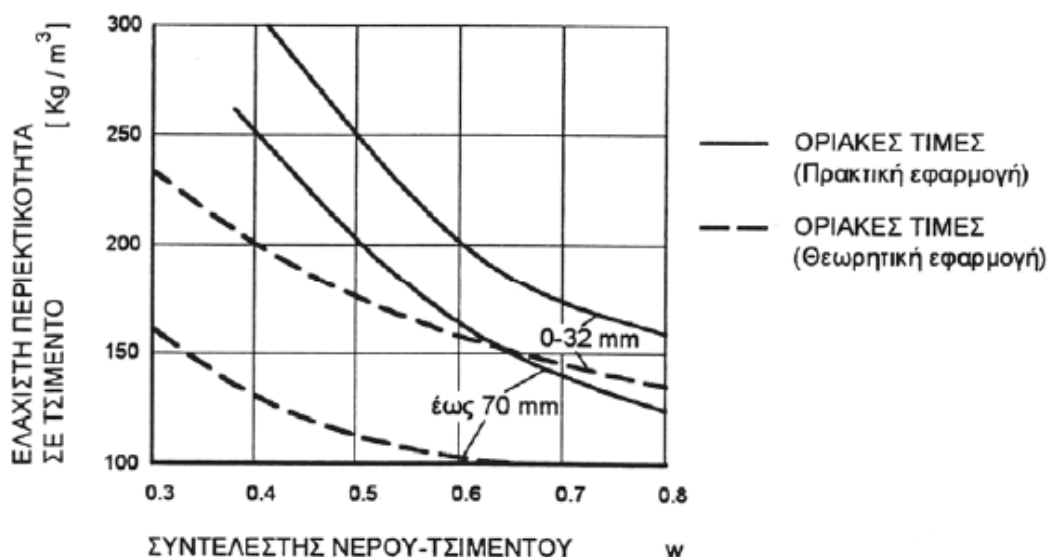
Η αναλογία ανάμιξης των υλικών για τη παρασκευή του σκυροδέματος, πρέπει να εξασφαλίζει σε κάθε περίπτωση την ομοιογένεια του μίγματος, το κατάλληλο εργάσιμο για ικανοποιητική διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος, καθώς και πρόσθετες ιδιότητές του, όπως η αντλησιμότητα, η στεγανότητα, η ανθεκτικότητα, κ.τ.λ. Η μέση αντοχή του σκυροδέματος, f_{cm} , πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την απαιτούμενη αντοχή, f_{ed} . Η αναλογία ανάμιξης των υλικών

για την παρασκευή του σκυροδέματος δίνεται σε τσιμέντο: αδρανή: νερό κατά βάρος, δηλαδή, Z: K: W. Η αναλογία ανάμιξης επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Πολύ μεγάλη σημασία έχει η περιεκτικότητα σε τσιμέντο. Η απαιτούμενη ποσότητα του τσιμεντοπολτού πρέπει να γεμίσει τα κενά μεταξύ των κόκκων και να περιβάλλει τους κόκκους, ώστε να είναι δυνατόν να γίνει η επεξεργασία του σκυροδέματος. Στο Σχήμα 76 δίνεται η ελάχιστη ποσότητα του τσιμεντοπολτού σε σχέση με το συντελεστή νερού-τσιμέντου, w.



Σχήμα 10 : Ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμεντοπολτό για «κατάλληλη» κοκκομετρική σύνθεση σε σχέση με το συντελεστή , w.

Από την ποσότητα του τσιμεντοπολτού προκύπτει η απαιτούμενη ποσότητα του τσιμέντου. Το αποτέλεσμα δείχνεται στο Σχήμα 77.



Σχήμα 11 : Ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο για «κατάλληλη» κοκκομετρική σύνθεση σε σχέση με το συντελεστή w.

Η ανάμιξη των πρώτων υλών γίνεται με κατάλληλο αναμικτήρα, ώστε το παρασκευαζόμενο σκυρόδεμα να γίνει όσο το δυνατόν περισσότερο ομοιόμορφο. Ο χρόνος ανάμιξης, γενικά, δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 1 min. Μετά την ανάμιξη απαγορεύεται η προσθήκη υλικών στο μίγμα. [5]

3.4 Πρόσθετα του Σκυροδέματος

Τα πρόσθετα του σκυροδέματος είναι διάφορες ουσίες, οι οποίες προστίθενται σε μικρές ποσότητες στο παρασκευαζόμενο σκυρόδεμα και βελτιώνουν, κατά περίπτωση, κάποια ιδιότητά του. Τα πρόσθετα μπορεί να είναι ανόργανης προέλευσης, όπως η θηραϊκή γη, η άσβεστος, οι τέφρες, τα χρώματα κ.α. ή οργανικής προέλευσης, όπως τα πλαστικά, το καουτσούκ, η άσφαλτος, κ.α.

Τα πρόσθετα, τα οποία μεταβάλλουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος με φυσικές ή χημικές αντιδράσεις, διακρίνονται σε:

❖ Επιταχυντικά πρόσθετα

Τα επιταχυντικά πρόσθετα αυξάνουν την ταχύτητα ενυδάτωσης του τσιμέντου, επιταχύνουν την πήξη και την σκλήρυνση του σκυροδέματος και αυξάνουν την αρχική αντοχή του. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις, όπου απαιτείται να

αναπτυχθούν αυξημένες αρχικές αντοχές στο δομικό έργο. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι προκαλούν μείωση της τελικής αντοχής του σκυροδέματος.

❖ **Επιβραδυντικά πρόσθετα**

Τα επιβραδυντικά πρόσθετα επιβραδύνουν την ενυδάτωση του τσιμέντου και συνεπώς την πήξη και την σκλήρυνση του σκυροδέματος. Επίσης, βοηθούν στη διατήρηση του εργάσιμου και χρησιμοποιούνται για να αυξηθεί ο διαθέσιμος χρόνος για τη μεταφορά και τη διάστρωση του σκυροδέματος. Η αρχική αντοχή του σκυροδέματος εμφανίζεται μειωμένη, αλλά και η τελική αντοχή του δεν επηρεάζεται από τα επιβραδυντικά πρόσθετα. Χρησιμοποιούνται όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, γιατί επιβραδύνουν το ρυθμό ανάπτυξης της θερμοκρασίας, καθώς και για την παρασκευή μεγάλων έργων χωρίς αρμούς εργασίας.

❖ **Αερακτικά πρόσθετα**

Τα αερακτικά πρόσθετα δημιουργούν μέσα στη μάζα του νωπού σκυροδέματος μικρές φυσαλίδες με αποτέλεσμα να αυξηθεί το πορώδες του. Συνεπώς, αυξάνεται η αντοχή του στον παγετό και βελτιώνεται σημαντικά το εργάσιμο του. Όταν, όμως, η περιεκτικότητα σε αέρα ξεπεράσει τα καθορισμένα όρια είναι δυνατόν να μειωθεί η τελική αντοχή του σκυροδέματος.

❖ **Ρευστοποιητικά πρόσθετα**

Τα ρευστοποιητικά πρόσθετα αυξάνουν τη ρευστότητα και την ομοιομορφία του σκυροδέματος και επιτρέπουν τη μείωση του νερού ανάμιξης με αποτέλεσμα την αύξηση του εργάσιμου και της αντοχής σκυροδέματος. Επίσης, βελτιώνουν την υδατοπερατότητα και την αντοχή του στον παγετό. Είναι δυνατόν όμως, να εμφανιστεί αύξηση της συστολής ξήρανσης, καθώς και ανεπιθύμητη αύξηση των πόρων με συνέπεια καθυστέρηση της πήξης και μείωση της αντοχής.

❖ **Στεγανοποιητικά πρόσθετα**

Τα στεγανοποιητικά πρόσθετα μειώνουν την ποσότητα του νερού, το οποίο απορροφάται ή εισχωρεί στο σκυρόδεμα, αυξάνουν τη στεγανότητά του. Αποφεύγεται η δημιουργία μικροκοιλοτήτων στη μάζα του σκυροδέματος, καθώς και οι μικρορηγματώσεις και μειώνεται σημαντικά το ποσοστό των πόρων και των

τριχοειδών αγγείων. Είναι δυνατόν, όμως, να μεταβληθεί η χρονική εξέλιξη της πήξης και να μειωθεί η αντοχή του σκυροδέματος.

❖ Πρόσθετα για το σκυρόδεμα υπό πίεση

Τα πρόσθετα για το σκυρόδεμα υπό πίεση βελτιώνουν τη ρευστότητα και το εργάσιμό του και αυξάνουν την αντοχή του στον παγετό. Ο σωλήνας προέντασης πρέπει να γεμίζεται πλήρως χωρίς να σχηματίζονται κενά. [5]

3.5 Αναστολείς Διάβρωσης

Αναστολέας διάβρωσης είναι οποιαδήποτε ουσία η οποία μπορεί να μειώσει τον ρυθμό διάβρωσης του χάλυβα όταν είναι παρούσα σε σχετικά μικρή συγκέντρωση πλησίον της επιφάνειας του χάλυβα.

Οι αναστολείς διάβρωσης ενεργούν :

- Στο ανοδικό ή καθοδικό τμήμα της ηλεκτροχημικής αντίδρασης της διάβρωσης και το επιβραδύνουν σημαντικά και η ενέργειά τους εντοπίζεται στην διεπιφάνεια μετάλλου – διαβρωτικού περιβάλλοντος
- Στην διαδικασία της διαβρωτικής δράσης με χημική αντίδραση και η ενέργειά τους επεκτείνεται σε όλο το διαβρωτικό περιβάλλον.

Για τους αναστολείς της πρώτης περίπτωσης το πρώτο στάδιο είναι η ρόφηση στην επιφάνεια του μετάλλου. Η ρόφηση μπορεί να είναι φυσική ή χημική.

Οι φυσικοί αναστολείς επιδρούν καλύπτοντας τα ενεργά κέντρα του μετάλλου, τα οποία είναι η αιτία της ύπαρξης ανοδικών και καθοδικών περιοχών στην επιφάνεια του μετάλλου. Οι φυσικοί αναστολείς ονομάζονται και πρωτογενείς καθόσον το στρώμα ρόφησης περιέχει μόρια του αναστολέα.

Οι χημικοί αναστολείς επιδρούν με επιφανειακή χημική αντίδραση, η οποία καλύπτει την επιφάνεια του μετάλλου με το προϊόν της χημικής αντίδρασης. Οι χημικοί αναστολείς ονομάζονται και δευτερογενείς λόγω του ότι το στρώμα ρόφησης περιέχει το προϊόν αντίδρασης μεταξύ μετάλλου – αναστολέα.

Οι χημικοί αναστολείς διακρίνονται ακόμη σε :

- Παθητικοποιητές, όταν σχηματίζουν ένα λεπτό ομοιόμορφο στρώμα πυκνής δομής (20 nm) στην επιφάνεια του μετάλλου π.χ. νιτρικά, χρωμικά ανιόντα.
- Επικαλυπτές, όταν σχηματίζουν σχετικά παχύτερα, ανομοιόμορφα μικρής πυκνότητας στρώματα στην επιφάνεια του μετάλλου π.χ. φωσφορικά, αρσενικά.
- Ηλεκτροχημικοί αναστολείς, όταν σχηματίζουν λεπτά επιφανειακά στρώματα στο προστατευόμενο μέταλλο με αντιμετάθεση του προστατευόμενου μετάλλου με ευγενέστερα μεταλλοκατιόντα (όπως Hg, As, Sb) που αυξάνουν την υπέρταση υδρογόνου.

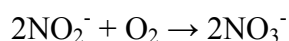
Χημικοί αναστολείς διάβρωσης, οι οποίοι ενεργούν στο διαβρωτικό περιβάλλον αντιδρώντας με διαβρωτικά συστατικά ονομάζονται απομακρυντές όπως π.χ. η υδραζίνη η οποία δεσμεύει το οξυγόνο.

Η χρήση των αναστολέων διάβρωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα με σκοπό την αποφυγή της διάβρωσης του οπλισμού έχει εφαρμογή πρακτικά από το 1978, αν και ερευνητικές εργασίες είχαν προηγηθεί κατά 15 χρόνια περίπου. Η χρήση των αναστολέων διάβρωσης σε μεταλλικές κατασκευές έχει πολύ μεγαλύτερη ιστορία.

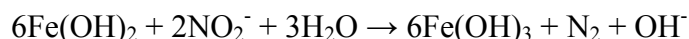
Αρχικά η χρήση των αναστολέων διάβρωσης ήταν η προσθήκη του αναστολέα ως πρόσθετο κατά την παραγωγή του σκυροδέματος. Σαν αναστολείς διάβρωσης είχαν προταθεί τα: νιτρώδες νάτριο (NaNO_2), νιτρώδες κάλιο, χρωμικό κάλιο, εστέρες νατρίου κ.α.. Η χρήση των αναστολέων αυτών έδωσε θετικά αποτελέσματα όσον αφορά τη διάβρωση του οπλισμού και συγκεκριμένα το νιτρώδες νάτριο είχε τα καλύτερα αποτελέσματα. Ταυτόχρονα όμως παρουσίαζαν το πρόβλημα της μείωσης της θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος κατά 20-40%. Η αύξηση του ποσοστού του αναστολέα διάβρωσης έχει σαν συνέπεια την μεγαλύτερη μείωση αντοχής. Ακόμη η αύξηση της περιεκτικότητας των ιόντων του Na^+ ή K^+ στο σκυρόδεμα οδηγεί σε αύξηση της πιθανότητας της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης, όταν βέβαια χρησιμοποιούνται αδρανή ευαίσθητα σε αλκαλοπυριτική αντίδραση.

Η χρήση του νιτρώδους ασβεστίου στην θέση του νιτρώδους νατρίου έδωσε για πρώτη φορά ταυτόχρονα αυξημένη αντοχή και αύξηση της αντίστασης σε διάβρωση. Η χρήση του νιτρώδους ασβεστίου δίνει καλά αποτελέσματα τόσο στην περίπτωση του ενανθρακωμένου σκυροδέματος όσο και στην περίπτωση της διάβρωσης με

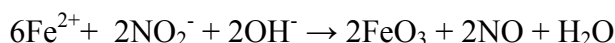
χλωριόντα. Η προστατευτική του επίδραση κατά μία άποψη, μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται στην ιδιότητά του να αντιδρά σε αλκαλικό περιβάλλον με το οξυγόνο κατά την αντίδραση :



Είναι όμως επικρατέστερη η άποψη ότι το νιτρώδες ανιόν αντιδρά με το υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου με αποτέλεσμα το ίδιο να ανάγεται προς το άζωτο και το δισθενές υδροξείδιο του σιδήρου να μετατρέπεται σε τρισθενές κατά την αντίδραση :



Ο σχηματισμός του τρισθενούς υδροξειδίου του σιδήρου έχει σαν αποτέλεσμα την παρεμπόδιση του σχηματισμού χλωροσμπλόκων του σιδήρου και παρεμποδίζει την ανοδική διάλυση του σιδήρου. Σύμφωνα με μία άλλη υπόθεση το νιτρώδες ανιόν προωθεί τον σχηματισμό του τριοξειδίου του σιδήρου στην επιφάνεια του οπλισμού σχηματίζοντας ένα είδος παθητικού στρώματος κατά την αντίδραση :



Η δυνατότητα παθητικοποίησης του χάλυβα μέσω του νιτρώδους ανιόντος είναι δυνατή μόνο άνω ενός ορίου. Έρευνες έχουν διεξαχθεί και έχουν οδηγήσει στην διατύπωση της άποψης ότι η παθητικοποίηση είναι δυνατή μέχρις ορισμένης τιμής του λόγου $\text{NO}_2^- / \text{Cl}^-$. Εφόσον η τιμή του λόγου αυτού γίνει μικρότερη ενός ορίου η παθητικοποίηση δεν πραγματοποιείται. Έχουν εκφραστεί διάφορες τιμές του λόγου αυτού αλλά η επικρατέστερη θεωρείται η τιμή 1/6.

Την τελευταία πενταετία έχει προταθεί ένας αριθμός οργανικών ενώσεων για να χρησιμοποιηθούν σαν αναστολείς διάβρωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι ενώσεις αυτές είναι αμινοαλκοόλες, αλκανολαμίνες και μίγματα αμινών με εστέρες.

Στην περίπτωση της διάβρωσης με χλωριόντα η προστασία των αναστολέων διάβρωσης εξαρτάται από τον λόγο συγκεντρώσεων των χλωριόντων προς την συγκέντρωση του αναστολέα. Ο λόγος αυτός μας δίνει και την απαιτούμενη προσθήκη αναστολέα ανά περίπτωση.

Αρχικά η χρήση των αναστολέων διάβρωσης, όπως ήδη έχει αναφερθεί, αναφέρεται σαν πρόσθετο στο σκυρόδεμα. Επομένως η χρήση των αναστολέων διάβρωσης στις

επιδιορθώσεις υπαρχόντων κτιρίων ήταν μόνο η προσθήκη τους στα κονιάματα επισκευών. Ο τρόπος αυτός χρήσης των αναστολέων παρουσιάζει το μειονέκτημα της δημιουργίας μακροστοιχείων, τα οποία περιορίζουν την ικανότητα προστασίας σε διάβρωση. Τον τελευταίο καιρό η χρήση τους σε επισκευές έχει διευρυνθεί με την χρήση ψεκασμού στην επιφάνεια σκυροδέματος. Ο τρόπος αυτός δίνει μία σημαντική επέκταση της χρήσης των αναστολέων διάβρωσης σε επισκευές και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η διάβρωση του οπλισμού δεν έχει προχωρήσει σε σημαντική έκταση. Στην περίπτωση αυτή η ικανότητα διάχυσης του αναστολέα διάβρωσης στους πόρους του σκυροδέματος είναι μία σημαντική ιδιότητα. [1]

3.5.1 Σύγκριση της μεθόδου των αναστολέων διάβρωσης με άλλες μεθόδους προστασίας του οπλισμού από διάβρωση

Καταρχήν οποιαδήποτε προσπάθεια για μείωση του πορώδους του σκυροδέματος ή μείωση της διαπερατότητας αποτελεί ταυτόχρονα και μέθοδο προστασίας από την διάβρωση του οπλισμού. Σε περίπτωση όμως έντονα διαβρωτικού περιβάλλοντος πρέπει να ληφθούν πρόσθετα μέτρα για την προστασία του οπλισμού από την διάβρωση.

Μέθοδοι προστασίας του οπλισμού από την διάβρωση είναι :

- Η χρήση αναστολέων διάβρωσης
- Η επικάλυψη του σκυροδέματος με προστατευτικά επιστρώματα
- Η επικάλυψη του οπλισμού με ψευδάργυρο
- Η επικάλυψη του οπλισμού με εποξειδικές ρητίνες ή PVC
- Η καθοδική προστασία

Η μέθοδος προστασίας με αναστολείς διάβρωσης σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα της εύκολης εφαρμογής, απουσίας συντήρησης και χαμηλού κόστους. Σχετικά με την αποτελεσματικότητά της η εμπειρία δείχνει ότι μπορεί να επιτευχθεί διπλασιασμός του χρόνου ζωής της κατασκευής.

Η μέθοδος των επικαλύψεων της επιφάνειας του σκυροδέματος σε σχέση με τους αναστολείς παρουσιάζει το μειονέκτημα της περιοδικής συντήρησης για να είναι αποτελεσματική.

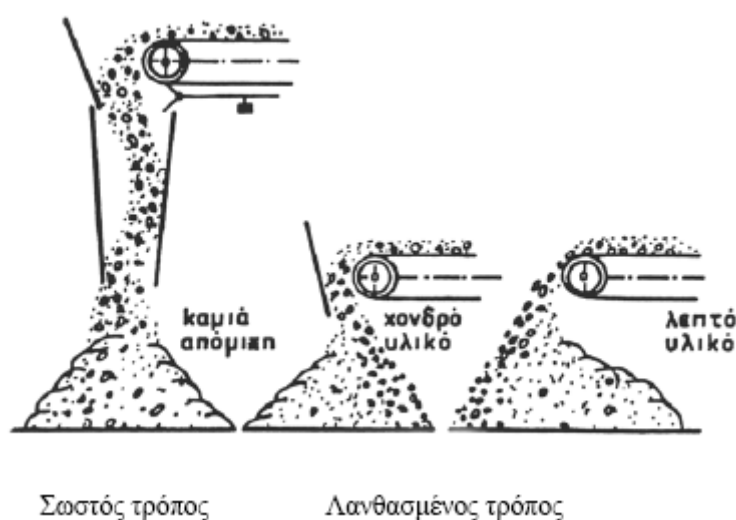
Οι μέθοδοι επικάλυψης του οπλισμού σε σύγκριση με τους αναστολείς διάβρωσης παρουσιάζουν τα μειονεκτήματα του αυξημένου κόστους της μείωσης της συνάφειας οπλισμού – σκυροδέματος και την επιτάχυνση της διάβρωσης σε σημεία όπου η επικάλυψη παρουσιάζει φθορές.

Τέλος η μέθοδος της καθοδικής προστασίας, η οποία είναι η μόνη που μπορεί, έστω και θεωρητικά, να εγγυηθεί άπειρο χρόνο προστασίας έχει πολλαπλάσιο κόστος. [1]

3.6 Μεταφορά και διάστρωση του σκυροδέματος

Το σκυροδέμα, κατά τη μεταφορά και τη διάστρωσή του, πρέπει να προστατεύεται από τις επιδράσεις των καιρικών φαινομένων και από την πρόσμιξη του με άλλα υλικά. Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η απόμιξη του και το σκυροδέμα να διατηρεί την ομοιογένεια και το εργάσιμό του. Η μεταφορά του σκυροδέματος στον τόπο διάστρωσης με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την ποιότητα και την ποσότητα του, όπως τα καροτσάκια, αναβατόρια, ειδικά οχήματα, ειδικές αντλίες, κλπ. Στο σχήμα 78 δίνεται χαρακτηριστικό παράδειγμα προσαγωγής σκυροδέματος με μεταφορική ταινία.

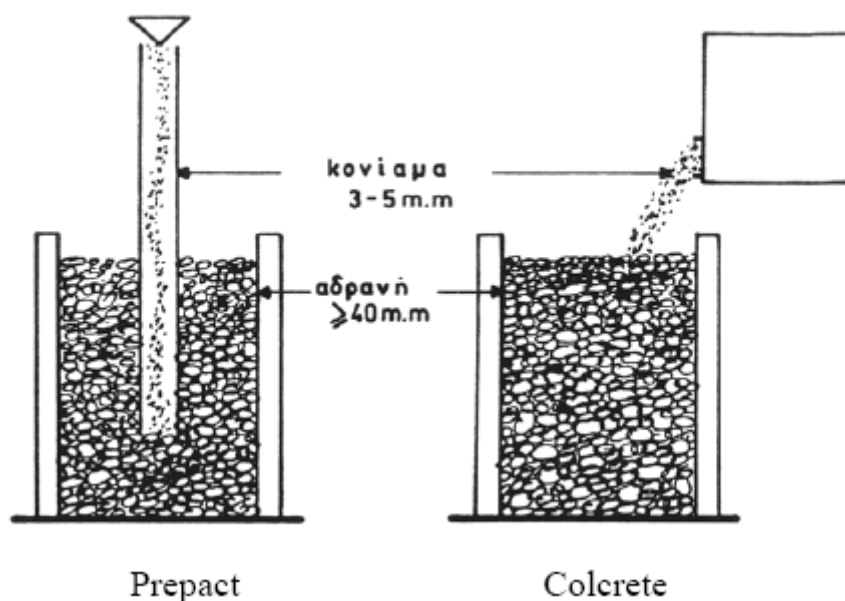
Για την εκφόρτωση του σκυροδέματος και την μεταφορά του στη θέση διάστρωσης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κεκλιμένα επίπεδα, μεταφορικές ταινίες ή άλλα κατάλληλα μέσα, τα οποία δεν προκαλούν απόμιξη του μίγματος.



