

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αναπληρωτής καθηγητής Σ. ΚΟΛΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ
ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΥΨΗΛΗΣ
ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΓΟΥΔΙΕΛΜΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΚΑΛΑΝΤΖΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2005

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αναπληρωτής καθηγητής Σ. ΚΟΛΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ
ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ
ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΥΨΗΛΗΣ
ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

ΓΟΥΛΙΕΛΜΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΚΑΛΑΝΤΖΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2005

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συντήρηση είναι πολύ σημαντική ώστε να έχουμε ανθεκτικό σκυρόδεμα. Για το λόγο αυτό διεξάγονται έρευνες προκειμένου να βρεθούν τρόποι βελτίωσής της. Στην εργασία αυτή, εξετάζεται η επίδραση της επικάλυψης της εσωτερικής επιφάνειας των καλουπιών με ένα ειδικό διαπερατό ύφασμα, το οποίο περιέχει τους κόκκους πολυμερούς υψηλής απορροφητικότητας. Το πολυμερές απορροφάει νερό από τα εξωτερικά στρώματα του νωπού σκυροδέματος, το οποίο αποδίδεται αργότερα στο σκυρόδεμα ως επιφανειακή υγρασία. Ο μηχανισμός αυτός έχει διπλό όφελος: Όταν το σκυρόδεμα είναι νωπό αυτή η απορρόφηση νερού μειώνει το λόγο N/T , ενώ όταν το σκυρόδεμα πήξει, τα πολυμερή το αποδίδουν ως επιφανειακή υγρασία.

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργείται στο σκυρόδεμα μια επιφανειακή στρώση της τάξεως των 1-2 cm, η οποία παρουσιάζει χαμηλότερο πορώδες, χαμηλότερη διαπερατότητα, χαμηλότερη υδαταπορρόφηση και υψηλότερη αντοχή. Επομένως, δημιουργείται σκυρόδεμα μεγαλύτερης ανθεκτικότητας.

Τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, κυρίως για χώρες με ζεστό και ξηρό κλίμα, όπως η Ελλάδα, όπου η συντήρηση είναι εξαιρετικά σημαντική αλλά συνήθως αμελείται.

Συστήνεται να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα, προκειμένου να διερευνηθεί βαθύτερα το θέμα περιλαμβανομένης και της εκτίμησης του κόστους.

ABSTRACT

Curing is very important for durable concretes and therefore considerable research is carried out in order to find ways of improving it. In this work, the effect of covering the inside face of the moulds with a special permeable tissue containing the grains of a highly absorbent polymer is investigated. The polymer absorbs water from the external layers of the fresh concrete and this water is later given back to concrete as surface moisture. This mechanism has a double beneficial effect on concrete. When the concrete is fresh it absorbs water reducing the W/C ratio and when the concrete is set, the polymers give back the absorbed water as curing moisture.

The results of the investigation show that a 1-2 cm thick layer of concrete with lower porosity, lower permeability, lower capillary absorption, and higher strength is produced. The durability therefore of the concrete is highly enhanced.

The results are very promising, especially for countries with dry and rather hot climate, like Greece, where curing is very important but usually neglected.

It is recommended that further work should be carried in order to investigate the subject deeper, including cost estimation.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με ιδιαίτερη θερμότητα εκφράζουμε τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μας στον Αναπληρωτή καθηγητή κύριο Στέλιο Κόλια για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές, την ψυχική και ηθική συμπεράσταση που μας πρόσφερε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μας. Επίσης ευχαριστούμε για τη βοήθειά τους ή/και τις συμβουλές τους, τους Κώστα Ζόμπολα, Μάρθα Κατσάκου, Αναστάσιο Καραχάλιο και Rabab Jouni.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ Α.....	1
--------------	---

1. ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	1
---	---

1.1. Ορισμός σκυροδέματος	1
1.2. Αδρανή.....	1
1.3. Τσιμέντο.....	7
1.3.1. Παραγωγή	7
1.3.2. Χημική σύνθεση	8
1.3.3. Τύποι τσιμέντων	9
1.3.4. Βασικά χαρακτηριστικά των τσιμέντων Portland.....	10
1.3.5. Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου.....	13
1.4. Το νερό αναμείξεως.....	13
1.5. Πρόσθετα υλικά	14
1.5.1. Ρευστοποιητικά	14
1.5.2. Αερακτικά	15
1.5.3. Επιβραδυντικά	15
1.5.4. Επιταχυντικά	16
1.5.5. Στεγανοποιητικά	16
1.5.6. Αντιπαγωτικά.....	16

2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	18
-------------------------------------	----

2.1. Οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος.....	18
2.1.1. Σταθερότητα	18
2.1.1.1 Απόμειξη.....	18
2.1.1.2 Εξιδρωση	19
2.1.2. Εργάσιμο.....	20
2.2. Οι ιδιότητες του στερεού σκυροδέματος.....	21
2.2.1. Αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις.....	21
2.2.2. Η αντοχή του σκυροδέματος και ο μηχανισμός θραύσεως	21
2.2.3. Αντοχή σε διάφορες μορφές καταπονήσεων	22
2.2.4. Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο	23
2.2.5. Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες σύνθεσης.....	24
2.2.6. Η μέτρηση της αντοχής	25
2.2.7. Παραμόρφωση.....	25
2.2.7.1. Παραμόρφωση λόγω φόρτισης.....	25
2.2.7.2. Παραμόρφωση ανεξάρτητη από την επιβολή φορτίου.....	28
2.2.8. Το πορώδες	30
2.2.8.1. Γενικά.....	30
2.2.8.2. Μηχανισμός δημιουργίας του πορώδους στο σκυρόδεμα ...	31

2.2.8.3. Πορώδες και ιδιότητες του σκυροδέματος	32
2.2.9. Υδατοαπορροφητικότητα και υδατοπερατότητα	33
2.2.10. Θερμοαγωγιμότητα	35
2.2.11. Απορρόφηση ραδιενεργών ακτινοβολιών	36
3. ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	37
3.1. Γενικά.....	37
3.2. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού	37
3.2.1. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού για την ενυδάτωση.....	37
3.2.2. Νερό δεσμευόμενο από τα αδρανή	38
3.2.3. Απώλεια νερού, ελεύθερο νερό και ολική ποσότητα	39
3.3. Η ποσότητα και η σύνθεση των αδρανών.....	39
3.4. Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος	40
3.4.1. Γενικά.....	40
3.4.2. Τα δεδομένα του προβλήματος.....	40
4. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	42
4.1. Ορισμός.....	42
4.2. Παράγοντες που καθορίζουν την ανθεκτικότητα	42
4.2.1. Περιβαλλοντικές συνθήκες	42
4.2.2. Διαπερατότητα σκυροδέματος.....	44
4.2.3. Φυσικές και χημικές επιδράσεις	49
4.3. Μηχανισμός φθοράς των οπλισμών	50
5. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	51
5.1 Ορισμός.....	51
5.2. Σκοπός της συντήρησης.....	51
5.3. Μέθοδοι συντήρησης.....	53
5.3.1. Διατήρηση του ξυλοτύπου	53
5.3.2. Αδιαπέρατα καλύμματα	64
5.3.3. Απορροφητικά καλύμματα	64
5.3.4. Προσθήκη νερού.....	54
5.3.5. Μεμβράνες συντήρησης	55
5.4. Προστασία από δονήσεις	56
5.5. Αποτελεσματικότητα της συντήρησης	56
5.6. Χρονικό διάστημα εφαρμογής της συντήρησης	57
5.7. Περιπτώσεις που η συντήρηση είναι ιδιαίτερης σημασίας.....	57
5.8. Επίδραση της θερμοκρασίας.....	57
5.9. Επιπτώσεις λόγω λανθασμένης συντήρησης	59
5.10. Επίπτωση της συντήρησης στην αντοχή.....	59
5.11. Εκτίμηση της διάρκειας συντήρησης μέσω της ωριμότητας του σκυροδέματος.....	59
5.12. Αυτοσυντηρούμενο σκυρόδεμα.....	60
5.13. Γενικά συμπεράσματα	60

ΜΕΡΟΣ Β	62
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	62
1.1. Σκοπός της διπλωματικής	62
1.2. Χρονικό δοκιμών – Κριτήρια επιλογής	63
2. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	64
2.1. Υλικά.....	64
2.1.1. Κοκκομετρική Διαβάθμιση.....	64
2.1.2. Μέτρηση της πυκνότητας για το γαρμπίλι.....	69
2.1.3. Μέτρηση της πυκνότητας για την άμμο	70
2.1.4. Μελέτη σύνθεσης.....	71
2.2. Τρόπος παρασκευής δοκιμίων	86
2.3. Συντήρηση	86
3. ΔΟΚΙΜΕΣ	88
3.1. Αντοχή σε θλίψη.....	88
3.2. Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη	89
3.3. Πορώδες.....	90
3.4. Αεροδιαπερατότητα	92
3.5. Υδαταπορρόφηση	92
4. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	94
5. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	123
5.1. Αντοχή σε θλίψη-Ομοιομορφία μετρήσεων.....	123
5.2. Διαγράμματα.....	127
5.2.1. Αντοχή σε θλίψη-Διάγραμμα 1 ^{ης} παρτίδας.....	127
5.2.2. Αντοχή σε θλίψη-Διάγραμμα 2 ^{ης} παρτίδας.....	129
5.2.3. Αντοχή σε θλίψη-Διάγραμμα 3 ^{ης} παρτίδας.....	131
5.2.4. Γενικά συμπεράσματα για την αντοχή σε θλίψη	133
5.3. Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη-Ομοιομορφία μετρήσεων.....	134
5.4. Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη-Διάγραμμα	135
5.5. Δοκιμή πορώδους-Ομοιομορφία μετρήσεων.....	137
5.6. Διαγράμματα.....	141
5.6.1. Δοκιμή πορώδους-Διαγράμματα 1 ^{ης} παρτίδας.....	141
5.6.2. Δοκιμή πορώδους-Διαγράμματα 2 ^{ης} παρτίδας.....	146
5.7. Δοκιμή αεροδιαπερατότητας-Ομοιομορφία μετρήσεων.....	156
5.8. Διαγράμματα.....	160
5.8.1. Δοκιμή αεροδιαπερατότητας-Διαγράμματα 1 ^{ης} παρτίδας.....	160
5.8.2. Δοκιμή αεροδιαπερατότητας-Διαγράμματα 2 ^{ης} παρτίδας.....	165
5.9. Δοκιμή υδαταπορρόφησης-Διαγράμματα.....	169
5.10. Γενικά συμπεράσματα	175
5.11. Συστάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	175

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	177
-----------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΜΕΡΟΣ Α

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό δομικό υλικό, το οποίο στη σημερινή εποχή έχει επικρατήσει στον τομέα των κατασκευών, ιδιαίτερα στη χώρα μας, τόσο σαν άοπλο όσο και σαν ωπλισμένο. Παρασκευάζεται με την ανάμειξη τσιμέντου, αδρανών, νερού και ενδεχομένως χημικών προσθέτων σε μικρή ποσότητα. Το τσιμέντο με το νερό αντιδρούν χημικά μεταξύ τους σχηματίζοντας τον τσιμεντοπολτό, που, όταν πήξει και σκληρυνθεί (πήγμα), αποτελεί τη συνδετική ύλη των αδρανών. Τα χημικά πρόσθετα υλικά, τα οποία είναι δυνατόν να προστεθούν στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή, έχουν σκοπό να βελτιώσουν ορισμένες από τις ιδιότητές του. Η γνώση των ιδιοτήτων των υλικών που συνθέτουν το σκυρόδεμα είναι απαραίτητη, και για τον λόγο αυτό τα σπουδαιότερα θέματα αυτών αναφέρονται εν συντομία στα ακόλουθα κεφάλαια.

1.2 ΑΔΡΑΝΗ

Τα αδρανή οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι γενικά παραμένουν χημικώς αδρανή σε αντίθεση με το τσιμέντο και το νερό. Τα αδρανή συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους και συμβάλλουν μόνο μηχανικά στην αντοχή του τελικού προϊόντος. Η χρήση τους βοηθάει τόσο στην σταθερότητα του όγκου όσο και στην ανθεκτικότητα του προκύπτοντος σκυροδέματος.

Κριτήριο για την επιλογή των αδρανών είναι ότι πρέπει να παράγουν τις επιθυμητές ιδιότητες για το νωπό αλλά και το στερεό σκυρόδεμα. Ως αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν θεωρητικά οποιαδήποτε υλικά συγκεντρώνουν τις τρεις βασικές απαιτήσεις: επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση και χημική ανεκτικότητα με την τσιμεντοκονία.

Ως αδρανή χρησιμοποιούνται συντρίμματα διαφόρων πετρωμάτων. Τα πετρώματα διακρίνονται σε θραυστά (προέρχονται από τεχνητή θραύση) και σε συλλεκτά (συλλέγονται όπως βρίσκονται στη φύση).

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών που έχουν σημαντική επιρροή στη συμπεριφορά του σκυροδέματος είναι :

- Η αντοχή τους (αντοχή του μητρικού πετρώματος)
- Η παραμόρφωση, ανθεκτικότητα, σκληρότητα, δυσθραυστότητα
- Η καθαρότητα
- Η πρόσφυση με την κονία
- Το πορώδες
- Η χημική συμπεριφορά τους με άλλα συστατικά του σκυροδέματος αλλά και ουσίες που μπορεί να διεισδύσουν μέσα στο σκυρόδεμα

- Το σχήμα, μέγεθος των κόκκων, η επιφάνεια κ.α.

- **Η αντοχή**

Λόγω του μη κανονικού μεγέθους και σχήματος των κόκκων των αδρανών δεν είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση της αντοχής. Για το λόγο αυτό μετρείται η αντοχή σε θλίψη του μητρικού πετρώματος. Σημαντική είναι και η υγεία του μητρικού πετρώματος δηλαδή το πέτρωμα να είναι απαλλαγμένο από κομμούς και να μην αποσθρώνεται από την επίδραση των καιρικών συνθηκών. Τέλος πρέπει να διαθέτει αρκετή αντοχή σε επιφανειακή φθορά (αντοχή σε τριβή και κρούση).

- **Η καθαρότητα**

Με τον όρο αυτό εννοούμε ότι τα αδρανή δεν πρέπει να περιέχουν ανεπιθύμητες προσμίξεις και ουσίες που μπορεί να εμποδίσουν την πρόσφυση ή να έχουν επιβλαβή χημική επίδραση στο τσιμέντο ή στο σίδηρο. Τέτοιες ουσίες είναι η παιπάλη, οργανικές προσμίξεις, θειούχες ενώσεις κ.α.

- **Το πορώδες**

Το πορώδες του αδρανούς επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά του νωπού αλλά και σκληρυμένου σκυροδέματος λόγω της επίδρασής του τόσο στην αντοχή όσο και στην υδατοαπορροφητικότητα και διαπερατότητα του αδρανούς. Άλλωστε αδρανή με υψηλό πορώδες τείνουν να παράγουν σκυρόδεμα χαμηλότερης ανθεκτικότητας απ' ό,τι αδρανή με χαμηλό πορώδες. Το πορώδες μετράται μέσω της απορρόφησης νερού αφού η απευθείας μέτρηση είναι δύσκολη.

- **Η μορφή των κόκκων**

Οι κόκκοι των αδρανών έχουν μη κανονικό μέγεθος και σχήμα. Μπορούν όμως χονδρικά να καταταγούν στις κατηγορίες που περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα σύμφωνα με το βρετανικό πρότυπο BS 812.

Πίνακας 1 : Περιγραφή κόκκων αδρανών κατά BS 812 [4]

Κατηγορίες	περιγραφή
στρογγυλοί	Κόκκοι που έχουν υποστεί λείανση από απότριψη παρουσία νερού
ανώμαλοι	Κόκκοι ανώμαλοι ή μορφοποιημένοι από απότριψη και στρογγυλεμένες ακμές
γωνιώδεις	Με σαφείς ακμές που μορφώνονται από επίπεδες επιφάνειες
πλακοειδείς	Κόκκοι με πάχος μικρό σε σχέση με τις άλλες διαστάσεις
επιμήκεις	Κόκκοι, με σχήμα γωνιώδες που έχει μήκος αρκετά μεγαλύτερο από τις άλλες δύο διαστάσεις
πλακοειδείς και επιμήκεις	Κόκκοι, που έχουν μήκος αρκετά μεγαλύτερο από πλάτος και το πλάτος αρκετά μεγαλύτερο από το πάχος

Για ποσοτική όμως εκτίμηση της μορφής των κόκκων και του βαθμού ανομοιογένειας του μίγματος που προκύπτει χρησιμοποιούνται μεγέθη όπως ο δείκτης διαπλατύνσεως, ο δείκτης επιμηκύνσεως, ο αριθμός γωνιότητας. Οι μέθοδοι με τις οποίες προσδιορίζονται τα παραπάνω μεγέθη περιγράφονται λεπτομερειακά στον βρετανικό κανονισμό BS 812. Ο γαλλικός κανονισμός P18-301 από την άλλη ορίζει τον ογκομετρικό συντελεστή και τον μέσο ογκομετρικό συντελεστή.

Η μορφή των κόκκων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Με την εσωτερική τριβή που αναπτύσσουν οι κόκκοι επηρεάζουν κατά κύριο λόγο το εργάσιμο. Το εργάσιμο βελτιώνεται όσο μικραίνει η γωνία τριβής δηλαδή όσο οι κόκκοι πλησιάζουν τη σφαιρική μορφή. Όσο η μορφή των κόκκων απομακρύνεται από τη σφαιρική έχουμε, από τη μία, αύξηση της εσωτερικής τριβής, δηλαδή ελάττωση του εργασίμου, και από την άλλη αύξηση της ειδικής επιφάνειας, δηλαδή αύξηση της ανάγκης για νερό.

Από την άλλη όμως αύξηση της πολυγωνικότητας των κόκκων βελτιώνει την στήριξη των κόκκων μεταξύ τους και την πρόσφυση με το κονίαμα.

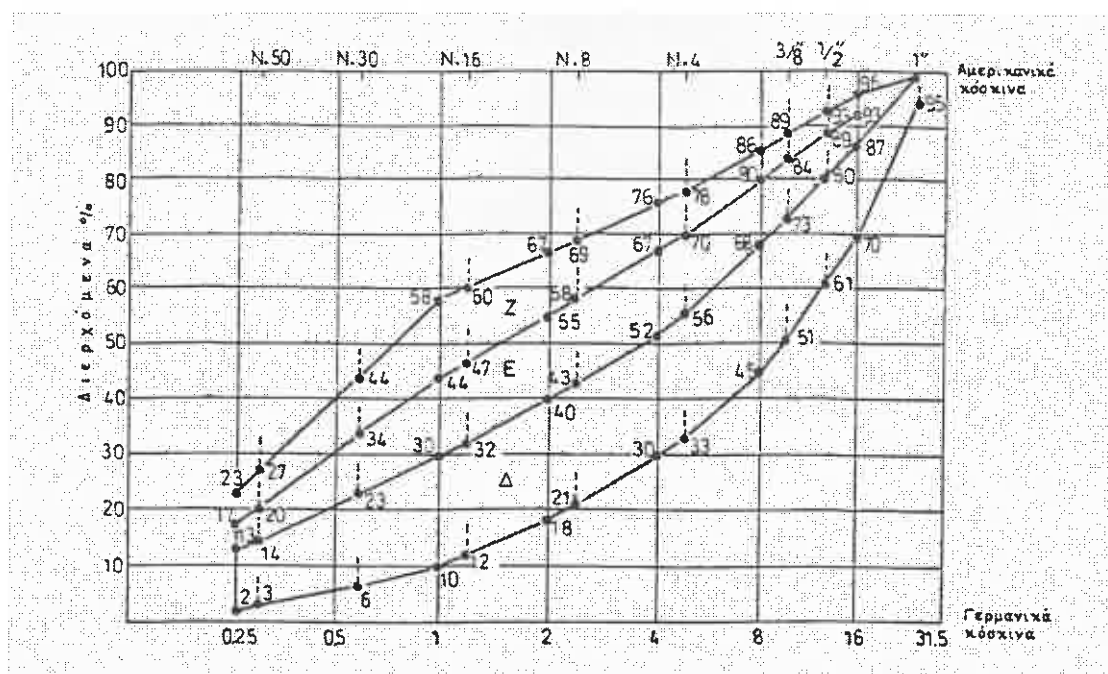
Κοκκομετρική διαβάθμιση

Οι κόκκοι των αδρανών υλικών στηρίζονται ο ένας πάνω στον άλλον αλλά λόγω του ακανόνιστου πολυγωνικού σχήματος που έχουν, δεν εφάπτονται απόλυτα μεταξύ τους αλλά αφήνουν ενδιάμεσα κενά. Τα κενά αυτά μεταξύ των αδρανών τα γεμίζει το κονίαμα που συνδέει με αυτόν τον τρόπο τους κόκκους σε ένα συμπαγές υλικό. Αυτό σημαίνει ότι η ποσότητα του κονιάματος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τα μεταξύ των κόκκων κενά. Επειδή, από την άλλη μεριά, το κονίαμα είναι κατά κανόνα περισσότερο πορώδες και λιγότερο ανθεκτικό από το πέτρωμα των αδρανών, όσο λιγότερα είναι τα παραπάνω κενά, και αναλογικά η ποσότητα του κονιάματος, τόσο μεγαλώνει η αντοχή και η πυκνότητα του σκυροδέματος.

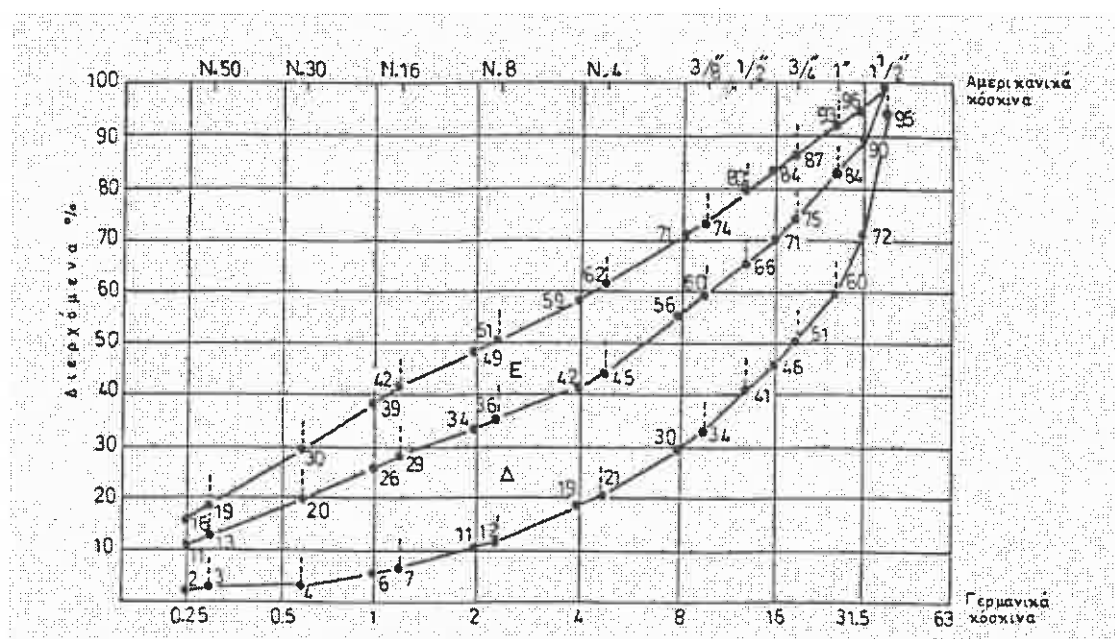
Ακριβή εικόνα της κατάστασης αυτής δίνει η κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση των αδρανών. Η κοκκομετρική διαβάθμιση ενός αδρανούς καθορίζει τις ποσότητες των κόκκων διαφορετικών μεγεθών μέσα στο αδρανές.

Το μέγεθος των κόκκων προσδιορίζεται με πρότυπα κόσκινα που έχουν καθορισμένες διαμέτρους οπών. Τα κόσκινα που συνήθως χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι τα κόσκινα των γερμανικών και των αμερικανικών κανονισμών. Τα κόσκινα των γερμανικών κανονισμών συμβολίζονται με το σύμβολο $\square$ επειδή έχουν τετραγωνικές οπές. Τα κόσκινα των αμερικανικών κανονισμών συμβολίζονται με (No) μέχρι το No4 ενώ τα μεγαλύτερα συμβολίζονται με το μέγεθος της βροχίδος σε ίντσες.

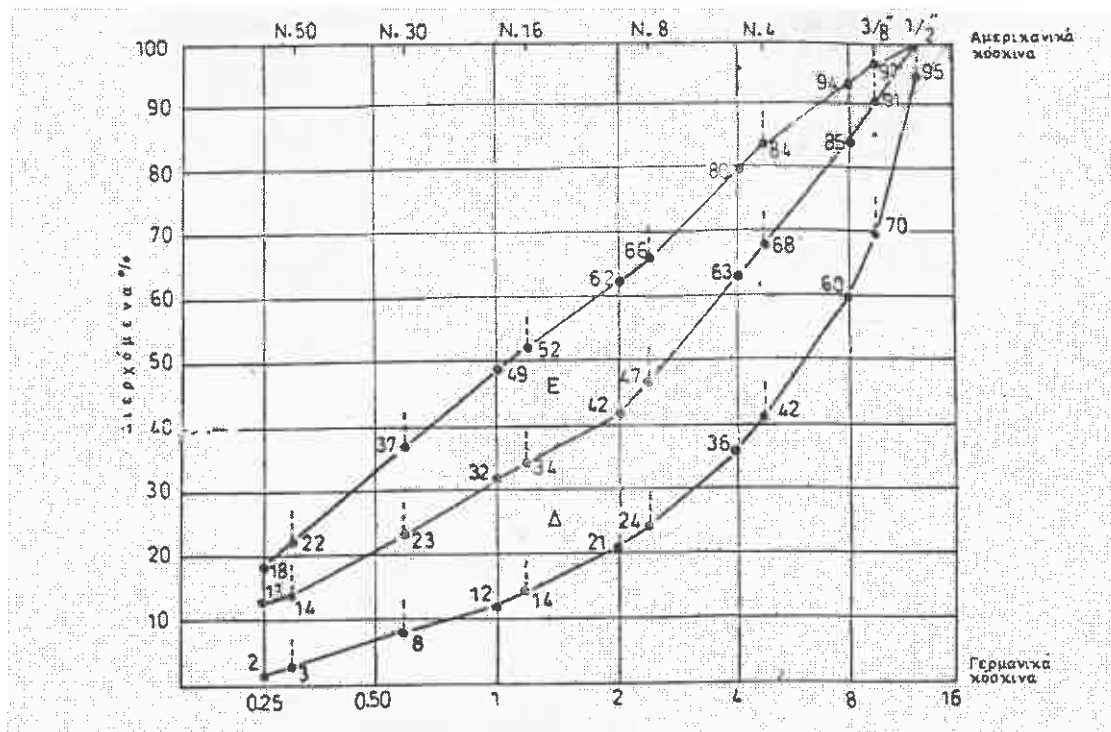
Ο Κ.Τ.Σ συνιστά τα ακόλουθα όρια ανάλογα με το μέγιστο κόκκο αδρανούς.[14].(σχ 1-4)



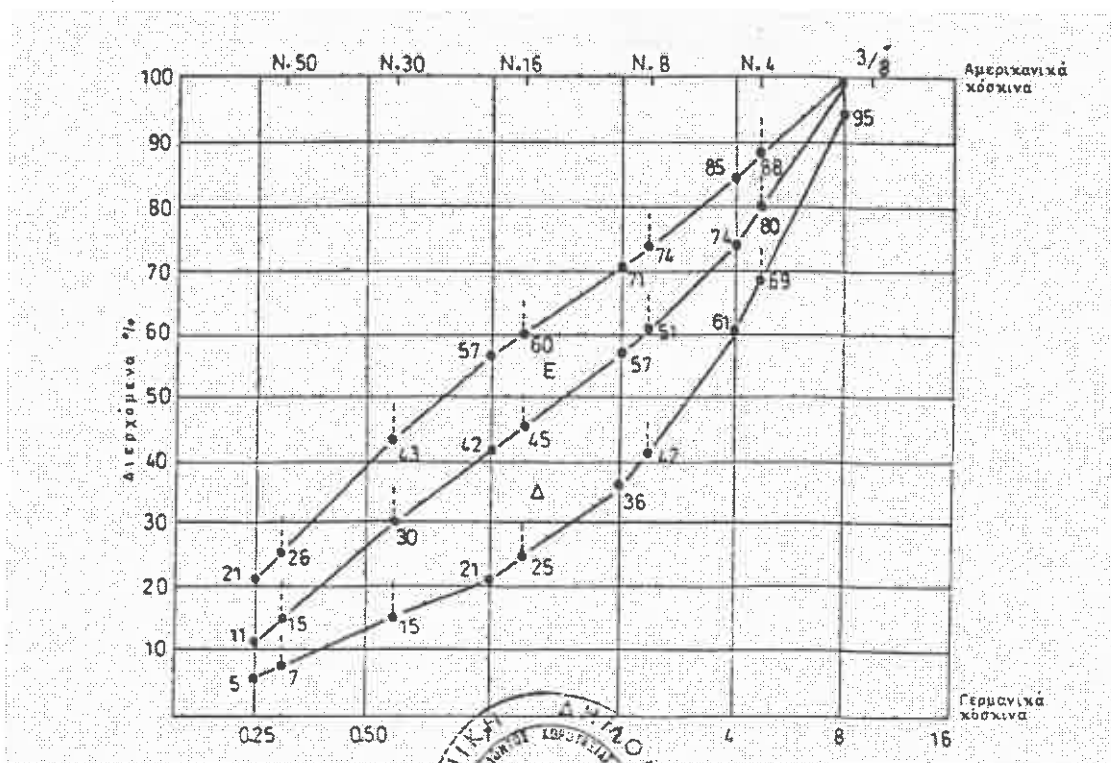
Σχ. 1 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 1 31,5 ή 1"



Σχ. 2 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 1 63 ή 1 1/2"



Σχ. 3 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 16 ή 1/2"



Σχ. 4 : Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 8 ή 3/8"

Για τη μετατροπή της διαμέτρου των κόκκων από κόσκινα κυκλικής σε κόσκινα τετραγωνικής οπής εφαρμόζεται συνήθως η πειραματική σχέση :

$$\text{διάμετρος κύκλου (d)} = 1,207 \text{ πλευράς τετραγώνου (a)}^2$$

Σε ένα διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης οι διάμετροι σημειώνονται στον οριζόντιο άξονα κατά τρόπο που να δημιουργείται ανάπτυξη της περιοχής των μικρών διαμέτρων. Κάθε κοκκομετρική σύνθεση παριστάνεται με μια πολυγωνική γραμμή που λέγεται κοκκομετρική καμπύλη, επειδή υποθέτουμε ότι το υλικό έχει συνεχή μεταβολή διαμέτρων και επομένως στην πραγματικότητα πρόκειται για καμπύλη της οποίας προσδιορίζουμε, με τα πρότυπα κόσκινα που διαλέγουμε, ορισμένα σημεία της.

Η κλίση της καμπύλης σε κάθε περιοχή παριστάνει το κατ' όγκο ποσοστό του υλικού της περιοχής αυτής.

Ενώ ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής καμπύλης είναι σχετικά εύκολος, δύσκολη είναι η εκτίμηση, η αξιολόγησή της και τέλος η εκλογή της καταλληλότερης για κάθε περίπτωση. Μερικές από τις προτάσεις που έχουν γίνει για τη μαθηματική διατύπωση της είναι οι

εξής :

- Η πρόταση του Fuller ως ιδεατή καμπύλη παραβολή της μορφής

$$A = 100 * \left(\frac{d}{D} \right)^{\frac{1}{2}}$$

όπου A = το διερχόμενο ποσοστό των αδρανών

d = η διάμετρος των οπών του κόσκινου

D = η μεγαλύτερη διάμετρος των κόκκων

- Η πρόταση του A.Hummel δοκιμάζει την παραπάνω πρόταση πειραματικά με καμπύλες της γενικής μορφής :

$$A = 100 * \left(\frac{d}{D} \right)^n$$

με διάφορες τιμές του n και βρίσκει την καταλληλότερη τιμή για πολυγωνικά αδρανή n = 0.3 και για στρογγυλεμένα n = 0.4.

Για τον τελικό προσδιορισμό της καλύτερης καμπύλης εισέρχονται και πολλοί άλλοι παράγοντες και το κριτήριο για την ποιότητα του σκυροδέματος δεν είναι σταθερό, ώστε οι κανονισμοί να λαμβάνουν υπόψη τους πειραματικά δεδομένα και την εμπειρία από τα εντόπια υλικά κάθε χώρας. Έτσι η επιλογή της καταλληλότερης καμπύλης εναπόκειται στον μελετητή μηχανικό που λαμβάνει υπόψη του τις απαιτήσεις του εκάστοτε έργου. [1]

Το μέγεθος των κόκκων των αδρανών που χρησιμοποιούνται συνήθως στο σκυρόδεμα ποικίλει είναι μικρότερο από 37,5mm (0/37,5). Το βρετανικό Πρότυπο BS 882 κατατάσσει τα αδρανή σε τρεις βασικές κατηγορίες: λεπτόκοκκα αδρανή ή άμμος που περιλαμβάνουν κόκκους η πλειοψηφία των οποίων είναι μικρότερη από 5 mm, χονδρόκοκκα αδρανή που περιλαμβάνουν κόκκους η πλειοψηφία των οποίων είναι μεγαλύτερη από 5 mm, και μικτά αδρανή που συνδυάζουν και λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αδρανή. Σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας σκυροδέματος (ΚΤΣ – 97) ως άμμος ορίζεται το υλικό που περνάει, σε ποσοστό τουλάχιστον 95% από τα κόσκινα: Φ5 ή 4 ή Νο4 αντίστοιχα. Ως παιπάλη ορίζεται το λεπτόκοκκο υλικό που

περνάει από το αμερικάνικο κόσκινο Νο 200 δηλαδή 75μm. Προσδιορίζεται δια πλύσεως του υλικού στο κόσκινο αυτό, ξηράνσεως του και υπολογισμού της απώλειας του υλικού στο κόσκινο. Η παιπάλη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% του ξηρού βάρους της άμμου και το 1% των άλλων κλασμάτων (γαρμπιλιού, σκύρων κλπ).

Ειδική επιφάνεια

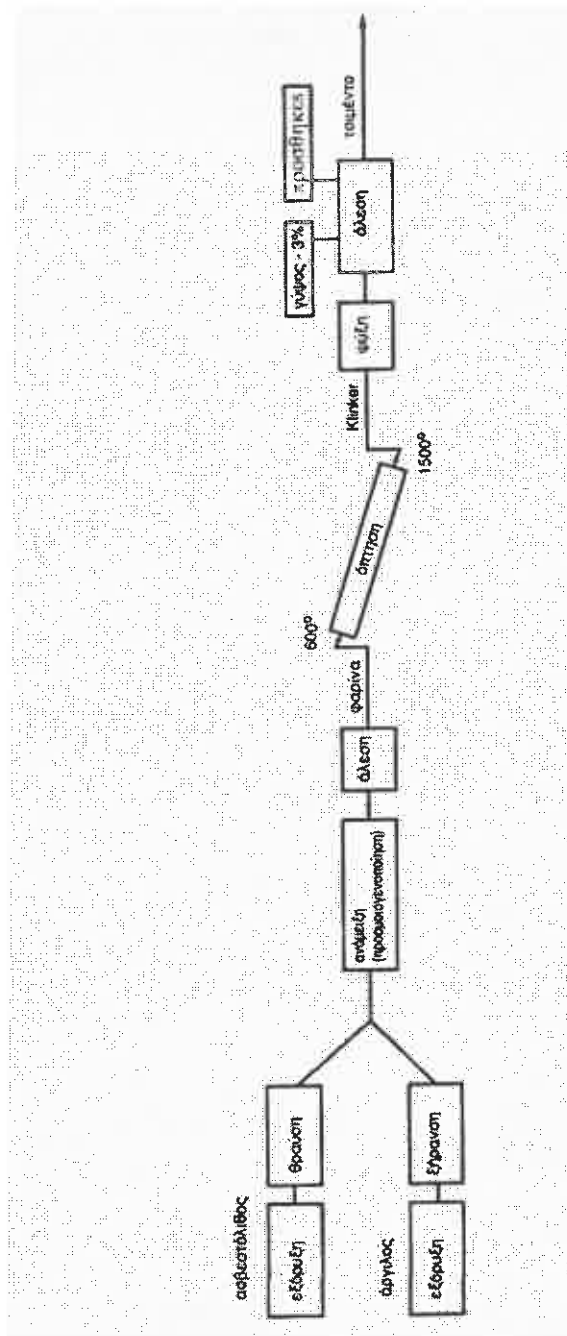
Χαρακτηριστικό μέγεθος του μείγματος των αδρανών, που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής εξωτερικής επιφάνειας των κόκκων προς το συνολικό βάρος (cm^2/gr) ή προς τον συνολικό όγκο αυτών (cm^2/cm^3).

Η ειδική επιφάνεια ορίζει κατά άμεσο τρόπο τη συνολική ποσότητα του νερού που απαιτείται για να διαβρέξει τους κόκκους και επομένως έμμεσα και την ποσότητα του τσιμέντου που θα απαιτηθεί για να περιβάλλει τους κόκκους.

1.3 ΤΣΙΜΕΝΤΟ

1.3.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Το τσιμέντο, σε αντίθεση με άλλες φυσικές κονίες, είναι ένα βιομηχανικά παραγόμενο προϊόν που παρασκευάζεται από την επί μέρους άλεση και κατόπιν τη σύγχρονη ανάμειξη και όπτηση ασβεστολίθου και αργίλου. Κατόπιν το δημιουργούμενο προϊόν, ονομαζόμενο κλίνκερ, συναλέθεται με την κατάλληλη ποσότητα γύψου, και προκύπτει η τελική μορφή του τσιμέντου, γνωστή ως τσιμέντο Portland. Η ακριβής διαδικασία παραγωγής του φαίνεται στο σχήμα 5.



Σχ. 5 : Σχηματικό διάγραμμα παραγωγής τσιμέντου [1].

1.3.2 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

Η χημική σύνθεση επηρεάζει τη συμπεριφορά των διαφόρων ειδών τσιμέντου Portland, και εξαρτάται από την χημική σύνθεση των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες, από τον τρόπο παραγωγής και κυρίως από το χρόνο και τη θερμοκρασία όπτησης.[1]

Τα κύρια χημικά συστατικά του τσιμέντου συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 2 : Συστατικά τσιμέντου Portland

Ονομασία	Χημική Ένωση	Περιεκτικότητα % κ.β
Πυριτικό τριασβέστιο	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S)	60
Πυριτικό διασβέστιο	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S)	15
Αργιλικό τριασβέστιο	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)	7
Σιδηραργιλικό τετρασβέστιο	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF)	11
Δευτερεύοντα συστατικά (MgO , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, K_2O , Na_2O)		Μικρές ποσότητες

Η αναλογία των παραπάνω συστατικών έχει επίδραση στην ταχύτητα αναπτύξεως της αντοχής, γιατί το καθένα απ' αυτά αντιδρά διαφορετικά κατά την ένωσή του με το νερό.

Πιο συγκεκριμένα το C_3S ενυδατώνεται ταχέως παράγοντας σημαντική ποσότητα θερμότητας ενώ συμβάλλει σημαντικά και στην ανάπτυξη της πρώιμης αντοχής ειδικά για τις πρώτες 14 ημέρες. Αντιθέτως το C_2S , το οποίο ενυδατώνεται αργά, ευθύνεται κυρίως για την ανάπτυξη της αντοχής μετά από 7 ημέρες ενώ μπορεί να παραμένει ενεργό για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα. Επιπλέον είναι γενικά αποδεκτό ότι τσιμέντα πλούσια σε C_2S αποκτούν μεγαλύτερη αντίσταση σε χημική προσβολή και παρουσιάζουν μικρότερη συστολή ξήρανσης σε σχέση με άλλα τσιμέντα Portland. Η ενυδάτωση του C_3A είναι εξαιρετικά εξώθερμη και λαμβάνει χώρα πάρα πολύ γρήγορα προσδίδοντας ταυτόχρονα μικρή αύξηση στην αντοχή ύστερα από 24 ώρες. Το λιγότερο σταθερό από τα 4 κύρια συστατικά είναι το C_3A , ενώ τα τσιμέντα που το περιέχουν σε ποσοστό μεγαλύτερο από 10% είναι επιρρεπή σε προσβολή από θειικά. Τέλος το C_4AF είναι μικρότερης σημασίας, όσον αφορά τις ιδιότητες του σκυροδέματος, σε σχέση με τα άλλα συστατικά [4].

1.3.3 ΤΥΠΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ

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

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο για τα κοινά τσιμέντα ΕΛΟΤ/EN 197 -1 διακρίνονται 5 βασικοί τύποι τσιμέντου και 3 κατηγορίες αντοχών.[14]

Τύποι

- Τσιμέντο CEM I Τσιμέντο Portland
- Τσιμέντο CEM II Σύνθετο Τσιμέντο Portland
- Τσιμέντο CEM III Σκωριοτσιμέντο
- Τσιμέντο CEM IV Ποζολανικό Τσιμέντο
- Τσιμέντο CEM V Σύνθετο Τσιμέντο.

Αντοχές

- 32.5 MPa

- 42.5 MPa
- 52.5 MPa (1 MPa = 1N/mm² = 10.2 kp/cm²)
με υποκατηγορία N (normal) ή R (rapid) πρώιμης αντοχής.

1.3.4 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ PORTLAND

Λεπτότητα άλεσης

Η αντίδραση μεταξύ νερού και τσιμέντου ξεκινάει από την επιφάνεια των κόκκων του τσιμέντου οπότε όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια συγκεκριμένου όγκου τσιμέντου τόσο ταχύτερη είναι η ενυδάτωση. Προκύπτει λοιπόν ότι ένα λεπτοαλεσμένο τσιμέντο αναπτύσσει αντοχή και παράγει θερμότητα πιο γρήγορα από ένα χονδρόκοκκο τσιμέντο. Γενικά, τα λεπτοαλεσμένα τσιμέντα βελτιώνουν τη συνεκτικότητα του νωπού σκυροδέματος, μειώνουν τον κίνδυνο της εξίδρωσης αυξάνουν όμως την τάση για δημιουργία ρωγμών συρρίκνωσης.

Ενυδάτωση, πήξη και σκλήρυνση

Η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος οφείλονται αποκλειστικά στη χημική δράση τσιμέντου και νερού. Τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό ύστερα από μια σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που διαρκούν επί χρόνια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ενυδάτωση.

Για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα το μείγμα δεν φαίνεται να παρουσιάζει καμιά μεταβολή. Αργότερα όμως φαίνεται ότι αρχίζει να πήζει προοδευτικά έως ότου στερεοποιηθεί τελείως. Το φαινόμενο αυτό καλείται πήξη της τσιμεντοκονίας. Η αρχή μιας αξιοσημείωτης σκλήρυνσης του τσιμέντου είναι γνωστή ως αρχή της πήξης. Περαιτέρω σκλήρυνση προκύπτει καθώς ο όγκος του πήγματος αυξάνει και το σημείο στο οποίο αυτή ολοκληρώνεται και ξεκινάει η τελική διαδικασία σκλήρυνσης, που προσδίδει την αντοχή, είναι γνωστό ως τέλος της πήξεως. Ο χρόνος που ξεκινάει με την προσθήκη νερού μέχρι την αρχική και τελική πήξη είναι γνωστός ως χρόνος πήξης. Ο χρόνος πήξης επηρεάζεται από τη σύνθεση του σκυροδέματος και τη λεπτότητα άλεσης [4].

Η έναρξη και η λήξη της πήξης καθορίζονται συμβατικά με μία απλή συσκευή με την οποία μετράται ο χρόνος κατά τον οποίο τυποποιημένες ακίδες (βάρους σχήμα) διεισδύουν κατά καθορισμένο τρόπο στη μάζα τσιμεντοπολτού ορισμένης σύνθεσης [18].

Στην περίπτωση του σκυροδέματος, δηλαδή του μίγματος, νερού και αδρανών, ο χρόνος ως την αρχή της πήξης γίνεται δύο έως τέσσερις φορές μεγαλύτερος.

Οι χημικές διαδικασίες αρχίζουν αμέσως μετά την ανάμειξη των δύο υλικών και συνεχίζονται ομαλά επί χρόνια. Κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων αυτών τα τέσσερα κύρια συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό και σχηματίζουν ένυδρες ενώσεις. Η μορφή των αντιδράσεων αυτών δεν είναι τελείως γνωστή κυρίως για τα δύο τελευταία συστατικά. Η αρχική και τελική μορφή των ενώσεων είναι η εξής :

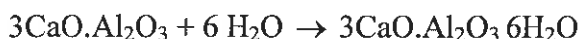
Για το πυριτικό τριασβέστιο:



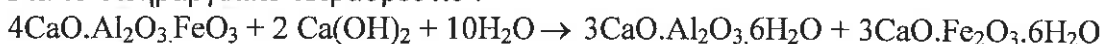
Για το πυριτικό διασβέστιο :



Για το αργιλικό τριασβέστιο:



Για το σιδηραργλικό τετρασβέστιο :

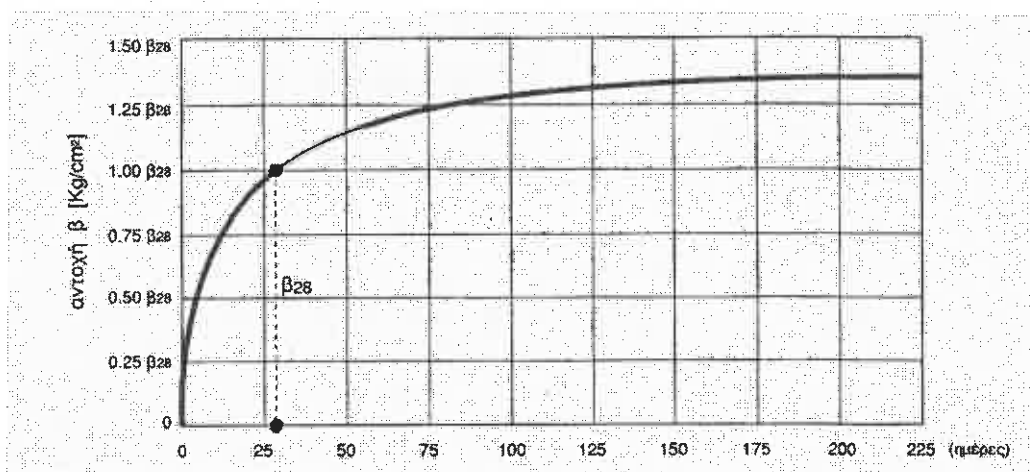


Το κυριότερο προϊόν των αντιδράσεων αυτών είναι οι δύο πυριτικές ενώσεις που συμβολίζονται με C-S-H (δηλ. ένυδρες πυριτικές ενώσεις) που αποτελούν το πήγμα, άμορφο αρχικά και κρυσταλλούμενο βραδύτατα με την πάροδο του χρόνου.[1]

Οι χημικές αυτές αντιδράσεις πραγματοποιούνται με σύγχρονη έκλυση θερμότητας και συστολή του όγκου των αρχικών προϊόντων. Το τσιμέντο είναι κακός αγωγός της θερμότητας και η θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης μπορεί να έχει ανεπιθύμητες επιπτώσεις στις ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος σαν αποτέλεσμα των μικρορωγμών του κονιάματος. Οι μικρορωγμές αυτές δημιουργούνται από το ασυμβίβαστο των θερμοκρασιακών παραμορφώσεων. Τα πιθανά πλεονεκτήματα που συνδέονται με τον αυξημένο ρυθμό ενυδάτωσης, μπορούν υπό αυτές τις συνθήκες να εξαλειφθούν από την απώλεια σε ανθεκτικότητα του σκυροδέματος λόγω μικρορωγμών.

Το τσιμέντο δεσμεύει 25-28% του βάρους του σε νερό. Πέρα από αυτό ένα μέρος ακόμη συγκρατείται ως νερό των πόρων του πηγματος. Το ποσοστό του νερού αυτού εξαρτάται από το λόγο N/T και τον τρόπο συντήρησης, κυμαίνεται όμως περί το 15% του βάρους του τσιμέντου.

Η βαθμιαία εξέλιξη της ενυδάτωσης δεν μπορούμε να την παρακολουθήσουμε απευθείας, αλλά εμμέσως από την παρακολούθηση της εξέλιξης της αντοχής του υλικού. Η εξέλιξη της αντοχής απεικονίζεται από καμπύλη εκθετικής μορφής με ασύμπτωτη την τελική τιμή της αντοχής. (σχ.6)



Σχ.6 : Ενδεικτική μορφή της καμπύλης ανάπτυξης της αντοχής με το χρόνο [1].

Η ενυδάτωση και η ανάπτυξη της αντοχής έχουν άμεση πρακτική αξία στο χρόνο αφαίρεσης των ξυλοτύπων των κατασκευών.

Αντοχή

Η αντοχή του σκληρυμένου τσιμέντου είναι γενικά η πιο σημαντική του ιδιότητα. Οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη των αντοχών του τσιμέντου είναι [11] :

- Η φύση του συγκεκριμένου τσιμέντου που καθορίζει τις δυνάμεις συνοχής και συνάφειας που δημιουργούνται μεταξύ των κόκκων του ενυδατωμένου υλικού
- Η λεπτότητα του τσιμέντου η οποία επιδρά στην κινητική της ενυδάτωσης και επομένως στο ρυθμό ανάπτυξης των αντοχών. Ειδικότερα, μεγαλύτερο ποσοστό κόκκων μικρής διαμέτρου προκαλεί σημαντική επιτάχυνση των αρχικών αντοχών
- Ο λόγος νερού προς τσιμέντο ο οποίος καθορίζει το πορώδες της πάστας. Για συγκεκριμένο βαθμό ενυδάτωσης, η ελάττωση του λόγου νερό/τσιμέντο προκαλεί αύξηση αντοχών
- Ο χρόνος ενυδάτωσης
- Η θερμοκρασία η οποία επιδρά τόσο στο βαθμό ενυδάτωσης όσο και στη δομή των ενυδατωμένων προϊόντων

Σύμφωνα με το πρότυπο EN 197-1 τα τσιμέντα πρέπει να είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Πίνακα 3 ανάλογα με την κατηγορία αντοχής στην οποία ανήκουν.

Πίνακας 3: Μηχανικές και φυσικές απαιτήσεις για τα τσιμέντα CEM σύμφωνα με πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1 (Οι αναγραφόμενες τιμές είναι χαρακτηριστικές τιμές 5%).

Κατηγορία Αντοχής	Αντοχή σε Θλίψη MPa				Χρόνος αρχής πήξης min	Σταθερότητα όγκου (Διαστολή) mm
	Πρώιμη αντοχή		Τυπική αντοχή			
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες			
32,5 N	-	>16,0	>32,5	<52,5	>75	<10
32,5 R	>10,0	-				
42,5 N	>10,0	-	>42,5	<62,5	>60	
42,5 R	>20,0	-				
52,5 N	>20,0	-	>52,5	-	>45	
52,5 R	>30,0	-				

Σταθερότητα όγκου

Εκτενής αλλαγή στον όγκο, ιδιαίτερα διόγκωση, του τσιμεντοπολτού μετά την πήξη, δείχνει ότι το τσιμέντο δεν είναι υγιές και δεν είναι κατάλληλο για την παρασκευή σκυροδέματος. Γενικώς η επίδραση της χρήσης μη υγιούς τσιμέντου μπορεί να μην είναι εμφανής για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα, αλλά συνήθως εμφανίζεται με τη μορφή ρωγμών και αποσύνθεσης της επιφάνειας του σκυροδέματος. Η σταθερότητα όγκου καθορίζεται συνήθως με τη δοκιμή Le Chatelier η διαστολή της οποίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10mm όπως φαίνεται στον Πίνακα 3. [19]

1.3.5 ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Ποζολάνες

Ποζολάνες ονομάζουμε πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, που έχουν την ιδιότητα να ενώνονται με την υδράσβεστο και να σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις που με το χρόνο σκληρύνονται και αποκτούν μικρές ή μεγαλύτερες αντοχές. Η δράση αυτή οφείλεται κυρίως στο άμορφο πυριτικό υλικό των ποζολανών.

Ιπτάμενη Τέφρα

Ιπτάμενη τέφρα ονομάζουμε τα σε λεπτότατο καταμερισμό κατάλοιπα που προκύπτουν από την καύση γαιανθράκων ή λιγνιτών και που συλλέγονται κατά τη έξοδο των αερίων καύσεως από τις καπνοδόχους των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα.

Η δραστικότητα των τεφρών οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO_2 , Al_2O_3 και CaO . Οι δύο πρώτες ενώσεις προσδίδουν στην τέφρα ποζολανικές ιδιότητες, ενώ το οξείδιο του ασβεστίου υδραυλικές ιδιότητες.

Ασβεστόλιθος

Ο ασβεστόλιθος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των τσιμέντων Portland με ασβεστόλιθο ή των Portland σύνθετων τσιμέντων. Για να χρησιμοποιηθεί πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 75% CaCO_3 και περιορισμένη περιεκτικότητα σε αργίλους και ολικό οργανικό άνθρακα, όπως ορίζει ο κανονισμός.

1.4 ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΕΙΞΕΩΣ

Το νερό είναι ένα από τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Μαζί με το τσιμέντο παίρνει μέρος σε σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν, στην πήξη και τη σκλήρυνση του μίγματος. Επίσης διευκολύνει την ανάμειξη, την τοποθέτηση και συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος. Η βασική απαίτηση απέναντι στο νερό είναι να μην περιέχει συστατικά που μπορούν να βλάψουν ή να επηρεάσουν τις αντιδράσεις ενυδατώσεως. Γενικά, το πόσιμο νερό, όπως το νερό της βρύσης, είναι κατάλληλο για την ανάμειξη του σκυροδέματος.

Ουσίες όπως, ιλύς, άργιλος, οξέα, αλκάλια, άλατα, οργανικές ουσίες, ζάχαρη κ.α. είναι πιθανόν να επιδράσουν αρνητικά, όταν βρίσκονται σε σημαντικές ποσότητες. Η χρήση του θαλασσινού νερού δεν φαίνεται να έχει επίδραση στην αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος αλλά προκαλεί επιφανειακές

αλλοιώσεις και λεκέδες οπότε πρέπει να αποφεύγεται όταν η εμφάνιση του σκυροδέματος είναι ένας σημαντικός παράγοντας. Όμως το θαλασσινό νερό αυξάνει τον κίνδυνο για διάβρωση του χάλυβα και δεν συνιστάται συνεπώς η χρήση του σε οπλισμένο σκυρόδεμα.[4][14]

Για το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος μπορούμε, γενικά, να είμαστε περισσότερο ανεκτικοί, παρά για τα νερά που δρουν εξωτερικά και μόνιμα. Και αυτό, γιατί η ποσοστιαία αναλογία του νερού ανάμειξης, και συνεπώς και κάθε ξένης ουσίας μέσα σε αυτό, είναι μικρή και εξάλλου γιατί οι ουσίες αυτές δρουν ώσπου να εξαντληθούν. Στην περίπτωση όμως των εξωτερικών νερών, όπως το θαλασσινό ή τα νερά των αποχετεύσεων, η δράση τους είναι μόνιμη και η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών ανεξάντλητη, αφού τα νερά αυτά ανανεώνονται συνεχώς.

1.5 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Πρόσθετα υλικά ονομάζονται τα υλικά που προστίθενται σε μικρές ποσότητες στο σκυρόδεμα συνήθως κατά την ανάμειξη και τα οποία δρώντας κατά τρόπο χημικό ή φυσικοχημικό βελτιώνουν ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος. Οι ποσότητες είναι πολύ μικρές για να επηρεάσουν ουσιαστικά τις αναλογίες σύνθεσης του σκυροδέματος (εκτός από την ποσότητα του νερού που μπορεί να περιέχουν). [9]

Από τον ορισμό που δόθηκε παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα ότι στα πρόσθετα υλικά δεν περιλαμβάνονται υλικά που προσθέτονται στο τσιμέντο κατά τη διάρκεια της παρασκευής του στο εργοστάσιο ή υλικά που επιστρώνονται πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος μετά τη διάστρωση ή την πήξη του.

Οι κύριες κατηγορίες τέτοιων υλικών είναι οι εξής :

- Ρευστοποιητικά
- Αερακτικά
- Επιβραδυντικά
- Επιταχυντικά
- Στεγανοποιητικά
- Αντιπαγετικά

Επίσης μπορούν να αναφερθούν και οι παρακάτω δευτερεύουσες κατηγορίες:

- Αεραπαγωγά
- Διογκωτικά
- Αντιδιαβρωτικά
- Δραστικά κατά των μηκύτων και μικροβίων
- Χρώματα

1.5.1 ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ

Χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που προκαλούν αύξηση ρευστότητας του μίγματος. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ελαττωθεί το νερό ανάμειξεως για τον ίδιο βαθμό εργασιμότητας, με αποτέλεσμα επομένως να αυξηθεί η αντοχή ή ακόμα να αυξηθεί το εργάσιμο χωρίς μείωση της τελικής αντοχής.

Η δράση των ρευστοποιητικών στηρίζεται στην ελάττωση της επιφανειακής τάσεως του νερού και των δυνάμεων συνοχής που αναπτύσσονται ανάμεσα στους κόκκους του τσιμέντου, με συνέπεια την ελάττωση της εσωτερικής τριβής.

Οι κόκκοι του τσιμέντου, αφού περιβληθούν από μόρια νερού, δημιουργούν σωματίδια φορτισμένα, με ομόσημο ηλεκτρικό φορτίο, που απωθούνται μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό παρεμποδίζεται η συγκόλλησή τους, δημιουργείται ένα ομοιόμορφο αιώρημα και ελαττώνεται η μεταξύ τους τριβή κατά την κίνηση του υλικού. Χαρακτηριστικό ενός τέτοιου αιωρήματος, στο οποίο οι κόκκοι απωθούνται μεταξύ τους, είναι ότι παραμένει πολύ περισσότερο διάστημα ως αιώρημα, μετά την καθίζηση όμως των κόκκων δημιουργείται στρώμα πυκνότερο.[1]

Τα πρόσθετα αυτής της κατηγορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή να αξιοποιηθούν με τρεις τρόπους στη σκυροδέτηση ενός μείγματος:

A) Να μειωθεί ο λόγος νερού προς τσιμέντο (N/T) χωρίς να μεταβληθεί η εργασιμότητα του μείγματος (mm κάθισης) που οδηγεί σε σκυρόδεμα υψηλής αντοχής.

B) Να διατηρηθεί η αρχική ποσότητα του νερού στο μείγμα σχεδιασμού, οπότε η προσθήκη του πρόσθετου αυξάνει την εργασιμότητα. Στην περίπτωση αυτή η αντοχή του σκυροδέματος με πρόσθετο παραμένει της αυτής τάξεως με την του σκυροδέματος χωρίς πρόσθετο.

Γ) Να προστεθεί πρόσθετο και να διατηρηθεί ο ίδιος λόγος N/T με το μείγμα σχεδιασμού αλλά να μειωθεί το ποσό τνου τσιμέντου. Έτσι, δεν μεταβάλλεται η αντοχή του σκυροδέματος αλλά προκύπτει σημαντική οικονομία στο τσιμέντο ή όπου ζητείται μείωση της θερμότητας ενυδάτωσης. Οι ρευστοποιητές έχουν την ικανότητα να ρευστοποιούν σε μεγάλο βαθμό το σκυρόδεμα (κάθιση της τάξεως 175-225 mm) ή επιτρέποντας μείωση του νερού μίξεως έως και 30%, να καθιστούν δυνατή τη σκυροδέτηση και διάστρωση (κάθιση 75 mm) μειγμάτων με λόγο N/T=0,30. Τα σκυροδέματα αυτά είναι εξαιρετικά υψηλής αντοχής.[9]

1.5.2 ΑΕΡΑΚΤΙΚΑ

Τα αερακτικά είναι υλικά που προκαλούν την ανάπτυξη μικρών φυσαλίδων μέσα στο κονίαμα. Η ανάπτυξη φυσαλίδων σε μεγαλύτερο ποσοστό εφαρμόζεται και για τη δημιουργία ελαφρού σκυροδέματος. Η δημιουργία όμως φυσαλίδων στην παρούσα περίπτωση έχει σκοπό να αυξήσει το εργάσιμο και την αντοχή στον παγετό, χωρίς αισθητή μείωση της θλιπτικής αντοχής.

Τα αερακτικά είναι ουσίες της ίδιας περίπου φύσεως με τα ρευστοποιητικά. Οι φυσαλίδες που δημιουργούνται έχουν μέγεθος 0.02-0.2 mm, και το συνολικό ποσοστό του αέρα που περικλείεται μέσα στο σκυρόδεμα κυμαίνεται μεταξύ 4 και 8% κατ' όγκο περίπου.

Οι φυσαλίδες συντελούν στη μείωση της εσωτερικής τριβής του υλικού και εργάζονται σαν ελαστικά μαξιλάρια μεταξύ των κόκκων.

1.5.3 ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΙΚΑ

Ως επιβραδυντικά πρόσθετα χαρακτηρίζονται τα υλικά που επιβραδύνουν την εξέλιξη της ενυδάτωσης.

Τα επιβραδυντικά βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε σκυροδετήσεις σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος εξαιτίας της οποίας μειώνεται ο χρόνος πήξης και στη μεταφορά έτοιμου σκυροδέματος όπου λόγω των αναπόφευκτων καθυστερήσεων του

αναμικτήρα (κυκλοφοριακά προβλήματα) απαιτείται επιβράδυνση του χρόνου πήξεως ώστε να παρέχεται δυνατότητα κατεργασίας του μερικές ώρες μετά την προσθήκη του νερού. Επίσης εφαρμόζεται για την αποφυγή αρμών διακοπής εργασίας σε μεγάλες κατασκευές όπου το σκυρόδεμα διαστρώνεται κατά τμήματα και είναι ιδιαίτερα σημαντικό να παραμένει πλαστικό για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Γενικά, οι επιβραδυντές αυξάνουν τους χρόνους πήξεως, την εργασιμότητα και σε μικρή κλίμακα το ποσοστό των κενών του σκυροδέματος. Παρατηρείται επίσης μια μείωση της εξίδρωσης και της θερμότητας ενυδάτωσης. Οι πρώιμες αντοχές (εφόσον δεν συνοδεύτηκε η προσθήκη πρόσθετου με μείωση του νερού) παρουσιάζονται μειωμένες. Εάν όμως συγχρόνως μειωθεί το νερό οι αντοχές αυξάνονται.[9]

1.5.4 ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΙΚΑ

Οι επιταχυντές όπως και οι επιβραδυντές παρεμβαίνουν στο σύστημα νερό-τσιμέντο και επηρεάζουν την ταχύτητα ενυδάτωσης των ενώσεων του τσιμέντου. Μειώνουν το χρόνο πήξεως και επιταχύνουν την ανάπτυξη μηχανικής αντοχής του τσιμέντου. Αρχικά η χρήση των επιταχυντών γινόταν κυρίως σε περιπτώσεις σκυροδέτησης σε χαμηλές θερμοκρασίες, σήμερα όμως το πεδίο εφαρμογών τους έχει διευρυνθεί. Θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν παρουσιάζουν δράση αντιψυκτικού, δηλαδή δεν ταπεινώνουν ουσιαστικά το σημείο πήξης του νερού μίξεως.

1.5.5 ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ

Η δράση των στεγανοποιητικών αποσκοπεί :

- Στην αποφυγή μακροσκοπικών κοιλιοτήτων και ρηγματώσεων, π.χ με τη βελτίωση του εργάσιμου και την μείωση της απόμειξης και των συστολών.
- Στην ελάττωση του πορώδους, π.χ με τη ελάττωση του απαιτούμενου νερού ανάμειξης
- Στην μείωση της συνάφειας ή στην ανάπτυξη υδραπωθητικών δυνάμεων μεταξύ τσιμεντοκονιάματος και νερού.

1.5.6 ΑΝΤΙΠΑΓΩΤΙΚΑ

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται πρόσθετα που έχουν σκοπό να μειώσουν ή να άρουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις του παγετού κατά την περίοδο της πήξης και επιτρέπουν έτσι τη σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η δράση τους έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση ιδιοτήτων, που συντελούν στην αύξηση της αντοχής σε παγετό. Τα περισσότερα από τα αντιπαγετικά πρόσθετα που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι συνδυασμός αερακτικών, ρευστοποιητικών και επιταχυντικών. Τα πρόσθετα αλλά και οι χρήσεις τους φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα 4.

Πίνακας 4 : Χρήσεις προσθέτων σκυροδέματος [9]

Πρόσθετο	Δράση	Εφαρμογή
Αερακτικά	Αυξάνουν την εργασιμότητα φτωχών σε τσιμέντο μιγμάτων Αυξάνουν και σταθεροποιούν το ποσοστό του περιεχόμενου αέρα	Ανθεκτικότητα σε παγοπληξία
Επιταχυντές	Μείωση χρόνου πήξεως, αύξηση αρχικών αντοχών	Σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες, μείωση χρόνου συντήρησης – προστασίας του σκυρ/τος, ταχεία πρόοδο εργασιών
Επιβραδυντές	Αύξηση χρόνου πήξεως, επιμήκυνση χρόνου πλαστικής κατάστασης του σκυρ/τος	Σκυροδέτηση σε υψηλές θερμοκρασίες, αποφυγή αρμών διακοπής εργασιών, μεταφορά έτοιμου σκυρ/τος
Μειωτές νερού (με σύγχρονη επιταχυντική ή επιβραδυντική δράση)	Αύξηση εργασιμότητας συνεκτικότητας για δεδομένο λόγο N/T, Αύξηση αντοχών σκυροδέματος με μείωση του νερού (N/T), μείωση μέχρι 10% του τσιμέντου.	Οικονομία υλικών, καλύτερη ποιότητα σκυρ/τος λόγω αύξησης πυκνότητας μονάδας όγκου
Ρευστοποιητές (με σύγχρονη επιβραδυντική δράση)	Πολύ υψηλή εργασιμότητα για δεδομένο λόγο N/T, Μείωση του απαιτούμενου νερού μέχρι 30%, αύξηση αντοχών	Αντλήσιμο σκυρόδεμα, προκατασκευή, ενέματα, υψηλής αντοχής σκυρόδεμα, οικονομία υλικών, ευκολία διάστρωσης σε περιπτώσεις πυκνά οπλισμένων στοιχείων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1 ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1.1 ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ

Το νωπό σκυρόδεμα πρέπει να έχει τέτοια σύνθεση ώστε τα συστατικά του να παραμένουν ομοιόμορφα κατανεμημένα στο εσωτερικό του τόσο κατά την περίοδο μεταξύ ανάμειξης και συμπύκνωσης όσο και κατά την περίοδο που ακολουθεί την συμπύκνωση αλλά προηγείται της σκλήρυνσης του σκυροδέματος. Εξαιτίας των διαφορετικών μεγεθών των συστατικών του σκυροδέματος, έχουν αυτά εκ φύσεως την τάση να διαχωριστούν. Γενικά, η τάση αυτή είναι μεγαλύτερη σε μίγματα υψηλής εργασιμότητας. Συγκεκριμένα το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα έχει αυτήν την τάση και γι' αυτό πρέπει να καθορίζεται η σύνθεση με πιο μεγάλη προσοχή. Το σκυρόδεμα γενικά (αυτοσυμπυκνούμενο ή μη) πρέπει να είναι ικανό να διατηρεί την απαιτούμενη αυτή ενιαία μορφή και να μην απομειγνύεται. Γενικά τα πιο συνεκτικά μίγματα ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Για ένα μη σταθερό μίγμα το αν τα συστατικά του θα διαχωριστούν ή όχι, εξαρτάται από τις μεθόδους μεταφοράς, τοποθέτησης και συμπύκνωσης. Δύο από τις πιο χαρακτηριστικές ιδιότητες ενός μη σταθερού μίγματος είναι η απόμειξη και η εξίδρωση [4].

2.1.1.1 Απόμειξη

Τα στερεά συστατικά όχι μόνο σαν σύνολο διαχωρίζονται από το νερό, αλλά και μεταξύ τους χωρίζονται, κατά την κίνηση προς τα κάτω, ανάλογα με το βάρος τους. Τα βαρύτερα έχουν την τάση να κινηθούν προς τα χαμηλότερα στρώματα και έτσι τελικά να τακτοποιηθούν σε στρώσεις ανάλογα με το βάρος τους. Το φαινόμενο αυτό λέγεται απόμειξη του σκυροδέματος.

