

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Επόπτης: Αν. Καθηγητής ΣΤ. ΚΟΛΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ
ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ
ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΛΙΝΘΩΝ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ**

ΦΑΡΑΧ ΝΑΤΖΙΜΠΙ

ΜΑΡΤΙΟΣ 1999

στον πατέρα μου

Ευχαριστώ θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Στέλιο Κόλια για την καθοδήγηση αλλά και τη συμπαράστασή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστώ την Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος για την παραχώρηση του εργαστηρίου της, στο οποίο πραγματοποιήθηκε μέρος των δοκιμών.

Ευχαριστώ το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (Κ.Ε.Δ.Ε.) και ιδιαίτερα τον κ. Γ. Τσιαμπάο για την παραχώρηση των δοκιμών πετρωμάτων που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, καθώς και για την εκτέλεση των δοκιμών τους σε θλίψη.

Ευχαριστώ επίσης, τις πολιτικούς μηχανικούς Μάρθα Κατσαάκου και Πέπη Κυρκιλή για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερη συμβολή στην παρουσίαση του παρόντος τεύχους είχαν οι πολιτικοί μηχανικοί Χριστίνα Πλατή και Φουλή Θεόδουλος τους οποίους ευχαριστώ πολύ.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την αδελφή μου Άννα-Μαρία για την ορθογραφική επιμέλεια του κειμένου και το γαμπρό μου Γιάννη Σμυρναίο για τη σχεδίαση της συσκευής εκτέλεσης της δοκιμής διάτρησης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ (ΤΟΥΒΛΑ)	6
2.1. ΓΕΝΙΚΑ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	6
2.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΩΝ	10
2.2.1. ΔΟΜΙΚΑ (ΚΟΙΝΑ) ΤΟΥΒΛΑ	10
2.2.2. ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΑ ΤΟΥΒΛΑ	10
2.2.3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΤΟΥΒΛΑ (ENGINEERING BRICKS)	11
2.2.4. ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΑΝΑ ΤΟΥΒΛΑ (DAMP-PROOF)	11
2.2.5. ΣΤΙΛΒΩΜΕΝΑ (ΓΥΑΛΙΣΤΕΡΑ) ΤΟΥΒΛΑ	11
2.2.6. ΤΟΥΒΛΑ ΚLINKER	12
2.2.7. ΤΟΥΒΛΑ ΑΠΟ ΑΜΜΟ ΚΑΙ ΑΣΒΕΣΤΟ (SAND-LIME)	13
2.2.8. ΕΛΑΦΡΑ ΤΟΥΒΛΑ (ΠΟΡΩΔΗ)	13
2.2.9. ΤΟΥΒΛΑ ΕΙΔΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΓΙΑ ΥΠΕΡΘΥΡΑ (ΠΡΕΚΙΑ)	14
2.2.10. ΠΥΡΙΜΑΧΑ ΤΟΥΒΛΑ (ΠΥΡΟΤΟΥΒΛΑ)	14
2.2.11. ΕΙΔΗ ΤΟΥΒΛΩΝ ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	16
2.2.11.1. Τούβλα που παράγονται με εξάθιση της πρώτης ύλης και κοπή της με σύρμα	16
2.2.11.2. Τούβλα που παράγονται με πίεση σε πρέσες	16
2.2.11.3. Τούβλα μαλακού πηλού (soft-mud)	16
2.2.11.4. Τούβλα stock	17
2.2.11.5. Χειροποίητα τούβλα	17
2.2.11.6. Ειδικά τούβλα (special bricks)	17
2.2.12. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΔΟΜΗ	17
2.2.12.1. Συμπαγή	17
2.2.12.2. Διάτρητα	18
2.3. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΩΝ	19
2.3.1. ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΑΥΤΗΣ	19
2.3.2. ΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	20
2.3.3. ΞΗΡΑΝΣΗ	24

2.3.4. ΟΠΤΗΣΗ	26
2.3.5. ΤΟΥΒΛΑ ΑΠΟ ΠΥΡΙΤΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ	28
2.3.6. ΤΟΥΒΛΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	29
2.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΩΝ	30
2.4.1. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΟΥΒΛΩΝ	30
2.4.2. ΥΔΡΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	33
2.4.3. ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΛΥΤΑ ΑΛΑΤΑ	34
2.4.4. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΠΑΓΕΤΟ	35
2.4.5. ΕΞΑΝΘΗΣΕΙΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΩΝ	36
2.4.6. ΔΙΑΣΤΟΛΗ - ΣΥΣΤΟΛΗ	37
2.4.7. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΓΚΟΥ ΛΟΓΩ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	37
2.4.8. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	38
2.4.9. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΠΟΤΡΙΨΗ	40
2.5. ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΗ	41
2.5.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΩΝ	41
2.5.2. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΩΝ	44
2.5.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΩΝ	46
2.5.3.1. Στατική συμπεριφορά	46
2.5.3.2. Μετακινήσεις οπτοπλινθοδομών	46
2.5.3.3. Θερμομόνωση	47
2.5.3.4. Υγρομόνωση	47
2.5.3.5. Ηχομόνωση	48
2.5.3.6. Πυραντίσταση	48
2.5.3.7. Ανθεκτικότητα	48
3. ΦΥΣΙΚΟΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ - ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	50
3.1. ΓΕΝΙΚΑ	50
3.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ - ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ	52
3.2.1. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	52
3.2.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	54
3.3. ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΕΡΟΙ ΦΥΣΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ	57
3.3.1. ΛΙΘΟΙ ΑΠΟ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	57
3.3.2. ΛΙΘΟΙ ΑΠΟ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	59
3.3.3. ΛΙΘΟΙ ΑΠΟ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	61