Σχήμα 12 : Προσαγωγή σκυροδέματος με μεταφορική ταινία

Απαγορεύεται η ελεύθερη πτώση σκυροδέματος από ύψος μεγαλύτερο από 2,5 m. Η διάστρωση του σκυροδέματος στα καλούπια πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία κενών ή οπών. Στο σχήμα 79 παρουσιάζονται δύο μέθοδοι, οι οποίες ονομάζονται Colcret και Prepract αντιστοίχως. Στις μεθόδους αυτές διαστρώνονται αρχικά τα χονδρόκοκκα αδρανή, τα οποία έχουν διάμετρο $d \geq 40$ mm,

στα καλούπια και ακολούθως καλύπτονται τα μεταξύ των κενά με τσιμεντοκονίαμα που περιέχει τα αδρανή με μικρότερες διαμέτρους. [5]



Σχήμα 13 : Διάστρωση σκυροδέματος με ειδικές μεθόδους

3.6.1 Ανάμειξη σκυροδέματος και μεταφορά στο έργο -Έτοιμο σκυρόδεμα

Η ανάμειξη του σκυροδέματος γίνεται μηχανικά με μπετονιέρες, είτε με πλήρη γνώση και έλεγχο της παραγωγής από τον επιβλέποντα, συνήθως στο τόπο του έργου (

‘εργοταξιακό’ σκυρόδεμα) είτε σε μόνιμες ή ημιμόνιμες εγκαταστάσεις εκτός ελέγχου του επιβλέποντος και συνήθως μακριά από το έργο (‘εργοστασιακό ή έτοιμο σκυρόδεμα’). Το έτοιμο σκυρόδεμα μπορεί να θεωρηθεί βιομηχανικό προϊόν, και σαν τέτοιο έχει και καλύτερο έλεγχο ποιότητας και μικρότερο κόστος από το εργοστασιακό. Δεδομένου και ότι η εφαρμογή του διευκολύνει σημαντικά τη σκυροδέτηση, το έτοιμο σκυρόδεμα έχει ουσιαστικά εκτοπίσει το εργοταξιακό, με εξαίρεση τα εργοτάξια μεγάλων σε όγκο έργων.

Όταν η ανάμειξη γίνεται στο εργοτάξιο, προστίθενται στη μπετονιέρα τα αδρανή (πρώτα τα χονδρόκοκκα) και το τσιμέντο και αναμιγνύονται για ένα περίπου λεπτό. Κατόπιν προστίθεται το νερό σε μικρές δόσεις και τα τυχόν πρόσθετα και η ανάμειξη συνεχίζεται για ένα τουλάχιστον λεπτό. Στα εργοστάσια έτοιμου σκυροδέματος η λειτουργία και η τροφοδοσία του αναμεικτήρα με υλικά είναι συνεχής. Και στις δύο περιπτώσεις η μέτρηση του τσιμέντου, των πρόσθετων σε στερεή μορφή και των

αδρανών πρέπει να γίνεται κατά βάρος. Το νερό και τα υγρά πρόσθετα μπορεί να μετρώνται είτε κατ' όγκον είτε κατά βάρος. Η μέτρηση του νερού και του τσιμέντου πρέπει να γίνεται με ακρίβεια $\pm 2 \%$, των δε αδρανών και των πρόσθετων με ακρίβεια $\pm 3 \%$.

Για το έτοιμο σκυρόδεμα ισχύει το πρότυπο ΕΛΟΤ 346-79 . Το έτοιμο σκυρόδεμα μεταφέρεται στο έργο με χωρητικότητα 10m^3 περίπου. Στην Ελλάδα η ανάμειξη του συνήθως γίνεται πλήρως στις εγκαταστάσεις παραγωγής, οπότε η μεταφορά μέχρι το έργο συνιστάται να διαρκεί το πολύ 45min αν γίνεται με κοινό φορτηγό, ή το πολύ 90 min αν γίνεται με ειδικό όχημα-μπετονιέρα με ανάδευση, μέσα σε περιστρεφόμενο κάδο ('βαρέλια'). Για ζεστό ή ξηρό καιρό ή για δυνατό άνεμο, ο μέγιστος χρόνος μεταφοράς είναι το μισό των παραπάνω τιμών. Επίσης, αν έχει προστεθεί κατά την ανάμειξη του έτοιμου σκυροδέματος υπερρυστοποιητικό, πρέπει η διάστρωση να γίνει μέσα σε 20 min το πολύ, όσο δηλαδή διαρκεί η δράση του υπερρυστοποιητικού. Ο κάδος του οχήματος-μπετονιέρα περιστρέφεται κατά τη μεταφορά με συχνότητα 2-6 στροφών/min, για να αποφευχθεί απόμειξη ή 'ψευδόπηξη' του σκυροδέματος. Αν η απόσταση μεταφοράς στο εργοτάξιο είναι τόσο μεγάλη ώστε να μην μπορούν να τηρηθούν τα παραπάνω όρια, τότε μπορεί τα υλικά να ζυγιστούν στο εργοστάσιο και να προστεθούν στον κάδο του οχήματος χωρίς να αναμειχθούν, η δε ανάμειξη να γίνει κατά τη διαδρομή με συχνότητα περιστροφής του κάδου 6-18 στροφές/min. Για την ανάμειξη απαιτούνται 50-100 περιστροφές του κάδου. Μετά τις 100 περιστροφές η συχνότητα του κάδου πρέπει να μειωθεί στο ένα τρίτο (συχνότητα ανάδευσης), για να αποφευχθεί απόμειξη σκυροδέματος. Όταν η ανάμειξη γίνεται στο όχημα, επιτρέπεται να γεμίζει ο κάδος μόνο μέχρι 65% του όγκου του (που είναι γενικά $4-10 \text{m}^3$), για να μην ξεχειλίσει. Για πολύ μεγάλες αποστάσεις μεταφοράς, είναι δυνατή η προσθήκη του νερού στο μείγμα κατά τη διαδρομή από τη δεξαμενή του οχήματος, ή ακόμα και αφού φθάσει το όχημα στο εργοτάξιο. Επίσης, λόγω της σχετικά σύντομης δράσης τους, τα υπερρυστοποιητικά είναι προτιμότερα να προστίθενται επί τόπου και να ακολουθεί ανάμειξη για 3 min.

Κατά τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος, η παραγγελία έτοιμου σκυροδέματος προς το εργοστάσιο πρέπει να περιλαμβάνει, πέραν της συνολικής ποσότητας και της κατηγορίας σκυροδέματος, και την κατηγορία κάθισης (S1 έως S4) και τον τύπο συμβατικών δοκιμίων που θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ποιότητας (κυλινδρικά $150 \text{mm} \times 300 \text{mm}$ ή κυβικά 150mm). Επιπλέον αν πρόκειται

για σκυρόδεμα ειδικών απαιτήσεων θα πρέπει να προδιαγράφει και την ελάχιστη περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο, τη μέγιστη τιμή του λόγου νερού προς τσιμέντο στο μείγμα και τη θέση της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών, σύμφωνα με τις ειδικές απαιτήσεις. Τέλος, δίνεται δυνατότητα στον πελάτη να προδιαγράψει πλήρως τη σύνθεση του σκυροδέματος, οπότε ο παραγωγός έτοιμου σκυροδέματος ευθύνεται μόνο για την τήρηση της παραγγελίας και την ποιότητα των υλικών. Σε κάθε περίπτωση το δελτίο αποστολής του σκυροδέματος με το όχημα μεταφοράς θα πρέπει να αναγράφει όλα τα ανωτέρω στοιχεία της παραγγελίας, συν τον τύπο του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε.

Συχνά το έτοιμο σκυρόδεμα παραδίδεται στο έργο με αντοχή μικρότερη απ' αυτήν της παραγγελίας, αλλά κυρίως με απαράδεκτη εργασιμότητα. Στη περίπτωση αυτή ο 'πελάτης' ενδέχεται να δεχθεί να προστεθεί νερό με δική του ευθύνη, ώστε να μπορέσει να αντληθεί και να διαστρωθεί το σκυρόδεμα. Αποτέλεσμα είναι να μειώνεται ακόμα περισσότερο η αντοχή του σκυροδέματος και η ανθεκτικότητά του.

Αν έχει παρέλθει τόσος πολύς χρόνος από την αρχική μίξη μέχρι τη διάστρωση, που το σκυρόδεμα έχει αρχίσει να σκληρύνεται και είναι δύσκολο να διαστρωθεί, μπορεί να προστεθεί επί τόπου υπερρευστοποιητικό και να επαναληφθεί η ανάμειξη, έτσι ώστε η εργασιμότητα να επανέλθει στα επιθυμητά επίπεδα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί στο ίδιο σκυρόδεμα, αλλά κατά προτίμηση όχι σε περισσότερο από δύο φορές. [4]

3.7 Μέθοδος πειραματικού ελέγχου αντοχής

Τα αποτελέσματα του πειραματικού προσδιορισμού της αντοχής του σκυροδέματος επηρεάζονται, μεταξύ άλλων, και από διάφορες παραμέτρους της δοκιμής, όπως το σχήμα, το μέγεθος και η υγρασία των δοκιμίων, καθώς και ο τρόπος φόρτισης.

Κατά την δοκιμή θλίψης, το δοκίμιο σκυροδέματος αναπτύσσει εγκάρσιες παραμορφώσεις (διόγκωση), οι οποίες εμποδίζονται σημαντικά λόγω των δυνάμεων τριβής στην περιοχή των επιφανειών επαφής με τις άκαμπτες πλάκες της μηχανής φόρτισης. Η εγκάρσια αυτή παρεμπόδιση επιβραδύνει την ανάπτυξη και επέκταση κατακόρυφων μικρολογιών και άρα αυξάνει τη θλιπτική αντοχή σκυροδέματος. Ο 'εγκιβωτισμός' αυτός του υλικού είναι έντονος μόνο στις ακραίες περιοχές του δοκιμίου, γι' αυτό και η επίδρασή του στο αποτέλεσμα της δοκιμής μειώνεται αυξάνοντας το λόγο ύψους προς βάση. Η επίδραση των συνοριακών συνθηκών στην

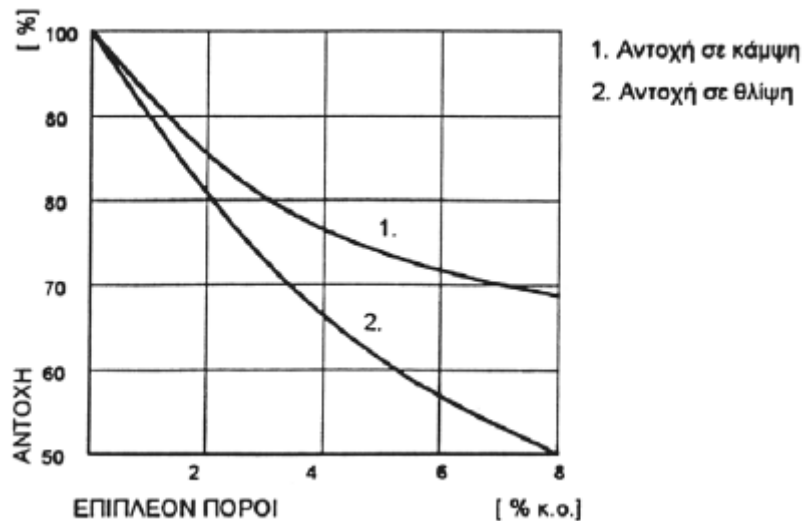
αντοχή ουσιαστικά εκμηδενίζεται για το λόγο 2 : 1. Η θλιπτική αντοχή κυλίνδρου 150 x 300 mm είναι περίπου ίση με 75-85 % της αντοχής κύβου 150 mm. Εκτός από την τιμή της αντοχής, το σχήμα του δοκιμίου επηρεάζει και τη μορφή αστοχίας, γεγονός που οφείλεται στην καμπύλωση των τροχιών των κυρίων τάσεων, που προκύπτει λόγω δυνάμεων τριβής στα άκρα και μπορεί να φθάσει, για κυβικά δοκίμια, μέχρι το μέσο του ύψους τους. Σε δοκίμια με λόγο ύψους προς βάση τουλάχιστον 2 : 1 οι τροχιές των κυρίων τάσεων στο μέσο ύψους είναι σχεδόν ευθύγραμμες, οπότε και οι επιφάνειες θραύσης είναι παράλληλες ή σχηματίζουν μικρές γωνίες με τη διεύθυνση φόρτισης, σε αντίθεση με τα κυβικά δοκίμια που θραύονται με μορφή διπλού κώνου.

Επειδή η πιθανότητα να βρεθεί μία αδύνατη περιοχή από όπου θα αρχίσει η αστοχία του δοκιμίου αυξάνεται με το μέγεθός του, η αντοχή μειώνεται με το μέγεθος. Έτσι, η αντοχή κύβων πλευράς 150 mm και 300 mm είναι κατά μέσο όρο 5 % μεγαλύτερη και 10% μικρότερη, αντίστοιχα, από αυτή κύβων πλευράς 200 mm. Επίσης, η αντοχή κυλίνδρων 50 x 100 mm, 75 x 150 mm και 200 x 400 mm είναι κατά μέσο όρο 10% μεγαλύτερη, 6% μεγαλύτερη και 4% μεγαλύτερη, αντίστοιχα, από αυτή κυλίνδρου 150 x 300 mm.

Δοκίμια με αρκετή υγρασία έχουν γενικά μικρότερη αντοχή από ξηρά δοκίμια, γεγονός που μάλλον οφείλεται στο ότι τα μόρια στους πόρους του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού αυξάνουν τις αποστάσεις μεταξύ των κρυστάλλων μειώνοντας έτσι τις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ τους, άρα και την αντοχή. Έτσι, εντελώς ξηρά δοκίμια έχουν αντοχή μέχρι 20 % περίπου μεγαλύτερη από αυτή δοκιμίων κορεσμένων σε νερό.

3.8 Συμπύκνωση του σκυροδέματος

Όταν μετά από διάστρωση του το σκυρόδεμα σκληρυνθεί χωρίς να συμπυκνωθεί, παραμένει μέσα στη μάζα του μια επιπλέον ποσότητα αέρα με αποτέλεσμα τη δημιουργία πόρων, οι οποίοι επηρεάζουν αρνητικά τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Στο Σχήμα 80 δίνεται η επίδραση των επιπλέον πόρων στην αντοχή σε κάμψη και σε θλίψη του σκυροδέματος.



Σχήμα 14 : Επίδραση των επιπλέον πόρων του σκυροδέματος, λόγω μη συμπίκνωσης, στην αντοχή σε κάμψη και σε θλίψη του σκυροδέματος.

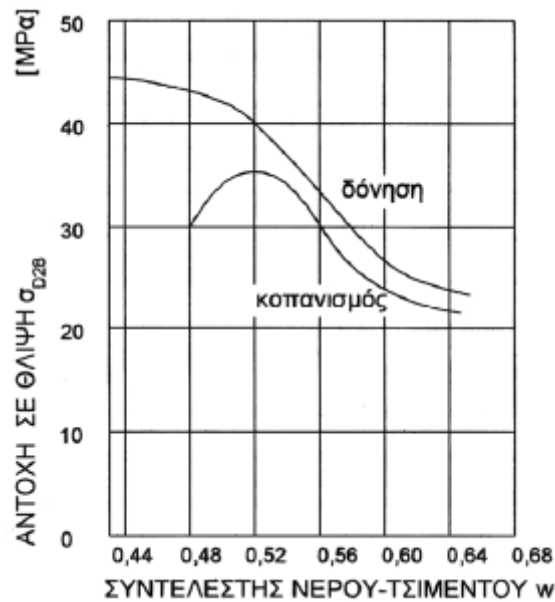
Συνεπώς το νωπό σκυρόδεμα πρέπει να συμπυκνώνεται, ώστε να απομακρυνθεί ο εγκλωβισμένος αέρας και να γίνει πυκνότερη η διάταξη των κόκκων και αδρανών. Η συμπίκνωση εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος των κόκκων του αδρανούς, το συντελεστή w , τη διάταξη του οπλισμού και τις διαστάσεις του δομικού στοιχείου. Οι συνηθέστεροι τρόποι συμπίκνωσης είναι:

α. Κοπανισμός με το χέρι ή μηχανικός.

β. Ραβδισμός με ξύλινες ή χαλύβδινες κυλινδρικές ράβδους.

γ. Δόνηση με δονητές μέσα στη μάζα, επιφανειακούς, ξυλότυπου ή και με δονητικές τράπεζες.

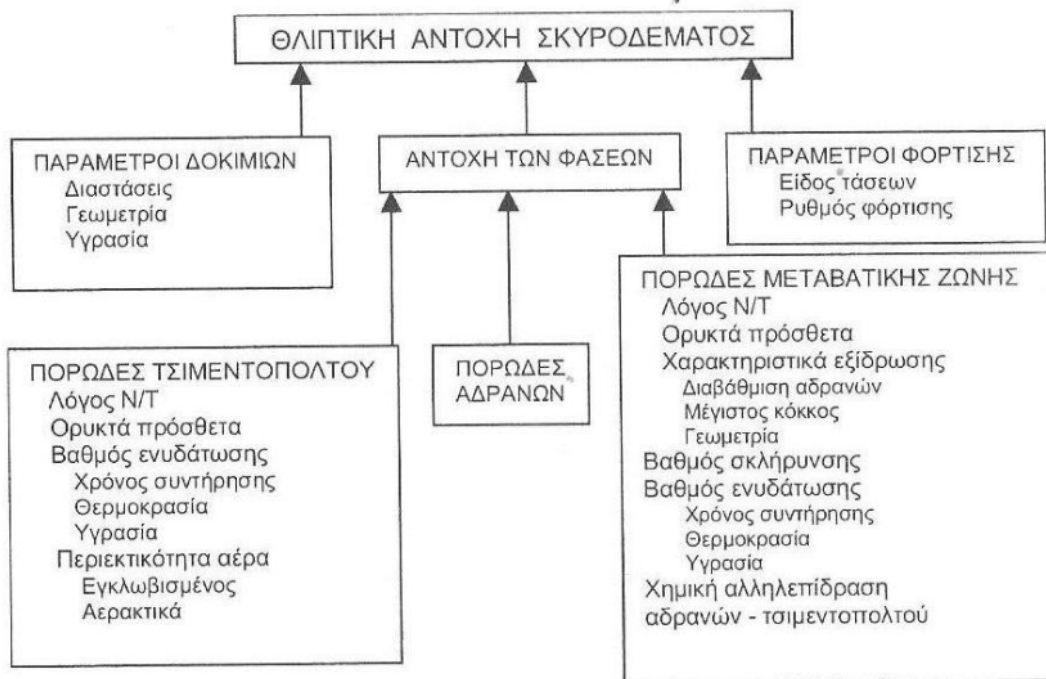
Η συμπίκνωση γίνεται με δόνηση και μόνο για σκυρόδεμα με μεγάλο μέτρο εξάπλωσης και για δοκίμια μικρού πάχους γίνεται με σανίδα ή ράβδο. Στο σχήμα 81 δίνεται η επίδραση του τρόπου συμπίκνωσης στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος για διάφορες τιμές του συντελεστή w . [5]



Σχήμα 15: Επίδραση του τρόπου συμπύκνωσης στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος σε συνάρτηση με το συντελεστή w

3.9 Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σε θλίψη

Ο πλέον καθοριστικός παράγοντας για τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αφορά τη σχέση του λόγου N/T με το πορώδες. Ο απευθείας και ακριβής προσδιορισμός του πορώδους στις διάφορες φάσεις του σκυροδέματος είναι πολύ δύσκολος για πρακτικές εφαρμογές, γιατί και η ανάπτυξη επακριβών μαθηματικών προσομοιωμάτων για την πρόβλεψη της αντοχής του υλικού σε θλίψη είναι σχεδόν αδύνατη. Αντίθετα, εμπειρία πολλών ετών έχει καθιερώσει πρακτικούς κανόνες που δίνουν αρκετά χρήσιμες πληροφορίες για τους παράγοντες που επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Οι παράγοντες αυτοί, που δίνονται παραστατικά στο Σχήμα 16, σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά και τις αναλογίες των συστατικών του σκυροδέματος, με τις συνθήκες συντήρησης και με τον τρόπο διεξαγωγής των πειραματικών ελέγχων για τον προσδιορισμό της αντοχής. [2]



Σχήμα 16 : Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος

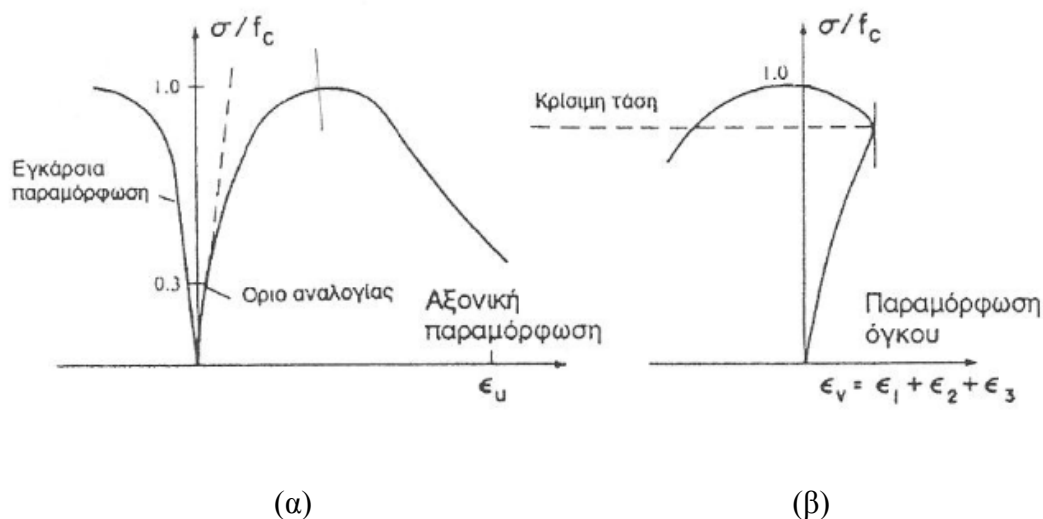
3.9.1 Το σκυρόδεμα υπό φόρτιση

Λόγω της πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει τη δομή του σκυροδέματος, οι μηχανισμοί αστοχίας του είναι αρκετά περίπλοκοι και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την κατανομή των τάσεων.[2]

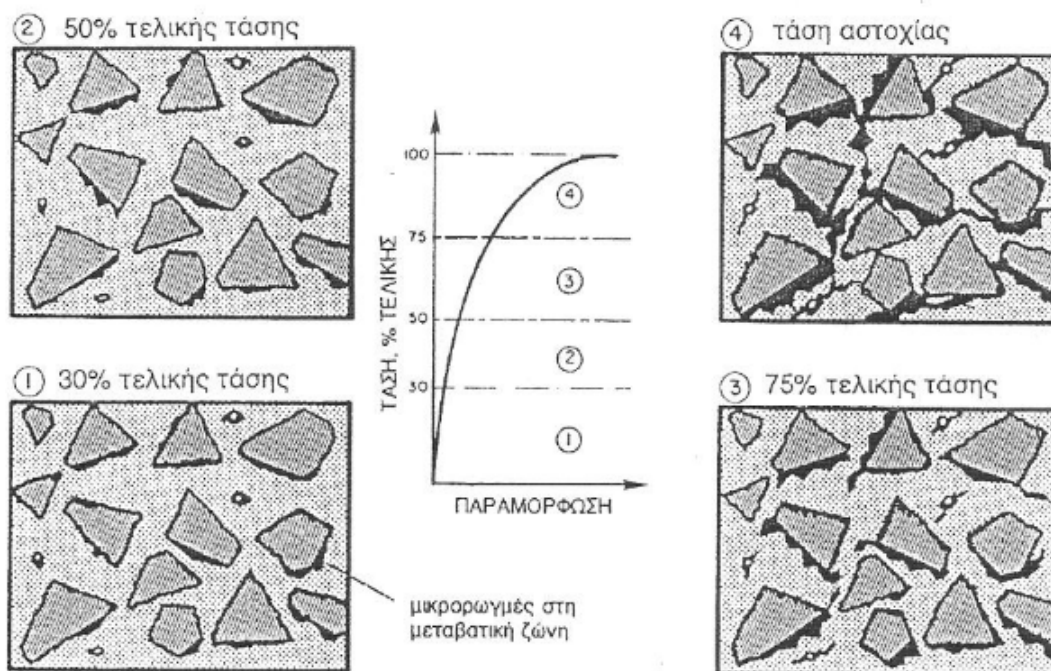
3.9.2 Συμπεριφορά σε μονοαξονική θλίψη

Το σκυρόδεμα αστοχεί σε θλίψη λόγω ανάπτυξης και επέκτασης ρωγμών στη μάζα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Πολλές από τις ρωγμές αυτές προϋπάρχουν στη μεταβατική ζώνη (ο αριθμός και το πλάτος τους εξαρτώνται κυρίως από τη συντήρηση και από τα χαρακτηριστικά εξίδρωσης του σκυροδέματος, καθώς και από την αντοχή της μεταβατικής ζώνης) και ενώνονται με άλλες που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια φόρτισης. Η σχέση τάσης-παραμόρφωσης του υλικού Σχήμα 17α περιγράφει γραμμικά ελαστική συμπεριφορά μέχρι το 30% περίπου τελικής αντοχής f_c , ενώ κατά το αρχικό αυτό στάδιο φόρτισης οι ρωγμές της μεταβατικής ζώνης παραμένουν ως έχουν. Για τάσεις μεταξύ 30% και 50% της f_c οι ρωγμές αυτές αυξάνονται κάπως σε μήκος, πλάτος και αριθμό, χωρίς να εισέρχονται στον σκληρυμένο τσιμεντοπολτό, ενώ καμπύλη σ - ϵ γίνεται όλο και περισσότερο μη-γραμμική. Για μεγαλύτερες τάσεις και μέχρι $0.75f_c$, που ονομάζεται και κρίσιμη τάση, η ρηγμάτωση επεκτείνεται με αυξανόμενους ρυθμούς στον τσιμεντοπολτό.