Αν οι κόκκοι είναι από το ίδιο πέτρωμα και επομένως έχουν το ίδιο ειδικό βάρος, ο διαχωρισμός γίνεται ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων.

Απόμειξη μπορεί επίσης να δημιουργηθεί κατά την μεταφορά του σκυροδέματος και κατά την διάστρωσή του. Για τον λόγο αυτό λαμβάνονται ειδικά μέτρα για την αποφυγή αυτού του φαινομένου σε όλες τις φάσεις της ενσωμάτωσης του σκυροδέματος στο έργο από τη στιγμή της παρασκευής του έως τη στιγμή της τελικής μόρφωσης της επιφάνειάς του.

Το φαινόμενο της απόμειξης είναι από τα πιο καταστρεπτικά για την αντοχή και για την ποιότητα του σκυροδέματος, γιατί όπως είναι φανερό, μεταβάλλει τις αναλογίες μίξεως κατά τρόπο ανομοιόμορφο και απρόβλεπτο.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται περιοχές με μειωμένη αντοχή, καθώς επίσης και μειωμένη πρόσφυση οπλισμού και σκυροδέματος από την έλλειψη κονιάματος.[1]

Οι διάφορες προδιαγραφές και οδηγίες κατασκευής προβλέπουν - εκτός από την ορθή μελέτη σύνθεσης- μια σειρά από προφυλάξεις και μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται ώστε να αποφεύγεται τελείως ή σε μεγάλο βαθμό η απόμειξη

2.1.1.2 Εξίδρωση

Κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης και μέχρι το σκυρόδεμα να σκληρυνθεί, τα στερεά συστατικά του παρουσιάζουν τη φυσική τάση, που εξαρτάται από το μέγεθος και το ειδικό βάρος τους, να καθιζάνουν. Όπου η σύσταση του μείγματος είναι τέτοια που δεν μπορεί να κρατήσει όλο της το νερό, κάποια ποσότητα αυτού αλλάζει θέση σταδιακά και ανεβαίνει στην επιφάνεια. Άλλη ποσότητα νερού μπορεί επίσης να διαφύγει από τις ενώσεις των ξυλοτύπων. Ο διαχωρισμός του νερού από το μείγμα κατά αυτόν τον τρόπο είναι γνωστός ως εξίδρωση. Καθώς το νερό πλησιάζει στην επιφάνεια, κάποια ποσότητα μπορεί να παγιδευτεί κάτω από μεγαλύτερα συστατικά και κάτω από τις ράβδους του οπλισμού. Οι αλλαγές που προκύπτουν στην περιεκτικότητα σε ενεργό νερό μέσα στη μάζα του σκυροδέματος προκαλούν αλλαγές στις ιδιότητές του. Για παράδειγμα, η αντοχή του σκυροδέματος ακριβώς κάτω από τις ράβδους του οπλισμού και τα χονδρόκοκκα αδρανή, μπορεί να είναι πολύ μικρότερη από τη μέση αντοχή ενώ η διαπερατότητα σε υγρά και ιόντα σε αυτές τις περιοχές είναι αυξημένη. Η συγκέντρωση νερού κάτω από το οπλισμό μειώνει τη συνάφεια οπλισμού και σκυροδέματος και εφ' όσον συμβαίνει συστηματικά μπορεί να ελαττώσει την αντοχή του οπλισμένου στοιχείου. Γενικά, η αντοχή του σκυροδέματος αυξάνεται με το βάθος κάτω από την επιφάνεια. Το νερό που φτάνει στην επιφάνεια δημιουργεί τα πιο σοβαρά πρακτικά προβλήματα. Αν δεν απομακρυνθεί, το σκυρόδεμα στην επιφάνειά του αλλά και κοντά σε αυτήν θα είναι πολύ πιο αδύνατο και λιγότερο ανθεκτικό απ' ό,τι στην υπόλοιπη μάζα του. Αυτό αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στις πλάκες, οι οποίες έχουν μεγάλη επιφάνεια και είναι επιρρεπείς σε φθορά από απότριψη. Από την άλλη μεριά, η απομάκρυνση του νερού από την επιφάνεια καθυστερεί τη διαδικασία τελειώματος της επιφάνειας στο έργο.[4]

Η εξίδρωση δημιουργεί επίσης ανισοτροπία στο σκυρόδεμα ανάλογα με τη διεύθυνση της βαρύτητας η οποία καθορίζει και τη διεύθυνση ανόδου του νερού. Τόσο η αντοχή σε εφελκυσμό όσο και το μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό είναι μικρότερα όταν μετρούνται με δυνάμεις που εφαρμόζονται στο σκυρόδεμα παράλληλα με τη διεύθυνση της διάστρωσής του και μεγαλύτερα όταν η επιβολή της δύναμης γίνεται κάθετα προς τη διεύθυνση της διάστρωσης [9]

Ο κίνδυνος εξίδρωσης αυξάνεται όταν το σκυρόδεμα συμπυκνώνεται με δόνηση, αν και ελαχιστοποιείται όταν το μείγμα του σκυροδέματος έχει σχεδιαστεί σωστά και το σκυρόδεμα δεν υπερδονείται. Επιπλέον, ο τύπος του τσιμέντου που χρησιμοποιείται παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς η τάση για εξίδρωση μειώνεται όσο πιο λεπτοαλεσμένο είναι και όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε αργλικό τριασβέστιο (C_3A).

Οι δυσμενείς επιδράσεις της εξίδρωσης αίρονται τελείως, αν στην αρχή της πήξεως αποκατασταθεί με αναμόχλευση και αναδόνηση της μάζας η ομοιογένεια του υλικού. Στην περίπτωση αυτή μάλιστα η ποιότητα του σκυροδέματος βελτιώνεται, λόγω της μείωσης του νερού, που έχει ήδη γίνει και λόγω μη εμφάνισης πλέον περαιτέρω εξίδρωσης. Προσοχή όμως απαιτεί η επιλογή της κατάλληλης στιγμής για την αναμόχλευση, γιατί πέρα από κάποιο χρονικό όριο μπορεί να καταστραφεί με την αναμόχλευση η κρυσταλλική δομή της κονίας.

Επίσης, η αύξηση της περιεκτικότητας σε αέρα επιδρά ανασταλτικά στην εξίδρωση γιατί οι φυσαλίδες παρεμποδίζουν την κίνηση του νερού.[4]

Βέβαια, θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι οι επιδράσεις της εξίδρωσης στα σύγχρονα σκυροδέματα και ιδιαίτερα στα σκυροδέματα που έχουν παρασκευαστεί

σύμφωνα με κάποια μελέτη σύνθεσης είναι πολύ μικρές για να δημιουργήσουν σοβαρούς κινδύνους

2.1.2 ΕΡΓΑΣΙΜΟ

Με τον όρο “εργάσιμο” ή “εργασιμότητα” χαρακτηρίζεται γενικά η ευκολία με την οποία μεταφέρεται, διαστρώνεται και συμπυκνώνεται το σκυρόδεμα.

Ο ορισμός όμως αυτός δεν είναι απόλυτα πλήρης, γιατί η ευκολία αυτή κατεργασίας του νωπού σκυροδέματος συνδέεται και με τα μέσα που διατίθενται.

Το εργάσιμο θα μπορούσε να θεωρηθεί ανεξάρτητα από τις εξωτερικές αυτές συνθήκες. Γι’ αυτό σωστότερο είναι να οριστεί ως το έργο που απαιτείται για την υπερνίκηση των εσωτερικών τριβών έως ότου επιτευχθεί πλήρης συμπίκνωση.

Το εργάσιμο είναι μια ιδιότητα σύνθετη που συνδέεται με άλλες ρεολογικές ιδιότητες και που δύσκολα μπορεί να αποδοθεί ποσοτικά.

Τέτοιες ιδιότητες, με τις οποίες συνδέεται και από τις οποίες εξαρτάται το εργάσιμο, είναι οι ακόλουθες :

Α) η ρευστότητα που σημαίνει την ευκολία με την οποία ρέει ένα υλικό. Η ρευστότητα εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του νερού αναμείξεως.

Β) η πλαστικότητα, με την οποία νοείται η ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή της συνέχειας του, δηλαδή χωρίς να ρηγματώνεται.

Γ) η συνοχή, η οποία είναι το αποτέλεσμα των δυνάμεων που έλκουν τα μόρια του υλικού μεταξύ τους και επομένως είναι μία από τις ιδιότητες που συντελούν στην πλαστικότητα.

Δ) η συμπυκνωσιμότητα, δηλαδή η δυνατότητα του υλικού να συμπυκνωθεί και που εξαρτάται από τα περιεχόμενα κενά και από τον αρχικό βαθμό συμπίκνωσης.

Ε) τέλος τον όρο συνεκτικότητα χρησιμοποιούμε πολλές φορές για να εκφράσουμε άλλοτε το εργάσιμο και άλλοτε τη ρευστότητα.

Άλλες ιδιότητες που έχουν άμεσα σχέση με τις ρεολογικές ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος είναι η αντλησιμότητα και η τελειωσιμότητα [20]

Το εργάσιμο αυξάνεται όσο αυξάνεται το νερό αναμείξεως, δηλαδή η ρευστότητα του μίγματος. Η ρευστότητα εξαρτάται περισσότερο από την ποσότητα του νερού αναμείξεως και πολύ λιγότερο από το λόγο νερού προς τσιμέντο.

Για την ίδια ρευστότητα το απαιτούμενο νερό ελαττώνεται γενικά όσο ελαττώνεται η ειδική επιφάνεια των αδρανών. Έτσι, ελαττώνεται όσο αυξάνεται ο μέγιστος κόκκος και η καμπύλη κοκκομετρικής σύνθεσης των αδρανών κατεβαίνει (αυξάνεται δηλαδή το χονδρόκοκκο υλικό). Από την άλλη πλευρά όμως η αύξηση του μέγιστου κόκκου και των χονδρόκοκκων αδρανών συντελεί στη μείωση της πλαστικότητας και της συνοχής, με κίνδυνο την απόμειξη.

Εξάλλου αδρανή με στρογγυλεμένους κόκκους βοηθούν στην αύξηση της ρευστότητας και του εργάσιμου για την ίδια ποσότητα νερού.

Με την προϋπόθεση ότι το σκυρόδεμα θα συμπυκνωθεί τελείως το εργάσιμο δεν έχει άμεση επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος.

Η μέτρηση του εργάσιμου δεν μπορεί να γίνει απευθείας. Γι’ αυτό έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι με τις οποίες μετρούμε μία ή περισσότερες από τις άλλες

ιδιότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Με τις μετρήσεις αυτές αποκτούμε μια έμμεση και κατά προσέγγιση εικόνα του βαθμού εργασιμότητας του σκυροδέματος. Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι οι ακόλουθες :

- A) κάθιση
- B) μέτρο εξαπλώσεως
- Γ) μέτρο συμπυκνώσεως
- Δ) δοκιμή VEBE

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος αν η εργασιμότητα δεν προδιαγράφεται η μελέτη σύνθεσης γίνεται με κάθιση 10–12 cm. Συνήθως όμως στην πράξη απαιτούνται εργασιμότητες 14–15 cm καθίσεως, πράγμα το οποίο μπορεί να επιτευχθεί χωρίς μείωση της αντοχής, με την προσθήκη υπερρευστοποιητικών.

2.2 ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.2.1 Αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις

Αντοχή ονομάζεται γενικά τη μέγιστη τιμή της δύναμης που μπορεί να παραλειφθεί και να μεταβιβαστεί από ένα στοιχειώδες τμήμα του υλικού χωρίς καταστροφή ή επικίνδυνη παραμόρφωσή του.

Η αντοχή εξαρτάται τόσο από τη φύση και την ποιότητα του υλικού όσο και από τη μορφή της εντατικής κατάστασης. Διαφορετική εμφανίζεται η αντοχή σε κάποια συγκεκριμένη καταπόνηση από ένα στοιχείο σε ένα άλλο και διαφορετική για το ίδιο στοιχείο, αν η καταπόνηση είναι αποτέλεσμα διαφορετικής εντατικής κατάστασης.

Το σωστό στην προκειμένη περίπτωση είναι ,λοιπόν, ότι η αντοχή δεν είναι σταθερή ιδιότητα του υλικού, αλλά αντοχή συγκεκριμένου υλικού σώματος σε συγκεκριμένη εξωτερική καταπόνηση.

2.2.2 Η αντοχή του σκυροδέματος και ο μηχανισμός θραύσεως

Υπάρχουν πρακτικοί και τεχνολογικοί παράγοντες που επιδρούν τόσο κατά την παρασκευή του σκυροδέματος όσο και στη μέτρηση της αντοχής. Οι παράγοντες αυτοί είναι [1]:

- Οι αναλογίες σύνθεσης, δηλαδή οι ποσότητες του τσιμέντου, του νερού και των αδρανών σε κάθε κυβικό μέτρο
- Η ποιότητα των υλικών, δηλαδή η ποιότητα των τριών συστατικών αλλά και βαθμός αλέσεως του τσιμέντου, το σχήμα και η μορφή των αδρανών, η κοκκομετρική διαβάθμιση, η ποιότητα του πετρώματος των αδρανών
- Τα παρασιτικά υλικά που αθέλητα εισχωρούν είτε μαζί με τους κόκκους των αδρανών, είτε με το νερό
- Η συμπίκνωση του νωπού σκυροδέματος
- Η ηλικία του σκυροδέματος
- Ο τρόπος συντήρησης, δηλαδή οι θερμοκρασιακές και υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται η πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος

- Η μορφή του δοκιμίου, στην οποία πρέπει να περιλάβουμε το σχήμα, το μέγεθος, την εξωτερική υφή, την επιπεδότητα ή η καμπυλότητα των παρειών και την ακρίβεια των γωνιών.
- Τέλος, η μορφή της καταπόνησεως, δηλαδή ο τρόπος και η ταχύτητα φόρτισης

Έχει διαπιστωθεί ότι ασυνέχειες του υλικού(μικρορωγμές), κυρίως ανάμεσα στο κονίαμα και τα αδρανή, υπάρχουν μέσα στη μάζα του σκυροδέματος ακόμη και πριν από κάθε καταπόνηση. Οι μικρορωγμές αυτές δημιουργούνται κυρίως από τις συστολές της κονίας κατά την πήξη, από τις συστολές που οφείλονται στην εξάτμιση του νερού και ενδεχομένως από κακή πρόσφυση κονιάματος και αδρανών

Επίσης, στην από κατασκευής ανομοιογένεια του υλικού(σκύρα, κονίαμα) πρέπει να συμπεριληφθούν και οι μικρορωγμές που υπάρχουν απαρχής στο υλικό. Συνεπώς με τη επιβολή εξωτερικού φορτίου η τάση μέσα στη μάζα δεν κατανέμεται ομοιόμορφα αλλά δημιουργούνται σημεία τοπικής συγκέντρωσης τάσεων καθώς και περιοχές εφελκυσμού.

2.2.3 Αντοχή σε διάφορες μορφές καταπόνησεων

Στατική καταπόνηση

Οι θλιπτικές αντοχές που κατορθώνουμε να πετύχουμε βρίσκονται συνήθως ανάμεσα στα όρια 50kg/cm^2 και 600kg/cm^2 περίπου. Για ειδικούς όμως σκοπούς μπορούν να κατασκευαστούν και σκυροδέματα με ακόμη μεγαλύτερες αντοχές.

Η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται στο $1/10$ έως $1/15$ της θλιπτικής αντοχής. Δεν έχει διαπιστωθεί άμεση αντιστοιχία ανάμεσα στη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή.

Από πειραματικά στοιχεία προκύπτει ότι με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής αυξάνεται και η εφελκυστική αντοχή, ο λόγος όμως ο λόγος $\beta_{εφ}/\beta_{θλ}$ μειώνεται, δηλαδή η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής δεν είναι ανάλογη με την αύξηση της θλιπτικής.

Πολυαξονική καταπόνηση

Η συμπεριφορά του σκυροδέματος σε πολυαξονική καταπόνηση, ιδίως θλιπτική, είναι γενικά παρόμοια με τη συμπεριφορά των άλλων υλικών. Σε περίπτωση σύγχρονης παρουσίας εγκάρσιων θλιπτικών τάσεων, η θλιπτική αντοχή εμφανίζεται αυξημένη. Πειράματα σε διαξονική καταπόνηση έδειξαν ότι με σύγχρονη παρουσία ίσης εγκάρσιας θλιπτικής δύναμης (ομοιόμορφη διαξονική καταπόνηση) η αντοχή σε θλίψη εμφανίζεται αυξημένη κατά 14-19% από την αντίστοιχη μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Η μεγαλύτερη αντοχή πετυχαίνεται όταν η εγκάρσια θλιπτική τάση είναι 0,5-0,6 της αντίστοιχης θλιπτικής τάσης. Η αντοχή σε θλίψη στην περίπτωση αυτή είναι κατά 24-29% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μονοαξονική αντοχή.

Η παρουσία εγκάρσιας εφελκυστικής τάσεως μειώνει γρήγορα την αντοχή σε θλίψη κατά την άλλη διεύθυνση.

Αντίθετα, σε περίπτωση εφελκυστικών τάσεων η τελική αντοχή σε εφελκυσμό δεν επηρεάζεται αισθητά.

Καταπόνηση με μεγάλη διάρκεια

Στη περίπτωση παραμονής της καταπόνησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα η θλιπτική αντοχή μειώνεται βαθμιαία. Η μείωση αυτή είναι αρκετά έντονη τα πρώτα 30-60 λεπτά της καταπόνησης και στη συνέχεια μειώνεται περίπου ανάλογα με τη χρονική διάρκεια της καταπόνησης.

Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση – Κόπωση

Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση με το ίδιο φορτίο ή μεταβολή της τάσεως μεταξύ δύο ορίων $\sigma_{\min}$ και $\sigma_{\max}$ μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη θραύση του υλικού, έστω και αν η μέγιστη τάση $\sigma_{\max}$ δεν υπερβαίνει τη στατική αντοχή του υλικού. Το φαινόμενο αυτό όπως είναι γνωστό ονομάζεται κόπωση του υλικού.

Για να συμβεί όμως η αστοχία πρέπει η τάση $\sigma_{\max}$ να υπερβαίνει κάποιο όριο, που ονομάζεται όριο κοπώσεως. Στην προκειμένη περίπτωση αναφερόμαστε σε θλιπτικές μόνο καταπονήσεις. Το όριο αυτό στο σκυρόδεμα βρίσκεται στα 0,65-0,70 περίπου της στατικής αντοχής σε θλίψη.

Αντίθετα, όταν η μέγιστη τάση δεν υπερβεί το όριο αυτό έχει παρατηρηθεί, ύστερα από έναν αριθμό επαναλήψεων, βελτίωση του σκυροδέματος, αύξηση δηλαδή της στατικής αντοχής (και της αντοχής σε κόπωση) έως 10% περίπου.

Διακοπή της καταπόνησης για λίγα λεπτά έχει ως αποτέλεσμα να ανακτήσει το σκυρόδεμα μέρος της αντοχής του.

Η καταστροφή του σκυροδέματος κατά την επαναλαμβανόμενη καταπόνηση αποδίδεται στη βαθμιαία κατάλυση της συνάφειας κονιάματος και αδρανών. Η απορροφούμενη ενέργεια εκδηλώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού.

Συνεργασία σκυροδέματος και χάλυβα

Η ιδιότητα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο όρος “συνεργασία” αποδίδει καλύτερα την πραγματικότητα από τον όρο “συνάφεια”, γιατί η συνεργασία αυτή είναι αποτέλεσμα συνάφειας, τριβής μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος καθώς και αντοχής του σκυροδέματος σε διάτμηση. Ο ρόλος της καθεμιάς από τις παραπάνω ιδιότητες είναι διαφορετικός σε κάθε περίπτωση. Στην περίπτωση των λείων ράβδων η συνάφεια και η τριβή παίζουν μεγαλύτερο ρόλο από τη διάτμηση.

Ως αντοχή σε συνάφεια χαρακτηρίζεται η μέγιστη τιμή της τάσεως (μέση τιμή κατά μήκος της ράβδου), για την οποία η σχετική μετακίνηση της ράβδου (ολίσθηση) εξακολουθεί να παραμένει $\delta=0$. Εκτός από την τιμή αυτή καθορίζεται συνήθως και η “χαρακτηριστική τιμή” της τάσεως που αντιστοιχεί σε μετακίνηση $\delta=0,1$ mm.

Η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται πάρα πολύ από την κατεύθυνση της ράβδου (και κατά συνέπεια και από τη φορά καταπονήσεως) σε σχέση με την κατεύθυνση σκυροδετήσεως, καθώς και από τη θέση της ράβδου μέσα στη διατομή. Η αντοχή είναι πολύ μεγαλύτερη όταν η κατεύθυνση της ράβδου συμπίπτει με την κατεύθυνση σκυροδετήσεως.

Η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται σημαντικά από την κατάσταση της επιφάνειας της ράβδου, τη μορφή των νευρώσεων για ράβδους με νευρώσεις και τη διάμετρο των ράβδων. Τέλος αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών μειώνει την αντοχή σε συνάφεια.

2.2.4 Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο

Η αντοχή είναι αποτέλεσμα της ενυδάτωσης του τσιμέντου και της δημιουργίας των ένδρων κρυστάλλων και για αυτό η εξέλιξή της ακολουθεί τον ίδιο

εκθετικό νόμο που ακολουθεί και η χημική αντίδραση. Η ανάπτυξη της αντοχής όμως είναι διαφορετική για καθένα από τα τέσσερα βασικά συστατικά του και γι' αυτό η χρονική εξέλιξη της αντοχής, ιδιαίτερα στις μικρές ηλικίες, εξαρτάται από τη σύνθεση του τσιμέντου. Άλλοι παράγοντες είναι ο βαθμός αλέσεως, δηλαδή το μέγεθος των κόκκων του καθώς και η θερμοκρασιακές και υγραμετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος.

Για όλους αυτούς τους λόγους, η ακριβής ποσοτική εκτίμηση της εξέλιξης της αντοχής μόνο με δοκιμές με τον ίδιο τύπο τσιμέντου, τα ίδια υλικά και τις ίδιες συνθήκες συντήρησης μπορεί να γίνει.

Η ανάπτυξη της αντοχής εξαρτάται πάρα πολύ από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Το γινόμενο της ηλικίας a (σε ημέρες) επί τη θερμοκρασία $(T+10)^\circ$, όπου T η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε βαθμούς C :

$$R = a \cdot (T+10)$$

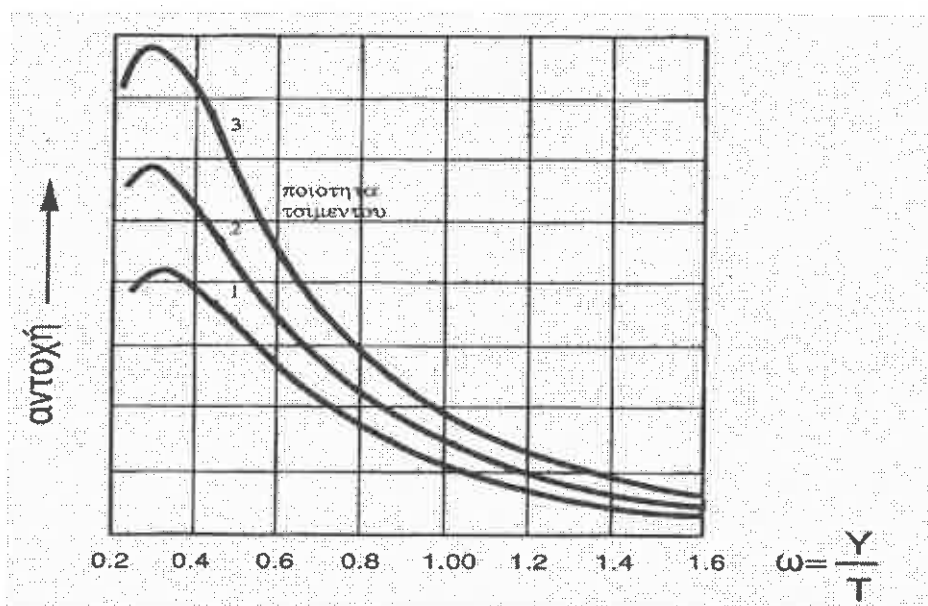
αποδίδεται με τον όρο ωρίμανση του σκυροδέματος. Ως αφετηρία των θερμοκρασιών T δεχόμαστε το $T = -10^\circ\text{C}$ γιατί στη θερμοκρασία αυτή θεωρούμε ότι αναστέλλονται τελείως οι χημικές διαδικασίες μεταξύ τσιμέντου και νερού.

2.2.5 Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες σύνθεσης

Η περίσσεια του νερού ανάμειξης πέρα από εκείνο που δεσμεύεται (χημικά) από το τσιμέντο οδηγεί στην δημιουργία του πορώδους του σκυροδέματος και επομένως στην ελάττωση και της πυκνότητας και της αντοχής.

Η άμεση και θεαματική εξάρτηση της αντοχής από τον λόγο νερού προς τσιμέντο (N/T) διατυπώθηκε πολύ νωρίς από τον Abrams.

Η σχέση αυτή έχει τη μορφή που παριστάνεται στο σχήμα 7.



Σχ. 7 : Ενδεικτική μορφή της εξάρτησης της αντοχής από το λόγο $\omega = N/T$ για διάφορους τύπους τσιμέντου. [1]

Παρατηρούμε στο σχήμα αυτό ότι όταν η τιμή του λόγου N/T ελαττωθεί πέρα από κάποια οριακή τιμή η αντοχή αρχίζει πάλι να μειώνεται. Το τμήμα αυτό της καμπύλης πριν από το μέγιστο σημείο οφείλεται σε διαφορετικό μηχανισμό. Είτε η ποσότητα του νερού είναι ανεπαρκής για την ολοκληρωτική ενυδάτωση του τσιμέντου, με αποτέλεσμα μέρος του τσιμέντου να παραμένει αδρανές, είτε η συμπίκνωση του σκυροδέματος είναι ανεπαρκής με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της πυκνότητας και της αντοχής.

2.2.6 Η μέτρηση της αντοχής

Επειδή η αντοχή εξαρτάται από το σχήμα και το μέγεθος του δοκιμίου και επειδή επίσης επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων, είναι ανάγκη να καθορίσουμε κάποιον συμβατικό τρόπο μέτρησής της, ώστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους. Για τους λόγους αυτούς καθορίζεται στους κανονισμούς το σχήμα και οι διαστάσεις του δοκιμίου και περιγράφεται με κάθε λεπτομέρεια ο τρόπος παρασκευής, συντήρησης και μέτρησης της αντοχής.

Τα φαινόμενα που εξαρτώνται από το μέγεθος και τη μορφή του δοκιμίου και τα οποία επιδρούν, με τη σειρά τους, στην αντοχή είναι τα ακόλουθα :

- Η εξάτμιση του νερού
- Η επιφανειακή μικρορηγμάτωση
- Η τριβή μεταξύ των πλακών της μηχανής δοκιμής σε θλίψη και της επιφάνειας του δοκιμίου
- Στατιστικοί λόγοι
- Η δομή του δοκιμίου

Σε περιπτώσεις παλαιών κατασκευών, στις οποίες δεν υπάρχουν στοιχεία, μπορούν να εφαρμοστούν οι λεγόμενες έμμεσες ή μη καταστρεπτικές μέθοδοι εκτίμησης της αντοχής. Οι κυριότερες είναι οι ακόλουθες:

- Κρουστικές μέθοδοι (π.χ. κρουσίμετρο αναπήδησης Schmidt)
- Ταχύτητα υπερήχων (Pulse velocity)
- Εξόλκευση ήλου (Pull out test)
- Μέτρηση της ραδιοπερατότητας

2.2.7 Παραμόρφωση

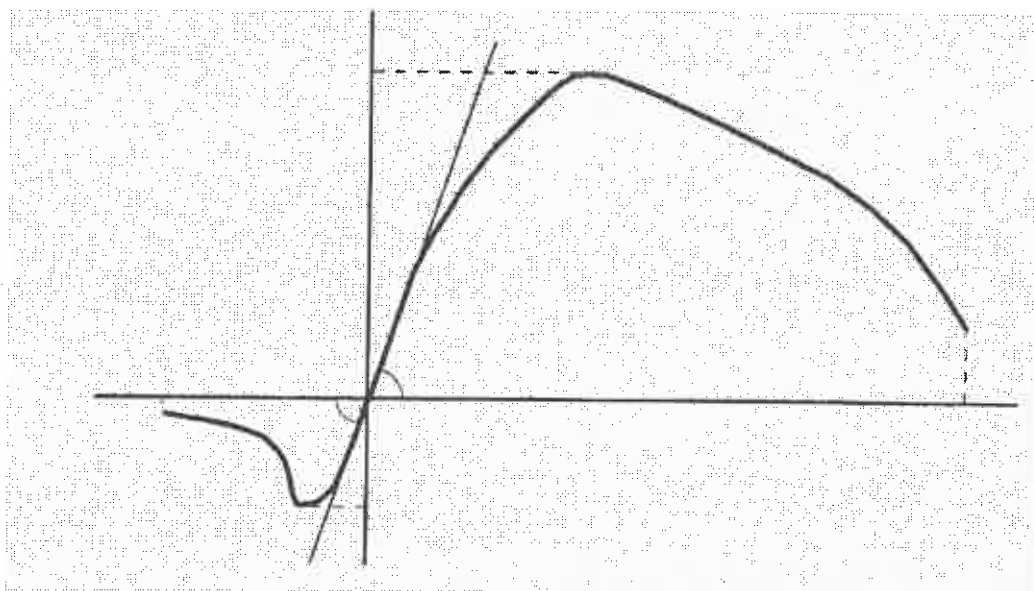
2.2.7.1 Παραμόρφωση λόγω φόρτισης

Το σκυρόδεμα παραμορφώνεται υπό την επίδραση φόρτισης. Η παραμόρφωση αυξάνει όταν αυξάνει το φορτίο, φαινόμενο γνωστό ως ελαστική παραμόρφωση. Το σκυρόδεμα επίσης συνεχίζει να παραμορφώνεται με το χρόνο κάτω από μόνιμο φορτίο. Αυτό το φαινόμενο λέγεται παραμόρφωση εξαρτώμενη από το χρόνο ή ερπυσμός. [4]

Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά

Την ελαστικοπλαστική συμπεριφορά ενός υλικού απεικονίζει η σχέση τάσεων-παραμορφώσεων. Για το σκυρόδεμα όπως και για τα περισσότερα ανόργανα,

μη μεταλλικά υλικά, η σχέση αυτή έχει τη μορφή μιας συνεχούς καμπύλης, όπως στο σχήμα 8.

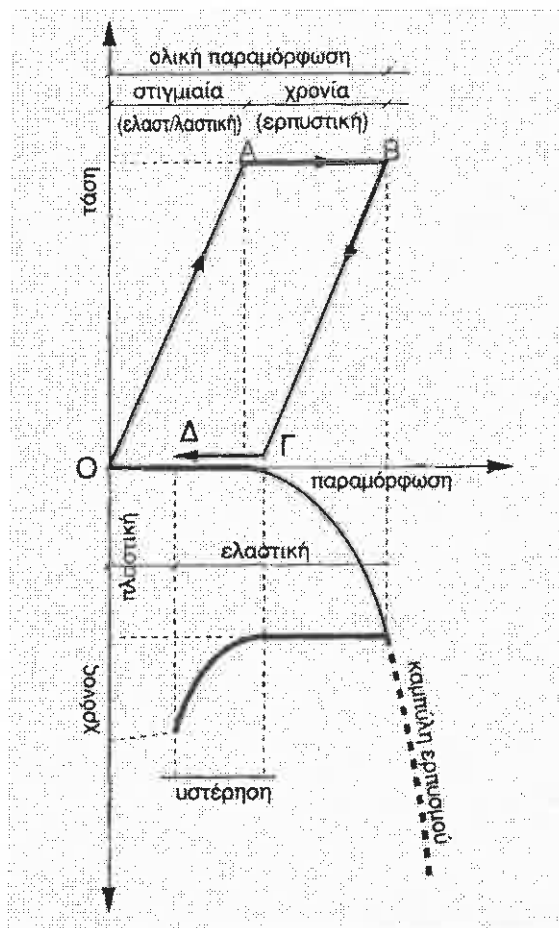


Σχ. 8 : Γενική μορφή της καμπύλης τάσεων – παραμορφώσεων [1]

Μικρά μόνο τμήματά της μπορούν να θεωρηθούν σαν ευθύγραμμα. Ο νόμος του Hook μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύει για μικρές μόνο μεταβολές του φορτίου. Εξάλλου, για μικρές μόνο τιμές του φορτίου μπορεί το σκυρόδεμα να θεωρηθεί πρακτικά σαν ελαστικό υλικό.

Η καμπυλότητα του διαγράμματος (βαθμιαία αύξηση της παραμόρφωσης, για την ίδια αύξηση της τάσης, οφείλεται στην προοδευτική επέκταση των μικρορωγμών μέσα στο υλικό, εκτός από την κυρίως παραμόρφωση του υλικού.

Για φόρτιση που παραμένει για αρκετό χρονικό διάστημα σταθερή, η παραμόρφωση συνεχίζεται βαθμιαία (φαινόμενο ερπυσμού). Μετά την αφαίρεση του φορτίου, τμήμα της παραμόρφωσης αναιρείται (ελαστική παραμόρφωση) ενώ το υπόλοιπο τμήμα παραμένει (πλαστική παραμόρφωση). Με την πάροδο του χρόνου, μετά την αφαίρεση του φορτίου, η παραμόρφωση που παραμένει ελαττώνεται συνεχώς (υστέρηση). Η μείωση των τάσεων που συνοδεύει τον ερπυσμό, ονομάζεται χαλάρωση. Τις μεταβολές αυτές παριστάνει το σχήμα 9.



Σχ. 9 : Ενδεικτικές καμπύλες μεταβολής της παραμόρφωσης με την τάση και το χρόνο [1]

Μέτρο ελαστικότητας E , ονομάζουμε το λόγο

$$E = \sigma / \epsilon$$

Δηλαδή την κλίση της εφαπτομένης σε κάθε σημείο της καμπύλης. Άρα το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος δεν παραμένει σταθερό αλλά μειώνεται συνεχώς όσο αυξάνει η καταπόνηση.

Για τα συνηθισμένα σκυροδέματα, με ασβεστολιθικά αδρανή, το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών είναι μεγαλύτερο από το μέτρο ελαστικότητας του κονιάματος. Στην περίπτωση αυτή η απαίτηση ίσων παραμορφώσεων οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι η τάση στα αδρανή είναι μεγαλύτερη, δηλαδή η ροή του φορτίου, γίνεται κυρίως μέσα από τα αδρανή.

Αντίθετα στη περίπτωση σκυροδέματος με ελαφρά (πορώδη) αδρανή, το μέτρο ελαστικότητας αυτό είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του κονιάματος και η εικόνα ροής των τάσεων είναι διαφορετική. Αλλά και το μέτρο ελαστικότητας στα διάφορα πετρώματα που χρησιμοποιούνται ως αδρανή, κυμαίνεται ανάμεσα σε πλατύτατα όρια.

Γενικά το E αυξάνεται όσο αυξάνεται και η θλιπτική αντοχή. Το μέγεθος της παραμόρφωσης αλλά και η τιμή του E επηρεάζονται και από την ταχύτητα φόρτισης καθώς και από όλους εκείνους τους παράγοντες που εισέρχονται στην αντοχή.

Άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η παραμόρφωση θραύσεως, δηλαδή η παραμόρφωση του υλικού κατά τη θραύση. Η τιμή της παραμόρφωσης παρουσιάζει μικρές διαφορές ανάμεσα στις διάφορες ποιότητες σκυροδεμάτων.[1]

Ερπυσμός

Έχει παρατηρηθεί ότι το σκυρόδεμα υπό την επίδραση εξωτερικής θλιπτικής δύναμης που δρα για μεγάλο χρονικό διάστημα, παρουσιάζει πέρα από τη στιγμιαία (ελαστική ή πλαστική) παραμόρφωση, μία περαιτέρω συστολή που εξελίσσεται με αργό ρυθμό. Τη χρόνια αυτή παραμόρφωση που προέρχεται από την επίδραση εξωτερικής δύναμης ονομάζουμε ερπυσμό, επειδή το υλικό μοιάζει σαν να έρπει. [1]

Πρέπει να σημειωθεί ότι μετά από έναν αρχικά υψηλό ρυθμό ερπυσμού, ο ερπυσμός συνεχίζεται αλλά με έναν συνεχώς μειούμενο ρυθμό, εκτός εάν το επιβαλλόμενο φορτίο είναι αρκετά μεγάλο ώστε να προκαλέσει αστοχία. Σε αυτήν την περίπτωση ο ρυθμός του ερπυσμού αυξάνεται πριν την αστοχία. Η απομάκρυνση του επιβαλλόμενου φορτίου έχει σαν αποτέλεσμα την άμεση μείωση της έντασης και αυτό ακολουθείται από μία σταδιακή μείωση της έντασης με την πάροδο του χρόνου. Η σταδιακή μείωση της έντασης ονομάζεται επαναφορά από τον ερπυσμό. Ο ερπυσμός και η επαναφορά από αυτόν είναι φαινόμενα με παρόμοια χαρακτηριστικά. Ο ερπυσμός δεν είναι φαινόμενο πλήρως αντιστρεπτό και κάποια μόνιμη ένταση παραμένει αφού ολοκληρωθεί επαναφορά. [4]

Συνοπτικά μπορούμε να αναφέρουμε για τον ερπυσμό τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Το μέγεθος του ερπυσμού είναι αντιστρόφως ανάλογο προς την ποιότητα του σκυροδέματος.
- Μπορεί να φτάσει τελικά σε τιμή πολλαπλάσια της χρόνιας συστολής
- Η διάρκεια του φαινομένου είναι 1-10 χρόνια. Συνήθως ολοκληρώνεται μετά από 1-2 χρόνια
- Έως την τιμή του φορτίου $\sim 1/3$ της αντοχής θραύσεως είναι ανάλογος του φορτίου, πέρα από την τιμή αυτή ο ερπυσμός αυξάνεται ολοένα ταχύτερα με την αύξηση του φορτίου.
- Η μορφή της εξέλιξής του είναι εκθετική, γρήγορη στην αρχή και ολοένα βραδύτερη, και τείνει ασυμπτωτικά προς κάποια οριακή τιμή.
- Αυξάνεται όσο ελαττώνονται οι διαστάσεις του στοιχείου
- Εμφανίζεται μικρότερος για τσιμέντα υψηλής αντοχής ή γρήγορης ανάπτυξης της αντοχής
- Εξαρτάται από το είδος των αδρανών και ειδικότερα από το μέτρο ελαστικότητάς τους
- Ελαττώνεται όσο περισσότερο χονδρόκοκκα είναι τα αδρανή
- Αυξάνεται όσο αυξάνεται το νερό αναμείξεως
- Εξαρτάται από τις υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυξάνεται όσο ελαττώνεται η σχετική υγρασία
- Ελαττώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία του σκυροδέματος κατά τη στιγμή της επιβολής του φορτίου

2.2.7.2 Παραμόρφωση ανεξάρτητη από την επιβολή φορτίου

Γενικά, συστολή του σκυροδέματος προκαλείται από την καθίζηση-κατακλίση των στερεών και από την απώλεια του ελεύθερου νερού από το πλαστικό σκυρόδεμα (πλαστική συστολή), από τις χημικές αντιδράσεις του τσιμέντου με το

νερό (χημική συστολή) και από την ξήρανση του σκυροδέματος (συστολή ξήρανσης- αν η ξήρανση οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες- και αυτογενής συστολή αν η ξήρανση οφείλεται σε απορρόφηση του διαθέσιμου νερού από το τσιμέντο).

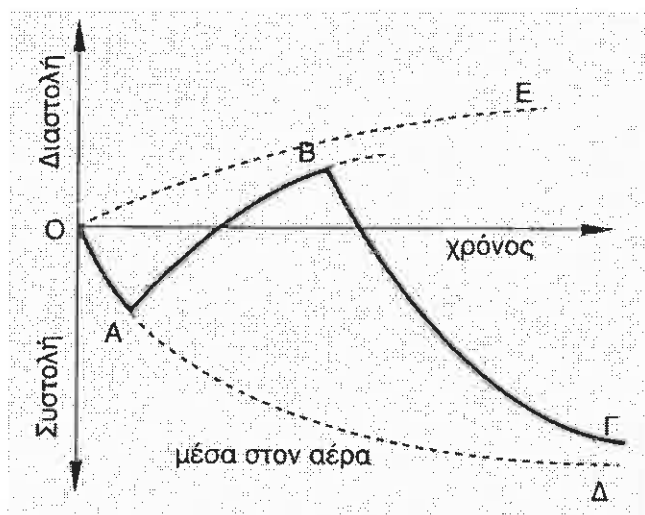
Παραμόρφωση επίσης μπορεί να είναι αποτέλεσμα της διαστολής υγράνσεως αλλά επίσης και θερμικής διαστολής.[4]

Χρόνια συστολή και διαστολή του σκυροδέματος

Έχει παρατηρηθεί ότι με την πάροδο του χρόνου το σκυρόδεμα παρουσιάζει στον αέρα, χωρίς καμιά επίδραση εξωτερικής δύναμης, συστολή και μέσα στο νερό διαστολή του όγκου του. Τα φαινόμενα αυτά τα ονομάζουμε χρόνια συστολή και διαστολή του σκυροδέματος (ή συστολή ξηράνσεως και διαστολή υγράνσεως).

Από τις θεωρίες που έχουν ως τώρα διατυπωθεί για την εξήγηση του φαινομένου αυτού, πιο γνωστή είναι αυτή που αποδίδεται στον Freyssinet σύμφωνα με την οποία, οι μεταβολές αυτές του όγκου οφείλονται στις δυνάμεις που ασκούνται από το νερό στα τοιχώματα των τριχοειδών του υλικού. Το νερό που βρίσκεται μέσα σε τριχοειδή κοιλότητα, διαμέτρου d , ασκεί, όπως είναι γνωστό, στα τοιχώματα της κοιλότητας περιμετρικά δύναμη $T = c/d$, όπου c σταθερά που εξαρτάται από τη συνάφεια των δύο υλικών. Αντίθετα προς τις δυνάμεις αυτές δρα η πίεση των υδρατμών, που βρίσκονται μέσα στην τριχοειδή κοιλότητα, πάνω από τη επιφάνεια του νερού.

Η καμπύλη εξέλιξης της χρόνιας συστολής στον αέρα και της διαστολής μέσα στο νερό, είναι εκθετικής μορφής όπως η καμπύλη ΟΑΔ σχήματος 10.



Σχ. 10 : Σχηματική μεταβολή της συστολής (ή διαστολής) του σκυροδέματος με το χρόνο [1].

Η καμπύλη αυτή παριστάνει την ιδεατή μορφή της σχέσης $\varepsilon_0 = \varepsilon(t)$ με την προϋπόθεση σταθερών εξωτερικών συνθηκών. Στην πραγματικότητα όμως οι συνθήκες του περιβάλλοντος δεν παραμένουν σταθερές και επομένως η καμπύλη εξέλιξης της συστολής μεταβάλλεται συνεχώς. Στην περίπτωση διαδοχικής συντήρησης στον αέρα και μέσα στο νερό, η αντίστοιχη καμπύλη θα είχε τη μορφή της καμπύλης ΟΑΒΓ. Στην τελευταία περίπτωση παρατηρούμε ότι η διαδοχή συστολών και διαστολών οδηγεί σε μικρότερες τελικές τιμές.

Η χρόνια συστολή είναι γενικά φαινόμενο βλαπτικό και ανεπιθύμητο. Όταν η συστολή παρεμποδίζεται μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ρηγματώσεων από τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται. Συνηθισμένη είναι η περίπτωση της ρηγμάτωσης στοιχείων μεγάλου πάχους από την ανομοιόμορφη ξήρανση του εσωτερικού και της επιφάνειας του στοιχείου. Τα επιφανειακά στρώματα ξηραίνονται γρηγορότερα από το εσωτερικό και επομένως ο διαφορετικός βαθμός συστολής έχει αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση του στοιχείου. Η ρηγμάτωση βέβαια δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της διαφορετικής συστολής, αλλά και από τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού (μέτρο ελαστικότητας και αντοχή σε εφελκυσμό).

Άλλο σημείο ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων είναι η μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού επιφάνεια, λόγω της συρρίκνωσης του τελευταίου ως προς τα ακίνητα αδρανή. Στην επιφάνεια αυτή δημιουργούνται εγγενείς μικρορηγματώσεις.

Οι πειραματικές πληροφορίες που έχουμε για το φαινόμενο της χρόνιας συστολής του σκυροδέματος συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Το μέγεθος της συστολής εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα του τσιμέντου.
- Η συστολή αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου. Εφόσον έδρα των ογκομετρικών μεταβολών είναι ο τσιμεντοπολτός, είναι φυσικό οι συστολοδιαστολές να αυξάνονται όσο αυξάνεται η ποσοστιαία αναλογία του. Γι' αυτό το λόγο και η συστολή της τσιμεντοκονίας είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συστολή του σκυροδέματος.
- Ελαττώνεται όσο αυξάνεται η αντοχή. Επομένως αυξάνεται με την αύξηση του νερού ανάμειξης και με το πορώδες.
- Εξαρτάται από την ποιότητα και τη φύση των αδρανών.
- Η συστολή εξαρτάται από τη μορφή και τις διαστάσεις του στοιχείου.
- Εξαρτάται από τις υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος.

Θερμοδιαστολή

Το σκυρόδεμα διαστέλλεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπως και τα περισσότερα άλλα υλικά. Το φαινόμενο αυτό έχει μεγάλη σημασία για ογκώδη κτίρια από σκυρόδεμα όπου η αρχική θερμότητα της ενυδάτωσης μπορεί να προκαλέσει μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας. Αυτές προκαλούν εντάσεις λόγω θερμότητας και ρηγματώσεις στις περιοχές έντασης. Ο συντελεστής θερμοδιαστολής του σκυροδέματος εξαρτάται κυρίως από την περιεχόμενη υγρασία αυτού και κυμαίνεται μεταξύ 10 και $20 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$, με το μέγιστο για ένα δεδομένο σκυρόδεμα να προκύπτει περίπου για 70% σχετικής υγρασίας.

2.2.8 Το πορώδες

2.2.8.1 Γενικά

Το σκυρόδεμα, όπως και οι φυσικοί λίθοι, δεν είναι υλικό απόλυτα συμπαγές 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 κοιλοότητες αυτές μπορεί να περιέχουν αέρα ή να είναι γεμάτες νερό. Ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε κατηγορίες. Έτσι, υπάρχουν :

- Πόροι των αδρανών υλικών, δηλαδή πόροι των κόκκων των σκύρων και της άμμου
- Πόροι που δημιουργούνται από τον εγκλεισμό φυσαλίδων από αέρα μέσα στο τσιμεντοκονίαμα
- Πόροι ή τριχοειδή κενά που δημιουργούνται μέσα στην τσιμεντοκονία μετά την εξάτμιση του νερού που περισσεύει
- 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 εξίδρωσης του μίγματος.
- Μακροσκοπικές κοιλοότητες που προέρχονται από κακή συμπίκνωση
- Τριχοειδή κενά δημιουργημένα μετά τις μικρορηγματώσεις που οφείλονται στις συστολές του τσιμεντοκονιάματος ή και στις εξωτερικές καταπονήσεις.

Χαρακτηριστικά ενός υλικού είναι :

A) το συνολικό πορώδες

$$\frac{V_{ολ} - V_s}{V_{ολ}} = \frac{\rho_s - \rho_\phi}{\rho_s}$$

δηλαδή ο λόγος των κενών προς τον ολικό φαινόμενο όγκο

B) ο βαθμός συμπίκνωσης

$$\frac{V_s}{V_{ολ}} = \frac{\rho_\phi}{\rho_s}$$

στις παραπάνω σχέσεις παριστάνουν :

V_s , τον απόλυτο όγκο του υλικού

$V_{ολ}$, τον ολικό, δηλαδή τον φαινόμενο όγκο

$\rho_\phi = G / V_{ολ}$, το φαινόμενο ειδικό βάρος

$\rho_s = G / V_s$, το απόλυτο ειδικό βάρος

για το σκυρόδεμα το ολικό πορώδες κυμαίνεται μεταξύ 8 και 25%

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

2.2.8.2 Μηχανισμός δημιουργίας του πορώδους στο σκυρόδεμα

Ο μηχανισμός δημιουργίας του πορώδους στο σκυρόδεμα σχετίζεται με το βασικό μηχανισμό σκλήρυνσης του σκυροδέματος και της αύξησης της αντοχής του, τη χημική αντίδραση του νερού με το τσιμέντο, δηλαδή την ενυδάτωση του τσιμέντου.

Χονδρικά, η περιγραφή της αντίδρασης έχει ως εξής :

Στην αρχή της αντίδρασης ο κόκκος του τσιμέντου που περιβάλλεται από νερό, αντιδρά με το νερό, δημιουργώντας σύμπλοκα άλατα σε μορφή βελόνας. Στη αρχή

αντιδρά η εξωτερική επιφάνεια του κόκκου και όσο προχωρεί η αντίδραση προς το εσωτερικό του κόκκου, τόσο πιο πολλά άλατα δημιουργούνται καταλαμβάνοντας μεγαλύτερο όγκο. Η αντίδραση προχωράει με την πάροδο του χρόνου οπότε ο όγκος των αλάτων καταλαμβάνει το μέγιστο όγκο που μπορεί να καταλάβει. Η πρόοδος της αντίδρασης με την πάροδο του χρόνου είναι ασυμπτωτική και ποτέ δεν πραγματοποιείται η πλήρης ενυδάτωση του τσιμέντου.

Οι βελόνες των σύμπλοκων αλάτων-προϊόντων αντίδρασης τσιμέντου-νερού των κόκκων που γειτνιάζουν, μπλέκονται μεταξύ τους, δημιουργώντας ένα στερεό σύμπλεγμα, το οποίο αποτελεί τη στερεά τσιμεντόπαστα. Η σκληρυμένη τσιμεντόπαστα μαζί με τα περιεχόμενα αδρανή αποτελούν το σκληρυμένο σκυρόδεμα.

Το σύνολο των κενών που απομένει μεταξύ των προϊόντων της ενυδάτωσης αποτελεί, όπως προαναφέρθηκε, το πορώδες του σκυροδέματος.[8]

2.2.8.3 Πορώδες και ιδιότητες του σκυροδέματος

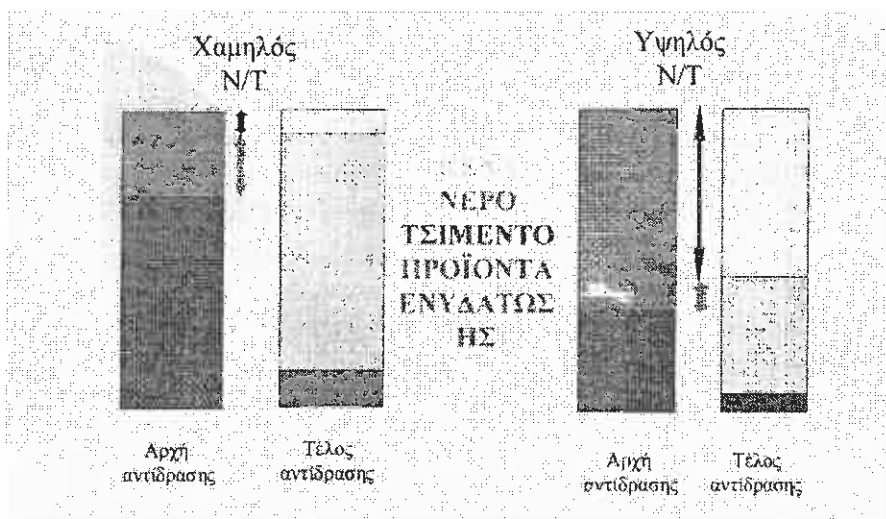
Το πορώδες του σκυροδέματος επηρεάζει κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητες του. Επηρεάζει τη χρόνια συστολή, τον ερπυσμό, την υδαταπορροφητικότητα, την υδατοστεγανότητα, καθώς και την ανθεκτικότητα του υλικού στον παγετό, ως φορέας της υγρής φάσεως, στην οποία κυρίως οφείλονται τα φαινόμενα αυτά.

Η αντοχή του σκυροδέματος δεν επηρεάζεται μόνο από τις αναλογίες αναμείξεως και ιδίως από το λόγο νερού προς τσιμέντο, αλλά και από άλλους παράγοντες που επικρατούν κατά τη διάρκεια των πρώτων ωρών ή ημερών μετά τη δημιουργία του μίγματος, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Καθώς το πορώδες είναι η χαρακτηριστική ιδιότητα η οποία επηρεάζεται από όλους αυτούς τους παράγοντες, δρα κατά συνέπεια σαν ένα λεπτομερές αρχείο αυτών των επιρροών. Είναι γι' αυτό το λόγο μία ιδανική παράμετρος εκτίμησης της αντοχής σε υπάρχουσες κατασκευές από σκυρόδεμα.[10]

Το νερό που απαιτείται για την πλήρη αντίδραση του τσιμέντου με το νερό είναι περίπου το 22-23% του βάρους, δηλαδή $N/T = 0,23$. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει περίσσεια νερού για τις υπόλοιπες ιδιότητες που πρέπει να έχει το σκυρόδεμα, όπως η εργασιμότητα, αντλησιμότητα κλπ. Για να αποκτήσει το σκυρόδεμα αυτές τις ιδιότητες, εκτός των άλλων, απαιτείται περίσσεια νερού.

Όσο περισσότερο είναι το νερό σε σχέση με το τσιμέντο(μεγάλος λόγος N/T), οι βελόνες των προϊόντων ενυδάτωσης μπλέκονται λίγο μεταξύ τους, τα κενά που σχηματίζονται μεταξύ των προϊόντων ενυδάτωσης (πορώδες) των διπλανών κόκκων είναι σχετικά μεγάλα, με αποτέλεσμα η τάση που απαιτείται για να σπάσει αυτός ο δεσμός, να είναι σχετικά μικρή οπότε και η αντοχή είναι μικρή. Όταν το νερό σε σχέση με το τσιμέντο είναι λιγότερο (μικρός λόγος N/T), οι βελόνες των προϊόντων ενυδάτωσης είναι σφιχτά μπλεγμένες μεταξύ τους, τα κενά που σχηματίζονται μεταξύ του είναι σχετικά μικρά με αποτέλεσμα η τάση που απαιτείται για να σπάσει αυτός ο δεσμός να είναι μεγαλύτερη. Οι λόγοι N/T για τα συνηθισμένα έργα κυμαίνονται από 0,45-0,70. Για ειδικά σκυροδέματα μπορούμε να φτάσουμε και την τιμή $N/T = 0,30-0,35$.

Στο σχήμα 11 απεικονίζονται ογκομετρικά οι δύο παραπάνω περιπτώσεις



Σχ. 11 : Ογκομετρική απεικόνιση ενυδάτωσης για χαμηλό και υψηλό λόγο N/T [8]

Το βέλος $\uparrow$ δείχνει το μέρος του νερού που αντιδρά με το τσιμέντο. Το υπόλοιπο ή παραμένει εντός ή εξατμίζεται, όταν οι συνθήκες το επιτρέψουν.

Η επίπτωση στο πορώδες, τη δίοδο μέσω της οποίας εισέρχονται οι παράγοντες που προσβάλλουν τον οπλισμό, των διαφόρων παραμέτρων, για σταθερά όλα τα υπόλοιπα, είναι :

- Μεγάλη ποσότητα τσιμέντου $\rightarrow$ μικρό πορώδες
- Μικρός λόγος N/T $\rightarrow$ μικρό πορώδες
- Μεγάλη αντοχή $\rightarrow$ μικρό πορώδες [8]

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

Στη μείωση του πορώδους, πιο γενικά, συντείνουν :

- Η ελάττωση του νερού και επομένως η ελάττωση των πόρων που δημιουργούνται από την εξάτμιση του νερού που περισσεύει
- Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών που πλησιάζει στην άριστη περιοχή, δηλαδή πυκνότερη δομή των αδρανών
- Η καλή ποιότητα και καθαρότητα των αδρανών για την καλύτερη προσκόλληση της τσιμεντοκονίας. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα π.χ. έχουν καλύτερη πρόσφυση από όση έχουν τα πυριτικά
- Η αποτελεσματική συμπίκνωση του νωπού σκυροδέματος
- Η καλή συντήρηση για την αποφυγή ρηγματώσεων κατά τη διάρκεια της πήξης.

2.2.9 Υδατοαπορροφητικότητα και υδατοπερατότητα

Πολλές διαδικασίες που οδηγούν στη χειροτέρευση του σκυροδέματος περιέχουν τη διείσδυση υγρών εντός του σκυροδέματος από το περιβάλλον η οποία ακολουθείται από φυσικές ή χημικές διαδικασίες που προσβάλλουν το σκυρόδεμα ή τον οπλισμό. Οι διαδικασίες αυτές συχνά οδηγούν στη δημιουργία δυνάμεων και

κατά συνέπεια διάρρηξης. Παρομοίως, η καταστροφή που συμβαίνει εσωτερικά στο σκυρόδεμα επηρεάζεται επίσης από την κίνηση της υγρασίας. Προφανώς η ικανότητα του σκυροδέματος να περιορίσει τις διαδικασίες αυτές επηρεάζει την ανθεκτικότητα.[4]

Είναι φανερό ότι αν η προσβολή του σκυροδέματος γίνει μόνο επιφανειακά, ο ρυθμός φθοράς του σκυροδέματος θα είναι σημαντικά μικρότερος από εκείνον που θα λάβει χώρα αν η επιφανειακή προσβολή συνοδεύεται και από διείσδυση του διαβρωτικού παράγοντα μέσα στη μάζα του σκυροδέματος.

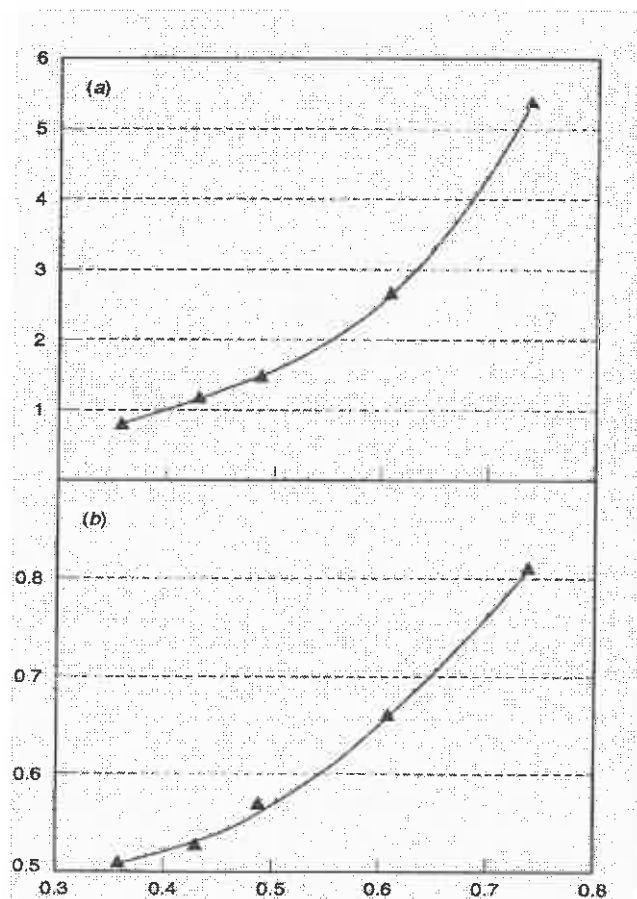
Ο υπολογισμός της αντίστασης του σκυροδέματος σε πιθανή καταστροφή μπορεί να γίνει με τη μέτρηση των ιδιοτήτων περατότητας οι οποίες καθορίζουν την ευκολία με την οποία ρευστά μπορούν να κινηθούν προς το εσωτερικό ή το εξωτερικό του σκυροδέματος. Οι ιδιότητες της περατότητας του σκυροδέματος περιλαμβάνουν τρεις βασικούς μηχανισμούς κίνησης οι οποίοι μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ένα ημιπερατό μέσο όπως είναι το σκυρόδεμα. Αυτοί είναι οι παρακάτω :

Απορροφητικότητα. Η διαδικασία κατά την οποία το σκυρόδεμα απορροφά ένα υγρό, π.χ. νερό ή υδατικό διάλυμα, μέσω τριχοειδών φαινομένων. Ο ρυθμός με τον οποίο το νερό εισέρχεται καλείται απορροφητικότητα και εξαρτάται από το μέγεθος και τη διασύνδεση των τριχοειδών πόρων του σκυροδέματος, καθώς και από την υπάρχουσα υγρασία στην επιφάνειά του.

Διαπερατότητα. Η ικανότητα ροής εντός του σκυροδέματος η οποία χαρακτηρίζει ποσοτικά την ευκολία με την οποία ένα ρευστό διέρχεται από αυτό, υπό την επίδραση διαφοράς πίεσης. Η ιδιότητα αυτή εξαρτάται από τη διαφορά πίεσης και από το μέγεθος και τη διασύνδεση των τριχοειδών πόρων.

Διάχυση. Η διαδικασία με την οποία ατμός, αέριο ή ιόν περνά διαμέσου του σκυροδέματος υπό την επίδραση διαφοράς πίεσης. Η ικανότητα για διάχυση καθορίζει το ρυθμό κίνησης του ρευστού και επηρεάζεται από τη διαφορά συγκέντρωσης σε σχέση με την επιφάνεια του σκυροδέματος, το είδος του ρευστού που διαχέεται και οποιαδήποτε αντίδραση εντός της ενυδατωμένης τσιμεντόπαστας και τέλος από τη διασύνδεση των τριχοειδών πόρων του σκυροδέματος.

Οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται κυρίως από παράγοντες που σχετίζονται με τις αναλογίες μίξης (ποσότητα τσιμέντου, λόγος νερού προς τσιμέντο).



Σχ. 12 : Επίδραση του λόγου N/T a) στην διαπερατότητα και b) στην πρώτη επιφανειακή απορροφητικότητα νερού από σκυροδέματα τα πρώτα 10 λεπτά.[4]

Η σημαντικότητα αυτών των ξεχωριστών αλλά εξαρτώμενων μηχανισμών μπορεί να ποικίλει και αυτό εξαρτάται από τις εξωτερικές συνθήκες στις οποίες υπόκειται το σκυρόδεμα. Για παράδειγμα, σε φράγματα και σε κατασκευές που εμποδίζουν το νερό, η διαπερατότητα συνήθως είναι ένας σημαντικός παράγοντας σε συσχέτιση με τη διάρκεια ζωής. Από την άλλη πλευρά, και η διάχυση και η απορροφητικότητα σχετίζονται κατά κύριο λόγο με την διάβρωση του οπλισμού.

2.2.10 Θερμοαγωγιμότητα

Τη θερμική αγωγιμότητα ενός υλικού χαρακτηρίζει ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, ο οποίος εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας που διέρχεται από τη μονάδα της επιφάνειας του υλικού, ανά μονάδα πάχους σε μία ώρα και για διαφορά θερμοκρασίας 1°C . Για τα σύνθετα υλικά όπως το σκυρόδεμα, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας προκύπτει από τους συντελεστές των υλικών που το συνθέτουν. Ισχύουν τα παρακάτω :

- Η θερμοαγωγιμότητα αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας του σκυροδέματος
- Αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου, αφού η αύξηση του τσιμέντου συντείνει στην αύξηση της πυκνότητας
- Αυξάνεται όσο αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία
- Αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του σκυροδέματος
- Αυξάνεται όσο μεγαλώνουν οι διαστάσεις του σώματος.

Φαινόμενο που σχετίζεται με τη θερμοαγωγιμότητα του υλικού και που παρουσιάζεται συχνά στην πράξη είναι η διακίνηση θερμότητας από το εσωτερικό του σκυροδέματος στο γύρο χώρο ή αντίστροφα. Η πρώτη περίπτωση εμφανίζεται όταν η σκυροδέτηση γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ η δεύτερη εμφανίζεται όταν η σκυροδέτηση γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να φροντίζουμε ώστε η θερμοκρασία του σκυροδέματος τις πρώτες ώρες μετά τη σκυροδέτηση να παραμένει σε ορισμένα όρια.

2.2.11 Απορρόφηση ραδιενεργών ακτινοβολιών

Άλλη ιδιότητα του σκυροδέματος, της οποίας τελευταία γίνεται χρήση, είναι η ιδιότητα που έχουν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό όλα τα υλικά να απορροφούν, περισσότερο ή λιγότερο, τις ραδιενεργές ακτινοβολίες. Για την απορρόφηση απαιτούνται υλικά με μεγάλο ειδικό βάρος, όπως ο μόλυβδος. Το σκυρόδεμα προσφέρεται απέναντι στο μόλυβδο για μόνιμες εγκαταστάσεις λόγω του μικρότερου κόστους, έστω και αν απαιτούνται μεγαλύτερα πάχη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ποσότητα που απαιτείται από το καθένα από τα συστατικά του σκυροδέματος, καθορίζεται από το ρόλο του μέσα στο τελικό προϊόν. Από την άποψη της λειτουργίας και της γεωμετρικής διατάξεως μπορούν να τεθούν με την ακόλουθη σειρά : σκύρα, άμμος, τσιμεντοκονία

Τα σκύρα (χονδρόκοκκα αδρανή) συνδέονται μεταξύ τους με το τσιμεντοκονίαμα (τσιμέντο + άμμος + νερό) που αποτελεί τη συνδετική τους ύλη. Η εικόνα αυτή επαναλαμβάνεται, σε μικρότερη κλίμακα, και με τους κόκκους της άμμου (λεπτόκοκκο υλικό) και της τσιμεντοκονίας (τσιμέντο+ νερό).

Η ποσότητα επομένως καθενός από τα τρία παραπάνω υλικά πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τα κενά που σχηματίζουν οι κόκκοι του αμέσως μεγαλύτερου υλικού. Η ποσότητα της τσιμεντοκονίας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τα κενά που σχηματίζει η άμμος, και η ποσότητα του τσιμεντοκονιάματος δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τα κενά που αφήνουν τα σκύρα. Η ποσότητα του νερού τέλος καθορίζεται από την ποσότητα του τσιμέντου και την υδαταπορροφητικότητα των αδρανών.

Ας σημειωθεί όμως ότι η δομή, όπως παραπάνω περιγράφηκε, ισχύει για τα συμβατικά μόνο σκυροδέματα, δηλαδή τα σκυροδέματα που υπόκεινται στους ισχύοντες. Στα σκυροδέματα “νέας γενιάς” όμως, όπως τα λεγόμενα αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα, οι μηχανισμοί είναι διαφορετικοί.

3.2 Η ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

Οι απαιτούμενες ποσότητες νερού για την παρασκευή του σκυροδέματος είναι οι ακόλουθες:

N_x , ποσότητα νερού που ενώνεται χημικά με το τσιμέντο (ενυδάτωση)

N_k , ποσότητα που ενώνεται κρυσταλλικά με το τσιμέντο (νερό των πόρων του πηγματος)

$N_{αδ}$, ποσότητα που την απορροφούν οι κόκκοι του αδρανούς υλικού

$N_{απ}$, ποσότητα που εξατμίζεται ή που με οποιοδήποτε τρόπο χάνεται (απώλεια)

N_e , περίσσεια νερού που παραμένει ελεύθερο μέσα στους πόρους του σκυροδέματος

Ωστε, η συνολική ποσότητα νερού είναι:

$$N=N_x+N_k+N_{αδ}+N_{απ}+N_e$$

3.2.1 Η απαιτούμενη ποσότητα νερού για την ενυδάτωση

Όπως έχουμε αναφέρει, κατά τη μελέτη του μηχανισμού της πήξης του σκυροδέματος, όταν οι κόκκοι του τσιμέντου έρθουν σε επαφή με το νερό, αρχίζει η ανάπτυξη σειράς χημικών αντιδράσεων, κατά τις οποίες τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με τα μόρια του νερού και σχηματίζουν ένυδρους κρυστάλλους.

