

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ

**ΚΛΑΔΟΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΑΓΣΙΑ
ΜΕ ΤΙΤΛΟ:**

**«ΧΡΗΣΗ ΖΕΟΛΙΘΩΝ ΩΣ ΕΙΔΙΚΑ ΑΔΡΑΝΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΕΛΑΦΡΟΥ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ»**

**ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Γ. ΑΥΤΟΥΣΜΗΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ
«ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»**

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2012

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Ημερομηνία ορισμού Επιβλέποντος και θέματος:

23/06/2011, 71^η συνεδρία

Ημερομηνία ορισμού Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

20/03/2012, 77^η συνεδρία

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΥΘΥΜΙΟΣ ΓΚΑΡΤΖΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΕΡΕΛΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΑΤΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Ε. Γκάρτζο για την βοήθειά του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας δίνοντας την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και πρωτότυπο θέμα, καθώς και για την προθυμία του να βοηθήσει σε όλα τα στάδια των εργαστηριακών δοκιμών.

Επίσης νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη Δ.Ε.Π. του Γεωλογικού τμήματος, τον Καθηγητή κ. Γ. Σταμάτη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κ. Σερέλη για την εμπιστοσύνη και ενθάρρυνση που μου έδειξαν.

Επιπλέον, ευχαριστώ τον Διευθυντή κ. Α. Αδαμακόπουλο της εταιρείας «Κ. Αδαμακόπουλος Ε.Π.Ε.» για την δωρεάν προμήθεια των Ζεολιθικών αδρανών.

Ευχαριστίες εκφράζονται στην εταιρεία (**εκετ**), κυρίως στον Τεχνικό Διευθυντή κ. Β. Καλοϊδάς, καθώς και στο ανεκτίμητο προσωπικό της εταιρείας για την δωρεάν παραχώρηση εκτέλεσης των εργαστηριακών δοκιμών με πιστοποιημένα αποτελέσματα (Υδατοπερατότητας και Διάρρηξης).

Επιπροσθέτως, ευχαριστώ τον συνάδελφο Α. Κυριαζόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή του Α.Τ.Ε.Ι. Αθηνών για την συμπαράσταση και βοήθειά του.

Τέλος, αλλά πριν από όλους, ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου για την ψυχική και ηθική υποστήριξη και ενθάρρυνση, ούτως ώστε να πραγματοποιήσω τους στόχους μου.

Περίληψη

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός ορισμένων Φυσικών και Φυσικομηχανικών ιδιοτήτων δοκιμίων σκυροδέματος με ζεολιθικά αδρανή για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των Ζεόλιθων ως ειδικά αδρανή για την παρασκευή ειδικών τύπων σκυροδέματος

Για την επίτευξη του σκοπού αποφασίστηκε δοκιμαστικά να επιλεγθούν κάποιες παραδοχές ανάλογα με τους περιορισμούς στον Ελλαδικό χώρο, όπως:

1. Η επιλογή των αδρανών που πραγματοποιήθηκε από την διαθέσιμη Ελληνική αγορά και εξετάστηκαν ως προς την κοκκομετρική σύνθεση, σύμφωνα με τον ισχύοντα Κ.Τ.Σ. – 97.
2. Τα διαθέσιμα αδρανή από την Ελληνική αγορά ήσαν τα ασβεστολιθικά Ελληνικής παραγωγής και προμηθεύτηκαν από εταιρεία αδρανών υλικών, ενώ τα ζεολιθικά αδρανή ήσαν προέλευσης Βουλγαρίας και προμηθεύτηκαν από την αντιπροσωπευτική εταιρεία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.
3. Οι διαστάσεις των κυλινδρικών δοκιμίων ήσαν εντός των καθορισμένων από τον (κανονισμό) ορίων, με λόγο (Υψος / Διάμετρο = 2) δηλαδή [l=14cm, d=7cm]
4. Τα κυλινδρικά καλούπια παραγγέλθηκαν με τις προαναφερθείσες διαστάσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές των διαθέσιμων (θλιπτικής αντοχής και σημειακής φόρτισης) συσκευών του Εργαστηρίου Γεωλογίας και Ορυκτολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών
5. Η μελέτη συνθέσεως καθορίστηκε δοκιμαστικά με τον Αμερικάνικο Κανονισμό Σκυροδέματος ACI 211.1

Κατασκευάστηκαν εξήντα κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος των δύο διαφορετικών ομάδων, ακολουθώντας αυστηρά το πρότυπο Κ.Τ.Σ. – 97 και τηρώντας την εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος (Μεταφορά, Σκυροδέτηση και Συμπύκνωση), ανάλογα με τα δεδομένα της μελέτης συνθέσεως. Κατόπιν διατηρήθηκαν καλουπωμένα για (32 – 48) ώρες, για να επιτευχθεί η εξέλιξη της στερεοποίησης και αφού ξεκαλουπώθηκαν συντηρήθηκαν για 28 ημέρες σε εμποτισμό νερού εντός γούρνας στο εργαστήριο σκυροδέματος του Α.Τ.Ε.Ι. Αθηνών.

Μετά από 28 ημέρες συντήρησης, τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές, όπως σε (θλιπτική αντοχή, διάρρηξης, σημειακή φόρτιση και επιφανειακή σκληρότητα), καθώς και σε μετρήσεις (ειδικού και φαινόμενου βάρους, ολικό πορώδες και υδατοπερατότητα), με στόχο την ένδειξη ποσοστιαίας διαφοράς των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο διαφορετικών ομάδων.

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Οι δοκιμές θλιπτικής αντοχής, σημειακής αντοχής και επιφανειακής σκληρότητας εκτελέστηκαν στο Εργαστήριο Γεωλογίας και Ορυκτολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, ενώ η υδατοπερατότητα και δοκιμή διάρρηξης (Brazilian Test), έγιναν στην εταιρεία (ε.κ.ε.τ.) της Lafarge.

Επίσης οι δοκιμές ειδικού και φαινόμενου βάρους καθώς και ο υπολογισμός του πορώδους πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Σκυροδέματος του Α.Τ.Ε.Ι. Αθηνών

Τα αποτελέσματα των αντοχών (διάρρηξης, σημειακής φόρτισης και επιφανειακής σκληρότητας), διατυπώθηκαν ως θλιπτικές αντοχές.

Αποκλίσεις των μετρήσεων μεταξύ των δύο ομάδων υπήρξαν σημαντικές και σχετικές

Τα αποτελέσματα των αποκλίσεων θλιπτικών αντοχών σε συνάρτηση με την απαιτούμενη κατά την μελέτη συνθέσεων αντοχή σε θλίψη κυλινδρικού δοκιμίου ήσαν της τάξεως , για τις καταστρεπτικές μεθόδους όπως (θλιπτικής, διάρρηξης και σημειακής φόρτισης), (10 – 30)% για τα ασβεστολιθικά δοκίμια, ενώ (30 – 70)% για τα ζεολιθικά δοκίμια, επίσης με την μη καταστρεπτική μέθοδο (επιφανειακής σκληρότητας, κρουσίμετρο Schmidt), (20 – 40)% και για τις δύο ομάδες.

Η μείωση των αστοχιών και σχετικών αποκλίσεων μπορεί να υλοποιηθεί με την χρήση Ελληνικών ζεόλιθων, το οποίο περιέχει 89% ζεόλιθο τύπου – HEU (Ca, K, Mg, Na – κλινοπτιλόλιθο)^[1], ενώ της Βουλγαρίας και άλλων κρατών μέχρι 70% ζεόλιθο τύπου – HEU (Ca, K, Mg, Na – κλινοπτιλόλιθο)

Επομένως, επιβάλλεται περισσότερη προσεκτική μελέτη ως προς την σύνθεση του μίγματος, ούτως ώστε η αναλογία μίξεως (τσιμέντου : αδρανών : νερού) να επιτευχθεί ακριβέστερη

Επιπλέον, οι ζεόλιθοι ως ειδικά αδρανή έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή ελαφρών σκυροδεμάτων, κυρίως και σε έργα υποδομής, αρκεί να προσεγγίζουν τις απαιτούμενες αντοχές κατά την κατασκευαστική μελέτη.

Καταλήγοντας στην εξής άποψη, ότι η έρευνα κατασκευής ελαφρών σκυροδεμάτων με τα ειδικά αδρανή των ζεόλιθων μπορεί να επεκταθεί περισσότερο χρησιμοποιώντας καινοτομικές μεθόδους προσέγγισης .

[1] Δ. Βογιατζής, Χ. Χρηστάρας, Α. Φιλιππίδης, και άλ., 2008, «Αξιολόγηση της Συμπαγοποίησης Κονιαμάτων Τσιμέντου – Άμμου – Ελληνικού Φυσικού Ζεολίθου με Τεχνικές Υπερήχων», 1^ο Πανελλήνιο Συν. Δομικών Υλικών (Αθήνα 21-23/5).

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ		
ΠΕΡΙΛΗΨΗ		
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ		
A.1	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	1
A.1.1	Κατηγορίες σκυροδέματος	2
A.1.2	Ορισμοί	3
A.1.3	Αναλογίες μίξεως	4
A.1.4	Ιδιότητες του σκυροδέματος	6
A.1.5	Ιδιότητες και προβλήματα που δημιουργεί το νωπό σκυρόδεμα	6
	A.1.5.1 Απόμειξη	6
	A.1.5.2 εξίδρωση	6
	A.1.5.3 Εργασιμότητα	8
A.1.6	Μέτρηση της εργασιμότητας	8
A.1.7	Είδη σκυροδέματος	23
	A.1.7.1 Κοινά σκυροδέματα	23
	A.1.7.2 Ελαφρά σκυροδέματα	23
	A.1.7.3 Βαριά σκυροδέματα	33
	A.1.7.4 Ειδικά σκυροδέματα	35
B.1	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	36
B.1.1	Χημική σύνθεση	39
B.1.2	Δευτερεύοντα συστατικά	40
B.1.3	Τύποι τσιμέντων	41
B.1.4	Κατηγορίες αντοχής	42
B.1.5	Τύποι τσιμέντων σύμφωνα με το Αμερικανικό πρότυπο ASTM	44
B.1.6	Ενυδάτωση του τσιμέντου	46
B.1.7	Φαινόμενα που συνδέουν την ενυδάτωση	48
B.1.8	Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου	53
B.1.9	Χαρακτηριστικές ιδιότητες και έλεγχοι του τσιμέντου	53
B.1.10	Αποθήκευση του τσιμέντου	55
Γ.1	ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ	57
Δ.1	ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	59
Δ.1.1	Το πορώδες	59
Δ.1.2	Μέτρηση του ειδικού βάρους	65
Δ.1.3	Μέτρηση του φαινόμενου βάρους	66
Δ.1.4	Υδαταπορροφητικότητα και υδατοπερατότητα	68
E.1	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	84
E.1.1	Αντοχή σε θλίψη	85
E.1.2	Αντοχή σε εφελκυσμό	100
E.1.3	Αντοχή σε διάτμηση και σε εφελκυσμό λόγω διάτμησης	102
E.1.4	Αντοχή σε επιφανειακή φθορά	102
E.1.5	Αντοχή σε κάμψη	103
E.1.6	Αντοχή σε διάρρηξη	108
E.1.7	Αντοχή σε σημειακή φόρτιση	111
E.1.8	Έλεγχος της αντοχής του σκυροδέματος στο έργο	119
ΣΤ.1	ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	124
ΣΤ.1.1	Αντοχή μητρικού πετρώματος	126

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

ΣΤ.1.2	Η καθαρότητα	130
ΣΤ.1.3	Κοκκομετρική σύνθεση	133
ΣΤ.1.4	Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων	136
ΣΤ.1.5	Η μορφή των κόκκων	144
Z.1	ΖΕΟΛΙΘΟΣ	150
Z.1.1	Γενικά	150
Z.1.2	Φυσικοί ζεόλιθοι	157
Z.1.3	Σύνθετοι ζεόλιθοι	158
Z.1.4	Σχηματισμός ζεόλιθων	159
Z.1.5	Γεωλογικά περιβάλλοντα	159
Z.1.6	Οι ζεόλιθοι στα πυριγενή πετρώματα	170
Z.1.7	Κοκκομετρία του ζεόλιθου	173
Z.1.8	Οι ζεόλιθοι στην Ελλάδα	174
	B. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ	182
	ΣΚΟΠΟΣ	182
	ΥΛΙΚΑ	183
	ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ	184
	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	189
	ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	200
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	236
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	240

Α. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

Α.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ^[38]

Κατά τον ΚΤΣ – 97 το σκυρόδεμα θεωρείται σαν τεχνικό στερεό, που αποτελείται από κόκκους αδρανών υλικών (aggregate) και από τσιμεντοκονία (cement paste) η οποία περιβάλλει τους κόκκους και τους συνδέει. (Εικόνα 1). Έτσι τα κύρια συστατικά του σκυροδέματος είναι:

Αδρανή Υλικά

Τσιμέντο

Νερό

Βελτιωτικά Πρόσθετα



(Εικόνα 1): Σκυρόδεμα έτοιμο για χρήση

Πολλές φορές για την βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του νοπού ή του σκληρυμένου σκυροδέματος εισάγονται στο μίγμα ορισμένες χημικές ουσίες που ονομάζονται βελτιωτικά πρόσθετα (admixture) .

Το μίγμα των παραπάνω υλικών σκληρύνεται, χάρις στην χημική αντίδραση τσιμέντου – νερού, η οποία σκλήρυνση πραγματοποιείται τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό, οπότε τα αδρανή συγκολλούνται σε ενιαία μάζα. Η πήξη και η σκλήρυνση, της αρχικά πολτώδους μάζας, ρυθμίζεται από τις ιδιότητες του τσιμέντου.

Η μέγιστη αντοχή του σκυροδέματος πραγματοποιείται ανάλογα με την ποιότητα του τσιμέντου, μετά την παρέλευση αρκετών ημερών από την στιγμή της ανάμιξης

Πάντως η αντοχή του σκυροδέματος βελτιώνεται, όσο αυξάνεται η ποσότητα του αναμιγνυόμενου τσιμέντου. Ανάλογα του προορισμού της κατασκευής, καθορίζεται, βάσει της προηγούμενης ιδιότητας και η ποσότητα του τσιμέντου, ενώ αντίθετα σε περιπτώσεις ειδικών κατασκευών ή κακής κοκκομετρικής συνθέσεως των αδρανών υλικών αυξάνεται η ποσότητα του τσιμέντου.

Επειδή στο οπλισμένο σκυρόδεμα, εκτός από την θλιπτική αντοχή, μας ενδιαφέρουν, η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος (durability) στο χρόνο (διάρκεια ζωής)

Με τη σημερινή του μορφή πρωτοχρησιμοποιήθηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ενώ μετά το 1950 η χρήση του γενικεύθηκε, καθιστώντας το σήμερα το κυριότερο, παγκοσμίως, υλικό κατασκευών με την μορφή οπλισμένου σκυροδέματος. Θεωρείται το οικονομικότερο και ασφαλέστερο οικοδομικό υλικό, με εξαιρετική σχέση κόστους – παρεχόμενων ιδιοτήτων.

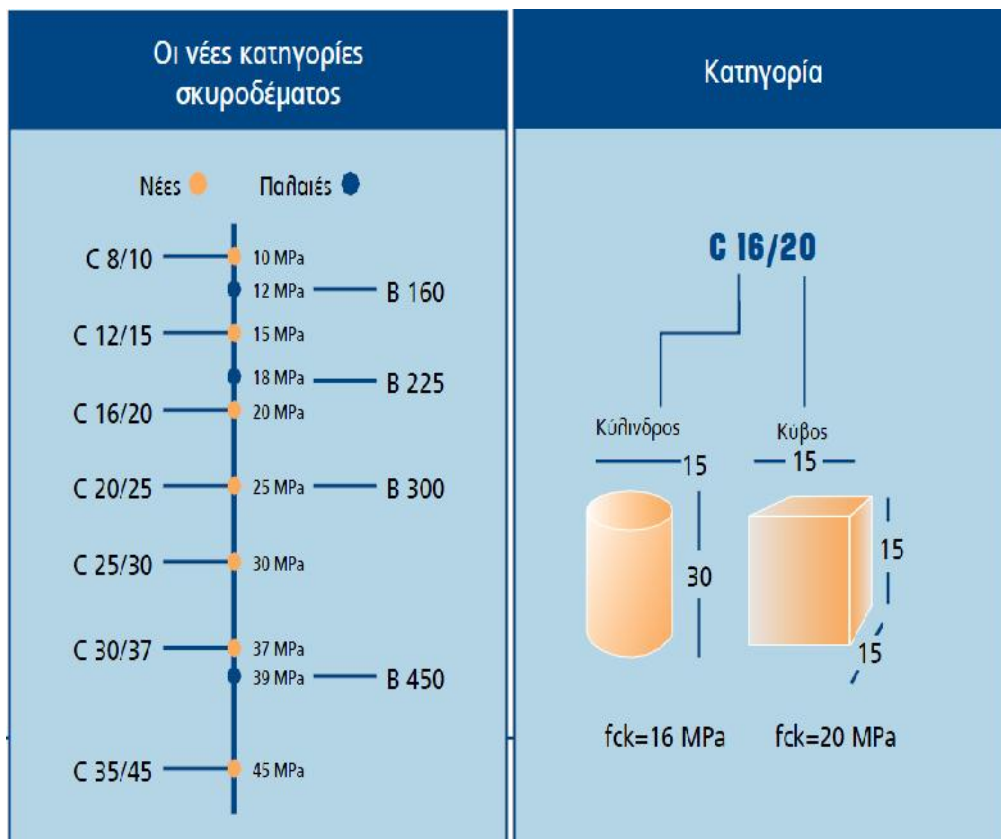
Εξαιτίας της έντονης σεισμικής δραστηριότητας που σημειώνεται στην χώρα μας, τόσο η διαδικασία παραγωγής όσο και αυτή της τελικής ενσωμάτωσης του σκυροδέματος στις κατασκευές οφείλουν να συμμορφώνονται με τις αρχές που προβλέπονται στα εδάφια του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ. '97), ο οποίος ισχύει σήμερα, καλύπτοντας τις απαιτήσεις για σύγχρονες, ασφαλείς και αντισεισμικές κατασκευές.

A.1.1 Κατηγορίες Σκυροδέματος^[2]

Οι νεότεροι κανονισμοί ορίζουν κατηγορίες σκυροδέματος, με βάση την χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή, (f_{ck}). Έτσι σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ. 85), ο οποίος αναθεωρήθηκε και εγκρίθηκε στις 28 Μαρτίου το 1997, και όπου οι παλιές κατηγορίες σκυροδέματος “B” (B 160, B225, B 300 κλπ.) καταργήθηκαν.(Εικόνα 2)

Οι νέες κατηγορίες σκυροδέματος χαρακτηρίζονται με αριθμούς (π.χ. C 16/20), ο πρώτος αριθμός δηλώνει την χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου ενώ ο δεύτερος την αντοχή κύβου.

Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνεται γραφικά η αντιστοιχία Παλαιών και Νέων Κατηγοριών



(Εικόνα 2): Κατηγορίες σκυροδέματος

Επίσης η μονάδα μέτρησης της χαρακτηριστικής αντοχής (f_{ck}), είναι (MPa) όπου ισχύει:

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10.2 \text{ kp/cm}^2$$

A.1.2 Ορισμοί^{[7],[38]}

- Συμβατικό δοκίμιο – συμβατική αντοχή (f_{28})

Είναι το δοκίμιο που έχει τις διαστάσεις και την μορφή που προβλέπονται στον Κανονισμό ΤΣ'97 και του οποίου η λήψη γίνεται σύμφωνα με την μέθοδο ελέγχου ΣΚ-350, η παρασκευή και η συντήρηση σύμφωνα με την μέθοδο ελέγχου ΣΚ – 303 και ο έλεγχος σύμφωνα με την μέθοδο ελέγχου ΣΚ – 304 σε ηλικία 28 ημερών.

Η αντοχή ενός τέτοιου δοκιμίου στις 28 ημέρες, ορίζεται ως **συμβατική αντοχή σε θλίψη δοκιμίου ή αντοχή συμβατικού δοκιμίου σε θλίψη f_{28}** .

- **Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη (f_{ck})**

Θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω από την οποία υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου

- **Μέση αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη (f_m)**

Είναι ο μέσος όρος αντοχής όλων των συμβατικών δοκιμίων, που θα μπορούσαν να παρασκευασθούν από μία σημαντικά μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος, αν ολόκληρη αυτή η ποσότητα μετατρέπονταν σε δοκίμια .

- **Απαιτούμενη αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη (f_d)**

Είναι η τιμή της μέσης αντοχής f_m για την οποία το σκυρόδεμα του έργου έχει μια ορισμένη πιθανότητα αποδοχής, όταν εξετάζεται με τα κριτήρια συμμορφώσεως του ΚΤΣ '97. Οι αναλογίες υλικών της μελέτης συνθέσεως πρέπει να εξασφαλίζουν μέση αντοχή τουλάχιστον ίση με την απαιτούμενη.

A.1.3 Αναλογίες μίξεως ή αναλογίες συνθέσεως^{[2], [7]}

Οι απαιτούμενες ποσότητες υλικών (τσιμέντου – νερού – αδρανών) για την παρασκευή (1 m^3) σκυροδέματος, ορισμένης κατηγορίας, εκφράζονται συνήθως με τον λόγο αυτών, ο οποίος ονομάζεται «**αναλογία μίξεως**».

Η αναλογία μίξεως μπορεί να αναφέρεται σε μέρη όγκου, σε μέρη βάρους ή σε μέρη βάρους για το τσιμέντο και σε μέρη όγκου για τα υπόλοιπα πρόσμικτα υλικά. Η αναλογία μίξεως σε μέρη όγκου δεν είναι ακριβής καθόσον στους μετρούμενους όγκους επιδρούν διάφοροι παράγοντες, όπως:

- Η κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών υλικών,
- Το σχήμα των κόκκων
- Η περιεχόμενη σε αυτά υγρασία και
- Ο τρόπος που γεμίζουν τα δοχεία μέτρησης

Οι παράγοντες αυτοί δεν ελέγχονται εύκολα και μπορούν να προκαλέσουν διακύμανση των ποσοτήτων μέχρι και **35%**.

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Ακριβής είναι η αναλογία μίξεως σε μέρη βάρους και αυτή πρέπει να εφαρμόζεται για την παρασκευή σκυροδέματος σοβαρών έργων (οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα).

Κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου το μόνο πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε προέρχεται από την διακύμανση της υγρασίας των αδρανών, η οποία όμως σε καμιά περίπτωση δεν είναι μεγαλύτερη του **3%**.

Οι κανονισμοί έργων από σκυρόδεμα καθορίζουν την αναλογία μίξεως βάσει της περιεκτικότητας σε τσιμέντο, ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος, ανάλογα με τον προορισμό του.

Ο σε ισχύ ευρισκόμενος ΚΤΣ '97 στον παρακάτω πίνακα (Εικόνα 3), καθορίζει την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα τσιμέντου ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος.

Απόσπασμα του πίνακα φαίνεται παρακάτω

(Πίνακας 1): καθορίζει την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα τσιμέντου ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος.

	Σκυρόδεμα χωρίς ειδικές απαιτήσεις		Σκυρό-δεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά	Σκυρόδεμα			
	Επιχρισμένο	Ανεπίχριστο					
	Μέγιστος κόκκος 31,5	Μέγιστος κόκκος 31,5		Μειωμένης υδατοπερατότητας	Μέσα στο νερό	Στη θάλασσα	Σε παραθαλάσσιο περιβάλλον
Ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου (kg/m ³)	270	300	350	350	350	400	330

(Εικόνα 3): [Πηγή ΚΤΣ '97]

Για σκυρόδεμα που θέλουμε να είναι ανθεκτικό σε χημικές προσβολές, η ποσότητα του τσιμέντου κυμαίνεται από (300 – 370) kg/m³, ανάλογα με το είδος της χημικής ουσίας.

A.1.4 Ιδιότητες του σκυροδέματος^{[2],[26],[38]}

Επειδή το σκυρόδεμα, μέχρις ότου αποκτήσει την τελική αντοχή του, περνά από δύο καταστάσεις ή φάσης συνεκτικότητας,

- Νωπό (ρευστό) σκυρόδεμα
- Πεπηγμένο (σκληρυμένο– στερεό) σκυρόδεμα

A.1.5. Ιδιότητες και προβλήματα που δημιουργεί το νωπό σκυρόδεμα^{[2],[38]}

- Απόμειξη ή απόμειξη
- Εξίδρωση
- Εργασιμότητα

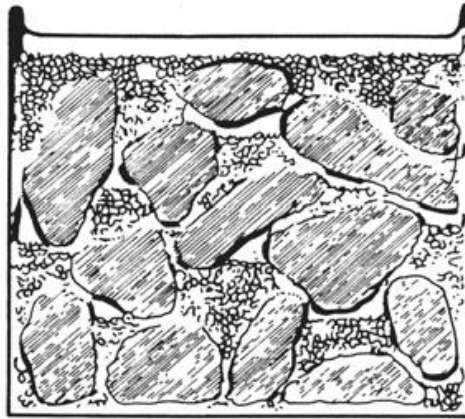
A.1.5.1 Απόμειξη :

Απόμειξη ονομάζουμε το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο οι στερεοί κόκκοι του νωπού σκυροδέματος, διαχωρίζονται από το νερό, αλλά και μεταξύ τους, κατά την κίνησή τους προς τα κάτω, ανάλογα με το βάρος τους. Αυτό προκαλεί μεταβολή της ομοιογένειας και ομοιομορφίας της μάζας του υλικού, με καταστρεπτικά αποτελέσματα για την αντοχή και γενικά την ποιότητα του σκυροδέματος.

Αρα ως απόμειξη ορίζεται ο διαχωρισμός των συστατικών του σκυροδέματος λόγω διαφοράς ειδικού βάρους.

A.1.5.2 Εξίδρωση :

Εξίδρωση ονομάζουμε το φαινόμενο του διαχωρισμού του νερού από τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος και παρουσιάζεται μετά την διάστρωση και συμπύκνωση και λίγο πριν από την έναρξη της πήξεως. Η εξίδρωση γίνεται αντιληπτή από το λεπτό στρώμα νερού που εμφανίζεται στην ελεύθερη επιφάνεια του σκυροδέματος και περιέχει νερό, τσιμέντο και λεπτόκοκκα συστατικά.(Εικόνα 4). Το νερό αυτό τελικά εξατμίζεται με συνέπεια την μείωση του τελικού όγκου του μίγματος.



(Εικόνα 4) : Σχηματική παράσταση σχηματισμού θυλάκων νερού κάτω από τους κόκκους των αδρανών και το λεπτό στρώμα νερού που εμφανίζεται στην ελεύθερη επιφάνεια του σκυροδέματος)

Η εξίδρωση γενικά είναι επιβλαβής και ανεπιθύμητη επειδή αφενός μεν δημιουργεί ανομοιογένεια στο μίγμα και αφετέρου διότι:

- Κατά την δίοδο του νερού ανάμεσα από τα στερεά συστατικά δημιουργούνται στον τσιμεντοπολλτό λεπτοί σωλήνες.
- Κατά την ανοδική κίνηση του νερού, συμπαρασύρονται οι λεπτοί κόκκοι του τσιμέντου, με αποτέλεσμα αφενός μεν το μίγμα να γίνεται φτωχότερο σε τσιμέντο και αφετέρου το λεπτό στρώμα αμιγούς κονιάς που δημιουργείται στην πάνω επιφάνεια να ρηγματώνεται και να ξεφλουδίζει
- Συγκέντρωση νερού γίνεται και στην κάτω επιφάνεια του σκυροδέματος, εκεί που για το οπλισμένο σκυρόδεμα υπάρχουν οι χαλύβδινοι οπλισμοί, με αποτέλεσμα την μείωση της συνεργασίας χάλυβα – σκυροδέματος και την αύξηση του κινδύνου διαβρώσεως του οπλισμού.
- Συγκέντρωση νερού γίνεται και σε κενά που δημιουργούνται μεταξύ των σκύρων, τα οποία μετά την εξάτμιση του νερού αφήνουν κενούς χώρους μέσα στην μάζα.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

1. Όσο αυξάνεται η ποσότητα του νερού αναμίξεως και όσο φτωχότερη είναι η άμμος και το τσιμέντο σε λεπτά συστατικά, τόσο το φαινόμενο της εξίδρωσης επιτείνεται
2. Από τις δυσμενείς επιδράσεις της εξιδρώσεως μπορούμε να απαλλαγούμε τελείως, αν την κατάλληλη στιγμή, στην αρχή της πήξεως, αναμοχλεύσουμε και ξανά συμπυκνώσουμε την μάζα, του νωπού ακόμη υλικού

A.1.5.3 Εργασιμότητα:

Με τον όρο εργασιμότητα χαρακτηρίζουμε γενικά την ευκολία με την οποία μπορούμε να **μεταφέρουμε, να διαστρώσουμε και να συμπυκνώσουμε** το νωπό σκυρόδεμα και ως σύνθετη ιδιότητα εκφράζει τη ρευστότητα, πλαστικότητα και ικανότητα πρόσφυσης του σκυροδέματος.

Η εργασιμότητα εξαρτάται από :

1. Την ποσότητα του νερού αναμίξεως
2. Την ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή της συνέχειάς του. (πλαστικότητα του υλικού).
3. Από τις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων του υλικού (συνοχή). Οι ελκτικές δυνάμεις αυξάνουν ή εξασθενούν την πλαστικότητα .
4. Από την δυνατότητα περαιτέρω συμπύκνωσης του υλικού πλέον της αρχικής (κατά την παρασκευή και μεταφορά του υλικού).
5. Ποσοστό και λεπτότητα τσιμέντου
6. Μορφή, κοκκομετρία αδρανών
7. Θερμοκρασία
8. χρόνος

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Η εργασιμότητα αυξάνεται (βελτιώνεται) όσο αυξάνεται η ποσότητα του νερού αναμίξεως και οι κόκκοι των αδρανών πλησιάζουν το σφαιρικό σχήμα. Αν δε επιτύχουμε υψηλό βαθμό συμπύκνωσης τότε η εργασιμότητα δεν επηρεάζει την τελική αντοχή του σκυροδέματος

A.1.6 Μέτρηση της εργασιμότητας^{[17],[20]}

Ο βαθμός εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος μετρείται με έμμεσο τρόπο, δηλαδή με δοκιμές οι οποίες χρησιμοποιούνται συνηθέστερα για τον έλεγχο της συνεκτικότητας του νωπού σκυροδέματος οι οποίες είναι οι εξής:

- a) Δοκιμή κάθισης.
- b) Δοκιμή εξάπλωσης
- c) Δοκιμή συμπύκνωσης
- d) Δοκιμή σωλήνα
- e) Δοκιμή Powers
- f) Δοκιμή Vebe
- g) Δοκιμή Hum

h) Δοκιμή με διεισδυτή σκυροδέματος (πενετρόμετρο)

A) Δοκιμή κάθισης

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται η συσκευή κάθισης (Εικόνα 5), όπου το κολουροκωνικό δοχείο γεμίζεται με νωπό σκυρόδεμα που έχει συμπυκνωθεί σε δύο στρώσεις, όπου ακολουθούν 25 κάθετες κρούσεις ανά στρώση. Ακολούθως αφαιρείται το δοχείο, οπότε το σκυρόδεμα απλώνεται και μειώνεται το ύψος του. Κατόπιν, προσδιορίζεται η διαφορά μεταξύ του αρχικού και του τελικού ύψους του νωπού σκυροδέματος. (Εικόνα 6). Προτάθηκε από τον Abrams, (ΣΚ – 309, Ευρωπαϊκός Κανονισμός EN 12350 – 2, ASTM C 143, RILEM CPC 2.1 - 1975).



(Εικόνα 5): Συσκευή κάθισης



(Εικόνα 6): Δοκιμή κάθισης με τον κώνο του Abrams

B) Δοκιμή εξάπλωσης

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται μεταλλική τράπεζα πάνω στην οποία τοποθετείται κολουροκωνικό δοχείο, το οποίο γεμίζεται με σκυρόδεμα που συμπυκνώνεται. Ακολούθως, αφαιρείται το δοχείο, η τράπεζα υποβάλλεται σε προκαθορισμένη δόνηση και το νωπό σκυρόδεμα κάθετα και απλώνεται. Κατόπιν, μετριοούνται τέσσερεις διαφορετικοί και προσδιορίζεται η μέση διάμετρος του εξαπλωθέντος σκυροδέματος.

- Πρώτη μέθοδος δοκιμής εξάπλωσης εκτελείται στο εργαστήριο (Εικόνες 7,8,9 και 10),



(Εικόνα 7): Μηχανική συσκευή εξάπλωσης



(Εικόνα 8): Μέτρηση των δύο πρώτων διαμέτρων



(Εικόνα 9): Μέτρηση της τρίτης και τέταρτης διαμέτρου



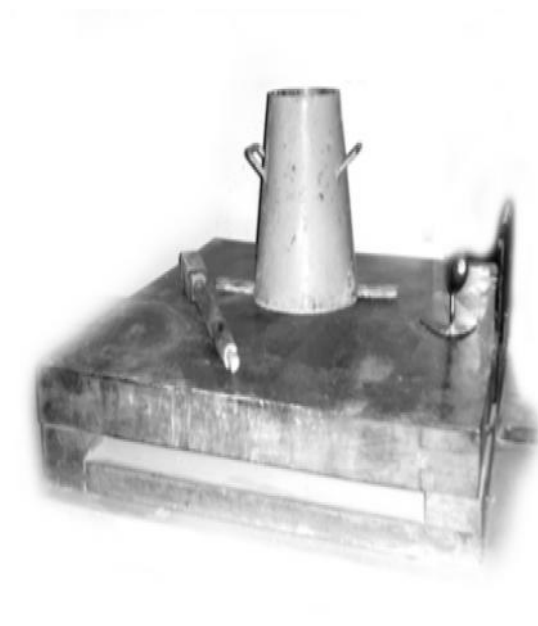
(Εικόνα 10): Ηλεκτρική συσκευή εξάπλωσης

- Δεύτερη μέθοδος δοκιμής εξάπλωσης εκτελείται στο εργοτάξιο (Εικόνα 11)

Για τον έλεγχο της συνεκτικότητας με την μέθοδο της τράπεζας εξάπλωσης προτάθηκε από τον Ο. Graf. (ΣΚ – 318, Ευρωπαϊκός Κανονισμός En 12350 – 5, DIN 1048,, φύλλο 1, § 3.1.2.).

Η τράπεζα εξάπλωσης αποτελείται από τετραγωνική επιφάνεια με διαστάσεις (70x70) cm και με πάχος 0,2 cm, η οποία καλύπτεται από λαμαρίνα. Το κέντρο της πλάκας δείχνεται με την τομή δύο αξόνων. Η πλάκα είναι κινητή και είναι δυνατόν να ανυψώνεται κατάλληλα από το ένα άκρο της κατά 4 cm. Η τράπεζα συνοδεύεται από κολουροκωνικό μεταλλικό δοχείο ανοικτό και από τις δύο πλευρές, με διαμέτρους 13 cm και 20 cm αντιστοίχως και με ύψος 20

cm. Επίσης συνοδεύεται από ξύλινο κόπανο με μήκος 40 cm, ο οποίος καταλήγει σε τετραγωνικό άκρο με διατομή (4x4) cm



(Εικόνα 11): Τράπεζα εξάπλωσης κατά O. Graf

Γ) Δοκιμή συμπίκνωσης Walz

Η συμπίκνωση του νωπού σκυροδέματος εκφράζεται από το μέτρο συμπίκνωσης (v), το οποίο προσδιορίζεται με την μέθοδο Walz .

Η συσκευή είναι βασικά μια δονητική τράπεζα (Εικόνα 12). Αποτελείται από χαλύβδινη τετραγωνική πλάκα με διαστάσεις (30x30) cm και με πάχος 2 cm, η οποία βρίσκεται πάνω σε μεταλλική βάση με ύψος 35 cm και διατηρείται σε οριζόντια θέση. Στο κέντρο της βάσης υπάρχει οπή, μέσα από την οποία ένας κατακόρυφος μεταλλικός κυλινδρικός άξονας, ο οποίος βρίσκεται μέσα στη βάση στήριξης, είναι δυνατόν να κρούει την χαλύβδινη πλάκα στο κέντρο της κάτω επιφάνειας της. Κατά την λειτουργία της συσκευής ο κυλινδρικός άξονας με κατάλληλο μηχανισμό κρούει την πλάκα, η οποία σε κάθε κρούση υψώνεται 15 cm και μετά πέφτει.

Η συσκευή συνοδεύεται από μεταλλικό κυλινδρικό δοχείο με διάμετρο 15 cm και ύψους 40 cm



(Εικόνα 12): Συσκευή δόνησης με το κυλινδρικό δοχείο

Το μέτρο συμπίκνωσης (v), ορίζεται ως ο λόγος του αρχικού ύψους προς το τελικό ύψος του δοκιμίου, δηλαδή είναι:

$$v = \frac{h + s}{h}$$

Το μέτρο συμπίκνωσης συνδέεται με την συνεκτικότητα ως εξής :

Πίνακας 2: Συσχέτιση μέτρο συμπίκνωσης με τη συνεκτικότητα

Μέτρο συμπίκνωσης (v)	Συνεκτικότητα (K)
1,04 ÷ 1,1	K_3
1,11 ÷ 1,25	K_2
1,26 ÷ 1,45	K_1

Επίσης οι διάφορες κατηγορίες συνεκτικότητας σχετίζονται και με το μέτρο εξάπλωσης σύμφωνα με τους Γερμανικούς Κανονισμούς κατά DIN 1045. Οι τιμές μέσα στην παρένθεση αναφέρονται στους Ελληνικούς Κανονισμούς.

Πίνακας 3:Συσχέτιση κατηγορίες συνεκτικότητας με μέτρο εξάπλωσης και συμπύκνωσης

Κατηγορίες Συνεκτικότητας	Μέτρο Εξάπλωσης σε cm	Μέτρο Συμπύκνωσης
K ₁ – Ύφυγρο (Δύσκαμπτο)	(-)	1,26 – 1,45
K ₂ – Πλαστικό	≤ 40 (< 50)	1,11 – 1,25
K ₃ – Ρευστό	41 – 51 (50 – 65)	1,04 – 1,10

Δ) Δοκιμή με την συσκευή του Σωλήνα (Nycander)

Στην μέθοδο αυτή κατακόρυφος σωλήνας (Εικόνα 13), γεμίζεται πλήρως με νωπό σκυρόδεμα και τοποθετείται στο κινητό τμήμα της συσκευής, το οποίο μπορεί να κινείται παλινδρομικά



(Εικόνα 13): Συσκευή του σωλήνα

Το κινητό μέρος της συσκευής είναι διαμορφωμένο κατάλληλα, ώστε το σκυρόδεμα από το σωλήνα να μπορεί να διαρρέει κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

Προσδιορίζεται ο αριθμός των παλινδρομήσεων που απαιτούνται, ώστε να αδειάσει πλήρως ο σωλήνας

Ε) Δοκιμή με την συσκευή (Power)

Η συνεκτικότητα του νωπού σκυροδέματος με την συσκευή **Power** (Εικόνα 14), προσδιορίζεται από την μέτρηση του αριθμού των απαραίτητων κρούσεων, στις οποίες πρέπει να υποβληθεί δοκίμιο νωπού σκυροδέματος, ώστε το δοκίμιο να εξαπλωθεί και να πάρει ορισμένες διαστάσεις. Ο αριθμός των κτύπων είναι και ο αριθμός των βαθμών **Power**.

Η συσκευή αποτελείται από χαλύβδινη βάση πάνω στην οποία περιστρέφεται οριζόντιος άξονας με χειροκίνητο στρόφαλο, η κίνηση του οποίου μεταδίδεται σε κατακόρυφο άξονα με αναλογία στροφών 1:1

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Ο αριθμός των βαθμών **Power**, ο οποίος καθορίζει τις κατηγορίες της συνεκτικότητας του νοπού σκυροδέματος είναι οι εξής:

Πίνακας 4 : Συσχέτιση βαθμού **Power** και συνεκτικότητας

Βαθμός Power	Συνεκτικότητα
< 50	K ₁
50 ÷ 100	K ₂
> 100	K ₃



(Εικόνα 14): Χειροκίνητη συσκευή (Power)

Στ) Δοκιμή Vebe

Η συσκευή **Vebe** (Εικόνα 15), αποτελείται από έναν κώνο παρόμοιο με τον κώνο καθίσεως τοποθετημένο μέσα σε άλλο κυλινδρικό δοχείο μεγαλύτερης διαμέτρου και μια τράπεζα δονήσεως. Μετά την αφαίρεση του κώνου το σκυρόδεμα κάθεται, αλλά συγχρόνως υποβάλλεται σε δόνηση και συμπτυκνώνεται παίρνοντας τη μορφή του εξωτερικού κυλινδρικού δοχείου.



(Εικόνα 15): Συσκευή **Vebe** για τη μέτρηση του εργασίμου

Ο χρόνος από τη στιγμή της απομακρύνσεως του κώνου και της σύγχρονης ενάρξεως της δονήσεως έως την πλήρη επιπεδότητα της άνω επιφάνειας ονομάζεται χρόνος **Vebe**

Η επιπεδότητα της άνω επιφάνειας διαπιστώνεται από διαφανή κυκλικό δίσκο που παρακολουθεί την παραμόρφωση του σκυροδέματος. Η επιπεδότητα έχει πραγματοποιηθεί όταν το σκυρόδεμα καλύψει ολόκληρο τον κυκλικό δίσκο.

Ζ) δοκιμή Humm

Η μέθοδος **Humm** βασίζεται στη διαφορετική ικανότητα διείσδυσης, την οποία παρουσιάζει ειδικό μεταλλικό στέλεχος, στη μάζα νωπών σκυροδεμάτων με διάφορες συνθέσεις, όταν το στέλεχος υποβάλλεται σε κρούσεις.

Η διεισδυτικότητα του στελέχους είναι συνάρτηση της συνεκτικότητας του σκυροδέματος.

Η συσκευή είναι ένα χαλύβδινο κυλινδρικό στέλεχος, με μήκος 51 cm, με κυκλική διατομή και με διάμετρο 4,83 cm πάνω στο οποίο κινείται σιδερένιος δακτύλιος με βάρος 997,5 g.



(Εικόνα 16): Μετρητής **Humm** και δοχείο για τον έλεγχο της συνεκτικότητας

Η συσκευή συνοδεύεται από μεταλλικό κυβικό δοχείο με διαστάσεις 20x20x20 cm, το οποίο βρίσκεται πάνω σε σταθερή βάση.(Εικόνα 16)

Ο μετρητής **Humm** κρατείται κατακόρυφα πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος και στο κέντρο του δοχείου και στην συνέχεια το στέλεχος αφήνεται να διεισδύσει ελεύθερα, λόγω του βάρους του, μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, όπου φτάνει σε βάθος **h cm** από την επιφάνεια του δοκιμίου.

Στη συνέχεια, υψώνεται ο σιδερένιος δακτύλιος μέχρι το υψηλότερο δυνατόν σημείο και αφήνεται να πέσει ελεύθερα. Αυτό επαναλαμβάνεται και μετράται ο αριθμός των πτώσεων, μέχρις ότου το στέλεχος διεισδύσει σε βάθος $h = 10 \text{ cm}$.

Από τον απαιτούμενο αριθμό των πτώσεων προσδιορίζεται η συνεκτικότητα του νωπού σκυροδέματος και δίνεται από τον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 5: Συσχέτιση αριθμών πτώσεων και είδος σκυροδέματος

Αριθμός πτώσεων	Είδος σκυροδέματος
0 ÷ 5	Ρευστό
5 ÷ 10	Μαλακό
10 ÷ 20	Πλαστικό
20 ÷ 50	Στεγνό πλαστικό
50 ÷ 100	Ύφυγρο
>100	Πολύ ξηρό

Η) Δοκιμή με διεισδυτή σκυροδέματος (πενετρόμετρο)

Στη μέθοδο αυτή παρασκευάζεται κατάλληλο δοκίμιο από νωπό σκυρόδεμα και προσδιορίζεται η αντίσταση διείσδυσης που αντιμετωπίζει ειδικός μεταλλικός διεισδυτής με ελατήριο, για να εισχωρήσει στη μάζα του δοκιμίου σε καθορισμένο βάθος (Εικόνα 17) και (Εικόνα 18)



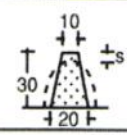
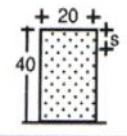
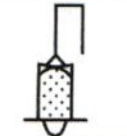

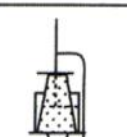
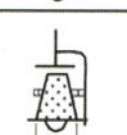
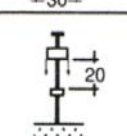
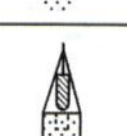
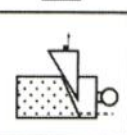
(Εικόνα 17): Εργαστηριακές συσκευές διεισδυτών σκυροδέματος διαφόρων τύπων



(Εικόνα 18): Εργαταξιακή συσκευή διεισδυτή σκυροδέματος ηλεκτρονικής φύσεως

Ο ακόλουθος πίνακας (Εικόνα 19), δίνει συγκεντρωτικά την περίπου αντιστοιχία των τιμών που προκύπτουν από διάφορες μεθόδους που έχουν προταθεί για την μέτρηση του εργασίμου

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Μέθοδος μετρήσεως εργασίμου		εργασιμότητα				
		ύφυγρο	πλαστικό	ρευστό		
1		κάθιση (cm) (ABRAMS)	0 - 2	2 - 8	8 - 14	
2		Μέτρο συμπακνώσεως $v = \frac{40}{40 - s}$ (WALZ)	1,45-1,26	1,25-1,11	1,10-1,04	
3		Μέτρο συμπακνώσεως (FRITSCH)	1,40-1,19	1,25-1,11	1,05-1,00	
4		Μέτρο εξαπλώσεως (cm) (GRAF)	-	28 - 40	39 - 50	
5		Χρόνος VEBE (sec) (BÄHRNER)	40 - 8	10 - 3	3 - 1	
6		Δύναμη απομακρύνσεως κώνου (αριθμός κρούσεων) (POWERS)	50 - 27	27 - 10	11 - 3	
7		Αντίσταση διεισδύσεως (αρ. κρούσεων) (HUMMEL)	χαλαρό	8	5	2
		συμπακνωμένο	30 - 14	20 - 6	7 - 2	
8		Βάθος διεισδύσεως (cm) (GRAF)	2 - 6	6 - 14	14 - 23	
9		Χρόνος ροής (sec) (LESAGE)	60 - 30	30 - 5	5 - 1	

(Εικόνα 19): Συγκριτικός πίνακας διαφόρων μεθόδων μετρήσεως του εργασίμου

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Ο Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (παρ. 5.3.2.1) προδιαγράφει για την μέτρηση του εργασίμου την κάθιση (Προδιαγραφή ΣΚ – 309) και δυνητικά την εξάπλωση (ΣΚ – 318) και για ύφυγρα μίγματα την μέθοδο **Vebe** (ΣΚ – 310).

Οι ιδιότητες του σκυροδέματος εξαρτώνται από τις ιδιότητες των δύο φάσεων, καθώς και από την αναλογία ανάμιξης των υλικών κατά όγκο (Εικόνα 20). Επηρεάζονται όμως και από διάφορους παράγοντες όπως αναγράφονται αναλυτικά στον ακόλουθο πίνακα .

(Εικόνα 20): [Πίνακας 6]: Ιδιότητες του σκυροδέματος σε συνάρτηση με τις επιδράσεις των αναλογιών ανάμιξης των υλικών κατά όγκο

Ιδιότητες Επιδράσεις	ρ_k σκληρυνόμενος σκυροδέματος	Αντοχή σε θλίψη	Αντοχή σε κάμψη	Αντοχή σε τριβή	Συστολή ξήρανσης	Μέτρο ελαστικότητας	Ερπυσμός	Υδατοπερατότητα	Προστασία από την σκουριά	Αντοχή σε παγετό	Αντοχή σε χημικές επιδράσεις	Θερμότητα ενυδάτωσης	Θερμική διαστολή	Θερμοαγωγιμότητα
Τσιμέντο														
Αντοχή		*	*	*		*	*							
Συστολή ξήρανσης					*									
Θερμότητα ενυδάτωσης					*							*		
Θερμική διαστολή													*	
Αντοχή στις χημικές επιδράσεις											*			
Άδρανή														
Πόροι κόκκων	*									*				*
Μορφή κόκκων				*										
Επιφάνεια				*										
Μέτρο ελαστικότητας				*										
Σκληρότητα		*	*	*	*	*	*							
Αντοχή σε παγετό				*						*				
Θερμική διαστολή													*	
Θερμοαγωγιμότητα													*	
Γεωλογική σύσταση													*	*
Περιεκτικότητα σε τσιμέντο					*	*	*					*	*	
Πρόσθετα														
Στεγανοποιητικά για σχηματισμό								*	*	*				
	*	*	*					*	*	*				
Πόροι στο σκληρυμένο τσιμέντο	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*
Μορφή, μέγεθος, κατανομή								*	*	*	*			
Διατομή					*		*	*				*		
Διατήρηση, ποσοστό υγρασίας			*		*	*	*	*	*					
ρ_k σκληρυμένο σκυρόδεμα	*													
Τάση						*	*							
Αντοχή σκυροδέματος κατά την έναρξη φόρτισης							*							

A.1.7 ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ [12],[20],[26],[38]

Ανάλογα με το βάρος τους τα σκυροδέματα κατατάσσονται σε τέσσερες κατηγορίες

- Στα κοινά σκυροδέματα με ειδικό βάρος **(20 – 25) kN/m³**
- Στα ελαφρά σκυροδέματα με ειδικό βάρος **(3,0 – 20) kN/m³**
- Στα βαριά σκυροδέματα με ειδικό βάρος **(30 – 50) kN/m³**
- Στα ειδικά σκυροδέματα

A.1.7.1 Κοινά σκυροδέματα

Τα κοινά σκυροδέματα με ειδικό βάρος στην περιοχή **(20 – 25) kN/m³** αποτελούν το πρώτο ιστορικά και το πιο διαδεδομένο μέχρι σήμερα είδος σκυροδέματος. Ενώ τα άλλα τρία αποτελούν νεώτερες εξελίξεις που αποκτούν καθένα στον τομέα του όλο και μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής.

Ο Κ.Τ.Σ. αφορά μόνον σκυροδέματα που παρασκευάζονται με συνήθη λίθινα αδρανή φαινόμενου βάρους **(24 – 30) kN/m³** που προσδιορίζονται σύμφωνα με τις μεθόδους ελέγχου ΣΚ – 301 και ΣΚ – 302.

A.1.7.2 Ελαφρά σκυροδέματα*

Το απόλυτο ειδικό βάρος των συστατικών του σκυροδέματος μεταβάλλεται μέσα σε στενά όρια. Για αυτό τη μείωση του φαινομένου βάρους στα ελαφρά σκυροδέματα μπορούμε να την πετύχουμε με την αύξηση του πορώδους.

Το πορώδες εξαρτάται από:

- ❖ Το πορώδες των αδρανών,
- ❖ Το πορώδες του κονιάματος,
- ❖ Την κοκκομετρική σύνθεση

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα ελαφρά σκυροδέματα κατατάσσονται σε δύο μεγάλες ομάδες:

- **Σκυροδέματα με ελαφρά αδρανή,**
- **Κυψελωτά σκυροδέματα**
- **Σκυροδέμα με κατάλληλη κοκκομετρική σύνθεση,** συνήθως χωρίς λεπτόκοκκο υλικό, τα οποία όμως στις περισσότερες φορές παρασκευάζονται και αυτά με ελαφρά αδρανή

Από την άποψη της λειτουργίας διαχωρίζονται:

- ✚ Σε **σκυροδέματα μονώσεως**, που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για σκοπούς μονώσεως θερμότητας και ήχου.
- ✚ Σε **σκυροδέματα κατασκευής και μονώσεως**, που η αντοχή τους είναι τέτοια ώστε να μπορούν να φέρουν το ίδιο τους βάρος και μικρά φορτία. Χρησιμοποιούνται ως σκυροδέματα πληρώσεως μεταξύ του στατικού οργανισμού δηλαδή σε διαχωριστικούς τοίχους.
- ✚ Σε **σκυροδέματα κατασκευής**, που η αντοχή τους επαρκεί για τις στατικές ανάγκες της κατασκευής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή οποιουδήποτε στατικού στοιχείου

Ενδεικτικά, η προδιαγραφή **LC – 2, 1975**, «λειτουργική κατάταξη ελαφρών σκυροδεμάτων» της **R.I.L.E.M.** (Reunion International des Laboratoires de Essais et des Matériaux). δίνει τις οριακές απαιτήσεις για τις τρεις αυτές κατηγορίες.

Πίνακας 7: Λειτουργική κατάταξη ελαφρών σκυροδεμάτων κατά την Προδιαγραφή **R.I.L.E.M LC – 2, 1975**

Κατηγορία	I	II	III
Τύπος ελαφρού σκυροδέματος	Ελαφρό σκυρόδεμα κατασκευής	Ελαφρό σκυρόδεμα κατασκευής και μονώσεως	Ελαφρό σκυρόδεμα μονώσεως
Πυκνότητα στεγνού υλικού [kg/m ³]	<2000	Δεν περιορίζεται	Δεν περιορίζεται
Αντοχή σε θλίψη [N/cm ²]	>15	>3,5	>0,5
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας [w/mk]	-	<0,75	<0,3

Οι επόμενοι δύο πίνακες δίνουν μια συνοπτική εικόνα των ιδιοτήτων των ελαφρών σκυροδεμάτων, όπου από αυτούς προκύπτουν γενικές παρατηρήσεις για τις ιδιότητες των ελαφρών σκυροδεμάτων σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ιδιότητες του κοινού σκυροδέματος

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 8: Συνοπτικός πίνακας ιδιοτήτων ελαφρών σκυροδεμάτων

α/α	Τύπος σκυροδέματος	Ποκνότητα [t/m ³]	λ [kcal/mh°C]	f _{θλ} [MPa]	F _{εφ} [MPa]	Χρόνια συστολή [mm/m]
1	Κισηρομπετόν	0,6 – 1,8	0,25 – 0,40	2 – 22	0,5 – 5	0,3 – 0,8
2	Σκωριοκισηρομπετόν	1,1 – 1,5	–	1 – 20	–	–
3	Κεραμομπετόν	1,2 – 1,8	–	5 – 20	–	–
4	Σπογγοκεραμομπετόν	,06 – 1,7	0,17 – 0,51	2,5 – 12	–	0,36 – 0,53
5	Περλιτομπετόν	0,15 – 1,2	0,07 – 0,15	1 – 10	–	–
6	Ξυλομπετόν	0,6 – 1,2	0,15 – 0,30	1 – 13	1 – 7	10 – 30
7	Κυψελομπετόν	0,4 – 1,0	0,10 – 0,52	2 – 6	0,2 – 2	10 – 25
Ακραίες τιμές		0,15 – 1,8	0,07 – 0,51	1 – 22	0,2 – 7	0,3 - 30

Πίνακας 9: Γενικές ιδιότητες των ελαφρών σκυροδεμάτων

α/α	Ιδιότητα	Μονάδες	Τιμή
1	Φαινόμενη πυκνότητα	[t/m ³]	
	Ελαφρά		
	Μέσα		
	Βαριά		
2	Απόλυτη πυκνότητα	[t/m ³]	
	Ανόργανα αδρανή		
	Οργανικά αδρανή		
3	Συντελεστής θερμικής διαστολής	°C	1 – 1,5x10 ⁻⁵
4	Ολικό πορώδες	%	35 – 80
5	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	[kcal/m.h.°C]	0,20 – 0,68
6	Αντοχή σε θλίψη	[MPa]	2 – 50
7	Αντοχή σε εφελκυσμό	[MPa]	0,5 – 3
8	Μέτρο ελαστικότητας	[MPa]	10.000 – 150.000
9	Χρόνια συστολή	[mm/m]	
	Ανόργανα αδρανή		
	Οργανικά αδρανή		

Παρατηρήσεις: σύμφωνα με τα δεδομένα των τριών πινάκων φαίνεται ότι

- Το **φαινόμενο ειδικό βάρος** είναι πάντοτε μικρότερο
- Το **απόλυτο ειδικό βάρος** κυμαίνεται μέσα στα ίδια όρια
- Το **ολικό πορώδες** είναι πάντοτε μεγαλύτερο
- Ο **συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας** είναι ίσος προς το $1/2$ έως $1/8$ του αντίστοιχου συντελεστή του κοινού σκυροδέματος
- Η **αντοχή σε θλίψη** είναι γενικά κατώτερη. Με αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου κατορθώνουμε να πετύχουμε αντοχές μέχρι 50 – 60 [MPa]
- Η **αντοχή σε εφελκυσμό** είναι περίπου η ίδια ή λίγο κατώτερη
- Το **μέτρο ελαστικότητας** είναι κατά κανόνα μικρότερο
- Η **χρόνια συστολή** είναι περίπου διπλάσια

Σκυροδέματα με ελαφρά αδρανή

Πρόκειται για σκυροδέματα στα οποία δεν χρησιμοποιούνται ασβεστολιθικά, αλλά άλλα είδη αδρανών, με μεγάλο πορώδες και μικρό ειδικό βάρος. Τα αδρανή αυτά είναι είτε φυσικά προϊόντα είτε τεχνητά. Επίσης μπορεί να είναι ανόργανα ή οργανικά.

Η προδιαγραφή της **R.I.L.E.M LC – 1, 1975 «Ορολογία ελαφρών σκυροδεμάτων»** κατατάσσει τα ελαφρά αδρανή στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. **Υλικά φυσικής προελεύσεως χωρίς καμία κατεργασία**, όπως π.χ. (η κίσηρη, τα ηφαιστειακά προϊόντα κ.α.)
2. **Υλικά φυσικής προελεύσεως ύστερα από κάποια βιομηχανική κατεργασία**, όπως π.χ. (ο σπογγοκέραμος, ο διογκωμένος περλίτης κ.α.)
3. **Βιομηχανικά υποπροϊόντα χωρίς καμία κατεργασία**, όπως π.χ. (τα οξείδια του σιδήρου των υψικαμίνων κ.α.)
4. **Βιομηχανικά υποπροϊόντα ύστερα από κάποια κατεργασία**, όπως π.χ. (τα διογκωμένα οξείδια του σιδήρου, το διογκωμένο γυαλί κ.α.)
5. **Οργανικά υλικά**, όπως π.χ. (τα πλαστικά, το ξύλο φυτικές ίνες κ.α.)

Κισηρομεπτόν : Το κισηρομεπτόν παρασκευάζεται από την κίσηρη (Εικ'ονα 21), ως αδρανές υλικό και από τσιμεντοκονίαμα ως συνδετική ύλη. Το τσιμεντοκονίαμα μπορεί να περιέχει άμμο ασβεστολιθική ή λεπτόκοκκο υλικό από το ίδιο πέτρωμα της κίσηρης. Οι αναλογίες συνθέσεως εξαρτώνται από το σκοπό για τον οποίο προορίζεται το κισηρομεπτόν, δηλαδή από το βαθμό στεγανότητας καθώς και το βάρος ή την αντοχή που επιθυμούμε



(Εικόνα 21): Πέτρωμα Κίσηρη

Η κίσηρη είναι πέτρωμα που παράγεται από την απότομη ψύξη λάβας με σύγχρονη αποβολή των αερίων που περιέχονται μέσα σε αυτήν. Αποτελεί το κυριότερο και ίσως το φτηνότερο αδρανές για την Παρασκευή ελαφρού σκυροδέματος. Στην Ελλάδα βρίσκεται στην Θήρα (όπου λέγεται αλίσηρας), στην Μήλο καθώς και σε μερικά νησιά της Δωδεκανήσου (Νίσηρος, Γυαλί).

Σκωριοκίσηρομπετόν :

Για την παρασκευή σκωριοκίσηρομπετόν χρησιμοποιείται ως αδρανές υλικό η σκωριοκίσηρη (Εικόνα 22) το οποίο είναι ένα είδος τεχνητής κίσηρης που γίνεται από τη «σκωρία» των υψικαμίνων.

Τα υποπροϊόντα των υψικαμίνων που περιέχουν αργιλικά, ασβεστολιθικά και πυριτικά υλικά, όταν ψυχθούν παρουσιάζουν υαλώδη μορφή.



(Εικόνα 22): Υποπροϊόντα υψικαμίνων

Όταν αυτά λιώσουν πάλι στους 1600 °C , περίπου, μετατρέπονται με την διείσδυση υδρατμών, σε αφρώδη μάζα.

Το τελικό στερεό πορώδες υλικό περνάει από σπαστήρες και τριβεία και αποκτά το επιθυμητό μέγεθος κόκκων.

Το πορώδες αυτό προϊόν ονομάζεται σκωριοκίσηρη.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος του σωρού των κόκκων είναι 6,0 – 11,0 kN/m³

Οι ιδιότητες του σκωριοκίσηρομπετόν είναι ανάλογες με τις ιδιότητες του κίσηρομπετόν με φυσική κίσηρη

Σπογοκεραμομπετόν :

Αυτό το είδος του σκυροδέματος παρασκευάζεται από ένα προϊόν που ονομάζεται σπογοκέραμος ή διογκωμένη άργιλος (Εικόνα 23)



(Εικόνα 23): Διογκωμένη άργιλος

Η διόγκωση οφείλεται στην αποσύνθεση των οξειδίων του σιδήρου και την παραγωγή αερίων των μερικών αργίλων οι οποίοι περιέχουν οξείδια του σιδήρου, τα οποία όταν θερμανθούν απότομα σε θερμοκρασίες έως 1200 °C , διογκώνονται έως το πενταπλάσιο του αρχικού όγκου και αποκτούν πορώδη υφή.

Η άργιλος πρέπει να έχει παράλληλα και αρκετή ιξώδη συνεκτικότητα, ώστε τα αέρια αυτά να μη διασπασούν τη μάζα και διαφύγουν, αλλά να εγκλωβισθούν δημιουργώντας τον πορώδη ιστό.

Το φαινόμενο βάρος του σωρού είναι 3,0 – 7,0 kN/m³

Περλιτομετόν :

Παρασκευάζεται από διογκωμένους κόκκους (Εικόνες 24,25,26 και 27)), και προέρχεται από την απότομη ψύξη της λάβας . Χημικά αποτελείται από οξείδια του πυριτίου και αλουμινίου σαν ένα είδος φυσικού γυαλιού.



(Εικόνα 24): Πέτρωμα περλίτη



(Εικόνα 25): Λατομείο του περλίτη



(Εικόνα 26): Προϊόν περλίτη



(Εικόνα 27): Διογκωμένος περλίτης

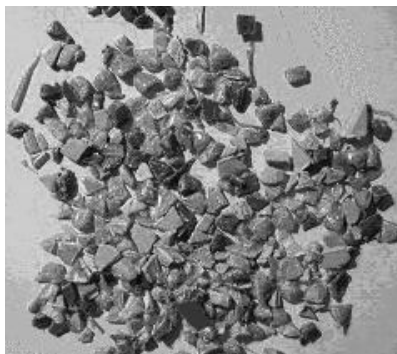
Όταν οι υαλώδεις κόκκοι θερμανθούν στους 900 – 1200 °C , λειώνουν σε μια «πυροπλαστική» κατάσταση και διογκώνονται χάρη στους υδρατμούς που δημιουργούνται από το νερό που είναι χημικά ενωμένο μέσα στον περλίτη.

Στην Ελλάδα υπάρχει περλίτης σε μεγάλα αποθέματα στην Μήλο. Εξορύσσεται από την επιφάνεια του εδάφους και σπάζεται σε ορισμένα μεγέθη. Τα προϊόντα της εξορύξεως θερμαίνονται απότομα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 950 °C , διογκώνονται κατά δέκα περίπου φορές και σχηματίζουν μικρούς λευκούς κόκκους

Το φαινόμενο βάρος κυμαίνεται από 3,5 – 6,0 kN/m³

Ξυλομπετόν :

Το ξυλομπετόν είναι αντιπροσωπευτικός τύπος σκυροδέματος με οργανικά αδρανή, (Εικόνα 28), στο οποίο το ρόλο των αδρανών παίζουν οι ίνες ξύλου



(Εικόνα 28): Οργανικά αδρανή

Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (High Density Polyethylene – HDPE), που προέρχεται από μηχανική ανακύκλωση βιομηχανικών απορριμμάτων, δηλαδή οργανικά υλικά

Προβληματική είναι η πρόσφυση του ξύλου με το κονίαμα. Εάν χρησιμοποιηθεί κονίαμα με μαγνησιακό τσιμέντο, η πρόσφυση είναι ικανοποιητική.

Κυψελωτά σκυροδέματα

Τα σκυροδέματα αυτά δεν έχουν , κατά κανόνα, χονδρόκοκκα αδρανή και για αυτό θα ήταν ακριβέστερο να ονομάζονται κυψελοκονιάματα.

Η κεντρική ιδέα του κυψελομπετόν είναι η δημιουργία πορώδους ιστού με τον εγκλεισμό φυσαλίδων (Εικόνα 29), από αέρα ή αέρια μέσα στη μάζα του κονιάματος.



(Εικόνα 29): Κυψελωτό σκυρόδεμα

Τα κυψελομετόν χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο που αναπτύσσονται οι φυσαλίδες :

- Αεριομετόν
- Αφρομετόν

Αεριομετόν :



(Εικόνα 30): Σοβάς Αεριομετόν

Τα χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αερίου μέσα στην μάζα του κονιάματος είναι τα εξής: (Εικόνα 30)

- Σκόνη αλουμινίου (Al)
- Σκόνη σιδήρου (Fe)
- Υπεροξειδίο του υδρογόνου μαζί με υποχλωριώδες ασβέστιο ($H_2O_2 + CaCl_2O_2$)
- Ανθρακικό ασβέστιο (CaC_2)

Το ποιο διαδεδομένο από τα πρόσθετα είναι το αλουμίνιο το οποίο αντιδρά με το υδροξειδίο του ασβεστίου και παράγει υδρογόνο με την εξής χημική αντίδραση:



Πίνακας 10: Ιδιότητες των Αεριομετόν

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΟΜΠΕΤΟΝ		
Αντοχή σε θλίψη	1 – 10	[MPa]
Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη	0,5 – 2	[MPa]
Χρόνια συστολή	1 – 2,5 (4,0)	[mm/m]

Συντελεστής θερμοαγωγιμότητας [λ]	0,10 – 0,80	[kcal/m.h.°C]
-----------------------------------	-------------	---------------

Αφρομετόν :



(Εικόνα 31): Αφρομετόν κατά την διάστρωση

Το αφρομετόν (Εικόνα 31), κατασκευάζεται με προσθήκη αεροποιητικό υλικό και ένα σταθεροποιητή για την παραγωγή φυσαλίδων.

Χρησιμοποιούμενα αεροποιητικά υλικά είναι τα εξής

1. Ρετσίνι πεύκου σαπωνοποιούμενο με καυστικό νάτριο και κόλλα
2. Παραφίνη

Ο σκοπός των αεροποιητικών υλικών και των σταθεροποιητών είναι η δημιουργία φυσαλίδων που πετυχαίνεται

- Με την μείωση της επιφανειακής τάσεως της ρευστής μάζας και
- Με την αύξηση της συνεκτικότητας

Δηλαδή την αύξηση της αντοχής του περιβλήματος των φυσαλίδων, για την συγκράτηση του αέρα μέσα στην μάζα.

Παρατήρηση :

Στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο **EN 206**, περιλαμβάνει μαζί με τα κοινά σκυροδέματα τα ελαφρά σκυροδέματα καθώς και τα βαρέα σκυροδέματα

A.1.7.3 Βαριά σκυροδέματα

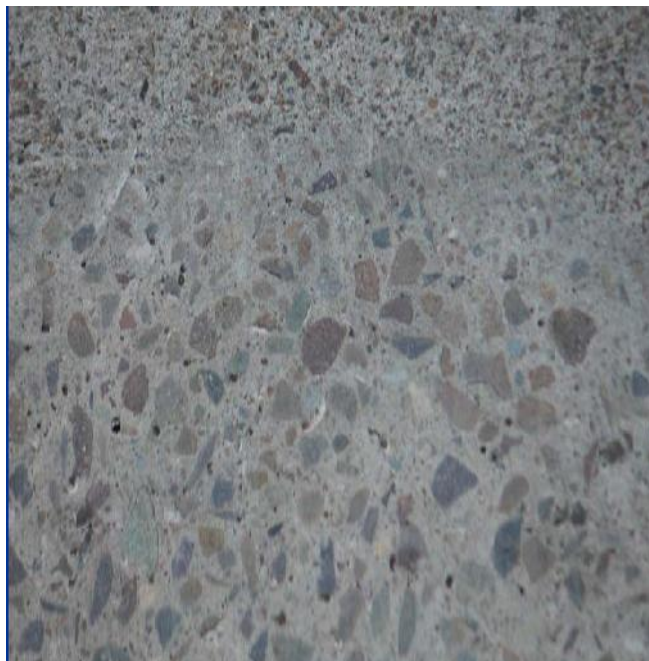
Είναι τα σκυροδέματα που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από $30,0 \text{ kN/m}^3$ και παράγονται με την χρησιμοποίηση αδρανών από βαρύτερα πετρώματα. (Εικόνα 32)

Το μεγάλο ειδικό βάρος χωρίς την αντίστοιχη αύξηση της αντοχής, που περιορίζεται από την αντοχή του κονιάματος και την πρόσφυση ανάμεσα στο κονίαμα και τα αδρανή, είναι το χαρακτηριστικό στοιχείο των βαρέων σκυροδεμάτων

Επειδή τα αδρανή αυτά είναι κατά κανόνα δυσεύρετα και πιο ακριβά, χρησιμοποιούνται μόνο όπου είναι αναγκαίο μεγαλύτερο βάρος ή μεγαλύτερη πυκνότητα.

Τα βαριά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται για :

- ❖ Τα θεμέλια μηχανών
 - ❖ Η κατασκευή θωρακίσεων για τις ραδιενεργές ακτινοβολίες
1. στους πυρηνικούς αντιδραστήρες
 2. στις εγκαταστάσεις πυρηνικών εφαρμογών



(Εικόνα 32): Σκυρόδεμα με βαρέα αδρανή

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 11: Αδρανή κατάλληλα για την παρασκευή θωρακίσεων από σκυρόδεμα

	Ειδικό βάρος αδρανούς gr/cm ³	Ειδικό βάρος σκυροδέματος gr/cm ³	Παρατηρήσεις
Σκύρα	2,6 – 2,7	2,3 – 2,4	Κατάλληλο
<u>Σκωρίες</u>	3,0 – 3,6	2,7 – 3,0	Κατάλληλο
Χρωμίου	3,4	2,9	Κατάλληλο
Μολύβδου	3,6	3,0	Πορώδες, ακατάλληλο
Χαλκού	3,3	-	Βρίσκεται σε περιορισμένες ποσότητες
Τιτανίου	3,6	-	
Βαρίτης (BaSO ₄)	4,2	3,2 – 3,6	Η ποιότητα ποικίλλει (πέτρωμα σχετικώς εύθραυστο)
<u>Μεταλλεύματα σιδήρου</u>			Κατάλληλο για σκυρόδεμα
Λιμωνίτης (3Fe ₂ O ₃ +4H ₂ O)	3,4 – 3,8	2,9 – 3,1	υδαρές, δύσκολο στην
Μαγνητίτης (Fe ₂ O ₄)	4,8 – 5,1	4,0	κατεργασία, πέτρωμα εν μέρει
Αιματίτης (Fe ₂ O ₃)	4,5	3,6	εύθραυστο, πέτρωμα εν μέρει
			κατάλληλο, ψαθυρό, δύσκολα
			κατεργαζόμενο, απαιτεί μεγάλη
			ποσότητα νερού αναμείξεως,
			ιδιότητες σκυροδέματος καλές
<u>Μετάλλευμα τιτανίου</u>			
Ιλμενίτης (FeTiO ₃)	4,6	3,8	Ως ο Αιματίτης
Φωσφορούχος σίδηρος (FeP, Fe ₂ P, Fe ₃ P)	6,3	4,5 – 5,0	Ενδιάμεσο προϊόν κατά την
			παραγωγή φωσφόρου, ιδιότητες
			σκυροδέματος καλές
Σίδηρος	7,7	5,4 – 6,3	Κατάλληλος ως λεπτόκοκκο
			αδρανές, μικρή οξειδωση
			αβλαβής, μικρή απαίτηση νερού,
			κίνδυνος απομείξεως
<u>Ενώσεις του βορίου</u>	-	-	Οικονομικότερη από τις ενώσεις
Κολεμανίτης (2CaO.3B ₂ O ₃ .5H ₂ O)			του βορίου, επιβραδυντικό.
			Παράγεται από τον Κολεμανίτη,
			ακριβότερος αλλά ευκολότερα
			κατεργαζόμενος
Ψήγματα βορίου	-	-	Προέρχεται από σύντηξη βορικού
			Νατρίου και πυριτιακών ενώσεων,
			ευδιάλυτο

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Ανθρακούχο βόριο (B ₄ O)	-	-	Κατάλληλο αλλά με υψηλό κόστος
-------------------------------------	---	---	--------------------------------

A.1.7.4 Ειδικά σκυροδέματα

Τα ειδικά σκυροδέματα διακρίνονται σε δύο ομάδες:

- ❖ Σε αυτά που περιλαμβάνονται στο άρθρο 12 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος
- ❖ Σε αυτά που δεν περιλαμβάνονται στο άρθρο 12 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος

Τα ειδικά σκυροδέματος που περιλαμβάνονται στο άρθρο 12είναι :

- ✚ Το έτοιμο σκυρόδεμα
- ✚ Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά
- ✚ Μειωμένης υδατοπερατότητας
- ✚ Ανθεκτικό σε χημικές επιρροές
- ✚ Μέσα σε νερό
- ✚ Στη θάλασσα
- ✚ Εκτεθειμένο σε αέρα κορεσμένο με θαλάσσια άλατα (παραθαλάσσιο περιβάλλον)
- ✚ Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ✚ Σκυροδέτηση με υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ✚ Αντλητό σκυρόδεμα

Τα ειδικά σκυροδέματα που ΔΕΝ περιλαμβάνονται στο άρθρο 12είναι :

- ✚ Σκυροδέματα υψηλής αντοχής
- ✚ Σκυρόδεμα με ανακυκλούμενα υλικά
- ✚ Ινοπλισμένα σκυροδέματα
- ✚ Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- ✚ Ρητιοσκυροδέματα
- ✚ Αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα

B.1 ΤΣΙΜΕΝΤΟ^{[8],[24],[38],[39]}

Σε αντίθεση με άλλες φυσικές κονίες, είναι προϊόν βιομηχανικό, που παρασκευάζεται από τη σύγχρονη όπτηση ασβεστόλιθου και αργίλου .