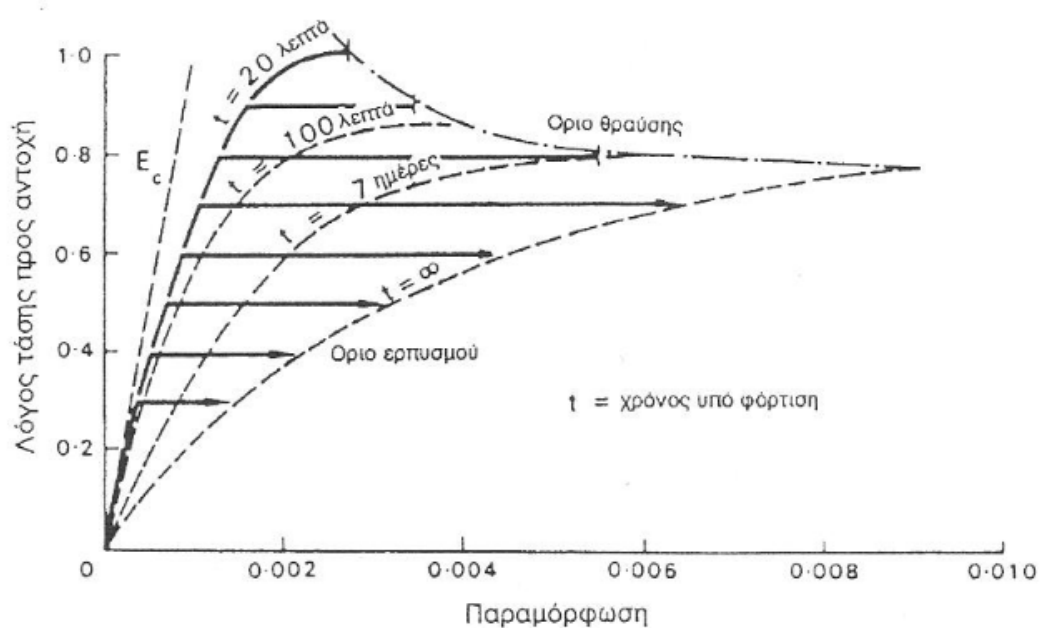
Μετά την κρίσιμη τάση το σύστημα γίνεται ασταθές, με την έννοια ότι οι παραμορφώσεις αυξάνονται σχετικά απότομα, ενώ οι επιφάνειες θραύσης τείνουν να γίνουν συνεχείς. Έτσι, για τάσεις $0.75 - 0.9 f_c$ η σχέση σ - ϵ εμφανίζει βαθμιαία αύξηση καμπυλότητας, ενώ για ακόμα μεγαλύτερες τάσεις γίνεται σχεδόν οριζόντια και ακολούθως αποκτά αρνητική κλίση μέχρι την τελική θραύση του υλικού. Σημειώνεται ότι η κρίσιμη τάση αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη παραμορφώσεων που σχετίζονται με τη μεταβολή όγκου του υλικού. Όπως δείχνει και το Σχήμα 17β, ο όγκος του υλικού μειώνεται σχεδόν γραμμικά μέχρι την κρίσιμη τάση, πέρα από την οποία η μεταβολή όγκου αλλάζει πρόσημο και αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς, λαμβάνοντας την τιμή μηδέν όταν η τάση γίνει περίπου ίση με f_c . Η πρόοδος της ρηγμάτωσης του υλικού δίνεται παραστατικά στο Σχήμα 18



Σχήμα 17 : Τυπικά διαγράμματα θλιπτικής τάσης συναρτήσει (α) αξονικής και εγκάρσιας παραμόρφωσης, και (β) παραμόρφωσης όγκου



Σχήμα 18 : Σχηματική απεικόνιση της συμπεριφοράς του σκυροδέματος σε μονοαξονική θλίψη



Σχήμα 19 : Σχέση μεταξύ βραχυχρόνιας και μακροχρόνιας αντοχής σε μονοαξονική θλίψη

Όταν η θλιπτική τάση ξεπερνά την κρίσιμη τιμή (προσεγγιστικά), η συμπεριφορά του σκυροδέματος εξαρτάται σημαντικά από τη διάρκεια της φόρτισης, λόγω του φαινομένου ερπυσμού (ανάπτυξη παραμορφώσεων υπό σταθερή τάση). Έτσι, όταν τα φορτία είναι μόνιμα και προκαλούν σημαντικές τάσεις, οι ρωγμές της μεταβατικής ζώνης επεκτείνονται προς τη μάζα του τσιμεντούπολη προκαλώντας αστοχία του υλικού υπό τάση που είναι μικρότερη της ομοαξονικής αντοχής σε βραχυχρόνια φόρτιση. Για παράδειγμα τάση ίση με $0.9f_c$ προκαλεί αστοχία υλικού μετά από μία ώρα, ενώ ο αντίστοιχος χρόνος για τάση $0.75f_c$ είναι 30 περίπου χρόνια. Τυπικές σχέσεις μεταξύ αντοχής σε βραχυχρόνια και μακροχρόνια φόρτιση δίνονται στο Σχήμα 19 Τριαντ [2]

3.10 Μέθοδοι μη καταστρεπτικού Ελέγχου (Εμμεσες Μέθοδοι)

Οι μέθοδοι μη καταστρεπτικού ελέγχου του σκυροδέματος (ή έμμεσες μέθοδοι) αποσκοπούν στην εκτίμηση ορισμένων ιδιοτήτων ή χαρακτηριστικών του υλικού σε παλαιές ή νέες κατασκευές βάσει πειραματικών διαδικασιών που δεν επιφέρουν ζημιά (όπως η θραύση πυρήνων). Γενικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : (α) σε αυτές που στηρίζονται στη μέτρηση μιάς ιδιότητας του σκυροδέματος (π.χ. επιφανειακή σκληρότητα, μέτρο ελαστικότητας) βάσει της οποίας εκτιμάται η αντοχή, η ανθεκτικότητα σε διάρκεια κ.τ.λ. και (β) σε αυτές που αποσκοπούν στον προσδιορισμό διαφόρων χαρακτηριστικών, όπως η θέση, η διάμετρος και η κατάσταση των ράβδων οπλισμού, περιοχές κακής συμπίκνωσης, περιεκτικότητα σε υγρασία κ.τ.λ. Οι μέθοδοι που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι συνήθως αυτές που στηρίζονται σε σχέσεις μεταξύ αντοχής και άλλων ιδιοτήτων, οι οποίες έχουν στατιστικό χαρακτήρα. Ας σημειωθεί ότι στη διασπορά των τιμών της αντοχής προστίθεται και αυτή που προέρχεται από την ασάφεια της σχέσης αντοχής – μετρούμενης ιδιότητας, καθώς και η διασπορά στη μέτρηση της ιδιότητας, δίνοντας συνολική διασπορά της τάξης του 20-30%, Έτσι γενικά συνίσταται η χρήση των μεθόδων αυτών να γίνεται από έμπειρο προσωπικό και σε συσχέτιση με εργαστηριακές μεθόδους, το δε αποτέλεσμα να θεωρείται ενδεικτικό και χρήσιμο κυρίως για σύγκριση της ποιότητας του σκυροδέματος από περιοχή σε περιοχή.[2]

3.10.1 Το κρουσίμετρο αναπήδησης Schmidt

Βασική αρχή της μεθόδου είναι ότι η αναπήδηση μάζας εξαρτάται από τη σκληρότητα της επιφάνειας πάνω στην οποία γίνεται η κρούση. Το κρουσίμετρο αναπήδησης, πιέζεται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα το

έμβολο που πιέζεται (προς το σκυροδέμα) να προκαλεί την αναπήδηση της μάζας που είναι στερεωμένη στο εσωτερικό του μέσω ελατηρίου, που αρχικά είναι τεντωμένο. Η αναπήδηση της μάζας συσχετίζεται με την αντοχή του σκυροδέματος μέσω καμπύλων, που έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα.

Επειδή τα αποτελέσματα της δοκιμής είναι ευαίσθητα στην παρουσία αδρανών ή κενών στην επαφή με το έμβολο, συνίσταται να γίνονται περίπου 10-15 μετρήσεις στην ίδια περιοχή του σκυροδέματος και να λαμβάνεται ο μέσος όρος. Επίσης, η κρούση πρέπει να γίνεται πάντα κάθετα προς την επιφάνεια, η οποία πρέπει να είναι λεία. Η θέση του κρουσίμετρου ως προς την κατακόρυφο επηρεάζει κάπως τα αποτελέσματα και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις καμπύλες.

Η σχέση αναπήδησης - αντοχής δεν είναι μοναδική, αλλά εξαρτάται από παράγοντες σχετικούς με την ποιότητα της επιφάνειας του σκυροδέματος, όπως είναι η συμπύκνωση, το τελείωμα, η ποιότητα και ποσότητα τσιμέντου, η ηλικία, η υγρασία, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, το βάθος ενανθράκωσης κ.τ.λ. Γι' αυτό, οι καμπύλες συσχετισμού θα πρέπει να έχουν προκύψει από τη μέτρηση αντοχών πυρήνων από σκυροδέμα με τα ίδια ή παρόμοια χαρακτηριστικά με το υπό εξέταση σκυροδέμα. Τονίζεται πάντως ότι η ακρίβεια της μεθόδου με κατάλληλα βαθμονομημένο κρουσίμετρο είναι της τάξης του $\pm 15-20\%$ για δοκίμια στο εργαστήριο και του $\pm 25\%$ για πραγματικές κατασκευές.

Ακρίβεια μετρήσεων

Οι έξι αρχές που επηρεάζουν την ακρίβεια των μετρήσεων ενός κρουσίμετρου είναι:

- ✓ Η βαθμολόγηση του κρουσίμετρου
- ✓ Το είδος του τσιμέντου
- ✓ Η ποσότητα του τσιμέντου
- ✓ Το είδος των σκύρων
- ✓ Η συμπύκνωση
- ✓ Το είδος της επιφάνειας

Εξοπλισμός

Για τον έλεγχο με κρουσίμετρο απαιτούνται :

1. Κρουσίμετρο με τη θήκη του

2. Σμυριδόπετρα

Αφού επιλεγούν οι πλευρές στις οποίες θα γίνει η κρουσιμέτρηση, γίνεται ελαφρύ τρίψιμο της επιφάνειας των σημείων με τη σμυριδόπετρα για την εξομάλυνση τυχών ανωμαλιών.

Αρχικά ελέγχεται εάν λειτουργεί το κρουσίμετρο κανονικά και αφού λειτουργούν όλα σωστά ξεκινάει η διαδικασία της κρουσιμέτρησης.

Επιλέγεται το δοκίμιο, πιέζεται το έμβολο σιγά σιγά πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος και λίγο πριν το έμβολο εξαφανιστεί τελείως ελευθερώνεται και χτυπά απότομα πάνω στο σκυροδέμα. Τη στιγμή της σύγκρουσης, το έμβολο πρέπει να σχηματίζει ορθή γωνία με την επιφάνεια του σκυροδέματος. Μετά την σύγκρουση, η εσωτερική μάζα του σφυριού αναπηδά μια ορισμένη απόσταση, η οποία εμφανίζεται πάνω σε κλίμακα με το δείκτη. Με το κρουσίμετρο μετράται η αναπήδηση του (σφύρα Schmidt) και γίνεται η αναγωγή της σε θλιπτική αντοχή σκυροδέματος σε N/mm^2 ή MPa . [2]



Εικόνα 1 : Κρουσιμέτρηση για την εύρεση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος

3.10.2 Δοκιμή ταχύτητας υπερήχων

Η αρχή της δοκιμής ταχύτητας υπερήχων είναι ότι η ταχύτητα του ήχου, V , που διαδίδεται μέσω στερεού σώματος συνδέεται με το μέτρο ελαστικότητας, E , και την πυκνότητα, ρ , του σώματος βάσει της σχέσης :

$$V = \sqrt{E} / \sqrt{\rho}$$

Η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας σκυροδέματος γνωστής πυκνότητας (δυναμικό μέτρο ελαστικότητας

E_{cd}) το οποίο συσχετίζεται με την αντοχή. Ο εξοπλισμός της δοκιμής περιλαμβάνει βασικά έναν πομπό σε επαφή με το σκυρόδεμα και ένα δέκτη επίσης σε επαφή με το σκυρόδεμα αλλά σε ορισμένη απόσταση από τον πομπό. Ο πομπός παράγει υπερήχους από έναν ηλεκτροακουστικό κρύσταλλο βάσει του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου, ενώ ο δέκτης συλλαμβάνει τους υπερήχους και τους μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα, που μέσω ενισχυτή καταγράφεται σε παλμογράφο. Ο χρόνος που απαιτείται για τη διάδοση της ταλάντωσης από τον πομπό στο δέκτη μετράται ηλεκτρονικά με ακρίβεια $\pm 0.1 \times 10^{-6}$ sec, και με γνωστή την απόσταση πομπού – δέκτη υπολογίζεται η ταχύτητα των υπερήχων.

Η ευαισθησία των οργάνων, άρα και η ακρίβεια της μεθόδου, μεγιστοποιείται όταν η μετάδοση γίνεται απευθείας, οπότε μετρώνται μόνο διαμήκη κύματα, ενώ σε περιπτώσεις ημι-απευθείας μετάδοσης ή επιφανειακής μετάδοσης το σήμα επηρεάζεται και από εγκάρσια ή επιφανειακά κύματα.

Όπως και στην προηγούμενη μέθοδο, η σχέση ταχύτητας – αντοχής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η διαβάθμιση, το μέγεθος, ο τύπος και το ποσοστό αδρανών, ο τύπος τσιμέντου, ο λόγος N/Τα, τα πρόσμικτα ή πρόσθετα, ο βαθμός συμπύκνωσης, οι συνθήκες συντήρησης, η ηλικία, η υγρασία και η θερμοκρασία του σκυροδέματος, το μέγεθος και σχήμα δοκιμίου κ.τ.λ. Γι'αυτό, οι καμπύλες συσχετισμού ταχύτητας – αντοχής θα πρέπει να έχουν προκύψει από τη μέτρηση αντοχών πυρήνων από σκυρόδεμα με τα ίδια ή πολύ παρόμοια χαρακτηριστικά με υπό εξέταση σκυρόδεμα. Έτσι, η μέθοδος είναι χρήσιμη περισσότερο για τον ποιοτικό έλεγχο παρόμοιων σκυροδεμάτων, οπότε θα διαγνωστεί η πιθανή ελλιπή συμπύκνωση ή η μεταβολή στο λόγο N/Τα, και λιγότερο για την εκτίμηση της αντοχής σκυροδέματος σε υφιστάμενες κατασκευές.[2]

3.10.3 Εξόλκευση Ήλου

Η μέθοδος στηρίζεται στην έμπηξη ενός ήλου με καθορισμένες διαστάσεις και δύναμη έμπηξης στη μάζα του σκυροδέματος, και στη μέτρηση της δύναμης που χρειάζεται για την εξόλκευσή του. Η δύναμη εξόλκευσης δίνει ένα μέτρο της πλευρικής πίεσης που ασκείται στην επιφάνεια του ήλου και επομένως εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της αντοχής του υλικού. Η αντοχή του σκυροδέματος εκτιμάται βάσει της δύναμης εξόλκευσης και καμπύλων συσχέτισης.

Με την μέθοδο που εφαρμόζεται συνήθως στην Ελλάδα χρησιμοποιείται ήλος μήκους 40 mm και διαμέτρου 4 mm που εμπηγνύεται μέσω εκτοξευτήρα καψουλιού καθορισμένης ισχύος και εξολκύεται μετά από παρέλευση 10 λεπτών με ειδικό εξολκέα με μανόμετρο, που μετράει τη δύναμη εξόλκευσης. Το διάστημα των 10 λεπτών μεταξύ έμπηξης και εξόλκευσης είναι απαραίτητο για την αποκατάσταση της ηρεμίας και θερμοκρασίας του υλικού στα αρχικά στάδια.[2]



Εικόνα 2 : Εξόλκευση ήλου

3.10.4 Άλλες μέθοδοι

Άλλες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί πρόσφατα για την εκτίμηση χαρακτηριστικών του σκυροδέματος βασίζονται σε :

1. ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους, κυρίως για την ανίχνευση οπλισμών με τα γνωστά ως μαγνητόμετρα, για την μέτρηση υγρασίας και για την ανίχνευση περιοχών με πιθανή διάβρωση των οπλισμών
2. μέθοδος ακτινοβολίας, όπως ακτινογραφία – γ και η ακτινογραφία – X, για την ανίχνευση οπλισμών, κοιλοτήτων ανωμαλιών
3. κρουστικές μεθόδους, που βασίζονται στη διάδοση κρουστικών κυμάτων, για τον εντοπισμό ασυνεχειών
4. θερμογραφικές μεθόδους όπως η υπέρυθρη θερμογραφία, για την ανίχνευση κοιλοτήτων, ρωγμών, οπλισμών
5. ακουστικές μεθόδους, που βασίζονται στη διάδοση ακουστικών κυμάτων και προσφέρονται κυρίως για εργαστηριακή έρευνα.[2]

3.11 Ταξινόμηση σκυροδεμάτων

Τα σκυροδέματα ταξινομούνται με βάση διάφορα κριτήρια, όπως είναι αυτό των αντοχής θλίψης σε 28 ημερών για τα σκληρυμένα σκυροδέματα (Πίνακας 14) και της κατηγορίας κάθισης για τα νωπά σκυροδέματα (Πίνακας 15).

<u>Κατηγορία Σκυροδέματος</u>	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου (N/mm ²)	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυβικό δοκιμίου (N/mm ²)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55

Πίνακας 14 : Κατηγορίες σκυροδέματος σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. -97

<u>Κατηγορία Κάθισης</u>	<u>Κάθιση (mm)</u>
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	≥160

Πίνακας 15 : Προβλεπόμενες κατηγορίες κάθισης

Η μετάβαση από την μία κατηγορία στην ανώτερη της προϋποθέτει αύξηση της ποσότητας του περιεχόμενου τσιμέντου που εκφράζεται σε Kg τσιμέντου ανά m³ σκυροδέματος. Η μικρότερη κατηγορία C8/10, αναφέρεται σε άοπλο σκυρόδεμα και σε όχι φέροντα στοιχεία, ενώ και η χρήση της επόμενης κατηγορίας C12/15 επιτρέπεται για οικοδομικά έργα μέχρι τρεις ορόφους μέγιστο.

Ακόμα τα σκυροδέματα διακρίνονται ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε έργου και τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις κατηγορίες :

- Σκυρόδεμα χωρίς ειδικές απαιτήσεις
- Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά
- Σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας
- Σκυρόδεμα μέσα σε νερό (όχι διαβρωτικό)
- Σκυρόδεμα στη θάλασσα
- Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε αέρα κορεσμένο με θαλάσσια άλατα (παραθαλάσσιο περιβάλλον)
- Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές προσβολές

Στον Πίνακα 16 δίνονται τα όρια της σύνθεσης (λόγος νερό/τσιμέντο, περιεκτικότητα σε τσιμέντο, κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών) των παραπάνω κατηγοριών σκυροδεμάτων.