Το νερό που δεσμεύεται από καθένα από τα τέσσερα κυριότερα συστατικά του τσιμέντου είναι:

Για 100 μ.β. πυριτικού τριασβεστίου : 24 μ.β. νερού
 Για 100 μ.β. πυριτικού διασβεστίου : 21 μ.β. νερού
 Για 100 μ.β. αργλικού τριασβεστίου : 40 μ.β. νερού
 Για 100 μ.β. αργιλοσιδηρικού τετρασβεστίου : 37 μ.β. νερού

Αν παραλείψουμε την παρουσία της γύψου (3-4%) και των άλλων συστατικών σε μικρότερες ποσότητες, η ποσότητα του νερού που απαιτείται μπορεί να υπολογιστεί, από τις παραπάνω σχέσεις, για μία μέση σύνθεση τσιμέντου όπως η παρακάτω:

C ₃ S	65%
C ₂ S	8%
C ₃ A	14%
C ₄ AF	9%

Έτσι, για μία μονάδα βάρους τσιμέντου η απαιτούμενη ποσότητα νερού είναι:
 $0,65 \cdot 0,24 + 0,08 \cdot 0,21 + 0,14 \cdot 0,40 + 0,09 \cdot 0,37 = 0,262$

Ωστε για την παραπάνω μέση σύνθεση τσιμέντου η ποσότητα νερού που θα ενωθεί με το τσιμέντο είναι 26,2% του βάρους του τσιμέντου. Το παραπάνω ποσοστό επαληθεύεται και πειραματικά με την αντίστροφη οδό, δηλαδή με την αποδέσμευση του νερού της τσιμεντοκονίας. Όταν η τσιμεντοκονία θερμανθεί σε κλίβανο σε θερμοκρασία 105°C, το ελεύθερο νερό των πόρων, καθώς και το κρυσταλλικό (ή το νερό των πόρων του πήγματος) αποδεσμεύονται και απομακρύνονται ($N_e + N_k$).

Όταν η θερμοκρασία φτάσει στους 1000°C, οι χημικές ενώσεις διασπώνται και αποδεσμεύεται και η χημικά ενωμένη ποσότητα νερού (N_x).

Από μετρήσεις του είδους αυτού επαληθεύεται ότι η ποσότητα του χημικά ενωμένου νερού είναι ίση με το ¼ περίπου του βάρους του τσιμέντου. Η ποσότητα εξάλλου του κρυσταλλικά ενωμένου νερού βρέθηκε γύρω στα 15% του βάρους του τσιμέντου.

Ωστε, το με οποιοδήποτε τρόπο δεσμευόμενο νερό φτάνει περίπου το 40% κ.β. του τσιμέντου. Αυτή είναι και η ελάχιστη ποσότητα νερού που απαιτείται για την ολική δέσμευση του τσιμέντου. Νερό σε ποσοστό μικρότερο θα έχει ως αποτέλεσμα να παραμείνει ποσότητα τσιμέντου αδρανής. Στην περίπτωση αυτή έχει αποδειχθεί ότι η αδρανής ποσότητα τσιμέντου συμπεριφέρεται σαν λεπτόκοκκο αδρανές υλικό (παιπάλη) και πρέπει για τη λογιστική εκτίμηση της σύνθεσης να αφαιρεθεί από την ποσότητα του τσιμέντου και να προστεθεί στην κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών.

3.2.2 Νερό δεσμευόμενο από τα αδρανή

Εφόσον οι κόκκοι του αδρανούς δεν είναι κορεσμένοι, ποσότητα νερού θα απορροφηθεί από αυτούς. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από τη φύση του πετρώματος, από την ολική επιφάνεια των κόκκων (επιφάνεια διαβροχής) και από την υγρασία που υπάρχει μέσα στους κόκκους.

Για ένα ορισμένο είδος πετρώματος, η ποσότητα του νερού που απορροφάται είναι καταρχήν ανάλογη με την ειδική επιφάνεια των κόκκων και επομένως αυξάνεται σημαντικά όσο μικραίνει η διάμετρος. Το φαινόμενο όμως περιπλέκεται από τη διαφορετική ικανότητα κορεσμού μικρών και μεγάλων κόκκων και από τις δυνάμεις συνάφειας που εμφανίζονται εντονότερες όσο η διάμετρος των κόκκων μικραίνει. Η συγκρατούμενη ποσότητα πάντως εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερη για τα περισσότερα λεπτόκοκκα υλικά.

3.2.3 Απώλεια νερού, ελεύθερο νερό και ολική ποσότητα

Στις ποσότητες του νερού που υπολογίστηκαν παραπάνω, πρέπει να προστεθούν και οι αναπόφευκτες απώλειες νερού. Πρώτη αιτία απώλειας είναι η εξάτμιση, είτε κατά τη διάρκεια της παρασκευής, μεταφοράς και διαστρώσεως, είτε μετά τη διάστρωση από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από την υγρασία και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Ιδιαίτερα η απώλεια αυτή είναι υπολογίσιμη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και στην περίπτωση έτοιμου σκυροδέματος, λόγω του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ παρασκευής και διάστρωσης.

Άλλη αιτία απώλειας είναι η απορρόφηση νερού από τους ξυλοτύπους. Αυτό προσπαθούμε να το αποφύγουμε ή να το μειώσουμε με καλή διαβροχή των ξυλοτύπων πριν από τη διάστρωση.

Ας σημειωθεί το γεγονός, ότι οι παραπάνω περιπτώσεις έχουν τοπική σημασία και πρέπει να αντιμετωπίζονται κατάλληλα, ώστε να αποφεύγονται ρηγματώσεις ή τοπικές ελλείψεις νερού για την ολοκλήρωση της ενυδάτωσης.

Τέλος, εκτός από όλες τις παραπάνω περιπτώσεις που αναφέραμε, ορισμένη ποσότητα νερού είναι αναπόφευκτο να παραμείνει ελεύθερη μέσα στη μάζα του υλικού και μετά την πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος. Η ποσότητα αυτή καταλαμβάνει κάποιο χώρο που μετά την εξάτμισή της θα παραμείνει κενός από στερεό υλικό, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν πόροι, κοιλότητες και τριχοειδή. Από το μηχανισμό αυτόν, φαίνεται ότι η περίσσεια νερού συντελεί στη δημιουργία του πορώδους και επηρεάζει επομένως δυσμενώς την αντοχή και την υδατοστεγανότητα του υλικού.

Παρόλ' αυτά όμως, η περίσσεια νερού είναι και αναπόφευκτη και αναγκαία. Πρώτα, γιατί όπως είναι φανερό, δεν είναι δυνατή η ομοιόμορφη κατανομή του νερού μέσα στο μείγμα κατά τη διάρκεια της ανάμειξης, και επομένως είναι αναγκαίο μικρό πλεόνασμα νερού για την ολική δέσμευση του τσιμέντου. Δεύτερον, γιατί πρακτικοί λόγοι επιβάλλουν μian ορισμένη ρευστότητα του μείγματος, ώστε να μπορεί να μεταφερθεί, να διαστρωθεί και να γεμίσει τελείως τους ξυλοτύπους, ρέοντας ανάμεσα από τους σιδηρούς οπλισμούς. Σήμερα το πρόβλημα της ρευστότητας αντιμετωπίζεται, όπως είδαμε, με τη χρήση πρόσθετων υλικών.

Η ποσότητα του νερού αναμείξεως καθιερώθηκε να προσδιορίζεται ως ο λόγος του βάρους αυτού προς το βάρος του τσιμέντου:

$$\omega = N/T$$

Ο συντελεστής αυτός ω έχει αποφασιστική επίδραση στην αντοχή και στις άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος

3.3 Η ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ

Η διάκριση που συνηθίζεται στην πράξη ανάμεσα στην άμμο, το γαρμπίλι, τα σκύρα και τα άλλα κλάσματα γίνεται για πρακτικούς λόγους, ενώ στην πραγματικότητα η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού είναι συνεχής.

Ο βαθμός πυκνότητας του μείγματος είναι όπως είδαμε:

$$\alpha_{\pi} = \frac{\rho_{\Phi}}{\rho_{\pi}}$$

όπου ρ_ϕ = το φαινόμενο ειδικό βάρος του σωρού των αδρανών
και ρ_π = το φαινόμενο ειδικό βάρος του κόκκου (φαινόμενο ειδικό βάρος του πετρώματος)

Το ποσοστό των κενών (καθώς και το ρ_ϕ) εξαρτάται από τη γεωμετρία του υλικού δηλαδή την κοκκομετρική σύνθεση και τη μορφή των κόκκων.

3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

3.4.1 Γενικά

Η θεωρητική δομή του σκυροδέματος, όπως περιγράφηκε, δεν ανταποκρίνεται, για τις συνθήκες της πράξης, στην άριστη σύνθεσή του. Το τελικό προϊόν θα απείχε πολύ από αυτό που θεωρητικά υποθέσαμε, κυρίως γιατί στην πράξη θα ήταν αδύνατη η τακτοποίηση των κόκκων, όπως στο θεωρητικό πρότυπο, δηλαδή η εγκατάσταση των μικρότερων κόκκων στα κενά των αμέσως μεγαλύτερων και η εισροή ανάμεσα σ' αυτά του πολτού της τσιμεντοκονίας. Εξάλλου, το σκυρόδεμα θα είχε τέτοια συνεκτικότητα, που θα απαιτούσε εξαιρετικά μεγάλο έργο συμπύκνωσης.

Για τους παραπάνω λόγους παρεκκλίνουμε στην πράξη από τις θεωρητικές αυτές αναλογίες, με σκοπό να πετύχουμε ένα σκυρόδεμα, που να ικανοποιεί, σε όλη του τη μάζα, τις βασικές μας απαιτήσεις, έστω και αν οι κόκκοι και ο τσιμεντοπολτός δεν έχουν τη διάταξη που θεωρητικά υποθέσαμε.

Πέρα από την αναγκαία αυτή παρέκκλιση, αποσκοπούμε, με την κατάλληλη εκλογή των αναλογιών σύνθεσης, να πετύχουμε και ορισμένες συγκεκριμένες ιδιότητες που επιβάλλονται από τις απαιτήσεις της κατασκευής, τα διαθέσιμα υλικά και τα εργοταξιακά μέσα.

Η εργασία αυτή λέγεται μελέτη σύνθεσης (ΜΣ)

3.4.2 Τα δεδομένα του προβλήματος

A) Οι απαιτήσεις της κατασκευής

Η κατασκευή καθορίζει, από τη στατική της λειτουργία, την απαιτούμενη αντοχή του υλικού. Οι διαστάσεις του έργου, καθώς και οι αποστάσεις των ράβδων του οπλισμού, καθορίζουν έναν ανεκτό μέγιστο κόκκο του αδρανούς υλικού.

Πέρα από τις παραπάνω βασικές απαιτήσεις μπορεί ο προορισμός και η λειτουργία του έργου να θέτουν και άλλες πρόσθετες απαιτήσεις όπως:

- Καλή εμφάνιση της επιφάνειας του σκυροδέματος (αμεπíchριστο σκυρόδεμα)
- Υδατοστεγανότητα (περίπτωση δεξαμενών)
- Ανθεκτικότητα σε χημικές επιρροές (δεξαμενές διαφόρων υγρών)
- Μείωση της εκλυόμενης θερμότητας (ογκώδεις κατασκευές)

B) Τα διαθέσιμα υλικά

Τα διαθέσιμα αδρανή (το τσιμέντο και το νερό έχουν γενικά περισσότερο σταθερή ποιότητα), εφόσον παρέχονται σε ομάδες (άμμος, γαρμπίλι, σκύρα), προσδιορίζουν τη βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση που μπορούμε να πετύχουμε με την ανάμειξή τους σε ορισμένες αναλογίες.

Η μορφή των κόκκων επηρεάζει την πρόσφυση και το εργάσιμο του υλικού. Η περιεχόμενη υγρασία, το νερό αναμείξεως και τέλος η αντοχή του πετρώματος, επηρεάζουν την τελική αντοχή που μπορούμε να πετύχουμε.

Γ) Τα διαθέσιμα εργοταξιακά μέσα, παρασκευής, μεταφοράς και διαστρώσεως (άντληση ή όχι, τρόπος συμπύκνωσης) καθορίζουν κυρίως την απαιτούμενη συνεκτικότητα του σκυροδέματος.

Τέλος

Δ) Οι καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία) είναι δυνατόν να επιβάλλουν ορισμένες πρόσθετες απαιτήσεις για το νερό ανάμειξης ή για την ανάγκη προσθήκης υλικών μάζας.

Οι βασικές αρχές που καθοδηγούν την εκλογή της σύνθεσης συνοψίζονται στα ακόλουθα :

- Μικρότερη δυνατή ποσότητα τσιμέντου : οικονομία, μείωση συστολής
- Μικρότερη δυνατή ποσότητα νερού : αύξηση αντοχής
- Μεγαλύτερος δυνατός κόκκος αδρανών : αύξηση αντοχής, ελάττωση κονιάματος

Η εργασία της μελέτης σύνθεσης ακολουθεί όπως φαίνεται από τα παραπάνω τη σειρά :

- Προσδιορισμός δεδομένων
- Προσδιορισμός απαιτήσεων κανονισμών
- Εκτίμηση σύνθεσης
- Εργαστηριακές δοκιμές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Με τον όρο ανθεκτικότητα εννοούμε την ικανότητα του υλικού να αντέχει στις εξωτερικές επιρροές του περιβάλλοντος που δρουν για μεγάλο χρονικό διάστημα, γι' αυτό τη λέμε πολλές φορές και ανθεκτικότητα σε διάρκεια ή στο χρόνο.

Παλαιότερα, υπήρχε η πεποίθηση ότι το “δυνατό” σκυρόδεμα είναι και ανθεκτικό και ότι έπρεπε να ληφθούν ειδικά μέτρα μόνο για τις επιπτώσεις των εναλλαγών τήξης – πήξης και των χημικών επιδράσεων. Είναι πλέον όμως γνωστό ότι για πολλές συνθήκες έκθεσης κατασκευών από σκυρόδεμα, τόσο η αντοχή, όσο και η ανθεκτικότητα πρέπει να ληφθούν υπόψη προσεκτικά κατά τη φάση του σχεδιασμού. Και οι δύο παράγοντες αυτοί πρέπει να ληφθούν υπόψη επειδή θα ήταν λάθος να εστιάσει κανείς μονομερώς ή στη μία ή στη άλλη πλευρά. [3]

4.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Οι βασικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την ανθεκτικότητα των κατασκευών είναι [2]:

- Οι περιβαλλοντικές συνθήκες
- Η διαπερατότητα του σκυροδέματος
- Η πραγματοποίηση μιας συγκεκριμένης φυσικής ή χημικής επίδρασης

4.2.1 Περιβαλλοντικές συνθήκες

Η διαθέσιμη υγρασία, η παρουσία διαβρωτικών ουσιών και η θερμοκρασία, είναι οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη για το χαρακτηρισμό ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος.

Διαθέσιμη υγρασία

Όλοι οι μηχανισμοί φθοράς για να πραγματοποιηθούν απαιτούν νερό. Σημασία συνήθως έχει η περιεχόμενη στο σκυρόδεμα υγρασία και όχι η υγρασία της ατμόσφαιρας. Υπό σταθερές συνθήκες, αυτές οι δύο τιμές υγρασίας συμπίπτουν, αλλά υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες το σκυρόδεμα συγκρατεί υγρασία με μεγαλύτερη ευκολία απ' ό τι χάνει. Έτσι, η μέση υγρασία του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από την υγρασία της ατμόσφαιρας.

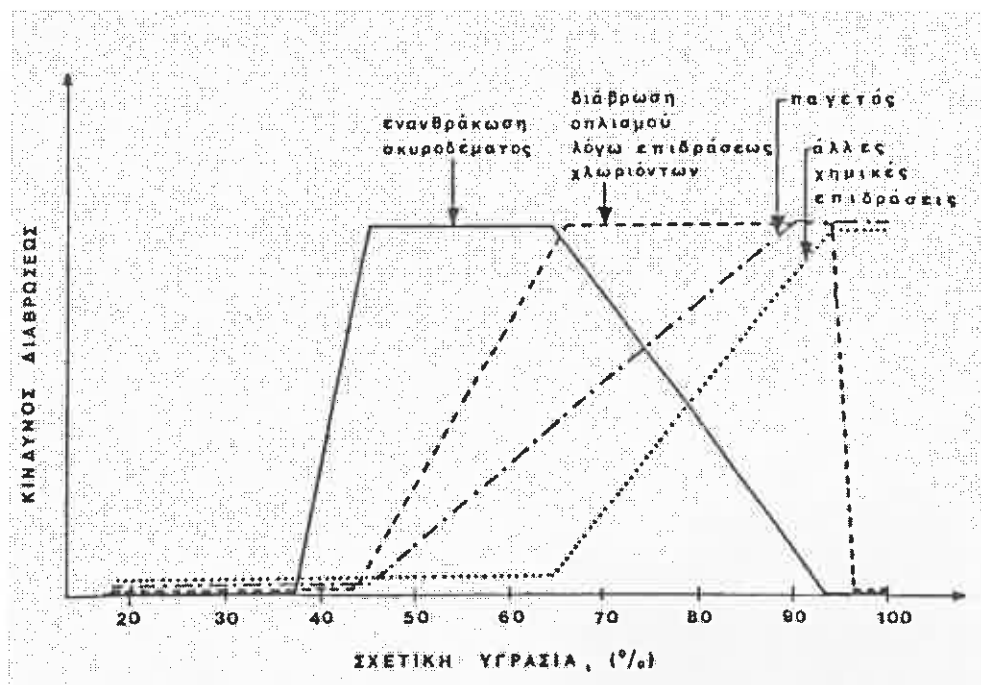
Αυξημένη υγρασία του αέρα προκαλεί γέμισμα των μεγαλύτερων πόρων με νερό, μειώνοντας έτσι τον διατιθέμενο χώρο των πόρων για τη διάχυση των αερίων. Η διαπερατότητα του σκυροδέματος έναντι αερίων μειώνεται σημαντικά με αύξηση της υγρασίας, για να φτάσει σε μηδαμινά όρια στην περίπτωση κορεσμένου σκυροδέματος.

Με τη βροχή ο κορεσμός μπορεί να επιτευχθεί πολύ γρήγορα, λόγω της τριχοειδούς απορρόφησης. Ακόμα όμως και χωρίς βροχή, μια νυχτερινή πτώση της

θερμοκρασίας μπορεί να συνοδεύεται από υγραποίηση των υδρατμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Με αυτόν τον τρόπο, το σκυρόδεμα μπορεί να συγκρατήσει μεγαλύτερα ποσά υγρασίας απ' ό,τι θα επέτρεπε η υγρασία του περιβάλλοντος.

Σε περίπτωση σκυροδέματος βυθισμένου σε νερό, η διείσδυση του νερού γίνεται αρχικά με τριχοειδή απορρόφηση, επιταχυνόμενη από την υδραυλική πίεση. Τέλος, παρατηρείται συνεχής μεταφορά ύδατος μέσα σε σκυρόδεμα το οποίο είναι μερικώς βυθισμένο σε νερό, όταν το νερό εξατμίζεται από τις εκτεθειμένες στον αέρα επιφάνειες.

Ο κίνδυνος φθοράς από κάποια συγκεκριμένη επίδραση μπορεί να γίνεται μέγιστος για διαφορετικά κάθε φορά όρια υγρασίας (σχ.13)



Σχ 13 : Επιρροή της υγρασίας στον κίνδυνο φθοράς από διάφορες επιδράσεις [2]

Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι ένα σκυρόδεμα που περιέχει χλωριόντα θα έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα ύδατος από ένα σκυρόδεμα χωρίς χλωριόντα (υγρασκοπική δράση των χλωριόντων)

Παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό

Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος περιγράφει τις περιβαλλοντικές συνθήκες είναι η παρουσία διαβρωτικών ουσιών μέσα στο νερό. Τέτοιες ουσίες που μπορεί να είναι διαλυμένες στο νερό το οποίο δρα στο σκυρόδεμα είναι : διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο, άλατα χλωρίου, οξέα, θειικά άλατα, αλκάλια ή ιόντα μαγνησίου

Θερμοκρασία

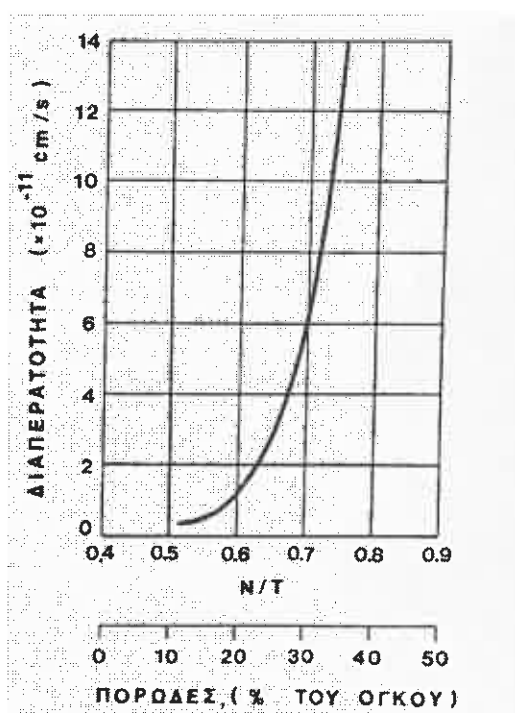
Όταν καθορίζεται η διαβρωτικότητα ενός περιβάλλοντος, η επίδραση της θερμοκρασίας, αγνοείται συνήθως αν και παίζει σημαντικό ρόλο καθώς η αύξηση της επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις.

Είναι γνωστό ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C διπλασιάζει την ταχύτητα της αντίδρασης [2].

4.2.2 Διαπερατότητα σκυροδέματος

Σκυρόδεμα με χαμηλή διαπερατότητα έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε φυσικές και χημικές επιδράσεις. Η διαπερατότητα, γενικά, εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους:

- **Σύσταση του τσιμέντου:** Όταν το σκυρόδεμα περιέχει τσιμέντο σε ποσότητα μεγαλύτερη από 300kg/m^3 (υπό τον όρο βέβαια ότι θα έχει μικρό λόγο N/T και ότι θα γίνει προσεκτική συντήρηση) τότε έχει σχετικώς μικρή διαπερατότητα. Διάφορα πρόσθετα στο τσιμέντο μπορεί να επηρεάσουν τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Γι' αυτό απαιτείται μεγάλη προσοχή κατά τη συντήρηση του σκυροδέματος διότι τα τσιμέντα με πρόσθετα είναι πιο ευπαθή.
- **Λόγος N/T :** Όταν ο λόγος N/T ξεπεράσει την τιμή 0,6 η διαπερατότητα του σκυροδέματος αυξάνεται δυσαναλόγως επειδή αυξάνεται το μέγεθος και ο αριθμός των τριχοειδών πόρων.
- **Πορώδες:** Το μέγεθος και η κατανομή των πόρων, καθώς και η ποσότητα νερού το οποίο περιέχουν, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Συνήθως η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε φυσικές και χημικές επιδράσεις μειώνεται όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε τριχοειδείς πόρους. Είναι δυνατόν όμως, σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. όταν αναμένεται επίδραση παγετού) να επιδιώκεται η ύπαρξη ασύνδετων μεταξύ τους πόρων για να εξασφαλίσουμε υψηλή ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. [σχ.14]



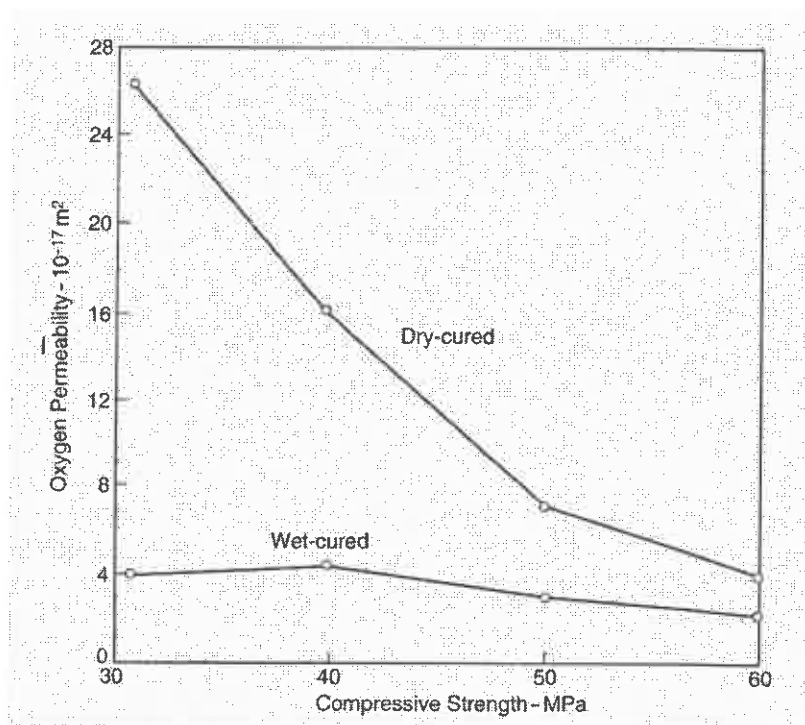
Σχ. 14 : Επίδραση του λόγου N/T στην διαπερατότητα του σκυροδέματος. (Concrete Manual U.S Bureau of Reclamation, 1975, αναφέρεται από τους S.Mindness-J.Young, 1981)

- **Συμπύκνωση:** Με τη συμπύκνωση προσπαθούμε να μειώσουμε τα κενά αέρα στο σκυρόδεμα σε περιεκτικότητα μικρότερη από 1%. Με τη δόνηση ο αέρας και το νερό μεταφέρονται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος, μειώνοντας έτσι το πορώδες. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται κάπως η διαπερατότητα κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, διότι δημιουργούνται τριχοειδείς πόροι. Η αύξηση της διαπερατότητας είναι προσωρινή, διότι όσο συνεχίζεται η διαδικασία της ενυδάτωσης οι τριχοειδείς πόροι σφραγίζονται.
- **Συντήρηση:** Γίνεται με σκοπό, να βοηθήσει το σκυρόδεμα να συγκρατήσει αρκετή υγρασία ώστε να γίνει η ενυδάτωση του τσιμέντου και να προστατεύσει το σκυρόδεμα από τις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας. (αναλυτικά βλ. κεφ.4)
- **Ύπαρξη ρωγμών:** Με την ύπαρξη των ρωγμών διευκολύνεται η διείσδυση βλαβερών ουσιών προς τον οπλισμό του σκυροδέματος. Οι απόψεις για την έκταση και τον τρόπο επίδρασης του εύρους των ρωγμών πάνω στη διάβρωση του ενσωματωμένου χάλυβα, σε σύγκριση με την επίδραση του πάχους επικάλυψης, είναι κάπως διχασμένες.

Αεροδιαπερατότητα και διαπερατότητα υδρατμών

Έχει προαναφερθεί η ανάγκη διάκρισης, για την κίνηση ενός ρευστού εντός του σκυροδέματος, μεταξύ της περίπτωσης όπου η κινητήρια δύναμη είναι η διαφορά πίεσης και της περίπτωσης όπου πίεση και θερμοκρασία είναι η ίδια στις δύο πλευρές δοκιμίου ή μέλους, αλλά στη κάθε πλευρά βρίσκονται δύο διαφορετικά αέρια. Στη δεύτερη περίπτωση τα αέρια κινούνται στο σκυρόδεμα μέσω διάχυσης, ενώ στην πρώτη μας απασχολεί η διαπερατότητα. Δηλαδή με την ευκολία με την οποία αέρας, μερικά αέρια ή νερό μπορούν να διεισδύσουν στο σκυρόδεμα. Κάτω από ορισμένες συνθήκες έκθεσης, λοιπόν, η διαπερατότητα συνδέεται με την ανθεκτικότητα

Η αεροδιαπερατότητα επηρεάζεται σημαντικά από τη συντήρηση, ειδικά για σκυροδέματα χαμηλών και μετρίων αντοχών. Στο σχήμα 15 φαίνεται η επιρροή αυτή για σκυρόδεμα συντηρημένο για 28 μέρες, α) σε νερό (wet cured) και β) σε αέρα (dry cured), για σχετική υγρασία 65% και για αποθήκευση στη συνέχεια για ένα χρόνο σε θερμοκρασία 20⁰C και με το ίδιο ποσοστό υγρασίας.



Σχ. 15 : Σχέση μεταξύ διαπερατότητας οξυγόνου και θλιπτικής αντοχής για σκυροδέματα συντηρούμενα για 28 ημέρες σε νερό και σε αέρα με σχετική υγρασία 65% [3]

Η αεροδιαπερατότητα του σκυροδέματος επηρεάζεται, όπως προαναφέρθηκε, και από την περιεκτικότητά του σε υγρασία. Έχει παρατηρηθεί ότι η αλλαγή από μερικώς υγρές σε πολύ ξηρές συνθήκες, έχει δείξει μια αύξηση της διαπερατότητας της τάξης των δύο μονάδων. Γι' αυτό θα πρέπει σε όλες τις δοκιμές να χρησιμοποιείται σκυρόδεμα συγκεκριμένων συνθηκών. Συνήθως λοιπόν χρησιμοποιείται σκυρόδεμα που έχει ξηρανθεί σε φούρνο. Βέβαια, οι συνθήκες αυτές δεν αντιπροσωπεύουν το σκυρόδεμα σε κανονικές συνθήκες, και αυτό που θέλουμε είναι η συμπεριφορά του στο οξυγόνο που παίζει σημαντικό ρόλο στη διάβρωση του οπλισμού.

Ένα δοκίμιο που διατηρείται στον αέρα και σε σταθερή σχετικά υγρασία, ακόμα και σε 28 ημέρες, δεν σημαίνει απαραίτητα, ότι έχει εσωτερικά, ομοιόμορφα κατανεμημένη υγρασία [3].

Υδατοπερατότητα του σκυροδέματος

Ο σκληρυμένος τσιμεντοπολτός αποτελείται από κόκκους οι οποίοι ενώνονται μόνο κατά ένα μικρό ποσοστό της συνολικής επιφάνειάς τους. Γι' αυτό το λόγο ένα μέρος του νερού βρίσκεται κάτω από την επίδραση των ελκτικών δυνάμεων των στερεών, δηλαδή είναι επιφανειακά προσροφημένο. Αυτό το νερό έχει μεγάλο ιξώδες, αλλά παρόλα αυτά κινείται και παίρνει μέρος στη ροή. Όπως έχει προαναφερθεί, η διαπερατότητα του σκυροδέματος δεν είναι συνάρτηση μόνο του πορώδους αλλά εξαρτάται επίσης από το μέγεθος, το σχήμα, την κατανομή, τη ελκτικότητα και την συνέχεια των πόρων. Έτσι παρόλο που το πήγμα του τσιμέντου έχει πορώδες 28%, η διαπερατότητά του είναι μόνο $7 \cdot 10^{-16} \text{ m/s}$. Αυτό οφείλεται στην

εξαιρετικά λεπτή υφή του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού : δηλαδή οι πόροι των στερεών στοιχείων είναι μικροί και πολλοί, ενώ στα πετρώματα παρόλο που είναι λιγότεροι είναι πολύ μεγαλύτεροι και οδηγούν σε υψηλότερη περατότητα. Για τον ίδιο λόγο, το νερό μπορεί να ρέει πιο εύκολα μέσα στους τριχοειδείς πόρους, παρά μέσα στους πολύ μικρότερους πόρους του πηγματος του τσιμέντου αφού ο τσιμεντοπολτός σε σύνολο είναι 20 με 100 φορές πιο περατός απ' ό τι το πήγμα του. Έτσι μπορούμε να πούμε, ότι η διαπερατότητα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού εξαρτάται από το πορώδες των τριχοειδών του. Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι η διαπερατότητα του γρανίτη είναι περίπου ίδια με αυτή ενός ώριμου σκυροδέματος με λόγο νερού/τσιμέντο 0,70 και όχι υψηλής ποιότητας.

Η διαπερατότητα της τσιμεντόπαστας εξαρτάται από τη εξέλιξη της ενυδάτωσης. Σε μία νωπή τσιμεντόπαστα, η ροή του νερού εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και τη συγκέντρωση των μορίων τσιμέντου. Καθώς εξελίσσεται η ενυδάτωση, η διαπερατότητα μειώνεται απότομα επειδή ο όγκος του πηγματος (μαζί με τους πόρους του) είναι περίπου 2,1 φορές ο όγκος του μη ενυδατωμένου τσιμέντου, ώστε το πήγμα τελικά να πληρεί ορισμένα από, τα αρχικά, γεμάτα με νερό κενά. Σε μία όριμη τσιμεντόπαστα η διαπερατότητα εξαρτάται και από το εάν οι τριχοειδείς πόροι έχουν γίνει ασυνεχείς .

Επίσης, η διαπερατότητα του σκυροδέματος επηρεάζεται από τις ιδιότητες του τσιμέντου. Για τον ίδιο λόγο νερού προς τσιμέντο, το χονδρόκοκκο τσιμέντο τείνει να παράγει μία σκληρυμένη τσιμεντόπαστα με μεγαλύτερο πορώδες απ' ό τι ένα λεπτόκοκκο τσιμέντο. Γενικά, μπορεί κανείς να πει, ότι όσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή της σκληρυμένης τσιμεντόπαστας, τόσο μικρότερη είναι η διαπερατότητα. Υπάρχει όμως μία εξαίρεση σ' αυτό, η ξήρανση της τσιμεντόπαστας αυξάνει τη διαπερατότητα της επειδή η συστολή μπορεί να προκαλέσει διάρρηξη τμημάτων του πηγματος ανάμεσα στα τριχοειδή και άρα να ανοίξει νέες διόδους για το νερό [3].

Απορρόφηση

Ο όγκος των πόρων του σκυροδέματος, ως ένδειξη της ευκολίας με την οποία ένα ρευστό μπορεί να το διαπεράσει, μετράται με τη απορρόφηση. Η απορροφητικότητα μετράται συνήθως με ξήρανση ενός δοκιμίου, εμβάπτισή του σε νερό και μέτρηση της αύξησης της μάζας του σαν ποσοστό της αρχικής ξηρής του μάζας. Πολλές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της απορρόφησης, οι οποίες όμως δίνουν και διαφορετικά αποτελέσματα. Ένας λόγος γι' αυτήν τη διαφορά στα αποτελέσματα είναι από τη μία, ότι ξήρανση σε κανονική θερμοκρασία μπορεί να μην καταφέρει να εξατμίσει όλο το νερό, ενώ από την άλλη ξήρανση σε υψηλή θερμοκρασία μπορεί να αφαιρέσει ορισμένο από το δεσμευμένο νερό. Η απορρόφηση λοιπόν, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο της ποιότητας του σκυροδέματος αλλά τα περισσότερα καλά σκυροδέματα παρουσιάζουν απορρόφηση μικρότερη από το 10% της μάζας τους. Αν θέλουμε να μετρήσουμε τον όγκο που κατέλαβε το νερό, πρέπει να λάβουμε υπόψη τη διαφορά πυκνότητας του νερού και του σκυροδέματος.

Τα πειράματα απορρόφησης δεν χρησιμοποιούνται συχνά εκτός από ελέγχους ρουτίνας για την ποιότητα προκατασκευασμένων τμημάτων όπως πλάκες λιθόστρωσης, δάπεδα πεζοδρομίων κλπ.

Πειράματα επιφανειακής απορρόφησης

Για πρακτικούς λόγους, τα χαρακτηριστικά απορρόφησης της εξωτερικής ζώνης του σκυροδέματος (αυτής δηλαδή που προστατεύει τον οπλισμό) είναι που

παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί πειράματα που μετρούν την απορρόφηση της επιφάνειας.

Μια δοκιμή για να προσδιορίσουμε την αρχική επιφανειακή απορρόφηση περιγράφεται στον βρετανικό κανονισμό BS 1881 : Part 5:1970. Ο ρυθμός απορρόφησης του νερού από την επιφανειακή ζώνη του σκυροδέματος προσδιορίζεται για μια συγκεκριμένη περίοδο (που κυμαίνεται από 10 λεπτά έως 1 ώρα) με διαφορά υδροστατικής στάθμης 200mm (8in): αυτή η διαφορά στάθμης είναι σχεδόν η ίδια με αυτή που δημιουργείται από καταρρακτώδη βροχή. Ο ρυθμός της αρχικής απορρόφησης μετράται σε χιλιολίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο ανά δευτερόλεπτο.

Αρχική απορρόφηση μετά από 10 λεπτά μεγαλύτερη από 0,50 ml/m² το δευτερόλεπτο θεωρείται υψηλή, ενώ μικρότερη από 0,25 ml/m² το δευτερόλεπτο θεωρείται χαμηλή.

Μια ατέλεια της δοκιμής της αρχικής απορρόφησης είναι ότι η ροή του νερού μέσα στο σκυρόδεμα δεν είναι μιας κατεύθυνσης. Για το λόγο αυτό έχουν προταθεί άλλες τροποποιημένες δοκιμές αλλά δεν έχει κερδίσει γενική αποδοχή.

Η ποσότητα του νερού που απορροφάται από το σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της δοκιμής εξαρτάται από την ήδη υπάρχουσα περιεκτικότητα σε υγρασία. Γι' αυτό το λόγο, τα αποτελέσματα τη δοκιμής δεν μπορούν να ερμηνευθούν αν δε γνωρίζουμε την υγρασιακή κατάσταση του σκυροδέματος πριν από τη δοκιμή. Αυτή η απαίτηση δεν ικανοποιείται σε επί τόπου σκυρόδεμα. Έτσι μια χαμηλή τιμή της αρχικής απορρόφησης της επιφάνειας μπορεί να οφείλεται είτε στα ενυπάρχοντα χαμηλά χαρακτηριστικά απορρόφησης του σκυροδέματος είτε στο γεγονός ότι οι πόροι του χαμηλής ποιότητας σκυροδέματος είναι ήδη πληρωμένοι με νερό.

Λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω περιορισμό, η δοκιμή της αρχικής επιφανειακής απορρόφησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνουμε την αποτελεσματικότητα της συντήρησης στην εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος.

Μια δοκιμή με την οποία μετράται η ευκολία με την οποία νερό ή αέρας εισέρχεται στο σκυρόδεμα περιγράφεται παρακάτω [συσκευή Figg]. Μια μικρή τρύπα ανοίγεται στο δοκίμιο και σφραγίζεται με σιλικόνη. Αυτό στη συνέχεια τρυπάται από μία υποδερμική βελόνα η οποία είναι συνδεδεμένη με απορροφητική αντλία, έτσι ώστε να μπορούμε να εφαρμόσουμε υποπίεση. Ο χρόνος που απαιτείται για τον αέρα να εισχωρήσει στο σκυρόδεμα και να αυξήσει την πίεση στην κοιλότητα μέχρι μια συγκεκριμένη τιμή, είναι μια ένδειξη της αεροδιαπερατότητας του σκυροδέματος. Ένα άλλο μοντέλο της συσκευής, επιτρέπει την εκτίμηση της υδατοδιαπερατότητας του σκυροδέματος, μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται ένας δεδομένος όγκος νερού να εισχωρήσει στο σκυρόδεμα [3].

Απορροφητικότητα

Επειδή, από τη μία, οι δοκιμές που σχετίζονται με τη απορρόφηση παρουσιάζουν δυσκολίες, ενώ από την άλλη, οι δοκιμές διαπερατότητας μετρούν την αντίδραση του σκυροδέματος στην πίεση, που είναι σπάνια η αιτία για την εισχώρηση ρευστών στο σκυρόδεμα, υπάρχει η ανάγκη για άλλα είδη δοκιμών. Αυτές οι δοκιμές μετρούν το ρυθμό απορρόφησης του νερού από τα τριχοειδή του μη κορεσμένου σκυροδέματος που τοποθετείται σε επαφή με το νερό.

Η δοκιμή απορροφητικότητας καθορίζει το ρυθμό της τριχοειδούς απορρόφησης σε ένα δοκίμιο σκυροδέματος, το οποίο είναι βυθισμένο στο νερό κατά τέτοιο τρόπο ώστε να βρέχονται μόνο 2-5 mm του δοκιμίου.

Έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει σχέση της μορφής

$$i = St^{0.5}$$

όπου i = αύξηση της μάζας σε g/mm^2 από τη στιγμή που η διατομή ήρθε σε επαφή με το νερό
 t = χρόνος σε λεπτά οπότε προσδιορίζεται η μάζα.
 S = απορροφητικότητα σε $mm/min^{0.5}$

Στην πράξη είναι ευκολότερο να μετρηθεί η τιμή του i , ως ανύψωση του επιπέδου του νερού στο σκυρόδεμα, το οποίο φαίνεται λόγω του σκούρου χρώματος. Σ' αυτήν την περίπτωση το i μετράται απευθείας σε mm .

Στη δοκιμή πολλές μετρήσεις παίρνονται σε μια περίοδο 4 ωρών, και μια ευθεία γραμμή σχηματίζεται στο διάγραμμα αύξησης της μάζας ή της ανύψωσης του νερού σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου. Το πρώτο σημείο και πιθανότατα οι πρώτες μετρήσεις δεν λαμβάνονται υπόψη γιατί υπάρχει μια επί τόπου αύξηση της μάζας όταν οι ανοιχτοί πόροι στο χαμηλότερο τμήμα των 2-5 mm πρωτοβυθίζονται στο νερό.

Όπως και στη δοκιμή της αρχικής επιφανειακής απορρόφησης, όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε υγρασία, τόσο χαμηλότερη είναι η απορροφητικότητα. Για το λόγο αυτό, πρέπει τα δοκίμια να έχουν μπει στο φούρνο στους 105 °C για κάποιο διάστημα πριν τη δοκιμή, διαφορετικά θα πρέπει να είναι γνωστή και να ληφθεί υπόψη η κατάσταση υγρασίας του δοκιμίου [3].

4.2.3 Φυσικές και χημικές επιδράσεις

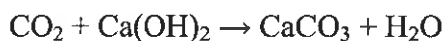
Γενικά μια κατασκευή από σκυρόδεμα στη διάρκεια ζωής της είναι δυνατόν να υποστεί τις εξής δράσεις:

- **Μηχανικές**
 - A) Επιβαλλόμενα φορτία
 - B) Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις (διαφορική καθίζηση, συστολή ξήρανσης, ερπυσμός, σεισμός, μικρομεταβολές της θερμοκρασίας)
- **Φυσικές**
 - A) Μηχανική φθορά (απότριψη, υδροφθορά, σπηλαίωση)
 - B) Ακραίες θερμοκρασίες (παγετός, πυρκαγιά)
- **Χημικές-βιολογικές**
 - A) Οξέα
 - B) Άλατα
 - Γ) Βάσεις
 - Δ) Βακτήρια

Από τις παραπάνω δράσεις, οι μηχανικές λαμβάνονται συνήθως υπόψη κατά το στατικό σχεδιασμό της κατασκευής (εκλογή διατομών, ποσοστό οπλισμού, κλπ) [2].

Ενανθράκωση

Ενανθράκωση ονομάζουμε την ένωση του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας με το υδροξείδιο του ασβεστίου που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου, και τη δημιουργία ανθρακικού ασβεστίου κατά την αντίδραση :



Για την πραγματοποίηση της αντίδρασης, απαιτούνται μικρές ποσότητες νερού. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενανθράκωσης παρατηρείται στον αέρα με σχετική υγρασία 50-70%. Το ξηρό σκυρόδεμα δεν θα ενανθρακωθεί, λόγω απουσίας της απαιτούμενης υγρασίας, ενώ σε κορεσμένο με νερό σκυρόδεμα εμποδίζεται η διάχυση του αερίου CO_2 στους πόρους του σκυροδέματος.

Το νερό που δημιουργείται μετά την αντίδραση διαχέεται προς το εσωτερικό του σκυροδέματος και η διαδικασία συνεχίζεται σε μεγαλύτερα βάθη. Η ενανθράκωση γίνεται με πολύ αργό ρυθμό (της τάξεως του 1mm ανά έτος), επομένως το πρόβλημα αρχίζει να εμφανίζεται, υπό κανονικές συνθήκες, μετά από μερικά χρόνια.

Η ενανθράκωση δεν είναι σημαντικά καταστρεπτική για το ίδιο το σκυρόδεμα, αλλά η δέσμευση του ασβεστίου μειώνει την αλκαλικότητα του με δυσμενή επίπτωση στην προστασία του χάλυβα.

Επίδραση θαλασσίου ύδατος

Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε θαλασσινό νερό είναι επιρρεπές σε ποικίλες χημικές και φυσικές επιδράσεις όπως :

- Υδροφθορά
- Επίδραση παγετού-τήξεως
- Επίδραση του CO_2 της ατμόσφαιρας
- Επίδραση των αλάτων μέσα στο νερό (κυρίως θεικών και χλωριούχων, ιδίως του μαγνησίου)
- Επίδραση αλκαλίων (νατρίων και καλίου)
- Σχηματισμός βιολογικής μεμβράνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος

Κατασκευές από σκυρόδεμα οι οποίες έρχονται σε άμεση επαφή με το θαλάσσιο νερό είναι γέφυρες, αποβάθρες, λιμενοβραχίονες, κρητιδότοιχοι κλπ.

4.3 Μηχανισμός φθοράς των οπλισμών

Ο μηχανισμός προστασίας / διαβρώσεως του χάλυβα, είναι συνοπτικά ο ακόλουθος :

Στην επιφάνεια των χαλύβων δημιουργείται λεπτό στρώμα οξειδίων του σιδήρου που το προστατεύουν από περαιτέρω διάβρωση. Η διάτρηση του προστατευτικού στρώματος μπορεί να συμβεί :

- Αν η αλκαλικότητα του περιβάλλοντος μειωθεί
- Ή αν ιόντα χλωρίου διεισδύσουν και το προσβάλλουν

Στο υγιές σκυρόδεμα, ο βαθμός αλκαλικότητας μετρούμενος με την τιμή του pH πρέπει να είναι 12-13 περίπου. Η δέσμευση όμως του υδροξειδίου του ασβεστίου που συμβαίνει όταν το υδροξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας ή άλλες βλαπτικές ουσίες διεισδύσουν μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, μειώνουν βαθμιαία την αλκαλικότητα του υλικού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία των συνθηκών διατήρησης, τοπικά ή σε μεγαλύτερη έκταση, του προστατευτικού στρώματος και την έναρξη διαβρώσεως του χάλυβα.

Διάβρωση είναι, η ένωση του χάλυβα με το οξυγόνο και η δημιουργία οξειδίων του σιδήρου. Στην πραγματικότητα όμως, το φαινόμενο είναι περισσότερο σύνθετο και απαιτεί την παρουσία και υγρασίας [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 **ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

5.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Είναι η διαδικασία εμπόδισης της απώλειας υγρασίας από το σκυρόδεμα, με ταυτόχρονη διατήρηση ικανοποιητικών επιπέδων θερμοκρασίας. Ο παραπάνω ορισμός τονίζει ότι η συντήρηση πρέπει να εμποδίζει την ανάπτυξη υψηλών διαφορών θερμοκρασίας εντός του σκυροδέματος.

Υπάρχουν πολλοί άλλοι ορισμοί που περιέχουν αναφορές στην ενυδάτωση, στην ανθεκτικότητα και στο κόστος, αλλά υπάρχουν τρεις βασικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη :

- υγρασία
- θερμότητα
- χρόνος

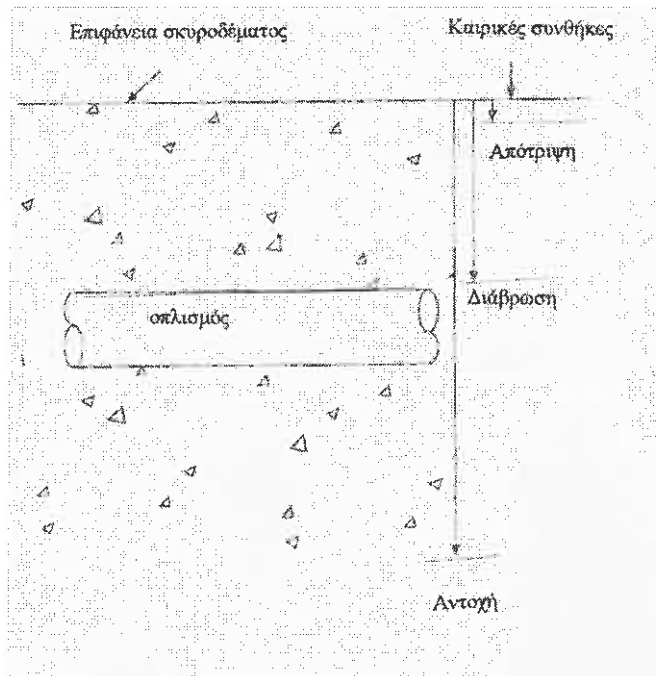
5.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Σύμφωνα με το βρετανικό κανονισμό BS 8110 (1997) , σκοπός της συντήρησης είναι να προστατέψει το σκυρόδεμα από :

- πρόωγη ξήρανση, κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία και τον άνεμο (πλαστική συστολή)
- διάλυση και εκροή συστατικών του σκυροδέματος από τη βροχή και το ρέων νερό
- ακαριαία ψύξη κατά τη διάρκεια των πρώτων ημερών μετά την τοποθέτηση
- υψηλές εσωτερικές διαφορές θερμοκρασίας
- χαμηλή θερμοκρασία ή παγετός
- δόνηση και κρούση η οποία μπορεί να διαταράξει το σκυρόδεμα και να εμποδίσει τη συνάφεια με τον οπλισμό

Επαρκής συντήρηση θα διευκολύνει, αλλά δεν θα διασφαλίσει, τη βέλτιστη ανάπτυξη της επιφανειακής ζώνης του νωπού και μόλις τοποθετημένου σκυροδέματος, σε δυνατό, αδιαπέρατο, χωρίς ρωγμές ανθεκτικό-σκληρυμένο σκυρόδεμα. Σκοπός είναι να διατηρηθεί το σκυρόδεμα όσο το δυνατό πιο καταβρεγμένο για επαρκή χρόνο ώστε οι πόροι να γεμίσουν στον επιθυμητό βαθμό με τα προϊόντα της ενυδάτωσης. Σύμφωνα με έρευνες, το βάθος της επιφανειακής ζώνης που επηρεάζεται ευθέως από τη συντήρηση μπορεί να φτάσει έως τα 20mm σε εύκρατες κλιματικές συνθήκες και έως τα 50mm σε πιο ακραίες ξηρές συνθήκες. Οι ιδιότητες του σκυροδέματος κάτω από αυτή τη ζώνη είναι απίθανο να επηρεαστούν σημαντικά από μια κανονική συντήρηση.

Είναι ωστόσο, αυτή η επιφανειακή ζώνη υπεύθυνη στο να προσφέρει τα αναγκαία χαρακτηριστικά σε μια κατασκευή ή στοιχείο από σκυρόδεμα, όπως αντίσταση σε απότριψη, αντίσταση σε χημική επίδραση και προστασία του οπλισμού. Το σχήμα δείχνει τα σχετικά βάθη από την επιφάνεια στα οποία οι διάφορες ιδιότητες επηρεάζονται από ανεπαρκή συντήρηση. Η σημασία της σωστής συντήρησης δεν πρέπει να παραβλέπεται.



Σχ. 16 Τα σχετικά βάθη στα οποία οι διάφορες ιδιότητες επηρεάζονται από ανεπαρκή συντήρηση (Τα βέλη δείχνουν το βάθος στο οποίο οι μηχανισμοί επηρεάζουν) [5]

Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα και πρότυπα, [5] μέτρα συντήρησης παίρνονται αν ο προβλεπόμενος ρυθμός εξάτμισης του νερού από την επιφάνεια, ξεπερνάει το $1 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ έτσι, ώστε να αποφευχθούν ρηγματώσεις από πλαστική συστολή, αλλά επίσης συνιστάται ότι τέτοια μέτρα μπορεί να είναι απαραίτητα αν ο ρυθμός ξεπερνάει τα $0,5 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$.

Με την απουσία οποιονδήποτε μέτρων συντήρησης, ο ρυθμός απώλειας νερού κατά την διάρκεια των πρώτων ωρών είναι παρόμοιος με αυτόν οποιασδήποτε άλλης υγρής επιφάνειας. Παρόλα αυτά, από τη στιγμή που το σκυροδέμα πήξει, ο ρυθμός εξάτμισης του νερού από την επιφάνεια του σκυροδέματος σε εύκρατα κλίματα είναι σχετικά αργός (εξαρτάται από τη σύσταση του σκυροδέματος, τις πραγματικές καιρικές συνθήκες κλπ) και η ενυδάτωση του σκυροδέματος στην εξωτερική ζώνη μπορεί να συνεχιστεί μέχρι ένα συγκεκριμένο βαθμό. Έρευνες έχουν δείξει ότι με την έλλειψη οποιασδήποτε συντήρησης (αποθήκευση εντός εργαστηριακού χώρου), ο χρόνος που χρειάζεται για να μειωθεί η σχετική υγρασία στο 95%, σε σκυροδέματα με τσιμέντο Portland με λόγο νερού προς τσιμέντο 0,59 είναι 4 ημέρες σε βάθος 7,5mm, 18 ημέρες σε βάθος 11,5mm και 111 ημέρες σε βάθος 33,5mm. Αυτοί οι χρόνοι είναι μεγαλύτεροι για σκυροδέματα με μικρότερο λόγο νερού προς τσιμέντο και επίσης για σύμμικτα τσιμέντα. Αυτά τα νούμερα ωστόσο, ισχύουν για ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες, ενώ στην πράξη επηρεάζονται από τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος, τη θερμοκρασία του αέρα, την ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασία του σκυροδέματος.

Η σχετική υγρασία μέσα στο σκυρόδεμα μπορεί να μετρηθεί, χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικούς αισθητήρες που μπαίνουν μέσα σε τρύπες που έχουν διανοιχθεί στο απαιτούμενο βάθος. Αυτοί οι αισθητήρες λειτουργούν με αρχή του σημείου δρόσεως σε μία παγωμένη επιφάνεια ή με χρήση ειδικού φιλμ ανίχνευσης υγρασίας που παράγει μεταβολή της ηλεκτρικής χωρητικότητας ή αντίστασης. Ταιριάζουν καλύτερα σε εργαστηριακές μελέτες και λιγότερο σε πρακτικές εφαρμογές.

5.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι συντήρησης επί τόπου σκυροδέματος είναι:

- Διατήρηση του ξυλοτύπου
- Τοποθέτηση καλύμματος στην επιφάνεια πριν από την πήξη του
- Ράντισμα με νερό
- Πλημμύρισμα με νερό
- Κάλυψη με υγρή άμμο, γη, sawdust, άχυρο ή με περιοδικά βρεγμένο σανό ή λινάτσες ή με τη χρήση απορροφητικού καλύμματος με πρόσβαση στο νερό
- Τοποθέτηση με μεμβρανών συντήρησης
- Αδιάβροχο ενισχυμένο χαρτί ή πλαστικό κάλυμμα
- Προστατευτική τέντα ή άλλο μέσο προφύλαξης ενάντια στους ανέμους
- Προστατευτικά από τον ήλιο
- Κάλυμμα με μονωτικό ή θερμαινόμενο στρώμα

Δεν χρειάζονται ειδικά μέτρα όταν οι επικρατούσες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας είναι τέτοιες ώστε να προσφέρουν επαρκή συντήρηση από μόνες τους. Πρέπει όμως να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί στην εκτίμηση των συνθηκών αυτών.

Θεωρητικά, το ελεύθερο νερό στα περισσότερα σκυροδέματα είναι κάτι παραπάνω από επαρκές για ολοκληρωμένη ενυδάτωση. Η αποφυγή της απώλειας της υγρασίας πιστεύεται ότι προσφέρει επαρκή συντήρηση. Παρόλ' αυτά ο ρυθμός ενυδάτωσης επιβραδύνεται σημαντικά όταν μειώνεται το επίπεδο σχετικής υγρασίας μέσα στους πόρους του σκυροδέματος. Με σχετική υγρασία κάτω από 95%, πιστεύεται ότι ο ρυθμός ενυδάτωσης θα μειωθεί στο βαθμό όπου δεν θα υπάρξει άλλη μείωση στο πορώδες, παρόλο που η ενυδάτωση δεν θα πάψει μέχρι η υγρασία να μειωθεί στο 80%. Αυτό είναι σημαντικό αφού και η αντοχή και η ανθεκτικότητα σχετίζονται με το πορώδες, με το πορώδες να έχει μεγάλη επιρροή στην ανθεκτικότητα. Σκυροδέματα αεροστεγώς σφραγισμένα με Ν/Τ κάτω από 0,5 παθαίνουν αυτοξήρανση [3] π.χ. το νερό που καταναλώνεται για την ενυδάτωση θα μειώσει το επίπεδο της σχετικής υγρασίας μέσα στους πόρους, τόσο που περαιτέρω ενυδάτωση δεν θα λάβει χώρα. Έτσι, θεωρητικά τουλάχιστον, οι βέλτιστες ιδιότητες θα επιτευχθούν με τη χρήση μεθόδων συντήρησης που επιτρέπουν την εισχώρηση νερού μέσα στο σκυρόδεμα (πλημμύρισμα, ράντισμα) και όχι μεθόδων που απλά αποτρέπουν ή μειώνουν την απώλεια υγρασίας.

5.3.1 Διατήρηση του ξυλοτύπου

Όταν οι περιορισμοί στο πρόγραμμα της κατασκευής το επιτρέπουν, η συντήρηση επιτυγχάνεται με διατήρηση του ξυλοτύπου. Enhanced συντήρηση μπορεί να επιτευχθεί χαλαρώνοντας τον ξυλότυπο όταν το σκυρόδεμα έχει σκληρύνει αρκετά ώστε αυτό να μπορεί να γίνει (τη επόμενη μέρα για παράδειγμα), ώστε να επιτρέψει στο νερό να εισχωρήσει ανάμεσα στον ξυλότυπο και στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Πρέπει να φροντίζεται ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος θερμικού σοκ από τη χρήση νερού που είναι πολύ κρύο και να διασφαλίζεται ότι το σκυρόδεμα παραμένει υγρό. [5]

5.3.2 Αδιαπέρατα καλύμματα

Αδιαπέρατο υλικό σε επαφή με την επιφάνεια του σκυροδέματος θα αποτρέψει την απώλεια νερού. Τέτοια λεπτά καλύμματα, όπως polythene, έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι πολύ ελαφριά και ελαστικά, έτσι που να μπορούν να τοποθετηθούν στις περισσότερες περιοχές και σε στοιχεία με πολύπλοκο σχήμα. Η κάλυψη μορφοποιημένων επιφανειών πρέπει να είναι σε άμεση επαφή με την επιφάνεια και καλά τοποθετημένη στις άκρες, ώστε να επιτυγχάνει αποτελεσματική προστασία. Αυτό όμως μπορεί να επηρεάσει την εμφάνιση της επιφάνειας και γι' αυτό δεν πρέπει να χρησιμοποιείται όταν η εμφάνιση αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Η κάλυψη πάνω σε νωπές, μη μορφοποιημένες επιφάνειες πρέπει να μην ακουμπάει σε αυτές από πάνω, αλλά να κλείνει στα πλάγια και στις άκρες, ώστε να αποτρέπει την εισχώρηση αέρα σχηματίζοντας έναν κλειστό χώρο με υψηλή σχετική υγρασία. Σε αυτήν την τοποθέτηση κάποια εξάτμιση από την επιφάνεια είναι αναπόφευκτη, αλλά μικρή, δεδομένου ότι ο χώρος είναι καλά κλεισμένος.

Στην πράξη, η τοποθέτηση της κάλυψης ώστε να μην ακουμπάει πάνω στο νωπό σκυρόδεμα, θεωρείται συχνά μη πρακτική, και αντ' αυτού τοποθετείται κατευθείαν πάνω στο σκυρόδεμα. Στην περίπτωση αυτή, είναι βασικό η επιφάνεια να μπορεί να σκληρυνθεί επαρκώς ώστε να αποτρέψει την καταστροφή από την επαφή με την κάλυψη. Η κάλυψη λευκού χρώματος βοηθά στον έλεγχο της επιφανειακής θερμοκρασίας του σκυροδέματος με την αντανάκλαση των ακτίνων του ήλιου, ενώ του μαύρου χρώματος θα έχουν το αντίθετο αποτέλεσμα και γι' αυτό θα πρέπει να αποφεύγονται σε εξωτερικές εφαρμογές με ζεστές συνθήκες. Η καθαρή κάλυψη θα έχει μικρή επιρροή στην απορρόφηση της θερμότητας.

Η επιφάνεια του σκυροδέματος θα πρέπει να υγραίνεται με ράντισμα με νερό πριν την εφαρμογή της κάλυψης, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επιρροή οποιασδήποτε αρχικής απώλειας νερού στο κενό μεταξύ σκυροδέματος και κάλυψης.

5.3.3 Απορροφητικά καλύμματα

Απορροφητικά υλικά, όπως σανό και άμμος, θα διατηρήσουν την επιφάνεια του σκυροδέματος υγρή εφόσον παραμένουν στη θέση τους και είναι και τα ίδια υγρά. Η χρήση τέτοιων υλικών μπορεί να μην είναι κατάλληλη για μεγάλα τμήματα όπου είναι απαραίτητο να είναι μονωμένες οι εξωτερικές επιφάνειες. Αυτό συμβαίνει επειδή πρέπει να αποφευχθεί ο κίνδυνος ρηγμάτωσης μέσω υψηλών θερμοκρασιών στα τμήματα αυτά.

Τα υλικά αυτά δεν πρέπει να περιέχουν βλαβερές ποσότητες συστατικών, όπως ζάχαρη και νιτρικά λιπάσματα, που μπορούν να βλάψουν την επιφάνεια του σκυροδέματος. Όπου η εμφάνιση είναι σημαντική, τα υλικά αυτά πρέπει επίσης να μην περιέχουν ουσίες που θα μπορούσαν να λεκιάσουν ή να αλλάξουν το χρώμα της επιφάνειας.

Στο τέλος της απαραίτητης περιόδου συντήρησης, η επακόλουθη ξήρανση του σκυροδέματος θα επιβραδυνθεί εάν το απορροφητικό αυτό υλικό μπορεί να ξηρανθεί τελείως πριν την απομάκρυνση του. [5]

5.3.4 Προσθήκη νερού

Το πλημμύρισμα επιτυγχάνεται εύκολα σε επίπεδες επιφάνειες με την κατασκευή μικρού τειχίου περιμετρικά αυτών και με τη διατήρηση της κλειστής αυτής περιοχής πλημμυρισμένης με νερό. Όπου χρησιμοποιείται το ράντισμα με νερό

ή με χρήση εκνεφωμένου, πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως η συνεχής παροχή νερού, η απόφραξη των ακροφυσίων, η κατεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου και δυνατότητα απορροής του επιπλέον νερού. Ο κίνδυνος θερμικού σοκ και υπερβολικών θερμοκρασιακών διαφορών κατά μήκος τμημάτων, θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη. Κανονισμοί προτείνουν ότι το νερό για τη συντήρηση δεν θα πρέπει να είναι περισσότερο από 11°C ψυχρότερο από το σκυρόδεμα, καθώς η ακαριαία ψύξη και συστολή της επιφάνειας, που εμποδίζεται από το θερμότερο υποκείμενο στρώμα, μπορεί να προκαλέσει την ανάπτυξη επαρκούς τάσης και άρα ρηγμάτωσης. Η χρήση ελεύθερου νερού, πρέπει επίσης να αποφεύγεται όπου είναι υπαρκτός ο κίνδυνος παγώματος της επιφάνειας του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της συντήρησης.

Το νερό που χρησιμοποιείται για τη συντήρηση πρέπει γενικά να είναι της ίδιας ποιότητας όπως αυτό που χρησιμοποιείται για την ανάμειξη. Συγκεκριμένα, αν το σκυρόδεμα είναι οπλισμένο ή αν περιέχει οποιοδήποτε άλλο μέταλλο, το νερό δεν πρέπει να περιέχει χλώριο σε σημαντικά επίπεδα, το οποίο μπορεί να εισχωρήσει στο σκυρόδεμα και τελικά να αυξήσει τον κίνδυνο πρώιμης διάβρωσης του οπλισμού. Όπου η εμφάνιση της επιφάνειας του σκυροδέματος είναι σημαντική, το νερό δεν πρέπει να περιέχει ουσίες που θα μπορούσαν να λεκιάσουν ή να αλλάξουν το χρώμα της επιφάνειας.

5.3.5 Μεμβράνες συντήρησης

Οι μεμβράνες αυτές τοποθετούνται σε υγρή μορφή, αφού το ελεύθερο νερό έχει εξαφανιστεί από την επιφάνεια του σκυροδέματος (για τις οριζόντιες επιφάνειες) , ή κατά την αφαίρεση του ξυλότυπου για μορφοποιημένες επιφάνειες. Τέτοια υλικά τυπικά περιέχουν συνθετικές ρητίνες, κερί και πτητικά διαλύματα σε κανονικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Αυτά έχουν ως σκοπό τη δραστητική μείωση του ρυθμού εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια. Όταν ο ρυθμός αυτός υπερβαίνει το ρυθμό εξίδρωσης, προτείνεται η διαβροχή της επιφάνειας του σκυροδέματος και η αναμονή του τέλους της εξίδρωσης, πριν την τοποθέτηση της μεμβράνης συντήρησης. Εάν η εξίδρωση συνεχιστεί κάτω από τη μεμβράνη, μπορεί να σχηματιστεί ένα στρώμα νερού ενδιάμεσα. Αυτό το στρώμα θα κάνει το σκυρόδεμα πολύ επιρρεπές σε καταστροφή κατά τη διάρκεια ζωής του. Επίσης υπάρχει πιθανότητα θραύσης της μεμβράνης, ώστε τελικά να χρειάζεται επανατοποθέτηση.

Τα αδιαφανή συστατικά, επιπλέον, σκιάζουν το σκυρόδεμα, ενώ τα ανοιχτά χρώματα μειώνουν την απορρόφηση της ηλιακής θερμότητας. Είναι δύσκολο να διακρίνει κανείς οπτικά εάν έχουν τοποθετηθεί σωστά καθαρές μεμβράνες. Γενικά οι μεμβράνες δεν είναι τόσο αποτελεσματικές όσο η σωστή εφαρμοσμένη υγρή συντήρηση, αλλά η μέθοδος αυτή είναι σπάνια οπότε η μέθοδος των μεμβρανών αξίζει να ληφθεί υπόψη. Έχουν επίσης το πλεονέκτημα ότι αφού τοποθετηθούν δεν χρειάζεται καμία επιπλέον ενέργεια σε αντίθεση με τις περισσότερες άλλες μεθόδους συντήρησης. Σε μερικές περιπτώσεις, ωστόσο, είναι απαραίτητο να αφαιρεθούν οι μεμβράνες συντήρησης πριν τη εφαρμογή τελειώματος της επιφάνειας του σκυροδέματος.

Οι μεμβράνες συντήρησης είναι διαθέσιμες σε διάφορες ποιότητες, που εκφράζονται ως αποδοτικότητα σε μερικές χώρες, ενώ σε άλλες ως κατακράτηση υγρών. Όσο μεγαλύτερη είναι η αποδοτικότητα τόσο καλύτερο αποτέλεσμα έχουν οι μεμβράνες. Προϊόντα με αποδοτικότητες χαμηλότερες από 80% είναι πιθανό να μην έχουν το απαιτούμενο αποτέλεσμα.

Σύμφωνα με το βρετανικό κανονισμό BS 7542, η αποδοτικότητα της συντήρησης μετράται συγκρίνοντας την απώλεια νερού από ένα επεξεργασμένο πρότυπο κονίαμα μέσα σε ζεστή, ξηρή ατμόσφαιρα (περίπου 38°C και 32-35% σχετικής υγρασίας για 72 ώρες) με την απώλεια νερού από ένα μη επεξεργασμένο αλλά κατά τα άλλα πανομοιότυπο δείγμα.

Η επιλογή της μεμβράνης είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν το σκυρόδεμα θα υποστεί περαιτέρω επεξεργασία, όπως σοβάντισμα ή βάψιμο. Μερικά συστατικά, αν δεν απομακρυνθούν με φυσικό τρόπο, θα αποτρέψουν τα υλικά που θα τοποθετηθούν στη συνέχεια, να προσκολληθούν. [5]

5.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΔΟΝΗΣΕΙΣ

Η υπερβολική δόνηση σκυροδέματος που δεν έχει ωριμάσει (από πηγές όπως σοβάτισμα, κίνηση από αυτοκίνητα ή τρένα που βρίσκονται κοντά) εφόσον έχει γίνει η αρχική πήξη μπορεί να προκαλέσει μειωμένη αντοχή και σύνδεση με τον οπλισμό. Το σκυρόδεμα, γι' αυτό θα πρέπει να προστατεύεται από καταστροφική δόνηση αρχικά για μια περίοδο τεσσάρων ωρών έως περίπου μία ημέρα.