3.3.4. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	62
3.3.5. ΜΑΡΜΑΡΑ	63
3.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ	65
3.4.1. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ-ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ-ΠΟΡΩΔΕΣ	65
3.4.2. ΥΔΡΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	65
3.4.3. ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΟΝ ΠΑΓΕΤΟ	67
3.4.4. ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ	68
3.4.5. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΟΞΕΩΝ	68
3.4.6. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	69
3.4.7. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΠΟΤΡΨΗ-ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	70
3.5. ΛΙΘΟΔΟΜΕΣ	72
3.5.1. ΞΗΡΟΛΙΘΟΔΟΜΕΣ (ΞΗΡΟΛΙΘΙΕΣ)	72
3.5.2. ΑΡΓΟΛΙΘΟΔΟΜΕΣ	72
3.5.3. ΗΜΙΛΑΞΕΥΤΕΣ ΛΙΘΟΔΟΜΕΣ	73
3.5.4. ΛΑΞΕΥΤΕΣ ΛΙΘΟΔΟΜΕΣ	74
3.5.5. ΑΛΛΑ ΕΙΔΗ ΛΙΘΟΔΟΜΩΝ	75
3.5.6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΛΙΘΟΔΟΜΩΝ	76
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ	
ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ	77
4.1. ΓΕΝΙΚΑ	77
4.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ GUCCI-MORETTI	78
4.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ	79
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	81
5.1. ΓΕΝΙΚΑ	81
5.2. ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ	83
5.3. ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	88
5.3.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΤΟΥΒΛΩΝ	88
5.3.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΘΛΙΨΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	93

5.4. ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΑΠΟΤΡΙΨΗ	95
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	97
6.1. ΓΕΝΙΚΑ	97
6.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ	97
6.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	134
6.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ	140
7. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	142
7.1. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ-ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΑ ΔΙΑΤΡΗΤΑ ΤΟΥΒΛΑ	142
7.2. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ-ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΑ ΣΥΜΠΑΓΗ ΤΟΥΒΛΑ	150
7.3. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ-ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	158
7.4. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ-ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΑΠΟΤΡΙΨΗ ΣΥΜΠΑΓΩΝ ΤΟΥΒΛΩΝ	
8. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	168

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ακριβέστερη και αμεσότερη μέθοδος προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων ενός υλικού είναι η μηχανική μέθοδος. Η μέθοδος όμως αυτή προϋποθέτει την καταστροφή των ελεγχόμενων δοκιμίων. Σε αντίθεση με αυτή τη μέθοδο ο έλεγχος των υλικών όπως και ο προσδιορισμός των μηχανικών τους ιδιοτήτων, μπορεί να γίνει με τη βοήθεια των ακτίνων Χ, α, β, γ, ή ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, ή ηχητικών κυμάτων, που επειδή δεν καταστρέφουν τα υλικά ούτε επηρεάζουν τις ιδιότητές τους ονομάζονται μη καταστρεπτικές μέθοδοι ελέγχου των υλικών (Non-Destructive Testing NDT). [3]

Η αναγκαιότητα του να ελέγχονται οι κατασκευές ή ορισμένα σημαντικά στοιχεία τους, ώστε να εντοπίζεται έγκαιρα η ύπαρξη ή η δημιουργία απρόβλεπτων ανωμαλιών ή περιοχών συγκέντρωσης των τάσεων που μπορούν να προκαλέσουν την αστοχία τους, αλλά ακόμα και η αναγκαιότητα του να μπορούν να προσδιορισθούν οι μηχανικές ιδιότητες ορισμένων υλικών, ενώ αυτά βρίσκονται ήδη σε λειτουργία, οδήγησε στην ανάπτυξη των μη καταστρεπτικών μεθόδων ελέγχου των υλικών.

Οι μέθοδοι αυτές μπορούν να δώσουν σημαντικότερες πληροφορίες, τόσο σχετικά με την ύπαρξη επικίνδυνων σημείων στα καταπονούμενα τμήματα των κατασκευών (σημεία συγκέντρωσης των τάσεων, όπως για παράδειγμα μικρορωγμές στο εσωτερικό ενός υλικού), όσο και σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών, οι οποίες είναι δυνατόν να μεταβάλλονται σαν αποτέλεσμα των συνθηκών και του χρόνου λειτουργίας των κατασκευών. Οι πληροφορίες αυτές συνάγονται χωρίς να απαιτείται καμιά πρόσθετη καταπόνηση των υλικών. Οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται επίσης στις περιπτώσεις που το υλικό που έχουμε στη διάθεσή μας δεν επαρκεί για να κατασκευάσουμε τα τυποποιημένα δοκίμια, που προβλέπονται από τις προδιαγραφές για τις γνωστές καταστρεπτικές ή συμβατικές δοκιμές. [4]

Μερικές από τις πιο σημαντικές τέτοιες μεθόδους, με ονομαστική μόνο αναφορά, είναι οι ακόλουθες : [4]

1. Οι οπτικές μέθοδοι
2. Οι ακτινογραφικές μέθοδοι
3. Οι μαγνητικές μέθοδοι
4. Η μέθοδος της υπέρυθρης ακτινοβολίας
5. Η μέθοδος της ξηροακτινογράφησης
6. Η μέθοδος της ακουστικής εκπομπής
7. Η μέθοδος των υπερήχων

Στο χώρο των οικοδομικών έργων, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή επί τόπου - μη καταστρεπτικών μεθόδων στον έλεγχο της αντοχής τοιχοποιιών. Η τοιχοποιία είναι ένα δομικό στοιχείο που εμφανίζει σημαντική ετερογένεια. Αποτελείται από δύο κύριες κατηγορίες υλικών · τους λίθους, που είναι το βασικότερο στοιχείο, και το κονιάμα που λειτουργεί ως συνδετικό υλικό. Κατά τη δόμηση τοίχων από φυσικούς ή τεχνητούς λίθους, τα κονιάματα παρεμβάλλονται μεταξύ των οριζόντιων και κατακόρυφων αρμών πληρώνοντας έτσι τα κενά μεταξύ των λίθων, που συνδέονται μεταξύ τους καθιστώντας συμπαγέστερη και στερεότερη την κατασκευή. [7]