Ανακαλύφθηκε από τον Άγγλο J. Aspdin. (εικόνα 33). Το 1824, ο οποίος έδωσε στο υλικό το όνομά του που σήμερα χρησιμοποιείται ως (τσιμέντο Portland), γιατί το νέο υλικό είχε το χρώμα των εδαφών της περιοχής Πόρτλαντ της Αγγλίας.



(Εικόνα 33): J. Aspdin

Η σειρά των εργασιών από την εξόρυξη των πρώτων υλών ως το τελικό προϊόν είναι η εξής:

- Εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων το 76% και αργιλικών εδαφών το 24% χωριστά. Τα πετρώματα αυτά περνούν στη συνέχεια από σπαστήρες, ώστε να τεμαχιστούν και να αποκτήσουν διάμετρο μερικών εκατοστών (Εικόνες 36,37 και 38)
- Μετά την έξοδο τους από τους σπαστήρες γίνεται ανάμειξη των δύο υλικών. Η εργασία αυτή λέγεται **προομοιογενοποίηση**. (Εικόνες 36,37 και 38)
- Έπειτα αλέθονται σε μύλους ώστε να αποκτήσουν διάμετρο λίγων μικρών. Το προϊόν της αλέσεως, το οποίο ονομάζεται **φαρίνα**, ομοιογενοποιείται και αποθηκεύεται σε σιλό. (Εικόνες 36,37 και 38)
- Το μείγμα εισάγεται στο επάνω άκρο κυλινδρικής καμίνου, η οποία περιστρέφεται αργά γύρω από τον άξονά της. Η θερμότητα παράγεται από καυστήρα πετρελαίου ή κάρβουνου ή φυσικού αερίου, τοποθετημένο στο κάτω άκρο της. Η θερμοκρασία μέσα στην κάμινο είναι περίπου 900 στο επάνω άκρο και φτάνει στους 1450 στο άκρο, που είναι και το σημείο εξόδου των προϊόντων. Τα προϊόντα της οπτήσεως ονομάζονται **εκβολάδες** ή διεθνώς **Klinker** (Εικόνα 34), έχουν διάμετρο λίγων εκατοστών , χρώμα γκριζόμαυρο και αποτελούν, την πρώτη ύλη για την παραγωγή του τσιμέντου

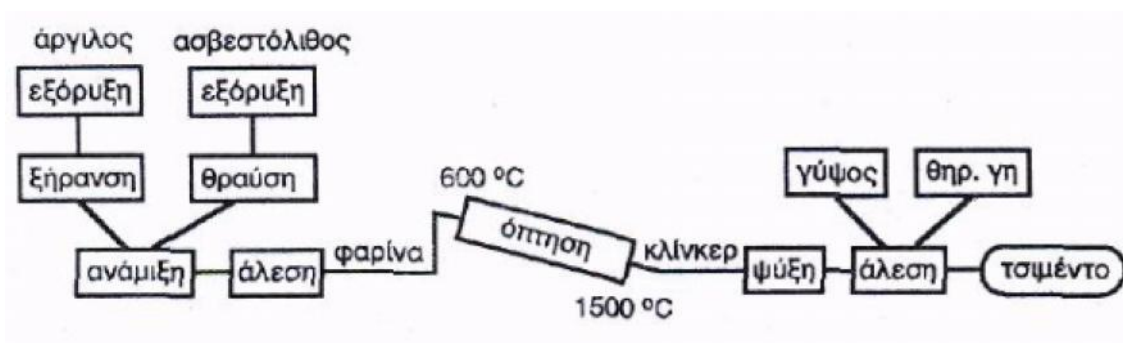


(Εικόνα 34): εκβολάδες η διεθνώς **Klinker**

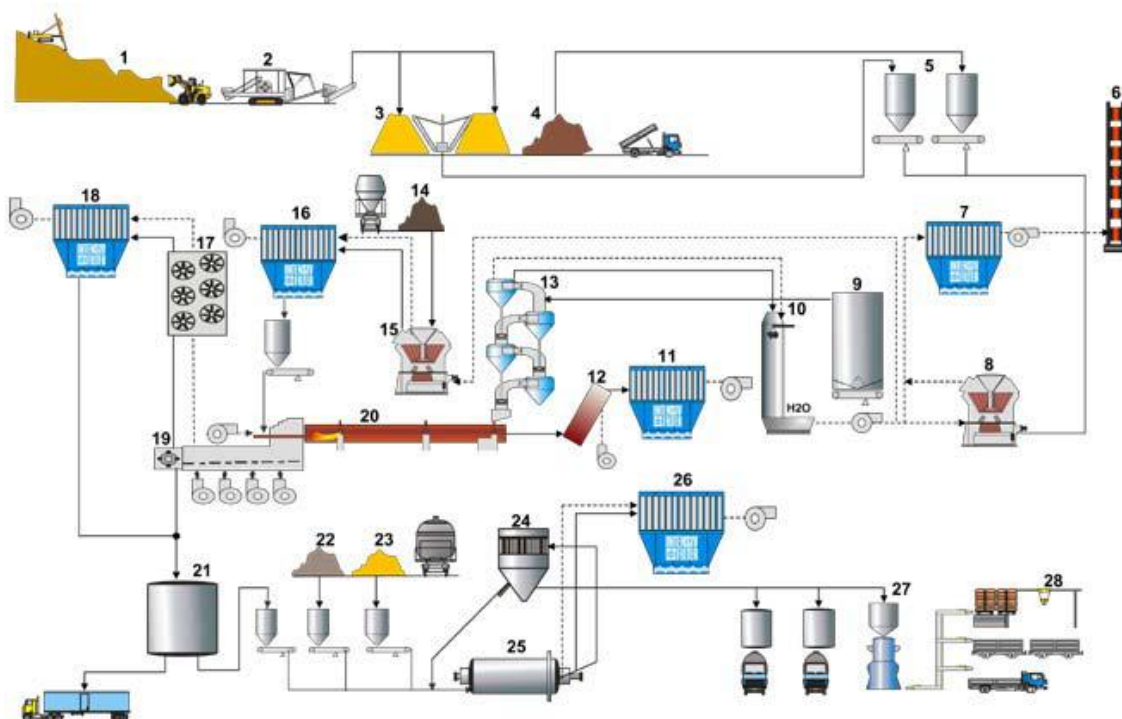
- Τα προϊόντα της σπτήσεως, οι εκβολάδες αλέθονται και αποκτούν τη γνωστή μορφή του τσιμέντου. Το υλικό αυτό, όπως προκύπτει από την άλεση του **Klinker**, με πολύ μικρό ποσοστό γύψου (3 – 5)%, ονομάζεται «τσιμέντο Πόρτλαντ» (Εικόνα 35)



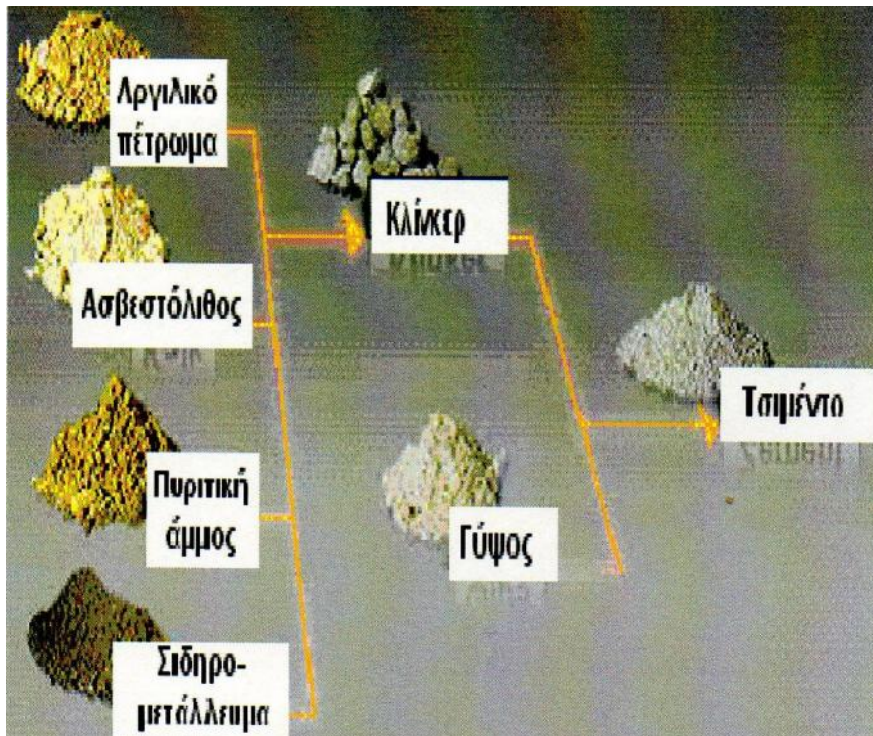
(Εικόνα 35)τσιμέντο Πόρτλαντ



(Εικόνα 36): Η σειρά των εργασιών από την εξόρυξη των πρώτων υλών σε σκαρίφημα



(Εικόνα 37): Παραγωγική διαδικασία τσιμέντου με την ξηρή μέθοδο



(Εικόνα 38): Πρώτες ύλες, ενδιάμεσα προϊόντα και τελικό προϊόν στη διεργασία παραγωγής τσιμέντου

B.1.1 Χημική σύνθεση^{[24],[38]}

Η χημική σύνθεση του τσιμέντου δεν είναι απόλυτα σταθερή, αλλά εξαρτάται από την χημική σύνθεση των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες και από τον τρόπο παραγωγής, και κυρίως από το χρόνο και τη θερμοκρασία σπτήσεως.

Οι επικρατέστερες ενώσεις του τσιμέντου είναι

- Το οξείδιο του ασβεστίου (CaO)
- Το οξείδιο του πυριτίου (SiO₂)
- Το οξείδιο του αργιλίου (Al₂O₃)
- Το οξείδιο του σιδήρου (Fe₂O₃)

Οι χαρακτηριστικές ονομασίες τους είναι

- Alit 3CaO.SiO₂
- Belit 2CaO.SiO₂
- Celit 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃
- Felit 2CaO.SiO₂, το οποίο είναι ασταθές, μαζί με 3CaO.Al₂O₃

Πίνακας 12: Οι χημικοί τύποι των επικρατέστερων ενώσεων του τσιμέντου και το ποσοστό τους

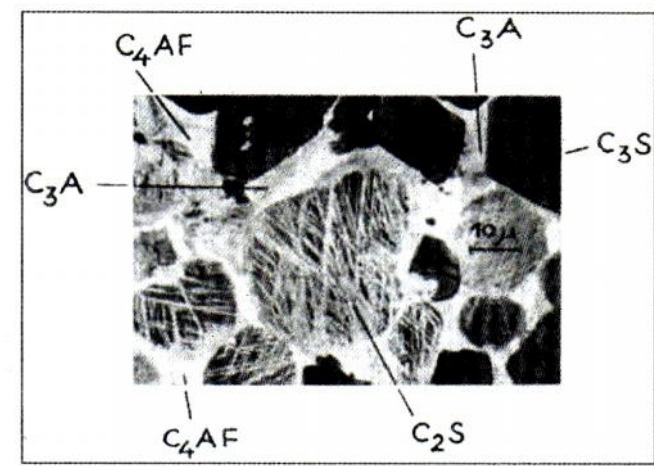
ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ
Πυριτικό Τριασβέστιο	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	60%
Πυριτικό Διασβέστιο	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	15%
Αργιλικό Τριασβέστιο	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	7%
Σιδηραργιλικό Τετρασβέστιο	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	11%

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα η αναλογία των συστατικών (Εικόνα 39), έχει επίδραση στην ταχύτητα αναπτύξεως της αντοχής, δηλαδή στην ταχύτητα της χημικής αντιδράσεως του τσιμέντου με νερό .

Οι ενώσεις C₃S και C₃A συμβάλλουν σημαντικά στη γρήγορη ανάπτυξη της αντοχής, αντίθετα από το C₂S που δίδει όψιμες αντοχές.

Έχει παρατηρηθεί ότι μεγαλύτερη αντοχή παρουσιάζουν, γενικά, τα τσιμέντα τα οποία είναι φτωγά σε ασβέστιο (Ca) και πλούσια σε Πυριτικό Διασβέστιο ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$).

Επίσης η αναλογία των τεσσάρων συστατικών δεν έχει τόσο αποφασιστική σημασία στην τελική τιμή της αντοχής.



(Εικόνα 39): Συστατικά του τσιμέντου, όπως φαίνονται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

B.1.2 Δευτερεύοντα συστατικά^{[2],[24],[38]}

Εκτός από τα τέσσερα βασικά συστατικά, υπάρχουν στο τσιμέντο σε μικρότερες ποσότητες τα εξής δευτερεύοντα συστατικά :

- **Οξείδιο του μαγνησίου ή μαγνησία (MgO).** Επειδή κατά την ένωση με το νερό διογκώνεται και προκαλεί ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα, οι Κανονισμοί περιορίζουν την ποσότητα του στο τσιμέντο στο 6% το πολύ
- **Γύψος ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$).** Η προσθήκη της γύψου στο τσιμέντο ρυθμίζει την ταχύτητα της πήξεως. Το επιτρεπόμενο ποσοστό πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ (3 – 5)%. Εάν το ποσοστό υπερβεί το επιτρεπόμενο, τότε ο χρόνος πήξεως του τσιμέντου επιβραδύνεται
- **Αλκάλια (K_2O και Na_2O).** Τα αλκάλια σε μικρές ποσότητες είναι αβλαβή, ενώ σε μεγαλύτερες προκαλούν αύξηση της ταχύτητας πήξεως

Τα οξείδια των βασικών συστατικών του τσιμέντου ή υδραυλικοί συντελεστές, όταν βρίσκονται στην σωστή αναλογία και συνδέονται μεταξύ τους με τις ακόλουθες σχέσεις ονομάζονται δείκτες.

1. Δείκτης υδραυλικότητας $\frac{\text{CaO}}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{FeO}_3}$, με τιμή 2 και ο δείκτης υδραυλικότητας είναι η σχέση μεταξύ των όξινων και των βασικών συστατικών. Στην πράξη κυμαίνεται μεταξύ 2,2 και 2,3
2. Πυριτικός δείκτης $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO}_3}$, με τιμή 2 και είναι η σχέση μεταξύ των όξινων συστατικών
3. Δείκτης οξειδίου του αργιλίου και του σιδήρου $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{FeO}_3}$, με τιμή 2 και είναι η σχέση μεταξύ των οξειδίων του αργίλου και του σιδήρου
4. Δείκτης δραστηκότητας $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$, με τιμή μεταξύ 2,5 και 5

B.1.3 Τύποι τσιμέντων^{[2], [38]}

Ανάλογα με τη σύνθεση τους, το βαθμό αλέσεως και τα πρόσθετα υλικά, τα τσιμέντα κατατάσσονται από του Κανονισμούς σε διάφορους τύπους και κατηγορίες αντοχής.

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντων ΕΛΟΤ EN 197 – 1, τα παραγόμενα τσιμέντα κατατάσσονται στους ακόλουθους τύπους

Πίνακας 22: Κατάταξη των παραγόμενων τύπων τσιμέντου

ΤΥΠΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ	
Διεθνής συμβολισμός	Όνομασία τύπου
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Σύνθετο τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο τσιμέντο

1. Στο τσιμέντο **CEM I** επιτρέπεται η προσθήκη ενός δευτερεύοντος συστατικού (γύψος) σε ποσοστό μέχρι 5%
2. Το **CEM II** μπορεί να παράγεται με τις ακόλουθες προσθήκες:
 - A) Σκωρία υψικαμίνων (S) (Blastfurnace slag)

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

- B) Πυριτική παιπάλη (D) (Silica Fume)
- Γ) Ποζολάνη φυσική (P) ή ψημένη (Q) (Natural and Calcined Pozzolana)
- Δ) Ιπτάμενη τέφρα πυριτική (V) ή ασβεστόχα (W) (Siliceous and Calcareous fly ash)
- E) Ασβεστόλιθος (L ή LL) (Limestone)
- Στ) Τέφρα καύσης βιτουμενιούχων σχιστόλιθων (T) (Burnt Shale)
- Στ) Συνδυασμό των παραπάνω προσθηκών (M) (Two or More of the above)

Για το κάθε είδος προσθήκης υπάρχει η δυνατότητα δύο τύπων A ή B ανάλογα με το ποσοστό της προσθήκης. Χαρακτηρίζονται A αν το πρόσθετο είναι (6 – 20)% και B αν είναι (21 – 35)%

3. Το **CEM III** είναι σκωριοσιμέντο και ανάλογα με το ποσοστό της σκωρίας χαρακτηρίζεται A για ποσοστό (36 - 65)%, B για ποσοστό (66 – 80)% και C για ποσοστό (81 – 95)%
4. Το **CEM IV** είναι ποζολανικό και μπορεί να παραχθεί με πυριτική παιπάλη ή ποζολάνη ή ιπτάμενη τέφρα ή συνδυασμό αυτών
5. Το **CEM V** είναι σύνθετο τσιμέντο και πρέπει να περιέχει σκωρία υψικαμίνων και συνδυασμό ποζολάνης και πυριτικής ιπτάμενης τέφρας

B.1.4 Κατηγορίες αντοχής^{[2],[38]}

σύμφωνα με τον Κανονισμό, από άποψη αντοχής τα τσιμέντα κατατάσσονται στις κατηγορίες

32,5 N	32,5 R	42.5 N	42.5 R	52.5 N	52.5 R
--------	--------	--------	--------	--------	--------

Όπου το N υποδηλώνει κανονική ανάπτυξη της αντοχής και R τσιμέντα με υψηλή πρώιμη αντοχή, ενώ οι αριθμοί παριστάνουν την αντοχή των τσιμέντων σε MPa όπως προσδιορίζεται συμβατικά σύμφωνα με τον Κανονισμό.

Συμβολισμός των τσιμέντων

Έτσι ένα τσιμέντο τύπου **CEM II/A – P 32.5 N** σημαίνει ότι είναι:

- ❖ **(CEM II)**, Τύπου II, (Σύνθετο τσιμέντο Πόρτλαντ)
- ❖ **(P)**, Περιέχει φυσική ποζολάνη

- ❖ **(A)**, Ποσότητα (6 – 20)%
- ❖ **(32,5 N)**, συμβατική αντοχή στις 28 ημέρες μεγαλύτερη από **32,5 MPa** και μικρότερη από **52,5 MPa**.

Η χρήση των τσιμέντων στην Ελλάδα :

Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται, σύμφωνα με τον ισχύοντα Κανονισμό, τα εξής τσιμέντα:

- Ο τύπος **CEM II 32,5** ή **CEM IV 32,5** το λεγόμενο **κοινό** τσιμέντο
- Ο τύπος **CEM I 32,5** ή **CEM I 42,5** το λεγόμενο **καθαρό** τσιμέντο
- Ο τύπος **CEM I 52,5** το λεγόμενο **λευκό** τσιμέντο

Παρατηρήσεις

1) Οι κατηγορίες χαμηλής αντοχής **32,5 MPa** διακινούνται σε σάκους και χύμα (χύδην), (Εικόνες 41,42 και 43). Οι υψηλότερες αντοχές μόνο χύμα με την βοήθεια σιλοφόρων οχημάτων (από το εργοστάσιο παραγωγής στα σιλό των εργοστασίων)



(Εικ. 41): Σάκος τσιμέντο



(Εικ. 42): Σιλό τσιμέντου



(Εικ. 43): Σιλοφόρο όχημα

2) Όταν το τσιμέντο αντοχής **32,5 MPa** συσκευάζεται σε σάκους των **25 kg και 50 kg**, (Εικ.44,45) χρησιμοποιούνται κυρίως για κονιάμα κτισμάτων και επιχρισμάτων τοιχοποιιών



(Εικ.44): Σάκος τσιμέντου **25 kg**



(Εικ. 45): Σάκος τσιμέντου **50 kg**

- 3) Από τις υψηλές αντοχές ο τύπος **CEM I 52,5** χρησιμοποιείται για την παρασκευή διακοσμητικών προϊόντων τσιμέντου και άλλες αρχιτεκτονικές εφαρμογές. Επίσης όταν υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης μεγάλων θλιπτικών αντοχών
- 4) Από τα τσιμέντα με υψηλές θλιπτικές αντοχές, ο τύπος **CEM II 42,5** (Ποζολανικό μεγάλης αντοχής) χρησιμοποιείται στα ογκώδη έργα (λόγω της χαμηλής θερμότητας ενυδατώσεως που εκλύει) και στην κατασκευή του θόλου των σηράγγων (λόγω της υψηλής του αντοχής)
- 5) Η βιομηχανία ετοιμού σκυροδέματος στην Ελλάδα χρησιμοποιεί τσιμέντα αντοχής (32,5 και 42,5) **MPa**. Εκείνο πάντως που είναι περίπου προφανές και πρέπει οπωσδήποτε να γνωρίζεται είναι ότι οι απαιτούμενες ποσότητες τσιμέντου για την επίτευξη συγκεκριμένης αντοχής είναι αντιστρόφως ανάλογες της κατηγορίας του

Παράδειγμα : Τσιμέντο **CEM I 32,5** πρέπει να τοποθετηθεί με **(310 – 320) kg/m³** στο σκυρόδεμα κατηγορίας **C 16/20** , ενώ τσιμέντο τύπου **CEM I 42,5** της ίδιας κατηγορίας, αρκεί να τοποθετείτε με **270 kg/m³**

B.1.5 Τύποι τσιμέντων σύμφωνα με το Αμερικανικό πρότυπο ASTM^[38]

Τα τσιμέντα Αμερικανικού τύπου κατατάσσονται σε πέντε κύριες κατηγορίες (I, II, III, IV, και V). Επίσης οι κύριες κατηγορίες χωρίζονται σε υποκατηγορίες, ανάλογα με τις προσθήκες ανόργανων υλικών

Πίνακας 23: Κατηγορίες τσιμέντων σε υποκατηγορίες ανάλογα με τις προσθήκες

Τύπος τσιμέντου κατά ASTM	Τυπική σύσταση των τσιμέντων %							
	C3S	C2S	CEA	C4FA	MgO	SO3	Απώλεια πύρωσης	Free CaO
I	55	19	10	7	2,8	2,9	1,0	1,0
II	51	24	6	11	2.9	2.5	0.8	1.0
III	57	19	10	7	3	3.1	0.9	1.3
IV	28	49	4	12	1.8	1.9	0.9	0.8
V	38	43	4	9	1.9	1.8	0.9	0.8

Επιπλέον ο ακόλουθος πίνακας οι διάφοροι τύποι και απαιτούμενες συνθέσεις τσιμέντων κατά **EN 197 – 1** που χρησιμοποιούνται στην διεθνή αγορά (Εικ. 46)

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Κύριοι Τύποι	Ονομασία των 27 προϊόντων (τύποι κοινών τσιμεντών)		Σύνθεση (επί της % κατά μάζα) ^{α)}										Δευτερεύοντα συστατικά		
			Κύρια συστατικά												
			Κλίνκερ	Σκωρία υφικαμίνου	Πυριτική παιπάλη	Ποζολάνη		Ικτάμενες τέφρες		Ψημένο σχιστόλιθος	Ασβεστόλιθος				
K	S	D ^{β)}	P	Q	V	W	T	L	LL						
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ	CEM I	95-100												0-5
CEM II	Τσιμέντο Πόρτλαντ με σκωρία υφικαμίνων	CEM II/A-S	80-94	6-20											0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35											0-5
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με πυριτική παιπάλη	CEM II/A-D	90-94		6-10										0-5
Τσιμέντο Πόρτλαντ με ποζολάνη		CEM II/A-P	80-94			6-20									0-5
		CEM II/B-P	65-79			21-35									0-5
		CEM II/A-Q	80-94					6-20							0-5
		CEM II/B-Q	65-79					21-35							0-5
Τσιμέντο Πόρτλαντ με ικτάμενη τέφρα		CEM II/A-V	80-94					6-20							0-5
		CEM II/B-V	65-79					21-35							0-5
		CEM II/A-W	80-94						6-20						0-5
		CEM II/B-W	65-79						21-35						0-5
Τσιμέντο Πόρτλαντ με ψημένο σχιστόλιθο		CEM II/A-T	80-94							6-20					0-5
		CEM II/B-T	65-79							21-35					0-5
Τσιμέντο Πόρτλαντ με ασβεστόλιθο		CEM II/A-L	80-94								6-20				0-5
		CEM II/B-L	65-79								21-35				0-5
		CEM II/A-LL	80-94										6-20		0-5
		CEM II/B-LL	65-79										21-35		0-5
Τσιμέντο Πόρτλαντ-σύνθετο ^{γ)}		CEM II/A-M	80-94						6-20						0-5
		CEM II/B-M	65-79						21-35						0-5
CEM III	Σκωριοτσιμέντο	CEM III/A	35-64	36-65											0-5
		CEM III/B	20-34	66-80											0-5
		CEM III/C	5-19	81-95											0-5
CEM IV	Ποζολανικό τσιμέντο ^{δ)}	CEM IV/A	65-89					11-35							0-5
		CEM IV/B	45-64					36-55							0-5
CEM V	Σύνθετο τσιμέντο ^{ε)}	CEM V/A	40-64	18-30				18-30							0-5
		CEM V/B	20-39	31-50				31-50							0-5

(Εικ. 46): Πίνακας 24 : Τύποι και απαιτούμενες συνθέσεις τσιμεντών κατά EN 197 – 1

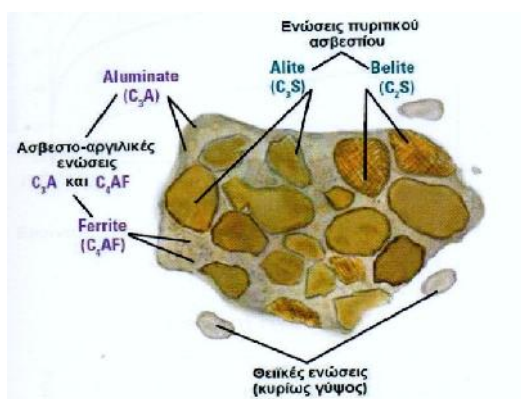
B.1.6 Η ενυδάτωση του τσιμέντου (Hydration) [8],[24],[38]

Με την ανάμειξη τσιμέντου και νερού δημιουργείται παχύρρεστος γκριζοπράσινος πολτός, η **τσιμεντοκονία** (Εικ. 47)



(Εικ.47): Τσιμεντοκονία ή τσιμεντοπολτό 24 ώρες μετά την ανάμειξη

Μετά παρέλευση λίγου χρόνου, ο πολτός αρχίζει να πήζει. Η πήξη αυτή συντελείται όχι λόγω αποξήρανσης του νερού, όπως συμβαίνει με το πηλό ή την άργιλο, αλλά λόγω χημικής αντίδρασης, κατά την οποία τα μόρια του τσιμέντου ενώνονται με τα μόρια του νερού, κρυσταλλώνονται και σχηματίζουν στερεό σώμα αδιάλυτο στο νερό (Εικ. 48)



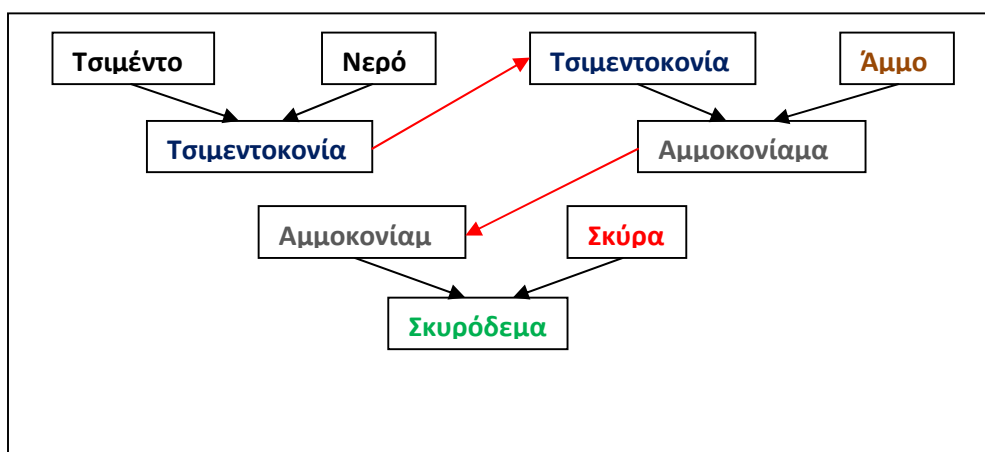
(Εικ. 48): Κόκκος τσιμέντου στον οποίο εμφανίζονται οι διάφορες φάσεις του **Klinker** που ενυδατώνεται

Η πήξη διαρκεί ορισμένο χρόνο, κατά την διάρκεια δε αυτή το τσιμέντο σκληρύνεται .
Αναμιγνύοντας την τσιμεντοκονία με άμμο σχηματίζεται το **αμμοκονίαμα** με την ανάμιξη δε
του αμμοκονιάματος με σκύρα προκύπτει το **σκυρόδεμα** .

Τσιμέντο + νερό = τσιμεντοκονία

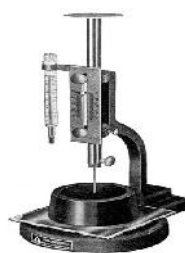
Τσιμεντοκονία + άμμο = αμμοκονίαμα

Αμμοκονίαμα + σκύρα = σκυρόδεμα



Για να είναι πλήρης η σκλήρυνση και η κρυστάλλωση των μορίων του τσιμεντοκονιάματος, χρειάζεται να είναι διαθέσιμη ορισμένη ποσότητα νερού. Εάν η ποσότητα αυτή είναι μικρότερη της απαιτούμενης ή εάν το νερό εξατμιστεί γρήγορα, λόγω εξωτερικών αιτίων, η κρυστάλλωση των κόκκων είναι ατελής και το προϊόν παρουσιάζει διακοπές της συνέχειας της μάζας του. **Για τον λόγο αυτό η σκλήρυνση του τσιμεντοπολτού πρέπει να γίνεται σε υγρό περιβάλλον**

Ο χρόνος έναρξης της πήξης του τσιμεντοπολτού έχει μεγάλη σημασία για την καλή εκτέλεση των έργων από σκυρόδεμα και πρέπει να ελέγχεται με προσοχή. Η μέθοδος ελέγχου καθορίζεται από τον Κ.Τ.Σ. γίνεται στο εργαστήριο με χρησιμοποίηση της βελόνας **Vicat** της ομώνυμης συσκευής (Εικ. 49)



(Εικ. 49): Συσκευή **Vicat**

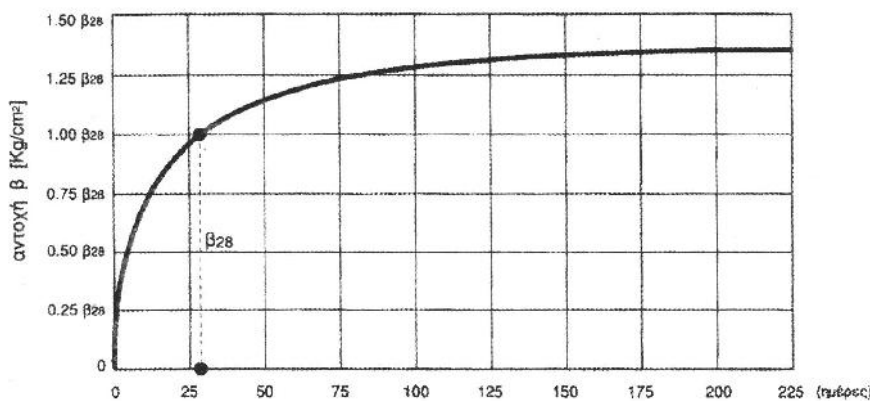
Για να είναι το τσιμέντο κατάλληλο για χρήση, πρέπει η πήξη του τσιμεντοπολτού να αρχίζει **μια περίπου ώρα** μετά την διαβροχή του τσιμέντου με νερό. Το χρονικό αυτό περιθώριο τέθηκε από τον κανονισμό για να υπάρχει διαθέσιμος χρόνος για την εκτέλεση απαιρηιτών εργασιών στο εργοτάξιο, όπως **μεταφορά, διάστρωση και συμύκνωση** του σκυροδέματος, πριν τη έναρξη της πήξεως.

Παρατήρηση :

Στο εργοτάξιο, λόγω ύπαρξης μεγαλύτερης από την χημικώς απαιτούμενη ποσότητας νερού αναμίξεως, **ο χρόνος έναρξης της πήξεως είναι δύο έως τέσσαρες φορές μεγαλύτερος**. Επίσης ο κανονισμός ορίζει **το τέλος της πήξεως είναι μετά από οκτώ ώρες περίπου**.

Την βαθμιαία εξέλιξη της ενυδάτωσης, δηλαδή των χημικών αντιδράσεων, δεν μπορούμε να την παρακολουθήσουμε απευθείας, αλλά εμμέσως από την παρακολούθηση της εξέλιξεως της αντοχής του υλικού.

Η εξέλιξη της αντοχής απεικονίζεται από καμπύλη εκθετικής μορφής, με ασύμπτωτη την τελική τιμή της αντοχής.(Εικ. 50)



(Εικ. 50):Ενδεικτική μορφή της καμπύλης αναπτύξεως της αντοχής με το χρόνο

B.1.7 Φαινόμενα που συνοδεύουν την ενυδάτωση [2],[18],[24],[38]

Κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου εκδηλώνονται δύο φαινόμενα

- Συστολή ενυδατώσεως ή χημική συστολή
- Θερμότητα ενυδατώσεως

Συστολή ενυδατώσεως ή χημική συστολή

Η τσιμεντοκονία όταν πήξει σκληρύνεται στον αέρα, συστέλλεται δηλαδή ο όγκος της μικραίνει. Η συστολή αυτή δεν οφείλεται σε εξωτερικά αίτια, αλλά αποκλειστικά και μόνον στις χημικές αντιδράσεις που συντελούνται μεταξύ τσιμέντου και νερού.

Η ελάττωση του όγκου των προϊόντων της αντιδράσεως ισούται περίπου με το 25% του αρχικού όγκου του νερού.

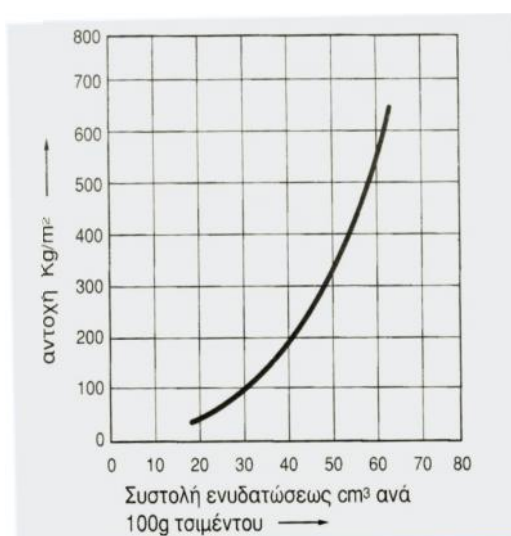
Παράδειγμα : Αν έχουμε 100 γραμμάρια τσιμέντου τα οποία χρειάζονται 25 γραμμάρια (25 cm^3) νερό, η συστολή του μείγματος, μετά την ολοκλήρωση της αντιδράσεως θα είναι:

—

αν δεχτούμε πυκνότητα του τσιμέντου $3,1 \text{ gr/cm}^3$, ο αρχικός όγκος του μείγματος θα είναι

—

Άρα η συστολή θα φτάσει τελικά (μετά την ολοκλήρωση της χημικής αντιδράσεως) σε 10,5% περίπου του αρχικού όγκου. Η συστολή αυτή ακολουθεί ποσοτικά την εξέλιξη της αντοχής, είναι δηλαδή γρήγορη στην αρχή και γίνεται βραδύτερη με την πάροδο του χρόνου



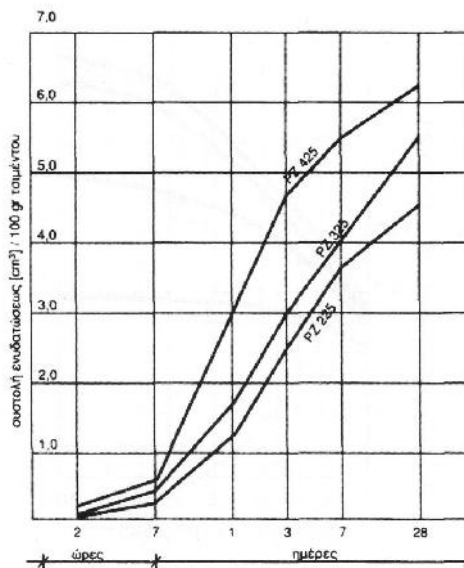
(Εικ. 51): Σχέση ανάμεσα στη συστολή ενυδατώσεως και στην αντοχή συμβατικού κονιάματος

Η συστολή εκδηλώνεται στην αρχή με γρήγορο ρυθμό αλλά με την πάροδο του χρόνου επιβραδύνεται. (Εικ. 51)

Έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι η συστολή ενυδατώσεως επηρεάζεται αυξητικά από την ποιότητα και ποσότητα του τσιμέντου και από την ποσότητα του νερού αναμίξεως .

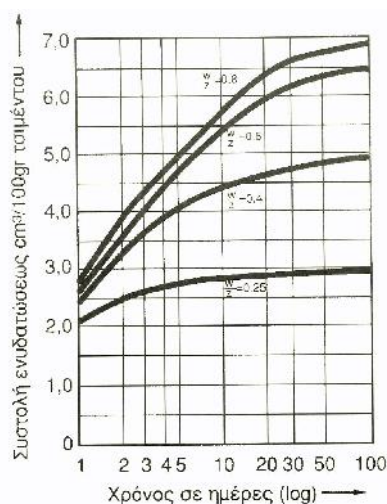
Στην πραγματικότητα η συστολή ενυδατώσεως δεν είναι σταθερή για όλα τα σκυροδέματα, αλλά εξαρτάται:

- 1) Από την ποσότητα του τσιμέντου, αφού ανάλογη είναι και η ποσότητα του νερού
- 2) Από την ποιότητα του τσιμέντου, γιατί τα διάφορα συστατικά του τσιμέντου απαιτούν διαφορετική το κάθε ένα ποσότητα νερού και επομένως η μεταβολή στη σύνθεση του τσιμέντου, μεταβάλλει και την συνολική ποσότητα του νερού που χρειάζεται (Εικ. 52)



(Εικ. 52) Καμπύλες εξελίξεως της συστολής ενυδατώσεως για διάφορους τύπου τσιμέντου

- 3) Από την ποσότητα του νερού αναμείξεως, δηλαδή από τον λόγο νερού προς τσιμέντο. Όσο περισσότερο είναι το νερό, τόσο η δέσμευση του τσιμέντου γίνεται πληρέστερη, ενώ όταν η ποσότητα του είναι περιορισμένη, μπορεί ορισμένη ποσότητα του τσιμέντου να παραμείνει αδρανής, λόγω της ανομοιόμορφης κατανομής και της δύσκολης κυκλοφορίας του νερού μέσα στην μάζα του τσιμέντου. (Εικ. 53)



(Εικ. 53) Εξέλιξη της συστολής ενυδατώσεως που παρουσιάζουν κονιάματα με διαφορετική περιεκτικότητα σε νερό

Με τον όρο **συστολή κατά την πήξη ή συστολή του νωπού σκυροδέματος**, χαρακτηρίζεται η συνολική συστολή που εμφανίζεται κατά την διάρκεια της πήξης του σκυροδέματος, (δηλαδή όσο χρόνο το σκυρόδεμα είναι ακόμη νωπό). Η συστολή αυτή αποτελείται από την συστολή ενυδατώσεως και την συστολή που οφείλεται στην εξάτμιση του ελεύθερου νερού

$$\Sigma\text{ΥΣΤΟΛΗ}_{\text{ΝΩΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟ}} = \Sigma\text{ΥΣΤΟΛΗ}_{\text{ΕΝΥΔΑΤΩΣΕΩΣ}} + \Sigma\text{ΥΣΤΟΛΗ}_{\text{ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΝΕΡΟΥ}}$$

Θερμότητα ενυδατώσεως

Κατά την διάρκεια της πήξης και της σκλήρυνσης του τσιμεντοπολυτού και κατά επέκταση του σκυροδέματος εκλύεται θερμότητα (**εξώθερμη αντίδραση**).

Ποσοτικά η θερμότητα αυτή εξαρτάται από την χημική σύνθεση του τσιμέντου, κατά μέσο όρο, φτάνει συνολικά στις 120 θερμίδες (cal) ανά γραμμάριο τσιμέντου.

Η έκλυση θερμότητας στην αρχή έχει έντονο ρυθμό ο οποίος επιβραδύνεται με την πάροδο του χρόνου. Η θερμότητα ενυδατώσεως γίνεται αντιληπτή όταν πρόκειται για ογκώδες έργο, από την μάζα του οποίου δεν μπορεί εύκολα να διαφύγει στην ατμόσφαιρα π.χ. στα φράγματα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων που μπορεί να προκαλέσουν ρηγματώσεις.

Η συνολική θερμότητα που εκλύεται από το καθένα από τα τέσσερα συστατικά του τσιμέντου είναι περίπου:

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 25: Συνολική θερμότητα των τεσσάρων συστατικών του τσιμέντου

Πυριτικό Τριασβέστιο	120 cal/gr
Πυριτικό Διασβέστιο	62 cal/gr
Αργλικό Τριασβέστιο	207 cal/gr
Σιδηραργλικό Τετρασβέστιο	100 cal/gr

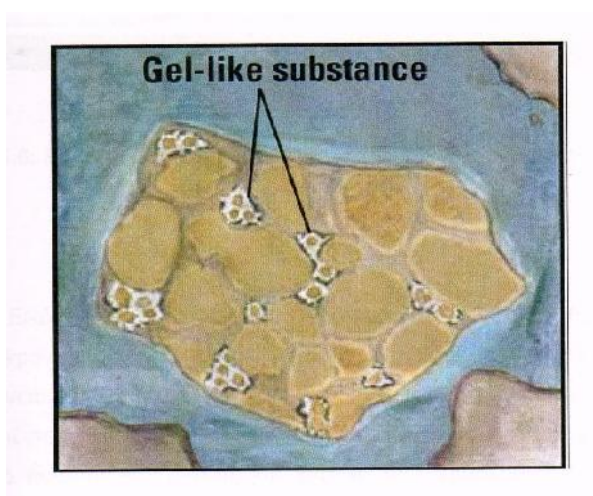
Σημασία έχει για την κατασκευή έργων η ταχύτητα εκλύσεως της θερμότητας, δηλαδή, η ποσότητα της θερμότητας κατά την διάρκεια των πρώτων ημερών.

Ενδεικτικά η θερμότητα αυτή κυμαίνεται μέσα στα παρακάτω όρια:

Πίνακας 26: Οριακή ποσότητα θερμότητας των συστατικών κατά την διάρκεια των πρώτων ημερών

Χρόνος από την παρασκευή	cal/gr
3 ημέρες	40 – 90
7 ημέρες	45 – 100
28 ημέρες	60 – 110
90 ημέρες	70 - 115

Η θερμότητα αυτή, υπό κατάλληλες συνθήκες, μπορεί να είναι και ευνοϊκή, όπως στην περίπτωση σκυροδετήσεως υπό χαμηλές θερμοκρασίες, οπότε προστατεύει από τον παγετό το νωπό σκυρόδεμα



(Εικ. 54): Ενώσεις τύπου γέλης (gel)

Επίσης η θερμότητα που εκλύεται κατά την ενυδάτωση οφείλεται στη δημιουργία και καταστροφή χημικών δεσμών που λαμβάνουν χώρα με την επίδραση του νερού.

Το Αργλικό Τριασβέστιο (C_3A) και οι θειικές φάσεις (π.χ. η γύψος), μετά την προσθήκη νερού, δίστανται και αντιδρούν πολύ γρήγορα μεταξύ τους και με μεγάλη έκλυση θερμότητας σχηματίζονται ενώσεις τύπου γέλης (gel) (Εικ. 54)

B.1.8 Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου^{[2],[8],[24]}

Τα πρόσμικτα ή τα προστιθέμενα ή συναλεθόμενα με τις εκβολάδες υλικά είναι τα συστατικά τα οποία βελτιώνουν κάποιες ιδιότητες του τσιμέντου καθώς και του σκυροδέματος. Αυτά τα υλικά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Κύρια συστατικά
- Δευτερεύοντα συστατικά

Κύρια συστατικά

- 1) Γύψος ($CaSO_4$)
- 2) Φίλλερ
- 3) Ποζολάνες (πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά)
- 4) Ασβεστόλιθος

Δευτερεύοντα συστατικά

- 1) Ανόργανα (επιλεγμένα) φυσικά ορυκτά
- 2) Ανόργανα υλικά που προκύπτουν κατά την διαδικασία παραγωγής του κλίνκερ

B.1.9 Χαρακτηριστικές ιδιότητες και έλεγχοι του τσιμέντου^{[24],[38]}

Η προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 197 – 1 ελέγχει το τσιμέντο στις εξής ιδιότητες

- ❖ Μηχανικές
- ❖ Φυσικές
- ❖ Χημικές

Μηχανικές ιδιότητες

- Αντοχή σε θλίψη και κάμψη
- Αντοχή σε εφελκυσμό

Φυσικές ιδιότητες

- ❖ Η λεπτότητα αλέσεως με την συσκευή (Blaine)
- ❖ Ο χρόνος αρχικής και τελικής πήξεως με την συσκευή (Vicat)
- ❖ Η σταθερότητα του όγκου με την συσκευή (Le Chatelier)
- ❖ Η κανονικότητα του τσιμεντοπολτού με την συσκευή (Vicat)

Χημικές ιδιότητες

- ✓ Ποσοστιαία αναλογία των οξειδίων (Si, Fe, Al, Ca, Mg)
- ✓ Περιεκτικότητα σε (SO₃ και Fe₂O₃)
- ✓ Το αδιάλυτο υπόλειμμα
- ✓ Απώλεια πυρώσεως
- ✓ Δραστικότητα της ποζολάνης

B.1.10 Αποθήκευση του τσιμέντου^{[2],[24]}

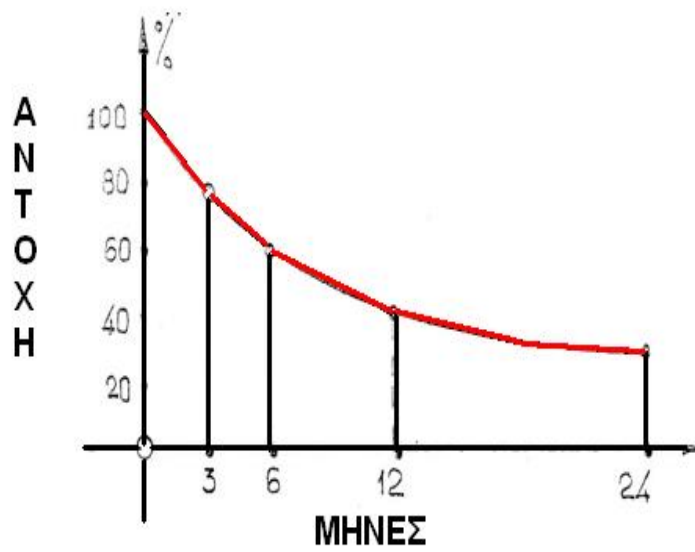
Το τσιμέντο πρέπει να διατηρείται μακριά από υγρασία και υγρό αέρα (ομίχλη, ατμό). Όσο μεγαλύτερη λεπτότητα αλέσεως έχει ένα τσιμέντο, τόσο περισσότερο ευπαθές είναι στην υγρασία. (Εικ. 55)

Η υγρασία προκαλεί σποραδική πήξη του τσιμέντου σε θρόμβους, οπότε αυτό γίνεται άχρηστο. Η υποχρεωτική διατήρηση του τσιμέντου σε ξηρό περιβάλλον, δεν πρέπει να υπερβαίνει κάποια χρονικά περιθώρια, αφού η αύξηση της ηλικίας του τσιμέντου προκαλεί μείωση της αντοχής του. (Εικ. 56)

Έτσι κατά μέσο όρο, η αντοχή ελαττώνεται κατά (10 – 20)% μετά την πάροδο **τριών μηνών** και κατά (20 – 30)% μετά την πάροδο **έξι μηνών**.



(Εικ. 55): Αποθηκευμένο τσιμέντο σε χάρτινες συσκευασίες καλυμμένες με προστατευτικό νάilon και στηρίζονται πάνω σε ξύλινες βάσης (παλέτες) , 10 cm από το πάτωμα μετ'όχι καθαριότητας



(Εικ. 56): διάγραμμα αντοχής τσιμέντου σε σχέση με την χρονική διάρκεια αποθήκευσης

Γ.1 ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ^[38]

Το νερό μαζί με το τσιμέντο αποτελούν τα δύο **ενεργά συστατικά** του σκυροδέματος.

Παίρνουν μέρος σε σειρά αντιδράσεων που οδηγούν στη σκλήρυνση του μίγματος.

Ανάλογα με την κατασκευή και ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου οι Κανονισμοί θέτουν διαφορετικές απαιτήσεις.

Τα πόσιμα νερά θεωρούνται κατάλληλα (Εικ. 58)

Οι κυριότερες από τις χημικές ουσίες, που έχουν δυσμενή επίδραση στην εξέλιξη των αντιδράσεων και αποτελούν βλαπτικά συστατικά του νερού, είναι οι εξής:

1. **Σάκχαρα**, γιατί εμποδίζουν την πήξη του σκυροδέματος
2. **Οξέα**, γιατί δεσμεύουν το ασβέστιο που είναι απαραίτητο για την πήξη
3. **Λίπη και Λάδια**, τα οποία δρουν μηχανικά περιβάλλοντας τους κόκκους του σκυροδέματος
4. **Οργανικές προσμίξεις**, γιατί αναστέλλουν την πήξη

Ο ΚΤΣ – 97 ορίζει ότι το νερό πρέπει να ακολουθεί τις απαιτήσεις του σχεδίου Ελληνικού προτύπου ΕΛΟΤ 345. Στον παρακάτω πίνακα (Εικ. 57), τίθενται δύο όρια (**α**) και (**β**) βλαπτικών ουσιών σε ppm (part per million).

Πίνακας 27 : Κρίσιμα όρια βλαπτικών ουσιών

α/α	Ιδιότητες – Συστατικά	Όριο (α) (ppm)	Όριο (β) (ppm)
1	Ολική οξύτητα εκφρασμένη σε CaCO ₃	100	500
2	Ολική αλκαλικότητα εκφρασμένη σε CaCO ₃	500	-
3	Ανόργανα στερεά	3000	15000
4	Οργανικά στερεά	200	500
5	Θειικά άλατα	1500	3000
6	Χλωριούχα άλατα εκφρασμένα σε NaCl	200	15000
7	KMnO ₄ για οπλισμένο σκυρόδεμα	50	100
8	Λιπαρές και ζαχαρώδεις ουσίες	Εντελώς απαλλαγμένα	Εντελώς απαλλαγμένα

(Εικ. 57):

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Στην περίπτωση του οπλισμένου σκυροδέματος τα βλαπτικά συστατικά μπορούν να βρίσκονται και μεταξύ (α) και (β) ορίου ή μεγαλύτερου από το (β) για κάποιες από τις ουσίες, μόνο όταν υπάρχει ανάλογη εμπειρία ή το επιτρέψουν οι δοκιμές.

Όταν πρόκειται για προεντεταμένο σκυρόδεμα τα παραπάνω όρια είναι σημαντικά αυστηρότερα. Στ ο άοπλο σκυρόδεμα το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν τα ποσοστά είναι μικρότερα από το (β).

Στην περίπτωση περιεκτικότητας μεγαλύτερης από το (β), μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό τον όρο της εμπειρίας ή τον όρο των δοκιμών.

Η χρήση του θαλασσινού νερού απαγορεύεται για την Παρασκευή οπλισμένου σκυροδέματος, εκτός αν αυτό είναι αναπόφευκτο και επιτρέπεται από την φύση του έργου.

Θα πρέπει να προβλέπεται στην σύμβαση του έργου και να περιγράφονται τα αναγκαία πρόσθετα μέτρα που πρέπει να ληφθούν.

Η χρήση θαλασσινού νερού θα πρέπει να εγκρίνεται από την ελέγχουσα Δημόσια Αρχή.

Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα απαγορεύεται η χρήση του ρητός.

Στην περίπτωση φέροντος άοπλου σκυροδέματος πρέπει η αντοχή να αυξηθεί κατά 15%

Επίσης η χρησιμοποίηση του αποσταγμένου νερού απαγορεύεται



(Εικ. 58): Πόσιμο Νερό

Δ.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ^{[11],[12],[13],[38],[41]}

Δ.1.1 Το πορώδες (Porosity) ^{[11],[38]}

Το σκυρόδεμα, όπως και οι φυσικοί λίθοι, δεν είναι υλικό απόλυτα συμπαγές και πλήρες, αλλά περιέχει πλήθος από μικροσκοπικές και μακροσκοπικές κοιλότητες. Οι κοιλότητες αυτές είναι κενές από στερεό υλικό, γι' αυτό ονομάζονται και πόροι ή κενά.

Το σύνολο αυτών των κοιλοτήτων ονομάζουμε πορώδες του σκυροδέματος. Οι κοιλότητες αυτές μπορεί να περιέχουν αέρα ή να είναι γεμάτες νερό.

Ανάλογα με την προέλευση τους διακρίνονται σε κατηγορίες. Έτσι υπάρχουν:

- A) Πόροι των αδρανών υλικών, δηλαδή πόροι των κόκκων των σκύρων και της άμμου.
- B) Πόροι που δημιουργούνται από τον εγκλεισμό φυσαλίδων από 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 των κόκκων, λόγω της εξιδρώσεως του μείγματος.
- E) Μακροσκοπικές κοιλότητες που προέρχονται από κακή συμπίκνωση.
- Στ) Τριχοειδή κενά δημιουργημένα μετά τις μικρορηγματώσεις που οφείλονται στις συστολές του τσιμεντοκονιάματος ή και στις εξωτερικές καταπονήσεις.

Χαρακτηριστικά ενός υλικού είναι :

- 1) Το **συνολικό πορώδες**:
(το συνολικό πορώδες προσδιορίζεται με βρασμό του υλικού για πέντε λεπτά 5' και στη συνέχεια με παραμονή του μέσα στο νερό για 24 ώρες)

$$\eta = \frac{V_P}{V_T} = \frac{(V_{ολ} - V_s)}{V_{ολ}} = \frac{(\rho_s - \rho_{φ})}{\rho_s}$$

Δηλαδή ο λόγος των κενών προς τον ολικό φαινόμενο όγκο και

- 2) Ο **βαθμός συμπτκνώσεως**

$$\frac{(V_s)}{V_{ολ}} = \frac{(\rho_{\varphi})}{\rho_s}$$

Στις παραπάνω σχέσεις παριστάνουν:

V_s = ο όγκος της στερεάς ύλης δηλαδή ο απόλυτος όγκος του υλικού

$V_{ολ}$ = ο φαινόμενος όγκος του υλικού δηλαδή ο ολικός όγκος

ρ_{φ} = $G / V_{ολ}$ το φαινόμενο ειδικό βάρος

ρ_s = G / V_s το απόλυτο ειδικό βάρος

G = το βάρος

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

Το πορώδες του σκυροδέματος επηρεάζει κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητες του:

1. Την χρόνια συστολή
2. Τον ερπυσμό
3. Την υδαταπορροφητικότητα
4. Την υδατοστεγανότητα
5. Την ανθεκτικότητα του υλικού στον παγετό
6. Την αντοχή

$$\beta = \beta_s \frac{\rho_{\varphi}}{\rho_s}$$

β_s = είναι η αντοχή της στερεάς μζας

Δεδομένου ότι η μετάδοση των δυνάμεων γίνεται μέσα από τον στερεό ιστό του υλικού.

Γενικά : Όσο το μέγεθος των κενών χώρων είναι μικρότερο, όσο το σχήμα τους πλησιάζει το σφαιρικό και όσο η κατανομή τους γίνεται πλέον ομοιόμορφη μέσα στην μάζα, τόσο οι ιδιότητες του σκυροδέματος βελτιώνονται

Για να μειωθεί το πορώδες πρέπει :

Πίνακας 28: Τρόποι μείωσης του πορώδους για το σκυρόδεμα

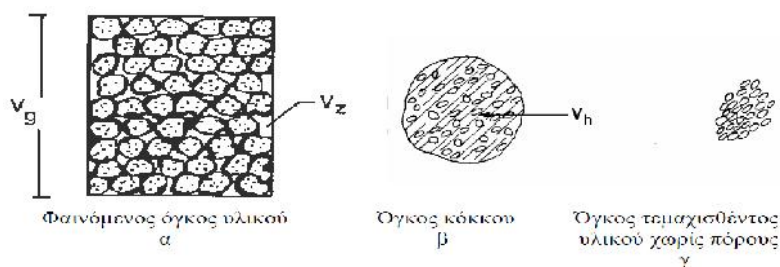
Τρόποι μείωσης	
1.	Να μειωθεί η ποσότητα του νερού αναμίξεως, ώστε να μειωθούν τα κενά που θα προκύψουν από την εξάτμιση του πλεονάζοντος νερού.
2.	Να έχουμε πυκνή δομή αδρανών υλικών δηλαδή η κοκκομετρική γραμμή του μίγματος των αδρανών υλικών να βρίσκεται στην άριστη περιοχή
3.	Να έχουμε καθαρά αδρανή υλικά διότι έτσι η τσιμεντοκονία θα προσκολλάται πάνω τους, καλλίτερα.
4.	Το νωπό σκυρόδεμα να συμπυκνώνεται με επιμέλεια.
5.	Να εφαρμόζουμε τα προβλεπόμενα κατά την διάρκεια της πήξεως και σκληρύνσεως, σχετικά με την συντήρηση του νεαρού υλικού

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

Μέσα από τα κενά της μάζας του σκυροδέματος διέρχεται το νερό. Η ταχύτητα κυκλοφορίας του νερού και η ποσότητα που διέρχεται εξαρτώνται από το πλήθος και το σχήμα των κενών και από τις ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων των δύο υλικών (νερού – σκυροδέματος). Οι δυνάμεις έλξεως ή απώσεως εξαρτώνται από το είδος του υγρού και την κατάσταση στην οποία ευρίσκεται. Έτσι π.χ. για την περίπτωση των υδρατμών οι δυνάμεις αυτές είναι μηδενικές

Επίσης το πορώδες μπορεί να προσδιοριστεί εάν σε ένα δείγμα (δοκίμιο) μετρηθούν οι τιμές δύο εκ των παραμέτρων V_p , V_s ή V_T τα δείγματα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις είναι γεωμετρικής μορφής, συνήθως κυλινδρικής, με επιφάνεια από 4 -12 cm² και μήκος 2 – 5 cm.

Μέτρηση του φαινόμενου (ολικού όγκου), V_T ή V_g



(Εικ. 59): Σχεδιαστική ανάλυση φαινόμενου όγκου υλικού

V_g = ο συνολικός όγκος του υλικού με όλα τα κενά

V_z = ο όγκος των κενών μεταξύ των κόκκων και

V_h = ο όγκος των κενών των κόκκων (Εικ. 59)

α) πραγματική πυκνότητα $\rho = \frac{m}{V_g - V_z - V_h}$

β) Φαινόμενη πυκνότητα $\rho_R = \frac{m}{V_g - V_z}$

γ) Ελάχιστη φαινόμενη πυκνότητα $\rho_S = \frac{m}{V_g}$

Για την μέτρηση του ολικού όγκου δοκιμίου χρησιμοποιούνται διάφορες μεθοδολογίες:

- Η τιμή του V_T μπορεί να προσδιοριστεί μέσω της γεωμετρίας του δείγματος με ακριβή μέτρηση της διαμέτρου και του μήκους του:

$$V_T = \frac{(\pi d^2 h)}{4}$$

- Χρησιμοποιείται συσκευή (Εικ. 60), αποτελούμενη από ένα πλαίσιο [C], το οποίο μέσω ράβδου συνδέεται με φλοτέρ [F] που βρίσκεται σε δοχείο που περιέχει υδράργυρο. Ενδεικτική ακίδα [R] η οποία προσαρμόζεται επί της ράβδου (Σχήμα 1). Το δείγμα τοποθετείται επί ενός δίσκου ο οποίος κρεμάται κάτω από το πλαίσιο, μαζί με ένα βάρος [P_1] τόσο, όσο η ακίδα να έρθει σε επαφή με την επιφάνεια του υδραργύρου. Ακολούθως, το δείγμα κρεμάται από το άγκιστρο του φλοτέρ, όπου εμβαπτίζεται στον υδράργυρο και βάρος [P_2] τοποθετείται στο δίσκο έως ότου ξανά η ακίδα έρθει σε επαφή με την επιφάνεια του υδραργύρου. Ίσα βάρη προκαλούν ίση μετατόπιση της ακίδας, επομένως, αν [B] είναι το βάρος του δείγματος, θα ισχύει:

$$B + P_1 = (B - V_T \rho_g) + P_2$$

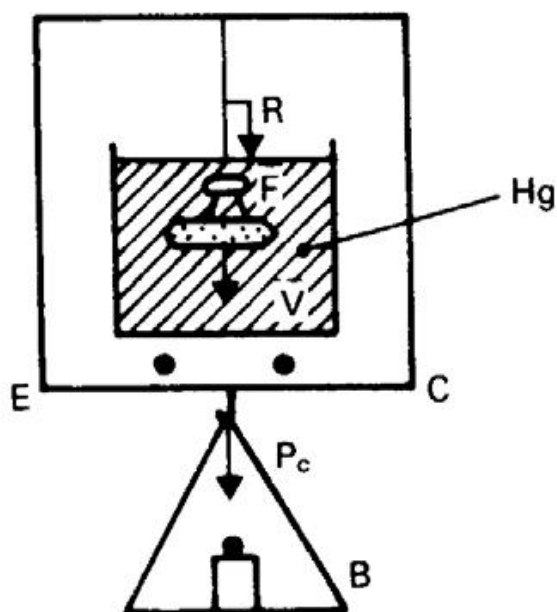
Κατά την δεύτερη μέτρηση το βάρος του δείγματος έχει ελαττωθεί κατά την άνοση που δέχεται από τον υδράργυρο

Επομένως η τιμή του V_T θα είναι:

$$V_T = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho_{Hg}}$$

Ο υδράργυρος έχει το μειονέκτημα της τοξικότητας. Λόγω όμως της υψηλής επιφανειακής του τάσης δεν εισέρχεται στους πόρους και έτσι αποφεύγονται

επιπρόσθετες εργασίες οι οποίες ακολουθούνται σε άλλες χρησιμοποιούμενες διατάξεις. Εν τούτοις, σε δείγματα που φέρουν ρωγματώσεις, σχισμές ή μεγάλου μεγέθους πόρους δεν μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος αυτή.



(Εικ. 60): πειραματική διάταξη για την μέτρηση του πορώδους

Παραλλαγή της ανωτέρω μεθόδου είναι η τοποθέτηση του δείγματος σε κελί γνωστού εσωτερικού όγκου το οποίο συνδέεται με αντλία υδραργύρου που καλύπτει το κελί (γνωστός όγκος) και του μετρούμενου, δίδει τον όγκο του δείγματος.

- Το δείγμα υπερεπληρούτε με νερό. Το κορεσμένο δείγμα βυθίζεται σε δοχείο με νερό. Πριν και μετά τη βύθιση μετράται το βάρος του δοχείου με το νερό. Η διαφορά των βαρών αυτών δίνει το βάρος του εκτοπισμένου νερού, το οποίο διαιρούμενο με την πυκνότητα του νερού παρέχει τον ολικό όγκο του δείγματος.

Μέτρηση του όγκου των κόκκων του δείγματος, V_s

Καθαρό ξηρό δείγμα τοποθετείται μέσα σε υποδοχή γνωστού όγκου [V]. Δοχείο γνωστού όγκου [V_1] περιέχει αέριο υπό πίεση [P_1] (περίπου 100 psi) και συνδέεται με την υποδοχή μέσα στην οποία εμπεριέχεται το δείγμα. Η βαλβίδα που ενώνει το δοχείο και την υποδοχή ανοίγει, το αέριο εκτονώνεται και η πίεση [P_2] αποκαθίσταται σε όλο το σύστημα.

Σύμφωνα με το νόμο του Boyle ισχύει:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Εάν την εξίσωση αυτή την εφαρμόσουμε στις συνθήκες της μέτρησης, θα ισχύει:

$$P_1 V_1 = P_2 [V_1 + (V - V_S)]$$

Ο όγκος που καταλαμβάνει το αέριο στη δεύτερη φάση είναι ο όγκος του δοχείου, συν τον όγκο της υποδοχής αφαιρούμενου του όγκου του δείγματος κατά το μέρος των κόκκων, διότι οι πόροι καταλαμβάνονται από το αέριο.

Επομένως της στερεάς ύλης V_S θα είναι :

$$V_S = \frac{[P_2 V_1 + P_2 * V - P_1 V_1]}{P_2}$$

Είναι προτιμότερο το αέριο που χρησιμοποιείται να είναι ήλιον διότι τα μόρια του είναι πολύ μικρά και μπορούν να εισχωρήσουν σε μικρούς και στενά συνδεδεμένους μεταξύ των πόρους

Μέτρηση του όγκου των πόρων του δείγματος, V_p

Η μέτρηση εκτελείται απ' ευθείας, προσδιορίζοντας τον όγκο του ρευστού (αέρα, αλμυρού νερού ή υδραργύρου) το οποίο πιέζεται στο δείγμα. Στην περίπτωση χρήσης υδραργύρου, το ρευστό ποτέ δεν καλύπτει όλο τον όγκο των πόρων, με αποτέλεσμα η μέτρηση να ενέχει κάποιο βαθμό αναξιπιστίας.

Τελευταία, εφαρμόζεται και μια ειδική, όπως χαρακτηρίζεται, μέθοδος, η οποία βασίζεται στην άθροιση των ρευστών (summation of fluids) που εμπεριέχονται στο δείγμα. Θεωρείται ότι ο συνολικός διαθέσιμος όγκος πόρων είναι δυνατόν, στην μέγιστη περίπτωση, να καταλαμβάνεται από νερό, αέριο και πετρέλαιο. Χρησιμοποιούνται δύο δοκίμια, εκ των οποίων το πρώτο, βάρους 100 gr, λιοτριβείται σε τεμαχίδια διαμέτρου $\frac{1}{4}$ ". τα τρίμματα θερμαίνονται, το νερό και το πετρέλαιο που περιέχονται εξατμίζονται και τα οποία στην συνέχεια συμπυκνώνονται και συλλέγονται σε βαθμονομημένο σωλήνα (Σχήμα 2). Ο όγκος του πετρελαίου και του νερού μετρώνται και καταγράφονται ως $[V_o]$ και $[V_w]$ αντίστοιχα (όγκος πετρελαίου ή νερού ανά μονάδα όγκου του δείγματος).

Το δεύτερο δείγμα, βάρους 30 gr, ζυγίζεται, ο ολικός του όγκος V_T μετράται με την χρήση αντλίας υδραργύρου και υπολογίζεται η πυκνότητά του (ρ). Στη συνέχεια η πίεση του υδραργύρου αυξάνει περίπου στα 1000 psi. Υπό την πίεση αυτή ο υδράργυρος εκτοπίζει το αέριο από τους πόρους καταλαμβάνοντας τον όγκο των κενών.

Εάν ο χειρισμός και η φύλαξη των δειγμάτων έχει γίνει σωστά, οι μικροί πόροι του δείγματος παραμένουν κατειλημμένοι από νερό και πετρέλαιο και στους πόρους αυτούς αδυνατεί να

εισχωρήσει υδράργυρος λόγω της μεγάλης επιφανειακής τάσης του. Επομένως, μόνο οι πόροι με αέριο προσβάλλονται και εκτοπίζονται. Ο όγκος του εκτοπιζόμενου αερίου (V_g) θα είναι ίσος με τον όγκο του υδραργύρου που καταλαμβάνει το κενό τους. Όλοι οι όγκοι, αναφέρονται σε ίδιες συνθήκες πίεσης.

Το άθροισμα των όγκων των ρευστών αυτών στη μονάδα όγκου του δείγματος αποτελεί τον όγκο των πόρων. Βεβαίως, ο όγκος αυτός δεν ανταποκρίνεται απόλυτα στην πραγματικότητα.

Δ.1.2 Μέτρηση του ειδικού βάρους του δείγματος, ρ_s ή γ' (Specific gravity) [13],[14],[15]

Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν με δύο τρόπους

- Ειδικό βάρος ενός δοκιμίου ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του σε ξηρή κατάσταση προς τον όγκο των στερεών συστατικών του. Ο υπολογισμός του ειδικού βάρους ενός δείγματος ή πετρώματος γίνεται σύμφωνα με την εξής σχέση:

$$\gamma' = \frac{W_{\xi} \cdot \gamma_v}{W_{\xi} - W'_v}$$

W_{ξ} = είναι το βάρος του δοκιμίου μετά από ξήρανση στους 110°C,

W'_v = είναι το βάρος του δοκιμίου υπό άνωση μέσα στο νερό και

γ_v = είναι το ειδικό βάρος του νερού στη θερμοκρασία του πειράματος

- Επίσης, είναι δυνατόν να υπολογισθεί με την μέθοδο του πυκνόμετρου, όπου εντελώς ξηρή σκόνη από το δείγμα ψήνεται στους 105°C για 24 ώρες. Τότε ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\gamma' = \frac{W_{\xi} * \gamma_v}{W'_{\xi} + W'_{\pi v} - W'_{\pi s v}}$$

W_{ξ} = το βάρος της ξηρής σκόνης

$W'_{\pi v}$ = το βάρος του πυκνόμετρου γεμάτο με νερό

$W'_{\pi s v}$ = το βάρος του πυκνόμετρου με σκόνη και νερό

γ_v = είναι το ειδικό βάρος του νερού στη θερμοκρασία του πειράματος

Δ.1.3 Μέτρηση του φαινόμενου βάρους, ρ_w ή γ_w (Apparent specific gravity) [38]

Το φαινόμενο βάρος ενός δοκιμίου είναι το βάρος του δοκιμίου σε ξηρή κατάσταση στη μονάδα του όγκου. Όταν το δοκίμιο είναι συμπαγές είναι προφανές ότι το ειδικό βάρος και το φαινόμενο βάρος θα έχουν μικρή διαφορά. Αντιθέτως η διαφορά είναι μεγάλη όταν το δοκίμιο ή το πέτρωμα είναι πορώδες.

Το φαινόμενο βάρος προσδιορίζεται με δύο τρόπους:

- Με την βοήθεια πυκνόμετρου που έχει γνωστό όγκο. Έπειτα στο υάλινο αυτό δοχείο τοποθετείται το δοκίμιο, αφού προηγουμένως βυθισθεί μέσα σε υγρή παραφίνη και καλυφθεί με ένα στεγανό υμένα από αυτή.

Το φαινόμενο βάρος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\gamma_w = \frac{W_{\text{πετ}} * \gamma_v}{W'_{\text{πν}} + W'_{\text{παρ}} + W'_{\text{ππν}} - W'_{\text{παρ}} \frac{\gamma_v}{\gamma_{\pi}} - 1}$$

$W'_{\text{πετ}}$ = είναι το βάρος του δοκιμίου

$W'_{\text{πν}}$ = είναι το βάρος του πυκνόμετρου γεμάτο με νερό

$W'_{\text{ππν}}$ = είναι το βάρος του πυκνόμετρου με το παραφινωμένο δοκίμιο και γεμάτο με νερό.

$W'_{\text{παρ}}$ = είναι το βάρος της παραφίνης

γ_v = είναι το ειδικό βάρος του νερού

γ_{π} = είναι το ειδικό βάρος της παραφίνης (8.78 KN/m³)

- Ο άλλος τρόπος προσδιορισμού του φαινόμενου βάρους είναι η αρχική ζύγισή του σε ξηρή κατάσταση και σε θερμοκρασία δωματίου, έπειτα η τοποθέτησή του μέσα σε νερό για όσο χρόνο χρειάζεται μέχρι να κορεσθεί πλήρως και να μην αυξάνει πρακτικώς το βάρος του και έπειτα η ζύγισή του αρχικά στον αέρα και έπειτα υπό άνωση βυθισμένο μέσα στο νερό.

Τότε το φαινόμενο βάρος υπολογίζεται από την σχέση:

$$\gamma_w = \frac{W'_{\xi}}{W'_v - W'_a}$$

W_{ξ} = είναι το βάρος του ξηρού δείγματος στον αέρα

W'_{ν} = είναι το βάρος του κορεσμένου με νερό δείγμα στον αέρα και

W'_{α} = είναι το βάρος του κορεσμένου με νερό δείγμα υπό άνωση

Λόγος κενών (e)

Ο λόγος κενών ενός πετρώματος ή δοκιμίου ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών προς τον όγκο των στερεών συστατικών του και χρησιμοποιείται η συσκευή μέτρησης (Εικ. 61), δηλαδή:

$$e = \frac{V_{\kappa}}{V - V_{\kappa}}$$

V_{κ} = είναι ο όγκος των κενών και

V = είναι ο συνολικός όγκος του δείγματος ή του δοκιμίου

Η σχέση μεταξύ του λόγου κενών και του πορώδους είναι η ακόλουθη:

$$e = \frac{\eta}{1 - \eta}$$

ή

$$\eta = \frac{e}{1 + e}$$



(Εικ. 61): : Συσκευή μέτρησης Ειδικού Βάρους και Φαινόμενου Βάρους δοκιμίου)

Δ.1.4 Υδαταπορροφητικότητα ή Υδροαπορροφητικότητα (Water absorption) και Υδατοπερατότητα (Water permeability) [15],[16],[25]

Η διέλευση του νερού δια μέσου του σκυροδέματος πραγματοποιείται μέσα από τα διάκενα, δηλαδή τους πόρους, τις ρωγμές και τα τριχοειδή του υλικού. Η ποσότητα και η ταχύτητα με την οποία περνά το νερό δεν εξαρτώνται μόνο από το πλήθος και το σχήμα των διόδων, αλλά και από τις δυνάμεις έλξεως ή απώσεως ανάμεσα στα μόρια του νερού και του σκυροδέματος. Οι δυνάμεις αυτές είναι διαφορετικές στην περίπτωση διελεύσεως άλλου είδους υγρού. Στην περίπτωση των υδρατμών οι δυνάμεις αυτές π.χ. είναι μηδενικές.