Σκυροδέματα με σωστές αναλογίες μίξεως, μπορούν να αντέξουν δονήσεις μικρού εύρους και συχνότητας κατά τη διάρκεια της πήξης και της διαδικασίας της ανάπτυξης πρώιμης αντοχής. Το σκυρόδεμα με μεγάλη κάθιση έχει αποδειχθεί εργαστηριακά ότι είναι πιο επιρρεπές σε καταστροφή από δονήσεις που προκαλούνται από την κυκλοφορία οχημάτων. Επίσης μπορεί να αυξηθεί η εξίδρωση σκυροδέματος που έχει μόλις τοποθετηθεί.

Επίσης μπορεί να χρειαστεί η εξασφάλιση της κατάλληλης προστασίας μέσω της απομόνωσης του ξυλοτύπου από την πηγή που προκαλεί τη δόνηση. Στην περίπτωση της δόνησης προκαλούμενης από την κυκλοφορία απαιτείται μία ελάχιστη απόσταση 600mm ανάμεσα στους τροχούς του οχήματος και του σκυροδέματος. Επίσης πρέπει να υπάρχουν και κάποια όρια ταχύτητας.

5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Η συνηθισμένη μέθοδος της χαλαρής κάλυψης με πλαστικό κάλυμμα μπορεί να αποδειχθεί αναποτελεσματική, εάν δεν τοποθετηθεί σωστά, επειδή το νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια του σκυροδέματος, συγκεντρώνεται πάνω στο κάλυμμα και μπορεί συνεπώς να αποστραγγιστεί. Η τοποθέτηση του καλύμματος κατευθείαν επάνω στη μη μορφοποιημένη επιφάνεια θα επιβάλλει καθυστέρηση έως ότου το σκυρόδεμα έχει γίνει αρκετά άκαμπτο για να μην υποστεί βλάβη η επιφάνεια. Αυτή η καθυστέρηση μπορεί να ακυρώσει την επίδραση της συντήρησης για ορισμένους σκοπούς, όπως η αποφυγή ρηγματώσεων λόγω πλαστικής συστολής.

Απορροφητικό υλικό το οποίο μπορεί να στεγνώσει υπάρχει πιθανότητα να τραβήξει υγρασία από την επιφάνεια του νωπού σκυροδέματος, πράγμα που θα ήταν χειρότερο από το να μην υπήρχε καθόλου συντήρηση.

Η καθυστέρηση ανάμεσα στη διαδικασία τελειώματος της επιφάνειας του σκυροδέματος ή στην αφαίρεση του ξυλοτύπου και στην τοποθέτηση του μέσου συντήρησης, μπορεί να μειώσει ή να εξαλείψει την αποτελεσματικότητα της συντήρησης. Η διακοπτόμενη συντήρηση μέσα στις 2-3 πρώτες μέρες μπορεί να έχει το ίδιο αποτέλεσμα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, το υδροξείδιο του ασβεστίου που έχει αποθηκευτεί στους τριχοειδείς πόρους της επιφάνειας από την εξάτμιση του νερού, ενανθρακώνεται. Το ανθρακικό ασβέστιο που προκύπτει κατά αυτόν τον τρόπο γεμίζει εν μέρει τα τριχοειδή, εμποδίζοντας το νερό να επιστρέψει πίσω στο

σκυρόδεμα. Επίσης διακοπτόμενη πρόωρη συντήρηση μπορεί να προκαλέσει επιφανειακές ρηγματώσεις. Μετά από 2 ή 3 μέρες αποτελεσματικής, συνεχούς συντήρησης, η διακοπτόμενη συντήρηση μπορεί να προκαλέσει συνεχή ενυδάτωση, αλλά με μειωμένο ρυθμό.

Δεν υπάρχει μέθοδος επιτόπου μέτρησης της αποτελεσματικότητας της συντήρησης. Εξ ορισμού, το τμήμα του σκυροδέματος που επηρεάζεται από την συντήρηση περιορίζεται στα εξωτερικά στρώματα και οι περισσότερες επιτόπου τεχνικές στηρίζονται στη μέτρηση ιδιοτήτων σε βάθος που κατά μέσο όρο ξεπερνά την περιοχή που επηρεάζεται.

5.6 ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Το χρονικό αυτό διάστημα εξαρτάται από:

- Το σκοπό της συντήρησης (πλαστική συστολή, έλεγχος της θερμοκρασίας, αντοχή, ανθεκτικότητα κλπ)
- Το μέγεθος του στοιχείου
- Τον τύπο του σκυροδέματος (κυρίως ο ρυθμός σκλήρυνσης)
- Οι συνθήκες του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της συντήρησης
- Οι συνθήκες που αναμένονται μετά τη συντήρηση

Η επίδραση του τύπου του τσιμέντου

Τσιμέντα ή συνδυασμοί που περιέχουν ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνου, ασβεστολιθικής προέλευσης φύλλερ ή πυριτική παιπάλη αντιδρούν βραδύτερα από τα κοινά τσιμέντα Portland, ειδικότερα σε κρύους καιρούς. Σκυροδέματα που περιέχουν σύμμικτα τσιμέντα πρέπει να συντηρούνται πιο διεξοδικά και για μεγαλύτερη περίοδο απ' ότι τα σκυροδέματα με τσιμέντο Portland, ιδίως όταν τα πλεονεκτήματα στην ανθεκτικότητα εμφανίζονται κοντά στην επιφάνεια και στη ζώνη κάλυψης. Σκυροδέματα τα οποία περιέχουν συμπτυκνωμένη πυριτική παιπάλη εμφανίζουν ελάχιστη εξίδρωση και γι' αυτό το λόγο απαιτούν πρόωμη προστασία για την αποφυγή ρωγμών λόγω πλαστικής συστολής.[5]

5.7 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΟΠΟΥ Η ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΙΝΑΙ ΙΔΙΑΙΤΕΡΗΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ

Οι παρακάτω καταστάσεις απαιτούν ιδιαίτερη σκέψη για τις ανάγκες για συντήρηση:

- Οριζόντιες επιφάνειες
- Ξηρές, ζεστές, με ισχυρούς ανέμους καιρικές συνθήκες (ένα ή περισσότερα από αυτά)
- Δάπεδα ανθεκτικά σε απότριψη
- Σκυροδέματα υψηλής αντοχής (η αρχική συντήρηση είναι ιδιαίτερα σημαντική)

5.8 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η σκλήρυνση του σκυροδέματος είναι μία χημική αντίδραση- η ταχύτητα της αντίδρασης αυτής αυξάνει με τη θερμοκρασία, αλλά το ίδιο και ο ρυθμός εξάτμισης από μία ελεύθερη επιφάνεια του σκυροδέματος. Η ταχύτητα της αντίδρασης στους 35⁰C είναι περίπου η διπλάσια απ' αυτήν στους 20⁰C, η οποία με τη σειρά της είναι διπλάσια απ' αυτή στους 10⁰C.

Η τελική αντοχή του σκυροδέματος που έχει συντηρηθεί σε χαμηλή θερμοκρασία (π.χ. το χειμώνα), είναι γενικώς μεγαλύτερη από την αντοχή σκυροδέματος που έχει συντηρηθεί σε υψηλή θερμοκρασία (π.χ. το καλοκαίρι). Παρόλ' αυτά ακραίες θερμοκρασίες έχουν γενικά αρνητική επίδραση. Η χαμηλή ταχύτητα αντίδρασης σε χαμηλές θερμοκρασίες σημαίνει ότι το σκυρόδεμα πρέπει να συντηρηθεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, προκειμένου να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός αντίδρασης. Οι υψηλές ταχύτητες σε υψηλές θερμοκρασίες δίνουν σχετικά υψηλές πρώιμες αντοχές, αλλά οι μακροπρόθεσμες αντοχές και η ανθεκτικότητα γενικώς μειώνονται.

Η βέλτιστη θερμοκρασία που απαιτείται για να επιτευχθεί η μέγιστη αντοχή των 28 ημερών, βασισμένη σε μικρά εργαστηριακά δοκίμια, είναι περίπου 13°C [3] ενώ η θερμοκρασία περιβάλλοντος $15-25^{\circ}\text{C}$ θεωρείται η καταλληλότερη για τις διαδικασίες σκυροδέτησης.

Η ενυδάτωση συνεχίζεται, σε κάποιο βαθμό, σε θερμοκρασίες πολύ χαμηλές, όπως -10°C . Παρόλ' αυτά, κάποια αντοχή θα αναπτυχθεί για θερμοκρασίες κάτω από 0°C , ενώ κάτω από τους 5°C καθυστερείται σημαντικά η ανάπτυξη της πρώιμης αντοχής. Ακόμα και για θερμοκρασίες από $5-10^{\circ}\text{C}$ οι συνθήκες για την ανάπτυξη της πρώιμης αντοχής είναι δυσμενείς. Οι επιπτώσεις λόγω αυτών των καταστάσεων, είναι περισσότερο εμφανείς στα λεπτά τμήματα, στην περιοχή κοντά στην επιφάνεια των μεγαλύτερων τμημάτων και σε σκυροδέματα που αποτελούνται από τσιμέντα με μικρή ταχύτητα ενυδάτωσης. Η συνολική αντοχή των μεγαλύτερων τμημάτων επηρεάζεται λιγότερο επειδή, γενικώς, η εσωτερική θερμοκρασία ανεβαίνει λόγω της θερμοκρασίας της ενυδάτωσης.

Το σκυρόδεμα δεν επιτρέπεται να παγώσει, πριν αποκτήσει ικανή αντοχή ώστε να αντιστέκεται στη φθορά. Σύμφωνα με κανονισμούς, η αντοχή αυτή είναι περίπου $3,5\text{MPa}$. Ένα αερακτικό σκυρόδεμα, δεν επιτρέπεται να υποστεί εναλλαγές ψύξης και θήξης έως ότου αποκτήσει αντοχή περίπου 25MPa . Ένα μη αερακτικό σκυρόδεμα, δεν πρέπει να υποστεί εναλλαγή ψύξης- θήξης κατά τη διάρκεια της διαβροχής.

Η θερμοκρασία του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της συντήρησης εξαρτάται από :

- Τις διαστάσεις του στοιχείου
- Τον καιρό (περιβαλλοντικές συνθήκες)
- Είδος τσιμέντου
- Περιεκτικότητα σε τσιμέντο
- Πρόσθετα (επιταχυντικά, επιβραδυντικά)
- Τη θερμοκρασία του νωπού σκυροδέματος
- Το είδος και την τοποθέτηση του ξυλοτύπου
- Το χρόνο αφαίρεσης του ξυλοτύπου

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας σε επί τόπου σκυρόδεμα, κατά τη σκλήρυνση επιχειρείται μόνο σε ακραίες θερμοκρασίες, όπου για παράδειγμα υπάρχει :

- Κίνδυνος παγετού
- Κίνδυνος ανάπτυξης μεγάλων θερμοκρασιακών διαφορών σε κάποιο τμήμα του σκυροδέματος.

Η μέγιστη θερμοκρασία σε ένα τμήμα πρέπει γενικά να διατηρείται κάτω από $65-70^{\circ}\text{C}$ ώστε να μειωθεί η επίπτωση στη θλιπτική αντοχή και να μειωθεί ο κίνδυνος καθυστερημένης δημιουργίας ετρίγγιτη (ένωση σε μορφή βελόνων που αποτελείται

από C₃A και γύψο, διογκώνει και σπάει το σκυρόδεμα). Οι μετρήσεις για να μειωθούν τα θερμοκρασιακά μέγιστα δεν συμπεριλαμβάνονται στις συνήθεις τεχνικές συντήρησης, ενώ περιλαμβάνουν την ψύξη του νωπού σκυροδέματος με διάφορα μέσα ή με σωλήνες ψύξης. [5]

5.9 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Το σκυρόδεμα το οποίο επιτρέπεται να παγώσει πριν επιτευχθεί ένας ελάχιστος βαθμός σκλήρυνσης, θα καταστραφεί λόγω της διαστολής του νερού μέσα στο σκυρόδεμα καθώς παγώνει. Αυτό θα οδηγήσει σε ανεπανόρθωτη απώλεια αντοχής. Η υπερβολική εξάτμιση από μία εκτεθειμένη οριζόντια επιφάνεια μέσα σε περίπου 24 ώρες από τη σκυροδέτηση έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ρηγματώσεων λόγω πλαστικής συρρίκνωσης και την αποδυνάμωση της επιφάνειας. Υπερβολική διαφορά θερμοκρασίας σε μια τομή ενός στοιχείου θα προκαλέσει πρώιμη θερμική ρηγματώση, λόγω περιορισμού της συστολής των εξωτερικών κρύων στρωμάτων από το εσωτερικά θερμότερο σκυρόδεμα. Ανεπαρκής συντήρηση, θα έχει σαν αποτέλεσμα οι ιδιότητες του σκυροδέματος στην επιφάνειά του, και για 30-50 mm βάθος, να μην πληρούν τις προϋποθέσεις του σχεδιαστή σε ό,τι αφορά την ανθεκτικότητα, την αντοχή και την αντίσταση σε απότριψη.

5.10 ΕΠΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ

Η επιρροή της συντήρησης στην αντοχή περιορίζεται στις περιοχές κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος, οπότε αυτή εξαρτάται από το μέγεθος του στοιχείου και τον τρόπο φόρτισης. Η επιρροή σε μεγάλα στοιχεία που φορτίζονται σε θλίψη θα είναι πολύ μικρότερη απ' ό,τι σε μεγάλα στοιχεία που φορτίζονται σε κάμψη. Η δομική επάρκεια των περισσότερων στοιχείων θεωρείται απίθανο να μειωθεί σημαντικά λόγω ανεπαρκούς συντήρησης. Οι προσπάθειες εκτίμησης της επίπτωσης της λανθασμένης συντήρησης στην ανάπτυξη της αντοχής σε μικρά κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια είναι πιθανό ότι οδηγούν σε υποεκτίμηση της πραγματικής αντοχής.

Η επίδραση της μειωμένης αντοχής της επιφανειακής ζώνης στην απόδοση της κατασκευής μετράται βγάζοντας συμπεράσματα για την πραγματική μείωση της αντοχής και το βάθος της επίδρασης.

5.11 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η επιθυμητή διάρκεια συντήρησης εκφράζεται καμιά φορά σε σχέση με την ωριμότητα του σκυροδέματος. Το σκεπτικό αυτό χρησιμοποιείται προκειμένου να προβλέψουμε το ρυθμό ανάπτυξης της αντοχής σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του χρόνου αφαίρεσης των ξυλοτύπων, αλλά και για το χρόνο φόρτισης. Η ωριμότητα επιτρέπει την πρόβλεψη της αντοχής σκυροδέματος, γνωστού ιστορικού θερμοκρασίας-χρόνου, μέσω εργαστηριακών δοκιμών που έχουν συντηρηθεί σε ορισμένες συνθήκες.

Η ωριμότητα είναι το άθροισμα του γινομένου της θερμοκρασίας (πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο, συνήθως -11⁰C, η θερμοκρασία στην οποία παύει η ενυδάτωση) και του χρόνου στον οποίο επικρατεί η εν λόγω θερμοκρασία :

$$M = \Sigma(T \cdot \Delta t) \text{ [}^{\circ}\text{C} \cdot \text{h]}$$

Τση ωριμότητα πρέπει να σημαίνει και ίση αντοχή. Όμως η σχέση μεταξύ ωριμότητας και αντοχής εξαρτάται από τον πραγματικό τύπο του τσιμέντου και της τάξης αντοχής που χρησιμοποιείται, το λόγο νερού/τσιμέντο και από το εάν υπάρχει σημαντική απώλεια νερού κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Για αυτό λόγο, η σχέση της ωριμότητας πρέπει να υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε σκυρόδεμα με χρήση εργαστηριακών δοκιμών τα οποία αποθηκεύονται μεν σε σταθερή θερμοκρασία δοκιμάζονται δε σε ξεχωριστές ηλικίες ώστε να δώσουν το απαιτούμενο εύρος της ωριμότητας.

Η λογική του μεγέθους της ωριμότητας δεν μπορεί, με την υπάρχουσα γνώση, να συσχετισθεί με την ανθεκτικότητα όπως με την αντοχή. Έτσι, όπου απαιτείται συντήρηση για ιδιότητες όπως αντοχή σε απότριψη, διαπερατότητα, αντοχή σε ψύξη-τήξη κλπ μπορεί να χρειαστεί περαιτέρω συντήρηση πέρα από την περίοδο που καθορίζει η ωριμότητα στην οποία αναπτύσσεται ορισμένη αντοχή. [5]

5.12 ΑΥΤΟΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Έχει από καιρό αρχίσει η προσπάθεια παραγωγής "αυτοσυντηρούμενου" σκυροδέματος το οποίο δεν θα έχει ανάγκη συντήρησης διότι είτε θα εμποδίζεται η εξάτμιση του περιεχόμενου νερού, είτε από μόνο του θα παρέχει στη μάζα του το επιπλέον νερό που χρειάζεται κατά την ενυδάτωση [13]. Προβλέπεται ότι τον επόμενο αιώνα, οι διαδικασίες συντήρησης (τοποθέτηση, διατήρηση, απομάκρυνση καλυμμάτων) θα έχουν προχωρήσει σε βαθμό τέτοιο που θα υπάρχουν προδιαγραφές επιτελεσματικότητας, οι οποίες θα έχουν ποσοτικές απαιτήσεις για αποδοχή και πληρωμή των εργασιών συντήρησης.[12]

Οι μέθοδοι παραγωγής αυτοσυντηρούμενου σκυροδέματος που έχουν δοκιμαστεί μέχρι σήμερα είναι οι ακόλουθες [9] :

- Χρησιμοποίηση προσθέτων που μεταβάλλουν τις συνθήκες εξάτμισης του νερού παρεμποδίζοντας την απομάκρυνσή του από το σκυρόδεμα (μεταβάλλουν την επιφανειακή τάση).
- Χρήση πολυμερών υψηλής απορροφητικότητας
- Αντικατάσταση μέρους των αδρανών με πορώδη αδρανή κορεσμένα με νερό.

5.13 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έρευνες έχουν δείξει ότι δοκίμια συντηρημένα σε υγρό περιβάλλον αποδίδουν χειρότερα από δοκίμια συντηρημένα στον αέρα σε πειράματα που αφορούν σε επίδραση χλωρίου και θεικών. Η επίδραση της συντήρησης σε ιδιότητες που σχετίζονται με την ανθεκτικότητα είναι δύσκολο να ανιχνευθεί επαρκώς, λόγω της ενδογενούς μεταβλητότητας και της μειωμένης ευαισθησίας των τεχνικών μέτρησης των επιφανειακών επιπτώσεων που εφαρμόζονται σήμερα (αεροδιαπερατότητα κλπ).

Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας που έχει γίνει για την επίδραση της συντήρησης στις ιδιότητες του σκυροδέματος αφορά μικρά δοκίμια τα οποία αποθηκεύονται για διάφορα χρονικά διαστήματα κάτω από το νερό. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών δεν μπορούν να συγκριθούν με επιτόπου σκυρόδεμα, το οποίο συντηρείται με κανονικές τεχνικές. Σε κλίματα με συχνή

βροχόπτωση, το βάθος της ενανθράκωσης, σε σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε εξωτερικές συνθήκες, δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την αρχική συντήρηση. Παρόλ' αυτά σε κλίματα με μεγάλες ξηρές περιόδους και για σκυροδέματα τα οποία προστατεύονται από τη βροχή, αυτό είναι απίθανο να συμβεί.

ΜΕΡΟΣ Β

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η συντήρηση, όπως περιγράφηκε και στο κεφάλαιο 5 του μέρους Α, είναι μια διαδικασία εξαιρετικά σημαντική για τις κατασκευές από σκυρόδεμα, διότι από αυτήν εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό η ανθεκτικότητα των κατασκευών.

Μέσω της συντήρησης, σχηματίζεται στο σκυρόδεμα μια μεμβράνη πάχους 1-2 cm, η οποία προφυλάσσει το σκυρόδεμα και τον οπλισμό από την είσοδο διαβρωτικών παραγόντων. Ιδιαίτερα στη χώρα μας, το κλίμα είναι τέτοιο που η συντήρηση θα έπρεπε να γίνεται με επιμέλεια και προσοχή, στην πλειονότητα όμως των περιπτώσεων η διαδικασία αυτή αμελείται (π.χ πρόωρη αφαίρεση ξυλοτύπων, ανεπαρκής διαβροχή).

Σκοπός ήταν η εύρεση τρόπου καλύτερης συντήρησης του σκυροδέματος. Έγινε η σκέψη, ότι τα πολυμερή υψηλής απορροφητικότητας που χρησιμοποιούνται στο εμπόριο θα μπορούσαν να βοηθήσουν στο σκοπό αυτό. Τα πολυμερή αυτά, αν μπορούσαν να τοποθετηθούν στην εσωτερική επιφάνεια του ξυλότυπου, με κάποια μορφή, θα είχαν την εξής λειτουργία : μετά τη συμπίκνωση τα πολυμερή θα άρχιζαν να απορροφούν νερό επιφανειακά και σε βάθος 1-2 cm. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση του λόγου N/T, στην επιφανειακή αυτή ζώνη, για το ήδη συμπτυκνωμένο σκυρόδεμα, δηλαδή μείωση του πορώδους και άρα μείωση της διαπερατότητας. Συνεπώς οδηγούμαστε σε σκυρόδεμα πιο ανθεκτικό και με μεγαλύτερη αντοχή.

Μετά την πήξη του σκυροδέματος τα πολυμερή θα άρχιζαν να αποδομούνται και να αποδίδουν στο σκυρόδεμα το νερό που απορρόφησαν, το οποίο πλέον θα ήταν διαθέσιμο για να το συντηρήσει.

Επομένως, η χρήση των πολυμερών θα είχε διπλό όφελος, που συνοψίζεται στα παρακάτω :

- Βελτίωση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος όσο αυτό είναι ακόμα νωπό αλλά και,
- Καλή συντήρηση όταν αυτό αρχίζει να πήζει.

Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι ιδιότητες αυτές των πολυμερών, χρησιμοποιήθηκαν ειδικά, λεπτά, διαπερατά υφάσματα, από αυτά που υπάρχουν στο εμπόριο, και τα οποία περιέχουν στο εσωτερικό τους τα πολυμερή αυτά. Τα υφάσματα αυτά διαμορφώθηκαν στις διαστάσεις των καλουπιών και κολλήθηκαν στο εσωτερικό τους με κοινή κόλλα σε μικρή ποσότητα.

Κατόπιν κατασκευάστηκαν δοκίμια για διάφορα μίγματα, και έγιναν δοκιμές σε θλίψη, σε εφελκυσμό από διάρρηξη, σε πορώδες, σε αεροδιαπερατότητα και σε υδαταπορρόφηση προκειμένου να επιβεβαιωθεί η παραπάνω συλλογιστική. Για όλες τις δοκιμές τα μισά δοκίμια είχαν συντηρηθεί με το απορροφητικό ύφασμα και τα υπόλοιπα χωρίς, προκειμένου να υπάρξει σύγκριση των δύο τρόπων συντήρησης.

Σημειώνεται ότι το απορροφητικό ύφασμα θα ονομάζεται από εδώ και στο εξής, χάριν συντομίας, **επένδυση** και θα εννοείται η επένδυση των καλουπιών με το ύφασμα αυτό από απορροφητικά πολυμερή.

1.2 ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΟΚΙΜΩΝ-ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

Παρασκευάστηκαν τρεις παρτίδες δοκιμών.

Η **πρώτη** παρτίδα περιελάμβανε κυβικά και κυλινδρικά δοκίμια (οι διαστάσεις και όλες οι σχετικές λεπτομέρειες αναφέρονται αναλυτικά στα κεφάλαια που ακολουθούν) τα μισά με επένδυση, τα μισά χωρίς. Τα μισά κυβικά δοκίμια δοκιμάστηκαν σε θλίψη και κατόπιν σε πορώδες και τα υπόλοιπα σε αεροδιαπερατότητα. Τα κυλινδρικά δοκιμάστηκαν σε εφελκυσμό από διάρρηξη. Όλες οι δοκιμές γίνονταν αφού είχε προηγηθεί σχολαστική αφαίρεση της επένδυσης. Η δοκιμή σε θλίψη και η δοκιμή αεροδιαπερατότητας δεν είχαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα σε αντίθεση με τις υπόλοιπες δοκιμές. Για τη θλίψη έγινε η υπόθεση ότι υπεύθυνος για αυτήν την εξέλιξη ήταν ο μη αναμενόμενος μηχανισμός θραύσης λόγω των ανωμαλιών που δημιουργεί στην επιφάνεια η επένδυση. Για την αεροδιαπερατότητα έγινε η υπόθεση, ότι οι οπές που διανοίχτηκαν ήταν μεγάλες για το πώμα που χρησιμοποιήθηκε και έτσι δεν αποφεύχθηκε η εισροή αέρα (βλ.κεφ.3.4)

Για το λόγο αυτό, αποφασίστηκε να γίνει και **δεύτερη** παρτίδα. Αυτή τη φορά, για τη θλίψη, χρησιμοποιήθηκαν κυλινδρικά δοκίμια, τα οποία προτού δοκιμαστούν σε θλίψη, υπέστησαν λείανση της άνω και κάτω επιφάνειας, προκειμένου οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με την πρέσα να είναι λείες και να μην επηρεάζουν το μηχανισμό θραύσης. Τα δοκίμια αυτά μετά τη θλίψη τους υπεβλήθησαν και σε δοκιμή πορώδους. Επίσης, για την αεροδιαπερατότητα, αποφασίστηκε να διανοιχτούν στα κυβικά δοκίμια μικρότερες οπές προκειμένου να αποφευχθεί η εισροή αέρα. Και πάλι όμως, η δοκιμή αεροδιαπερατότητας δεν έδωσε σαφή αποτελέσματα.

Η **τρίτη** παρτίδα περιελάμβανε κυβικά δοκίμια στα οποία είχε τοποθετηθεί επένδυση στις δύο αντικριστές παράπλευρες επιφάνειες μόνο και τα οποία θα δοκιμάζονταν σε θλίψη αλλά και κυβικά δοκίμια τα οποία θα δοκιμάζονταν σε υδαταπορρόφηση. Τα δοκίμια της θλίψης έσπασαν τα μισά από τις πλευρές χωρίς την επένδυση ενώ τα υπόλοιπα από τις πλευρές με την επένδυση. Αυτό έγινε προκειμένου να επιβεβαιωθεί η υποψία ότι για τα μη αναμενόμενα αποτελέσματα της δοκιμής σε θλίψη της πρώτης παρτίδας οφείλονται στις ανωμαλίες που δημιουργεί στην επιφάνεια η επένδυση. Σε αυτήν την παρτίδα έγινε τέλος δοκιμή υδαταπορρόφησης επειδή από τη δοκιμή αεροδιαπερατότητας των προηγούμενων παρτίδων σε ορισμένα σημεία υπήρχαν ασάφειες.

Σημειώνεται ότι οι δύο πρώτες παρτίδες αποτελούνταν από 5 μίγματα (με λόγους N/T:0,38 , 0,505 , 0,58 , 0,61 , 0,70). Για τη θλίψη της τρίτης παρτίδας χρησιμοποιήθηκε μίγμα με λόγο N/T:0,505, ενώ η δοκιμή υδαταπορρόφησης έγινε για τα μίγματα με λόγους N/T:0,38 , 0,505 , 0,70.

Τα μίγματα και οι συνθέσεις τους, οι διαδικασίες των δοκιμών, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα φαίνονται αναλυτικά στα κεφάλαια που ακολουθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 **ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

2.1 ΥΛΙΚΑ

A) Τσιμέντο

Ο τύπος τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε ήταν κοινός για την παρασκευή όλων των δοκιμών και ήταν CEM IV/B 32,5.

B) Νερό

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε ήταν κοινό νερό βρύσης από το δίκτυο ύδρευσης του Ε.Μ.Π.

Γ) Αδρανή

Χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι αδρανών, άμμος και γαρμπίλι. Για κάθε τύπο ξεχωριστά έγινε η κοκκομετρική διαβάθμιση και υπολογίστηκε η πυκνότητα.

Δ) Πρόσθετα

Για κάποια μίγματα χρησιμοποιήθηκε υπερρευστοποιητικό τύπου SPL-P.

2.1.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Η διαδικασία έγινε σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 933.01 Αρχικά, έγινε τετραμερισμός του κάθε υλικού. Αυτό έγινε με σκοπό να ληφθεί αντιπροσωπευτικό δείγμα, λόγω του ότι κατά την αποθήκευσή του σε βαρέλια υπάρχει πιθανότητα διαχωρισμού σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα μέρη.

Η άμμος αρχικά ζυγίστηκε, στη συνέχεια πλύθηκε στο κόσκινο Νο 200 και αφού θερμάνθηκε στους 110 ± 5 °C και αφέθηκε να κρυώσει, ζυγίστηκε πάλι. Η διαφορά αυτή του βάρους αποτελεί την ποσότητα της παιπάλης.

Τέλος, τοποθετήθηκε το κάθε υλικό ξεχωριστά στη κοσκινιέρα με τα κόσκινα τοποθετημένα, από πάνω προς τα κάτω, σε φθίνουσα σειρά. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν τα εξής πρότυπα κόσκινα των αμερικάνικων κανονισμών (κατά AASHTO):

- 1/2 '' (12,5mm)
- 3/8 '' (9,5mm)
- 1/4 '' (6,5mm)
- No 4 (4,75mm)
- No 8 (2,36mm)
- No 16 (1,18mm)
- No 30 (0,60mm)
- No 50 (0,30mm)
- No 100 (0,15mm)
- No 200 (0,08mm)

Αναλυτικά τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω δελτία και διαγράμματα κοκκομετρικής ανάλυσης.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στοιχεία δείγματος: Γαρμπίλι

Ημερομηνία δοκιμής: 18/03/2005

Βάρος ολικού δείγματος			Διερχομένο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. Κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75,00	3''			
63,00	2 1/2''			
50,00	2''			
37,50	1 1/2''			
31,50	1 1/4''			
25,00	1''			
19,00	3/4''			
16,00	5/8''			
12,50	1/2''	140,52	2359,48	94,38
9,50	3/8''	780,53	1578,95	63,16
6,30	1/4''	1027,90	551,05	22,04
4,75	No 4	406,44	144,31	5,78
2,36	No 8	128,44	16,17	0,65
2,00	No 10			
1,18	No 16			
0,60	No 30			
0,43	No 40			
0,30	No 50			
0,18	No 80			
0,15	No 100			
0,08	No 200			
	Παιπάλη	16,17	0,00	0,00
	Ολικό βάρος	2500,00		

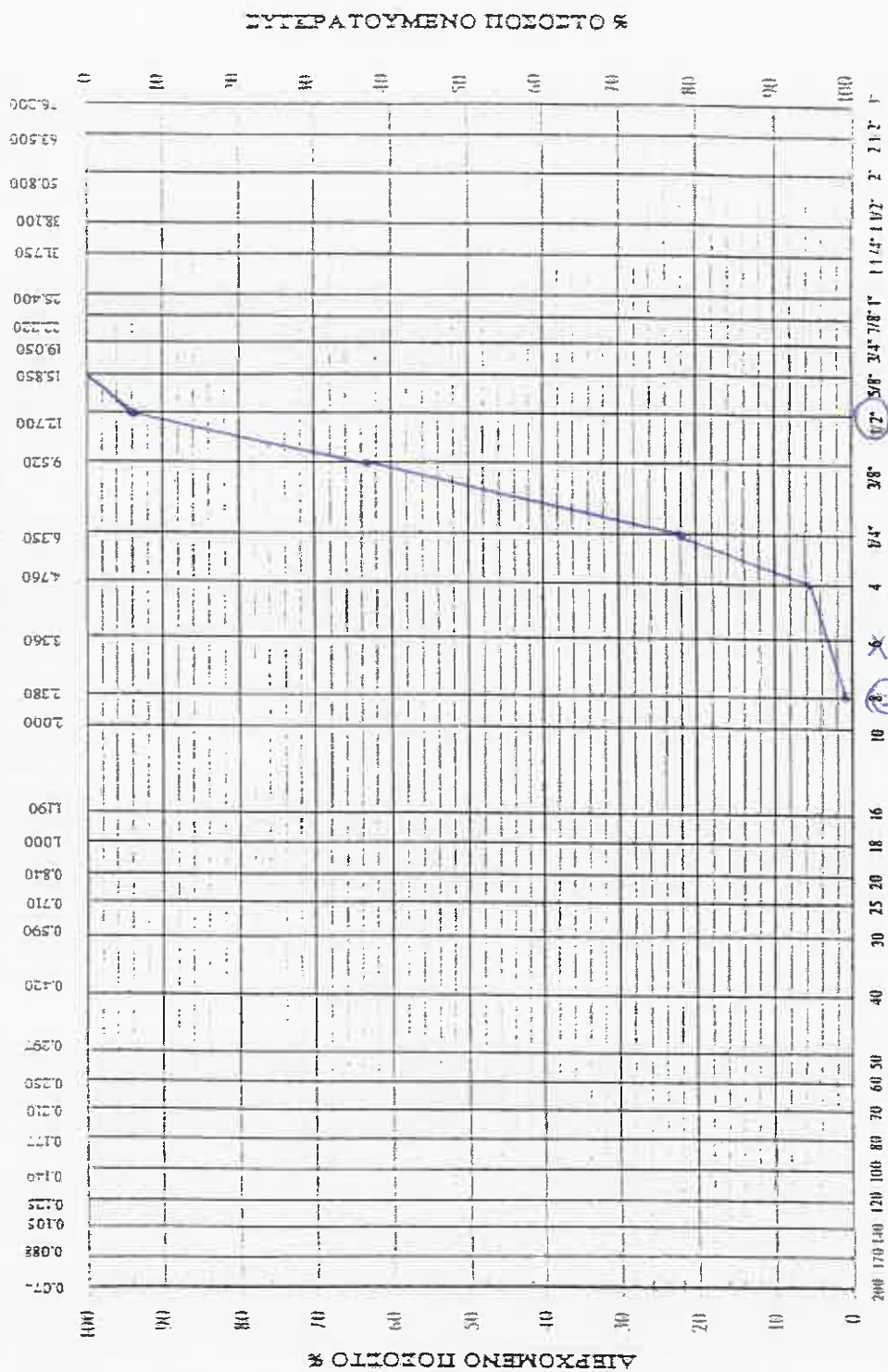
ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στοιχεία δείγματος: Άμμος

Ημερομηνία δοκιμής: 18/03/2005

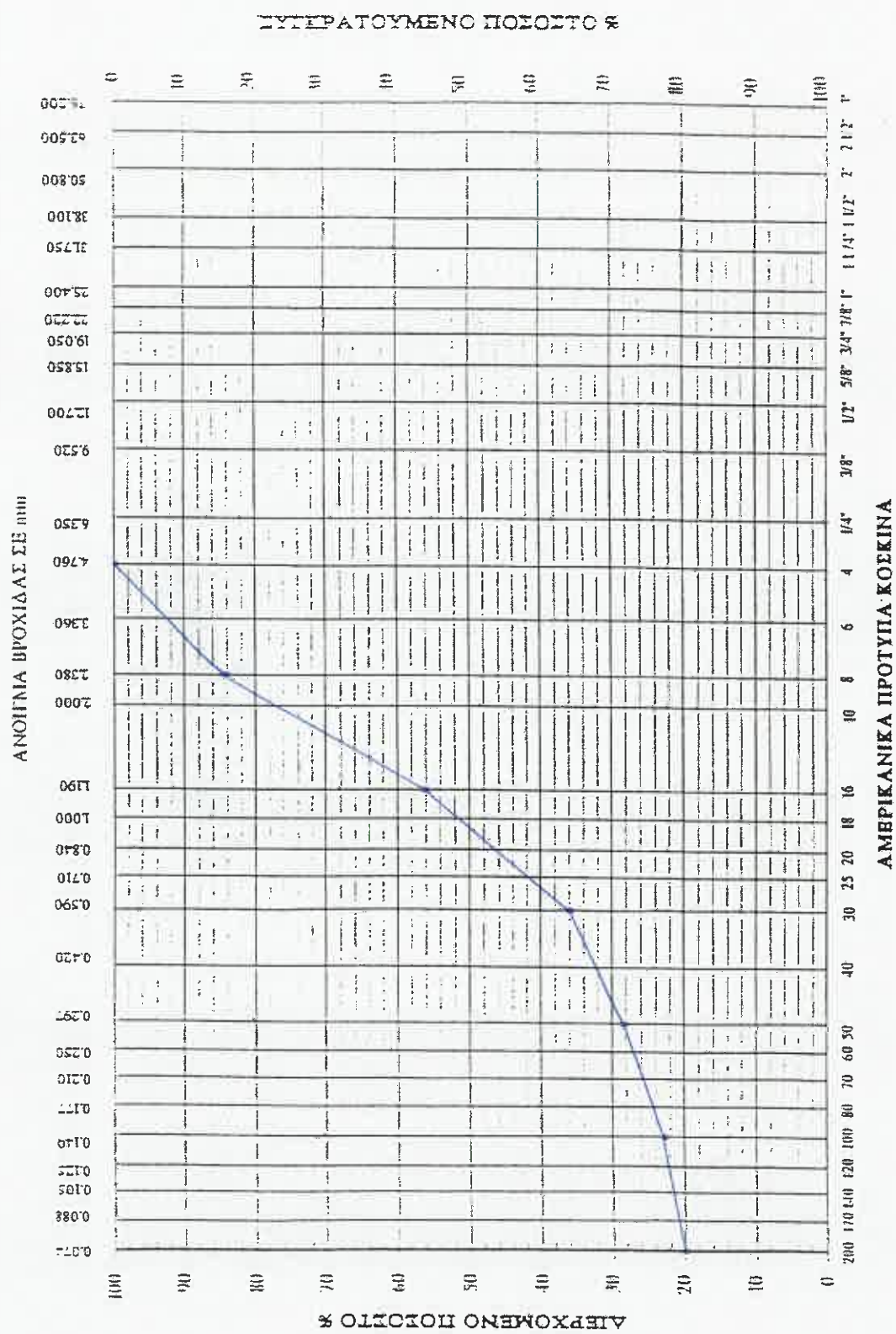
Βάρος ολικού δείγματος			Διερχομένο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. Κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75,00	3''			
63,00	2 1/2''			
50,00	2''			
37,50	1 1/2''			
31,50	1 1/4''			
25,00	1''			
19,00	3/4''			
16,00	5/8''			
12,50	1/2''			
9,50	3/8''			
6,30	1/4''			
4,75	No 4			
2,36	No 8	320,80	1679,20	83,96
2,00	No 10			
1,18	No 16	561,30	1117,90	55,90
0,60	No 30	405,40	712,50	35,62
0,43	No 40			
0,30	No 50	153,57	558,93	27,95
0,18	No 80			
0,15	No 100	98,24	460,69	23,00
0,08	No 200	66,21	394,48	19,72
	Παιπάλη	394,48	0,00	0,00
	Ολικό βάρος	2000,00		

ΑΝΟΙΓΜΑ ΒΡΟΧΙΔΑΣ ΣΕ mm



ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΟΣΚΙΝΑ

Σχ.17 : Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης για το γαρμπίλι



Σχ. 18 : Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης για την άμμο

2.1.2 Μέτρηση της πυκνότητας με τη μέθοδο του πυκνομέτρου (δοκιμή EN 1097-6) για αδρανή με κόκκους μεταξύ 4 mm και 31,5mm (γαρμπίλι), [7]

Αρχικά, τοποθετήθηκε το δείγμα του γαρμπιλιού σε δοχείο με νερό για χρονικό διάστημα $24 \pm 0,5$ hr, ώστε να κορεστεί. Στη συνέχεια, το δείγμα τοποθετήθηκε με νερό (στους 22 ± 3 °C) μέσα στο πυκνόμετρο και απομακρύνθηκε ο εγκλωβισμένος αέρας, χτυπώντας το πυκνόμετρο απαλά σε μία σταθερή θέση. Αφού σκουπιστεί καλά εξωτερικά το πυκνόμετρο, ζυγίζεται σε ζυγαριά με ακρίβεια 0,01 gr (μάζα M_2).

Στη συνέχεια απομακρύνθηκε το αδρανές από το νερό και αφέθηκε να στραγγίξει για μερικά λεπτά. Το πυκνόμετρο ξαναγεμίστηκε με νερό και ακολουθώντας την ίδια διαδικασία ζυγίστηκε (μάζα M_3).

Η ποσότητα του αδρανούς που στραγγίστηκε τοποθετήθηκε πάνω σε στεγνή πετσέτα και σκουπίστηκε απαλά, προκειμένου να απομακρυνθεί μόνο το επιφανειακό νερό. Σκοπός της διαδικασίας αυτής ήταν το υλικό να παραμείνει κορεσμένο αλλά επιφανειακά στεγνό. Η ποσότητα αυτή κατόπιν ζυγίστηκε (μάζα M_1).

Τέλος, το δείγμα θερμάνθηκε σε φούρνο σε θερμοκρασία 110 ± 5 °C για ικανό χρονικό διάστημα και ζυγίστηκε (μάζα M_4).

Οι μάζες που ζυγίστηκαν είναι οι εξής :

$$M_1 = 155.31 \text{ gr}$$

$$M_2 = 666.27 \text{ gr}$$

$$M_3 = 568.52 \text{ gr}$$

$$M_4 = 154.95 \text{ gr}$$

Με τις μάζες αυτές και με χρήση των παρακάτω τύπων υπολογίστηκαν οι εξής πυκνότητες :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα : } \rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} = 2,709 \text{ Mgr / m}^3$$

Πυκνότητα του ξηρού γαρμπιλιού

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} = 2,692 \text{ Mgr / m}^3$$

Πυκνότητα του κορεσμένου επιφανειακά στεγνού γαρμπιλιού :

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} = 2,698 \text{ Mgr / m}^3$$

Η απορρόφηση νερού (ως ποσοστό της ξηρής μάζας) από το γαρμπίλι είναι :

$$WA_{24} = \frac{100 * (M_1 - M_4)}{M_4} = 0,232\%$$

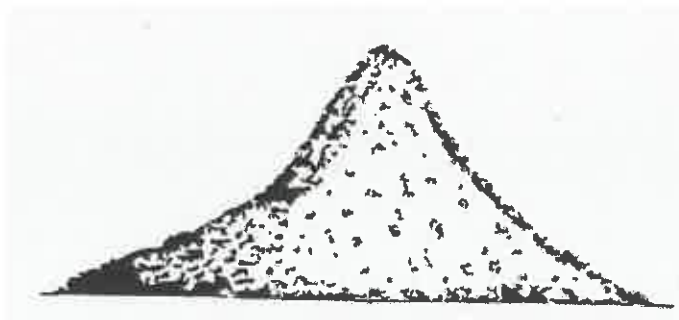
Τα αποτελέσματα ελέγχθηκαν με την παρακάτω εξίσωση :

$$\rho_{ssd} = 1 + \rho_{rd} - \rho_{rd} / \rho_a$$

2.1.3 Μέτρηση της πυκνότητας με τη μέθοδο του πυκνομέτρου (δοκιμή EN 1097-6) για αδρανή με κόκκους μεταξύ 0,063 mm και 4mm (άμμος), [7]

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ίδια με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω, με τη διαφορά ότι προκειμένου να επιτευχθεί υλικό κορεσμένο αλλά επιφανειακά στεγνό ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

Η κορεσμένη άμμος διασκορπίστηκε σε ένα ταψί και θερμάνθηκε με ένα κοινό πιστολάκι, προκειμένου να εξατμιστεί η επιφανειακή υγρασία. Ανακατεύτηκε ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να διασφαλιστεί το ομοιόμορφο στέγνωμα των κόκκων. Για να εξασφαλιστεί ότι το υλικό ήταν όντως επιφανειακά στεγνό, χρησιμοποιήθηκε μεταλλικός κώνος (φωτογραφία 1) με τη μεγαλύτερή του διάμετρο προς τα κάτω. Αυτός γεμίστηκε με την άμμο και συμπυκνώθηκε με χρήση ειδικού κόπανου, χτυπώντας το 25 φορές από τη μικρή τρύπα του κώνου. Στη συνέχεια, σηκώθηκε απαλά ο κώνος. Στόχος ήταν να επιτευχθεί η μορφή του σχήματος 19 που δηλώνει την ύπαρξη της επιθυμητής κατάστασης.



Σχ. 19 Μορφή που πρέπει να πάρει η άμμος μετά την αφαίρεση του κώνου.

Η διαδικασία επαναλήφθηκε ώσπου τελικά επιτεύχθηκε η μορφή αυτή και η οποία φαίνεται στη φωτογραφία 1



Φωτογραφία 1 : Μορφή κορεσμένης-επιφανειακώς στεγνής άμμου

Οι μάζες που ζυγίστηκαν είναι οι εξής :

$$M_1 = 125,50 \text{ gr}$$

$$M_2 = 647,38 \text{ gr}$$

$$M_3 = 568,52 \text{ gr}$$

$$M_4 = 123,97 \text{ gr}$$

Με τις μάζες αυτές και με χρήση των παρακάτω τύπων υπολογίστηκαν οι εξής πυκνότητες :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα : } \rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} = 2,748 \text{ Mgr / m}^3$$

Πυκνότητα της ξηρής άμμου:

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} = 2,658 \text{ Mgr / m}^3$$

Πυκνότητα της κορεσμένης επιφανειακά στεγνής άμμου :

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} = 2,690 \text{ Mgr / m}^3$$

Η απορρόφηση νερού (ως ποσοστό της ξηρής μάζας) από το γαρμπίλι είναι :

$$WA_{24} = \frac{100 * (M_1 - M_4)}{M_4} = 1,234\%$$

Τα αποτελέσματα ελέγχθηκαν με την παρακάτω εξίσωση :

$$\rho_{ssd} = 1 + \rho_{rd} - \rho_{rd} / \rho_a$$

2.1.4 Μελέτη σύνθεσης

Παρασκευάστηκαν 3 παρτίδες δοκιμών με συνολικά 150 δοκίμια. Με βάση την κοκκομετρία των υλικών και τις πρότυπες καμπύλες του κανονισμού (σχ 1-4) επιλέχθηκε αναλογία άμμου προς γαρμπίλι 0,50.

Εν συνεχεία με δεδομένη είτε την ποσότητα νερού είτε την ποσότητα τσιμέντου στο κυβικό μέτρο, υπολογίστηκε η ποσότητα των αδρανών με χρήση της θεμελιώδους σχέσης :

$$T/\gamma_t + N/\gamma_N + A/\gamma_A + \alpha = 1 \text{ m}^3$$

όπου T = η ποσότητα του τσιμέντου σε kg/m^3

N = η ποσότητα του νερού σε kg/m^3

$A = \eta$ ποσότητα των αδρανών συνολικά σε kg/m^3

$\gamma_T = 3050 \text{ kg/m}^3$, το ειδικό βάρος του τσιμέντου

$\gamma_N = 1000 \text{ kg/m}^3$, το ειδικό βάρος του νερού

$\gamma_A = 2690 \text{ kg/m}^3$, το ειδικό βάρος των αδρανών όπως προέκυψε από τις παραγράφους 2.1.2, 2.1.3.

α = όγκος κενών

Η ποσότητα ξεχωριστά της άμμου και του γαρμπιλιού, εφόσον έχει επιλεχθεί αναλογία 50 – 50, προκύπτει διαιρώντας τη συνολική ποσότητα A δια του δύο. Στη συνέχεια οι ποσότητες αυτές πολλαπλασιάστηκαν με τον όγκο που αντιστοιχεί στον αριθμό των δοκιμών κάθε μίγματος, προσαυξημένο προς αποφυγή απωλειών, ώστε να προκύψει η συνολική ποσότητα που τελικά τοποθετείται στον αναμικτήρα. Οι παρτίδες φαίνονται αναλυτικά παρακάτω.

1^η παρτίδα

μίγματα : 5

λόγοι N/T (με τη χρονολογική σειρά που παρασκευάστηκαν) : 0,505 0,58 0,61 0,38 0,70

δοκίμια :

6 κυλινδρικά διαστάσεων 10cm x 20cm(διάμετρος x ύψος), 3 με απορροφητικό χαρτί γύρω γύρω, 3 χωρίς χαρτί

8 κυβικά διαστάσεων 10 x 10 x 10 cm^3 , 4 με πολυμερές χαρτί πολύ μεγάλης απορροφητικότητας τοποθετημένο σε όλες τις παράπλευρες επιφάνειες, 4 χωρίς χαρτί

2^η παρτίδα

μίγματα : 5

λόγοι N/T (με τη χρονολογική σειρά που παρασκευάστηκαν) : 0,505 0,58 0,61 0,38 0,70

δοκίμια :

8 κυλινδρικά διαστάσεων 10cm x 20cm(διάμετρος x ύψος), 4 με απορροφητικό χαρτί γύρω γύρω, 4 χωρίς χαρτί

4 κυβικά διαστάσεων 10 x 10 x 10 cm^3 , 2 με πολυμερές χαρτί σε όλες τις παράπλευρες επιφάνειες, 2 χωρίς χαρτί

3^η παρτίδα

μίγματα : 3

λόγοι N/T (με τη χρονολογική σειρά που παρασκευάστηκαν) : 0,38 0,70 0,505

δοκίμια :

20 κυβικά διαστάσεων 10 x 10 x 10 cm^3 , 6 με πολυμερές απορροφητικό χαρτί γύρω γύρω, 8 με χαρτί στις δύο παράπλευρες επιφάνειες αντικριστά, 6 χωρίς χαρτί.

Οι υπολογισμοί σύνθεσης των δοκιμών αναλυτικά για κάθε μίγμα, κάθε παρτίδας, φαίνεται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν.

1η παρτίδα-1ο μίγμα				
Λόγος N/T	0,505	ημ/νία παρασκευής	21/3/2005	
Στοιχεία δοκιμών				
	με επένδυση	χωρίς επένδυση	σύνολο	τρέχον σύνολο είδους
Πλήθος κυλινδρικών δοκιμών	3	3	6	6
Πλήθος κυβικών δοκιμών	4	4	8	8
Τρέχον γενικό σύνολο				14
	κυλιν/κά	κυβικά		
διαστάσεις (m)				
μήκος		0,10		
πλάτος		0,10		
ύψος	0,20	0,10		
διάμετρος	0,10			
όγκος σκυροδέματος μίγματος			0,020	m ³
βάρος νερού ανά m ³ σκυροδέματος		N =	210	kg/m ³
λόγος N/T		N/T =	0,505	
βάρος τσιμέντου ανά m ³ σκυροδέματος		T =	420	kg/m ³
ειδικό βάρος τσιμέντου		γ _T =	3050	kg/m ³
ειδικό βάρος αδρανών		γ _A =	2690	kg/m ³
ειδικό βάρος νερού		γ _N =	1000	kg/m ³
όγκος κενών		α =	1,5	%
βάρος αδρανών ανά m ³ σκυροδέματος		A =	1733,44	kg/m ³
ποσοστό για γαρμπίλι			50	%
ποσοστό για άμμο			50	%
Βάρη υλικών ανά m ³ σκυροδέματος				
Γαρμπίλι			866,72	kg/m ³
Άμμος			866,72	kg/m ³
Νερό			210,00	kg/m ³
Τσιμέντο			420,00	kg/m ³
SPL-P (1%T)			4,20	kg/m ³
Απαιτούμενα βάρη υλικών στο μίγμα				
Γαρμπίλι	36,61	%	17,334	kg
Άμμος	36,61	%	17,334	kg
Νερό	8,87	%	4,200	kg
Τσιμέντο	17,74	%	8,400	kg
SPL-P	0,18	%	0,084	kg
Σύνολο	100,00	%	47,353	kg

1η παρτίδα-4ο μίγμα

Λόγος N/T 0,38 ημ/νία 28/3/2005
παρασκευής

Στοιχεία δοκιμών

	με επένδυση	χωρίς επένδυση	σύνολο	τρέχον σύνολο είδους
Πλήθος κυλινδρικών δοκιμών	3	3	6	24
Πλήθος κυβικών δοκιμών	4	4	8	32
Τρέχον γενικό σύνολο				56
	κυλιν/κά		κυβικά	
διαστάσεις (m)				
μήκος			0,10	
πλάτος			0,10	
ύψος		0,20	0,10	
διάμετρος		0,10		
όγκος σκυροδέματος μίγματος			0,021	m ³
βάρος νερού ανά m ³ σκυροδέματος		N =	214,33	kg/m ³
λόγος N/T		N/T =	0,38	
βάρος τσιμέντου ανά m ³ σκυροδέματος		T =	571,43	kg/m ³
ειδικό βάρος τσιμέντου		γ _T =	3050	kg/m ³
ειδικό βάρος αδρανών		γ _A =	2690	kg/m ³
ειδικό βάρος νερού		γ _N =	1000	kg/m ³
όγκος κενών		α =	1,5	%
βάρος αδρανών ανά m ³ σκυροδέματος		A =	1607,66	kg/m ³
ποσοστό για γαρμπίλι			50	%
ποσοστό για άμμο			50	%

Βάρη υλικών ανά m³ σκυροδέματος

Γαρμπίλι		803,83	kg/m ³
Άμμος		803,83	kg/m ³
Νερό		214,33	kg/m ³
Τσιμέντο		571,43	kg/m ³
SPL-P(1,75%T)		10,00	kg/m ³

Απαιτούμενα βάρη υλικών στο μίγμα

Γαρμπίλι	33,45	%	16,880	kg
Άμμος	33,45	%	16,880	kg
Νερό	8,92	%	4,501	kg
Τσιμέντο	23,78	%	12,000	kg
SPL-P	0,42	%	0,210	kg
Σύνολο	100,00	%	50,472	kg

1η παρτίδα-5ο μίγμα

Λόγος N/T

0,7

ημ/νία
παρασκευής

30/3/2005

Στοιχεία δοκιμών

	με επένδυση	χωρίς επένδυση	σύνολο	τρέχον σύνολο είδους
Πλήθος κυλινδρικών δοκιμών	3	3	6	30
Πλήθος κυβικών δοκιμών	4	4	8	40
				70
	κυλιν/κά		κυβικά	
διαστάσεις (m)				
μήκος			0,10	
πλάτος			0,10	
ύψος		0,20	0,10	
διάμετρος		0,10		
όγκος σκυροδέματος μίγματος			0,021	m ³
βάρος νερού ανά m ³ σκυροδέματος		N =	230	kg/m ³
λόγος N/T		N/T =	0,7	
βάρος τσιμέντου ανά m ³ σκυροδέματος		T =	328,6	kg/m ³
ειδικό βάρος τσιμέντου		γ _T =	3050	kg/m ³
ειδικό βάρος αδρανών		γ _A =	2690	kg/m ³
ειδικό βάρος νερού		γ _N =	1000	kg/m ³
όγκος κενών		α =	1,5	%
βάρος αδρανών ανά m ³ σκυροδέματος		A =	1741,16	kg/m ³
ποσοστό για γαρμπίλι			50	%
ποσοστό για άμμο			50	%

Βάρη υλικών ανά m³ σκυροδέματος

Γαρμπίλι		870,58	kg/m ³
Άμμος		870,58	kg/m ³
Νερό		230,00	kg/m ³
Τσιμέντο		328,60	kg/m ³
SPL-P		0,00	kg/m ³

Απαιτούμενα βάρη υλικών στο μίγμα

Γαρμπίλι	37,86	%	18,282	kg
Άμμος	37,86	%	18,282	kg
Νερό	10,00	%	4,830	kg
Τσιμέντο	14,29	%	6,901	kg
SPL-P	0,00	%	0,000	kg
Σύνολο	100,00	%	48,295	kg

2η παρτίδα-1ο μίγμα

Στοιχεία δοκιμών

78

2η παρτίδα-2ο μίγμα

Λόγος N/T

0,58

ημ/νία
παρασκευής

12/5/2005

Στοιχεία δοκιμών

	με επένδυση	χωρίς επένδυση	σύνολο	τρέχον σύνολο είδους
Πλήθος κυλινδρικών δοκιμών	4	4	8	46
Πλήθος κυβικών δοκιμών	2	2	4	48
Τρέχον γενικό σύνολο				94
		κυλιν/κά	κυβικά	
διαστάσεις (m)				
μήκος			0,10	
πλάτος			0,10	
ύψος		0,20	0,10	
διάμετρος		0,10		
όγκος σκυροδέματος μίγματος			0,020	m ³
βάρος νερού ανά m ³ σκυροδέματος		N =	243,24	kg/m ³
λόγος N/T		N/T =	0,58	
βάρος τσιμέντου ανά m ³ σκυροδέματος		T =	420	kg/m ³
ειδικό βάρος τσιμέντου		γT =	3050	kg/m ³
ειδικό βάρος αδρανών		γA =	2690	kg/m ³
ειδικό βάρος νερού		γN =	1000	kg/m ³
όγκος κενών		α =	1,5	%
βάρος αδρανών ανά m ³ σκυροδέματος		A =	1625	kg/m ³
ποσοστό για γαρμπίλι			50	%
ποσοστό για άμμο			50	%

Βάρη υλικών ανά m³ σκυροδέματος

Γαρμπίλι		812,50	kg/m ³
Άμμος		812,50	kg/m ³
Νερό		243,24	kg/m ³
Τσιμέντο		420,00	kg/m ³
SPL-P		0,00	kg/m ³

Απαιτούμενα βάρη υλικών στο μίγμα

Γαρμπίλι	35,51	%	16,250	kg
Άμμος	35,51	%	16,250	kg
Νερό	10,63	%	4,865	kg
Τσιμέντο	18,35	%	8,400	kg
SPL-P	0,00	%	0,000	kg
Σύνολο	100,00	%	45,765	kg

2η παρτίδα-3ο μίγμα

Λόγος N/T

0,61

**ημ/νία
παρασκευής**

16/5/2005

Στοιχεία δοκιμών

	με επένδυση	χωρίς επένδυση	σύνολο	τρέχον σύνολο είδους
Πλήθος κυλινδρικών δοκιμών	4	4	8	54
Πλήθος κυβικών δοκιμών	2	2	4	52
Τρέχον γενικό σύνολο				106
		κυλιν/κά	κυβικά	
διαστάσεις (m)				
μήκος			0,10	
πλάτος			0,10	
ύψος		0,20	0,10	
διάμετρος		0,10		
όγκος σκυροδέματος μίγματος			0,020	m ³
βάρος νερού ανά m ³ σκυροδέματος		N =	239,31	kg/m ³
λόγος N/T		N/T =	0,61	
βάρος τσιμέντου ανά m ³ σκυροδέματος		T =	392,31	kg/m ³
ειδικό βάρος τσιμέντου		Y _T =	3050	kg/m ³
ειδικό βάρος αδρανών		Y _A =	2690	kg/m ³
ειδικό βάρος νερού		Y _N =	1000	kg/m ³
όγκος κενών		α =	1,5	%
βάρος αδρανών ανά m ³ σκυροδέματος		A =	1659,9	kg/m ³
ποσοστό για γαρμπίλι			50	%
ποσοστό για άμμο			50	%

Βάρη υλικών ανά m³ σκυροδέματος

Γαρμπίλι		829,95	kg/m ³
Άμμος		829,95	kg/m ³
Νερό		239,31	kg/m ³
Τσιμέντο		392,31	kg/m ³
SPL-P		0,00	kg/m ³

Απαιτούμενα βάρη υλικών στο μίγμα

Γαρμπίλι	36,22	%	16,599	kg
Άμμος	36,22	%	16,599	kg
Νερό	10,44	%	4,786	kg
Τσιμέντο	17,12	%	7,846	kg
SPL-P	0,00	%	0,000	kg
Σύνολο	100,00	%	45,830	kg

2η παρτίδα-4ο μίγμα

Λόγος N/T 0,38 ημ/νία παρασκευής 17/5/2005

Στοιχεία δοκιμών

	με επένδυση	χωρίς επένδυση	σύνολο	τρέχον σύνολο είδους
Πλήθος κυλινδρικών δοκιμών	4	4	8	62
Πλήθος κυβικών δοκιμών	2	2	4	56
Τρέχον γενικό σύνολο				118
		κυλιν/κά	κυβικά	
διαστάσεις (m)				
μήκος			0,10	
πλάτος			0,10	
ύψος		0,20	0,10	
διάμετρος		0,10		
όγκος σκυροδέματος μίγματος			0,020	m ³
βάρος νερού ανά m ³ σκυροδέματος		N =	214,33	kg/m ³
λόγος N/T		N/T =	0,38	
βάρος τσιμέντου ανά m ³ σκυροδέματος		T =	571,55	kg/m ³
ειδικό βάρος τσιμέντου		γ _T =	3050	kg/m ³
ειδικό βάρος αδρανών		γ _A =	2690	kg/m ³
ειδικό βάρος νερού		γ _N =	1000	kg/m ³
όγκος κενών		α =	1,5	%
βάρος αδρανών ανά m ³ σκυροδέματος		A =	1569,02	kg/m ³
ποσοστό για γαρμπίλι			50	%
ποσοστό για άμμο			50	%

Βάρη υλικών ανά m³ σκυροδέματος

Γαρμπίλι		784,51	kg/m ³
Άμμος		784,51	kg/m ³
Νερό		214,33	kg/m ³
Τσιμέντο		571,55	kg/m ³
SPL-P(1,84%T)		10,50	kg/m ³

Απαιτούμενα βάρη υλικών στο μίγμα

Γαρμπίλι	33,17	%	15,690	kg
Άμμος	33,17	%	15,690	kg
Νερό	9,06	%	4,287	kg
Τσιμέντο	24,16	%	11,431	kg
SPL-P	0,44	%	0,210	kg
Σύνολο	100,00	%	47,308	kg

2η παρτίδα-5ο μίγμα

Λόγος N/T

0,7

**ημ/νία
παρασκευής**

18/5/2005

Στοιχεία δοκιμών

	με επένδυση	χωρίς επένδυση	σύνολο	τρέχον σύνολο είδους
Πλήθος κυλινδρικών δοκιμών	4	4	8	70
Πλήθος κυβικών δοκιμών	2	2	4	60
Τρέχον γενικό σύνολο				130
		κυλιν/κά	κυβικά	
διαστάσεις (m)				
μήκος			0,10	
πλάτος			0,10	
ύψος		0,20	0,10	
διάμετρος		0,10		
όγκος σκυροδέματος μίγματος			0,020	m ³
βάρος νερού ανά m ³ σκυροδέματος		N =	230	kg/m ³
λόγος N/T		N/T =	0,7	
βάρος τσιμέντου ανά m ³ σκυροδέματος		T =	328,6	kg/m ³
ειδικό βάρος τσιμέντου		Y _T =	3050	kg/m ³
ειδικό βάρος αδρανών		Y _A =	2690	kg/m ³
ειδικό βάρος νερού		Y _N =	1000	kg/m ³
όγκος κενών		α =	1,5	%
βάρος αδρανών ανά m ³ σκυροδέματος		A =	1741,16	kg/m ³
ποσοστό για γαρμπίλι			50	%
ποσοστό για άμμο			50	%

Βάρη υλικών ανά m³ σκυροδέματος

Γαρμπίλι	870,58	kg/m ³
Άμμος	870,58	kg/m ³
Νερό	230,00	kg/m ³
Τσιμέντο	328,60	kg/m ³
SPL-P	0,00	kg/m ³

Απαιτούμενα βάρη υλικών στο μίγμα

Γαρμπίλι	37,86	%	17,412	kg
Άμμος	37,86	%	17,412	kg
Νερό	10,00	%	4,600	kg
Τσιμέντο	14,29	%	6,572	kg
SPL-P	0,00	%	0,000	kg
Σύνολο	100,00	%	45,995	kg

3η παρτίδα-1ο μίγμα

Λόγος N/T

0,38

ημ/νία
παρασκευής

28/6/2005

Στοιχεία δοκιμών

	με επένδυση	χωρίς επένδυση	σύνολο	τρέχον σύνολο είδους
Πλήθος κυλινδρικών δοκιμών	0	0	0	70
Πλήθος κυβικών δοκιμών	2	2	4	64
Τρέχον γενικό σύνολο				134
		κυλιν/κά	κυβικά	
διαστάσεις (m)				
μήκος			0,10	
πλάτος			0,10	
ύψος		0,20	0,10	
διάμετρος		0,10		
όγκος σκυροδέματος μίγματος			0,0065	m ³
βάρος νερού ανά m ³ σκυροδέματος		N =	214,33	kg/m ³
λόγος N/T		N/T =	0,38	
βάρος τσιμέντου ανά m ³ σκυροδέματος		T =	571,43	kg/m ³
ειδικό βάρος τσιμέντου		Y _T =	3050	kg/m ³
ειδικό βάρος αδρανών		Y _A =	2690	kg/m ³
ειδικό βάρος νερού		Y _N =	1000	kg/m ³
όγκος κενών		α =	1,5	%
βάρος αδρανών ανά m ³ σκυροδέματος		A =	1607,66	kg/m ³
ποσοστό για γαρμπίλι			50	%
ποσοστό για άμμο			50	%

Βάρη υλικών ανά m³ σκυροδέματος

Γαρμπίλι		803,83	kg/m ³
Άμμος		803,83	kg/m ³
Νερό		214,33	kg/m ³
Τσιμέντο		571,43	kg/m ³
SPL-P(1,75%T)		10,00	kg/m ³

Απαιτούμενα βάρη υλικών στο μίγμα

Γαρμπίλι	33,45	%	5,225	kg
Άμμος	33,45	%	5,225	kg
Νερό	8,92	%	1,393	kg
Τσιμέντο	23,78	%	3,714	kg
SPL-P	0,42	%	0,065	kg
Σύνολο	100,00	%	15,622	kg

3η παρτίδα-2ο μίγμα

Λόγος N/T

0,7

ημ/νία
παρασκευής

28/6/2005

Στοιχεία δοκιμών

	με επένδυση	χωρίς επένδυση	σύνολο	τρέχον σύνολο είδους
Πλήθος κυλινδρικών δοκιμών	0	0	0	70
Πλήθος κυβικών δοκιμών	2	2	4	68
Τρέχον γενικό σύνολο				138
	κυλιν/κά		κυβικά	
διαστάσεις (m)				
μήκος			0,10	
πλάτος			0,10	
ύψος		0,20	0,10	
διάμετρος		0,10		
όγκος σκυροδέματος μίγματος			0,0065	m ³
βάρος νερού ανά m ³ σκυροδέματος		N =	230	kg/m ³
λόγος N/T		N/T =	0,7	
βάρος τσιμέντου ανά m ³ σκυροδέματος		T =	328,6	kg/m ³
ειδικό βάρος τσιμέντου		Y _T =	3050	kg/m ³
ειδικό βάρος αδρανών		Y _A =	2690	kg/m ³
ειδικό βάρος νερού		Y _N =	1000	kg/m ³
όγκος κενών		α =	1,5	%
βάρος αδρανών ανά m ³ σκυροδέματος		A =	1741,16	kg/m ³
ποσοστό για γαρμπίλι			50	%
ποσοστό για άμμο			50	%

Βάρη υλικών ανά m³ σκυροδέματος

Γαρμπίλι		870,58	kg/m ³
Άμμος		870,58	kg/m ³
Νερό		230,00	kg/m ³
Τσιμέντο		328,60	kg/m ³
SPL-P		0,00	kg/m ³

Απαιτούμενα βάρη υλικών στο μίγμα

Γαρμπίλι	37,86	%	5,659	kg
Άμμος	37,86	%	5,659	kg
Νερό	10,00	%	1,495	kg
Τσιμέντο	14,29	%	2,136	kg
SPL-P	0,00	%	0,000	kg
Σύνολο	100,00	%	14,948	kg

3η παρτίδα-3ο μίγμα

Λόγος N/T

0,505

ημ/νία
παρασκευής

28/6/2005

Στοιχεία δοκιμών

	με χαρτί μισές πλευρές αντικριστά	με επένδυση	χωρίς επένδυση	σύνολο	τρέχον σύνολο είδους
Πλήθος κυλινδρικών δοκιμών		0	0	0	70
Πλήθος κυβικών δοκιμών	8	2	2	12	80
Τρέχον γενικό σύνολο					150
			κυλιν/κά	κυβικά	
διαστάσεις (m)					
μήκος				0,10	
πλάτος				0,10	
ύψος			0,20	0,10	
διάμετρος			0,10		
όγκος σκυροδέματος μίγματος				0,015	m ³
βάρος νερού ανά m ³ σκυροδέματος			N =	210	kg/m ³
λόγος N/T			N/T =	0,505	
βάρος τσιμέντου ανά m ³ σκυροδέματος			T =	420	kg/m ³
ειδικό βάρος τσιμέντου			γT =	3050	kg/m ³
ειδικό βάρος αδρανών			γA =	2690	kg/m ³
ειδικό βάρος νερού			γN =	1000	kg/m ³
όγκος κενών			α =	1,5	%
βάρος αδρανών ανά m ³ σκυροδέματος			A =	1733,44	kg/m ³
ποσοστό για γαρμπίλι				50	%
ποσοστό για άμμο				50	%
Βάρη υλικών ανά m ³ σκυροδέματος					
Γαρμπίλι				866,72	kg/m ³
Άμμος				866,72	kg/m ³
Νερό				210,00	kg/m ³
Τσιμέντο				420,00	kg/m ³
SPL-P (1%T)				4,20	kg/m ³
Απαιτούμενα βάρη υλικών στο μίγμα					
Γαρμπίλι	36,61	%		13,001	kg
Άμμος	36,61	%		13,001	kg
Νερό	8,87	%		3,150	kg
Τσιμέντο	17,74	%		6,300	kg
SPL-P	0,18	%		0,063	kg
Σύνολο	100,00	%		35,515	kg

2.2 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Αρχικά, ετοιμάστηκαν τα καλούπια (κυλινδρικά και κυβικά) ο αριθμός και οι διαστάσεις των οποίων για κάθε μίγμα φαίνεται στους πίνακες σύνθεσης που προηγήθηκαν. Τοποθετήθηκε στο εσωτερικό τους πολυμερές χαρτί πολύ μεγάλης απορροφητικότητας, σε όλες τις παράπλευρες επιφάνειες, εκτός από το μίγμα με λόγο $N/T=0.505$ της τρίτης παρτίδας όπου το χαρτί τοποθετήθηκε μόνο στις δύο αντικριστές παράπλευρες επιφάνειες. Το χαρτί τοποθετήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει της επιφάνειες εξ ολοκλήρου, να μην δημιουργεί ασυνέχειες στα παρασκευαζόμενα δοκίμια και να μην επηρεάζει τις διαστάσεις τους. Τα καλούπια στα οποία δεν τοποθετήθηκε χαρτί αλείφθηκαν στο εσωτερικό τους με γράσο προκειμένου να διευκολυνθεί το ξεκαλούπωμα.(Φωτογ.2)



Φωτογραφία. 2: Κυλινδρικό καλούπι μετά την τοποθέτηση του πολυμερούς χαρτιού.