Τάξη	Συγκέντρωση θεικών (SO₃)			Τύπος τσιμέντου	Ελάχιστη περιεκτικότητα σε τσιμέντο (Kg/m³)			Μέγιστος λόγος ελεύθερου νερού προς τσιμέντο
	Έδαφος		Υπόγεια νερά (ppm)		Μέγιστο μέγεθος αδρανών			
	SO₃ (%)	SO₃ σε 2 : 1 νερό : έδαφος εκχύλισμα (g/l)			40mm	20mm	10mm	
1	<0.2	-	<300	Portland ή Portland υψικαμίνου	240	280	330	0.55
2	0.2-0.5	-	300-1200	Portland	290	330	380	0.50
				Portland υψικαμίνου	240	280	330	0.55
				Portland με αντοχή στα θειικά ή υπερθειικά	270	310	360	0.50
3	0.5-1.0	1.9-3.1	1200-2500	Portland με αντοχή στα θειικά ή υπερθειικά	290	330	380	0.50
4	1.0-2.0	3.1-5.6	2500-5000	Portland με αντοχή στα θειικά ή υπερθειικά	330	370	420	0.45
5	>2	>6	>5000	Όπως και η τάξη 4, αλλά με την προσθήκη ικανών προστατευτικών επικαλύψεων αδρανών υλικών, όπως ασφαλτος ή πισσούχα γαλακτώματα ενισχυμένα με ναλούφασμα				

Πίνακας 16 : Απαιτήσεις του Building Research Establishment για σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε θειικά

Στη περίπτωση σκυροδέματος ανθεκτικού σε χημική προσβολή, ανάλογα με τον βαθμό επιβάρυνσης του περιβάλλοντος (ασθενής, μέτριος, ισχυρός και πολύ ισχυρός) και το είδος των χημικών ουσιών (Cl⁻, CO₂, NH₄⁻, Mg²⁺ και SO₄²⁻), διαμορφώνονται

οι απαιτήσεις σχετικά με τον τύπο τσιμέντου, το λόγο νερό/τσιμέντο και την περιεκτικότητα σε τσιμέντο του σκυροδέματος Πίνακας 17 [3]

Χημικοί παράγοντες και απαιτήσεις	<u>Βαθμός προσβολής</u>						
	Ασθενής			Μέτριος	Ισχυρός	Πολύ ισχυρός	
<u>Χημικές Ουσίες εκτός Θετικών</u>							
pH (μόνο για νερό)	6,5 – 5,5			5,5 – 4,5	4,5 – 4,0	<4,0	
CO ₂ mg/l ⁽¹⁾ (μόνο για νερό)	15 - 30			30 – 60	60 - 100	>100	
NH ₄ ⁺ mg/l (μόνο για νερό)	15 - 30			30 – 60	60 - 100	>100	
Mg ²⁺ mg/l (μόνο για νερό)	100 - 300			300 – 1500	1500 - 3000	>3000	
Βαθμός οξύτητας ⁽²⁾ (μόνο για νερό)	> 20 ⁽³⁾			-	-	-	
<u>Απαιτήσεις</u>							
Τύπος τσιμέντου	I ή II			I ή II	I ή II	I ή II	
Μέγιστος Λόγος N/T	0,6			0,55	0,5	0,5	
Ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου kg/m ³	300			330	370	370 και επιφανειακή προστασία	
<u>Θετικά</u>							
Στο νερό : SO ₄ ²⁻ mg/l	(4)	200	400	600	3000	6000	
Στο έδαφος : SO ₄ ²⁻ mg/kg ⁽⁵⁾	1000	2000	4000	6000	12000	-	
<u>Απαιτήσεις</u>							
Τύπος τσιμέντου	I ή II	I ή II	I ή II	IV	IV	IV	IV

Μέγιστος Λόγος N/T	0,65	0,6	0,55	0,6	0,55	0,5	0,5
Ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου kg/m³	300	300	330	300	330	370	370 και επιφανειακή προστασία

- (1) Προσδιορίζεται με την μέθοδο μαρμάρου κατά Heyer.
- (2) Προσδιορίζεται με την μέθοδο Baumann - Gully.
- (3) Για βαθμό οξύτητας μικρότερο από το 20 δεν υπάρχει προσβολή.
- (4) Για νερό με περιεκτικότητα σε SO_4^{2-} μικρότερη από 200 mg/l δεν απαιτούνται ιδιαίτερα μέτρα.
- (5) Προσδιορίζεται με την μέθοδο ΣΚ-390 (ολική περιεκτικότητα εδαφών σε θειικά διαλυτά σε HCl).

Πίνακας 17 : Βαθμός προσβολής και απαιτήσεις για σκυρόδεμα που προσβάλλεται από χημικές ουσίες σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. -97

3.12 Το πορώδες

Το σκυρόδεμα, όπως και οι φυσικοί λίθοι, δεν είναι υλικό απόλυτα συμπαγές και πλήρες, αλλά περιέχει πλήθος από εσωτερικές κοιλότητες. Οι κοιλότητες αυτές είναι κενές από στερεό υλικό, γι' αυτό και ονομάζονται πόροι ή κενά. Το σύνολο αυτών των κοιλοτήτων το ονομάζουμε πορώδες του σκυροδέματος. Οι κοιλότητες αυτές μπορεί να περιέχουν αέρα ή να είναι γεμάτες με νερό. Ανάλογα με την προέλευση τους διακρίνονται σε κατηγορίες. Έτσι υπάρχουν :

- α. πόροι αδρανών υλικών, δηλαδή πόροι των κόκκων της άμμου και των σκύρων,
- β. πόροι που δημιουργούνται από εγκλεισμό φυσαλίδων αέρα μέσα στο τσιμεντοκονίαμα,
- γ. πόροι ή τριχοειδή κενά που δημιουργούνται μέσα στην τσιμεντοκονία μετά την εξάτμιση του νερού που περισεύει,
- δ. κοιλότητες μεταξύ τσιμεντοκονιάματος και αδρανών, είτε από κακή πρόσφυση μεταξύ τους, είτε λόγω συστολής του τσιμεντοκονιάματος, είτε από το νερό που

συγκεντρώνεται στην κάτω κυρίως πλευρά κόκκων, λόγω της εξίδρωσης του μίγματος,

ε. μακροσκοπικές κοιλότητες που προέρχονται από κακή συμπίκνωση,

στ. τριχοειδή κενά δημιουργημένα μετά τις μικρορηγματώσεις που οφείλονται στις συστολές του τσιμεντοκονιάματος ή και τις εξωτερικές καταπονήσεις.

Το ολικό πορώδες εκφράζει το % ποσοστό ή το κλάσμα του όγκου ενός υλικού που καταλαμβάνουν οι πόροι του, όπως φαίνεται και από την Σχέση 1

$$\rho = (V_k/V) = ((\rho - \rho_\phi)/\rho) \quad \text{Σχέση 1}$$

όπου ρ : ολικό πορώδες του υλικού

V_k : ο όγκος των πόρων (κενών)

V : ο φαινόμενος όγκος του υλικού

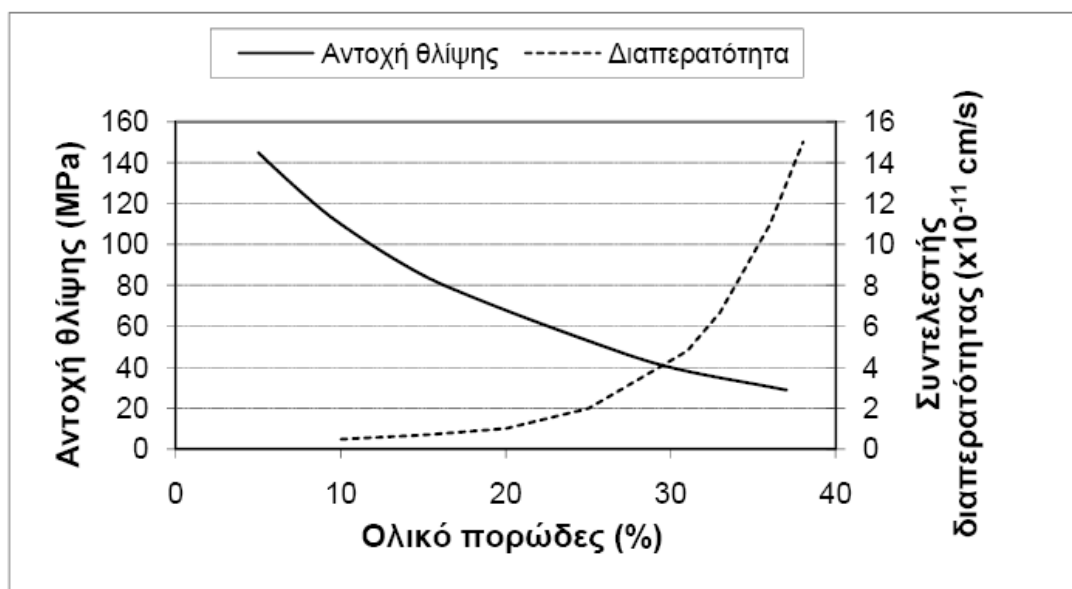
ρ_ϕ : το φαινόμενο ειδικό βάρος του υλικού

ρ : το ειδικό βάρος του υλικού

Για το σκυρόδεμα το ολικό πορώδες κυμαίνεται μεταξύ 8 και 25 %.

Τα παραπάνω μεγέθη χαρακτηρίζουν την έκταση του πορώδους. Δεν δίνουν όμως πληροφορίες για τη μορφή, το σχήμα, το μέγεθος, καθώς και για την κατανομή των κοιλοτήτων, που αποτελούν ουσιώδη χαρακτηριστικά για τη συμπεριφορά του υλικού και τη διείσδυση του νερού.

Το πορώδες του σκυροδέματος επηρεάζει κατά πολλούς τρόπους τις ιδιότητες του, κυρίως μέσα από την επίδραση που έχει στις αντοχές και στην διαπερατότητα. Στο Σχήμα 20 φαίνεται η επίδραση του ολικού πορώδους στην αντοχή θλίψης πάστας τσιμέντου και στην διαπερατότητα δοκιμίων σκυροδέματος. Ακόμη το πορώδες επηρεάζει τη χρόνια συστολή, τον ερπυσμό, την υδατοαπορροφητικότητα, την υδατοστεγανότητα, καθώς και την ανθεκτικότητα του υλικού στον παγετό.



Σχήμα 20 : Συσχέτιση αντοχών θλίψης και διαπερατότητας με το πορώδες

Οι περισσότερες από τις ιδιότητες του σκυροδέματος βελτιώνονται όταν, για το ίδιο ολικό πορώδες, το μέγεθος των πόρων είναι μικρότερο (επομένως το πλήθος των πόρων, για τον ίδιο όγκο, μεγαλύτερο), είναι περισσότερο ομοιόμορφα κατανεμημένο μέσα στο υλικό και το σχήμα τους πλησιάζει το σφαιρικό.

Στη μείωση του πορώδους συστήνουν :

A. ελάττωση του νερού και επομένως η ελάττωση των πόρων που δημιουργούνται από την εξάτμιση του νερού που περισεύει,

B. η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών

Γ. η καλή ποιότητα και καθαρότητα των αδρανών για την καλύτερη προσκόλληση της τσιμεντοκονίας. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα π.χ. έχουν καλύτερη πρόσφυση από τα πυριτικά

Δ. η αποτελεσματική συμπύκνωση του νερού σκυροδέματος

E. η καλή συντήρηση για την αποφυγή ρηγματώσεων κατά τη διάρκεια πήξης. [3]

3.13 Συντήρηση σκυροδέματος

Στο αρχικό στάδιο της ενυδάτωσης του τσιμέντου, πρέπει το σκυρόδεμα να προστατεύεται από βλαβερές εξωτερικές επιρροές, όπως παγετό, ξέπλυμα από βροχή ή τρεχούμενο νερό, από βλαβερές χημικές ουσίες και κυρίως από πρόωρη ξήρανση λόγω ηλιακής ακτινοβολίας ή ανέμου. Η ξήρανση μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα, αφενός μεν την επιφανειακή ρηγμάτωση του σκυροδέματος, αφετέρου δε την απώλεια του νερού που είναι απαραίτητο για την ενυδάτωση του τσιμέντου. Η μη πλήρης ενυδάτωση του τσιμέντου λόγω απουσίας του απαραίτητου νερού οδηγεί σε σκυρόδεμα (ή ακριβέστερα σκληρυμένο τσιμεντοπολτό) με μεγαλύτερο πορώδες και άρα μικρότερη αντοχή και μεγαλύτερη διαπερατότητα σε νερό και αέρια. Το γεγονός ότι οι δυσμενείς αυτές συνέπειες εμφανίζονται στο επιφανειακό τμήμα του σκυροδέματος, από το οποίο η απώλεια νερού λόγω εξάτμισης είναι ευχερέστερη, έχει ανεπιθύμητες επιπτώσεις, αφενός μεν στην αντοχή του σκυροδέματος σε απότριψη και επιφανειακή φθορά, αφετέρου δε στην προστασία των ράβδων οπλισμού από στοιχεία που προκαλούν διάβρωση (χλωριόντα, νερό, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, κλπ.) και μπορεί να διεισδύσουν από την επιφάνεια προς τα μέσα. Επειδή περιορίζονται στα επιφανειακά στρώματα του σκυροδέματος, οι δυσμενείς συνέπειες της ελλιπούς συντήρησης έχουν γενικά πολύ μικρές επιπτώσεις στην αντοχή των στοιχείων από σκυρόδεμα, αλλά τεράστιες επιπτώσεις στην ανθεκτικότητά τους σε διάρκεια, στο βαθμό που συμβάλλουν στη διάβρωση του οπλισμού.

Το σύνολο των μέτρων που λαμβάνονται, αμέσως μετά τη συμπύκνωση του σκυροδέματος και την τελική διαμόρφωση της επιφάνειάς του, με στόχο τη διατήρηση του σκυροδέματος κάτω από συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας που να ευνοούν την ενυδάτωση και να αποτρέπουν την επιφανειακή ρηγμάτωση, λέγεται συντήρηση. Ο κύριος σκοπός της συντήρησης είναι να εξασφαλίσει στο σκυρόδεμα το νερό που χρειάζεται για την ενυδάτωση, είτε με παρεμπόδιση της εξάτμισης του νερού, είτε με αναπλήρωση του νερού που εξατμίζεται. Αυτό γίνεται με τις εξής μεθόδους :

α. Με λινάτσες : Αμέσως μετά το τέλος της διάστρωσης και της τελικής διαμόρφωσης της επιφάνειάς του, οι ελεύθερες επιφάνειες σκυροδέματος καλύπτονται με λινάτσες, που διατηρούνται υγρές όλο το 24-ωρο για επτά τουλάχιστον ημέρες.

β. Με βύθισμα ή πλημμύρισμα : Προκατασκευασμένα στοιχεία συντηρούνται σε δεξαμενές νερού. Οριζόντιες ελεύθερες επιφάνειες, όπως π.χ. αυτές των δαπέδων, οδοστρωμάτων ή πλακών πατωμάτων, πλημμυρίζονται με νερό βάθους 10-20 mm, το οποίο συγκρατείται με ένα δρομικό μονότουβλο (ή με μικρό ανάχωμα από άμμο, χώμα κλπ.) στο όριο της επιφάνειας.

γ. Με ψεκαστήρες : Η ελεύθερη επιφάνεια του σκυροδέματος ψεκάζεται με περιστροφικούς ψεκαστήρες συνεχούς λειτουργίας, παρόμοιους με αυτούς που χρησιμοποιούνται για πότισμα.

δ. Με επικάλυψη : Η ελεύθερη επιφάνεια καλύπτεται με πλαστικά φύλλα για παρεμπόδιση της εξάτμισης του νερού. Η μέθοδος αυτή δεν είναι πλήρως αποτελεσματική, γιατί η κάλυψη δεν είναι ομοιόμορφη και πλήρης (ιδίως στα σημεία επικάλυψης γειτονικών φύλλων).

ε. με επάλειψη : Οι ελεύθερες επιφάνειες ψεκάζονται με ανοιχτόχρωμο υγρό, που σχηματίζει λεπτή αδιαπέραστη από το νερό μεμβράνη. Η μεμβράνη αυτή εμποδίζει εντελώς την εξάτμιση, προστατεύοντας συγχρόνως το σκυρόδεμα από τον ήλιο. Όμως η μεμβράνη είναι ευαίσθητη και μπορεί να χάσει τη συνέχειά της, λόγω της κυκλοφορίας και της χρήσης της επιφάνειας σκυροδέματος.

Η συντήρηση πρέπει να διαρκεί τουλάχιστον 7 ημέρες, για δε σκυρόδεμα με απαιτήσεις αυξημένης αντοχής σε επιφανειακή φθορά, ή αυξημένης υδατοστεγανότητας ή ανθεκτικότητας σε χημικά, τουλάχιστον 14. Επισημαίνεται ότι η ανάγκη καλής συντήρησης είναι πολύ μεγαλύτερη στην Ελλάδα, λόγω ξηρού και θερμού κλίματος και των ισχυρών ανέμων. Παρόλα αυτά στην Ελλάδα δεν εφαρμόζεται ικανοποιητική συντήρηση : ο συνηθέστερος τρόπος συντήρησης είναι η διαβροχή της επιφάνειας λίγες φορές την ημέρα, για τις πρώτες μία έως τρεις ημέρες. Όμως αυτός ο τρόπος συντήρησης όχι μόνον δεν είναι επαρκής, αλλά και έχει περισσότερο δυσμενή αποτελέσματα παρά ευμενή, επειδή προκαλεί θερμικό σοκ στην επιφάνεια του σκυροδέματος που επιτείνει την τάση για ρηγμάτωση. Επισημαίνεται επίσης ότι το κόστος μιας καλής συντήρησης είναι μηδαμινό σε σχέση με το συνολικό, και ότι η δυσμενής επίπτωση στην τελική ποιότητα του σκυροδέματος ιδιαίτερα του επιφανειακού τμήματός του, από την έλλειψη συντήρησης είναι δυσανάλογα μεγάλη σε σύγκριση με την οικονομία που τυχόν επιτυγχάνεται έτσι.

Αν ο λόγος νερού προς τσιμέντο στο μείγμα είναι χαμηλός (π.χ. μικρότερος από 0.5), ο απαιτούμενος χρόνος συντήρησης είναι μικρότερος. Το ίδιο ισχύει αν χρησιμοποιείται τσιμέντο ταχείας ανάπτυξης αντοχής, όπως το I/45..

Οι πιο κατάλληλες θερμοκρασίες για συντήρηση είναι 15-25 °C. Η σκλήρυνση και η ενυδάτωση επιβραδύνονται από τις χαμηλές θερμοκρασίες και επιταχύνονται από τις υψηλές. Γι' αυτό σαν ενεργής ηλικία του σκυροδέματος, t_{ef} , ορίζεται συχνά το μέγεθος :

$$t_{ef} = \frac{1}{30} \int_0^t (T + 10) dt$$

Όπου t είναι ο χρόνος από την ανάμειξη και T η θερμοκρασία σε °C. Αυτό σημαίνει ότι η ενυδάτωση προχωρεί με τη διπλάσια ταχύτητα στους 30 °C απ' ότι στους 10 °C και ότι σταματά στους - 10°C. Για το λόγο αυτό, και επιπλέον για να αποφευχθεί το πάγωμα του νερού ανάμειξης λίγο μετά τη διάστρωση ('παγοπληξία'), ο Κανονισμός τεχνολογίας Σκυροδέματος απαγορεύει τη σκυροδέτηση σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος κάτω από -15 °C, απαιτεί δε η σκυροδέτηση κάτω από 0 °C να γίνεται μόνο με τη χρήση αερακτικού προσθέτου. Τέλος ορίζει ότι για θερμοκρασίες περιβάλλοντος κάτω από 5 °C, πρέπει να εξασφαλίζεται θερμοκρασία σκυροδέματος κατά τη διάστρωση και για δύο ή τρεις μέρες μετά από αυτήν, τουλάχιστον 13 °C για μέγιστο κόκκο \square 16 ή 1/2", 10 °C για μέγιστο κόκκο \square 31,5 ή 1" και 7 °C για μέγιστο κόκκο \square 63 ή 1 1/2". Στις θερμοκρασίες αυτές συνιστάται η χρήση τσιμέντου ταχείας ανάπτυξης της αντοχής.

Η σκυροδέτηση και η συντήρηση σε θερμοκρασίες πάνω από 32 °C είναι επίσης προβληματική, γιατί οι θερμοκρασίες αυτές αυξάνουν την απαίτηση σε νερό ανάμειξης, δυσκολεύουν τη διάστρωση και τη συντήρηση και προκαλούν ρηγμάτωση της επιφάνειας από συστολή πήξης. Αν δεν μπορεί να αποφευχθεί η σκυροδέτηση σε υψηλές θερμοκρασίες, συνιστάνται η χρήση επιβραδυντικών πήξης και υπερρευστοποιητικών. Πάντως η θερμοκρασία του σκυροδέματος που διαστρώνεται δεν επιτρέπεται να ξεπερνά τους 32 °C. [4]

3.14 Η Φθορά σκυροδέματος

Οι κατασκευές από σκυρόδεμα και οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ανθεκτικές στην φθορά. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου έχουν παρατηρηθεί σημαντικές φθορές. Οι

φθορές αυτές οφείλονται στην επίδραση του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Η δράση του διαβρωτικού περιβάλλοντος μπορεί να προκαλέσει διάβρωση του σκυροδέματος ή του οπλισμού. Τα δύο είδη της διάβρωσης δεν είναι ανεξάρτητα. Το ένα προκαλεί αργά ή γρήγορα την εμφάνιση και του άλλου π.χ. ένα σκυρόδεμα που έχει υποστεί ενανθράκωση, έχει πλέον pH χαμηλό, το χαμηλό pH όμως ευνοεί την διάβρωση του οπλισμού.

Η διάβρωση του σκυροδέματος είναι ένα σύνθετο φαινόμενο. Η εμφάνιση της διάβρωσης οφείλεται συνήθως σε περισσότερα του ενός αίτια. Το διαβρωτικό περιβάλλον μπορεί να είναι αέριο (π.χ. ατμόσφαιρα), υγρό (π.χ. μαλακό νερό), στερεό (π.χ. έδαφος), όξινο ή αλκαλικό ή να περιέχει διάφορα άλατα. Τα ιόντα που μπορούν να οδηγήσουν σε διάβρωση του σκυροδέματος είναι Mg^{2+} , NH_4^+ , H^+ , SO_4^{2-} , OH^- και HCO_3^- .

Στην γενικότερη περίπτωση η διάβρωση του σκυροδέματος μπορεί να είναι φυσική ή χημική. Με τον όρο φυσική διάβρωση χαρακτηρίζονται οι φθορές από καθαρά μηχανικούς λόγους π.χ. τριβή, ψύχος. Η χημική διάβρωση σχετίζεται με φαινόμενα χημικά ή φυσικοχημικά, χωρίς να αποκλείεται η συνέργεια μηχανικών αιτιών.

Η χημική διάβρωση μπορεί να διακριθεί σε τρία είδη :

1. Διάβρωση λόγω εκχύλισης ιόντων από το σκυρόδεμα στο υγρό περιβάλλον. Τέτοιου είδους διάβρωση προκαλούν τα μαλακά νερά που διαλύουν το υδροξείδιο του ασβεστίου.
2. Διάβρωση λόγω ανταλλαγής ιόντων μεταξύ διαβρωτικού περιβάλλοντος και σκυροδέματος. Παράδειγμα είναι η επίδραση του χλωριούχου μαγνησίου στο σκυρόδεμα : $Ca(OH)_2 + MgCl_2 \rightarrow CaCl_2 + Mg(OH)_2$

Έτσι χάνονται οι υδραυλικές ιδιότητες του σκυροδέματος και η αντοχή σε θλίψη μειώνεται με την πρόοδο της ανωτέρω αντίδρασης.

3. Διάβρωση μέσω σχηματισμού μεγαλομοριακών ενώσεων. Στο πρώτο στάδιο αυτού του είδους της διάβρωσης σχηματίζονται στους πόρους του σκυροδέματος νέες ενώσεις κρυσταλλικές χωρίς όμως το σκυρόδεμα να έχει υποστεί σημαντική βλάβη. Στη συνέχεια όμως δημιουργούνται

μεγαλομοριακοί κρύσταλλοι καινούργιων ενώσεων που δημιουργούν ρωγμές στο σκυρόδεμα. Παράδειγμα αυτού του είδους της διάβρωσης είναι η επίδραση θεικών ιόντων στο σκυρόδεμα. Αρχικά σχηματίζεται γύψος και στην συνέχεια ο μεγαλομοριακός εντριγκίτης.

Στην πράξη είναι δυνατόν να παρατηρηθεί και συνδυασμός των τριών αυτών ειδών διάβρωσης. Παράδειγμα είναι η επίδραση θεικού μαγνησίου στο σκυρόδεμα. Τα ιόντα Mg^{2+} προκαλούν διάβρωση τύπου (2) και τα SO_4^{2-} διάβρωση τύπου (3).