Υδαταπορροφητικότητα ή Υδροαπορροφητικότητα (Εικ. 62), είναι η ικανότητα του υλικού να απορροφά νερό χωρίς εξωτερική πίεση.

Ορίζουμε τον λόγο : $A = \frac{B_w}{B_0}$

B_w = είναι το βάρος του νερού που απορροφήθηκε μετά από 24ωρη παραμονή μέσα στο νερό και

B_0 = είναι το βάρος του στεγνού σώματος αρχικά

Χαρακτηριστικά μεγέθη της υδαταπορροφητικότητας είναι :

- Η ταχύτητα αναρροφήσεως


Είναι ο λόγος της ποσότητας του νερού που αναρροφά το υλικό δια του χρόνου και της επιφάνειας, σε [gr/cm².min]

- Το βάθος διεισδύσεως

Είναι ο λόγος του βάθους στο οποίο εισδύει το νερό δια του χρόνου που χρειάστηκε, σε [cm/sec]

2. Υδροαπορροφητικότητα

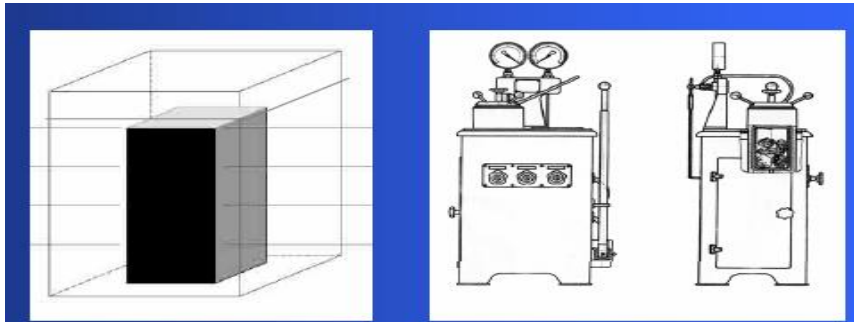
- Υδροαπορροφητικότητα είναι η ικανότητα των υλικών να απορροφούν νερό.
- Η υδροαπορροφητικότητα, W , δίνεται από τη σχέση :
$$W = m_w - m_i$$
- όπου είναι: m_w η μάζα του κορεσμένου υλικού και m_i η μάζα του υλικού μετά από πλήρη ξήρανση στους 105 °C.



(Εικ. 62): Ορισμός και η μαθηματική σχέση της Υδροαπορροφητικότητας

Υπάρχουν δύο τρόποι ελέγχου της υδροαπορροφητικότητας των υλικών :

- Φυσικός έλεγχος (σταδιακός κορεσμός των δοκιμών του υλικού μέσα σε δοχείο με νερό), (Εικ. 63)
- Μηχανικός έλεγχος (συσκευής υδροαπορρόφησης), (Εικ. 64)



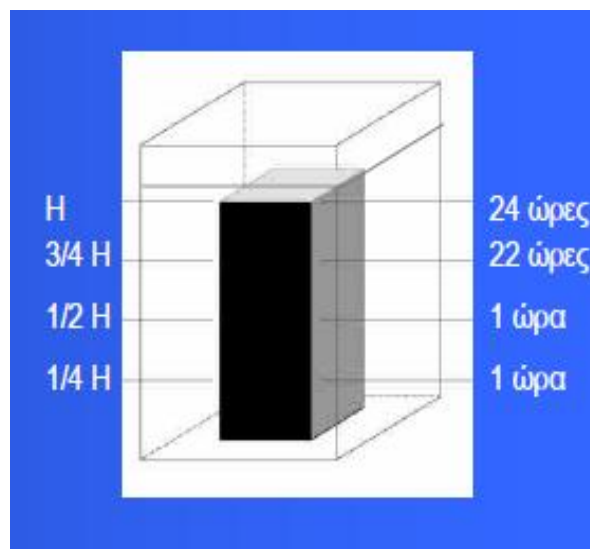
(Εικ. 63): Φυσικός Έλεγχος
(Σταδιακός Κορεσμός)

(Εικ. 64): Μηχανικός Έλεγχος
(Συσκευή Υδροαπορρόφησης)

Φυσικός Έλεγχος (Σταδιακός Κορεσμός)

Γενικά:

Ο προσδιορισμός της υδροαπορροφητικότητας των υλικών γίνεται με την τοποθέτηση κατάλληλων δοκιμών του υλικού μέσα σε δοχείο με νερό (Εικ. 65) , όπου το ύψος του νερού μέσα στο δοχείο αυξάνει σταδιακά, μέχρις ότου υπερκαλύψει τα δοκίμια



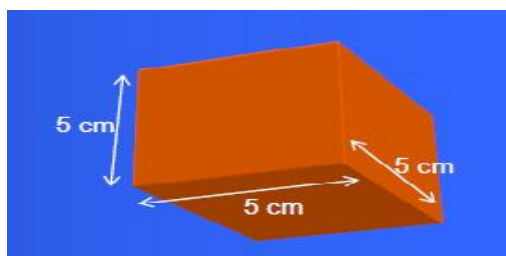
(Εικ. 65): Τρόπος υδροαπορροφητικότητας με φυσικό έλεγχο

Συσκευή :

Κατάλληλο μεταλλικό ή πλαστικό δοχείο μέσα στο οποίο τοποθετούνται τα δοκίμια του εξεταζόμενου υλικού και γίνεται ο έλεγχος σύμφωνα με τον αντίστοιχο κανονισμό

Δοκίμια:

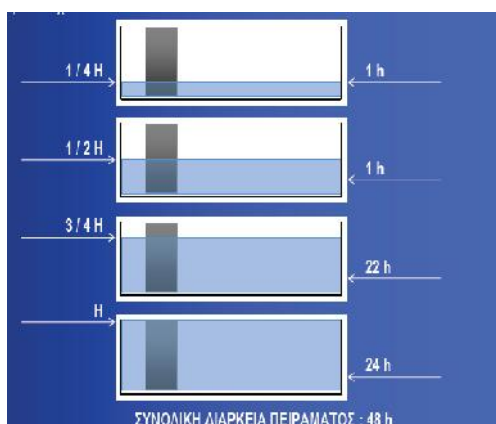
- Κυβικό σχήμα ως συνήθως αλλά όχι απαραίτητα.
- Να είναι ομοιόμορφα.
- Διαστάσεις : περίπου 5x5x5 cm. (Εικ. 66)
- Έλεγχος για 3 ÷ 5 δοκίμια για μεγαλύτερη ακρίβεια προσδιορισμού της υδροαπορροφητικότητας του υλικού



(Εικ. 66): Διαστάσεις κυβικού σχήματος δοκιμίου

Πειραματική διαδικασία

- Αποξήρανση των δοκιμίων σε θερμοκρασία 105 °C, μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους τους.
- Προσδιορισμός της μάζας m_1 , σε gr, με ακρίβεια $\pm 0,1\%$ σε ξηρή κατάσταση
- Βύθιση στο δοχείο. (Εικ. 67)



(Εικ. 67): Πειραματική διαδικασία σταδιακού κορεσμού

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

- Συμπλήρωση διαδικασίας:
Σκούπισμα → Ζύγισμα → Προσδιορισμός του βάρους των δοκιμίων.
- Επανάληψη διαδικασίας κάθε 24 ώρες μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους των δοκιμίων
- Σταθεροποίηση του βάρους :
 - a) 2 διαδοχικές μετρήσεις να δίνουν την ίδια τιμή βάρους
 - b) Τα δοκίμια έχουν κορεστεί με νερό → Προσδιορισμός της κορεσμένης μάζας των δοκιμίων, m_w , σε gr.
- Υπολογισμός της ποσότητας του νερού την οποία απορρόφησαν τα δοκίμια, ώστε να κορεστούν υπό ατμοσφαιρική πίεση

$$A = \pi_w - \pi_t$$

A = είναι η ποσότητα του νερού που απορροφήθηκε [σε gr]

π_w = είναι η κορεσμένη μάζα

π_t = είναι η μάζα σε ξηρή κατάσταση

- Υπολογισμός του αντίστοιχου ποσοστού κατά όγκο του νερού που απορρόφησαν τα δοκίμια:

$$A_g = \frac{\pi_w - \pi_t}{\pi_t} \times 100$$

Μηχανικός Έλεγχος (Συσκευή Υδροαπορρόφησης)

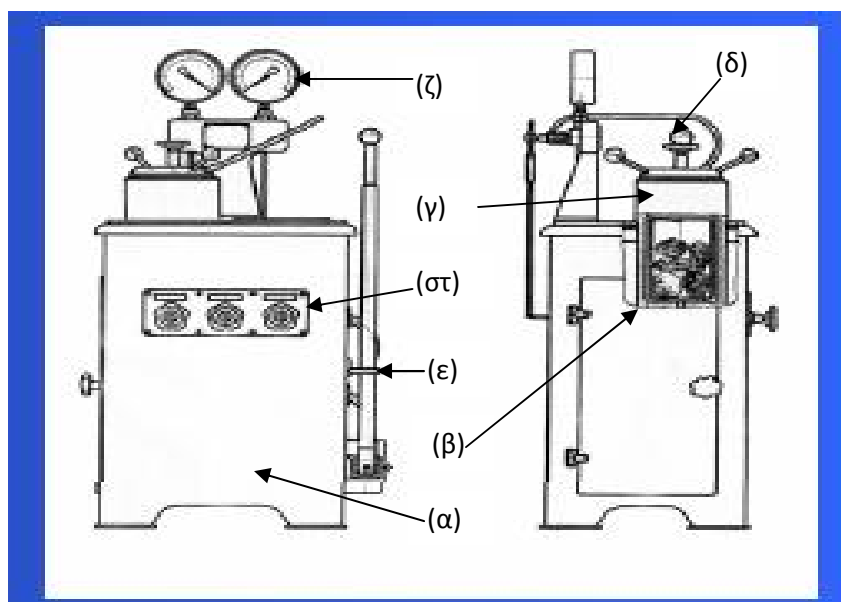
Γενικά

- Τα δοκίμια τοποθετούνται σε ειδικό, δικτυωτό μεταλλικό καλάθι.
- Το μεταλλικό καλάθι τοποθετείται σε ειδική θέση της συσκευής υδροαπορρόφησης
- Η ειδική θέση γεμίζεται με αποσταγμένο νερό.
- Η πίεση μεταβάλλεται σταδιακά κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Συσκευή (Εικ. 68), (Εικ. 69)



(Εικ. 68): Ο μηχανισμός της συσκευής Υδροαπορρόφησης



(Εικ. 69): Η συσκευή υδροαπορρόφησης αποτελείται από:

- Σιδερένια βάση (α)
- Στο πάνω μέρος της βάσης βρίσκεται η χαλύβδινη κεφαλή πίεσης, που έχει εσωτερική διάμετρο 160 mm και χρήσιμο βάθος 250 mm
- Στην σχηματιζόμενη κοιλότητα τοποθετείται ειδικό καλάθι από δικτυωτό συρματόπλεγμα μέσα στο οποίο βρίσκονται τα δοκίμια του υλικού που πρόκειται να εξεταστεί (β)
- Η κεφαλή πίεσης κλείνει αεροστεγώς με κάλυμμα διαμορφωμένο σε σχήμα εμβόλου (γ)

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

- Η στεγανότητα μεταξύ κεφαλής και καλύμματος επιτυγχάνεται με στρογγυλό δακτυλιοειδές παρέμβυσμα
- Στο κέντρο της κεφαλής είναι προσαρμοσμένη η βαλβίδα εξαερισμού, η οποία, όταν είναι ανοικτή, χρησιμεύει για την εκκένωση της κεφαλής πίεσης και όταν είναι κλειστή για την δημιουργία ελαττωμένης πίεσης στο εσωτερικό της κεφαλής. (δ)
- Ο χώρος τοποθέτησης των δοκιμίων γεμίζεται με αποσταγμένο νερό με την βοήθεια ειδικής αντλίας από αποθήκη νερού, η οποία υπάρχει μέσα στη βάση της συσκευής και κάτω από την κεφαλή πίεσης.
- Η πίεση στο χώρο αυτό ρυθμίζεται με χειροκίνητη αντλία πίεσης, η οποία βρίσκεται στη μια πλευρά της συσκευής, ενώ η υπό-πίεση δημιουργείται με αντλία κενού, η οποία λειτουργεί με ροή νερού και η σύνδεσή της βρίσκεται στο πίσω μέρος της συσκευής. (ε)
- Στο εμπρός τμήμα της συσκευής υπάρχουν τρεις βαλβίδες για την ρύθμιση των συνθηκών πίεσης στο χώρο των δοκιμίων. (στ)
- Στο επάνω τμήμα της βάσης είναι προσαρμοσμένο το σύστημα των μανομέτρων με την βοήθεια των οποίων ελέγχεται η πίεση στο χώρο των δοκιμίων. (ζ)

Δοκίμια

- ❖ Τουλάχιστον 5 δοκίμια.
- ❖ Ισομεγέθη.
- ❖ Όγκος δοκιμίων 50 cm^3
- ❖ Καλός καθαρισμός και αφαίρεση χαλαρών τμημάτων με κατάλληλη βούρτσα

Πειραματική διαδικασία

- ✚ Αποξήρανση των δοκιμίων σε θερμοκρασία 105°C , μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους τους.
- ✚ Προσδιορισμός της μάζας m_i σε ξηρή κατάσταση και σε μονάδες gr, με ακρίβεια $\pm 0,1\%$.
- ✚ Τοποθέτηση των δοκιμίων σε ειδικό καλάθι.
- ✚ Τοποθέτηση του καλάθιού στην κοιλότητα της κεφαλής πίεσης.
- ✚ Γέμισμα της κοιλότητας με νερό
- ✚ Αντλία νερού → Ρύθμιση υπό-πίεσης στα 20 torr (20mmHg)
- ✚ Απαλλαγή από τον εξωτερικό αέρα και Σταθεροποίηση βάρους.
- ✚ Ρύθμιση της πίεσης στη 1 atm (760mmHg) (ατμοσφαιρική πίεση).
- ✚ Αντλία πίεσης → Ρύθμιση πίεσης στα 150 kg/cm^2 ($145 \text{ atm} / 110.352 \text{ mmHg}$).
- ✚ Σκούπισμα και προσδιορισμός της μάζας υπό πίεση 150 kg/cm^2 , $m_{w,150}$.

- ✚ Υπολογισμός της ποσότητας του νερού την οποία απορρόφησαν τα δοκίμια, ώστε να κορεστούν υπό πίεση 150 kg/cm^2

$$A_{150} = \pi_{w,150} - \pi_t$$

A_{150} = είναι η ποσότητα νερού που απορροφήθηκε ώστε να κορεστούν υπό πίεση 150 kg/cm^2

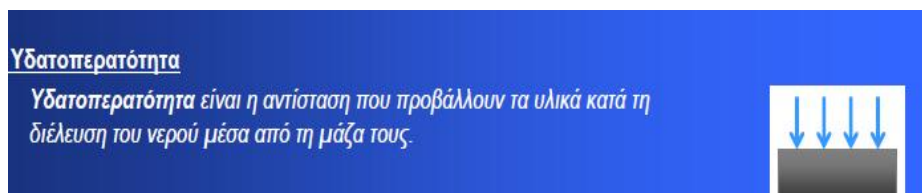
$\pi_{w,150}$ = είναι η κορεσμένη μάζα υπό πίεση 150 kg/cm^2

π_t = είναι η μάζα σε ξηρή κατάσταση

- ✚ Υπολογισμός του συντελεστή κορεσμού:

$$S = \frac{A_t}{A_{150}} = \frac{\pi_w - \pi_t}{\pi'_{w,150} - \pi_t}$$

Υδατοπερατότητα (Y ή Q) είναι η ικανότητα που έχει το νερό να περνά μέσα από το υλικό, όταν το νερό βρίσκεται υπό πίεση. (Εικ. 70)



(Εικ. 70): Ορισμός της υδατοπερατότητας

Η υδατοπερατότητα εξαρτάται από :

- Το πορώδες (διάταξη πόρων και βαθμός επικοινωνίας)
- Τη μέση διάμετρο των κενών και των τριχοειδών αγγείων
- Την υδροστατική πίεση
- Τη σύνθεση του νερού (καθαρό, με άλατα ή άλλες ουσίες)
- Τη θερμοκρασία (αύξηση της θερμοκρασίας = διαστολή των πόρων + μείωση του ιξώδους του νερού)

Τα πορώδη υλικά έχουν είτε ανοιχτούς, είτε κλειστούς πόρους (Εικ. 71)



(Εικ. 71): Απεικόνιση ανοικτών και κλειστών πόρων

Ως προς την υδατοπερατότητα, τα υλικά χωρίζονται σε:

- a. Υδατοπερατά
- b. Μη υδατοπερατά

Καθορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας του νερού που περνά δια της επιφάνειας και του χρόνου, για διαφορά πίεσεως 1 mm στήλης υδραργύρου

$$Y = \frac{N}{E \cdot t \cdot p} \left[\frac{gr}{cm^2} \cdot h \cdot 1 \text{ mm Hg} \right]$$

Y = Υδατοπερατότητα

N = Ποσότητα νερού

E = Επιφάνεια δοκιμίου

t = Χρόνος

p = Διαφορά πίεσεως 1 mm Hg

Συντελεστής υδραγωγιμότητας (u) ενός υλικού ονομάζεται η ποσότητα του γινομένου υδατοπερατότητας επί το πάχος του υλικού

$$u = Y \cdot \delta \left[\frac{gr}{m} \cdot h \cdot 1 \text{ mtr Hg} \right]$$

u = Συντελεστής υδραγωγιμότητας

Y = Υδατοπερατότητα

δ = πάχος υλικού

Στην πράξη, όμως χρησιμοποιείται το αντίστροφο της υδατοπερατότητας που ονομάζεται **αντίσταση στην υδατοπερατότητα ή υδατοστεγανότητα (K)**

$$K = \frac{\delta}{u} \left[\frac{m^2}{gr} \cdot h \cdot 1 \text{ mtr Hg} \right]$$

η υδατοπερατότητα ενός σύνθετου υλικού, δηλαδή η ποσότητα του νερού (Q) που περνά από ένα τετραγωνικό μέτρο του υλικού σε μία ώρα, όταν βρίσκεται υπό διαφορά πίεσεως p , είναι :

$$Q = \frac{\Delta p}{\frac{1}{\beta_1} + \Sigma \left(\frac{\delta}{u} \right) + \frac{1}{\beta_2}}$$

$\frac{1}{\beta_1}$ = συντελεστής εισόδου επιφάνειας υλικού

$\Sigma \left(\frac{\delta}{u} \right)$ = είναι το άθροισμα των αντιστάσεων των διαφόρων στρωμάτων του υλικού

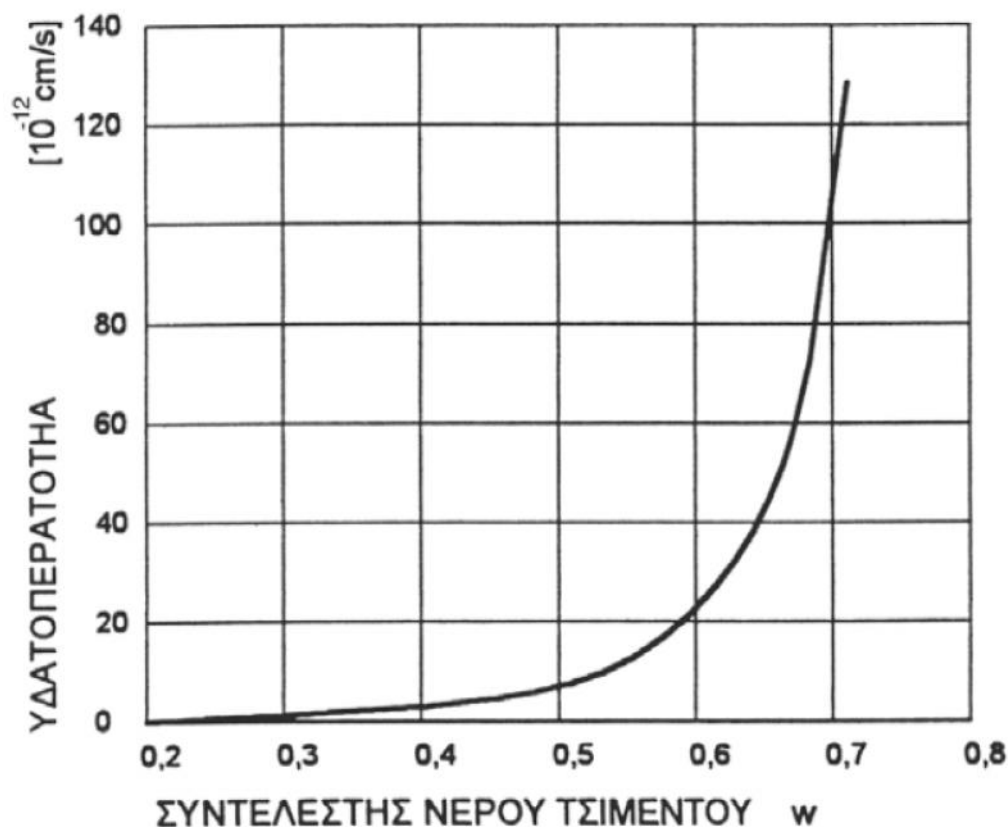
$\frac{1}{\beta_2}$ = συντελεστής εξόδου επιφάνειας υλικού

Παρατηρήσεις για την υδατοστεγανότητα του σκυροδέματος:

Η υδατοστεγανότητα της τσιμεντοκονίας είναι πάρα πολύ μεγάλη, σύμφωνα με το διάγραμμα (Εικ. 72), για μικρές τιμές του λόγου «νερό προς τσιμέντο» πλησιάζει την υδατοστεγανότητα του μαρμάρου.

Η υδατοστεγανότητα του σκυροδέματος είναι κατώτερη από την υδατοστεγανότητα του μαρμάρου. Η ατελής προσκόλληση του τσιμεντοπολτού επάνω στα αδρανή είναι η κύρια αιτία της ελάττωσης της υδατοστεγανότητας του σκυροδέματος. Κατά κύριο λόγο, όπως απέδειξαν

οι μικροσκοπικές παρατηρήσεις, ότι η διέλευση του νερού γίνεται από τις επιφάνειες των αδρανών και από τα διάκενα που βρίσκονται γύρω από αυτά.



(Εικ. 72): Διάγραμμα Υδατοπερατότητας και Συντελεστής νερού - τσιμέντου

Ενδεικτικό διάγραμμα της ταχύτητας αναρροφήσεως νερού ή υδατοπερατότητα που παρουσιάζει το τσιμεντοκονίαμα σε συνάρτηση του λόγου νερού/τσιμέντου ή συντελεστής νερού τσιμέντου w .

Δεύτερη κατηγορία δίδων για το νερό αποτελούν τα μακροσκοπικά κενά που δημιουργούνται από την ελλιπή συμπύκνωση, τη μη πλήρωση όλων των κενών μεταξύ των αδρανών από τσιμεντοκονία και από τις φυσαλίδες με αέρα που εγκλωβίζονται μέσα στην μάζα του σκυροδέματος κατά την ανάμειξη.

Μια άλλη κατηγορία, αποτελούν οι ρηγματώσεις που προέρχονται από τις συστολοδιαστολές του υλικού λόγω της ξηράνσεως, των θερμοκρασιακών μεταβολών ή άλλων αιτίων.

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Για το ολικό πορώδες και για την υδαταπορροφητικότητα του σκυροδέματος αναφέρονται οι ακόλουθες τιμές :

Πίνακας 29: τιμές ολικού πορώδες και υδαταπορροφητικότητα του σκυροδέματος

Ολικό πορώδες	(8 – 25)% και συνηθέστερα (10 – 13)%
Υδαταπορροφητικότητα	Κατά βάρος (2 – 9)% Κατά όγκο (4 – 12)%

Για την αύξηση της υδατοστεγανότητας του σκυροδέματος επιβάλλεται βασικά :

- Ο περιορισμός του πορώδους
- Η καλή κοκκομετρική διαβάθμιση με περίσσεια λεπτόκοκκου υλικού
- Περιορισμός του νερού αναμείξεως
- Καλή πρόσφυση αδρανών - τσιμεντοκονίας
- Καλή συμπύκνωση και τέλος
- Καλή συντήρηση για την αποφυγή ρηγματώσεως, κατά την πήξη και τις πρώτες ώρες της σκληρύνσεως

Για σκυρόδεμα **μειωμένης υδατοπερατότητας** , ο ΚΤΣ – 97 (παρ.12.3) προβλέπει ποσότητα τσιμέντου όχι μικρότερη από 350 kg/m^3 για αδρανή μεγίστου κόκκου 31,5 ή 1" και 400 kg/m^3 για αδρανή μεγίστου κόκκου 16 ή ½" .

Η κοκκομετρική καμπύλη του μείγματος των αδρανών μέσα στην υποζώνη Δ και κατά το δυνατόν στη μέση γραμμή της υποζώνης αυτής. Λόγο ($\omega=N/T$) όχι μεγαλύτερο από 0,58 για περιεκτικότητα τσιμέντου 350 kg/m^3 και 0,50 για περιεκτικότητα τσιμέντου 400 kg/m^3 .

Έλεγχος υδατοπερατότητας σε μη υδατοπερατά υλικά

Γενικά

Στα μη υδατοπερατά υλικά ο έλεγχος της υδατοπερατότητας γίνεται κυρίως σε:

- Συνήθη σκυροδέματα (όχι αυτά που χρησιμοποιούνται στα φράγματα)
- Δάπεδα
- Μωσαϊκά
- Φυσικούς λίθους
- κ.λπ.

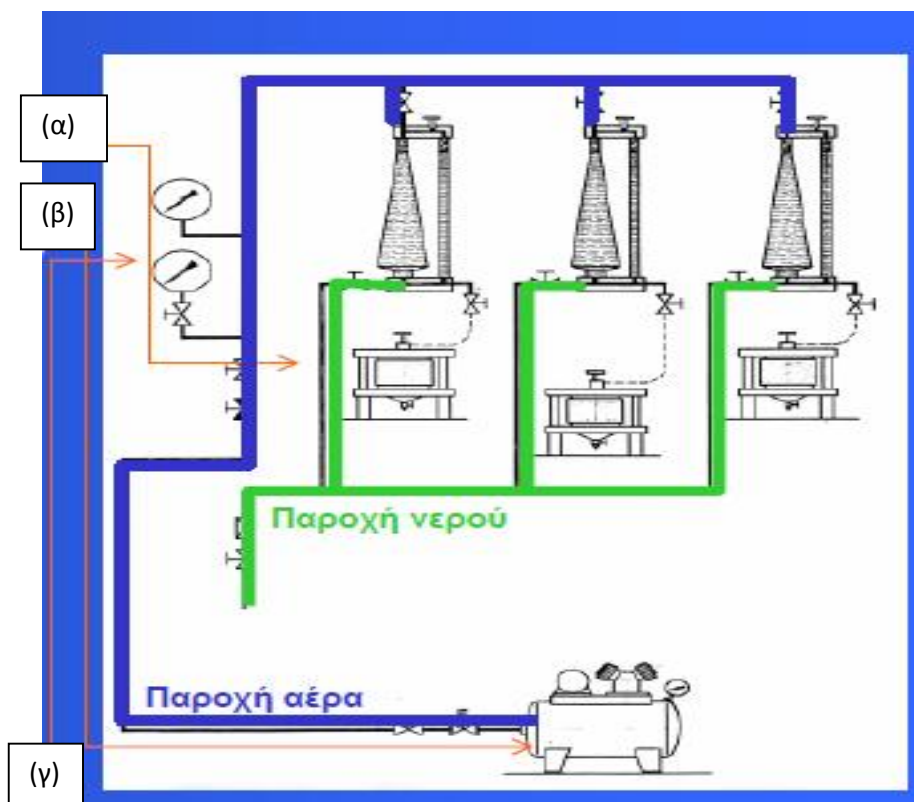


(Εικ. 73) : συσκευή υδατοπερατότητας

Συσκευή

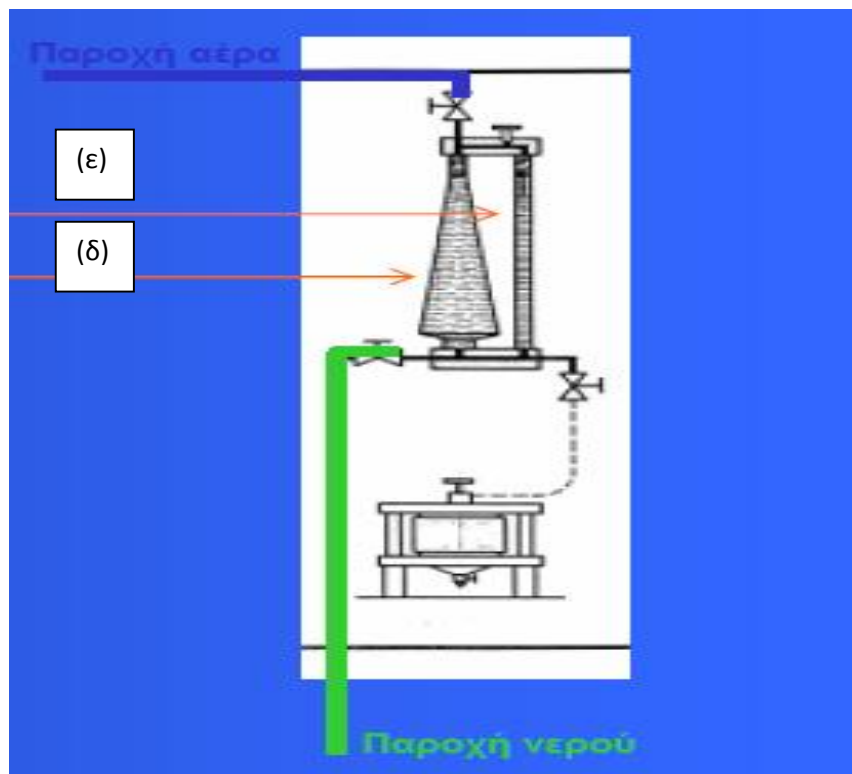
Η συσκευή υδατοπερατότητας (Εικ. 73), αποτελείται από:

- Μεταλλικά τράπεζα
- Τρία παράλληλα συγκροτήματα προσδιορισμού της υδατοπερατότητας (α) (Εικ. 74)
- Συγκρότημα συμπιεστή, που αποδίδει μέγιστη πίεση αέρα 10 kg/cm^2 και το οποίο βρίσκεται κάτω από την τράπεζα (β) (Εικ. 74)
- Παροχή νερού: από το δίκτυο ύδρευσης, με αγωγούς χρώματος πράσινου, με την βοήθεια διακόπτη εισροής και διακόπτη εκροής .
- Παροχή αέρα υπό πίεση: από τον αυτόματο αεροσυμπιεστή γίνεται με αγωγούς χρώματος μπλε, με την βοήθεια διακόπτη εισροής και βαλβίδας εξαέρωσης.
- Ρύθμιση υδροστατικής πίεσης: με σύστημα διακοπών και βαλβίδων από τον πίνακα ελέγχου.
- Έλεγχος υδροστατικής πίεσης: με την βοήθεια μανομέτρων (γ) (Εικ. 74)



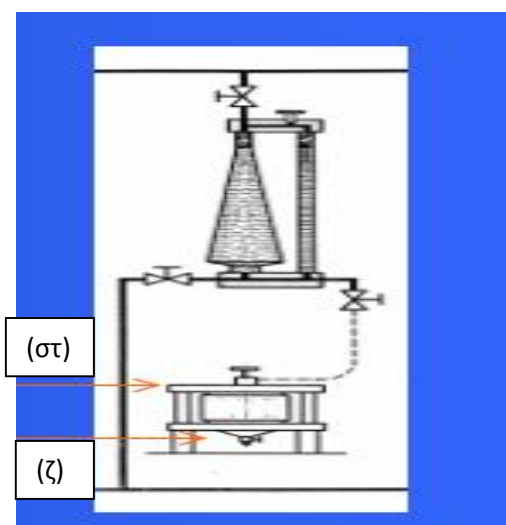
(Εικ. 74) : Σύστημα λειτουργίας τριών συσκευών υδατοπερατότητας

- Κάθε συγκρότημα = Σύστημα συγκοινωνούντων δοχείων, μεταξύ ενός μεταλλικού κωνικού δοχείου (δ) κι ενός υαλοσωλήνα μέτρησης υψηλής πίεσης (ε) (Εικ. 75)
- Ο υαλοσωλήνας μέτρησης :
 - a) Προστατεύεται με Plexiglas.
 - b) Φέρει βαθμονομημένη κλίμακα σε ml(cm^3), με την βοήθεια της οποίας προσδιορίζεται ο όγκος του περιεχόμενου νερού στο δοχείο.
- Κάθε δοχείο:
 - a) Έχει χωρητικότητα 1 lt (1000 cm^3)
 - b) Έχει κωνικό σχήμα που επιτρέπει να λαμβάνονται οι ενδείξεις στο βαθμολογημένο σωλήνα με πολύ μεγάλη ακρίβεια, ακόμα και όταν η υδατοπερατότητα του δοκιμίου είναι μικρή.



(Εικ. 75) : Διάγραμμα παροχής αέρα και νερό στο σύστημα

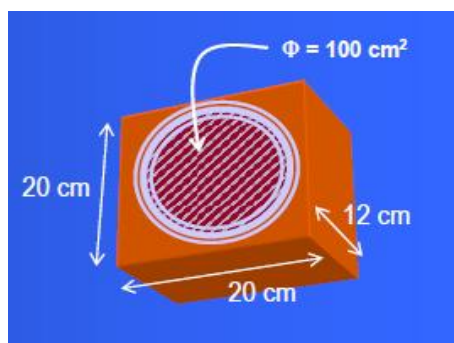
- Σε κάθε συγκρότημα υπάρχει κατάλληλα διασκευασμένη υποδοχή για την τοποθέτηση του εξεταζόμενου δοκιμίου.
- Πάνω και κάτω μέρος του δοκιμίου: τοποθετούνται ελαστικοί στεγανοποιητικοί δακτύλιοι.
- Πάνω μέρος δοκιμίου: τοποθετείται μεταλλικός δίσκος (στ), μέσα από τον οποίο γίνεται η παροχή του νερού υπό πίεση στο δοκίμιο, το οποίο συσφίγγεται στη θέση του με τρείς κοχλίες. (Εικ. 76)
- Κάτω μέρος: υπάρχει κωνικός συλλέκτης (ζ), για τη συγκέντρωση του διερχόμενου νερού από το δοκίμιο, κατά την διάρκεια της πειραματικής δοκιμασίας, από όπου και αποχετεύεται καταλλήλως. (Εικ. 76)



(Εικ. 76) : Παροχή και συλλέκτης νερού, Συσκευή υδατοπερατότητας τελευταίου τύπου)

Δοκίμια

- Διαστάσεις 200x200x120 mm (20x20x12 cm). (Εικ. 77)
- Επιφάνεια δοκιμασίας: η επιφάνεια του δοκιμίου, από την οποία διέρχεται το νερό υπό πίεση (επιφάνεια 100 cm², λόγω της τοποθέτησης του στεγανοποιητικού δακτυλίου).



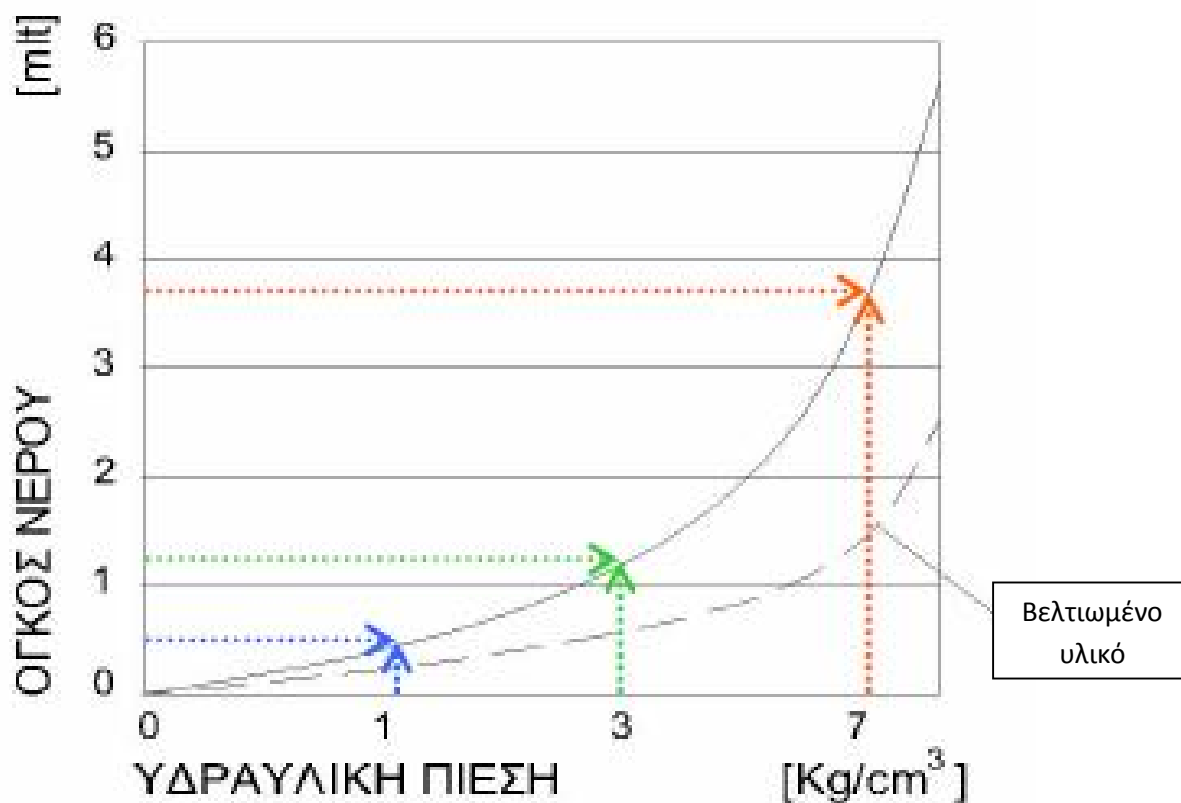
(Εικ. 77): Διαστάσεις δοκιμίων με επιφάνεια δοκιμασίας

Πειραματική διαδικασία

- Αποξήρανση των δοκιμίων σε θερμοκρασία 105 °C, μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους τους.
- Προσδιορισμός της εν ξηρώ μάζας m_i , σε gr, με ακρίβεια $\pm 0,1\%$.
- Τοποθέτηση των δοκιμίων στις υποδοχές των συγκροτημάτων.
- Κάλυψη πάνω/κάτω με τους δακτυλίους στεγανοποίησης

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

- Τοποθέτηση μεταλλικού δίσκου παροχής νερού υπό πίεση πάνω από τον πάνω στεγανοποιητικό δακτύλιο.
- Σύσφιξη (Προοδευτικά και ομοιόμορφα)
«Τα τρία συγκροτήματα μπορούν να λειτουργούν ξεχωριστά ή όλα μαζί με ειδικούς διακόπτες»
- Γέμισμα κωνικών δοχείων με νερό μέχρι το ψηλότερο σημείο της βαθμονομημένης κλίμακας.
- Νερό υπό πίεση 1 kg/cm². Σε 48 ώρες προσδιορισμός του όγκου του νερού (cm³)
- Νερό υπό πίεση 3 kg/cm². Σε 24 ώρες προσδιορισμός του όγκου του νερού (cm³)
- Νερό υπό πίεση 7 kg/cm². Σε 24 ώρες προσδιορισμός του όγκου του νερού (cm³)
- Από τα αποτελέσματα της δοκιμασίας: σχεδιασμός διαγράμματος υδατοπερατότητας. (Εικ. 78)
- Όλα τα σημεία σύνδεσης των μεταλλικών και των ελαστικών σωλήνων πρέπει να είναι στεγανά
- Αν εμφανιστούν κηλίδες νερού τότε θα έχουμε μειωμένη αντίσταση νερού και απόρριψη δοκιμίου.



(Εικ. 78) : Διάγραμμα όγκου νερού – Υδραυλική πίεση

Ε.1 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΠΕΠΗΓΜΕΝΟΥ (ΣΚΛΗΡΗΜΕΝΟΥ Η ΣΤΕΡΕΟΥ) ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ^{[2],[11],[12],[13],[14],[38]}

Από κατασκευαστική άποψη, οι πλέον ενδιαφέρουσες ιδιότητες του στερεού σκυροδέματος είναι:

Πίνακας 30: Οι πιο ενδιαφέρουσες ιδιότητες του στερεού σκυροδέματος

1	Η αντοχή σε θλίψη
2	Η αντοχή σε εφελκυσμό (καθαρό ή λόγω κάμψεως)
3	Η αντοχή σε διάτμηση (καθαρή η λόγω κάμψεως)
4	Η αντοχή σε επιφανειακή φθορά
5	Η υδροπερατότητα
6	Η αντοχή σε παγετό
7	Η συστολή κατά την πήξη
8	Η ελαστικότητα και πλαστικότητα του σκυροδέματος

Η αντοχή και οι ελαστικές ιδιότητες του στερεού σκυροδέματος, μοιάζουν με τις αντίστοιχες ιδιότητες των φυσικών λίθων. Οι παραπάνω αναφερόμενες αντοχές διαφέρουν ουσιαδώς μεταξύ τους. Γενικά επηρεάζονται από:

- Τις αναλογίες μίξεως των πρώτων υλών
- Την ποσότητα του τσιμέντου
- Την κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών υλικών
- Τον τρόπο ανάμιξης και συμπίκνωσης του σκυροδέματος
- Την ποσότητα του νερού μίξεως
- Την ηλικία.

Αντοχή ονομάζουμε γενικά τη μέγιστη τιμή της δύναμews, που μπορεί να παραληφθεί και μεταβιβασθεί από ένα στοιχειώδες τμήμα του υλικού στο γειτονικό, χωρίς καταστροφή ή επικίνδυνη παραμόρφωση του.

Στην τεχνολογία ως αντοχή εννοούμε γενικότερα και την ικανότητα του υλικού να αναλαμβάνει και να μεταβιβάζει δυνάμεις με οριακή τιμή.

Η αντοχή εξαρτάται τόσο από την φύση και την ποιότητα του υλικού, όσο και από την μορφή της εντατικής καταστάσεως.

Η αντοχή σε διάφορες μορφές καταπονήσεων

Στατική καταπόνηση:

Ως στατική αντοχή, (σ), ορίζεται η αντοχή την οποία παρουσιάζουν δοκίμια υλικών ή μέλη κατασκευών, όταν υποβάλλονται σε βραχύχρονη καταπόνηση, δηλαδή, όταν ο χρόνος που διέρχεται μέχρι την επιβολή του μέγιστου φορτίου είναι μικρότερος από 1 min. η αντοχή αυτή εξαρτάται από την μορφή και τις διαστάσεις του δοκιμίου, καθώς και από την ταχύτητα φόρτισης.

E.1.1 Αντοχή σε θλίψη, (σ_D) ^[2] :

Αντοχή σε θλίψη είναι η αντοχή που παρουσιάζει το υλικό, όταν υποβάλλεται σε θλιπτική αξονική καταπόνηση και δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_D = \max \sigma_D = \frac{\max P}{F} \sigma_{\epsilon} (MPa)$$

$\max \sigma_D$ = είναι η μέγιστη τάση σε μεγαπαस्कάλ (MPa)

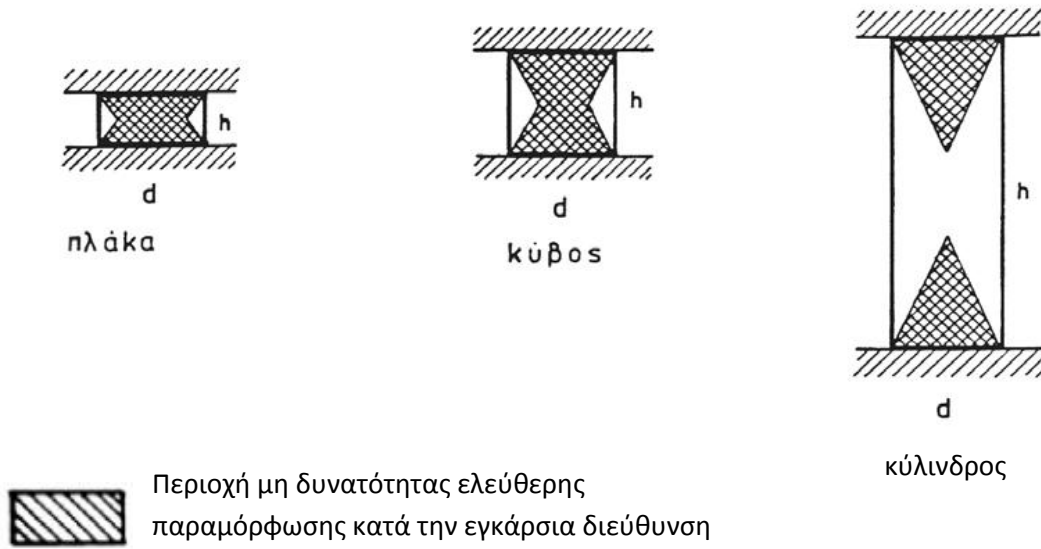
$\max P$ = είναι το μέγιστο φορτίο σε νιούτον (N) και

F = είναι η διατομή του δοκιμίου σε τετραγωνικά χιλιομέτρα (mm^2)

Για τον ορθό υπολογισμό της αντοχής σε θλίψη απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ελεύθερη εγκάρσια παραμόρφωση του δοκιμίου στη θέση, όπου επιβάλλεται το φορτίο (Εικ.79)

Επίσης για να προκύψει ορθή τιμή της αντοχής σε θλίψη, πρέπει ο λόγος του ύψους, (h), του δοκιμίου προς το πλάτος (d), να κυμαίνεται:

$$2 < \frac{h}{d} < 3$$



(Εικ.79) : Διάφοροι τρόποι παραμορφώσεων

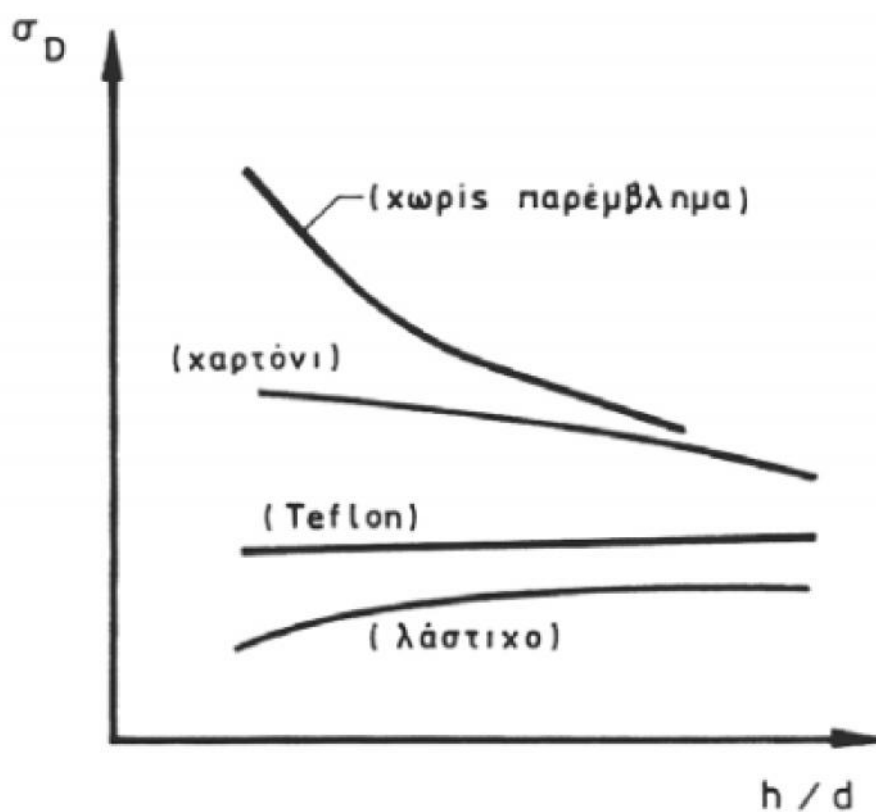


(Εικ.80) Τοποθέτηση κυλινδρικού δοκιμίου με χρήση άνω και κάτω παρεμβλήματα



(Εικ.81) : άνω και κάτω παρεμβλήματα

Τα διάφορα παρεμβλήματα επηρεάζουν την επίδραση του λόγου $\frac{h}{d}$ στην αντοχή σε θλίψη

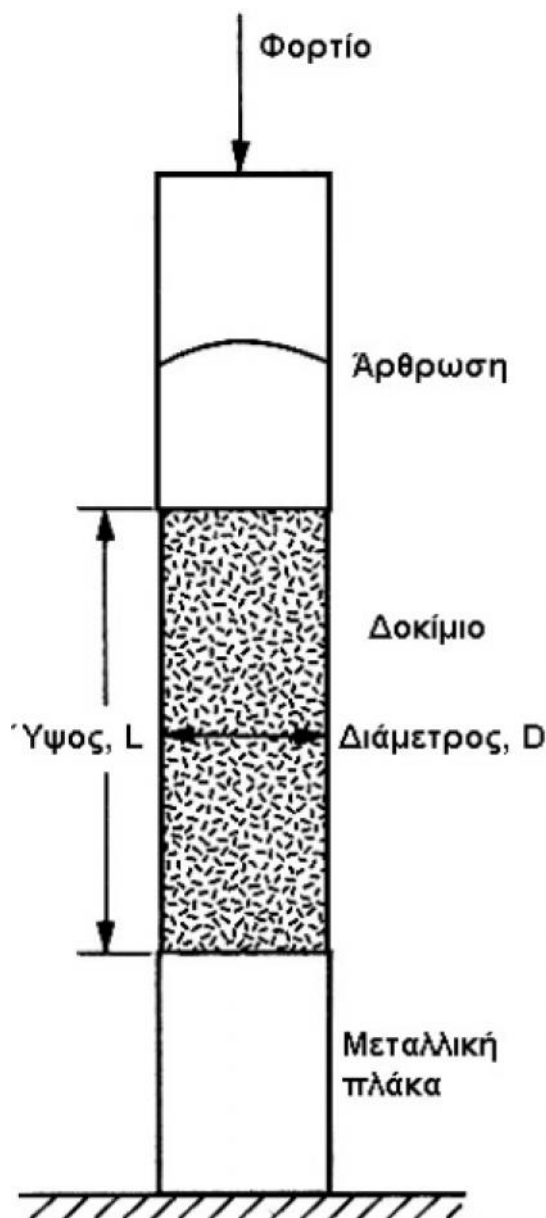


(Εικ.82) : επίδραση του λόγου $\frac{h}{d}$ στην αντοχή σε θλίψη για διάφορα παρεμβλήματα

Οι θλιπτικές αντοχές ως συνήθως βρίσκονται ανάμεσα στα όρια 50 kg/cm^2 και 600 kg/cm^2 περίπου.

Η δοκιμή πραγματοποιείται μέσω της επιβολής θλιπτικού φορτίου κατά τον άξονα ενός δοκιμίου, το οποίο αυξάνεται με σταθερό ρυθμό έως ότου αυτό αστοχήσει. Η φόρτιση γίνεται με σύγκλιση δύο μεταλλικών πλακών ανάμεσα, στις οποίες τοποθετείται το δοκίμιο, με την άνω πλάκα να είναι αρθρωτή ώστε να περιοριστεί η πιθανότητα έκκεντρης φόρτισης (Εικ.80), (Εικ.81) . Το φορτίο την στιγμή της αστοχίας διαιρούμενο με το μέσο εμβαδόν της φορτιζόμενης επιφάνειας αποτελεί την θλιπτική αντοχή του η οποία αποτελεί βασική παράμετρο σχεδιασμού σε ποικίλα έργα πολιτικού μηχανικού. Έτσι μπορεί να έχει διάφορες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα:

- i. Στην εκτίμηση της ευστάθειας των υπόγειων ανοιγμάτων
- ii. Στην εκτίμηση της απαιτούμενης αντοχής των στηρίξεων σε ορυχεία
- iii. Στην εκτίμηση της αντοχής σε τριαξονική φόρτιση με χρήση εμπειρικών κριτηρίων αστοχίας , π.χ. Hoek and Brown
- iv. Στην εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας βραχώμαζας για τον υπολογισμό των αναμενόμενων μετατοπίσεων.
- v. Στον καθορισμό της φέρουσας ικανότητας πασσάλων και θεμελίων.
- vi. Στον καθορισμό της βέλτιστης διαδικασίας που θα ακολουθηθεί κατά την κατασκευή ενός έργου, π.χ. τον τρόπο διάνοιξης μιας σήραγγας, τα μηχανήματα με τα οποία θα γίνει μία εκσκαφή, τον τύπο των διατρητικών εξαρτημάτων για την διάνοιξη μιας γεώτρησης.
- vii. Στον καθορισμό των απαιτήσεων σε εκρηκτική ύλη στις περιπτώσεις όπου χρειάζεται ή αφαίρεση ή μετακίνηση ορισμένου όγκου βράχου μέσω εκρήξεων.

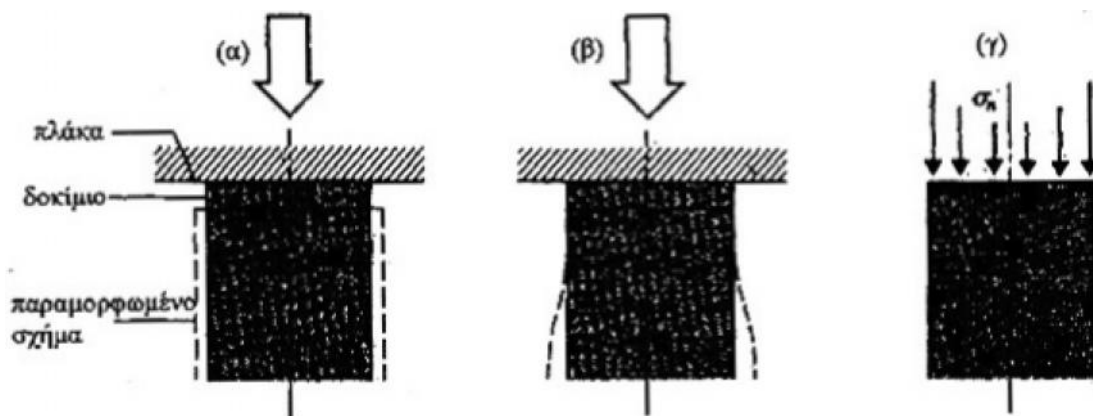


(Εικ.83) : Πειραματική διάταξη δοκιμής απλής θλίψης

Η δοκιμή «απλής θλίψης» (Εικ.83) ονομάζεται εναλλακτικά και ως «μονοαξονική θλίψη» ή «ανεμπόδιστη θλίψη», επίσης είναι αρκετά πολύπλοκη τόσο από τεχνικής άποψης ως προς την διαδικασία εκτέλεσης, όσο και από θεωρητικής προσέγγισης και ερμηνείας του μηχανισμού αστοχίας.

- Καταρχήν μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στην προετοιμασία των δοκιμίων.
- Οι επιφάνειες επαφής μεταξύ δοκιμίου και μεταλλικών πλακών θα πρέπει να είναι τελείως λείες, ώστε η κατανομή των δυνάμεων να είναι ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια επαφής.

- Επιπλέον η λείανση είναι απαραίτητη διότι το δοκίμιο κατά την φόρτιση έχει την τάση να διογκωθεί και επομένως οι επιφάνειες έδρασης να διασταλούν
- Αν αυτή η διαστολή εμποδιστεί από φαινόμενα τριβής, θα αναπτυχθούν τάσεις οι οποίες θα έχουν ως αποτέλεσμα την πρόωρη αστοχία του δοκιμίου



(Εικ.84) Επίδραση της παρεμπόδισης της διαστολής των άκρων στις τάσεις και παραμορφώσεις του δοκιμίου

(α) φαίνεται η επιδιωκόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου.

(β) και (γ) απεικονίζεται η παρουσιαζόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου λόγω πλήρους παρεμπόδισης της διαστολής των άκρων του

Για την επίτευξη ορθών αποτελεσμάτων απαιτείται επεξεργασία τόσο του δοκιμίου όσο και των μεταλλικών πλακών (δίσκων έδρασης), σε ειδικά μηχανήματα ώστε και οι δύο επιφάνειες να είναι επίπεδες (Wijk, 1979) για να επιτυγχάνεται η πλήρης επαφή (Bieniawski, 1979) και η ελαχιστοποίηση των δυνάμεων τριβής στην επιφάνεια δοκιμίου – πλακών. (Εικ.84)

Ο βαθμός λείανσης στην περίπτωση μαλακών πετρωμάτων ή δοκιμίων (τεχνητών πετρωμάτων) είναι μεγαλύτερη από την περίπτωση σκληρών πετρωμάτων.

Οι διαστάσεις καθώς και το υλικό των πλακών μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Πειραματικές και θεωρητικές έρευνες έχουν γίνει σχετικά με την επίδραση της διαμέτρου των πλακών, της σκληρότητας τους και του μέτρου ελαστικότητας (E). θεωρητικά δεν υπάρχει επίδραση αν η διάμετρος (D) και ο λόγος του μέτρου ελαστικότητας (E) προς τον λόγο του Poisson (ν) είναι ίδια για το δοκίμιο και τις πλάκες (Pells, 1993). Από αυτή την άποψη σημαντικότερη είναι η εξασφάλιση ίδιας διαμέτρου γενική τάση πάντως είναι να

χρησιμοποιούνται μεταλλικοί δίσκοι από σκληρυμένο σίδηρο με διάμετρο ίση ή μεγαλύτερη των δοκιμίων (ISRM; Hoek, 1977). (ISRM Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής).

Η καθετότητα των επιφανειών έδρασης θα πρέπει να εξασφαλιστεί σε σχέση με τον άξονα του δοκιμίου, καθώς μία εκκεντρή φόρτιση θα οδηγούσε σε αλλοίωση των αποτελεσμάτων.

Μερικοί ερευνητές διατυπώνουν την άποψη, ότι η ύπαρξη άρθρωσης στο σύστημα φόρτισης μειώνει την εκκεντρότητα (Hoek, 1979), έχει αποδειχθεί ότι μία εκκεντρότητα της τάξεως του 0,1 μπορεί να οδηγήσει σε αλλοίωση των αποτελεσμάτων μέχρι και 40% (Gustkiewicz, 1975a, 1975b; Wijk, 1980).

Η θλιπτική αντοχή είναι ένα μέγεθος το οποίο εξαρτάται άμεσα από τις διαστάσεις του δοκιμίου. Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα έχει επικρατήσει η χρήση δοκιμίου διαμέτρου **50 mm** και λόγου **L/D = 2**, όπου:

L = είναι το μήκος του δοκιμίου

D = είναι η διάμετρος του δοκιμίου

Όπου δεν είναι δυνατή η εξασφάλιση των ανωτέρων διαστάσεων είναι αναγκαία η διόρθωση λόγω επίδρασης κλίμακας. Ο λόγος αυτός είναι ίσος με 2,5 κατά την ISRM.

Διόρθωση μεγέθους

Σε πολλές περιπτώσεις όμως η διάθεση δοκιμίων τέτοιων διαστάσεων δεν είναι εφικτή. Ακόμα και όταν τα διαθέσιμα δοκίμια είναι μεγαλύτερα η μείωση του μεγέθους των απαιτεί πρόσθετη εργασία και κόστος με πιθανές διαταραχές. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται η διόρθωση των αποτελεσμάτων λόγω επίδρασης κλίμακας. Για την αναγωγή αυτή έχουν γίνει τόσο θεωρητικές όσο και πειραματικές διερευνήσεις χωρίς όμως να υπάρχει μια ξεκάθαρη αναλυτική λύση ως προς την επίδραση του μεγέθους στην θλιπτική αντοχή. Εν γένει πάντως θεωρείται ότι με την αύξηση του μεγέθους η αντοχή σε θλίψη μειώνεται, αν και αυτό δεν αποτελεί γενικό κανόνα για όλες τις κατηγορίες πετρωμάτων όπως αποδεικνύεται σε διάφορες μελέτες (Hoskins and Horino, 1969; Wijk 1980).

Ο Weibull (1939) με μια θεωρητική προσέγγιση του θέματος διετύπωσε την παρακάτω έκφραση:

$$\frac{\sigma_{c1}}{\sigma_{c2}} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1/n}$$

σ_{c1} και σ_{c2} είναι οι θλιπτικές αντοχές δ' ο δοκιμίων με γκους V_1 και V_2 αντίστοιχα

m = είναι η σταθερά η οποία εξαρτάται από το υλικό και κυμαίνεται μεταξύ 4 και 12.

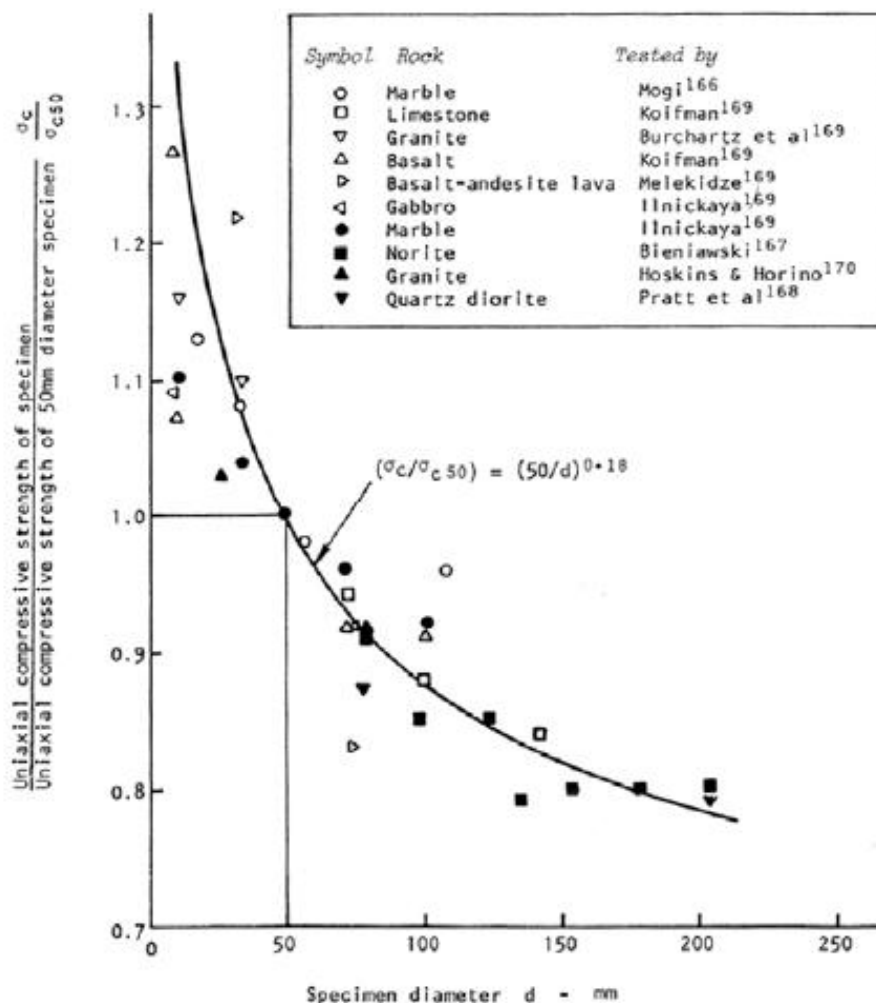
Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι όσο αυξάνεται ο όγκος του δοκιμίου η θλιπτική αντοχή μειώνεται.

Οι Hoek και Brown (1980a) βασιζόμενοι στην έκφραση του Weibull, συγκέντρωσαν πειραματικά δεδομένα από την βιβλιογραφία για διάφορους τύπους πετρωμάτων και έφτιαξαν την καμπύλη του (Επίδραση μεγέθους στην θλιπτική αντοχή προς την διάμετρο δοκιμίου), από την οποία προκύπτει η παρακάτω σχέση για την αναγωγή της θλιπτικής αντοχής δοκιμίου με διάμετρο D , σε θλιπτική αντοχή δοκιμίου με διάμετρο 50 mm.

$$\frac{\sigma_{cd}}{\sigma_{c50}} = \left(\frac{50}{D}\right)^{0,18}$$

σ_{cd} και σ_{c50} είναι οι θλιπτικές αντοχές δ' ο δοκιμίων διαμέτρου d και 50 mm αντίστοιχα

0,18 : είναι η σταθερά διόρθωσης κλίμακας (=3/m)



(Εικ.85) Επίδραση μεγέθους στην θλιπτική αντοχή διαφόρων πετρωμάτων

Φαινομενικά από την εξίσωση αυτή προκύπτει ότι οι Hoek και Brown παρουσιάζουν την επίδραση της διαμέτρου και όχι του όγκου. Αν ληφθεί υπόψη όμως ότι τα δοκίμια τα οποία εξέτασαν είχαν λόγο μήκους προς διάμετρο ίσο με 2, δηλαδή $L=2D$, και γίνουν οι απαραίτητες πράξεις προκύπτει η έκφραση του Weibull, με σταθερά $0,18 = 3/m$ από την οποία προκύπτει $m=16,67$, τιμή η οποία είναι εκτός των ορίων που προτείνει ο Weibull.

Πάντως είναι φανερό και από το (Εικ.85) αυθαίρετη εκτίμηση της σταθεράς m μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα σφάλματα.

Διόρθωση λόγω λυγηρότητας

Εκτός από το μέγεθος του δοκιμίου, επίδραση στην θλιπτική αντοχή αυτού έχει και ο λόγος του μήκους προς την διάμετρο. Για την περίπτωση που ο λόγος είναι διάφορος του 2, έχουν προταθεί διάφορες εξισώσεις για την διόρθωση της θλιπτικής αντοχής.

Σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM D2938-71, η αναγωγή της αντοχής κυλίνδρου με λόγο L/D σε αντοχή κυλίνδρου λόγου $L/D = 2$ γίνεται με χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$\sigma_{c(L/D=2)} = \frac{\sigma_{c(L/D)} * 0,889}{\left[\left(\frac{D}{L}\right) 0,222\right] + 0,778}$$

Ο Protodyakonov διετύπωσε την παρακάτω σχέση για την αναγωγή των αποτελεσμάτων από δοκίμια με λόγο $L/D < 2$ σε δοκίμια με λόγο $L/D = 2$

$$\sigma_{c(L/D=2)} = \frac{8 \sigma_c}{7 + 2 (D/L)}$$

Η USBM προτείνει για την ίδια αναγωγή την παρακάτω έκφραση:

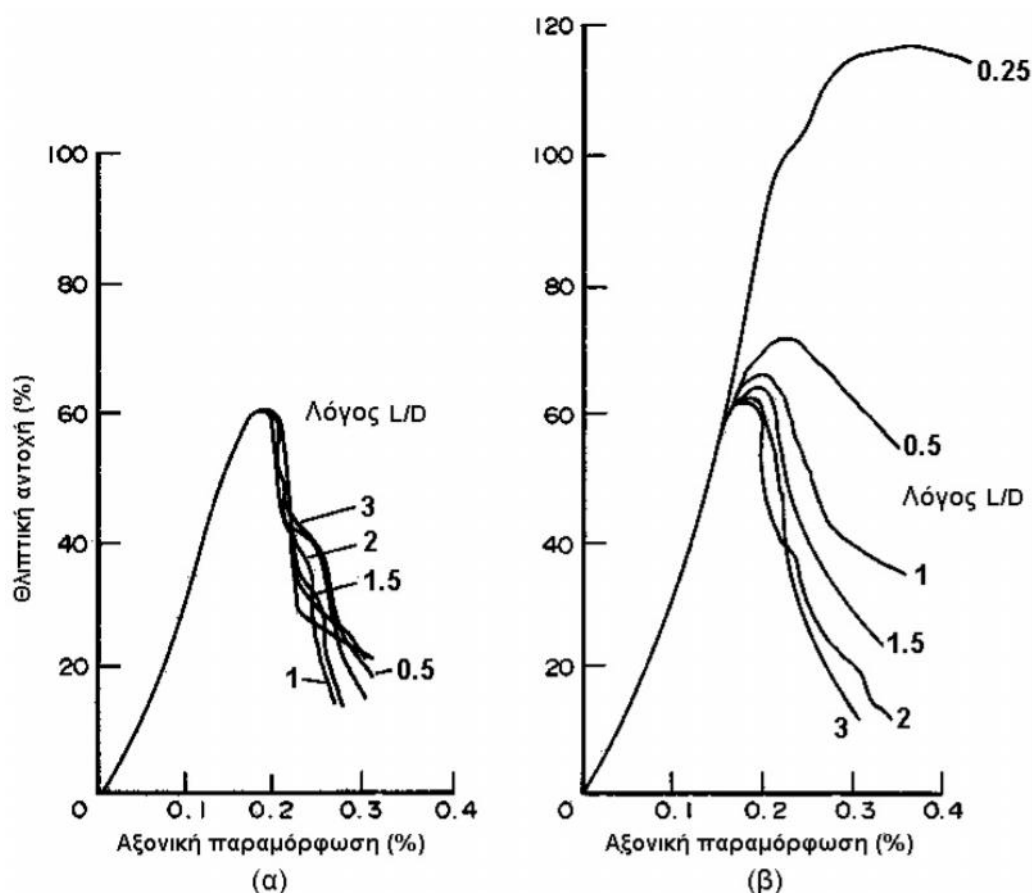
$$\sigma_{c(L/D=2)} = \frac{\sigma_c}{0,875 + 0,25 (D/L)}$$

Επίσης από πειράματα που έχουν γίνει, φαίνεται πως το μέγεθος της επίδρασης του λόγου L/D στην θλιπτική αντοχή, έχει άμεση εξάρτηση και από το είδος των μεταλλικών πλακών.

Πειράματα που έγιναν από τους (Brown και Gonano όπως αυτά παρουσιάστηκαν από τους Brady και Brown (1985), έδειξαν ότι στην περίπτωση ακιδοτών πλακών οι οποίες επιτρέπουν την ανάπτυξη πλευρικών μετατοπίσεων, η επίδραση του λόγου στην τιμή της αντοχής είναι αμελητέα, ενώ στην περίπτωση πλακών από σκληρό συμπαγή σίδηρο η επίδραση ήταν λίγο μικρότερη από την υπολογιζόμενη βάσει της εξίσωσης

Πάντως για τιμές του λόγου από 2 έως 3 η επίδραση είναι αμελητέα όπως προκύπτει από το σύνολο των προτεινόμενων εξισώσεων αλλά και από το κάτωθεν (Εικ.86).

Δοκίμια με λόγο μεγαλύτερο από 3 κινδυνεύουν να αστοχήσουν σε λυγισμό και έτσι πρέπει να αποφεύγονται.



(Εικ.86) Επίδραση του λόγου **L/D**

(α) για πλάκες μα ακίδες και (β) για πλάκες από σκληρό σίδερο (από Brook, 1993)

Εκτός από το μέγεθος των δοκιμίων, η θλιπτική αντοχή επηρεάζεται και από τον ρυθμό φόρτισης. Έτσι ένας γρήγορος ρυθμός θα οδηγούσε σε αύξηση της αντοχής, ενώ ένας αργός ρυθμός σε μείωση της αντοχής.

Η εκλογή των δοκιμίων, η προετοιμασία αυτών καθώς και ο τρόπος και η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης καθορίζεται από διάφορα πρότυπα και κανονισμούς.

Πίνακας 31: Διεθνή πρότυπα και κανονισμοί για την δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης

Πρότυπα και Κανονισμοί
ISRM
U.S. Bureau of Mines
CSIR Νότια Αφρική
LNEC Πορτογαλία

Έχουν δημοσιευτεί εργασίες οι οποίες υποστηρίζουν ότι σε ορισμένες περιπτώσεις τα πρότυπα της ISRM σχετικά με την προετοιμασία των δοκιμών είναι μάλλον αυστηρά, καθώς και ότι, ο προτεινόμενος ρυθμός είναι γρήγορος (Pells and Ferry 1983; Hoek 1977). Το συμπέρασμα που εξάγεται είναι πως δεν υπάρχει μια αυστηρά καθορισμένη μέθοδος η οποία να είναι αποδεκτή παγκοσμίως. Ως εκ τούτου επαφίεται στην κρίση του μηχανικού ποια μέθοδο θα ακολουθήσει κατά περίπτωση.

Επειδή, τα δοκίμια εκ του σκυροδέματος, διαφόρου μορφής, δεν παρουσιάζουν κατά κανόνα την ίδια αντοχή. Για τον λόγο αυτό προέκυψε η ανάγκη να καθορίζουν οι κανονισμοί το σχήμα και τις διαστάσεις των δοκιμών, επομένως η αντοχή σε θλίψη που θα προκύψει από την θραύση των τυπικών δοκιμών (**συμβατικά δοκίμια**) θα ονομάζεται **συμβατική αντοχή (f_{28})**

Σύμφωνα με τον κανονισμό ΚΤΣ – 97 αναφέρονται διάφορες σχέσεις οι οποίες συσχετίζουν αντοχές δοκιμών διαφορετικού σχήματος και μεγέθους

- Όσο μεγαλώνουν οι διαστάσεις των δοκιμών που χρησιμοποιούμε, τόσο οι αντοχές που προσδιορίζουμε είναι μικρότερες. Έτσι π.χ. αν θραύσουμε τρία δοκίμια, από το ίδιο υλικό με ακμές (10,20 και 30) cm αντίστοιχα, οι αντοχές που θα προκύψουν συνδέονται με τις σχέσεις:

$$\beta_{10} = 1,15 \quad \beta_{20}$$

$$\beta_{30} = 0,90 \quad \beta_{20}$$

- Όταν χρησιμοποιούμε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm, τότε η τιμή της αντοχής που προκύπτει κατά την θραύση τους, είναι μικρότερη από την αντοχή του κύβου, ακμής 15 cm, που κατασκευάστηκε από το ίδιο υλικό. Ο κανονισμός της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Σκυροδέματος (C.E.B.) προτείνει στο σημείο αυτό την σχέση:

$$\beta_{\text{κυλίνδρου}} = (0,75 - 0,90) \quad \beta_{\text{κ βου}}$$

ή

$$\beta_{\text{κυλ νδρου}} = (0,83) \quad \beta_{\text{κ βου}}$$

- Ανάλογες σχέσεις προτείνει και ο Γερμανικός Κανονισμός του 1972 (DIN – 1045).
- Σε περίπτωση χρησιμοποίησης κυλίνδρων διαφορετικών διαστάσεων (με λόγο όμως ύψους προς διάμετρο $L/D = 2$) παρέχονται από την Ευρωπαϊκής Επιτροπής

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Σκυροδέματος (C.E.B.) σχέσεις, για την μετατροπή της αντοχής, σε αντοχή κυλίνδρου συμβατικών διαστάσεων (15/30):

Πίνακας 32: Σχέσεις μετατροπής της αντοχής σε αντοχή κυλίνδρου συμβατικών διαστάσεων

Για	D=10	L=20	$\frac{f_{c15/30}}{f_{c10/20}} = \left(\frac{0,94}{1,00} \right)$
Για	D=25	L=50	$\frac{f_{c15/30}}{f_{c25/50}} = \left(\frac{0,94}{1,00} - \frac{1,00}{1,10} \right)$

- Στην περίπτωση χρησιμοποίησης κυλίνδρων με λόγο ύψους προς διάμετρο $L/D < 2$, οι Αμερικανικοί Κανονισμοί **ASTM C42** παρέχουν τους παρακάτω συντελεστές (λ) μετατροπής των αντοχών σε αντοχή κυλίνδρου με λόγο ($L/D = 2$) για την ίδια διάμετρο

Πίνακας 33: Συντελεστές μετατροπής των αντοχών σε αντοχή κυλίνδρου διαφορετικής διαμέτρου

L/D =	1,75	(λ) =	0,99
	1,50		0,97
	1,25		0,94
	1,00		0,91

$$\beta_{\left(\frac{L}{D}=2\right)} = \lambda \beta_{\left(\frac{L}{D}\right)}$$

- Τέλος, σε περίπτωση αποκοπής κυλινδρικών δειγμάτων (πυρήνες ή καρότα) από το έργο, πέρα από την μετατροπή της αντοχής λόγω της μορφής του δοκιμίου επιβάλλεται να έχουμε υπόψη και τις διαφορετικές συνθήκες κατά την διάστρωση και την συντήρηση του σκυροδέματος από τις συνθήκες παρασκευής και συντηρήσεως του κανονικού δοκιμίου, καθώς και τη διαταραχή του δείγματος κατά την κοπή.