Αφού υπολογίστηκαν τα βάρη κάθε υλικού ζυγίστηκαν οι αντίστοιχες ποσότητες προς ανάμειξη. Πριν την ανάμειξη ο αναμικτήρας βράχθηκε προκειμένου να μην απορροφήσει ποσότητα νερού του μίγματος. Τοποθετήθηκε αρχικά η άμμος και το γαρμπίλι και αναμείχθηκαν με την μισή περίπου ποσότητα νερού έως ότου το μίγμα γίνει ομογενές. Το μίγμα παρέμεινε στον αναμικτήρα για 15 λεπτά προκειμένου τα αδρανή να απορροφήσουν το μέγιστο του νερού απορρόφησης. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε το τσιμέντο μαζί με την υπόλοιπη ποσότητα νερού και αναμείχθηκαν μέχρι να κρίνουμε ότι το μίγμα είναι ομογενές. Σε πολλά μίγματα κρίθηκε απαραίτητη η χρήση υπερρευστοποιητικού ανάλογα με το εργάσιμο που έπρεπε να επιτευχθεί.

Εν συνεχεία τοποθετήθηκε το μίγμα στα καλούπια, τα οποία τοποθετήθηκαν σε δονητική τράπεζα, και δονήθηκαν για περίπου 60 sec. Ακολούθησε η επιπέδωσή τους με μυστρί.

2.3 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Τα καλούπια με το υλικό, αμέσως μετά την παρασκευή τοποθετήθηκαν σε υγρό θάλαμο συντήρησης δοκιμίων του εργαστηρίου (υγρασία>96%, θερμοκρασία

23±1 °C) και καλύφθηκαν με νάυλον και βρεγμένες λινάτσες, προς αποφυγή απώλειας υγρασίας, μέχρι το πέρας 24h οπότε και έγινε το ξεκαλούπωμα. Τα δοκίμια αποσπάστηκαν από τα καλούπια χωρίς να αφαιρεθεί το απορροφητικό χαρτί.

Μετά το ξεκαλούπωμα τα δοκίμια ζυγίστηκαν και αριθμήθηκαν. Εν συνεχεία, διατηρήθηκαν στο περιβάλλον του εργαστηρίου (υγρασία 60%, θερμοκρασία 20±2 °C), χωρίς να αφαιρεθεί το χαρτί από τα αντίστοιχα δοκίμια, έως ότου υποβληθούν στις απαιτούμενες δοκιμές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΟΚΙΜΕΣ

3.1 ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Από την **πρώτη** παρτίδα και για κάθε μίγμα, δοκιμάστηκαν σε θλίψη 4 κυβικά δοκίμια (2 με επένδυση, 2 χωρίς). Η δοκιμή έγινε μετά από 14 ημέρες συντήρησης στο περιβάλλον του εργαστηρίου αφού πρώτα τα δοκίμια ζυγίστηκαν και αφαιρέθηκε σχολαστικά το χαρτί από τα αντίστοιχα δοκίμια. Η δοκιμή έγινε στην μηχανή θραύσεως όπως φαίνεται στην φωτογραφία 3 με ταχύτητα 2KN/sec.



φωτογραφία 3 : Δοκιμή σε θλίψη κυβικού δοκιμίου

Από την **δεύτερη** παρτίδα και για κάθε μίγμα, δοκιμάστηκαν σε θλίψη 8 κυλινδρικά δοκίμια (4 με επένδυση, 4 χωρίς). Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε μετά από 15 ημέρες συντήρησης στο περιβάλλον του εργαστηρίου. Πριν τη δοκιμή τα δοκίμια ζυγίστηκαν, αφαιρέθηκε σχολαστικά το πολυμερές χαρτί και υποβλήθηκαν σε λείανση της άνω και κάτω επιφάνειας σε ειδικό μηχάνημα. Η λείανση πραγματοποιήθηκε προκειμένου να εξαλειφθούν οι μικροανωμαλίες των επιφανειών που έρχονται σε επαφή με την πρέσα και μπορούν να επηρεάσουν την αντοχή. Μετά τη λείανση μετρήθηκε το ύψος τους προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπήρξε σημαντική μεταβολή¹. Η θραύση έγινε με ταχύτητα 1.57KN/sec.

Από την **τρίτη** παρτίδα και μόνο για το μίγμα με $N/T=0,505$, δοκιμάστηκαν σε θλίψη 8 κυβικά δοκίμια (όλα με επένδυση στις δύο παράπλευρες επιφάνειες αντικριστά). Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε μετά από 23 ημέρες συντήρησης στο περιβάλλον του εργαστηρίου. Και πάλι ζυγίστηκαν τα δοκίμια και αφαιρέθηκε το

1.Επειδή ως γνωστόν ο λόγος ύψος/διάμετρο του δοκιμίου επηρεάζει την αντοχή.

απορροφητικό χαρτί πριν τη δοκιμή. Τα μισά θραύτηκαν από τις δύο αντικριστές επιφάνειες χωρίς χαρτί και τα άλλα μισά από τις δύο αντικριστές επιφάνειες με χαρτί.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 1 – 5, 16 – 20 και 29 του κεφαλαίου 4 με τους πίνακες των αποτελεσμάτων.

3.2 ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΑΠΟ ΔΙΑΡΡΗΞΗ

Σε δοκιμή σε διάρρηξη υποβλήθηκαν τα 6 κυλινδρικά δοκίμια (3 με επένδυση, 3 χωρίς) του κάθε μίγματος της 1^{ης} παρτίδας. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε μετά από 14 ημέρες συντήρησης στο περιβάλλον του εργαστηρίου.

Πριν τη δοκιμή αφαιρέθηκε η επένδυση ενώ παρεμβλήθηκαν 2 ξύλινα παρεμβλήματα, όπως επιβάλλεται από τον κανονισμό, αντιδιαμετρικά, στην κυρτή επιφάνεια των κυλίνδρων, προκειμένου να ακουμπήσουν σε αυτά το άνω και κάτω τμήμα της πρέσας, όπως φαίνεται στη φωτογραφία 4. Για να κρατηθούν στη θέση τους τα ξύλινα παρεμβλήματα τοποθετήθηκε στις άκρες λίγη κόλλα σιλικόνης.



Φωτογραφία 4 : Κυλινδρικό δοκίμιο λίγο πριν υποβληθεί σε εφελκυσμό από διάρρηξη

Η θραύση έγινε στη μηχανή θραύσεως της φωτογραφίας 3 με ταχύτητα 1,9 kN/sec. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 11 - 15 στο κεφάλαιο 4 με τους πίνακες των αποτελεσμάτων.

3.3 ΠΟΡΩΔΕΣ

Δοκιμή πορώδους έγινε στην πρώτη και δεύτερη παρτίδα και για κάθε μίγμα. Οι κύβοι της πρώτης παρτίδας και οι κύλινδροι της δεύτερης αφού δοκιμάστηκαν σε θλίψη υποβλήθηκαν σε δοκιμή πορώδους.

Από τα θραυσμένα δοκίμια αποσπάστηκαν κομμάτια από κάθε σημείο. Για τους κύβους πάρθηκαν κομμάτια από τη μέση, από κατω(τον πυθμένα του δοκιμίου), από πάνω(την ελεύθερη επιφάνεια του δοκιμίου) και από τις παράπλευρες επιφάνειες. Για τους κυλίνδρους πάρθηκαν κομμάτια από τη μέση και από την παράπλευρη κυρτή επιφάνεια. Έγινε προσπάθεια να αποσπαστούν όσο το δυνατόν περισσότερα κομμάτια από κάθε σημείο, απαλλαγμένα από μεγάλα κομμάτια αδρανών προκειμένου να υπάρχει ομοιομορφία και συνέπεια στις μετρήσεις². Καταβλήθηκε προσπάθεια και δόθηκε η δέουσα προσοχή, τα κομμάτια να είναι όσο το δυνατόν πιο συμπαγή και χωρίς ρωγμές που προκλήθηκαν από τη θραύση.

Στη συνέχεια τα κομμάτια αυτά τοποθετήθηκαν αριθμημένα και ταξινομημένα ανά δοκίμιο και σημείο σε χύτρα η οποία μπορεί και κλείνει αεροστεγώς. Η χύτρα αυτή είναι συνδεδεμένη με τη συσκευή της φωτογραφίας 5 η οποία μπορεί να εφαρμόσει υποπίεση.



Φωτογραφία 5 : Πειραματική συσκευή δημιουργίας υποπίεσης σε δοκίμια από σκυρόδεμα.

Σκοπός της υποπίεσης είναι να αδειάσει τους πόρους των δοκιμίων εντελώς από τον αέρα. Η υποπίεση εφαρμόζεται για 2h. Κατόπιν, μέσω στρόφιγγας, διοχετεύεται στη χύτρα απεσταγμένο νερό αρκετό ώστε να καλύψει τα κομμάτια. Τα κομμάτια παραμένουν στη χύτρα για 24h προκειμένου να γεμίσουν οι πόροι με νερό, δηλαδή να κορεστούν.

2. Τα αδρανή έχουν ως γνωστόν πολύ μικρό πορώδες (της τάξεως του 1%). Η παρουσία τους σε κάποια κομμάτια, λοιπόν, θα είχε ως αποτέλεσμα σημαντική διαφοροποίηση του πορώδους σε σχέση με άλλα κομμάτια χωρίς αδρανή, άρα ανακρίβεια στις μετρήσεις.

Μετά από 24h, τα κομμάτια του σκυροδέματος, κορεσμένα πλέον, τοποθετήθηκαν με νερό (στους $22\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$) μέσα στη λήκυθο που φαίνεται στη φωτογραφία 6



Φωτογραφία 6 : Λήκυθος που χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή του πορώδους.

Κατόπιν απομακρύνθηκε ο εγκλωβισμένος αέρας, χτυπώντας τη λήκυθο απαλά σε μία σταθερή θέση. Η λήκυθος αφού σκουπίστηκε καλά εξωτερικά, ζυγίστηκε σε ζυγαριά με ακρίβεια 0,01 gr (μάζα M_2).

Στη συνέχεια απομακρύνθηκαν τα κομμάτια του σκυροδέματος από το νερό και αφέθηκαν να στραγγίσουν για μερικά λεπτά. Η λήκυθος ξαναγεμίστηκε με νερό και ακολουθώντας την ίδια διαδικασία ζυγίστηκε (μάζα M_3).

Η ποσότητα που στραγγίστηκε τοποθετήθηκε πάνω σε στεγνή πετσέτα και σκουπίστηκε απαλά, προκειμένου να απομακρυνθεί μόνο το επιφανειακό νερό. Σκοπός της διαδικασίας αυτής ήταν το υλικό να παραμείνει κορεσμένο αλλά επιφανειακά στεγνό. Η ποσότητα αυτή κατόπιν ζυγίστηκε (μάζα M_1).

Τέλος, το δείγμα θερμάνθηκε σε φούρνο σε θερμοκρασία $110\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ για ικανό χρονικό διάστημα (της τάξεως των 24h) και ζυγίστηκε (μάζα M_4).

Με τις μάζες αυτές και με χρήση του παρακάτω τύπου υπολογίστηκε το ολικό πορώδες (π):

$$\pi = \frac{M_1 - M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

Όπως προαναφέρθηκε, κάθε κυβικό δοκίμιο είχε 4 διαφορετικές τιμές ολικού πορώδους (για πάνω, κάτω, μέση, πλάι). Κάθε κυλινδρικό δοκίμιο είχε 2 διαφορετικές τιμές ολικού πορώδους (για μέση, πλάι). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 1 – 5 και 16 – 20 στο κεφάλαιο 4 με τους πίνακες των αποτελεσμάτων.

3.4 ΑΕΡΟ-ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Σε δοκιμή αερο-διαπερατότητας υποβλήθηκαν τα 4 κυβικά δοκίμια (2 με επένδυση, 2 χωρίς) του κάθε μίγματος της πρώτης και δεύτερης παρτίδας. Η ηλικία των δοκιμίων για κάθε παρτίδα και μίγμα φαίνεται στους πίνακες των αποτελεσμάτων.

Πριν τη δοκιμή, τα δοκίμια ζυγίστηκαν και αφαιρέθηκε το απορροφητικό ύφασμα. Στη συνέχεια, διανοίχτηκαν με τρυπάνι οπές (διαμέτρου 10mm για την πρώτη παρτίδα και 9mm για τη δεύτερη), δύο σε κάθε παράπλευρη επιφάνεια, και από μία στην ελεύθερη επιφάνεια και στον πυθμένα του κάθε δοκιμίου.

Για την δοκιμή αερο-διαπερατότητας χρησιμοποιήθηκε ειδική συσκευή η οποία φαίνεται στις φωτογραφίες 7 και 8.



Φωτογραφίες 7,8 : Συσκευή αεροδιαπερατότητας και η απορροφητική αντλία που είναι συνδεδεμένη με αυτήν.

Οι οπές σφραγίστηκαν με υλικό από καουτσούκ ώστε να εμποδιστεί η εισροή αέρα σε αυτές. Το καουτσούκ διατρήθηκε με υποδερμική βελόνα η οποία είναι συνδεδεμένη με απορροφητική αντλία. Η συσκευή αυτή έχει τη δυνατότητα μέσω της απορροφητικής αντλίας που φαίνεται στη φωτογραφία 8 να εφαρμόζει υποπίεση στη σφραγισμένη οπή. Η υποπίεση εφαρμόζεται έως ότου η ένδειξη της συσκευής δείξει -55kPa. Κατόπιν, η συσκευή μετράει τον χρόνο που χρειάζεται ο αέρας να εισχωρήσει στο σκυρόδεμα και να αυξήσει την πίεση στην κοιλότητα από τα -55 kPa στα -50 kPa. Αυτός, ουσιαστικά, είναι ο χρόνος (σε sec), που απαιτείται για αλλαγή στην πίεση μέσα στην κοιλότητα, της τάξεως των 5 kPa. Ο χρόνος αυτός αποτελεί ένδειξη της αεροδιαπερατότητας του σκυροδέματος.

Συλλέχθηκαν δηλαδή συνολικά 10 χρόνοι για κάθε δοκίμιο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 6 – 10 και 21 - 25 στο κεφάλαιο 4 με τους πίνακες των αποτελεσμάτων.

3.5 ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Σε δοκιμή υδαταπορρόφησης υποβλήθηκαν τα 4 κυβικά δοκίμια (2 με επένδυση, 2 χωρίς) για καθένα από τα τρία μίγματα της τρίτης παρτίδας. Τα δοκίμια υποβλήθηκαν στη δοκιμή σε ηλικία 21 ημερών.

Πριν τη δοκιμή, τα δοκίμια ζυγίστηκαν και αφαιρέθηκε το απορροφητικό χαρτί. Σ' αυτήν την περίπτωση έγινε προσπάθεια το ύφασμα από πολυμερές να

αποσπαστεί πολύ σχολαστικά (με χρήση σπάτουλας αλλά και λίμας) αφού η μεγάλη απορροφητικότητα του θα μπορούσε να αλλοιώσει την υδαταπορρόφηση. Στην ίδια επεξεργασία, παρόλο που αυτά δεν είχαν ύφασμα, υποβλήθηκαν και τα δοκίμια χωρίς επένδυση προκειμένου να έχουμε όσο το δυνατόν ίδιες συνθήκες άρα συγκρίσιμα αποτελέσματα. Στη συνέχεια τα δοκίμια ξηράνθηκαν σε φούρνο προκειμένου να απομακρυνθεί ένα μεγάλο ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας. Η ξήρανση έγινε στους 60°C και για 4 ημέρες. Κατόπιν, τα δοκίμια τυλίχθηκαν σε σελοφάν και παρέμειναν έτσι για 2 ημέρες. Αυτό έγινε προκειμένου να εξισορροπηθεί, κατά το δυνατόν, η υγρασία στο εσωτερικό των δοκιμίων και να είναι ομοιόμορφη παντού, αφού η υγρασία κατά τη μετακίνησή της από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του δοκιμίου κατά την ξήρανση, μπορεί να βρίσκεται σε διαφορετικές περιεκτικότητες στα διάφορα σημεία του δοκιμίου.

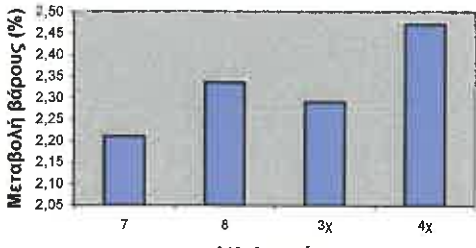
Στα δοκίμια αυτά, σε επαφή με το νερό ήρθε μία από τις παράπλευρες επιφάνειες και όχι ο πυθμένας του δοκιμίου προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της επένδυσης. Πριν ξεκινήσει η δοκιμή, οι υπόλοιπες επιφάνειες, εκτός από αυτήν που θα έρθει σε επαφή με το νερό και την αντιδιαμετρική της, βάφτηκαν με εποξειδική ρητίνη σε πολλές στρώσεις προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απορρόφηση και η εξάτμιση νερού από τις πλευρές αυτές.

Μετά την επεξεργασία τους, τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε μια λεκάνη στον πυθμένα της οποίας είχε τοποθετηθεί πλαστικό πλέγμα προκειμένου να βρίσκονται όλα τα δοκίμια στο ίδιο επίπεδο. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στη λεκάνη με τέτοιο τρόπο ώστε το νερό να μη βρέχει το δοκίμιο σε ύψος μεγαλύτερο από 2mm. Η ροή ρυθμίστηκε με ροοστάτη ο οποίος παρείχε τόσο νερό στη λεκάνη όσο χανόταν από οπή η οποία είχε διανοιχτεί σε μια από τις πλευρές της. Έτσι διατηρήθηκε η στάθμη του νερού στο επιθυμητό ύψος.

Τα δοκίμια ζυγίστηκαν πριν τοποθετηθούν στη λεκάνη και στα χρονικά διαστήματα 0,25h, 0.50 h, 1h, 1.5h, 2.5h, 3.5h, 5.5h, 11h, 23h, 29.5 h, 48h. Πριν από κάθε ζύγισμα, η επιφάνεια που ήταν σε επαφή με το νερό, σκουπιζόταν με χαρτί προκειμένου να απομακρυνθούν τα σταγονίδια του νερού. Το σκούπισμα γινόταν με τον ίδιο τρόπο σε όλα τα δοκίμια για συγκρίσιμα αποτελέσματα.. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 26 - 28 στο κεφάλαιο με τους πίνακες των αποτελεσμάτων.

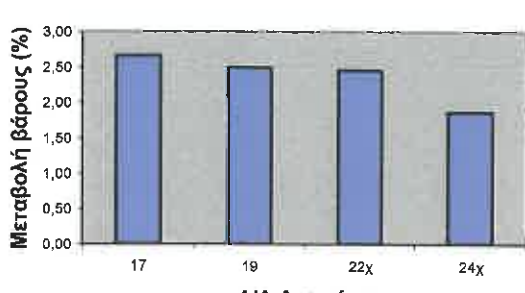
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1						
Γενικά Στοιχεία				Αντοχή σε θλίψη		
Ημερομηνία παρασκευής	21/3/2005			Ημερομηνία δοκιμής	4/4/2005	
Παρτίδα	1η			Ταχύτητα	2 KN/sec	
Λόγος N/T	0,505			A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5			7	381,4	38,14
Είδος δοκιμών	Κυβικά			8	374,9	37,49
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)			3χ	312,3	31,23
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια			4χ	322,3	32,23
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα			Πορώδες		
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες			Ημερομηνία δοκιμής	4/4/2005	
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ			A/A δοκ. χ:επένδυση	Κάτω	Μέση Άνω Πλάι
Γαρυπίλι	866,72	Kg/m ³		7	0,1454	0,1985 0,2350 0,1787
Άμμος	866,72	Kg/m ³		8	0,1408	0,1686 0,2508 0,1809
Νερό	210,00	Kg/m ³		3χ	0,1495	0,1979 0,1473 0,1539
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³		4χ	0,1337	0,1907 0,1841 0,1589
Υπερ-ρευστοποιητικό	4,20	Kg/m ³		Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους		
Απώλεια Βάρους						
	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια α%			
22/3/2005	7	2416,5	0			
	8	2521,1	0			
	3χ	2401,8	0			
	4χ	2387,2	0			
4/4/2005	7	2363,1	2,21			
	8	2462,2	2,34			
	3χ	2346,8	2,29			
	4χ	2328,2	2,47			

ΠΙΝΑΚΑΣ 2					
Γενικά Στοιχεία			Αντοχή σε θλίψη		
Ημερομηνία παρασκευής	22/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	5/4/2005	
Παρτίδα	1η		Ταχύτητα	2 KN/sec	
Λόγος N/T	0,58		A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5				
Είδος δοκιμίων	Κυβικά		14	299,7	29,97
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)		16	308,4	30,84
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		10χ	244	24,4
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		13χ	221,8	22,18
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες		Πορώδες		
Εήρανη σε φούρνο	ΟΧΙ		Ημερομηνία δοκιμής	5/4/2005	
Γαρμπίλι	800,67	Kg/m ³	A/A δοκ. χ: επένδυση	Κάτω	Μέση
Άμμος	800,67	Kg/m ³		Άνω	Πλάι
Νερό	243,24	Kg/m ³	14	0,1941	0,2249
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³	16	0,1811	0,2129
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³	10x	0,2066	-
			13x	0,2033	0,2362
				0,2019	0,1758
Απώλεια Βάρους					
	A/A δοκ. χ: επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια α%		
23/3/2005	14	2397,4	0		
	16	2373,3	0		
	10χ	2371,2	0		
	13χ	2364,5	0		
5/4/2005	14	2350,7	1,95		
	16	2320,5	2,22		
	10χ	2312,6	2,47		
	13χ	2294,0	2,98		

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Γενικά Στοιχεία			Αντοχή σε θλίψη					
Ημερομηνία παρασκευής	23/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	6/4/2005				
Παρτίδα	1η		Ταχύτητα	2 KN/sec				
Λόγος N/T	0,61		A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa			
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		17	260,2	26,02			
Είδος δοκιμών	Κυβικά		19	269,7	26,97			
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)		22χ	262,1	26,21			
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		24χ	277,5	27,75			
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα							
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες							
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ							
Γαρμπίλι	808,85	Kg/m ³	17	0,2007	0,1993	0,2721	0,2300	
Άμμος	808,85	Kg/m ³	19	0,1837	0,2225	0,2630	0,2280	
Νερό	240,43	Kg/m ³	22χ	0,1619	0,2347	0,2297	0,1877	
Τσιμέντο	392,31	Kg/m ³	24χ	0,1408	0,2081	0,2165	0,1905	
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³						
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους					
24/3/2005	A/A δοκ. χ: επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλει α%					
	17	2375,5	0					
	19	2316,6	0					
	22χ	2364,9	0					
6/4/2005	24χ	2359,9	0					
	17	2312,3	2,66					
	19	2258,9	2,49					
	22χ	2306,8	2,46					
	24χ	2315,9	1,86					

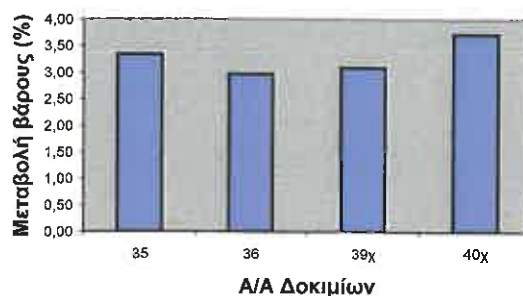
ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Γενικά Στοιχεία				Αντοχή σε θλίψη				
Ημερομηνία παρασκευής	28/3/2005			Ημερομηνία δοκιμής	11/4/2005			
Παρτίδα	1η			Ταχύτητα	2 KN/sec			
Λόγος N/T	0,38			A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa		
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5			25	502,3	50,23		
Είδος δοκιμίων	Κυβικά			28	491,1	49,11		
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)			29χ	432,4	43,24		
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια			32χ	427,8	42,78		
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα			Πορώδες				
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες			Ημερομηνία δοκιμής	11/4/2005			
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ			A/A δοκ. χ:επένδυση	Κάτω	Μέση	Άνω	Πλάι
Γαρμπίλι	803,83	Kg/m ³		25	0,1760	0,1804	0,1730	0,1819
Άμμος	803,83	Kg/m ³		28	0,1768	0,1828	0,1933	0,1897
Νερό	214,33	Kg/m ³		29χ	0,1646	0,1810	0,1658	0,1345
Τσιμέντο	571,43	Kg/m ³		32χ	0,1672	0,1950	0,1841	0,1587
Υπερ-ρευστοποιητικό	10,00	Kg/m ³		Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους				
Απώλεια Βάρους								
29/3/2005	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %					
	25	2403,8	0					
	28	2395,4	0					
	29χ	2372,4	0					
11/4/2005	32χ	2361,1	0					
	25	2366,1	1,57					
	28	2358,7	1,53					
	29χ	2338,6	1,42					
	32χ	2329,4	1,34					

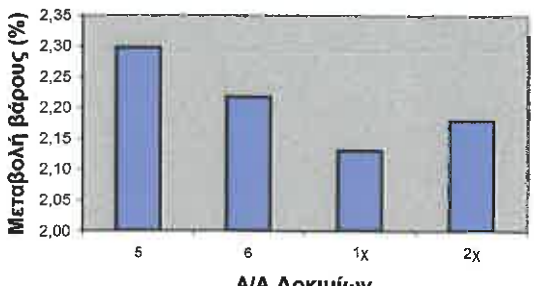
ΠΙΝΑΚΑΣ 5

ΠΙΝΑΚΑΣ 5									
Γενικά Στοιχεία				Αντοχή σε θλίψη					
Ημερομηνία παρασκευής	30/3/2005			Ημερομηνία δοκιμής	13/4/2005				
Παρτίδα	1η			Ταχύτητα	2 KN/sec				
Λόγος N/T	0,7			A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa			
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5			35	207,4	20,74			
Είδος δοκιμίων	Κυβικά			36	198,5	19,85			
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)			39χ	171,1	17,11			
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια			40χ	179,9	17,99			
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα								
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες								
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ								
Γαρμπίλι	870,58	Kg/m ³		35	0,1523	0,2172	0,2218	0,1972	
Άμμος	870,58	Kg/m ³		36	0,1849	0,1944	0,2587	0,1838	
Νερό	230,00	Kg/m ³		39χ	0,1715	0,1679	0,1929	0,1521	
Τσιμέντο	328,60	Kg/m ³		40χ	0,1854	0,2088	0,2000	0,1919	
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³							
Απώλεια Βάρους				Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους					
	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %						
31/3/2005	35	2373,7	0						
	36	2356,8	0						
	39χ	2395,0	0						
	40χ	2339,5	0						
13/4/2005	35	2294,5	3,34						
	36	2286,8	2,97						
	39χ	2321,0	3,09						
	40χ	2252,4	3,72						

A/A Δοκιμίων	Μεταβολή βάρους (%)
35	3,34
36	2,97
39χ	3,09
40χ	3,72



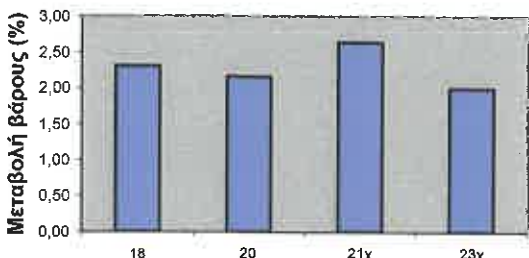
ΠΙΝΑΚΑΣ 6

ΠΙΝΑΚΑΣ 6					
Γενικά Στοιχεία			Αεροδιαπερατότητα		
Ημερομηνία παρασκευής	21/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	5/4/2005	
Παρτίδα	1η		Α/Α δοκιμίου (χ:επένδυση)		
Λόγος N/T	0,505		sec	5	6 1χ 2χ
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		άνω	-	36 27 44
Είδος δοκιμίων	Κυβικά		κάτω	-	- 21 24
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)		πλάι *	-	39 36 16
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		πλάι *	-	58 25 53
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		πλάι *	-	18 28,5 34
Συντήρηση στο εργαστήριο	14 Ημέρες		πλάι *	-	- 61,5 24
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		* έχουν μετρηθεί δύο χρόνοι για κάθε παράπλευρη επιφάνεια και έχει εξαχθεί ο Μ.Ο		
Γαρμπίλι	866,72	Kg/m ³			
Άμμος	866,72	Kg/m ³			
Νερό	210,00	Kg/m ³			
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³			
Υπερ-ρευστοποιητικό	4,20	Kg/m ³			
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους		
22/3/2005	Α/Α δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλει α%		
	5	2410,4	0		
	6	2398,8	0		
	1χ	2417,0	0		
4/4/2005	2χ	2395,2	0		
	5	2355,0	2,30		
	6	2345,6	2,22		
	1χ	2365,5	2,13		
	2χ	2343,0	2,18		

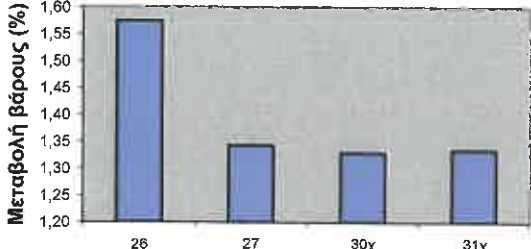
ΠΙΝΑΚΑΣ 7

Γενικά Στοιχεία			Αεροδιαπερατότητα				
Ημερομηνία παρασκευής	22/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	6/4/2005			
Παρτίδα	1η						
Λόγος N/T	0,58		Α/Α δοκιμίου (χ:επένδυση)				
			sec	9	15	11x	12x
			άνω	26	79	118	27
			κάτω	47	-	52	87
			πλάι *	32	24	44,5	62
			πλάι *	34	25	36,5	65,5
			πλάι *	44	19	-	49,5
			πλάι *	37	40	50,5	27
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5						
Είδος δοκιμίων	Κυβικά						
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)						
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		* έχουν μετρηθεί δύο χρόνοι για κάθε παράπλευρη επιφάνεια και έχει εξαχθεί ο Μ.Ο				
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα						
Συντήρηση στο εργαστήριο	14 Ημέρες						
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ						
Γαρμπίλι	800,67	Kg/m ³					
Άμμος	800,67	Kg/m ³					
Νερό	243,24	Kg/m ³					
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³					
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³					
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους				
	Α/Α δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια α%				
23/3/2005	9	2357,2	0				
	15	2335,4	0				
	11x	2316,1	0				
	12x	2379,4	0				
5/4/2005	9	2286,2	3,01				
	15	2282,9	2,25				
	11x	2260,2	2,42				
	12x	2308,6	2,98				

ΠΙΝΑΚΑΣ 8

ΠΙΝΑΚΑΣ 8							
Γενικά Στοιχεία			Αεροδιαπερατότητα				
Ημερομηνία παρασκευής	23/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	6/4/2005			
Παρτίδα	1η						
Λόγος N/T	0,61		A/A δοκιμίου (χ:επένδυση)				
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		sec	18	20	21χ	23χ
Είδος δοκιμών	Κυβικά		άνω	48	35	42	43
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)		κάτω	33	34	20	-
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		πλάι *	46	40,5	36	36,5
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		πλάι *	42	31	32,5	61,5
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες		πλάι *	54	43,5	32,5	52
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		πλάι *	55	36	51	70,5
Γαρμπίλι	808,85	Kg/m ³	* έχουν μετρηθεί δύο χρόνοι για κάθε παράπλευρη επιφάνεια και έχει εξαχθεί ο Μ.Ο				
Άμμος	808,85	Kg/m ³					
Νερό	240,43	Kg/m ³					
Τσιμέντο	392,31	Kg/m ³					
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³					
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους				
24/3/2005	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια α%				
	18	2356,7	0				
	20	2454,7	0				
	21χ	2364,9	0				
6/4/2005	23χ	2368,4	0				
	18	2302,3	2,31				
	20	2401,6	2,16				
	21χ	2302,4	2,64				
	23χ	2321,1	2,00				

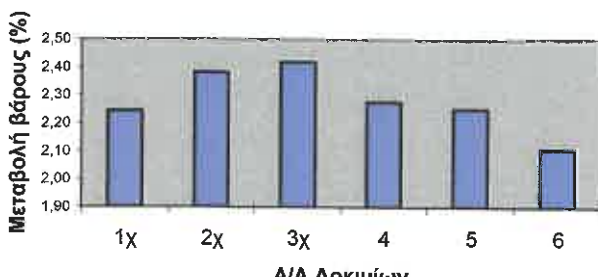
ΠΙΝΑΚΑΣ 9

ΠΙΝΑΚΑΣ 9																			
Γενικά Στοιχεία					Αεροδιαπερατότητα														
Ημερομηνία παρασκευής		28/3/2005			Ημερομηνία δοκιμής		11/4/2005												
Παρτίδα		1η																	
Λόγος N/T		0,38			A/A δοκιμίου (χ:επένδυση)														
					sec	26	27	30χ	31χ										
					άνω	63	107	85	81										
Τύπος τσιμέντου		CEM IV/B 32,5			κάτω	133	212	88	89										
Είδος δοκιμίων		Κυβικά			πλάι *	42	157,5	203	68,5										
					πλάι *	32	158	67,5	107										
					πλάι *	41,5	64,5	91	57										
					πλάι *	150	100,5	164	103										
Διαστάσεις (m)		0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)																	
Επένδυση		Σε 2 δοκίμια			* έχουν μετρηθεί δύο χρόνοι για κάθε παράπλευρη επιφάνεια και έχει εξαχθεί ο Μ.Ο														
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο		1 Ημέρα																	
Συντήρηση στο εργαστήριο		13 Ημέρες																	
Ξήρανση σε φούρνο		ΟΧΙ																	
Γαρμπίλι		803,83	Kg/m ³																
Άμμος		803,83	Kg/m ³																
Νερό		214,33	Kg/m ³																
Τσιμέντο		571,43	Kg/m ³																
Υπερ-ρευστοποιητικό		10,00	Kg/m ³																
Απώλεια Βάρους					Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους														
	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %		 <table><caption>Δεδομένα για το Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους</caption><thead><tr><th>A/A Δοκιμίων</th><th>Μεταβολή βάρους (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>26</td><td>1,58</td></tr><tr><td>27</td><td>1,34</td></tr><tr><td>30χ</td><td>1,33</td></tr><tr><td>31χ</td><td>1,33</td></tr></tbody></table>					A/A Δοκιμίων	Μεταβολή βάρους (%)	26	1,58	27	1,34	30χ	1,33	31χ	1,33
A/A Δοκιμίων	Μεταβολή βάρους (%)																		
26	1,58																		
27	1,34																		
30χ	1,33																		
31χ	1,33																		
29/3/2005	26	2401,7	0																
	27	2483,1	0																
	30χ	2415,0	0																
	31χ	2398,4	0																
11/4/2005	26	2363,9	1,57																
	27	2449,8	1,34																
	30χ	2382,9	1,33																
	31χ	2366,4	1,33																

ΠΙΝΑΚΑΣ 10

ΠΙΝΑΚΑΣ 10						
Γενικά Στοιχεία			Αεροδιαπερατότητα			
Ημερομηνία παρασκευής	30/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	11/4/2005		
Παρτίδα	1η		Α/Α δοκιμίου (χ:επένδυση)			
Λόγος N/T	0,7		sec	33	34	37χ 38χ
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		άνω	52	45	39 65
Είδος δοκιμίων	Κυβικά		κάτω	49	55	35 35
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)		πλάι *	50	45,5	36,5 82
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		πλάι *	59,5	47,5	35,5 45,5
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		πλάι *	64	47	61 62
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες		πλάι *	51	55,5	39,5 89
Εξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		* έχουν μετρηθεί δύο χρόνοι για κάθε παράπλευρη επιφάνεια και έχει εξαχθεί ο Μ.Ο			
Γαρμπίλι	870,58	Kg/m ³				
Άμμος	870,58	Kg/m ³				
Νερό	230,00	Kg/m ³				
Τσιμέντο	328,60	Kg/m ³				
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³				
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους			
	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %			
31/3/2005	33	2471,0	0			
	34	2362,1	0			
	37χ	2388,0	0			
	38χ	2395,8	0			
13/4/2005	33	2388,4	3,34			
	34	2282,0	3,39			
	37χ	2307,9	3,35			
	38χ	2314,5	3,39			

ΠΙΝΑΚΑΣ 11

Γενικά Στοιχεία			Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη		
Ημερομηνία παρασκευής	21/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	4/4/2005	
Παρτίδα	1η		Ταχύτητα	1,9 KN/sec	
Λόγος N/T	0,505		A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		1χ	111,5	14,20
Είδος δοκιμίων	Κυλινδρικά		2χ	111,8	14,23
Διαστάσεις (m)	0,20*0,10 (ύψος*διάμετρος)		3χ	105,7	13,46
Επένδυση	Σε 3 δοκίμια		4	91,3	11,62
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		5	96,8	12,32
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες		6	92,1	11,73
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		Απώλεια Βάρους		
Γαρμπίλι	866,72	Kg/m ³	A/A δοκ. χ: επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %
Άμμος	866,72	Kg/m ³	22/3/2005	1χ	0
Νερό	210,00	Kg/m ³		2χ	0
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³		3χ	0
Υπερ-ρευστοποιητικό	4,20	Kg/m ³		4	0
				5	0
				6	0
			4/4/2005	1χ	2,24
				2χ	2,38
				3χ	2,42
				4	2,28
				5	2,25
				6	2,11
Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους					
					

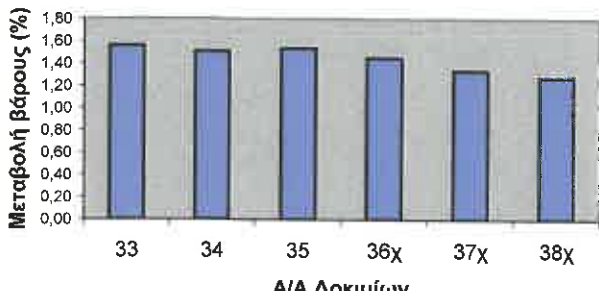
ΠΙΝΑΚΑΣ 12

Γενικά Στοιχεία			Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη		
Ημερομηνία παρασκευής	22/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	5/4/2005	
Παρτίδα	1η		Ταχύτητα	1,9 KN/sec	
Λόγος N/T	0,58		A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		7	81,8	10,42
Είδος δοκιμίων	Κυλινδρικά		8	72,8	9,27
Διαστάσεις (m)	0,20*0,10 (ύψος*διάμετρος)		9	66,8	8,51
Επένδυση	Σε 3 δοκίμια		10x	99,5	12,67
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		11x	97,8	12,45
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες		12x	102,1	13,00
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		Απώλεια Βάρους		
Γαρμπίλι	800,67	Kg/m ³	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %
Άμμος	800,67	Kg/m ³	23/3/2005	7	0
Νερό	243,24	Kg/m ³		8	0
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³		9	0
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³		10x	0
				11x	0
				12x	0
			5/4/2005	7	2,83
				8	2,67
				9	16,50
				10x	2,63
				11x	2,84
				12x	2,64
			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους		

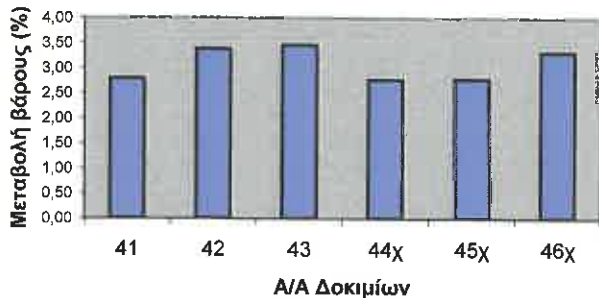
ΠΙΝΑΚΑΣ 13

Γενικά Στοιχεία			Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη		
Ημερομηνία παρασκευής	23/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	6/4/2005	
Παρτίδα	1η		Ταχύτητα	1,9 KN/sec	
Λόγος N/T	0,61		A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		25χ	104,5	13,31
Είδος δοκιμίων	Κυλινδρικά		26χ	101,9	12,97
Διαστάσεις (m)	0,20*0,10 (ύψος*διάμετρος)		27χ	89,9	11,45
Επένδυση	Σε 3 δοκίμια		28	71,1	9,05
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		29	73,1	9,31
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες		30	75,5	9,61
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		Απώλεια Βάρους		
Γαρμπίλι	808,85	Kg/m ³	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %
Άμμος	808,85	Kg/m ³	24/3/2005	25χ	0
Νερό	240,43	Kg/m ³		26χ	0
Τσιμέντο	392,31	Kg/m ³		27χ	0
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³		28	0
				29	0
				30	0
			6/4/2005	25χ	2,12
				26χ	2,44
				27χ	2,20
				28	2,70
				29	2,54
				30	2,45
			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους		

ΠΙΝΑΚΑΣ 14

Γενικά Στοιχεία			Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη			
Ημερομηνία παρασκευής	28/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	11/4/2005		
Παρτίδα	1η		Ταχύτητα	1,9 KN/sec		
Λόγος N/T	0,38		A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa	
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		33	120,5	15,34	
Είδος δοκιμίων	Κυλινδρικά		34	133,0	16,93	
Διαστάσεις (m)	0,20*0,10 (ύψος*διάμετρος)		35	115,8	14,74	
Επένδυση	Σε 3 δοκίμια		36χ	118,8	15,13	
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		37χ	105,4	13,42	
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες		38χ	124,0	15,79	
Εξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		Απώλεια Βάρους			
Γαρμπίλι	803,83	Kg/m ³	A/A δοκ. χ: επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %	
Άμμος	803,83	Kg/m ³	29/3/2005	33	3692,2	0
Νερό	214,33	Kg/m ³		34	3887,9	0
Τσιμέντο	571,43	Kg/m ³		35	3731,9	0
Υπερ-ρευστοποιητικό	10,00	Kg/m ³		36χ	3712,9	0
				37χ	3604,1	0
				38χ	3811,4	0
			11/4/2005	33	3634,7	1,56
				34	3829,3	1,51
				35	3674,6	1,54
				36χ	3659,1	1,45
				37χ	3556,0	1,33
				38χ	3762,7	1,28
			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους			
						

ΠΙΝΑΚΑΣ 15

Γενικά Στοιχεία			Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη			
Ημερομηνία παρασκευής	30/3/2005		Ημερομηνία δοκιμής	13/4/2005		
Παρτίδα	1η		Ταχύτητα	1,9 KN/sec		
Λόγος N/T	0,7		A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa	
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		41	76,1	9,69	
Είδος δοκιμίων	Κυλινδρικά		42	63,0	8,02	
Διαστάσεις (m)	0,20*0,10 (ύψος*διάμετρος)		43	60,5	7,70	
Επένδυση	Σε 3 δοκίμια		44χ	87,1	11,09	
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		45χ	76,6	9,75	
Συντήρηση στο εργαστήριο	13 Ημέρες		46χ	82,0	10,44	
Εξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		Απώλεια Βάρους			
Γαρμπίλι	870,58	Kg/m ³	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %	
Άμμος	870,58	Kg/m ³	31/3/2005	41	3606,3	0
Νερό	230,00	Kg/m ³		42	3669,3	0
Τσιμέντο	328,60	Kg/m ³		43	3647,6	0
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³		44χ	3786,8	0
				45χ	3631,9	0
				46χ	3639,1	0
			13/4/2005	41	3505,8	2,79
				42	3545,3	3,38
				43	3521,4	3,46
				44χ	3682,0	2,77
				45χ	3531,0	2,78
				46χ	3518,5	3,31
			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους			
						

ΠΙΝΑΚΑΣ 16

Γενικά Στοιχεία				Αντοχή σε θλίψη		
Ημερομηνία παρασκευής	11/5/2005			Ημερομηνία δοκιμής	26/5/2005	
Παρτίδα	2η			Ταχύτητα	1,57 KN/sec	
Λόγος N/T	0,505			A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5			1χ	309,0	39,34
Είδος δοκιμίων	Κυλινδρικά			2χ	316,4	40,29
Διαστάσεις (m)	0,20*0,10 (ύψος*διάμετρος)			3χ	308,7	39,30
Επένδυση	Σε 4 δοκίμια			4χ	295,2	37,59
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα			5	252,9	32,20
Συντήρηση στο εργαστήριο	14 Ημέρες			6	268,8	34,22
Ξήρανση σε φούρνο	ΌΧΙ			7	266,8	33,97
Γαρμπίλι	866,50	Kg/m ³		8	271,9	34,62
Άμμος	866,50	Kg/m ³		Πορώδες		
Νερό	210,00	Kg/m ³		Ημερομηνία δοκιμής	26/5/2005	
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³		A/A δοκ. χ: επένδυση	Μέση	Πλάι
Υπερ/ποιητικό	4,20	Kg/m ³		1χ	0,1676	0,1563
Μεταβολή Βάρους				2χ	0,1904	0,1892
12/5/2005	A/A δοκ. χ: επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %	3χ	0,1721	0,1590
	1χ	3642,1	0	4χ	0,1608	0,1660
	2χ	3703,7	0	5	0,1988	0,1624
	3χ	3849,2	0	6	0,1591	0,1802
	4χ	3708,2	0	7	0,1731	0,1825
	5	3648,9	0	8	0,1915	0,1822
	6	3734,3	0	Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους		
	7	3777,3	0			
25/5/2005	8	3720,0	0			
	1χ	3571,2	1,95			
	2χ	3636,9	1,80			
	3χ	3779,6	1,81			
	4χ	3637,1	1,92			
	5	3578,9	1,92			
	6	3676,5	1,55			
	7	3675,9	2,69			
	8	3665,4	2,96			

ΠΙΝΑΚΑΣ 17

Γενικά Στοιχεία				Αντοχή σε θλίψη		
Ημερομηνία παρασκευής	12/5/2005			Ημερομηνία δοκιμής	27/5/2005	
Παρτίδα	2η			Ταχύτητα	1,57 KN/sec	
Λόγος N/T	0,58			A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5			13χ	220,4	28,06
Είδος δοκιμίων	Κυλινδρικά			14χ	227,6	28,98
Διαστάσεις (m)	0,20*0,10 (ύψος*διάμετρος)			15χ	235,9	30,04
Επένδυση	Σε 4 δοκίμια			16χ	202,4	25,77
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα			17	208,6	26,56
Συντήρηση στο εργαστήριο	14 Ημέρες			18	199,3	25,38
Ξήρανση σε φούρνο	ΌΧΙ			19	187,8	23,91
Γαρμπίλι	812,50	Kg/m ³		20	190,1	24,20
Άμμος	812,50	Kg/m ³		Πορώδες		
Νερό	243,24	Kg/m ³		Ημερομηνία δοκιμής	27/5/2005	
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³		A/A δοκ. χ:επένδυση	Μέση	Πλάι
Υπερ/ποιητικό	0,00	Kg/m ³		13χ	0,1972	0,2068
Μεταβολή Βάρους				14χ	0,1985	0,1747
	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %	15χ	0,2075	0,1947
13/5/2005	13χ	3560,1	0	16χ	0,1958	0,2072
	14χ	3634,1	0	17	0,1928	0,2054
	15χ	3570,9	0	18	0,2564	0,2583
	16χ	3648,0	0	19	0,2231	0,2456
	17	3645,3	0	20	0,2096	0,2380
	18	3669,0	0	Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους		
	19	3643,5	0			
	20	3747,5	0			
26/5/2005	13χ	3466,3	2,64			
	14χ	3540,7	2,57			
	15χ	3485,8	2,38			
	16χ	3557,7	2,48			
	17	3573,7	1,96			
	18	3589,6	2,16			
	19	3556,7	2,38			
	20	3655,6	3,22			

ΠΙΝΑΚΑΣ 18

Γενικά Στοιχεία				Αντοχή σε θλίψη			
Ημερομηνία παρασκευής	16/5/2005			Ημερομηνία δοκιμής	31/5/2005		
Παρτίδα	2η			Ταχύτητα	1,57 KN/sec		
Λόγος N/T	0,61			A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa	
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5			25χ	163,0	20,75	
Είδος δοκιμίων	Κυλινδρικά			26χ	169,0	21,52	
Διαστάσεις (m)	0,20*0,10 (ύψος*διάμετρος)			27χ	167,2	21,29	
Επένδυση	Σε 4 δοκίμια			28χ	172,1	21,91	
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα			29	146,5	18,65	
Συντήρηση στο εργαστήριο	14 Ημέρες			30	139,9	17,81	
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ			31	140,9	17,94	
Γαρμπίλι	829,95	Kg/m ³		32	137,3	17,48	
Άμμος	829,95	Kg/m ³					
Νερό	239,31	Kg/m ³					
Τσιμέντο	392,31	Kg/m ³					
Υπερ/ποιητικό	0,00	Kg/m ³					
Μεταβολή Βάρους				Πορώδες			
	A/A δοκ. χ: επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %	Ημερομηνία δοκιμής	31/5/2005		
17/5/2005	25χ	3590,1	0	A/A δοκ. χ: επένδυση		Μέση Πλάι	
	26χ	3632,6	0	25χ		0,2134	0,2000
	27χ	3712,2	0	26χ		0,2117	0,2052
	28χ	3676,7	0	27χ		0,1654	0,1717
	29	3790,3	0	28χ		0,2159	0,1954
	30	3645,5	0	29		0,2402	0,2368
	31	3642,5	0	30		0,2257	0,2512
	32	3623,0	0	31		0,1856	0,2418
30/5/2005	25χ	3475,0	3,21	32		0,2040	0,2192
	26χ	3520,0	3,10				
	27χ	3590,0	3,29				
	28χ	3565,0	3,04				
	29	3655,0	3,57				
	30	3520,0	3,44				
	31	3520,0	3,36				
	32	3490	7,61				
				Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους			

ΠΙΝΑΚΑΣ 19

Γενικά Στοιχεία				Αντοχή σε θλίψη		
Ημερομηνία παρασκευής	17/5/2005			Ημερομηνία δοκιμής	1/6/2005	
Παρτίδα	2η			Ταχύτητα	1,57 KN/sec	
Λόγος N/T	0,38			A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5			37χ	347,1	44,19
Είδος δοκιμίων	Κυλινδρικά			38χ	328,3	41,80
Διαστάσεις (m)	0,20*0,10 (ύψος*διάμετρος)			39χ	371,4	47,29
Επένδυση	Σε 4 δοκίμια			40χ	356,5	45,39
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα			41	321,9	40,99
Συντήρηση στο εργαστήριο	14 Ημέρες			42	325,1	41,39
Ξήρανση σε φούρνο	ΌΧΙ			43	325,9	41,49
Γαρμπίλι	784,51	Kg/m ³		44	315,3	40,15
Άμμος	784,51	Kg/m ³		Πορώδες		
Νερό	214,33	Kg/m ³		Ημερομηνία δοκιμής	1/6/2005	
Τσιμέντο	571,55	Kg/m ³		A/A δοκ. χ: επένδυση	Μέση	Πλάι
Υπερ/ποιητικό	10,50	Kg/m ³		37χ	0,1953	0,2090
Μεταβολή Βάρους				38χ	0,1866	0,1777
18/5/2005	A/A δοκ. χ: επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %	39χ	0,1774	0,1839
	37χ	3651,6	0	40χ	0,1890	0,2031
	38χ	3660,9	0	41	0,1712	0,1815
	39χ	3821,0	0	42	0,1448	0,1862
	40χ	3697,9	0	43	0,1990	0,2082
	41	3724,0	0	44	0,1851	0,1713
	42	3747,7	0	Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους		
	43	3702,2	0			
30/5/2005	44	3702,0	0			
	37χ	3565,0	2,37			
	38χ	3580,0	2,21			
	39χ	3735,0	2,25			
	40χ	3620,0	2,11			
	41	3650,0	1,99			
	42	3675,0	1,94			
	43	3630,0	1,95			
	44	3625	4,03			

ΠΙΝΑΚΑΣ 20

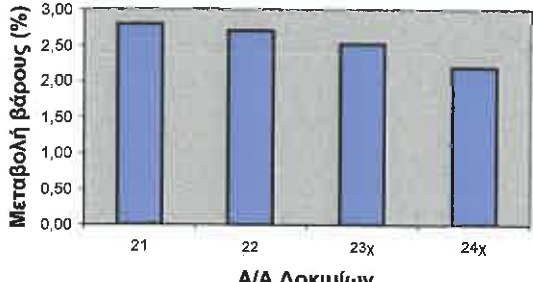
Γενικά Στοιχεία				Αντοχή σε θλίψη		
Ημερομηνία παρασκευής	18/5/2005			Ημερομηνία δοκιμής	2/6/2005	
Παρτίδα	2η			Ταχύτητα	1,57 KN/sec	
Λόγος N/T	0,70			A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5			49χ	171,6	21,85
Είδος δοκιμίων	Κυλινδρικά			50χ	160,3	20,41
Διαστάσεις (m)	0,20*0,10 (ύψος*διάμετρος)			51χ	172,8	22,00
Επένδυση	Σε 4 δοκίμια			52χ	170,9	21,76
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα			53	135,8	17,29
Συντήρηση στο εργαστήριο*	14 Ημέρες			54	136,8	17,42
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ			55	136,6	17,39
Γαρμπίλι	870,58	Kg/m ³		56	140,3	17,86
Άμμος	870,58	Kg/m ³		Πορώδες		
Νερό	230,00	Kg/m ³		Ημερομηνία δοκιμής	2/6/2005	
Τσιμέντο	328,60	Kg/m ³		A/A δοκ. χ: επένδυση	Μέση	Πλάι
Υπερ/ποιητικό	0,00	Kg/m ³		49χ	0,1618	0,1604
Μεταβολή Βάρους				50χ	0,1720	0,1627
	A/A δοκ. χ: επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %	51χ	0,1721	0,1387
19/5/2005	49χ	3667,7	0	52χ	0,1769	0,1826
	50χ	3612,9	0	53	0,1774	0,1977
	51χ	3827,3	0	54	0,1748	0,2178
	52χ	3590,6	0	55	0,2029	0,2293
	53	3659,7	0	56	0,2171	0,1847
	54	3677,6	0	Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους		
	55	3635,3	0			
	56	3660,1	0			
30/5/2005	49χ	3575,0	2,53			
	50χ	3535,0	2,16			
	51χ	3745,0	2,15			
	52χ	3535,0	1,55			
	53	3565,0	2,59			
	54	3605,0	1,97			
	55	3545,0	2,48			
	56	3590	4,96			

ΠΙΝΑΚΑΣ 21

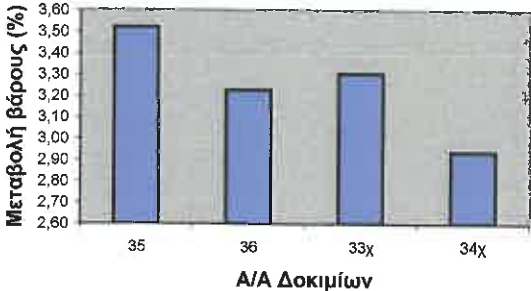
Γενικά Στοιχεία			Αεροδιαπερατότητα					
Ημερομηνία παρασκευής	11/5/2005		Ημερομηνία δοκιμής	27/5/2005				
Παρτίδα	2η		Α/Α δοκιμίου (χ:επένδυση)					
Λόγος N/T	0,505		sec	9	10	11χ	12χ	
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		άνω	62	84	107	171	
Είδος δοκιμίων	Κυβικά		κάτω	79	153	180	111	
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)		πλάι *	72	107,5	93	135,5	
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		πλάι *	130,5	102	106	186	
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		πλάι *	111,5	106,5	97,5	122,5	
Συντήρηση στο εργαστήριο	15 Ημέρες		πλάι *	69,5	96,5	161	87	
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		* έχουν μετρηθεί δύο χρόνοι για κάθε παράπλευρη επιφάνεια και έχει εξαχθεί ο Μ.Ο					
Γαρμπίλι	866,50	Kg/m ³						
Άμμος	866,50	Kg/m ³						
Νερό	210,00	Kg/m ³						
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³						
Υπερ-ρευστοποιητικό	4,20	Kg/m ³						
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους					
	Α/Α δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %					
12/5/2005	9	2399,5	0					
	10	2383,9	0					
	11χ	2398,2	0					
	12χ	2377,6	0					
25/5/2005	9	2355,6	1,83					
	10	2350,2	1,41					
	11χ	2358,0	1,68					
	12χ	2327,4	2,11					

Α/Α Δοκιμίων	Μεταβολή βάρους (%)
9	1,83
10	1,41
11χ	1,68
12χ	2,11

ΠΙΝΑΚΑΣ 22

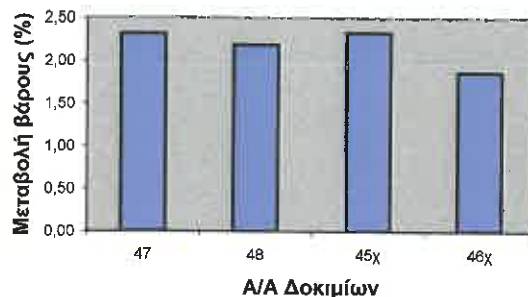
Γενικά Στοιχεία			Αεροδιαπερατότητα					
Ημερομηνία παρασκευής	12/5/2005		Ημερομηνία δοκιμής	28/5/2005				
Παρτίδα	2η		Α/Α δοκιμίου (χ:επένδυση)					
Λόγος N/T	0,58		sec	21	22	23χ	24χ	
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		άνω	122	149	157	225	
Είδος δοκιμίων	Κυβικά		κάτω	124	162	147	187	
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)		πλάι *	114,5	158	115,5	189	
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		πλάι *	137	158,5	145,5	187,5	
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		πλάι *	124,5	137	125,5	163	
Συντήρηση στο εργαστήριο	15 Ημέρες		πλάι *	148,5	149,5	198,5	174,5	
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		* έχουν μετρηθεί δύο χρόνοι για κάθε παράπλευρη επιφάνεια και έχει εξαχθεί ο Μ.Ο					
Γαρμπύλι	812,50	Kg/m ³						
Άμμος	812,50	Kg/m ³						
Νερό	243,24	Kg/m ³						
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³						
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³						
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους					
	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %					
13/5/2005	21	2319,7	0					
	22	2354,1	0					
	23χ	2404,8	0					
	24χ	2338,2	0					
26/5/2005	21	2254,8	2,79					
	22	2290,4	2,71					
	23χ	2344,1	2,53					
	24χ	2286,9	2,20					

ΠΙΝΑΚΑΣ 23

Γενικά Στοιχεία			Αεροδιαπερατότητα					
Ημερομηνία παρασκευής	16/5/2005		Ημερομηνία δοκιμής	31/5/2005				
Παρτίδα	2η							
Λόγος N/T	0,61		Α/Α δοκιμίου (χ:επένδυση)					
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		sec	35	36	33χ	34χ	
Είδος δοκιμίων	Κυβικά		άνω	140	145	179	197	
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)		κάτω	114	153	169	186	
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		πλάι *	141	171	186	207	
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα		πλάι *	126,5	139,5	147	200,5	
Συντήρηση στο εργαστήριο	14 Ημέρες		πλάι *	131,5	151,5	194	188,5	
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ		πλάι *	135,5	145,5	198,5	196,5	
Γαρμπίλι	829,95	Kg/m ³	* έχουν μετρηθεί δύο χρόνοι για κάθε παράπλευρη επιφάνεια και έχει εξαχθεί ο Μ.Ο					
Άμμος	829,95	Kg/m ³						
Νερό	239,31	Kg/m ³						
Τσιμέντο	392,31	Kg/m ³						
Υπερ-ρευστοποιητικό	0,00	Kg/m ³						
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους					
17/5/2005	Α/Α δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %					
31/5/2005								

ΠΙΝΑΚΑΣ 24

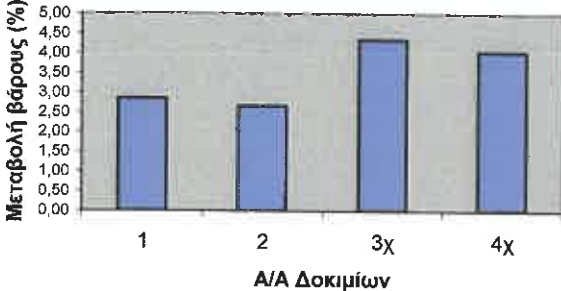
Γενικά Στοιχεία			Αεροδιαπερατότητα				
Ημερομηνία παρασκευής	17/5/2005		Ημερομηνία δοκιμής	2/6/2005			
Παρτίδα	2η						
Λόγος N/T	0,38		Α/Α δοκιμίου (χ:επένδυση)				
			sec	47	48	45χ	46χ
			άνω	225	193	222	274
			κάτω	130	196	318	187
			πλάι *	195	178	245	181
			πλάι *	242	164,5	188,5	183
			πλάι *	243,5	194,5	132	191
			πλάι *	201,5	217	180	190
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5						
Είδος δοκιμίων	Κυβικά						
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)						
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		* έχουν μετρηθεί δύο χρόνοι για κάθε παράπλευρη επιφάνεια και έχει εξαχθεί ο Μ.Ο				
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα						
Συντήρηση στο εργαστήριο	15 Ημέρες						
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ						
Γαρμπίλι	784,51	Kg/m ³					
Άμμος	784,51	Kg/m ³					
Νερό	214,33	Kg/m ³					
Τσιμέντο	571,55	Kg/m ³					
Υπερ-ρευστοποιητικό	10,50	Kg/m ³					
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους				
	Α/Α δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %				
18/5/2005	47	2402,6	0				
	48	2403,4	0				
	45χ	2390,0	0				
	46χ	2404,8	0				
1/6/2005	47	2347,0	2,32				
	48	2350,8	2,19				
	45χ	2334,3	2,33				
	46χ	2359,9	1,87				



ΠΙΝΑΚΑΣ 25

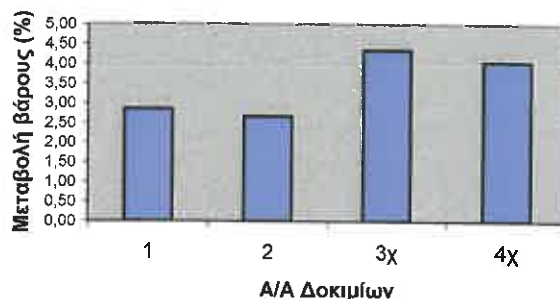
Γενικά Στοιχεία				Αεροδιαπερατότητα				
Ημερομηνία παρασκευής	18/5/2005			Ημερομηνία δοκιμής	3/6/2005			
Παρτίδα	2η							
Λόγος N/T	0,70							
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5							
Είδος δοκιμίων	Κυβικά							
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)							
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια							
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	1 Ημέρα							
Συντήρηση στο εργαστήριο	15 Ημέρες							
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ							
Γαρμπίλι	784,51	Kg/m ³						
Άμμος	784,51	Kg/m ³						
Νερό	214,33	Kg/m ³						
Τσιμέντο	571,55	Kg/m ³						
Υπερ-ρευστοποιητικό	10,50	Kg/m ³						
Απώλεια Βάρους				Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους				
	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %					
19/5/2005	59	2360,2	0					
	60	2338,7	0					
	57χ	2398,0	0					
	58χ	2347,1	0					
2/6/2005	59	-						
	60	-						
	57χ	-						
	58χ	-						

ΠΙΝΑΚΑΣ 26

Γενικά Στοιχεία			Υδαταπορρόφηση					
Ημερομηνία παρασκευής	28/6/2005		Ημερομηνία δοκιμής	19/7/2005				
Παρτίδα	3η		Βάρος					
Λόγος N/T	0,38		A/A δοκ. χ:επένδυση	0h	0,25h	0,5h	1h	
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		1	2376,67	2383,15	2385,60	2388,44	
Είδος δοκιμίων	Κυβικά		2	2392,31	2397,61	2399,88	2402,62	
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)		3χ	2298,90	2304,88	2307,27	2310,11	
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		4χ	2309,57	2315,49	2317,75	2320,02	
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	0 Ημέρες							
Συντήρηση στο εργαστήριο	21 Ημέρες							
Ξήρανση σε φούρνο	4 ημέρες							
Γαρμπίλι	803,83	Kg/m ³						
Άμμος	803,83	Kg/m ³						
Νερό	214,33	Kg/m ³						
Τσιμέντο	571,43	Kg/m ³						
Υπερ-ρευστοποιητικό	10,00	Kg/m ³						
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους					
29/6/2005	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %					
	1	2446,2	0					
	2	2457,6	0					
	3χ	2403,3	0					
19/7/2005	4χ	2406,7	0					
	1	2376,7	2,84					
	2	2392,3	2,66					
	3χ	2298,9	4,34					
	4χ	2309,6	4,04					

ΠΙΝΑΚΑΣ 27

Γενικά Στοιχεία			Υδαταπορρόφηση				
Ημερομηνία παρασκευής	28/6/2005		Ημερομηνία δοκιμής	19/7/2005			
Παρτίδα	3η						
Λόγος N/T	0,70						
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5						
Είδος δοκιμίων	Κυβικά						
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)						
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια						
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	0 Ημέρες						
Συντήρηση στο εργαστήριο	21 Ημέρες						
Ξήρανση σε φούρνο	4 ημέρες						
Γαρμπίλι	803,83	Kg/m ³					
Άμμος	803,83	Kg/m ³					
Νερό	214,33	Kg/m ³					
Τσιμέντο	571,43	Kg/m ³					
Υπερ-ρευστοποιητικό	10,00	Kg/m ³					
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους				
	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %				
29/6/2005	1	2446,2	0				
	2	2457,6	0				
	3χ	2403,3	0				
	4χ	2406,7	0				
19/7/2005	1	2376,7	2,84				
	2	2392,3	2,66				
	3χ	2298,9	4,34				
	4χ	2309,6	4,04				



ΠΙΝΑΚΑΣ 28

Γενικά Στοιχεία			Υδαταπορρόφηση					
Ημερομηνία παρασκευής	28/6/2005		Ημερομηνία δοκιμής	19/7/2005				
Παρτίδα	3η		Βάρος					
Λόγος N/T	0,505		A/A δοκ. χ:επένδυση	0h	0,25h	0,5h	1h	
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5		9	2359,73	2366,46	2369,06	2372,61	
Είδος δοκιμίων	Κυβικά		11	2321,98	2329,92	2332,84	2336,70	
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)		10χ	2304,16	2309,17	2310,99	2313,14	
Επένδυση	Σε 2 δοκίμια		12χ	2373,35	2377,82	2379,53	2381,83	
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	0 Ημέρες			1,5h	2,5h	3,5h	5,5h	
Συντήρηση στο εργαστήριο	21 Ημέρες		9	2375,13	2378,85	2381,66	2385,82	
Ξήρανση σε φούρνο	4 ημέρες		11	2339,28	2343,18	2346,29	2350,75	
Γαρμπίλι	866,72	Kg/m ³	10χ	2314,62	2316,65	2318,14	2320,27	
Άμμος	866,72	Kg/m ³	12χ	2383,35	2385,41	2386,83	2388,91	
Νερό	210,00	Kg/m ³		11h	23h	29,5h	48h	
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³	9	2393,16	2402,06	2405,13	2410,59	
Υπερ-ρευστοποιητικό	4,20	Kg/m ³	11	2358,93	2368,86	2372,07	2378,48	
			10χ	2323,86	2327,85	2329,01	2331,04	
			12χ	2392,36	2395,93	2396,97	2398,66	
Απώλεια Βάρους			Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους					
	A/A δοκ. χ:επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %					
29/6/2005	9	2438,4	0					
	11	2408,1	0					
	10χ	2402,9	0					
	12χ	2478,3	0					
19/7/2005	9	2359,7	3,22					
	11	2322,0	3,58					
	10χ	2304,2	4,11					
	12χ	2373,4	4,23					

ΠΙΝΑΚΑΣ 29

Γενικά Στοιχεία				Αντοχή σε θλίψη		
Ημερομηνία παρασκευής	28/6/2005			Ημερομηνία δοκιμής	21/7/2005	
Παρτίδα	3η			Ταχύτητα	2 KN/sec	
Λόγος N/T	0,505			A/A δοκιμίου (χ: επένδυση)	Φορτίο kN	Τάση MPa
Τύπος τσιμέντου	CEM IV/B 32,5			13χ	449,7	44,97
Είδος δοκιμίων	Κυβικά			14χ	434,8	43,48
Διαστάσεις (m)	0,10*0,10*0,10 (μήκος*πλάτος*ύψος)			15χ	453,7	45,37
Επένδυση	Σε 8 δοκίμια (μόνο στις 2 αντικρυστές παράπλευρες)			16χ	458,5	45,85
Συντήρηση σε υγρό θάλαμο	0 Ημέρες			17χ	331,7	33,17
Συντήρηση στο εργαστήριο	23 Ημέρες			18χ	343,9	34,39
Ξήρανση σε φούρνο	ΟΧΙ			19χ	337,3	33,73
Γαρμπίλι	866,72	Kg/m ³		20χ	358,0	35,80
Άμμος	866,72	Kg/m ³		* Η πρέσα ακουμπούσε στις 2 πλευρές χωρίς την επένδυση		
Νερό	210,00	Kg/m ³		* Η πρέσα ακουμπούσε στις 2 πλευρές με την επένδυση		
Τσιμέντο	420,00	Kg/m ³				
Υπερ/ποητικό	4,20	Kg/m ³				
Μεταβολή Βάρους						
	A/A δοκ. χ: επένδυση	Βάρος (gr)	Απώλεια %			
29/6/2005	13χ	2429,3	0			
	14χ	2468,8	0			
	15χ	2421,6	0			
	16χ	2418,3	0			
	17χ	2388,9	0			
	18χ	2440,0	0			
	19χ	2472,0	0			
	20χ	2423,6	0			
21/7/2005	13χ	2376,2	2,19			
	14χ	2421,6	1,91			
	15χ	2373,7	1,98			
	16χ	2372,7	1,89			
	17χ	2338,0	2,13			
	18χ	2395,0	1,84			
	19χ	2420,2	2,10			
	20χ	2374,1	2,04			
				Ραβδόγραμμα Μεταβολής Βάρους		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ-ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ- EN 12390.03 για να θεωρούνται ομοιόμορφες οι αντοχές σε θλίψη δίδυμων δοκιμίων πρέπει να μη διαφέρουν περισσότερο από 9% για τους κύβους και 8% για τους κυλίνδρους. Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι το κριτήριο για τους κυλίνδρους αναφέρεται σε διάμετρο 160mm ενώ οι χρησιμοποιηθέντες κύλινδροι είχαν διάμετρο 100mm. Δεδομένου ότι είναι γνωστό ότι μικρότερα δοκίμια παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά αποτελεσμάτων συμπεραίνεται ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση θα μπορούσε να γίνει αποδεκτή διαφορά μεγαλύτερη από 8%. Σύμφωνα με το πρότυπο , στην περίπτωση των κύβων, βρίσκουμε την επί της 100 διαφορά ανάμεσα στον μέσο όρο των δύο δοκιμίων και στην μικρότερη τιμή. Στην περίπτωση των κυλίνδρων, βρίσκουμε την επί της 100 διαφορά ανάμεσα στον μέσο όρο των τριών δοκιμίων και στην μικρότερη τιμή. Οι υπολογισμοί φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα 5.

