

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΣΤ. ΚΟΛΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ
ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ
ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ
ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ**

ΣΤΟΥΚΑ ΟΛΓΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 1998

στους γονείς μου

Ευχαριστώ την ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ
ΕΛΛΑΔΟΣ για την παραχώρηση του Εργαστηρίου
της, στο οποίο πραγματοποιήθηκε μεγάλο μέρος
των πειραμάτων.

Ευχαριστώ θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή
Ε.Μ.Π. κ. ΣΤΕΛΙΟ ΚΟΛΙΑ για τη σημαντική βοήθεια
και συμπαράστασή του, αλλά και για τη συνεχή
και πολύτιμη επιστημονική του καθοδήγηση.

Ευχαριστώ επίσης, τις Πολιτικούς
Μηχανικούς ΜΑΡΘΑ ΚΑΤΣΑΚΟΥ και ΠΕΠΗ ΚΥΡΚΙΛΗ
για την υποστήριξη και τη βοήθεια που μου
προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της
διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, για την ηθική τους συμπαράσταση, θα
ήθελα να ευχαριστήσω τον ΔΗΜΗΤΡΗ ΚΑΡΑΤΖΕΝΗ,
και τους αδελφούς μου ΞΕΝΟΦΩΝΤΑ και
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛ.
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ	6
2. ΣΥΝΔΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	10
2.1 ΤΣΙΜΕΝΤΟ	12
2.2 ΠΟΥΖΟΛΑΝΕΣ	21
2.3 ΑΣΒΕΣΤΟΣ	23
3. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	26
3.1 ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	33
3.2 ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	37
3.3 ΑΣΒΕΣΤΟΠΟΥΖΟΛΑΝΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	42
3.4 ΑΣΒΕΣΤΟΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	43
4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	45
5. ΕΜΜΕΣΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	53
5.1 ΓΕΝΙΚΑ	53
5.2 ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΤΑΣΣΙΟΥ, ΒΑΧΛΙΩΤΗ ΚΑΙ ΣΠΑΝΟΥ	54

5.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ CUCCI-MORETTI	56
5.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ	58
5.5 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ	61
5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	62
6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	63
6.1 ΓΕΝΙΚΑ	63
6.2 ΥΛΙΚΑ	64
6.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	71
6.3.1 Παρασκευή	71
6.3.2 Συντήρηση	71
6.4 ΔΟΚΙΜΕΣ	72
6.4.1 Διάτρηση	72
6.4.2 Δοκιμή σε θλίψη	75
6.5 ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΙΓΜΑΤΩΝ	77
7. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	80
8. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	101
8.1 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	101
8.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ - ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ	103
8.2.1 Γενικά	103
8.2.2 Μετρήσεις με επιβαλλόμενη δύναμη $P=185N$ και διάμετρο τρυπανιού $D=4mm$	103
8.2.3 Μετρήσεις με επιβαλλόμενη δύναμη $P=64N$ και διάμετρο τρυπανιού $D=5mm$	107

8.2.4 Δευτερεύουσα έρευνα - Μεταβολή της αντοχής τσιμεντοπολτού εντός της μάζας του δοκιμίου	113
8.2.5 Δευτερεύουσα έρευνα - Μέτρηση σκληρότητας άμμου	114
9. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	116
9.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	116
9.2 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	118
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	119

1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

Η τοιχοποιία είναι ένα δομικό στοιχείο που παρουσιάζει μεγάλη ετερογένεια. Αποτελείται από τους λίθους και το κονίαμα της τοιχοποιίας.[2]

Αρμό ονομάζουμε τον μεταξύ των λίθων χώρο που γεμίζει με κονίαμα, υπάρχουν δε οριζόντιοι και κάθετοι αρμοί. Οι κάθετοι αρμοί αυξάνουν την πρόσφυση των τούβλων μεταξύ τους και δημιουργούν καλύτερη κατανομή πιέσεων.

Στρώση ονομάζουμε μία σειρά τούβλων που τοποθετήθηκαν κατά το κτίσιμο σύμφωνα με τους κανόνες της τοιχοποιίας.[9] Η τοιχοποιία κατασκευάζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι κατακόρυφοι αρμοί από στρώση σε στρώση να παρουσιάζουν οριζόντια μετάθεση.[2]

Στις τοιχοποιίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξής λίθοι:

- φυσικοί λίθοι (λαξευμένοι ή μη), ασβεστόλιθοι κ.λ.π.
- οπτόπλινθοι (τούβλα)
- τιμεντόλιθοι και λίθοι από αεροσκυρόδεμα (αφρομπετόν) καθώς και άλλοι τεχνητοί λίθοι.

Οικοδομικά στοιχεία που μοιάζουν με τοίχους αλλά εκτός από το ίδιο βάρος τους και τον άνεμο δεν υπόκεινται σε άλλου είδους φορτίσεις, μπορούν να κατασκευαστούν και από υαλότουβλα.

Εκτός από τους παραπάνω, αναπτύσσονται συνεχώς νέα είδη λίθων έτσι ώστε:

- οι λίθοι να κατασκευάζονται οικονομικότερα
- να βελτιώνεται η φέρουσα ικανότητα και η θερμομόνωση της τοιχοποιίας.

Η τοιχοποιία, όπως και όλα τα δομικά στοιχεία ενός τοίχου, επιτελεί πολλαπλή εργασία. Πρέπει [2]:

- να φέρει τα φορτία λόγω ιδίου βάρους καθώς και κινητά φορτία
- να δέχεται παραμορφώσεις από φορτία αλλά και από μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας κατά το δυνατό χωρίς να ρηγματώνεται
- να παρουσιάζει επαρκείς θερμομονωτικές ιδιότητες
- να αποθηκεύει προσωρινά την υπερβολική εσωτερική υγρασία και να τη διοχετεύει προς τα έξω
- να εμποδίζει τη διείσδυση της εξωτερικής υγρασίας
- να μειώνει επαρκώς τη ροή ρευμάτων αέρα από έξω προς τα μέσα καθώς και μέσα, από τον ένα χώρο στον άλλον
- να παρέχει όσο το δυνατό μεγαλύτερη αντίσταση στη φωτιά, διατηρώντας ταυτόχρονα για όσο πιο μεγάλο διάστημα γίνεται τη φέρουσα ικανότητά του.

Επειδή η τοιχοποιία με το συνδυασμό διαφορετικών λίθων και διαφορετικών κονιαμάτων μπορεί να κατασκευαστεί έτσι, ώστε να παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα ιδιοτήτων, με τις οποίες να μπορεί να αντεπεξέλθει στις παραπάνω απαιτήσεις, στη Γερμανία [2] χρησιμοποιείται για την κατασκευή του 90% περίπου των οικοδομημάτων στις οικοδομές κατοικιών και του 85% των οικοδομημάτων στις οικοδομές γενικά.

Όλες οι τοιχοποιίες υπόκεινται συνήθως σε θλίψη και όπως ήταν φυσικό, δόθηκε ιδιαίτερο ενδιαφέρον στον καθορισμό της θλιπτικής τους αντοχής. Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας είναι [1]:

- η αντοχή και η γεωμετρία των λιθοσωμάτων
- η αντοχή του κονιάματος
- οι παραμορφώσεις των λιθοσωμάτων και του κονιάματος
- το πάχος του αρμού
- η υδρο-απορροφητικότητα των λιθοσωμάτων
- το σύστημα δομήσεως

Από τυποποιημένες δοκιμές της τοιχοποιίας σε θλίψη (παρ' όλο που δεν αναπαράγουν με ακρίβεια την ένταση όλων των πραγματικών περιπτώσεων της πράξεως), παρατηρήθηκε ότι η θλιπτική αντοχή της

τοιχοποιίας f_{wc} συνδέεται με την θλιπτική αντοχή του κονιάματος f_{mc} με την εμπειρική σχέση:

$$f_{wc} = \sqrt[4]{f_{mc}} \text{ (MPa)} \quad (\text{Hendry, 1981})$$

Επειδή στην τοιχοποιία το κονίαμα και οι λίθοι καταπονούνται διαφορετικά απ' ό,τι αν εξεταζόταν το κάθε υλικό χωριστά, είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί η αντοχή της τοιχοποιίας από την αντοχή των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν από πολλούς ερευνητές εμπειρικές σχέσεις που όμως εξαιτίας των πολύ διαφορετικών προϋποθέσεων για τις δοκιμές, παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. Στην πράξη είναι αρκετά χρήσιμη η παρακάτω σχέση του Brocker [2]:

$$\beta_{mw} = 0,68 \sqrt[3]{\beta_{mo}} \cdot \sqrt{\beta_{st}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

όπου: β_{mw} είναι η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας (N/mm^2)

β_{mo} είναι η θλιπτική αντοχή του κονιάματος (N/mm^2)

β_{st} είναι η θλιπτική αντοχή του λίθου (N/mm^2)

Από τις παραπάνω σχέσεις, προκύπτει ότι ο προσδιορισμός της αντοχής του κονιάματος είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη διερεύνηση της φέρουσας ικανότητας των τοιχοποιιών. Η φέρουσα ικανότητα της τοιχοποιίας εκτιμάται συνήθως με μηχανικές μεθόδους, όπως είναι π.χ. οι δοκιμαστικές φορτίσεις σε μεγάλα τμήματα τοιχοποιίας που γίνονται στο εργαστήριο. Έχουν όμως αυξημένο κόστος και περιορισμένη εφαρμογή.[11]

Επειδή ακριβώς δεν υπάρχουν προς το παρόν αξιόπιστες και πρακτικές μέθοδοι, με τις οποίες να προσδιορίζεται η φέρουσα ικανότητα των τοιχοποιιών στις υπάρχουσες κατασκευές, το θέμα αυτό αποτελεί σήμερα ένα ευρύ ερευνητικό αντικείμενο.

Τον Απρίλιο του 1991 συνήλθε για πρώτη φορά, με πρόεδρο τον A.W. Hendry μία τεχνική επιτροπή εμπειρογνομόνων, η οποία συστάθηκε από τη RILEM (Reunion Internationale de Laboratoires d' Essais et de Recherches sur les Materiaux et les Constructions) και ασχολείται με υλικά και

τοιχοποιίες. Σημερινή πρόεδρος της επιτροπής της RILEM C127-MS είναι η L. Binda, καθηγήτρια του Πολυτεχνείου του Μιλάνου.

Στόχος της επιτροπής είναι η ανάπτυξη διεθνούς συμφωνίας και η έκδοση προδιαγραφών για τις δοκιμές σχετικά με τις τοιχοποιίες, για τα εξής αντικείμενα [14]:

- συμπεριφορά κατά τη λειτουργία
- ανθεκτικότητα, επί τόπου εκτίμηση
- μη καταστρεπτικές μέθοδοι.

Επειδή, όπως προαναφέρθηκε, η τοιχοποιία κατασκευάζεται με έναν τεράστιο αριθμό δυνατών συνδυασμών λίθων και κονιαμάτων, το έργο της επιτροπής είναι ιδιαίτερα δύσκολο λόγω του ευρύτατου αντικειμένου της, αλλά και λόγω της μεγάλης του πολυπλοκότητας.

Ειδικά όταν πρόκειται για μεθόδους αξιολόγησης βλαβών σε υπάρχουσες τοιχοποιίες και ιδιαίτερα σε ιστορικά κτίρια, παρουσιάζονται πρόσθετες δυσκολίες όπως:

- προσδιορισμός σύνθεσης και υφής της τοιχοποιίας, λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων για έλεγχο των συστατικών
- μέθοδοι ελέγχου για κονιάματα με βάση την υδράσβεστο
- μέθοδοι ελέγχου των ιδιοτήτων των αδρανών
- μηχανισμοί φυσικής και χημικής φθοράς των επιφανειών των τοιχοποιιών
- επιτόπου μη καταστρεπτική αξιολόγηση των τοιχοποιιών
- έλεγχος αποδοτικότητας των τεχνικών επισκευής και ενίσχυσης.

2. ΣΥΝΔΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ονομάζουμε συνδετική ύλη ή συνδετική κονία κάθε υλικό, που με κατάλληλη προεργασία, μπορεί να γίνει πλαστικό και το οποίο εκδηλώνει συγκολλητικές ιδιότητες, στερεοποιούμενο βαθμιαία, έως ότου σχηματίσει σκληρή και συμπαγή μάζα.

Οι περισσότερες συνδετικές ύλες γίνονται πλαστικές και εμφανίζουν συγκολλητικές ιδιότητες, όταν αναμιχθούν με νερό. Στερεοποιούνται δε είτε λόγω εξατμίσεως του νερού, όπως π.χ. η πηλοκονία, είτε λόγω χημικών αντιδράσεων, όπως π.χ. η άσβεστος και το τσιμέντο. Εν ξηρώ, δηλαδή χωρίς την προσθήκη νερού, οι παραπάνω κονίες δεν παρουσιάζουν συνδετικές ιδιότητες. Αντίθετα άλλες κονίες όπως π.χ. οι ασφατικές, γίνονται πλαστικές όταν θερμανθούν, και σκληραίνουν όταν ψυχθούν. Άλλες, όπως οι συνθετικές κονίες, βρίσκονται σε υγρή κατάσταση και στερεοποιούνται λόγω χημικών αντιδράσεων.[4] Οι κονίες παράγονται ως επί το πλείστον κατόπιν βιομηχανικής επεξεργασίας.[5]

Το μίγμα κονίας-νερού καλείται πολτός. Η ποσότητα του νερού με την οποία πρέπει να αναμιχθούν οι κονίες εξαρτάται από το είδος της κονίας, από τις συνθήκες που επικρατούν κατά την επεξεργασία (υγρασία και θερμότητα περιβάλλοντος) και από τις ιδιότητες που επιζητούμε να έχει ο πολτός.

Οι κονίες διακρίνονται σε κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευση και τον τρόπο πήξεώς τους [4]:

1. Ανάλογα με την προέλευση

- Φυσικές κονίες. Αυτές βρίσκονται ελεύθερες στη φύση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως, χωρίς καμία κατεργασία. Παράδειγμα η πηλοκονία, η πουζολάνη (θηραϊκή γη) κ.λ.π.
- Τεχνητές κονίες. Για την παρασκευή τους είναι απαραίτητη η επέμβαση του ανθρώπου, ο οποίος με κατάλληλες χημικές ή φυσικές

μεθόδους τις απομονώνει από άλλα υλικά ή τις παρασκευάζει συνθετικά. Κονίες αυτού του είδους είναι η άσβεστος, το τσιμέντο, τα διάφορα ασφαλτικά υλικά κ.α.

2. Ανάλογα του τρόπου πήξεως

- Αερικές. Ξηραίνονται ή πήζουν μόνο όταν έρθουν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Π.χ. η πηλοκονία, η άσβεστος κ.λ.π. Χρησιμοποιούνται σε επιφανειακές κατασκευές. Μέσα σε υγρό περιβάλλον δεν αντέχουν ακόμη και οι σκληρυνθείσες αερικές κονίες. [5]
- Υδραυλικές. Μπορούν να σκληρυνθούν μέσα στο νερό όπως π.χ. το τσιμέντο. Η ιδιότητα που έχουν οι κονίες αυτές να πήζουν μέσα στο νερό ονομάζεται υδραυλικότης και οφείλεται στην ειδική χημική τους σύσταση. Οι υδραυλικές κονίες μετά την ανάμειξή τους με νερό προς σχηματισμό πολτού μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αερικές. Μπορούν δηλαδή να σκληρυνθούν και στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η πήξη όμως και η σκλήρυνσή τους γίνεται με άφθονα καταβρέγματα, τουλάχιστον κατά τις πρώτες μέρες της εφαρμογής τους. Έτσι το τσιμέντο χρησιμοποιείται πάρα πολύ στις οικοδομές, οι οποίες κατά το μέγιστο μέρος τους βρίσκονται στον αέρα, όπως και σε επιφανειακά τεχνικά έργα.

Οι κονίες σπάνια εφαρμόζονται αμιγείς γιατί κατά την πήξη συστέλλονται ισχυρά (εκτός από τη γύψο), και δεν παρουσιάζουν σταθερότητα όγκου.

Τα κυριότερα είδη των κονιών είναι: άσβεστος, υδράσβεστος, γύψος, μαγνησιακή κονία, υδραυλική άσβεστος, ρωμαϊκή κονία, φυσικό τσιμέντο, τεχνητό τσιμέντο πόρτλαντ, πουζολανικά τσιμέντα κ.λ.π.

2.1 ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Με τον όρο τσιμέντο προσδιορίζεται μία μεγάλη κατηγορία υδραυλικών κονιών, συγκολλητικών δηλαδή υλών που έχουν την ιδιότητα να σκληρύνονται και μέσα στο νερό. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των τσιμέντων είναι ότι προέρχονται από την καύση μίγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων. Για κάθε είδος τσιμέντου χρησιμοποιούνται τα πετρώματα αυτά με διαφορετικές αναλογίες.

Η πρώτη παρασκευή τσιμέντου έγινε από τον Άγγλο μηχανικό John Smeaton, ο οποίος ανακάλυψε ότι με το ψήσιμο ενός πετρώματος (αργιλικού ασβεστόλιθου), μπορούσε να παρασκευαστεί υδραυλική κονία. Στην ανακάλυψη αυτή οδηγήθηκε από την ανάγκη να βρει κατάλληλη κονία, που να σκληραίνει μέσα στο νερό, για να τη χρησιμοποιήσει στην κατασκευή ενός φάρου. Ο πρώτος που σκέφτηκε να μη χρησιμοποιήσει αυτούσιο το πέτρωμα αλλά να κατασκευάσει μίγμα από διάφορα πετρώματα, ώστε να πετύχει τις καλύτερες αναλογίες των οξειδίων (ασβεστίου, πυριτίου, αργιλίου) και να πετύχει ανώτερη ποιότητα τσιμέντου, ήταν ο Άγγλος κτίστης Joseph Aspdin το 1824. Για την καύση του μίγματος αυτού χρησιμοποίησε ειδικό καμίνι. Την κονία που προήλθε από την άλεση του ψημένου αυτού υλικού, το οποίο καλείται εκβολάδα ή διεθνώς clinker, την ονόμασε τσιμέντο Portland. Η ονομασία οφείλεται στο ότι η κονία μετά την πήξη της έμοιαζε με τους λίθους που εξορύσσονται σε ένα αγγλικό νησί ονομαζόμενο Portland. Σήμερα το τσιμέντο Portland ονομάζεται επίσης τεχνητό ή απλό τσιμέντο.

Το τσιμέντο Portland επιβλήθηκε πολύ γρήγορα και προκάλεσε πραγματική επανάσταση στην οικοδομική, ιδίως μετά την εφαρμογή των οπλισμένων σκυροδεμάτων. Σήμερα μεγάλες βιομηχανίες ασχολούνται σε όλο τον κόσμο με την παρασκευή τσιμέντου Portland.[4]

Κατά τους γερμανικούς κανονισμούς οι προστιθέμενες ξένες ουσίες (γύψος ή άλλες ουσίες) δεν πρέπει να υπερβαίνουν ποσοστό 3%. Οι Ελληνικοί Κανονισμοί καθορίζουν τους παρακάτω τύπους τσιμέντου που

επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή έργων από σκυρόδεμα.

Είναι τα τσιμέντα:

- * Τύπου I - Πόρτλαντ (Portland)
- * Τύπου II - Πόρτλαντ με πουζολάνη (Portland Pozzolan)
- * Τύπου III - Πουζολανικού (Pozzolanic)
- * Τύπου IV - Πόρτλαντ ανθεκτικού στα θειικά (Portland sulfate resisting)

Τα τσιμέντα Πόρτλαντ, τα αμιγή, είναι τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ (Clinker) και γύψου. Στα τσιμέντα αυτά επιτρέπεται η προσθήκη φίλλερ (Filler) μέχρι 3% κατά βάρος, οπότε το κλίνκερ μαζί με τη γύψο πρέπει να είναι τουλάχιστον το 97% κατά βάρος.

Φίλλερ (Filler) είναι προϊόντα που λαμβάνονται από θραύση ή κονιοποίηση ορισμένων φυσικών ή τεχνητών υλικών (ασβεστόλιθων, βασάλτου, σκωριών κ.λ.π.). Όταν έχουν την κατάλληλη λεπτότητα επιδρούν ευνοϊκά σε ορισμένες ιδιότητες των σκυροδεμάτων από τσιμέντο: αυξάνουν το εργάσιμο, ελαττώνουν τη διαπερατότητα και τα τριχοειδή, μειώνουν την τάση ρηγματώσεως κ.λ.π.

Τσιμέντα πόρτλαντ με πουζολάνη χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ πόρτλαντ, φυσικής ή τεχνητής πουζολάνης και του απαραίτητου γύψου. Το ποσοστό της πουζολάνης ορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα του τσιμέντου, το οποίο πρέπει να είναι 20% κατά μέγιστο. Ειδικά το τσιμέντο με 10% αδιάλυτο υπόλειμμα ονομάζεται τσιμέντο πόρτλαντ ελληνικού τύπου.

Τα πουζολανικά τσιμέντα πόρτλαντ είναι τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ πόρτλαντ, πουζολάνης φυσικής ή τεχνητής, και του απαραίτητου γύψου. Το ποσοστό της πουζολάνης καθορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα του τσιμέντου το οποίο πρέπει να είναι από 20-40%. Τα τσιμέντα αυτά συνιστώνται ιδιαίτερα για έργα ογκώδη, όπου απαιτείται χαμηλός βαθμός θερμότητας ενυδατώσεως ή βελτιωμένη αντοχή έναντι διαβρωτικών μέσων.

Τα τσιμέντα πόρτλαντ τα ανθεκτικά στα θειικά άλατα και το θαλάσσιο νερό, είναι τα τσιμέντα τα προερχόμενα από συνάλεση κλίνκερ πόρτλαντ και γύψου.

Σε όλες τις κατηγορίες τσιμεντών επιτρέπεται η προσθήκη μικρών ποσοστών ουσιών ως βοηθητικά της αλέσεως (βελτιωτικά αλέσεως) εφόσον δεν επηρεάζουν δυσμενώς τις απαιτήσεις ποιότητας του τσιμέντου.

Από απόψεως αντοχών όλα τα τσιμέντα κατατάσσονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- Κατηγορία 35
- Κατηγορία 45
- Κατηγορία 55

Οι κατηγορίες αυτές καθορίζονται από τις αντοχές του τσιμέντου (των 28 ημερών). [6]

Τα βασικά συστατικά του τσιμέντου Portland δίνονται παρακάτω [4]:

Εκατοστιαία σύνθεση τσιμέντου Portland

Οξείδιο του πυριτίου	SiO ₂	20% έως 24%
Οξείδιο ασβεστίου	CaO	60% έως 65%
Οξείδιο αργιλίου	Al ₂ O ₃	5% έως 10%
Οξείδιο σιδήρου	Fe ₂ O ₃	2% έως 5%
Οξείδιο μαγνησίου	MgO	1% έως 4%
Τριοξείδιο του θείου	SO ₂	0,5% έως 1,75%

Οι παραπάνω ενώσεις που εμφανίζονται κατά τη χημική ανάλυση, βρίσκονται συνενωμένες στα τέσσερα κύρια συστατικά:

- α) Το πυριτικό τριασβέστιο $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ σε ποσοστό 54% περίπου κατά βάρος. Στη χημεία του τσιμέντου συμβολίζεται C_3S .
- β) Το πυριτικό διασβέστιο $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ή C_2S βρίσκεται σε ποσοστό 17% κατά βάρος περίπου.
- γ) Το αργλικό τριασβέστιο $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ή C_3A σε ποσοστό 19% περίπου.
- δ) Το αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ή C_4AF σε ποσοστό 9% περίπου.

Η αναλογία των παραπάνω συστατικών έχει επίδραση στην ταχύτητα ανάπτυξης της αντοχής δηλαδή στην ταχύτητα της χημικής αντίδρασης του τσιμέντου με το νερό. Οι δύο πυριτικές ενώσεις συμβάλλουν σημαντικά στη γρήγορη ανάπτυξη της αντοχής, αντίθετα από τις αργλικές. Επίσης η αναλογία των συστατικών αυτών επιδρά και στην ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται κατά τη διάρκεια της χημικής αντίδρασης. Αντίθετα όμως η αναλογία των τεσσάρων συστατικών δεν έχει τόσο αποφασιστική σημασία στην τελική τιμή της αντοχής. Έχει παρατηρηθεί ότι μεγαλύτερη αντοχή παρουσιάζουν τα τσιμέντα τα φτωχά σε ασβέστιο και πλούσια σε πυριτικό διασβέστιο.

Στις σημερινές βιομηχανίες τα ασβεστούχα υλικά είναι ασβεστόλιθοι ή ασβεστολιθικές μάργες, τα δε αργιλούχα είναι άργιλοι, σχιστόλιθοι ή άλλα πετρώματα περιέχοντα οξείδια του αργιλίου και πυριτίου. [7]

Η όλη εργασία της παρασκευής του τεχνητού τσιμέντου μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα στάδια:

- α) την προπαρασκευή και ανάμειξη των πρώτων υλών,
- β) την όπτηση του μίγματος,
- γ) την προσθήκη των προβλεπόμενων συμπληρωματικών ουσιών και λειοτρίβηση των εκβολάδων (κλίνκερ) και
- δ) την εναποθήκευση του τσιμέντου.

Σε όλα τα στάδια παραγωγής του τσιμέντου γίνεται συστηματικός έλεγχος. Κυρίως ελέγχονται: η σύσταση των πρώτων υλών, η σύσταση του σχηματιζόμενου μίγματος αυτών πριν από την όπτηση, η κανονικότητα της όπτησης και η σύσταση των αποθηκευμένων κλίνκερ και τελικά το παραγόμενο μετά την άλεση τσιμέντο. [5]

Για την κάλυψη ειδικών απαιτήσεων, που προκύπτουν στις κατασκευές ή για την ελάττωση του κόστους παρασκευάζονται διαφόρων ειδών τεχνητά τσιμέντα. Η μέθοδος παρασκευής τους είναι η ίδια με τη μέθοδο των κοινών τσιμέντων. Τα βασικά όμως συστατικά τους βρίσκονται σε διαφορετικές αναλογίες ή έχουν προστεθεί ειδικές ουσίες προς αύξηση μιας ορισμένης ιδιότητας ή προς ελάττωση του κόστους.

Τα παραγόμενα εν γένει σήμερα τσιμέντα είναι το κοινό τσιμέντο Portland, τα τσιμέντα Portland υψηλής αντοχής, τα αργλικά τσιμέντα, τα

λευκά και ημίλευκα τσιμέντα Portland, τα τσιμέντα με σκωρία (αποτελούνται από 70% κοινό τσιμέντο και 30% άλευρον μεταλλουργικών σκωριών), τα πουζολανικά τσιμέντα και το τσιμέντο τοιχοποιίας.

Ιδιότητες του τσιμέντου:

- α) Χρώμα. Το χρώμα του κοινού τσιμέντου είναι υπότεφρο έως πρασινότεφρο και οφείλεται κυρίως στα οξειδία του σιδήρου. Μικρή περιεκτικότητα σε αυτά τα οξειδία του προσδίδει λευκό χρώμα. Το χρώμα δεν αποτελεί σε καμία περίπτωση ένδειξη της ποιότητας του τσιμέντου.
- β) Ειδικό βάρος. Το απόλυτο ειδικό βάρος του κυμαίνεται μεταξύ 3,0 και 3,2 gr/cm³.
Το φαινόμενο ειδικό βάρος εξαρτάται από το βαθμό συμπίεσως που έχει υποστεί το τσιμέντο. Σε χαλαρή κατάσταση έχει φαινόμενο ειδικό βάρος περίπου 1100 έως 1200 kp/m³. Με σχετική συμπίεση, όπως είναι αυτή που υφίσταται όταν βρίσκεται εντός σάκου ή εντός ξύλινου κιβωτίου, έχει 1400 έως 1600 kp/m³. Όταν πρόκειται να υπολογιστεί ο όγκος μιας ποσότητας τσιμέντου, πράγμα απαραίτητο προκειμένου να συνθέσουμε ένα κονίαμα κατ' όγκο, λαμβάνουμε ως ειδικό φαινόμενο βάρος για τα ελληνικού τύπου τσιμέντα το 1500.
- γ) Υδραυλικότητα. Ο πολτός του τσιμέντου (τσιμέντο και νερό) έχει την ιδιότητα να πήζει και να σκληρύνεται και όταν βρίσκεται μέσα στο νερό. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται υδραυλικότητα.
Ο βαθμός εκδήλωσης της ιδιότητας αυτής του τσιμέντου, εξαρτάται από την κανονικότητα της όπτησης, από τη λεπτότητα της αλέσεως και κυρίως από τη χημική του σύσταση. Εάν από τη λειοτρίβηση των εκβολάδων προκύψει χονδρόκοκκο τσιμέντο τότε δεν επέρχεται πήξη μέσα στο νερό ή αν επέλθει, το προκύπτον στερεό σώμα καταστρέφεται εύκολα. Το ίδιο συμβαίνει και αν οι αναλογίες των διαφόρων συστατικών του τσιμέντου δεν βρίσκονται εντός των καθορισμένων ορίων.[4]
- δ) Πήξη. Η πήξη και η σκλήρυνση του τσιμέντου οφείλεται αποκλειστικά στη χημική του δράση με το νερό. Τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό ύστερα από μία σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που διαρκούν για χρόνια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ενυδάτωση του τσιμέντου. Με την ανάμειξη του τσιμέντου με το νερό

δημιουργείται μια γκριζοπράσινη πολτώδης μάζα, η τσιμεντοκονία. Η ρευστότητα του μίγματος εξαρτάται από τις αναλογίες μίξεως των δύο υλικών.