Το αποτέλεσμα των επιρροών αυτών είναι πτώση της αντοχής που κυμαίνεται συνήθως μεταξύ (10 – 20)% και φτάνει έως 30%. Για αυτόν το λόγο οι Αμερικανικοί Κανονισμοί θεωρούν δεκτή μείωση της αντοχής των πυρήνων κατά 15% για το μέσο όρο και 25% για την μικρότερη τιμή (A.C.I. C318) σε σχέση με τη συμβατική αντοχή.

Ανάπτυξη της αντοχής με τον χρόνο

Το σκυρόδεμα, αυξανόμενης της ηλικίας του, παρουσιάζει αύξηση της θλιπτικής του αντοχής. Ο Γερμανικός Κανονισμός (DIN 1045) δίνει την παρακάτω σχέση για να περιγράψει την εξέλιξη αυτή:

$$\beta_{28} = (1,10 - 1,40) \beta_7$$

Όπου

β_{28} = είναι η θλιπτική αντοχή σε 28 ημέρες

β_7 = είναι η θλιπτική αντοχή σε 7 ημέρες

Οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Σκυροδέματος δίνουν τους παρακάτω συντελεστές εξελίξεως της αντοχής :

Πίνακας 34: Συντελεστές εξελίξεως της αντοχής

Ηλικία Σκυροδέματος σε ημέρες	3 ημ.	7 ημ.	28 ημ.	90 ημ.	360 ημ.
Κανονικό Τσιμέντο	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Ταχείας Πήξεως Τσιμέντο	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

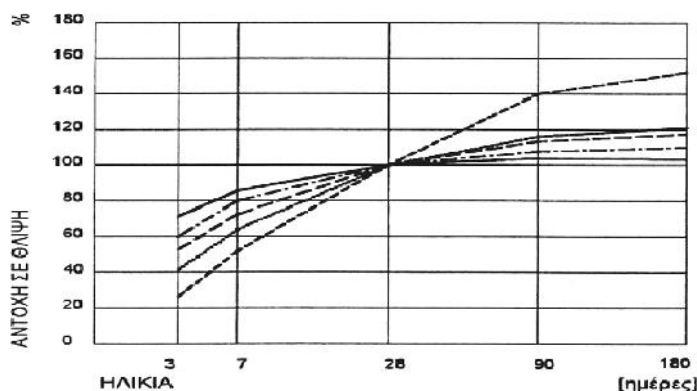
Ο ερευνητής Bach συνέταξε ένα διάγραμμα αυξήσεως της αντοχής συναρτήσει του χρόνου. (Εικ. 87) . Τον λόγο της αυξήσεως της αντοχής προς τον χρόνο εντός του οποίου σημειώθηκε η αύξηση αυτή δηλαδή:

$$v = \frac{d\beta}{dt}$$

ονομάζεται ταχύτητα σκληρύνσεως του σκυροδέματος και εξαρτάται από την ποιότητα του τσιμέντου και των αδρανών υλικών.

Αδρανή που προέρχονται από πολύ σκληρά πετρώματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ταχύτητα σκλήρυνσης

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ



(Εικ. 87) διάγραμμα αυξήσεως της αντοχής συναρτήσει του χρόνου

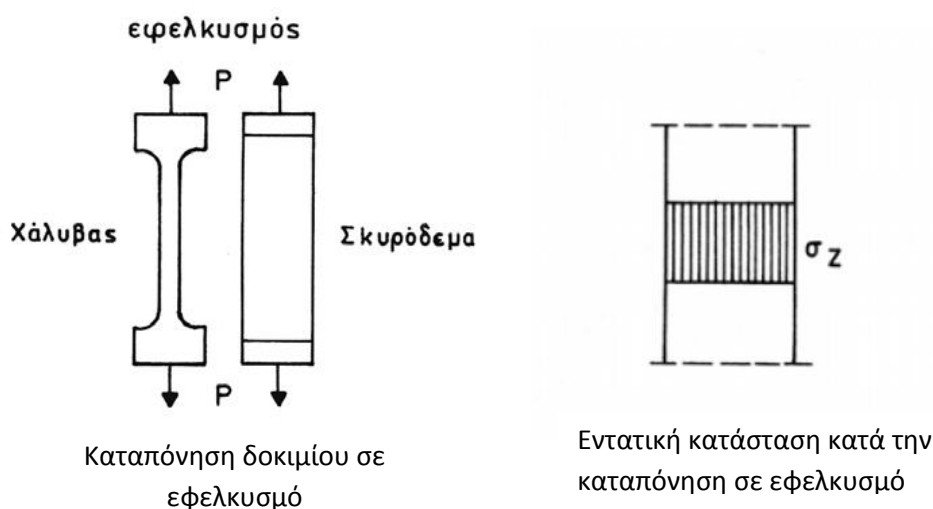
Πίνακας 35: Στάδια εξελίξεως του νωπού σκυροδέματος σε στερεό σώμα

Α/Α	Αντοχή σε θλίψη σε			Στάδια εξελίξεως του νωπού σκυροδέματος σε στερεό σώμα, για θερμοκρασίες μεταξύ (15 – 20)
	Ωρα	Ημέρα	%	
2	1 ^η		0	Νωπό σκυροδέμα – μαλακό
3	2 ^η		0	Έναρξη πήξεως – αποφυγή δονήσεων
4	8 ^η		0	Έναρξη σκλήρυνσης – τέλος σκλήρυνσης - Εύθραυστο
5	24 ^η		10 – 20	Εξελισσεται η στερεοποίηση. Προφύλαξη από δονήσεις, απότομη ξήρανση, ρεύματα αέρα
6		3 ^η	20 – 50	Προχωρεί η στερεοποίηση και σιγά – σιγά δημιουργείται η τεχνητή πέτρα. Προφύλαξη από δονήσεις, ξήρανση και ρεύματα αέρα. Διατήρηση υγρού περιβάλλοντος.
7		7 ^η	40 – 70	Προχωρεί η δημιουργία της τεχνητής πέτρας. Εξακολουθούν να ισχύουν τα μέτρα των προηγούμενων ημερών. Όχι βαριές μεταφορές πάνω σε αυτό.
8		28 ^η	100	Το σκυροδέμα έχει προσλάβει την σκληρότητα της πέτρας
9		180 ^η	105 – 120	Μικρές προσαυξήσεις αντοχής

E.1.2 Αντοχή σε εφελκυσμό, (σ_z): [2],[15],[16]

Αντοχή σε εφελκυσμό είναι η αντοχή που παρουσιάζει το υλικό, όταν υποβάλλεται σε εφελκυστική αξονική καταπόνηση (Εικ. 88) και δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_z = \max \sigma_z = \frac{\max P}{F} \sigma \epsilon \text{ (MPa)}$$



(Εικ. 88) : καταπονήσεις σε εφελκυσμό για τον χάλυβα και σκυρόδεμα

Ο προσδιορισμός της αντοχής του σκυροδέματος σε εφελκυσμό είναι δύσκολο να επιτευχθεί και τα αποτελέσματα που θα έχουν προκύψει διαφέρουν μεταξύ τους. Κατά κανόνα προσδιορίζεται η αντοχή σε εφελκυσμό λόγω κάμψης και όχι σε καθαρό αξονικό εφελκυσμό. Στην δοκιμή του εφελκυσμού ασκεί επιρροή το μέγεθος και η μορφή των δοκιμίων.

Από τις εργαστηριακές εργασίες που έχουν γίνει επί του θέματος αυτού, έχει προκύψει ότι η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται από το $\frac{1}{10}$ ως $\frac{1}{15}$ της αντίστοιχης θλιπτικής αντοχής, χωρίς όμως μεταξύ τους, να έχει βρεθεί άμεση αντιστοιχία.

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Εκείνο που είναι σίγουρο είναι ότι αυξανομένης της θλιπτικής αντοχής αυξάνεται και η εφελκυστική αντοχή, όχι όμως με τον ίδιο ρυθμό, με συνέπεια ο λόγος $\frac{f_{εφελκ}}{f_{θλιψ}}$ να μειώνεται. Επίσης η εφελκυστική αντοχή για να εκδηλωθεί απαιτεί καλλίτερη συντήρηση δηλαδή είναι πλέον ευαίσθητη στη συντήρηση.

Για την εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής έχουν προταθεί σχέσεις της μορφής

$$f_{εφελκ} = C (f_{θλιψ})^n$$

Όπου οι παράμετροι **C**, **n** προκύπτουν από πειραματικά στοιχεία.

Για το **n** δίνονται τιμές από 0,60 – 0,70, με μέση τιμή 0,65 περίπου δηλαδή $\frac{2}{3}$. Για το **C** μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις παρακάτω τιμές:

Πίνακας 36: Παραμετρικές τιμές σε συνάρτηση με το είδος της δοκιμής

Είδος καταπόνησως	Min C	C	Max C
Καθαρός εφελκυσμός	0,36	0,52	0,68
Εφελκυσμός από κάμψη	0,76 – 0,86	0,98 – 1,07	1,20 – 1,28

Ο Ε.Κ.Ω.Σ 2000 στην παράγραφο § 2.4 σημειώνει τα επόμενα αναφορικά με την εφελκυστική αντοχή

a. Αντοχή σε καθαρό αξονικό εφελκυσμό

Από την παραπάνω σχέση, για $C = 0,30$ και $n = \frac{2}{3}$ προκύπτουν οι εξής αντιστοιχίες μεταξύ f_{ck} και f_{ctm}

f_{ck} = είναι η χαρακτηριστική αντοχή

f_{ctm} = είναι η μέση καθαρά αξονική εφελκυστική αντοχή

$\frac{f_{ck}}{f_{ctm}}$ MPa	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$\frac{f_{ck}}{f_{ctm}}$ MPa	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0

b. Αντοχή σε εφελκυσμό λόγω κάμψεως

Είναι περίπου διπλάσια της αντοχής σε καθαρό αξονικό εφελκυσμό δηλαδή

$$f_{ct,fl} = 2 f_{ct}$$

$$\beta_Z = (0,35 \div 0,75) \beta_{BZ}$$

$f_{ct,fl} = \beta_{BZ}$ = είναι η εφελκυστική αντοχή σε κάμψη

$f_{ct} = \beta_Z$ = είναι η καθαρά αξονική εφελκυστική αντοχή

E.1.3 Αντοχή σε διάτμηση και σε εφελκυσμό λόγω διάτμησης^{[2],[16],[25]}

Σε αυτές τις καταπονήσεις η αντοχή του σκυροδέματος είναι μικρή, συγκριτικά με την αντοχή του σε θλίψη. Η αντοχή σε εφελκυσμό λόγω διάτμησης, είναι κατά μέσο όρο 2,5 φορές μεγαλύτερη της αντοχής σε καθαρό αξονικό εφελκυσμό.

Κατά τον Mohr μεταξύ των αντοχών σε θλίψη – εφελκυσμό και εφελκυσμό λόγω διάτμησης ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$f_{εφελκ,δ\acute{\iota}τμ} = 0,5 \sqrt{\frac{f_c}{f_{ct}}}$$

Κατά τον Morsch, η αντοχή σε διάτμηση συνδέεται με τις άλλες αντοχές με την σχέση:

$$f_{δ\acute{\iota}τμ} = \sqrt{\frac{f_c}{f_{ct}}}$$

Και συνεπώς

$$f_{δ\acute{\iota}τμ} = 2 f_{εφελκ,δ\acute{\iota}τμ}$$

E.1.4 Αντοχή σε επιφανειακή φθορά (από τριβή και κρούση)^{[2],[14],[28]}

Η αντοχή σε επιφανειακή φθορά του σκυροδέματος εξαρτάται

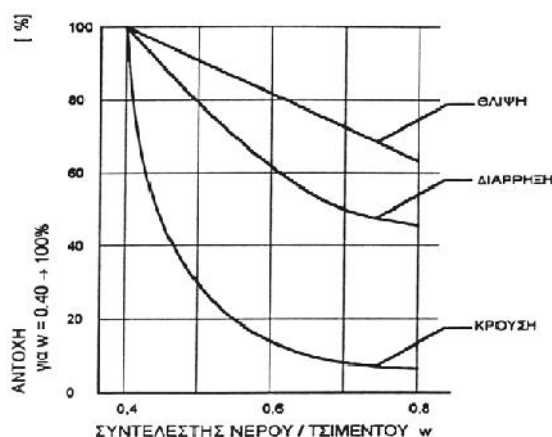
- από την αντοχή του τσιμέντου
- από την ποσότητα του τσιμέντου,
- από την κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών
- από την αντοχή σε φθορά των αδρανών
- από τον υδατοτσιμεντοσυντελεστή (ω = Νερό/Τσιμέντο) και
- από την υγρασία

Η αντοχή σε τριβή του σκυροδέματος είναι πολύ σημαντική για οδοστρώματα, υδραυλικά έργα, δάπεδα βιομηχανικών κ.λ.π.

Η αντοχή σε τριβή μπορεί να βελτιωθεί με την χρησιμοποίηση μεγάλων αδρανών από πετρώματα υψηλής αντοχής, τα οποία περιέχουν μεγάλο ποσοστό χονδρόκοκκου υλικού, υψηλής αντοχής τσιμέντου, μικρή ποσότητα περιεχόμενης κονιάς, καθώς και με ειδική επεξεργασία των επιφανειών.

Η κατηγορία σκυροδέματος πρέπει να είναι τουλάχιστον $C_{45/55}$, ο λόγος να είναι $\omega = 0,45$, η περιεκτικότητα σε τσιμέντο $T = 350 \text{ Kg/m}^3$ και να χρησιμοποιηθούν αδρανή υλικά με ασυνεχείς κοκκομετρικές γραμμές

Η αντοχή σε κρούση παρατηρείται στην περίπτωση πασσάλων και επηρεάζεται σημαντικά από το συντελεστή (ω) (Εικ. 88)



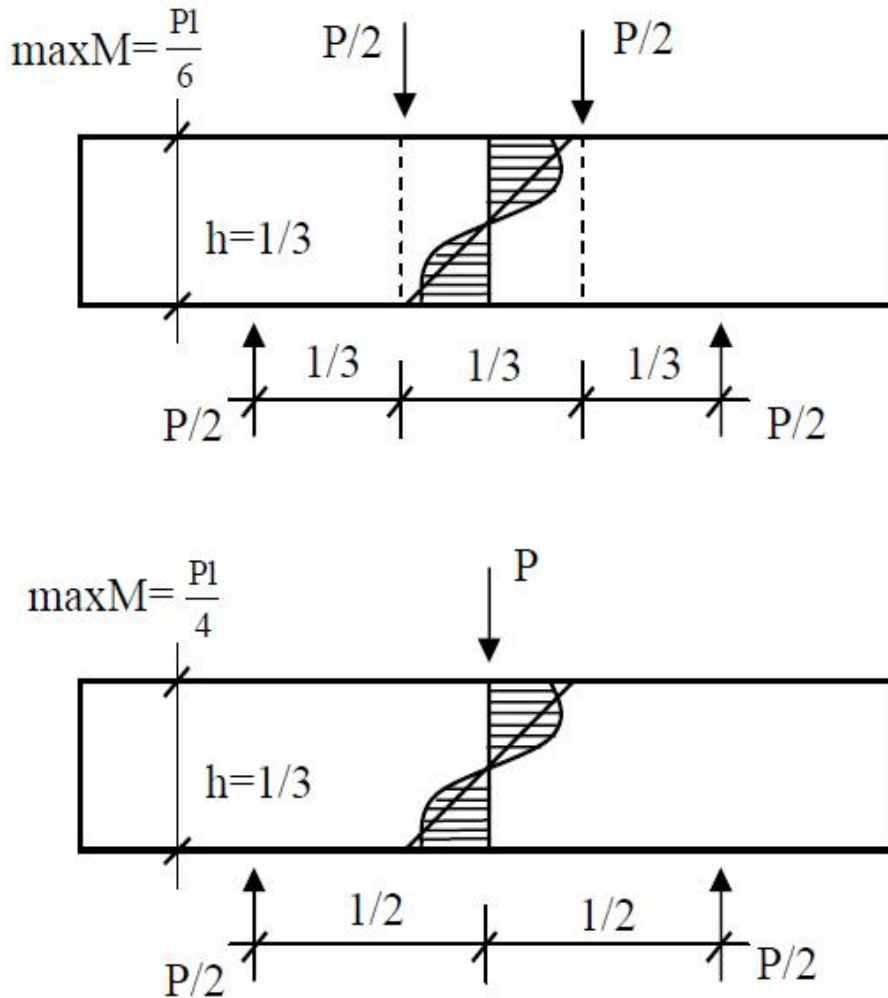
(Εικ. 88) Επίδραση του συντελεστή ω ή w στην αντοχή σε θλίψη, σε διάρρηξη και σε κρούση του σκυροδέματος

Για την Παρασκευή σκυροδέματος με υψηλή αντοχή σε κρούση πρέπει τα αδρανή να είναι δευτερογενούς θραύσης, με τραχεία επιφάνεια, με μικρό συντελεστή εγκάρσιας συστολής και να έχουν διάμετρο μέγιστου κόκκου $\Phi_{\max} < 30 \text{ mm}$ και ελάχιστη περιεκτικότητα σε άμμο (0/8), 60%. Επίσης η αντοχή σε θλίψη του τσιμέντου $\beta_{z28} = 45 \text{ MPa}$ και η περιεκτικότητα σε τσιμέντο $T = 400 \text{ Kg/m}^3$ και ο συντελεστής $\omega = 0,45$.

E.1.5 Αντοχή σε κάμψη (β_{bz})^{[2],[12],[15],[28]}

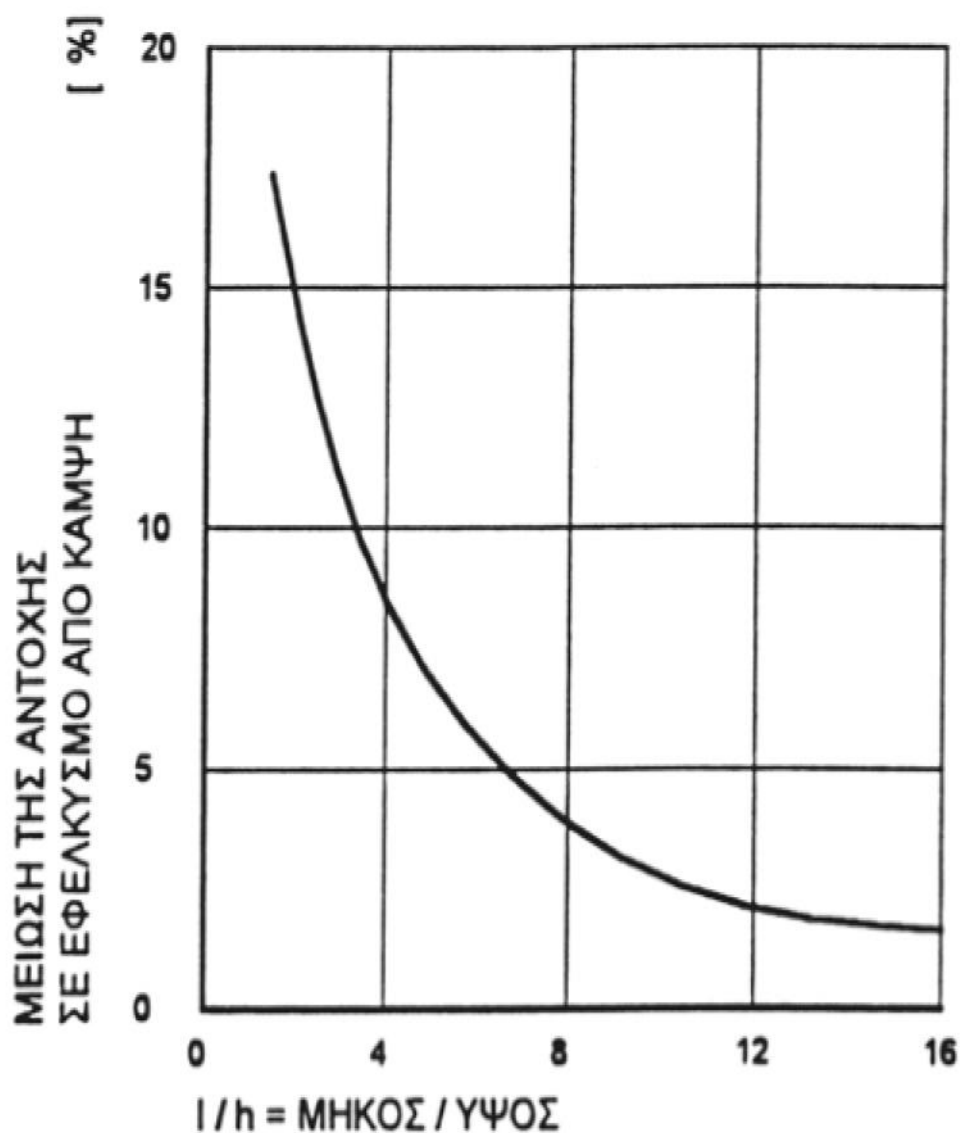
Η αντοχή σε κάμψη του σκυροδέματος προσδιορίζεται με πρισματικά δοκίμια. Οι διαστάσεις των δοκιμών πρέπει να είναι 15x15x70 cm. (Εικ. 88) Στην διάρκεια της δοκιμής το πρισματικό δοκίμιο στηρίζεται στα δύο άκρα του και εφαρμόζεται δύο συγκεντρωμένα φορτία στα τρίτα

του ανοίγματος. Επίσης χρησιμοποιούνται δοκίμια με διαστάσεις 10x15x70 cm, στα οποία εφαρμόζεται ένα συγκεντρωμένο φορτίο στο μέσον του δοκιμίου.



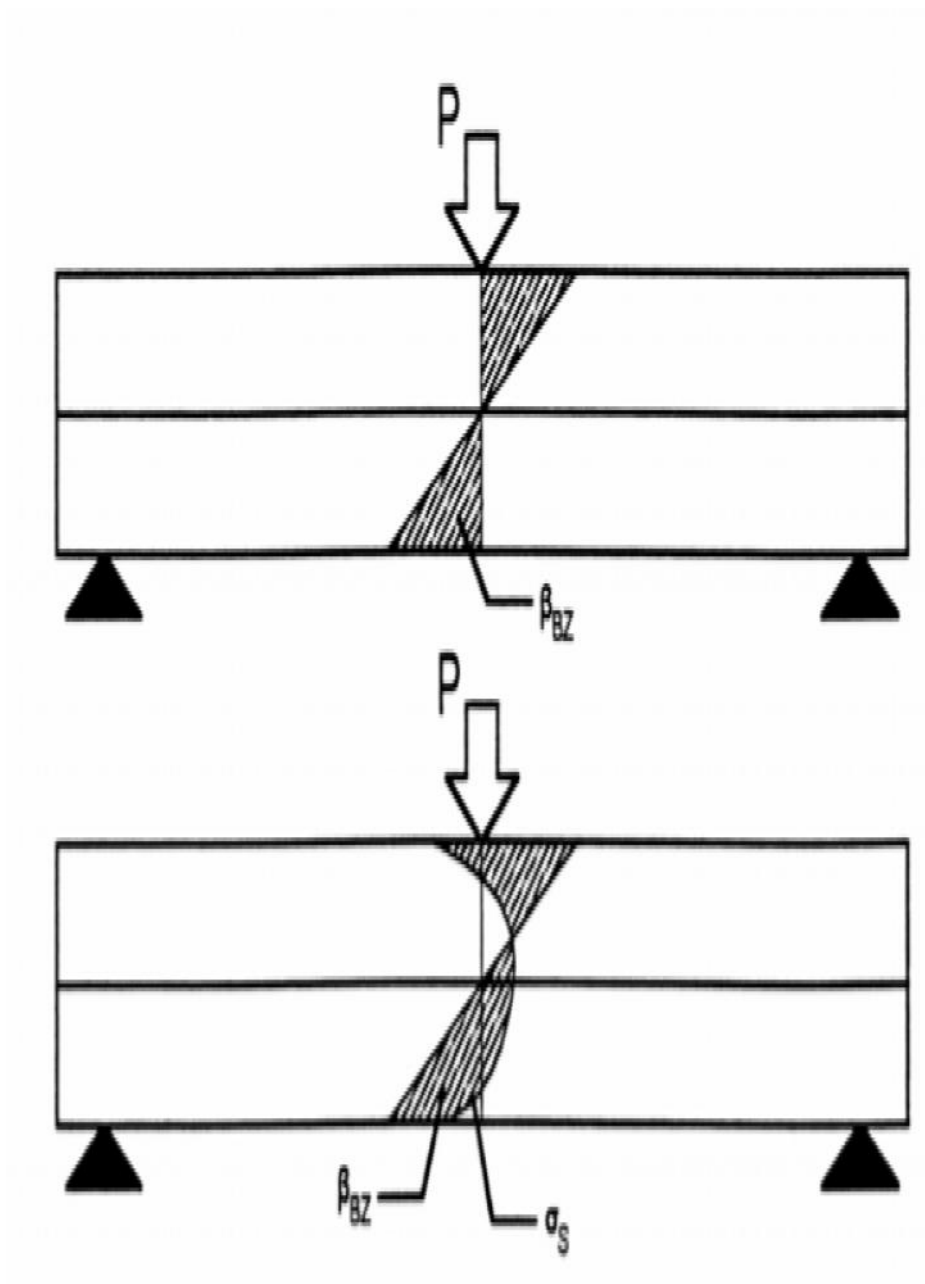
(Εικ. 88) Δοκιμές καμπτικού εφελκυσμού σε πρίσματα

Το μήκος των δοκιμίων πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το ύψος τους, ώστε το αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται από την διατμητική καταπόνηση(Εικ. 89)



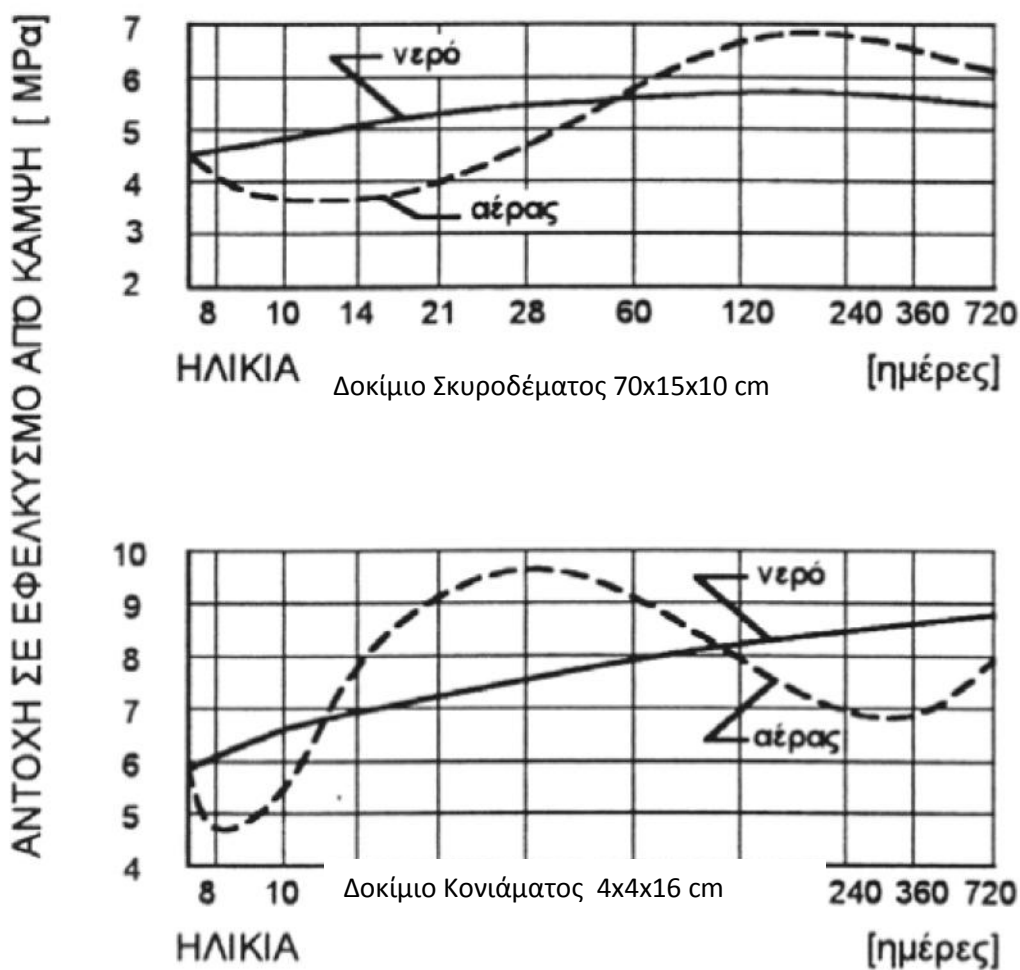
(Εικ. 89) Διάγραμμα Επίδραση του λόγου μήκους÷ ύψους (l/h), του δοκιμίου στην αντοχή σε εφελκυσμό από λάμψη του σκυροδέματος

Πριν την δοκιμή τα δοκίμια πρέπει να διατηρούνται μέσα στο νερό ή στο θάλαμο γήρανσης στους 90 – 95 % υγρασία, ώστε το αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται από τις εφελκυστικές τάσεις, οι οποίες αναπτύσσονται λόγω της συστολής ξήρανσης (σ_s) (Εικ.90)



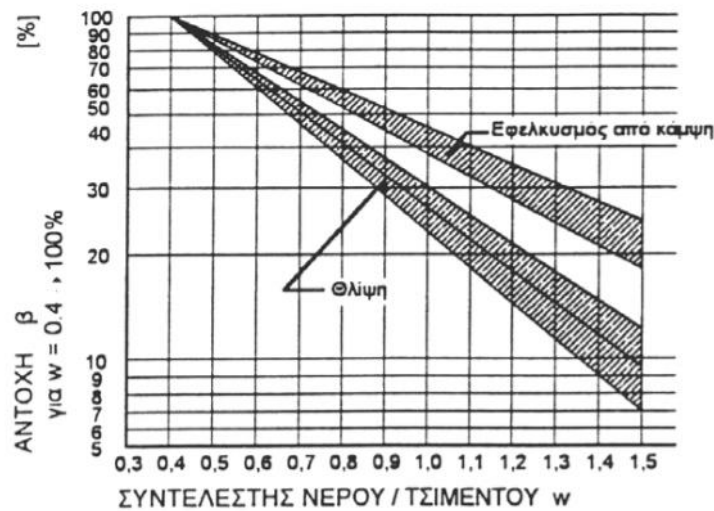
(Εικ.90) Έλεγχος της αντοχής σε εφελκυσμό από κάμψη και επίδραση της συστολής ξήρανσης (σ_s)

Η διαφορά της αντοχής σε εφελκυσμό από κάμψη (β_{BZ}), για διατήρηση στον αέρα και για διατήρηση μέσα στο νερό σε δύο διαφορετικών διαστάσεων δοκιμίων δίνονται στα κάτωθεν διαγράμματα, η οποία είναι συνέπεια των τάσεων που αναπτύσσονται κάθε φορά λόγω της συστολής ξήρανσης ή της διαστολής ύγρανσης. (Εικ.91), (Εικ.92)



(Εικ.91) Η αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη για δοκίμια σκυροδέματος και κονιάματος ανάλογα με τον τρόπο συντήρησής τους

Η αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη, όπως και η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος επηρεάζονται από την τιμή του συντελεστή νερού – τσιμέντου (ω ή w)



(Εικ.92) Η επίδραση του συντελεστή νερού – τσιμέντου (w ή w), στην αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη και στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος

E.1.6 Αντοχή σε διάρρηξη (β_{SZ}) [2],[13],[16],[25]

(Tensile strength, Brazilian Test – Συνοχή (cohesion, c) και γωνία τριβής (angle of internal friction, ϕ), (ASTM D3967-86 και ISRM, 1981).

Η αντοχή σε διάρρηξη του σκυροδέματος προσδιορίζεται με κυλινδρικά δοκίμια, τα οποία μήκος (l) και διάμετρο (d). Η μέγιστη φόρτιση $\max P$ εφαρμόζεται σε δύο αντιδιαμετρικές γενέτειρες και η αντοχή σε διάρρηξη (β_{SZ}) προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\beta_{SZ} = \frac{2 \max P}{\pi * l * d}$$

Οι σχέσεις, οι οποίες συνδέουν την αντοχή σε εφελκυσμό με την αντοχή σε διάρρηξη και την αντοχή σε διάρρηξη με την αντοχή σε θλίψη, είναι αντιστοίχως οι εξής:

$$\beta_Z \hat{=} (0,55 \div 0,85) * \beta_{SZ}$$

$$\beta_{SZ} \hat{=} (0,65) (\beta_D)^n$$

Οι τιμές του (n) προσδιορίζονται ως εξής:

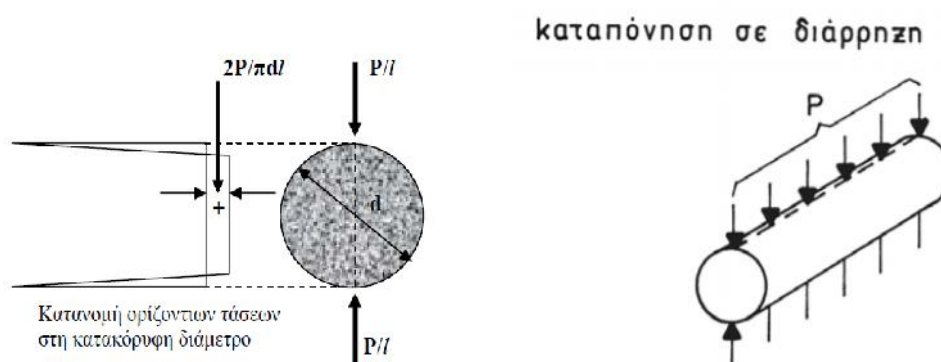
$n = 0,66 \div 0,72$ για θραυστό υλικό

$n = 0,60 \div 0,66$ για στρογγυλομένο υλικό

Στη δοκιμή διάρρηξης (γνωστή και ως “Brazilian Test”), (Εικ.93), οι διαστάσεις του κυλινδρικού δοκιμίου έχουν διάμετρο 150 mm και μήκος περίπου 300 mm ή διαφορετικών διαστάσεων σύμφωνα με της προδιαγραφές των κανονισμών του σκυροδέματος και υποβάλλεται προοδευτικά σε αυξανόμενο θλιπτικό φορτίο (**P**) ομοιόμορφα κατανεμημένο κατά μήκος δύο αντιδιαμετρικά γενετειρών της παράπλευρης επιφάνειας. Τα αντιδιαμετρικά αυτά φορτία προκαλούν οριζόντιες εφελκυστικές τάσεις (σ_h), ομοιόμορφα κατανεμημένες στο μεγαλύτερο τμήμα του κατακόρυφου επιπέδου του οριζόμενου από τις αντιδιαμετρικές γενετειρές, με μέγεθος ίσο με:

$$\sigma_h = \frac{2 * P}{\pi * d * l}$$

Με την αύξηση του θλιπτικού φορτίου οι τάσεις (σ_h), φθάνουν την μέγιστη τιμή τους και το δοκίμιο διαχωρίζεται (διαρρηγνύεται) κατά μήκος του επιπέδου αυτού.



(Εικ.93) Δοκιμή έμμεσου εφελκυσμού από διάρρηξη

Η μέγιστη τιμή της εφελκυστικής αυτής τάσης, ορίζεται ως εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη ($f_{ct,sp}$), δίνεται συναρτήσει του μέγιστου θλιπτικού φορτίου διάρρηξης (P_{SP}) από την σχέση :

$$f_{ct,sp} = 2 \frac{P_{SP}}{\pi * d * l}$$

Επίσης έχουν διατυπωθεί εμπειρικές σχέσεις έκφρασης της εφελκυστικής αντοχής συναρτήσει της αντοχής του σκυροδέματος σε θλίψη, όπως η σχέση:

$$f_{ct} = 0,3 f_c^{2/3}$$

Όπου :

$f_{ct} =$

$f_c =$

Από πειραματικά αποτελέσματα (Εικ.94), (Εικ.95), (Εικ.96) , έχει βρεθεί ότι :

$$f_{ct} = 0,9 f_{ct,sp}$$



(Εικ.94) δοκιμή διάρρηξης (γνωστή και ως “Brazilian Test”)



(Εικ.95) Αποτέλεσμα της διάρρηξης σε κάτοψη



(Εικ.96) Αποτέλεσμα της διάρρηξης σε πλάγια τομή

E.1.7 Αντοχή σε σημειακή φόρτιση (Point Load Test) ^{[2],[11],[14],[16]}

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές BRAX. E103-84, παρ. 5 Του ΥΠΕΧΩΔΕ, ASTM D 5731-95, και ISRM (1972, 1985).

Πρόκειται για μια απλή μέθοδο εφελκυσμού σε κυλινδρικά δοκίμια, όπου η απαιτούμενη θλιπτική δύναμη εφαρμόζεται σημειακά, σε αντιδιαμετρικά σημεία, επί της κυλινδρικής επιφάνειας των δοκιμίων. Δεν απαιτεί κατάλληλα διαμορφωμένα δοκίμια και για το λόγο αυτό η μέθοδος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αντοχής σε θλίψη, δοκιμίων που για διάφορους λόγους δεν μπορούσαν να μορφοποιηθούν κατάλληλα. Με την μέθοδο αυτή υπολογίζεται ο συντελεστής

$$I_s = \frac{P}{d^2}$$

Όπου :

$$I_s = \quad \mu$$

P = είναι το φορτίο και

$d = D_e = D$ = είναι η διάμετρος του δοκιμίου μετρούμενη ως η απόσταση μεταξύ των δύο αντιδιαμετρικών σημείων εφαρμογής της δύναμης.

Λαμβάνοντας υπόψη την προβλεπόμενη (κατά ISRM) διόρθωση (**f**) της διαμέτρου των δοκιμίων, σύμφωνα με την σχέση:

$$f = \left(\frac{D_0}{50}\right)^{0.45}$$

f =

D₀ = μ μ

Έτσι ο δείκτης σημειακής φόρτισης διατυπώνεται ως εξής

$$I_{s(50)} = f \cdot I_s$$

Επίσης εκτιμάται το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας βάσει της σχέσεως :

$$E_t = (0.588 \cdot I_s \div 0.084) \cdot 10^4 \text{ (Irfan \& Dearman)}$$

Τα αποτελέσματα της δοκιμής προσδιορισμού του δείκτη σημειακής φόρτισης φαίνονται στα αντίστοιχα έντυπα ανάλογα με τον τύπο της δοκιμής.

Από διάφορους ερευνητές έχουν προταθεί εμπειρικές σχέσεις συσχέτισης του δείκτη σημειακής φόρτισης και της θλιπτικής αντοχής. Η σχέση που τα συνδέει είναι της μορφής ανάλογα με τη διάμετρο βάσης :

$$\sigma_c = (18 \div 24) \cdot I_{s(50)}$$

ή

$$\sigma_c = 22 \cdot I_{s(50)} \text{ (κατ' ISRM 1985)}$$

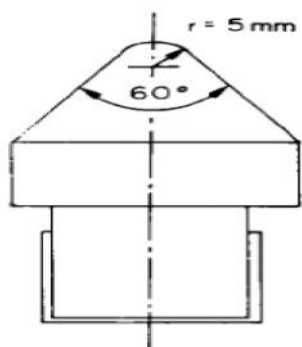
Περιγραφή της δοκιμής σημειακής φόρτισης

Η σημειακή φόρτιση είναι μια απλή και γρήγορη δοκιμή και αρκετά οικονομική, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο στο εργαστήριο όσο και στο πεδίο.

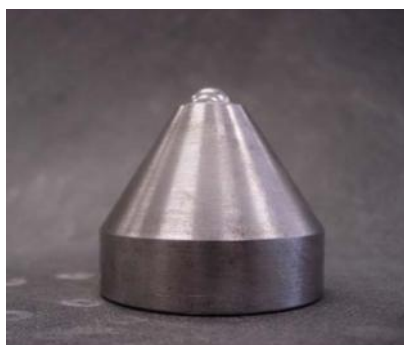
Κατά την εκτέλεση της δοκιμής το δοκίμιο φορτίζεται αντιδιαμετρικά από δύο έμβολα με σφαιρικά άκρα ακτίνας 5 mm. (Εικ.97). Η δοκιμή μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε κυλινδρικό είτε σε ακανόνιστου σχήματος δοκίμιο και ειδικά στην περίπτωση του κυλινδρικού η φόρτιση η φόρτιση μπορεί να γίνει κάθετα ή παράλληλα στον άξονα του.

Συνήθως η διαμετρική δοκιμή είναι η προτιμητέα, διότι μπορεί να εκτελεστεί σε πυρήνες γεωτρήσεων χωρίς καμία επεξεργασία δηλαδή επιπέδωση βάσεων .

Στα κάτωθεν σχήματα απεικονίζονται α) το σφαιρικό έμβολο και β) διάφορα μοντέλα συσκευών σημειακής φόρτισης και τοποθέτηση δοκιμίου διαμετρική και γ) διάφοροι τρόποι φόρτισης ανάλογα με το σχήμα του δοκιμίου

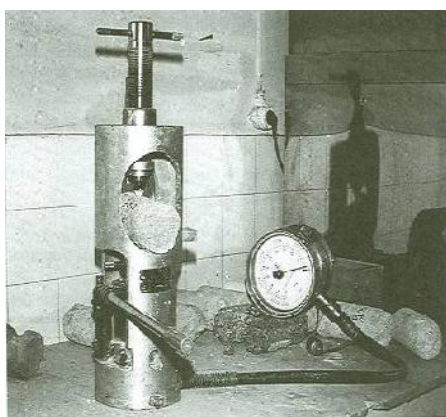


(α)



(β)

(Εικ.97) : Σφαιρικό άκρο εμβόλου ακτίνας 5 mm. (α) σε διατομή και (β) σε μέταλλο)



Συσκευή σημειακής φόρτισης.

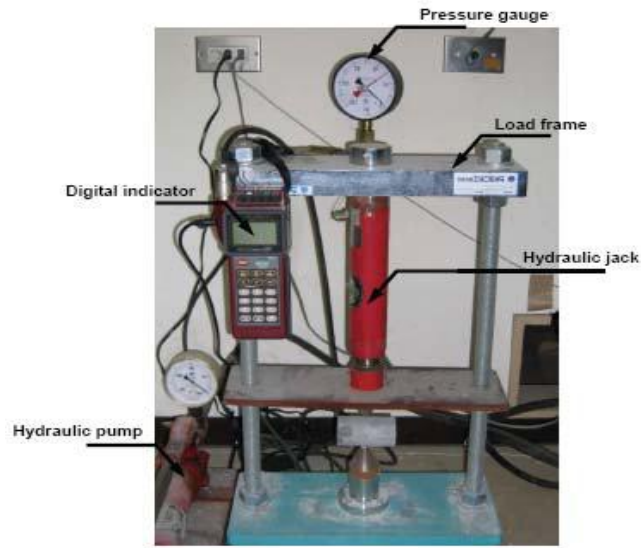
(α)



(β)

(Εικ.98) : Συσκευές σημειακής φόρτισης διαφόρων τύπων (α), (β) και (γ))

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ



(γ)



(α)



(β)

(Εικ.99) : Δοκιμή σημειακής φόρτισης (α) αξονική και (β) διαμετρική

Οι εναλλακτικοί τρόποι φόρτισης ανάλογα με το σχήμα του δοκιμίου και οι απαιτούμενες διαστάσεις των δοκιμίων είναι οι εξής: (Εικ.100)

1. Διαμετρική δοκιμή (Εικ.99)
2. Αξονική δοκιμή (Εικ.99)
3. Δοκιμή σε ορθογωνικό δοκίμιο
4. Δοκιμή σε ακανόνιστου σχήματος δοκίμιο

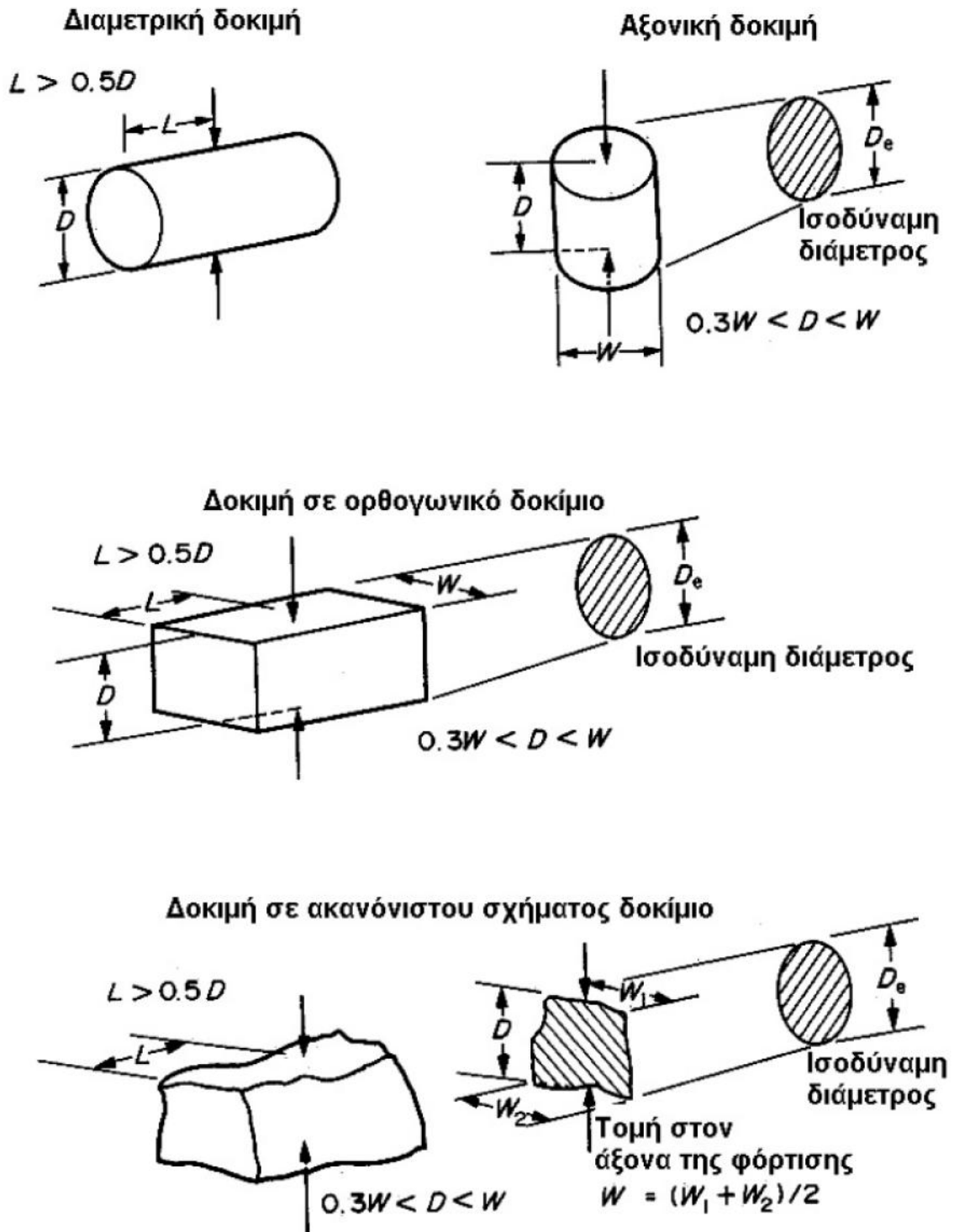
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Λόγω της εφαρμοζόμενης θλιπτικής δύναμης αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις κάθετα σε μια επίπεδη επιφάνεια η οποία διέρχεται από τον άξονα της δύναμης που ορίζεται από τα δύο σημεία φόρτισης και ποικίλλει ανάλογα με το σχήμα και την ανισοτροπία του δοκιμίου. Η αστοχία επέρχεται με θραύση λόγω των εφελκυστικών τάσεων στην επιφάνεια αυτή. Αν το επίπεδο της αστοχίας δεν διέρχεται και από τα δύο σημεία φόρτισης ή αν ταυτίζεται με την επιφάνεια κάποιας ασυνέχειας το πείραμα δεν είναι αποδεκτό.

Τα ακόλουθα σχήματα δείχνουν :

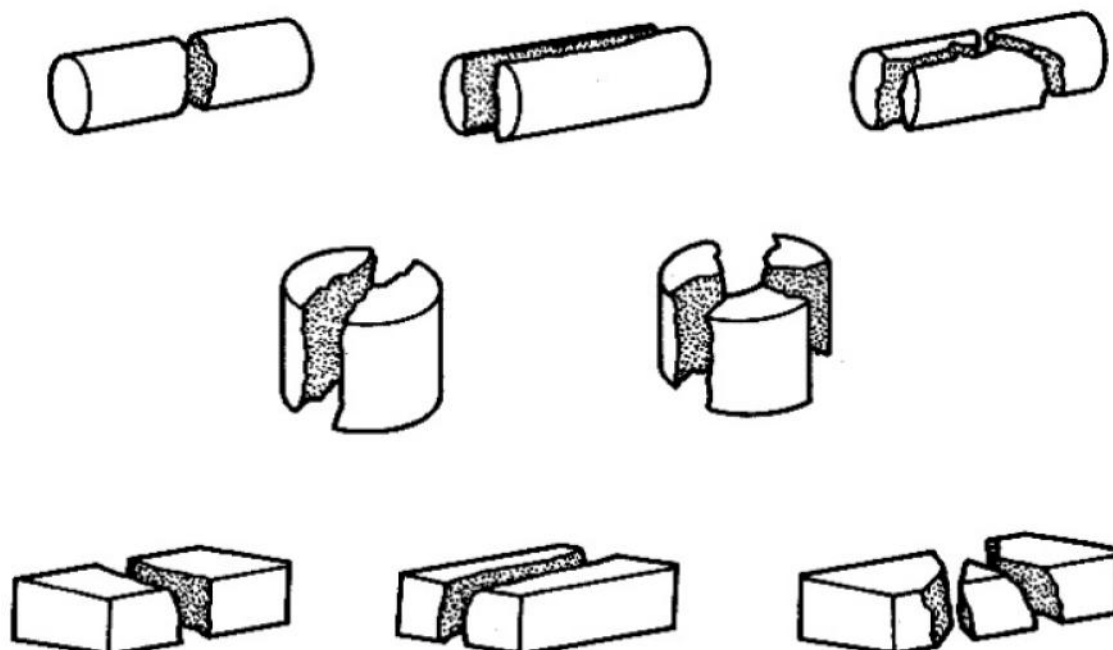
Πρώτον : Τους εναλλακτικούς τρόπους φόρτισης ανάλογα με το σχήμα του δοκιμίου και τις απαιτούμενες διαστάσεις των δοκιμίων (Εικ.100)

Δεύτερον: Τους πιθανούς τρόπους αστοχίας έναντι σημειακής φόρτισης (Εικ.101)



(Εικ.100) : Εναλλακτικοί τρόποι φόρτισης ανάλογα με το σχήμα του δοκίμιου και απαιτούμενες διαστάσεις των δοκιμίων)

Αποδεκτοί τρόποι αστοχίας



Μη αποδεκτοί τρόποι αστοχίας



(Εικ.101): Πιθανοί τρόποι αστοχίας έναντι σημειακής φόρτισης)

Το φορτίο αστοχίας εξαρτάται από το εμβαδόν της μικρότερης επιφάνειας η οποία διέρχεται από τον άξονα της δύναμης και όχι από την απόσταση των ακμών φόρτισης, αλλά ούτε και από την επιφάνεια θραύσης (Brook, 1985). Αυτό αποδεικνύεται με την εκτέλεση πειραμάτων σε κυλινδρικά δοκίμια κάθετα και παράλληλα στον άξονά τους, τέτοιων διαστάσεων ώστε το εμβαδόν της μικρότερης επιφάνειας που διέρχεται από τις ακμές φόρτισης να είναι ίδιο και στις δύο περιπτώσεις

Στο επόμενο σχήμα (Εικ.102) απεικονίζεται μια τέτοια πειραματική διαδικασία για ένα σύνολο είκοσι δοκιμίων (20), όπου ο μέσος όρος του φορτίου θραύσης για τις διαμετρικές δοκιμές είναι

ίσος με 8,37 kN, καθώς η μέση διάμετρος είναι $D = 49,97$ mm και το εμβαδόν C.S.A. (Cross Section Area) ίσον με 1961 mm² :

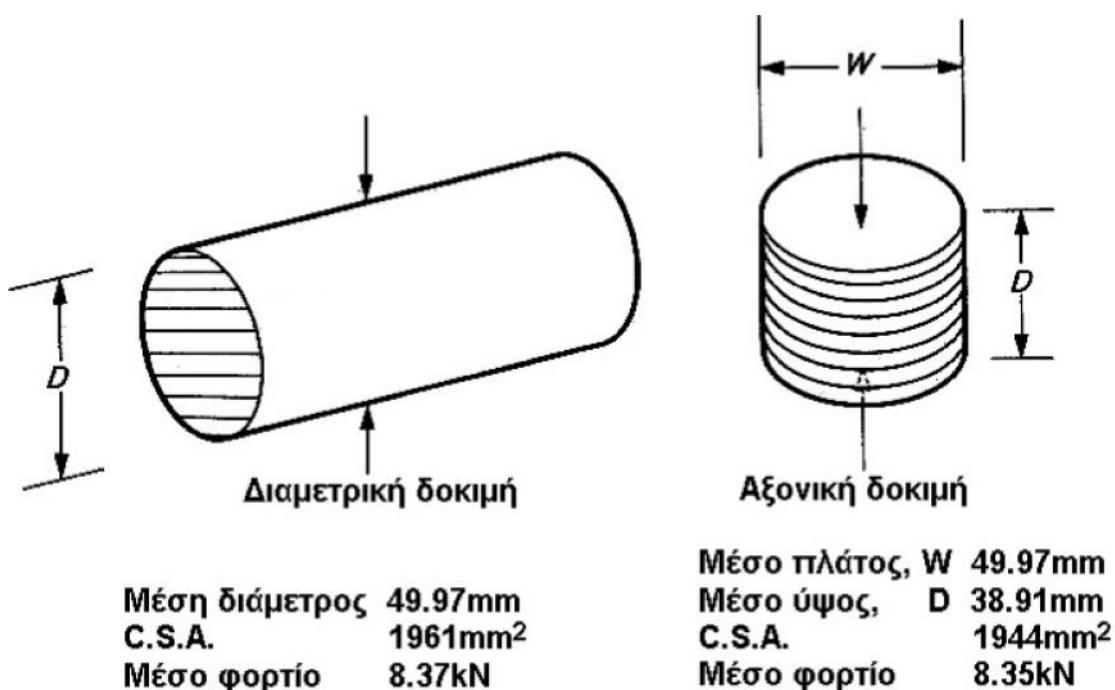
$$C.S.A. = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$C.S.A. = \frac{3.14 * 49.97^2}{4} = 1961 \text{ mm}^2$$

και ο αντίστοιχος για τις αξονικές δοκιμές, ο μέσος όρος του φορτίου θραύσης είναι ίσος με 8,35 kN, καθώς το μέσο πλάτος $W = 49.97$ mm και μέσο ύψος $D = 38,91$ mm, το εμβαδόν θα είναι ίσον με C.S.A. (Cross Section Area) ίσον με 1944 mm² :

$$C.S.A. = W * D$$

$$C.S.A. = 49.97 * 38.91 = 1944 \text{ mm}^2$$

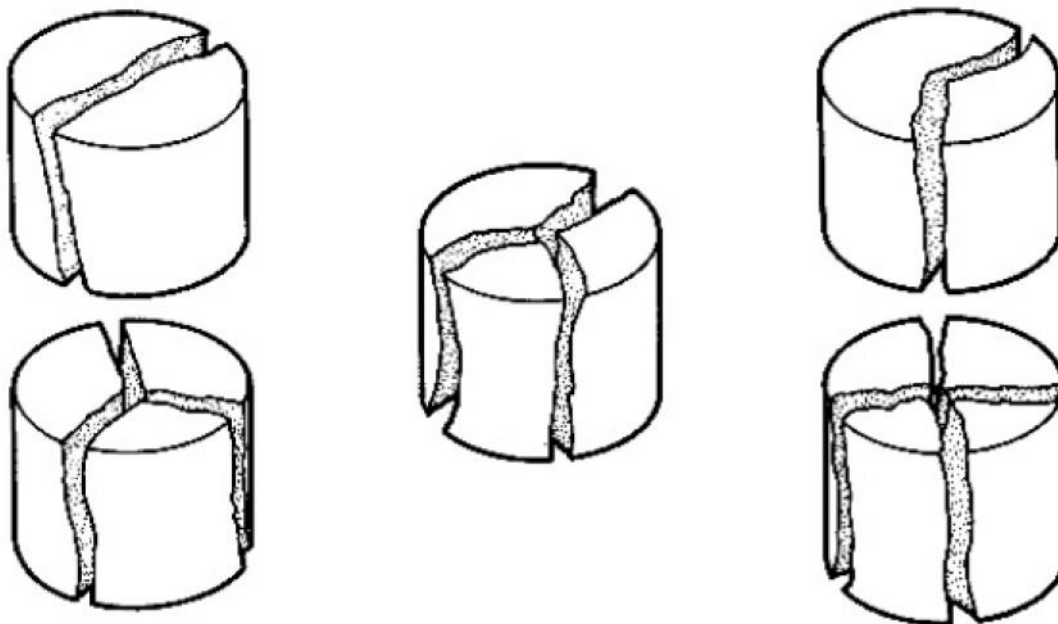


(Εικ.102) : Διαμετρικές και αξονικές δοκιμές σε δοκίμια με την ίδια μικρότερη επιφάνεια που διέρχεται από τον άξονα φόρτισης)

Για την αξονική δοκιμή πρέπει να ισχύει η ανισότητα $0,3*W < D < W$, πράγματι ισχύει

$$0,3*49,97 \text{ mm} < 38,91 \text{ mm} < 49,97 \text{ mm} \text{ η } 14,99 \text{ mm} < 38,91 \text{ mm} < 49,97 \text{ mm}$$

Επίσης στο επόμενο σχήμα (Εικ.103), φαίνεται ότι για τις αξονικές δοκιμές η επιφάνεια θραύσης ήταν διαφορετική αφού το δοκίμιο χωριζόταν σε δύο, τρία ή ακόμη και σε τέσσερα κομμάτια με το φορτίο να παραμένει πρακτικά το ίδιο



(Εικ.103) : Διαφορετικοί τύποι αστοχίας σε αξονικές δοκιμές)

Από ότι γνωρίζουμε με το φορτίο αστοχίας λαμβάνεται ο δείκτης αντοχής σε σημειακή φόρτιση (I_s) ως το πηλίκο του φορτίου αστοχίας P προς το τετράγωνο της απόστασης D μεταξύ των ακμών φόρτισης

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

E.1.8 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΕΡΓΟ^{[2],[15],[25],[38]}

Για τον έλεγχο του σκληρυμένου σκυροδέματος εφαρμόζονται οι έμμεσες ή μη καταστροφικές μέθοδοι (Non-destructive methods). Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι οι ακόλουθες:

- Κρουστικές μέθοδοι (Rebound Hammer Test)
- Ταχύτητα υπερήχων (Ultrasonic Pulse Velocity)
- Εξόλκευση ήλου (Pull-out Test)
- Μέτρηση ραδιοπερατότητας

Κρουστικές μέθοδοι

Στηρίζονται στη μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας ή της επιφανειακής ελαστικότητας. Οι κυριότερες είναι:

- a) Το **κρουσίμετρο αναπηδήσεως του Schmidt** (Εικ.104) με το οποίο μετρείται η αναπήδηση μάζας που εκτοξεύεται, μέσω ελατηρίου, επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος και αναπηδά



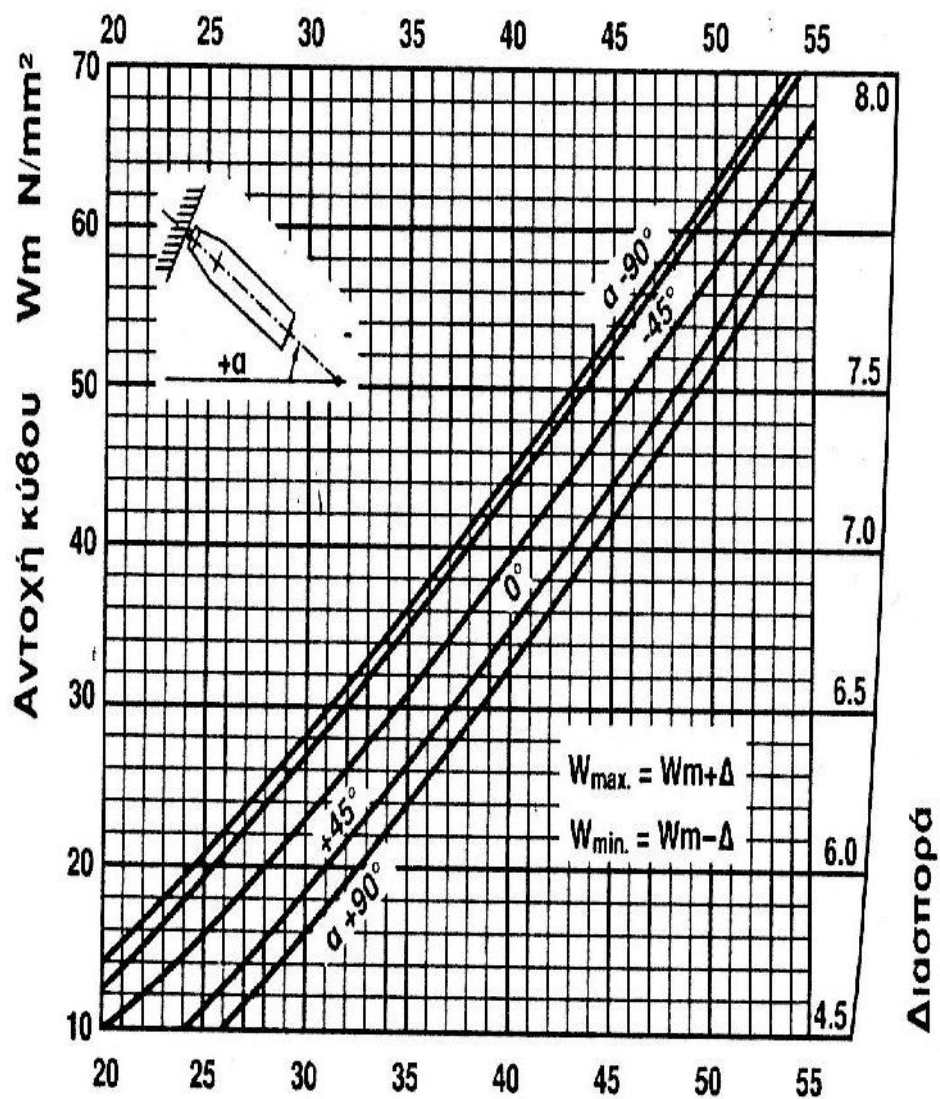
(Εικ.104) : διάφοροι τύποι κρουσιμέτρου

- b) Η **σφύρα του Franck**, κατά την οποία σφαίρα διαμέτρου 10 mm κρούεται, μέσω ελατηρίου, επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος και μετρείται η διάμετρος του ίχνους (ουλής) που αφήνει η σφαίρα επάνω στην επιφάνεια
- c) Η **σφύρα του Einbeck**, στην περίπτωση αυτή μετρείται πάλι το ίχνος σφαίρας διαμέτρου 25 mm που πέφτει από ορισμένο ύψος.

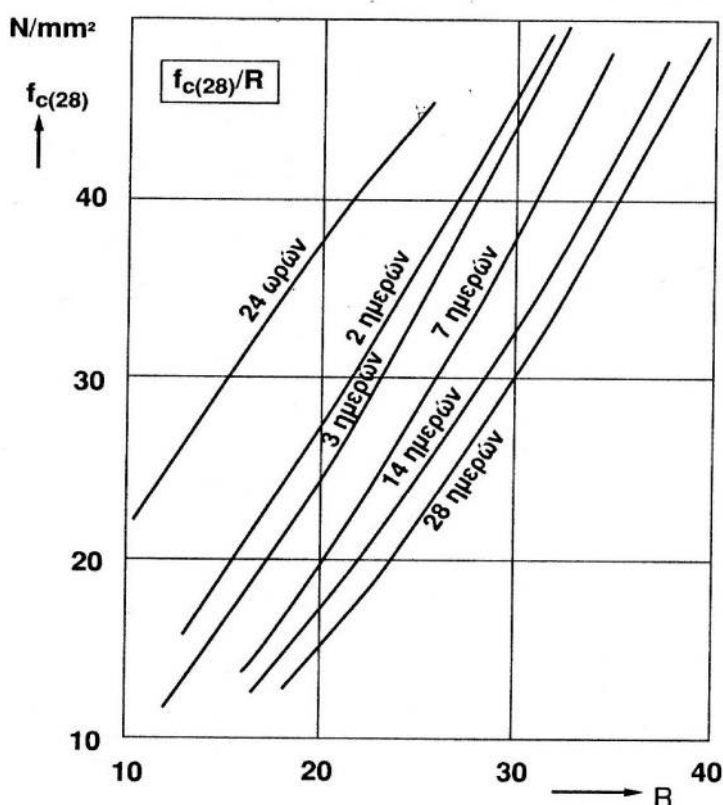
στην Ελλάδα έχει επικρατήσει το κρουσίμετρο αναπηδήσεως του **Schmidt**. Η συσχέτιση της αναπηδήσεως με την αντοχή γίνεται με την βοήθεια καμπυλών συσχέτισεως, που έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα.

Τέτοιες καμπύλες δίδονται από τον κατασκευαστή του οργάνου (Εικ.105) . Η σχέση όμως εξαρτάται σημαντικά από την ποιότητα των αδρανών, του τσιμέντου, του τρόπου συμπακνώσεως κτλ και επομένως, η εκτίμηση της αντοχής είναι καλύτερη όταν οι καμπύλες

έχουν προκύψει από μετρήσεις με την ίδια ποιότητα υλικών και τρόπο παρασκευής που εφαρμόζονται στο σκυρόδεμα που ελέγχεται.



(Εικ.105) : Διάγραμμα συσχέτισης αναπήδησης – αντοχής, κρουσιμέτρου τύπου Schmidt)



(Εικ.106) : Καμπύλες συσχέτισης αναπηδήσεως R και αντοχής, σε διάφορες ηλικίες)

Οι καμπύλες του Σχήματος (Εικ.106), έχουν προκύψει από ελληνικά δεδομένα και η καμπύλη αυτή έχει την μορφή

$$f_{c(28)} = 0,03 R_{28}^{2,03}$$

Όπου R_{28} η αναπήδηση του οργάνου για σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών.

Οι διάφοροι παράγοντες, όπως η ποιότητα και η ποσότητα του τσιμέντου, η ηλικία του σκυροδέματος κτλ επηρεάζουν κατά διαφορετικό τρόπο το αποτέλεσμα

Για να ληφθούν δε υπ όψιν οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή, εισάγονται διορθωτικοί συντελεστές C_1, C_2, C_3, C_4 και η τελική αναπήδηση που θα εισαχθεί στην παραπάνω σχέση θα είναι:

$$R = R' C_1 C_2 C_3 C_4$$

Όπου:

R' μ

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 37: Διορθωτικοί συντελεστές ανάλογα με (ποιότητα, ποσότητα, ηλικία και υγρασία)

	Ποιότητα Τσιμέντου C₁	Ποσότητα Τσιμέντου C₂	Ηλικία Σκυροδέματος C₃	Υγρασία Σκυροδέματος C₄
Τσιμέντο Πόρτλαντ καθαρό, υψηλής αντοχής	1,00			
Τσιμέντο με προσθήκες (ποζολάνες, σκωρίες, τέφρα)	0,87			
100 kg/m ³		0.66		
200 kg/m ³		0.85		
300 kg/m ³		1.00		
350 kg/m ³		1.06		
400 kg/m ³		1.12		
500 kg/m ³		1.24		
6 – 10 ημέρες			1,07	
14 – 56 ημέρες			1,00	
100 – 300 ημέρες			0,92	
5 έτη			0,80	
Σκυρόδεμα χαμηλής αντοχής (R = 20)				
κεκορεσμένο				1,52
Μέσης υγρασίας				1,00
ξηρό				0,94
Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής (R = 40)				
κεκορεσμένο				1,12
Μέσης υγρασίας				1,00
ξηρό				0,96

ΣΤ.1ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ [17],[19],[23],[31],[33]

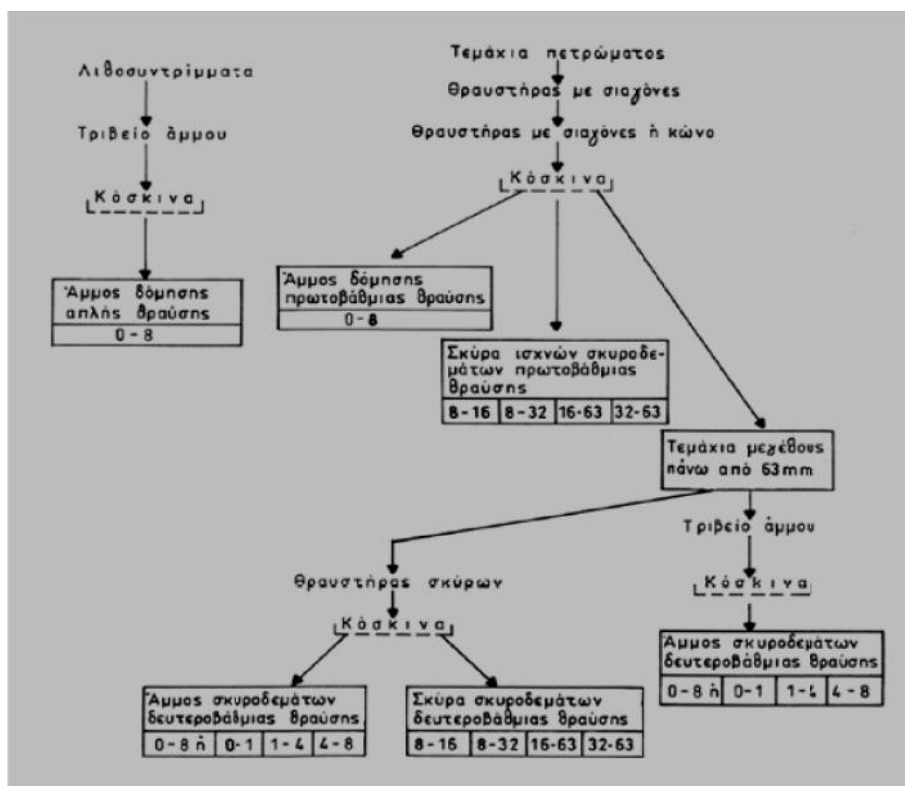
Τα αδρανή υλικά οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι παραμένουν χημικώς αδρανή, σε αντίθεση με το τσιμέντο και το νερό. Επίσης συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους και συμβάλλουν, μηχανικά μόνο, στην αντοχή του τελικού προϊόντος.

Ως αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν θεωρητικά οποιαδήποτε υλικά συγκεντρώνουν τις τρεις βασικές απαιτήσεις:

- Επαρκή αντοχή
- Επαρκή πρόσφυση
- Χημική συνεκτικότητα με την τσιμεντοκοκία.

Το συγγενέστερο υλικό προς την τσιμεντοκοκία είναι τα **πετρώματα** και για αυτό κατά κανόνα ως αδρανή υλικά για την παρασκευή του κοινού τύπου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται συντρίμματα διαφόρων πετρωμάτων. (Εικ. 107)

Τα πετρώματα είτε θραύονται τεχνητά (**θραυστά**), είτε συλλέγονται όπως βρίσκονται στην φύση (**συλλεκτά**).



(Εικ. 107) : Διαδικασία παραγωγής θραυστών αδρανών υλικών

Τα καταλληλότερα πετρώματα είναι τα **ασβεστολιθικά** και τα **πυριτικά** .