Πίνακας 5 : Έλεγχος στη διαφορά των αντοχών σε θλίψη, δίδυμων δοκιμίων σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ – EN 12390.03

Παρτίδα 1^η

N/T		Αντοχή MPa (χωρίς επένδυση)	Διαφορά (%)	Αντοχή MPa (με επένδυση)	Διαφορά (%)
0,38	M.O	49,67	1,14	43,01	0,54
	MIN	49,11		42,78	
0,505	M.O	37,815	0,87	31,73	1,60
	MIN	37,49		31,23	
0,58	M.O	30,405	1,45	23,29	5,00
	MIN	29,97		22,18	
0,61	M.O	26,495	1,83	26,98	2,94
	MIN	26,02		26,21	
0,7	M.O	20,295	2,24	17,55	2,57
	MIN	19,85		17,11	

Παρτίδα 2^η

N/T		Αντοχή MPa (χωρίς επένδυση)	Διαφορά (%)	Αντοχή MPa (με επένδυση)	Διαφορά (%)
0,38	M.O.	41,005	2,14	44,668	6,86
	MIN	40,145		41,800	
0,505	M.O.	33,754	4,83	39,130	4,11
	MIN	32,200		37,586	
0,58	M.O.	25,013	4,61	28,21	9,47
	MIN	23,911		25,77	
0,61	M.O.	17,972	2,81	21,368	2,96
	MIN	17,482		20,754	
0,7	M.O.	17,491	1,16	21,505	5,36
	MIN	17,291		20,410	

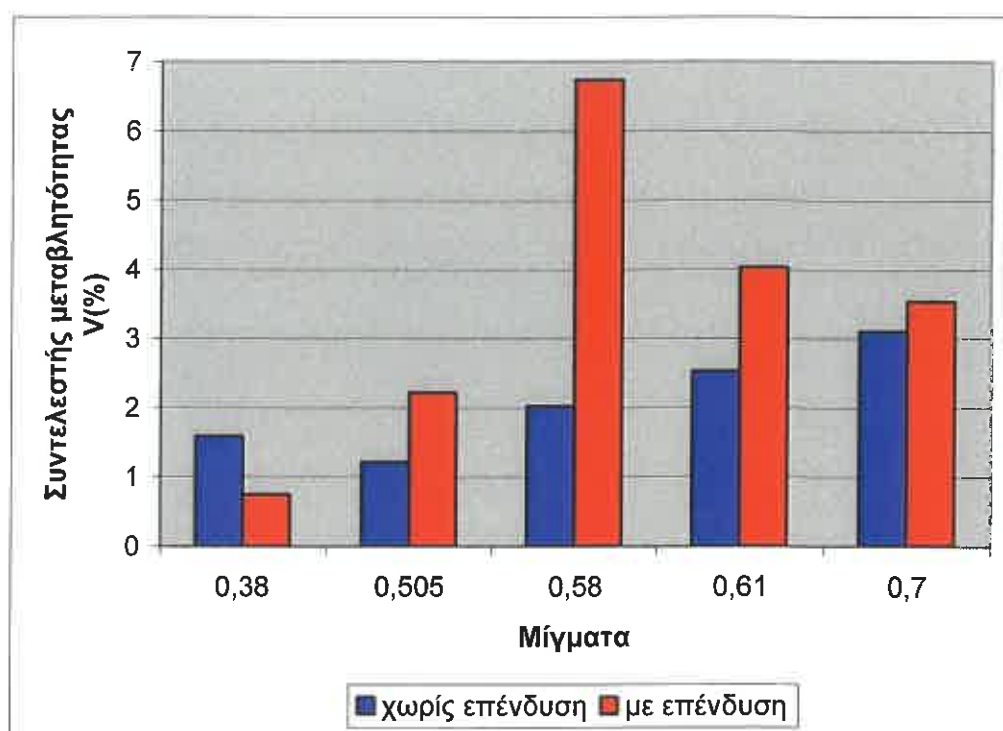
Παρτίδα 3^η

N/T		Αντοχή MPa (χωρίς επένδυση)	Διαφορά (%)	Αντοχή MPa (με επένδυση)	Διαφορά (%)
0,505	M.O	44,92	3,31	34,47	2,20
	MIN	43,48		33,73	

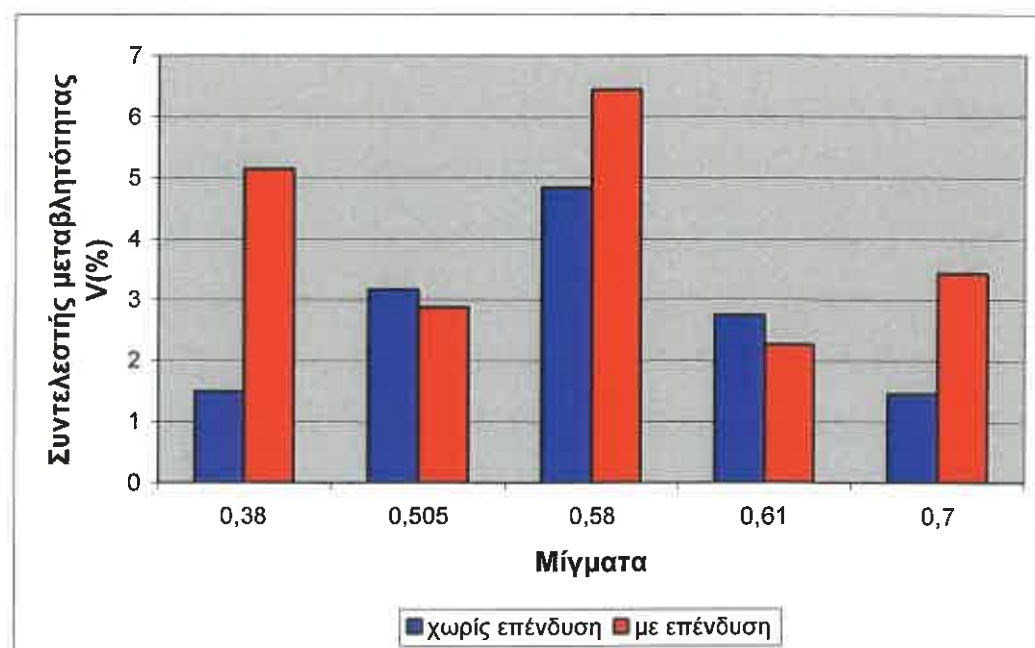
Όπως φαίνεται στους παραπάνω πίνακες το κριτήριο του προτύπου ικανοποιείται, σε γενικές γραμμές, εκτός από μία περίπτωση.

Η ομοιομορφία των μετρήσεων ελέγχθηκε επίσης υπολογίζοντας και τον συντελεστή μεταβλητότητας (V(%)) για κάθε παρτίδα και για ομοειδή δοκίμια, όπως περιγράφεται στο παράρτημα.

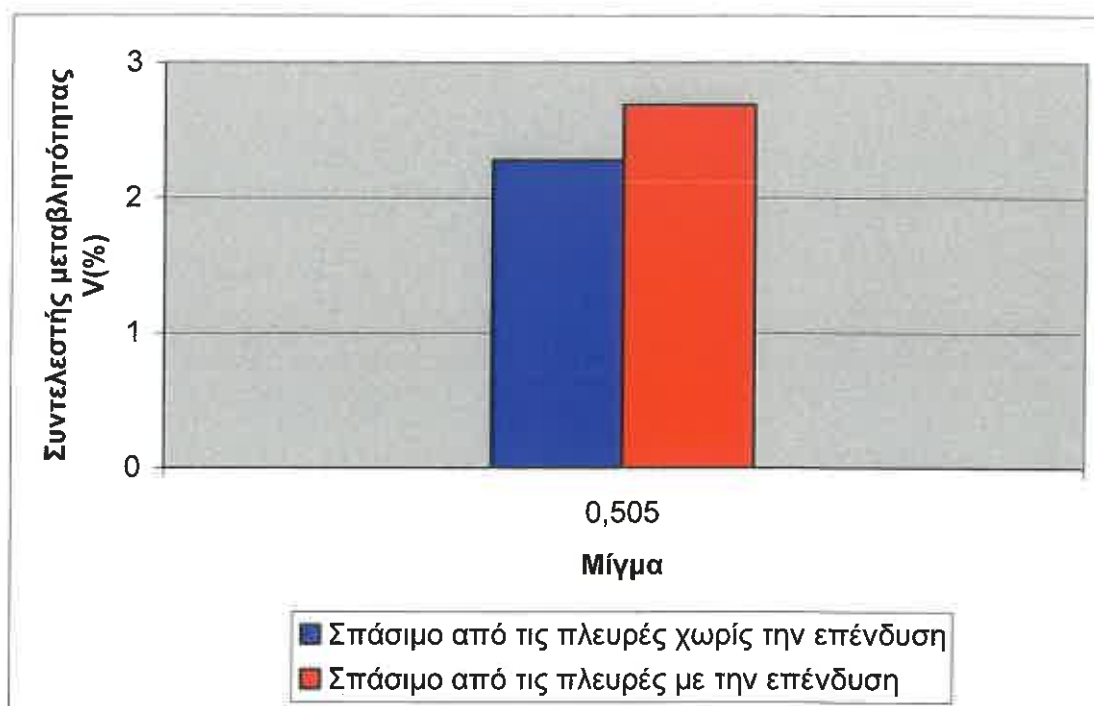
Οι συντελεστές μεταβλητότητας για την αντοχή σε θλίψη φαίνονται στους πίνακες 1-5, 45-49 και 75 του παραρτήματος. Από τους πίνακες προκύπτουν τα διαγράμματα 1 – 3 που φαίνονται παρακάτω :



Διάγραμμα 1 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για την αντοχή σε θλίψη της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)



Διάγραμμα 2 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για την αντοχή σε θλίψη της δεύτερης παρτίδας (κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 10x20 cm²)



Διάγραμμα 3 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για την αντοχή σε θλίψη της τρίτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)

Από τα διαγράμματα παρατηρούνται τα εξής :

- Οι συντελεστές μεταβλητότητας στις περισσότερες περιπτώσεις κυμαίνονται στη πλειονότητά τους από 0,75 – 4%
- Σε δύο μόνο περιπτώσεις ο συντελεστής ξεπερνάει το 6% και φτάνει μέχρι και το 6,74%.

Σε έρευνα που αναφέρεται από τον Sandor Popovics στο “Strength and related properties of concrete” [16] βρέθηκαν συντελεστές μεταβλητότητας, για την αντοχή σε θλίψη, που κυμαίνονται από 3,9 – 5,4. Άρα σε γενικές γραμμές οι συντελεστές μεταβλητότητας θεωρούνται αποδεκτοί και οι μετρήσεις ομοιόμορφες.

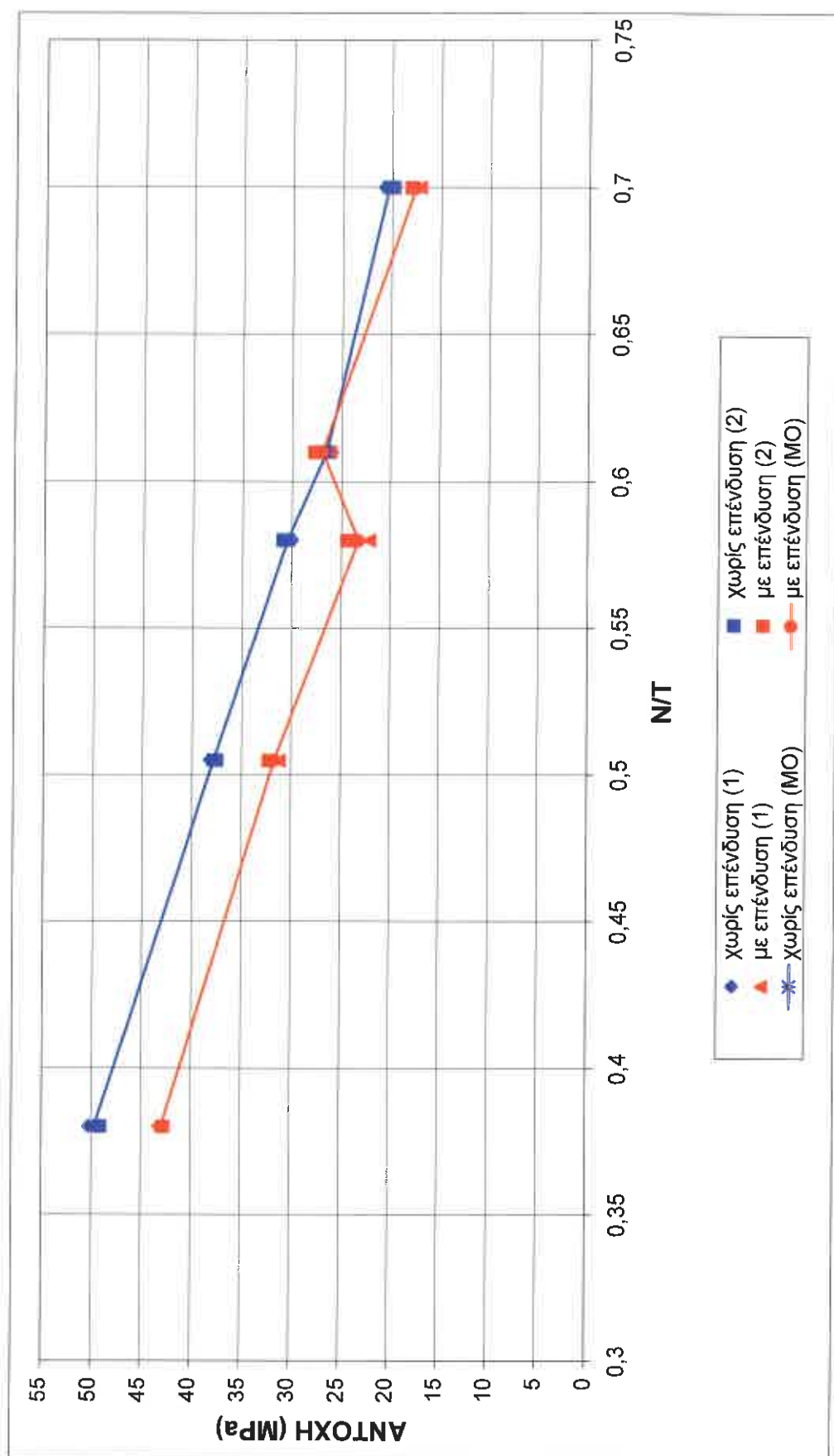
5.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

5.2.1 Αντοχή σε θλίψη – διάγραμμα 1^{ης} παρτίδας (κυβικά δοκίμια)

Στο διάγραμμα 4 απεικονίζεται η αντοχή σε θλίψη για τα κυβικά δοκίμια της πρώτης παρτίδας σε συνάρτηση με τον λόγο N/T για τα 5 μίγματα που παρασκευάστηκαν.

Παρατηρώντας το διάγραμμα συμπεραίνουμε τα εξής :

- Γενικά είναι εμφανής η μείωση της αντοχής σε θλίψη όσο ο λόγος N/T αυξάνεται και για τους δύο τρόπους συντήρησης. Αυτό είναι αναμενόμενο εφόσον όσο αυξάνεται ο λόγος N/T αυξάνεται η περίσσεια νερού αναμείξεως πέρα από εκείνο που δεσμεύεται (χημικά) από το τσιμέντο, πράγμα που οδηγεί, όπως είδαμε στο κεφ.2 (παράγραφος 2.2.5), στη δημιουργία του πορώδους του σκυροδέματος και επομένως στην ελάττωση και της πυκνότητας και της αντοχής. Εξαίρεση αποτελεί ο λόγος $N/T=0.61$ για συντήρηση με επένδυση, όπου η αντοχή σε θλίψη βρέθηκε ελαφρώς αυξημένη σε σχέση με τον προηγούμενο λόγο $N/T=0.58$. Αυτό μπορεί να οφείλεται στον μη αναμενόμενο μηχανισμό θραύσης λόγω των ανωμαλιών που δημιουργεί στην επιφάνεια η επένδυση ή σε πειραματικό σφάλμα.
- Παρατηρείται μη αναμενόμενη διαφορά στις αντοχές, δηλαδή μειωμένη (και όχι αυξημένη όπως περιμέναμε) αντοχή στα δοκίμια που συντηρήθηκαν με επένδυση. Η διαφορά αυτή είναι σημαντική πράγμα που επιβεβαιώνεται και στατιστικά (πίνακες 1-5, παράρτημα) με χρήση της δοκιμής t του Student, για όλους τους λόγους N/T εκτός του 0,61 και του 0,58 πιθανόν για το λόγο που αναφέρθηκε στο πρώτο συμπέρασμα.



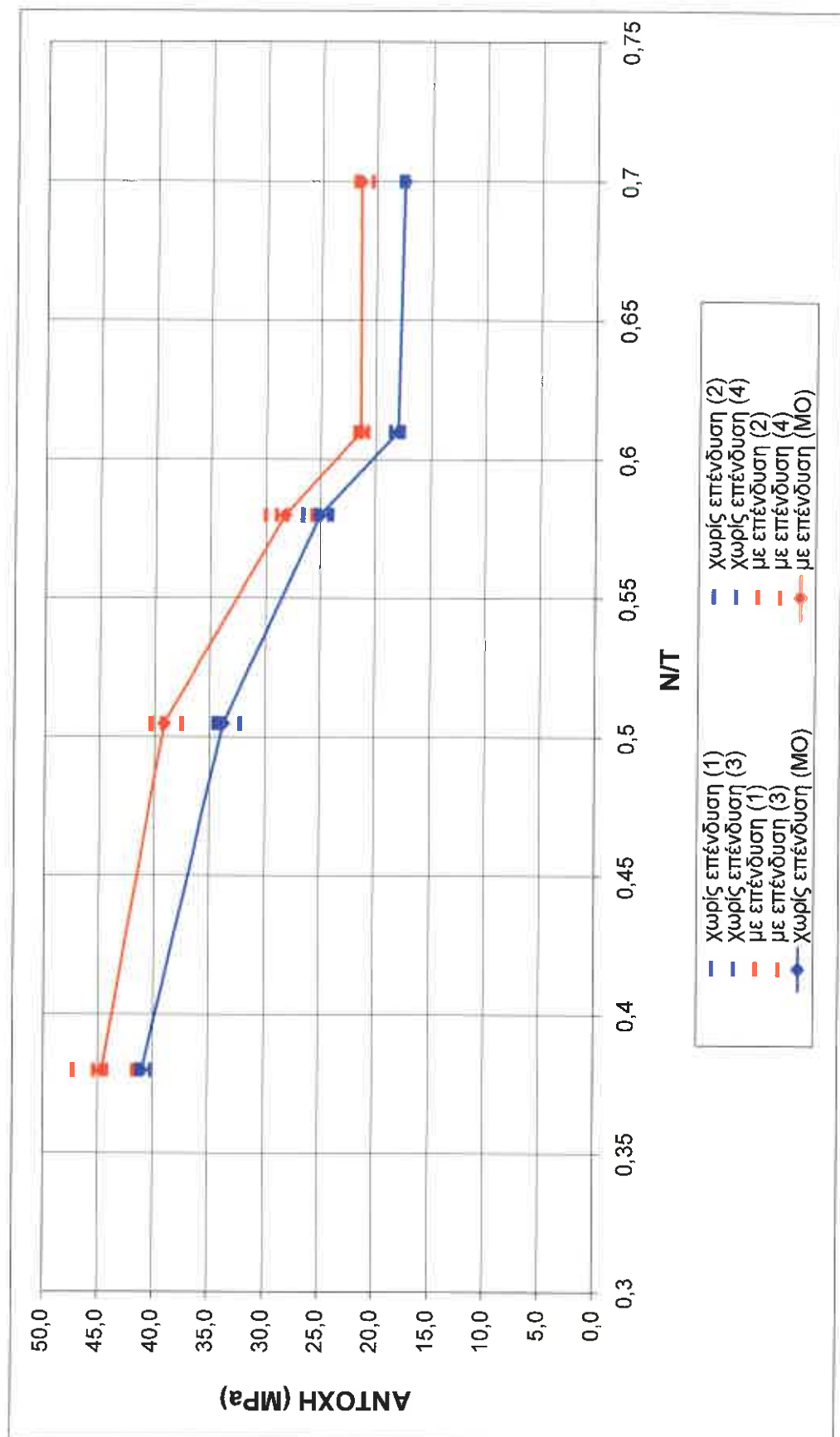
Διάγραμμα 4. Αντοχή σε θλίψη δοκιμίων πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)

5.2.2 Αντοχή σε θλίψη – διάγραμμα 2^{ης} παρτίδας (κυλινδρικά δοκίμια)

Στο διάγραμμα 5 απεικονίζεται η αντοχή σε θλίψη για τα κυλινδρικά δοκίμια της δεύτερης παρτίδας σε συνάρτηση με τον λόγο N/T για τα 5 μίγματα που παρασκευάστηκαν.

Παρατηρώντας το διάγραμμα συμπεραίνουμε τα εξής :

- Σ' αυτήν την περίπτωση είναι περισσότερο σαφής η μείωση της αντοχής με την αύξηση του λόγου N/T και για τους δύο τρόπους συντήρησης, σε σχέση με την πρώτη παρτίδα. Εξαίρεση αποτελεί ο τελευταίος λόγος ($N/T = 0,7$), όπου ο μέσος όρος των αντοχών των δοκιμίων, και για τις δύο περιπτώσεις συντήρησης σχεδόν δεν διαφέρει από τον Μ.Ο του προηγούμενου λόγου $N/T=0,61$. η περίπτωση αυτή μπορεί να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα.
- Παρατηρείται αναμενόμενη διαφορά στις αντοχές, δηλαδή οι αντοχές των δοκιμίων που συντηρήθηκαν με επένδυση βρέθηκαν πολύ υψηλότερες απ' αυτές που παρουσίασαν τα δοκίμια που συντηρήθηκαν χωρίς επένδυση. Η διαφορά αυτή είναι σημαντική, πράγμα που επιβεβαιώνεται και στατιστικά με χρήση της δοκιμής t του Student (πίνακες 45-49, παράρτημα). Σε όλα τα μίγματα προκύπτει $t > t_{κρις}$.



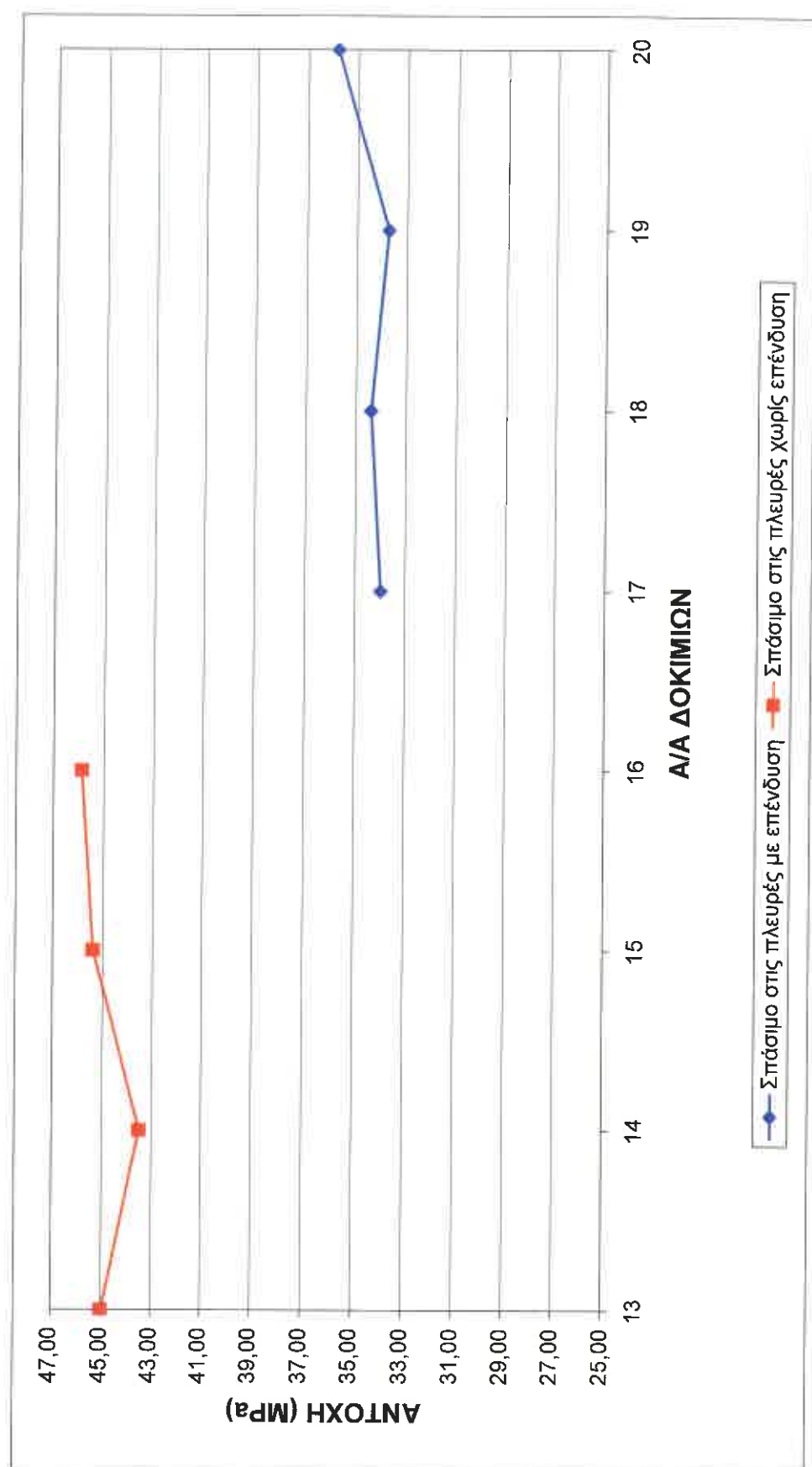
Διάγραμμα 5. Αντοχή σε θλίψη δοκιμών δευτέρας παρτίδας (κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 10 cm, ύψους 20cm)

5.2.3 Αντοχή σε θλίψη – διάγραμμα 3^{ης} παρτίδας (κυβικά δοκίμια)

Στο διάγραμμα 6 απεικονίζεται η αντοχή σε θλίψη για τα κυβικά δοκίμια σε συνάρτηση με τον τρόπο θραύσης τους. Τα δοκίμια 13-16 έσπασαν με τις πλευρές που είχαν την επένδυση να ακουμπούν στις πλάκες της πρέσας, ενώ τα δοκίμια 17-20 με τις πλευρές που δεν είχαν επένδυση. Υπενθυμίζεται ότι όλα τα δοκίμια έχουν παρασκευαστεί από το ίδιο μείγμα ($N/T=0,505$) και έχουν συντηρηθεί με τον ίδιο τρόπο (με επένδυση στις δύο παράπλευρες επιφάνειες αντικριστά)

Παρατηρώντας το διάγραμμα συμπεραίνουμε τα εξής:

- Υπάρχει σαφής διαφορά στην αντοχή, ανάμεσα στους δύο προαναφερθέντες τρόπους θραύσης. Δηλαδή, οι αντοχές των δοκιμίων που έσπασαν από τις πλευρές που υπήρχε η επένδυση είναι σαφώς μειωμένες (διαφέρουν κατά μέσο όρο 10 MPa). Η διαφορά αυτή επιβεβαιώνεται και στατιστικά με χρήση της δοκιμής t του Student ($t > t_{\text{κρις}}$) όπως φαίνεται στον πίνακα 75 του παραρτήματος. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν την υποψία ότι ο μηχανισμός θραύσης επηρεάζεται από τις ανωμαλίες που δημιουργεί στην επιφάνεια η επένδυση.



Διάγραμμα 6. Αντοχή δοκμίων τρίτης παρτίδας σε διαφορετικό τρόπο θραύσης (κυβικά δοκμία διαστ. 10x10x10 cm³)

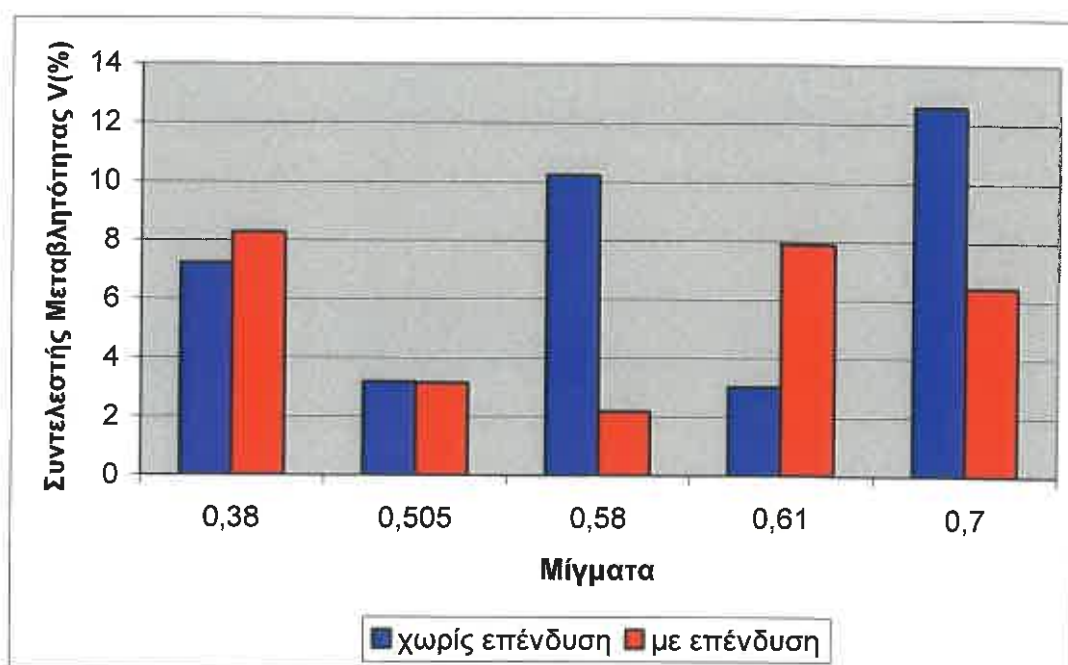
5.2.4 Γενικά συμπεράσματα για την αντοχή σε θλίψη

- Παρατηρείται σαφώς μεγαλύτερη αντοχή των κυβικών δοκιμίων σε σχέση με τα κυλινδρικά (για τα δοκίμια που και στις δύο περιπτώσεις συντηρήθηκαν χωρίς επένδυση). Αυτό είναι γνωστό ότι οφείλεται στις διαφορές του αναπτυσσόμενου πεδίου τάσεων μέσα στους δύο τύπους δοκιμίων (κύβοι → έντονο τριαξονικό πεδίο, κύλινδροι → μονοαξονικό πεδίο στην περιοχή του μέσου του δοκιμίου).
- Τα κυλινδρικά δοκίμια που συντηρήθηκαν με επένδυση παρουσίασαν σαφώς μεγαλύτερες αντοχές από αυτά που συντηρήθηκαν χωρίς (σε αντίθεση με την αντίστοιχη δοκιμή για τα κυβικά δοκίμια). Αυτό έγινε γιατί τα δοκίμια έσπασαν μέσω της λειασμένης άνω και κάτω επιφάνειας μη επηρεαζόμενα πλέον από τις δυσμενείς επιπτώσεις στο μηχανισμό θραύσης της επένδυσης. Έτσι εξηγούνται και τα μη αναμενόμενα αποτελέσματα κατά τη θλίψη των κυβικών δοκιμίων.
- Με τη δοκιμή σε θλίψη των δοκιμίων της τρίτης παρτίδας αποδεικνύεται η επιρροή της ύπαρξης της επένδυσης στο μηχανισμό θραύσης.

5.3 ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΑΠΟ ΔΙΑΡΡΗΞΗ-ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η ομοιομορφία των μετρήσεων ελέγχθηκε υπολογίζοντας τον συντελεστή μεταβλητότητας ($V(\%)$), όπως αναφέρεται στο παράρτημα, για κάθε παρτίδα και για ομοειδή δοκίμια.

Οι συντελεστές μεταβλητότητας για την αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη φαίνονται στους πίνακες 6-10 του παρατήματος. Από τους πίνακες προκύπτει το διάγραμμα 8 που φαίνεται παρακάτω :



Διάγραμμα 8 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για την αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη της πρώτης παρτίδας (κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 20 \text{ cm}^2$)

Παρατηρούνται τα εξής :

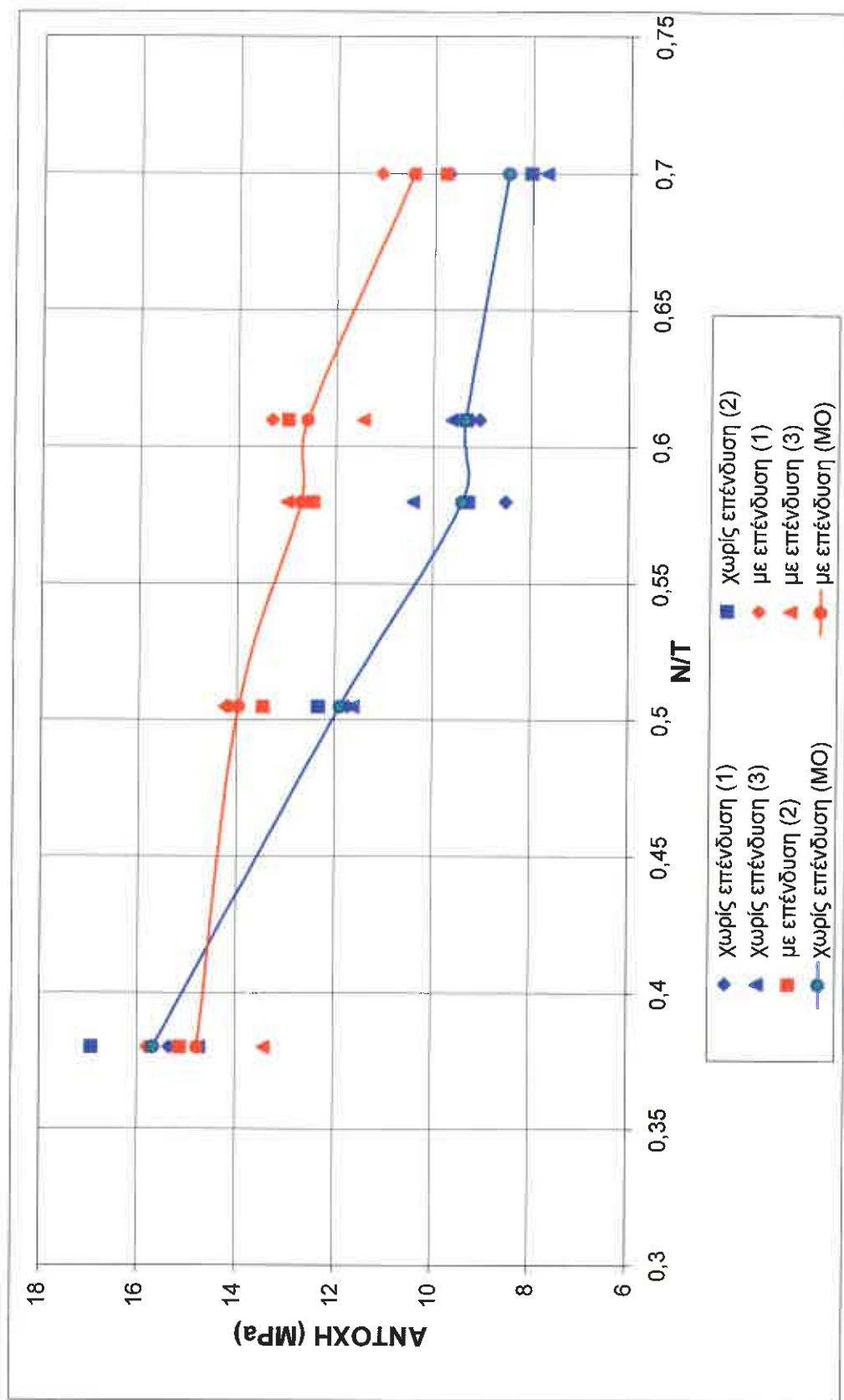
- Οι συντελεστές μεταβλητότητας κυμαίνονται στη πλειονότητά τους από 2 – 8%.
- Σε τρεις περιπτώσεις ο συντελεστής εμφανίζεται ελαφρώς αυξημένος με τιμές 10,23 12,59 και 8,27. Γενικά όμως θα μπορούσε να λεχθεί ότι οι συντελεστές μεταβλητότητας είναι εντός του εύρους των τιμών που έχουν αναφερθεί σε άλλες δημοσιεύσεις (από 2.5-10% κυμαίνονται οι συντελεστές για την αντοχή σε διάρρηξη, από διάφορους ερευνητές, σύμφωνα με τον S.Poronic) [16] και το γεγονός αυτό προσδίδει εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

5.4 ANTOXH SE EΦEΛKYΣMO AΠO ΔIAPPHXH – ΔIAGPAMMA

Στο διάγραμμα 9 απεικονίζεται η αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη για τα κυλινδρικά δοκίμια της πρώτης παρτίδας σε συνάρτηση με τον λόγο N/T για τα 5 μίγματα που παρασκευάστηκαν.

Παρατηρώντας το διάγραμμα συμπεραίνουμε τα εξής :

- Παρατηρούμε μείωση της αντοχής σε εφελκυσμό από διάρρηξη, και για τις δύο περιπτώσεις συντήρησης, καθώς ο λόγος N/T αυξάνει. Αυτό είναι αναμενόμενο και εξηγείται όπως στην παράγραφο 5.2.1 (σχόλιο που αφορά τη μείωση της αντοχής σε θλίψη με την αύξηση του λόγου N/T).
- Η γραμμή που ενώνει τους μέσους όρους, για συντήρηση με επένδυση, είναι αρκετά πιο πάνω από την αντίστοιχη γραμμή για συντήρηση χωρίς επένδυση. Δηλαδή, οι αντοχές στην πρώτη περίπτωση παρουσιάζονται αρκετά αυξημένες. Αυτό επιβεβαιώνεται και στατιστικά με χρήση της δοκιμής t του Student (πίνακες 6-10, παράρτημα). Εξαίρεση αποτελεί το μίγμα με λόγο $N/T = 0,38$ όπου ο μέσος όρος των αντοχών των δοκιμίων, για συντήρηση χωρίς επένδυση, είναι ελαφρώς μεγαλύτερος από τον άλλον. Η διαφορά αυτή δεν είναι στατιστικώς σημαντική όπως αποδεικνύει η δοκιμή t του Student (πίνακας 6, παράρτημα).

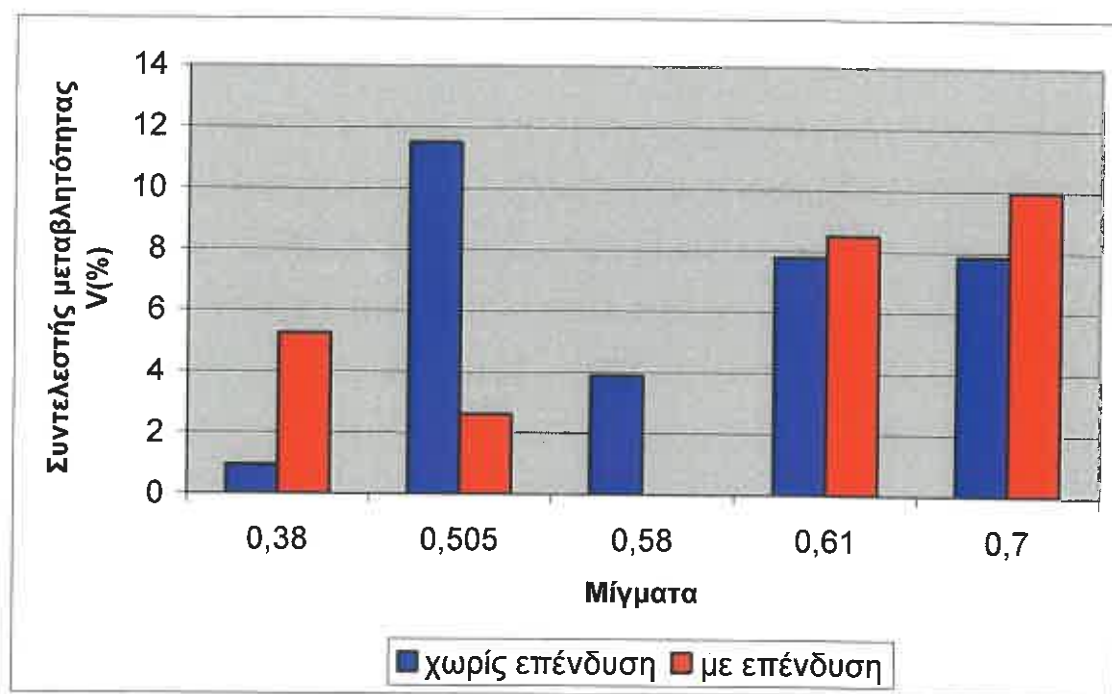


Διάγραμμα 9. Αντοχή σε εφελκυσμό δοκιμίων πρώτης παρτίδας (κυλινδρικά διαμέτρου 10 cm, ύψους 20cm)

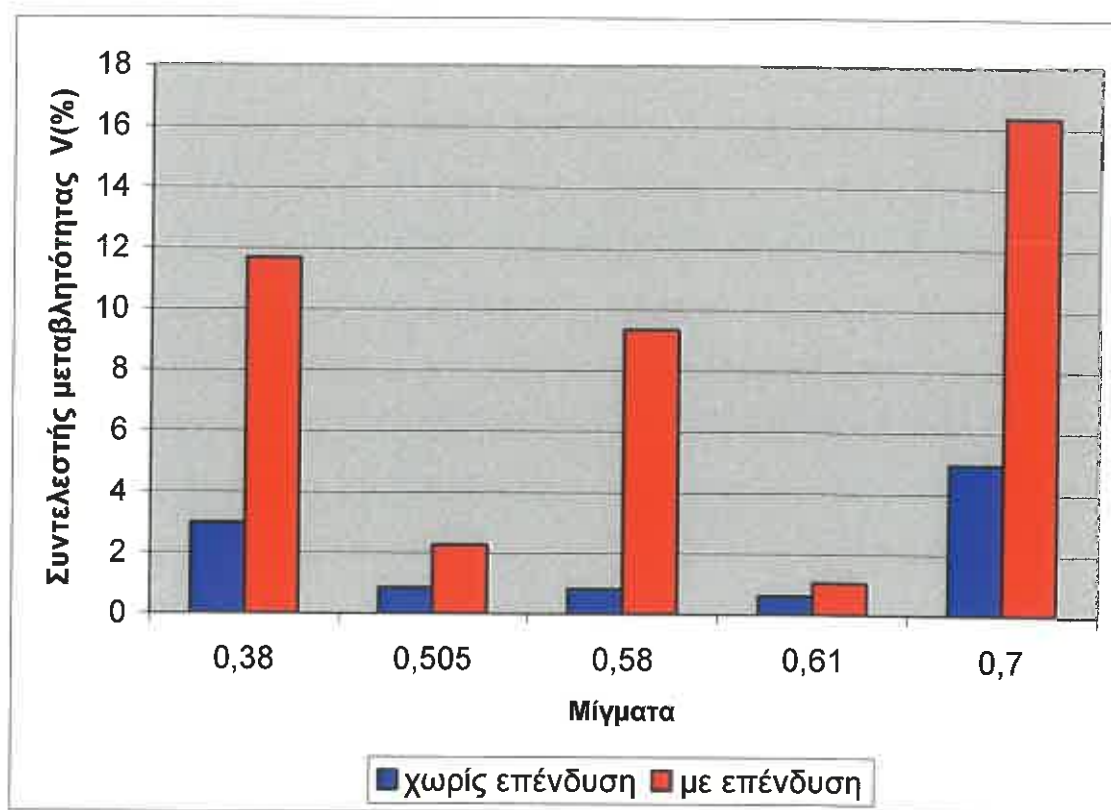
5.5 ΔΟΚΙΜΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ-ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η ομοιομορφία των μετρήσεων ελέγχθηκε και πάλι υπολογίζοντας τον συντελεστή μεταβλητότητας ($V(\%)$), όπως περιγράφεται στο παράρτημα, για κάθε παρτίδα και για ομοειδή δοκίμια.

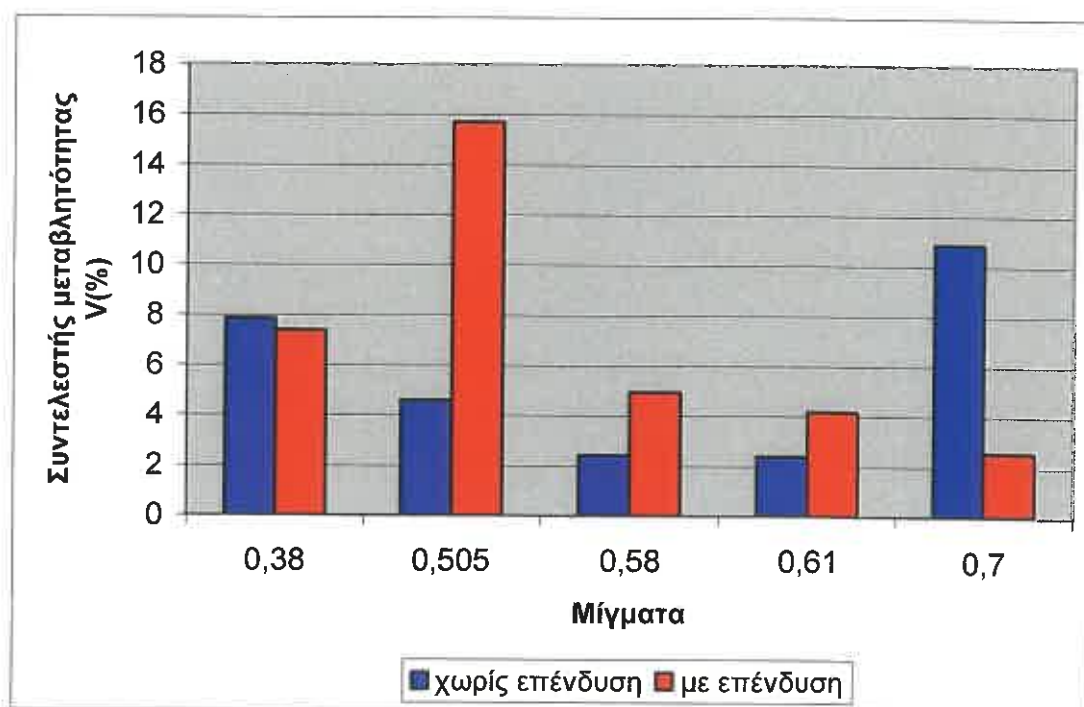
Οι συντελεστές μεταβλητότητας για την δοκιμή του πορώδους φαίνονται στους πίνακες 11-29 και 50-59 του παραρτήματος. Από τους πίνακες προκύπτουν τα διαγράμματα 10-15 που φαίνονται παρακάτω :



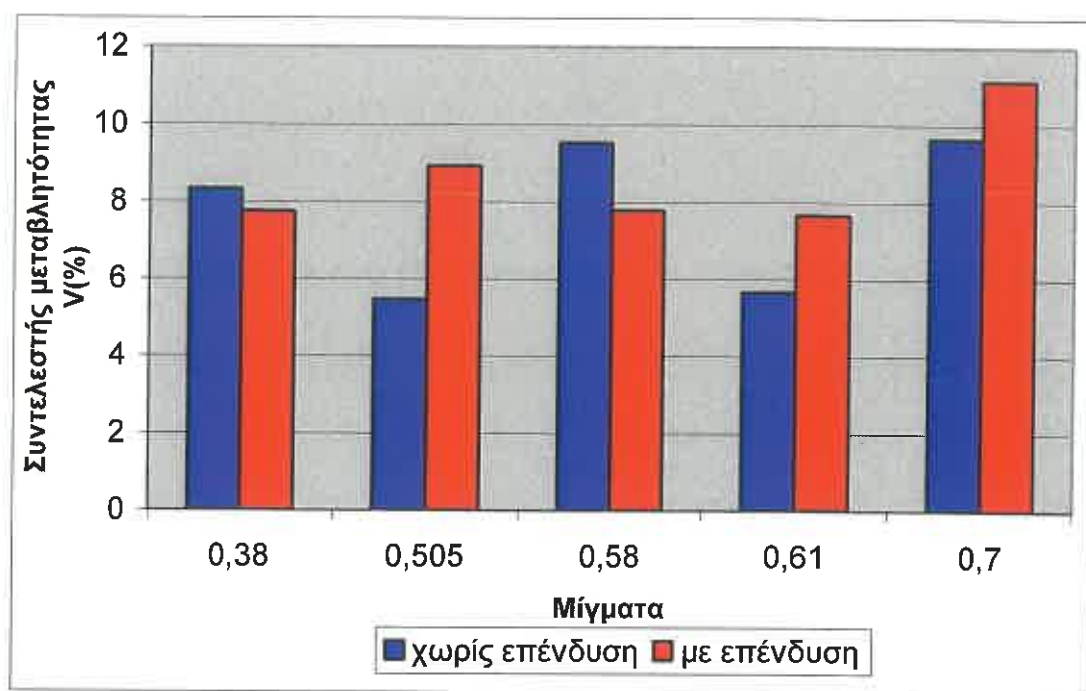
Διάγραμμα 10 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για το πορώδες στη μέση των δοκιμίων της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 11 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για το πορώδες στο πλάι των δοκιμίων της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 12 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για το πορώδες στην ελεύθερη επιφάνεια των δοκιμίων της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 15 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για το πορώδες στο πλάι των δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας (κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 10x20 cm²)

Παρατηρούνται τα εξής :

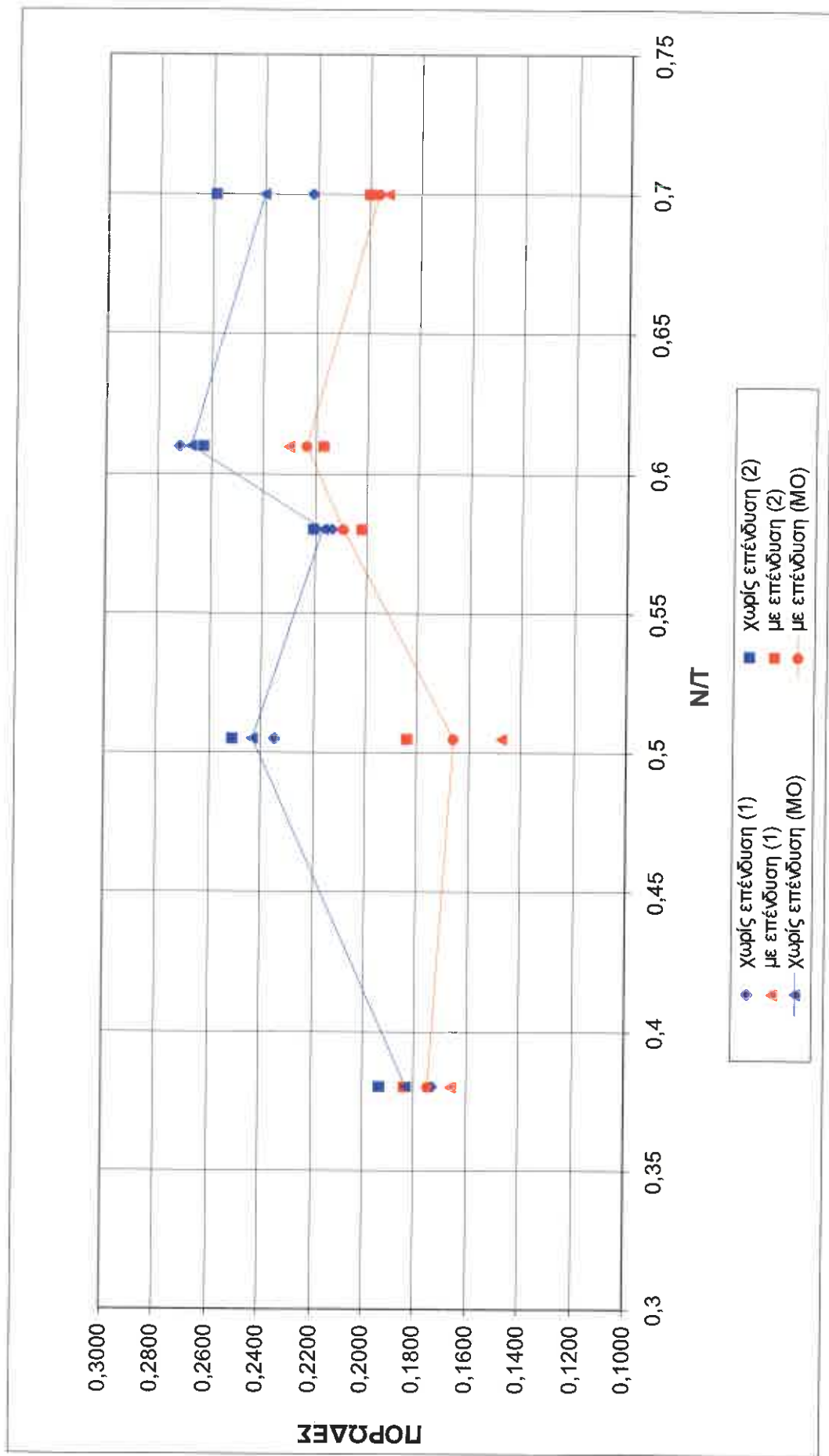
- Οι τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας κυμαίνονται από 0,32-16,34% με τις περισσότερες τιμές να είναι μικρότερες από 10%. Λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιλεγούν τεμάχια σκυροδέματος για μέτρηση, που να είναι ομοιόμορφα από απόψεως περιεκτικότητας σε σχετικώς μεγάλα αδρανή (τα οποία αλλοιώνουν έντονα τα αποτελέσματα) κρίνεται ότι η μεταβλητότητα δεν είναι υπερβολικά μεγάλη και ότι θα επιτρέψει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

5.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

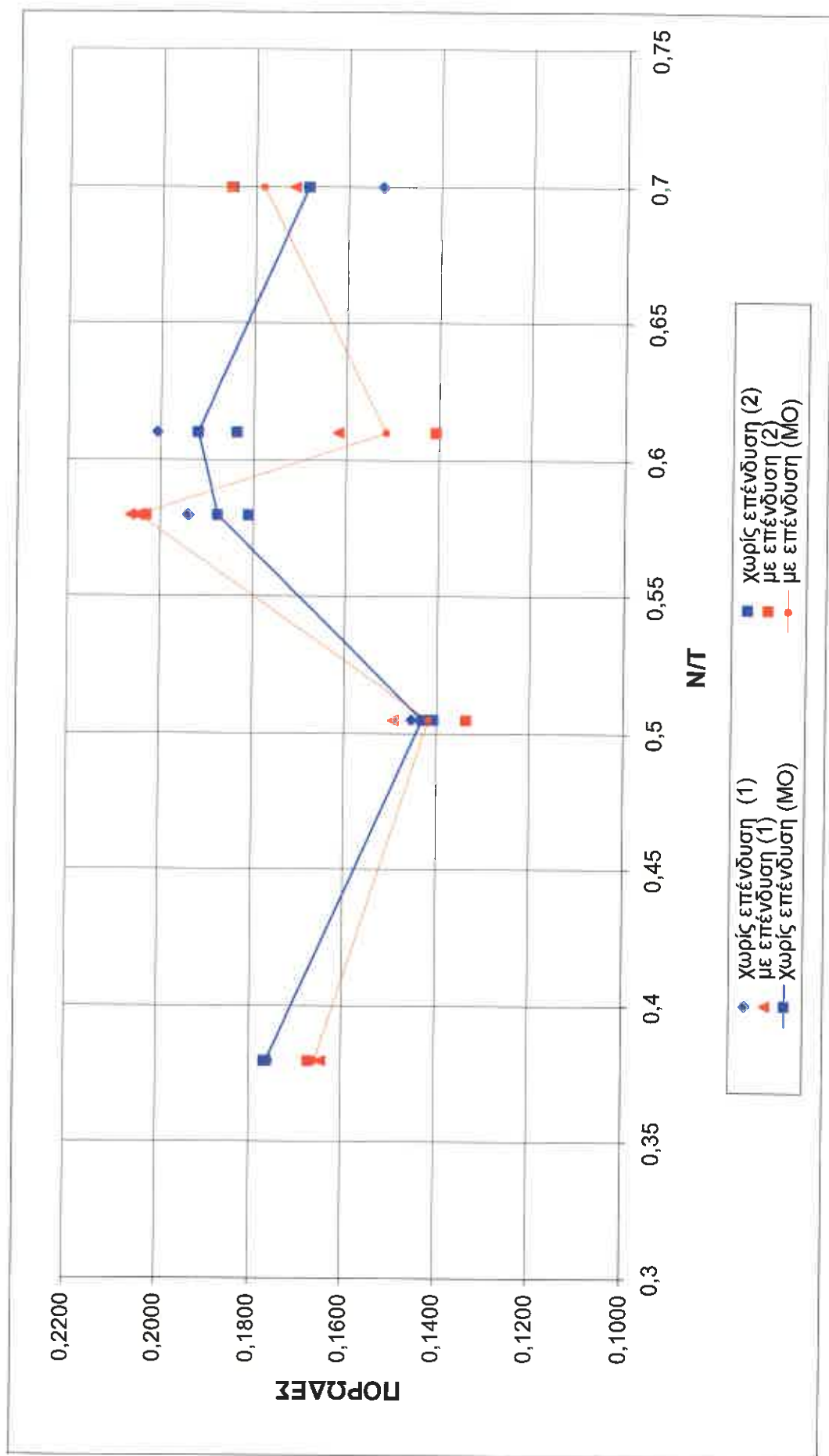
5.6.1 Δοκιμή πορώδους – διαγράμματα 1^{ης} παρτίδας

Από τα διαγράμματα 16-19 συμπεραίνονται τα εξής :

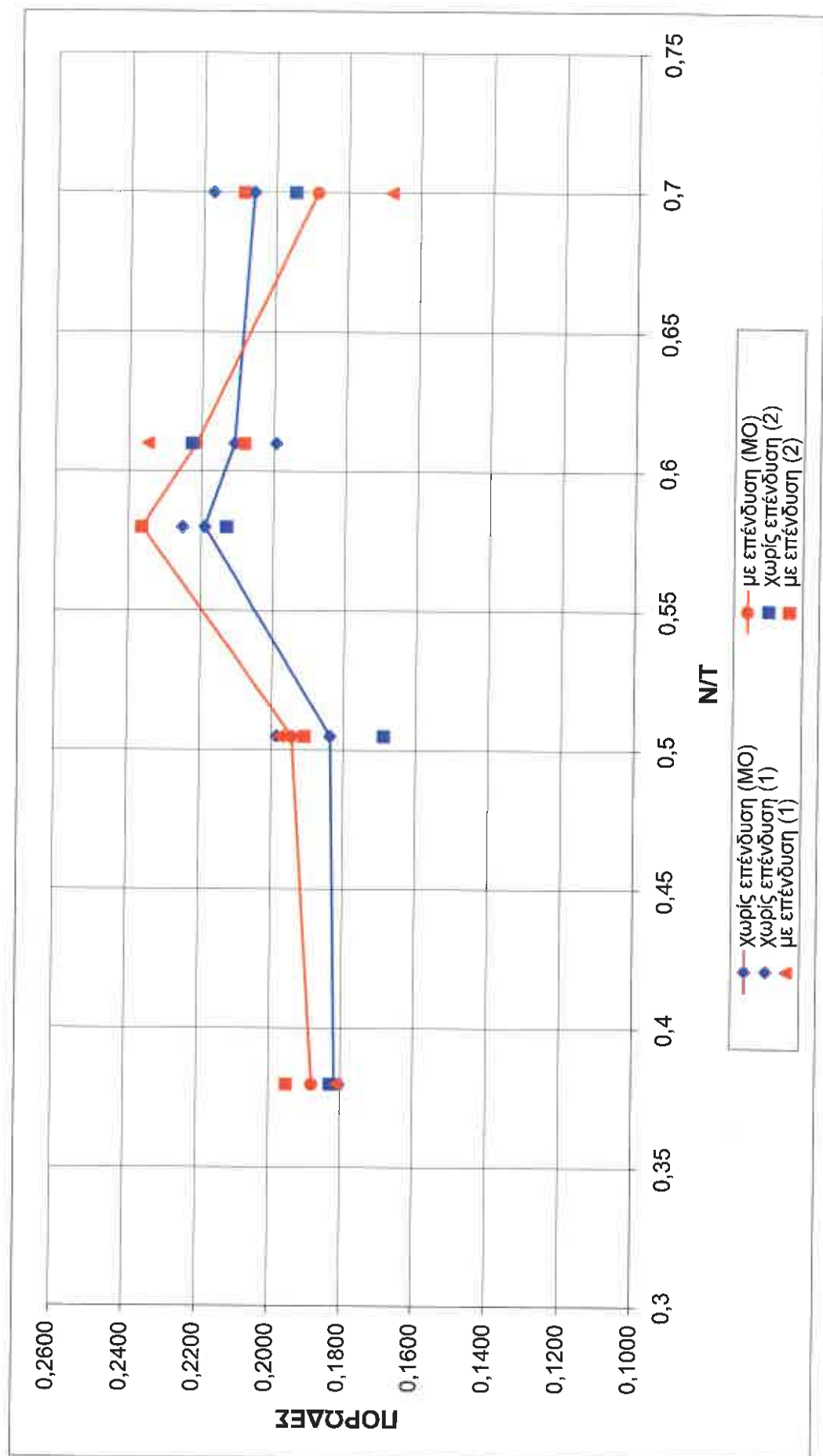
- Είναι φανερό από τα αποτελέσματα των τεμαχίων από την παράπλευρη επιφάνεια (διάγραμμα 19), σε αντίθεση με τις άλλες περιπτώσεις τεμαχίων, ότι το πορώδες των δοκιμίων με επένδυση ήταν μικρότερο από εκείνο των δοκιμίων χωρίς επένδυση. Αναμενόμενο ήταν να επηρεάζεται περισσότερο η παράπλευρη περιοχή και όχι τόσο οι υπόλοιπες, αφού αυτή είναι που ευνοείται άμεσα από την χρήση του πολυμερούς υφάσματος. Παρόλ' αυτά, έδειξαν να επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό και οι υπόλοιπες περιοχές. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί, από τη στιγμή που δεν μπορεί να καθορισθεί με ακρίβεια το βάθος επιρροής αλλά και το ακριβές σημείο όπου οι περιοχές σταματούν να αλληλοεμπλέκονται.
- Παρατηρείται γενικώς τάση αύξησης του πορώδους με την αύξηση του λόγου N/T. Αυτό είναι αναμενόμενο εφόσον, όπως έχει προαναφερθεί, με την αύξηση του λόγου N/T αυξάνεται η περίσσεια νερού αναμείξεως πέρα από εκείνο που δεσμεύεται (χημικά) από το τσιμέντο, πράγμα που οδηγεί, στη δημιουργία του πορώδους (παράγραφος 2.2.5). Με την αύξηση δηλαδή της περιέσσειας του νερού αυξάνονται και τα κενά που απομένουν μεταξύ των προϊόντων της ενυδάτωσης, επομένως αυξάνεται το πορώδες. Υπάρχουν κάποια μίγματα για τα διαγράμματα μέσης, άνω και πλάι που δεν ακολουθούν την τάση αυτή όπως, για παράδειγμα, ο τελευταίος λόγος N/T=0,70, που εμφανίζει μικρότερο πορώδες από τον προηγούμενό του, σε όλα τα διαγράμματα, για λόγους που πιθανόν οφείλονται σε πειραματικό σφάλμα.
- Για τις περιοχές κάτω και μέση, υπάρχουν γενικώς μικρότερες διαφορές στο πορώδες για δοκίμια με επένδυση και χωρίς, πράγμα που επιβεβαιώνεται και στατιστικά με χρήση της δοκιμής t Student, επομένως μπορεί να θεωρηθούν και
καί
τυχαίο
γεγονός.