Για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα το μίγμα δε φαίνεται να παρουσιάζει καμία μεταβολή. Αργότερα όμως φαίνεται ότι αρχίζει να πήζει προοδευτικά ωσότου στερεοποιηθεί τελείως. Το φαινόμενο αυτό καλείται πήξη της τσιμεντοκονίας και οι χαρακτηριστικές στιγμές αλλαγής της φυσικής κατάστασης ονομάζονται αρχή και τέλος της πήξεως.

Ο ακριβής καθορισμός των χρονικών αυτών στιγμών γίνεται με τρόπο καθοριζόμενο συμβατικά στους κανονισμούς. Κατά το χρονικό διάστημα ως την αρχή της πήξεως ο τσιμεντοπολτός είναι ακόμα επιδεικτικός κατεργασίας και μεταφοράς. Γι' αυτό και ο κανονισμός [6] ορίζει ότι η αρχή πήξης για τα κοινά τσιμέντα δεν πρέπει να εμφανίζεται νωρίτερα από μία ώρα από τη στιγμή της ανάμειξης των δύο υλικών και το τέλος αργότερα από οκτώ ώρες.

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

Οι παραπάνω διαχωρισμοί έχουν πρακτική μόνο αξία και χρησιμεύουν για τον καθορισμό του χρόνου κατεργασίας και του χρόνου απομακρύνσεως των ξυλοτύπων.

Οι χημικές διαδικασίες αρχίζουν αμέσως με την ανάμειξη των δύο υλικών και συνεχίζονται επί χρόνια. Κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων αυτών τα τέσσερα κύρια συστατικά του τσιμέντου (το πυριτικό τριασβέστιο, το πυριτικό διασβέστιο, το αργλικό τριασβέστιο και το αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο) ενώνονται με το νερό και σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές και αργιλοπυριτικές ενώσεις που αποτελούν τα στερεά σωματίδια του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού ο οποίος ονομάζεται "πήγμα".

Αμέσως μετά την προσθήκη νερού το τσιμέντο αρχίζει να ενυδατώνεται, δηλαδή να δεσμεύει χημικά νερό. Αρχικά σχηματίζεται υδροξείδιο του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) σε μορφή εξαγωνικών κρυστάλλων, οι οποίοι πρακτικά δεν έχουν καμία σκληρότητα.

Μετά από μία έως περισσότερες ώρες, εξ' αιτίας της ενυδάτωσης του ταχέως αντιδρώντος πυριτικού τριασβεστίου (C_3S) και του πιο αργά αντιδρώντος πυριτικού διασβεστίου (C_2S) σχηματίζονται ομάδες κρυστάλλων ένυδρου πυριτικού ασβεστίου που έχουν φυλλοειδές ή πλακοειδές σχήμα ή νηματοειδή μορφή. Ανάμεσα στους κρυστάλλους αυτούς μπορούν να αποθηκευτούν μόρια νερού.

Οι πολύ λεπτοί κρύσταλλοι συμφύονται μεταξύ τους, σχηματίζουν ένα δίκτυο, και μαζί με το νερό ένα gel "πήγμα" που έχει ειδική επιφάνεια 100 φορές μεγαλύτερη από την επιφάνεια του τσιμέντου πριν την ενυδάτωση.

Έτσι, εκτός από τις χημικές δεσμεύσεις ενεργοποιούνται μέσα στο gel-πήγμα πολύ μεγάλες μαζικές δυνάμεις έλξης (δυνάμεις Van der Waals).

Όσο προχωράει η ενυδάτωση από την επιφάνεια του τσιμέντου προς το εσωτερικό των κόκκων, οι μεγάλοι μήκους νηματοειδείς μορφές ένυδρου πυριτικού ασβεστίου γεφυρώνουν τα γεμάτα με νερό κενά μεταξύ των κόκκων του τσιμέντου (από την πήξη περνάμε πια στη σκλήρυνση του τσιμέντου). Αργότερα σχηματίζονται και μικρού μήκους νηματοειδείς μορφές ένυδρου πυριτικού ασβεστίου στους υπάρχοντες πόρους που πυκνώνουν τη βασική αυτή συναρμολόγηση. Έτσι για να φτάσει πια το νερό στον μη ενυδατωμένο πυρήνα πρέπει να διέρχεται από ολοένα και πυκνότερες στρώσεις από gel-πήγμα. [2]

Οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται, συνοδεύονται με έκλυση θερμότητας και συστολή του όγκου των αρχικών προϊόντων. Το νερό που δεσμεύει το τσιμέντο είναι 25-28% του βάρους του τσιμέντου (χημικά δεσμευμένο νερό). Το 15% περίπου ακόμη, συγκρατείται από τους κόκκους του πηγματος σαν επιφανειακά δεσμευμένο νερό. [7]

Φαινόμενα που συνοδεύουν την ενυδάτωση είναι:

- Συστολή ενυδάτωσης ή χημική συστολή.
- Θερμότητα που εκλύεται κατά τη διάρκεια της πήξεως ή θερμότητα ενυδάτωσης.

Με τον όρο συστολή ενυδάτωσης ή χημική συστολή χαρακτηρίζεται η συστολή που δεν οφείλεται σε εξωτερικά αίτια (όπως είναι η αποβολή νερού, οι εξωτερικές δυνάμεις, η μεταβολή θερμοκρασίας) αλλά αποκλειστικά και μόνο στις χημικές μεταβολές που συντελούνται μεταξύ

τσιμέντου και νερού. Κατά τη διάρκεια της χημικής αντίδρασης μεταξύ του τσιμέντου και του νερού, παρουσιάζεται ελάττωση του όγκου των προϊόντων της αντίδρασης, ίση με το $1/4$ περίπου του χημικά δεσμευμένου νερού. Η συστολή αυτή ακολουθεί ποιοτικά την εξέλιξη της αντοχής, είναι δηλαδή γρήγορη στην αρχή και γίνεται βραδύτερη με την πάροδο του χρόνου.

Η συστολή ενυδάτωσης δεν είναι σταθερή για όλα τα μίγματα αλλά εξαρτάται:

- α) Από την ποσότητα του τσιμέντου, αφού ανάλογη είναι και η ποσότητα του νερού.
- β) Από την ποιότητα του τσιμέντου, γιατί τα διάφορα συστατικά του απαιτούν διαφορετική το καθένα ποσότητα νερού και επομένως μεταβολή στη σύνθεση του τσιμέντου, μεταβάλλει και τη συνολική ποσότητα του νερού που χρειάζεται.
- γ) Από την ποσότητα του νερού αναμίξεως, δηλαδή από το λόγο νερού προς τσιμέντο. Όσο περισσότερο είναι το νερό, τόσο η δέσμευση του νερού γίνεται πληρέστερη ενώ όταν η ποσότητα του νερού είναι περιορισμένη, μπορεί ορισμένη ποσότητα τσιμέντου να παραμείνει αδρανής, λόγω της οπωσδήποτε ανομοιόμορφης κατανομής και της δυσκολίας κυκλοφορίας του νερού μέσα στη μάζα του τσιμέντου.[7]

Με τον όρο συστολή κατά την πήξη ή συστολή του νωπού κονιάματος, χαρακτηρίζεται η συνολική συστολή που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της πήξεως, δηλαδή κατά το χρονικό διάστημα που το σκυρόδεμα παραμένει νωπό. Η συστολή αυτή είναι σύνθετη και αποτελείται από το άθροισμα δύο κυρίως συστολών: της συστολής ενυδάτωσης και της συστολής που οφείλεται στην εξάτμιση του ελεύθερου νερού.

Οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ τσιμέντου και νερού πραγματοποιούνται με ταυτόχρονη έκλυση θερμότητας.

Η θερμότητα όμως που εκλύεται είναι διαφορετική για τα διάφορα συστατικά του τσιμέντου και γι' αυτό εξαρτάται από τη σύνθεσή του. Η έκλυση γίνεται γρήγορα στην αρχή και όλο πιο αργά κατά την πάροδο του χρόνου, όπως ακριβώς συμβαίνει με την αντοχή και με όλα τα άλλα φαινόμενα που συνοδεύουν την ενυδάτωση. Σημασία όμως για την

κατασκευή έχει η ταχύτητα εκλύσεως της θερμότητας, δηλαδή η ποσότητα θερμότητας κατά τη διάρκεια των πρώτων ημερών.

ε) Μηχανική αντοχή. Το τσιμέντο μετά τη σκλήρυνσή του παρουσιάζει αρκετή αντοχή σε θλίψη, ενώ η αντοχή του σε εφελκυσμό είναι πολύ μικρή. Συνήθως η αντοχή σε θλίψη είναι δωδεκαπλάσια της αντοχής σε εφελκυσμό.

2.2 ΠΟΥΖΟΛΑΝΕΣ

Οι Πουζολάνες (Pozzolans) είναι φυσικά ή τεχνητά πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, που έχουν την εξής χαρακτηριστική ιδιότητα: όταν βρίσκονται σε λεπτότατο καταμερισμό και με την παρουσία υγρασίας, ενώνονται χημικά με την υδράσβεστο στη συνήθη θερμοκρασία και σχηματίζουν υδραυλικές ενώσεις. Στις φυσικές πουζολάνες περιλαμβάνονται διάφορες ηφαιστειες γαίες. Στις τεχνητές πουζολάνες περιλαμβάνεται π.χ. η ιπτάμενη τέφρα [6], η πυριτική παιπάλη (micro-silica, silica-fume) κ.α. Οι φυσικές πουζολάνες περιέχουν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό οξείδιο του πυριτίου, και σε μικρότερη αναλογία οξείδια του αργιλίου, του σιδήρου, του ασβεστίου κ.α. Προέρχονται από τη δράση των ηφαιστειών. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, που δημιουργούνται κατά τις ηφαιστειακές δράσεις, τα οξείδια αυτά υπέστησαν φυσική όπτηση και μετατράπηκαν σε δραστικές κονίες. Εκτινάχθηκαν στη συνέχεια από τους κρατήρες με τη μορφή σκόνης (στάχτη ηφαιστειών) και κάλυψαν μεγάλες εκτάσεις με σημαντικού πάχους στρώματα. Η ανεύρεσή τους επομένως γίνεται κοντά σε ενεργά ή νεκρά ηφαιστεια.

Στην Ελλάδα, φυσικές πουζολάνες υπάρχουν στη Μήλο, στη Σκύδρα και στη Σαντορίνη και φέρουν την ονομασία της προέλευσής τους. Η θηραϊκή γη στη Σαντορίνη, καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του νησιού με στρώματα πάχους 25m έως 30m. Μετά την εξόρυξή της, ξηραίνεται για την απομάκρυνση της εδαφικής υγρασίας και στη συνέχεια λειοτριβείται σε ειδικές εγκαταστάσεις μέχρι να αποκτήσει τη λεπτότητα αλεύρου.

Σήμερα, για περιβαλλοντικούς λόγους, έχει καταργηθεί η εξόρυξη της θηραϊκής γης και αντί αυτής εξορύσσονται η μηλαϊκή γη και η σκυδραϊκή γη, οι οποίες έχουν παραπλήσια σύνθεση.

Οι πουζολάνες εκδηλώνουν υδραυλικές ιδιότητες, μπορούν δηλαδή να σκληρυνθούν μέσα στο νερό, μόνο όταν αναμιχθούν με υδράσβεστο ή υδραυλικές κονίες. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με την υδράσβεστο για την παρασκευή υδραυλικών ασβεστοκονιαμάτων. Τα ασβεστοκονιάματα αυτά παρουσιάζουν, εκτός από τη μεγαλύτερη

μηχανική αντοχή έναντι των κοινών ασβεστοκονιαμάτων, και μεγαλύτερη στεγανότητα.

Χρησιμοποιούνται επίσης:

- για την παρασκευή τσιμεντοκονιαμάτων, όπου ένα μέρος της άμμου αντικαθίσταται από πουζολάνη, για την αύξηση των στεγανωτικών ιδιοτήτων του κονιάματος. Τα τσιμεντοκονιάματα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για την εκτέλεση λιμενικών έργων.
- Τέλος αναμιγνύονται σε ποσοστό 10% με τσιμέντο πόρτλαντ για την παραγωγή των ελληνικού τύπου τσιμέντων ή σε διάφορα ποσοστά μαζί με ιπτάμενη τέφρα για την παραγωγή τσιμέντου με πουζολάνη (τύπου II) ή πουζολανικού (τύπου III).[6]

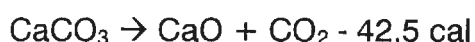
Η πουζολάνη δεν αποτελεί σύγχρονο συνδετικό υλικό. Χρησιμοποιήθηκε και στην Αρχαία Ελλάδα για την παρασκευή του “αρχαιοελληνικού σκυροδέματος” και των κονιαμάτων γενικότερα, ως πρόσθετο της υδρασβέστου που ήταν η βασική συνδετική ύλη. Τέτοια πουζολανικά πρόσθετα ήταν η στάχτη, όχι πολύ συχνά πάντως (συναντάται στην Κόρτη Αρκαδίας, Ginouves 1940) και η “κίσσηρης”, ηφαιστειακή άμμος δηλαδή, που παραγόταν στα νησιά Θήρα (Σαντορίνη) και Νίσυρο, καθώς επίσης και στην περιοχή της Δικαιαρχίας (αποικία των Ελλήνων στην Κάτω Ιταλία, κατοπινή Potouoli).[8]

Δεν είναι γνωστό πότε ανακαλύφθηκε από τους Έλληνες η ικανότητα ορισμένων ηφαιστειακών πετρωμάτων να συμπεριφέρονται ως φυσικά τσιμέντα. Ευρήματα πάντως του Botticher στο αρχαίο λιμάνι του Πειραιά, που καταδεικνύουν ευρεία χρήση θηραϊκής γης (ηφαιστειακών τόφφων από τη Σαντορίνη) χρονολογούνται τον 5^ο π.Χ. αιώνα. Αυτά είναι και η αρχαιότερη ένδειξη που έχουμε έως τώρα για τη χρήση πουζολανικών υλικών ως τεχνικά υλικά.

2.3 ΑΣΒΕΣΤΟΣ

Είναι από τις πιο σημαντικές αερικές κονίες, που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές. Έχει πλήθος εφαρμογών με άριστα αποτελέσματα. Χρησιμοποιείται από αρχαιοτάτων χρόνων.

Αν οι κοινοί ασβεστόλιθοι υποστούν πύρωση μεταξύ 800°C και 1100°C, το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), που περιέχουν θα διασπαστεί στο αέριο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και στο στερεό οξείδιο του ασβεστίου (CaO) ή ενεργό ασβέστιο. Η χημική εξίσωση της αντίδρασης είναι:



Το οξείδιο του ασβεστίου καλείται άσβεστος ή κεκαυμένη άσβεστος (κοινώς ασβέστης). Έχει τη μορφή και το μέγεθος των λίθων από τους οποίους προήλθε, το δε χρώμα του είναι λευκό.

Αν κατόπιν το οξείδιο του ασβεστίου αναμειχθεί με νερό, τότε πραγματοποιείται η λεγόμενη σβέση της ασβέστου (έντονα εξώθερμη αντίδραση) και προκύπτει το υδροξείδιο του ασβεστίου [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] κατά την αντίδραση:



Το τελευταίο αυτό υλικό, το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται υπό τη μορφή πολτού και σπανιότερα υπό τη μορφή σκόνης, είναι η κονία και καλείται σβησμένη άσβεστος ή υδράσβεστος. Η υδράσβεστος μαζί με τους πηλούς είναι από τις παλαιότερες συγκολλητικές ύλες που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την παρασκευή κονιαμάτων. Μόνο κατά τα τελευταία χρόνια εκτοπίσθηκε σε ορισμένες εργασίες από το τσιμέντο.

Ως πρώτη ύλη για την παρασκευή της ασβέστου χρησιμοποιούνται οι κοινοί ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες, τα μάρμαρα και γενικά όλα τα πετρώματα, που περιέχουν μεγάλη αναλογία ανθρακικό ασβέστιο. Όλες οι υπόλοιπες προσμίξεις, που περιέχονται στους ασβεστόλιθους, όπως τα οξείδια του μαγνησίου, του πυριτίου, του σιδήρου κ.λ.π. μετά την πύρωση του ανθρακικού ασβεστίου παραμένουν αναμειγμένα με την άσβεστο. Αποτελούν έτσι σοβαρό παράγοντα ελάττωσης της ποιότητάς της. Πρέπει

επομένως, οι χρησιμοποιούμενοι ασβεστόλιθοι να επιλέγονται μεταξύ εκείνων, που περιέχουν την μεγαλύτερη αναλογία σε ανθρακικό ασβέστιο και τις λιγότερες προσμίξεις.[4]

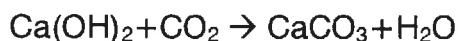
Η καλύτερη ποιότητα ασβέστου είναι η ασβεστολιθική, διότι περιέχει σε μεγαλύτερη αναλογία το οξείδιο του ασβεστίου, το οποίο μόνο μετατρέπεται μετά τη σβέση του σε συγκολλητική ύλη (την υδράσβεστο). Η υδράσβεστος, ανάλογα με την περιεκτικότητά της σε υδροξείδιο του ασβεστίου κολλοειδούς μορφής, διακρίνεται σε:[4]

- Παχεία και
- Ισχνή.

Η παχεία υδράσβεστος προέρχεται από ασβεστική άσβεστο πλούσια σε οξείδιο του ασβεστίου, με προσεκτική σβέση αυτής. Ο πολτός της υδρασβέστου αυτής είναι πολύ πλαστικός και λιπαρός και δεν περιέχει στερεούς κόκκους. Μπορεί να αναμειχθεί με μεγάλη ποσότητα άμμου για την παρασκευή καλού ασβεστοκονιάματος.

Η ισχνή υδράσβεστος προέρχεται από δολομιτική άσβεστο ή από κακή σβέση ασβεστικής ασβέστου. Είναι τραχιά στην αφή και λιγότερο εργάσιμη από την παχεία.[4]

Η κύρια ιδιότητα της υδρασβέστου είναι η πήξη. Το υδροξείδιο του ασβεστίου $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ ή αλλιώς υδράσβεστος έχει την ιδιότητα να απορροφά εύκολα διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το οποίο βρίσκεται ελεύθερο στον ατμοσφαιρικό αέρα και να μεταπίπτει πάλι στην αρχική ένωση, από την οποία προέκυψε η κεκαυμένη άσβεστος, δηλαδή σε στερεό ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). Συγχρόνως δε εμφανίζεται νερό. Η μετατροπή της αυτή γίνεται σύμφωνα με την αντίδραση:



Στην παραπάνω ιδιότητα βασίζεται η ικανότητα της κονίας αυτής να πήζει και επομένως να συγκρατεί τους κόκκους της άμμου στερεά συνδεδεμένους μεταξύ τους ή να συγκολλάει τους λίθους και τους οπτόπλινθους μεταξύ τους, όταν παρεμβληθεί ασβεστοκονίαμα. Το ασβεστοκονίαμα αυτό, όταν σκληρυνθεί δεν είναι παρά ασβεστόλιθος, που περιέχει στη μάζα του άμμο.

Η υδράσβεστος είναι κατ' εξοχήν αερική κονία, διότι μόνο μέσω της επαφής της με τον αέρα μπορεί να σκληρυνθεί. Επειδή δε συγχρόνως αποδίδει νερό πρέπει, για να ολοκληρωθεί η σκλήρυνση, να απομακρυνθεί το νερό αυτό. Έτσι, οι δύο παράγοντες που πρέπει να συνυπάρχουν για να συντελεστεί το επιθυμητό αποτέλεσμα της στερεοποίησης της κονίας είναι:

- Επαφή όλης της μάζας της υδρασβέστου με τον αέρα και
- διατήρηση του περιβάλλοντος σε όσο το δυνατό ξηρότερη κατάσταση, για να γίνεται με ευχέρεια η εξάτμιση του νερού.

Έχει παρατηρηθεί ότι σε χοντρούς τοίχους παλαιών κτιρίων, που βρίσκονται σε υγρά υπόγεια ή θεμέλια, δεν είχε ολοκληρωθεί η σκλήρυνση του κονιάματος στο εσωτερικό τους αν και είχαν περάσει πολλά χρόνια από την κατασκευή τους. Επίσης παρατηρείται ότι κατά τους χειμερινούς υγρούς μήνες τα ασβεστοκονιάματα σκληρύνονται πολύ αργότερα παρά τους θερμούς μήνες, οπότε η εξάτμιση είναι πολύ εντονότερη.

Η υδράσβεστος χρησιμοποιείται ως συγκολλητική ύλη, κυρίως για την παρασκευή διαφόρων ασβεστοκονιαμάτων, αλλά και στα τσιμεντοκονιάματα των οποίων βελτιώνει ορισμένες ιδιότητες.

Χρησιμοποιείται επίσης στις σταθεροποιήσεις κυρίως αργιλικών εδαφών, αλλά και στα υδροχρώματα, στα οποία το χρώμα ρίπτεται σε αραιό γάλα υδρασβέστου, δηλαδή διάλυμα υδρασβέστου μέσα σε νερό. Και εδώ η άσβεστος λειτουργεί ως συγκολλητική ουσία, συνδέει δηλαδή τα μόρια του χρώματος με τις επιφάνειες που θέλουμε να καλύψουμε.

3. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Οι συνδετικές ύλες (κονίες) κατά κανόνα δεν χρησιμοποιούνται αυτούσιες, για λόγους τεχνικούς και οικονομικούς. Χρειάζεται να αναμιχθούν και με ορισμένη ποσότητα άμμου ή άλλου αδρανούς, εκτός από το απαραίτητο νερό, ανάλογα με το είδος του κονιάματος και το σκοπό για τον οποίο προορίζεται. Με τον τρόπο αυτό παρασκευάζονται τα κονιάματα, τα οποία είναι μίγματα συνδετικής ύλης, άμμου, (γενικότερα αδρανών), και του νερού που χρειάζεται για να αποκτήσει ο πολτός την κατάλληλη πλαστικότητα, για την εφαρμογή του στο έργο και την κανονική σκλήρυνσή του.

Τα κονιάματα αποτελούν ένα από τα βασικότερα στοιχεία των κατασκευών [5] και χρησιμοποιούνται κατά τρεις διαφορετικούς τρόπους [4]:

1. Ως συνδετικά υλικά.

Κατά τη δόμηση τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους παρεμβάλλονται μεταξύ των οριζοντίων και κατακόρυφων αρμών και πληρούν έτσι τα κενά μεταξύ των λίθων και τούβλων.

Τα κονιάματα συνδέουν τους φυσικούς ή τεχνητούς λίθους μεταξύ τους και καθιστούν συμπαγέστερη και στερεότερη την κατασκευή. Επίσης δημιουργούν οριζόντιες επίπεδες επιφάνειες και υποβοηθούν έτσι την έδραση των υπερκείμενων λίθων και κατανέμουν καλύτερα τα υπερκείμενα φορτία. Όσον αφορά το τελευταίο αυτό πλεονέκτημα, το οποίο παρέχουν τα κονιάματα, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι πριν από τη χρησιμοποίησή τους, οι τοίχοι κατασκευάζονταν από μεγάλους και βαρείς λίθους λαξευμένους τουλάχιστον κατά τις τέσσερις έδρες τους. Έτσι οι λίθοι έρχονταν σε πλήρη επαφή με τους υποκείμενους και πλευρικούς λίθους και οι τοίχοι αντιστέκονταν στις οριζόντιες ωθήσεις μόνο με το βάρος τους. Με τη χρήση όμως του κονιάματος

έγινε δυνατή η χρησιμοποίηση αλάξευτων λίθων (αργών λίθων) ή ελαφρών τεχνητών λίθων (τούβλα, τσιμεντόλιθοι) και έτσι επιτεύχθη μεγάλη οικονομία.

Μειονεκτούν όμως οι τοίχοι με κονίαμα έναντι των λαξευτών, διότι παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή σε κατακόρυφα φορτία, δεδομένου ότι η αντοχή τους εξαρτάται από την αντοχή του κονιάματος μέσω του οποίου μεταβιβάζονται οι δυνάμεις και όχι από την αντοχή των λίθων όπως συμβαίνει με τους λαξευμένους τοίχους. Η αντοχή δε του ισχυρότερου κονιάματος είναι κατά πολύ μικρότερη από την αντοχή ενός κοινού συμπαγούς ασβεστόλιθου.

2. Ως καλυπτικά και μονωτικά υλικά

Για την εξομάλυνση και την καλύτερη εμφάνιση των ορατών επιφανειών τοίχων, στύλων, οροφών, χρησιμοποιείται λεπτό στρώμα κονιάματος πάχους 2,5 cm έως 3,5 cm.

Αν οι επιφάνειες αυτές είναι εξωτερικές και υπόκεινται στην επιρροή των ατμοσφαιρικών παραγόντων, τότε το στρώμα αυτό επιτελεί και προστατευτικό έργο. Τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται για επενδύσεις ονομάζονται επιχρίσματα και αποτελούν ουσιώδη παράγοντα ποιότητας και διάρκειας του έργου.[5]

Επίσης ορισμένα είδη ισχυρών κονιαμάτων (τσιμεντοκονιάματα) χρησιμοποιούνται για τη στεγανοποίηση ειδικών έργων. Έτσι όπως οι εσωτερικές επιφάνειες δεξαμενών νερού ή άλλων υγρών, αγωγών νερού κ.λ.π. Τέλος, όπου απαιτείται, χρησιμοποιούνται ειδικά κονιάματα για ακουστικές ή θερμικές μονώσεις έναντι φωτιάς.

3. Ως πρώτες ύλες για την κατασκευή τεχνητών λίθων

Ορισμένα κονιάματα, π.χ. τα πηλοκονιάματα και τσιμεντοκονιάματα, χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την κατασκευή τεχνητών λίθων, όπως είναι οι οπτόπλινθοι (τούβλα), διάφοροι τύποι τσιμεντόλιθων κ.λ.π.

Η παρασκευή του κονιάματος γίνεται με την ανάμειξη του αδρανούς υλικού και του πολτού της κονιάς. Έτσι προκύπτει ένα ομοιογενές μίγμα, στο οποίο κάθε κόκκος της άμμου έχει καλυφθεί από τον πολτό, όλα δε τα μεταξύ των κόκκων κενά έχουν πληρωθεί τελείως με κονία.

Κατά το πρώτο στάδιο της παρασκευής του το κονίαμα βρίσκεται σε πλαστική κατάσταση και είναι ικανό να πάρει οποιοδήποτε σχήμα ή μορφή και γενικά είναι ικανό να υποστεί οποιαδήποτε επεξεργασία χωρίς καμία αλλοίωση. Μετά παρέλευση όμως ορισμένου χρόνου, ο οποίος εξαρτάται κυρίως από το είδος της κονίας που χρησιμοποιήθηκε, το κονίαμα αρχίζει να στερεοποιείται λόγω της πήξεως της κονίας και τελικά μετατρέπεται σε ένα στερεό σώμα σκληρό και ανθεκτικό. Η άμμος δεν συμμετέχει στη στερεοποίηση αυτή (δε δρα χημικά) και γι' αυτό καλείται αδρανές υλικό.