Στις τοιχοποιίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξής λίθοι: [8]

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

Εκτός απο τους παραπάνω, αναπτύσσονται συνεχώς νέα είδη λίθων έτσι ώστε: [8]

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

Η τοιχοποιία, όπως και όλα τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου, επιτελεί πολλαπλή εργασία. Πρέπει: [5]

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

Όλες οι τοιχοποιίες υπόκεινται συνήθως σε θλίψη και για το λόγο αυτό, δόθηκε ιδιαίτερο ενδιαφέρον στον καθορισμό της θλιπτικής τους αντοχής. Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας είναι: [6]

- η αντοχή και η γεωμετρία των λιθοσωμάτων

- η αντοχή του κονιάματος, χωρίς η σχέση αυτή να είναι γραμμική
- οι παραμορφώσεις των λιθοσωμάτων και του κονιάματος
- το πάχος του αρμού σε σχέση και με το ύψος του λιθοσώματος
- η υδρο-απορροφητικότητα των λιθοσωμάτων
- το σύστημα και η ποιότητα δόμησης

Επειδή στην τοιχοποιία το κονιάμα και οι λίθοι καταπονούνται διαφορετικά απ' ότι αν εξετάζοταν το κάθε υλικό χωριστά, είναι σχετικά 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 των δοκιμών, παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. [8] Στην πράξη είναι αρκετά χρήσιμη η παρακάτω σχέση του Brocker: [5]

$$\beta_{mw} = 0.68 * (\beta_{mo})^{1/3} * (\beta_{st})^{1/2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

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)

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξημένο ενδιαφέρον για τον έλεγχο της αντοχής των διαφόρων τοιχοποιιών. Το ενδιαφέρον αυτό πηγάζει από την ανάγκη εισαγωγής βελτιωμένων μεθόδων εκτίμησης της μηχανικής συμπεριφοράς των τοιχοποιιών, με σκοπό την ανάπτυξη ακριβέστερων μεθόδων υπολογισμού των κατασκευών τόσο σε στατικά όσο και σε σεισμικά φορτία.

Ιδιαίτερο επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιπτώσεις συντήρησης ιστορικών μνημείων από τοιχοποιία. Χαρακτηριστικό του ενδιαφέροντος αυτού είναι η πρόσφατη σύσταση σχετικής τεχνικής επιτροπής εμπειρογνομόνων από τη RILEM (Reunion Internationale de Laboratoires d' Essais et de Recherches sur les Materiaux et les Constructions). Η επιτροπή αυτή (RILEM CI27-MS) ασχολείται με υλικά και τοιχοποιίες, συνήλθε για πρώτη φορά τον Απρίλιο του 1991 και έχει ως στόχο την ανάπτυξη διεθνούς συμφωνίας και έκδοση προδιαγραφών για τις δοκιμές σχετικά με τις τοιχοποιίες, στα παρακάτω αντικείμενα: [7]

- συμπεριφορά κατά τη λειτουργία,
- ανθεκτικότητα, επί τόπου εκτίμηση,

- μη καταστρεπτικές μέθοδοι.

Το έργο της επιτροπής είναι ιδιαίτερα δύσκολο, λόγω του ευρύτατου αντικειμένου της και της μεγάλης του πολυπλοκότητας, αφού η τοιχοποιία είναι ένα ομοιογενές στρωματοποιημένο υλικό με τεράστιο αριθμό δυνατών συνδυασμών ανάμεσα στα συστατικά. Αυτό γίνεται εμφανές αν λάβει κανείς υπόψη του τον αριθμό των υλικών που χρησιμοποιούνται σήμερα σαν δομικές μονάδες (άργιλος, σκυρόδεμα, πυριτικό ασβέστιο, γύψος, φυσικοί και τεχνητοί λίθοι κ.λ.π.), το σχήμα και τις διαστάσεις τους και τις δυνατές συνθέσεις για κονιάματα με βάση διάφορες κονίες (τσιμέντο, πουζολάνες, άσβεστος, υδράσβεστος, γύψος, τσιμεντοασβέστιο κ.λ.π.). [7]

Στην περίπτωση μεθόδων για την αξιολόγηση βλαβών σε υπάρχουσες τοιχοποιίες, ιδιαίτερα σε ιστορικά κτίρια, στην παραπάνω πολυπλοκότητα προστίθενται πρόσθετες δυσκολίες, όπως: [9]

- προσδιορισμός σύνθεσης και υφής της τοιχοποιίας, δειγματοληψία αντιπροσωπευτικών δειγμάτων για έλεγχο των συστατικών
- μέθοδοι ελέγχου για κονιάματα με βάση την υδράσβεστο
- μεθοδοι 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.