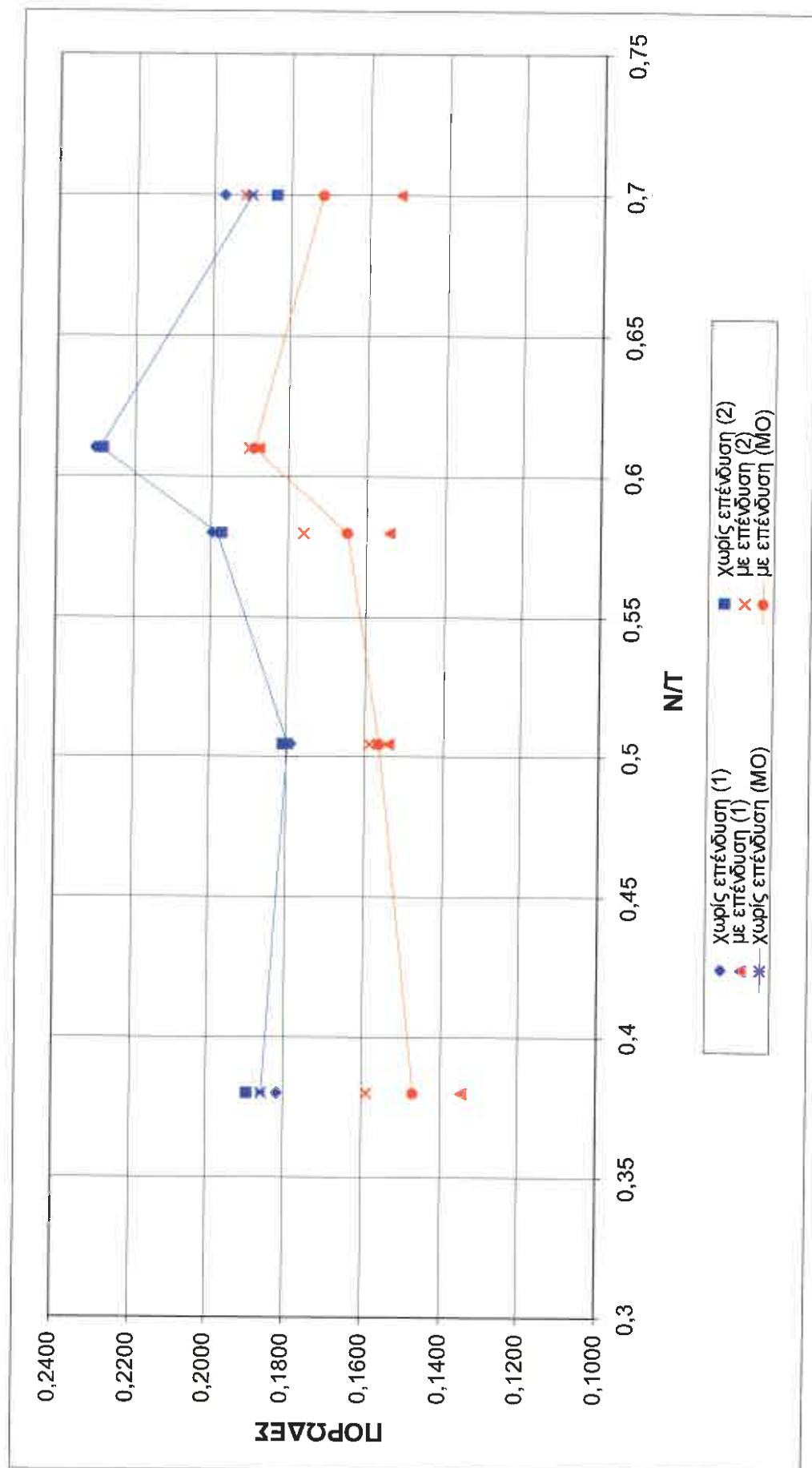
Διάγραμμα 16 : Πορόδες της ελεύθερης επιφάνειας των δοκιμών της **πρώτης** παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)



Διάγραμμα 17 : Πορώδες της **κάτω** επιφάνειας των δοκίμων της **πρώτης** παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)



Διάγραμμα 18 : Πορώδες της εσωτερικής περιοχής στη μέση των δοκιμών της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm)



Διάγραμμα 19 : Πορόδες της **παραπλευρης** επιφάνειας των δοκιμών της **πρώτης** παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)

5.6.2 Δοκιμή πορώδους – Διαγράμματα 2^{ης} παρτίδας

Από τα διαγράμματα 20-21 συμπεραίνονται τα εξής :

- Γενικώς τα δοκίμια με επένδυση εμφανίζουν μικρότερο πορώδες. Η διαφορά αυτή είναι περισσότερο έντονη στο πορώδες που αφορά το πλάι των δοκιμίων, πράγμα αναμενόμενο αφού, όπως προαναφέρθηκε, η περιοχή αυτή επηρεάζεται άμεσα από τη χρήση του πολυμερούς υφάσματος. Η διαφορά αυτή, επιπλέον, γίνεται εντονότερη όσο ο λόγος N/T αυξάνει (για το μικρότερο λόγο μάλιστα τα πορώδη σχεδόν δεν διαφέρουν), ίσως επειδή το πορώδες αυξάνει και η χρήση της επένδυσης πλέον μπορεί να συνεισφέρει περισσότερο απ' ότι στους μικρούς λόγους όπου το πορώδες είναι ήδη μικρό. Αυτό επιβεβαιώνεται και στατιστικά με χρήση της δοκιμής t Student, όπου η διαφορά βρέθηκε σημαντική μόνο για τους τρεις τελευταίους λόγους.
- Γενικά δεν παρατηρείται αύξηση του πορώδους με την αύξηση του λόγου N/T, όπως θα έπρεπε να αναμένεται, αλλά αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι με την μεταβολή του λόγου N/T μεταβάλλεται και η αναλογία του τσιμεντοπολτού στο μίγμα. Για τον λόγο αυτό τα αποτελέσματα υφίστανται διόρθωση ανάλογα με το θεωρητικό ποσοστό του τσιμεντοπολτού στο μίγμα όπως αυτό προκύπτει από τη μελέτη σύνθεσης με βάση τη σχέση [10]:

$$p_m = ap_a + bp_b$$

Όπου p_m = το ολικό πορώδες

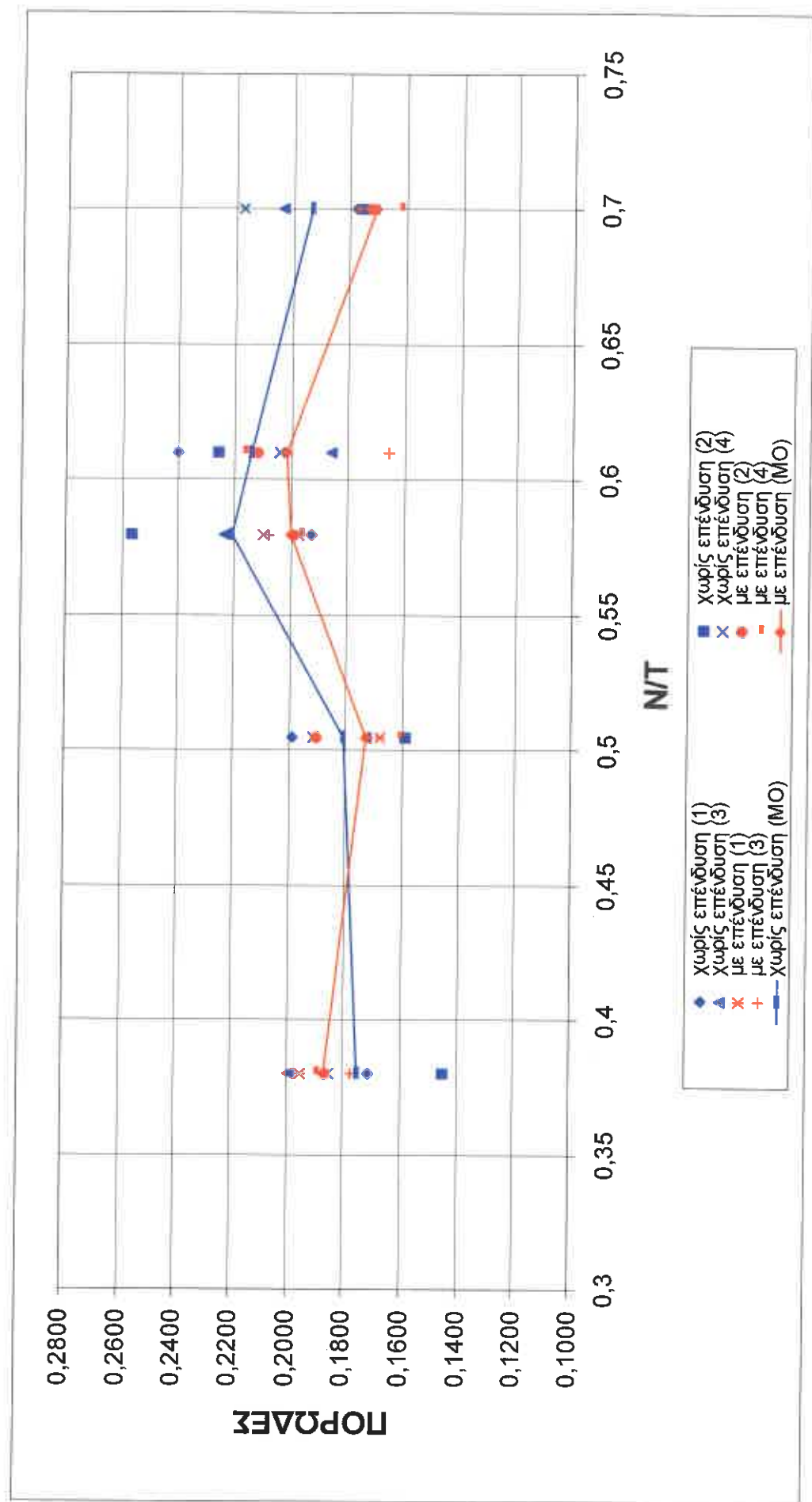
a = το ποσοστό της άμμου στο μίγμα

p_a = το πορώδες της άμμου

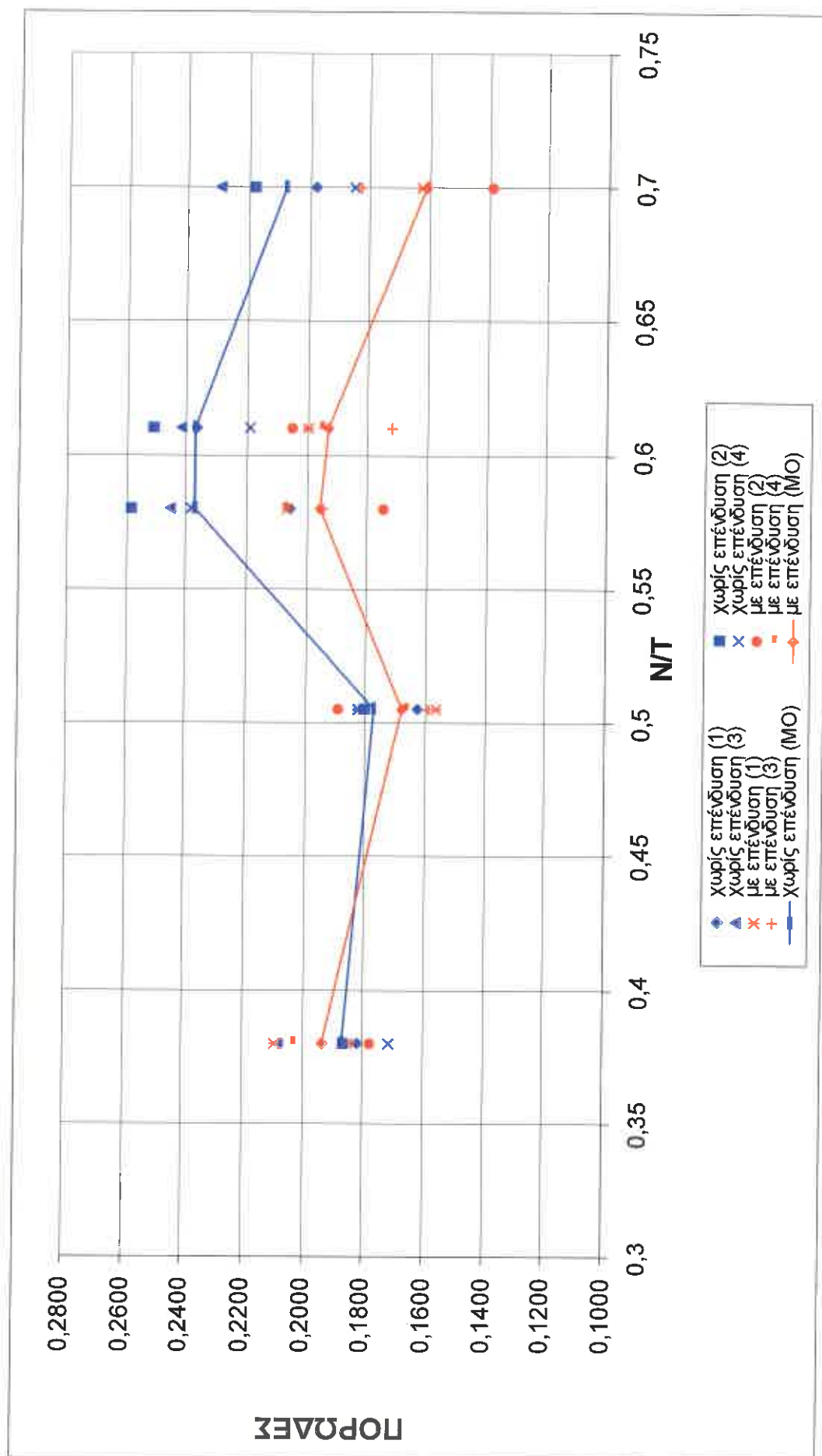
b = το ποσοστό του τσιμέντου + του νερού στο μίγμα

p_b = το πορώδες του τσιμεντοπολτού

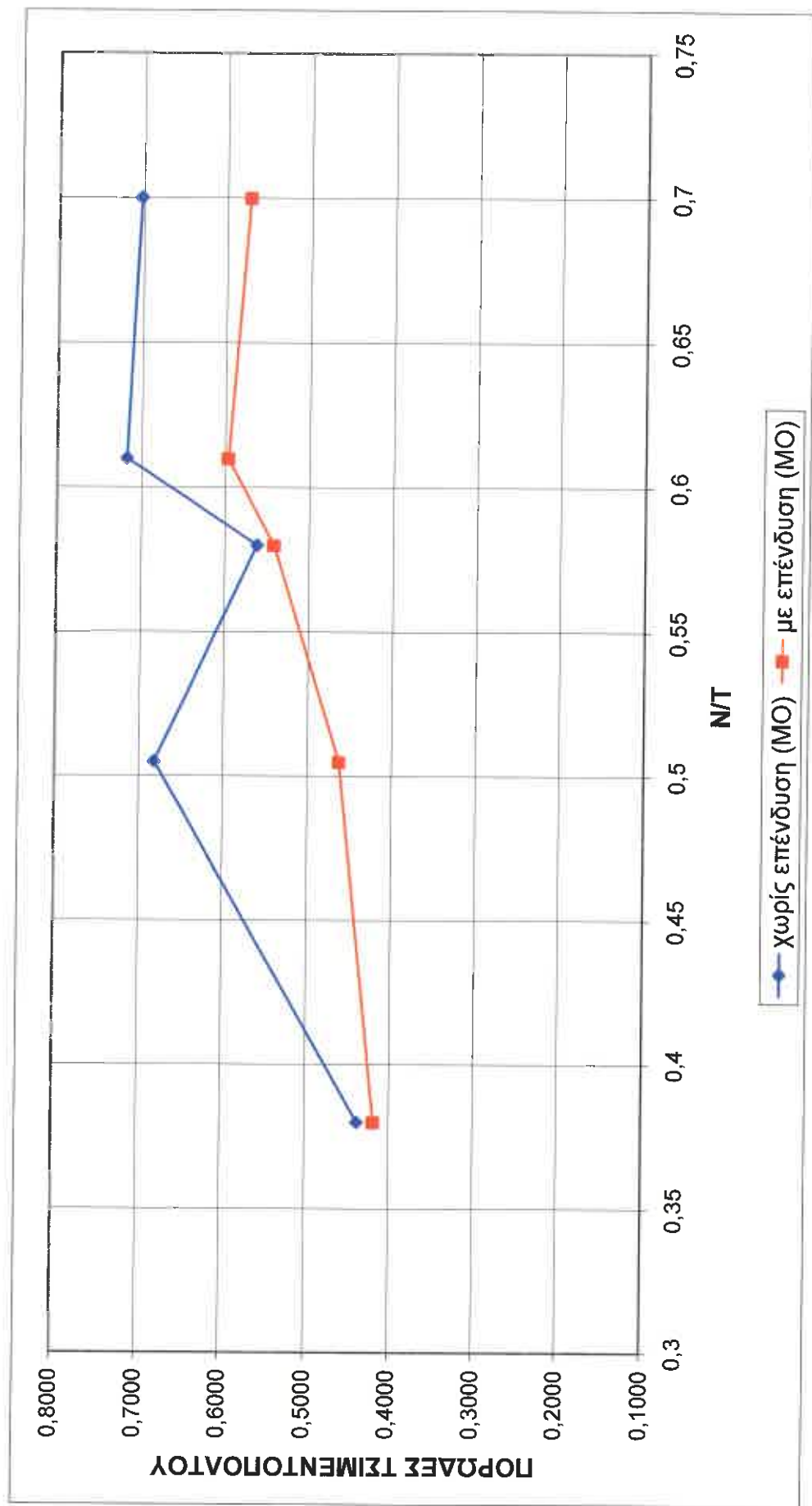
Στην παραπάνω σχέση είναι μετρημένα τα p_m , p_a και από τη μελέτη σύνθεσης κάθε μίγματος είναι γνωστά τα a και b . Η σχέση επιλύεται ως προς p_b . Το πορώδες του τσιμεντοπολτού που προέκυψε αποτυπώνεται στα διαγράμματα 22-27.



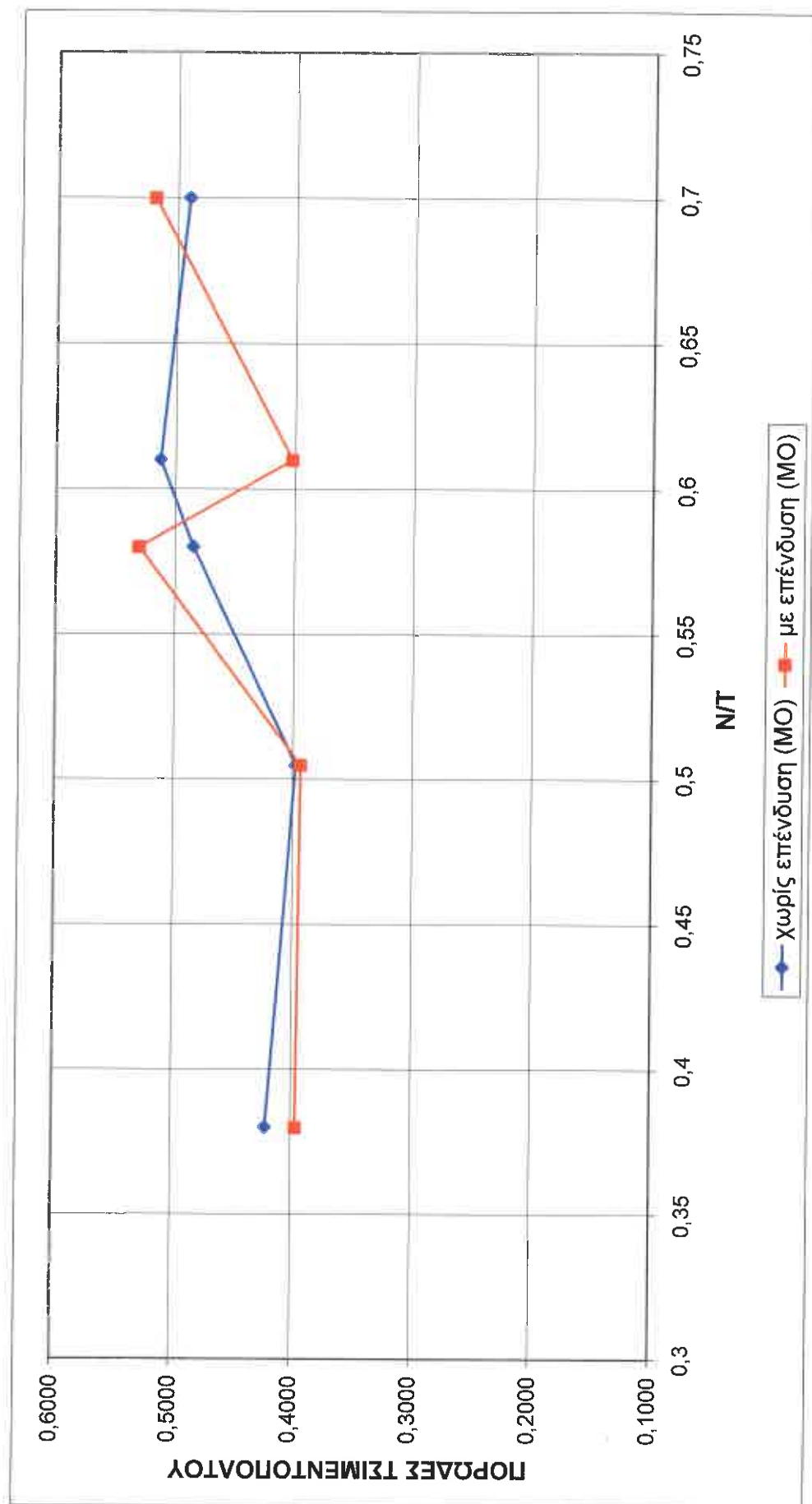
Διάγραμμα 20 : Πορώδες της εσωτερικής περιοχής στη μέση των δοκιμών της δεύτερης παρτίδας (κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 10cm, ύψους 20cm)



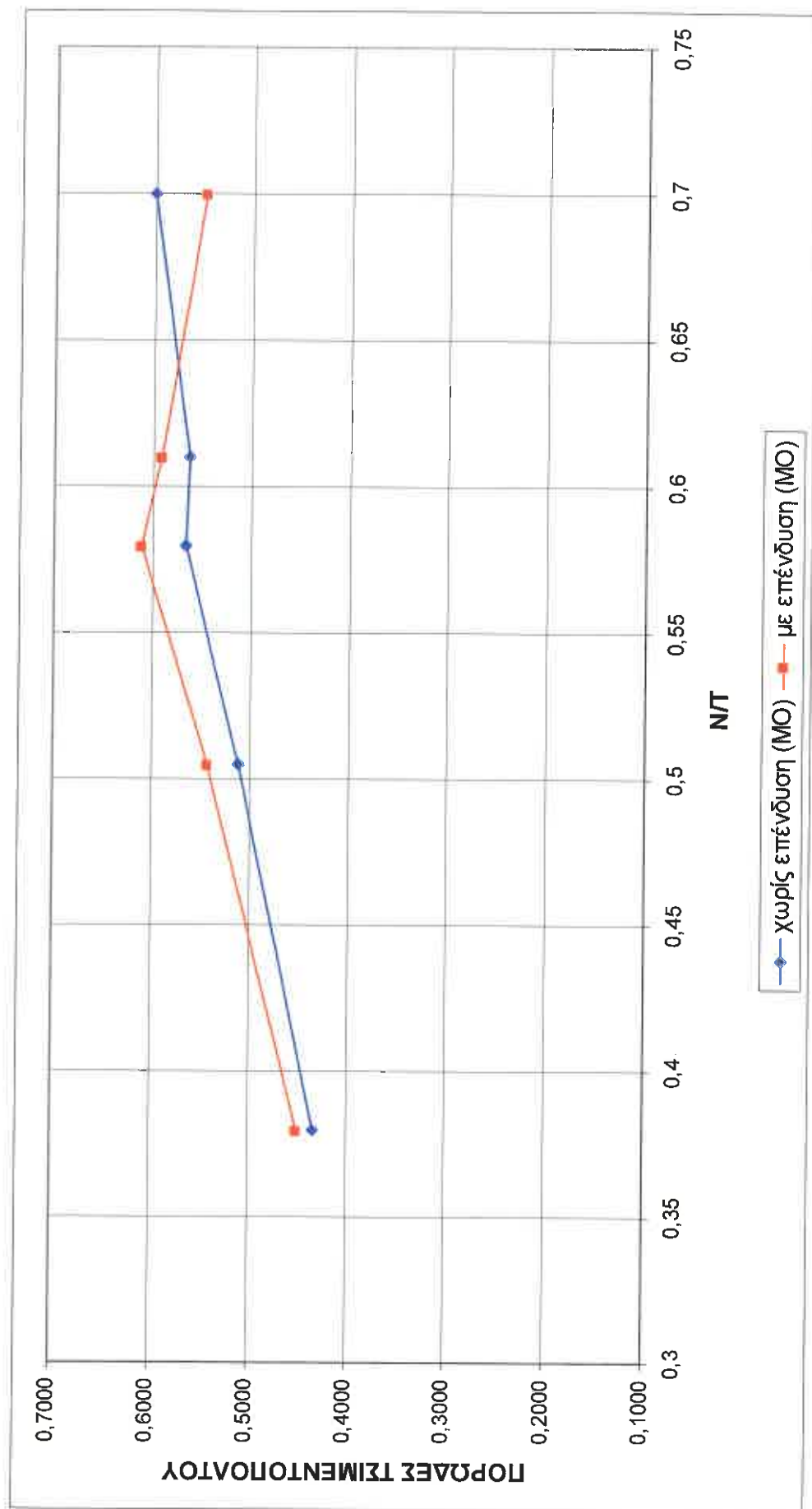
Διάγραμμα 21 : Πορώδες της **παράπλευρης** επιφάνειας των δοκιμών της **δεύτερης** παρτίδας (κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 10, ύψους 20cm



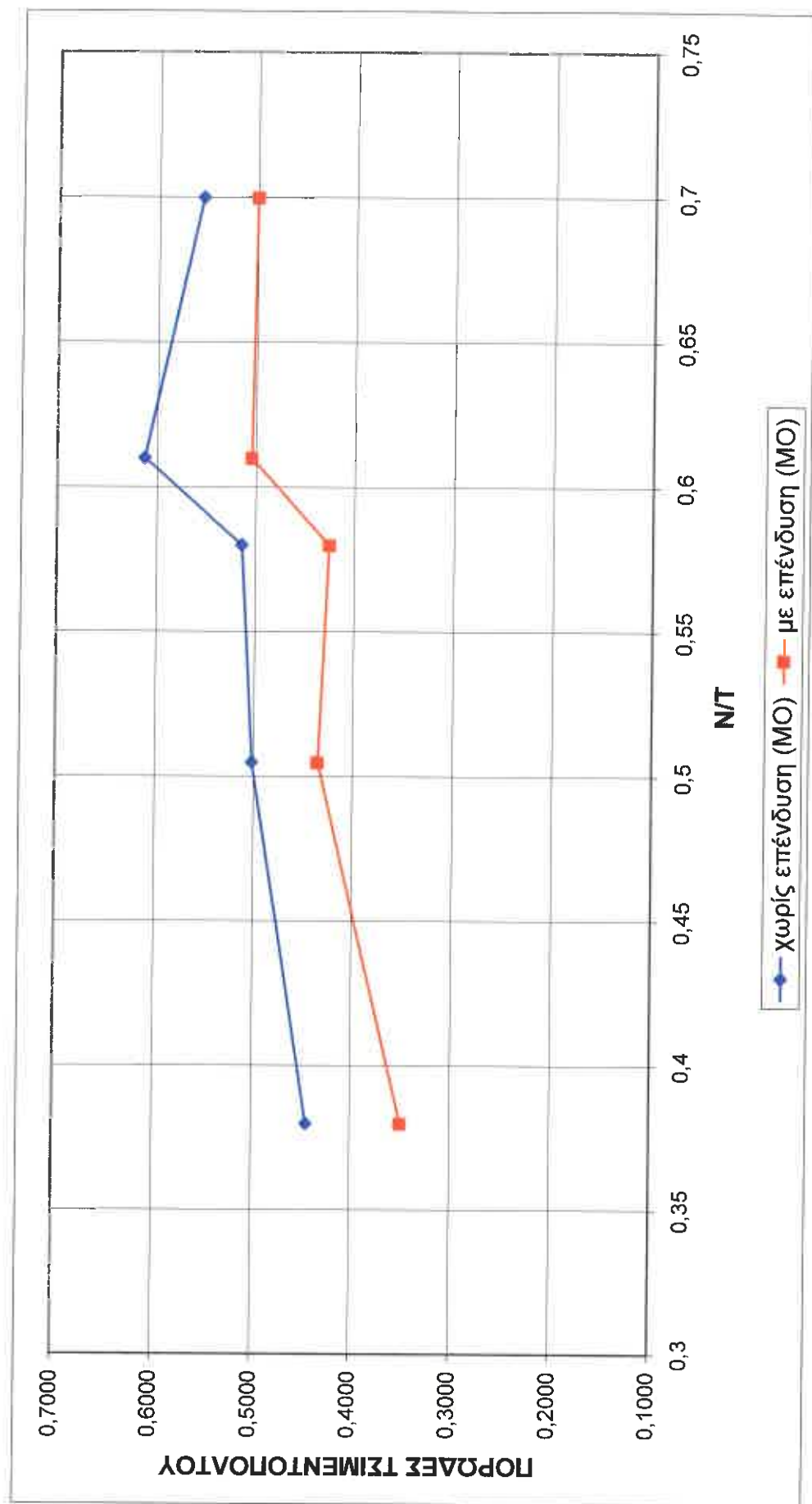
Διάγραμμα 22 : Πορώδες τσιμεντοπολτού της ελεύθερης επιφάνειας των δοκιμίων της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



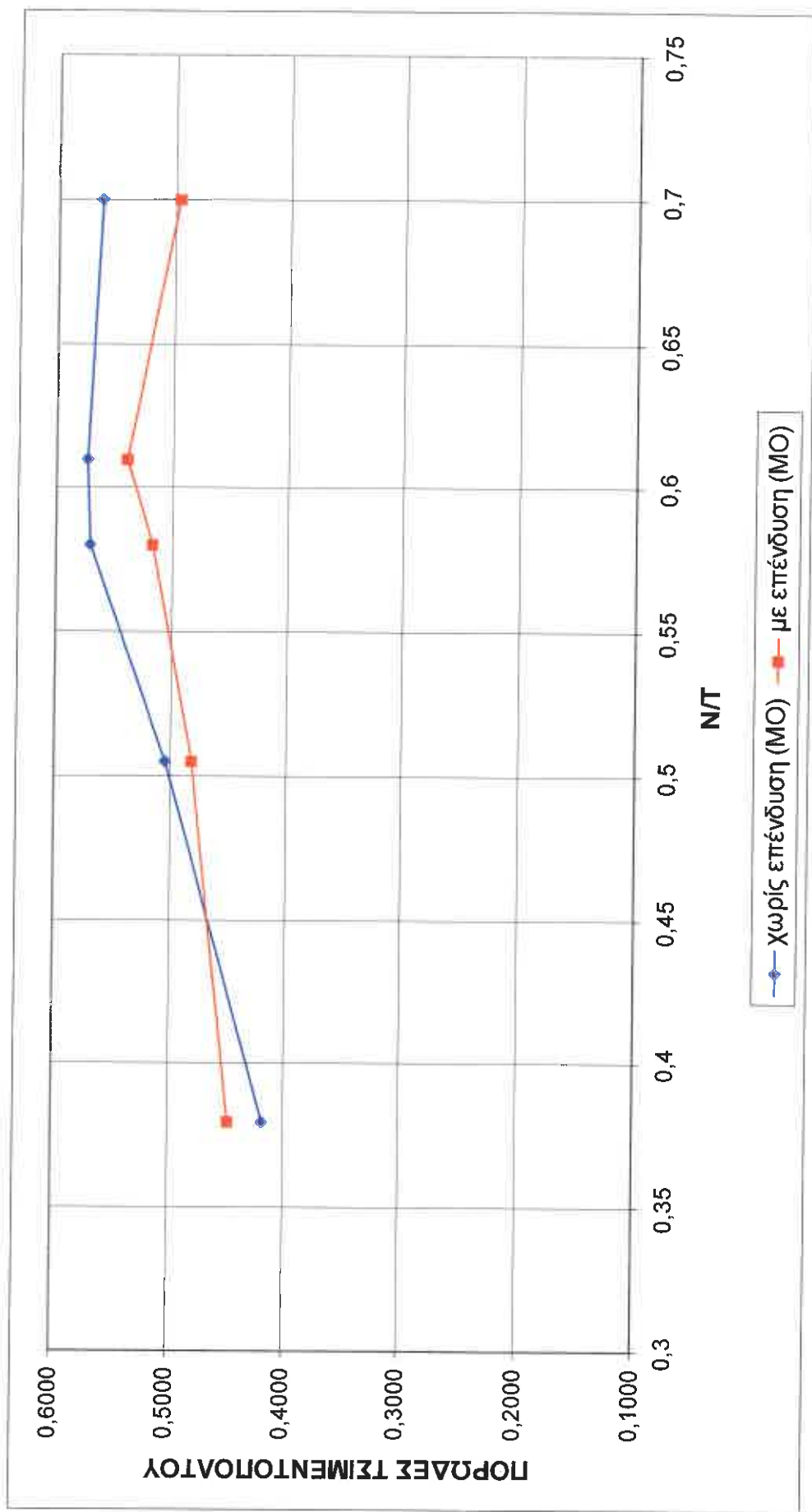
Διάγραμμα 23 : Πορώδες τσιμεντοπολτού της **κάτω** επιφάνειας των δοκιμών της **πρώτης** παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)



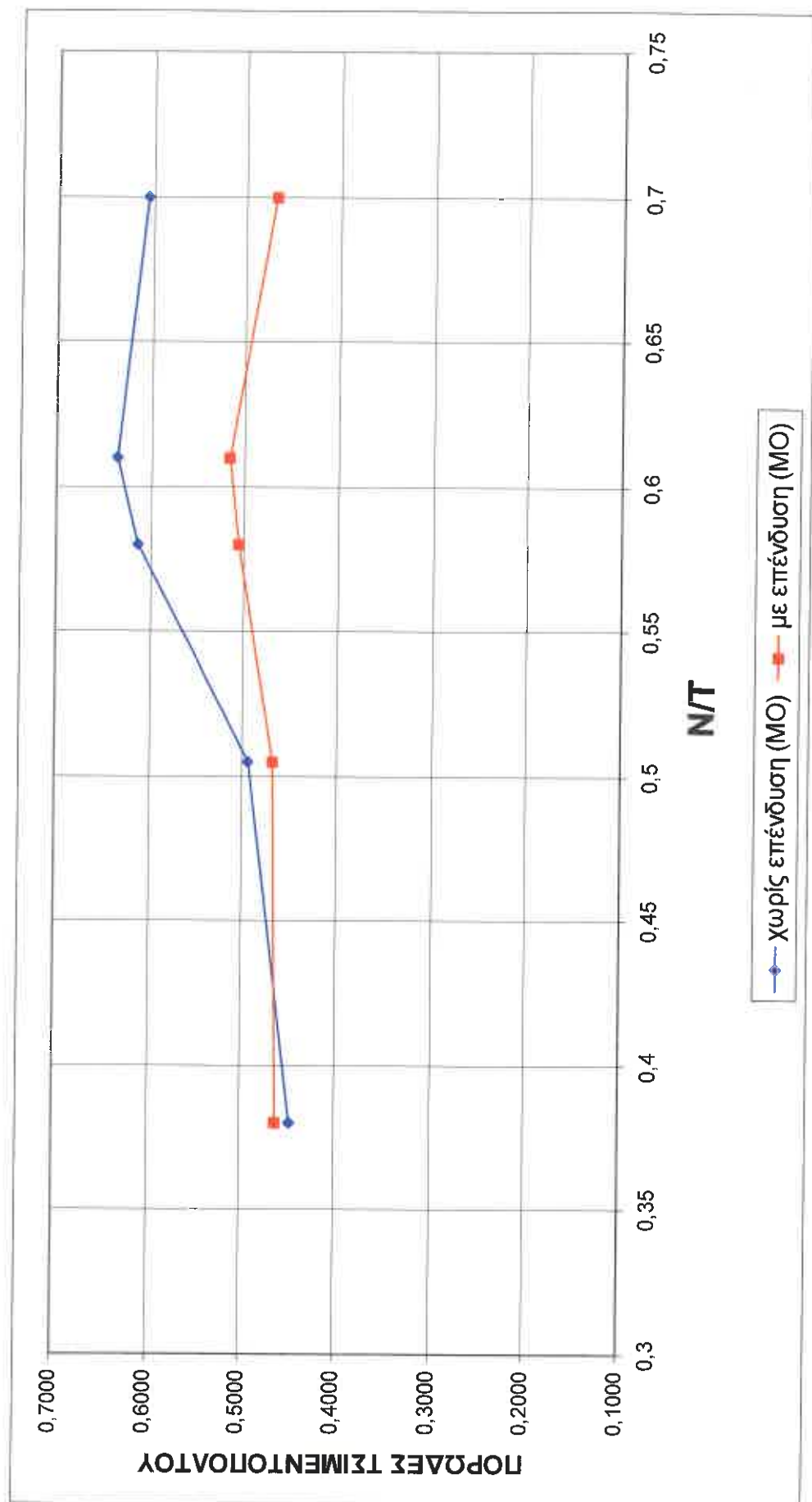
Διάγραμμα 24 : Πορώδες τσιμεντοπολτού της εσωτερικής περιοχής στη μέση των δοκιμών της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 25 : Πορώδες τσιμεντοπολτού της **παράπλευρης** επιφάνειας των δοκίμιων της **πρώτης** παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 26 : Πορώδες τσιμεντοποίησης της εσωτερικής περιοχής στη μέση των δοκιμών της δεύτερης παρτίδας (κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 10cm, ύψους 20cm)



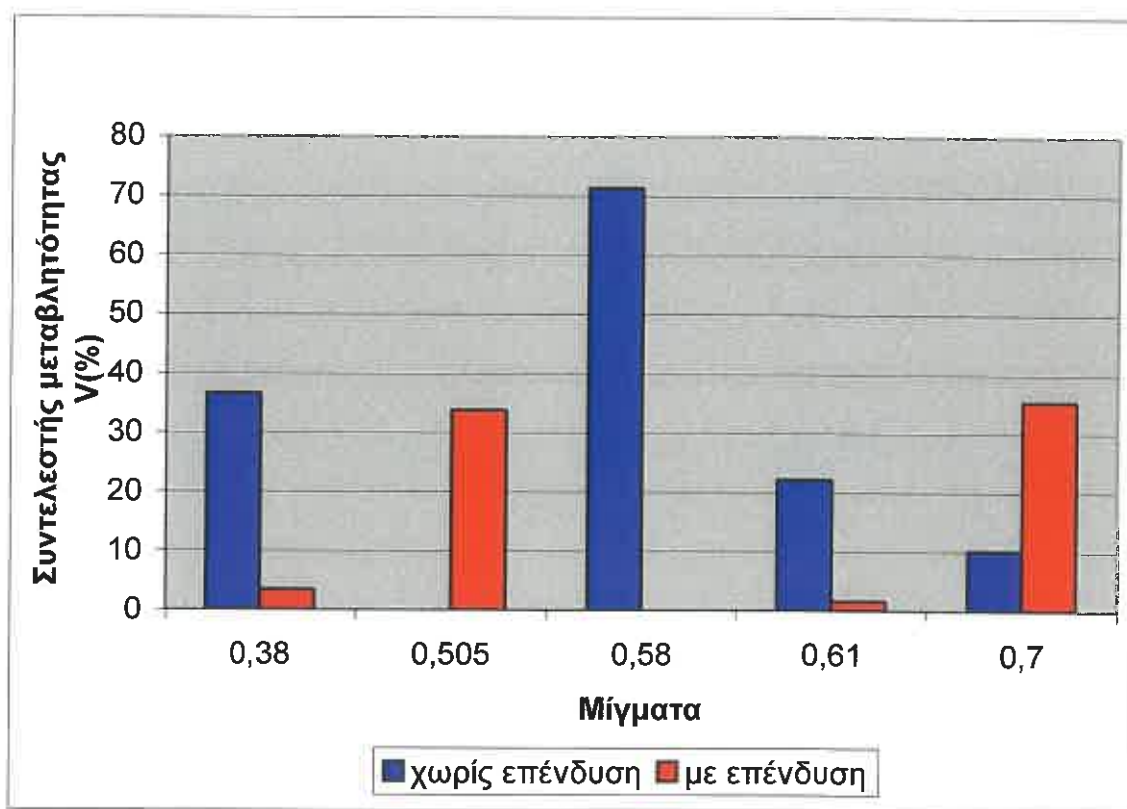
Διάγραμμα 27 : Πορώδες τσιμεντοπολτού της **παράπλευρης** επιφάνειας των δοκιμίων της **δεύτερης** παρτίδας (κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 10cm, ύψους 20cm)

Εξετάζοντας τα διαγράμματα 21-26 συμπεραίνουμε ότι παρουσιάζουν κάποια ομαλοποίηση, εξακολουθούν όμως να μην έχουν την αναμενόμενη μορφή (αύξηση δηλαδή του πορώδους με την αύξηση του λόγου N/T) σε αρκετά μίγματα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην πιθανή, μεταξύ των μιγμάτων, διαφορά στη συμπύκνωση. Ενδέχεται δηλαδή η εργασιμότητα ορισμένων μιγμάτων που παρουσιάζουν τις ανωμαλίες να διέφερε πολύ από την εργασιμότητα των άλλων μιγμάτων, με αποτέλεσμα με τη διαδικασία συμπύκνωσης σταθερού χρόνου (για όλα τα μίγματα) να μην συμπυκνώθηκαν στον ίδιο βαθμό όλα τα δοκίμια.

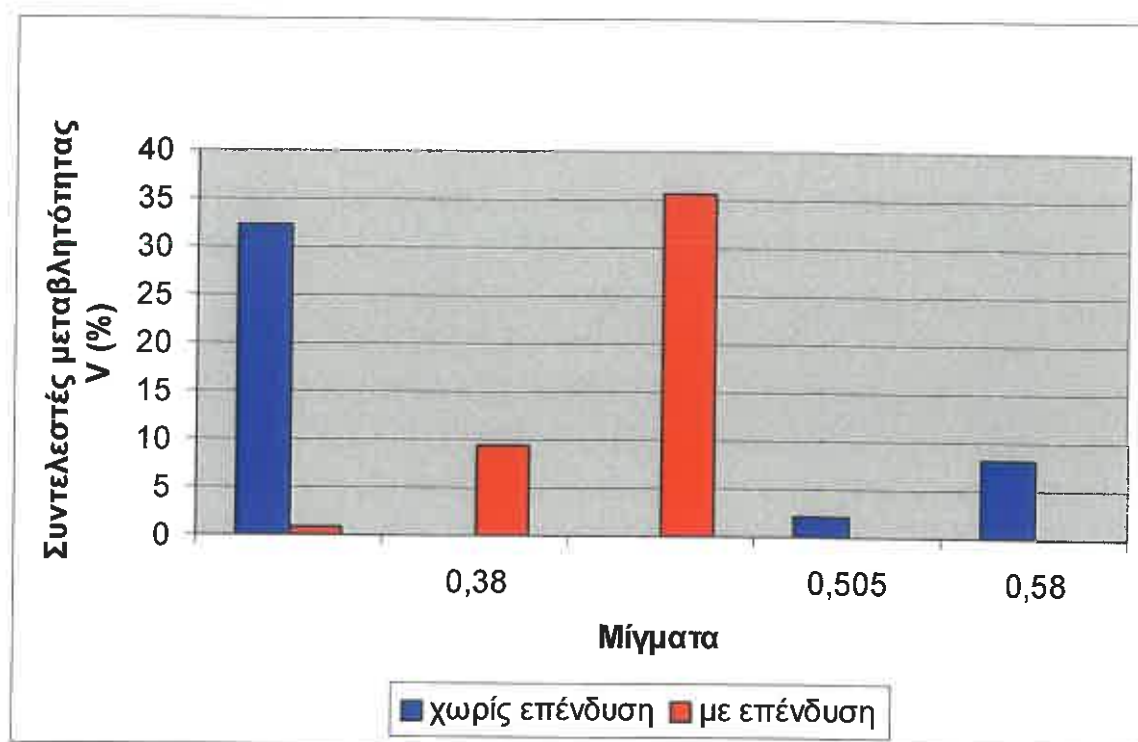
5.7 ΔΟΚΙΜΗ ΑΕΡΟΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ- ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η ομοιομορφία των μετρήσεων ελέγχθηκε υπολογίζοντας και σε αυτήν την περίπτωση τον συντελεστή μεταβλητότητας ($V(\%)$) για κάθε παρτίδα και για ομοειδή δοκίμια. Η συνολική επιφάνεια κάθε κυβικού δοκιμίου χωρίστηκε σε ομάδες τριών επιφανειών, δηλαδή άνω (ελεύθερη), κάτω και πλευρική (4 πλευρές συνολικά) επιφάνεια και υπολογίστηκε ξεχωριστά ο συντελεστής μεταβλητότητας (πίνακες 30-44 και 60-74; παράρτημα).

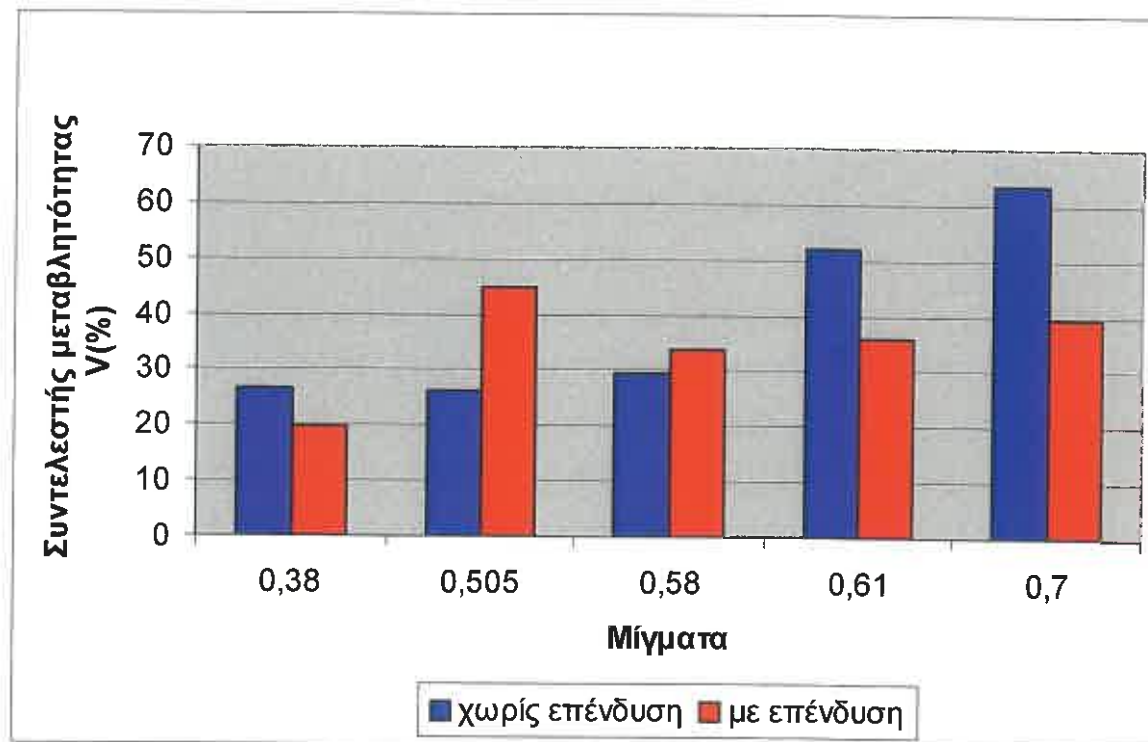
Από τους πίνακες προκύπτουν τα διαγράμματα 28–33 που φαίνονται παρακάτω :



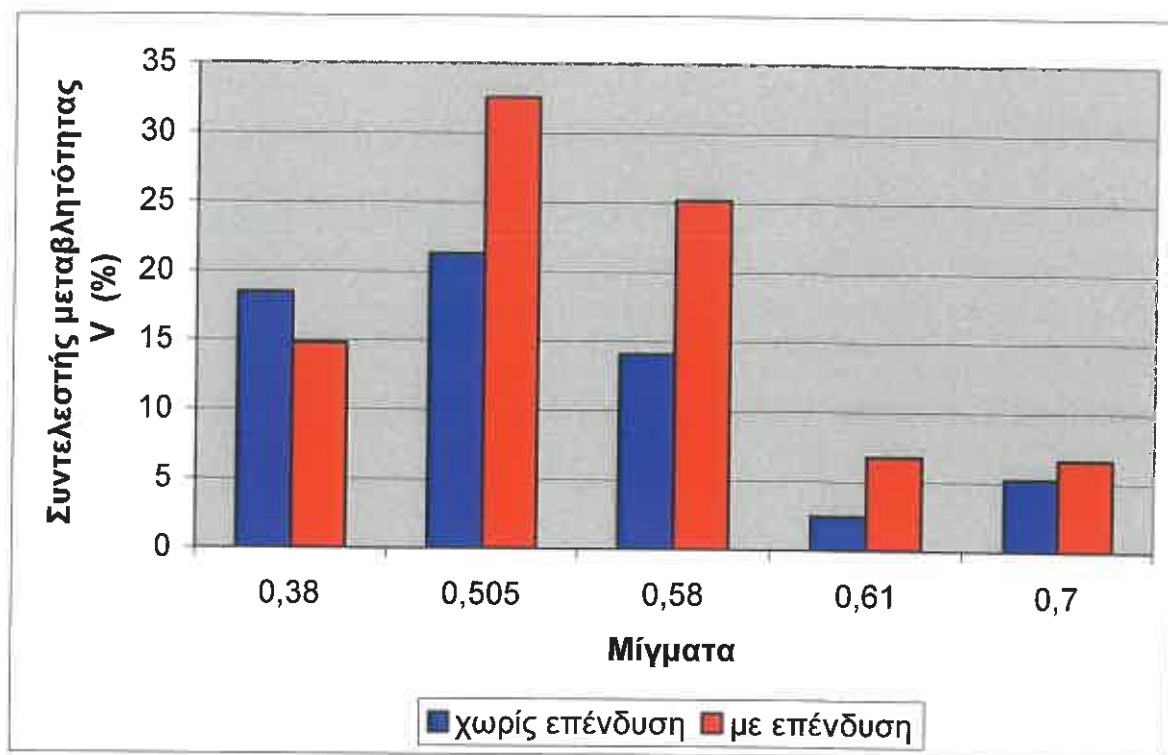
Διάγραμμα 28 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας της ελεύθερης επιφάνειας των δοκιμίων της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



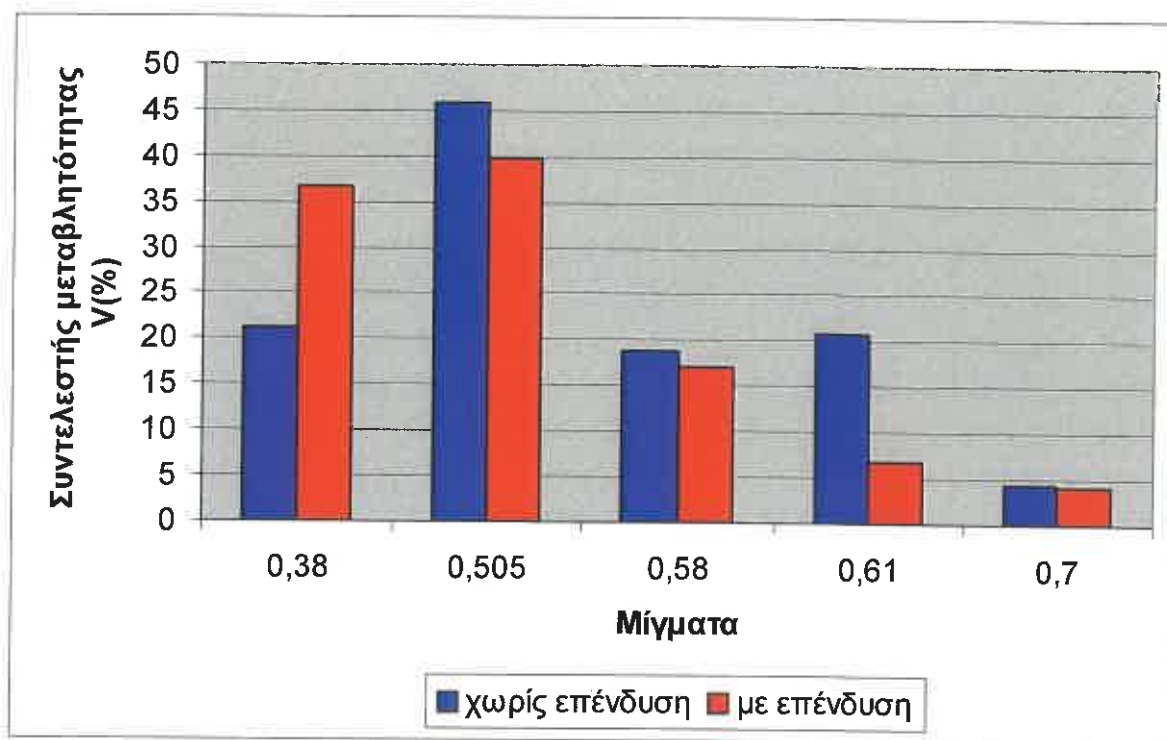
Διάγραμμα 29 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας της κάτω επιφάνειας των δοκιμίων της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



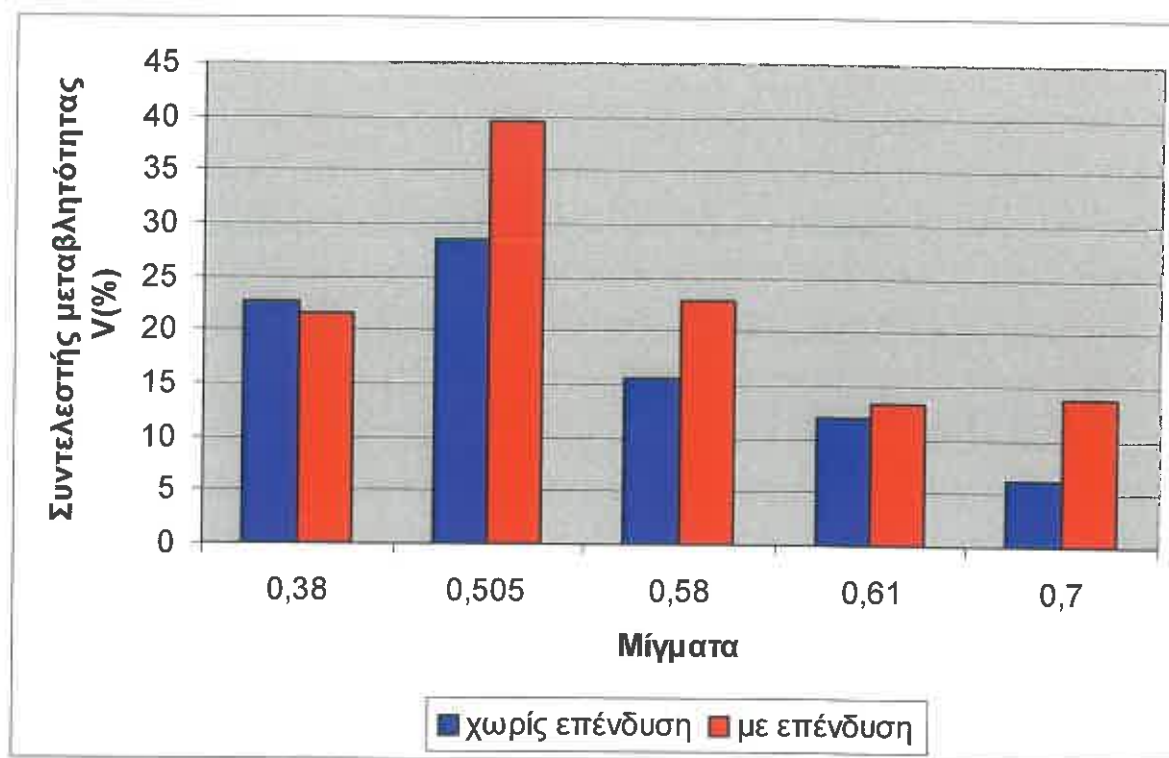
Διάγραμμα 30 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας της παράπλευρης επιφάνειας των δοκιμίων της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 31 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας της ελεύθερης επιφάνειας των δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 32 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας της κάτω επιφάνειας των δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 33 : Συντελεστές μεταβλητότητας ανά μίγμα για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας της παράπλευρης επιφάνειας των δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)

Από τα διαγράμματα παρατηρούνται τα εξής:

- Στις περισσότερες περιπτώσεις της πρώτης παρτίδας έχουμε πολύ υψηλές τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας (έως και πάνω από 70% στην ακραία περίπτωση).
- Οι τιμές της δεύτερης παρτίδας είναι μικρότερες αλλά εξακολουθούν να είναι σημαντικά υψηλές (η ακραία περίπτωση πλέον δεν ξεπερνά το 45%). Θα πρέπει όμως να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι οι δοκιμές διαπερατότητας στο σκυρόδεμα είναι γνωστό ότι παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. [21] με αποτέλεσμα να μην έχουν ακόμη καθιερωθεί τιμές βάσει των οποίων θα μπορούν να κριθούν διάφορα σκυροδέματα ως προς την διαπερατότητά τους.

Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι το συγκεκριμένο πείραμα δεν μπορεί να δώσει κάποια σαφή συμπεράσματα για την ένδειξη της διαπερατότητας, καθώς υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα σφάλματος κατά την εκτέλεσή του. Επιβεβαιώνεται η υποψία μας ότι η εισροή αέρα στις οπές είναι πρακτικά δύσκολο να αποφευχθεί, καθώς ακόμα και στη δεύτερη παρτίδα που μειώθηκε η διάμετρος των οπών (από 10mm σε 9mm, για καλύτερο σφήνωμα του πώματος με την οπή) η ομοιομορφία των μετρήσεων δεν βελτιώθηκε αρκετά. Για να μπορέσουν να εξαχθούν συμπεράσματα θα πρέπει να γίνει πολύ μεγαλύτερος αριθμός δοκιμών

5.8 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

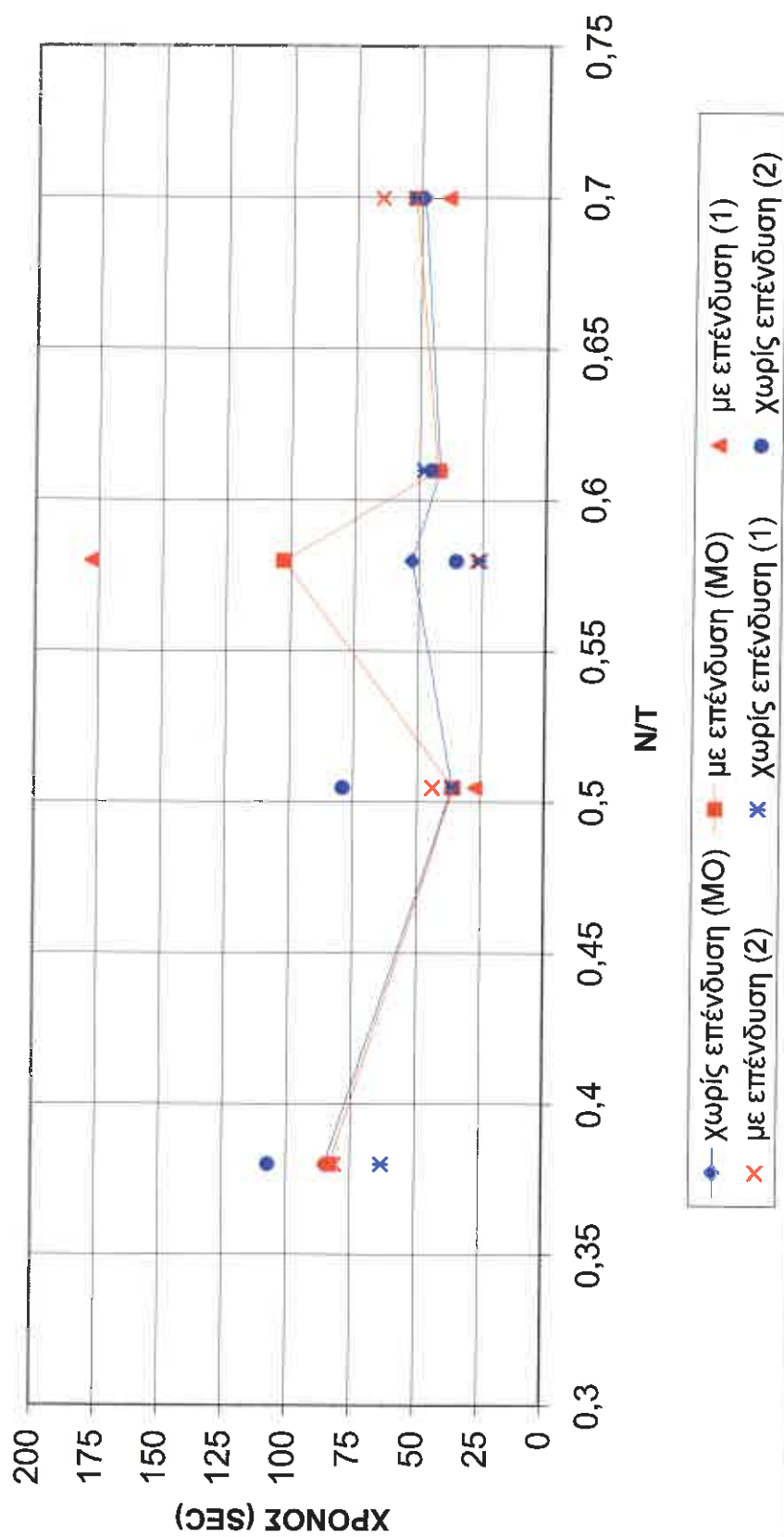
5.8.1 Δοκιμή αεροδιαπερατότητας – διαγράμματα 1^{ης} παρτίδας

Στα διαγράμματα 34-36 απεικονίζονται οι απαιτούμενοι χρόνοι για αύξηση της πίεσης στις οπές από -55 KPa σε -50 KPa, που όπως είδαμε αποτελούν ένδειξη της αεροδιαπερατότητας, σε συνάρτηση με το λόγο N/T για τα 5 μίγματα που παρασκευάστηκαν.

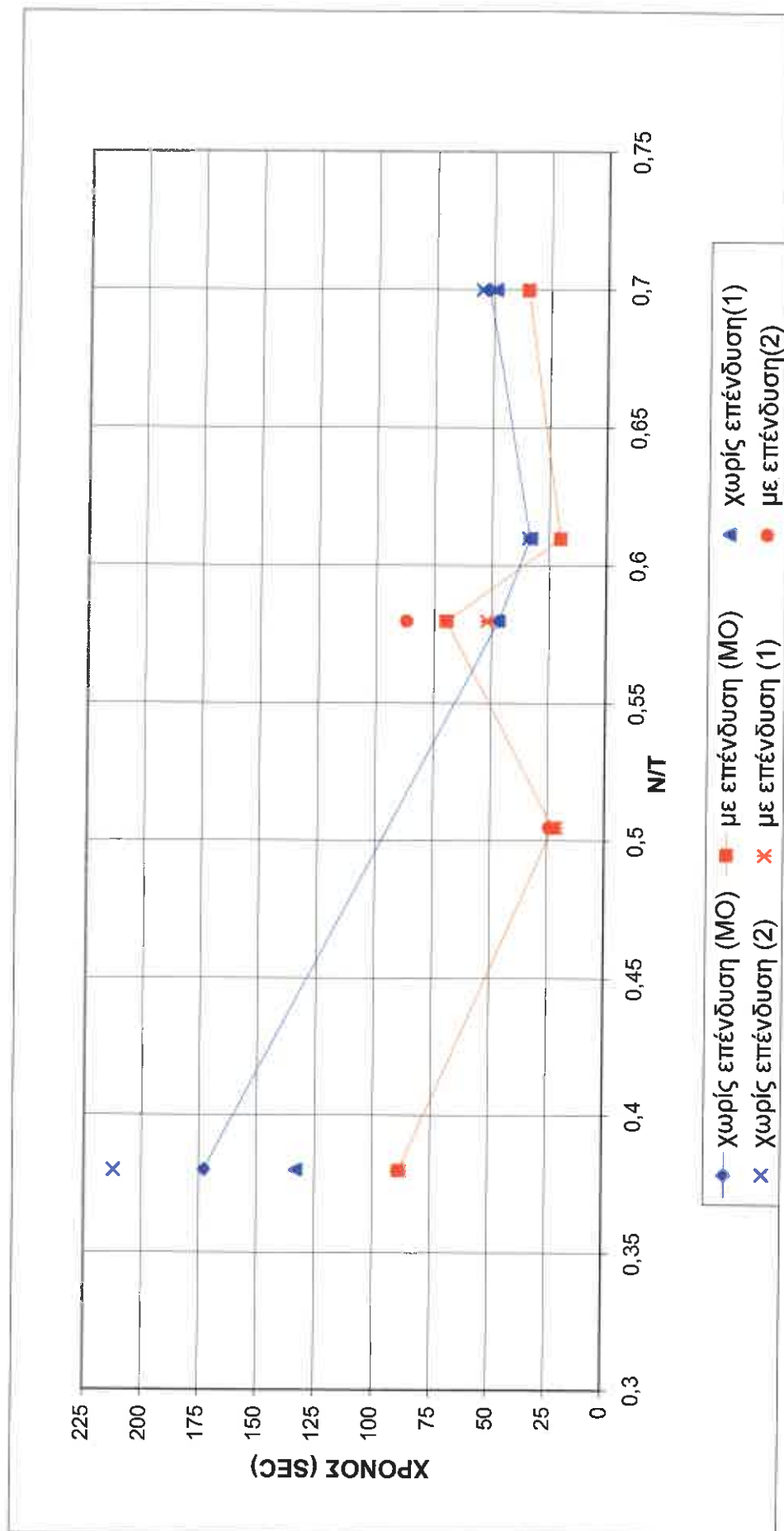
Από τα διαγράμματα προκύπτουν τα εξής:

- Η συγκεκριμένη δοκιμή δεν προσφέρεται για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, όπως τονίστηκε και στον υπολογισμό των συντελεστών μεταβλητότητας
- Στην περίπτωση της ελεύθερης επιφάνειας, δεν υπάρχει η αναμενόμενη επιρροή του λόγου N/T στην αεροδιαπερατότητα για κανέναν από τους δύο τρόπους συντήρησης.
- Επίσης δεν υπάρχει σαφής υπεροχή κανενός εκ των δύο τρόπων συντήρησης, καθώς οι μέσοι όροι των ενδεικτικών χρόνων σχεδόν ταυτίζονται. (Εξάιρεση αποτελεί ο λόγος $N/T=0,58$ όπου υπάρχει μια διαφορά υπέρ της συντήρησης με επένδυση. Το αποτέλεσμα όμως αυτό, όπως είδαμε, κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται σε τυχαίο γεγονός)
- Στην περίπτωση της κάτω επιφάνειας, η αύξηση του λόγου N/T φαίνεται να επηρεάζει κατά τον αναμενόμενο τρόπο τα δοκίμια που συντηρήθηκαν χωρίς επένδυση, αλλά για τους λόγους $0,38$ έως $0,61$. Για τα δοκίμια που συντηρήθηκαν με επένδυση δεν υπάρχει η αναμενόμενη επιρροή.
- Η σύγκριση μεταξύ των δύο τρόπων συντήρησης δείχνει αυτή τη φορά μια υπεροχή της συντήρησης χωρίς επένδυση, με το λόγο $N/T=0,58$ να αποτελεί και αυτή τη φορά εξάιρεση.
- Στην περίπτωση της παράπλευρης επιφάνειας, η αύξηση του λόγου N/T δείχνει άλλοτε να μειώνει του χρόνους ένδειξης της διαπερατότητας και άλλοτε να τους αυξάνει. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η επιφάνεια που πρέπει να γίνει σύγκριση είναι η παράπλευρη επιφάνεια διότι στην επιφάνεια αυτή υπάρχει άμεση επίδραση της επένδυσης
- Η σύγκριση των δύο τρόπων συντήρησης δείχνει στις περισσότερες περιπτώσεις ταύτιση των μέσων όρων, ενώ σε δύο περιπτώσεις υπάρχει υπεροχή της συντήρησης με επένδυση.