Οι κύριες **κατηγορίες πετρωμάτων**^{[40],[42],[43],[44],[45]} που χρησιμοποιούνται για αδρανή είναι:

❖ **Μαγματικά πετρώματα :**

1. Γρανίτες
2. Διορίτες
3. Γάββροι
4. Ρυόλιθοι
5. Ανδεσίτες
6. Δακίτες
7. Βασάλτες

❖ **Ιζηματογενή πετρώματα :**

1. Αμμοχαλικώδεις αποθέσεις
2. Ασβεστόλιθοι

❖ **Μεταμορφωμένα πετρώματα:**

1. Γνεύσιοι (ορθογνεύσιοι)
2. Χαλαζίτης

Τα συνηθέστερα πετρώματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αδρανών υλικών στην Ελλάδα είναι τα ασβεστολιθικά, για τους εξής λόγους:

- ❖ Ικανοποιούν τις μηχανικές αντοχές των συνήθων κατασκευών
- ❖ Έχουν μικρό κόστος θραύσης
- ❖ Συναντώνται στα περισσότερα μέρη του Ελλαδικού χώρου

Αδρανή διαφορετικής προελεύσεως χρησιμοποιούνται για ειδικά σκυροδέματα, όπως είναι τα :

- Ελαφρά
- Βαριά
- Σκυροδέματα για ειδικούς σκοπούς

Πίνακας 38: Τύποι αδρανών υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή σκυροδέματος

ΑΔΡΑΝΗ		ΕΙΔΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΦΥΣΙΚΑ	ΤΕΧΝΗΤΑ	
Συντρίμματα βαριών	Βιομηχανικά κατάλοιπα	Βαρύ σκυρόδεμα

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

πετρωμάτων (βαρίτης, μαγνητίτης κ.α.)	σιδήρου (ρινίσματα κ.α.)	
Θραυστά ή συλλεκτά συντρίμματα πετρωμάτων μέσου ειδικού βάρους (ασβεστολιθικά, πυριτικά κ.α.)	Ίνες αμιάντου	Κοινό σκυρόδεμα
Θραυστά ή συλλεκτά τεμάχια ελαφρών πετρωμάτων (κίσηρη κ.α.)	Σκουριά υφικαμίνων, διογκωμένη άργιλος, διογκωμένος σχιστόλιθος, περλίτης κ.α.	Ελαφρά σκυροδέματα

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι:

- Η αντοχή τους (αντοχή του μητρικού πετρώματος),
- Η καθαρότητα , η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών,
- Η πρόσφυση με την κονία ,
- Η χημική συμπεριφορά τους με τα άλλα συστατικά του σκυροδέματος ή με ουσίες που μπορεί να διεισδύσουν μέσα στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της ζωής του,
- Το σχήμα και
- Το μέγεθος των κόκκων κ.α.

ΣΤ.1.1 Αντοχή Μητρικού Πετρώματος^[17]

Η μηχανική αντοχή του σκυροδέματος είναι το κυριότερο χαρακτηριστικό, όπου σημασία έχει η αντοχή σε θλίψη του μητρικού πετρώματος, η οποία καθορίζεται από τον αντίστοιχο κανονισμό. (ΕΛΟΤ 408), (Εικ. 108)

Την αντοχή την μετρούμε με (6) κυβικά δοκίμια διατομής πλευράς (7x7x7) mm ή κυλινδρικούς πυρήνες Φ75 και ύψους 75 mm.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π 1.5. Συνοπτικός πίνακας ιδιοτήτων διαφόρων πετρωμάτων¹

Είδος πετρώματος	φ. ε. βάρος (DIN 52102) t/m ³	Απορρόφηση νερού (DIN 52105)		Αντοχή σε θλίψη στεγνού πετρώματος (DIN 52105) kg/cm ²	Αντοχή σε εφελκυσμό κάμψεως (DIN 52112) kg/cm ²	Αντοχή σε κρούση (DIN 52107) Αριθμός κρούσεων έως τη θραύση	Φθορά σε τριβή (DIN 51108) Απώλεια ανά 50 cm ² cm ³
		κατά βάρος %	κατ' όγκο (φανόμενο πορώδες) %				
A. Μαγματογενή							
1. Γρανίτης, Σηνήτης	2,60 - 2,80	0,2 - 0,5	0,4 - 1,4	1600 - 2400	100 - 200	10 - 12	5 - 8
2. Διορίτης, Γάβρος	2,80 - 3,00	0,2 - 0,4	0,5 - 1,2	1700 - 3000	100 - 220	10 - 15	5 - 8
3. Χαλαζιακός πορφύρης, κερατοφύρης, πορφυρίτης, Ανδεσίτης	2,55 - 2,80	0,2 - 0,7	0,4 - 1,8	1800 - 3000	150 - 200	11 - 13	5 - 8
4. Βασάλτης, Μελαφύρης, Βασαλτική λάβα	2,95 - 3,00 2,20 - 2,35	0,1 - 0,3 4 - 10	0,2 - 0,8 9 - 24	2500 - 4000 800 - 1500	150 - 250 80 - 120	12 - 17 4 - 5	5 - 8,5 12 - 15
5. Διαβάσης	2,80 - 2,90	0,1 - 0,4	0,3 - 0,1	1800 - 2500	150 - 250	11 - 16	5 - 8
B. Στρωσιγενή πετρώματα							
6. Πυριτικά πετρώματα:							
Χαλαζίτης,	2,60 - 2,65	0,2 - 0,5	0,4 - 1,3	1500 - 3000	130 - 250	10 - 15	7 - 8
Χαλαζιτικός ψαμίτη	2,60 - 2,65	0,2 - 0,5	0,4 - 1,3	1200 - 2000	120 - 200	8 - 10	7 - 8
Άλλα είδη χαλαζιακού ψαμίτη	2,00 - 2,65	0,2 - 9	0,5 - 24	300 - 1800	30 - 150	5 - 10	10 - 14
7. Ασβεστόλιθος							
Συμπαγείς ασβεστόλιθοι & δολομίτες(περιλ. μαρμάρων), Λοιποί ασβεστόλιθοι & Ασβεστολιθικά συμφύσματα, Τραβερίνης	2,65 - 2,85 1,70 - 2,60 2,40 - 2,50	0,2 - 0,6 0,2 - 10 2 - 5	0,4 - 1,8 0,5 - 25 4 - 10	800 - 1800 200 - 900 200 - 600	60 - 150 50 - 80 40 - 100	8 - 10 - -	15 - 40 - -
8. Ηφαιστειακοί τόφφοι	1,80 - 2,00	6 - 15	12 - 30	200 - 300	20 - 60	-	-
Γ. Μεταμορφωσιγενή							
9. Γνεύσιος, Γρανουλίτης	2,65 - 3,00	0,1 - 0,6	0,3 - 1,8	1600 - 2800	-	6 - 12	4 - 10

(Εικ. 108) : Συνοπτικός πίνακας ιδιοτήτων διαφόρων πετρωμάτων

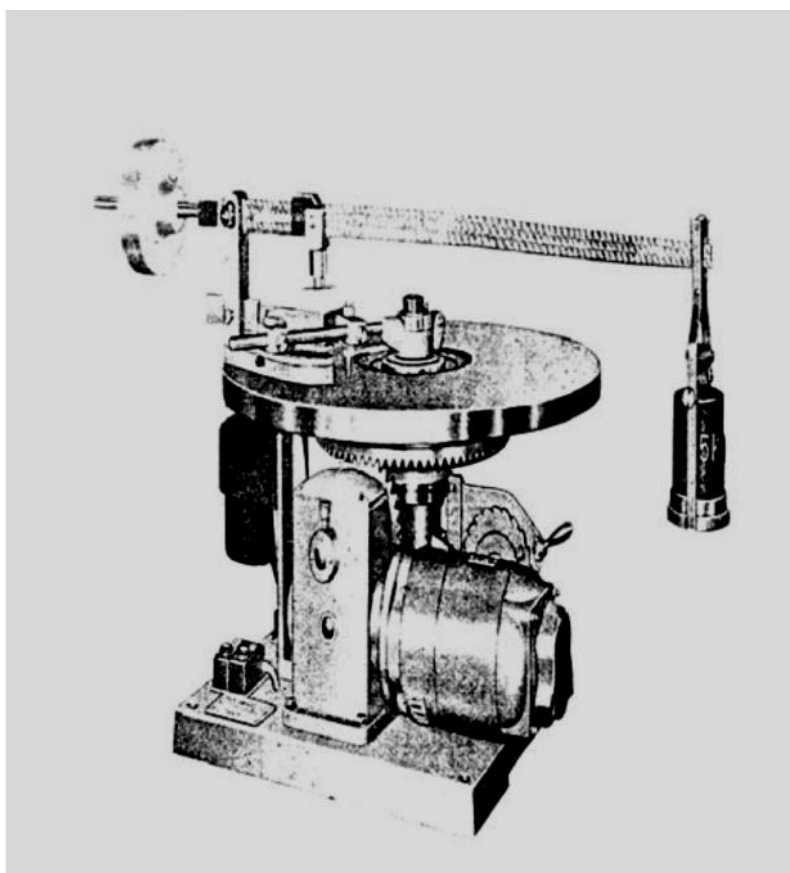
Επομένως η αντοχή του μητρικού πετρώματος πρέπει να έχει θλιπτική αντοχή τουλάχιστον 65MPa (ΕΛΟΤ 408). Αλλά ο **Κ.Τ.Σ.** προβλέπει δυνατότητα χρήσης και χαμηλότερης αντοχής εφόσον από την μελέτη σύνθεσης αποδειχθεί ότι επιτυγχάνεται η απαιτούμενη αντοχή και ανθεκτικότητα του σκυροδέματος για το έργο που προσδιορίζονται. Στο EN 12620 δεν υπάρχει απαίτηση για έλεγχο αντοχής μητρικού πετρώματος

- Στην ανθεκτικότητα σε επιφανειακή φθορά από τριβή και κρούση
- Στην ανθεκτικότητα στην αποσάθρωση (υγεία)

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 την συσκευή **Böhme**. (Εικ. 109)



(Εικ. 109) : Συσκευή **Böhme**

Ενώ ο προσδιορισμός της φθοράς από τριβή και κρούση γίνεται με τη συσκευή **Los Angeles**. (Εικ. 110)

Η δοκιμή αυτή προσδιορίζει την καταλληλότητα των αδρανών στο σκυρόδεμα εφόσον το αποτέλεσμα ελέγχου δεν υπερβαίνει το 40%. Στο πρότυπο (ΕΛΟΤ EN 12620) υπάρχουν κατηγορίες αντίστασης σε θρυμματισμό και είναι από (15 – 50)%. Παρόλο που και στις δύο προδιαγραφές χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος, τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα.

Διαφορές υπάρχουν στα ποσοστά συμμετοχής των κλασμάτων στο δείγμα, στο συνολικό βάρος και στο πλήθος των σφαιρών που εισάγονται στον κάδο της μηχανής, έτσι ώστε πρακτικά να μιλάμε για μια σχεδόν διαφορετική δοκιμή.

Επιπλέον για τον υπολογισμό της αντίστασης σε θρυμματισμό (ΕΛΟΤ EN 12620) και αντοχής σε επιφανειακή φθορά από τριβή και κρούση (Κ.Τ.Σ. – 97) οι δύο προδιαγραφές χρησιμοποιούν διαφορετικό κόσκινο. (1,6 mm. κατά EN και 1,7 mm. κατά ASTM)



(Εικ. 110) 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 την δοκιμή «υγείας του πετρώματος». Κατά την δοκιμή αυτή η άμμος πρέπει να παρουσιάζει απώλεια μικρότερη από 10%, και τα αδρανή με μεγαλύτερους κόκκους απώλεια μικρότερη από 12%.

Η ανθεκτικότητα προσδιορίζεται είτε με την επίδραση διαλυμάτων θεικών αλάτων. Κατά (Κ.Τ.Σ. – 97), συνήθως χρησιμοποιείται το NaSO_4 ενώ στο ΕΛΟΤ EN 12620 μόνο το MgSO_4 , είτε με εναλλαγή σε κύκλους ψύξης - απόψυξης.

Στον ΕΛΟΤ EN 12620 η ποσοστιαία απώλεια μάζας του χονδρόκοκκου αδρανούς στους κύκλους ψύξης – απόψυξης κατηγοριοποιείται στο να είναι από (0 – 4)%, ενώ η αντίστοιχη απώλεια μάζας στην δοκιμή υγείας με MgSO_4 δηλώνεται και πρέπει να είναι εντός των ορίων (0 – 35)%. (Εικ. 111)



(Εικ. 111) Υδρόμετρο με το συρμάτινο δοχείο (Soundness of Aggregates ASTM C88)

ΣΤ.1.2 Η καθαρότητα

Με την έννοια αυτή εννοούμε ότι τα αδρανή δεν πρέπει να έχουν επάνω στην επιφάνεια τους ή μέσα στην μάζα τους ή αναμεταξύ τους ξένες ουσίες που μπορεί να εμποδίσουν την πρόσφυση με το κονίαμα ή να έχουν επιβλαβή χημική επίδραση στο τσιμέντο ή στο σίδηρο.

Τα κυριότερα από τα επιβλαβή πρόσμεικτα υλικά είναι :

- Παιπάλη
- Οργανικές προσμείξεις
- Θειούχες ενώσεις

Παιπάλη

Η παιπάλη (Εικ. 112) χαρακτηρίζεται το λεπτότερο τμήμα του αδρανούς, που διέρχεται από το Αμερικανικό πρότυπο κόσκινο Ν° 200 (75 μm) και προσδιορίζεται με την μέθοδο ASTM C117 (ΣΚ – 305).

Ιδιαίτερη σημασία έχει η κατανομή της παιπάλης μέσα στα αδρανή.

Απομακρύνεται με πλύση των αδρανών ή μειώνεται με την χρήση κυκλώνων κατά την

διαδικασία της παραγωγής. Το μεγάλο ποσοστό παιπάλης στην άμμο αυξάνει κυρίως την απαίτηση του σκυροδέματος σε νερό και οδηγεί στην μείωση της αντοχής και στην αύξηση της συστολής ξηράνσεως (δημιουργία ρωγμών στο σκληρυμένο σκυρόδεμα, ιδιαίτερα το καλοκαίρι ή με πλημμελή συντήρησή του)

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Η παιπάλη μπορεί να είναι:

- Κολλημένη επάνω στην επιφάνεια των χοντρότερων κόκκων
- Να σχηματίζει μικρούς σβώλους
- Να είναι διασκορπισμένη ομοιόμορφα ανάμεσα στους κόκκους των αδρανών

Κατά των ισχύοντα μέχρι τώρα Κ.Τ.Σ. του 97, η παιπάλη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% κ.β. της άμμου και το 1% κ.β. των χονδρότερων κλασμάτων (ρυζάκι, Γαρμπίλι, σκύρα)

Πίνακας 39: επιτρεπόμενη ποσότητα παιπάλης ανά μέγιστο κόκκο αδρανών στο 1 m³

Μέγιστος κόκκος αδρανών (mm)	Ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού σε 1m ³ σκυροδέματος (παιπάλη + τσιμέντο), (kg)
8	525
16	450
32	400
63	325



(Εικ. 112) Παιπάλη

Οργανικές προσμείξεις

Στις οργανικές προσμείξεις περιλαμβάνονται υλικά οργανικής (ζωικής ή φυσικής) προελεύσεως, γαιάνθρακες και λιγνίτες, (Σχηματισμός Γαιανθράκων) (Εικ. 113)

Τα οργανικά προϊόντα μπορεί να έχουν επίδραση στην πήξη της κονίας ή να δημιουργήσουν ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις (σκασίματα) στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

η επίδραση τους στην πήξη είναι μάλλον επιβραδυντική



(Εικ. 113) Σχηματισμός Γαιανθράκων

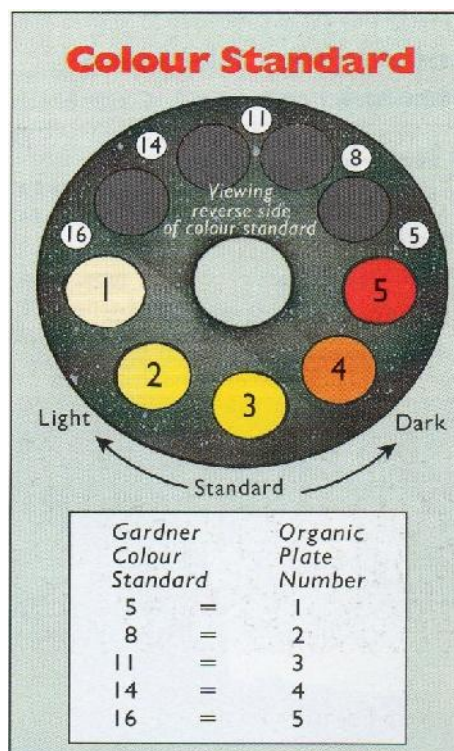
Πηγή : <http://www.allaboutenergy.gr/Gaianthrakes.html>

Επεξήγηση Εικόνας :

Burial pressure = Πίεση ταφής, Heat and time = Θερμοκρασία και χρόνο, Peat = Τύρφη, Lignite = Λιγνίτης, Sub-bituminous = Υποπισσούχοι γαιάνθρακες, Bituminous = Πισσούχοι γαιάνθρακες, Anthracite = Ανθρακίτης. {τα «θαμμένα» φυτά μετατρέπονται σε ορυκτούς άνθρακες με την διαδικασία της εξανθράκωσης (απομάκρυνση O, H, N με τη βοήθεια της πίεσης, της θερμοκρασίας και του γεωλογικού χρόνου).

Την ύπαρξη των οργανικών ουσιών τις ελέγχουμε με τις Αμερικανικές Προδιαγραφές ASTM C33 και C87 .

Κατά το DIN 1045 ο έλεγχος γίνεται με ανάμιξη των αδρανών με **διάλυμα υδροξειδίου του Νατρίου (NaOH) 3%**. Μέσα σε ένα ογκομετρικό δοχείο βάζουμε 130 cm³. Ανακατεύουμε το μείγμα, σκεπάζουμε καλά το δοχείο και το αφήνουμε 24 ώρες. Το χρώμα του διαλύματος δείχνει την ύπαρξη ή όχι οργανικών ουσιών. Ανοιχτό κίτρινο είναι ένδειξη αρνητική, ενώ σκούρο κίτρινο έως καφέ ή κόκκινο είναι ένδειξη θετική (Εικ. 114)



(Εικ. 114) Προδιαγραφές χρωμάτων

Θειούχες ενώσεις

Οι θειούχες ενώσεις μεταξύ των αδρανών έχουν δυσμενή επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος, σε μεγαλύτερη ποσότητα ή όταν είναι συγκεντρωμένες σε ορισμένα σημεία, μπορούν να προκαλέσουν ρηγματώσεις .

Τα αποτελέσματα των θειούχων ενώσεων εξαρτώνται από τον τύπο τους και είναι περισσότερο έντονα, όταν είναι διαλυτές στο νερό. Επίσης σημασία έχει και η δυνατότητα ή όχι στο να διεισδύσει μέσα στη μάζα του σκυροδέματος αέρας ή υγρασία.

Οι Γερμανικοί Κανονισμοί (DIN 4226) ορίζουν ως μέγιστο ανεκτό όριο των θειούχων ενώσεων, μετρούμενο σε SO_3 , το 1% του βάρους των στεγνών αδρανών.

Ο Κ.Τ.Σ. του 97 παραπέμπει στο Πρότυπο ΕΛΟΤ 408 οποίος επιβάλλει τον έλεγχο των ακόλουθων ορυκτολογικών συστατικών:

1. Ενώσεις θείου
2. Ενώσεις σιδήρου
3. Νιτρικά άλατα – αλογόνα (>0,2%)
4. Ενώσεις μολύβδου και ψευδαργύρου

5. Χλωριούχες και φωσφορικές ενώσεις
6. Αποσαθρώσιμα υλικά
7. Εύθρυπτοι και μαλακοί κόκκοι (<3%κ.β.)
8. Σβώλοι αργίλου (<25% κ.β.)
9. Γαϊάνθρακες – λιγνίτες
10. Κόκκοι κερατόλιθου
11. Οργανικές προσμίξεις
12. Αργιλικές προσμίξεις

ΣΤ.1.3 Κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση^{[17],[23]}

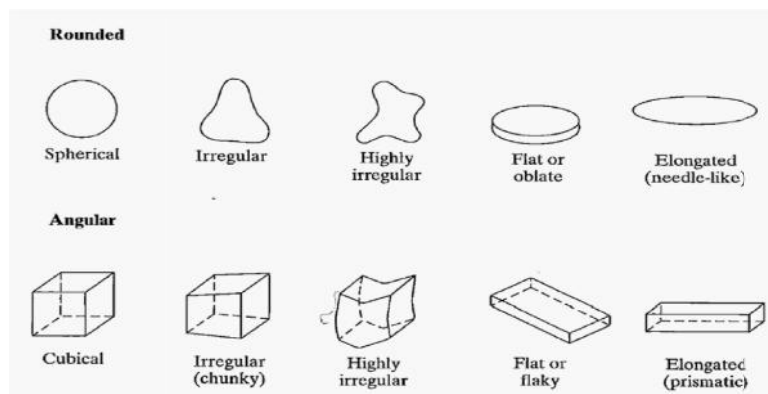
Οι κόκκοι των αδρανών υλικών στηρίζονται ο ένας επάνω στον άλλον, αλλά λόγω του ακανόνιστου πολυγωνικού σχήματος, δεν εφάπτονται απόλυτα μεταξύ τους, παρά αφήνουν ενδιάμεσα κενά.

Τα κενά μεταξύ των αδρανών γεμίζονται από το κονίαμα (τσιμεντοπολτός) που συνδέει τους κόκκους σε ένα συμπαγές υλικό. Η ποσότητα του κονιάματος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση την ποσότητα των ενδιάμεσων κενών.

Επειδή το κονίαμα είναι κατά κανόνα περισσότερο πορώδες και λιγότερο ανθεκτικό από το πέτρωμα των αδρανών, όσο λιγότερα είναι τα κενά και αναλογικά η ποσότητα του κονιάματος, τόσο μεγαλώνει η αντοχή και η πυκνότητα του σκυροδέματος.

Επομένως 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(Εικ. 115)



(Εικ. 115) Διάφορα μεγέθη κόκκων αδρανών υλικών

Ο διαχωρισμός και η κατάταξη των κόκκων σε ομάδες από άποψη μεγέθους είναι η ακριβέστερη εικόνα της κοκκομετρικής σύνθεσης ή διαβάθμισης



(Εικ. 116) Αδρανή υλικά

Τα αδρανή υλικά (Εικ. 116) ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

Πίνακας 40: Κατάταξη αδρανών με βάση το μέγεθος του κόκκου

Κατηγορία αδρανών		Μέγεθος κόκκων
Άμμος		0,25 - 2,5 mm
	Ρυζάκι	2,5 – 7 mm
Λεπτόκοκκα σκύρα	Γαρμπίλι	7 – 14 mm
	Σκύρα	14 – 30 mm
Χονδρόκοκκα σκύρα		30 – 70 mm

Το μέγεθος των κόκκων προσδιορίζεται με πρότυπα που έχουν καθορισμένες διαμέτρους οπών.

Οι κόκκοι που περνούν από το κόσκινο με διάμετρο οπών 7 mm και δεν περνούν από το κόσκινο με διάμετρο οπών 3 mm, λέμε ότι έχουν διάμετρο μεταξύ των (3 και 7) mm.

Η έννοια της διαμέτρου χρησιμοποιείται κατά επέκταση της αντίστοιχης έννοιας της σφαίρας, χωρίς όμως να μπορεί να προσδιοριστεί γεωμετρικά.

Το μέγεθος της βρίσκεται ανάμεσα στη μεγαλύτερη και τη μικρότερη διάσταση του κόκκου.

Τα κόσκινα που κυρίως χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι τα κόσκινα των Γερμανικών και των Αμερικανικών Κανονισμών και υιοθετούνται από το πρότυπο ΕΛΟΤ – 408 και από τον Ν.Κ.Τ.Σ για την Γερμανική σειρά των DIN 4187 και 4188, ενώ για την Αμερικανική σειρά την προδιαγραφή ASTM 11.

Τα Γερμανικά κόσκινα (Εικ. 117) συμβολίζονται με το σύμβολο \square που θα γράφεται πριν από τον αριθμό του κόσκίνου.



(Εικ. 117) Γερμανική σειρά κοσκίνων

Τα Αμερικάνικα κόσκινα θα συμβολίζονται με το σύμβολο N° που θα γράφεται πριν από τον αριθμό του κόσκίνου μέχρι και το κόσκινο $N^{\circ} 4$, ενώ τα μεγαλύτερου ανοίγματος θα συμβολίζονται με το μέγεθος της βροχίδας σε ίντσες.

ΣΤ.1.4 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων^{[23],[31]}

Οι προδιαγραφές των διαφόρων χωρών καθορίζουν περιοχές κοκκομετρικών διαβαθμίσεων (Εικόνες 118 - 128) μέσα στις οποίες συνιστάται ή όχι να βρίσκονται κοκκομετρικές καμπύλες. Ο Ν.Κ.Τ.Σ. ορίζει με βάση ξένες προδιαγραφές και με μακρόχρονη εμπειρία με τα Ελληνικά αδρανή τις περιοχές ή υποζώνες των ακόλουθων (πινάκων και διαγραμμάτων) και απαιτεί για οπλισμένο σκυρόδεμα, η κοκκομετρική καμπύλη να βρίσκεται στην υποζώνη [Α]

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
 ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	250μm	2 - 11	11 - 16
1	1 mm	6 - 26	26 - 39
2	2 mm	11 - 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

(Εικ. 118) Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 63 mm, για την σειρά των Γερμανικών Κοσκίνων DIN 4187 και 4188

Κόσκινα		Διερχόμενα %		
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε	Υποζώνη Ζ
0,25	250 μm	2 - 13	13 - 17	17 - 23
1	1 mm	10 - 30	30 - 44	44 - 58
2	2 mm	18 - 40	40 - 55	55 - 67
4	4 mm	30 - 52	52 - 67	67 - 76
8	8 mm	45 - 68	68 - 80	80 - 86
16	16 mm	70 - 87	87 - 93	93 - 96
31,5	31,5 mm	100	100	100

(Εικ. 119) Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 31,5 mm, για την σειρά των Γερμανικών Κοσκίνων DIN 4187 και 4188

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
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

(Εικ. 120) Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 16 mm, για την σειρά των Γερμανικών Κοσκίνων DIN 4187 και 4188

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
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

(Εικ. 121) Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 8 mm, για την σειρά των Γερμανικών Κοσκίνων DIN 4187 και 4188

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
 ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Κοσκίνα		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25"	250 μm	2 - 11	11 - 16
No 50	300 μm	3 - 13	13 - 19
No 30	600 μm	4 - 20	20 - 30
No 16	1,18 mm	7 - 29	29 - 42
No 8	2,36 mm	12 - 36	36 - 51
No 4	4,75 mm	21 - 45	45 - 62
3/8"	9,5 mm	34 - 60	60 - 74
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 1/2"	37,5 mm	95 - 100	100
2"	50,0 mm	100	100

(Εικ. 122) Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 2'', για την σειρά των Αμερικανικών Κοσκίνων ASTM 11

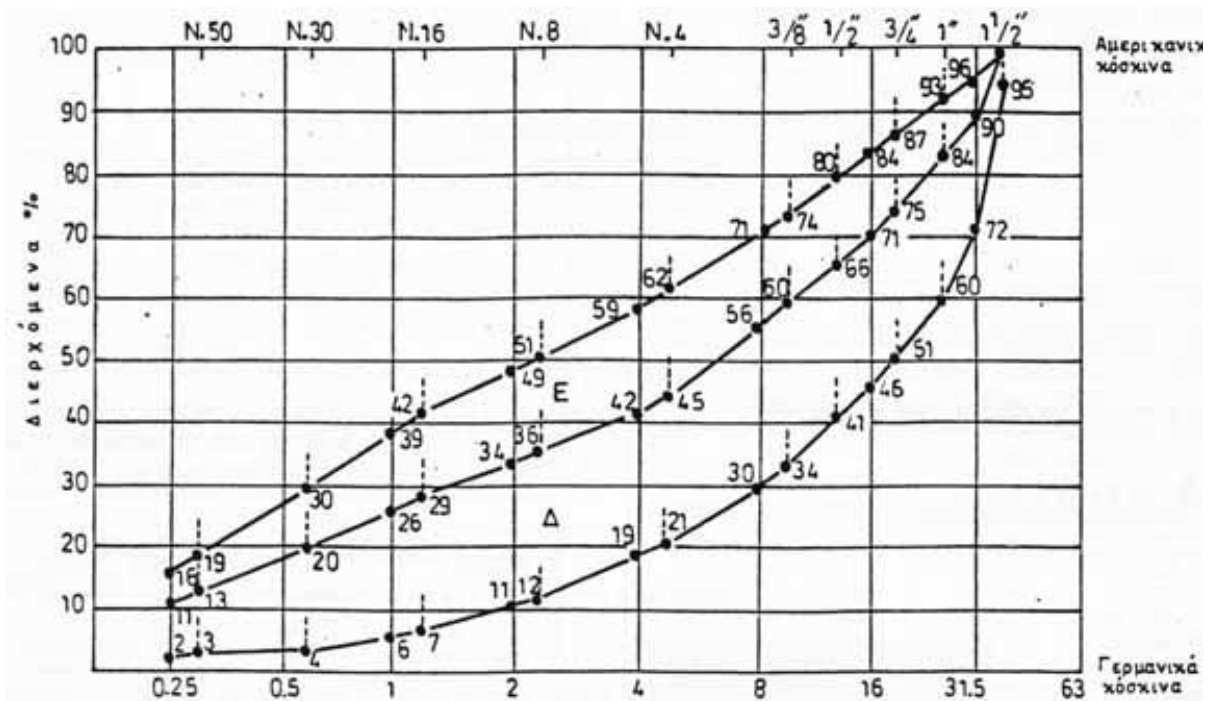
Κοσκίνα		Διερχόμενα %		
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε	Υποζώνη Ζ
0,25"	250 μm	2 - 13	13 - 17	17 - 23
No 50	300 μm	3 - 14	14 - 20	20 - 27
No 30	600 μm	6 - 23	23 - 34	34 - 44
No 16	1,18 mm	12 - 32	32 - 47	47 - 60
No 8	2,36 mm	21 - 43	43 - 58	58 - 69
No 4	4,75 mm	33 - 56	56 - 70	70 - 78
3/8"	9,5 mm	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 1/2"	37,5 mm	100	100	100

(Εικ. 123) Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 1,5'', για την σειρά των Αμερικανικών Κοσκίνων ASTM 11

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25*	250 μm	5 - 11	11- 21
No 50	300 μm	7 - 15	15 - 26
No 30	600 μm	15 - 30	30 - 43
No 16	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

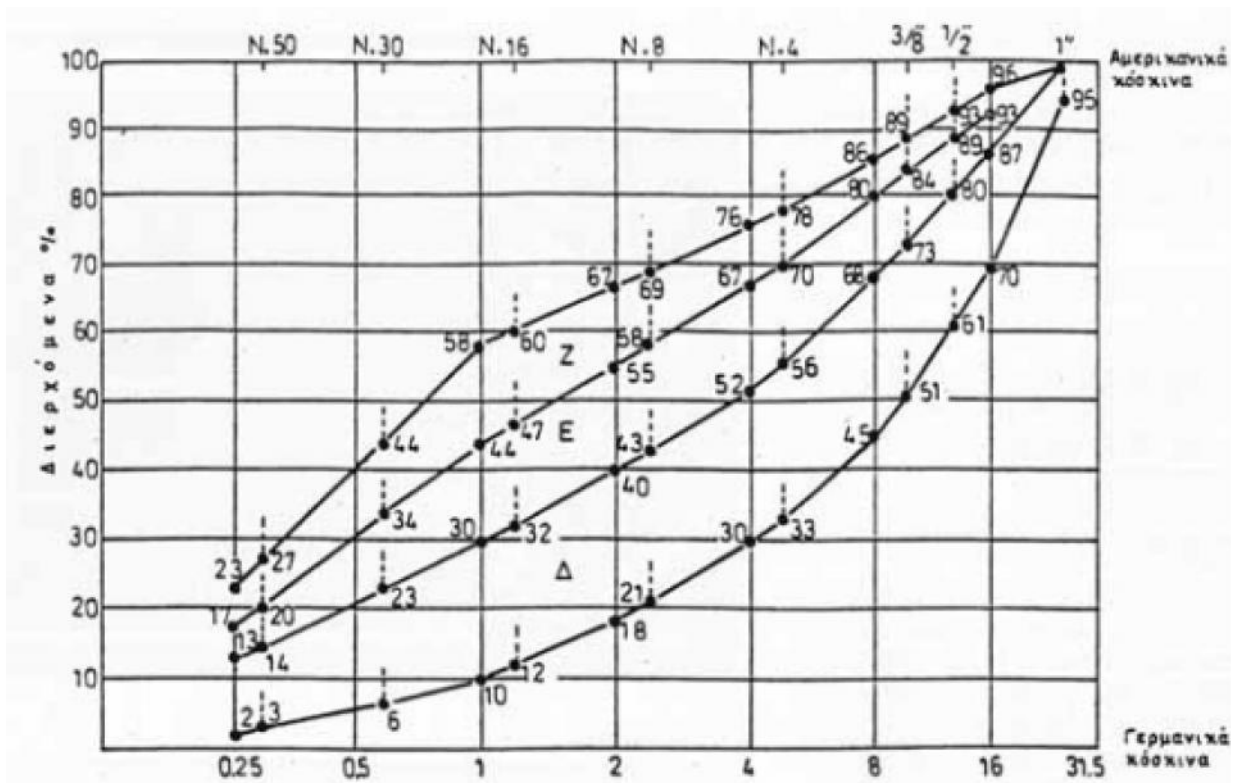
* Το κόσκινο αυτό ανήκει στη σειρά των Γερμανικών Κοσκίνων

(Εικ. 124) Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 3/8", για την σειρά των Αμερικανικών Κοσκίνων ASTM 11

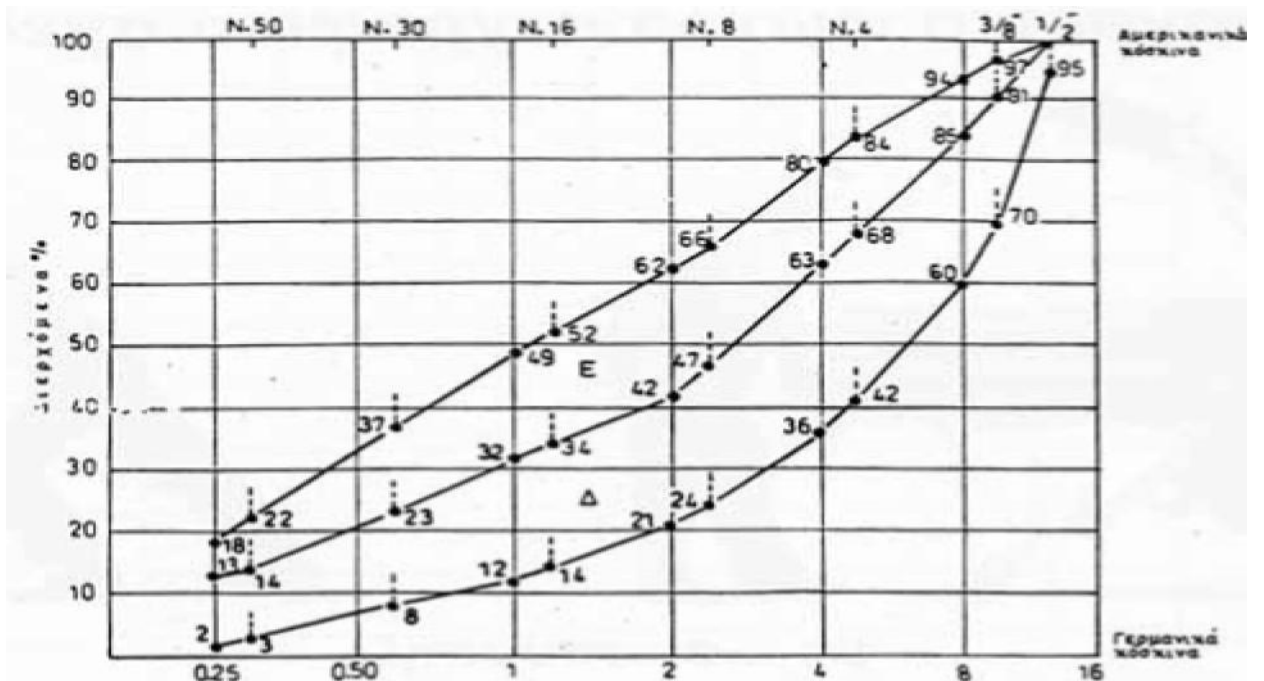


(Εικ. 125) Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου □ 63 ή 1 1/2"

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
 ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

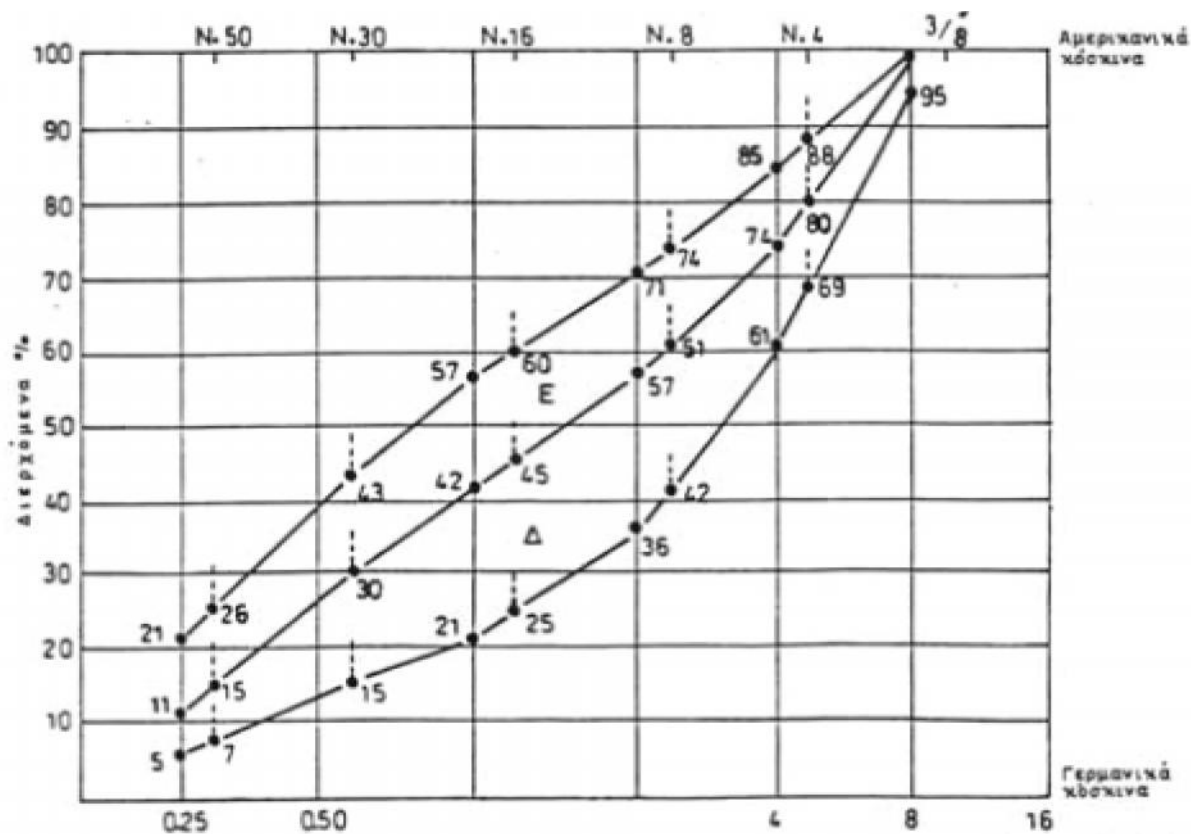


(Εικ. 126) Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου \square 31,5 ή 1"



(Εικ. 127) Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου \square 16 ή 1/2"

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
 ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ



(Εικ. 128) Ορια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου \square 8 ή $\frac{3}{8}$ "

Για σκυρόδεμα με χαρακτηριστική αντοχή μεγαλύτερη από 12 MPa, τα αδρανή πρέπει να προσκομίζονται χωρισμένα σε τρία τουλάχιστον κλάσματα (άμμος, γαρμπίλι, χαλίκι) (Εικόνες 129 - 137)



(Εικ. 129) Άμμος



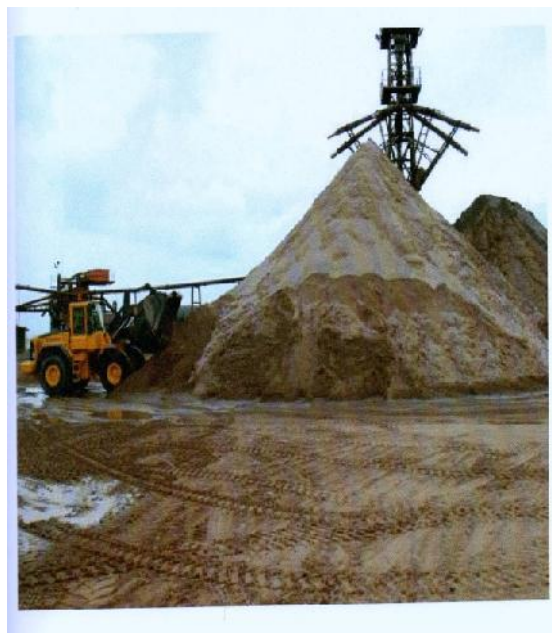
(Εικ. 130) Χαλίκι



(Εικ. 131) Γαρμπίλι



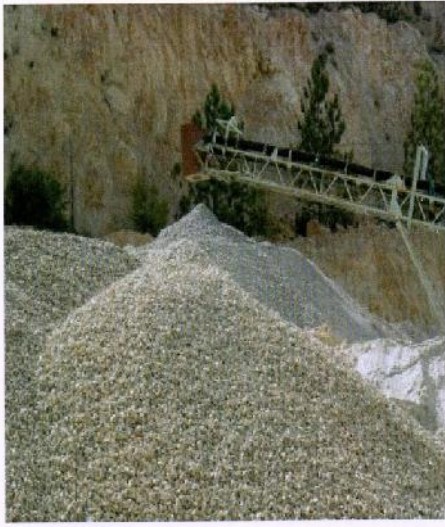
(Εικ. 132) Χώμα κτισίματος



(Εικ. 133) Άμμος λατομείου



(Εικ. 134) Λεπτόκοκκα αδρανή (Γαρμπίλι)



(Εικ. 135) Χαλίκι λατομείο



(Εικ. 136) Χονδρόκοκκα αδρανή



(Εικ. 137) Αμμογάλικο που έχει συλλεχτεί από χείμαρρο

ΣΤ.1.5 Η μορφή των κόκκων^{[19],[33]}

Οι κόκκοι των αδρανών δεν έχουν κανονική γεωμετρική μορφή, αλλά τυχαία.

Χοντρικά μπορούμε να τους κατατάξουμε στις ακόλουθες γενικές κατηγορίες:

- Στρογγυλούς
- Κυβοειδείς

- Πλακοειδείς
- Επιμήκεις

Το σχήμα ή η μορφή των κόκκων επηρεάζει, άσχετα από την επιρροή του μεγέθους, κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

Πρώτα επηρεάζει το εργάσιμο με την εσωτερική τριβή τους.

Από αυτή την άποψη η σφαιρική μορφή παρουσιάζει τη μικρότερη γωνία τριβής και επομένως την μεγαλύτερη ευκινησία (εργάσιμο) του υλικού.

Όσο η μορφή των κόκκων απομακρύνεται από την σφαιρική τόσο αυξάνεται η εσωτερική τριβή και ελαττώνεται η εργασιμότητα του υλικού. Συγχρόνως όμως αυξάνεται και η ειδική επιφάνεια με αποτέλεσμα να απαιτείται περισσότερο νερό.

Αντίθετα η αύξηση της πολυγωνικότητας των κόκκων βελτιώνει την στήριξη των κόκκων μεταξύ των, καθώς και την πρόσφυση με το κονίαμα.

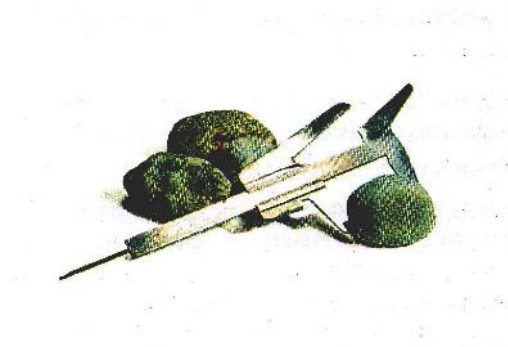
Κατά τον ίδιο τρόπο και οι κυβοειδείς και οι πλακοειδείς κόκκοι συντελούν στην μηχανική αντοχή του σκυροδέματος, λόγω της καλύτερης εδράσεως αυτών

Η άποψη που επικρατεί είναι ότι οι κόκκοι των αδρανών πρέπει να έχουν μορφή που πλησιάζει το σφαιρικό ή το κυβοειδές, αλλά με ανώμαλη, γωνιώδη και όχι λεία εξωτερική επιφάνεια.

Οι κανονισμοί διαφόρων χωρών προσπαθώντας να περιγράψουν τις παραπάνω αντιλήψεις βάζουν ορισμένους περιορισμούς μεταξύ **εργάσιμου** και **αντοχής**.

Ο Γερμανικός Κανονισμός DIN 4226, ζητεί το ποσοστό των ακατάλληλων κόκκων να μην ξεπερνά το 50% κατά βάρος της συνολικής ποσότητας των αδρανών.

Ακατάλληλους χαρακτηρίζει τους κόκκους με σχέση της μεγαλύτερης (μήκος) προς τη μικρότερη διάσταση (πάχος), μεγαλύτερη από 3:1



(Εικ. 138) Παχύμετρο ελέγχου μορφής αδρανών

Ο έλεγχος των κόκκων διευκολύνεται με το ειδικό παχύμετρο, (Εικ. 138) που προδιαγράφεται στο DIN 52114

Τα δύο ζεύγη σιαγόνων ορίζουν δύο ανοίγματα που διατηρούν μεταξύ τους λόγο (3). Όταν το πρώτο ζεύγος σιαγόνων ρυθμιστεί σύμφωνα με τη μεγάλη διάσταση του κόκκου, τότε αν ο κόκκος περάσει κατά οποιοδήποτε τρόπο από το δεύτερο άνοιγμα, θεωρείται ακατάλληλος, γιατί ο λόγος των δύο διαστάσεων είναι, προφανώς, μεγαλύτερος από (3)

Ο Βρετανικός Κανονισμός BS 812 διαχωρίζει τους κόκκους στις έξι κατηγορίες:

- Στρογγυλά
- Ανώμαλα
- Γωνιώδη
- Πεπλατυσμένα
- Επιμήκη
- Επιμήκη πεπλατυσμένα

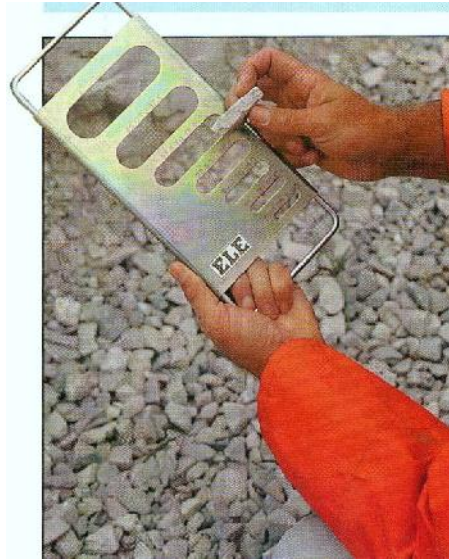
Για την ποσοτική εκτίμηση της μορφής των κόκκων (Εικ. 140) και του βαθμού ανομοιογένειας του μείγματος ορίζονται τα παρακάτω μεγέθη:

1) Ο δείκτης διαπλατύνσεως (Flakiness index) (Εικ. 139)

Ορίζεται ως η ποσοστιαία, κατά βάρος, αναλογία των κόκκων με τη μικρότερη διάσταση, μικρότερη από τα 3/5 της μέσης διαμέτρου:

$$s < 3/5 \quad d_n$$

Εφαρμόζεται για αδρανή μεγαλύτερα από 6,35 mm.



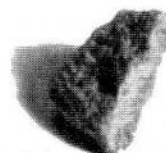
(Εικ. 139)Συσκευή διαπλατόνσεως (Flakiness Gauge)



στρογγύλα



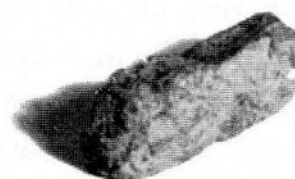
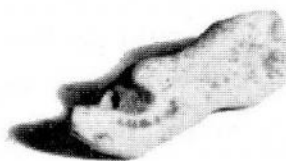
ανώμαλα



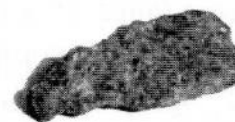
γωνιώδη



πεπλατισμένα



επιμήκη



επιμήκη πεπλατισμένα

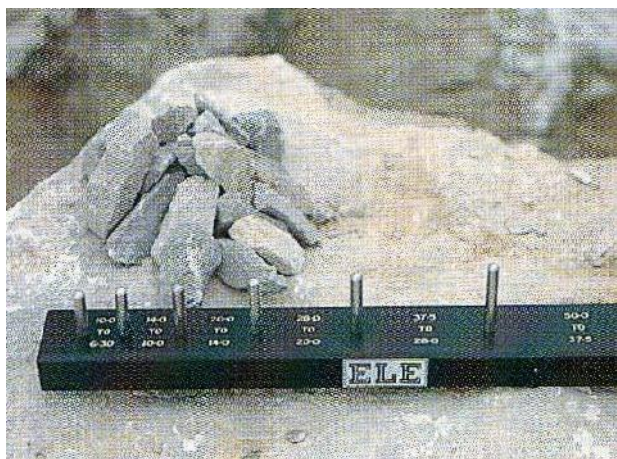
(Εικ. 140) Μορφές κόκκων αδρανών κατά BS 812

2) Ο δείκτης επιμηκύνσεως (Elongation index) (Εικ. 141)

Ορίζεται ως η ποσότητα, κατά βάρος, αναλογία των κόκκων με τη μεγαλύτερη διάσταση, μεγαλύτερη από το $1\frac{4}{5}$ της μέσης διαμέτρου:

$$1 < (1 + \frac{4}{5})d_n$$

Εφαρμόζεται για αδρανή μεγαλύτερα από 6,35 mm.



(Εικ. 141) Συσκευή επιμηκύνσεως (Length Gauge)

3) Ο αριθμός γωνιότητας (Angularity number)

Έχει παρατηρηθεί ότι όσο πιο στρογγυλοί είναι οι κόκκοι των αδρανών, τόσο λιγότερα κενά παρουσιάζουν μεταξύ τους, για τον ίδιο βαθμό συμπακνώσεως. Τα τελείως στρογγυλά αδρανή έχουν περίπου 33% κενά.

Ο αριθμός γωνιότητας ορίζεται ως ο αριθμός που εκφράζει το ποσοστό των κενών που ξεπερνά 33%. Υπολογίζεται από τον τύπο :

$$67 - \frac{100W}{C * G_A}$$

W = το βάρος του δείγματος

C = το βάρος του νερού που χρειάζεται για να συμπληρώνει τα κενά των αδρανών

G_A = η πυκνότητα των στεγνών αδρανών gr/cm^3

Z.1 ΖΕΟΛΙΘΟΣ ^{[9],[21],[22],[27],[29],[32],[35],[37]}

Z.1.1 Γενικά : ^{[9],[21],[44]}

Οι ζεόλιθοι είναι αργιλοπυριτικά κρυσταλλικά στερεά (ορυκτά), (Εικ. 142) τα οποία ανήκουν στην ομάδα των τεκτοπυριτικών.



(Εικ. 142) ζεόλιθος

Η περιοδική τους δομή (Εικ. 143) σχηματίζεται από τετράεδρα πυριτίου και αλουμινίου ($\text{SiO}_4/\text{AlO}_4$),

A. Arcoya et al./Microporous Materials 7 (1996) 1-13

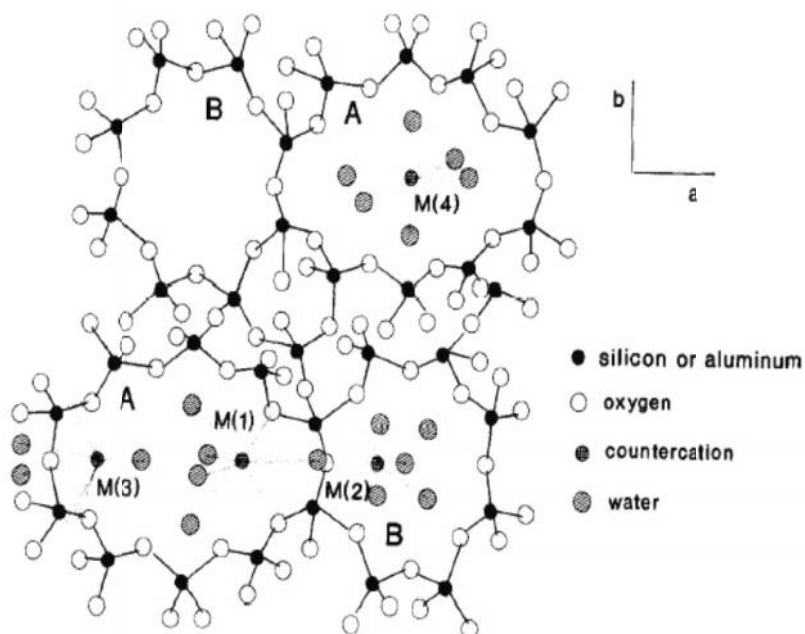
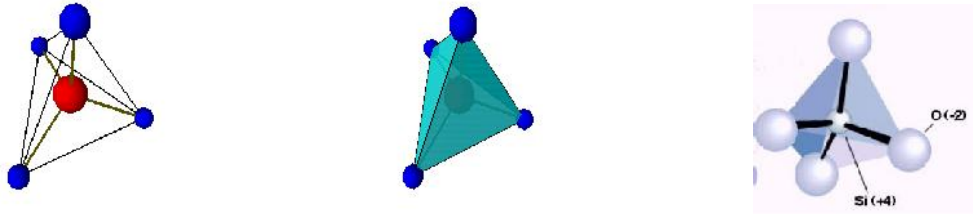


Fig. 1. The *c*-axis projection of the structure of clinoptilolite, showing the cation.

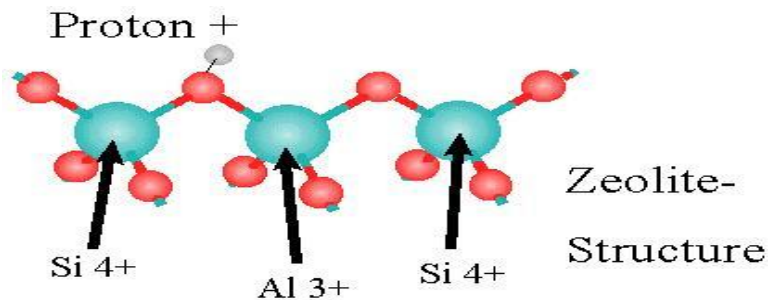
(Εικ. 143) Κρυσταλλική δομή (στοιχειώδες κελί)

Βασική δομική μονάδα είναι το τετράεδρο $(\text{Si,Al})\text{O}_4]^{-4}$ (Εικ. 144)



(Εικ. 144) Βασικό δομικό τετράεδρο

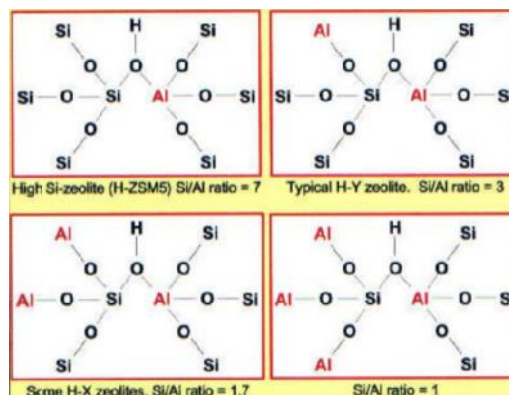
Επίσης προστίθενται μονοσθενή ή δισθενή ιόντα, ο αριθμός των οποίων εξαρτάται από το ποσοστό των ατόμων Al, για να διατηρηθεί ουδέτερο το φορτίο του κρυστάλλου. (Εικ. 145)



(Εικ. 145) Δομή του ζεόλιθου

Ανάλογα με το είδος του ζεόλιθου έχουμε περισσότερες ή λιγότερες υποκαταστάσεις Si από Al.

Η έκταση της υποκατάστασης ιόντων Si^{+4} από ιόντα Al^{+3} και Al^{+4} (αναλογία Si/ Al) (Εικ. 146) είναι πολύ χαρακτηριστική για τα διάφορα είδη ζεόλιθων.



(Εικ. 146) Υποκαταστάσεις Si από Al

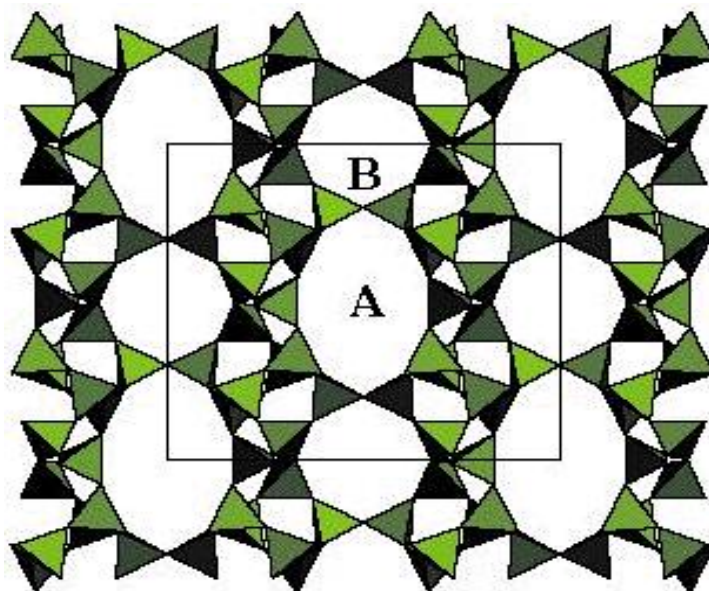
Όσο περισσότερες υποκαταστάσεις **Si** από **Al** έχουμε, τόσο ασθενέστεροι γίνονται οι δεσμοί, επομένως τόσο περισσότερο δραστικό γίνεται το υλικό (οι δεσμοί **Si – O** είναι ισχυρότεροι από τους δεσμούς **Al – O**)

Η πρώτη εμπορική τους εφαρμογή ήταν στην αφυδάτωση αερίων, όπου χρησιμοποιήθηκαν ως ροφητικά υλικά για την κατακράτηση του νερού.

Όταν έγινε κατανοητό ότι το μέγεθος των πόρων μπορεί να ελεγχθεί, η έρευνα κατευθύνθηκε προς την βελτιστοποίηση της επιλεκτικής ρόφησης, που είχε ως κριτήριο το μέγεθος των μορίων καθώς και την πολικότητά τους.

Γρήγορα η επιλεκτική ρόφηση καθιερώθηκε ως μέθοδος διαχωρισμού βρίσκοντας εφαρμογή σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες. Ο χαρακτηρισμός των ζεόλιθων ως μοριακά κόσκινα περιγράφει την δυνατότητά τους να διαχωρίζουν μόρια διαφορετικού μεγέθους μέσω των μοριακών διαστάσεων των πόρων τους, είναι επίσης εξαιρετικά αποτελεσματικοί και σε καταλυτικές διεργασίες. Σε αυτές η κατάλυση λειτουργεί μέσω μονοπατιών αντίδρασης, τα οποία καθορίζονται από το μέγεθος και το σχήμα των αντιδρώντων μορίων

Το πλέγμα τους σχηματίζει διαύλους (channels) ή κοιλότητες (cavities) με διάμετρο (2 – 7) nm, εντός των οποίων συγκρατούνται, συνήθως χαλαρά, μόρια νερού και κατιόντα κυρίως (Ca, Na, K) υπό ανταλλάξιμη μορφή(Εικ. 147)



(Εικ. 147) Κρυσταλλική δομή ζεόλιθου (κλινοπτιλόλιθου)

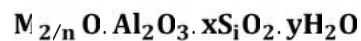
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Η ύπαρξη αυτών των μεγάλων κοιλοτήτων που γεμίζουν με μόρια νερού, διαφοροποιεί τους ζεόλιθους από τις άλλες ομάδες των τεκτοφυριτικών ορυκτών (άστριους και αστριοειδή), τα οποία σε αντίθεση με τους ζεόλιθους, έχουν συμπαγή δομή. Τα μόρια νερού, από κοινού με τα κατιόντα, έχουν την δυνατότητα να μετακινούνται εντός των διαύλων του κρυστάλλου και να ανταλλάσσονται με άλλα κατιόντα, χωρίς να επηρεάζεται, σημαντικά, η δομή του πλέγματος, προσδίδοντας στους ζεόλιθους την **ικανότητα της ιοντοεναλλαγής**.

Η ποσότητα του προσροφημένου νερού στους διαύλους (ζεολιθικό νερό) κυμαίνεται από (10 – 25) % του αφυδατωμένου μέλους. Το νερό αυτό αποβάλλεται, συνεχώς, με θέρμανση πάνω από 100 και μπορεί, να επαναπροσροφηθεί, με σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας.

Συνήθης ανταλλαγή εντός των καναλιών του πλέγματος των ζεόλιθων, είναι η αντικατάσταση του Ca από Na και K και αντίθετα.

Ο γενικός χημικός τύπος είναι :



M = είναι αλκάλι ή αλκαλική γαία

n = είναι σθένος κατιόντος

x = είναι αριθμός από 2 μέχρι 10

y = είναι αριθμός από 2 μέχρι 7

Έχουν αναγνωριστεί πάνω από 40 με 45 είδη στη φύση και άλλα 100 περίπου έχουν παρασκευαστεί στο εργαστήριο

Μερικά είδη ζεόλιθων : (Εικ. 148)

- Ανάλκιμος
- Εριονίτης
- Κλινοπιλόλιθος
- Λαυμοντίτης
- Μορντενίτης
- Νατρόλιθος
- Φιλιπσίτης
- Χαβαζίτης ή χαμπασίτης
- Χιουλανδίτης



(Εικ. 148) Μερικά είδη ζεόλιθων στη φύση

Ο φυσικός ζεόλιθος είναι κατά κάποιο τρόπο γνωστός εδώ και χιλιάδες χρόνια, αφού χρησιμοποιούνταν ως δομικό υλικό στο Μεξικό και στην Καπαδοκία . (Εικόνες 149 - 152)



(Εικ. 149) Πυραμίδα στο Monte Alban χτισμένη από την Ινδιάνικη φυλή των Zapotec στο Μεξικό.

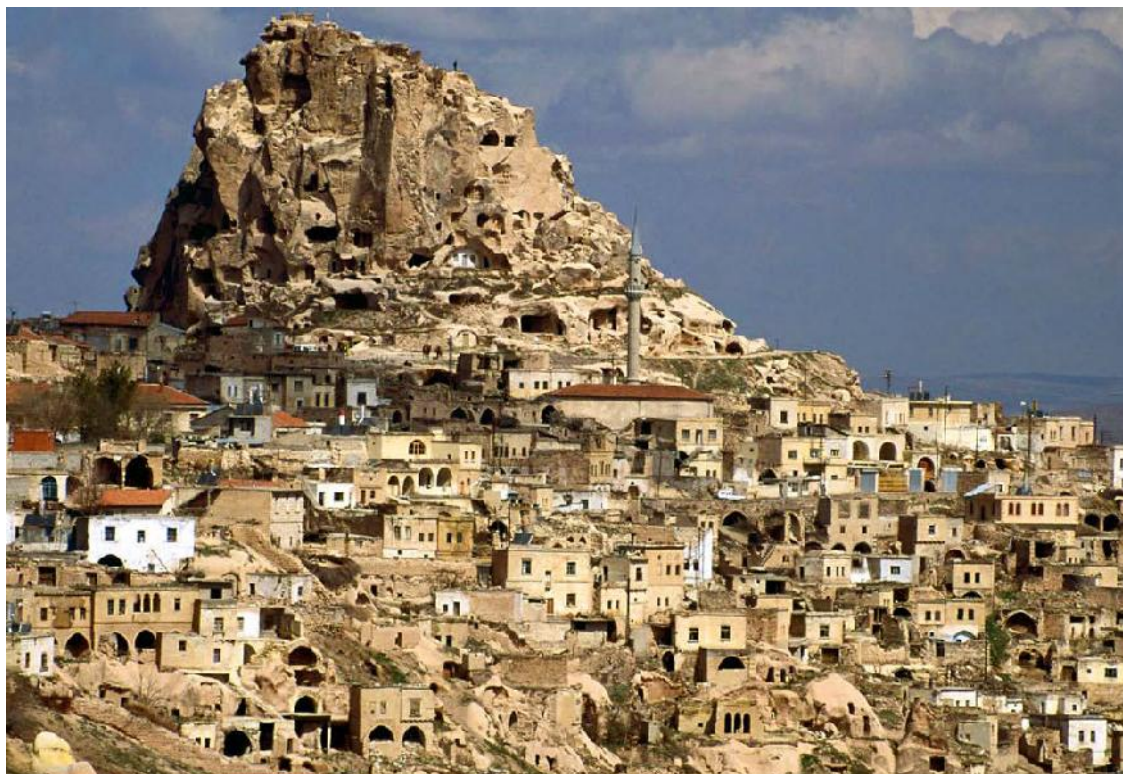
Το κτίσμα αποτελείται από ζεολιθικούς ογκόλιθους.



(Εικ. 150) Mitla : Λεπτομέρεια ανάγλυφου διάκοσμου στο εσωτερικό του ναού στο Μεξικό



(Εικ. 151) Καππαδοκία : Πρωτοχριστιανικός ναός σκαμμένος σε ζεολιθικό βράχο



(Εικ. 152)Καππαδοκία: Πόλη σκαμμένη σε ζεολιθικό μέγαλιθο

Η πρώτη περιγραφή του ζεόλιθου έγινε το 1792 από τον Bosch D' Antic, ο οποίος μελέτησε τον **χαβαζίτη ή χαμπασίτη (Chabazite)**. (Εικ. 153)



(Εικ. 153) Χαμπασίτης

Έκτοτε ακολούθησε η ανακάλυψη και άλλων φυσικών ζεόλιθων, στην αρχή αργά, ενώ τον 20^ο αιώνα η διαδικασία επιταχύνθηκε, φτάνοντας σχεδόν στους 60 φυσικούς ζεολίθους. Στα μέσα του 20^ο αιώνα έγιναν οι πρώτες επιτυχημένες δημιουργίες σύνθετων ζεόλιθων, με πρώτους τον **μορντενίτη (Εικ. 154)** και τον χαμπασίτη από τον Barrer το 1948.



(Εικ. 154) Μορντενίτης

Z.1.2 Φυσικοί ζεόλιθοι^{[9],[22],[27]}

Οι φυσικοί ζεόλιθοι βρίσκονται συνήθως μέσα σε πορώδεις βράχους και σχηματίζονται ακολουθώντας διαδικασίες παρόμοιες με αυτές της σύνθεσης σε εργαστηριακό περιβάλλον. Ο σχηματισμός, η κρυσταλλοποίηση και η ανάπτυξη είναι αποτέλεσμα της μετάβασης από αργή σε γρήγορη ψύξη που λαμβάνει σε ζεστά μάγματα. Αυτά τα μάγματα είναι κορεσμένα σε πυριτικά και αργιλικά στοιχεία και περιέχουν αλκαλικά ιόντα .

Υπάρχουν όπως αναφέρθηκε προηγουμένως περίπου (40 – 45) φυσικοί ζεόλιθοι. Μόνο οι επτά (7) από αυτούς και συγκεκριμένα τα ορυκτά [Μορντενίτης, Κλινοπτιλόλιθος, Χαμπασίτης, Εριονίτης, Φιλιπσίτης και Ανάλκιμος), απαντούν σε ικανοποιητικές ποσότητες, ώστε να θεωρούνται εκμεταλλεύσιμα υλικά

Οι φυσικοί ζεόλιθοι βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή :

- Στην οικοδομή, τόσο ως δομικοί λίθοι όσο και στην παραγωγή τσιμέντων, ως υποκαταστάτες του περλίτη και της κίσηρης.
- Σαν υποκατάστατο των φωσφάτων
- Στην αποσκλήρυνση του νερού, όπου επέρχεται αντικατάσταση των ιόντων ασβεστίου – μαγνησίου, από ιόντα νατρίου
- Ως προσθετικό στην τροφή των ζώων
- Στις αγροκαλλιέργειες, για να τη βελτίωση της απόδοσης του εδάφους
- Στην ταφή ραδιενεργών αποβλήτων
- Στις ιχθυοκαλλιέργειες και στις μυδοκαλλιέργειες
- Στην χαρτοβιομηχανία ως πληρωτικό υλικό σε αντικατάσταση των αργίλων
- Στην αποθήκευση ηλιακής ενέργειας

- Στον εμπλουτισμό της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο λόγω της εκλεκτικής ικανότητας των ζεόλιθων να απορροφούν το άζωτο από την ατμόσφαιρα.
- Στον καθαρισμό διαφόρων τύπων λυμάτων (αστικά, βιομηχανικά, γεωργικά, ραδιενεργά, απόβλητα)
- Στην απορρύπανση του εδάφους

Z.1.3 Συνθετικοί ζεόλιθοι^{[9], [27], [29]}

Αν και μερικοί ζεόλιθοι εμφανίζονται σε μεγάλες ποσότητες δεν είναι όλοι ποιοτικοί. Οι συνθετικοί ζεόλιθοι έχουν ένα ευρύτερο φάσμα ιδιοτήτων και μεγαλύτερες κοιλότητες από τους αντίστοιχους φυσικούς.

Σήμερα έχουν γίνει περισσότεροι από 100 διαφορετικοί ζεόλιθοι, και η ετήσια παραγωγή συνθετικών ζεόλιθων υπερβαίνει τους 12.000 τόνους.

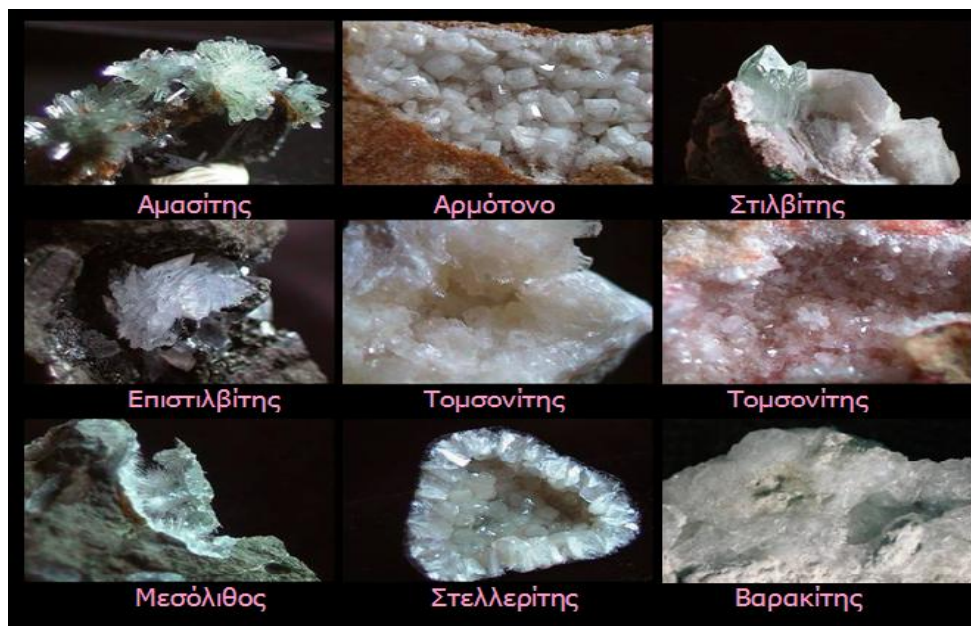
Οι σύνθετοι ζεόλιθοι κατασκευάζονται με διάφορους τρόπους σημαντικής τεχνικής όπως:

1. Περιλαμβάνει τη μίξη νατρίου, αργιλίου και χημικών ουσιών πυριτίου με ατμό για να δημιουργήσει ένα πήκτωμα (άμορφο, χωρίς κρυσταλλική δομή, πλούσιο σε υγρασία, στερεό). Το πήκτωμα παλαιώνεται και κατόπιν θερμαίνεται σε 90 περίπου
2. Χρησιμοποιεί τον καολίνη που έχει θερμανθεί σε ένα φούρνο έως ότου αρχίζει να λειώνει, κατόπιν καταψύχεται και μετατρέπεται σε σκόνη . αυτή η σκόνη αναμιγνύεται με άλατα νατρίου και ύδωρ, παλαιώνεται και θερμαίνεται

Σε όλους τους μεθόδους σύνθεσης, ο παραχθείς ζεόλιθος εξαρτάται από την σύνθεση των αρχικών υλικών και τις συνθήκες παρασκευής, συμπεριλαμβανομένης της οξύτητας της θερμοκρασίας και της πίεσης του ύδατος

Μερικά είδη σύνθετων ζεόλιθων : (Εικ. 155)

1. Αμοσίτης
2. Αρμότονο
3. Στιλβίτης
4. Επιστιλβίτης
5. Τομσονίτης (α)
6. Τομσονίτης (β)
7. Μεσόλιθος
8. Στελλερίτης
9. βαρακίτης



(Εικ. 155) Μερικά είδη σύνθετων ζεόλιθων

Z.1.4 Σχηματισμός ζεόλιθων ^{[9], [27], [32]}

- Οι ζεόλιθοι είναι συνηθισμένα συστατικά στα κενά και στις κοιλότητες των βασαλών και άλλων τύπων πετρωμάτων, όπου ιδιόμορφοι κρύσταλλοι τους φθάνουν μέχρι μερικές δεκάδες εκατοστά στο μέγεθος.
- Οι ζεόλιθοι στα ιζηματογενή πετρώματα έχουν σχεδόν αποκλειστικά αυθιγενή προέλευση. Επιπλέον σήμερα έχει διαπιστωθεί ότι είναι τα αφθονότερα και πιο διαδεδομένα πυριτικά ορυκτά στα ιζηματογενή πετρώματα.
- Οι ζεόλιθοι σχηματίζονται σε μεγάλη έκταση από την αντίδραση **ηφαιστειακών τόφφων** και **τοφφικών ιζηματογενών πετρωμάτων** με ποτάμια, λιμναία, θαλάσσια ή υπεδάφια νερά και την εξαλλοίωση τους σε ένα πλήθος γεωλογικών περιβαλλόντων, ως αποτέλεσμα πολύ χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης
- Βρίσκονται κυρίως σε τοφφικούς ψαμμίτες και πηλόλιθους. Σε ελάχιστα ποσά σε αρκόζες, γραουβάκες, ανθρακικά πετρώματα, ορυκτούς άνθρακες, βωξίτες και σιδηρούχα ιζηματογενή πετρώματα.

Z.1.5 Γεωλογικά περιβάλλοντα ζεόλιθων ^{[22], [27], [29], [35], [37]}

Ταξινομήση σε διάφορους τύπους γεωλογικών περιβαλλόντων ή υδρολογικών συστημάτων.