Εκτός των ιόντων μαγνησίου και των θεικών τα ιόντα αμμωνίου και τα νιτρικά έχουν διαβρωτική δράση. [1]

3.14.1 Δράση χλωριόντων

Τα χλωριόντα μπορούν να εισέλθουν στο μίγμα κατά την κατασκευή είτε ως συστατικά του μίγματος, είτε από την χρήση διάφορων προσθέτων είτε με την χρήση θαλασσινού νερού. Επίσης είναι δυνατόν να εισέλθουν και κατά την διάρκεια ζωής της κατασκευής, είτε από τον ατμοσφαιρικό αέρα που προέρχεται από την θάλασσα και είναι γεμάτος άλατα (κυρίως χλωριούχα) καθώς και από διάφορες άλλες περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση αλάτων. Σε αυτή την περίπτωση η είσοδος στους πόρους του σκυροδέματος γίνεται μέσω τριχοειδών φαινομένων εάν δεν υπάρχει νερό στους πόρους και μέσω του φαινομένου της διάχυσης αν οι πόροι είναι γεμάτοι νερό.

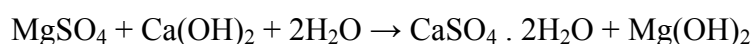
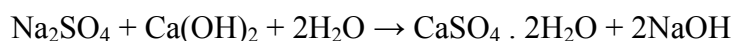
Αν και ο ακριβής μηχανισμός με τον οποίο τα χλωριόντα προκαλούν και συμβάλλουν στην πρόοδο της διάβρωσης δεν είναι πλήρως γνωστό, αλλά σε γενικές γραμμές αποπαθητικοποιούν το προστατευτικό στρώμα οξειδίου με καταλυτικό τρόπο. Τα ιόντα χλωρίου δημιουργούν ένα ενδιάμεσο είδος χλωριδίου του σιδήρου το οποίο στην συνέχεια υδρολύεται παρουσία νερού και οξυγόνου σε υδροξείδιο του σιδήρου και έτσι το αποτέλεσμα της διάβρωσης (κόκκινη σκόνη) μαζί με το χλωριόν απελευθερώνονται πάλι στο μίγμα σκυροδέματος.

Το ποσοστό των χλωριόντων στο σκυρόδεμα που απαιτείται για να ξεκινήσει η διάβρωση των ράβδων οπλισμού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου και του τύπου όπως και ου ποσοστού του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε όπως και του τρόπου που τα χλωριόντα μπήκαν στην μάζα του σκυροδέματος. Έχει αποδειχθεί ότι η κρίσιμη ποσότητα χλωριόντων εξαρτάται από

τον λόγο ιόν χλωρίου (Cl⁻) προς ιόν υδροξειδίου (OH⁻). Παρόλα αυτά είναι συνηθισμένο να μετατρέπουμε τις συγκεντρώσεις σε μάζα των χλωριόντων προς την μάζα τσιμέντου. Για τα συνηθισμένα τσιμέντα Portland έχει παρατηρηθεί ότι η διάτρηση του προστατευτικού στρώματος θα γίνει όταν ο λόγος υπερβεί το 0.4 % πριν την ενυδάτωση του τσιμέντου και το 0.2 % μετά την ενυδάτωση. Στην πρώτη περίπτωση η τιμή είναι υψηλότερη γιατί το μέρος των χλωριόντων δεσμεύεται από το Ca(OH)₂ και δημιουργεί χλωριούχο άλας CaCl₂ μετά την ενυδάτωση. Λόγω των διαφόρων αβεβαιοτήτων που υπάρχουν έχει καθιερωθεί ότι ο κρίσιμος λόγος για να ξεκινήσει η διάβρωση να παίρνεται ίσος με 0.6 % σε Τσιμέντο Τύπου I και 1 % σε Τσιμέντο Τύπου II. [6]

3.14.2 Επίδραση θεικών

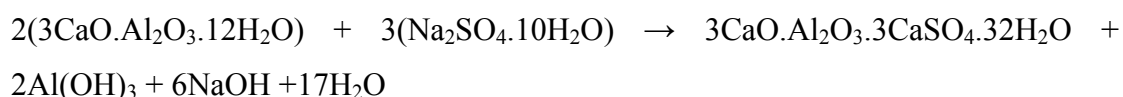
Τα στερεά άλατα δεν προσβάλλουν το σκυρόδεμα, όταν όμως είναι σε διάλυμα τότε μπορούν να αντιδράσουν με το σκληρυμένο τσιμεντοπολτό. Συγκεκριμένα μπορεί να λάβει χώρα αντίδραση θεικών με το Ca(OH)₂ και με το ενυδατωμένο αργιλικό ασβέστιο. Τα προϊόντα των αντιδράσεων, γύψος και θειαργλικό ασβέστιο, έχουν αξιοσημείωτα μεγαλύτερο όγκο απ' αυτόν των συστατικών που αντικαθιστούν, και επομένως οι αντιδράσεις με θειικά οδηγούν σε διόγκωση και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος. Ο σχηματισμός γύψου, από τις αντιδράσεις αντικατάστασης κατιόντων, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διόγκωσης. Έχει όμως παρατηρηθεί, ότι η φθορά του σκληρυμένου τσιμεντούπολη Portland με το σχηματισμό γύψου, είναι μια διαδικασία που οδηγεί καταρχήν σε μείωση της σκληρότητας και της αντοχής του σκυροδέματος, ενώ ακολουθεί διόγκωση, ρηγμάτωση και μετατροπή του υλικού σε πολτώδη και μη συνεκτική μάζα. Ανάλογα με τον τύπο κατιόντων που βρίσκονται στο θεικό διάλυμα (π.χ. Na⁺ ή Mg²⁺), τόσο το Ca(OH)₂ όσο και το C-S-H του τσιμεντοπολτού Portland, μπορούν να μετατραπούν σε γύψο από την προσβολή θεικών :



Κατά την 1^η αντίδραση ο σχηματισμός NaOH εξασφαλίζει τη συνέχιση της υψηλής αλκαλικότητας στο σύστημα, γεγονός σημαντικό για τη σταθερότητα της κυρίως

τσιμεντοειδούς φάσης (C-S-H). Αντιθέτως κατά την 2^η αντίδραση σχηματίζεται το αδιάλυτο και ασθενώς αλκαλικό Mg(OH)₂. Έτσι, η σταθερότητα του C-S-H στο σύστημα μειώνεται και επομένως προσβάλλεται από θειικό διάλυμα. Η προσβολή από θειικό μαγνήσιο είναι η πιο σημαντική από όλα τα άλλα θειικά για το σκυρόδεμα.

Η αντίδραση των θεικών ιόντων με το ένυδρο αργιλικό ασβέστιο οδηγεί στην δημιουργία εντριγκίτη :



Έτσι είναι γενικά παραδεκτό ότι η διόγκωση από την προσβολή των θεικών σχετίζεται με τον εντριγκίτη. Όμως ο μηχανισμός που δημιουργεί διόγκωση από σχηματισμό του εντριγκίτη δεν είναι ακόμη γνωστός.

Ο ρυθμός της προσβολής από θειικά αυξάνει με την αύξηση της πυκνότητας του διαλύματος, όμως κάτω από μια συγκέντρωση περίπου 0,5% για το MgSO₄ ή 1% για το Na₂SO₄ ο ρυθμός της αύξησης της έντασης προσβολής γίνεται μικρότερος. Κορεσμένα διαλύματα MgSO₄ οδηγούν σε σοβαρές φθορές, παρόλο που με ένα μικρό λόγο νερού/τσιμέντου, η φθορά θα λάβει χώρα μετά από 2-3 χρόνια. Συγκέντρωση 1000ppm ως προς SO₃ θεωρείται μέτρια επικίνδυνη ενώ συγκέντρωση 2000ppm θεωρείται πολύ επικίνδυνη, ειδικά αν το MgSO₄ είναι το επικρατέστερο συστατικό. Οι αντίστοιχες τιμές για τα διαλυτά θειικά στο έδαφος είναι 0.2-0.5%. Η ταχύτητα προσβολής του σκυροδέματος δεν εξαρτάται μόνο από την συγκέντρωση των θεικών, αλλά και από τον ρυθμό αναπλήρωσης των θεικών που αντιδρούν με το τσιμέντο. Έτσι για να εκτιμηθεί ο κίνδυνος από τα θειικά, πρέπει να είναι γνωστή η κίνηση των υπόγειων υδάτων. Όταν το σκυρόδεμα εκτίθεται από τη μια πλευρά σε πίεση νερού που φέρει θειικά, ο ρυθμός προσβολής είναι μεγαλύτερος. Ομοίως, εναλλαγή κορεσμού και ύγρανσης οδηγεί σε ταχεία φθορά. Αντιθέτως, όταν το σκυρόδεμα δεν έχει κανένα πέρασμα για υπόγειο νερό, οι συνθήκες θα είναι πολύ λιγότερο επικίνδυνες. Σκυρόδεμα με προσβολή από θειικά έχει χαρακτηριστική υπόλευκη εμφάνιση ενώ φθορά συνήθως ξεκινά από τις άκρες και τις γωνίες και ακολουθεί βαθμιαία ρηγμάτωση και θρυμματισμός.

Το ευπρόσβλητο του σκυροδέματος από θειικά μπορεί να μειωθεί με τη χρήση τσιμέντου με χαμηλό C₃A. Πρακτικά, έχει βρεθεί ότι το όριο του C₃A για τον χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς των τσιμέντων σε νερό με θειικά είναι το 7%.

Βελτίωση της αντοχής στα θειικά επιτυγχάνεται επίσης με την προσθήκη ή με τη μερική αντικατάσταση του τσιμέντου με ποζολάνες. Αυτές απομακρύνουν το ελεύθερο Ca(OH)₂ και καθιστούν τις φάσεις που φέρουν αργίλιο μη δραστικές. Όμως, πρέπει τα σκυροδέματα αυτά να εκτεθούν στα θειικά μετά από ικανό χρονικό διάστημα, ώστε να έχει αναπτυχθεί η ποζολανική δραστηριότητα. Πολλές ποζολάνες έχουν αποδειχτεί πολύ αποτελεσματικές για τη σύνθεση σκυροδεμάτων με αντοχή στα θειικά και ειδικά σε συνδυασμό με τσιμέντα με αντοχή στα θειικά. Όμως στη δεύτερη περίπτωση, μια ανεπαρκής ποσότητα ποζολάνης μπορεί να οδηγήσει σε αντίδραση με το ενυδατωμένο αργίλικό ασβέστιο και έτσι είναι πιθανή μια αντίδραση με τα διεισδύοντα θειικά μετά από κάποιο χρόνο. Για το λόγο αυτό το British Code of Practice CP 110:1972 και BS5328:1976 δεν επιτρέπουν τη χρήση ιπτάμενης τέφρας SR τσιμέντα όταν είναι αναγκαία η αντοχή στα θειικά.

Η αντοχή του σκυροδέματος στα θειικά εξαρτάται επίσης από την ποιότητά του και ειδικά από την διαπερατότητά του. Για παράδειγμα, η χρήση πτωχού σκυροδέματος στις βάσεις υπονόμων αποτελούν τρωτά σημεία σε μία κατά τα άλλα ανθεκτική κατασκευή. Ένας τρόπος μείωσης της διαπερατότητας του σκυροδέματος είναι η εφαρμογή μικρού λόγου νερού/τσιμέντου. Ακόμη σκλήρυνση σκυροδέματος με υψηλής πίεσης ατμό, βελτιώνει την αντοχή του στα θειικά. Η βελτίωση οφείλεται στην αλλαγή του C₃AH₆ σε λιγότερο δραστική φάση, καθώς και στην απομάκρυνση του Ca(OH)₂ λόγω αντίδρασης του με το πυρίτιο. Αντιθέτως προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου στο μίγμα οδηγεί σε μείωση της αντοχής σε θειικά για οποιοδήποτε τύπο τσιμέντου.

3.14.3 Σκυρόδεμα σε θαλασσινό νερό

Το σκυρόδεμα που εκτίθεται σε θαλασσιό περιβάλλον μπορεί να υποστεί φθορές που είναι προσβολή αποτέλεσμα συνδυασμού επιδράσεων :από χημική αντίδραση των συστατικών του θαλασσινού νερού με τα προϊόντα ενυδάτωσης του τσιμέντου, από την αντίδραση διόγκωσης αλκαλίων – αδρανών (όταν υπάρχουν ενεργά αδρανή), από την πίεση κρυστάλλωσης αλάτων στο σκυρόδεμα αν η μια όψη της κατασκευής υπόκειται σε υγρές συνθήκες και οι άλλες σε ξήρανση, από τη δράση παγετού σε

ψυχρά κλίματα, από τη διάβρωση του χάλυβα σε οπλισμένα ή προεντεταμένα στοιχεία και από φυσική φθορά που οφείλεται στη δράση των κυμάτων και των επιπλεόντων αντικειμένων. Η προσβολή του σκυροδέματος που οφείλεται σε μια από τις παραπάνω αιτίες οδηγεί στην αύξηση της διαπερατότητας, με αποτέλεσμα το υλικό να γίνεται προοδευτικά πιο πρόσφορο για περαιτέρω προσβολή, τόσο από την ίδια καταστρεπτική αιτία όσο επίσης και από άλλες μορφές προσβολής.

Η χημική σύσταση των περισσοτέρων θαλασσινών νερών είναι περίπου ομοιόμορφη και χαρακτηρίζεται από την παρουσία περίπου 3.5% κ.β. διαλυτών αλάτων. Οι συγκεντρώσεις των ιόντων Na^+ και Cl^- είναι υψηλότερες και είναι 11000 και 20000 mg/l αντίστοιχα. Επίσης υπάρχουν σημαντικές ποσότητες Mg^{2+} και SO_4^{2-} , που είναι 1400 και 2700 mg/l. Οι τιμές pH του θαλασσινού νερού κυμαίνονται από 7.5 – 8.4 με μέση τιμή 8.2, σε κατάσταση ισορροπίας με το ατμοσφαιρικό CO_2 .

Από την άποψη της χημικής προσβολής των ενυδατωμένων τσιμεντών Portland σε άοπλα σκυροδέματα και όταν δεν υπάρχουν αδρανή που να αντιδρούν με τα αλκάλια, τα πιο επικίνδυνα συστατικά θαλασσινού νερού είναι τα θειικά και το μαγνήσιο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η προσβολή από θειικά θεωρείται σοβαρή όταν η συγκέντρωση των θεικών ιόντων είναι μεγαλύτερη από 1500 mg/l. Ομοίως, οι τσιμεντοπολτοί Portland μπορούν να φθαρούν από αντιδράσεις εναλλαγής κατιόντων όταν η συγκέντρωση των ιόντων μαγνησίου ξεπερνά τα 500 mg/l.

Παρά την ανεπιθύμητη υψηλή περιεκτικότητα σε θειικά του θαλασσινού νερού, έχει παρατηρηθεί ότι αν και ακόμη έχει χρησιμοποιηθεί τσιμέντο Portland με υψηλό C3A και υπάρχουν μεγάλα ποσά ετρινγκίτη σαν αποτέλεσμα της προσβολής των θεικών στον τσιμεντοπολτό, η φθορά του σκυροδέματος δεν χαρακτηρίζεται από διόγκωση και συνήθως παίρνει τη μορφή διάβρωσης ή απώλειας των στερεών συστατικών από τη μάζα του. Θεωρείται ότι η διόγκωση του ετρινγκίτη καταστέλλεται σε περιβάλλοντα όπου τα ιόντα OH^- έχουν σημαντικά αντικατασταθεί από ιόντα Cl^- , και η θεώρηση αυτή είναι σε συμφωνία με την υπόθεση ότι είναι αναγκαίο το αλκαλικό περιβάλλον για την διόγκωση του ετρινγκίτη από την απορρόφηση νερού. Το γεγονός ότι η παρουσία ελεύθερου $\text{Ca}(\text{OH})_2$ στο σκυρόδεμα μπορεί να δημιουργήσει φθορά από μια αντίδραση αντικατάστασης από ιόντα Mg, είναι γνωστό από το 1818, από έρευνες για την αποικοδόμηση σκυροδεμάτων ποζολάνης - ασβέστου από τον Vicat.

Οι παρατηρήσεις όμως του Vicat επιβεβαιώθηκαν και για το σκυρόδεμα με τσιμέντο Portland.

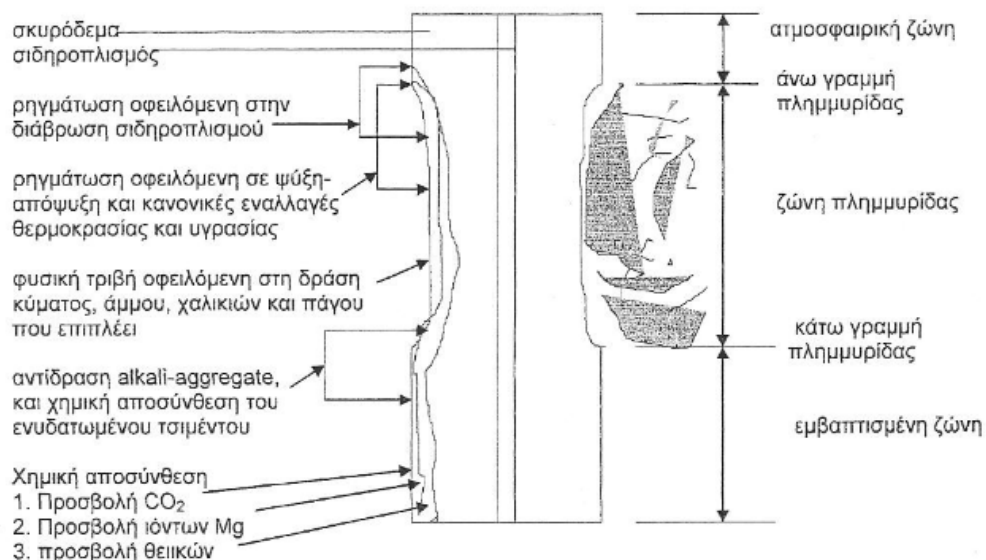
Ύστερα από μακροχρόνιες μελέτες σε κονιάματα και σκυροδέματα με τσιμέντο Portland, που ήταν εκτεθειμένα σε θαλασσινό νερό, επιβεβαιώθηκε η παρουσία λευκών ιζημάτων $Mg(OH)_2$, που καλούνται brucite, και ενυδατωμένου πυριτικού μαγνησίου. Τέλος, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του διαλυμένου CO_2 στο θαλασσινό νερό, είναι δυνατόν, να αποσυνθέσουν τα τσιμεντοειδή προϊόντα σε διαπερατό σκυρόδεμα, και να εμφανίσουν απώλεια μάζας με τη απόπλυση του ασβεστίου από τον τσιμεντοπολτό, λόγω της προσβολής του από το ανθρακικό οξύ. Έχει επιβεβαιωθεί ότι οι πάστες, τα κονιάματα και τα σκυροδέματα με τσιμέντο Portland, υφίστανται μείωση της αντοχής τους όταν αποσυντίθεται και αποπλένονται τα τσιμεντοειδή συστατικά τους, ύστερα από προσβολή τους από ένα οξύ ή από διαλύματα που περιέχουν Mg. Η θλιπτική αντοχή τους μειώνεται περίπου 2% όταν απομακρύνεται από την τσιμεντόπαστα 1% CaO.

Συμπερασματικά, για τις κατασκευές από σκυροδέματα εκτεθειμένες σε θαλασσινό νερό, μπορούν να αναφερθούν οι εξής παρατηρήσεις :

α. Η διαπερατότητα είναι το κλειδί για την ανθεκτικότητα. Όταν δεν εμποδίζεται η διείσδυση του θαλασσινού νερού στο εσωτερικό του σκυροδέματος, τότε λαμβάνουν χώρα βλαβερές δράσεις με σοβαρές συνέπειες μεταξύ των συστατικών του ενυδατωμένου τσιμέντου και θαλασσινού νερού. Τυπικές αιτίες μη ικανοποιητικής υδατοστεγανότητας είναι τα μίγματα σκυροδέματος φτωχά σε τσιμέντο, η απουσία ικανού ποσοστού αέρα στην περίπτωση που η κατασκευή βρίσκεται σε ψυχρά κλίματα, η μη επαρκής συμπύκνωση και σκλήρυνση, η μη επαρκής επικάλυψη του σιδηροπλισμού, οι κακώς σχεδιασμένοι ή κατασκευασμένοι αρμοί και τυχόν μικρορηγματώσεις στο σκληρυμένο σκυρόδεμα αποδιδόμενες στην έλλειψη ελέγχου των συνθηκών φόρτισης και άλλων παραγόντων, όπως θερμική συρρίκνωση, συρρίκνωση ξήρανσης και η διόγκωση από την αντίδραση αδρανών με αλκάλια.

β. Ο τύπος και η σοβαρότητα της φθοράς μπορεί να μην είναι ομοιόμορφη σε όλη την κατασκευή. Για παράδειγμα Σχήμα 20, σε ένα κυλινδρικό δοκίμιο σκυροδέματος, το τμήμα που παραμένει πάντοτε πάνω από την άνω γραμμή πλημμυρίδας θα είναι πιο ευαίσθητο σε δράση παγετού και σε διάβρωση του σιδηροπλισμού. Το τμήμα σκυροδέματος που βρίσκεται μεταξύ της άνω και κάτω γραμμής πλημμυρίδας θα

είναι ευπαθές σε ρηγματώση και αποκόλληση όχι μόνον από την δράση παγετού και την διάβρωση του σιδηροπλισμού αλλά και από τους κύκλους ύγρανσης-ξήρανσης. Επίσης εδώ μπορούν να λάβουν χώρα χημικές προσβολές που οφείλονται στην αντίδραση των αδρανών με αλκάλια και στην αλληλεπίδραση τσιμεντόπαστας - θαλασσινού νερού. Σκυροδέματα που εξασθενίζουν από μικρορηγματώσεις και χημικές προσβολές βαθμιαία αποσυντίθεται από την δράση του κύματος και την πρόσκρουση άμμου, χαλικιών και πάγου. Έτσι η μεγαλύτερη φθορά λαμβάνει χώρα στη ζώνη πλημμυρίδας. Τέλος το τμήμα της κατασκευής που είναι εντελώς βυθισμένο, υπόκειται μόνο σε χημικές προσβολές από το θαλασσινό νερό, αφού δεν εκτίθεται σε θερμοκρασίες κάτω της θερμοκρασίας πήξης του νερού και λόγω έλλειψης οξυγόνου θα υπάρξει μικρή διάβρωση.