Τα παραπάνω εξηγούν το ότι δεν υπάρχει καμία καθορισμένη μέθοδος (ευρείας αποδοχής), πρακτική, με ικανά αποτελέσματα στην εκτίμηση της αντοχής των τοιχοποιιών σε υπάρχουσες κατασκευές. Για το λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες εκτίμησης της αντοχής των επιμέρους στοιχείων που την αποτελούν. Έτσι ο προσδιορισμός της αντοχής του κονιάματος είναι ένας σημαντικός παράγοντας στη διερεύνηση της φέρουσας ικανότητας των τοιχοποιιών. Στο θέμα αυτό δεν υπάρχουν αξιόπιστες και πρακτικές μέθοδοι προσδιορισμού του μεγέθους αυτού σε υπάρχοντα κτίρια. Οι φυσικοχημικές μέθοδοι όπως οι πετρογραφικές τομές, σκέδαση ακτίνων X και θερμοβαρομετρική ανάλυση δεν προσφέρουν ικανοποιητικές εκτιμήσεις της αντοχής του κονιάματος. Οι μηχανικές μέθοδοι όπως οι δοκιμαστικές φορτίσεις στο εργαστήριο σε μεγάλα κομμάτια μιας τοιχοποιίας είναι πιο αξιόπιστες, αλλά ακριβές και δεν είναι κατάλληλες σε όλες τις περιπτώσεις. [7]

Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια, γίνεται προσπάθεια ανάπτυξης μιας καινούργιας μεθόδου εκτίμησης της αντοχής κονιαμάτων, στο εργαστήριο οδοποιίας του τομέα μεταφορών και συγκοινωνιακής υποδομής (Τ.Μ.Σ.Υ.) του Ε.Μ.Π., της μεθόδου

διάτρησης. Βασίζεται, στο συσχετισμό του χρόνου που απαιτείται για τη διάνοιξη μικρής οπής συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και τρόπου σε δοκίμιο κονιάματος με τη θλιπτική αντοχή του δοκιμίου. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με χρήση ειδικού μηχανήματος, που διαμορφώθηκε και αναπτύχθηκε στο εργαστήριο και τα αποτελέσματά της σε διάφορα κονιάματα κρίνονται ιδιαιτέρως ενθαρρυντικά.

Η παρούσα εργασία αποτελεί επέκταση της μεθόδου στους δομικούς λίθους μιας τοιχοποιίας, κυρίως σε οπτόπλινθους (τούβλα) και φυσικούς λίθους (ασβεστόλιθοι, μάρμαρα κ.λ.π.), που είναι και τα πιο συνηθισμένα υλικά. Η έρευνα έγινε στο εργαστήριο οδοποιίας με τη βοήθεια του ίδιου μηχανήματος, αφού όμως προηγήθηκαν ορισμένες μετατροπές, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά των νέων υλικών. Παράλληλα, σε μικρή έκταση εξετάστηκε η δυνατότητα συσχέτισης της μεθόδου διάτρησης με την αντοχή σε απότριψη οπτόπλινθων. Αν κι εδώ τα αποτελέσματα κριθούν ικανοποιητικά, θα μούν οι βάσεις, ώστε στο μέλλον να κατασκευαστεί συσκευή που θα εκτιμά την αντοχή των επιμέρους στοιχείων τοιχοποιίας στο εργαστήριο ή επιτόπου, οπότε θα αποκτηθεί μια πρώτη ένδειξη για την αντοχή της ίδιας της τοιχοποιίας.

2. ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ (ΤΟΥΒΛΑ)

2.1. ΓΕΝΙΚΑ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ονομάζουμε κεραμικά τα υλικά, τα οποία κατασκευάζονται από την όπτηση (ψήσιμο) αργίλου (πηλοκονιάματος), αφού προηγουμένως δοθεί σ' αυτή η κατάλληλη μορφή. Η τέχνη, που ασχολείται με την κατασκευή όλων των κεραμικών προϊόντων, καλείται κεραμευτική. Η ποικιλία και η χρήση των κεραμικών προϊόντων είναι εξαιρετικά μεγάλη. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τα προϊόντα, που χρησιμοποιούνται στην οικοδομική για τοιχοποιίες, τα οποία είναι οι οπτόπλινθοι (τούβλα).

Οι οπτόπλινθοι ή αλλιώς πλινθία τοιχοδομής είναι τεχνητοί λίθοι από ψημένη άργιλο σχήματος πρισματικού κατά κανόνα. Το χρώμα τους εξαρτάται από τη χημική σύσταση της άργιλου και κυρίως από την περιεκτικότητα αυτής σε οξείδια του σιδήρου. Πηλός πλούσιος σε σίδηρο έχει ως αποτέλεσμα να παράγονται κόκκινοι οπτόπλινθοι ενώ αυτοί από αργιλική μάργα είναι κιτρινωποί. Στην Ελλάδα είναι συνήθως κόκκινοι και σπανιότερα υποκίτρινοι ως υπόλευκοι. [1],[10]

Οι οπτόπλινθοι είναι ίσως το αρχαιότερο βιομηχανοποιημένο οικοδομικό υλικό που είναι γνωστό στον άνθρωπο. Παραδείγματα οπτοπλινθοδομών από το 1300 π.Χ. διατηρούν ακόμα σε μεγάλο βαθμό την αρχική τους μορφή. Τα πρώτα τούβλα κατασκευάζονταν από λάσπη, προερχόμενη από την επιφάνεια του εδάφους ή από τις όχθες ποταμών, διαμορφώνονταν σε σχήματα με το χέρι και ξηραίνονταν στον ήλιο. Άνοπτοι ή ωμοί πλίνθοι όπως είναι γνωστοί που έχουν βρεθεί στην Ιεριχώ, χρονολογούνται περίπου από το 8000 π.Χ.