Η πρόσμιξη της άμμου είναι επιβεβλημένη από λόγους τεχνικούς και οικονομικούς. Οι κονίες χρησιμοποιούμενες αυτούσιες χωρίς άμμο, συστέλλονται υπερβολικά κατά την πήξη και τη σκλήρυνση, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν στην επιφάνειά τους ρωγμές και σκασίματα απαράδεκτα για τις κατασκευές. Είναι ανάγκη οι κονίες να οπλιστούν με ένα σκελετό από αδρανή, ώστε το κονίαμα να αποκτήσει μεγαλύτερη αντοχή από τον πολτό και να μην σκάζει. Η τεχνική αυτή ανάγκη εναρμονίζεται και με την οικονομία της κατασκευής γιατί η άμμος είναι πολύ φθηνότερη από την κονία. Χρειάζεται όμως προσοχή στην εκλογή της άμμου, από την άποψη της ποιότητας και της κοκκομετρικής διαβαθμίσεως, ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο προορίζεται το κονίαμα.

Κάθε κονίαμα χαρακτηρίζεται από ένα κλάσμα α/β ή $\alpha:\beta$, όπου ο αριθμητής α δηλώνει τα μέρη του όγκου της κονίας και ο παρανομαστής β τα μέρη όγκου της άμμου, που λαμβάνονται για την παρασκευή του κονιάματος.[4]

Αν V είναι ο όγκος ενός νωπού κονιάματος και V_a ο όγκος της άμμου που λαμβάνεται για να προκύψει ο όγκος V , τότε ο λόγος $A = \frac{V}{V_a}$ καλείται απόδοση του κονιάματος. Η απόδοση εξαρτάται από την κοκκομετρική σύνθεση της άμμου, από τη μορφή των κόκκων, από την αναλογία κονίας προς άμμο (λόγος $\alpha:\beta$) και από το ποσοστό του νερού επεξεργασίας. Επομένως, ο υπολογισμός της αποδόσεως βάσει του τύπου μόνο ενδεικτικά αποτελέσματα δίνει.[4]

Κατά την παρασκευή του κονιάματος επιδιώκεται κυρίως η απόκτηση συμπαγούς υλικού με μεγάλη αντοχή και ανθεκτικότητα καθώς και με χαμηλό κόστος.

Αν ληφθούν υπόψη ότι:

- τα κενά της άμμου πρέπει να πληρωθούν από την κονία, ώστε να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή πυκνότητα,
- η αντοχή της άμμου είναι μεγαλύτερη από την αντοχή της σκληρυνθείσας κονίας και
- η τιμή της άμμου είναι κατά πολύ μικρότερη από την πιο φθηνή κονία (της ασβέστου) τότε προκύπτουν οι παρακάτω βασικοί κανόνες παρασκευής οποιουδήποτε κονιάματος:

1. Χρησιμοποίησης άμμου με κοκκομετρική διαβάθμιση τέτοια, ώστε να επιτυγχάνεται ο μικρότερος όγκος κενών. Χονδροκοκκώδης ή λεπτοκοκκώδης άμμος έχει πολλά κενά και συνεπώς απαιτείται μεγάλη ποσότητα κονίας για την πλήρωσή τους. Συνέπεια αυτού είναι η αύξηση της τιμής του κονιάματος και η ελάττωση της αντοχής του.
2. Χρησιμοποίηση της ακριβώς απαιτούμενης ποσότητας κονίας για την πλήρωση των κενών της άμμου. Μεγαλύτερη ποσότητα αποτελεί σπατάλη, διότι η πλεονάζουσα δεν εκπληρεί το σκοπό της, δηλαδή την πλήρωση των κενών και τη σύνδεση των κόκκων της άμμου. Αντίθετα ελαττώνει την αντοχή του κονιάματος. Μικρότερη ποσότητα δημιουργεί υλικό πορώδες και με κόκκους ελλιπώς συνδεδεμένους.

Το κονίαμα, στο οποίο η ποσότητα της κονίας είναι όση ακριβώς χρειάζεται για την πλήρωση των κενών, καλείται κανονικό. Μεγαλύτερη ποσότητα δημιουργεί το παχύ κονίαμα, μικρότερη δε το ισχνό κονίαμα.

Το παχύ και το ισχνό κονίαμα χρησιμοποιούνται συχνά σε διάφορες κατασκευές εφόσον επιζητείται η αύξηση μιας συγκεκριμένης ιδιότητάς τους. Έτσι:

- Για στεγανές επιχρίσεις χρησιμοποιείται παχύ τσιμεντοκονίαμα.
- Για το κτίσιμο λίθων σε θεμέλια χρησιμοποιείται ισχνό ασβεστοκονίαμα κ.ο.κ.

Η στερεοποίηση του κονιάματος ακολουθεί τα ίδια στάδια με την κονία, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του. Όπως και οι κόνιες, τα κονιάματα διακρίνονται σε αερικά, εφόσον στερεοποιούνται μόνο στον αέρα, και σε υδραυλικά, εφόσον μπορούν να στερεοποιηθούν και μέσα στο νερό.

Τα είδη των κονιαμάτων χαρακτηρίζονται από την κονία, η οποία χρησιμοποιείται για την παρασκευή τους. Έτσι έχουμε: Πηλοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα, γυψοκονιάματα, τσιμεντοκονιάματα κ.ά.

Σπανιότερα χαρακτηρίζονται από το αδρανές πρόσμιγμα αυτών ή από τη μηχανική αντοχή τους. Στις περιπτώσεις αυτές συγκολλητική ύλη μπορεί να είναι οποιαδήποτε από τις γνωστές κόνιες.

Αν ληφθεί ως χαρακτηριστικό στοιχείο το αδρανές πρόσμιγμά τους, έχουμε: αμμοκονιάματα, μαρμαροκονιάματα κ.λ.π.

Αν ληφθεί υπόψη η μηχανική αντοχή τους, διακρίνονται σε τρεις ομάδες:

Ομάδα I: Κονιάματα χαμηλής αντοχής. Σ' αυτήν ανήκουν τα πηλοκονιάματα και τα ασβεστοκονιάματα.

Ομάδα II: Κονιάματα μέτριας αντοχής. Περιλαμβάνονται τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα και τα πουζολανοασβεστοκονιάματα.

Ομάδα III: Κονιάματα υψηλής αντοχής. Σ' αυτήν ανήκουν τα τσιμεντοκονιάματα.[4]

Οι Γερμανικοί κανονισμοί [3] συνιστούν τις παρακάτω βασικές συνθέσεις συνδετικών κονιαμάτων για τοιχοδομές:

Πίνακας 3.1. Σύνθεση κονιαμάτων. Σχέσεις αναμείξεως σε μέρη όγκου

	1	2	3	4	5	6	7
	Ομάδα κονιάματος	Πολτός ασβέστη	Κόνη υδρασβέ- στου	Υδραυλική άσβεστος	Άσβεστος υψηλής υδραυλικό- τητας	Τσιμέντο	Άμμος ¹ (φυσική άμμος)
1	I	1					4
2			1				3
3				1			3
4					1		4,5
5	II	1,5				1	8
6			2			1	8
7					1		3
8	IIa		1			1	6
9					2	1	8
10	III ²					1	4

Η πρώτη ομάδα (I) περιλαμβάνει ασβεστοκονιάματα με διάφορες μορφές ασβέστου (πολτό, κόνη υδρασβέστου, υδραυλική άσβεστο, άσβεστο υψηλής υδραυλικότητας). Η δεύτερη ομάδα (II) και η τρίτη (IIa) περιλαμβάνει τα διάφορα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα, ανάλογα με τη μορφή της ασβέστου που θα χρησιμοποιηθεί. Η τέταρτη ομάδα (III) αποτελείται μόνο από ένα τσιμεντοκονίαμα.

Για τις ομάδες αυτές προβλέπονται συγκεκριμένες απαιτήσεις αντοχής. Εξαίρεση αποτελεί μόνο η ομάδα I που είναι η ασθενέστερη.

Έτσι η μέση τιμή της αντοχής σε θλίψη των 28 ημερών πρέπει να είναι τουλάχιστον 2,5 MN/m² για τα κονιάματα της ομάδας II, τουλάχιστον 5,0MN/m² για τα κονιάματα της ομάδας IIa και τουλάχιστον 10,0 MN/m² για το κονίαμα της ομάδας III.

¹ Οι τιμές συμμετοχής της άμμου είναι για άμμο σε φυσική υγρασία.

² Η περιεκτικότητα σε τσιμέντο δεν πρέπει να μειώνεται σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται πρόσθετα για τη βελτίωση του εργασίμου.

Αντίστοιχα η μεμονωμένη τιμή για την παραπάνω αντοχή πρέπει να ξεπερνά τα $2,0 \text{ MN/m}^2$ για τα κονιάματα της ομάδας II, τα 4 MN/m^2 για τα κονιάματα της ομάδας IIa, και τα 8 MN/m^2 για το κονίαμα της ομάδας III.

Εκτός από τα βασικά συστατικά που χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση των κονιαμάτων τοιχοποιίας (νερό, συνδετική ύλη και άμμο), οι Γερμανικοί Κανονισμοί επιτρέπουν σε αυτά την προσθήκη και κάποιων άλλων υλικών, τα οποία μπορούν να βελτιώνουν ορισμένες ιδιότητές τους: τις πρόσμικτες και τις πρόσθετες ύλες.

Οι πρόσμικτες ύλες είναι λεπτά διαμοιρασμένα υλικά που επιδρούν στις ιδιότητες των κονιαμάτων όταν, σε αντίθεση με τις πρόσθετες ύλες, χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες. Δεν επιτρέπεται όμως να επηρεάζουν τη σκλήρυνση της κονιάς, την αντοχή και τη συνεκτικότητα του κονιάματος, αλλά ούτε και σε ανάλογες περιπτώσεις την προστασία έναντι διάβρωσης του οπλισμού ή των χαλύβδινων κατασκευών αγκυρώσεων μέσα στο κονίαμα.

Η ποσότητα της πρόσμικτης ύλης που θα χρησιμοποιηθεί, δεν συνυπολογίζεται στα μέρη όγκου της κονιάς, όταν το κονίαμα συντίθεται σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα 3.1.

Οι πρόσθετες ύλες είναι ύλες που μεταβάλλουν τις ιδιότητες των κονιαμάτων μέσω χημικής ή και φυσικής δράσης, και η προσθήκη τους γίνεται σε πολύ μικρές ποσότητες. Τέτοιες ύλες είναι, για παράδειγμα, τα αερακτικά πρόσθετα, τα ρευστοποιητικά πρόσθετα, τα πρόσθετα για την αύξηση της πυκνότητας και οι επιταχυντές πήξεως, καθώς και τα υλικά που επιδρούν ευνοϊκά στη συγκράτηση της σύνδεσης ανάμεσα στο κονίαμα και την πέτρα.

Οι πρόσθετες ύλες δεν επιτρέπεται να οδηγούν σε βλάβες του κονιάματος ή της τοιχοποιίας, ενώ σε τοιχοποιίες με οπλισμό ή χαλύβδινες αγκυρώσεις επιτρέπεται μόνο η χρήση ειδικών πρόσθετων για σκυρόδεμα, που έχουν υποβληθεί στους απαιτούμενους ελέγχους. Επειδή οι πρόσθετες ύλες είναι δυνατόν να επιδρούν θετικά σε κάποιες ιδιότητες του κονιάματος, ενώ υπό ορισμένες προϋποθέσεις, μπορούν ταυτόχρονα να επιδρούν και αρνητικά σε κάποιες άλλες, πρέπει πριν από τη χρήση τους, να ελέγχεται η καταλληλότητά τους για το κάθε κονίαμα.

3.1 ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Το ασβεστοκονίαμα είναι μίγμα άμμου, σβησμένης ασβέστου (υδρασβέστου) και νερού.

Η χρησιμοποιούμενη άμμος μπορεί να είναι φυσική ή τεχνητή. Η φυσική άμμος παρέχει ανθεκτικότερο κονίαμα, αλλά λόγω της υψηλής τιμής της στη χώρα μας χρησιμοποιείται σπανιότερα. Η τεχνητή άμμος είναι συνήθως ασβεστολιθικής ή δολομιτικής προελεύσεως και αν έχει καλή κοκκομετρική σύνθεση, δίνει ισχυρό ασβεστοκονίαμα. Η άμμος πρέπει να είναι καθαρή. Δεν πρέπει να περιέχει διαλυτά άλατα, διότι αυτά εμφανίζονται αργότερα υπό μορφή εξανθήματος στα επιχρίσματα από ασβεστοκονίαμα. Επίσης δεν επιτρέπεται να περιέχει πηλώδη υλικά σε αναλογία μεγαλύτερη από 3%, διότι το προκύπτον κονίαμα καθίσταται ασθενές, υφίσταται ραγίσματα και τρίβεται εύκολα μετά την πήξη του.

Η κοκκομετρική σύνθεση της άμμου πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η κοκκομετρική γραμμή να είναι συνεχής, δηλαδή η άμμος να περιέχει όλα τα μεγέθη των κόκκων σε τόση ποσότητα ώστε να επιτυγχάνονται τα λιγότερα κενά.

Η άσβεστος χρησιμοποιείται συνήθως υπό μορφή πολτού υδρασβέστου ή σπανιότερα υπό μορφή σκόνης υδρασβέστου. Η υδράσβεστος πρέπει να έχει υποστεί πλήρη σβέση και φύρανση πριν από τη χρησιμοποίησή της, ώστε να μην περιέχει άσβεστα τεμάχια κεκαυμένης ασβέστου. Τα τεμάχια αυτά είναι δυνατόν να σβεστούν αργότερα, όταν το κονίαμα θα έχει ενσωματωθεί στο έργο, με συνέπεια τη διόγκωση και καταστροφή του κονιάματος. Ειδικά για κονιάματα προοριζόμενα για την κατασκευή επιχρισμάτων η υδράσβεστος πρέπει να χρησιμοποιηθεί μετά το πέρας τουλάχιστον 15 ημερών από τη σβέση της κεκαυμένης ασβέστου.

Το χρησιμοποιούμενο νερό πρέπει να είναι καθαρό, απαλλαγμένο από άλατα ή οργανικές ουσίες. Θαλάσσιο νερό ή πολύ γλυφό δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιείται.

Η ανάμειξη των υλικών πρέπει να είναι επιμελημένη ώστε να προκύψει ομοιογενής μάζα. Δεν πρέπει να υπάρχουν μικροί σβώλοι υδρασβέστου αδιάλυτοι μέσα σ' αυτή, διότι θα αποτελέσουν αιτία καταστροφής του κονιάματος. Η ανάμειξη γίνεται με τα χέρια με τη βοήθεια πτύου ή σκαπάνης (τσάπας) ή με ειδικούς αναμικτήρες. Η χρησιμοποίηση όμως ειδικών αναμικτήρων δίνει κονίαμα πολύ καλύτερης ποιότητας.

Οι αναλογίες του πολτού της υδρασβέστου, της άμμου και του νερού που χρησιμοποιούνται συνήθως, εξαρτώνται από την ποιότητα των υλικών και από το σκοπό για τον οποίο προορίζεται το ασβεστοκονίαμα.

Η πήξη του ασβεστοκονιάματος αρχίζει βραδέως από τα εξωτερικά στρώματα προς τα εσωτερικά και οφείλεται στην επερχόμενη σκλήρυνση του ασβέστη. Τα ασβεστοκονιάματα πρέπει να έρθουν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ώστε ο ασβέστης να προσλάβει το διοξείδιο του άνθρακα και να σκληρυνθεί.

Κατά την πήξη εμφανίζεται νερό, το οποίο καθιστά υγρές τις υπό κατασκευή οικοδομές, ενώ συγχρόνως εμποδίζει τη συνέχιση των εργασιών. Πρέπει λοιπόν κάθε είδος έργου, στο οποίο χρησιμοποιείται ασβεστοκονίαμα, να αφήνεται για ένα χρονικό διάστημα ώστε να σκληρυνθεί το κονίαμα και μετά να συνεχιστεί η νέα εργασία σ' αυτό.

Η πήξη και η σκλήρυνση του κονιάματος επιτυγχάνονται, όταν γίνεται καλός αερισμός, διότι κατ' αυτόν τον τρόπο και η υγρασία απομακρύνεται και νέες ποσότητες CO₂ απορροφώνται συνέχεια.

Επίσης η ταχύτητα της πήξεως εξαρτάται και από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν η ατμόσφαιρα είναι κορεσμένη με υδρατμούς, καθυστερεί πολύ η σκλήρυνση του κονιάματος.

Η θλιπτική αντοχή του ασβεστοκονιάματος είναι πολύ μικρή και δεν υπερβαίνει τα 15 kp/cm². Ως εκ τούτου περιορίζεται πολύ η αντοχή των τοιχοδομών με ασβεστοκονιάματα, δεδομένου ότι οι φυσικοί ή τεχνητοί λίθοι έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή.

Η αντοχή του στις εξωτερικές επιρροές είναι μικρότερη από την αντοχή άλλων κονιαμάτων. Γι' αυτό όταν χρησιμοποιούνται σε εξωτερικές

επιφάνειες, πρέπει να ενισχύονται είτε με τσιμέντο είτε με άλλες ενισχυτικές ουσίες (υδρύαλος κ.λ.π.).

Είναι συνηθισμένο, κυρίως σε παλιές οικοδομές, το φαινόμενο κατεστραμμένων επιχρισμάτων, λόγω διείσδυσης νερού μεταξύ κονιάματος και τοίχου. Οι συνήθως χρησιμοποιούμενες αναλογίες και οι χρήσεις των αντίστοιχων ασβεστοκονιαμάτων είναι οι εξής:

$1 : 1,5$
 $1 : 2$
 $1 : 2,5$

Παχειά κονιάματα για επιχρίσματα

$1 : 2,5$
 $1 : 3$

Κανονικά κονιάματα για δόμηση τούβλων

$1 : 3$
 $1 : 4$

Ισχνά κονιάματα για δόμηση ανωδομών με αργούς λίθους

$1 : 5$ Ισχνά κονιάματα για δόμηση θεμελίων με αργούς λίθους.

Η ποσότητα του νερού, που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, είναι πρακτικά περίπου η ίδια για όλες τις αναλογίες ασβεστοκονιαμάτων. Ένα μέρος του νερού αυτού θα χρειαστεί για τη διάλυση του πολτού της υδρασβέστου, και ένα άλλο μέρος για την ύγρανση των κόκκων της άμμου. Η ποσότητα του νερού για τη διαβροχή 1m^3 άμμου ανέρχεται σε $0,14\text{m}^3$ περίπου και για τη διάλυση 1m^3 υδρασβέστου σε $0,16\text{m}^3$.

Τα ασβεστοκονιάματα χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην Ελλάδα, όπου και η άσβεστος και η άμμος έχουν σχετικά χαμηλή τιμή. Σε άλλες χώρες και κυρίως στη Β. Ευρώπη, η χρήση τους είναι πολύ περιορισμένη και έχουν αντικατασταθεί από τα τσιμεντοκονιάματα.

Χρησιμοποιούνται και ως συνδετικά υλικά και ως καλυπτικά υλικά. Ως συνδετικά υλικά χρησιμοποιούνται με διάφορες αναλογίες ασβέστη προς άμμου κατά την κατασκευή τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους.

Ως καλυπτικά δε υλικά για την κάλυψη των επιφανειών των οικοδομών και την προστασία των τοίχων ή άλλων στοιχείων από τις εξωτερικές επιδράσεις.

Για να βελτιωθούν ορισμένες ιδιότητες των ασβεστοκονιαμάτων, όπως είναι η μηχανική αντοχή τους, η αντοχή σε γήρανση, η καλύτερη εμφάνιση των επιχρισμένων επιφανειών κ.ά., χρησιμοποιούνται ποικίλα άλλα υλικά,

τα οποία αναμειγνυόμενα με τα ασβεστοκονιάματα συντελούν στη βελτίωση της ποιότητάς τους.

Έτσι έχουμε ασβεστογυψοκονιάματα, μαρμαροκονιάματα στα οποία αντί για άμμο χρησιμοποιείται μαρμαρόσκονη ως αδρανές πρόσμιγμα και θηραϊκοκονιάματα, που παρασκευάζονται με αλεύρι θηραϊκής γης που αντικαθιστά εν μέρει ή εξ' ολοκλήρου την άμμο. [4]

Εκτιμάται ότι η χρήση των τελευταίων είναι περιορισμένη, διότι η εξόρυξη της θηραϊκής γης έχει σταματήσει για περιβαλλοντικούς λόγους.

3.2 ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Το μίγμα άμμου, τσιμέντου και νερού καλείται τσιμεντοκονιάμα.

Το τσιμέντο αποτελεί τη δραστική συγκολλητική ουσία, η οποία υπό μορφή πολτού, πληρεί τα κενά της άμμου.

Η άμμος αποτελεί την αδρανή ύλη που συντελεί στην αύξηση και βελτίωση των μηχανικών εν γένει ιδιοτήτων του τσιμέντου, αλλά συγχρόνως υποβιβάζει και το κόστος του κονιάματος. Το τσιμέντο έναντι των άλλων κονιών (ασβέστη, γύψου κ.λ.π.) παρουσιάζει μεγαλύτερη ικανότητα προσφύσεως και μεγαλύτερη μηχανική αντοχή. Επίσης έχει την υδραυλική ιδιότητα, την ικανότητα δηλαδή να σκληρύνεται στο νερό. Για όλους τους παραπάνω λόγους το τσιμεντοκονιάμα κατέστη το κατ' εξοχήν δομικό υλικό της σύγχρονης εποχής. Είτε χρησιμοποιηθεί αυτούσιο, όπως π.χ. στη δόμηση τοίχων από τούβλα και σε επιχρίσματα και στεγανές επικαλύψεις, είτε χρησιμοποιηθεί ως βοηθητικό υλικό, για την κατασκευή άλλων συνθετότερων υλικών, όπως π.χ. το σκυρόδεμα και οι διάφοροι τεχνητοί λίθοι, πάντοτε ανταποκρίνεται προς τις απαιτήσεις του έργου για το οποίο προορίζεται, με την προϋπόθεση βεβαίως ότι θα ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα κατά την παρασκευή του. Συγχρόνως το κόστος παρασκευής του είναι αρκετά χαμηλό, ώστε να δίνει και οικονομικές κατασκευές.

Η μηχανική αντοχή και η στεγανότητα του τσιμεντοκονιάματος εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι [4]:

- *Η σχέση τσιμέντου προς άμμο.* Μεγαλύτερη αναλογία τσιμέντου προς άμμο δίνει ανθεκτικότερα και στεγανότερα κονιάματα.
- *Η προέλευση και η κοκκομετρική σύνθεση της άμμου.* Χαλαζιακή άμμος δίνει ισχυρότερα κονιάματα από ασβεστολιθική. Επίσης όσο η καμπύλη της κοκκομετρικής σύνθεσης πλησιάζει σ' αυτή που ο Κανονισμός καθορίζει σαν εξαιρετικά καλή, τόσο μεγαλύτερης αντοχής και στεγανότητας κονιάμα προκύπτει.

- Η ποσότητα του νερού επεξεργασίας. Το πολύ νερό ελαττώνει την αντοχή και τη στεγανότητα του κονιάματος.
- Η διατήρηση του κονιάματος σε υγρό περιβάλλον, όσο το δυνατό για περισσότερο χρόνο μετά το τέλος της πήξεως (συντήρηση). Η στεγανότητα των επιχρίσεων από τσιμεντοκονίαμα είναι δυνατό να αυξηθεί, αν προστεθούν στο κονίαμα ορισμένες ουσίες, οι οποίες κυκλοφορούν στο εμπόριο υπό μορφή σκόνης ή υγρού. Οι ουσίες αυτές είναι συνήθως λεπτότατο αλεύρι διαφόρων πετρωμάτων ή άλλων υλικών (ασβεστόλιθοι, θηραϊκή γη, σκωρία υψικαμίνων κ.λ.π.) ή διαλύματα ασφάλτου ή συνθετικά μονωτικά.
- Η αντοχή σε τριβή των τσιμεντοκονιαμάτων είναι αρκετά μεγάλη και εξαρτάται κυρίως από τη σκληρότητα της αδρανούς ύλης. Η χαλαζιακή άμμος δίνει ανθεκτικότερα έναντι τριβής κονιάματα από την ασβεστολιθική.

Τα τσιμεντοκονιάματα και κυρίως τα παχειά (μεγάλη αναλογία τσιμέντου) ανθίσταται με επιτυχία στην επίδραση αραιών διαλυμάτων διαφόρων χημικών ουσιών (οξέων, αλάτων κ.λ.π.), καθώς και στην επίδραση του θαλάσσιου νερού. Τα πυκνά όμως διαλύματα καταστρέφουν το τσιμεντοκονίαμα και πρέπει να λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις κατά την επίχριση δεξαμενών, στις οποίες πρόκειται να εναποθηκευτούν διαλύματα αυτού του είδους. Η άμμος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή τσιμεντοκονιάματος πρέπει να επιλέγεται με μεγαλύτερη προσοχή από την άμμο του ασβεστοκονιάματος.

Αυτό οφείλεται στο ότι η επιρροή της στις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος είναι πολύ πιο σημαντική.

Η ιδανική άμμος είναι η χαλαζιακή θαλάσσιας προέλευσης με κόκκους διαφόρων μεγεθών, ώστε να προκύπτουν τα λιγότερα δυνατά κενά. Επειδή όμως η άμμος αυτή αφενός μεν έχει υψηλή τιμή, αφετέρου δε δεν βρίσκεται σε αφθονία, χρησιμοποιείται μόνο για ειδικές κατασκευές όπως είναι οι στεγανές επαλείψεις δεξαμενών και ταρατσών, η κάλυψη αρμών κ.λ.π.

Η άμμος που χρησιμοποιείται συνήθως είναι η τεχνητή των λατομείων ασβεστολιθικής προέλευσης. Και αυτή πρέπει να αποτελείται από κόκκους

σκληρούς και με κοκκομετρική σύνθεση ανάλογη με τη σπουδαιότητα του έργου, για το οποίο προορίζεται το τσιμεντοκονίαμα.

Δεν πρέπει να περιέχει ξένες προσμίξεις, διότι βλάπτουν τη συνοχή, τη σκλήρυνση, την αντοχή και γενικά όλες τις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος. Οι προσμίξεις αυτές είναι:

- Η άργιλος και ο πηλός σε αναλογία μεγαλύτερη του 3%. Ιδιαίτερα επιβλαβείς είναι οι ουσίες αυτές όταν βρίσκονται προσκολλημένες στους κόκκους της άμμου.
- Οργανικές ουσίες, που περιέχονται στο χώμα.
- Τεμάχια άνθρακα ή λιγνίτη
- Διάφορες ενώσεις του θείου
- Τεμάχια ασβέστη και
- διάφορα διαλυτά άλατα όπως π.χ. το χλωριούχο νάτριο.

Το νερό για την επεξεργασία του κονιάματος πρέπει να είναι καθαρό και διαυγές. Ξένες προσμίξεις και κυρίως πηλός, οργανικές ουσίες και διαλυτά άλατα δεν πρέπει να περιέχονται σ' αυτό. Γενικά το πόσιμο νερό είναι το καταλληλότερο.

Και σε αυτό το κονίαμα, όπως και στο ασβεστοκονίαμα ο ρόλος του νερού είναι διπλός. Ένα μέρος της απαιτούμενης ποσότητας καταναλώνεται για τις χημικές αντιδράσεις, που πραγματοποιούνται κατά την πήξη του τσιμέντου, ενώ το υπόλοιπο μέρος χρησιμεύει για τη διαβροχή των κόκκων της άμμου και την αύξηση της πλαστικότητας και γενικά του εργάσιμου του τσιμεντοκονιάματος.

Το δεύτερο αυτό μέρος ονομάζεται νερό επεξεργασίας και καθώς εξατμίζεται καθιστά πορώδες το τσιμεντοκονίαμα. Η ποσότητα του νερού επεξεργασίας ασκεί ουσιαστική επίδραση στις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος. Μικρή ποσότητα δημιουργεί κονίαμα στεγνό και δυσκολοκατέργαστο, αλλά αυξημένης μηχανικής αντοχής και στεγανότητας. Αντίθετα, μεγάλη ποσότητα το κάνει πλαστικό έως υδαρές και εύκολα κατεργάσιμο, αλλά συγχρόνως ελαττώνει την αντοχή του και τη στεγανότητά του.

Πρέπει επομένως ανάλογα με τη χρήση, για την οποία προορίζεται το τσιμεντοκονίαμα και ανάλογα με τις ιδιότητες που θέλουμε να έχει, να προσδιορίζεται κάθε φορά η ποσότητα του νερού επεξεργασίας.