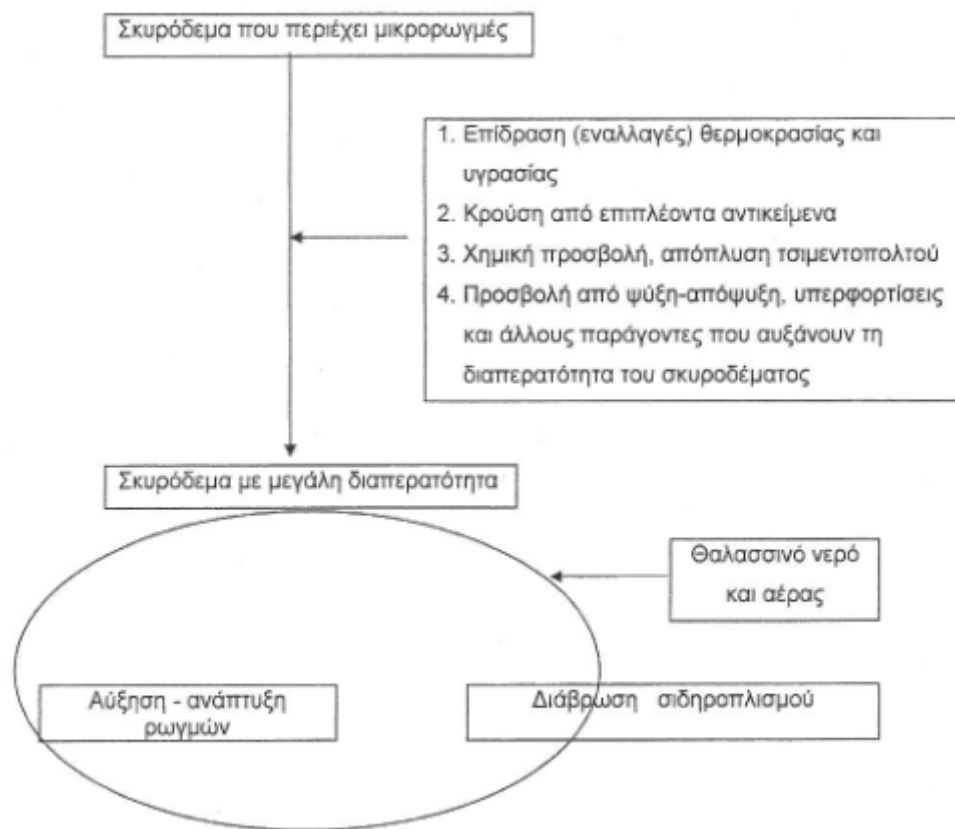


Σχήμα 20 : Διαγραμματική απεικόνιση της φθοράς κυλίνδρου από σκυροδέμα που ήταν εκτεθειμένο σε θαλασσινό νερό

Η προοδευτική χημική φθορά της τσιμεντόπαστας από το θαλασσινό νερό, από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του σκυροδέματος, φαίνεται ότι ακολουθεί ένα γενικό τύπο. Ο σχηματισμός αραγωνίτη και διττανθρακικού άλατος από την προσβολή του CO₂ συνήθως εντοπίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Ο σχηματισμός του brucite από την προσβολή των ιόντων Mg βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του σκυροδέματος, και η ύπαρξη ετρινγκίτη στο εσωτερικό δείχνει ότι τα θειικά ιόντα είναι ικανά να διεισδύσουν ακόμη βαθύτερα. Λόγω του ότι τα προϊόντα χημικής αντίδρασης του θαλασσινού νερού και των συστατικών του τσιμεντοπολτού

(αραγωνίτης, ετρινγκίτης και brucie), είναι αδιάλυτα στο νερό, τείνουν να μειώσουν την διαπερατότητα και να σταματήσουν την περαιτέρω είσοδο του θαλασσινού νερού στο εσωτερικό του σκυροδέματος, στην περίπτωση βέβαια που δεν είναι πολύ διαπερατό.

γ. Η διάβρωση του σιδηροπλισμού είναι κύρια αιτία φθοράς του σκυροδέματος σε οπλισμένες ή προεντεταμένες κατασκευές που εκτίθεται σε θαλασσινό νερό, αλλά σε σκυροδέματα με χαμηλή διαπερατότητα δεν είναι η διάβρωση η πρώτη αιτία ρηγμάτωσής του. Στο Σχήμα 21 φαίνεται ότι για να ξεκινήσει ο κύκλος ρηγμάτωση - διάβρωση - ρηγμάτωση στο σκυρόδεμα, είναι αναγκαία η ύπαρξη συνθήκες για μια αξιοσημείωτη διάβρωση του σιδηροπλισμού. [3]

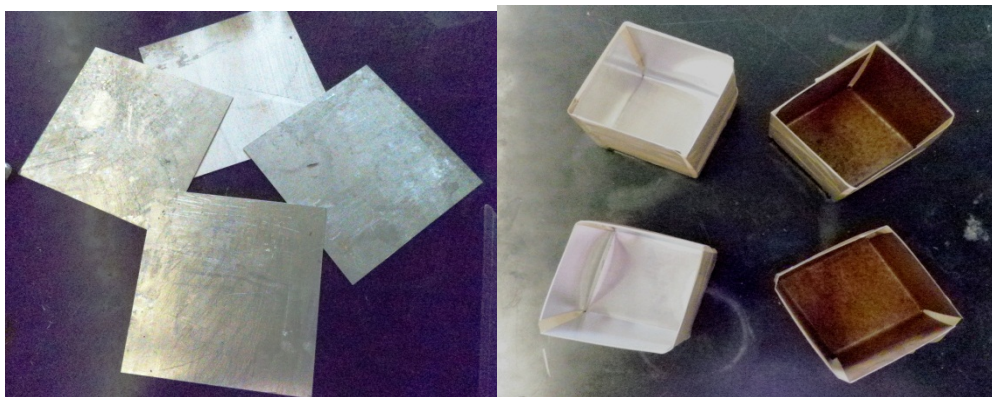


Σχήμα 21 : Διαγραμματική απεικόνιση των κύκλων ρηγμάτωση – διάβρωση – ρηγμάτωση στο σκυρόδεμα

Κεφάλαιο 4 : Πειραματική διαδικασία

4.1 Κατασκευή δοκιμίων

Για την κατασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν καλούπια από λαμαρίνα και χαλκό διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm. Τα χάλκινα καλούπια επαλειφθήκαν με βαζελίνη ώστε να μην κολλήσει το καλούπι με το δοκίμιο.



Εικόνα 2 : Κατασκευή καλουπιών

Κατασκευάστηκαν επίσης και δοκίμια από πλαστικό σωλήνα διαμέτρου Φ 10 mm * 30 mm, Φ 14 mm * 30 mm, Φ 28 mm * 30 mm, Φ 20 mm * 62 mm, Φ 39 mm * 62 mm

Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε ήταν TITAN CEM I και το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των δοκιμίων ήταν αποσταγμένο νερό του εργαστηρίου.

Η άμμος και το γαρμπίλι ήταν θραυστά αδρανή από λατομείο.

Τα δοκίμια χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες και αυτές με την σειρά τους σε υποκατηγορίες.

- **Κατηγορία I**

Η Κατηγορία I αποτελείται από δοκίμια τα οποία κατασκευάστηκαν από τσιμέντο και νερό.

- **Κατηγορία II**

Η Κατηγορία II αποτελείται από δοκίμια τα οποία κατασκευάστηκαν από τσιμέντο, άμμο και νερό.

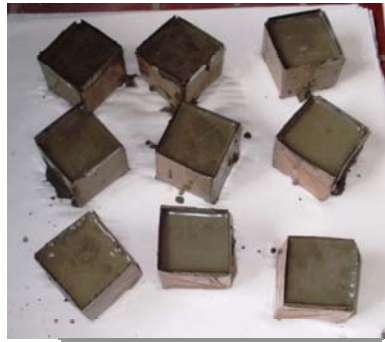
- **Κατηγορία III**

Η Κατηγορία III αποτελείται από δοκίμια τα οποία κατασκευάστηκαν από τσιμέντο, άμμο, γαρμπίλι και νερό.

- **Κατηγορία I**

- Υποκατηγορία I**

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 0,5 (1kg τσιμέντο με 0,5 l νερό)



Εικόνα 3 : Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 0,65 (1kg τσιμέντο με 0,65 l νερό)
- Κατασκευάστηκαν 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 10 mm, 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 14 mm και 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 20 mm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 0,5 (1kg τσιμέντο με 0,5 l νερό)



Εικόνα 4 : Κατασκευή Δοκιμίων – Σωληνάκια διαμέτρου

- Κατασκευάστηκαν 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 10 mm * 30 mm, 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 14 mm * 30 mm και 6 δοκίμια σωληνάκια διαμέτρου Φ 20 mm * 62 mm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 0,65 (1kg τσιμέντο με 0,65 l νερό)

Υποκατηγορία II

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 0,5 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 0,3 % κ.ο. (δηλαδή 1,5 gr).



Εικόνα 5 : Κατασκευή δοκιμίων

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 0,5 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 1 % κ.ο. (δηλαδή 5 gr).
- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 0,5 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 10 % κ.ο. (δηλαδή 50 gr).



Εικόνα 6 : Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm έτοιμα για κρουσιμέτρηση

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 0,65 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 0,3 % κ.ο. (δηλαδή 1,95 gr).
- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 0,65 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 1 % κ.ο. (δηλαδή 6,5 gr).
- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 0,65 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 10 % κ.ο. (δηλαδή 65 gr).

Υποκατηγορία III

Δεδομένου ότι οι κρίσιμες συγκεντρώσεις SO_4^{-2} για τη διάβρωση του σκυροδέματος είναι 1500 και τα 10000 ppm ή mg/l SO_4^{-2} στο νερό που πλήττει το σκυρόδεμα, υπολογίστηκαν οι παρακάτω συγκεντρώσεις MgSO_4 για την παρασκευή των δοκιμίων.

- Κατασκευάστηκαν 6 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 10 mm * 30 mm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 28 mm * 30 mm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 39 mm * 62 mm τα οποία αποτελούνται από 1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 0,2 % MgSO_4 (δηλαδή 1 g).
- Κατασκευάστηκαν 6 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 10 mm * 30 mm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 28 mm * 30 mm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 39 mm * 62 mm τα οποία αποτελούνται από 1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1,5 % MgSO_4 (δηλαδή 7,5 g).



Εικόνα 7 : Κατασκευή δοκιμίων

- Κατασκευάστηκαν 6 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 10 mm * 30 mm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 28 mm * 30 mm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 39 mm * 62 mm τα οποία αποτελούνται από 1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1 % NaCl (δηλαδή 5 g) και 0,2 % MgSO_4 (δηλαδή 1 g).
- Κατασκευάστηκαν 6 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 10 mm * 30 mm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 28 mm * 30 mm, 3 σωληνάκια διαμέτρου Φ 39 mm * 62 mm τα οποία αποτελούνται

από 1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 10 % NaCl (δηλαδή 50 g) και 1,5 % MgSO₄ (δηλαδή 7,5 g).

➤ Κατηγορία II

Υποκατηγορία I

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0,5 (1 kg τσιμέντο , 3 kg άμμο και 0,5 l νερό)
- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0,65 (1 kg τσιμέντο , 3 kg άμμο και 0,65 l νερό)



Εικόνα 8 : Κατασκευή δοκιμίων

- Κατασκευάστηκαν 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 10 mm * 30 mm, 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 14 mm * 30 mm και 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 20 mm * 62 mm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0,5 (1 kg τσιμέντο , 3 kg άμμο και 0,5 l νερό)
- Κατασκευάστηκαν 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 10 mm * 30 mm, 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 14 mm * 30 mm και 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 20 mm * 62 mm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0,65 (1 kg τσιμέντο , 3 kg άμμο και 0,65 l νερό)

Υποκατηγορία II

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0,5 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 0,3 % κ.ο (δηλαδή 1,5 gr).
- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0,5 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 1 % κ.ο (δηλαδή 5 gr).
- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0,5 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 10 % κ.ο (δηλαδή 50 gr).
- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0,65 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 0,3 % κ.ο (δηλαδή 1,95 gr).



Εικόνα 9 : Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm έτοιμα για κρουσιμέτρηση

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0,65 και επίσης

στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 1 % κ.ο (δηλαδή 6,5 gr).

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 3 : 0,65 και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 10 % κ.ο (δηλαδή 65 gr).



Εικόνα 10 : Κατασκευή δοκιμίων

➤ **Κατηγορία III**

Υποκατηγορία I

- Κατασκευάστηκαν 12 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, γαρμπίλι, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 2 : 1 : 0,5 (1kg τσιμέντο , 2kg γαρμπίλι, 1kg άμμο και 0,5 l νερό)
- Κατασκευάστηκαν 12 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, γαρμπίλι, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 2 : 1 : 0,65 (1kg τσιμέντο , 2kg γαρμπίλι, 1kg άμμο και 0,65 l νερό)



Εικόνα 11 : Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm έτοιμα για κρουσιμέτρηση

- Κατασκευάστηκαν 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 20 mm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, γαρμπίλι, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 2 : 1 : 0,5 (1kg τσιμέντο , 2kg γαρμπίλι, 1kg άμμο και 0,5 l νερό)
- Κατασκευάστηκαν 6 σωληνάκια διαμέτρου Φ 20 mm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, γαρμπίλι, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 2 : 1 : 0,65 (1kg τσιμέντο , 2kg γαρμπίλι, 1kg άμμο και 0,65 l νερό)

Υποκατηγορία II

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, γαρμπίλι, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 2 : 1 : 0,5 (1kg τσιμέντο , 2kg γαρμπίλι, 1kg άμμο και 0,5 l νερό) και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 0,3 % κ.ο (δηλαδή 1,5 gr).



Εικόνα 12 : Κυβικά δοκίμια

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, γαρμπίλι, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 2 : 1 : 0,5 (1kg τσιμέντο , 2kg γαρμπίλι, 1kg άμμο και 0,5 l νερό) και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 1 % κ.ο (δηλαδή 5 gr).



Εικόνα 13 : Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm έτοιμα για κρουσιμέτρηση

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, γαρμπίλι, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 2 : 1 : 0,5 (1kg τσιμέντο , 2kg γαρμπίλι, 1kg άμμο και 0,5 l νερό) και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 10 % κ.ο (δηλαδή 50 gr).



Εικόνα 14: Κυβικά δοκίμια τοποθετημένα σε λεκάνη για ενυδάτωση.

- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, γαρμπίλι, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 2 : 1 : 0,65 (1kg τσιμέντο , 2kg γαρμπίλι, 1kg άμμο και 0,65 l νερό) και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 0,3 % κ.ο (δηλαδή 1,95 gr).
- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, γαρμπίλι, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 2 : 1 : 0,65 (1kg τσιμέντο , 2kg γαρμπίλι, 1kg άμμο και 0,65 l νερό) και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 1 % κ.ο (δηλαδή 6,5 gr).
- Κατασκευάστηκαν 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5cm x 5cm x 5cm τα οποία αποτελούνται από τσιμέντο, γαρμπίλι, άμμο και νερό σε αναλογία 1 : 2 : 1 : 0,65 (1kg τσιμέντο , 2kg γαρμπίλι, 1kg άμμο και 0,65 l νερό) και επίσης στο νερό περιέχεται χλωριούχο νάτριο (NaCl) σε ποσοστό 10 % κ.ο (δηλαδή 65 gr).



Εικόνα 15 : Κατασκευή δοκιμίων

Μετά από περίπου 3 ημέρες το τσιμεντοκονίαμα είχε πλέον στερεοποιηθεί και έτσι τα δοκίμια απομακρύνθηκαν από τα καλούπια. Τοποθετήθηκαν σε λεκάνες με νερό βρύσης και παρέμειναν για τουλάχιστον 28 ημέρες με σκοπό την ωρίμανση των δοκιμίων.

Ακολουθούν οι Πίνακες 18 και 19 όπου φαίνονται συγκεντρωτικά η πορεία κατασκευής των δοκιμίων.

<u>Ημερομηνία</u>	<u>Αριθμός Δοκιμίων</u>	<u>Διαστάσεις Δοκιμίων</u>	<u>Συστατικά</u>	<u>Ημερομηνία Ενυδάτωσης</u>
14/6/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο με 0,5 l = 500 ml νερό	16/6/2011
14/6/2011	9	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,65 l = 650 ml νερό	16/6/2011
20/6/2011	3	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 0,3%NaCl (δλδ 1,5 gr NaCl)	22/6/2011
20/6/2011	3	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1%NaCl (δλδ 5 gr NaCl)	22/6/2011

20/6/2011	3	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 10%NaCl (δλδ 50 gr NaCl)	22/6/2011
30/6/2011	6	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 0,3%NaCl (δλδ 1,5 gr NaCl)	1/7/2011
30/6/2011	6	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1%NaCl (δλδ 5 gr NaCl)	1/7/2011
30/6/2011	6	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 10%NaCl (δλδ 50 gr NaCl)	1/7/2011
30/6/2011	6 Σωληνάκια	Φ 10 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l = 500 ml νερό	1/7/2011
30/6/2011	6 Σωληνάκια	Φ 14 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l = 500 ml νερό	1/7/2011
30/6/2011	6 Σωληνάκια	Φ 20 mm * 62 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l = 500 ml νερό	1/7/2011
30/6/2011	5 Σωληνάκια	Φ 10 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,65 l = 650 ml νερό	1/7/2011
30/6/2011	6 Σωληνάκια	Φ 14 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,65 l = 650 ml νερό	1/7/2011

30/6/2011	5 Σωληνάκια	Φ 20 mm * 62 mm	1 kg τσιμέντο με 0,65 l = 650 ml νερό	1/7/2011
1/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο με 0,65 l νερό με 0,3%NaCl (δλδ 1,95 gr NaCl)	2/7/2011
1/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο με 0,65 l νερό με 1% NaCl (δλδ 6,5 gr NaCl)	2/7/2011
1/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο με 0,65 l νερό με 10%NaCl (δλδ 65 gr NaCl)	2/7/2011
1/7/2011	1 Σωληνάκι	Φ 10 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,65 l = 650 ml νερό	2/7/2011
1/7/2011	1 Σωληνάκι	Φ 20 mm * 62 mm	1 kg τσιμέντο με 0,65l = 650 ml νερό	2/7/2011
4/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο με 0,5 l και 3 kg άμμο	5/7/2011
4/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο με 0,65 l και 3 kg άμμο	5/7/2011
4/7/2011	6 Σωληνάκια	Φ 10 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l και 3 kg άμμο	5/7/2011
4/7/2011	6 Σωληνάκια	Φ 14 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l και 3 kg άμμο	5/7/2011

4/7/2011	6 Σωληνάκια	Φ 20 mm * 62 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l και 3 kg άμμο	5/7/2011
4/7/2011	6 Σωληνάκια	Φ 10 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,65 l και 3 kg άμμο	5/7/2011
4/7/2011	6 Σωληνάκια	Φ 14 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,65 l και 3 kg άμμο	5/7/2011
4/7/2011	6 Σωληνάκια	Φ 20 mm * 62 mm	1 kg τσιμέντο με 0,65 l και 3 kg άμμο	5/7/2011
5/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο και 3 kg άμμο με 0,5 l νερό με 0,3%NaCl (δλδ 1,5 gr NaCl)	6/7/2011
5/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο και 3 kg άμμο με 0,5 l νερό με 1%NaCl (δλδ 5 gr NaCl)	6/7/2011
5/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο και 3 kg άμμο με 0,5 l νερό με 10%NaCl (δλδ 50 gr NaCl)	6/7/2011
6/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο και 3 kg άμμο με 0,65 l νερό με 0,3%NaCl(δλδ 1,95 gr NaCl)	7/7/2011

6/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο και 3 kg άμμο με 0,65 l νερό με 1%NaCl (δλδ 6,5 gr NaCl)	7/7/2011
6/7/2011	9	50 * 50 * 50 mm Κύβος	1 kg τσιμέντο και 3 kg άμμο με 0,65 l νερό με 10%NaCl (δλδ 65 gr NaCl)	7/7/2011

Πίνακας 18 : Κατασκευή δοκιμίων

<u>Ημερομηνία Κατασκευής</u>	<u>Αριθμός Δοκιμίων</u>	<u>Διαστάσεις Δοκιμίων</u>	<u>Συστατικά</u>	<u>Ημερομηνία Ενυδάτωσης</u>
21/11/2011	12	50 * 50 * 50 mm Κύβος	2kg Γαρμπίλι, 1kg άμμος, 1kg τσιμέντο με 0,5 l νερό	23/11/2011
21/11/2011	12	50 * 50 * 50 mm Κύβος	2kg Γαρμπίλι, 1kg άμμος, 1kg τσιμέντο με 0,65 l νερό	23/11/2011
21/11/2011	6 Σωληνάκια	Φ 20 mm * 62 mm	2kg Γαρμπίλι, 1kg άμμος, 1kg τσιμέντο με 0,5 l νερό	23/11/2011
21/11/2011	6 Σωληνάκια	Φ 20 mm * 62 mm	2kg Γαρμπίλι, 1kg άμμος, 1kg τσιμέντο με 0,65 l νερό	23/11/2011

23/11/2011	9 (I)	50 * 50 * 50 mm	2kg Γαρμπίλι, 1kg άμμος, 1kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 0.3%NaCl (δλδ 1,5 gr NaCl)	30/11/2011
23/11/2011	9 (II)	50 * 50 * 50 mm	2kg Γαρμπίλι, 1kg άμμος, 1kg τσιμέντο με 0,65 l νερό με 0.3NaCl% (δλδ 1,95 gr NaCl)	30/11/2011
23/11/2011	9 (III)	50 * 50 * 50 mm	2kg Γαρμπίλι, 1kg άμμος, 1kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1%NaCl (δλδ 5 gr NaCl)	30/11/2011
30/11/2011	9 (IV)	50 * 50 * 50 mm	2kg Γαρμπίλι, 1kg άμμος, 1kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 10%NaCl (δλδ 50 gr NaCl)	2/12/2011
30/11/2011	9 (V)	50 * 50 * 50 mm	2 kg Γαρμπίλι, 1 kg άμμος, 1 kg τσιμέντο με 0,65 l νερό με 1 % (δλδ 6,5 gr NaCl)	2/12/2011

30/11/2011	9 (VI)	50 * 50 * 50 mm	2 kg Γαρμπίλι, 1 kg άμμος, 1 kg τσιμέντο με 0,65 l νερό με 10%NaCl (δλδ 65 gr NaCl)	2/12/2011
6/2/2012	6 (I)	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 0,2% MgSO ₄ (δλδ 1g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (I)	Φ 10 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 0,2% MgSO ₄ (δλδ 1g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (I)	Φ 28 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 0,2 % MgSO ₄ (δλδ 1g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (I)	Φ 40 mm * 62 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 0,2 % MgSO ₄ (δλδ 1 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	6 (II)	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1,5% MgSO ₄ (δλδ 7,5 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (II)	Φ 10 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1,5% MgSO ₄ (δλδ 7,5 g MgSO ₄)	8/2/2012

6/2/2012	3 Σωληνάκια (II)	Φ 28 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1,5 % MgSO ₄ (δλδ 7,5 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (II)	Φ 40 mm * 62 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1,5 % MgSO ₄ (δλδ 7,5 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	6 (III)	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1% NaCl (δλδ 5 g) και 0,2 % MgSO ₄ (δλδ 1 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (III)	Φ 10 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1% NaCl (δλδ 5 g) και 0,2 % MgSO ₄ (δλδ 1 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (III)	Φ 28 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1% NaCl (δλδ 5 g) και 0,2 % MgSO ₄ (δλδ 1 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (III)	Φ 40 mm * 62 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 1% NaCl (δλδ 5 g) και 0,2 % MgSO ₄ (δλδ 1 g MgSO ₄)	8/2/2012

6/2/2012	6 (IV)	50 * 50 * 50 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 10% NaCl (δλδ 50 g) και 1,5 % MgSO ₄ (δλδ 7,5 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (IV)	Φ 10 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 10% NaCl (δλδ 50 g) και 1,5 % MgSO ₄ (δλδ 7,5 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (IV)	Φ 28 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 10% NaCl (δλδ 50 g) και 1,5 % MgSO ₄ (δλδ 7,5 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (IV)	Φ 28 mm * 30 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 10% NaCl (δλδ 50 g) και 1,5 % MgSO ₄ (δλδ 7,5 g MgSO ₄)	8/2/2012
6/2/2012	3 Σωληνάκια (IV)	Φ 40 mm * 62 mm	1 kg τσιμέντο με 0,5 l νερό με 10% NaCl (δλδ 50 g) και 1,5 % MgSO ₄ (δλδ 7,5 g MgSO ₄)	8/2/2012

Πίνακας 19 : Κατασκευή δοκιμίων

4.2 Κρουσιμέτρηση

Για να προσδιοριστεί η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, έγινε κρουσιμέτρηση. Τα δοκίμια αφού αφαιρέθηκαν από το νερό που παρέμειναν για 28 ημέρες, τοποθετήθηκαν σε συνθήκες περιβάλλοντος και παρέμειναν εκεί για περίπου 5 ημέρες μέχρις ότου στεγνώσουν. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο η κρουσιμέτρηση, η οποία έγινε δύο φορές σε κάθε δοκίμιο.