Στην εποχή του χαλκού οι Μυκηναίοι είχαν μάθει πως να “ψήνουν” τους ξηραμένους στον ήλιο πλίνθους, για να τους προσδώσουν μεγαλύτερη σταθερότητα και διάρκεια ζωής. Την περίοδο της Ρωμαϊκής κυριαρχίας στη Βρετανία, η τεχνική της όπτησης των πλίνθων για να αποκτήσουν αντοχή, ήταν ευρέως γνωστή και εφαρμόσιμη. Πολλά παραδείγματα Ρωμαϊκών τούβλων διασώζονται στην εποχή μας, ως μαρτυρία των τεχνικών που είχαν αναπτύξει οι Ρωμαίοι, για να παράγουν ψημένα αργιλικά προϊόντα. [2]

Στην αρχαία Ελλάδα η κεραμευτική αναπτύχθηκε μόνο για την κατασκευή οικιακών σκευών, δοχείων αποθηκείσεως τροφίμων, διακοσμητικών στοιχείων ως και καλλιτεχνικών αντικειμένων, όπως π.χ. οι Ταναγραίοι. Σε καθαρά δομικές εργασίες τα

κεραμικά ελάχιστα χρησιμοποιήθηκαν (κατασκευάζονταν κυρίως κέραμοι), λόγω της ύπαρξης άφθονων και άριστης ποιότητας φυσικών λίθων (ασβεστόλιθοι, μάρμαρα). Το σοβαρότερο τεχνικό έργο στη χώρα μας, το οποίο κατασκευάστηκε με οπτόπλινθους, ήταν το Αδριάνειο υδραγωγείο των Αθηνών. [1]

Τα αργιλικά τούβλα, ανά τους αιώνες, παράγονταν επιτόπου για τις ανάγκες ενός οικοδομήματος και δεν μεταφέρονταν σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι, τα χαρακτηριστικά τους διέφεραν ευρέως, ανάλογα με το διαθέσιμο υλικό και με τον τρόπο που τα έφτιαχνε ο κατασκευαστής. Συχνά, τα τούβλα γίνονταν γύρω από τη θέση του κτιρίου, έτσι ώστε να μην απαιτηθεί και η μικρότερη μεταφορά, με την προϋπόθεση ότι υπήρχαν διαθέσιμες, σημαντικές ποσότητες μαλακής-πλάσιμης αργίλου. Μεγάλο μέρος της ελκυστικότητας των οπτοπλινθοδομών, είτε σε ιστορικά είτε σε σύγχρονα κτίρια, οφείλεται στην επιφανειακή υφή, στο χρώμα και στις ποικιλίες που παρουσιάζονται από τη χρήση διαφόρων τύπων αργίλου και τρόπων κατασκευής. [2]

Το 19^ο αιώνα αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδος κατασκευής τούβλων από άμμο και ασβέστη με την υποβολή τους σε υψηλής πίεσης ατμό (autoclaving), ώστε να συνδεθούν τα υλικά μεταξύ τους, σχηματίζοντας πυριτικό ασβέστιο. Σήμερα, γίνονται τούβλα από τσιμέντο, σκυρόδεμα, ακόμα και από πλαστικά υλικά.

Παραδοσιακά, ο οπτόπλινθος φτιάχνεται σε μέγεθος τέτοιο, ώστε ο τεχνίτης να μπορεί να τον σηκώσει με το ένα χέρι και να τον τοποθετήσει πάνω σε μία στρώση κονιάματος. Οι σύγχρονες μέθοδοι δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής μεγαλύτερων μονάδων, πράγμα που σε αρκετές χώρες εφαρμόζεται, ενώ σε άλλες, όπως στη Βρετανία, δεν συνηθίζεται. Στη Βρετανία επίσης δεν παράγονται τούβλα από πυριτικό ασβέστιο, όπως συμβαίνει σε άλλα μέρη.

Στα σύγχρονα εργοστάσια παραγωγής οπτόπλινθων γίνεται χρήση διαφόρων υλικών όπως αργιλικοί σχιστόλιθοι, μάργες, μαλακές άργιλοι και αργιλικές γαίες. Τέτοια υλικά βρίσκονται είτε σε επιφανειακές στρώσεις (εδάφη), είτε σε βαθύτερα σημεία (λατομεία). Συχνά στην παραγωγική διαδικασία προστίθενται και άλλα στοιχεία όπως για παράδειγμα άμμος, ασβεστόλιθος (κιμωλία), άλευρος πλίνθων, τέφρα, πριονίδι ή χημικές ενώσεις [10]. Στα τούβλα από πυριτικό ασβέστιο απαιτείται ειδικής ποιότητας άμμος, που σε μερικά μέρη βρίσκεται εύκολα, ενώ σε άλλα (π.χ. Βρετανία) είναι πιο σπάνια. Για το λόγο αυτό, μαζί με την άμμο τοποθετείται και χονδρόκοκκο αδρανές. Εκτός από άμμο, αδρανή και ασβέστη, στη διαδικασία παραγωγής προστίθενται και άλλες προσμίξεις, ιδιαίτερα χρωστικά μέσα. Τα τούβλα από σκυρόδεμα γίνονται χρησιμοποιώντας τα συνήθη υλικά που σχετίζονται μ' αυτό, όπως άμμος, λεπτόκοκκο αδρανές και τσιμέντο, στα οποία επιπρόσθετα τοποθετούνται χρωστικά μέσα. [2]

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι οπτόπλινθοι ανήκουν στην κατηγορία των τεχνητών λίθων. Τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα έναντι των φυσικών λίθων (ασβεστόλιθοι, μάρμαρα) είναι: [1]

1. Σταθερότητα στην εκδήλωση των ιδιοτήτων και στη γενική συμπεριφορά τους έναντι εξωτερικών επιδράσεων. Οι τεχνητοί λίθοι, εφόσον κατασκευάζονται σε εργοστάσιο σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές και υφίστανται τους προβλεπόμενους από τους κανονισμούς ελέγχους, αποκτούν σταθερές ιδιότητες. Επίσης η ποιότητα κάθε είδους τεχνητών λίθων είναι ενιαία και ανεξάρτητη από το χρόνο ή τον τόπο κατασκευής.

Στους φυσικούς λίθους αυτό δε συμβαίνει. Σε κάθε είδος φυσικών λίθων ποικίλλει η χημική και ορυκτολογική σύσταση και τα άλλα χαρακτηριστικά τους, με συνέπεια να εκδηλώνουν σε διαφορετικό βαθμό τις διάφορες ιδιότητές τους. Για παράδειγμα υπάρχουν ασβεστόλιθοι της ίδιας περιόδου χημικής και ορυκτολογικής σύστασης, αλλά η αντοχή τους σε θλίψη ή το πορώδες παρουσιάζει μεγάλες διαφορές από λίθο σε λίθο, ακόμα και αν προέρχονται από το ίδιο πέτρωμα.