Η ποσότητα του νερού του απαιτούμενου για τη χημική αντίδραση είναι ανάλογη με την ποσότητα του τσιμέντου, που περιέχει το κονίαμα. Για τα κοινά τσιμέντα Portland απαιτούνται 25 λίτρα νερού για την πήξη 100 κιλών τσιμέντου και 15 λίτρα για να συγκρατηθεί από τους κόκκους του πηγματος σαν επιφανειακά δεσμευμένο νερό,

Τα τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται:

- * Ως συνδετικά υλικά κατά τη δόμηση τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους.
- * Για τη στερέωση μεταλλικών εξαρτημάτων και συνδέσμων στους τοίχους (στηρίγματα κουφωμάτων, σωλήνων κ.λ.π.).
- * Ως καλυπτικά υλικά και για τους αρμούς τοιχοποιιών, για επιχρίσματα τοίχων και οροφών, για την κατασκευή αρχιτεκτονικών προεξοχών, για επιστρώσεις δαπέδων, για στεγανές επικαλύψεις δεξαμενών κ.λ.π.
- * Ως πρώτη ύλη για την κατασκευή διαφόρων τεχνητών υλικών, όπως είναι οι τσιμεντόλιθοι, οι κισσηρόλιθοι, οι τσιμεντοσωλήνες κ.λ.π.

Οι αναλογίες μίξεως τσιμέντου και άμμου εξαρτώνται από τον προορισμό του τσιμεντοκονιάματος. Οι περισσότερες χρησιμοποιούμενες αναλογίες συνθέσεων σε μέρη όγκου τσιμέντου προς άμμο είναι:

- ♦ για κονιάματα δόμησης θεμελίων από λίθους σε υγρό περιβάλλον: 1:3 έως 1:4 ή 500 έως 400 κιλά τσιμέντου ανά m^3 κονιάματος
- ♦ για κονιάματα στεγανών επιχρισμάτων: 1:1,5 έως 1:2,5 ή 1100 έως 600 κιλά τσιμέντου ανά m^3 κονιάματος
- ♦ για κονιάματα εξωτερικών επιχρισμάτων: 1:2 έως 1:3 ή 750 έως 500 κιλά τσιμέντου ανά m^3 κονιάματος
- ♦ για κονιάματα επιστρώσεων: 1:1,5 έως 1:2,5.

Επειδή υπάρχει κίνδυνος να υπεισέλθουν λάθη κατά τη μέτρηση του όγκου του τσιμέντου, ο οποίος μεταβάλλεται ανάλογα με την πίεση που υφίσταται, καθώς και του όγκου της άμμου που μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία (διόγκωση άμμου), προσδιορίζεται και η σύνθεση

του κονιάματος μέσω του βάρους του τσιμέντου που περιέχεται σε 1 m³ έτοιμο τσιμεντοκονίαμα.

Η ανάμειξη των υλικών πρέπει να είναι όσο το δυνατό ομοιογενέστερη. Το προκύπτον κονίαμα δεν πρέπει να περιέχει συμπαγή τεμάχια ή σβώλους αλλά η μάζα του να είναι ομοιόμορφη και ομοιόχρωμη.

3.3 ΑΣΒΕΣΤΟΠΟΥΖΟΛΑΝΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Τα ασβεστοπουζολανοκονιάματα είναι ειδικά ασβεστοκονιάματα, τα οποία παρασκευάζονται με αλεύρι φυσικής ή τεχνητής πουζολάνης, που αντικαθιστά την άμμο μερικώς ή εξ' ολοκλήρου.[4]

Στα κονιάματα αυτά, είναι δυνατό να αντικατασταθεί και ένα μέρος του ασβέστη με τσιμέντο.[5]

Το μεγάλο πλεονέκτημα των κονιαμάτων αυτών έναντι του κοινού ασβεστοκονιάματος είναι ότι εμφανίζουν αρκετή υδραυλικότητα, δηλαδή μπορούν να σκληρυνθούν και στο νερό, χωρίς να έρθουν σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα για την πρόσληψη διοξειδίου του άνθρακα CO₂.

Τα ασβεστοπουζολανοκονιάματα δείχνουν άριστη συμπεριφορά και αναπτύσσουν εξαιρετικές μηχανικές αντοχές, πρόσφυση κ.λ.π. όταν βρίσκονται σε μόνιμα υγρό περιβάλλον (π.χ. σε θεμέλια, θαλάσσια έργα), ενώ στον αέρα (και μάλιστα σε θερμό και ξηρό περιβάλλον) τα ασβεστοπουζολανοκονιάματα τρίβονται εύκολα.

Για τους παραπάνω λόγους τα ασβεστοπουζολανοκονιάματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τοιχοδομών θεμελίων ή τοιχοδομών σε υγρό περιβάλλον (υπόγεια κ.λ.π.).[4]

3.4 ΑΣΒΕΣΤΟΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα ή μικτά κονιάματα, είναι κονιάματα με συνδετική ύλη τσιμέντο και ασβέστη (πολτό ή κονιοποιημένο). Είναι αερικά κονιάματα μέτριας αντοχής και χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε όλες τις κατασκευές που δεν έχουν εξαιρετικά υψηλές απαιτήσεις αντοχών και στα επιχρίσματα. [5]

Πολύ διαδεδομένη είναι η χρησιμοποίησή τους στη δόμηση τοίχων από φυσικούς και τεχνητούς λίθους και κυρίως στα χαμηλά τους τμήματα, τα οποία βρίσκονται μέσα ή κοντά στο έδαφος και γενικά σε υγρούς χώρους καθώς επίσης και κατά την κατασκευή των εξωτερικών επιχρισμάτων.

Βασικά πρόκειται για ασβεστοκονιάματα, όπως αυτά παρασκευάζονται με τις αναλογίες τους στα οποία ένα μέρος του πολτού του ασβέστη έχει αντικατασταθεί από μία ποσότητα τσιμέντου. Η ποσότητα του τσιμέντου εξαρτάται από το σκοπό, για τον οποίο προορίζεται το ασβεστοτσιμεντοκονίαμα.

Στην παρασκευή του ασβεστοτσιμεντοκονιάματος οδήγησε η ανάγκη συνδυασμού των ιδιοτήτων και του μικρότερου κόστους του ασβεστοκονιάματος με τις δύο βασικές ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος: την αυξημένη μηχανική του αντοχή και την ικανότητά του να σκληρύνεται γρήγορα και στο νερό. Γενικά έχει παρατηρηθεί ότι μικρή ποσότητα ασβέστου, μέχρι 10% της ποσότητας του τσιμέντου, η οποία προστίθεται στα τσιμεντοκονιάματα, όχι μόνο δεν ελαττώνει τη μηχανική τους αντοχή και την υδραυλικότητά τους αλλά αντίθετα στα ισχνά τσιμεντοκονιάματα αυξάνει τις ιδιότητες αυτές, ενώ συγχρόνως τα κάνει πιο εργάσιμα.

Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα πλεονεκτούν έναντι των ασβεστοκονιαμάτων και των ισχνών τσιμεντοκονιαμάτων διότι:

- ♦ είναι πιο εργάσιμα από τα ισχνά τσιμεντοκονιάματα και παρουσιάζουν μεγαλύτερη καλυπτική ικανότητα,

- ♦ προσφύονται καλύτερα στις επιφάνειες των λίθων και σκληρύνονται γρηγορότερα από τα κοινά ασβεστοκονιάματα ακόμη και σε υγρό περιβάλλον,
- ♦ η αντοχή τους είναι μεγαλύτερη από αυτή των ασβεστοκονιαμάτων και μικρότερη από αυτή των τσιμεντοκονιαμάτων,
- ♦ δεν πήζουν στο νερό, αλλά με τη σκλήρυνσή τους στον αέρα αντέχουν στην επιρροή του νερού. Το θαλασσινό νερό όμως και γενικά τα αλατούχα νερά καταστρέφουν το ασβεστοτσιμεντοκονίαμα,
- ♦ το κόστος του ασβεστοτσιμεντοκονιάματος είναι μικρότερο από το κόστος των τσιμεντοκονιαμάτων.

Οι συνήθως χρησιμοποιούμενες αναλογίες τσιμέντου, πολτού ασβέστου, άμμου και νερού σε μέρη όγκου είναι: 1:1:6, 1:1:7, 1:2:6 και 1:2:8.[4]

4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Για να θεωρηθεί ένα κονίαμα κατάλληλο για το σκοπό για τον οποίο προορίζεται, πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά [4]:

- Να είναι εργάσιμο, ώστε κατά τους διάφορους χειρισμούς που απαιτεί η χρησιμοποίησή του, να μη διασπάται η μάζα του. Γι' αυτό πρέπει να γίνεται πολύ καλά η ανάμειξη των υλικών του και να μην παραμένουν σβώλοι μέσα του.
- Να είναι αρκετά πλαστικό, ώστε να επαλείφει καλά όλες τις ανωμαλίες των λίθων και των επιφανειών, αλλά συγχρόνως να έχει αρκετή συνοχή (όχι υδαρές), ώστε να συγκρατείται και να μη διαφεύγει από τους αρμούς της τοιχοποιίας κατά την τοποθέτηση των υπερκείμενων λίθων πάνω του.
- Η ξήρανσή του ή η πήξη του να επέρχονται εντός κανονικού χρόνου, ώστε να μπορεί να αντέξει τα υπερκείμενα φορτία κατά τη δόμηση.
- Να παρουσιάζει ογκοσταθερότητα, ώστε να μην προκαλούνται διαστολές ή συστολές και συνεπώς συρρικνώσεις ή ρήγματα.
- Να παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε θλίψη, εφόσον θα χρησιμοποιηθεί σε έργα που απαιτούν αντοχή αυτού του είδους.
- Και τέλος, να μπορεί να σκληρυνθεί μέσα στο νερό, όταν πρόκειται για έργα κατασκευαζόμενα μέσα σε υγρά εδάφη ή μέσα στο νερό.

Το εργάσιμο είναι μια ειδική ιδιότητα που αφορά τα κονιάματα και το σκυρόδεμα και μάλιστα μόνο κατά τη στιγμή της εφαρμογής τους. Σε πολλές περιπτώσεις η έννοια του εργάσιμου συγχέεται ή ταυτίζεται με την έννοια της πλαστικότητας ή της συνεκτικότητας και με τους όρους αυτούς αναφέρεται σε διάφορα συγγράμματα ή προδιαγραφές. Οπωσδήποτε, παρ' όλη την ασάφεια της σχετικής ορολογίας, είναι δυνατόν να καθοριστεί και να αναλυθεί η έννοια του "εργάσιμου".

“Εργάσιμο” ονομάζεται το σύνολο των ρεολογικών ιδιοτήτων που έχει το νωπό κονίαμα ή σκυρόδεμα. Οι ρεολογικές αυτές ιδιότητες του εργάσιμου μπορούν να αναλυθούν σε τρεις μερικές ιδιότητες από τη σύνθεση των οποίων προκύπτει το εργάσιμο.

1. Τη ρευστότητα, δηλαδή την εσωτερική ευκινησία του μίγματος και την ευκολία με την οποία οι κόκκοι κινούνται μεταξύ τους, ώστε να γεμίσουν τα κενά (εσωτερική ρευστότητα).
2. Την πλαστικότητα του, δηλαδή την ευκολία που παρουσιάζει το μίγμα στη ροή και το γέμισμα ενός καλουπιού, χωρίς κενά, σπηλιές κ.λ.π.
3. Το αναπόμικτο, δηλαδή την ικανότητα που έχει το νωπό κονίαμα ή το μπετόν να διατηρεί την ομοιογένειά του και να μην ξεπλένεται ούτε να ξεχωρίζει τα υλικά του όταν μεταφέρεται, κοπανίζεται, πέφτει από ψηλά κ.λ.π.

Οι τρεις αυτές μερικές ιδιότητες που συνθέτουν και προσδιορίζουν την έννοια του εργάσιμου, δεν είναι ανεξάρτητες η μία από την άλλη και από τους παράγοντες που τις επηρεάζουν άλλοι ενεργούν κατά τρόπο αντιφατικό, δηλαδή ευνοϊκά για τη μία μερική ιδιότητα και δυσμενώς για μια άλλη, ώστε η τελική επίδραση στο εργάσιμο να είναι αμφίβολη και αυτό αποτελεί μία πρόσθετη δυσκολία στη διερεύνηση του εργάσιμου.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η αύξηση της ποσότητας του νερού αυξάνει τη ρευστότητα του μίγματος ενώ συγχρόνως εξασθενίζει το αναπόμικτο, δηλαδή μεγαλώνει τους κινδύνους και το ενδεχόμενο διαχωρισμού των υλικών που το αποτελούν. Στην πλαστικότητα του μίγματος δεν παίζει σπουδαίο ρόλο η αύξηση της ποσότητας του νερού.

Αντίθετα η πλαστικότητα επηρεάζεται ευνοϊκά από τη σφαιρικότητα των κόκκων των αδρανών και από την αύξηση της περιεκτικότητας σε συνδετική ύλη και φίλλερ.

Η απόμειξη ευνοείται από το αυξημένο νερό, ενώ αντίθετα, οι λεπτοί κόκκοι κονίας και αδρανών εμποδίζουν την απόμειξη. [5]

Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των κονιαμάτων και ειδικότερα των κονιαμάτων τοιχοποιίας, οι Γερμανικοί Κανονισμοί [3] προβλέπουν μια σειρά από δοκιμές, με τις οποίες καθορίζονται το εργάσιμο - συνεκτικότητα καθώς και η πυκνότητά τους.

Στις δοκιμές αυτές υποβάλλονται νωπά κονιάματα που παρασκευάζονται με ορυκτές συνδετικές ύλες και πυκνά αδρανή.

Οι Κανονισμοί ορίζουν ότι το εργάσιμο - συνεκτικότητα νωπού κονιάματος αποτελεί μέτρο για την πλαστικότητά του, όταν υποβάλλεται σε ορισμένη επιπόνηση.

Διακρίνουν έτσι, τρεις περιοχές συνεκτικότητας ανάλογα με το μέτρο εξάπλωσης του κονιάματος:

Περιοχή συνεκτικότητας	Μέτρο εξάπλωσης σε cm
km1 ύφυγρο	< 14
km2 πλαστικό	14 έως 20
km3 υδαρές	> 20

Το μέτρο εξάπλωσης του κονιάματος, με βάση το οποίο θα καθοριστεί η συνεκτικότητά του, προσδιορίζεται με τη δοκιμή εξάπλωσης.

Για τη δοκιμή αυτή, παρασκευάζεται κονίαμα και από αυτό λαμβάνονται τουλάχιστον δύο δείγματα σε επαρκείς ποσότητες, τα οποία πριν από τον έλεγχο δεν επιτρέπεται να υποβάλλονται ξανά σε μηχανική ανάμειξη. Η επαρκής ποσότητα ορίζεται ότι είναι τουλάχιστον τριπλάσια από το περιεχόμενο της συσκευής μέτρησης.

Για την εκτέλεση των δοκιμών χρησιμοποιείται τράπεζα εξαπλώσεως με κώνο δεδομένων διαστάσεων και κόπανο.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Η τράπεζα εξάπλωσης τοποθετείται οριζόντια πάνω σε μία σταθερή βάση. Πριν από κάθε δοκιμή πρέπει να υγραίνεται απαραίτητως τόσο η γυάλινη πλάκα που υπάρχει επάνω στην τράπεζα εξαπλώσεως όσο και η εσωτερική επιφάνεια του κώνου. Για να προσδιοριστεί το μέτρο εξάπλωσης, τοποθετείται ο κώνος στο μέσο της γυάλινης πλάκας και εισάγεται σε αυτόν το κονίαμα σε δύο στρώσεις. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με μερικά μικρά χτυπήματα που γίνονται με τον κόπανο. Κατά τη διάρκεια της εισαγωγής του κονιάματος, ο κώνος πρέπει με το ένα χέρι να πιέζεται επάνω στη γυάλινη πλάκα. Το προεξέχων τελικά

κονίαμα αφαιρείται με πριονωτή κίνηση που γίνεται με τη βοήθεια ενός κανόνα και καθαρίζεται η ελεύθερη επιφάνεια της γυάλινης πλάκας.

Μόλις περάσουν τριάντα δευτερόλεπτα, ο κώνος αφαιρείται με αργή κίνηση κάθετα προς τα επάνω και το κονίαμα εξαπλώνεται με 15 κτύπους (ένας κτύπος κάθε δευτερόλεπτο) της τράπεζας, επάνω στη γυάλινη πλάκα.

Το μέτρο εξάπλωσης είναι η διάμετρος του εξαπλωμένου κονιάματος, η οποία μετράται σε 2 κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις. Το αποτέλεσμα δίνεται σε εκατοστά με ακρίβεια 0,1 cm και ως μεμονωμένη τιμή και ως μέση τιμή.

Ο Κανονισμός [3] επιτρέπει να γίνεται η δοκιμή εξαπλώσεως και με την τράπεζα εξαπλώσεως που αποτελείται από δοχείο δεδομένων διαστάσεων και ξύλινο κόπανο, ή να καθορίζεται η συνεκτικότητα απ' ευθείας με τη δοκιμή της συμπίκνωσης, μόνο όταν δίνουν αρκετά ακριβή και συγκρίσιμα αποτελέσματα με αυτά που προκύπτουν από δοκιμές εξάπλωσης σε τράπεζα εξαπλώσεως με κώνο.

Ειδικά η δοκιμή συμπίκνωσης έχει προβλεφθεί περισσότερο για κονιάματα που βρίσκονται σε ύφυγρη κατάσταση.

** Δοκιμή εξαπλώσεως σε τράπεζα εξαπλώσεως με δοχείο δεδομένων διαστάσεων και ξύλινο κόπανο.*

Η τράπεζα εξαπλώσεως τοποθετείται οριζόντια πάνω σε μία σταθερή βάση. Πριν από την έναρξη κάθε δοκιμής πρέπει να υγραίνεται η επιφάνεια της τράπεζας καθώς και η εσωτερική επιφάνεια του δοχείου.

Το δοχείο τοποθετείται στη μέση της τράπεζας και το κονίαμα εισάγεται σε δύο στρώσεις περίπου ίδιου ύψους. Κάθε στρώση δουλεύεται ελαφρά με δέκα χτυπήματα που γίνονται με τη βοήθεια του ξύλινου κόπανου. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, ο εκτελών τη δοκιμή στέκεται επάνω στις δύο οριζόντιες προεκτάσεις του δοχείου. Μετά το γέμισμα του δοχείου, αφαιρείται το περίσσειμα του κονιάματος, με πριονωτή κίνηση, ακριβώς από το χείλος του δοχείου με τη χρήση ενός

κανόνα. Στη συνέχεια υγραίνεται ξανά η ελεύθερη επιφάνεια της τράπεζας.

Τριάντα δευτερόλεπτα μετά την αφαίρεση του περισσίου κονιάματος ανασηκώνεται αργά και κάθετα προς τα επάνω το δοχείο από τις λαβές του και απομακρύνεται, ενώ αρχίζει η διαδικασία κατά την οποία ανασηκώνεται η επιφάνεια της τράπεζας από τη λαβή της και αφήνεται να πέσει ελεύθερα 15 φορές σε 15 δευτερόλεπτα.

Η διάμετρος του εξαπλωμένου κονιάματος μετριέται δύο φορές και μάλιστα παράλληλα στις γωνίες της τράπεζας. Το αποτέλεσμα δίνεται σε εκατοστά με ακρίβεια 0,5 cm ως μεμονωμένη τιμή και ως αριθμητικός μέσος όρος.

* Δοκιμή συμπίκνωσης

Για τη δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται ένα σκληρό δοχείο ύψους 200mm και επιφάνειας βάσης 100mm × 100mm που είναι ανοικτό από πάνω και ένα μυστρί τραπεζοειδούς μορφής για την εισαγωγή του κονιάματος και εκτελείται σε δονητική τράπεζα. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: αφού υγρανθεί η λιπανθεί η εσωτερική επιφάνεια του δοχείου, εισάγεται σε αυτό το κονίαμα με τυποποιημένο τρόπο. Όσο κονίαμα προεξέχει στο τέλος από το δοχείο αφαιρείται με την πριονωτή κίνηση, χωρίς να γίνεται καμία κίνηση προηγούμενης συμπίκνωσής του. Στη συνέχεια το κονίαμα που βρίσκεται μέσα στο δοχείο συμπτκνώνεται πάνω στη δονητική τράπεζα για τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται ώστε να μην “κάθεται” άλλο. Κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης δεν πρέπει να χύνεται κονίαμα έξω από το δοχείο, ενώ σε περίπτωση που σχηματίσει μία θολωτή επιφάνεια κτυπάμε ελαφρά για να γίνει επίπεδη.

Μόλις ολοκληρωθεί η συμπίκνωση μετράται η απόσταση της επιφάνειας του συμπτκνωμένου στο ύψος h κονιάματος από το χείλος του δοχείου σε mm και για τις τέσσερις πλευρές του δοχείου. Από τις τέσσερις αυτές τιμές υπολογίζεται ο μέσος όρος τους (μέση απόσταση S).

Η συνεκτικότητα προκύπτει σαν μέτρο συμπύκνωσης U , από το λόγο του ύψους του δοχείου, προς το ύψος h του περιεχομένου σε αυτό συμπυκνωμένου κονιάματος.

$$U = \frac{200}{h} = \frac{200}{200 - S}$$

* Καθορισμός της πυκνότητας ρ του κονιάματος

Η πυκνότητα ρ (σε kg/dm^3) ενός νωπού κονιάματος είναι το πηλίκο της μάζας του m (σε kg) δια του όγκου V (σε dm^3) που καταλαμβάνει το κονίαμα όταν με καθορισμένο τρόπο εισάγεται ή εισάγεται και συμπυκνώνεται μέσα σε βαθμονομημένο δοχείο ορισμένης περιεκτικότητας.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ο Κανονισμός [3] ορίζει ότι πρέπει να λαμβάνεται ένα δείγμα κονιάματος επαρκούς ποσότητας (τουλάχιστον τριπλάσια από την χωρητικότητα του οργάνου μέτρησης) και να ελέγχονται δύο τουλάχιστον υποδείγματα από αυτό, χωρίς να ξαναυποβάλλονται σε μηχανική ανάμειξη πριν από τη δοκιμή.

Για την εκτέλεση της δοκιμής πρέπει να χρησιμοποιείται ένα μεταλλικό με επαρκή σταθερότητα σχήματος, κυλινδρικό βαθμονομημένο δοχείο χωρητικότητας 1dm^3 και εσωτερικής διαμέτρου περίπου 125mm . Η χωρητικότητα του βαθμονομημένου δοχείου καθορίζεται με ακρίβεια $0,1\%$ και πρέπει να ελέγχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Για τον υπολογισμό της πυκνότητας, το κονίαμα εισάγεται στο βαθμονομημένο δοχείο και συμπυκνώνεται με ορισμένο τρόπο, ανάλογα με τη συνεκτικότητα που παρουσιάζει. Τελικά, στη σχέση $\rho = \frac{m}{V}$ τίθενται: όπου V η περιεκτικότητα του βαθμονομημένου δοχείου στρογγυλεμένη στο $0,1\%$ και όπου m το βάρος του περιεχομένου στο δοχείο κονιάματος.

Καθοριστικός για την πυκνότητα είναι ο μέσος όρος που προκύπτει από τις δύο μεμονωμένες τιμές των υποδειγμάτων. Αν οι μεμονωμένες τιμές αποκλίνουν από το μέσο όρο περισσότερο του 2% , τότε πρέπει να

ερευνηθεί η αιτία της απόκλισης. Οι μεμονωμένες τιμές και ο αριθμητικός μέσος όρος δίνονται στρογγυλεμένα σε $0,01 \text{ kg/dm}^3$.

* Καθορισμός της θλιπτικής αντοχής κονιαμάτων

Η θλιπτική αντοχή σκληρυμένων κονιαμάτων με ορυκτές συνδετικές ύλες υπολογίζεται από δοκίμια που μορφώνονται για το σκοπό αυτό. Για τη μόρφωση των δοκιμίων, λαμβάνεται ένα δείγμα περίπου 5000g από το νωπό κονίαμα, το οποίο πρέπει να έχει ένα αρκετά κατάλληλο για εφαρμογή εργάσιμο-συνεκτικότητα. Ο Κανονισμός [3] ορίζει ότι για κονιάματα τοιχοποιίας και επιχρισμάτων αρκεί να ρυθμίζεται ένα μέτρο εξάπλωσης της τάξεως των 17 εκατοστών.

Το κονίαμα εισάγεται με καθορισμένο τρόπο μέσα σε ειδικές μήτρες και στη συνέχεια συμπυκνώνεται. Η συμπύκνωση, με εξαίρεση ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, γίνεται κατά κανόνα με τη δοκιμή της πτώσεως. Η διαδικασία που ακολουθείται στη δοκιμή αυτή είναι η εξής: Το κονίαμα εισάγεται στη μήτρα με ένα κουτάλι, μέχρι περίπου στο μέσο του ύψους της. Για να γίνει η συμπύκνωση, τοποθετείται η μήτρα πάνω σε μία σταθερή και ανυποχώρητη βάση όπου αναστηκώνεται εναλλάξ από τις πλευρές της κατά 3 εκατοστά και αφήνεται να πέσει ελεύθερα, κίνηση που επαναλαμβάνεται δέκα φορές. Ακολούθως συμπληρώνεται η μήτρα με το κονίαμα μέχρι το χείλος της και επαναλαμβάνεται η συμπύκνωση όπως και προηγουμένως. Το συμπλήρωμα της μήτρας με κονίαμα επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται, ώστε στο τέλος της συμπύκνωσης να υπάρχει ένα περίσσευμα αρκετό για να αφαιρεθεί. Η αφαίρεση γίνεται με τη βοήθεια ενός κανόνα που μετακινείται πριονωτά πάνω στα χείλη της μήτρας.

Αμέσως μετά τη συμπύκνωσή τους, τα δοκίμια σκεπάζονται με ελαφρά λαδωμένες γυάλινες ή σιδερένιες πλάκες και συντηρούνται σε χώρους όπου επικρατούν οι προδιαγραφόμενες από τον Κανονισμό συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Για τσιμεντοκονιάματα και άλλα κονιάματα που περιέχουν υδραυλικές συνδετικές ύλες, η συντήρηση των δοκιμίων μέσα στις μήτρες γίνεται για δύο ημέρες σε συνθήκες θερμοκρασίας $(20 \pm 1)^\circ \text{C}$ και σχετική υγρασία τουλάχιστον 95%.

Μετά από τη διέλευση αυτού του χρονικού διαστήματος, τα δοκίμια ξεκαλουπώνονται και συντηρούνται στον ίδιο χώρο άλλες 5 ημέρες, ενώ στο τέλος και αυτού του χρόνου συντηρούνται για 21 ημέρες σε θερμοκρασία 20° C και σχετική υγρασία 65%.

Τελικά, τα δοκίμια των 28 ημερών θραύονται σε ειδικές μηχανές θραύσεως για να βρεθεί η θλιπτική τους αντοχή. Η θλιπτική αντοχή δίνεται ως μέσος όρος που προκύπτει από έξι μεμονωμένες τιμές.

Τόσο οι μεμονωμένες τιμές όσο και ο αριθμητικός μέσος όρος δίνονται στρογγυλεμένα στο 1N/mm^2 για τιμές $\geq 10\text{N/mm}^2$ και στρογγυλεμένα στο $0,1\text{N/mm}^2$ για τιμές $< 10\text{N/mm}^2$. Στην περίπτωση όμως που οι μεμονωμένες τιμές αποκλίνουν περισσότερο από 10% από το μέσο όρο, τότε ο μέσος όρος δεν υπολογίζεται.

5. ΕΜΜΕΣΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η φέρουσα ικανότητα της τοιχοποιίας, όπως αναφέρθηκε στο 1ο Κεφάλαιο, εξαρτάται άμεσα από την αντοχή του κονιάματος. Για το λόγο αυτό, έχουν γίνει προσπάθειες έμμεσης εκτίμησης της αντοχής των κονιαμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν πετρογραφικές τομές, σκέδαση ακτίνων Χ και θερμοβαρυτομετρική ανάλυση, οι οποίες μέχρι τώρα δεν έχουν ικανοποιητική ακρίβεια.

Επίσης έχουν γίνει έρευνες για τη δυνατότητα εκτίμησης της αντοχής με μέτρηση του πορώδους και της μηχανικής αντοχής σε απότριψη.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται εν συντομία ορισμένες που παρουσιάζουν πρακτικό ενδιαφέρον.

5.2 ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΤΑΣΣΙΟΥ, ΒΑΧΛΙΩΤΗ ΚΑΙ ΣΠΑΝΟΥ

Δύο μέθοδοι εκτίμησης της θλιπτικής αντοχής παλιών κονιαμάτων, αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος του Ε.Μ.Π. από τον Καθηγητή Θ. Τάσσιο και τους ερευνητές Χ. Βαχλιώτη και Χ. Σπανό, και ανακοινώθηκαν το Σεπτέμβριο του 1989.