- Στις αλμυρές αλκαλικές λίμνες
- Στα εδάφη και επιφανειακές αποθέσεις

- Στα ιζήματα βαθέων θαλασσών
- Στα ανοικτά υδρολογικά συστήματα
- Στις υδροθερμικές ζώνες εξαλλοίωσης
- Στα διαγενετικά και μεταμορφικά περιβάλλοντα

Αλμυρές αλκαλικές λίμνες (Εικ. 156)

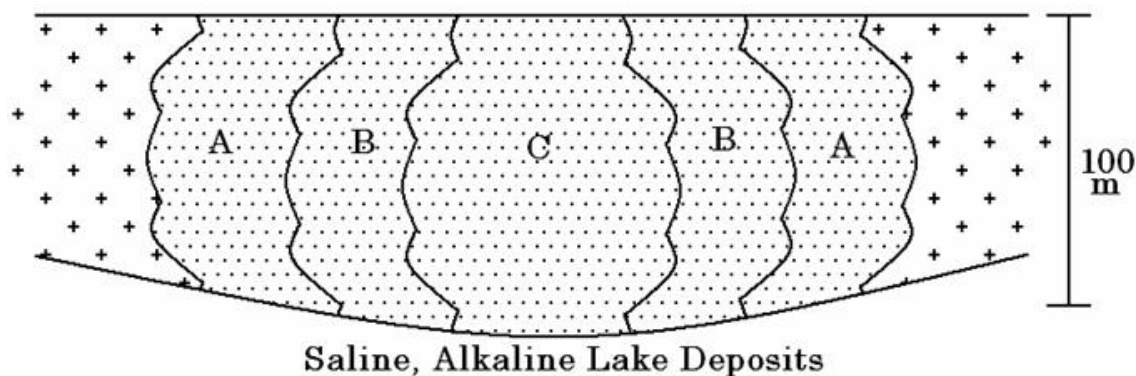
Οι καθαρότερες συγκεντρώσεις ζεόλιθων βρίσκονται σε ηφαιστειακές - ιζηματογενής λιμναίες αποθέσεις. Οι αλμυρές αλκαλικές λίμνες βρίσκονται στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές και έχουν **pH** περίπου 9,5 ως αποτέλεσμα του διαλυμένου ανθρακικού νατρίου ή του βορικού νατρίου.

Μια ευρεία ποικιλία των υλικών αντιδρά για την παραγωγή ζεόλιθων σε αυτό το αλκαλικό περιβάλλον, που απεικονίζει την διαλυτότητα του πυριτίου και του αλουμινίου στο υψηλό **pH**.

Μια χαρακτηριστική ακολουθία εξαλλοίωσης και σχηματισμού ζεόλιθων στο περιβάλλον των λιμνών είναι:

1. Μετατροπή πυριτικού γυαλιού σε ζεόλιθο όπως ο κλινοπιλόλιθος, ο φιλιπσίτης και ο εριονίτης, λιγότερο κοινά είναι μορντενίτης και χαμπασίτης
2. Μετατροπή των παραπάνω σε ανάλκιμο
3. Αντικατάσταση τους από καλιούχο - άστριο

Οι αντιδράσεις είναι σχετικά γρήγορες και το ηφαιστειακό γυαλί μπορεί να μετατραπεί σε ζεόλιθο σε περίπου 1000 έτη.



(Εικ. 156) Αλμυρές αλκαλικές λιμναίες αποθέσεις (ηφαιστειακές - ιζηματογενής)

Τα στρώματα των τόφων διαχωρίζονται ορυκτολογικά σε ζώνες:

1. Εξωτερική ζώνη του γυαλιού που μένει αναλλοίωτη ή αντικαθίσταται από αργιλικά ορυκτά όταν το νερό των λιμνών ήταν σχετικά φρέσκο

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

2. Μια ζεολιθική ζώνη εξαλλοίωσης στων ηφαιστειακών ρυολιθικών τεφρών σε κλινοπτιλόλιθο κ.λ.π. όπου το νερό ήταν αλμυρό
3. Μια πιο αλμυρή ζώνη υψηλής περιεκτικότητας σε αλάτι που χαρακτηρίζεται από ανάλκιμο
4. Μια υψηλής αλμυρότητας ζώνη εξαλλοίωσης κατά ένα μεγάλο μέρος των τόφφων σε Κάλιο – άστριο στο κέντρο της λεκάνης

Παραδείγματα αυτού του τύπου ζεόλιθων έχουν εντοπιστεί: (Εικόνες 157 - 159)

- ❖ Στον Ηωκαινικό σχηματισμό του Green River

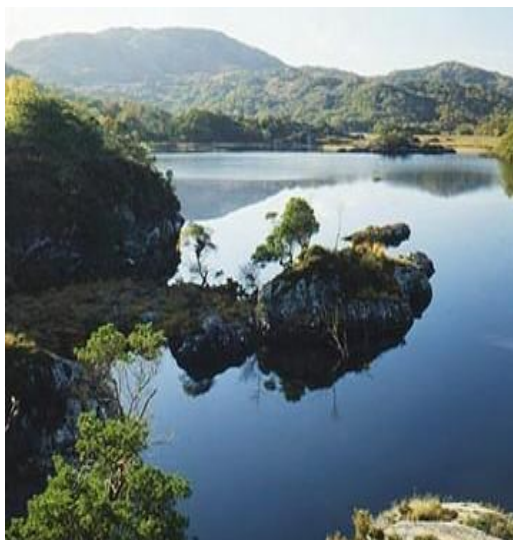


(Εικ. 157) Green River

- ❖ Στις Πλειο – πλειστοκαινες λιμναίες αποθέσεις των δυτικών Ηνωμένων Πολιτειών



(Εικ. 158) λιμναίες αποθέσεις

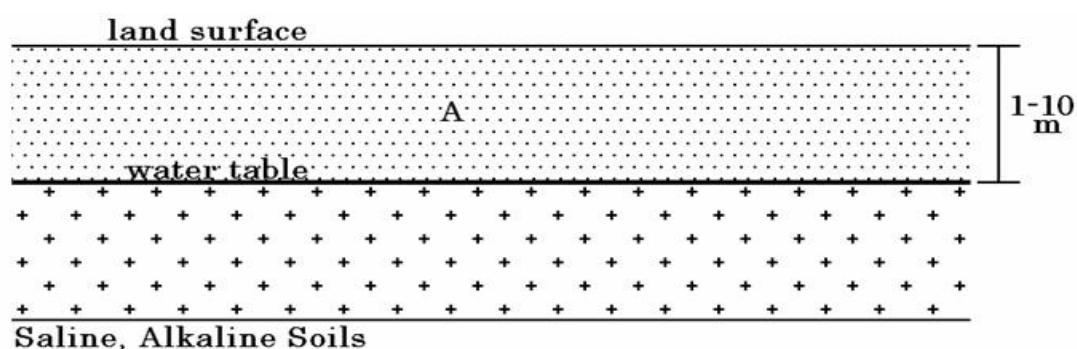


(Εικ. 159) λιμναίες αποθέσεις

Εδάφη και επιφανειακές αποθέσεις

Οι ζεόλιθοι διαμορφώνονται εύκολα από τα κατάλληλα υλικά στην επιφάνεια εδάφους όπου το pH είναι υψηλό ως αποτέλεσμα της συγκέντρωσης του ανθρακικού νατρίου από την εφίδρωση σε ένα ξηρό κλίμα(Εικ. 160)

Σε τέτοια περιβάλλοντα, το ηφαιστειακό γυαλί αντιδρά σχεδόν το ίδιο σε ποσοστό όπως στις αλατούχες, αλκαλικές λίμνες.



(Εικ. 160) Εδάφη και επιφανειακές αποθέσεις

Οι τραχειτικοί τόφφοι εξαλλοιώνονται σε ζεόλιθους σε ένα μέγιστο βάθος 18 μέτρων (m). Η χαμηλότερη επιφάνεια της ζεολιθικής εξαλλοίωσης αντιπροσωπεύει πιθανώς την στάθμη του νερού.

Οι αιολικοί τόφφοι, συνήθως της σύστασης **νεφελινίτη**, μετατράπηκαν σε **φιλιπσίτη**, **χαμπασίτη**, **νατρόλιθο** και **ανάλκιμο** κατά τη διάρκεια της απόθεσης.

Μη τοφφική ποτάμια άργιλος εξαλλοιώνεται σε πλημμυρικές κοίτες και δίνει ανάλκιμο και μικρότερα ποσά άλλων ζεόλιθων.

Οι αργιλοσχιστόλιθοι οι οποίοι είναι πλουσιότεροι σε ζεόλιθους (15 – 40)% είναι έντονα καφεκόκκινοι(Εικ. 161)



(Εικ. 161)Καφεκόκκινοι αργιλοσχιστόλιθοι

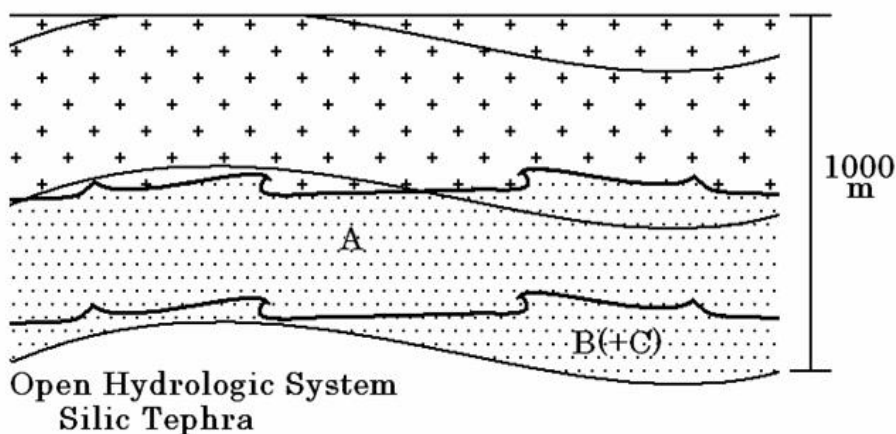
Μια ευρεία ποικιλία ζεόλιθων έχουν σχηματισθεί σε έδαφος από τοφφικά και μη τοφφικά ιζήματα (Εικ. 162) της Πλειστόκαινης και Ολοκαινικής ηλικίας στην περιοχή Olduvai Gorge, Τανζανία.



(Εικ. 162) Τοφφικά ιζήματα

Ανοικτά υδρολογικά συστήματα (Εικ. 163)

Οι ακολουθίες τέφρας παρουσιάζουν συνήθως κάθετη ζώνωση ζεόλιθων και άλλων αυθιγενών ορυκτών και απεικονίζει τη χημική αλλαγή στο μετεωρικό νερό καθώς κινήθηκε στο σύστημα. Τα ορυκτά αργίλου σχηματίζονται από την υδρόλυση της τέφρας στο ανώτερο μέρος του συστήματος, αυξάνοντας το **pH** και διαλύοντας τα στερεά μέχρι το σημείο όπου το γυαλί μετατρέπεται σε ζεόλιθο.



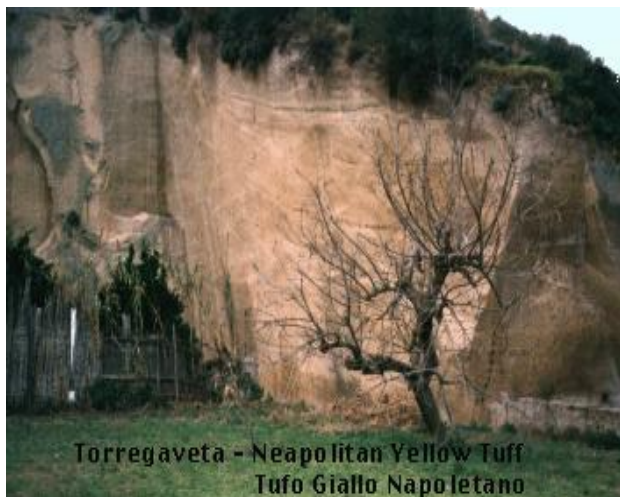
(Εικ. 163) Ανοικτό υδρολογικό σύστημα πυριτικής τέφρας

Οι παχιές μη θαλάσσιες συσσωρεύσεις της πυριτικής τέφρας περιέχουν μια ανώτερη ζώνη, (200 – 500) m πάχους, που περιέχει γυαλί, μοντμοριλονίτη και οπάλιο, η επόμενη ζώνη, περίπου 500 m πάχους, χαρακτηρίζεται γενικά από πυριτικούς ζεόλιθους όπως ο κλινοπτιλόλιθος και τέλος η κατώτερη ζώνη μπορεί να χαρακτηριστεί από ανάλκιμο, με χωρίς τον κάλιο – άστριο και χαλαζία.

Παραδείγματα αυτού του τρόπου σχηματισμού έχουν εντοπιστεί: (Εικόνες 164 - 165)



(Εικ. 164) Ο σχηματισμός John Day στο κεντρικό Oregon (Ολιγόκαινο – Μειόκαινο), ζώνωση ζεόλιθων πάχους δέκα μέτρων.

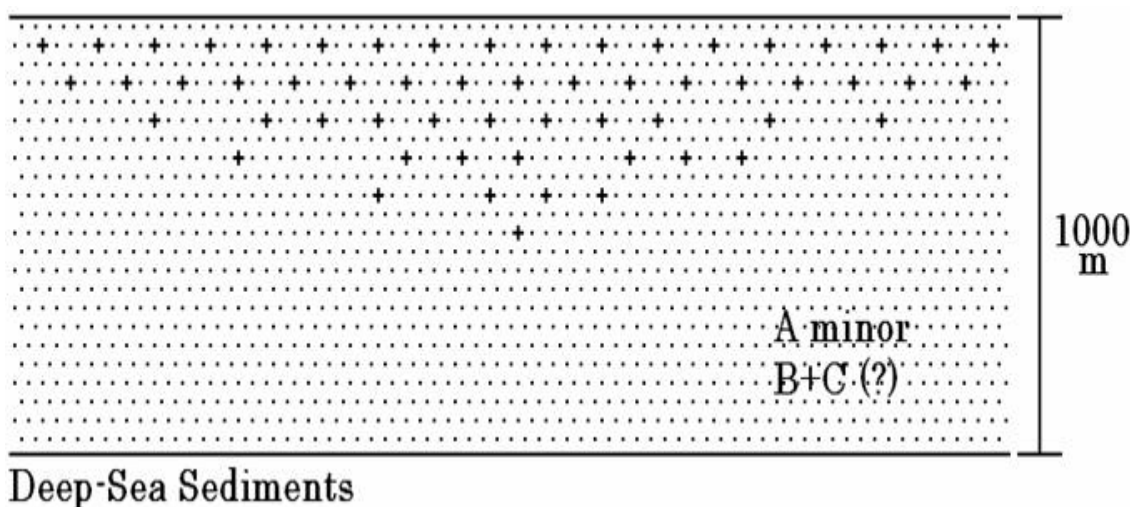


(Εικ. 165) Ο κρατήρας Κόκο στη Χαβάη και η Neapolitan yellow Tuff της Νάπολης. Αυτή η ζώνωση είναι σε σχετικά ρηχά βάθη.

Ιζήματα βαθέων θαλασσών

Ζεόλιθοι έχουν σχηματισθεί σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες στα θαλάσσια ιζήματα (Εικ. 166). Είναι ιδιαίτερα άφθονοι στα ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα, όπου μπορούν να διαμορφώσουν τουλάχιστον το 80% του στρώματος.

Ο φιλιπσίτης και ο κλινοπιλόλιθος είναι οι κυρίαρχοι ζεόλιθοι, το ανάλκιμο είναι το επόμενο σε αφθονία και ενώ ο νατρόλιθος, ο μορντενίτης και ο εριονίτης εμφανίζονται σπάνια. Τα ορυκτά που συνδέονται με ζεόλιθους περιλαμβάνουν σμεκτίτη, χριστοβαλίτη και χαλαζία.



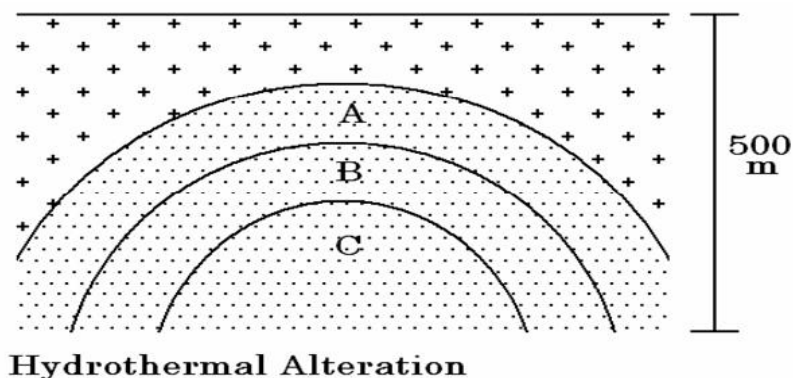
(Εικ. 166) Ιζήματα βαθέων θαλασσών

Ο φιλιπσίτης συνδέεται με τη χαμηλή σε πυρίτιο, βασαλτική τέφρα και τοποθετείται στον Ινδικό και Ειρηνικό Ωκεανό. Στα ιζήματα του Ινδικού Ωκεανού οι κρύσταλλοι του φιλιπσίτη μπορούν να αυξηθούν στο πλήρες μέγεθός τους (45 nm) μέσα σε 150.000 έτη. Παρόλα αυτά ο κλινοπιλόλιθος γίνεται αφθονότερος σε βάθος και είναι ο κύριος ζεόλιθος στα κρητιδικά πετρώματα.

Ο κλινοπιλόλιθος συνδέεται με την πυριτική τέφρα και βρίσκεται στον Ατλαντικό Ωκεανό.

Το ανάλκιμο εντοπίζεται κυρίως σε φεμικές ηφαιστειακές αποθέσεις.

Υδροθερμικές ζώνες εξαλλοίωσης



(Εικ. 167) Υδροθερμική εξαλλοίωση

Οι ζεόλιθοι είναι διαδεδομένοι σε περιοχές υδροθερμικής εξαλλοίωσης (Εικ. 167). Η ορυκτολογική ζώνωση αντιπροσωπεύει την προοδευτική αφυδάτωση με την αυξανόμενη θερμοκρασία.

Στις πιο ρηχές και πιο κρύες ζώνες εμφανίζεται ο κλινοπιλόλιθος ή ο μορντενίτης. Στις σταδιακά βαθύτερες ζώνες εμφανίζεται συνήθως το ανάλκιμο ή ο χιουλανδίτης, ο λαυμοντίτης και ο βαρακίτης.

Οι ζεολιθικές ζώνες που περιβάλλουν τις αποθέσεις τύπου Kuoko στην Ιαπωνία εκθέτουν μια σύνθετη στρωμάτωση ως αποτέλεσμα υποβρύχιας υδροθερμικής εξαλλοίωσης.

Στην απλούστερη μορφή, μια ζώνη που χαρακτηρίζεται από ανάλκιμο επεκτείνεται πλευρικά σε μια υδροθερμική ζώνη φυλλοπυριτικών ορυκτών και οριοθετείται σταδιακά από το μορντενίτη και κλινοπιλόλιθο.

Ο λαυμοντίτης σχηματίζεται εύκολα από υδροθερμική εξαλλοίωση και συναντάται συχνά σε θερμές πηγές (Εικ. 168).



(Εικ. 168) Θερμές πηγές

Γνωστά παραδείγματα είναι : (Εικόνες 169 - 171)



(Εικ. 169) Στο πάρκο Yellowstone του Wyoming



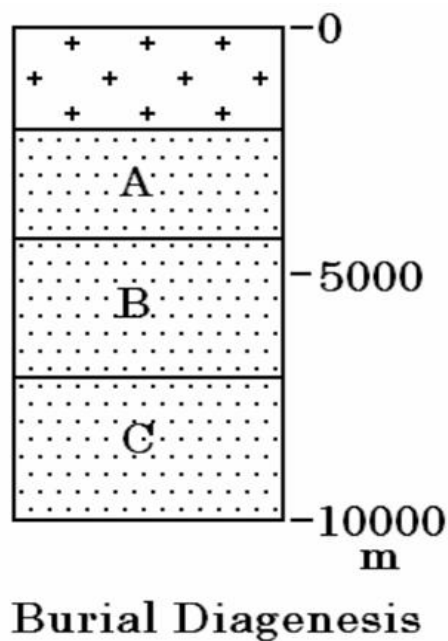
(Εικ. 170) Στο Wairakei της Νέα Ζηλανδίας



(Εικ. 171) Στο Ονίκοβε της Ιαπωνίας

Διαγενετικά και μεταμορφικά περιβάλλοντα (Εικ. 172)

Περιλαμβάνει τις παχιές αποθέσεις των ηφαιστειοκλαστικών ιζημάτων που σχηματίστηκαν σε σημαντικά αυξανόμενες θερμοκρασίες.



(Εικ. 172) Διαγενετικά περιβάλλοντα

Αποθέσεις μέχρι και 12 χλμ. πάχος με την χαρακτηριστική κάθετη ζώνωση των ζεόλιθων και των συνοδών ορυκτών.

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Στις καινοζωικές ακολουθίες παρατηρείται μια επιφανειακή ζώνη πάχους 2 χλμ που μπορεί να περιέχει φρέσκο γυαλί και διαδοχικά οι χαμηλότερες ζώνες περιέχουν μορντενίτη και κλινοπτιλόλιθο, η αμέσως επόμενη ζώνη περιέχει ανάλκιμο και χιουλανδίτη, ενώ η τελευταία ζώνη περιέχει λαυμοντίτη και αλβίτη

Η ζώνη που περιέχει λαυμοντίτη και αλβίτη μεταβιβάζεται σε μια ζώνη με πρενίτη, αντιπροσωπεύοντας την μετάβαση στην πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης.

Οι ορυκτολογικές ζώνες αντιπροσωπεύουν μια μείωση στην ενυδάτωση με το βάθος που προκαλείται από αύξηση στη θερμοκρασία

Το πιο γνωστό παράδειγμα είναι οι πετρελαιοπηγές του Niigata στην Ιαπωνία όπου έχουμε θαλάσσια στρώματα ιζημάτων πάχους 5χλμ(Εικ. 173)



(Εικ. 173)Niigata στην Ιαπωνία

Η ανώτατη ζώνη από (0,9 – 1,9)χλμ πάχους περιέχει το φρέσκο γυαλί

Η επόμενη ζώνη από (1,6 – 2,5)χλμ πάχους περιέχει μορντενίτη και κλινοπτιλόλιθο

Η χαμηλότερη ζώνη χαρακτηρίζεται από ανάλκιμο με πάχος 1 χλμ και

Η τελική ζώνη περιέχει αλβίτη

Στο Green Tuff Region της Ιαπωνίας συναντάμε πρόσφατα καινοζωικά ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα. (Εικ. 174)

Το πάχος και η ορυκτολογία των ζωνών μπορούν να συσχετιστούν ως ένα ορισμένο βαθμό με τη γεωθερμική βαθμίδα



(Εικ. 174)Καινοζωικά ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα.

Z.1.6 Οι ζεόλιθοι στα πυριγενή πετρώματα^{[21],[29],[37]}

Οι ζεόλιθοι εξετάζονται κυρίως αυτοί που βρίσκονται στις κοιλότητες των πυριγενών πετρωμάτων και ιδιαίτερα στις βασικές λάβες.

Στις κοιλότητες των πυριγενών πετρωμάτων περιέχουν συνήθως ποικιλία σε ζεόλιθους με χαμηλές σε πυρίτιο λάβες.

Οι πιο κοινοί ζεόλιθοι είναι ο μορντενίτης και ο κλινοπιλόλιθος

Το ανάλκιμο εμφανίζεται συχνά σε πολλούς αλκαλικούς τύπους λαβών, χαμηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο που δεν έχουν θαφτεί ούτε εξαλλοιωθεί υδροθερμικά.

Η προέλευση αυτών είναι αβέβαιη και μπορεί να είχαν κρυσταλλωθεί, μεταγενέστερα, σε χαμηλή θερμοκρασία από την αντίδραση του μετεωρικού νερού με τη λάβα.

Παραδείγματα αυτού του τρόπου σχηματισμού έχουν εντοπιστεί: (Εικόνες 175 -177)

1. Στις λάβες καινοζωικού, πάχους 10000 μ. στην Ισλανδία

Οι ζώνες ζεόλιθων είναι σε οριζόντιο επίπεδο και είναι περίπου παράλληλες με τη λάβα. Στην ανώτερη ζώνη λάβας δεν υπάρχουν ζεόλιθοι και οι χαμηλότερες ζώνες στους βασάλτες αντιπροσωπεύουν τις αντιδράσεις του ύδατος με την αύξηση του βάθους και της θερμοκρασίας.

Αυτή η ζώνη εμφανίζεται να είναι παράδειγμα διαγένεσης βάθους και οι ζεόλιθοι στις περισσότερες λάβες εντοπίζονται στο 1 χλμ βάθος.



(Εικ. 175) Λάβες καινοζωικού, πάχους 10000 μ. στην Ισλανδία

2. Στις λάβες Τριαδικού στο New Jersey



(Εικ. 176) Λάβες Τριαδικού στο New Jersey

3. Σε θερμές πηγές ή σε περιοχές εξόδων των ηφαιστείων, όπου είναι το αποτέλεσμα της τοπικής υδροθερμικής εξαλλοίωσης της λάβας.



(Εικ. 177) Θερμές πηγές

Παρατηρήσεις

Οι ζεόλιθοι αποτελούν μια ιδιαίτερη τάξη στερεών κρυσταλλικών μικροπορωδών υλικών. Χαρακτηρίζονται από την ικανότητα να αποβάλλουν και να προσλαμβάνουν νερό, αλλά και να ανταλλάσσουν τα συστατικά κατιόντα τους. Η ποσότητα του απορροφημένου νερού κυμαίνεται από (10 – 20) % του αφυδατωμένου μέλους. Η δομή των ζεόλιθων είναι αξιοσημείωτα «ανοικτή» με όγκους κενών που φτάνουν το 50% του αφυδατωμένου μέλους και ειδικό βάρος που κυμαίνεται από (2,0 – 2,2) g/cm³, ανάλογο με τον τύπο του ζεόλιθου (Bish & Ming 2001). Ο ζεόλιθος τύπου HEU, περιέχει μικροπόρους σε πλέγμα 10 – μελών και 8 – μελών δακτυλίων, διαστάσεων 7,5x3,1 Å , 4,6x3,6 Å και 4,7x2,8 Å (Baerlocher et al 2001).

Διεθνής συμβολισμός και αντίστοιχη ελληνική ονομασία μερικών ζεόλιθων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα

Πίνακας 41: Διεθνής συμβολισμός και αντίστοιχη Ελληνικός χαρακτηρισμός

α/α	Διεθνής Συμβολισμός	Ελληνική Ονομασία
1	HEU	Χιουλανδίτης ή Ευλανδίτης – Κλινοπτιλόλιθος
2	MOR	Μορντενίτης
3	ANA	Ανάλκιμος
4	CHA	Χαμπαζίτης
5	PHI	Φιλλιψίτης
6	ERI	Ερισίτης ή Εριονίτης
7	LAV	Λυμοντίτης ή Λωμοντίτης η Λαυμοντίτης
8	NAT	νατρόλιθος

9	ΣΤΙ	Στιλβίτης
---	-----	-----------

Ορισμένοι φυσικοί ζεόλιθοι που περιέχουν υψηλά ποσοστά ζεόλιθου τύπου **HEU**, παρουσιάζουν μοναδικές φυσικοχημικές ιδιότητες και βρίσκουν ευρεία πεδία εφαρμογής :

- Στην βιομηχανική
- Στην αγροτική
- Στην κτηνοτροφική και
- Στην περιβαλλοντική τεχνολογία (Φιλιππίδης 2007)

Αντίθετα η **άμμος** αποτελείται κυρίως από **χαλαζία** και **αστρίους** των οποίων η δομή είναι «πυκνή» και τα ειδικά τους βάρη κυμαίνονται μεταξύ (2,7 – 2,7) g/cm³.

[Αξιολόγηση της Συμπαγοποίησης Κονιαμάτων Τσιμέντου – Άμμου – Ελληνικού Φυσικού Ζεολίθου με Τεχνικές Υπερήχων, Δ.ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, Β.ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ, Α.ΦΙΛΙΠΠΙΔΗΣ και άλλοι,]

Επίσης , με τον όρο «φυσικός ζεόλιθος» χαρακτηρίζεται το πέτρωμα που περιέχει ορυκτά της ομάδας των ζεόλιθων. Οι φυσικοί ζεόλιθοι ως προς την ποιότητά τους, κάθε τύπος διαχωρίζεται σε:

- Φτωχή περιεκτικότητα σε ζεόλιθο ($\leq 55\%$)
- Χαμηλή περιεκτικότητα σε ζεόλιθο [$\leq (56 - 65)\%$]
- Μέτρια περιεκτικότητα σε ζεόλιθο [$\leq (66 - 75)\%$]
- Υψηλή περιεκτικότητα σε ζεόλιθο [$\leq (76 - 85)\%$]
- Πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε ζεόλιθο ($\geq 85\%$)

Z.1.7Κοκκομετρία του ζεόλιθου^{[22],[32],[35]}

Στην διεθνή αγορά οι ζεόλιθοι εμφανίζονται ως συνήθως σε τρεις βασικές κλασματικές ομάδες: (Εικ. 178)

- Άμμος (0,20 – 1,5) mm.
- Ρυζάκι (1,5 – 4) mm.
- Γαρμπίλι (4 – 8) mm.

Υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής όλων των κοκκομετρικών κλασμάτων, κατόπιν παραγγελίας από (0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 31,5) mm , σύμφωνα με τις προδιαγραφές της κοκκομετρικής σύνθεσης του Κ.Τ.Σ. - 97

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
 ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ



(Εικ. 178) Ενημερωτικό δελτίο ελληνικής ιζηματολογικής ένωσης «Ηιών»

Z.1.8 Οι ζεόλιθοι στην Ελλάδα^{[21],[29],[32],[37]}

Πίνακας 42: Οι ζεόλιθοι στην Ελληνική επικράτεια

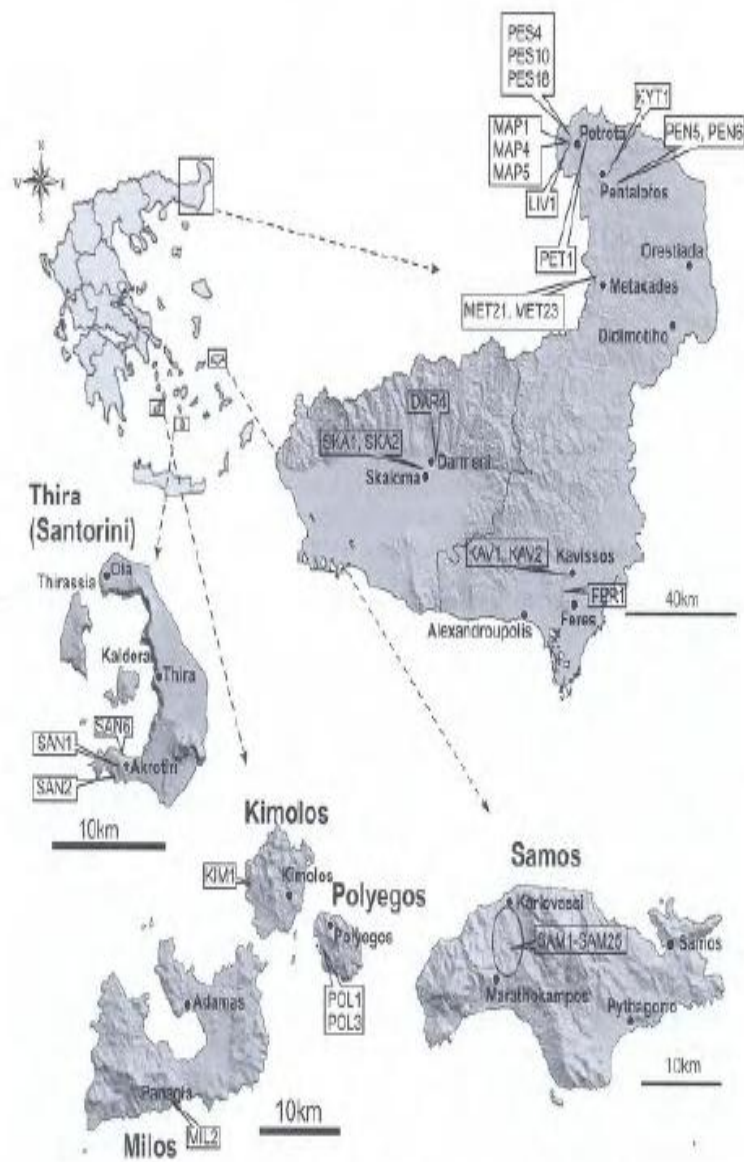
α/α	Νομός	Περιοχή	Τύπος ζεόλιθου
1	Κυκλάδων	Νήσους: Μήλος, Κίμωλος, Πολύαιγος και Θύρας	Ευλανδίτης - κλινοπτιλόλιθος
2			Μορντενίτης
1	Σάμου	Λεκάνη: Καρλοβασίου – Μαραθώκαμπου, και Νήσου Σάμου	Ευλανδίτης - κλινοπτιλόλιθος
2			Μορντενίτης
3			Ανάλκιμος
4			Χαμπαζίτης
5			Φιλλιψίτης
6			Ερισίτης
1	Ροδόπης	Απαντούν σε 5 διαφορετικές περιοχές	Ευλανδίτης - κλινοπτιλόλιθος
2			Μορντενίτης
3			Ανάλκιμος
4			Λυμοντίτης
5			Νατρόλιθος ή Σκολεσίτης
1	Λέσβου, Ζακύνθου και Λευκάδας	Νησιά : Λέσβου, Λήμνου, Ζακύνθου και Λευκάδας	Ευλανδίτης - κλινοπτιλόλιθος
1	Κιλκίς	Βάθης	Στιλβίτης

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

1	Έβρου	Απαντούν σε 25 διαφορετικές περιοχές	Ευλανδίτης - κλινοπιλόλιθος
2			Μορντενίτης
3			Στιλβίτης
4			Λυμοντίτης

Γεωλογικός Χάρτης (Εικ. 179) όπου δείχνει τις τοποθεσίες «μελέτης δειγμάτων» ζεολιθικών πετρωμάτων στην Ελλάδα [The cation exchange capacity of the Greek zeolitic rocks], (Filippidis A, et al, Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXX, 2007)

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ



(Εικ. 179) Γεωλογικός Χάρτης «μελέτης δειγμάτων» ζεολιθικών πετρωμάτων στην Ελλάδα

Πίνακας 2.5. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των ζεόλιθων των Νομών Ροδόπης, Κυκλάδων και Σάμου.

Περιοχή	Wt.% Ζεόλιθοι	ΙΑΙ	Βιβλιογραφία
Νομός Ροδόπης			
Σκάλωμα	53 H+M	137	Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2002, Φιλιππίδης & Καντηράνης 2005, Filippidis et al.2007.
Δαρμένη	17 A	80	
Νομός Κυκλάδων			
Νήσος Μήλος	37 M	157	Fragoulis et al.1997, Kitsopoulos 1997b, 1999, Kitsopoulos et al. 1998, Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2002, Filippidis et al.2007.
Νήσος Κίμωλος	42 M	96	
	55 H	-	
Νήσος Πολύαιγος	61 M	140	
	63 H+M	153	
Νήσος Θήρα	41 H	153	
	56 M	130	
	63 H+M	162	
Νομός Σάμου			
Νήσος Σάμος	69 H	153	Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2002, Kantiranis et al.2004, 2006a, Filippidis et al.2005, 2007.
	64 M	150	
	62 A	279	
	66 X	243	
	80 H+M	184	
	55 H+A	129	
	47 H+Φ	170	

H: Τύπος-HEU (Χιουλανδίτης-Κλινοπιλόλιθος), M: Μορντενίτης, A: Ανάλκιμος, X: Χαμπαζίτης, Φ: Φιλλιψίτης, ΙΑΙ: Ικανότητα Ανταλλαγής Ιόντων (meq/100g).

(Εικ. 180) Ποιοτικά χαρακτηριστικά των ζεόλιθων Νομών Ροδόπης, Κυκλάδων και Σάμου

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Υπόδειγμα επίλυσης πύραυλος και φυσικό ζεόλιθου στην πετρολογική ελασμοστατική κατασκευή, Διδασκαλία Ασπασή, Θεσσαλονίκη 2009, Δ. Βασιλείου

Πίνακας 2.6. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των ζεόλιθων του Νομού Έβρου.

Περιοχή	Wt. % Ζεόλιθος	IAI	Βιβλιογραφία
Πετρωτό			
Λιβαδόκιο	39 H	101	Kiron et al.1990, Μόροντος & Πετρελάκης 1994, Φιλλιππίδης & Κοσώλη-Φουρναρόκη 2002, Deligiannis et al.2005, Φιλλιππίδης 2005, 2007, 2009, Φιλλιππίδης κ.α.2006, 2007, 2008α,β,γ, Kantiranis et al.2006α, Filippidis & Kantiranis 2007, Filippidis et al.2007, 2008α,β,γ,δ, Filippidis 2008, Βασιλείου κ.α.2008.
Μούρη Πέτρα	74 H	186	
Μούρη Πέτρα-Ωμέγα	45 M	-	
Τοπιανόμο Πετρωτό	53 H	115	
Γκαζόμυλος	59 H	167	
Ρέμο Ντρίστα	89 H	226	
Πεντάλοφος			
Παλαίστρα	47 H	91	Μόροντος & Πετρελάκης 1994, Hall et al.2000, Kassoli-Foumaraki et al.2000, Yannakopoulos et al.2000, Moirou et al.2001, Stamatakis et al.2001, Viessidis et al.2001, Kyriakis et al.2002, Papaioannou et al.2002a,b, Φιλλιππίδης & Κοσώλη-Φουρναρόκη 2002, Zorpas et al.2002a,b, Christidis et al.2003, Katranas et al.2003, Krestou et al.2003, Petrakí & Orfanoudaki 2004, Φιλλιππίδης & Κωντηρόνης 2005, Kantiranis et al.2006α, Warchol et al.2006, Filippidis et al.2007.
Κύριες Τούμπες	76 H	175	
Τύμπανο	74 H	144	
Μεταξόδες			
Γουρουνόρμα	58 H	98	Μόροντος κ.α.1989, Tsiambides et al.1989, Τσιραμπίδης 1991, Filippidis 1993, Tsiambides et al.1993, Μισσηλίδης κ.α.1994, Misaelides et al.1994, 1995a,b, Kouties et al.1995, Συμεοπούλου et al.1996, Χαϊδουτί 1997, Tsenveni-Gousi et al.1997, Sikelidis 1998, Yannakopoulos et al.1998, Stamatakis et al.2001, Viessidis et al.2001, Φιλλιππίδης & Κοσώλη-Φουρναρόκη 2002, Katranas et al.2003, Papadopoulos et al.2004, Φιλλιππίδης & Κωντηρόνης 2005, Kantiranis et al.2006α, Filippidis et al.2007.
Ξεροβούνι	59 H	144	
Δοδιά – Λευκίμμη			
Σύνορο	53 H	103	Skarpelis et al.1993, Φιλλιππίδης & Κωντηρόνης 2005
Εύρωτο	51 H	121	
Σταυρός	M	136	
Λεκάνη Φερών			
Κοβησός	61 H+M	154	Stamatakis et al.2001, Φιλλιππίδης & Κοσώλη-Φουρναρόκη 2002, Φιλλιππίδης & Κωντηρόνης 2005, Μόροντος 2004, Filippidis et al.2007.
Άσπρα Χάματα	15 M	46	
Λάκα	64 H+M	141	
Μακρύλοφος	39 H+M	76	
Καμάλο	34 H+M	123	
Άγ. Κων/νος	14 H+M	41	
Βρύση	41 M	93	

H: Ζεόλιθος τύπου-HEU (Χουκονδίτης+Κιναοπιλόλιθος), M: Μορντενίτης, IAI: Ικανότητα Ανταλλαγής Ιόντων (meq/100g).

(Εικ. 181) Ποιοτικά χαρακτηριστικά των ζεόλιθων Νομού Έβρου



(Εικ. 182) Λατομείο ζεολιθικού τόφφου στην Ορεστιάδα (Παλαιογενές)

Παραγωγή, εξαγωγές & πωλήσεις

Προϊόν	Παραγωγή σε χιλ.tn		Πωλήσεις σε χιλ. €	Εξαγωγές σε χιλ.€
	2000	2004	2003	2003
ανθρακικό ασβέστιο/ τάλκης, δολομίτης	176	200	12.800	5.320 (42%)
Ασβεστολιθικά αδρανή	-	26.000	-	-
Αστριοι	72	79	2.395	922 (38%)
Ατταπουλίτης	-	4	-	-
Γύψος	801	912	4.385	650 (15%)
Ζεόλιθος	8	-	-	-
Καολίνη	23	44	630	-
Κίσσηρις	852	835	7.256	5.385 (74%)
Μαγνησίτης	587*	545*	22.000*	19.879 (90%)
Μάρμαρα	3.350	2.580	82.000	24.107 (29%)
Μπεντονίτης	1.149	1.185	1.174	1.094 (93%)
Μπεντονίτης ενεργοποιημένος	851	856	51.000	49.900 (98%)
Περίλιθς	817	1.124	1.810	1.810 (100%)
Περίλιθς κατεργασμένος	550	630	25.200	24.600 (98%)
Ποζζολάνη	936	1.268	4.120	56 (1%)
Πυριτικό	111	93	1.150	-
χαλ. αζίας	13	16	1.293	414 (32%)
Χουντίτης/υδρομαγνησίτης	16	13	2.223	2.118 (95%)

(Εικ. 183) Παραγωγή, εξαγωγές και πωλήσεις

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Ο Ζεόλιθος τύπου **HEU** (Χιουλανδίτης ή Ευλανδίτης – Κλινοπτιλόλιθος), που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή δοκιμών είναι προϊόν της Silver & Baryte Ores Mining Co.S.A. (Αργυρομεταλλευμάτων & Βαρυτίνης), με κοκκομετρία από (0,8 – 5,0) mm

Πίνακας 43 :Ορυκτολογική σύσταση ζεόλιθου τύπου **HEU**

α/α	Τύπος	Ποσοστό (%)
1	Clinoptilolite	69.4
2	Cristobalite	5.1
3	Illite	7.0
4	Montmorillonite	15
5	Albite	3.0
6	Other/amorphous	0.5

Πίνακας 44: Φυσικές ιδιότητες των φυσικών ζεολίθων

Ζεόλιθος	Κρυσταλλικό σύστημα	Όγκος κενών %	Ειδικό βάρος Gr/cm ³	Διαστάσεις αγωγών Å	Ικανότητα Εναλλαγής Ιόντων (meq/g) IAI	Κρυσταλλικό σχήμα
Ανάλκιμο	Κυβικό	18	2,24-2,29	2,6	4.54	Τραπεζοειδές
Χαμπαζίτης	Εξαγωνικό	47	2,05-2,10	3,7x4.2	3.81	Ρομβοειδές
Κλινοπτιλόλιθος	Μονοκλινές	39	2,16	3.9x5.4	2.54	Σανιδοειδές
Εριονίτης	Εξαγωνικό	35	2,02-2,08	3.6x5.2	3.12	Πρισματικό
Χιουλανδίτης	Μονοκλινές	39	2,10-2,20	4.4x7.2	2.91	Σανιδοειδές
Λωμοντίτης	Μονοκλινές	34	2,20-2,30	4.6x6.3	4.25	Σανιδοειδές
Μορντενίτης	Ρομβικό	28	2,12-2,15	2.9x5.7	2.29	Νηματώδες
Νατρόλιθος	Ρομβικό	23	2,20-2,26	6.7x7.0	5.26	Ποικίλο
φιλλιψίτης	Ρομβικό	31	2,15-2,20	4.2x4.4	3.87	Πρισματικό

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
 ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 45: Χημικοί τύποι των φυσικών ζεολίθων

Ζεόλιθος	Χημικός τύπος
Ανάλκιμο	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Χαμπαζίτης	$(\text{Na}_2, \text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40 \text{H}_2\text{O}$
Κλινοπτιλόλιθος	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$
Εριονίτης	$(\text{NaCa}_5, \text{K})_9(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27 \text{H}_2\text{O}$
Χιουλανδίτης	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$
Λωμοντίτης	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Μορντενίτης	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$
Νατρόλιθος	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}) \cdot 16 \text{H}_2\text{O}$
Φιλλινίτης	$(\text{NaK})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{21}\text{O}_{62}) \cdot 20 \text{H}_2\text{O}$



(Εικ. 184) Ζεόλιθος στα Πετρωτά του Έβρου

Β. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ

Θέμα : Χρήση Ζεόλιθων Ως Ειδικά Αδρανή Για Την παρασκευή Ελαφρού Σκυροδέματος

ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός είναι ο έλεγχος αντοχής σε θλίψη του ελαφρού σκυροδέματος με χρήση ζεόλιθων, ως ειδικά αδρανή, συσχετίζοντας με την αντοχή σε θλίψη του συμβατού σκυροδέματος, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Κ.Τ.Σ. 97 (Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 97) και Ν.Ε.Κ.Τ.Σ. (Νέος Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος) και ACI 211.1

Για την επίτευξη του άνωθεν σκοπού, έγιναν τα εξής:

1. Κατασκευάστηκαν εξήντα (60) κυλινδρικά δοκίμια σκυροδεμάτων με διαφορετικά αδρανή. Τα τριάντα (30) δοκίμια με ασβεστολιθικά αδρανή και τα άλλα τριάντα (30) δοκίμια με ζεολιθικά αδρανή. Η μελέτη συνθέσεως είναι ίδια και για τις δύο ομάδες των δοκιμίων σύμφωνα με τον Αμερικάνικο Κανονισμό ACI 211.1 του Σκυροδέματος.
2. Κατόπιν συντηρήθηκαν σε **Κατάσταση Εμποτισμού**, δηλαδή βυθισμένα εντός νερού για 28 ημέρες σε γούρνα



(Εικ.185) : Τα κυλινδρικά δοκίμια βρίσκονται σε κατάσταση εμποτισμού για 28 ημέρες μέσα σε Γούρνα

3. Μετά από την συντήρηση υποβλήθηκαν σε διάφορες δοκιμές και μετρήσεις:
 - Μέτρηση Ειδικού Βάρους
 - Μέτρηση Φαινόμενου Βάρους
 - Υπολογισμός Πορώδους
 - Δοκιμή Υδατοπερατότητας
 - Δοκιμή σε θλίψη
 - Δοκιμή σε διάρρηξη
 - Δοκιμή σε Σημειακή Φόρτιση
 - Δοκιμή με κρουσίμετρο αναπηδήσεως του **Schmidt**

4. Τα δε αποτελέσματα υπολογίστηκαν και εκφράστηκαν σε αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη και συγκρίθηκαν γραφικά με σκοπό να ερευνηθεί αν τα ζεολιθικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αδρανή του σκυροδέματος σε κατασκευαστικά έργα με ασφάλεια.

ΥΛΙΚΑ

Χρησιμοποιήθηκαν **θραυστά αδρανή υλικά** και **τσιμέντο** τύπου **CEM IV/B(P-W) 32.5R**

Ασβεστολιθικά

Ζεολιθικά



Άμμος

Ρυζάκι

Άμμος

Ρυζάκι

(Εικ.186): Ασβεστολιθικά και Ζεολιθικά αδρανή (άμμος και ρυζάκι) από δειγματοληψία των 5 κιλών το καθένα



(Εικ.187): Τσιμέντο τύπου CEM IV/B (P-W) 32.5R

Τσιμέντο CEM IV/B (P-W) 32.5R

Είναι ένα ποζολανικό τσιμέντο ιπτάμενης τέφρας – ποζολάνης ειδικά κατάλληλο για όλες τις οικοδομικές εφαρμογές (έργα πολιτικού μηχανικού, οικοδομικά έργα, έτοιμο σκυρόδεμα και προϊόντα σκυροδέματος) και ανταποκρίνεται πλήρως στις σύγχρονες απαιτήσεις των κατασκευών για αντοχή και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Σε σύγκριση με το τσιμέντο **CEM I** είναι ανθεκτικό στα θειικά άλατα και έχει χαμηλή θερμοκρασία ενυδάτωσης. Το **CEM IV/B (P-W) 32.5R** έχει ως βάση κλίνκερ Πόρτλαντ τσιμέντο, που έχει αλεσθεί μαζί με πρόσθετα (συνδετικά) υλικά. Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197 – 1, είναι κατηγορίας αντοχής **32.5R** (πρώωρες αυξημένες αντοχές. Επίσης καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 197 – 1 και είναι πιστοποιημένο από ανεξάρτητο φορέα και φέρει το σήμα CE

Άρα η ανάλυση του τσιμέντου τύπου **CEM IV/B (P-W) 32.5R** σημαίνει :

- **CEM IV** = Ποζολανικό Τσιμέντο
- **B** = Ποσοστό Προσθήκης (21 – 35)%
- **P** = Ποζολάνη Φυσική
- **W** = Ιπτάμενη Τέφρα Ασβεστούχα
- **32,5 R** = υψηλή πρώιμη αντοχή στις 28 ημέρες μεγαλύτερη από **32,5 MPa** και μικρότερη από **52,5 MPa**.

ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ

1) Για την Παρασκευή των κυλινδρικών δοκιμών χρειάστηκαν τα εξής:

- Ζυγαριές



(Εικ.188): Ζυγαριές ημιαυτόματες [Semi – automatic balances]

- Αναδευτήρας



(Εικ.189): Αναδευτήρας εργαστηρίου [Concrete mixer]

- Καλούπια (κυλινδρικά σύμφωνα με τις απαιτήσεις των προτύπων)



(Εικ.190): Ειδικά κυλινδρικά καλούπια [14cm/7cm]

2) Για τις δοκιμές δοκιμίων ή μετρήσεις

- a) Ειδικό Βάρος, Φαινόμενο Βάρος και για τον υπολογισμό του πορώδους με Φυσικό έλεγχο



(Εικ.191): Συσκευή προσδιορισμού ειδικού βάρους [Specific gravity frame]

b) Για την Δοκιμή Υδατοπερατότητας



(Εικ.192): συσκευή υδατοπερατότητας [Concrete water penetration apparatus]

c) Για την Δοκιμή σε θλίψη



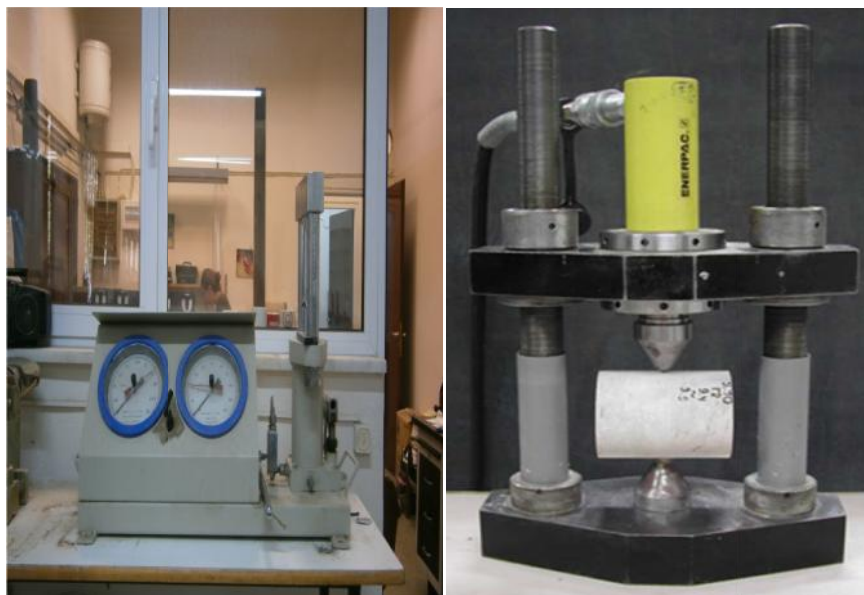
(Εικ.193): Συσκευή θλίψεως του Γ.Π.Α. [Compression testing machines]

d) Για την Δοκιμή σε διάρρηξη



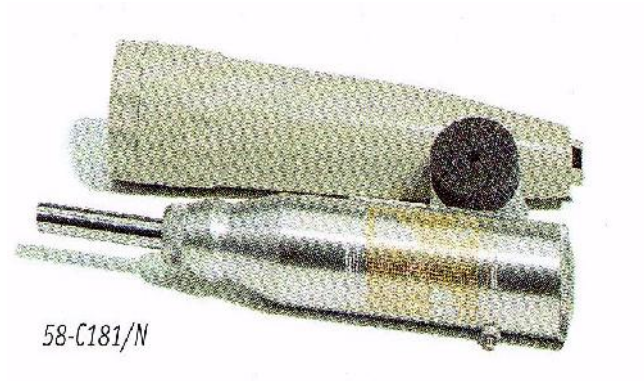
(Εικ.194): Συσκευή διάρρηξης κυλινδρικών δοκιμίων [Splitting tensile test device for cylindrical specimens]

e) Για την Δοκιμή σε Σημειακή Φόρτιση



(Εικ.195): Συσκευές σημειακής φόρτισης του Γ.Π.Α [Rock strength index apparatus]

f) Για τη δοκιμή κρουσίμετρο **Schmidt**



(Εικ.196): Κρουσίμετρο για δοκίμια σκυροδέματος [Concrete test hammer]

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

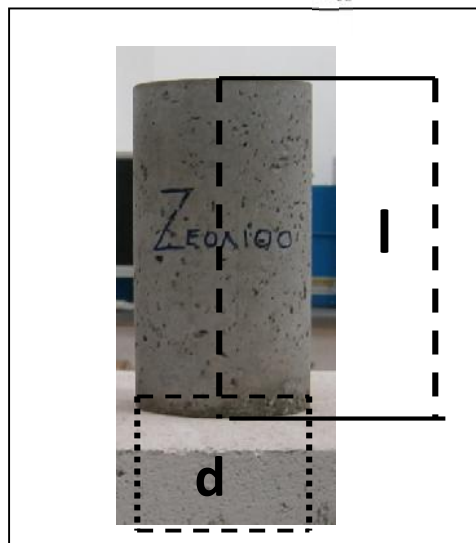
Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Προσδιορισμός εργαστηριακών δοκιμίων
2. Προετοιμασία υλικών και συσκευών
3. Κοκκομετρική ανάλυση ή σύνθεση
4. Μελέτη συνθέσεως
5. Διαδικασία παρασκευής δοκιμίων
6. Τρόπος συντήρησης

1.Προσδιορισμός εργαστηριακών δοκιμίων

Για την μελέτη και έλεγχο της αντοχής σε θλίψη του σκυροδέματος με χρήση ζεολιθικών αδρανών, συσχετίζοντάς τα μετά συμβατά σκυροδέματα από ασβεστολιθικά αδρανή, καθορίστηκε η παρασκευή εξήντα (60) κυλινδρικών δοκιμίων σε δύο ομάδες των τριάντα (30).

Οι διαστάσεις του δοκιμίου πρέπει να ικανοποιούν το πρότυπο του Κ.Τ.Σ. 97, δηλαδή ο λόγος ύψους προς διάμετρο (l/d) να κυμαίνεται μεταξύ ($2 < l/d < 3$).



(Εικ.197): Δείγμα κυλινδρικού δοκιμίου (ζεόλιθο) με τις ενδεδειγμένες διαστάσεις

Για αυτό τον λόγο επιλέχθηκαν οι διαστάσεις των κυλινδρικών δοκιμίων να είναι , το δε ύψος $l=14 \text{ cm}$ και $d=7 \text{ cm}$, άρα ($14/7=2 \text{ cm}$). Επίσης τα καλούπια παραγγέλθηκαν από ειδική εταιρεία την (ΕΛΙΞ) , που εδράζεται στο Μοσχάτο. Η οποία κατασκευάζει διάφορα είδη πλαστικών καθώς και καλούπια κατά παραγγελία. Ακολουθούν εικόνες του πλαστικού δείγματος καλουπιού και η απόδειξη προσφοράς

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ



(Εικ.198): Δείγμα κυλινδρικού δοκιμίου της Εταιρείας [ΕΛΙΞ]

ΕΛΙΞ
ΥΙΟΙ ΔΗΜ. ΟΡΦΑΝΟΥ Ο.Ε.
ΑΡΤΗΣ 13 ΜΟΣΧΑΤΟ Τ.Κ. 183-46
ΑΘΗΝΑ - ΕΛΛΑΔΑ
ΤΗΛ: 210-4823645 ΦΑΞ: 210-4825190

Προς: ΤΕΙ ΑΘΗΝΑΣ
ΔΙΕΥ: ΔΕ ΣΥΝΤΑΞΗΣ & ΠΑΛΑΙΚΑΡΩΝ
ΥΠΟΥΡΓΗ Κου Αυτονομία ΑΘ.

8-2-2012

ΠΡΟΣΦΟΡΑ

Για την κατασκευή 30 (τριάντα) κυλινδρών από πλαστικό για δοκιμας σκυροδέματος.

ΤΥΠΟΣ	ΥΨΟΣ mm	ΕΣ. ΔΙΑΜ mm	ΕΞ. ΔΙΑΜ mm	ΤΕΜΑΧΙΑ	ΤΙΜΗ/ΤΕΜΑΧΙΟ	ΣΥΝΟΛΟ Ευρώ
Διάτρητο κυλινδρικό με πότο	150	69	90	30	22 Ευρώ	660
					ΦΠΑ 23 %	151,80
					ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ	841,80

Χρόνος Παράδοσης 10 ημέρες

Φύλλα
ΥΙΟΙ ΔΗΜ. ΟΡΦΑΝΟΥ ΟΕ

ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΑΛΥΣΕΩΝ
"ΕΛΙΞ"
ΥΙΟΙ ΔΗΜ. ΟΡΦΑΝΟΥ Ο.Ε.
ΑΡΤΗΣ 13 ΜΟΣΧΑΤΟ Τ.Κ. 183-46
ΤΗΛ: 48 23 482 ΦΑΞ: 48 23 190
ΑΘΗΝΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΠΡΟΤΕΚΝΟΝ

(Εικ.199): Απόδειξη κόστους των 30 κυλινδρικών δοκιμίων της Εταιρείας [ΕΛΙΞ]

Τα δε υλικά για τις δύο ομάδες δοκιμών είναι:

- Η πρώτη ομάδα τα **Ασβεστολιθικά Αδρανή**, τα οποία προσκομίστηκαν από Μάνδρα Οικοδομικών Υλικών (Προσφορά από το Α.Τ.Ε.Ι. Αθηνών)
- Η δεύτερη ομάδα τα **Ζεολιθικά Αδρανή**, προσφέρθηκαν από την Εταιρεία Κ. ΑΔΑΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Ε.Π.Ε. (από τον κύριο Αριστείδη Αδαμακόπουλο). Η δε ποσότητα ήταν περίπου 500 κιλά.

Σχετικά με την κοκκομετρία του υλικού ήταν διαθέσιμη μόνο η λεπτόκοκκη διαβάθμιση (0,8 – 2,5) mm και (2,5 – 5) mm



(Εικ.200): Δείγματα σακίων των 25 κιλ. ζεολιθικών αδρανών κοκκομετρίας [0,8-2,5 και 2,5-5,0]

2. Προετοιμασία υλικών και συσκευών

Η προετοιμασία των υλικών αδρανών στηρίχθηκε στην διαθέσιμη κοκκομετρία των ζεόλιθων στην Ελληνική αγορά και χρησιμοποιήθηκε ως σημείο αναφοράς για την Παρασκευή των αντίστοιχων ασβεστολιθικών αδρανών.

Τα αδρανή υλικά και των δύο διαφορετικών ειδών εξετάστηκαν ως προς :

- Τον προσδιορισμό κοκκομετρικής σύνθεσης και
- Της συνθέσεως δεδομένων κοκκομετρικών γραμμών άμμου και ρυζάκι με στόχο την καλλίτερη προσέγγιση μιας επιθυμητής γραμμής

Προσδιορισμός κοκκομετρικής σύνθεσης

Για την κοκκομετρική σύνθεση χρειάζεται ένα πρότυπο αντιπροσωπευτικό δείγμα, μίγματος (άμμο και ρυζάκι) σε ξηρή ή σε υγρή κατάσταση μετά από τεταρτομερισμό.

Επειδή τα αδρανή υλικά παραλήφθηκαν σε ξεχωριστά σακιά άμμου και ρυζάκι, επιλέχθηκε να ανακατευθούν σε ποσοστό 50% άμμο και 50% ρυζάκι με τελική ποσότητα των δέκα (10) κιλών. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Κ.Τ.Σ. – 97, η δειγματοληψία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 κιλά, ούτως ώστε δια του τεταρτομερισμού να χρειασθούμε 2,5 κιλά ή 2500 γραμμάρια μόνο

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ



(Εικ.201): (5κ άμμο και 5κ ρυζάκι) Ζεόλιθο



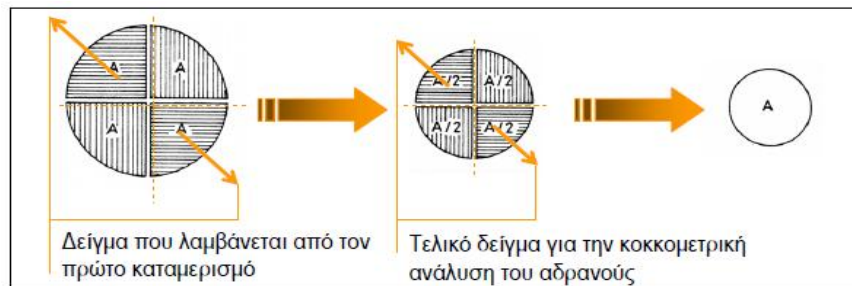
(5κ άμμο και 5κ ρυζάκι) ασβεστόλιθο



(Εικ.202): 10 κ μίγμα αμμορυζάκι ζεόλιθο



10 κ μίγμα αμμορυζάκι ασβεστόλιθο



(Εικ.203): Εργοταξιακός Τεταρτομερισμός



(Εικ.204): Εργαστηριακός Τεταρτομερισμός

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Μετά από τον τεταρτομερισμό των αδρανών χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή κοκκομετρικής ανάλυσης οι κάτωθεν συσκευές



(Εικ.205): Γερμανικά κόσκινα Κοσκινιέρα ή Σείστρο Σείστρο με τα κόσκινα

Το κοσκίνισμα των αδρανών με την συσκευή «Σείστρο» διήρκησε (4 – 6) λεπτά, κατόπιν ζυγίστηκαν τα συγκρατούμενα αδρανή σε κάθε κόσκινο ξεχωριστά και καταγράφηκαν τα βάρη υπό μορφή πίνακα. Τα δε αποτελέσματα επεξεργάστηκαν και εκφράστηκαν σε ποσοστά διερχομένων αδρανών ανά κόσκινο

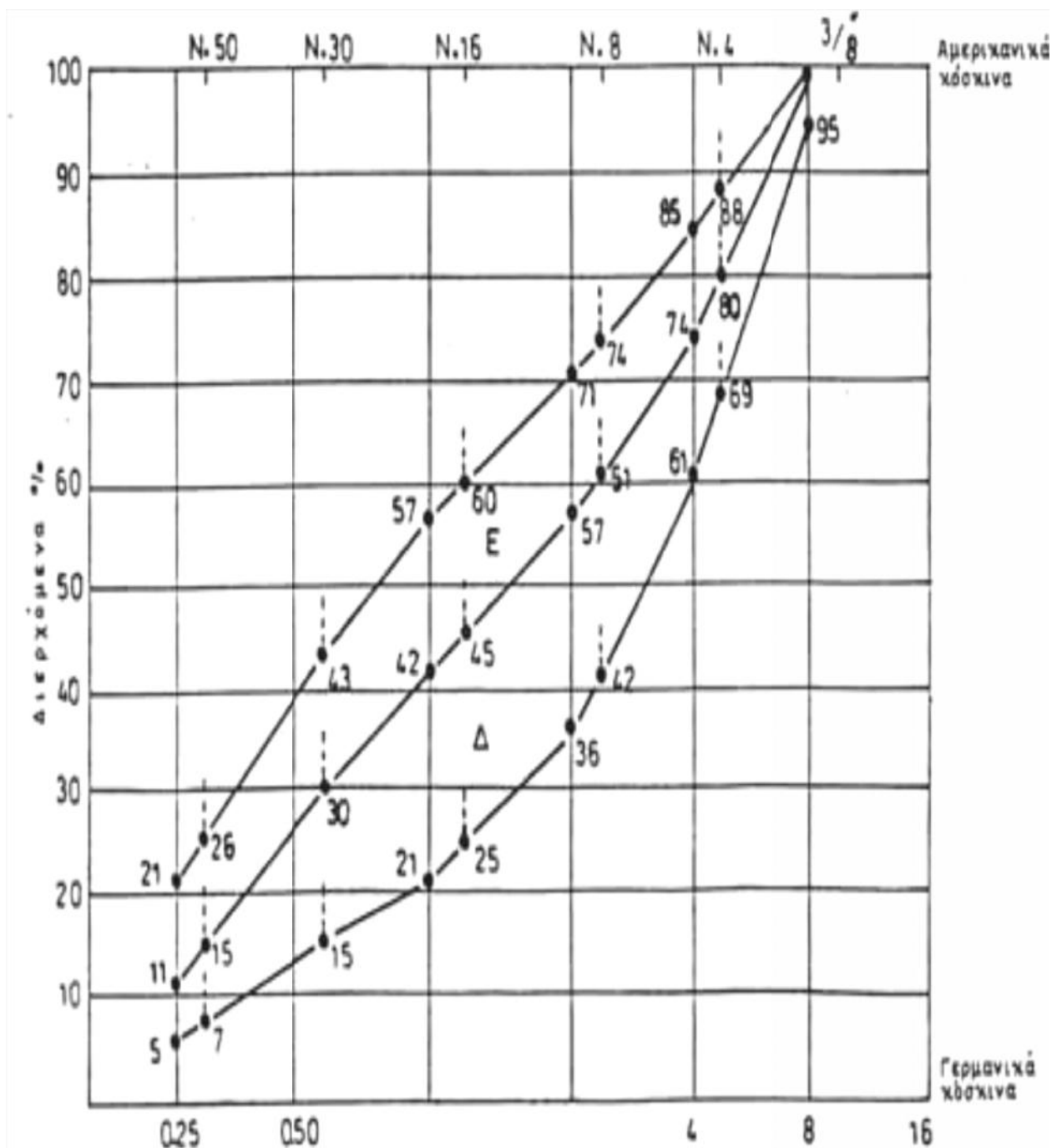
Πίνακας 46: Συγκρατούμενα βάρη αδρανών ανά κόσκινο (Ζεολιθικών και Ασβεστολιθικών)

ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ "ΖΕΟΛΙΘΟΣ" 2,5 ΚΙΛΑ ή 2500 Γραμμάρια		ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ "ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ" 2,5 ΚΙΛΑ ή 2500 Γραμμάρια	
No Κόσκινο	Συγκρατούμενο ανα κόσκινο (gr)	No Κόσκινο	Συγκρατούμενο ανα κόσκινο (gr)
8	0	8	0
4	236	4	10
2	1266	2	1208
1	574,5	1	504
0,5	245	0,5	521
0,25	12,5	0,25	208,5
Πυθμένας	148,5	Πυθμένας	28
Σύνολο	2482,5	Σύνολο	2479,5

Οι δε απαιτήσεις σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. 97, ή **επιτρεπόμενη απώλεια** του τελικού βάρους των συγκρατούμενων ανά κόσκινο αδρανών σε σχέση με το αρχικό βάρος δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1%. Όντως για τον Ζεόλιθο η απώλεια ήταν 17,5 γραμμάρια, δηλαδή 0,7% , επομένως $0,7% < 1%$. Για δε τον ασβεστόλιθο η απώλεια ήταν 20,5 γραμμάρια, δηλαδή 0,82% , επομένως $0,82% < 1%$

3.Κοκκομετρική ανάλυση ή σύνθεση

Για περισσότερη και καλλίτερη κοκκομετρική σύνθεση χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο διάγραμμα «όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 8 mm, μιας επιθυμητής γραμμής



(Εικ.206): Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου \square 8 ή $\frac{3}{8}$ "

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Βάση των ορίων κοκκομετρικής διαβαθμίσεως θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 8 mm, για την υποζώνη [Δ] ως η καλλίτερη κοκκομετρική σύνθεση είναι η μεσαία καμπύλη που κείται ανάμεσα στην υποζώνη [Δ].

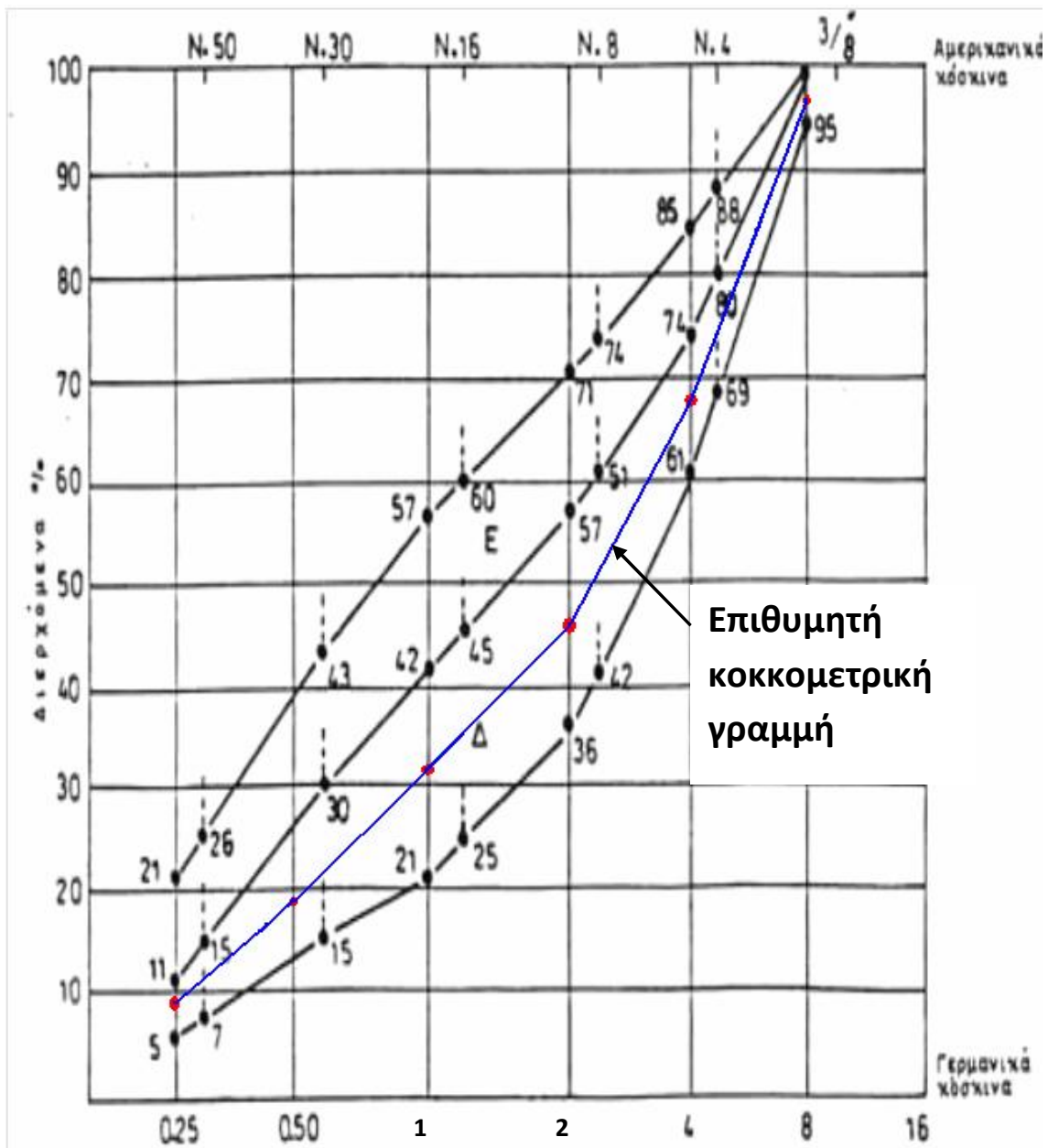
Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	250 μm	5 - 11	11 - 21
1	1 mm	21 - 42	42 - 57
2	2 mm	36 - 57	57 - 71
4	4 mm	61 - 74	74 - 85
8	8 mm	95-100	100

(Εικ.207): Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 8 mm, για την σειρά των Γερμανικών Κοσκίνων DIN 4187 και 4188

Δηλαδή οι συντεταγμένες (Αριθμός Κοσκίνου, Ποσοστό Διερχομένων), (□ ,%), θα είναι οι εξής :

Πίνακας 47: Επιθυμητή ποσότητα των διερχομένων ανά κόσκινο στην υποζώνη Δ

Κόσκινα	Διερχόμενα στην υποζώνη [Δ]
0,25 mm	8 %
1 mm	31,5 %
2 mm	46,5 %
4 mm	67,5 %
8 mm	97,5 %



(Εικ.208): Η επιθυμητή κοκκομετρική καμπύλη στην περιοχή Δ

Έχοντας τα ποσοστά των συγκρατούμενων της άμμου, του ρυζιού καθώς και της επιθυμητής κοκκομετρικής γραμμής από τα δεδομένα των διερχομένων, υπολογίζουμε τους κοκκομετρικούς συντελεστές (K_1 , K_2 και K_m). Ο συντελεστής K_1 καλείται και συντελεστής λεπτότητας άμμου.

Χρησιμοποιώντας τους άνωθεν συντελεστές σχηματίζουμε την γραμμική συνάρτηση ή εξίσωση, όπου με την βοήθεια της μοναδιαίας εξίσωσης βρίσκουμε τα τελικά διορθωτικά ποσοστά για την άμμο και για το ρυζάκι.

Με αυτά τα διορθωτικά ποσοστά πολλαπλασιάζοντας τα προηγούμενα ποσοστά της άμμου και του ρυζιού, βρίσκουμε τις νέες συντεταγμένες των διερχομένων ανά κόσκινο, όπου η νέα κοκκομετρική γραμμή θα δείξει κατά πόσον προσεγγίζει την επιθυμητή κοκκομετρική γραμμή

Επίσης, τα ίδια διορθωτικά ποσοστά θα καθορίσουν την ακριβή ποσότητα των αδρανών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την Παρασκευή του ενός κυβικού μέτρου σκυροδέματος (1 m^3).

4.Μελέτη συνθέσεως

Γενικά:

Η μελέτη συνθέσεως σκυροδέματος γίνεται για να υπηρετήσει τον συγκεκριμένο σκοπό ενός έργου, το οποίο μπορεί να είναι σύνηθες ή να έχει ιδιαιτερότητες.