2. Δυνατότητα κατασκευής τεχνητών λίθων με αυξημένο βαθμό εκδήλωσης ορισμένων ιδιοτήτων για την κάλυψη ειδικών απαιτήσεων ενός έργου. Έτσι, παράγονται τεχνητοί λίθοι με αυξημένη μηχανική αντοχή, με μεγάλη θερμομονωτική ή ηχομονωτική ικανότητα, με μεγάλη αντοχή έναντι της φωτιάς. Στους φυσικούς λίθους κάτι τέτοιο δε μπορεί να συμβεί.

3. Δυνατότητα απόκτησης υλικών οποιασδήποτε μορφής και διαστάσεων. Επειδή, ως γνωστό, τα τεχνητά υλικά προέρχονται από κονιάματα, τα οποία πριν πήξουν βρίσκονται σε ρευστή κατάσταση, είναι δυνατόν με τη χρήση κατάλληλων τύπων (καλουπιών), να λάβουν διάφορα σχήματα και διαστάσεις.

Έτσι τα διάφορα στοιχεία ενός έργου (τοίχοι, δάπεδα, επικαλύψεις κ.λ.π.) κατασκευάζονται με τις ελάχιστες διαστάσεις, που έχουν προκύψει από τον υπολογισμό ή την εμπειρία και κατά συνέπεια να επιτευχθεί οικονομία αλλά και ταχύτητα. Επίσης είναι δυνατόν να προκύψουν υλικά με ποικίλλα σχήματα. Στους φυσικούς λίθους η δυνατότητα αυτή είναι πολύ περιορισμένη και όπου υπάρχει, με τη λάξευσή τους, είναι πολυδάπανη.

4. Τυποποίηση των διαστάσεων και της ποιότητας αυτών. Η ευχέρεια ελέγχου των ιδιοτήτων και της ποιότητας των υλικών καθώς και η δυνατότητα κατασκευής τους με διαστάσεις εκ των προτέρων καθορισμένες, επιτρέπουν την τυποποίησή τους. Είναι δυνατόν δηλαδή κατόπιν κοινής συμφωνίας των κατασκευαστών ή κατόπιν κρατικής παρέμβασης (μέσω των κανονισμών), να παράγονται από όλα τα εργοστάσια ή βιοτεχνίες μιας χώρας ή μιας ομάδας χωρών τεχνητά υλικά με τις ίδιες πάντοτε

διαστάσεις και με την ίδια ποιότητα ανά είδος. Κατ' αυτόν τον τρόπο όποιος χρησιμοποιεί ένα είδος τεχνητού λίθου γνωρίζει ότι από όπου και όποτε το παραγγείλει, οι διαστάσεις, η μορφή και η ποιότητά του θα είναι πάντοτε ίδια και σύμφωνη με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Εξαιτίας των παραπάνω πλεονεκτημάτων υπερτερούν οι κατασκευές από τεχνητούς λίθους έναντι αυτών από φυσικούς λίθους στα εξής: [1]

1. Είναι ελαφρότερες. Έτσι τα φορτία που μεταβιβάζονται στα φέροντα στοιχεία και στο έδαφος είναι μικρότερα και επομένως είναι δυνατή η κατασκευή μεγαλύτερων έργων (περισσότεροι όροφοι στα κτίρια, μεγαλύτερα ανοίγματα δοκών κ.α.)
2. Προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια έναντι κατάρρευσης, φωτιάς και άλλων κινδύνων. Οι ιδιότητες των τεχνητών υλικών είναι εκ των προτέρων γνωστές και σταθερές και είναι εύκολος ο έλεγχός τους. Για το λόγο αυτό η επιρροή του παράγοντα “ελαττωματικό υλικό” μπορεί να περιορισθεί σημαντικά αρκεί να καταβληθεί η απαραίτητη προσοχή κατά την κατασκευή.
3. Παρέχουν καλύτερη προστασία έναντι των ατμοσφαιρικών μεταβολών, του ήχου και της υγρασίας, διότι χρησιμοποιούνται υλικά με αυξημένες τις αντίστοιχες ιδιότητες.
4. Είναι φθηνότερες, επειδή τα βιομηχανικώς παραγόμενα υλικά έχουν κατά κανόνα μικρότερο κόστος από ότι τα φυσικά.
5. Κατασκευάζονται σε πολύ μικρότερο χρόνο.

Το κυριότερο μειονέκτημα των κατασκευών από τεχνητούς λίθους σε σχέση μ' αυτές που γίνονται από φυσικούς είναι ότι αντέχουν λιγότερο στο χρόνο. Πράγματι φαίνεται ότι τα κτίσματα από φυσικούς λίθους διατηρούνται περισσότερο χρόνο, από ότι εκείνα που κατασκευάστηκαν με τα πρώτα τεχνητά υλικά, τους οπτόπλινθους. [1]

Συνοψίζοντας αναφέρουμε, ότι τα καλά τούβλα είναι ανθεκτικά σε θλιπτικές καταπονήσεις, στις καιρικές συνθήκες και στη φωτιά, αντέχουν σε χημικές επιδράσεις, είναι διαπερατά από τον αέρα, κακοί αγωγοί θερμότητας, έχουν καλή θερμοχωρητικότητα και δένουν άριστα με τα κονιάματα. Είναι εύχρηστα και λόγω του ωραίου χρωματισμού τους και των διαστάσεών τους είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για τοιχοποιίες και επικαλύψεις στεγών. Τα τούβλα δεν έχουν γενικά μειονεκτήματα και ικανοποιούν τόσο από τις απόψεις κόστους και υγιεινής όσο και από την άποψη στατικής αντοχής, όλες τις απαιτήσεις για την κατασκευή κατοικιών. [10]