Η κρουσιμέτρηση έγινε με το κρουσίμετρο του εργαστηρίου τύπου Proceq.



Εικόνα 16 : Κρουσίμετρο Proceq

4.3 Επεξεργασία Αποτελεσμάτων

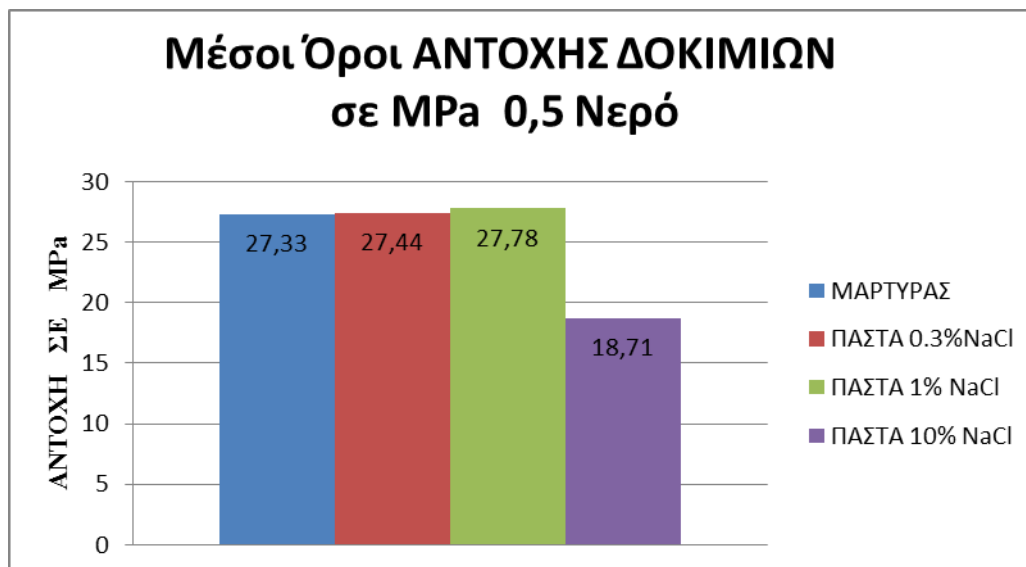
ΠΡΩΤΗ ΣΕΙΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΜΡα				
<u>Αριθμός Δοκιμίων</u>	0,5 Νερό Πάστες	0,5 Νερό, 0,3% NaCl	0,5 Νερό, 1% NaCl	0,5 Νερό, 10% NaCl
1	29	30	29	18
2	27	28	27	-
3	28	25	32	14
4	27	29	23	19
5	26	23	30	24
6	25	29	27	15
7	29	26	25	20
8	28	28	24	21
9	27	29	33	-
M.O	27,33333333	27,44444444	27,77777778	18,7142

Πίνακας 20 : Μετρήσεις αντοχής σε ΜΡα

Στον Πίνακα 20 φαίνονται οι τιμές των αντοχών των δοκιμίων σε MPa από τις μετρήσεις με το κρουσίμετρο που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου στα δοκίμια με αναλογία τσιμέντο προς νερό 1 : 0,5. Κάθε τιμή αντιστοιχεί στο Μ.Ο. δύο μετρήσεων κάθε δοκιμίου που μετρήθηκαν.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαγραμματική απεικόνιση των μετρήσεων.



Διάγραμμα 1: Μέσοι Όροι Αντοχής Δοκιμίων σε MPa

Στην πρώτη στήλη έχουμε τα δοκίμια τα οποία αποτελούν τον μάρτυρα και η αντοχή τους μετρήθηκε στα 27,33 MPa. Διατηρώντας την αναλογία τσιμέντου προς νερό σταθερή στο 1 : 0,5 και προσθέτοντας στο νερό ανάμιξης NaCl σε ποσοστό 0,3% παρατηρήθηκε ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 27,44 MPa ή αύξηση 0,4% σε σχέση με τον μάρτυρα. Στην συνέχεια προσθέτοντας περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο 1% το ποσοστό του μέσα στο νερό ανάμιξης παρατηρήθηκε επίσης ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 27,78 MPa ή αύξηση 1,24% σε σχέση με την πάστα 0.3% NaCl. Τέλος, προσθέτοντας ακόμα περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο ποσοστό 1% NaCl παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της αντοχής στα 18,71 MPa ή μείωση 32,64% σε σχέση με την πάστα με 1% NaCl.

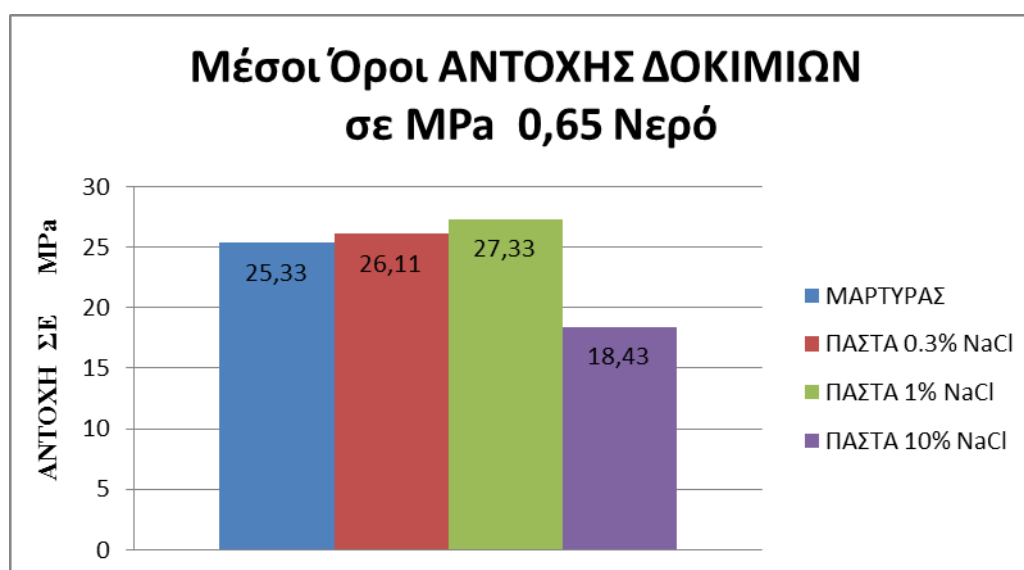
ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΕΙΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΜΡα				
<u>Αριθμός Δοκιμίων</u>	0,65 Νερό Πάστες	0,65 Νερό, 0,3% NaCl	0,65 Νερό, 1% NaCl	0,65 Νερό, 10% NaCl
1	28	25	28	25
2	29	28	25	15
3	14	28	28	17
4	32	34	24	21
5	33	27	28	19
6	13	20	26	17
7	14	28	35	15
8	30	20	25	-
9	35	25	27	-
Μ.Ο	25,33333333	26,11111111	27,33333333	18,4233

Πίνακας 21 : Μετρήσεις αντοχής σε ΜΡα

Στον Πίνακα 21 φαίνονται οι τιμές των αντοχών των δοκιμίων σε ΜΡα από τις μετρήσεις με το κρουσίμετρο που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου στα δοκίμια με αναλογία τσιμέντο προς νερό 1 : 0,65. Κάθε τιμή αντιστοιχεί στο Μ.Ο. δύο μετρήσεων κάθε δοκιμίου που μετρήθηκαν.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαγραμματική απεικόνιση των μετρήσεων.



Διάγραμμα 2 : Μέσοι Όροι Αντοχής Δοκιμίων σε ΜΡα

Στην πρώτη στήλη έχουμε τα δοκίμια τα οποία αποτελούν τον μάρτυρα και η αντοχή τους μετρήθηκε στα 25,33 MPa. Διατηρώντας την αναλογία τσιμέντου προς νερό σταθερή στο 1 : 0,65 και προσθέτοντας στο νερό ανάμιξης NaCl σε ποσοστό 0,3 % παρατηρήθηκε ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 26,11 MPa ή αύξηση 3,1% σε σχέση με τον μάρτυρα. Στην συνέχεια προσθέτοντας περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο 1% το ποσοστό του μέσα στο νερό ανάμιξης παρατηρήθηκε επίσης ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 27,33 MPa ή αύξηση 4,46% σε σχέση με την πάστα 0.3% NaCl. Τέλος, προσθέτοντας ακόμα περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο ποσοστό 1% NaCl παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της αντοχής στα 18,43 MPa ή μείωση 32,6% σε σχέση με την πάστα με 1% NaCl.

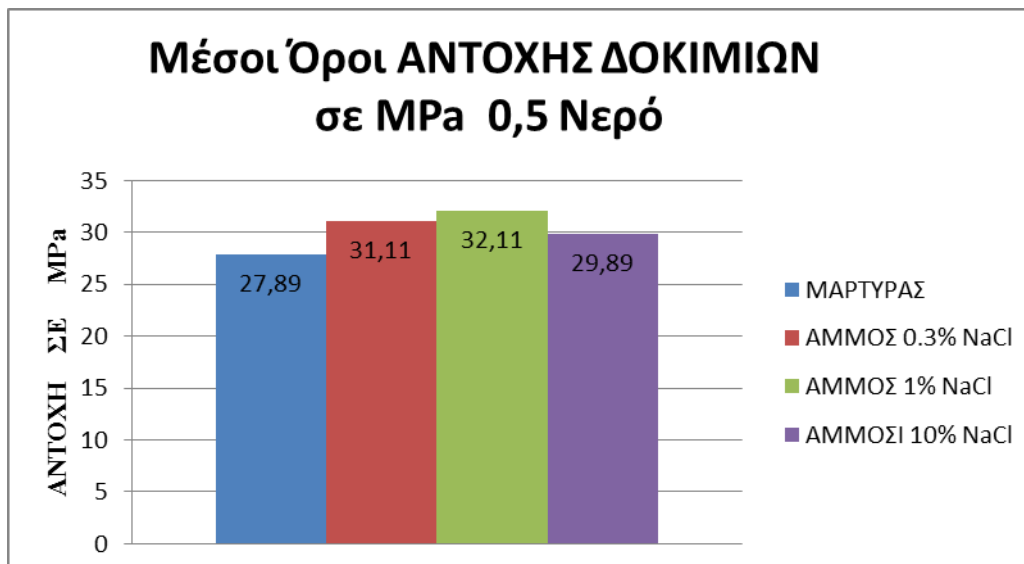
ΤΡΙΤΗ ΣΕΙΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ MPa				
Αριθμός Δοκιμίων	0,5 Νερό, Τσιμέντο, Άμμο	0,5 Νερό, Τσιμέντο, Άμμο, 0,3%NaCl	0,5 Νερό, Τσιμέντο, Άμμο, 1 %NaCl	0,5 Νερό, Τσιμέντο, Άμμο, 10% NaCl
1	32	38	28	32
2	24	38	36	36
3	32	26	32	36
4	30	35	34	29
5	30	28	33	18
6	31	26	32	28
7	30	28	29	29
8	14	29	30	30
9	28	32	35	31
M.O	27,88888889	31,11111111	32,11111111	29,8889

Πίνακας 22 : Μετρήσεις αντοχής σε MPa

Στον Πίνακα 22 φαίνονται οι τιμές των αντοχών των δοκιμίων σε MPa από τις μετρήσεις με το κρουσίμετρο που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου στα δοκίμια με αναλογία τσιμέντο προς νερό προς άμμο 1 : 0,5 : 3. Κάθε τιμή αντιστοιχεί στο M.O. δύο μετρήσεων κάθε δοκιμίου που μετρήθηκαν.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαγραμματική απεικόνιση των μετρήσεων.



Διάγραμμα 3 : Μέσοι Όροι Αντοχής Δοκιμίων σε MPa

Στην πρώτη στήλη έχουμε τα δοκίμια τα οποία αποτελούν τον μάρτυρα και η αντοχή τους μετρήθηκε στα 27,89 MPa. Διατηρώντας την αναλογία τσιμέντου προς νερό προς άμμο σταθερή στο 1 : 0,5 : 3 και προσθέτοντας στο νερό ανάμιξης NaCl σε ποσοστό 0,3% παρατηρήθηκε ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 31,11 MPa ή αύξηση 11,54 % σε σχέση με τον μάρτυρα. Στην συνέχεια προσθέτοντας περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο 1% το ποσοστό του μέσα στο νερό ανάμιξης παρατηρήθηκε επίσης ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 32,11 MPa ή αύξηση 3,21% σε σχέση με την πάστα 0.3% NaCl. Τέλος, προσθέτοντας ακόμα περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο ποσοστό 1% NaCl παρατηρήθηκε μείωση της αντοχής στα 29,8 MPa ή μείωση 6,91% σε σχέση με την πάστα με 1% NaCl.

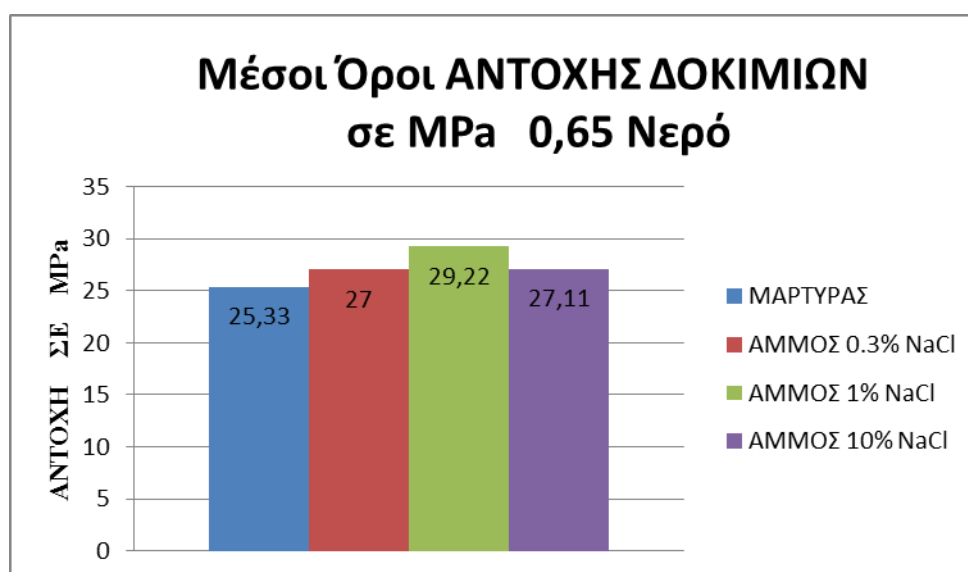
ΤΕΤΑΡΤΗ ΣΕΙΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΜΡα				
<u>Αριθμός Δοκιμίων</u>	0,65 Νερό, Τσιμέντο, Άμμο	0,65 Νερό, Τσιμέντο, Άμμο, 0,3% NaCl	0,65 Νερό, Τσιμέντο, Άμμο, 1% NaCl	0,65 Νερό, Τσιμέντο, Άμμο, 10% NaCl
1	25	28	32	33
2	31	32	30	28
3	27	35	29	32
4	31	22	30	21
5	29	24	26	22
6	20	25	29	26
7	22	26	30	29
8	23	25	29	26
9	20	26	28	27
M.O	25,33333333	27	29,22222222	27,11111

Πίνακας 23 : Μετρήσεις αντοχής σε ΜΡα

Στον Πίνακα 23 φαίνονται οι τιμές των αντοχών των δοκιμίων σε ΜΡα από τις μετρήσεις με το κρουσίμετρο που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου στα δοκίμια με αναλογία τσιμέντο προς νερό προς άμμο 1 : 0,65 : 3. Κάθε τιμή αντιστοιχεί στο Μ.Ο. δύο μετρήσεων κάθε δοκιμίου που μετρήθηκαν.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαγραμματική απεικόνιση των μετρήσεων.



Διάγραμμα 4 : Μέσοι Όροι Αντοχής Δοκιμίων σε ΜΡα

Στην πρώτη στήλη έχουμε τα δοκίμια τα οποία αποτελούν τον μάρτυρα και η αντοχή τους μετρήθηκε στα 25,33 MPa. Διατηρώντας την αναλογία τσιμέντου προς νερό προς άμμο σταθερή στο 1 : 0,65 : 3 και προσθέτοντας στο νερό ανάμιξης NaCl σε ποσοστό 0,3% παρατηρήθηκε ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 27 MPa ή αύξηση 6,6 % σε σχέση με τον μάρτυρα. Στην συνέχεια προσθέτοντας περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο 1% το ποσοστό του μέσα στο νερό ανάμιξης παρατηρήθηκε επίσης ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 29,22 MPa ή αύξηση 8,22% σε σχέση με την πάστα 0.3% NaCl. Τέλος, προσθέτοντας ακόμα περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο ποσοστό 1% NaCl παρατηρήθηκε μείωση της αντοχής στα 27,11 MPa ή μείωση 7,22% σε σχέση με την πάστα με 1% NaCl.

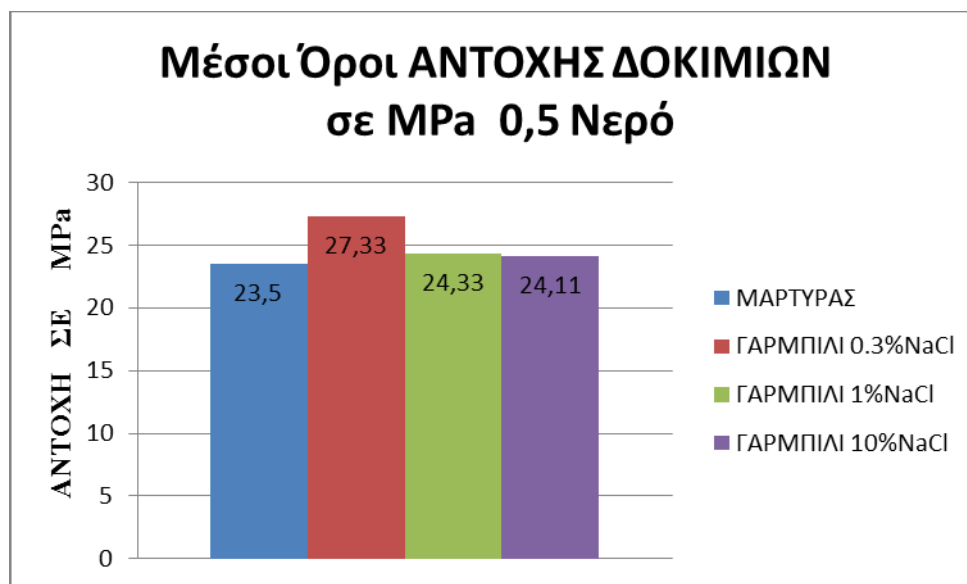
ΠΕΜΠΤΗ ΣΕΙΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ MPa				
<u>Αριθμός Δοκιμίων</u>	0,5Νερό, Τσιμέντο, Άμμο,Γαρμπίλι	0,5Νερό, Τσιμέντο, Άμμο,Γαρμπίλι, 0.3 % NaCl	0,5Νερό,Τσιμέντο, Άμμο,Γαρμπίλι, 1% NaCl	0,5Νερό,Τσιμέντο, Άμμο,Γαρμπίλι, 10% NaCl
1	24	31	22	28
2	19	27	25	29
3	20	21	18	23
4	24	27	31	21
5	23	28	19	20
6	23	28	24	26
7	32	23	27	29
8	28	30	25	20
9	25	31	28	21
10	20	-	-	-
11	20	-	-	-
12	24	-	-	-
M.O.	23,5	27,33333333	24,33333333	24,11111111

Πίνακας 24 : Μετρήσεις αντοχής σε MPa

Στον Πίνακα 24 φαίνονται οι τιμές των αντοχών των δοκιμίων σε MPa από τις μετρήσεις με το κρουσίμετρο που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου στα δοκίμια με αναλογία τσιμέντο προς νερό προς άμμο προς γαρμπίλι 1 : 0,5 : 1 : 2. Κάθε τιμή αντιστοιχεί στο M.O. δύο μετρήσεων κάθε δοκιμίου που μετρήθηκαν.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαγραμματική απεικόνιση των μετρήσεων.



Διάγραμμα 5 : Μέσοι Όροι Αντοχής Δοκιμίων σε MPa

Στην πρώτη στήλη έχουμε τα δοκίμια τα οποία αποτελούν τον μάρτυρα και η αντοχή τους μετρήθηκε στα 23,5 MPa. Διατηρώντας την αναλογία τσιμέντου προς νερό προς άμμο προς γαρμπίλι σταθερή στο 1 : 0,5 : 1 : 2 και προσθέτοντας στο νερό ανάμιξης NaCl σε ποσοστό 0,3% παρατηρήθηκε ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 27,33 MPa ή αύξηση 16,3 % σε σχέση με τον μάρτυρα. Στην συνέχεια προσθέτοντας περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο 1% το ποσοστό του μέσα στο νερό ανάμιξης παρατηρήθηκε επίσης ότι η αντοχή των δοκιμίων μειώθηκε στο 24,33 MPa ή μείωση 11% σε σχέση με την πάστα 0.3% NaCl. Τέλος, προσθέτοντας ακόμα περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο ποσοστό 1% NaCl παρατηρήθηκε μείωση της αντοχής στα 24,11 MPa ή μείωση 1% σε σχέση με την πάστα με 1% NaCl.

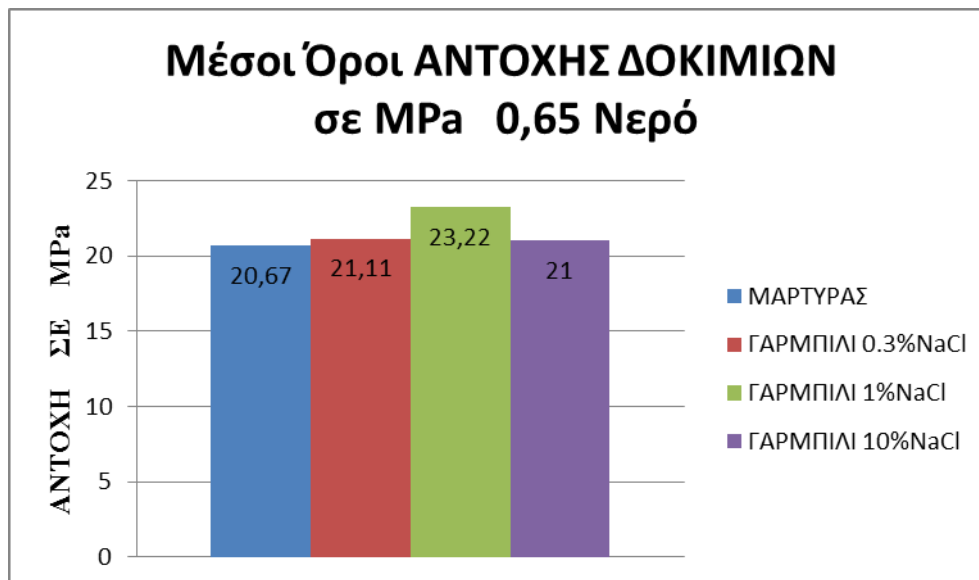
ΕΚΤΗ ΣΕΙΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ MPa				
<u>Αριθμός Δοκιμίων</u>	0,65Νερό,Τσιμέντ ο, Άμμο,Γαρμπίλι	0,65Νερό,Τσιμέντ ο, Άμμο,Γαρμπίλι, 0.3 % NaCl	0,65Νερό,Τσιμέντ ο, Άμμο,Γαρμπίλι, 1% NaCl	0,65Νερό,Τσιμέντ ο, Άμμο,Γαρμπίλι, 10% NaCl
1	15	19	22	22
2	21	22	22	24
3	24	18	25	18
4	20	24	26	22
5	25	21,5	24	21
6	20	25	22	20
7	23	21	20	19
8	21	18	21	17
9	19	21,5	27	26
10	17	-	-	-
11	18	-	-	-
12	25	-	-	-
M.O.	20,66666667	21,11111111	23,22222222	21

Πίνακας 25 : Μετρήσεις αντοχής σε MPa

Στον Πίνακα 25 φαίνονται οι τιμές των αντοχών των δοκιμίων σε MPa από τις μετρήσεις με το κρουσίμετρο που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου στα δοκίμια με αναλογία τσιμέντο προς νερό προς άμμο προς γαρμπίλι 1 : 0,65 : 1 : 2. Κάθε τιμή αντιστοιχεί στο M.O. δύο μετρήσεων κάθε δοκιμίου που μετρήθηκαν.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαγραμματική απεικόνιση των μετρήσεων.