Η μελέτη συνθέσεως επηρεάζεται από:

- Τα μέσα σκυροδετήσεως, το αντλήσιμο ή όχι
- Τις διαστάσεις των στοιχείων
- Τη πυκνότητα του οπλισμού
- Την απόσταση από την θάλασσα
- Τις άλλες ειδικές απαιτήσεις του έργου
 1. Τον τύπο τσιμέντου
 2. Τον μέγιστο κόκκο αδρανούς
 3. Την ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου
 4. Τον μέγιστο λόγο νερού προς τσιμέντο (ω)

Υπάρχουν πέντε μέθοδοι μελέτης συνθέσεως:

- a. Ο Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997
- b. Η Ευρωπαϊκή Προδιαγραφή EN 206 : 2000
- c. Ο Γερμανικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος DIN 1045 , 1972
- d. Ο Αμερικανικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ACI 211 . 1
- e. Βάση διαγραμμάτων αναλογιών νερού – τσιμέντου ανά τύπου κάθισης και μέγιστου κόκκου

Επιλέχθηκε ο Αμερικανικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ACI 211 . 1), για την έρευνα σκυροδέματος με ζεολιθικά αδρανή.

5. Διαδικασία παρασκευής δοκιμίων

Τα τελικά ποσά σε κιλά (τσιμέντου, νερού και των αδρανών υλικών) που προσδιορίστηκαν κατά την επιλεγμένη μελέτη συνθέσεως για την παρασκευή ενός κυβικού μέτρου (1 m^3), προσαρμόστηκαν σε αντίστοιχα ποσά για τα εξήντα κυλινδρικά καλούπια, όγκου $5,39 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ ανά κυλινδρικό καλούπι

Πίνακας 48: Τελικές ποσότητες υλικών για τα 60 δοκίμια (Ασβεστόλιθων και Ζεόλιθων)

Υλικά (Είδος)	Ασβεστόλιθοι (kg), για τα 30 κυλινδρικά καλούπια	Ζεόλιθοι (kg), για τα 30 κυλινδρικά καλούπια
Τσιμέντο	6,06	6,06
Νερό	4,056	4,056
Άμμο	14,40	10,98
ρυζάκι	21,60	16,47

Η διαδικασία παρασκευής των εξήντα δοκιμίων έγιναν σε έξι φάσεις:

A. Ζύγισμα των υλικών



(Εικ.209): Διαδικασία ζυγίσματος

B. Τοποθέτηση σε αναδευτήρα για ομοιογενή ανάμιξη των υλικών



(Εικ.210): Διαδικασία αναμίξεως υλικών για καλύτερη ομοιογένεια

C. Ανάδευση του μίγματος μέσα στον κάδο για (4 – 5) λεπτά



(Εικ.211): Διαδικασία ανάδευσης όλων των υλικών στον κάδο

D. Διάστρωση και Συμπύκνωση με την μέθοδο της ράβδωσης ή κόπανο



(Εικ.212): Διαδικασία συμπύκνωσης με την μέθοδο ράβδωσης

E. Παραμονή και προστασία για (32 – 48) ώρες



(Εικ.213): Κατάσταση διατήρησης στα καλούπια για 48 ώρες

6.Τρόπος συντήρησης

Η συντήρηση των δοκιμίων σε θάλαμο συντήρησης ή γήρανσης σε θερμοκρασία (20 ± 1) και 95% υγρασία, για 28 ημέρες, αποσκοπεί στο να δημιουργηθούν συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που θα επιτρέψουν να ενυδατωθεί το μεγαλύτερο ποσοστό τσιμέντου του μίγματος .

Σε περίπτωση που δεν διατίθεται ο θάλαμος συντήρησης για διάφορους λόγους, επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί ο κλασικός τρόπος, ο οποίος είναι ο εμποτισμός εντός νερού σε δεξαμενή ή γούρνα.

Αφού ξεκαλυπωθούν μετά από την απαιτούμενη χρονική διάρκεια παραμονής των στα καλούπια, εισάγονται στην γούρνα για να παραμείνουν για 28 ημέρες εντός του νερού



(Εικ.214): Ξεκαλούπωμα δοκιμίων και συντήρηση με την μέθοδο του εμποτισμού

**ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΑΠΟ
 ΤΙΣ ΠΡΟΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ**

Οι προκαθορισμένες μελέτες, μετρήσεις και δοκιμές που εκτελέστηκαν και στα 60 κυλινδρικά δοκίμια είναι οι εξής:

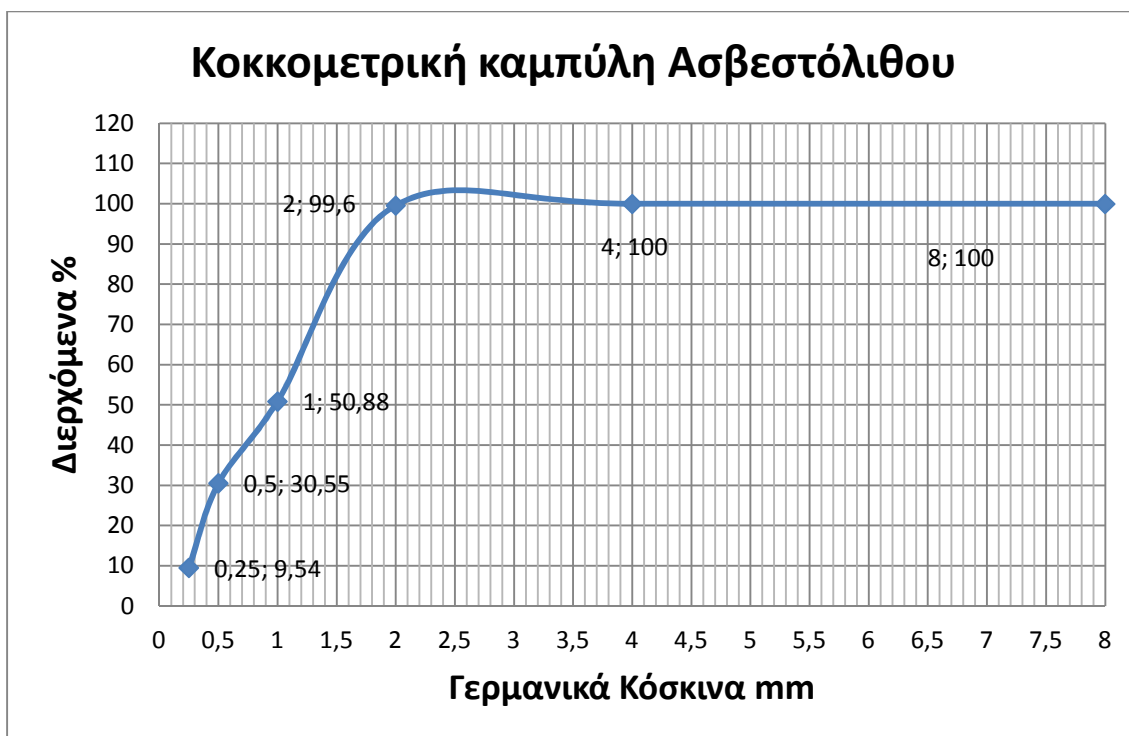
1. Κοκκομετρική Ανάλυση
2. Μελέτη Συνθέσεως
3. Ειδικό Βάρος
4. Φαινόμενο Βάρος
5. Υπολογισμός Πορώδους
6. Δοκιμή Θλίψεως
7. Δοκιμή Διαρρήξεως
8. Δοκιμή Υδατοπερατότητας
9. Δοκιμή Σημειακής Φόρτισης
10. Δοκιμή Κρουσιμέτρου

A. Κοκκομετρική Ανάλυση

Πίνακας 49: Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης ασβεστόλιθων

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΓΓΡΑΦΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ "ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ" 2,5 ΚΙΛΑ ή 2500 Γραμμάρια

No Κόσκινο	Συγκρατούμενο ανά κόσκινο (gr)	Συνολικό συγκρατούμενο (gr)	Διερχόμενο υλικό (gr)	Διερχόμενο ποσοστό (%)	Συγκρατούμενο ποσοστό (%)
8	0	0	0	100	0,00
4	10	10	0	100	0,00
2	1208	1218	10	99,60	0,40
1	504	1722	1218	50,88	49,12
0,5	521	2243	1722	30,55	69,45
0,25	208,5	2451,5	2243	9,54	90,46
Πυθμένας	28	2479,5	2451,5		2,09
Σύνολο	2479,5		-2479,5		
Απώλεια	0,82	0,82 % ή 20,5 gr	0,82% < 1%		
Επιτρεπόμενη	Απώλεια	1% ή 25gr	20,5 gr < 25 gr		
Κοκκομετρικός Συντελεστής ή Συντελεστής Λεπτότητας ή Μέτρο λεπτότητας για τον Ασβεστόλιθο είναι 2,09					

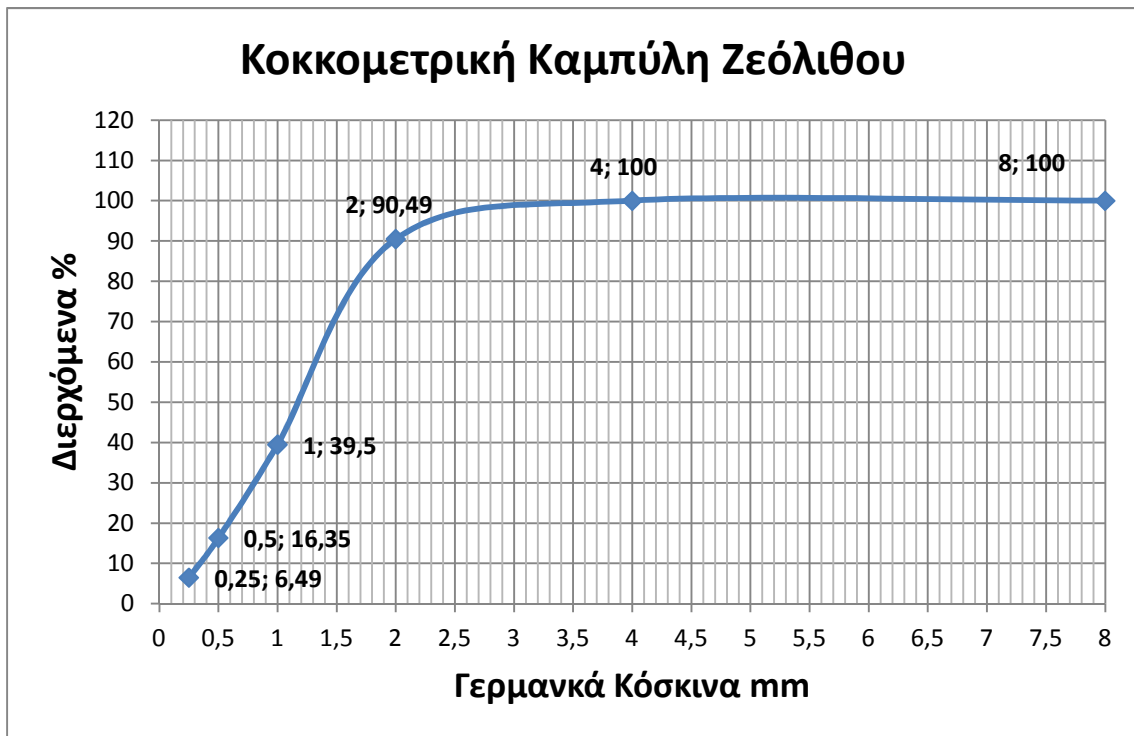


Διάγραμμα 1: Κοκκομετρική καμπύλη ασβεστόλιθου

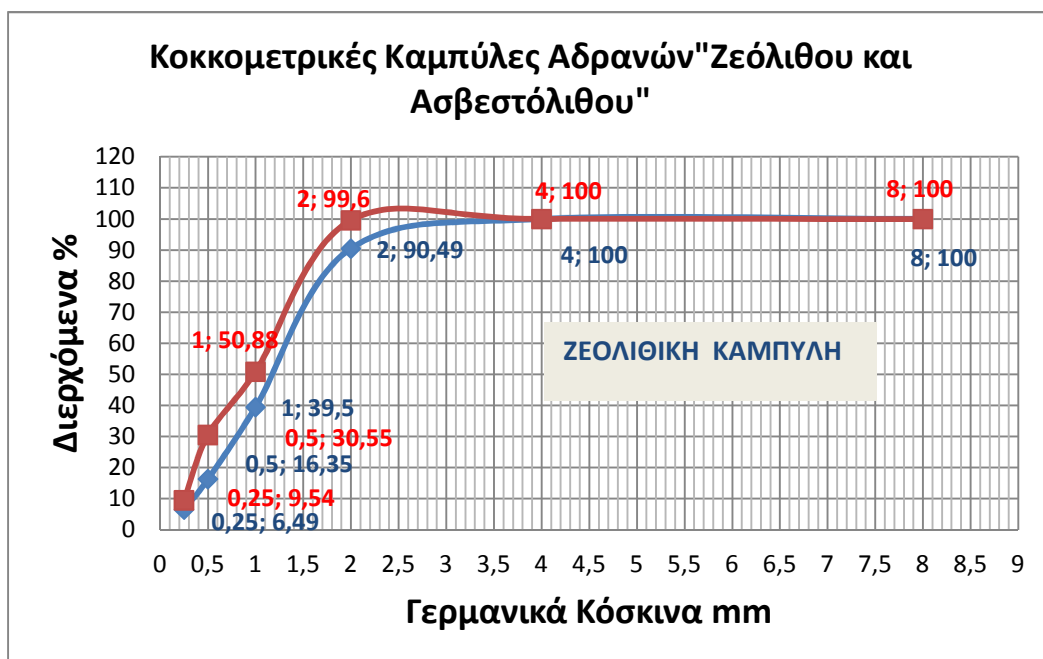
Πίνακας 50: Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης ζεόλιθων

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΓΓΡΑΦΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ "ΖΕΟΛΙΘΟΣ" 2,5 ΚΙΛΑ ή 2500 Γραμμάρια

Νο Κόσκιο	Συγκρατούμενο ανά κόσκιο (gr)	Συνολικό συγκρατούμενο (gr)	Διερχόμενο υλικό (gr)	Διερχόμενο ποσοστό (%)	Συγκρατούμενο ποσοστό (%)
8	0	0	0	100	0,00
4	236	236	0	100	0,00
2	1266	1502	236	90,49	9,51
1	574,5	2076,5	1502	39,50	60,50
0,5	245	2321,5	2076,5	16,35	83,65
0,25	12,5	2334	2321,5	6,49	93,51
Πυθμένας	148,5	2482,5	2334	5,98	2,47
Σύνολο	2482,5		-2482,5		
Απώλεια	0,7	0,7 % ή 17,5 gr	0,7% < 1%		
Επιτρεπόμενη	Απώλεια	1% ή 25gr	17,5 gr < 25 gr		
Κοκκομετρικός Συντελεστής ή Συντελεστής Λεπτότητας ή Μέτρο λεπτότητας για τον Ζεόλιθο είναι 2,47					



Διάγραμμα 2: Κοκκομετρική καμπύλη ζεόλιθου



Διάγραμμα 3: Συνδυασμός κοκκομετρικών καμπυλών μεταξύ των ασβεστολιθικών και ζεολιθικών αδρανών

Η ποσοστιαία διαφορά διερχομένων μεταξύ ασβεστόλιθου και ζεόλιθου από (0,25 – 2), Μ.Ο. = 27,5%

B. Μελέτη Συνθέσεως (για τα Ασβεστολιθικά αδρανή)

Η μελέτη συνθέσεως έγινε κατά τον Αμερικάνικο Κανονισμό ACI 211.1

Δεδομένα :

- Μέγιστη διάμετρος αδρανούς υλικού, $\Phi_{\max} = 8 \text{ mm}$
- Συνεκτικότητα του σκυροδέματος K_2
- Η απαιτούμενη χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος $f_{ck} (C 16/20)$
- Η τυπική απόκλιση μεταξύ χαρακτηριστικής αντοχής και αντοχής επιτόπου $s = 5 \text{ MPa}$
- Μέτρο Λεπτότητας της άμμου (**2,09 ~ 2,1**) από την κοκκομετρική ανάλυση ή **2,7** ως παραδοχή από τον Κ.Τ.Σ. - 97
- Ειδικά Βάρη Τσιμέντου – Χαλικιών – Άμμου

$$\gamma_{\text{Τσιμέντου}} = 2900 - 3150 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{\text{Χαλικιών}} = 2550 - 2680 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{\text{Άμμου}} = 2550 - 2700 \text{ kg/m}^3$$

- Τύπος Τσιμέντου CEM IV/B (P-W) 32.5R

Βήμα 1^ο

Η ποσότητα του νερού δίνεται από την σχέση:

$$N = 285 + 0,95 \cdot \Phi_{\max} - 23,1 \sqrt{\Phi_{\max}}$$

$$N = 285 + 0,95 \cdot 8 - 23,1 \cdot \sqrt{8}$$

$$N = 285 + 7,6 - 65,336667$$

$$N = 227,2633 \text{ (kg/n}^3\text{)}$$

Επειδή η συνεκτικότητα του σκυροδέματος ως δεδομένο είναι (K_2), αυτό σημαίνει ότι κατά τον DIN 1045 η κατηγορία του σκυροδέματος ανήκει στο πλαστική μορφή ή ακριβέστερα η περιγραφή του νεπού σκυροδέματος πρέπει να είναι (**σφιχτό – πλαστικό**).

Επιπλέον η κατηγορία κάθισης (S_2), ως Εργοταξιακός έλεγχος πρέπει να κυμαίνεται στους (50 – 90) mm και επιπροσθέτως ο συντελεστής νερού δίδεται ως 0,92 ο οποίος πολλαπλασιάζεται με την ποσότητα του νερού που υπολογίστηκε με τον εμπειρικό τύπο, δηλαδή:

$$N = 0,92 \cdot N$$

$$N = 0,92 * 227,2633$$

$$N = 209,1 \text{ kg}$$

Βήμα 2°

Θα βρούμε μετά τον υδατοτσιμεντοσυντελεστή από τη σχέση:

$$\omega = 2,54 - 0,64 W^{0,2}$$

W = Είναι η απαιτούμενη θλιπτική αντοχή κύβου ή κυλίνδρου στο έργο σε kg/cm^2

Για να βρεθεί η απαιτούμενη θλιπτική αντοχή δίδεται από την σχέση:

$$W = W_{\text{Χαρακτηριστική}} + S$$

$W_{\text{Χαρακτηριστική}}$ = Είναι η αντοχή f_{ck} (C 16/20), δηλαδή για κύλινδρο θα είναι 16 MPa

S = Είναι η τυπική απόκλιση η οποία πρέπει να προκύπτει από 60 τουλάχιστον διαδοχικά δοκίμια διαφορετικών αναμιγμάτων με τα ίδια υλικά και τις ίδιες εγκαταστάσεις. Επειδή δεν υπάρχουν στοιχεία τυπικής αποκλίσεως, τότε λαμβάνεται υπόψη η προέλευση των αδρανών υλικών :

- ❖ Για θραυστά αδρανή η $s = 5 \text{ MPa}$
- ❖ Για φυσικά αδρανή η $s = 6 \text{ MPa}$
- ❖ $W = W_{\text{Χαρακτηριστική}} + S$

$$W = 16 * 10 + 5 * 10$$

$$W = 160 + 50$$

$$W = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega = 2,54 - 0,64 * 210^{0,2}$$

$$\omega = 2,54 - 0,64 * 2,9136935$$

$$\omega = 2,54 - 1,8647638$$

$$\omega = 0,6752361 \sim 0,67$$

έλεγχος $0,4 < 0,67 < 0,7$

Για την ποσότητα του τσιμέντου χρησιμοποιείται ο τύπος :

$$\omega = \frac{N}{T}$$

Άρα από τον τύπο μπορούμε να βρούμε την ποσότητα του τσιμέντου (**T**):

$$T = \frac{N}{\omega}$$

$$T = \frac{209,1}{0,67}$$

$$T = 312,08955 \sim 312,1 \text{ kg}$$

έλεγχος $270 < 312,1 < 400$

Βήμα 3^ο

Θα υπολογίσουμε τις ποσότητες των αδρανών σε δύο κλάσματα:

Το λεπτόκοκκο κλάσμα (άμμος) και το χονδρόκοκκο κλάσμα (χαλίκια)

Απαιτείται να γνωρίζουμε το μέτρο λεπτότητας της άμμου:

Επειδή δεν υπάρχουν στοιχεία φαινομένου όγκου για το (ρυζάκι) συναρτήσει του μέτρου λεπτότητας με $\Phi_{\max} (\text{mm}) = 8$ και επίσης ο προσδιορισμός του μέτρου λεπτότητας χρειάζεται τους δείκτες του Abrams, καθώς και των (Hummel, Stern, Rothfuchs και Dahl), οι οποίοι δεν υφίστανται προς το παρόν .

Επιπλέον ο εργαστηριακός τρόπος δεν είναι και ο πιο αξιόπιστος, δηλαδή με το άθροισμα των συγκρατούμενων αδρανών της άμμου (0/3), διαιρούμενο δια το 100 να μας δώσει τον συντελεστή ή το μέτρο λεπτότητας, ο οποίος βρέθηκε να ισούται με (**2,09 ~ 2,1**)

Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούμε άμμο μεσόκοκκη 0/3 με μέτρο λεπτότητας από (**2,6 – 2,8**), και δεχόμαστε ως **μέτρο λεπτότητας 2,7**. Καταφεύγουμε στον παρακάτω πίνακα, από τον οποίο θα υπολογίσουμε το φαινόμενο όγκο των χαλικιών σε m^3 .

Πίνακας 51: Φαινόμενος όγκος χαλκικών συναρτήσει του μέτρου λεπτότητας και Φ_{\max} (mm)

Φ_{\max} (mm)	Φαινόμενος όγκος χαλκικών συναρτήσει του μέτρου λεπτότητας	
	2,60	2,80
31,5 (υδαρές πλαστικό)	0,70	0,68
31,5 (σφιχτό πλαστικό)	0,75	0,73

Είναι γνωστό ότι το φαινόμενο βάρος των αδρανών κυμαίνεται μεταξύ (1400 – 1600) kg/m³

Οπότε το βάρος του χαλκιού (X) που χρειάζεται για το **σφιχτό πλαστικό** σκυρόδεμα είναι:

$$X = 0,74 * 1500$$

$$X = 1110 \text{ kg}$$

Βήμα 4^ο Υπολογισμός του όγκου και του βάρους της άμμου:

Συμπαγής όγκος νερού: $V_{\text{νερού}} = \frac{N'}{\epsilon.β.νερού} = \frac{209,1}{1000} = 0,2091 \quad \underline{0,209 \text{ m}^3}$

Συμπαγής όγκος τσιμέντου: $V_{\text{τσιμέντου}} = \frac{T}{\epsilon.β.τσιμέντου} = \frac{312,1}{3025} = 0,1031735 \quad \underline{0,103 \text{ m}^3}$

Συμπαγής όγκος χαλκιού: $V_{\text{χαλκιού}} = \frac{X}{\epsilon.β.χαλκιού} = \frac{1110}{2615} = \underline{0,390 \text{ m}^3}$

Όγκο πόρων αέρα: $(1 - 1,5)\% = \underline{0,013 \text{ m}^3}$

Σύνολο συμπαγών όγκων: $1 \text{ m}^3 = V_{\text{ΝΕΡΟΥ}} + V_{\text{ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ}} + V_{\text{ΧΑΛΙΚΙΑ}} + V_{\text{ΑΜΜΟ}} + V_{\text{ΑΕΡΑ}}$

$$1 \text{ m}^3 = 0,209 + 0,103 + 0,390 + V_{\text{ΑΜΜΟ}} + 0,013$$

$$1 \text{ m}^3 = 0,715 + V_{\text{ΑΜΜΟ}}$$

$$V_{\text{ΑΜΜΟΥ}} = (1 - 0,715) \text{ m}^3$$

$$V_{\text{ΑΜΜΟΥ}} = (0,285) \text{ m}^3$$

Επομένως το βάρος της άμμου θα είναι: **Άμμος = $V_{\text{ΑΜΜΟ}}$ ε.β. μμου**

$$\text{Άμμος} = 0,285 \cdot 2625 = 748 \text{ kg}$$

Το τελικό βάρος των αδρανών (Άμμο και Χαλίκι) ή (Άμμο και Ρυζάκι)

$$\text{ΑΔΡΑΝΕ} = \text{ΑΜΜΟ} + \text{ΡΥΖΑΚΙ} = 748 + 1110 = \underline{1858 \text{ kg}}$$

Βήμα 5^ο

Υπολογισμός των απαιτούμενων υλικών ποσοτήτων για την Παρασκευή σκυροδέματος των 30 κυλινδρικών δοκιμίων

Πίνακας 52: Εύρεση ποσοτήτων υλικών σε συνάρτηση με όγκο κυλίνδρου δοκιμίου

ΟΓΚΟΣ (m ³)	ΝΕΡΟ (kg)	ΤΣΙΜΕΝΤΟ (kg)	ΑΔΡΑΝΗ (kg)
1	209	312	1858
0,000539 (κυλίνδρου)	N ;	T ;	Αδρ. ;

Πίνακας 53: Βασικές υπολογιστικές τιμές των υλικών

ΝΕΡΟ (N)	209x0,000539 =	0.112651	0.112651x30 =	3.37953 ~ 3.38 (kg)
ΤΣΙΜΕΝΤΟ (T)	312x0,000539 =	0.168168	0.168168 x30 =	5.04504 ~ 5.05 (kg)
ΑΔΡΑΝΗ (Αδρ)	1858x0,000539 =	1.001462	1.001462 x30 =	30.04386 ~ 30.04 (kg)

Βάση γενικών περιπτώσεων, κατηγοριών χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος σε συνάρτηση της ανάλυσης αδρανών κατά τον Κ.Τ.Σ. – 97. Επιλέχθηκε το ποσοστό (%) των αδρανών (άμμος και ρυζάκι) κατά φαινόμενο όγκο για διευκόλυνση της έρευνας (δοκιμαστικά) τα εξής :

Πίνακας 54: Τελικά ποσά των αδρανών με προσαύξηση σύμφωνα με την γενική περίπτωση

Αδρανή	Επιλεγμένο Ποσοστό	Αποτέλεσμα σε κιλά ανά κλάσμα αδρανών	Προσαύξηση του υλικού για αποφυγή ελλείμματος
Άμμος (0/4)	40%	30,04x40% = 12.016 ~ 12	12x20% = 14.40 (kg)
Ρυζάκι (4/8)	60%	30.04x60% = 18.024 ~ 18	18x20% = 21.60 (kg)

Ομοίως με την ίδια μέθοδο μελέτης συνθέσεως έγινε και για τα **ζεολιθικά αδρανή**.

Καταλήγοντας στις απαιτούμενες ποσότητες των υλικών για την παρασκευή των κυλινδρικών δοκιμίων και για τις δύο ομάδες. Οι οποίες είναι οι εξής:

Πίνακας 55: Τελικές ποσότητες των υλικών (ασβεστόλιθου και ζεόλιθου)

Είδος Δοκιμίου Σκυροδέματος	Τσιμέντο (kg)	Νερό (kg)	Άμμος (kg)	Ρυζάκι (kg)
Ασβεστόλιθος	6,06	4,056	14,40	21,60
Ζεόλιθος	6,06	4,056	11,00	16,50

Παρατήρηση : οι ποσότητες των **τσιμέντων** και **νερού** είναι ίδιες και για τις δύο ομάδες. Αυτό επιλέχθηκε για την καλλίτερη επίβλεψη συμπεριφοράς των διαφορετικών δοκιμίων κατά διάρκεια παρασκευής και θραύσεως

C1 .Ειδικό βάρος και Φαινόμενο βάρος σκυροδέματος (Ασβεστολιθικών) δοκιμίων

Ειδικό Βάρος (γ') σκυροδέματος κυλινδρικού δοκιμίου ($l/d = 14/7 = 2$) με Ασβεστολιθικά Αδρανή

Πίνακας 56: Αποτελέσματα ειδικού βάρους ασβεστολιθικών δοκιμίων

α/α	W_{ξ}	W_{ν}	γ_u	$W_{\xi} \times \gamma_u$	$W_{\xi} - W_{\nu}$	γ'
1	1296,11	538,78	1	1296,11	757,33	1,711
2	1312,61	538,78	1	1312,61	773,83	1,696
3	1306,88	538,78	1	1306,88	768,1	1,701
4	1284,26	538,78	1	1284,26	745,48	1,723
5	1292,16	538,78	1	1292,16	753,38	1,715
6	1313,89	538,78	1	1313,89	775,11	1,695
7	1297,59	538,78	1	1297,59	758,81	1,710
8	1279,81	538,78	1	1279,81	741,03	1,727
9	1296,11	538,78	1	1296,11	757,33	1,711
10	1378,1	538,78	1	1378,1	839,32	1,642

$$\gamma' = (W_{\xi} \times \gamma_u) / (W_{\xi} - W_{\nu})$$

Άνωση $W_{\nu} = \epsilon \cdot \beta_{\text{-νερού}} * V_{\text{δοκιμίου}}$

$$V_{\text{δοκιμίου}} = (3,14 \times 7^2) / 4 = 538,78 \text{ gr/cm}^3$$



Διάγραμμα 4: Καμπύλη ειδικού βάρους ανά δοκίμιο

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
 ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

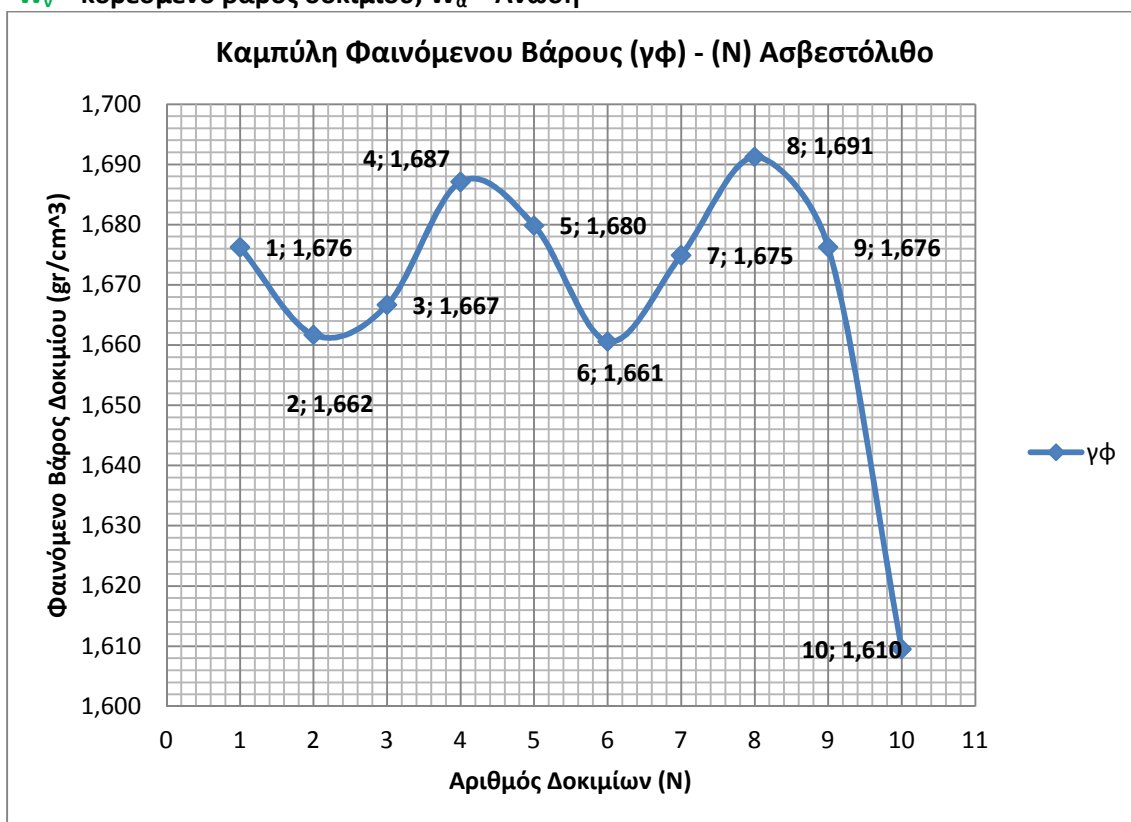
Φαινόμενο Βάρος ($\gamma\phi$) σκυροδέματος κυλινδρικού δοκιμίου ($l/d = 14/7 = 2$) με Ασβεστολιθικά Αδρανή

Πίνακας 57: Αποτελέσματα φαινόμενου βάρους ασβεστολιθικών δοκιμίων

α/α	W_{ξ}	W_v	W_{α}	$W_v - W_{\alpha}$	$\gamma\phi$
1	1296,11	1312	538,78	773,22	1,676
2	1312,61	1328,7	538,78	789,92	1,662
3	1306,88	1322,9	538,78	784,12	1,667
4	1284,26	1300	538,78	761,22	1,687
5	1292,16	1308	538,78	769,22	1,680
6	1313,89	1330	538,78	791,22	1,661
7	1297,59	1313,5	538,78	774,72	1,675
8	1279,81	1295,5	538,78	756,72	1,691
9	1296,11	1312	538,78	773,22	1,676
10	1378,1	1395	538,78	856,22	1,610

$$\gamma\phi = W_{\xi} / (W_v - W_{\alpha})$$

W_v = κορεσμένο βάρος δοκιμίου, W_{α} = Άνωση

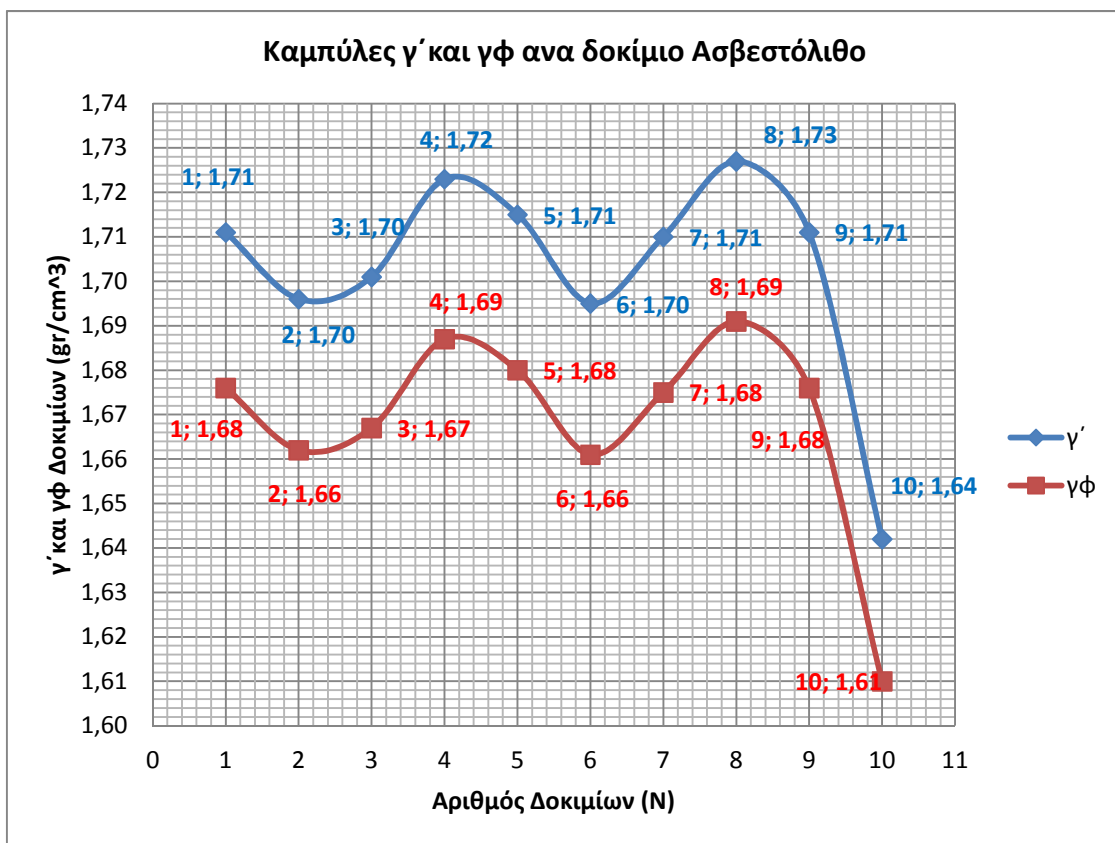


Διάγραμμα 5: Καμπύλη φαινόμενου βάρους ανά δοκίμιο

Πίνακας 58: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ ειδικού και φαινόμενου βάρους

α/α	γ'	γ_{ϕ}
1	1,71	1,68
2	1,70	1,66
3	1,70	1,67
4	1,72	1,69
5	1,72	1,68
6	1,70	1,66
7	1,71	1,68
8	1,73	1,69
9	1,71	1,68
10	1,64	1,61

Μ.Ο. 1,70 1,67 1,69



Διάγραμμα 6: Καμπύλες ειδικού και φαινόμενου βάρους ασβεστόλιθου

Ποσοστιαία διαφορά μεταξύ ειδικού και φαινόμενου Βάρους των Ασβεστόλιθων δοκιμών είναι **2,03%**, σχεδόν ασήμαντη

C2 .Ειδικό βάρος και Φαινόμενο βάρος σκυροδέματος (Ζεολιθικών) δοκιμίων

Ειδικό Βάρος (γ') σκυροδέματος κυλινδρικού δοκιμίου ($l/d = 14/7 = 2$) με Ζεολιθικά Αδρανή

Πίνακας 59: Αποτελέσματα ειδικού βάρους ζεολιθικών δοκιμίων

α/α	W_{ξ}	W_{ν}	γ_{ν}	$W_{\xi} \times \gamma_{\nu}$	$\frac{W_{\xi} - W_{\nu}}{W_{\nu}}$	γ'
1	1005,55	538,78	1	1005,55	466,77	2,154
2	974,51	538,78	1	974,51	435,73	2,236
3	980,58	538,78	1	980,58	441,8	2,220
4	972,46	538,78	1	972,46	433,68	2,242
5	1011,04	538,78	1	1011,04	472,26	2,141
6	982,05	538,78	1	982,05	443,27	2,215
7	990,57	538,78	1	990,57	451,79	2,193
8	1047,36	538,78	1	1047,36	508,58	2,059
9	1021,71	538,78	1	1021,71	482,93	2,116
10	1000,66	538,78	1	1000,66	461,88	2,166



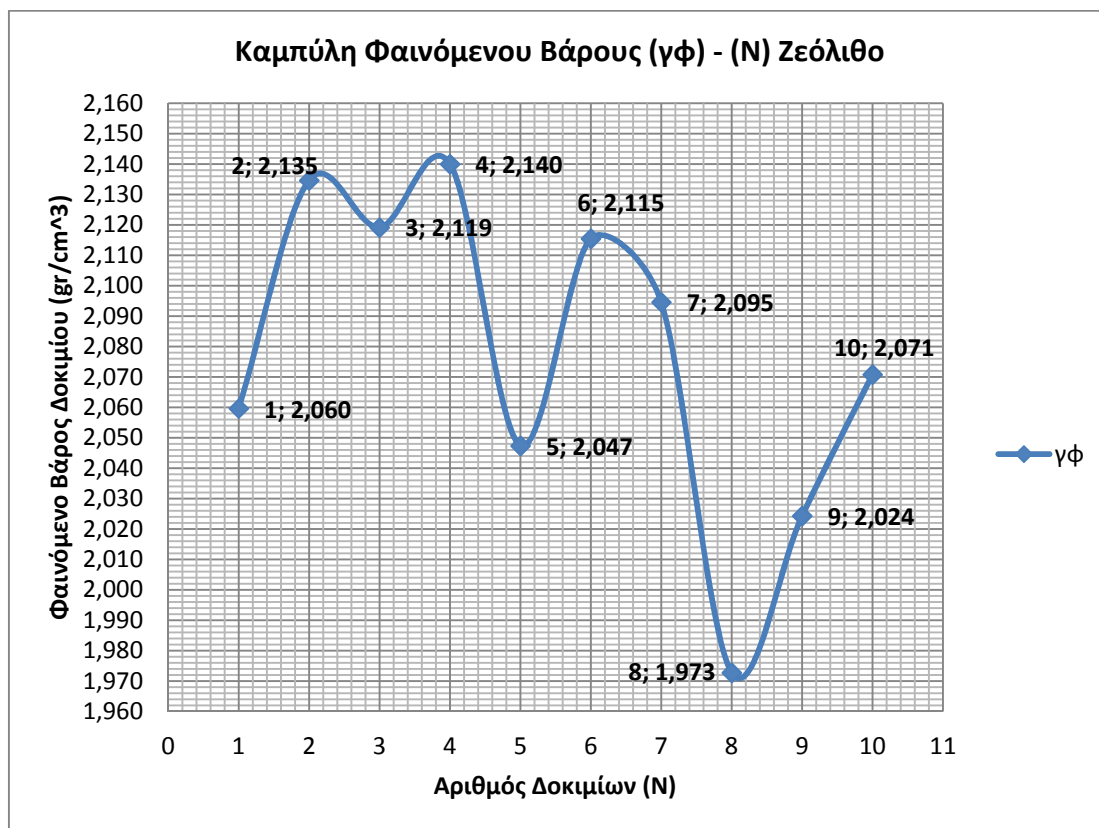
Διάγραμμα 7: Καμπύλη ειδικού βάρους ανά δοκίμιο

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Φαινόμενο Βάρος ($\gamma\phi$) σκυροδέματος κυλινδρικού δοκιμίου ($l/d = 14/7 = 2$) με Ζεολιθικά Αδρανή

Πίνακας 60: Αποτελέσματα φαινόμενου βάρους ζεολιθικών δοκιμίων

α/α	W_{ξ}	W_v	W_{α}	$W_v - W_{\alpha}$	γ_{ϕ}
1	1005,55	1027	538,78	488,22	2,060
2	974,51	995,3	538,78	456,52	2,135
3	980,58	1001,5	538,78	462,72	2,119
4	972,46	993,2	538,78	454,42	2,140
5	1011,04	1032,6	538,78	493,82	2,047
6	982,05	1003	538,78	464,22	2,115
7	990,57	1011,7	538,78	472,92	2,095
8	1047,36	1069,7	538,78	530,92	1,973
9	1021,71	1043,5	538,78	504,72	2,024
10	1000,66	1022	538,78	483,22	2,071

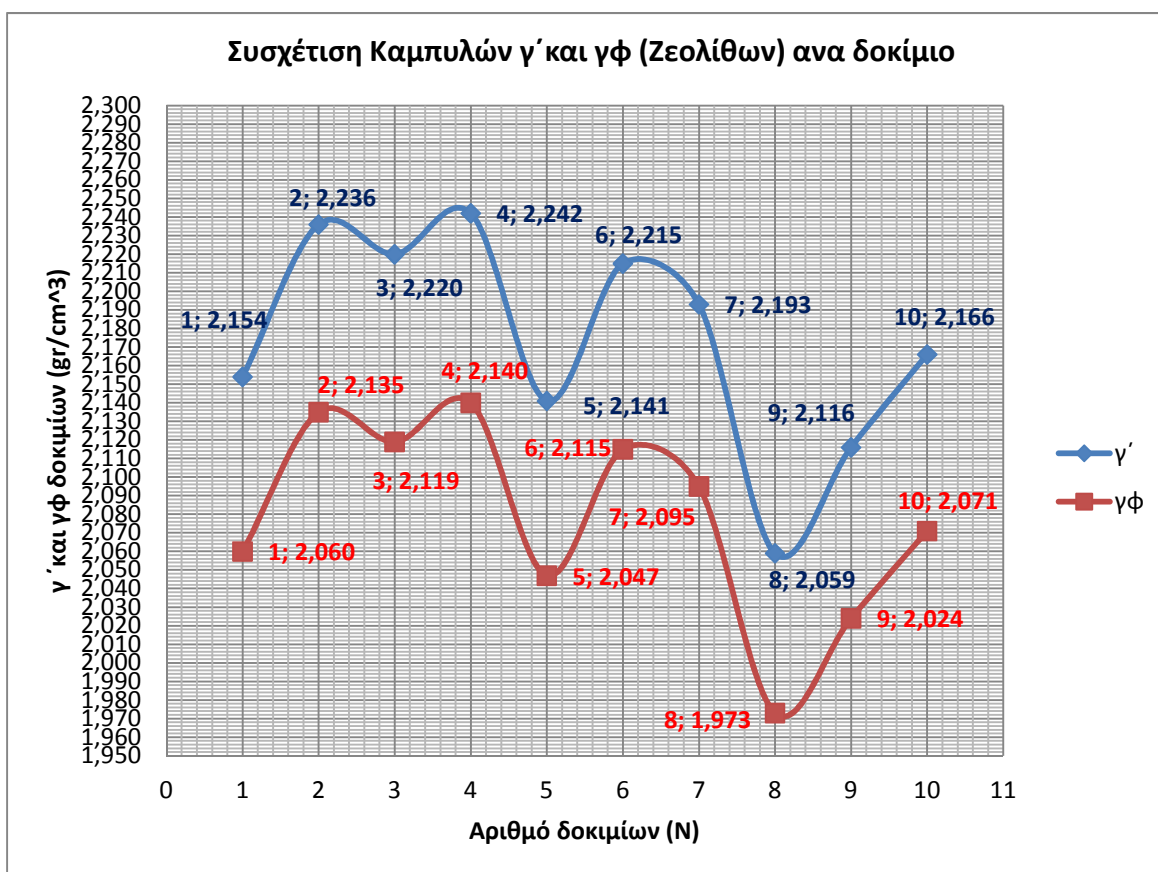


Διάγραμμα 8: Καμπύλη φαινόμενου βάρους ανά δοκίμιο

Πίνακας 61: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ ειδικού και φαινόμενου βάρους

α/α	γ'	γ_{ϕ}
1	2,154	2,060
2	2,236	2,135
3	2,220	2,119
4	2,242	2,140
5	2,141	2,047
6	2,215	2,115
7	2,193	2,095
8	2,059	1,973
9	2,116	2,024
10	2,166	2,071

M.O. 2,174 2,078 **2,126**



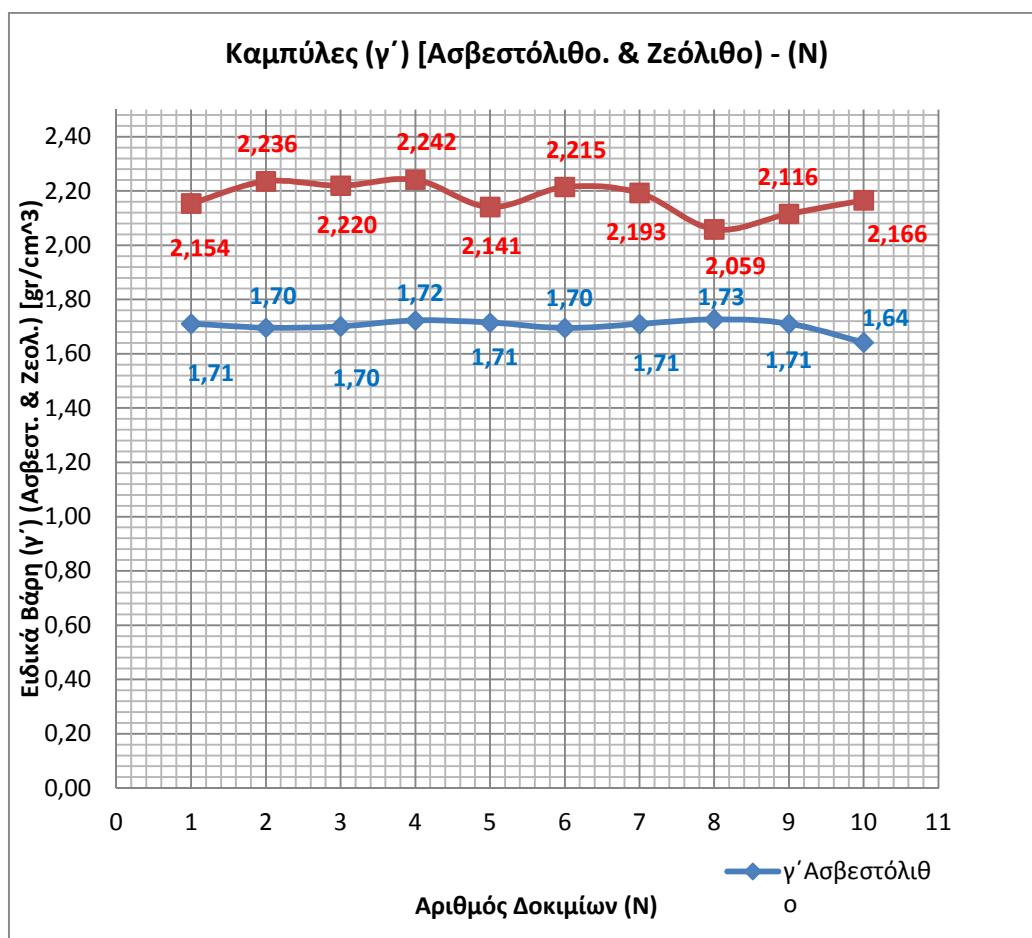
Διάγραμμα 9: Συσχέτιση καμπυλών ειδικού και φαινόμενου βάρους ανά δοκίμιο

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Ποσοστιαία διαφορά μεταξύ ειδικού και φαινόμενου Βάρους των Ζεολίθων δοκιμίων είναι **4,43%** . Σχεδόν **2,18** φορές περισσότερο από τους Ασβεστόλιθους

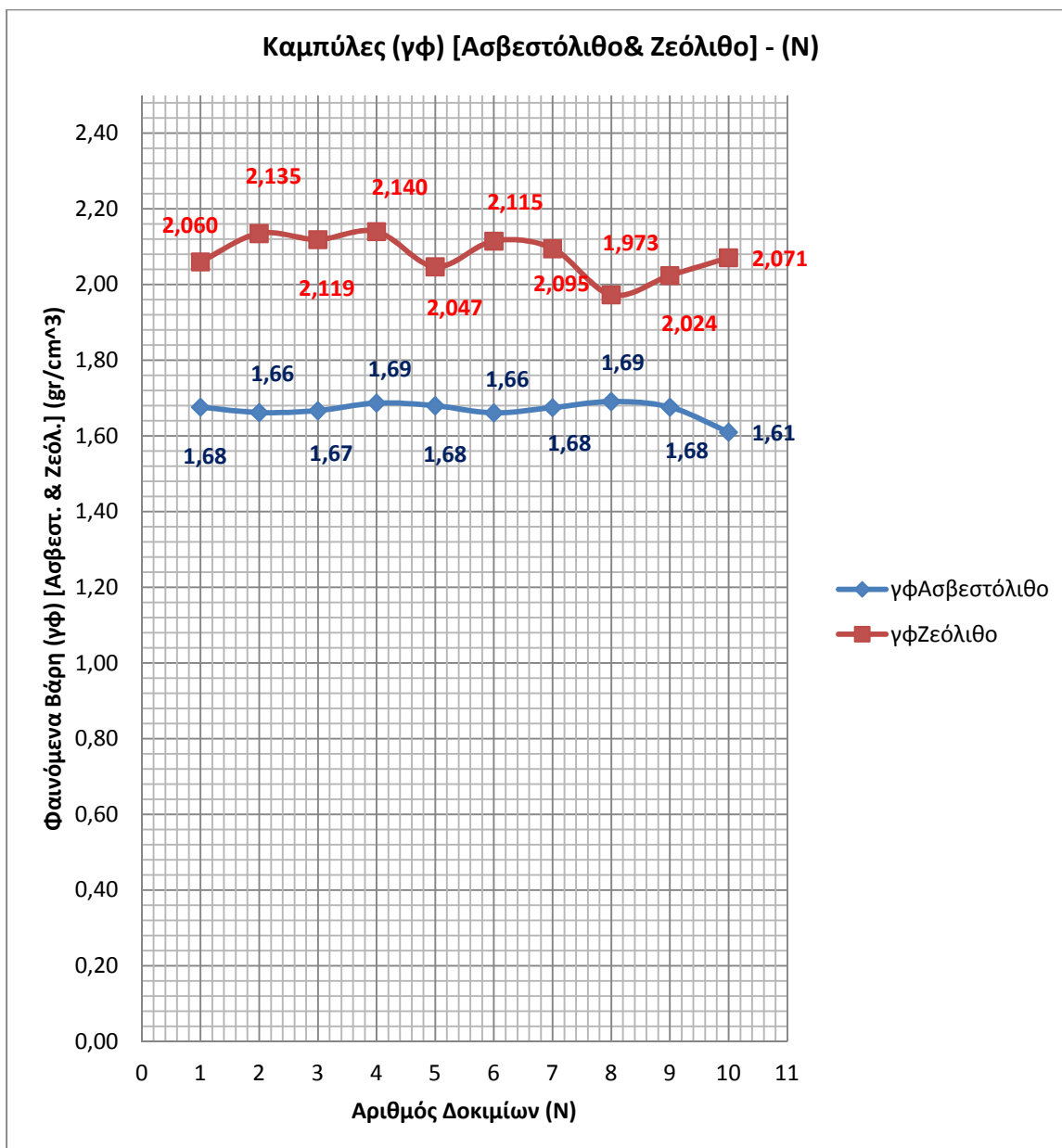
Πίνακας 62: Αποτελέσματα ειδικών και φαινόμενων βαρών μεταξύ ασβεστόλιθου και ζεόλιθου

α/α	γ' Ασβεστόλιθο	γ_{ϕ} Ασβεστόλιθο	γ' Ζεόλιθο	γ_{ϕ} Ζεόλιθο
1	1,71	1,68	2,154	2,060
2	1,70	1,66	2,236	2,135
3	1,70	1,67	2,220	2,119
4	1,72	1,69	2,242	2,140
5	1,72	1,68	2,141	2,047
6	1,70	1,66	2,215	2,115
7	1,71	1,68	2,193	2,095
8	1,73	1,69	2,059	1,973
9	1,71	1,68	2,116	2,024
10	1,64	1,61	2,166	2,071



Διάγραμμα 10: Καμπύλες ειδικών βαρών μεταξύ ασβεστόλιθου και ζεόλιθου ανά δοκίμιο

Ποσοστιαία διαφορά Ειδικών Βαρών μεταξύ των δοκιμών Ασβεστόλιθων και Ζεολίθων είναι **21,67%**



Διάγραμμα 11: Καμπύλες φαινόμενων βαρών μεταξύ ασβεστόλιθου και ζεόλιθου ανά δοκίμιο

Ποσοστιαία διαφορά Φαινόμενων Βαρών μεταξύ των δοκιμών Ασβεστόλιθων και Ζεολίθων είναι **19,70%**

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

C3.Υπολογισμός του πορώδους των ασβεστολιθικών και ζεολιθικών δοκιμίων

Πίνακας 63: Αποτελέσματα πορώδους ασβεστόλιθου και ζεόλιθου

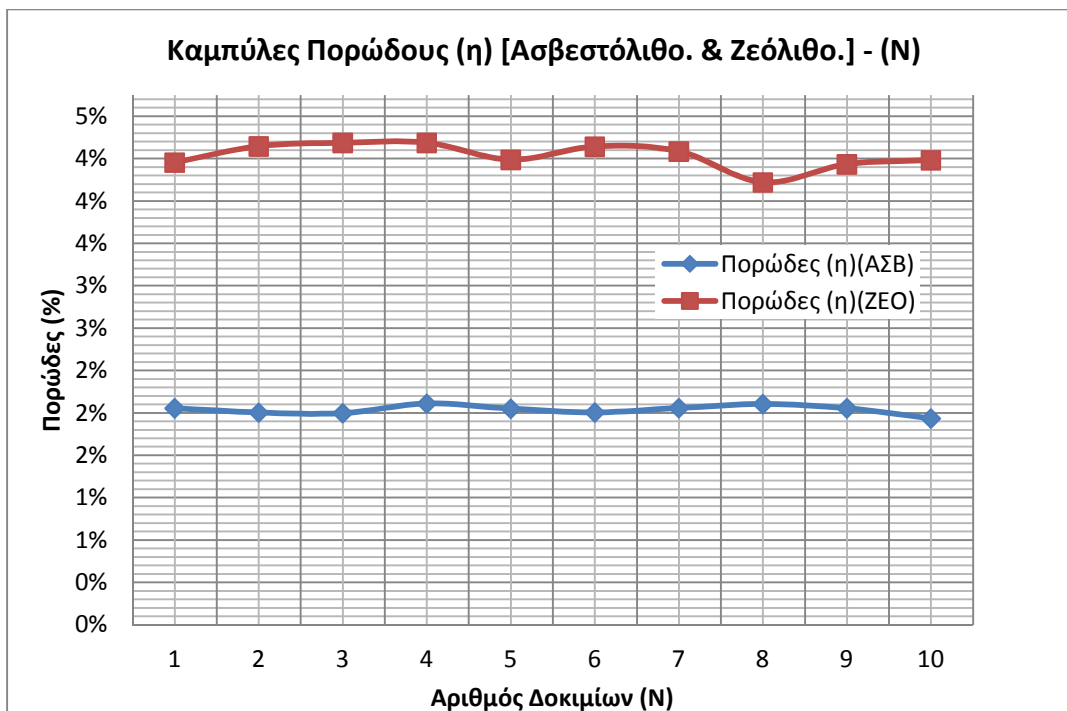
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ			ΖΕΟΛΙΘΟΣ		
γ'	γ _φ	η	γ'	γ _φ	η
1,703	1,67	2%	2,174	2,078	4%

Πίνακας 64: Αποτελέσματα πορώδους ασβεστόλιθου

α/α	γ'	γ _φ	Πορώδους (η)(ΑΣΒ)
1	1,71	1,68	2%
2	1,70	1,66	2%
3	1,70	1,67	2%
4	1,72	1,69	2%
5	1,72	1,68	2%
6	1,70	1,66	2%
7	1,71	1,68	2%
8	1,73	1,69	2%
9	1,71	1,68	2%
10	1,64	1,61	2%

Πίνακας 65: Αποτελέσματα πορώδους ζεόλιθου

α/α	γ'	γ _φ	Πορώδους (η)(ΖΕΟ)
1	2,154	2,060	4%
2	2,236	2,135	5%
3	2,220	2,119	5%
4	2,242	2,140	5%
5	2,141	2,047	4%
6	2,215	2,115	5%
7	2,193	2,095	4%
8	2,059	1,973	4%
9	2,116	2,024	4%
10	2,166	2,071	4%



Διάγραμμα 12: Καμπύλες πορώδους ασβεστόλιθου και ζεόλιθου ανά δοκίμιο

Σχεδόν το πορώδες του ζεόλιθου δείχνει να είναι το διπλάσιο σε ποσοστό από το πορώδες του ασβεστόλιθου.

D. Δοκιμή θλίψεως:

D1. Θλιπτική αντοχή (Ασβεστόλιθο)

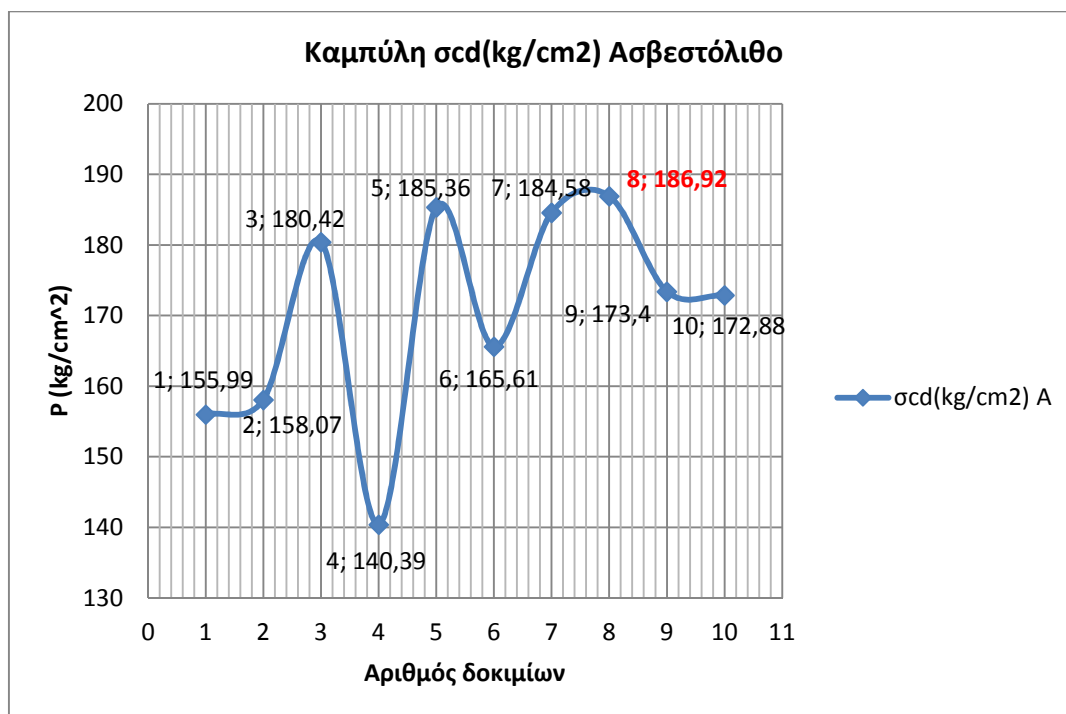
Πίνακας 66: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής ασβεστόλιθου

α/α	L	D	L/D	D ²	$F=(\pi \times D^2)/4$	V=FxL	P	$\sigma_{cd}=P/F$	$\sigma_{cd}(kg/cm^2)$
1	14	7	2,00	49	38,465	538,51	60	1,56	155,99
2	14,2	7	2,03	49	38,465	546,203	60,8	1,58	158,07
3	14	7	2,00	49	38,465	538,51	69,4	1,80	180,42
4	14,2	7	2,03	49	38,465	546,203	54	1,40	140,39
5	13,9	7	1,99	49	38,465	534,6635	71,3	1,85	185,36
6	14,2	7	2,03	49	38,465	546,203	63,7	1,66	165,61
7	14	7	2,00	49	38,465	538,51	71	1,85	184,58
8	14	7	2,00	49	38,465	538,51	71,9	1,87	186,92
9	14	7	2,00	49	38,465	538,51	66,7	1,73	173,40
10	14	7	2,00	49	38,465	538,51	66,5	1,73	172,88

M.O.= 1,70 kN/cm²

$\sigma_{cd} = 170,36 \text{ kg/cm}^2$

Απαιτούμενη αντοχή $W = 210 \text{ kg/cm}^2$



Διάγραμμα 13: Καμπύλη θλιπτικής αντοχής ανά δοκίμιο ασβεστόλιθου

D2. Θλιπτική αντογή (Ζεόλιθο)

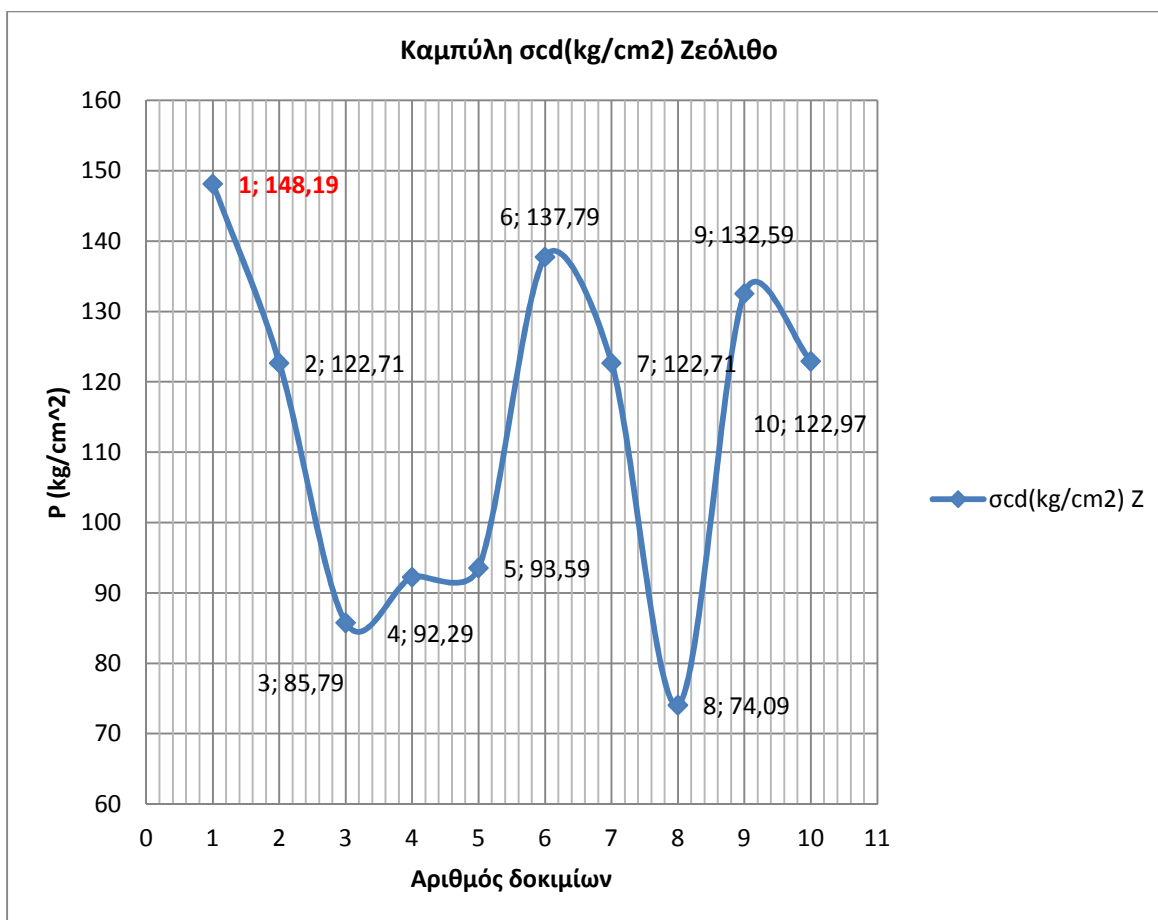
Πίνακας 67: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής ζεόλιθου

α/α	L	D	L/D	D ²	F=(πxD ²)/4	V=FxL	P	σ _{cd} =P/F	σ _{cd} (kg/cm ²)
1	14,2	7	2,03	49	38,465	546,203	57	1,48	148,19
2	13,6	7	1,94	49	38,465	523,124	47,2	1,23	122,71
3	14,2	7	2,03	49	38,465	546,203	33	0,86	85,79
4	14,3	7	2,04	49	38,465	550,0495	35,5	0,92	92,29
5	14,4	7	2,06	49	38,465	553,896	36	0,94	93,59
6	14,3	7	2,04	49	38,465	550,0495	53	1,38	137,79
7	14,3	7	2,04	49	38,465	550,0495	47,2	1,23	122,71
8	14,9	7	2,13	49	38,465	573,1285	28,5	0,74	74,09
9	14,4	7	2,06	49	38,465	553,896	51	1,33	132,59
10	15,2	7	2,17	49	38,465	584,668	47,3	1,23	122,97

M.O. $1,13 \text{ kN/cm}^2$

$\sigma_{cd} = 113,27 \text{ kg/cm}^2$

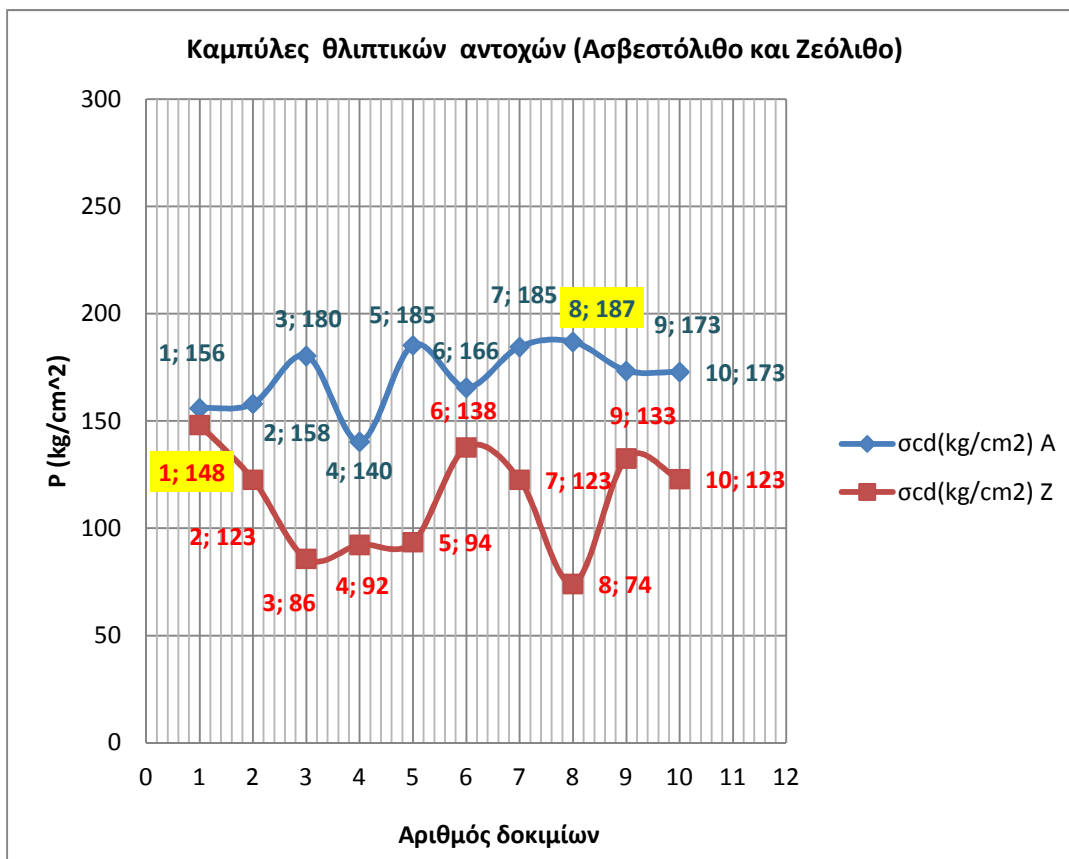
Απαιτούμενη αντοχή $W = 210 \text{ kg/cm}^2$



Διάγραμμα 14: Καμπύλη θλιπτικής αντοχής ανά δοκίμιο ζεόλιθου

Πίνακας 68: Σύγκριση θλιπτικών αντοχών μεταξύ ασβεστόλιθου και ζεόλιθου

α/α	σ_{cd} (kg/cm ²) A	σ_{cd} (kg/cm ²) Z
1	155,99	148,19
2	158,07	122,71
3	180,42	85,79
4	140,39	92,29
5	185,36	93,59
6	165,61	137,79
7	184,58	122,71
8	186,92	74,09
9	173,4	132,59
10	172,88	122,97



Διάγραμμα 15: Καμπύλες θλιπτικών αντοχών μεταξύ ασβεστόλιθου και ζεόλιθου ανά δοκίμιο

Η μέγιστη αντοχή σε θλίψη για τα 10 κυλινδρικά δοκίμια με ασβεστόλιθο είναι **186,92 kg/cm²** και η μέγιστη αντοχή σε θλίψη για τα 10 κυλινδρικά δοκίμια με ζεόλιθο είναι **148,19 kg/cm²** ενώ η σχετική απαιτούμενη αντοχή πρέπει να είναι **210 kg/cm²**

Επειδή η αντοχή εξαρτάται, όπως έχει ειπωθεί προηγουμένως, από το σχήμα και το μέγεθος του δοκιμίου επάνω στο οποίο μετρείται και επειδή επίσης επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων, τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι συμβατά, δηλαδή μη πραγματικά

Πίνακας 69: Μέσος όρος θλιπτικών αντοχών και απόκλιση από την απαιτούμενη αντοχή

σ _{cd} (kg/cm ²)	Ασβεστόλιθο	Wkg/cm ²	Απόκλιση %
M.O.	170,36	210	19%
min	186,92	210	11%
max	140,39	210	33%
σ _{cd} (kg/cm ²)	Ζεόλιθο	Wkg/cm ²	Απόκλιση %
M.O.	113,27	210	46%
min	148,19	210	29%
max	74,09	210	65%

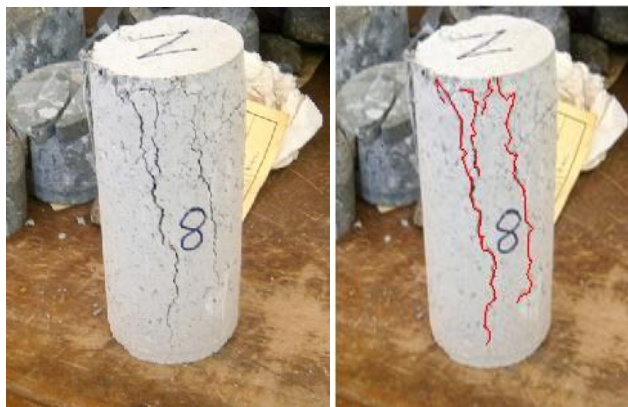
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ



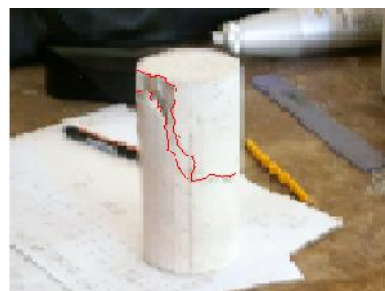
(Εικ. 215) Μέτρηση (l και d) των δοκιμίων Προετοιμασία και αρίθμηση των Ζεόλιθων



(Εικ.216) Επιλογή δοκιμίου Ζεόλιθου Τοποθέτηση στην συσκευή θλίψεως



(Εικ.217) Θλιπτική κατάσταση του δοκιμίου Κατακόρυφες ρωγμές θραύσεως για τον ζεόλιθο



(Εικ.218) Διατμητικές ρωγμές θραύσεως του δοκιμίου Ασβεστόλιθου

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Ε. Δοκιμή Διάρρηξης και Υδατοπερατότητας:

Ε1. Δοκιμή Διάρρηξης

Τα αποτελέσματα των 10 κυλινδρικών δοκιμών (Ασβεστόλιθων), προήλθαν από την εταιρεία [ε.κ.ε.τ.]