2.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΩΝ

Υπάρχουν πολλοί τρόποι ταξινόμησης των οπτόπλινθων ανάλογα με το πιο χαρακτηριστικό τους εξετάζουμε κάθε φορά. Συνηθέστερα διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με την ποιότητα που επηρεάζει τη χρήση τους, την ακολουθούμενη κατασκευαστική μέθοδο που επηρεάζει την εμφάνισή τους, τη σύνθεσή τους και τη δομή τους (συμπαγείς, διάτρητοι). Στη συνέχεια παραθέτονται κατηγορίες που βασίζονται στα παραπάνω. [2]

2.2.1. ΔΟΜΙΚΑ (ΚΟΙΝΑ) ΤΟΥΒΛΑ

Δομικά ή κοινά ονομάζονται τα τούβλα που χρησιμοποιούνται σε μη ορατά τμήματα των κατασκευών, γι' αυτό δεν υπάρχουν απαιτήσεις στην εμφάνισή τους. Παράγονται από κοινές αργίλους ή αργιλικούς σχιστόλιθους και ψήνονται με το συνήθη τρόπο σε κάμινους. Δεν έχουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως ξεχωριστά χρώματα ή επιφανειακή υφή. Τα κοινά τούβλα είναι κατάλληλα για γενική χρήση σε οικοδομήσεις, αφού διαθέτουν επαρκή μηχανική αντοχή και ανθεκτικότητα. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη δόμηση συμπαγών τοιχοποιιών ή τοιχοποιιών δύο στρώσεων με διάκενο αέρα.

2.2.2. ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΑ ΤΟΥΒΛΑ

Διακοσμητικά λέγονται τα τούβλα που έχουν κατάλληλη εμφάνιση για χρήση σε θέσεις εκτεθειμένες στη θέα (εξωτερική πλευρά τοίχων), ώστε να δίνουν μια ελκυστική και ευχάριστη εντύπωση. Είναι καλύτερης ποιότητας από τα τούβλα δόμησης και διαθέτουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα. Διατίθενται σε μια πολλή μεγάλη ποικιλία τύπων και η επιλογή τους μπορεί να γίνει από καταλόγους, ειδικές εκθέσεις ή από παραδείγματα χρήσης τους σε υπάρχουσες κατασκευές. Μερικά είδη διακοσμητικών τούβλων παραθέτονται παρακάτω.

- i) Τούβλα με υφή άμμου: Σ' αυτόν τον τύπο η άμμος συσσωματώνεται στις επιφάνειες των τούβλων κατά την παραγωγή τους, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται τόσο το χρώμα τους όσο και η επιφανειακή τους υφή.
- ii) Τούβλα παλαιού τύπου: Στα τούβλα αυτά δίνεται μηχανικά μια τέτοια επιφανειακή υφή, ώστε να φαίνονται σαν τούβλα παλαιότερων εποχών. Και εδώ υπάρχει μεγάλη ποικιλία τύπων.

iii) Πολύχρωμα τούβλα: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα τούβλα που έχουν διάφορα χρώματα. Οι χρωματισμοί μπορούν να διαφέρουν από τούβλο σε τούβλο ή ακόμα και μεταξύ των επιφανειών ενός μεμονωμένου τούβλου. Συχνά τα τούβλα αυτά αναφέρονται απευθείας με το χρώμα τους που προστίθεται σε κάποια άλλη περιγραφή τους, π.χ. κόκκινα διακοσμητικά, κίτρινα διακοσμητικά κ.λ.π. Τα πιο συνηθισμένα χρώματα στα οποία διατίθενται είναι ποικίλες αποχρώσεις του καφέ, του κόκκινου, του γκρι, του κίτρινου και του άσπρου.

iv) Λεία τούβλα: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα τούβλα που δεν έχουν επιφανειακή υφή.

2.2.3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΤΟΥΒΛΑ (ENGINEERING BRICKS)

Ο όρος τεχνικά (engineering) χρησιμοποιείται σχεδόν μόνο στη Μεγάλη Βρετανία. Τα τούβλα αυτά μπορεί να είναι διακοσμητικά, αλλά δεν ορίζονται με γνώμονα την ποιότητα της όψης τους. Εκείνο που απαιτείται, είναι να ικανοποιούν καθορισμένα άνω όρια απορρόφησης ύδατος και κάτω όρια θλιπτικής αντοχής όπως προβλέπεται στους Βρετανικούς κανονισμούς. Χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται υψηλή αντοχή και επικρατεί υγρό περιβάλλον. [2]

2.2.4. ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΑΝΑ ΤΟΥΒΛΑ (DAMP-PROOF)

Τα τούβλα αυτά, όπως και τα τεχνικά, έχουν καθορισμένα άνω όρια απορρόφησης νερού, αλλά χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις στην αντοχή τους. Σύμφωνα με τους Βρετανικούς κανονισμούς δύο τύποι πληρούν τις προδιαγραφές της κατηγορίας και είναι ιδιαίτερος χρήσιμα στη βάση αυτοφερόμενων τοιχοποιιών όπου η συνέχεια της οπτοπλινθοδομής επιτυγχάνεται χωρίς τη μεσολάβηση στρώσης υδατοστεγανής μεμβράνης. [2]

2.2.5. ΣΤΙΛΒΩΜΕΝΑ (ΓΥΑΛΙΣΤΕΡΑ) ΤΟΥΒΛΑ

Αυτός ο τύπος τούβλου έχει μία επιφάνειά του βαμμένη με βερνίκι λευκού ή άλλου χρώματος. Το κεραμικό βερνίκι περιέχει μεταλλικά συστατικά, τα οποία τήκονται μεταξύ τους κατά την όπτηση, προσδίδοντας μία υαλώδη (στιλπνή) επίστρωση. Τα τούβλα αυτά είναι ιδιαίτερος κατάλληλα για τοίχους ή χωρίσματα σε νοσοκομεία,