Η πρώτη μέθοδος [15] στηρίζεται στη μέτρηση του πλάτους χαραγής που γίνεται στην επιφάνεια των αρμών κονιάματος, κινώντας μία ακιδωτή ράβδο κατά μήκος της επιφάνειας υπό σταθερό φορτίο. Η μέτρηση του πλάτους της χαραγής γίνεται με κατάλληλους φακούς σε 10 έως 20 σημεία κατά μήκος της χαραγής. Η επικρατέστερη τιμή συσχετίζεται με την αντοχή του κονιάματος με βάση εμπειρική καμπύλη.

Η δεύτερη μέθοδος [15] στηρίζεται στην εφελκυστική αντοχή μικρών τεμαχίων κονιάματος μεγέθους χαλικιού που λαμβάνονται από την υπό έλεγχο επιφάνεια του κονιάματος. Τα τεμάχια χυτεύονται σε ένα ισχυρό καλούπι υποξειδικής ρητίνης ή πολύ ισχυρού κονιάματος μέσα σε καλούπια ειδικής διαμόρφωσης. Μετά την αφαίρεση των καλουπιών τα δοκίμια υποβάλλονται σε δοκιμές άμεσου εφελκυσμού. Η εφελκυστική αντοχή συσχετίζεται με τη θλιπτική αντοχή του κονιάματος με τον τύπο:

$$f_{mt, fr} = \frac{1}{4} \times f_{mc}$$

όπου: $f_{mt, fr}$ η εφελκυστική αντοχή που προκύπτει με την παραπάνω διαδικασία, και f_{mc} η θλιπτική αντοχή.

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι δίνει σχέση αντοχής σε τεμάχια αποσπώμενα από την κατασκευή, παρ' όλ' αυτά στην εφαρμογή της, ενδέχεται να παρουσιαστούν προβλήματα όπως κατά τη χύτευση των τεμαχίων στα καλούπια κατά την εφαρμογή κεντρικού εφελκυσμού και κατά τον προσδιορισμό ακριβούς διατομής.

Η πρώτη μέθοδος στηρίζεται στην επιφανειακή αντοχή, δίνει πληροφορίες ως προς ένα μέρος της κονίας το οποίο μπορεί να υποστεί την επίδραση του περιβάλλοντος και να έχει διαβρωθεί, οπότε οι μετρήσεις έχουν μεγάλη διασπορά και η μέθοδος είναι μειωμένης ακρίβειας.

5.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ CUCCI-MORETTI

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μέτρηση της ποσότητας της ενέργειας που απαιτείται για τη διάτρηση με φορητό τρυπάνι μικρής κοιλότητας σε μία στρώση κονιάματος.

Στην εργασία που δημοσιεύεται στο περιοδικό “Materials and Structures” το 1995 [16] αναφέρεται ότι το έργο διάτρησης σχετίζεται με τη θλιπτική αντοχή του κονιάματος, και ότι αυτή η συσχέτιση είναι ίδια για όλα τα κονιάματα που περιέχουν άμμο και έχουν αντοχή μικρότερη από 4MPa.

Για τα ασθενή αυτά κονιάματα δεν απαιτούνται πληροφορίες για τις μηχανικές ιδιότητες της περιεχόμενης άμμου. Για ισχυρότερα κονιάματα είναι αναγκαία η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων των αδρανών όπως η κοκκομετρική τους διαβάθμιση και η πετρογραφική τους σύσταση. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν συγκεκριμένες πληροφορίες για τα αδρανή της άμμου, η μέθοδος εκτιμά μόνο την τάξη μεγέθους της αντοχής του κονιάματος.

Η διαφοροποίηση ανάλογα με το εύρος της αντοχής σχετίζεται με τη θέση (μορφή) των ρωγμών που προκύπτουν από τη διαδικασία της διάτρησης. Στην περίπτωση της μικρής αντοχής κονιαμάτων, οι κόκκοι της άμμου παραμένουν άθικτοι και οι ρωγμές διέρχονται μέσα από τον τσιμεντοπολτό, ενώ στην περίπτωση της μεγάλης αντοχής οι κόκκοι της άμμου θραύονται εν μέρει, διότι οι ρωγμές από τη διάτρηση διέρχονται και από τον τσιμεντοπολτό και από την άμμο.

Έτσι το συνολικό έργο διάτρησης είναι άθροισμα δύο επιδράσεων, του τσιμέντου και των κόκκων της άμμου και για το λόγο αυτό εξαρτάται και από τις μηχανικές ιδιότητες της άμμου.

Η συσκευή που απαιτείται για τη μέθοδο αυτή είναι σχετικά απλή, εύκολη στη χρήση και δεν χρειάζεται πεπειραμένο χειρίστη.

Η συσκευή αποτελείται από ένα συνηθισμένο χειροκίνητο τρυπάνι με μπαταρία συνδεδεμένο με κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα όπου καταγράφεται η ενέργεια διάτρησης. Από πειραματική διερεύνηση ως πιο κατάλληλη γεωμετρία κοιλότητας διάτρησης προέκυψε διάμετρος 4mm και βάθος διάτρησης 5mm.

5.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ

Η μέθοδος αυτή αποτελεί απόρροια εργαστηριακής έρευνας [10] στην οποία αρχικά αναπτύχθηκε μία απλή και ταυτόχρονα μικρού κόστους μέθοδος μέτρησης του ολικού πορώδους του σκυροδέματος και των κονιαμάτων. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε έλεγχος της μεθόδου και της ακρίβειας μέτρησής της. Για το σκοπό αυτό, παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο δοκίμια σκυροδέματος διαφόρων συνθέσεων καθώς και δοκίμια τσιμεντοκονιαμάτων. Τα παραπάνω δοκίμια δοκιμάστηκαν σε θλίψη σε διάφορες ηλικίες με παράλληλη μέτρηση του πορώδους του σκυροδέματος από “ανέπαφα” (χωρίς ρωγμές) τεμάχια του θραυσμένου δοκιμίου. Έγινε συσχέτιση της αντοχής με το μετρηθέν ολικό πορώδες του σκυροδέματος ή με το υπολογιζόμενο μέσο πορώδες του τσιμεντοπολτού. Τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν είναι τα ακόλουθα [10]:

1. Η μέτρηση του ολικού πορώδους σκυροδεμάτων και κονιαμάτων μπορεί να γίνει με κορεσμό με νερό με πολύ απλά μέσα. Η μέθοδος έχει ικανοποιητική επαναληψιμότητα και τα αποτελέσματά της συμφωνούν με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών.
2. Το υπολογιζόμενο μέσο ολικό πορώδες πηγματος σε κονιάματα και σκυροδέματα, χωρίς υπερρευστοποιητικό ή με μικρές (συνήθεις) ποσότητες υπερρευστοποιητικού, αποδεικνύεται ότι παρέχει ικανοποιητική εκτίμηση της αντοχής. Το γεγονός αυτό, μπορεί να έχει πρακτική στην εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος των κατασκευών επί τόπου.
3. Σχετικά μεγάλες ποσότητες υπερρευστοποιητικού διαφοροποιούν τη συμπεριφορά του κονιάματος/σκυροδέματος, όχι μόνο ως προς τις

ιδιότητές του σε νωπή κατάσταση αλλά και σε σκληρυμένη, αυξάνοντας σημαντικά το ολικό πορώδες του κονιάματος/σκυροδέματος με την ίδια σύνθεση αλλά χωρίς υπερρρευστοποιητικό ή με μικρή ποσότητα υπερρευστοποιητικού.

4. Η αντοχή του τσιμέντου, εφόσον πρόκειται για τσιμέντο Portland δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τη σχέση αντοχή-πορώδες στην περιοχή των 20-30 MPa, που αποτελούν την πλειονότητα των σκυροδεμάτων στη χώρα μας.
5. Υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι στα σκυροδέματα τύπου II (με πουζολάνη) η σχέση αντοχή-πορώδες είναι ελαφρώς διαφορετική.

Η παραπάνω εργασία είναι μία ενδιαφέρουσα προσπάθεια διερεύνησης της δυνατότητας εκτίμησης της αντοχής σκυροδεμάτων και τσιμεντοκο νιαμάτων με μέτρηση του πορώδους και μπορούμε να πούμε σε γενικές γραμμές ότι είχε επιτυχία στο “στόχο” της, δηλαδή ότι το υπολογιζόμενο μέσο ολικό πορώδες του πηγματος σε κονιάματα και σκυροδέματα, χωρίς υπερρευστοποιητικό ή με μικρές (συνήθεις) ποσότητες υπερρευστοποιητικού, αποδεικνύει ότι παρέχει ικανοποιητική εκτίμηση της αντοχής.

Το γεγονός αυτό, μπορεί να έχει πρακτική σημασία στην εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος επιτόπου και επειδή η μέτρηση του πορώδους γίνεται σε μικρά σχετικά τεμάχια σκυροδέματος, που αποκόπτονται από την κατασκευή και επομένως θα μπορέσει να εφαρμόζεται σε μεγαλύτερη έκταση στην κατασκευή σε σύγκριση με τη μέθοδο της αποκοπής πυρήνων, με συνέπεια την αύξηση της ακρίβειας εκτίμησης της αντοχής.

Παρ’ όλ’ αυτά, η μέτρηση του πορώδους δεν αναμένεται ότι θα μπορεί να αντικαταστήσει την αποκοπή πυρήνων, αλλά χρησιμοποιούμενη σε συνδυασμό με την πυρηνοληψία θα αυξήσει την ακρίβεια εκτίμησης της αντοχής ενώ ταυτόχρονα θα προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Η παραπάνω έρευνα έγινε μόνο σε σκυροδέματα με θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή και τσιμενοκονιάματα διαφόρων συνθέσεων.

Άλλες ερευνητικές εργασίες που έγιναν στο Εργαστήριο Οδοποιίας Τ.Μ.Σ.Υ./Ε.Μ.Π. [11,12,13], κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για κάθε είδους κονιάματος υπάρχει ελαφρώς διαφορετική συσχέτιση μεταξύ αντοχής και πορώδους.

Έτσι η μέθοδος παρουσιάζει το μειονέκτημα, ότι για την επιτόπου εκτίμηση της αντοχής θα πρέπει να είναι γνωστό το είδος του κονιάματος.

5.5 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Παράλληλα με την εργασία των Cucci-Moretti, στο εργαστήριο οδοποιίας Τ.Μ.Σ.Υ./Ε.Μ.Π. διερευνήθηκε η δυνατότητα εκτίμησης της αντοχής των κονιαμάτων με μέτρηση του χρόνου διάτρησης αντί της απαιτούμενης ποσότητας ενέργειας. Τα αποτελέσματα της αρχικής έρευνας [12], όπου ο χρόνος διάτρησης εξετάζεται χωρίς θλιπτικό φορτίο, έδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση χρόνου διάτρησης και αντοχής. Η συσχέτιση δε αυτή είναι ανεξάρτητη από το είδος του κονιάματος.

Επειδή η μέθοδος προβλέπεται για την επιτόπου εφαρμογή, επεκτάθηκε η έρευνα [13] και σε δοκιμές με θλιπτικό φορτίο. Το θλιπτικό φορτίο αποδείχθηκε ότι αυξάνει το χρόνο διάτρησης έτσι ώστε η συσχέτιση θλιπτικής αντοχής και χρόνου διάτρησης, με ή χωρίς θλιπτικό φορτίο να περιγράφεται από δύο ξεχωριστές ευθείες.

Όλα τα είδη κονιαμάτων που εξετάστηκαν (τσιμεντοκονιάματα, ασβεστοτσιμεντοκονιάματα, πουζολανοασβεστοκονιάματα) δεν παρουσίασαν διαφοροποίηση στη συσχέτιση, πράγμα που επιβεβαιώνει ότι η αποτελεσματικότητα της μεθόδου είναι ανεξάρτητη από το είδος του συνδετικού υλικού του κονιάματος. Όλες οι παραπάνω ερευνητικές εργασίες έγιναν σε διάφορα κονιάματα, τα οποία όμως παρασκευάστηκαν με ασβεστολιθική άμμο.

Επομένως, για να έχει η μέθοδος αυτή γενική εφαρμογή θα πρέπει να εξεταστεί και η επιρροή του είδους και συγκεκριμένα της σκληρότητας της άμμου και της κοκκομετρικής διαβάθμισής της.

5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται μία προσπάθεια διερεύνησης της επίδρασης του είδους της άμμου τσιμεντοκονιαμάτων στο χρόνο διάτρησης των δοκιμίων, και κατά συνέπεια, στον προσδιορισμό της αντοχής τους.

Η αναγκαιότητα αυτής της διερεύνησης, προέκυψε από τα ευοίωνα για τη μέθοδο της διάτρησης, συμπεράσματα των προηγούμενων διπλωματικών εργασιών [12,13], σύμφωνα με τα οποία η συσχέτιση αντοχής - χρόνου διάτρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ικανοποιητική ακρίβεια για τον προσδιορισμό της αντοχής, ανεξάρτητα από το είδος του συνδετικού υλικού των κονιαμάτων. Απαιτείται όμως και η διερεύνηση της επίδρασης του είδους της άμμου και ειδικότερα της σκληρότητας και της κοκκομετρικής της διαβάθμισης. Τούτο αποτελεί και το αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας.

6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην προσπάθεια διερεύνησης της επιρροής της άμμου στο χρόνο διάτρησης των τσιμεντοκονιαμάτων, εκτιμάται ότι οι παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν όσον αφορά το αδρανές υλικό, είναι:

- η σκληρότητά του
- η κοκκομετρική του διαβάθμιση
- η αδρότητα και η συνάφεια που μπορεί το υλικό να αναπτύξει με τον τσιμεντοπολτό
- τα χαρακτηριστικά της διάτρησης και ειδικότερα η ασκούμενη στο δοκίμιο δύναμη σε συνδυασμό με τη διάμετρο του τρυπανιού.

Η σκληρότητα και η κοκκομετρική διαβάθμιση καθώς και εν μέρει η αδρότητα θα μελετηθούν με τη χρησιμοποίηση άμμων διαφορετικής προέλευσης για την παρασκευή των κονιαμάτων, ενώ η διάτρηση θα πραγματοποιηθεί με δύο ζεύγη συνδυασμών δύναμης - διαμέτρου τρυπανιού.

Η αδρότητα και η συνάφεια του υλικού, αποτελούν μια ξεχωριστή και ευρεία ενότητα, η οποία απαιτεί ιδιαίτερη διερεύνηση και για το λόγο αυτό δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας.

6.2 ΥΛΙΚΑ

Για την παρασκευή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν:

- νερό: πόσιμο (βρύσης)
- συνδετικές κονίες: τσιμέντο τύπου I 45 και II 35
- αδρανή υλικά: α. θραυστή ασβεστολιθική άμμος περιοχής Αττικής
β. θραυστή άμμος προέλευσης Βοιωτίας
γ. φυσική άμμος ποταμού Αξιού
δ. φυσική άμμος ποταμού Πηνειού

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής τους ανάλυσης παρατίθενται στους Πίνακες 6.1 - 6.4 και το Σχήμα 6.1.

Πίνακας 6.1 Κοκκομετρική ανάλυση ασβεστολιθικής άμμου.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος ΘΡΑΥΣΤΗ ΑΙΣΒΕΙΣΤΟΛΙΘΙΚΗ ΑΜΜΟΣ ΑΤΤΙΚΗΣ 500g

Ημερομηνία δοκιμής 15 - 12 - 1997

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διαρχόμενο 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	0.0	500.0	100
2.36	No 8	67.1	432.9	86.58
2.00	No 10			
1.18	No 16	137.2	295.7	59.14
0.60	No 30			
0.43	No 40	112.2	183.5	36.70
0.30	No 50			
0.18	No 80			
0.15	No 100	60.7	122.8	24.56
0.08	No 200	27.9	94.9	18.98
	Παιπαλή	94.9	0.0	
	Ολικό βάρος	500.0		

Ο εκπέλας τη δοκιμή

Πίνακας 6.2 Κοκκομετρική ανάλυση θραυστής άμμου προέλευσης Βοιωτίας.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος ΘΡΑΥΣΤΗ ΑΜΜΟΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΒΟΙΩΤΙΑΣ 500g

Ημερομηνία δοκιμής 15-12-1997

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διερχόμενο 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	0,0	500,0	100,00
2.36	No 8	12,9	487,1	97,42
2.00	No 10			
1.18	No 16	43,3	443,0	88,76
0.60	No 30			
0.43	No 40	174,4	269,4	53,88
0.30	No 50			
0.18	No 80			
0.15	No 100	246,6	22,8	4,56
0.08	No 200	10,6	4,2	0,84
	Πασιάλη	4,2	0,0	
	Ολικό βάρος	500,0		

Ο εκτελέσας τη δοκιμή

Πίνακας 6.3 Κοκκομετρική ανάλυση φυσικής άμμου ποταμού Αξιού.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος ΑΗΜΟΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΞΙΟΥ 500g

Ημερομηνία δοκιμής 15-12-1997

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διευχόμενο 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	0.0	500.0	100.00
2.36	No 8	34.3	465.7	93.14
2.00	No 10			
1.18	No 16	52.4	413.3	82.66
0.60	No 30			
0.43	No 40	172.0	241.3	48.26
0.30	No 50			
0.18	No 80			
0.15	No 100	213.8	27.5	5.50
0.08	No 200	18.2	9.3	1.86
	Πασιλίη	9.3	0.0	
	Ολικό βάρος	500.0		

Ο εκτελέσας τη δοκιμή

Πίνακας 6.4 Κοκκομετρική ανάλυση φυσικής άμμου ποταμού Πηνειού.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος ΑΜΜΟΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ 500g

Ημερομηνία δοκιμής 15-12-1997

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διερχόμενο 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	22,5	477,5	95,50
2,36	No 8	107,2	370,3	74,06
2,00	No 10			
1,18	No 16	90,0	280,3	56,06
0,60	No 30			
0,43	No 40	145,3	135,0	27,00
0,30	No 50			
0,18	No 80			
0,15	No 100	119,1	15,9	3,18
0,08	No 200	11,0	4,9	0,98
	Παικάλι	4,9	0,0	
	Ολικό βάρος	500,0		

Ο εκτελέσας τη δοκιμή

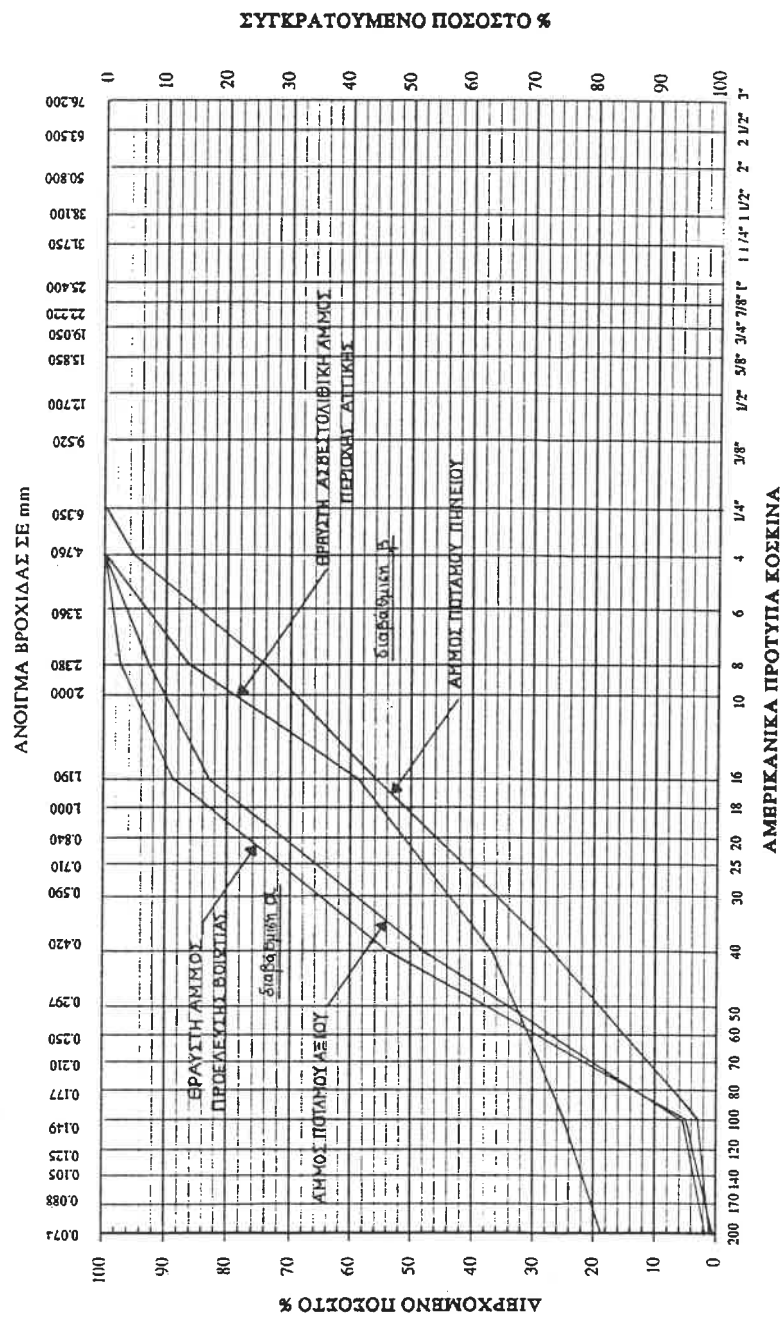
Σχήμα 6.1 Διάγραμμα Κοκκομετρικής Ανάλυσης των χρησιμοποιούμενων άμμων.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ ΕΜΠ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ & ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ..... Π.Τ.Π.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ _____



Όπως φαίνεται από το σχήμα 6.1, η άμμος ποταμού Αξιού και η άμμος προέλευσης Βοιωτίας έχουν σχεδόν την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση (α), ενώ η θραυστή ασβεστολιθική άμμος περιοχής Αττικής και η άμμος ποταμού Πηνειού (β) δε διαφέρουν σημαντικά στην περιοχή των κόκκων 0,42mm και 4,76mm. Επομένως, τα υλικά αυτά, περιέχουν τη δυνατότητα εξέτασης της επίδρασης της διαβάθμισης στο χρόνο διάτρησης.

Έγινε επίσης, μία προσπάθεια να διερευνηθεί η επίδραση της διαβάθμισης και της σκληρότητας ακόμη περισσότερο, όπου οι μικροδιαφορές στη διαβάθμιση ή οι διαφορές στην προέλευση (σκληρότητα) θα έχουν απαλοιφθεί ή μεγιστοποιηθεί.

Για το σκοπό αυτό, παρασκευάστηκαν δοκίμια και με τις ακόλουθες άμμους:

- ε. Θραυστή ασβεστολιθική άμμος με διαβάθμιση θραυστής άμμου προέλευσης Βοιωτίας. (Έγινε με ανασύνθεση της αρχικής ασβεστολιθικής άμμου, έτσι ώστε, να έχει την κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου προέλευσης Βοιωτίας)
- στ. άμμος σμύριδας με ανασύνθεση, έτσι ώστε να έχει την διαβάθμιση της αρχικής ασβεστολιθικής άμμου.

Η άμμος σμύριδας αντιπροσωπεύει μία ακραία περίπτωση πολύ σκληρής και αδρής άμμου, η οποία φυσικά σε σπάνιες και ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται στην πράξη, αλλά στην εργασία αυτή αποτελεί μια ενδιαφέρουσα ακραία περίπτωση.

Για να εξεταστούν όλες οι ακραίες περιπτώσεις, θεωρήθηκε επίσης σκόπιμο να εξεταστεί και η περίπτωση, όπου η σκληρότητα του αδρανούς θα είναι η ίδια με τη σκληρότητα του συνδετικού υλικού. Για το σκοπό αυτό παρασκευάστηκαν δοκίμια από τσιμεντοπολτό (χωρίς άμμο).

6.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

6.3.1 Παρασκευή

Η παρασκευή όλων ανεξαρτήτως των δοκιμίων έγινε στο Εργαστήριο Οδοποιίας Τ.Μ.Σ.Υ./Ε.Μ.Π. σε αναμικτήρα τύπου οριζόντιας βίαιης ανάμειξης χωρητικότητας 10lt, σύμφωνα με την εξής διαδικασία:

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η διαβροχή της άμμου, κατά την διάρκεια της οποίας γίνεται ανάμειξη ολόκληρης της ποσότητας της άμμου με τη μισή ποσότητα νερού. Στη συνέχεια προστίθεται το τσιμέντο και το υπόλοιπο νερό σε μικρές ποσότητες κάθε φορά και η ανάμειξη συνεχίζεται μέχρι που όλα τα υλικά γίνονται ένας ομοιόμορφος πολτός.

Η διάστρωση του παρασκευαζόμενου κονιάματος πραγματοποιήθηκε σε κυβικές μήτρες ακμής 7cm από χυτοσίδηρο, με μυστρί σε μία ή δύο στρώσεις. Ο αριθμός των στρώσεων καθορίστηκε από τη συνεκτικότητα που παρουσίαζε το μίγμα. Έτσι, σε δύο στρώσεις διαστρώθηκαν τα κονιάματα που ήταν λιγότερο συνεκτικά. Μετά την ολοκλήρωση της διάστρωσης, τα δοκίμια συμπυκνώθηκαν με 25 ραβδισμούς από ξύλινη ράβδο διαμέτρου 6 mm.

6.3.2 Συντήρηση

Η συντήρηση όλων των δοκιμίων έγινε μέσα στο νερό, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20-25°C.

6.4 ΔΟΚΙΜΕΣ

Όλα τα δοκίμια υποβλήθηκαν στις εξής δοκιμές:

1. Διάτρηση
2. Δοκιμή σε θλίψη

6.4.1 Διάτρηση

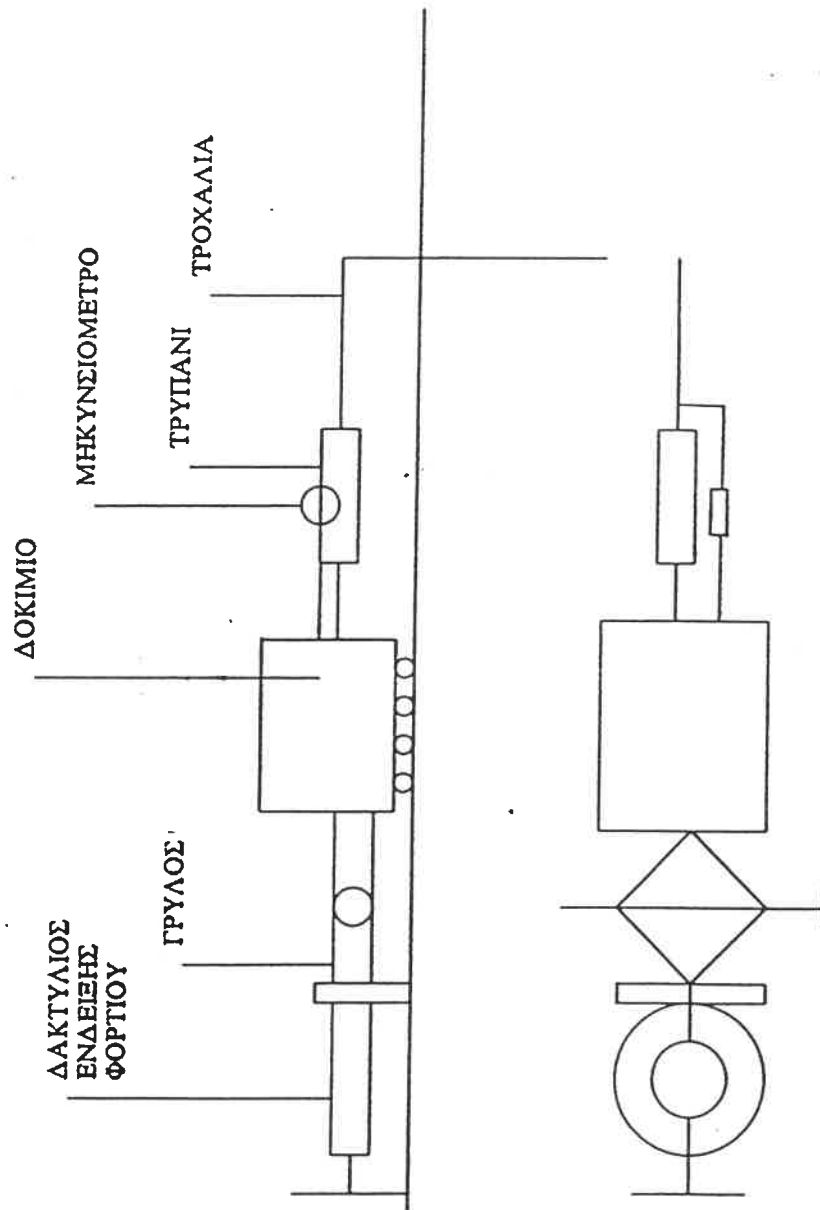
Η μέθοδος της διάτρησης βασίζεται στη δημιουργία μικρών οπών, συγκεκριμένων διαστάσεων, στην επιφάνεια των δοκιμίων με τρυπάνι (τοιχοποιίας) δεδομένης διαμέτρου που περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα. Το τρυπάνι εφάπτεται κάθετα στα δοκίμια και ασκεί σταθερή πίεση σ' αυτά.