EKET
Κ. ΠΙΑΤΕΛΗ 19, 141 23 ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ ΑΤΤΙΚΗ-ΘΛΑ.: 210 2818453, 210 2842140, 210 2898558, 210 2835304-FAX: 210 2842140

Α.Π. Ημερία Έκδοσης Σχετικό Πελάτη Α.Π. εντολής	(Ref. No) (Issue Date) (Customer's Ref.) (HCRC Ref.No.)	135 47/2012
--	--	----------------

ΑΝΑΦΟΡΑ ΔΟΚΙΜΗΣ
TEST REPORT

Προς:	κ. Αθανάσιο Αυτουσιμή Καθηγ. Εφαρμογών, Εργαστ. Σκυροδέματος, Α.Τ.Ε.Ι. Αθηνών
Διεύθυνση Address:	Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής ΣΤΕΦ, ΑΤΕΙ Αθήνας, οδός Αγ. Σπυριδωνος, 12210 Αιγάλεω
ΤΗΛ. Tel:	2105385356
Fax:	2105385858
Περιγραφή Δείγματος Sample Description	10άδα Κυλινδρικών δοκιμών σκυροδέματος, με Ασβεστόλιθα 10άδα Κυλινδρικών δοκιμών σκυροδέματος, με Ζεόλιθο
Ημερία Παραλαβής Date of Receipt	30/5/2012
Κατάσταση δείγματος κατά την παραλαβή Sample Condition upon receipt	Καλή Good
Εκτελεσθείσες δοκιμές Tests performed	Testing water permeability of hardened concrete DIN 1048/91 and Testing Determination of tensile splitting strenght of hardened concrete prEN 12362

Ελεγχος (Controlled by)	Έγκριση (Approved by)
 ΒΑΣΙΛΙΟΣ ΚΑΛΟΪΔΑΣ ΤΕΧΝ. ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ	 ΧΑΡΑΛΑΜΒΟΣ ΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ
Τεχνικός Διευθυντής (Technical Manager)	Διευθυντής (Manager)

Παρατηρήσεις (Notes)
1. Τα αποτελέσματα της έκθεσης δοκιμής αφορούν αποκλειστικά στο δείγμα που παρεδόθη για ανάλυση στο Ε.Κ.Ε.Τ.
(The results relate only to the items tested in the premises of HCRC)
2. Απαγορεύεται η εν μέρει αναδημοσίευση της παρούσης έκθεσης δοκιμής χωρίς την έγγραφη έγκριση του Ε.Κ.Ε.Τ.
(The test report shall not be reproduced except in full, without written approval of HCRC)

1 από 3

(Εικ.219) : Αναφορά δοκιμών από την εταιρεία (ε.κ.ε.τ.) της Lafarge

A/A	Dimensions of Specimens (cm)	Weight of Specimens (g)	Specific Weight (kg/m ³)	Load (kN)	Penetration Depth (mm)	Splitting Strength (N/mm ²)
1	14,5*7,2	1261	2165	29,78	21,00	1,83
2	14,5*7,1	1285	2223	32,20	18,00	1,98
3	14,5*7,2	1292	2198	28,38	22,00	1,73
4	14,5*7,2	1279	2188	28,99	22,00	1,78
5	14,5*7,2	1282	2163	28,42	27,00	1,73
6	14,5*7,2	1269	2144	28,94	20,00	1,76
7	14,5*7,1	1259	2178	29,90	23,00	1,84
8	14,5*7,2	1275	2166	28,46	24,00	1,74
9	14,5*7,2	1280	2168	28,57	26,00	1,74
10	14,5*7,2	1279	2170	30,30	25,00	1,85
					22,30	1,80

(Εικ.220): Αποτελέσματα υδατοπερατότητας και διάρρηξης από την (ε.κ.ε.τ.) ασβεστόλιθο

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Τα αποτελέσματα των 10 κυλινδρικών δοκιμών (Ζεολίθων)

A/A	Dimensions of Specimens (cm)	Weight of Specimens (g)	Specific Weight (kg/m ³)	Load (kN)	Penetration Depth (mm)	Splitting Strength (N/mm ²)
1	14,5*7,2	1044	1780,79	23,27	52,00	1,42
2	14,5*7,2	1027	1739,65	23,14	43,00	1,41
3	14,5*7,2	1001	1697,97	23,68	55,00	1,44
4	14,5*7,2	1021	1734,30	22,10	40,00	1,35
5	14,5*7,2	1017	1722,88	23,29	59,00	1,42
6	14,5*7,2	1016	1728,04	20,00	45,00	1,22
7	14,5*7,2	1021	1733,79	19,80	48,00	1,21
8	14,5*7,2	1018	1736,44	20,40	60,00	1,25
9	14,5*7,2	1031	1743,16	21,57	72,00	1,31
10	14,5*7,2	1031	1748,34	22,11	74,00	1,35
					64,80	1,34

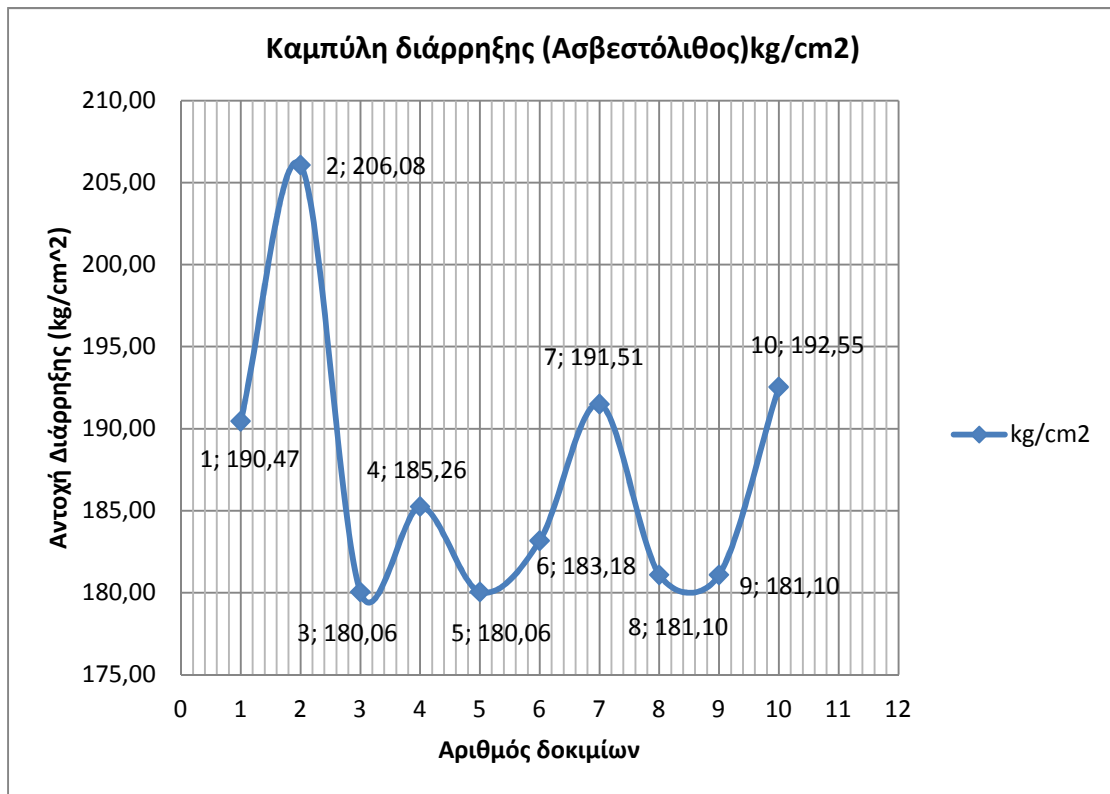
(Εικ.221): Αποτελέσματα υδατοπερατότητας και διάρρηξης από την (ε.κ.ε.τ.) ζεόλιθο

Πίνακας 70: Συνοπτικά αποτελέσματα υδατοπερατότητας και αντοχή διάρρηξης ασβεστόλιθο

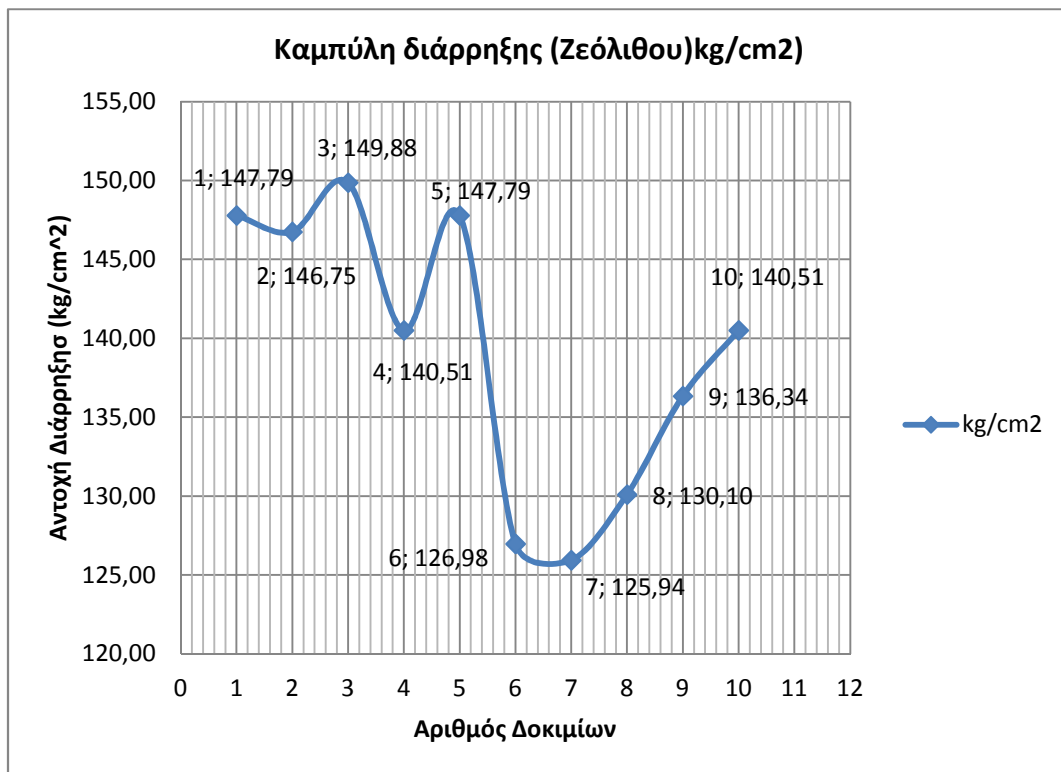
	Βάθος Υδατοπερατότητα	Αντοχή Διάρρηξης	
a/a	(mm)	(N/mm ²)	kg/cm ²
1	21	1,83	190,47
2	18	1,98	206,08
3	22	1,73	180,06
4	22	1,78	185,26
5	27	1,73	180,06
6	20	1,76	183,18
7	23	1,84	191,51
8	24	1,74	181,10
9	26	1,74	181,10
10	25	1,85	192,55

Πίνακας 71: Συνοπτικά αποτελέσματα υδατοπερατότητας και αντοχή διάρρηξης ζεόλιθο

	Βάθος Υδατοπερατότητα	Αντοχή Διάρρηξης	
a/a	(mm)	(N/mm ²)	kg/cm ²
1	52	1,42	147,79
2	43	1,41	146,75
3	55	1,44	149,88
4	40	1,35	140,51
5	59	1,42	147,79
6	45	1,22	126,98
7	48	1,21	125,94
8	60	1,25	130,10
9	72	1,31	136,34
10	74	1,35	140,51



Διάγραμμα 16: Καμπύλη διάρρηξης ανά δοκίμιο ασβεστόλιθο

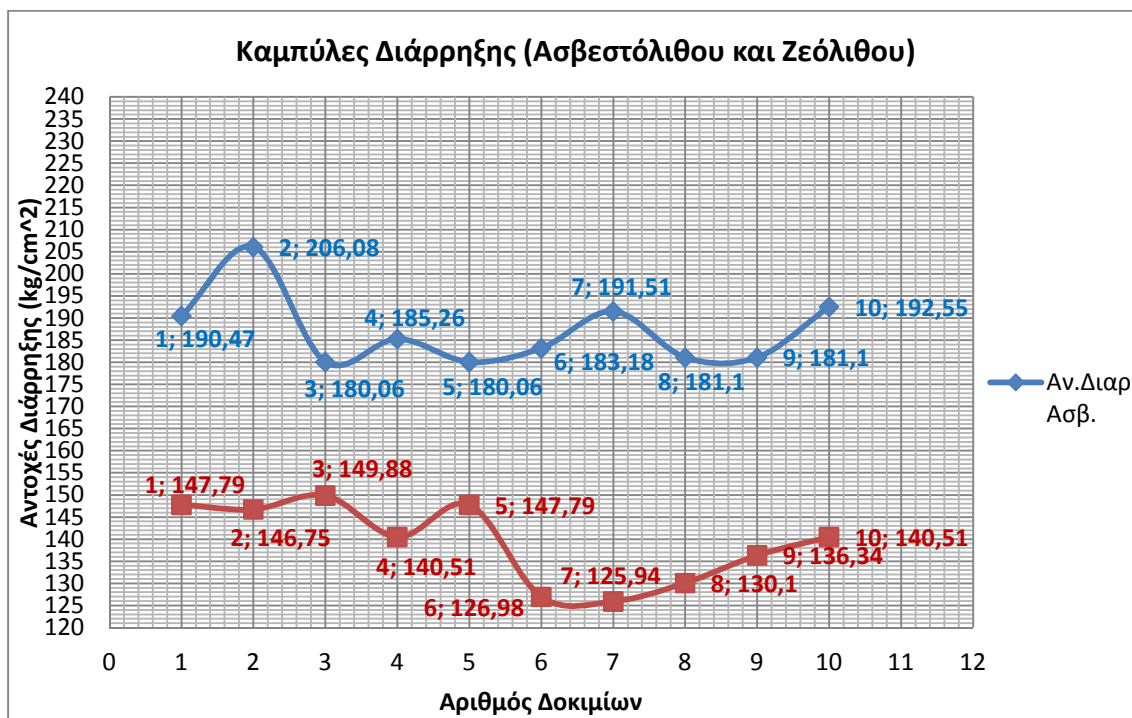


Διάγραμμα 17: Καμπύλη διάρρηξης ανά δοκίμιο ζεόλιθο

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 72: Ποσοστιαία διαφορά αντοχής διάρρηξης μεταξύ ασβεστόλιθου και ζεόλιθου

a/a	Αντοχή Διάρρηξης Ασβεστόλιθου	Αντοχή Διάρρηξης Ζεόλιθου	% Διαφοράς
1	190,47	147,79	
2	206,08	146,75	
3	180,06	149,88	
4	185,26	140,51	
5	180,06	147,79	
6	183,18	126,98	
7	191,51	125,94	
8	181,1	130,1	
9	181,1	136,34	
10	192,55	140,51	
Μ.Ο.	187,137	139,259	26%



Διάγραμμα 19: Καμπύλες διάρρηξης ανά δοκίμιο ασβεστόλιθου και ζεόλιθου

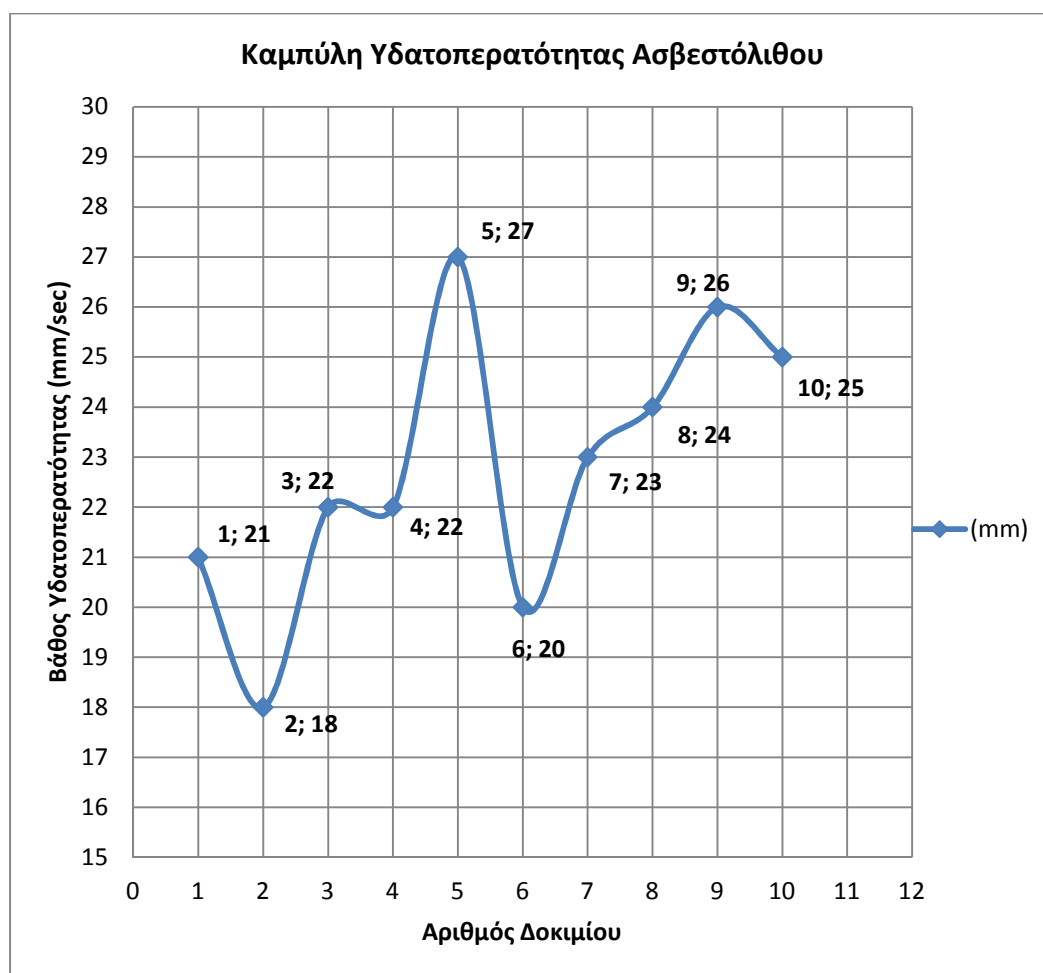


(Εικ.222): Συγκράτηση υγρασίας μετά την δοκιμή διάρρηξης

Ε2.Δοκιμή Υδατοπερατότητας

Πίνακας 73: Αποτελέσματα βάθους υδατοπερατότητας δοκιμίων ασβεστόλιθου

a/a	Βάθος Υδατοπερατότητας (mm/sec)
1	21
2	18
3	22
4	22
5	27
6	20
7	23
8	24
9	26
10	25

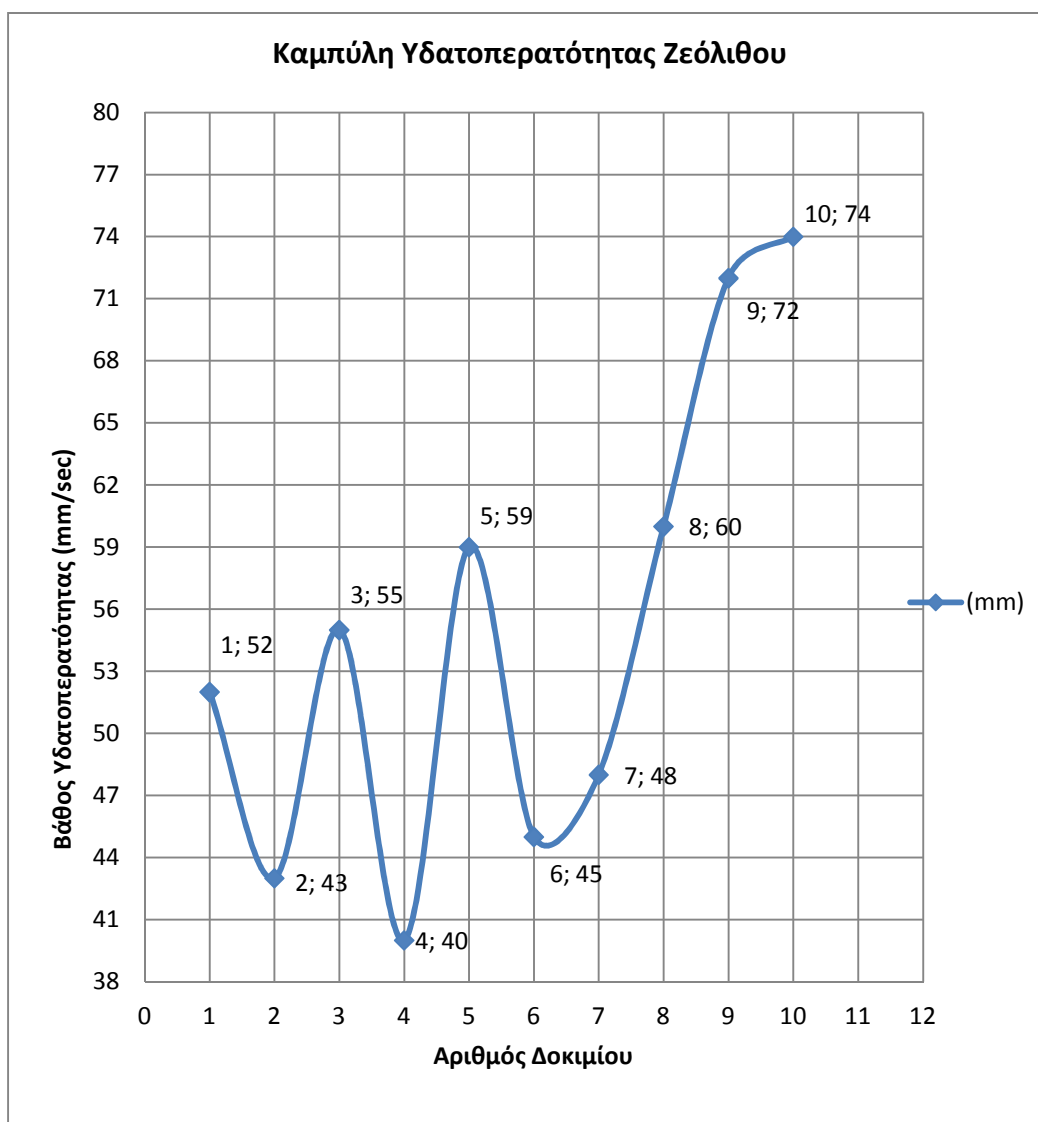


Διάγραμμα 20: Καμπύλη υδατοπερατότητας ανά δοκίμιο ασβεστόλιθου

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 74: Αποτελέσματα βάθους υδατοπερατότητας δοκιμίων ζεόλιθου

a/a	Βάθος Υδατοπερατότητας (mm/sec)
1	52
2	43
3	55
4	40
5	59
6	45
7	48
8	60
9	72
10	74

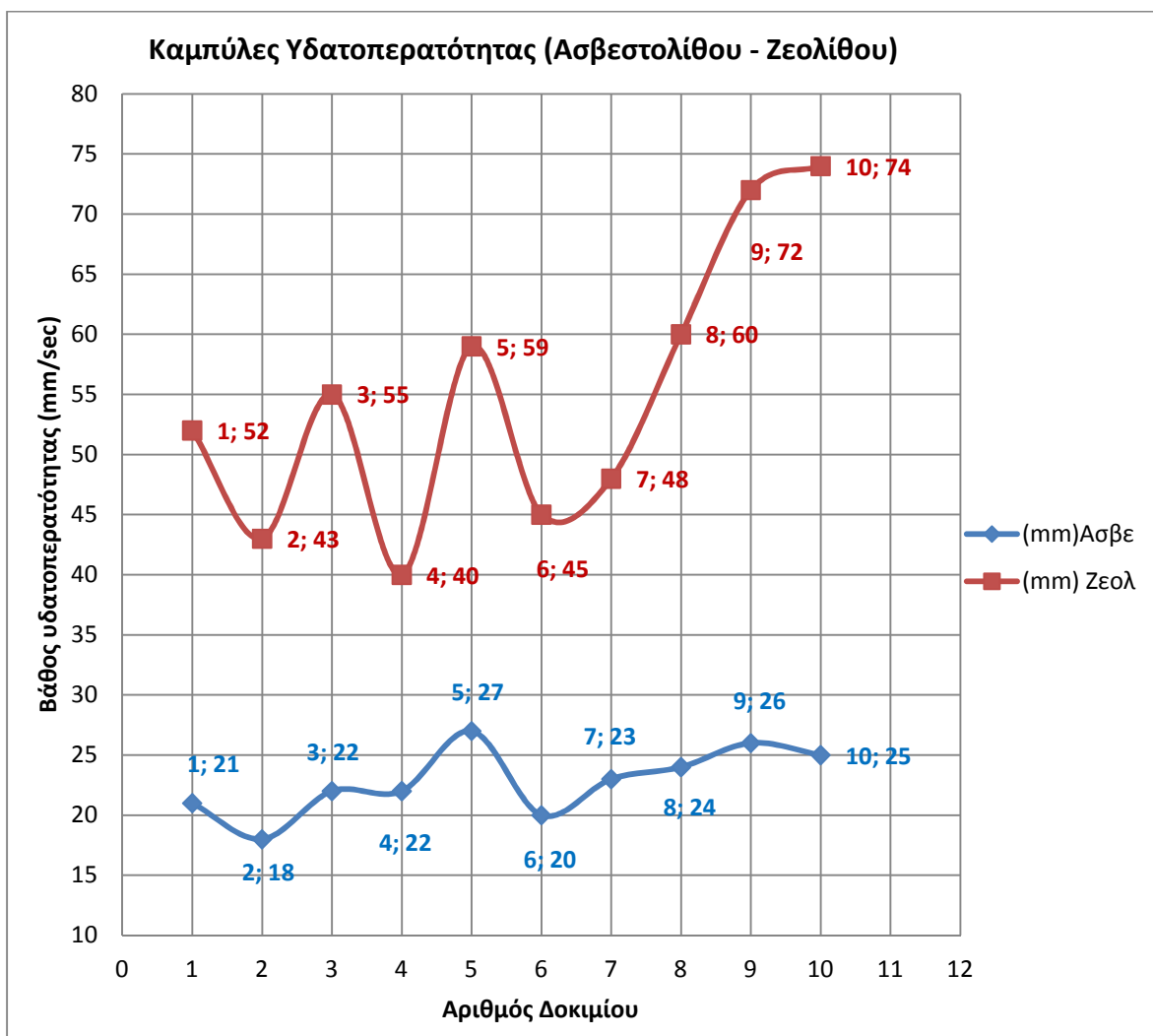


Διάγραμμα 21: Καμπύλη υδατοπερατότητας ανά δοκίμιο ζεόλιθο

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
 ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 75: Σύγκριση αποτελεσμάτων υδατοπερατότητας ασβεστόλιθου και ζεόλιθου

a/a	(mm)Ασβε	(mm) Ζεολ	% Διαφορ
1	21	52	
2	18	43	
3	22	55	
4	22	40	
5	27	59	
6	20	45	
7	23	48	
8	24	60	
9	26	72	
10	25	74	
Μ.Ο.	22,8	54,8	58,4%



Διάγραμμα 22: Καμπύλες υδατοπερατότητα ασβεστόλιθου και ζεόλιθου ανά δοκίμιο



(Εικ.223): Δοκιμή υδατοπερατότητας των Ζεόλιθων



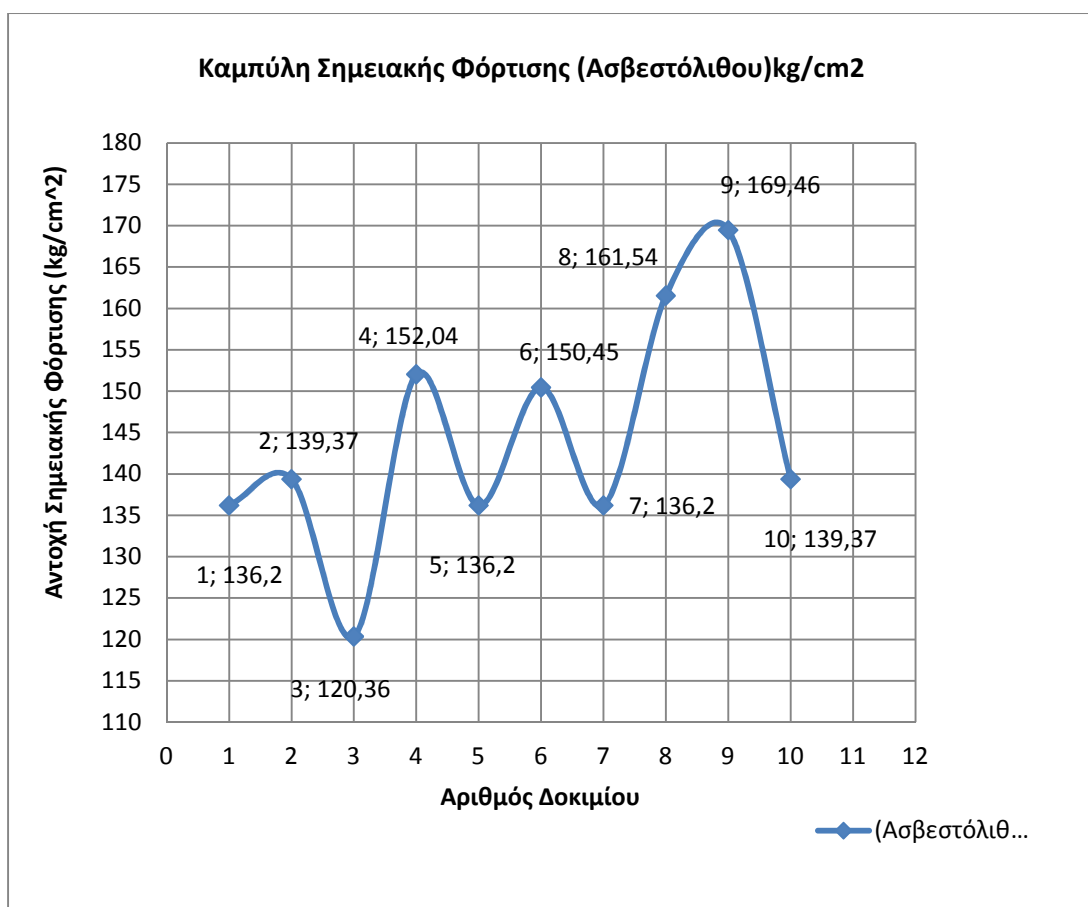
(Εικ.224): Δοκιμή υδατοπερατότητας του Ασβεστόλιθου

F. Δοκιμή Σημειακής Φόρτιση :

Πίνακας 76: Αποτελέσματα σημειακής φόρτισης ασβεστόλιθου

Δοκιμή 10: Σημειακής Φόρτισης (διαμετρική μέθοδος) (Ασβεστόλιθο)

α/α	D	D ²	P	$I_s=P/D^2$	$f=(D/50)^{0,45}$	$f=(D/50)^{0,53}$	$I_{s(50)}=f \cdot I_s$	$\sigma_c=22 \cdot I_{s(50)}$	kg/cm ²
1	7	49	8,6	0,176	0,413	0,353	0,062	1,362	136,20
2	7	49	8,8	0,180	0,413	0,353	0,063	1,394	139,37
3	7	49	7,6	0,155	0,413	0,353	0,055	1,204	120,36
4	7	49	9,6	0,196	0,413	0,353	0,069	1,520	152,04
5	7	49	8,6	0,176	0,413	0,353	0,062	1,362	136,20
6	7	49	9,5	0,194	0,413	0,353	0,068	1,505	150,45
7	7	49	8,6	0,176	0,413	0,353	0,062	1,362	136,20
8	7	49	10,2	0,208	0,413	0,353	0,073	1,615	161,54
9	7	49	10,7	0,218	0,413	0,353	0,077	1,695	169,46
10	7	49	8,8	0,180	0,413	0,353	0,063	1,394	139,37

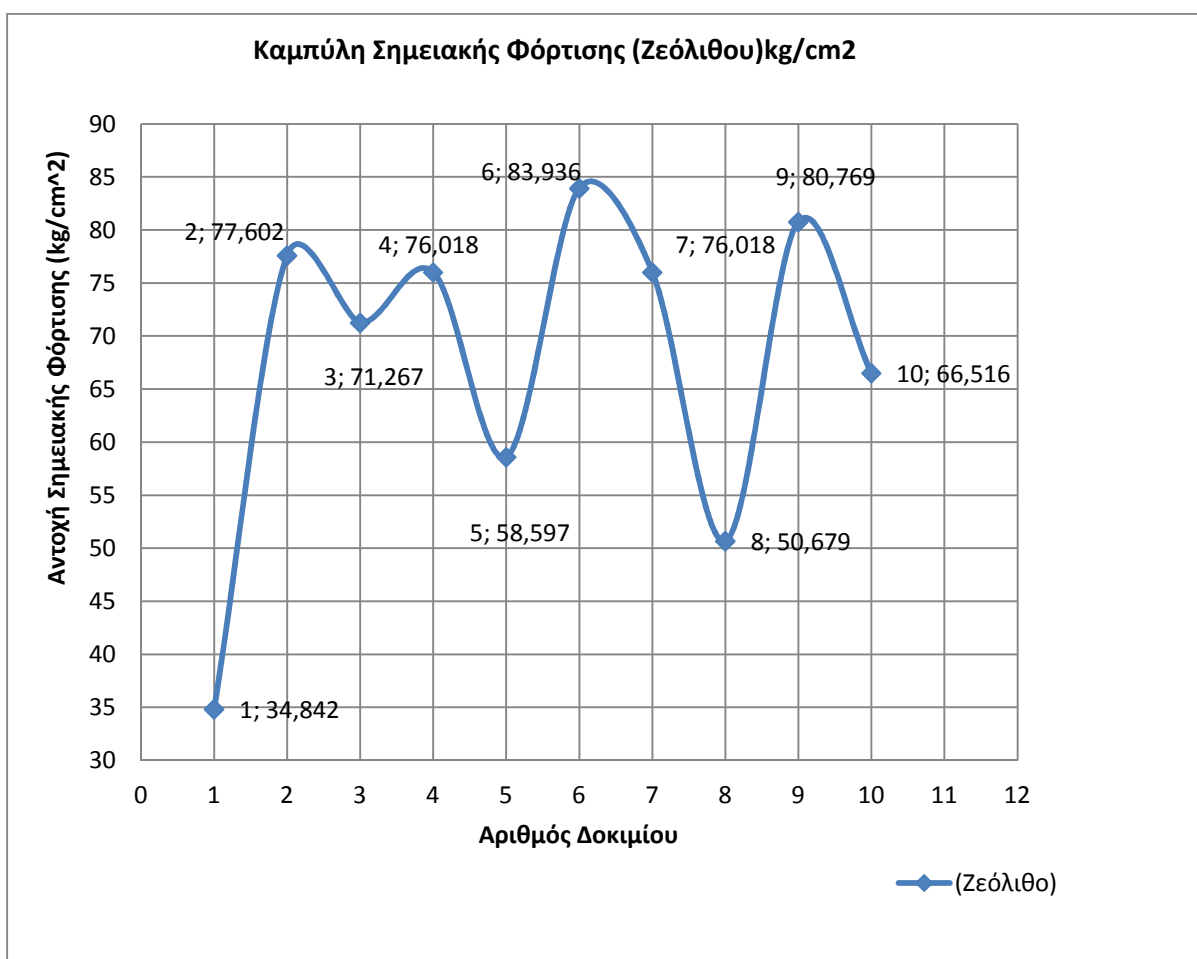


Διάγραμμα 23: Καμπύλη σημειακής φόρτισης ανά δοκίμιο ασβεστόλιθου

Πίνακας 77: Αποτελέσματα σημειακής φόρτισης ζεόλιθου

Δοκιμή 11: Σημειακή Φόρτιση (διαμετρική μέθοδος) (Ζεόλιθο)

α/α	D	D ²	P	$I_s=P/D^2$	$f=(D/50)^{0,45}$	$f=(D/50)^{0,53}$	$I_{s(50)}=f \cdot I_s$	$\sigma_c=22 \cdot I_{s(50)}$	kg/cm ²
1	7	49	2,2	0,045	0,413	0,353	0,016	0,348	34,842
2	7	49	4,9	0,100	0,413	0,353	0,035	0,776	77,602
3	7	49	4,5	0,092	0,413	0,353	0,032	0,713	71,267
4	7	49	4,8	0,098	0,413	0,353	0,035	0,760	76,018
5	7	49	3,7	0,076	0,413	0,353	0,027	0,586	58,597
6	7	49	5,3	0,108	0,413	0,353	0,038	0,839	83,936
7	7	49	4,8	0,098	0,413	0,353	0,035	0,760	76,018
8	7	49	3,2	0,065	0,413	0,353	0,023	0,507	50,679
9	7	49	5,1	0,104	0,413	0,353	0,037	0,808	80,769
10	7	49	4,2	0,086	0,413	0,353	0,030	0,665	66,516

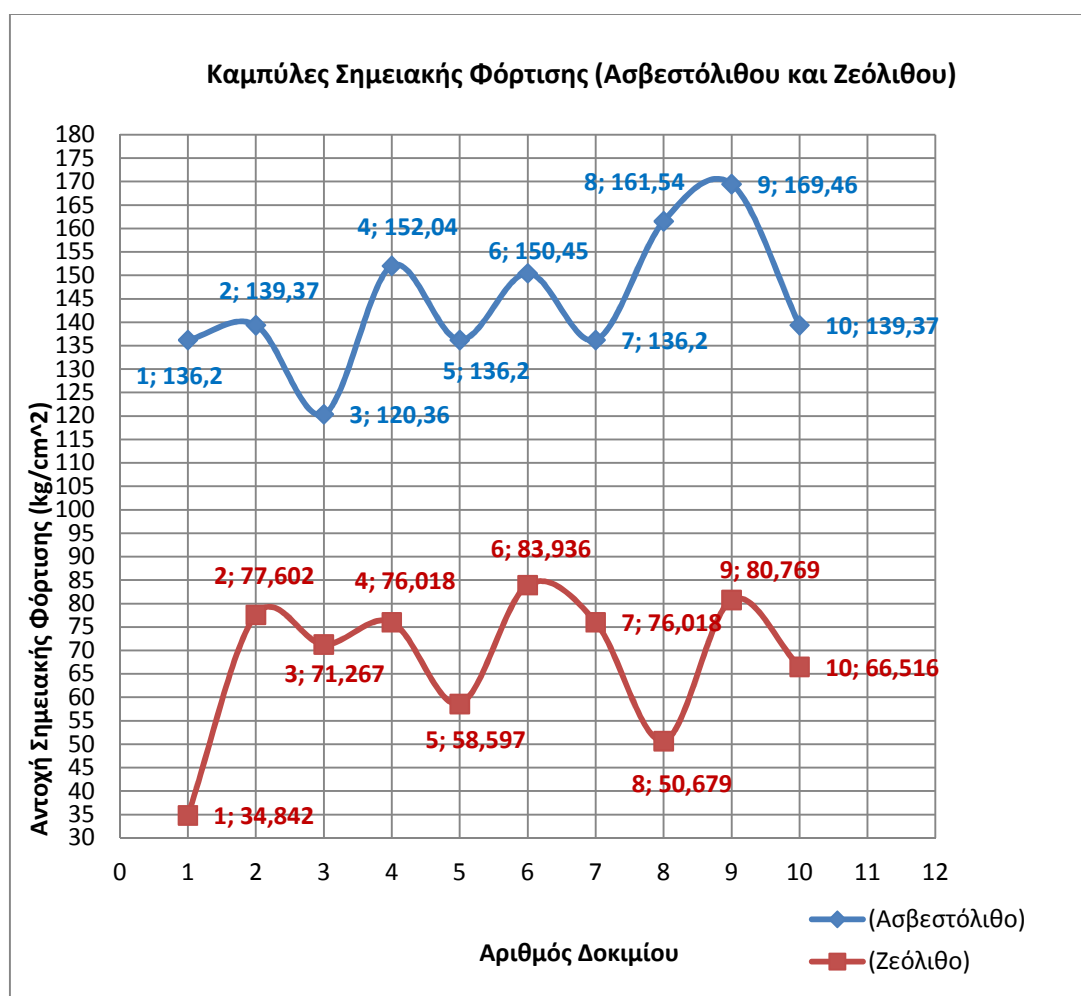


Διάγραμμα 24: Καμπύλη σημειακής φόρτισης ανά δοκίμιο ζεόλιθου

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 78: Σύγκριση αποτελεσμάτων σημειακής φόρτισης μεταξύ ασβεστόλιθου και ζεόλιθου

α/α	(Ασβεστόλιθο)	α/α	(Ζεόλιθο)	% Διαφορ
1	136,2	1	34,842	
2	139,37	2	77,602	
3	120,36	3	71,267	
4	152,04	4	76,018	
5	136,2	5	58,597	
6	150,45	6	83,936	
7	136,2	7	76,018	
8	161,54	8	50,679	
9	169,46	9	80,769	
10	139,37	10	66,516	
Μ.Ο.	144,119		67,6244	53%



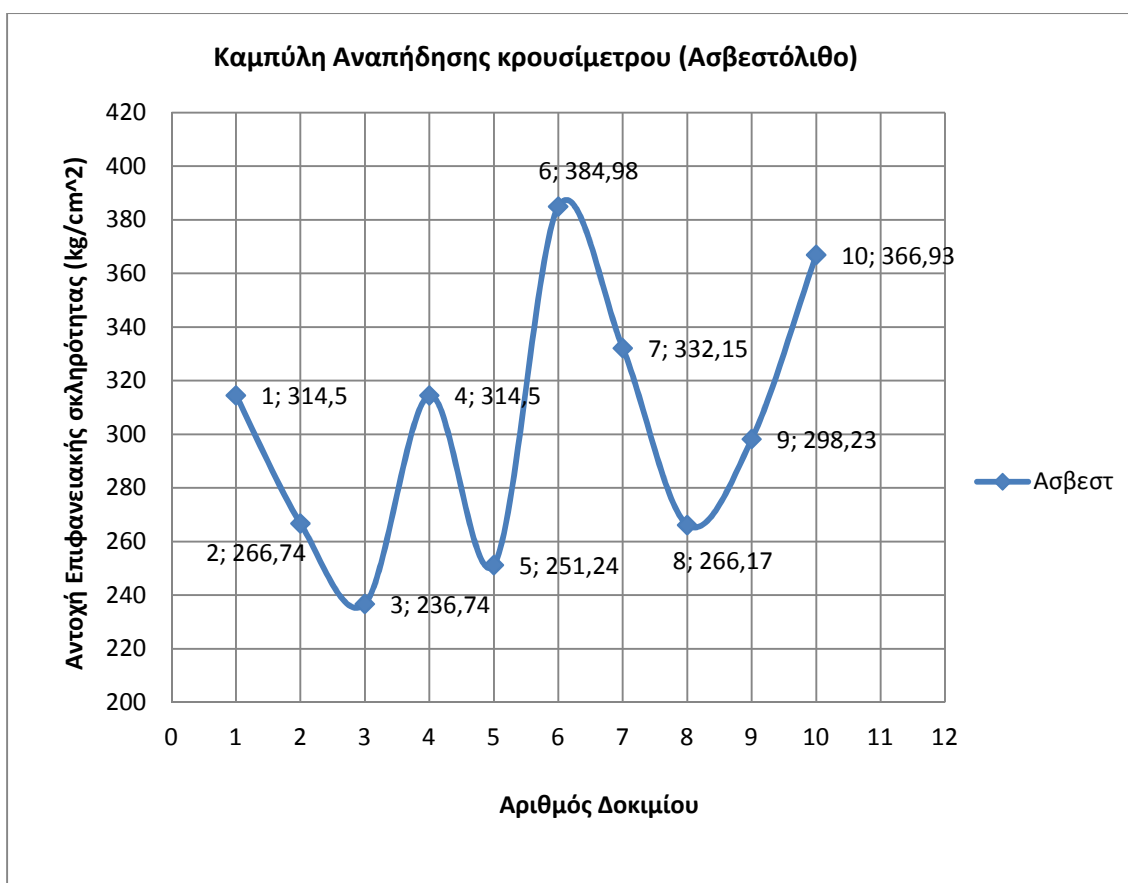
Διάγραμμα 25: Καμπύλες σημειακής φόρτισης ανά δοκιμίο μεταξύ ασβεστόλιθου και ζεόλιθου

G .Δοκιμή Κρουσίμετρο Schmidt :

Πίνακας 79: Αποτελέσματα αντοχής επιφανειακής σκληρότητας ασβεστόλιθο

Δοκιμή 13: Επιφανειακή Σκληρότητα "Κρουσίμετρο" (Ασβεστόλιθο)

α/α	R''	Δ	R'	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	R ₂₈ =R' x C ₁ x C ₂ x C ₃ x C ₄	σ _c =0,03x(R ₂₈) ^{2,03}	kg/cm ²
1	42	7,15	34,85	0,87	1,0144	1	1	30,756	31,450	314,50
2	39	6,9	32,1	0,87	1,0144	1	1	28,329	26,617	266,17
3	37	6,7	30,3	0,87	1,0144	1	1	26,741	23,674	236,74
4	42	7,15	34,85	0,87	1,0144	1	1	30,756	31,450	314,50
5	38	6,8	31,2	0,87	1,0144	1	1	27,535	25,124	251,24
6	46	7,5	38,5	0,87	1,0144	1	1	33,977	38,498	384,98
7	43	7,2	35,8	0,87	1,0144	1	1	31,595	33,215	332,15
8	39	6,9	32,1	0,87	1,0144	1	1	28,329	26,617	266,17
9	41	7,05	33,95	0,87	1,0144	1	1	29,962	29,823	298,23
10	45	7,4	37,6	0,87	1,0144	1	1	33,183	36,693	366,93

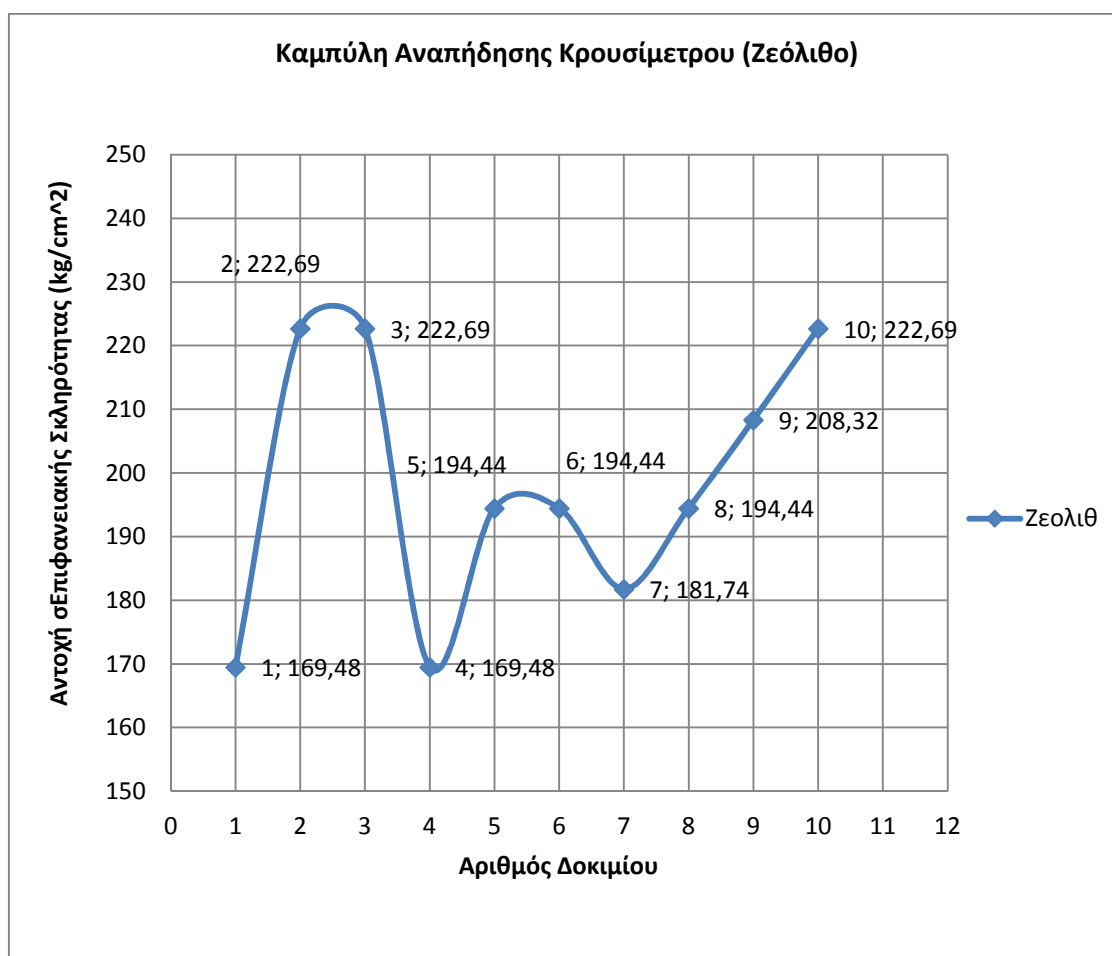


Διάγραμμα 26: Καμπύλη επιφανειακής σκληρότητας ανά δοκίμιο ασβεστόλιθο

Πίνακας 80: Αποτελέσματα αντοχής επιφανειακής σκληρότητας ζεόλιθο

Δοκιμή 12: Επιφανειακή Σκληρότητα "Κρουσίμετρο" (Ζεόλιθο)

α/α	R''	Δ	R'	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	R ₂₈ =R'×C ₁ ×C ₂ ×C ₃ ×C ₄	σ _c =0,03×(R ₂₈) ^{2,03}	kg/cm ²
1	32	6,3	25,7	0,87	1,0144	1	1	22,681	16,948	169,48
2	36	6,6	29,4	0,87	1,0144	1	1	25,946	22,269	222,69
3	36	6,6	29,4	0,87	1,0144	1	1	25,946	22,269	222,69
4	32	6,3	25,7	0,87	1,0144	1	1	22,681	16,948	169,48
5	34	6,5	27,5	0,87	1,0144	1	1	24,270	19,444	194,44
6	34	6,5	27,5	0,87	1,0144	1	1	24,270	19,444	194,44
7	33	6,4	26,6	0,87	1,0144	1	1	23,475	18,174	181,74
8	34	6,5	27,5	0,87	1,0144	1	1	24,270	19,444	194,44
9	35	6,55	28,45	0,87	1,0144	1	1	25,108	20,832	208,32
10	36	6,6	29,4	0,87	1,0144	1	1	25,946	22,269	222,69

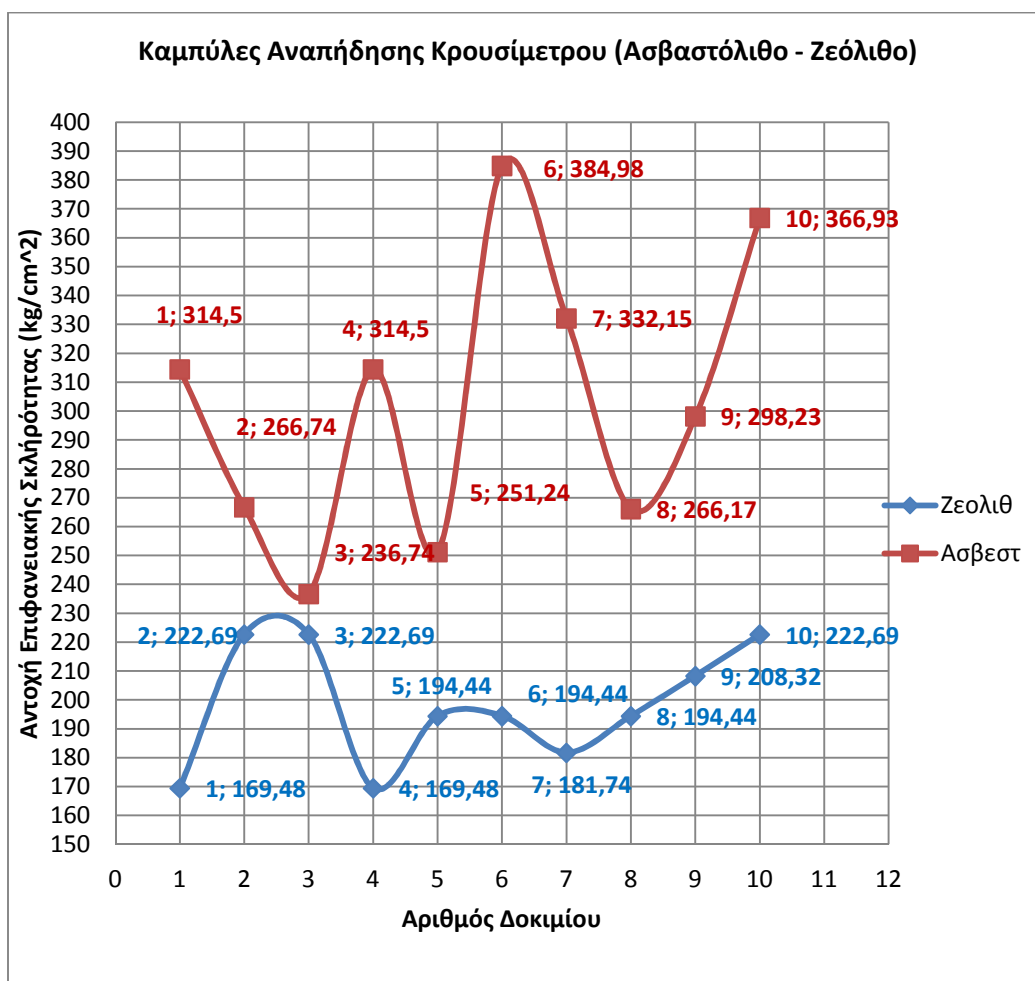


Διάγραμμα 27: Καμπύλη επιφανειακής σκληρότητας ανά δοκίμιο ζεόλιθου

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
 ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 81: Σύγκριση αποτελεσμάτων επιφανειακής σκληρότητας (ασβεστόλιθο και ζεόλιθο)

α/α	Ζεόλιθος kg/cm ²	Ασβεστόλιθος kg/cm ²	% Διαφορά
1	169,48	314,5	
2	222,69	266,74	
3	222,69	236,74	
4	169,48	314,5	
5	194,44	251,24	
6	194,44	384,98	
7	181,74	332,15	
8	194,44	266,17	
9	208,32	298,23	
10	222,69	366,93	
Μ.Ο.	198,041	303,218	35%



Διάγραμμα 28: Καμπύλες επιφανειακής σκληρότητας ανά δοκίμιο (ασβεστόλιθου και ζεόλιθου)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συμπεράσματα :

Η παρούσα εργασία εξετάζει την δυνατότητα χρήσεως ζεόλιθων ως ειδικά αδρανή για την παρασκευή ελαφρού σκυροδέματος με τον έμμεσο προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής με καθορισμένες δοκιμές και επιλεγμένων δοκιμών σε εργαστηριακό επίπεδο.

Σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. – 97, τα επιλεγμένα κυλινδρικά δοκίμια έχουν διαστάσεις με λόγο ($l=d$ ή $l=2d$) ίσον με δύο (2), [$l/d \sim (14 / 7) \text{ cm} = 2$].

Το πλήθος των δοκιμών καθορίστηκε σε τριάντα (30) κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος με ζεολιθικά αδρανή και σε τριάντα (30) κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος με ασβεστολιθικά αδρανή για την καλύτερη παρακολούθηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Επίσης η μελέτη συνθέσεως του σκυροδέματος είναι ίδια και για τις δύο περιπτώσεις η οποία βασίστηκε στον **Αμερικανικό Κανονισμό του Σκυροδέματος A.C.I. 211.1**

Οι δοκιμές για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής προτιμήθηκαν οι εξής:

- Αντοχή σε αξονική θλίψη
- Αντοχή σε διάρρηξη
- Αντοχή σε σημειακή φόρτιση
- Αντοχή σε επιφανειακή σκληρότητα

Επιπλέον, επιλέχθηκαν και οι επιπρόσθετες μετρήσεις όπως :

- Ειδικό βάρος
- Φαινόμενο βάρος
- Πορώδους
- Υδατοπερατότητα

Ανάλογα με την απαιτούμενη αντοχή σε θλίψη, που υπολογίστηκε από την μελέτη συνθέσεως, η οποία ισούται με $W = f_a = \sigma_{cd} = 210 \text{ MPa (kg/cm}^2\text{)}$, σε σχέση με τα αποτελέσματα των επιλεγμένων δοκιμών παρουσίασαν σημαντικές αποκλίσεις.

Οι σχετικές αστοχίες ή αποκλίσεις των αποτελεσμάτων, οφείλονται σε σημαντικούς παράγοντες, οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη, χωρίς αυτό να σημαίνει, ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα μείωσης ή εναλλακτικές επιλογές.

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

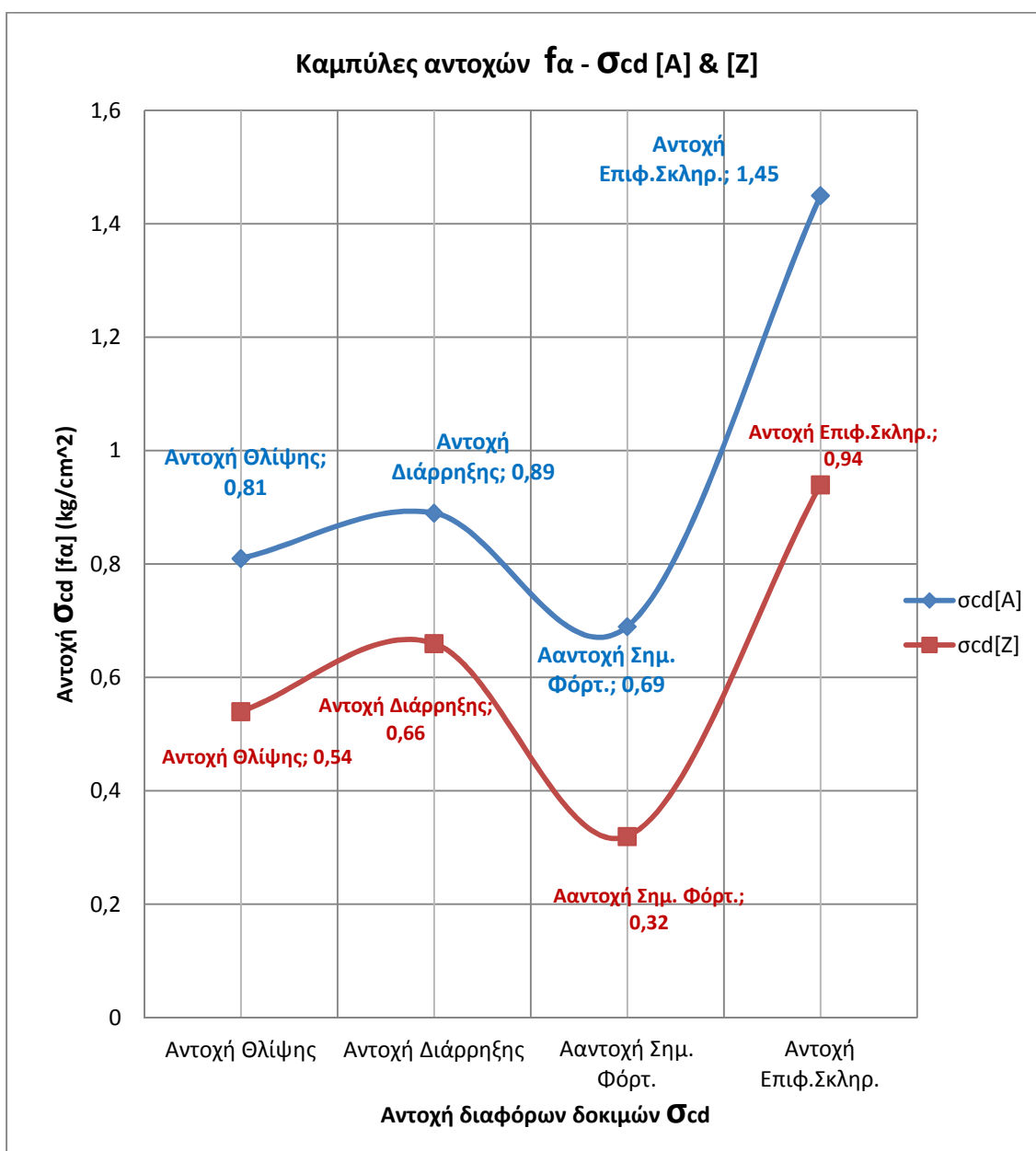
Στον πίνακα που ακολουθεί, δίδεται η αντιστοιχία των δοκιμών σε ποσοστιαίες διαφορές.

Πίνακας 82: Αντιστοιχία αποτελεσμάτων αντοχών και αποκλίσεις με την απαιτούμενη αντοχή

Πίνακας συσχέτισεων ΜΕΣΩΝ ΟΡΩΝ, αποτελεσμάτων θλιπτικών αντοχών και μετρήσεων μεταξύ των Ασβεστολιθικών και Ζεολιθικών δοκιμών			
Δοκιμές	Ποσοστιαία Διαφορά $\Delta = [\%]$	Ποσοστιαία σχέση Ζεόλιθο – Ασβεστόλ.	Ποσοστιαία σχέση ζεόλιθο – Απαιτ. Αντ. Ασβεστ. – Απαιτ. Αντ.
Αντοχή σε Αξονική Θλίψη $\sigma_{cd} [kg/cm^2]$	M.O. _[A] = 170,36 M.O. _[Z] = 113,27 $\Delta = 33,5\%$	$\sigma_{cd[A]} = 1.5 \sigma_{cd[Z]}$ $\sigma_{cd[Z]} = 0.66 \sigma_{cd[A]}$	$\sigma_{cd[Z]} = 0,54 f_a$ $\sigma_{cd[A]} = 0,81 f_a$
Αντοχή σε Διάρρηξη $\sigma_{cd} [kg/cm^2]$	M.O. _[A] = 187,137 M.O. _[Z] = 139,259 $\Delta = 26\%$	$\sigma_{cd[A]} = 1.34 \sigma_{cd[Z]}$ $\sigma_{cd[Z]} = 0.75 \sigma_{cd[A]}$	$\sigma_{cd[Z]} = 0,66 f_a$ $\sigma_{cd[A]} = 0,89 f_a$
Αντοχή σε Σημειακή Φόρτιση $\sigma_{cd} [kg/cm^2]$	M.O. _[A] = 144,119 M.O. _[Z] = 67,63 $\Delta = 53\%$	$\sigma_{cd[A]} = 2.13 \sigma_{cd[Z]}$ $\sigma_{cd[Z]} = 0.47 \sigma_{cd[A]}$	$\sigma_{cd[Z]} = 0,32 f_a$ $\sigma_{cd[A]} = 0,69 f_a$
Αντοχή σε Επιφανειακή Σκληρότητα $\sigma_{cd} [kg/cm^2]$	M.O. _[A] = 303,22 M.O. _[Z] = 198,04 $\Delta = 35\%$	$\sigma_{cd[A]} = 1.53 \sigma_{cd[Z]}$ $\sigma_{cd[Z]} = 0.65 \sigma_{cd[A]}$	$\sigma_{cd[Z]} = 0,94 f_a$ $\sigma_{cd[A]} = 1.45 f_a$
Ειδικό Βάρος $\epsilon.\beta [gr/cm^3]$	M.O. _[A] = 1,70 M.O. _[Z] = 2,17 $\Delta = 21,6\%$	$\epsilon.\beta_{[A]} = 0,78 \epsilon.\beta_{[Z]}$ $\epsilon.\beta_{[Z]} = 1,28 \epsilon.\beta_{[A]}$	
Φαινόμενο Βάρος $\phi.\beta [gr/cm^3]$	M.O. _[A] = 1,67 M.O. _[Z] = 2,08 $\Delta = 18,27\%$	$\phi.\beta_{[A]} = 0,81 \phi.\beta_{[Z]}$ $\phi.\beta_{[Z]} = 1,24 \phi.\beta_{[A]}$	
Πορώδους $\eta [\%]$	M.O. _[A] = 2 M.O. _[Z] = 4,4 $\Delta = 54,5\%$	$\eta_{[A]} = 0,45 \eta_{[Z]}$ $\eta_{[Z]} = 2,21 \eta_{[A]}$	
Υδατοπερατότητα $Y [mm/sec]$	M.O. _[A] = 22,80 M.O. _[Z] = 54,80 $\Delta = 58,4\%$	$Y_{[A]} = 0,42 Y_{[Z]}$ $Y_{[Z]} = 2,38 Y_{[A]}$	

Οι σημαντικοί παράγοντες που επηρέασαν την αντοχή των ζεολιθικών δοκιμίων ως προς την απαιτούμενη αντοχή της μελέτης είναι οι εξής:

1. Ο βαθμός της εργασιμότητας,
2. Η έλλειψη βελτιωτικών ουσιών, όπως «ρευστοποιητές»,
3. Η σωστή συμπύκνωση του μίγματος,
4. Η αναλογία μίξεως,
5. Η συντήρηση



Διάγραμμα 29: Καμπύλες θλιπτικών αντοχών ανά δοκιμή σε συνάρτηση απαιτούμενης μεταξύ ασβεστόλιθου και ζεόλιθου

Προτάσεις :

1. Διάφοροι τρόποι μελέτης συνθέσεως ,όπως:
 - Ελληνικό Κανονισμό
 - Γερμανικό Κανονισμό
 - Βάση μονογραμμάτων περιεκτικότητας νερού και νερού
2. Χρήση πρόσθετων ή βελτιωτικών ουσιών, όπως :
 - Επιβραδυντές
 - Ρευστοποιητές
 - Υπερευστοποιητές
3. Χρήση άλλων ειδικών αδρανών και υλικών σε διαφορετικές αναλογίες, όπως:
 - Σκωρία υψικαμίνων
 - Κουρασάνι
 - Μπετονίτης
 - Περλίτης
 - Ιπτάμενη τέφρα λιγνιτών
 - Διάφοροι τύποι ινών όπως, :
 - g) Αμιαντοτσιμέντο
 - h) Γυαλί
 - i) Πλαστικό
 - j) Μέταλλο
4. Χρήση συμβατικών δοκιμίων [κυβικών (15x15x15) cm, κυλινδρικών (30/15) cm] με πλήρη κοκκομετρική διαβάθμιση

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Π. Α.Μιχάλης, Σ.Χ. Δημητρίου, 2007, «Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος» Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης
- [2] Α.Κορωναίος, Γ.Πουλάκος, 2006, «Τεχνικά Υλικά Τόμος 1», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [3] Α.Κορωναίος, Γ.Πουλάκος, 2005, «Τεχνικά Υλικά Τόμος 2», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [4] Α.Κορωναίος, Γ.Πουλάκος, 2005, «Τεχνικά Υλικά Τόμος 3», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [5] Α.Κορωναίος, Γ.Πουλάκος, 2006, «Τεχνικά Υλικά Τόμος 4», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [6] Α.Ρούτουλας, 2010, «Ελεγχος Ποιότητας και Τεχνολογίας Δομήσιμων Υλικών 1». Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά
- [7] Α.Ρούτουλας, 2010, «Ελεγχος Ποιότητας και Τεχνολογίας Δομήσιμων Υλικών 2». Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά
- [8] Δ.Βογιατζής, 2007, «Αξιολόγηση της Συμπαγοποίησης Κονιαμάτων Τσιμέντου – Αμμου – Ελληνικού Φυσικού Ζεόλιθου με Τεχνικές Υπερήχων»
- [9] Κ.Κασώλη, Α.Φουρναράκη, 2005, «Σχηματισμός Ζεόλιθων και Γεωλογικά Περιβάλλοντα», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας
- [10] Μ. Σταματάκης, 2004, «Βιομηχανικά Ορυκτά & Πετρώματα», Παρουσίαση
- [11] Ν. Σκούρας, 2005, «Εμμεσος Προσδιορισμός της Θλιπτικής Αντοχής Πετρωμάτων με την Δοκιμή της Επιφανειακής Διείσδυσης», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
- [12] Γ. Τσιαμπάος, 2009, «Νεότερες απόψεις για τις παραμέτρους μηχανικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων», Παρουσίαση, Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Εδαφομηχανικής & Γεωτεχνικής Μηχανικής
- [13] H.W. Reinhardt, F. Finck, C. Grosse and J. Kurz, 2004, “Brazilian Test of Concrete Evaluated by Acoustic Emission (AE)”, University of Stuttgart, Institute of Construction Materials, Pfaffenwaldring, 70569 Stuttgart, Germany
- [14] Μ. ΚΟΚΚΙΝΗ, 2011, «Αξιοποίηση του βιομηχανικού παραπροϊόντος (CBPD) στην παραγωγική διαδικασία στοιχείων – σύνθεση, μηχανικές ιδιότητες και ανθεκτικότητα», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Δομοστατικής

- [15] Abdias Magalhaes Gomes, “Permeability of Concrete: A Study Intended for the (in situ) Valuation Using Portable Instruments and Traditional Techniques”, International Symposium (NDT – CE 2003), Non – Destructive Testing in Civil Engineering
- [16] ASTM C 496, “SPLITTING TENSILE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS”, University of New Mexico, Civil Engineering Department
- [17] Δ. Χρυσοβελίδου, 2004, «Το νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αδρανών Σκυροδέματος EN 12620» ΤΕΕ, Επιστημονικό Τμήμα Σκυροδέματος
- [18] Α. Αντωνόπουλος, 2011, «Αδρανή Υλικά», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [19] Β. Χρηστάρας, 2005, «Συνοπτική Περιγραφή των Συνηθέστερων Εργαστηριακών Δοκιμών Βραχομηχανικής – Εδαφομηχανικής», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας – Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρολογίας
- [20] ΕΚΩΣ 2000, 2001, «Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000», ΟΑΣΠ, Αθήνα, Απρίλιος 2001
- [21] Δ. Βογιατζής, 2009, «Χρήση Ιπτάμενης Τέφρας και Φυσικού Ζεόλιθου στην Παρασκευή Ελαφροβαρών Κονιαμάτων», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας
- [22] Ε. Κοντόρη, 2008, «Ο Ζεόλιθος ως Κύριο Συστατικό του Τσιμέντου», 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21 23 Μαΐου, 2008
- [23] Ν. Λίτινας, 2008, «Νέες Απαιτήσεις για τα Αδρανή Υλικά στις Κατασκευές Εμπειρία από Την Εφαρμογή της Σήμανσης CE στην Ελλάδα», 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21 23 Μαΐου, 2008
- [24] Ν. Λίτινας, 2008, «Κονιάματα», 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21 23 Μαΐου, 2008
- [25] Ι. Ρηγόπουλος, 2008, «Συγκριτική Μελέτη των Φυσικομηχανικών Ιδιοτήτων Βασικών και Υπερβασικών Πετρωμάτων ως Αδρανών Υλικών από το Οφθιολιθικό Σύμπλεγμα της Πίνδου (ΒΔ) Ελλάδα», 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21 23 Μαΐου, 2008
- [26] Σ. Γκαβέλα, Σ. Κόλιας, Κ. Κορδάτος, Β. Κασελούρη – Ρηγοπούλου, 2008, «Μηχανικές Ιδιότητες Σκυροδέματος που Περιέχει Υψηλής Πυκνότητας Πολυαιθυλένιο ως Αδρανές», 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21 23 Μαΐου, 2008
- [27] Κ. Ελαιόπουλος, «Χρήση Ζεόλιθων στην αποκατάσταση ποιοτικών παραμέτρων του Εδάφους – Εφαρμογή στο Έργο», Παρουσίαση, Ινστιτούτο Εδαφολογίας ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.
- [28] A. Zacob and K. Ishibashi, 2009, “Point Load Test Application for Estimating Compressive Strength of Concrete Structures from Small Core”, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 4, N^ο 7, September 2009

- [29] Yan Fu, et al., 1995, “Zeolite – based Lightweight Concrete products”, National Research Council of Canada, N° 499.458, Jul. 7, 1995
- [30] Α.Φιλίππιδης, 2008, «Καθαρισμός Αστικών Λυμάτων και Παραγωγή Άοσμης – Συνεκτικής Λυματολάσπης με Ελληνικό Φυσικό Ζεόλιθο
- [31] A. Kilic and M. Keskin, 2010, “The Effect of the Rock Type Forming the Aggregate in Lightweight Polymer Concrete on Compressive and Flexural Tensile Strength”, Scientific Research and Essays Vol. 5(15), pp. 1986 – 1992, 4 August, 2010
- [32] S. Oymael, 2009, “An Investigation into the Effect of Magnesium Sulfate in Zeolite – Substituted Cements”, Trakia Journal of Sciences, Vol. 7, Suppl. 2, pp 229-233, 2009
- [33] Ι. Αναγνωστοπούλου, 2009, «Αξιοποίηση Στερεών Λιγνιτικών Παραπροϊόντων στην Παραγωγή Ελαφροαδρανών και Ελαφροσκυροδέματος», Πανεπιστήμιο Πατρών
- [34] Ibrahim Türkmen, Ali Öz and Abdulkadir Cüneyt Aydın, 2010, “Characteristics of workability, strength, and ultrasonic pulse velocity of SCC containing zeolite and slag”, Scientific Research and Essays Vol. 5(15), pp. 2055-2064, 4 August, 2010
- [35] Σ. Βούτα, 2009, « Ορυκτολογία και Δεσμευτική Ικανότητα Ζεόλιθου Βορείου Ξεροβουνίου (Αβδέλλα Έβρου) και Πιθανές Περιβαλλοντικές Εφαρμογές», Α.Π.Θ.
- [36] Kürsat Yıldız and Latif Onur Ugur, 2009, “The effect of mineral admixture type on the modulus of elasticity of high strength concrete”, Scientific Research and Essay Vol.4 (8), pp. 791-798, August, 2009
- [37] Π. Κροκιδάς, 2008, «Ρόφηση και Διάχυση Αερίων σε Ζεόλιθους με Χρήση Τεχνικών Μοριακής Προσομοίωσης», Πανεπιστήμιο Πατρών
- [38] Χ. Οικονόμου, 2006, «Τεχνολογία του Σκυροδέματος», Γ΄ έκδοση, Εκδόσεις «ΣΕΛΚΑ – 4Μ» ΕΠΕ – Τεκδοτική
- [39] Κ. Τσακαλάκης, 2010, «Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος», Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών
- [40] Σ. Θεοδωρίκας, 2002, «Ορυκτολογία – Πετρολογία», 2^η έκδοση, εκδόσεις (Μέλισσα)
- [41] Γ. Κούκης, 2002, «Τεχνική Γεωλογία», εκδόσεις Παπασωτηρίου
- [42] Θ. Δούτσος, 2000, «Γεωλογία: Αρχές και Εφαρμογές», εκδόσεις Leader Books
- [43] Δ. Παπανικολάου, 2009, «Γεωλογία η Επιστήμη της Γής», εκδόσεις Πατάκη
- [44] Ε. Γκάρτζο, Α. Παυλόπουλο, Κ. Σερέλη και Γ. Σταμάτη, 2009, «Στοιχεία Γεωλογίας – Γεωμορφολογίας», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, εκδόσεις Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- [45] Γ. Μιγκίρο, 2005, «Ειδικά μαθήματα Γεωλογικών Εφαρμογών», Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.