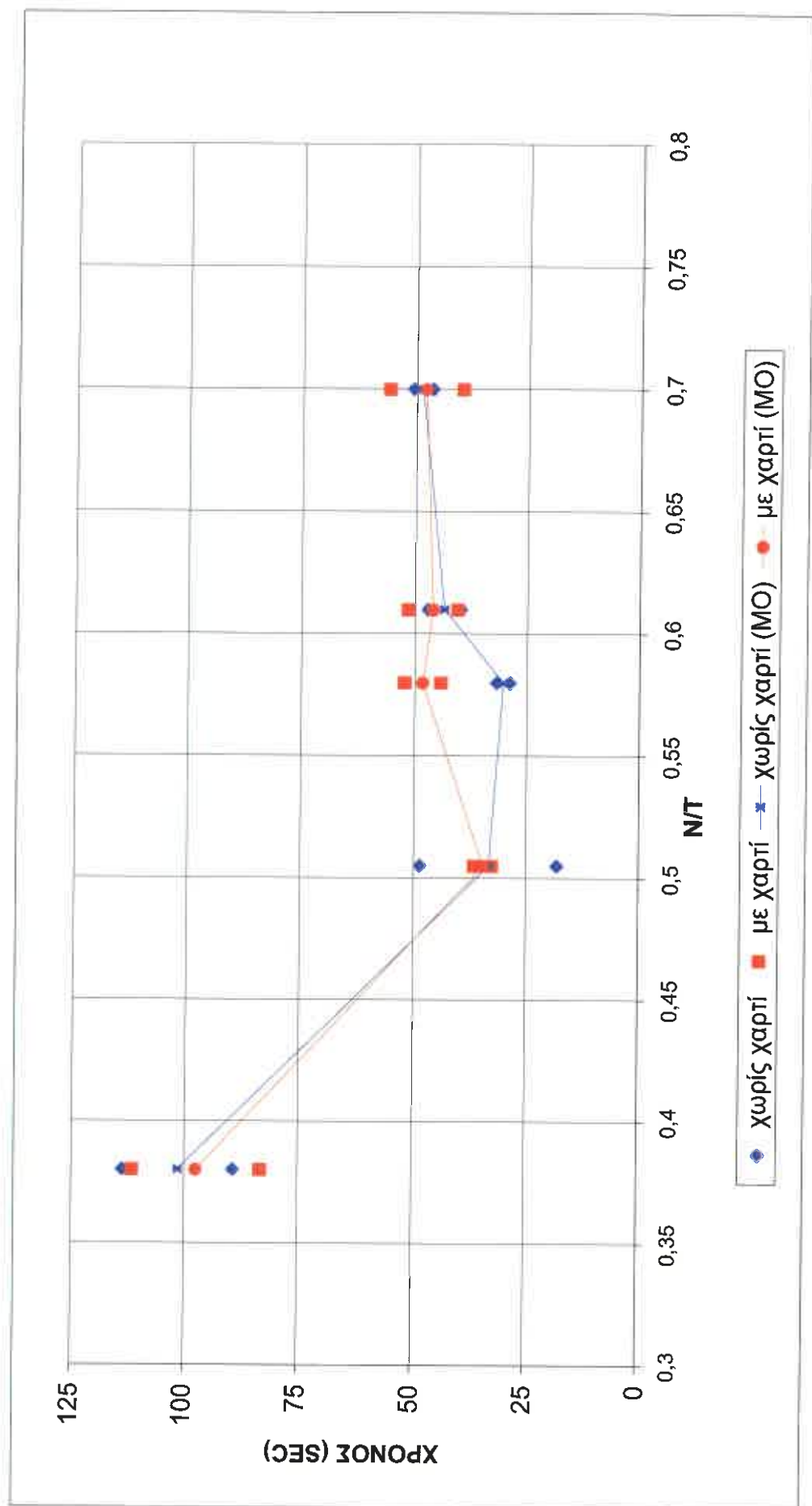
- Μια πιθανή εξήγηση για την, και στα τρία διαγράμματα, υπεροχή των δοκιμίων συντηρημένων με επένδυση του λόγου $N/T=0,58$ είναι η εξής: Οι οπές στα δύο δοκίμια αυτά διανοίχθηκαν με μεγαλύτερη ακρίβεια και υπήρξε καλύτερο σφήνωμα του πώματος με αυτές. Η ίδια εξήγηση μπορεί να δοθεί και για την υπεροχή του λόγου 0,70 έναντι του 0,61, ανεξάρτητα του τρόπου συντήρησης (επίσης και στα τρία διαγράμματα).



Διάγραμμα 34 : Χρόνος ένδειξης της αεροδιαπερατότητας της ελεύθερης επιφάνειας των δοκιμών της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)



Διάγραμμα 35 : Χρόνος ένδειξης της αεροδιαπερατότητας της κάτω επιφάνειας των δοκιμών της πρώτης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)



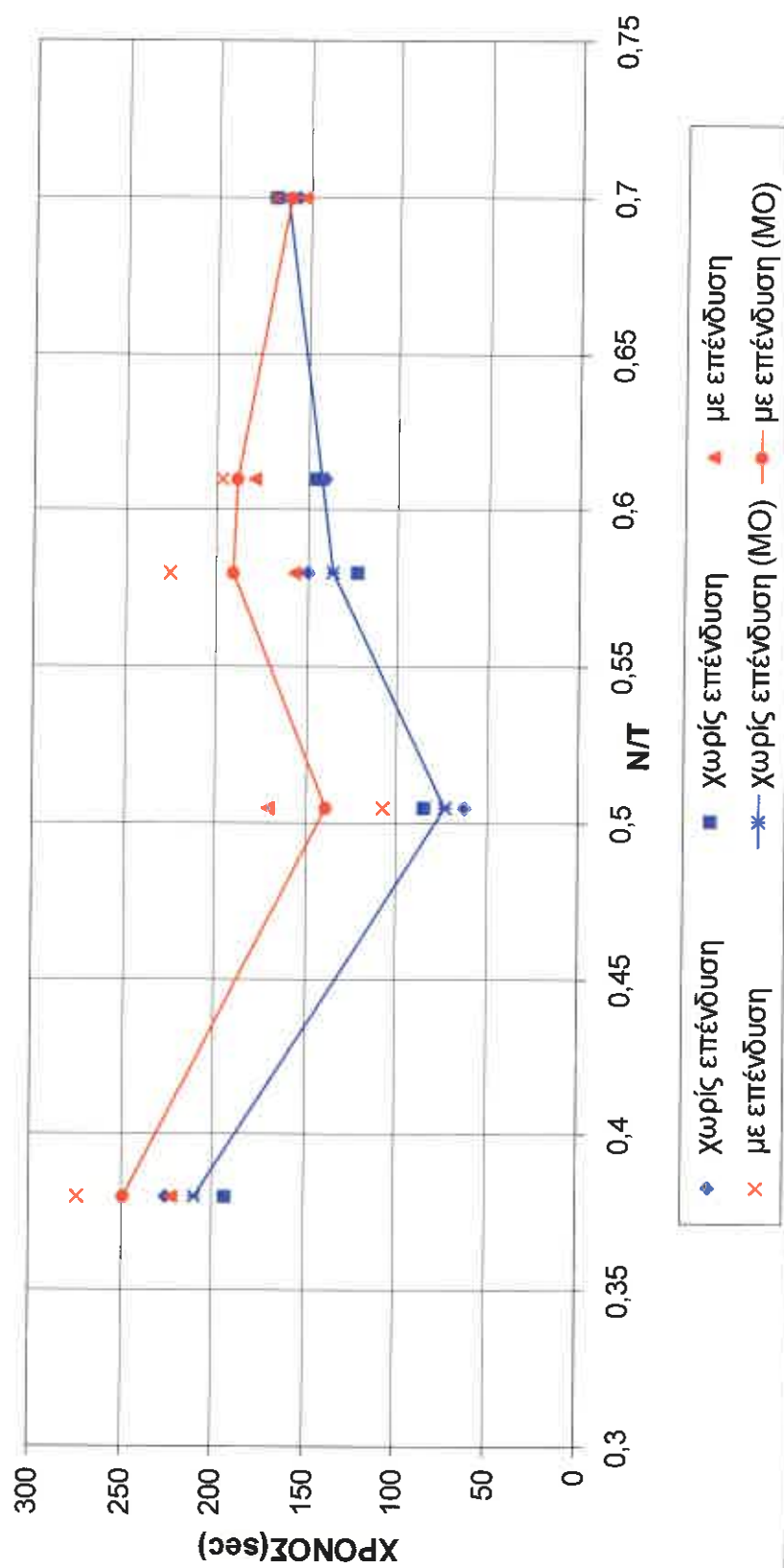
Διάγραμμα 36 : Χρόνος ένδειξης της αεροδιαπερατότητας της **παραπλευρης** επιφάνειας των δοκιμών της **πρώτης** παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)

5.8.2 Δοκιμή αεροδιαπερατότητας – Διαγράμματα-2^{ης} παρτίδας

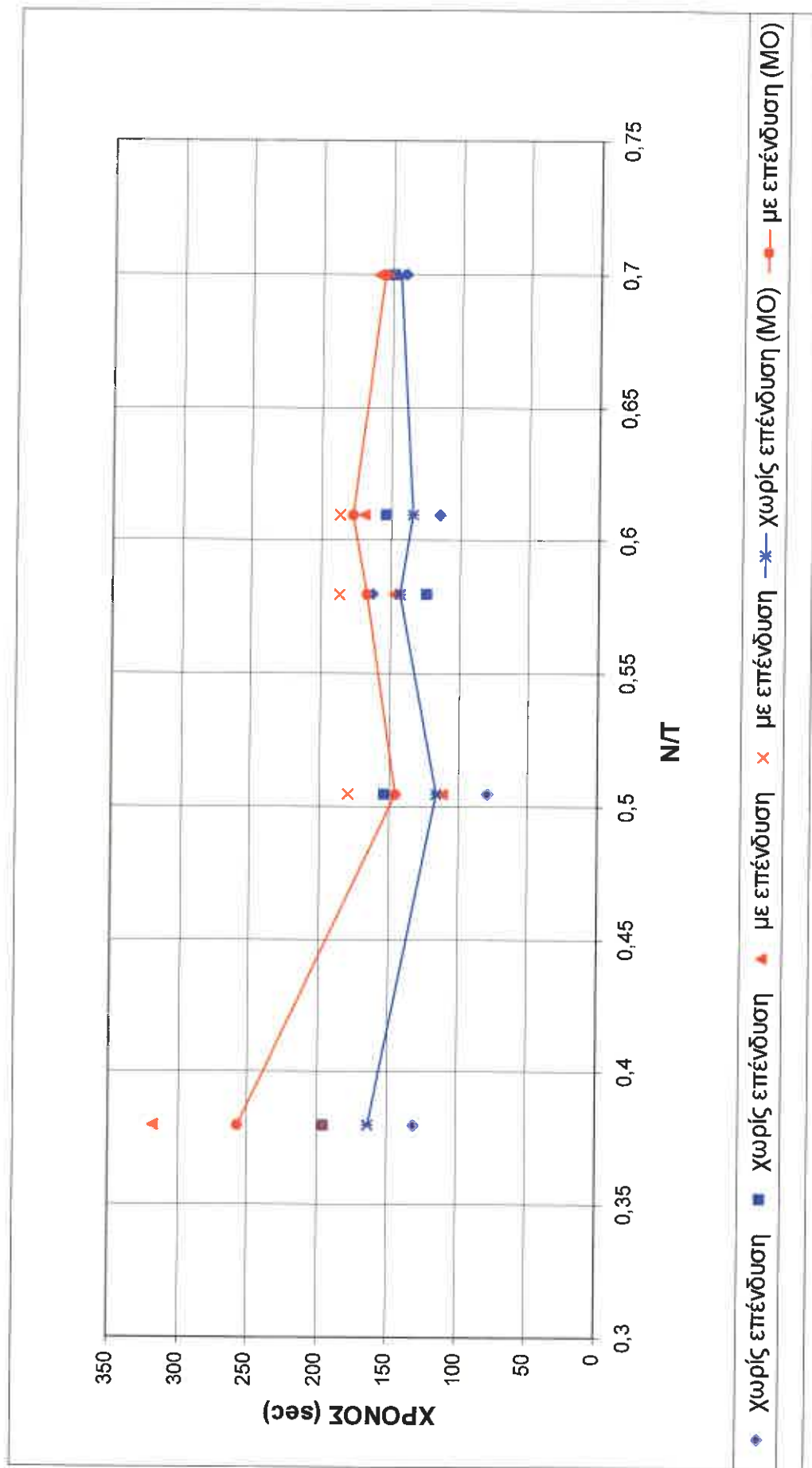
Στα διαγράμματα 37-39 απεικονίζονται οι απαιτούμενοι χρόνοι για αύξηση της πίεσης στις οπές από -55 KPa σε -50 KPa, που όπως είδαμε αποτελούν ένδειξη της αεροδιαπερατότητας, σε συνάρτηση με το λόγο N/T για τα 5 μίγματα που παρασκευάστηκαν.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα προκύπτουν τα εξής:

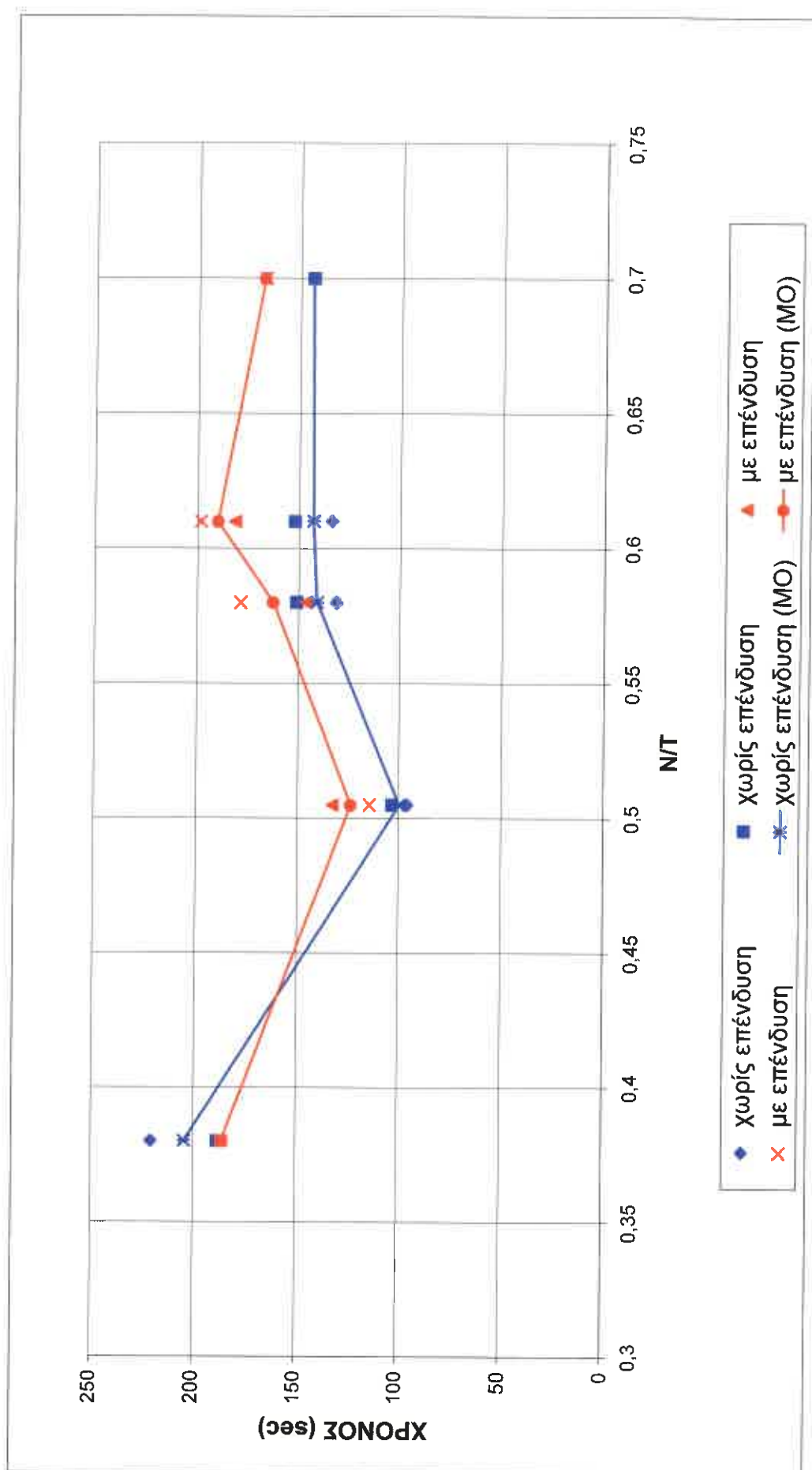
- Σε σχέση με την πρώτη παρτίδα τα αποτελέσματα βελτιώθηκαν αλλά όχι σε τέτοιο βαθμό ώστε να προσφέρονται για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων (όπως είδαμε οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας παρέμειναν υψηλές).
- Γενικά αναμένεται ότι όσο μικραίνει ο λόγος N/T θα πρέπει ο απαιτούμενος χρόνος να αυξάνεται, γεγονός το οποίο δεν παρατηρείται σε όλες τις περιπτώσεις και ιδιαίτερα στην περίπτωση του λόγου $N/T=0,505$ στην οποία παρατηρείται μικρότερος χρόνος από τον αναμενόμενο σε όλες τις πλευρές που μετρήθηκαν. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι η ανωμαλία αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί σε ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου μίγματος (πχ μικρότερη συμπύκνωση σε σχέση με τα άλλα μίγματα). Χρειάζονται όμως περισσότερες μετρήσεις για την πληρέστερη μελέτη του θέματος.
- Στην παράπλευρη επιφάνεια η οποία (όπως ήδη έχει αναφερθεί παραπάνω) είναι η επιφάνεια εκείνη η οποία προσφέρεται για άμεση σύγκριση γιατί η επίδραση της επένδυσης είναι άμεση, ο απαιτούμενος χρόνος είναι σαφώς μεγαλύτερος σε σύγκριση με εκείνο των επιφανειών χωρίς επένδυση. Εξαίρεση αποτελούν οι δοκιμές για πολύ μικρό λόγο N/T όπου η τιμή του χρόνου χωρίς επένδυση είναι μεγαλύτερη από εκείνη για επιφάνειες με επένδυση. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι για μικρό λόγο N/T η διαπερατότητα είναι ήδη μικρή και η βελτίωση που επιφέρει η επένδυση μπορεί να μην είναι άμεσα διακριτή με την συγκεκριμένη δοκιμή.
- Τα δοκίμια που συντηρήθηκαν με χρήση της επένδυσης παρουσιάζουν συνολικά μεγαλύτερες τιμές του χρόνου ένδειξης διαπερατότητας, εκτός του λόγου $N/T=0,70$.
- Στην περίπτωση της κάτω επιφάνειας όμως, τα δοκίμια με επένδυση παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές του χρόνου (με εξαίρεση και πάλι το λόγο 0,70



Διάγραμμα 37 : Χρόνος ένδειξης της αεροδιαπερατότητας της ελεύθερης επιφάνειας των δοκίμιων της δεύτερης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)



Διάγραμμα 38 : Χρόνος ένδειξης της αεροδιαπερατότητας της κάτω επιφάνειας των δοκιμών της δεύτερης παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)



Διάγραμμα 39 : Χρόνος έναρξης της αεροδιαπερατότητας της **παράπλευρης** επιφάνειας των δοκιμών της **δεύτερης** παρτίδας (κυβικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm³)

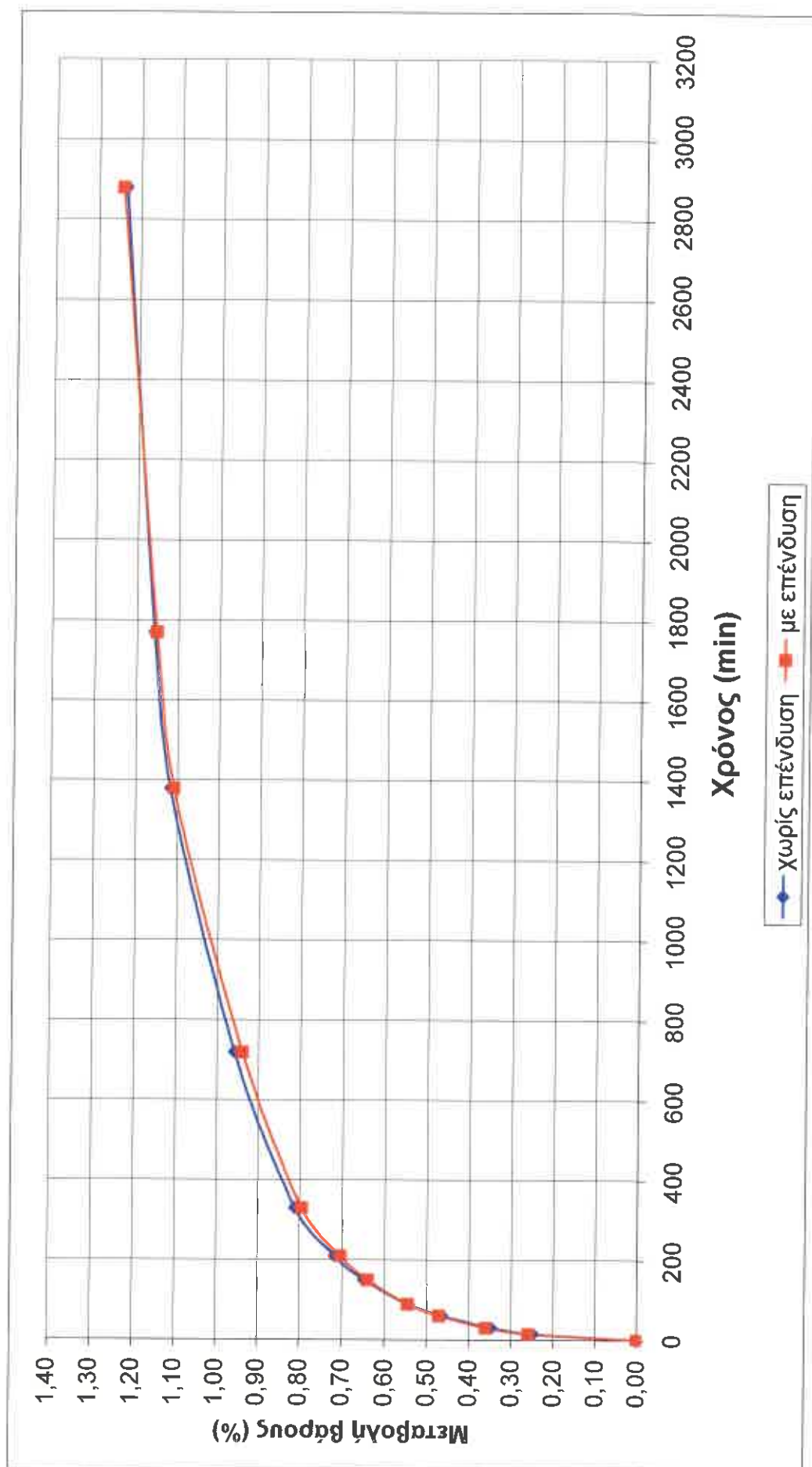
5.9 ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Στα διαγράμματα 40-44 απεικονίζεται η ποσοστιαία αύξηση του βάρους των κυβικών δοκιμίων (λόγω της απορρόφησης νερού) είτε σε συνάρτηση του χρόνου, μετρημένου σε λεπτά της ώρας, είτε σε συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου.

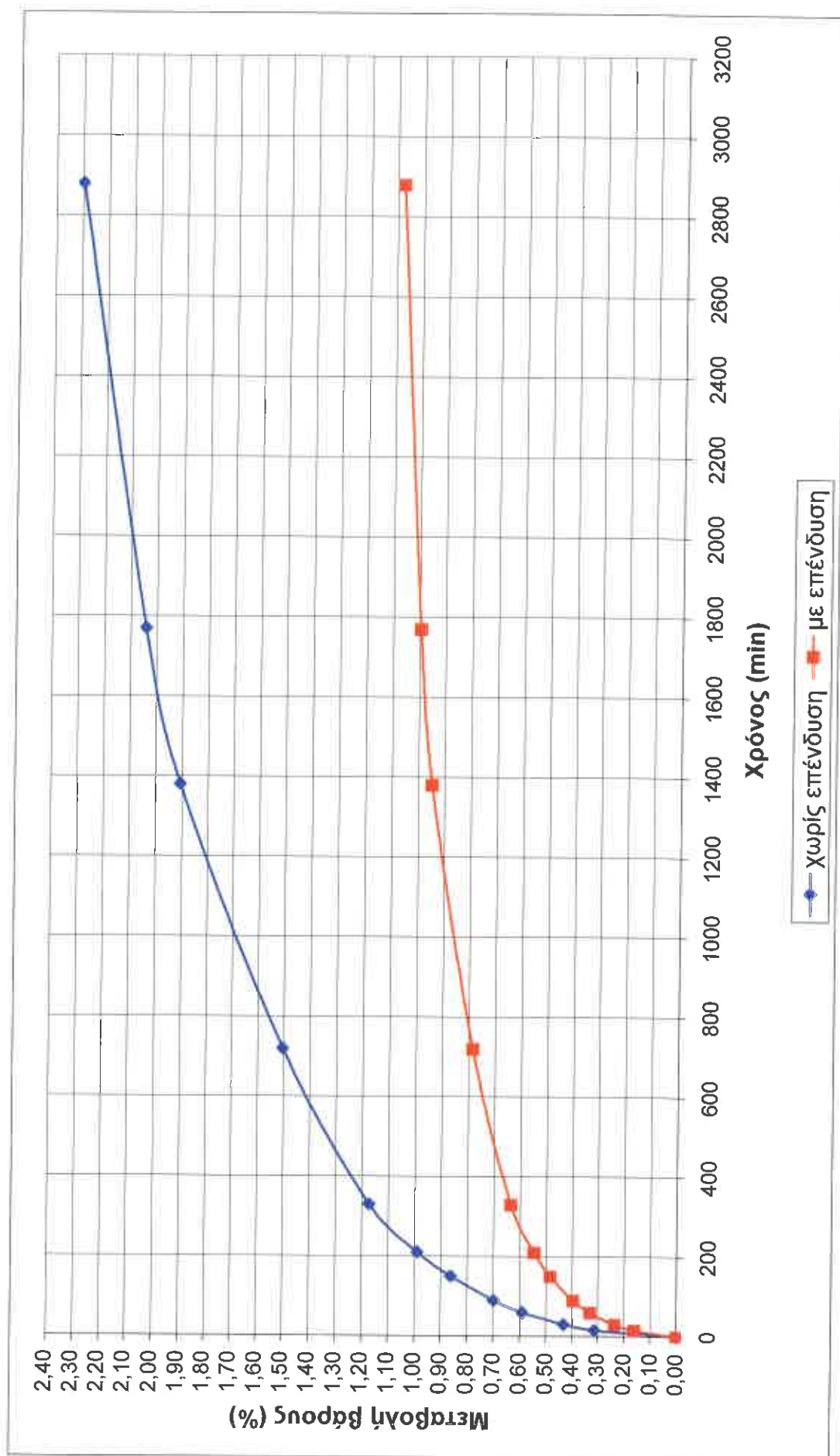
Τα ακόλουθα συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν από τα διαγράμματα αυτά:

- Τα δοκίμια με επένδυση παρουσίασαν σημαντικά μικρότερη μεταβολή στο βάρος λόγω υδαταπορρόφησης για τα μίγματα 0,505 , 0,70. Μικρή μεταβολή βάρους σημαίνει μικρότερη υδαταπορρόφηση επομένως μικρότερη διάμετρο τριχοειδών , μικρότερο πορώδες, και επομένως μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις διαβρωτικές δράσεις του περιβάλλοντος . Η δράση επομένως της επένδυσης είναι ιδιαίτερα θετική.
- Για την περίπτωση του μίγματος με λόγο $N/T=0,38$ η υδαταπορρόφηση δεν βρέθηκε να διαφέρει σημαντικά. Αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί αναμενόμενο αφού αυτό το μίγμα έχει ήδη μικρό πορώδες και επομένως το ύφασμα από πολυμερές δεν μπόρεσε να συμβάλει σημαντικά .
- Κάνοντας χρήση της επένδυσης για το μίγμα με λόγο $N/T=0,505$, επιτεύχθηκε απορρόφηση μικρότερη απ 'ότι στο μίγμα με λόγο $N/T=0,38$, χωρίς την επένδυση. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό αφού το μίγμα 0,38 είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη αλλά κρίνεται και αντιοικονομικό.
- Οι καμπύλες που δείχνουν την ποσοστιαία μεταβολή του βάρους σε συνάρτηση με το χρόνο, τείνουν να γίνουν παράλληλες με τον άξονα του χρόνου, όσο ο χρόνος αυξάνεται. Αυτό γίνεται γιατί κάποια στιγμή η μεταβολή βάρους του δοκιμίου θα έρθει σε ισορροπία και το νερό που θα εισέρχεται από τον πυθμένα του δοκιμίου θα είναι ίσο με αυτό που εξατμίζεται από την ελεύθερη επιφάνεια.
- Με το διάγραμμα 38 επιβεβαιώνεται ότι η υδαταπορρόφηση είναι συνάρτηση της μορφής :

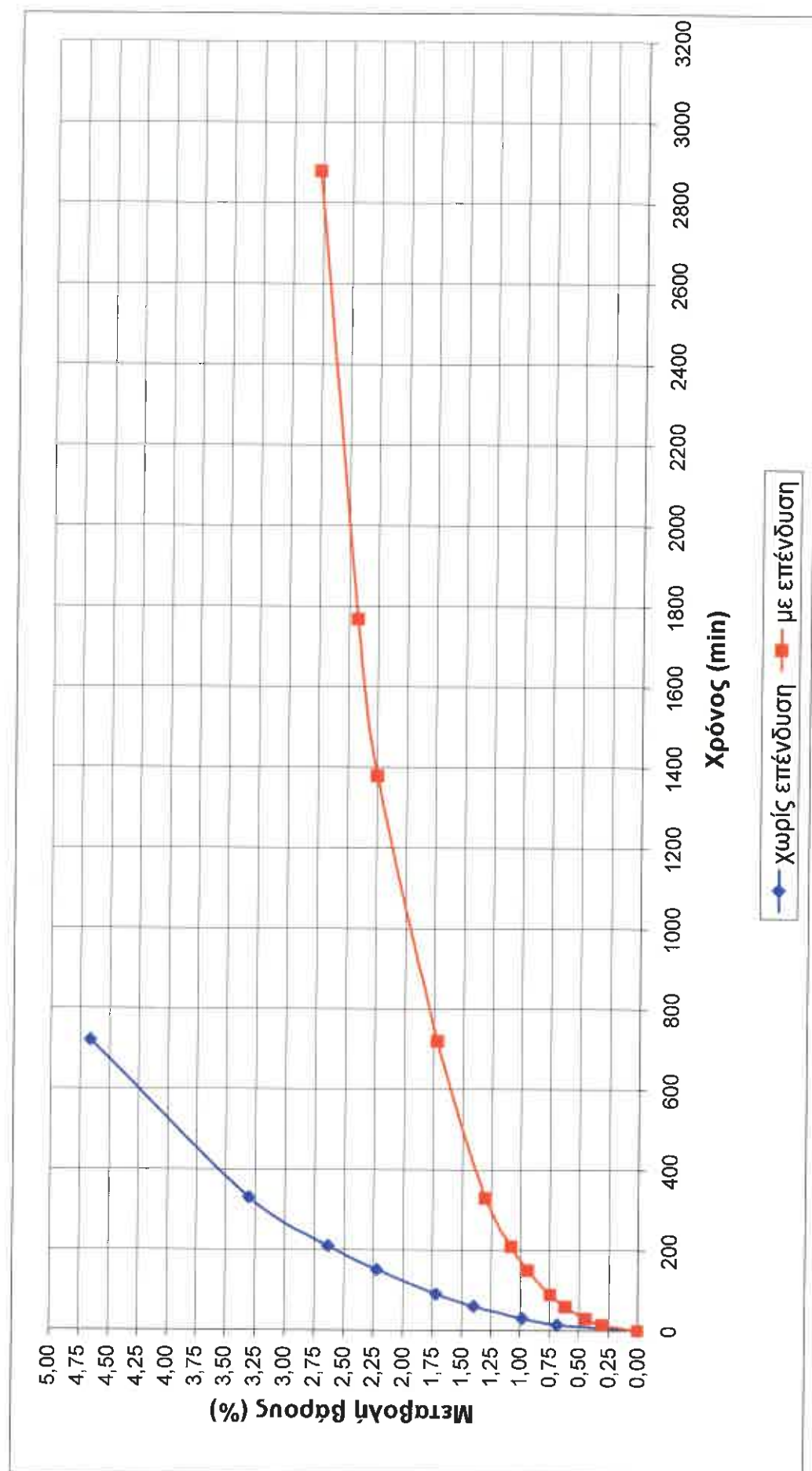
$$A = a\sqrt{t}$$



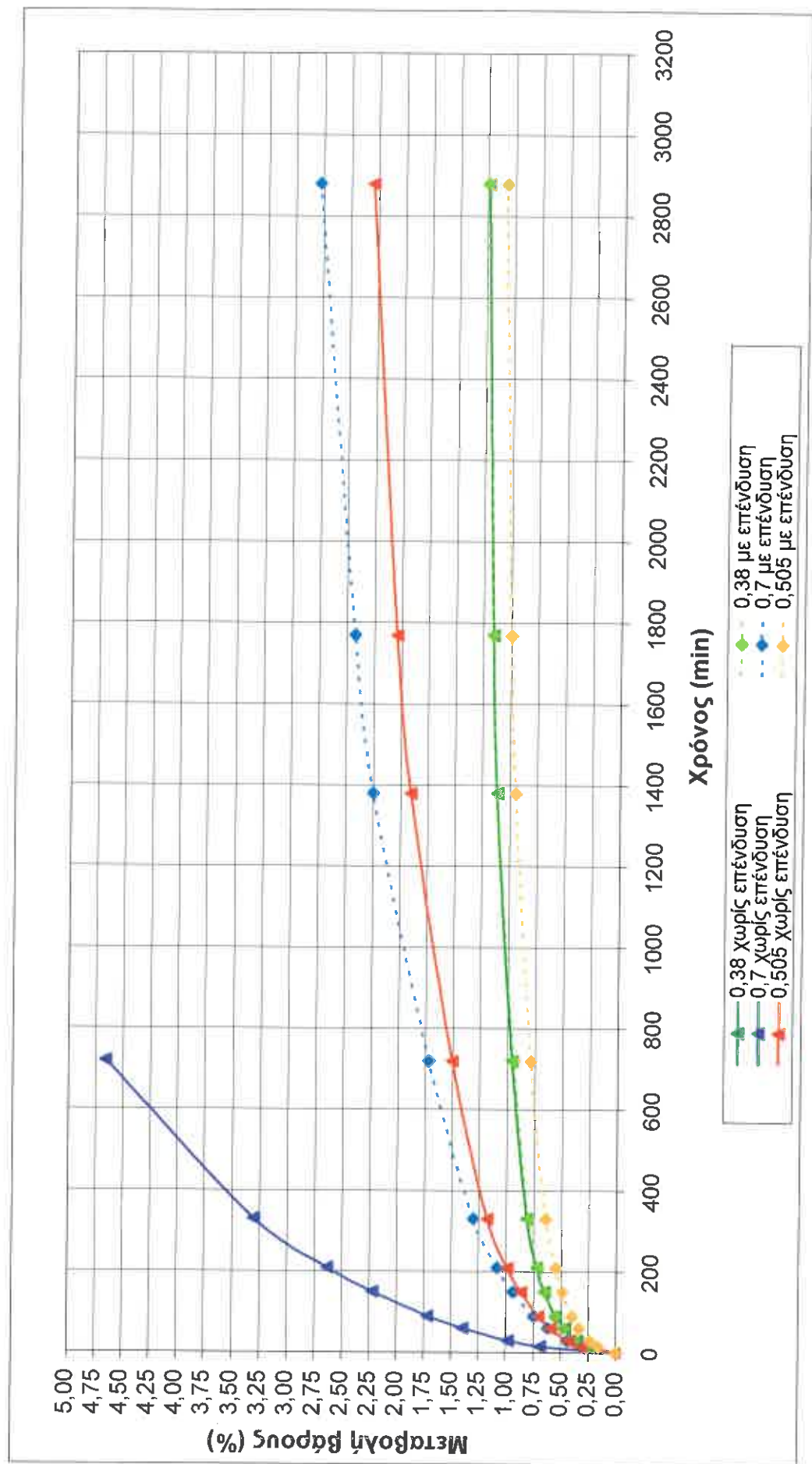
Διάγραμμα 40 : $N/T=0,38$. Ποσοστιαία μεταβολή του βάρους, λόγω υδάτ/σης, σε συνάρτηση με το χρόνο (κυβικά δοκίμια $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



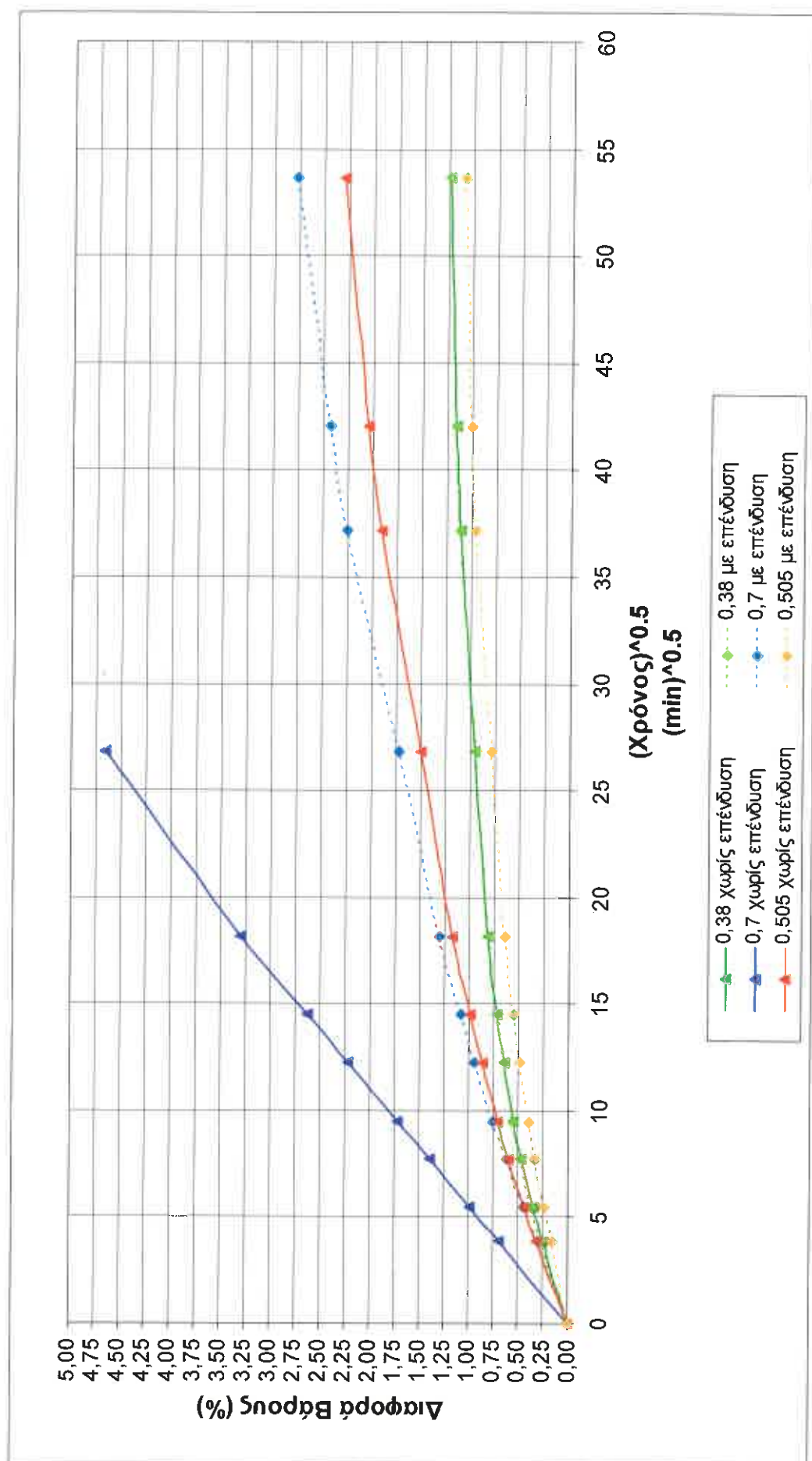
Διάγραμμα 41: $N/T=0,505$. Ποσοστιαία μεταβολή του βάρους, λόγω υδατ/ση, σε συνάρτηση με το χρόνο (κυβικά δοκίμια $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 42 : $N/T=0,70$. Ποσοστιαία μεταβολή του βάρους, λόγω υδατ/σης, σε συνάρτηση με το χρόνο (κυβικά δοκίμια $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 43 : Συνολικό. Ποσοστιαία μεταβολή του βάρους, λόγω υδατ/σης, σε συνάρτηση με το χρόνο (κυβικά δοκίμια $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)



Διάγραμμα 44 : Συνολικό. Ποσοστιαία μεταβολή του βάρους, λόγω υδατ/σης, σε συνάρτηση με τη τετρ. ρίζα του χρόνου (κυβικά δοκίμια 10x10x10 cm³)

5.10 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα πειράματα που προηγήθηκαν, έδειξαν ότι ο τρόπος συντήρησης με τα υφάσματα αυτά από πολυμερή υψηλής απορροφητικότητας εξασφάλισαν στο σκυρόδεμα μία επιφανειακή στρώση της τάξεως των 1-2 cm η οποία έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

- Μειωμένο πορώδες
- Μειωμένη αεροδιαπερατότητα
- Μειωμένη υδαταπορρόφηση
- Αυξημένη αντοχή σε θλίψη
- Αυξημένη αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη

Άρα οδηγούμαστε σε μια επικαλυπτική στρώση στο σκυρόδεμα η οποία παρουσιάζει αυξημένη **ανθεκτικότητα**.

Επιπλέον συμπεραίνουμε τα εξής :

- Η δοκιμή αεροδιαπερατότητας παρουσίασε σε πολλές περιπτώσεις μη αναμενόμενα αποτελέσματα. Αυτό συνέβη λόγω της εισροής αέρα από το πώμα που έφραζε τις οπές. Άρα η αεροδιαπερατότητα αποδείχθηκε ευαίσθητη στην εισροή αέρα.
- Το ύφασμα αυτό από πολυμερές προκάλεσε ανωμαλίες στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Οι ανωμαλίες αυτές οδήγησαν σε μειωμένη αντοχή, σε περίπτωση που οι επιφάνειες αυτές ακουμπούσαν στις πλάκες της πρέσας, όπως αποδείχθηκε και πειραματικά.

5.11 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Σε ότι αφορά την **πρακτική** εφαρμογή μιας τέτοιας διαδικασίας, θα πρέπει να γίνουν έρευνες, ώστε :

- Να μπορούν να τοποθετηθούν, τα υφάσματα αυτά από πολυμερή, μέσα στα καλούπια γρήγορα και ανέξοδα.
- Να παραμένουν πάνω στο σκυρόδεμα, μετά την αφαίρεση των ξυλοτύπων (ώστε να επενεργήσουν με τον τρόπο που προαναφέρθηκε).
- Να μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν όταν κριθεί απαραίτητο, χωρίς να δημιουργούν δυσμορφίες ή μειωμένη δυνατότητα επικόλλησης άλλων υλικών στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Σε ότι αφορά το **πειραματικό** μέρος, συστήνεται :

- Η παρασκευή περισσότερων δοκιμίων, για όλες τις δοκιμές.
- Η χρησιμοποίηση μεγαλύτερου αριθμού δειγμάτων στη δοκιμή του πορώδους.
- Ο προσδιορισμός του πάχους της στρώσης που παρουσιάζει τα βελτιωμένα αυτά χαρακτηριστικά. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με δοκιμές πορώδους σε διαφορετικές αποστάσεις από την επιφάνεια του δοκιμίου.
- Η αντικατάσταση των πωμάτων από καουτσούκ που χρησιμοποιήθηκαν για το σφράγισμα των οπών στη δοκιμή αεροδιαπερατότητας, με άλλα καταλληλότερα που θα σφραγίζουν ασφαλέστερα τις οπές.
- Η χρησιμοποίηση διαφόρων ειδών πολυμερών, τα οποία θα αποδομούνται σε διαφορετικούς χρόνους, προκειμένου να μελετηθεί σχολαστικότερα η επιρροή τους.
- Η εφαρμογή και σε μεγαλύτερα δοκίμια, έτσι ώστε να διερευνηθεί η επίδραση των πολυμερών και σε μεγαλύτερες επιφάνειες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ

Πριν τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων έγινε η στατιστική τους ανάλυση.

Για όλες τις δοκιμές, εκτός από αυτήν της υδαταπορρόφησης, υπολογίστηκε αρχικά ο μέσος όρος, η διακύμανση-τυπική απόκλιση, ενώ στη συνέχεια ελέγχθηκε η ομοιομορφία των μετρήσεων υπολογίζοντας τον συντελεστή μεταβλητότητας ($V(\%)$) για κάθε παρτίδα και για ομοειδή δοκίμια (με τον όρο ομοειδή δοκίμια εννοούνται δοκίμια του ίδιου μίγματος και για τον ίδιο τρόπο συντήρησης). Ο συντελεστής υπολογίστηκε με βάση τον τύπο :

$$V(\%) = \frac{s}{x_{\mu}} * 100\%$$

όπου s : η τυπική απόκλιση του δείγματος

x_{μ} : ο μέσος όρος

Κατόπιν, με χρήση του αρχείου “Ανάλυση Δεδομένων” του Microsoft Excel, έγινε στατιστικός έλεγχος t Student (έλεγχος t δύο δειγμάτων με υποτιθέμενες άνισες διακυμάνσεις), προκειμένου να ελεγχθεί αν υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στους δύο τρόπους συντήρησης. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [15] η διαφορά θεωρείται στατιστικώς σημαντική, για επίπεδο σημαντικότητας 0,05 (δηλαδή με πιθανότητα λάθους 5%), όταν :

$$|t_{\text{student}}| \geq t_{\text{κρίσιμο}}$$

Από αυτή τη διαδικασία εξαιρέθηκε η δοκιμή της αεροδιαπερατότητας, επειδή οι συντελεστές μεταβλητότητας προέκυψαν ιδιαιτέρως υψηλοί, οπότε περαιτέρω διερεύνηση κρίθηκε μη αναγκαία.

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται αναλυτικά τα παραπάνω.

Σημειώνονται τα εξής :

όπου χ_e : χωρίς επένδυση

μ_e : με επένδυση

$\chi, \chi\chi$ θέση : N/T θέση μέτρησης,

π, χ : 0,38 κάτω : αναφέρεται στο μίγμα με $N/T=0,38$ και

αφορά μέτρηση στο κάτω μέρος των δοκιμίων

Πίνακες 1-3 : Στατιστικά στοιχεία για την **αντοχή σε θλίψη** των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58

0,38 θλίψη	χε	με
Μέσος	49,67	43,01
Διακύμανση	0,627200	0,105800
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	1,594	0,756
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	11,0011	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0289	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,505 θλίψη	χε	με
Μέσος	37,82	31,73
Διακύμανση	0,211250	0,500000
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	1,215	2,229
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	10,2039	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0047	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,58 θλίψη	χε	με
Μέσος	30,41	23,29
Διακύμανση	0,378450	2,464200
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	2,023	6,740
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	5,9680	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0528	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 4 -5 : Στατιστικά στοιχεία για την **αντοχή σε θλίψη** των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,61 , 0,70

0,61 θλίψη	χε	με
Μέσος	26,50	26,98
Διακύμανση	0,451250	1,185800
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	2,535	4,036
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	-0,5361	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,3228	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
απολ.t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,70 θλίψη	χε	με
Μέσος	20,30	17,55
Διακύμανση	0,396050	0,387200
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	3,101	3,546
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	4,3864	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0241	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

Πίνακες 6 - 8 : Στατιστικά στοιχεία για την **αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη** των κυλινδρικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58

0,38 διάρρηξη	χε	με
Μέσος	15,67	14,78
Διακύμανση	1,281186	1,492961
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	7,222	8,268
Μέγεθος δείγματος	3	3
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	4	
t Student	0,9313	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,2022	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,1318	
t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,505 διάρρηξη	χε	με
Μέσος	11,89	13,96
Διακύμανση	0,143147	0,191673
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	3,182	3,135
Μέγεθος δείγματος	3	3
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	4	
t Student	-6,1996	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0017	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,1318	
απολ.t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,58 διάρρηξη	χε	με
Μέσος	9,40	12,71
Διακύμανση	0,924049	0,076031
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	10,230	2,170
Μέγεθος δείγματος	3	3
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	-5,7336	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0145	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
απολ.t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

Πίνακες 9 - 10 : Στατιστικά στοιχεία για την **αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη** των κυλινδρικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,61 , 0,70

0,61 διάρρηξη	χε	με
Μέσος	9,32	12,58
Διακύμανση	0,078679	0,983275
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	0,844	7,819
Μέγεθος δείγματος	3	3
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	-5,4642	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0159	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
απολ.t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,70 διάρρηξη	χε	με
Μέσος	8,47	10,43
Διακύμανση	1,138094	0,446948
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	12,593	6,411
Μέγεθος δείγματος	3	3
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	3	
t Student	-2,6917	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0372	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,3534	
απολ.t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

Πίνακες 11 - 13 : Στατιστικά στοιχεία για το **πορώδες στο κάτω μέρος** των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58

0,38 κάτω	χε	με
Μέσος	0,1764	0,1659
Διακύμανση	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	0,321	1,108
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	7,7198	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0410	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,505 κάτω	χε	με
Μέσος	0,1431	0,1416
Διακύμανση	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	2,273	7,890
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	0,1823	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,4426	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,58 κάτω	χε	με
Μέσος	0,1876	0,2050
Διακύμανση	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	4,900	1,138
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	-2,5872	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,1174	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
απολ.t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 14 - 15 : Στατιστικά στοιχεία για το πορώδες στο κάτω μέρος των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,61 , 0,70

0,61 κάτω	χ _ε	μ _ε
Μέσος	0,1922	0,1514
Διακύμανση	0,000145	0,000223
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	6,254	9,855
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	3,0152	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0473	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
t Student> κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,70 κάτω	χ _ε	μ _ε
Μέσος	0,1686	0,1785
Διακύμανση	0,000530	9,6 10 ⁻⁵
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	13,660	5,500
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	-0,5568	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,3383	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
απολ.t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 16 - 17 : Στατιστικά στοιχεία για το πορώδες στη μέση των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505

0,38 μέση	χ _ε	μ _ε
Μέσος	0,1816	0,1880
Διακύμανση	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	0,935	5,266
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	-0,9011	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,2665	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
απολ.t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,505 μέση	χ _ε	μ _ε
Μέσος	0,1836	0,1943
Διακύμανση	0,000447	$2,6 \cdot 10^{-5}$
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	11,516	2,620
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	-0,6991	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,3058	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
απολ.t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 18 - 19 : Στατιστικά στοιχεία για το πορώδες στη μέση των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,61 , 0,70

0,61 μέση	χε	με
Μέσος	0,2109	0,2214
Διακύμανση	0,000270	0,000354
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	0,128	0,160
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	-0,5950	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,3061	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
απολ.t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,70 μέση	χε	με
Μέσος	0,2058	0,1884
Διακύμανση	0,000260	0,000839
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	7,833	9,956
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	0,7441	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,2672	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
t Student< κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 20 - 22 : Στατιστικά στοιχεία για το πορώδες στην ελεύθερη επιφάνεια των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58

0,38 άνω	χε	με
Μέσος	0,1832	0,1750
Διακύμανση	0,000206	0,000167
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	7,835	7,394
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	0,6001	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,3047	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
t Student< κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,505 άνω	χε	με
Μέσος	0,2429	0,1657
Διακύμανση	0,000125	0,000677
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	4,600	15,704
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	3,8553	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0808	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student< κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,58 άνω	χε	με
Μέσος	0,2168	0,2092
Διακύμανση	$2,7 \cdot 10^{-5}$	0,000107
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	2,414	4,935
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	0,9286	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,2618	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student< κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 23 - 24 : Στατιστικά στοιχεία για το πορώδες στην ελεύθερη επιφάνεια των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,61 , 0,70

0,61 άνω	χε	με
Μέσος	0,2676	0,2231
Διακύμανση	4,1405E-05	8,712E-05
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	2,405	4,184
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	5,5449	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0155	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,70 άνω	χε	με
Μέσος	0,2402	0,1964
Διακύμανση	0,00068177	2,522E-05
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	10,870	2,557
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	2,3279	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,1291	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 25 - 27 : Στατιστικά στοιχεία για το πορώδες στην παράπλευρη επιφάνεια των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58

0,38 πλάι	χε	με
Μέσος	0,1858	0,1466
Διακύμανση	3,042E-05	0,00029282
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	2,968	11,673
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	3,0835	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0998	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student< κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,505 πλάι	χε	με
Μέσος	0,1798	0,1564
Διακύμανση	2,42E-06	1,25E-05
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	0,865	2,261
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	8,5673	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0370	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student> κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,58 πλάι	χε	με
Μέσος	0,1987	0,1649
Διακύμανση	2,645E-06	0,00023762
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	0,818	9,348
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	3,0792	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,1000	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student< κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 28 - 29 : Στατιστικά στοιχεία για το πορώδες στην παράπλευρη επιφάνεια των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,61 , 0,70

0,61 πλάι	χε	με
Μέσος	0,2290	0,1891
Διακύμανση	2E-06	3,92E-06
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	0,618	1,047
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	2	
t Student	23,1914	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0009	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,9200	
t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,70 πλάι	χε	με
Μέσος	0,1905	0,1720
Διακύμανση	8,9145E-05	0,00078957
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	4,956	16,337
Μέγεθος δείγματος	2	2
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	1	
t Student	0,8822	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,2699	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	6,3137	
t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 30-34 : Στατιστικά στοιχεία για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας (δηλαδή τον χρόνο σε sec που απαιτείται για αύξηση της πίεσης στις οπές από -55 KPa σε -50 KPa) στην ελεύθερη επιφάνεια των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58 , 0,61 , 0,70

0,38 άνω	χε	με
Μέσος	85,0	83,0
Τυπική απόκλιση	31,11270	2,82843
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	36,60317	3,40774

0,505 άνω	χε	με
Μέσος	36,0	35,5
Τυπική απόκλιση	-	12,02082
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	-	33,86145

0,58 άνω	χε	με
Μέσος	52,5	102,5
Τυπική απόκλιση	37,47666	106,77312
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	71,38411	0,00000

0,61 άνω	χε	με
Μέσος	41,5	42,5
Τυπική απόκλιση	9,19239	0,70711
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	22,15033	1,66378

0,7 άνω	χε	με
Μέσος	48,5	52,0
Τυπική απόκλιση	4,94975	18,38478
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	10,20566	35,35534

Πίνακες 35-39 : Στατιστικά στοιχεία για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας (δηλαδή τον χρόνο σε sec που απαιτείται για αύξηση της πίεσης στις οπές από –55 KPa σε –50 KPa) στο κάτω μέρος των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58 , 0,61 , 0,70

0,38 κάτω	Χε	με
Μέσος	172,5	88,5
Τυπική απόκλιση	55,86144	0,70711
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	32,38344	0,79899

0,505 κάτω	Χε	με
Μέσος	-	22,5
Τυπική απόκλιση	-	2,12132
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	-	9,42809

0,58 κάτω	Χε	με
Μέσος	47,0	69,5
Τυπική απόκλιση	-	24,74874
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	-	35,60969

0,61 κάτω	Χε	με
Μέσος	33,5	20,0
Τυπική απόκλιση	0,70711	-
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	2,11077	-

0,7 κάτω	Χε	με
Μέσος	52,0	35,0
Τυπική απόκλιση	4,24264	-
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	8,15892	-

Πίνακες 40-44 : Στατιστικά στοιχεία για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας (δηλαδή τον χρόνο σε sec που απαιτείται για αύξηση της πίεσης στις οπές από –55 KPa σε –50 KPa) στην παράπλευρη επιφάνεια των κυβικών δοκιμίων της πρώτης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58 , 0,61 , 0,70

0,38 πλάι	χ _ε	μ _ε
Μέσος	101,3	97,4
Τυπική απόκλιση	64,29072	19,09188
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	63,47462	19,60656

0,505 πλάι	χ _ε	μ _ε
Μέσος	38,3	35,6
Τυπική απόκλιση	20,00833	15,96416
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	52,19565	44,79740

0,58 πλάι	χ _ε	μ _ε
Μέσος	30,8	47,9
Τυπική απόκλιση	9,07377	16,09809
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	29,42845	33,58766

0,61 πλάι	χ _ε	μ _ε
Μέσος	43,5	47,3
Τυπική απόκλιση	11,41344	16,99356
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	26,23780	35,95252

0,7 πλάι	χ _ε	μ _ε
Μέσος	51,7	51,5
Τυπική απόκλιση	13,69811	20,38633
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	26,47830	39,61470

Πίνακες 45 - 47 : Στατιστικά στοιχεία για **αντοχή σε θλίψη** των κυλινδρικών δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58

0,38 θλίψη	Χε	με
Μέσος	41,00	44,67
Διακύμανση	0,376699	5,278361
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	1,497	5,144
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	3	
t Student	-3,0813	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0270	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,3534	
απολ.t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,505 θλίψη	Χε	με
Μέσος	33,75	39,13
Διακύμανση	1,143768	1,264853
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	3,169	2,874
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	6	
t Student	-6,9283	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0002	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1,9432	
απολ.t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,58 θλίψη	Χε	με
Μέσος	25,01	28,21
Διακύμανση	1,463834	3,299382
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	4,838	6,439
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	5	
t Student	-2,9315	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0163	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,0150	
απολ.t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

Πίνακες 48 - 49 : Στατιστικά στοιχεία για **αντοχή σε θλίψη** των κυλινδρικών δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας για τα μίγματα 0,61 , 0,70

0,61 θλίψη	χε	με
Μέσος	17,97	21,37
Διακύμανση	0,243549	0,234133
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	2,745	2,263
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	6	
t Student	-9,8282	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,00003	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1,9432	
απολ.t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,70 θλίψη	χε	με
Μέσος	17,49	21,51
Διακύμανση	0,064670	0,542865
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	1,455	3,427
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	4	
t Student	-10,2993	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0003	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,1318	
απολ.t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

Πίνακες 50 - 52 : Στατιστικά στοιχεία για το πορώδες στη μέση των κυλινδρικών δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58

0,38 μέση	χε	με
Μέσος	0,1750	0,1871
Διακύμανση	0,000535	0,000055
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	13,213	3,967
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	4	
t Student	-0,9923	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,1886	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,1318	
απόλ. t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,505 μέση	χε	με
Μέσος	0,1806	0,1727
Διακύμανση	0,000323	0,000160
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	9,948	7,333
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	5	
t Student	0,7187	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,2522	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,0150	
t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,58 μέση	χε	με
Μέσος	0,2205	0,1998
Διακύμανση	0,000727	0,000028
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	12,231	2,645
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	3	
t Student	1,5084	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,1143	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,3534	
t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 53 - 54 : Στατιστικά στοιχεία για **το πορώδες στη μέση** των κυλινδρικών δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας για τα μίγματα 0,61 , 0,70

0,61 μέση	χε	με
Μέσος	0,2139	0,2016
Διακύμανση	0,000577	0,000585
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	11,227	12,001
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	6	
t Student	0,7202	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,2492	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1,9432	
t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,70 μέση	χε	με
Μέσος	0,1931	0,1707
Διακύμανση	0,000418	0,000040
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	10,588	3,725
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	4	
t Student	2,0882	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0525	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,1318	
t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

Πίνακες 55 - 57 : Στατιστικά στοιχεία για το πορώδες στην παράπλευρη επιφάνεια των κυλινδρικών δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58

0,38 πλάι	χε	με
Μέσος	0,1868	0,1934
Διακύμανση	0,000242	0,000225
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	8,332	7,750
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	6	
t Student	-0,6132	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,2811	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1,9432	
απόλ.t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,505 πλάι	χε	με
Μέσος	0,1768	0,1676
Διακύμανση	0,000094	0,000224
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	5,469	8,920
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	5	
t Student	1,0333	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,1744	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,0150	
απόλ.t Student<t κρίσιμο Άρα	Διαφορά όχι σημαντική	

0,58 πλάι	χε	με
Μέσος	0,2368	0,1959
Διακύμανση	0,000509	0,000232
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	9,527	7,785
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	5	
t Student	3,0095	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0149	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	2,0150	
t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

Πίνακες 58 - 59 : Στατιστικά στοιχεία για το πορώδες στην παράπλευρη επιφάνεια των κυλινδρικών δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας για τα μίγματα 0,61 , 0,70

0,61 πλάι	χε	με
Μέσος	0,2373	0,1931
Διακύμανση	0,000180	0,000219
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	5,662	7,666
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	6	
t Student	4,4201	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0022	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1,9432	
t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

0,70 πλάι	χε	με
Μέσος	0,2074	0,1611
Διακύμανση	0,000399	0,000322
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	9,633	11,145
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	6	
t Student	3,4458	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0069	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1,9432	
t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

Πίνακες 60-64 : Στατιστικά στοιχεία για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας (δηλαδή τον χρόνο σε sec που απαιτείται για αύξηση της πίεσης στις οπές από -55 KPa σε -50 KPa) στην ελεύθερη επιφάνεια των κυβικών δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58 , 0,61 , 0,70

0,38 άνω	χε	με
Μέσος	199,0	248,0
Τυπική απόκλιση	36,7696	36,7696
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	18,477	14,826

0,505 άνω	χε	με
Μέσος	73,0	139,0
Τυπική απόκλιση	15,5563	45,2548
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	21,310	32,557

0,58 άνω	χε	με
Μέσος	135,5	191,0
Τυπική απόκλιση	19,0919	48,0833
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	14,090	25,174

0,61 άνω	χε	με
Μέσος	142,5	188,0
Τυπική απόκλιση	3,5355	12,7279
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	2,481	6,770

0,70 άνω	χε	με
Μέσος	162,0	160,5
Τυπική απόκλιση	8,4853	10,6066
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	5,238	6,608

Πίνακες 65-69 : Στατιστικά στοιχεία για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας (δηλαδή τον χρόνο σε sec που απαιτείται για αύξηση της πίεσης στις οπές από –55 KPa σε –50 KPa) στο κάτω μέρος των κυβικών δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58 , 0,61 , 0,70

0,38 κάτω	χε	με
Μέσος	153,0	252,5
Τυπική απόκλιση	32,5269	92,6310
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	21,259	36,686

0,505 κάτω	χε	με
Μέσος	117,0	140,5
Τυπική απόκλιση	53,7401	55,8614
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	45,932	39,759

0,58 κάτω	χε	με
Μέσος	143,0	167,0
Τυπική απόκλιση	26,8701	28,2843
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	18,790	16,937

0,61 κάτω	χε	με
Μέσος	133,5	177,5
Τυπική απόκλιση	27,5772	12,0208
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	20,657	6,772

0,70 κάτω	χε	με
Μέσος	144,5	155,5
Τυπική απόκλιση	6,3640	6,3640
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	4,404	4,093

Πίνακες 70-74 : Στατιστικά στοιχεία για την ένδειξη της αεροδιαπερατότητας (δηλαδή τον χρόνο σε sec που απαιτείται για αύξηση της πίεσης στις οπές από –55 KPa σε –50 KPa) στην παράπλευρη επιφάνεια των κυβικών δοκιμίων της δεύτερης παρτίδας για τα μίγματα 0,38 , 0,505 , 0,58 , 0,61 , 0,70

0,38 πλάι	χε	με
Μέσος	204,5	182,35714
Τυπική απόκλιση	46,409769	39,415542
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	22,694264	21,614477

0,505 πλάι	χε	με
Μέσος	99,5	122,9375
Τυπική απόκλιση	28,277199	48,592824
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	28,419296	39,526445

0,58 πλάι	χε	με
Μέσος	140,9375	162,375
Τυπική απόκλιση	21,922496	37,210886
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	15,554764	22,916635

0,61 πλάι	χε	με
Μέσος	142,35714	189,75
Τυπική απόκλιση	17,194961	25,399475
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	12,078748	13,385758

0,70 πλάι	χε	με
Μέσος	143,625	167,375
Τυπική απόκλιση	8,8232647	23,087876
Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	6,1432652	13,7941

Πίνακας 75 : Στατιστικά στοιχεία για την αντοχή σε θλίψη των κυβικών δοκιμίων της τρίτης παρτίδας για το μίγμα 0,505 (μισές παράπλευρες επιφάνειες με επένδυση, μισές χωρίς)

0,505	Πλευρές χε	Πλευρές με
Μέσος	44,92	34,47
Διακύμανση	1,0478	0,8576
Συντελεστής μεταβλητότητας(%)	2,27891854	2,68643252
Μέγεθος δείγματος	4	4
Υποτιθέμενη διαφορά μέσων	0	
βαθμοί ελευθερίας	6	
t Student	15,1335	
P(T<=t) μονόπλευρη	0,0000026	
t κρίσιμο, μονόπλευρο	1,9432	
t Student>t κρίσιμο Άρα	Διαφορά σημαντική	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Χ.Μ.Οικονόμου, “Τεχνολογία του σκυροδέματος” , Εκδόσεις “ΣΕΛΚΑ – 4Μ”, Αθήνα 2003
2. Θ.Π. Τάσιος, Κ. Αλιγιζάκη, “Ανθεκτικότητα ωπλισμένου σκυροδέματος”, Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα 1993
3. A.M. Neville, “Properties of Concrete”, Fourth Edition, 1995
4. N. Jackson, R.K Dhir, “Civil Engineering Materials”, Fifth Edition, 1996
5. J. Newman, Ban Seng Choo, “Advanced Concrete Technology, Concrete Properties”, Elsevier Butterworth Heineman, 2003
6. ΕΛΟΤ EN 933.01 : Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών- Μέρος 1: Προσδιορισμός του διαγράμματος κοκκομετρίας-μέθοδος με κόσκινα
7. EN 1097-6:2000: Tests for mechanical and physical properties of aggregates- Part 6: Determination of particle density and water absorption
8. Κ. Γεωργίου, “Ανθεκτικότητα Σκυροδέματος (Στοιχεία) και Ελληνικές Πρακτικές Κατασκευής”, Περίληψη ομιλίας από ημερίδα με θέμα “Θέματα Τεχνολογίας Σκυροδέματος και Δομικών Χαλύβων με τα Νέα Ευρωπαϊκά Πρότυπα ΕΛΟΤ EN”, 2004
9. Σ. Κόλλιας “Προχωρημένη Τεχνολογία Σκυροδέματος”, Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος Δ.Π.Μ.Σ “Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Κατασκευών”, 2001
10. “Materials and structures”, 1994, 27, 265-272 / S. Kolias ”Investigation of the possibility of estimating concrete strength by porosity measurements”,
11. Σ. Τσίμας, Σ.Τσιβιλής “Επιστήμη και τεχνολογία Τσιμέντου”, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2003
12. P.J. Tikalsky, B. Mather, J. Olek “Concrete Durability”
13. www.hcia.gr, Ιστοσελίδα ένωσης τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος
14. Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ – 97 και η προσαρμογή 2002)
15. Π. Κουφόπουλος, “ Θέματα Τεχνολογίας Σκυροδέματος”, Διαλέξεις Αθήνα, 1988
16. Sandor Popovics “Strength and related properties of concrete”, John Wiley & Sons inc, 1998

17. ΕΛΟΤ EN 12390.03 : Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος- Μέρος 3 : Αντοχή σε θλίψη
18. ΕΛΟΤ EN 196-3 : Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου – Μέρος 3: Προσδιορισμός χρόνου πήξης και σταθερότητας όγκου
19. ΕΛΟΤ EN 196-2 : Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου-Μέρος 2 : Χημική ανάλυση τσιμέντου
20. Σ. Κόλιας – Α.Λοίζος, , “Σημειώσεις Οδοστρωμάτων”, Αθήνα 1999
21. J.H. Bungey, “Testing of concrete in structures”, 2nd Edition, Surrey University Press, 1987