Η βασική αρχή της μεθόδου είναι η μέτρηση του χρόνου που κάνει ένα τρυπάνι, σταθερής ταχύτητας περιστροφής, για να εισχωρήσει σε ένα συγκεκριμένο βάθος.

Για τη συγκεκριμένη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε μηχάνημα που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Οδοποιίας Τ.Μ.Σ.Υ./Ε.Μ.Π. (Σχήμα 6.2).

Το μηχάνημα αυτό αποτελείται από ένα τρυπάνι που περιστρέφεται μέσω ενός ηλεκτρικού κινητήρα και συστήματος τροχαλιών. Το τρυπάνι έρχεται σε επαφή με την προς διάτρηση επιφάνεια με μια σταθερή δύναμη, της οποίας η σταθερότητα εξασφαλίζεται μέσω ενός μηχανικού γρύλου που εφαρμόζεται στη μία επιφάνεια του δοκιμίου. Ο γρύλος είναι συνδεδεμένος σε σειρά με ένα δυναμομετρικό δακτύλιο για να ελέγχεται τόσο το μέγεθος της ασκούμενης δύναμης, όσο και η μεταβολή της. Για τον καθορισμό του επιθυμητού βάθους τρυπήματος, υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής ενός μηχανικού μηκυνσιόμετρου παράλληλα στο τρυπάνι.

Σχήμα 6.2 Μηχάνημα διάτρησης.



Η δοκιμή της διάτρησης πραγματοποιείται ως εξής:

Κάθε δοκίμιο τοποθετείται αρχικά πάνω σε μικρές χαλύβδινες ράβδους κυκλικής διαμέτρου (κατρακύλια) για τη μείωση των τριβών. Η τοποθέτηση του δοκιμίου γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η μία του πλευρά να εφάπτεται στο γρύλο και η άλλη στο τρυπάνι. Με το γρύλο επιτυγχάνεται η εφαρμογή της επιθυμητής δύναμης.

Στη συνέχεια ενεργοποιείται ο ηλεκτρικός κινητήρας, οπότε έχουμε την έναρξη της διάτρησης, ενώ ταυτόχρονα αρχίζει και η χρονομέτρησή της με τη βοήθεια ενός χρονομέτρου. Με το πέρασμα του χρόνου, πραγματοποιείται μία μετακίνηση του δοκιμίου προς το τρυπάνι, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ασκούμενη στο δοκίμιο δύναμη.

Ο εκτελών τη δοκιμή, με κατάλληλους χειρισμούς του γρύλου, εξασφαλίζει τη σταθερότητα της δύναμης αυτής καθ' όλη τη διάρκεια της διάτρησης.

Τη χρονική στιγμή που το μηκυνσιόμετρο δείχνει ότι το τρυπάνι έχει φτάσει στο καθορισμένο βάθος ολοκληρώνεται η δοκιμή. Ο ηλεκτρικός κινητήρας κλείνει και καταγράφεται η ένδειξη του χρονομέτρου.

Η παραπάνω διαδικασία, που αφορά στη δημιουργία μιας οπής, επαναλαμβάνεται στο δοκίμιο αφού απομακρυνθεί από αυτό ο γρύλος και ελεύθερο πια τοποθετηθεί σε νέα θέση.

Από προηγούμενη διπλωματική [12] διαπιστώθηκε ότι τα πλέον κατάλληλα χαρακτηριστικά διάτρησης είναι βάθος οπής 4mm, διάμετρος τρυπανιού 4mm και δύναμη 185N.

Κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας παρατηρήθηκε ότι τα παραπάνω χαρακτηριστικά δεν μπορούν να εφαρμοστούν όταν τα δοκίμια έχουν μικρή αντοχή, και συγκεκριμένα, όταν η αντοχή τους είναι μικρότερη από 2MPa.

Επειδή το εύρος των αντοχών, μέσα στο οποίο εξετάστηκαν οι χρόνοι διάτρησης ήταν περίπου από 1-18MPa προέκυψε η ανάγκη αλλαγής των χαρακτηριστικών διάτρησης για τα μικρής αντοχής δοκίμια.

Αρχικά απαιτήθηκε μείωση της ασκούμενης σε αυτά δύναμης από 185N σε 64N, διότι το τρυπάνι εισχωρούσε με υπερβολικά μεγάλη

ταχύτητα στο δοκίμιο, προκαλούσε αποφλοιώσεις και υπήρχε κίνδυνος να προκαλέσει διάρρηξη του δοκιμίου.

Η μείωση της δύναμης μείωσε το χρόνο εισχώρησης, όμως ο κίνδυνος διάρρηξης του δοκιμίου δεν ελαττώθηκε, αφού κατά τη διάτρηση εξακολουθούσαν να παρατηρούνται μεγάλης έκτασης αποφλοιώσεις. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με αλλαγή και της διαμέτρου του τρυπανιού από 4mm σε 5mm. Έτσι, τα χαρακτηριστικά διάτρησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1. διάμετρος τρυπανιού 4mm | 2. διάμετρος τρυπανιού 5mm |
| δύναμη 185N | και δύναμη 64N |
| βάθος οπής 4mm | βάθος οπής 4mm |

Με βάση τα χαρακτηριστικά της 1^{ης} περίπτωσης έγιναν σε κάθε δοκίμιο συνολικά 12 οπές, από 6 σε απέναντι πλευρές του, ενώ με αυτά της 2^{ης} περίπτωσης έγιναν σε κάθε δοκίμιο συνολικά 8 οπές, από 4 σε απέναντι πλευρές του. Η ταχύτητα περιστροφής του τρυπανιού διατηρήθηκε σε όλες τις δοκιμές διάτρησης σταθερή και ίση με 1,42 στροφές/λεπτό.

6.4.2 Δοκιμή σε θλίψη

Για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε υδραυλική μηχανή 60t τύπου TONIPACT, TONINDUSTRIE.

Αρχικά πραγματοποιείται η λείανση με λίμα των ακμών του δοκιμίου, οι οποίες θα έρθουν σε επαφή με τις πλάκες της μηχανής, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καλή προσαρμογή τους.

Στη συνέχεια το δοκίμιο τοποθετείται σε καθορισμένη θέση μεταξύ των πλακών για την εξασφάλιση απολύτως αξονικής φόρτισης.

Η ταχύτητα επιβολής της φόρτισης ρυθμίζεται στα 0,98 KN/sec, όπως προβλέπεται από την πρότυπη μέθοδο δοκιμής σε θλίψη σκυροδέματος [BS 1881] για δοκίμιο ακμής 7cm, και το δοκίμιο αφήνεται να συνθλιφτεί μεταξύ των πλακών.

Μόλις ολοκληρωθεί η θραύση, διαβάζουμε από την ηλεκτρονική ένδειξη της μηχανής, το φορτίο που οδήγησε στην αστοχία (σε KN), από το οποίο και υπολογίζουμε τη θλιπτική αντοχή.

6.5 ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

Ο βασικός σκοπός για τη σύνθεση των μιγμάτων, ήταν να παρασκευαστούν τσιμεντοκονιάματα με διαφορετική άμμο, περίπου της ίδιας εργασιμότητας και με αντοχή που να κυμαίνεται από 1-18 ΜΡα περίπου, έτσι ώστε να καλύπτεται όλο το εύρος των απαιτούμενων αντοχών.

Κατ' αρχήν χρησιμοποιήθηκαν οι άμμοι με την κοκκομετρική διαβάθμιση που είχαν από την προέλευσή τους, όπως και στην πράξη πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή των κονιαμάτων. Έτσι τα αποτελέσματα του συσχετισμού περιλαμβάνουν την επίδραση τόσο του τύπου της άμμου (σκληρότητα, αδρότητα επιφάνειας) όσο και της διαβάθμισης. Σε μια δευτερεύουσα όμως έρευνα, επιδιώχθηκε η διερεύνηση της επίδρασης του τύπου της άμμου ανεξάρτητα από την κοκκομετρική της διαβάθμιση. Για το λόγο αυτό, παρασκευάστηκαν δοκίμια ασβεστολιθικής άμμου, η οποία είχε την κοκκομετρική διαβάθμιση της θραυστής άμμου προέλευσης Βοιωτίας, οπότε στην περίπτωση αυτή απαλείφεται ο παράγων κοκκομετρική διαβάθμιση.

Στην έρευνα αυτή, παρασκευάστηκε και μικρός αριθμός δοκιμών με δύο ακραίες περιπτώσεις σκληρότητας και αδρότητας άμμου, που ήταν κονιάματα με τσιμεντοπολτό μόνο (η άμμος σ' αυτή την περίπτωση αντικαθίσταται με τσιμεντοπολτό και επομένως έχουμε την περίπτωση μηδενικής διαφοροποίησης σκληρότητας συνδετικού υλικού και άμμου).

Τα μίγματα που παρασκευάστηκαν είχαν τις ακόλουθες συνθέσεις:

Πίνακας 6.5 Συνθέσεις μιγμάτων που παρασκευάστηκαν με θραυστή ασβεστολιθική άμμο περιοχής Αττικής και τσιμέντο τύπου Ι 45

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ (g)			ΝΕΡΟ
		ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΑΜΜΟΣ	ΝΕΡΟ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ
1-16	21-10-1997	1934	11900	1902	0,98
17-32	11-11-1997	1934	11900	1902	0,98
33-41	19-11-1997	967	5950	951	0,98
42-50	19-11-1997	868	6551	881	1,01

Πίνακας 6.6 Σύνθεσεις μιγμάτων που παρασκευάστηκαν με φυσική άμμο προέλευσης Βοιωτίας και τσιμέντο τύπου ΙΙ 35

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ (g)			ΝΕΡΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ
		ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΑΜΜΟΣ	ΝΕΡΟ	
51-60	24-11-1997	650	6216	1356	2,09
61-70	26-11-1997	1242	5633	1242	1,00
71-80	1-12-1997	1725	5254	1185	0,69
81-90	4-12-1997	1242	5633	1242	1,00
91-100	5-12-1997	1242	5633	1242	1,00

Πίνακας 6.7 Σύνθεση μίγματος που παρασκευάστηκε με άμμο ποταμού Αξιού και τσιμέντο τύπου ΙΙ 35

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ (g)			ΝΕΡΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ
		ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΑΜΜΟΣ	ΝΕΡΟ	
101-110	5-12-1997	1242	5633	1242	1,00

Πίνακας 6.8 Σύνθεση μίγματος που παρασκευάστηκε με άμμο ποταμού Πηνειού και τσιμέντο τύπου ΙΙ 35

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ (g)			ΝΕΡΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ
		ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΑΜΜΟΣ	ΝΕΡΟ	
111-120	12-12-1997	1502	6033	1242	0,83

Πίνακας 6.9 Σύνθεση μιγμάτων που παρασκευάστηκαν με θραυστή ασβεστολιθική άμμο περιοχής Αττικής ίδιας κοκκομετρικής διαβάθμισης με τη θραυστή άμμο προέλευσης Βοιωτίας και τσιμέντο τύπου ΙΙ 35

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ (g)			ΝΕΡΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ
		ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΑΜΜΟΣ	ΝΕΡΟ	
121-130	16-12-1997	1242	5633	1242	1,0
144-148	9-2-1998	621	2816,5	621	1,0
149-154	11-2-1998	745,2	3379,8	745,2	1,0

Πίνακας 6.10 Σύνθεση τσιμεντοπολτού που παρασκευάστηκε με τσιμέντο τύπου I 45

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ (g)		ΝΕΡΟ
		ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΝΕΡΟ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ
131-143	6-2-1998	8823,5	3176,5	0,36

Πίνακας 6.11 Σύνθεση μίγματος που παρασκευάστηκε με σμύριδα ίδιας κοκκομετρικής διαβάθμισης με τη θραυστή ασβεστολιθική άμμο περιοχής Αττικής και τσιμέντο τύπου I 45

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ (g)			ΝΕΡΟ
		ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΣΜΥΡΙΔΑ	ΝΕΡΟ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ
155-162	13-2-1998	1342	5833	1077	0,80

7. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στους Πίνακες 7.1 έως 7.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών διάτρησης και θλίψης που έγιναν σε όλα τα δοκίμια τσιμεντοκονιαμάτων, τα οποία παρασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας.

Οι Πίνακες έχουν ταξινομηθεί με βάση το είδος της άμμου που κάθε φορά χρησιμοποιήθηκε, και περιέχουν τον αύξοντα αριθμό κάθε δοκιμίου, την ηλικία του και το λόγο $\frac{N}{T}$ νερού προς τσιμέντο για να καταγράφεται η εξέλιξη της αντοχής. Περιέχουν επίσης, τον αριθμό των οπών που έγιναν σε κάθε δοκίμιο, δεδομένου ότι ο αριθμός αυτός διαφοροποιείται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της διάτρησης (επιβαλλόμενη δύναμη - διάμετρος τρυπανιού), αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις και εξαιτίας της μικρής αντοχής των δοκιμών, στα οποία κατά τη διάρκεια της διάτρησης προκαλούνταν εκτεταμένες αποφλοιώσεις με ταυτόχρονη εκδήλωση κινδύνου διάρρηξης.

Στους παραπάνω Πίνακες καταγράφεται ο χρόνος διάτρησης που απαιτήθηκε για κάθε οπή, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί ο μέσος χρόνος διάτρησης που αντιστοιχεί σε κάθε δοκίμιο, αλλά και για να είναι δυνατή μια περαιτέρω στατιστική επεξεργασία που αφορά στον υπολογισμό του συντελεστή μεταβλητότητας (CV) και την τυπική απόκλιση (S) των συγκεκριμένων χρόνων. Οι τελευταίες δύο στήλες αναφέρονται στην αντοχή των δοκιμών, τον συντελεστή μεταβλητότητας (CV) και την τυπική απόκλιση (S) της αντοχής για τη διευκόλυνση της στατιστικής ανάλυσης.

Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως εξής:

Πίνακες 7.1 και 7.2:	Αποτελέσματα δοκιμών σε κονιάματα που παρασκευάστηκαν με θραυστή ασβεστολιθική άμμο περιοχής Αττικής.
Πίνακες 7.3 και 7.4:	Αποτελέσματα δοκιμών σε κονιάματα που παρασκευάστηκαν με θραυστή άμμο προέλευσης Βοιωτίας.
Πίνακες 7.5 και 7.6:	Αποτελέσματα δοκιμών σε κονιάματα που παρασκευάστηκαν με φυσική άμμο ποταμού Αξιού.
Πίνακες 7.7 και 7.8:	Αποτελέσματα δοκιμών σε κονιάματα που παρασκευάστηκαν με φυσική άμμο ποταμού Πηνειού.
Πίνακες 7.9 και 7.10:	Αποτελέσματα δοκιμών σε κονιάματα που παρασκευάστηκαν με ασβεστολιθική άμμο κοκκομετρικής διαβάθμισης ίδιας με τη θραυστή άμμο προέλευσης Βοιωτίας.
Πίνακες 7.11 και 7.12:	Αποτελέσματα δοκιμών σε κονιάματα που παρασκευάστηκαν με τσιμεντοπολτό (χωρίς άμμο).
Πίνακες 7.13 και 7.14:	Αποτελέσματα δοκιμών σε κονιάματα που παρασκευάστηκαν με σμυρίδα ίδιας κοκκομετρικής διαβάθμισης με την αρχική ασβεστολιθική άμμο.

Πίνακας 7.1 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών με θραυστή ασβεστολιθική άμμο περιοχής Αττικής.
Επιβαλλόμενη δύναμη P=185N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)								Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
1	2	0,98	12	73	86	61	78	101	71			77,16	0,14 (11,09)	4,07	
				80	59	75	78	82	82						
2	2	0,98	12	77	112	80	75	60	67			76,75	0,22 (16,99)	4,02	
				64	95	47	80	89	75						
3	2	0,98	12	65	62	61	141	76	108			86,67	0,34 (29,47)	3,92	0,02 (0,076)
				65	66	63	124	128	80						
4	3	0,98	12	165	135	312	123	116	119			152,67	0,36 (54,96)	5,54	
				135	160	176	131	153	107						
5	3	0,98	12	99	94	77	105	116	88			97,50	0,12 (11,70)	6,04	
				96	79	101	105	100	110						
6	3	0,98	12	103	81	137	76	88	92			106,83	0,22 (23,5)	5,66	0,04 (0,261)
				85	115	108	148	124	120						
7	8	0,98	12	173	180	139	192	164	137			172,17	0,13 (22,38)	11,0	
				156	180	163	209	171	202						
8	8	0,98	12	166	149	207	124	122	158			152,75	0,21 (31,08)	11,47	
				142	171	166	203	120	105						
9	8	0,98	12	207	122	159	152	139	144			159,33	0,15 (23,9)	10,81	0,03 (0,339)
				155	157	194	178	166	139						
10	13	0,98	12	130	157	196	156	147	199			174,58	0,20 (34,92)	13,51	
				154	133	179	195	145	204						
11	13	0,98	12	215	195	193	169	189	199			186,33	0,12 (22,36)	13,20	
				186	175	229	168	171	147						
12	13	0,98	12	139	239	237	127	168	230			178,00	0,25 (44,5)	14,02	0,03 (0,414)
				190	144	155	157	226	124						

συνεχίζεται...

... Πίνακας 7.1 (συνέχεια)

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)								Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
13	20	0,98	12	198	235	231	207	199	187			224,92	0,18 (40,48)	16,12	
				256	762	255	295	279	195						
14	20	0,98	12	205	205	220	197	184	183			197,92	0,17 (33,65)	15,45	
				218	173	238	134	185	263						
15	20	0,98	12	259	186	207	197	176	227			223,0	0,19 (42,37)	15,90	0,03 (0,434)
				186	277	289	202	187	283						
16	20	0,98	12	155	206	217	261	238	208			212,42	0,25 (53,10)	16,49	
				105	224	163	277	196	299						
25	3	0,98	12	89	159	140	99	118	135			118,0	0,20 (23,6)	8,06	
				130	95	128	78	112	133						
26	3	0,98	12	135	131	147	185	146	105			146,42	0,13 (19,03)	7,83	
				140	147	163	157	152	148						
27	3	0,98	12	138	115	163	150	122	113			129,92	0,21 (27,28)	7,89	0,02 (0,121)
				136	165	136	151	81	90						
28	3	0,98	12	128	139	139	95	119	164			132,50	0,13 (17,22)	7,77	
				133	153	141	127	127	125						
29	7	0,98	12	152	115	120	168	177	206			159,75	0,19 (30,35)	11,78	
				195	127	153	151	198	155						
30	7	0,98	12	141	130	177	212	162	144			164,08	0,19 (31,17)	11,63	
				190	148	115	208	193	149						
31	7	0,98	12	123	177	199	156	220	190			174,58	0,14 (24,44)	12,0	
				164	165	167	159	199	176						
32	7	0,98	12	188	231	167	158	211	165			179,83	0,14 (25,18)	12,12	0,02 (0,219)
				166	200	162	170	197	143						

συνεχίζεται...

... Πίνακας 7.1 (συνέχεια)

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)						Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
48	2	0,9	6	229	128	182	193	99	145	162,67	0,29 (47,17)	7,62	0,08 (0,666)
49	2	0,9	12	131	188	106	200	154	73	137,92	0,27 (37,24)	8,33	
				138	158	134	147	141	82				
50	2	0,9	12	154	157	144	207	111	127	147,50	0,22 (32,45)	8,95	
				119	210	156	137	136	112				

Πίνακας 7.2 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών με ασβεστολιθική άμμο.
Επιβαλλόμενη δύναμη P=64N, διάμετρος τρυπανιού D=5mm.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)					Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
18	1	0,98	8	97	103	121	108		110,50	0,21 (23,20)	1,38	
				94	82	158	121					
19	1	0,98	8	142	109	114	151		154,12	0,27 (41,61)	1,85	
				159	246	144	168					
20	1	0,98	8	124	95	125	162		122,38	0,2 (24,48)	1,53	0,15 (0,24)
				109	141	88	135					
21	2	0,98	8	457	499	398	538		432,50	0,16 (69,2)	5,37	
				425	435	409	299					
22	2	0,98	8	425	446	333	463		421,50	0,17 (71,66)	5,39	
				331	460	378	536					
23	2	0,98	8	403	426	357	415		352,38	0,24 (84,57)	4,96	
				303	445	209	261					
24	2	0,98	8	342	483	448	471		401,25	0,22 (88,28)	5,46	0,04 (0,227)
				333	443	233	457					
33	1	0,98	8	113	95	150	104		101,25	0,24 (24,3)	0,86	
				69	83	106	90					
34	1	0,98	8	173	67	130	100		107,62	0,30 (32,29)	0,75	
				94	78	110	109					
35	1	0,98	8	83	143	144	132		104,75	0,28 (29,33)	0,85	0,07 (0,061)
				75	80	90	91					
36	2	0,98	8	377	187	453	212		296,5	0,38 (112,67)	3,71	
				329	156	426	232					
37	2	0,98	8	272	164	306	176		197,88	0,42 (83,11)	3,61	
				142	71	291	161					

συνεχίζεται...

... Πίνακας 7.2 (συνέχεια)

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)				Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
38	2	0,98	8	221	146	262	118	194,75	0,35 (68,16)	3,28	0,06 (0,225)
39	3	0,98	8	314	140	208	149				
40	3	0,98	8	410	264	397	308	305,62	0,36 (110,02)	5,07	
41	3	0,98	8	297	92	422	255				
42	1	0,9	8	425	134	436	318	336,88	0,37 (124,64)	5,27	
43	1	0,9	8	202	336	404	340				
44	1	0,9	8	387	434	471	259	350,5	0,23 (80,62)	5,8	0,07 (0,377)
45	2	0,9	8	338	268	275	372				
46	2	0,9	8	150	85	176	125	123,88	0,27 (33,44)	1,53	
47	2	0,9	8	121	73	120	141				
48	3	0,9	3	118	119	174	96	135,38	0,27 (36,55)	1,59	
				149	85	188	154				
				176	113	120	108	128,25	0,31 (39,76)	1,46	0,04 (0,060)
				201	111	120	77				
				352	263	683	334	380,25	0,47 (178,72)	6,11	
				296	241	639	234				
				523	337	690	376	469,75	0,39 (183,20)	5,95	
				416	266	795	355				
				492	293	542	418	370,0	0,31 (114,7)	5,89	0,02 (0,114)
				334	178	372	331				
				380				522,0	0,31 (161,82)	7,62	0,08* (0,666)
				700	486						

* Η δοκιμή της θλίψης πραγματοποιήθηκε με τα δοκίμια 49 και 50, τα οποία διατρήθηκαν με D=4mm (βλ. Πίνακα 7.1)

Πίνακας 7.3 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών με θραυστή ασβεστολιθική άμμο προέλευσης Βαιωτίας. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)						Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
61	3	1,0	8	127	-	36	46	-	94	59,5	0,55 (32,72)	2,26	
				49	-	47	42	-	35				
62	3	1,0	8	53	-	48	48	-	40	45,12	0,12 (5,41)	2,23	
				38	-	40	49	-	45				
63	3	1,0	8	34	-	41	50	-	46	41,38	0,12 (4,96)	2,22	
				37	-	44	41	-	38				
64	3	1,0	8	46	-	44	56	-	41	44,5	0,14 (6,23)	2,17	
				43	-	47	45	-	34				
65	3	1,0	8	44	-	44	42	-	50	41,5	0,12 (4,98)	2,21	0,01 (0,033)
				42	-	33	37	-	40				
71	3	0,69	12	95	91	125	116	113	118	109,92	0,09 (9,89)	7,41	
				104	114	115	109	106	113				
72	3	0,69	12	90	97	87	90	91	92	91,83	0,05 (4,59)	7,11	
				86	91	102	94	78	95				
73	3	0,69	12	92	115	97	93	74	80	90,42	0,17 (15,37)	6,63	
				84	78	70	82	88	123				
74	3	0,69	12	75	102	129	95	102	82	103,08	0,15 (15,46)	7,23	
				107	115	118	106	93	113				
75	3	0,69	12	83	96	104	105	107	81	104,17	0,18 (18,75)	7,32	0,04 (0,306)
				142	97	119	122	78	116				
76	7	0,69	12	134	132	164	181	167	156	162,0	0,12 (19,44)	11,61	
				160	171	203	161	151	164				
77	7	0,69	12	171	200	179	107	170	166	158,7	0,15 (23,80)	11,86	
				156	159	167	130	150	149				

συνεχίζεται...

... Πίνακας 7.3 (συνέχεια)

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)							Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
78	10	0,69	12	207	167	183	167	193	175		171,42	0,11 (18,86)	13,59	
				153	146	154	151	196	165					
79	10	0,69	12	153	255	196	168	161	214		186,33	0,16 (29,81)	13,06	
				190	206	163	166	168	196					
80	10	0,69	12	181	186	288	147	146	187		182,17	0,21 (38,26)	13,33	0,02 (0,265)
				195	174	181	151	196	154					
92	5	1,0	12	62	68	50	79	66	71		66,5	0,12 (7,98)	4,24	
				77	73	63	59	61	69					
93	5	1,0	12	82	75	60	59	71	61		65,92	0,13 (8,57)	4,15	
				58	55	76	57	67	70					
94	5	1,0	12	76	76	74	62	68	69		71,58	0,09 (6,44)	4,09	0,02 (0,075)
				82	80	72	66	70	64					

Πίνακας 7.4 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών με θραυστή άμμο προέλευσης Βαιωτίας. Επιβαλλόμενη δύναμη P=64N, διάμετρος τρυπανιού D=5mm.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)				Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
51	9	2,09	8	108	110	89	104	109,0	0,19 (20,71)	1,14	
				105	113	88	155				
52	9	2,09	8	89	128	103	72	91,0	0,20 (18,2)	1,06	
				76	97	78	85				
53	9	2,09	8	138	114	107	105	112,12	0,16 (17,94)	1,01	
				79	129	111	114				
54	9	2,09	8	70	100	112	126	110,25	0,23 (25,36)	1,03	0,05 (0,057)
				94	100	155	125				
55	21	2,09	8	108	121	158	107	111,12	0,19 (21,11)	1,44	
				108	91	91	105				
56	21	2,09	8	120	92	163	106	119,25	0,21 (25,04)	1,52	
				147	99	125	102				
57	21	2,09	8	124	127	109	139	129,88	0,20 (25,98)	1,45	
				107	178	154	101				
58	21	2,09	8	162	126	117	124	128,25	0,14 (17,96)	1,45	0,02 (0,037)
				104	132	118	143				
81	4	1,0	8	339	204	220	137	203,12	0,32 (64,99)	4,36	
				188	128	209	200				
82	4	1,0	8	275	206	293	174	213,25	0,22 (46,92)	4,42	
				179	169	211	199				
83	4	1,0	8	175	152	222	208	195,88	0,21 (41,13)	4,71	0,04 (0,187)
				166	166	277	201				
84	4	1,0	8	334	314	279	220	254,12	0,20 (50,82)	5,01	
				211	185	236	252				

συνεχίζεται...