Διάγραμμα 6 : Μέσοι Όροι Αντοχής Δοκιμίων σε MPa

Στην πρώτη στήλη έχουμε τα δοκίμια τα οποία αποτελούν τον μάρτυρα και η αντοχή τους μετρήθηκε στα 20,67 MPa. Διατηρώντας την αναλογία τσιμέντου προς νερό προς άμμο προς γαρμπίλι σταθερή στο 1 : 0,65 : 1 : 2 και προσθέτοντας στο νερό ανάμιξης NaCl σε ποσοστό 0,3% παρατηρήθηκε ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 21,11 MPa ή αύξηση 2,13 % σε σχέση με τον μάρτυρα. Στην συνέχεια προσθέτοντας περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο 1% το ποσοστό του μέσα στο νερό ανάμιξης παρατηρήθηκε επίσης ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξήθηκε στο 23,22 MPa ή αύξηση 10% σε σχέση με την πάστα 0.3% NaCl. Τέλος, προσθέτοντας ακόμα περισσότερο NaCl μέχρι να φτάσει στο ποσοστό 1% NaCl παρατηρήθηκε μείωση της αντοχής στα 21 MPa ή μείωση 9,56% σε σχέση με την πάστα με 1% NaCl.

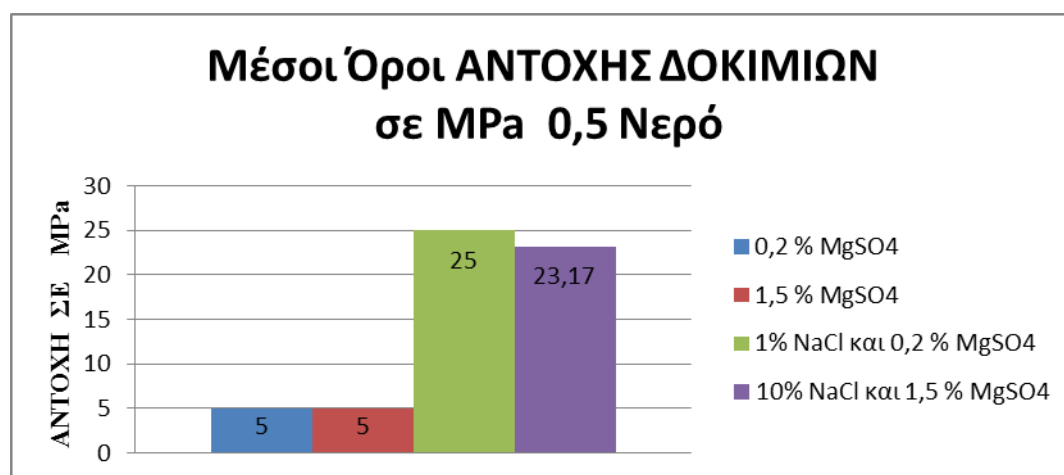
ΕΒΔΟΜΗ ΣΕΙΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ MPa				
<u>Αριθμός Δοκιμίων</u>	0,5 Νερό, Τσιμέντο, 0,2 % MgSO4	0,5 Νερό, Τσιμέντο, 1,5 % MgSO4	0,5 Νερό, Τσιμέντο, 1% NaCl, 0,2 % MgSO4	0,5 Νερό, Τσιμέντο, 10% NaCl, 1,5 % MgSO4
1	5	5	22	24
2	5	5	23	21
3	5	5	28	22
4	5	5	26	24
5	5	5	24	25
6	5	5	27	23
Μ.Ο.	5	5	25	23,16666667

Πίνακας 26 : Μετρήσεις αντοχής σε MPa

Στον Πίνακα 26 φαίνονται οι τιμές των αντοχών των δοκιμίων σε MPa από τις μετρήσεις με το κρουσίμετρο που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου στα δοκίμια με αναλογία τσιμέντο προς νερό 1 : 0,5. Κάθε τιμή αντιστοιχεί στο Μ.Ο. δύο μετρήσεων κάθε δοκιμίου που μετρήθηκαν.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαγραμματική απεικόνιση των μετρήσεων.



Διάγραμμα 7 : Μέσοι Όροι Αντοχής Δοκιμίων σε MPa

Στην πρώτη στήλη έχουμε τα δοκίμια τα οποία περιέχουν μέσα στο νερό ανάμιξης 0,2% MgSO₄ ενώ στην δεύτερη στήλη είναι τα δοκίμια τα οποία περιέχουν μέσα στο νερό ανάμιξης 1,5% MgSO₄. Τα δοκίμια αυτά κατά την κρουσιμέτρηση έσπασαν για

αυτό και η αντοχή τους περιγράφεται με την τιμή 5 MPa. Στην τρίτη στήλη είναι τα δοκίμια τα οποία περιέχουν 1% NaCl και 0,2% MgSO₄ και η αντοχή τους μετρήθηκε 25MPa. Και τέλος στην τέταρτη στήλη είναι τα δοκίμια τα οποία περιέχουν 10% NaCl και 1,5% MgSO₄ και η αντοχή τους μειώθηκε στο 23,17 MPa ή μείωση 7,32%.

4.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.

1. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα 1 και 2, 3 και 4, 5 και 6 παρατηρούμε ότι τα δοκίμια με αναλογία τσιμέντου προς νερό 1 : 0,5 έχουν καλύτερες αντοχές σε σχέση με τα δοκίμια με αναλογία τσιμέντου προς νερό 1 : 0,65.

Αυτό είναι αναμενόμενο για τον λόγο ότι αύξηση του λόγου N/T προκαλεί αύξηση του πορώδους και άρα μείωση της αντοχής του τσιμεντοπολτού.

2. Στα διαγράμματα 1 και 2, 3 και 4, παρατηρούμε πως ανεξαρτήτως της αναλογίας N/T, τα δοκίμια συμπεριφέρονται το ίδιο στην αλλαγή του ποσοστού του NaCl που περιέχεται στο νερό κάθε φορά. Αναλυτικότερα παρατηρείται πως τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν μόνο με τσιμέντο και νερό, τσιμέντο - νερό και άμμο, χωρίς NaCl έχουν μικρότερη αντοχή σε σχέση με τα δοκίμια με τσιμέντο και νερό, τσιμέντο - νερό και άμμο με ποσοστό 0,3% NaCl και τα δοκίμια με 1% NaCl φτάνουν την μέγιστη αντοχή. Πέραν της τιμής αυτής η αντοχή των δοκιμίων μειώνεται αισθητά.

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως στην περιοχή γύρω από το 1% NaCl παρατηρούνται οι μέγιστες αντοχές των δοκιμίων ανεξαρτήτως της αναλογίας N/T. Επίσης η αισθητή μείωση της αντοχής πέραν του ποσοστού του 1% NaCl, οφείλεται στο γεγονός ότι μέχρι 1% NaCl μέσα στο νερό ανάμιξης το NaCl αντιδρά με τα υπόλοιπα συστατικά του τσιμέντου δημιουργώντας κρυσταλλικές δομές. Όταν αυξηθεί το NaCl πέραν του ποσοστού αυτού το NaCl κρυσταλλώνεται σαν κρυσταλλικό NaCl και στην συνέχεια διαλύεται μέσα στο νερό της ωρίμανσης που έχουν τοποθετηθεί τα δοκίμια ώστε να γίνει η ενυδάτωσή τους και διαχεόμενο το NaCl αφήνει κενά στα δοκίμια και έχει σαν αποτέλεσμα μείωση της θλιπτικής αντοχής.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι και ο Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος αναφέρει ότι επιτρέπεται η χρήση του θαλασσινού νερού για την παρασκευή φέροντος άοπλου σκυροδέματος.

3. Τα διαγράμματα 3 και 4 περιέχουν τσιμέντο, άμμο και νερό. Συγκρίνοντας το διάγραμμα 3 με το 1 και το 4 με το 2 παρατηρούμαι πως τα δοκίμια που περιέχουν και άμμο έχουν μεγαλύτερες αντοχές από τα δοκίμια με μόνο

τσιμέντο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αν τα αδρανή που προστίθεται στο τσιμέντο έχουν μεγαλύτερη αντοχή από αυτό συνεισφέρουν θετικά στην αύξηση της αντοχής των δοκιμών αλλιώς μειώνουν την αντοχή τους. Επίσης η άμμος βοηθάει στο κλείσιμο των κενών που δημιουργείται με αποτέλεσμα να μειώνεται το πορώδες και να αυξάνεται η αντοχή.

4. Στο Διάγραμμα 7 παρατηρούμε ότι τα δοκίμια με 0,2% και 1,5% $MgSO_4$ έσπασαν κατά την δοκιμή της κρουσιμέτρησης. Αντίθετα όταν προστέθηκε στα δοκίμια αυτά 1% NaCl και 10% NaCl αντίστοιχα η αντοχή τους αυξήθηκε στο 25MPa και 23,17MPa. Η μείωση της θλιπτικής αντοχής των δοκιμών είναι λογική γιατί το $MgSO_4$ μειώνει τις αντοχές λόγω σχηματισμού εντριγκίτη.
5. Όταν στα δοκίμια με $MgSO_4$ προστεθεί NaCl οι αντοχές των δοκιμών αυξάνουν. Αυτό οφείλεται στο ότι το χλωριούχο νάτριο παρεμποδίζει τον σχηματισμό του εντριγκίτη.
6. Στα διαγράμματα 5 και 6 παρατηρήθηκε ότι η αντοχή των δοκιμών με τσιμέντο, άμμο, γαρμπίλι και νερό μειώθηκε σε σχέση με την αντοχή των δοκιμών με τσιμέντο, άμμο και νερό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ρευστότητα μειώθηκε προσθέτοντας γαρμπίλι και για τον λόγο αυτό επειδή δεν χρησιμοποιήθηκαν αερακτικά, εγκλωβίστηκε αέρας μέσα στα δοκίμια με αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής. Ακόμη πρέπει να λεχθεί ότι δεν ήταν σκοπός της εργασίας αυτής να βρεθεί η κατάλληλη σχέση άμμου/γαρμπίλι ώστε να φτάσουμε το μέγιστο της αντοχής.

4.4 Συμπεράσματα

- Τα δοκίμια με αναλογία τσιμέντου προς νερό 1 : 0,5 έχουν καλύτερες αντοχές σε σχέση με τα δοκίμια με αναλογία τσιμέντου προς νερό 1 : 0,65.
- Η προσθήκη NaCl μέχρι ενός ορίου οδηγεί σε αύξηση της θλιπτικής αντοχής. Όταν αποκτήσει υψηλότερες τιμές η θλιπτική αντοχή μειώνεται.
- Τα δοκίμια που περιέχουν τσιμέντο, άμμο και νερό έχουν μεγαλύτερες αντοχές από τα δοκίμια με μόνο τσιμέντο και νερό.
- Η προσθήκη $MgSO_4$ στα δοκίμια μειώνει την θλιπτική αντοχή.
- Η ταυτόχρονη προσθήκη $MgSO_4$ και NaCl στα δοκίμια, μετακινεί τις θλιπτικές αντοχές σε υψηλότερα επίπεδα.

Βιβλιογραφία

1. Γ. Μπατής, Φθορά και Προστασία Των Υλικών, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006
2. Θ. Τριανταφύλλου, Δομικά Υλικά, 6^η Έκδοση, Πάτρα 2004
3. Σ.Τσίμας, Σ.Τσιβιλής, Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2004
4. Μιχαήλ Ν. Φαρδής, Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος Μέρος ΙΙΙ, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2007
5. Τεχνικά Υλικά Τόμος 1, Αιμ.Γ.Κορωναίος, Γ.Ι.Πουλάκος, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006
6. Μηχανισμός Διάβρωσης – Καθοδική Προστασία, Αλεξόπουλος Αθανάσιος, 11^ο Φοιτητικό Συνέδριο 2005 «Ενισχύσεις – Επισκευές κατασκευών Ο/Σ και ανασχεδιασμός υφιστάμενων κατασκευών», Πάτρα 2005
7. Καραγκιοζάκης Αθανάσιος, Πτυχιακή Εργασία « Αρχές σκυροδέματος/αυτοματισμοί υγρασίας στην παραγωγή σκυροδέματος», ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Κοζάνη 2009
8. Παναγιώτης Α. Μιχάλης και Σωτήρης Χ. Δημητρίου, Πτυχιακή Εργασία «Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος», ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Θεσσαλονίκη Δεκέμβριος 2007
9. Πειραματική Διερεύνηση Επιταχυνόμενης Διάβρωσης Υποστυλωμάτων ΟΣ, Ζέρης Χ., Μπατής Γ., Μολοδάκης Β., Μαράκης Ι., 16^ο Συνέδριο σκυροδέματος ΤΕΕ, Πάφος 2009
10. Διάβρωση Οπλισμού κονιαμάτων με ασβεστολιθικά τσιμέντα σε συνδυασμένο περιβάλλον χλωριόντων και θεικών ιόντων και χαμηλές θερμοκρασίες, Σωτηριάδης Κ., Μιτζήθρα Μ., Ρακαντά Ε., Μπατής Γ., Τσιβιλής Σ., 16^ο Συνέδριο σκυροδέματος ΤΕΕ, Πάφος 2009
11. Μελέτη της επίδρασης της προσθήκης νιτώδους ασβεστίου σε τσιμεντοκονιάματα εκτεθειμένα σε περιβάλλον χλωριόντων – θεικών, Σιδέρης Κ., Μπατής Γ., Πανταζοπούλου Π., 16^ο Συνέδριο σκυροδέματος ΤΕΕ, Πάφος 2009
12. Διερεύνηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και της επακόλουθης υποβάθμισης λόγω διάβρωσης οπλισμού από τη δράση

- χλωριόντων, Αποστολόπουλος Χ., Παπαδάκης Ε., Δέμης Σ., 16^ο Συνέδριο σκυροδέματος ΤΕΕ, Πάφος 2009
13. Σωτηριάδης Κ. Διδακτορική Διατριβή « Διερεύνηση και ερμηνεία της συμπεριφοράς ασβεστολιθικών τσιμέντων σε συνδυασμένο περιβάλλον χλωριόντων και θεικών ιόντων», Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα 2011
 14. Tsivilis s., Sotiriadis K., Skaropoulou A., Thaumaside form of sulfate attack in limestone cement pastes, *J Eur Ceram Soc.*, 2007
 15. O. S. Baghabra Al-Amoudi, M. Maslehuddin, A.N Lashari, A. A. Almusallam, Effectiveness of Corrosion Inhibitors in Contaminated Concrete, *Cement & Concrete Composites* 25 (2003), 439-449
 16. W. D. Callister, *Material Science and Engineering an Introduction*, 5th edition John Wiley & Sons, Inc., 2000.
 17. J. M. Hooks, P. Virmani, *Mitigation of Corrosion in Concrete Bridges*, Federal Highway Administration, McLean, VA
 18. A. M Stoneman, A Performance Evaluation of Sprayed Zinc and Zinc-Aluminium Alloy for Use as Anodes on Concrete, *Proceedings of the International Conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete*, University of Sheffield, Sheffield, 1994, p 1424-1437
 19. J. Fischer, B. Isecke, B. Jonas, *Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures*, 9th European Congress on Corrosion, *Proceedings Volume II*, Netherlands 1989
 20. F. Massazza, *Concrete Resistance to Sea Water and Marine Environment*, II *Cemento*, Vol 1, 1985, p 3-26
 21. H. Temiz, M. M Kose, S. Koksall, Effects of portland composite and composite cements on durability of mortar and permeability of concrete, *Construction and Building Materials* 21, (2007), 1170-1176
 22. Sahu S., Exline D.L., Nelson M.P., Identification of thaumasite in concrete by Raman chemical imaging, *Cem Concr Compos.* 347-350 (2002)
 23. Youping Liu, 'Modeling the time-to-corrosion cracking of the cover concrete in chloride contaminated reinforced concrete structures', Blacksburg, Virginia, 1996

Βιογραφικό σημείωμα

Προσωπικές πληροφορίες

Επώνυμο / Όνομα
Διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου
Υπηκοότητα
Ημερομηνία γέννησης

ΣΟΥΚΟΥΛΗ ΙΩΑΝΝΑ

ioannasoukouli@yahoo.gr

Ελληνική

19 Σεπτεμβρίου 1985

Επιθυμητή θέση εργασίας / τομέας απασχόλησης

Πολιτικός Μηχανικός

Επαγγελματική πείρα

Χρονολογίες

Ιούνιος 2012 - Σήμερα

Απασχόληση

Πολιτικός Μηχανικός

Κύριες δραστηριότητες και
αρμοδιότητες

Σύνταξη τεχνικής και οικονομικής προσφοράς για την ανάληψη εργασιών που αφορά την πόντιση και προστασία υποθαλάσσιων ενεργειακών και οπτικών καλωδίων.

Όνομα και διεύθυνση εργοδότη

AsoDivers Ltd.

Ωκεανιδών 69 και Χαριλάου Τρικούπη 38, Ελευσίνα, Τ.Κ. 19200

Τηλ.: (+30) 211 104 4523, Fax : (+30) 210 4527053

www.assodivers.gr

Τύπος ή τομέας δραστηριότητας

Μελέτη, πόντιση και προστασία υποθαλάσσιων ενεργειακών και οπτικών καλωδίων

Χρονολογίες

Μάιος 2010 - Σήμερα

Απασχόληση

Ενασχόληση με το ελεύθερο επάγγελμα, ως Πολιτικός Μηχανικός.

Χρονολογίες

Απρίλιος 2009 - Ιούνιος 2009

Απασχόληση ή θέση που κατείχατε

Πρακτική Άσκηση στο Εργαστήριο Ασφάλτου, στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος "Erasmus Placements", κατά το διάστημα 1 Απριλίου έως 19 Ιουνίου 2009, υπό την εποπτεία του Prof. Dr.-Ing. P.Pohlmann.

Κύριες δραστηριότητες και
αρμοδιότητες

Ενασχόληση με :

-Προετοιμασία - προβολή παρουσίασης σε PowerPoint με θέμα: «Η οδοποιία στην Ελλάδα»

-Προετοιμασία δειγμάτων ασφάλτου προς εργαστηριακό έλεγχο (EN 12697-35).

-Προσδιορισμός σωματιδιακής πυκνότητας μίγματος –αδρανών (EN 1097-6).

-Προσδιορισμός ολικής πυκνότητας συμπίεσμένου ασφαλτικού δείγματος (EN 12697-6).

-Προσδιορισμός περιεχομένων κενών αέρος σε ασφαλτικό δείγμα (EN 12697-8).

-Προετοιμασία δείγματος με χρήση συμπίεστή κρούσης και συμπίεστή κύλισης (EN 12697-30 / EN 12697-33).

-Μίξη ασφαλτικών υλικών προς παρασκευή δειγμάτων (EN 12697-35).

-Προσδιορισμός συνοχής ασφαλτικών συνδετικών (EN 1426).

-Εκτίμηση ιδιοτήτων ασφάλτου σε χαμηλή θερμοκρασία.

Όνομα και διεύθυνση εργοδότη

Beuth Hochschule Fur Technik Berlin, (University of Applied Sciences – Berlin, GERMANY)

Βερολίνο (Γερμανία)

Εκπαίδευση και κατάρτιση

Χρονολογίες

2010-2012

Τίτλος του πιστοποιητικού ή
διπλώματος

Μεταπτυχιακό (MSc) στην «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών»

Επωνυμία και είδος του οργανισμού που παρέχει την εκπαίδευση	Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ)
Χρονολογίες	2003 - 2009
Τίτλος του πιστοποιητικού ή διπλώματος	Δίπλωμα Πολιτικού Μηχανικού
Επωνυμία και είδος του οργανισμού που παρέχει την εκπαίδευση	Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών
<u>Ατομικές δεξιότητες και ικανότητες</u>	
Μητρική γλώσσα	Ελληνική
Άλλες γλώσσες	Αγγλικά (First Certificate in English – University of Cambridge) Ιταλικά
Δεξιότητες πληροφορικής	-Γνώση και χρήση Η/Υ σε περιβάλλον Windows, XP & προγράμματα Microsoft Office 2003, 2007 (Word, Excel, Access, PowerPoint) Γνώση και εξοικείωση: -AutoCAD, Fespa, Archicad, Acord -Fortran, Mathematica
Άλλες δεξιότητες και ικανότητες	Μέλος της ομάδας στίβου Ο.Φ.Κ.Α. Οδυσσεάς από το 1995 μέχρι σήμερα -1η Θέση στην σκυταλοδρομία στο Πανελλήνιο Πρωτάθλημα του 1999.
Άδεια οδήγησης	Β' Κατηγορίας
<u>Ερευνητική Εμπειρία</u>	
2011-2012	«Μέτρηση μηχανικών αντοχών σε κονιάματα και σκυροδέματα», Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Επιβλέπων Καθηγητής κ. Γεώργιος Μπατής.
2008-2009	«Ενίσχυση κατασκευών από Φέρουσα Τοιχοποιία με σύνθετα υλικά», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών. Επιβλέπων Καθηγητής κ. Αθανάσιος Τριανταφύλλου.
2007	Εργασία στα Πλαίσια του Μαθήματος 9ου Εξαμήνου «Σχεδιασμός και Ανασχεδιασμός Κατασκευών από Φέρουσα Τοιχοποιία» με θέμα «Εφαρμογή Μελέτης σε Παλαιά Πλινθόκτιστη Οικία».
2006	Εργασία στα Πλαίσια του Μαθήματος 7ου Εξαμήνου «Σχεδιασμός Οδών».
2005	Εργασία στα Πλαίσια του Μαθήματος 5ου Εξαμήνου «Τεχνική της Κυκλοφορίας» με θέμα Στατιστική Ανάλυση της Συχνότητας διέλευσης των οχημάτων από την Λεωφόρο Γούναρη στο Κέντρο της Πάτρας.
<u>Συνέδρια- Σεμινάρια</u>	
2010	Πρόγραμμα εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης (E-learning) του τμήματος Χρηματο-οικονομικής & Τραπεζικής Διοικητικής του Πανεπιστημίου Πειραιώς, με θέμα «Επενδύσεις στις Αγορές Ακινήτων».
2008	-1 ^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών, Διοργάνωση: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ).
2007	Ημερίδα με θέμα «Ακτινοβολίες και άνθρωπος», Διοργάνωση: Ένωση Ελλήνων Φυσικών.