... Πίνακας 7.4 (συνέχεια)

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)					Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
85	5	1,0	8	252	405	233	214	249	250,25	0,28 (70,07)	5,08	0,02 (0,101)
86	5	1,0	8	202	276	201	194	285	214,0	0,22 (47,08)	5,21	
87	7	1,0	8	228	242	183	134	190	217,88	0,24 (52,29)	5,92	0,03 (0,153)
88	7	1,0	8	241	221	227	270	185	243,25	0,22 (53,52)	5,91	
89	7	1,0	8	254	249	220	180	267	246,5	0,23 (56,70)	5,66	0,03 (0,153)
90	7	1,0	8	542	208	395	238	181	295,38	0,39 (115,20)	6,02	
95	7	1,0	8	183	178	229	290	260	208,25	0,20 (41,65)	4,76	0,03 (0,153)
96	7	1,0	8	210	289	36+	329	249	222	0,14 (31,08)	4,44	
97	14	1,0	8	252	203	242	306	364	264	0,23 (60,72)	6,68	0,05 (0,298)
98	14	1,0	8	389	375	275	315	244	330,25	0,17 (56,14)	6,71	
99	14	1,0	8	369	241	407	254	356	317,88	0,22 (69,93)	6,24	0,05 (0,298)
100	14	1,0	8	302	279	267	239	356	298,75	0,15 (44,81)	6,13	

Πίνακας 7.5 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκίμων με φυσική άμμο ποταμού Αξιού. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)								Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
118	8	1,8	12	119	107	83	86	88	118	101,5	0,13 (13,20)	6,33	0,02 (0,162)		
				120	93	99	89	107	109						
119	8	1,8	12	84	95	107	92	101	93	101,0	0,13 (13,13)	6,64			
				128	92	84	112	118	106						
120	8	1,8	12	88	128	81	96	82	136	96,5	0,20 (19,3)	6,40			
				90	86	74	91	108	98						

Πίνακας 7.6 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών με φυσική άμμο ποταμού Αξιού.
Επιβαλλόμενη δύναμη P=64N, διάμετρος τρυπανιού D=5mm.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)					Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
111	3	0,8	8	237	231	192	217		202,5	0,18 (36,45)	2,41	
				138	207	161	237					
112	3	0,8	8	185	155	173	159		189,25	0,27 (51,10)	2,53	
				305	219	154	164					
113	3	0,8	8	239	147	259	345		208,62	0,33 (68,84)	2,41	
				183	165	187	144					
114	3	0,8	8	294	118	232	148		189,38	0,32 (60,60)	2,48	0,02 (0,058)
				94	100	155	125					
115	7	0,8	8	249	172	145	157		437,75	0,17 (74,42)	5,92	
				337	416	406	525					
116	7	0,8	8	503	418	531	366		472,0	0,26 (122,72)	5,95	
				338	568	499	543					
117	7	0,8	8	292	464	418	474		385,75	0,31 (119,58)	6,01	0,05 (0,045)
				500	158	470	310					

Πίνακας 7.7 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκίμων με φυσική άμμο ποταμού Πηνειού. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm.

α/α Δοκίμιου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)								Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
				66	67	74	77	70	80	67	72	72,17			
107	5	1,0	12	66	67	74	77	70	80	67	72	72,17	0,13 (9,38)	4,63	0,01 (0,061)
108	5	1,0	12	65	76	74	54	85	67	72	69	69,33	0,13 (9,01)	4,58	
				72	72	77	62	74	54	94	82	81,42	0,19 (15,47)	4,50	
				82	70	79	93	100	67	73	96	82,08	0,11 (9,03)	4,63	
109	5	1,0	12	94	65	60	81	111	75	82	73	81,42	0,19 (15,47)	4,50	
110	5	1,0	12	82	70	79	93	100	67	73	96	82,08	0,11 (9,03)	4,63	
				73	83	83	67	81	68	96	73	82,08	0,11 (9,03)	4,63	
				96	82	93	81	87	91	96	73	82,08	0,11 (9,03)	4,63	

Πίνακας 7.8 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών με φυσική άμμο ποταμού Πηνειού. Επιδιαικόμενη δύναμη P=64N, διάμετρος τρυπανιού D=5mm.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	N T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)				Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
101	4	1,0	8	108	110	89	104	186,88	0,23 (42,98)	3,67	0,03 (0,123)
				105	113	88	155				
102	4	1,0	8	89	128	103	72	181,0	0,15 (27,15)	3,63	
				76	97	78	85				
103	4	1,0	8	138	114	107	105	165,0	0,17 (28,05)	3,86	
				79	129	111	114				
104	5	1,0	8	70	100	112	126	173,38	0,11 (19,07)	4,02	
				94	100	155	125				
105	5	1,0	8	108	121	158	107	196,12	0,17 (33,34)	4,3	
				108	91	91	105				
106	5	1,0	8	120	92	163	106	212,12	0,12 (25,45)	4,08	0,04 (0,147)
				147	99	125	102				

Πίνακας 7.9 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών με ασβεστολιθική άμμο, ίδιας κοκκομετρικής διαβάθμισης με την άμμο προέλευσης Βοιωτίας. Επβαλλόμενη δύναμη $P = 185N$, διάμετρος τρυπανιού $D = 4mm$.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)								Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
				66	36	64	59	59	64	59	66				
121	6	1,0	12	66	81	70	64	68	68	68	66	64,0	0,16 (10,24)	3,5	0,05* (0,178)
128	7	1,0	12	78	101	78	51	59	74	74	74	82,33	0,22 (18,11)	4,06	
129	7	1,0	12	86	104	73	105	105	105	105	74	79,75	0,18 (14,36)	3,83	
130	7	1,0	12	79	73	67	102	68	57	57	57	77,17	0,14 (10,80)	4,19	0,04 (0,182)
150	5	1,0	6	80	82	71	98	102	77	77	77	120,5	0,38 (45,79)	8,86	
151	5	1,0	6	67	80	70	74	81	84	84	84	128,5	0,37 (47,54)	9,13	
152	5	1,0	6	70	63	77	105	81	74	74	74	123,5	0,16 (19,76)	8,84	
153	5	1,0	6	136	116	108	128	153	100	100	100	125,0	0,24 (30,0)	8,63	
154	5	1,0	6	132	113	162	133	74	136	136	136	144,83	0,15 (21,72)	9,32	0,03 (0,27)

* Η δοκιμή της θλίψης πραγματοποιήθηκε με τα δοκίμια 122 και 123 που διατρήθηκαν με $D = 5mm$ (βλ. Πίνακα 7.10).

Πίνακας 7.10 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών με ασβεστολιθική άμμο, ίδιας κοκκομετρικής διαβάθμισης με την άμμο προέλευσης Βοιωτίας. Επιβαλλόμενη δύναμη P=64N, διάμετρος τρυπανιού D=5mm.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)				Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
122	6	1,0	8	211	315	202	321	241,5	0,28 (67,62)	3,84	0,05 (0,178)
				275	146	289	173				
123	6	1,0	8	207	307	137	274	226,75	0,29 (65,76)	3,76	0,05 (0,178)
				274	214	269	132				
124	7	1,0	8	240	321	211	193	236,12	0,22 (51,95)	3,79	
				270	151	238	265				
125	7	1,0	8	183	336	205	219	224,0	0,22 (49,28)	3,99	
				239	228	200	182				
126	7	1,0	8	260	243	166	176	229,0	0,19 (43,51)	3,92	0,02 (0,083)
				289	213	218	267				
127	7	1,0	8	302	255	215	211	251,5	0,18 (45,27)	3,92	0,02 (0,083)
				326	213	274	216				
145	8	1,0	6	326	270	416	299	300,17	0,24 (72,04)	5,37	
				289	201						
146	8	1,0	6	208	212	255	279	237,67	0,12 (28,52)	5,54	
				215	257						
147	8	1,0	6	333	298	247	254	271,33	0,13 (35,27)	5,47	0,02 (0,095)
				254	242						
148	8	1,0	6	247	266	318	325	300	0,12 (36,0)	5,59	0,02 (0,095)
				338	303						

Πίνακας 7.11 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκίμων από τσιμεντοπολτό.
Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{mm}$.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)						Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
135	1	0,36	6	88	155	127	152	127	130	129,83	0,18 (23,37)	12,43	0,03 (0,382)
136	1	0,36	6	150	121	140	106	119	100	122,67	0,16 (19,63)	12,39	
137	1	0,36	6	120	110	131	114	141	129	124,17	0,09 (11,18)	12,47	

Πίνακας 7.12

Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών από τσιμεντοπολτό.
Επιβαλλόμενη δύναμη P=64N, διάμετρος τρυπανιού D=5mm.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)				Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
131	1	0,36	4	422	463	469	423	444,25	0,06 (26,66)	12,22	
132	1	0,36	4	461	449	462	465	459,25	0,02 (9,18)	13,26	
133	1	0,36	4	449	440	462	488	459,75	0,04 (18,39)	12,26	0,03 (0,589)

Πίνακας 7.13 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών με σμύριδα ίδιας κοκκομετρικής διαβάθμισης με την ασβεστολιθική άμμο. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185N$, διάμετρος τρυπανιού $D=4mm$.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)						Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
				155	104	255	155	228	168				
159	2	0,8	6	155	104	255	155	228	168	177,5	0,31 (55,02)	8,06	
160	2	0,8	6	144	181	127	179	230	154	169,5	0,21 (35,60)	7,84	
161	2	0,8	6	148	131	154	130	135	166	144,0	0,10 (14,40)	7,73	
162	2	0,8	6	89	101	154	110	151	150	125,83	0,23 (28,94)	8,27	0,03 (0,221)

Πίνακας 7.14 Χρόνος διάτρησης και αντοχή δοκιμών με σμύριδα ίδιας κοκκομετρικής διαβάθμισης με την ασβεστολιθική άμμο. Επιδιαικόμενη δύναμη $P=64N$, διάμετρος τρυπανιού $D=5mm$.

α/α Δοκιμίου	Ηλικία (ημέρες)	$\frac{N}{T}$	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης για κάθε οπή (sec)				Μέσος όρος (sec)	CV χρόνων (S)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (S)
155	2	0,8	4	472	400	334	262	367,0	0,24 (88,08)	8,24	
156	2	0,8	4	229	299	379	338	311,25	0,20 (62,25)	8,16	
157	2	0,8	4	436	436	446	305	436,75	0,24 (114,82)	8,35	
158	2	0,8	4	305	305	413	316	351,5	0,14 (49,21)	8,25	0,03 (0,078)

8. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

8.1 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Από τη στατιστική ανάλυση των μέσων χρόνων διάτρησης και των αντοχών για όλα τα δοκίμια (εκτός των ειδικών περιπτώσεων) προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{mm}$

Η τυπική απόκλιση των μέσων χρόνων διάτρησης για όλα τα δοκίμια που διατρήθηκαν με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, υπολογίστηκε ότι είναι $S_x=24,77\text{sec}$, ενώ η τυπική απόκλιση των αντοχών τους είναι $S_a=0,28\text{MPa}$.

- Επιβαλλόμενη δύναμη $P=64\text{N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=5\text{mm}$

Η τυπική απόκλιση των μέσων χρόνων διάτρησης προκύπτει ότι είναι $S_x=67,38\text{sec}$ και η τυπική απόκλιση των αντοχών $S_a=0,17\text{MPa}$.

Από τους πίνακες 7.1 έως 7.10 είναι φανερό ότι οι συντελεστές μεταβλητότητας των μετρήσεων των χρόνων είναι σημαντικά μεγαλύτεροι εκείνων της αντοχής. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο, διότι η μέτρηση του χρόνου αφορά ένα σημειακό προσδιορισμό και μάλιστα στην επιφάνεια του δοκιμίου, ενώ ο προσδιορισμός της αντοχής αφορά όλη τη μάζα του. Κατά συνέπεια, φαίνεται ότι θα απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός μετρήσεων χρόνων διάτρησης, αλλά δεδομένου ότι η δοκιμή αυτή είναι σχεδόν μη καταστρεπτική, δεν προκαλεί πρακτικά προβλήματα.

Η στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο της ευθύγραμμης παλινδρόμησης δίνει πληροφορίες σχετικά με την ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής από το χρόνο διάτρησης, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 8.2. Και στην περίπτωση αυτή, ισχύει η παρατήρηση ότι η αντοχή είναι κατά κάποιο

τρόπο ο “μέσος όρος” των αντοχών των διαφόρων εσωτερικών ή εξωτερικών σημείων (ή μικρών τεμαχίων) του δοκιμίου. Η αντοχή εκτιμάται για ορισμένα μόνο σημεία και μάλιστα επιφανειακά του δοκιμίου, και από αυτές τις εκτιμήσεις γίνεται προσπάθεια προσδιορισμού της αντοχής ολόκληρης της μάζας του. Θα ήταν ενδιαφέρον, σε μια περαιτέρω έρευνα να γίνουν μετρήσεις του χρόνου διάτρησης σε μεγαλύτερα βάθη. Δηλαδή, η μέτρηση του παραπάνω χρόνου να αρχίζει όταν το τρυπάνι θα έχει ήδη εισχωρήσει μέσα στο δοκίμιο 1-2 cm. Μια τέτοια προσπάθεια περιγράφεται στην παράγραφο 8.2.4

8.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ - ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

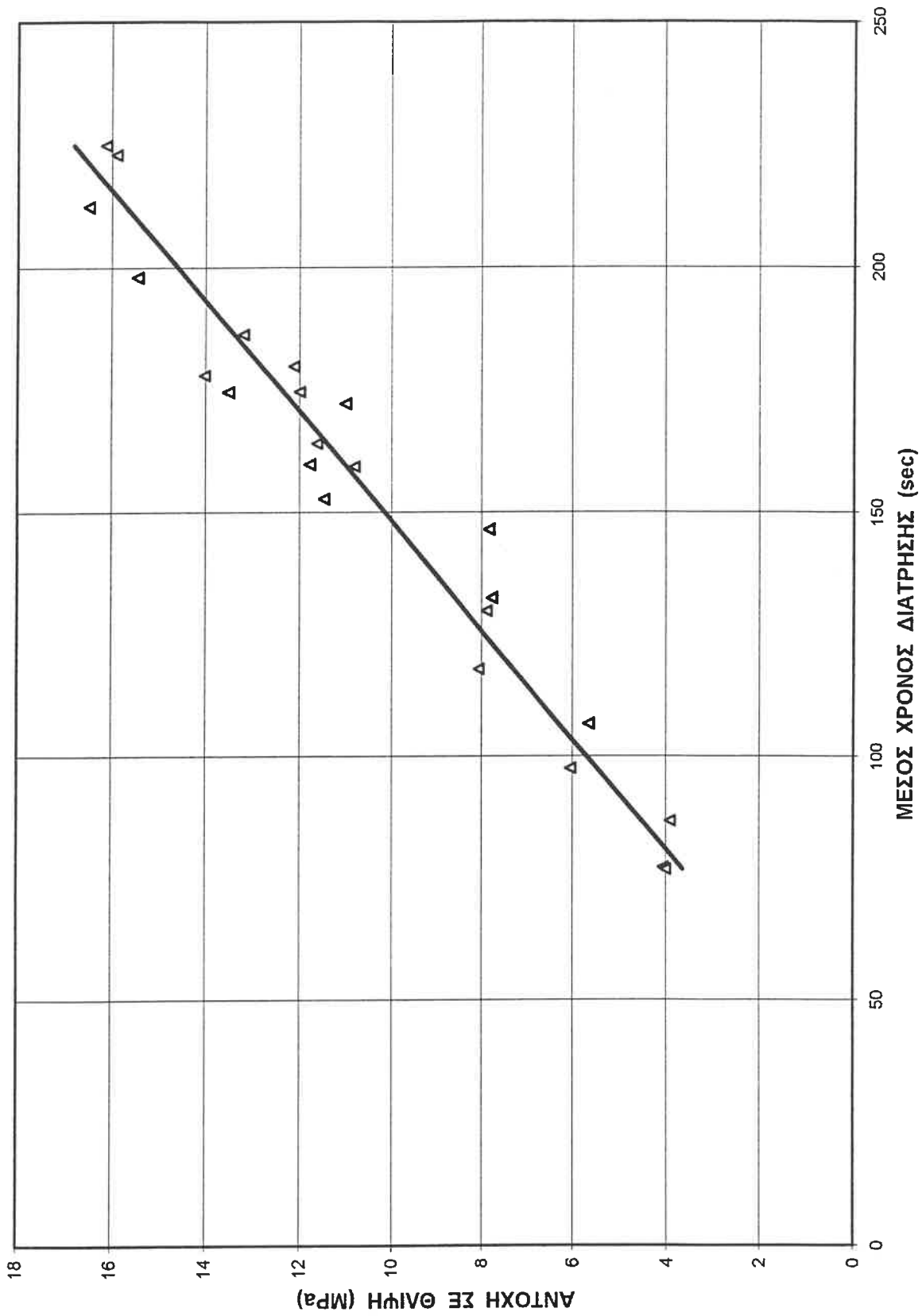
8.2.1 Γενικά

Στα Σχήματα 8.1 - 8.5 παρουσιάζονται οι διάφορες συσχετίσεις αντοχής - χρόνου διάτρησης για όλα τα κονιάματα, ανάλογα με την άμμο που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή τους και τα χαρακτηριστικά της διάτρησης.

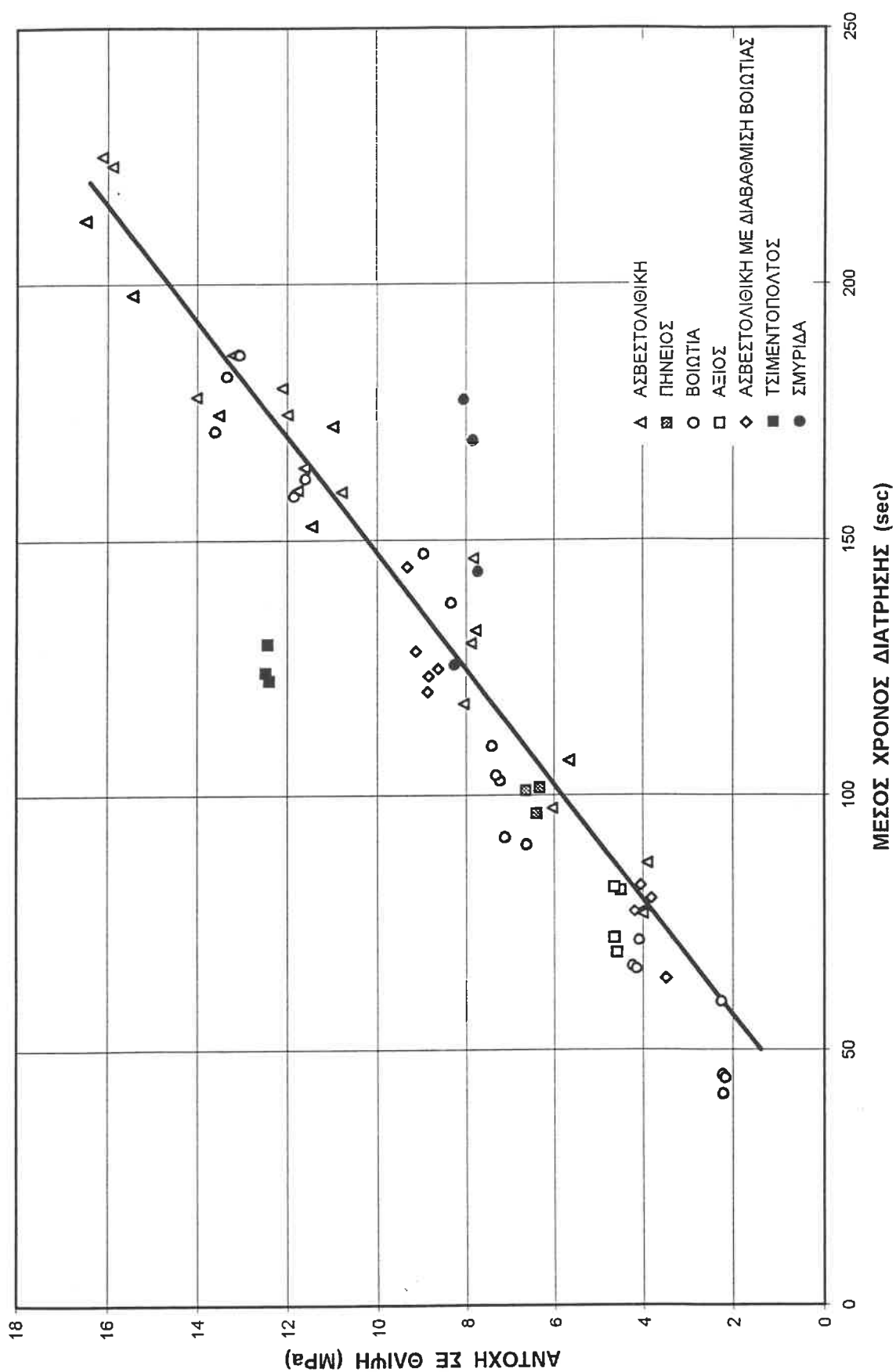
8.2.2 Μετρήσεις με επιβαλλόμενη δύναμη $P=185N$ και διάμετρο τρυπανιού $D=4mm$

Για τα τσιμεντοκονιάματα που παρασκευάστηκαν με θραυστή ασβεστολιθική άμμο περιοχής Αττικής (Σχήμα 8.1) προέκυψε συσχέτιση θλιπτικής αντοχής και χρόνου διάτρησης $y=0,089x-3,1816$ με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης $r=97,6\%$ και τυπικό σφάλμα εκτίμησης $0,89MPa$. Πρακτικά η ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής είναι περίπου $2MPa$.

Για το σύνολο των τσιμεντοκονιαμάτων που παρασκευάστηκαν με όλα τα είδη άμμων, τα προαναφερθέντα στο Κεφάλαιο 6 (εξαιρέθηκαν μόνο οι ειδικές περιπτώσεις κονιαμάτων με σμύριδα, και δοκιμών με τσιμεντοπολτό), Σχήμα 8.2, προέκυψε συσχέτιση θλιπτικής αντοχής και χρόνου διάτρησης $y=0,081x-1,7146$ με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης $r=98\%$, και τυπικό σφάλμα εκτίμησης $0,80MPa$. Πρακτικά η ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής είναι περίπου $2MPa$.



Σχήμα 8.1 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης-αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων με ασβεστολιθική άμμο. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185N$, διάμετρος τρυπανιού $D=4mm$.



Σχήμα 8.2 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης-αντοχής τιμεντοκονιαμάτων με διαφορετικές άμμιους. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185N$, διάμετρος τρυπανιού $D=4mm$.

Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν με επιβαλλόμενη στο δοκίμιο δύναμη 185N και διάμετρο 4mm (Σχήμα 8.2) έδειξαν ότι η συσχέτιση χρόνου διάτρησης και αντοχής είναι ανεξάρτητη από τα χαρακτηριστικά της άμμου (κοκκομετρική διαβάθμιση, σκληρότητα, αδρότητα) που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δοκιμών. Τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται μόνο για τις δύο ακραίες περιπτώσεις δοκιμών που παρασκευάστηκαν από τσιμεντοπολτό μόνο, και δοκιμών που παρασκευάστηκαν με άμμο σμύριδας.

Στα δοκίμια από τσιμεντοπολτό παρατηρήθηκε ότι, για την ίδια αντοχή με αυτή δοκιμών που είχαν παρασκευαστεί με άμμο (ανεξαρτήτου προελεύσεως) προέκυψε μικρότερος χρόνος διάτρησης.

Τα δε δοκίμια με άμμο σμύριδας, παρουσίασαν μεγαλύτερους χρόνους διάτρησης για την ίδια αντοχή. Τα παραπάνω αποτελέσματα αποδίδονται στο γεγονός, ότι στα δοκίμια με τσιμεντοπολτό η σκληρότητα του αδρανούς ταυτίζεται με τη σκληρότητα του συνδετικού υλικού, με αποτέλεσμα το τρυπάνι κατά την περιστροφή του να έρχεται σε επαφή και να αποτρίβει ομοιόμορφο υλικό. Στον τσιμεντοπολτό επομένως, επειδή δεν υπάρχουν κόκκοι που να έχουν μεγαλύτερη από αυτόν αντοχή, όπως συμβαίνει στα κονιάματα που περιέχουν οποιοδήποτε είδος άμμου, η απότριψη συντελείται ταχύτερα.

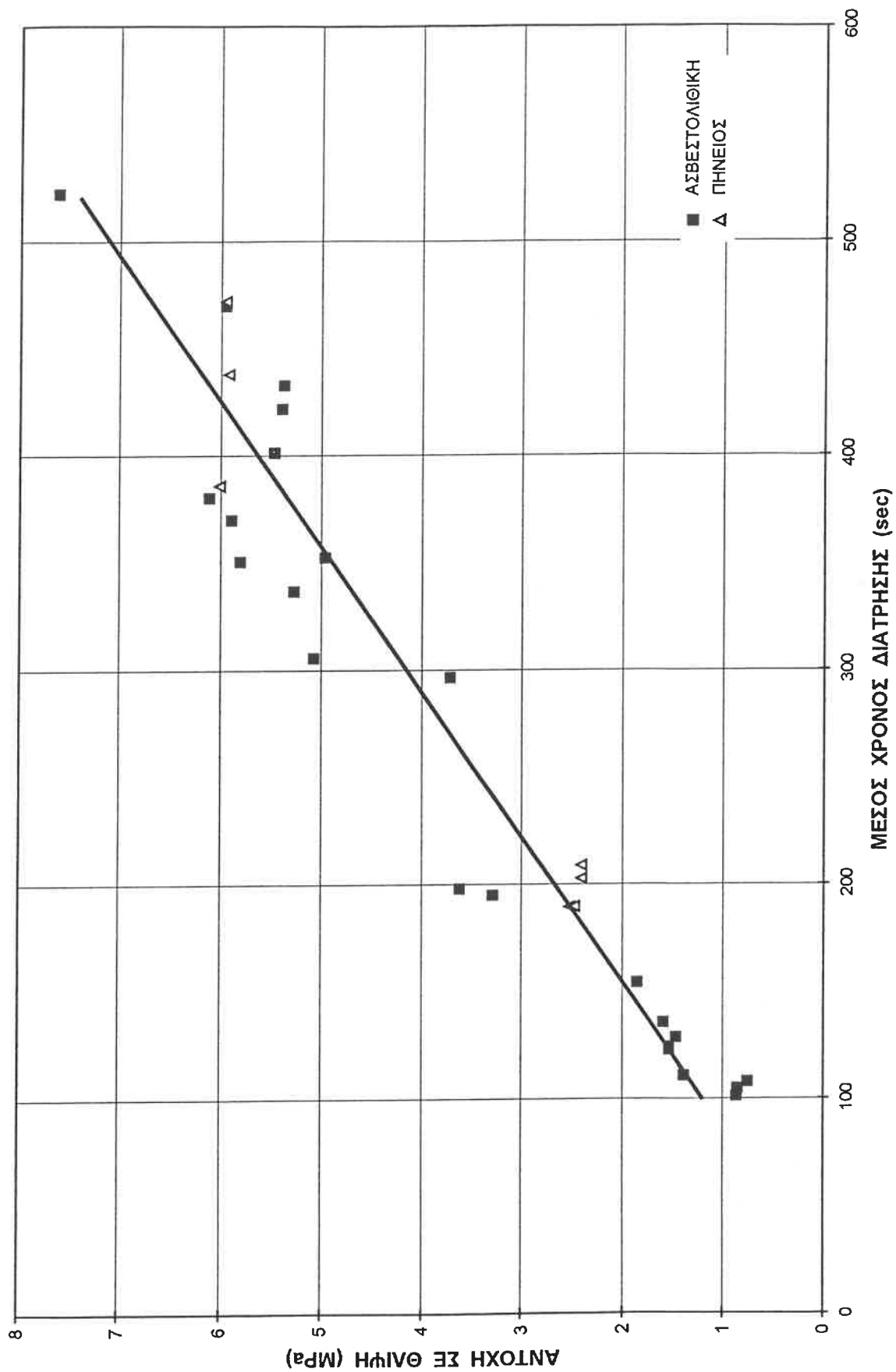
Στην περίπτωση των δοκιμών με άμμο σμύριδας, ίδιας κοκκομετρικής διαβάθμισης με την ασβεστολιθική άμμο, το αδρανές υλικό είναι πάρα πολύ σκληρό και αδρό (περισσότερο από κάθε άλλη άμμο) και ως εκ τούτου το τρυπάνι άλλοτε κατά την κίνησή του βρίσκει συνδετικό υλικό και άλλοτε κόκκους σμύριδας. Λόγω της μεγάλης σκληρότητας και αδρότητας των κόκκων αυτών, το τρυπάνι πρέπει να διέλθει πολύ περισσότερες φορές πάνω από τον κόκκο για να μπορέσει να τον αποτρίψει στον ίδιο βαθμό απότριψης με εκείνον που επιφέρει στους ασβεστολιθικούς κόκκους.

8.2.3 Μετρήσεις με επιβαλλόμενη δύναμη $P=64N$ και διάμετρο τρυπανιού $D=5mm$

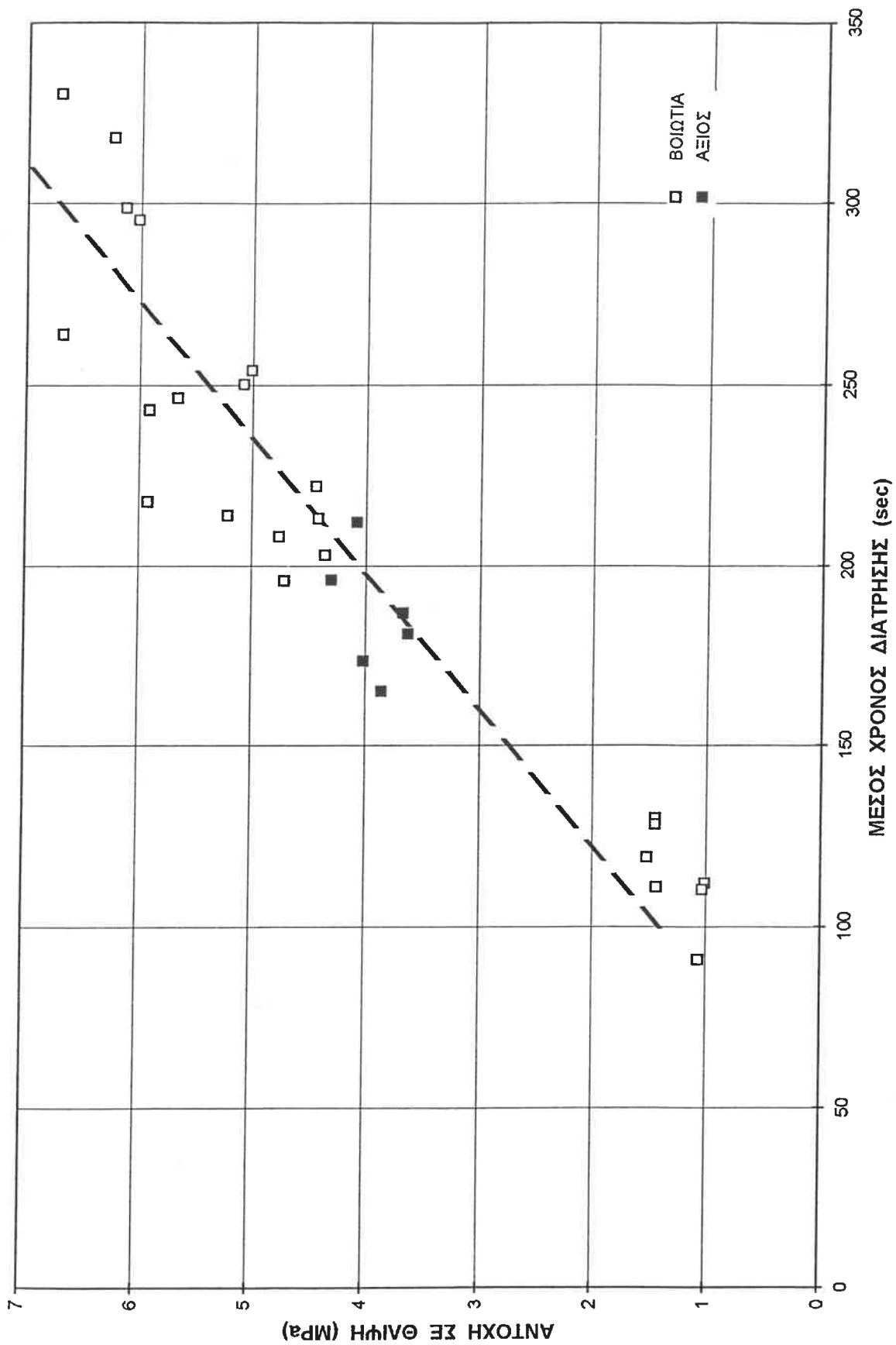
Από τις μετρήσεις με επιβαλλόμενη δύναμη $P=64N$ και διάμετρο τρυπανιού $D=5mm$, διαπιστώθηκε ότι η συσχέτιση της αντοχής με το χρόνο διάτρησης περιγράφεται από δύο διαφορετικές ευθείες για τα δύο ζεύγη των άμμων με διαφορετική κοκκομετρική διαβάθμιση.

Για τα τσιμεντοκονιάματα που παρασκευάστηκαν με θραυστή ασβεστολιθική άμμο περιοχής Αττικής και φυσική άμμο ποταμού Πηνειού (Σχήμα 8.3) προέκυψε ευθύγραμμη συσχέτιση αντοχής - χρόνου διάτρησης $y=0,0148x-0,2936$ με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης $r=96,8\%$, και τυπικό σφάλμα εκτίμησης $0,53MPa$. Πρακτικά η ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής είναι περίπου $1,3MPa$.

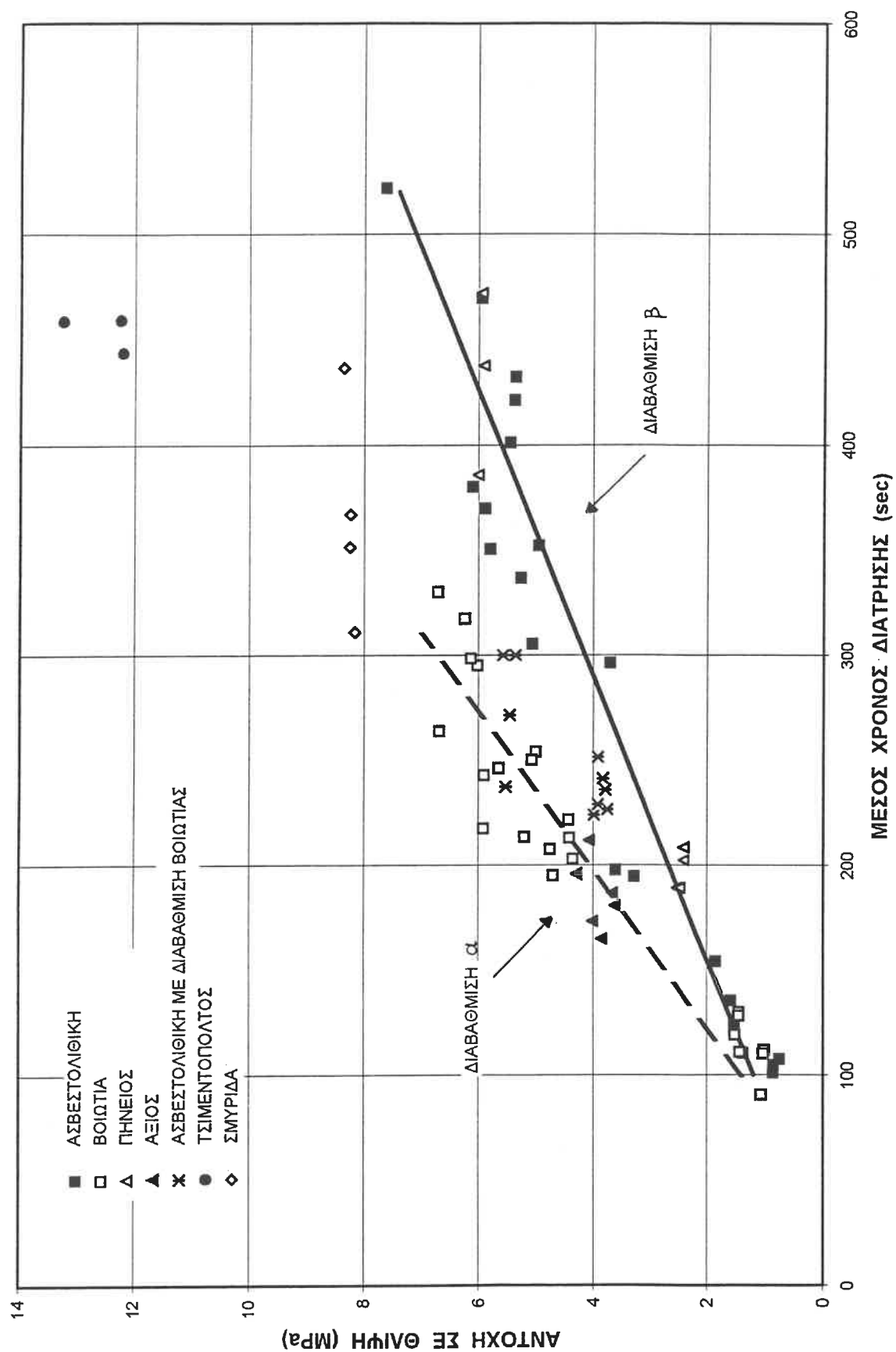
Για τα τσιμεντοκονιάματα που παρασκευάστηκαν με θραυστή άμμο Βοιωτίας και φυσική άμμο ποταμού Αξιού (Σχήμα 8.4) προέκυψε ευθύγραμμη συσχέτιση αντοχής - χρόνου διάτρησης $y=0,027x-1,3706$ με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης $r=94,6\%$, και τυπικό σφάλμα εκτίμησης $0,63MPa$. Πρακτικά η ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής είναι περίπου $1,0MPa$.



Σχήμα 8.3 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης-αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων με ασβεστολιθική άμμο και άμμο ποταμού Πηνειού. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=64N$, διάμετρος τρυπανιού $D=5mm$.



Σχήμα 8.4 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης-αντοχής ταμνετοκονιαμάτων με θραυστή άμμο Βοιωτίας και άμμο ποταμού Αξιού. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=64N$, διάμετρος τρυπανιού $D=5mm$.

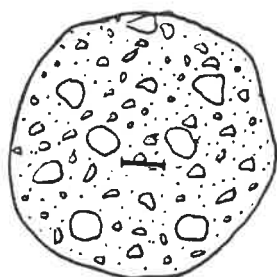


Σχήμα 8.5 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης-αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων με διαφορετικές άμμους. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=64N$, διάμετρος τρυπανιού $D=5mm$.

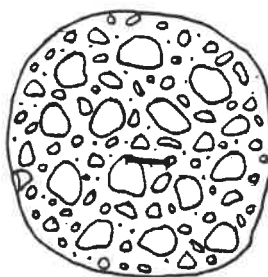
Στις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν με επιβαλλόμενη δύναμη $P=64N$ και διάμετρο τρυπανιού $D=5mm$ παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά μεταξύ των άμμων ασβεστολιθική - Πηνειού και Βοιωτίας - Αξιού.

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα (Σχήμα 8.3) τα κονιάματα που παρασκευάστηκαν με ασβεστολιθική άμμο καθώς και αυτά που παρασκευάστηκαν με άμμο ποταμού Πηνειού, φαίνεται ότι έχουν την ίδια ευθύγραμμη συσχέτιση χρόνου διάτρησης και αντοχής. Η ίδια παρατήρηση (Σχήμα 8.4) ισχύει και για τα δοκίμια, με άμμο Βοιωτίας και άμμο ποταμού Αξιού. Τελικά, η συσχέτιση του χρόνου διάτρησης με την αντοχή περιγράφεται από δύο ξεχωριστές ευθείες (Σχήμα 8.5), από τις οποίες κάθε μία αντιστοιχεί σε ένα ζεύγος άμμων (ασβεστολιθική - Πηνειός και Βοιωτία - Αξιός).

Οι διαφορετικές γραμμικές συσχετίσεις θα μπορούσαν να αποδοθούν στο γεγονός ότι οι δύο ομάδες των άμμων παρουσιάζουν διαφορετικά ποσοστά χοντρόκοκκου υλικού. Από το διάγραμμα της κοκκομετρικής τους ανάλυσης (Σχήμα 6.1) προκύπτει ότι η θραυστή άμμος προέλευσης Βοιωτίας και η άμμος ποταμού Αξιού είναι πιο λεπτόκοκκες (διαβάθμιση α) από την ασβεστολιθική και του ποταμού Πηνειού (διαβάθμιση β). Έτσι, το τρυπάνι κατά την περιστροφή του, στη μια περίπτωση (πιο λεπτόκοκκο υλικό) θέλει λιγότερο χρόνο για την απότριψη, αφού η πιθανότητα να πέσει επάνω σε μεγάλο κόκκο (άρα σε σκληρότερο και ανθεκτικότερο υλικό) είναι μικρότερη από την περίπτωση του πιο χοντρόκοκκου υλικού (Σχήμα 8.6).



Περίπτωση 1^η
Μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκων
αδρανών



Περίπτωση 2^η
Μεγάλο ποσοστό χοντρόκοκκων
αδρανών

Σχήμα 8.6

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός απότριψης επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα της πρόσθετης έρευνας που έγινε, και στην οποία χρησιμοποιήθηκε ασβεστολιθική άμμος με κοκκομετρική διαβάθμιση (από ανασύνθεση) ίδια με την διαβάθμιση της θραυστής άμμου Βοιωτίας. Στην περίπτωση αυτή, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.5 με το σύμβολο *, παρατηρείται ότι για την περίπτωση των αντοχών της τάξεως των 5,5MPa τα σημεία εμπίπτουν μέσα στη ζώνη των αποτελεσμάτων της άμμου Βοιωτίας, ενώ για την περίπτωση της αντοχής των 4MPa τα αποτελέσματα παίρνουν μια θέση ενδιάμεση μεταξύ των δύο γραμμών παλινδρόμησης. Επομένως υπάρχει ένδειξη, ότι για αυτά τα επίπεδα των αντοχών η επίδραση της κοκκομετρικής διαβάθμισης είναι σημαντική, ενώ της σκληρότητας δεν είναι.

Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση των κονιαμάτων με σμύριδα (κοκκομετρική διαβάθμιση ασβεστολιθικής), τα οποία δείχνουν ότι απαιτείται μικρότερος χρόνος απότριψης απ' ότι στα κονιάματα ασβεστολιθικής άμμου της ίδιας διαβάθμισης και της ίδιας αντοχής. Το συγκεκριμένο γεγονός, θα μπορούσε να αποδοθεί στο ότι κατά τη διάρκεια της απότριψης οι κόκκοι της σμύριδας που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε απότριψη, αποκολλούνται και δεν αποτρίβονται, Άρα, με την αποκόλληση των κόκκων αυτών, δημιουργούνται κενά που επιταχύνουν τη διείδυση του τρυπανιού.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών τσιμεντοπολτού επιβεβαιώνουν τη γενική αρχή ότι εφόσον δεν υπάρχουν αδρανή (επομένως επιφάνειες με μεγαλύτερη αντίσταση σε απότριψη), ο απαιτούμενος χρόνος διάτρησης είναι μικρότερος για την ίδια αντοχή.

Από το ίδιο σχήμα, προκύπτει ότι τα παραπάνω συμπεράσματα πρέπει να ισχύουν μόνο για αντοχές μεγαλύτερες από 2MPa. Σε μικρές αντοχές οι δύο ευθείες παλινδρόμησης ταυτίζονται, πράγμα που σημαίνει ότι η απότριψη συντελείται κατά κύριο λόγο με αποκόλληση μεγάλου ποσοστού αδρανών, και όχι με απότρίψή τους.

8.2.4 Δευτερεύουσα έρευνα - Μεταβολή της αντοχής τσιμεντοπολτού εντός της μάζας του δοκιμίου

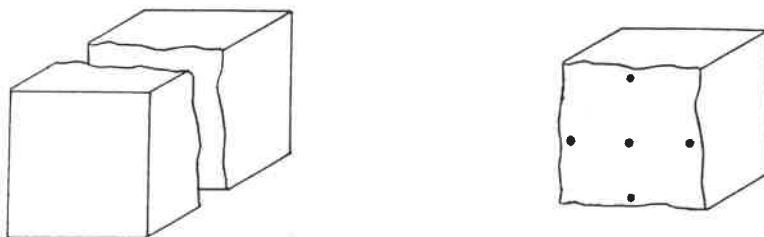
Σχετικά με τα πειράματα του τσιμεντοπολτού έγινε μια πρόσθετη διερεύνηση για να εξακριβωθεί αν υπάρχει διαφοροποίηση της αντοχής μεταξύ της περιμέτρου και του πυρήνα.

Η διερεύνηση αυτή θεωρήθηκε σκόπιμη, διότι τα συγκεκριμένα δοκίμια εξετάστηκαν αμέσως μετά το ξεκαλούπωμα, αφού σε κάθε άλλη περίπτωση θα αποκτούσαν αντοχή πολύ μεγαλύτερη από τις αντοχές που ενδιαφέρουν την παρούσα έρευνα.

Ως γνωστό, κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης του τσιμέντου παράγεται θερμότητα και η θερμοκρασία του δοκιμίου αυξάνει, ιδίως τις πρώτες 24-48 ώρες. Δεδομένου ότι τα καλούπια είναι χυτοσιδηρά με πάχος 14mm παρουσιάζουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, γεγονός το οποίο προκαλεί διαφορετική κατανομή θερμοκρασίας μέσα στη μάζα του δοκιμίου. Ο πυρήνας κάθε δοκιμίου έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία απ' ότι η περίμετός του. Επειδή η ταχύτητα ενυδάτωσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, η αντοχή του πυρήνα του δοκιμίου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την αντοχή της περιμέτρου του. Άρα επειδή οι μετρήσεις διάτρησης έχουν γίνει στην περίμετρο, η οποία έχει μικρότερη αντοχή, δίνουν μικρότερους χρόνους απ' ότι θα έδιναν αν είχαν γίνει στον πυρήνα. Η αντοχή όμως του δοκιμίου είναι ένας "μέσος όρος" μεταξύ της αντοχής του πυρήνα και της αντοχής της περιμέτρου.

Η ίδια παρατήρηση θα πρέπει να ισχύει και για τα δοκίμια με αύξοντες αριθμούς 18,19,20,33,34,35,42,43 και 44, που είχαν παρασκευαστεί με ασβεστολιθική άμμο και διατρήθηκαν αμέσως μετά το ξεκαλούπωμα.

Για την επιβεβαίωση των παραπάνω μια σειρά διδύμων δοκιμών τσιμεντοπολτού σε ηλικία 2 ημερών χωρίστηκαν στη μέση με διάρρηξη και στο ένα τμήμα έγιναν διατρήσεις στην περίμετρο και στο κέντρο.



Σχήμα 8.7 Δημιουργία διδύμων δοκιμών

Τα αποτελέσματα των διατρήσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8.1 Αποτελέσματα διάτρησης δοκιμίων τσιμεντοπολτού
Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{N}$. Διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{mm}$.

α/α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (sec)					ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΧΡΟΝΩΝ ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΥ (sec)
	ΚΕΝΤΡΟ	ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ				
138	173	130	179	154	179	160,5
139	228	234	222	227	218	225,25
140	206	129	142	142	134	136,75
141	123	163	181	120	162	156,50
142	195	186	160	197	110	163,25
143	180	169	159	178	165	167,75

Είναι φανερό ότι τόσο οι μεμονωμένες τιμές κατά πλειοψηφία, όσο και οι μέσοι όροι των χρόνων διάτρησης της περιμέτρου είναι μικρότεροι από τους χρόνους διάτρησης των πυρήνων. Θεωρείται, ότι τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν ικανοποιητικά αξιόπιστη επιβεβαίωση των παραπάνω.

8.2.5 Δευτερεύουσα έρευνα - Μέτρηση σκληρότητας άμμου

Ένας επιπλέον παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί, όσον αφορά την επιρροή του είδους της άμμου στο χρόνο διάτρησης των κονιαμάτων, είναι η σκληρότητά της. Για το λόγο αυτό, έγινε μια προσπάθεια προσδιορισμού της συγκεκριμένης παραμέτρου για τις άμμους που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, με εφαρμογή μιας δοκιμής που βασίζεται στη μέθοδο Deval.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

σε έναν μεταλλικό κύλινδρο εισάγονται δύο κιλά χαλύβδινες σφαίρες διαμέτρου 10mm καθώς και 500g άμμου, η οποία διέρχεται από το κόσκινο Ν° 4 και συγκρατείται στο κόσκινο Ν° 16. Στη συνέχεια ο κύλινδρος σφραγίζεται, και προσαρμόζεται σε έναν μικρό

ηλεκτροκινητήρα με μειωτή στροφών που ακολούθως τίθεται σε λειτουργία. Ο κύλινδρος με την περιεχόμενη άμμο και τις χαλύβδινες σφαίρες, περιστρέφεται μέσω του κινητήρα με μια ταχύτητα 15-18 στροφές/λεπτό και αφήνεται σ' αυτή την κίνηση για έξι ώρες. Αφού διέλθει το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, η κίνηση διακόπτεται, ο κύλινδρος απομακρύνεται από τον κινητήρα και το περιεχόμενό του αδειάζεται σε ένα κόσκινο ώστε να ξεχωρίσει η άμμος από τις σφαίρες. Η άμμος αυτή κοσκινίζεται στη συνέχεια με κόσκινο Ν° 16. Το διερχόμενο από το κόσκινο υλικό, ζυγίζεται και είναι αυτό που πιστεύεται ότι συγκριτικά καθορίζει τη σκληρότητα. Όσο πιο μεγάλο είναι δηλαδή το ποσοστό της άμμου που μετά την παραπάνω δοκιμή διέρχεται από το κόσκινο Ν° 16, τόσο πιο μαλακή θα μπορούσε να θεωρείται.

Από τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή, εξετάστηκαν μόνο η θραυστή ασβεστολιθική άμμος περιοχής Αττικής και η θραυστή άμμος προέλευσης Βοιωτίας. Το διερχόμενο ποσοστό για την ασβεστολιθική άμμο προέκυψε 1%, ενώ για την άμμο Βοιωτίας 7,2%.

Δυστυχώς δεν στάθηκε δυνατή η ολοκλήρωση της έρευνας, διότι κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος για την άμμο ποταμού Αξιού, ο ηλεκτροκινητήρας καταστράφηκε.

9. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

9.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διερεύνηση έγινε σε 162 δοκίμια τσιμεντοκονιάματων που παρασκευάστηκαν με τέσσερις διαφορετικές άμμους όσον αφορά την προέλευση, και για δύο κοκκομετρικές διαβαθμίσεις, καθώς επίσης και με τη χρήση κάποιων ακραίων περιπτώσεων άμμων (σμύριδας και τσιμεντοπολτού μόνο). Από τα αποτελέσματα των δοκιμών των παραπάνω υλικών, μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα (με τη γενική επιφύλαξη του μικρού σχετικά αριθμού ειδών άμμου):

A. Χαρακτηριστικά διάτρησης $P=185N$, $D=4mm$

- Η ευθύγραμμη συσχέτιση αντοχής-χρόνου διάτρησης φαίνεται ότι είναι μοναδική και ανεξάρτητη από το είδος (κοκκομετρική διαβάθμιση, σκληρότητα, αδρότητα) της άμμου που χρησιμοποιείται για την παρασκευή των κονιαμάτων, εκτός ακραίων περιπτώσεων.

B. Χαρακτηριστικά διάτρησης $P=64N$, $D=5mm$

- Η κοκκομετρική διαβάθμιση φαίνεται ότι επηρεάζει τα αποτελέσματα επιφέροντας διαφοροποίηση στη γραμμική συσχέτιση. Έτσι, για τα δύο ζεύγη άμμων που παρουσίασαν διαφορετική μεταξύ τους κοκκομετρική διαβάθμιση προέκυψαν δύο ξεχωριστές ευθείες. Οι άμμοι με το μεγαλύτερο μέγεθος κόκκου απαιτούσαν μεγαλύτερο χρόνο διάτρησης.
- Οι δύο ευθείες παλινδρόμησης φαίνεται ότι ταυτίζονται όταν τα επίπεδα των αντοχών είναι μικρότερα από $2MPa$, πράγμα το οποίο αποτελεί ένδειξη του ότι για τις αντοχές αυτές, η κοκκομετρική

διαβάθμιση του αδρανούς υλικού δεν επηρεάζει σημαντικά τη συσχέτιση αντοχής και χρόνου διάτρησης που είναι η ίδια, ανεξάρτητα από το είδος της άμμου.

Τα συμπεράσματα αυτά, επιβεβαιώθηκαν με τα αποτελέσματα των ακόλουθων δευτερευουσών ερευνών:

1. Δοκιμίων που παρασκευάστηκαν με την αρχική ασβεστολιθική άμμο ανασυντεθειμένη ώστε να έχει την κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου Βοιωτίας.
 2. Δοκιμίων που παρασκευάστηκαν με τσιμεντοπολτό.
- Η συμπληρωματική διερεύνηση που έγινε στα δοκίμια τσιμεντοπολτού οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι στα πρώτα δύο εικοσιτετράωρα μετά την παρασκευή τους, ο πυρήνας των δοκιμίων πιθανώς να παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη από την περίμετρό τους.

9.2 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Επειδή με τη συγκεκριμένη εργασία δεν κατέστη δυνατή η ολοκλήρωση της διερεύνησης που αφορά την επιρροή του είδους της άμμου στην εκτίμηση της αντοχής με τη μέθοδο της διάτρησης, προτείνεται η εξής συμπληρωματική έρευνα:

- Να γίνει συστηματική διερεύνηση της επίδρασης της κοκκομετρικής διαβάθμισης χρησιμοποιώντας την ίδια άμμο με διαφορετικές διαβαθμίσεις.
- Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε επίσης και η ακραία περίπτωση απουσίας παντελώς άμμου στο μίγμα. Επειδή όμως οι τσιμεντοπολτοί που παρασκευάζονται με αυτό τον τρόπο έχουν μεγάλη αντοχή ακόμη και σε μικρή ηλικία, θα ήταν ενδιαφέρον να παρασκευαστούν τσιμεντοπολτοί με μεγάλη περιεκτικότητα σε αέρα (αφροτσιμεντοπολτοί), πράγμα που επιτυγχάνεται με προσθήκη πολύ μικρών ποσοτήτων σκόνης αλουμινίου.
- Να γίνουν μετρήσεις του χρόνου διάτρησης με μεγαλύτερα βάθη. Δηλαδή, η μέτρηση του παραπάνω χρόνου να αρχίζει όταν το τρυπάνι θα έχει ήδη εισχωρήσει μέσα στο δοκίμιο 1-2cm. Μια τέτοια προσπάθεια περιγράφεται στην παράγραφο 8.2.4.
- Να αναπτυχθούν τρόποι συγκράτησης του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της διάτρησής του, για να βελτιωθεί η ακρίβεια της συγκεκριμένης δοκιμής.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Θ.Π. Τάσσιος, *“Η μηχανική της τοιχοποιίας”*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1996.
2. Karlheinz Wesche, *“Baustoffe fuer tragende Bauteile”*, Band 2: Beton, Bauverlag GMBH, Wiesbaden und Berlin, 1981
3. DIN-Taschenbuch, *“Mauerwerksbau”*, Beuth Bauverlag 1988.
4. Αντώνιος Α. Λεγάκης, *“Δομικά υλικά”* τόμος 1^{ος}, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1995
5. Ελευθέριος Σταθάκης - Χριστ. Λαγγιώτης, *“Τα δομικά υλικά και οι εφαρμογές τους”*, τόμος 1^{ος}, Αθήνα 1985.
6. *“Κανονισμός τσιμεντών για έργα από σκυρόδεμα”*.
7. Χρήστος Οικονόμου, *“Τεχνολογία του σκυροδέματος”*, Art of text, Αθήνα 1993.
8. Tassios T., *“History of concrete in Greece”*.
9. Άγγελος Ι. Ζαχαριάδης, *“Οικοδομική Τεχνολογία”*, Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη 1993.
10. Κόλιας Στ., *“Διερεύνηση της δυνατότητας εκτίμησης της αντοχής του σκυροδέματος με τη μέτρηση του πορώδους”*, Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδας, Αθήνα 1992.
11. Πετρακάκη Ε., *“Συσχέτιση της αντοχής με το πορώδες και την υδατοαπορροφητικότητα σε κονιάματα”*, Αθήνα Οκτώβριος 1995.
12. Παπαδόπουλος Κ., *“Διερεύνηση της εκτίμησης της αντοχής επί τόπου ασβεστοκονιαμάτων και Πουζολανο-ασβεστοκονιαμάτων με μέτρηση χαρακτηριστικών διάτρησης και με μέτρηση του πορώδους”*, Αθήνα Φεβρουάριος 1996.

13. **Δούμα Χ.**, “Διερεύνηση εκτίμησης της αντοχής επί τόπου κονιαμάτων με μέτρηση του χρόνου διάτρησης και με μέτρηση του πορώδους”, Αθήνα Ιούλιος 1996.
14. **Binda L.**, “*Masonry material and structures*”, Technical session RILEM TC127-MS, Trento Italy 29 September 1994.
15. **T. Tassios - C. Vahliotis - C. Spanos**, “*In situ strength measurements of masonry mortars*”, Athens 1989.
16. **Natale Cucci - Ricardo Barsotti**, “*A non destructive technique for the determination of mortar load capacity in situ*”, Materials and Structures vol. 28 1995.