σε επιστημονικά εργαστήρια και γενικότερα σε κτίρια όπου απαιτείται καθαριότητα και ευκολία στο καθάρισμα. [14]

2.2.6. ΤΟΥΒΛΑ KLINKER

Τα τούβλα klinker είναι τούβλα από κατάλληλο πηλο, στον οποίο συχνά προστίθενται ορυκτά ή μεταλλικά συλλιπάσματα. Η όπτησή τους συνεχίζεται μέχρι να ολοκληρωθεί η επίτηξή τους (sintern). Λόγω του τρόπου κατασκευής τους είναι συμπαγή, ελάχιστα ή και καθόλου απορροφητικά, δίνουν οξύ ήχο, και είναι βαριά. Διακρίνονται για τη μεγάλη τους αντοχή σε θλίψη, τη σκληρότητά και την ανθεκτικότητά τους στον παγετό και στα οξέα. Υδατοστεγανά είναι μόνο αν η επιφάνειά τους δεν περιέχει ρωγμές και πόρους και αν η επίτηξη έχει συντελεστεί τέλεια. Αυτό φαίνεται στην επιφάνεια θραύσεως, η οποία θα πρέπει να είναι ομοιόμορφη. Το χρώμα τους είναι κόκκινο έως μπλέ-μαύρο, ενώ αν ο πηλός έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άσβεστο είναι κίτρινα.

Το συμπαγές klinker χρησιμοποιείται συχνά μετά τον Α΄ Παγκόσμιο πόλεμο για την εξωτερική στρώση τοιχοποιιών. Λόγω όμως μη σωστής εκτέλεσης της κατασκευής, στις τοιχοποιίες αυτές εμφανίστηκαν συχνά ελαττώματα. Επειδή η τοιχοδομή με klinker είναι εντελώς διαφορετική από την τοιχοδομή με κοινά τούβλα, αντίστοιχα διαφορετικός πρέπει να είναι και ο τρόπος δόμησης.

Οι περισσότερες αποτυχίες σε κατασκευές από klinker οφείλονται όχι στο ίδιο το klinker αλλά στο κονίαμα των αρμών, αφού καθοριστικός σε μια τέτοια τοιχοποιία είναι πάντοτε ο αρμός. Εάν σε μια τοιχοποιία από τούβλα οι αρμοί δεν είναι στεγανοί, τότε το εισερχόμενο νερό εξαπλώνεται στη μπροστινή επιφάνεια ολόκληρης της τοιχοποιίας. Όμως στον ενδιάμεσο χρόνο που δεν βρέχει, το νερό με τη βοήθεια του ανέμου εξατμίζεται απ' όλους τους πόρους της.

Δεν συμβαίνει το ίδιο και με τα klinker. Το νερό που εισέρχεται από τους μη στεγανούς αρμούς δεν μπορεί να εξαπλωθεί σε όλη την εμπρός επιφάνεια του τοίχου, κι αυτό γιατί τα klinker δεν απορροφούν σχεδόν καθόλου νερό. Το αποτέλεσμα είναι ότι το νερό διεισδύει μέχρι το πίσω τμήμα της τοιχοποιίας, διαποτίζοντας έτσι τις εσωτερικές πλευρές των εξωτερικών τοίχων. Είναι φανερό δηλαδή ότι σ'αυτές τις τοιχοδομές απαιτείται στεγανότητα τόσο από τα klinker όσο και από τους αρμούς. [10]

Τα klinker διακρίνονται στα παρακάτω είδη: συμπαγή klinker, διάτρητα με κατακόρυφες οπές, διακοσμητικά klinker. [10]

- i. Συμπαγή: Τα συμπαγή klinker πρέπει να έχουν υποστεί καλή επίτηξη, να είναι σκληρά, και να μην περιέχουν άλατα που προκαλούν εμφανείς εξανθήσεις σε ανεπίχριστες τοιχοποιίες. Κατασκευάζονται χωρίς οπές ή με οπές συνολικής επιφάνειας μικρότερης του 15% της επιφάνειας έδρασης. Η φαινόμενη πυκνότητα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1.9 kg/dm^3 αναγόμενη στο συμπαγές τμήμα και η θλιπτική τους αντοχή όχι μικρότερη από 350 kp/cm^2
- ii. Διάτρητα κάθετων οπών: Τα klinker αυτά έχουν την ίδια διάτρηση όπως και τα συνήθη διάτρητα τούβλα με κάθετες οπές. Για τη φαινόμενη πυκνότητά τους καθώς και για την αντοχή τους σε θλίψη ισχύουν τα ίδια με τα συμπαγή.
- iii. Διακοσμητικά: Τα διακοσμητικά klinker χρησιμεύουν στην επένδυση προσόψεων και διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία χρωμάτων και διαστάσεων. Μερικά τυπικά μεγέθη τους είναι τα παρακάτω:
 - 250 / 105 / 52 mm
 - 220 / 30 / 52 mm
 - 105 / 30 / 52 mm

2.2.7. ΤΟΥΒΛΑ ΑΠΟ ΑΜΜΟ ΚΑΙ ΑΣΒΕΣΤΟ (SAND-LIME)

Τα τούβλα αυτά κατασκευάζονται από ένα μίγμα σβησμένης ασβέστου και λεπτόκοκκης πυριτικής άμμου που μορφώνεται με μηχανική πίεση και σκληραίνεται κάτω από πίεση ατμού. Χρησιμοποιούνται ευρέως στη Γερμανία.

2.2.8. ΕΛΑΦΡΑ ΤΟΥΒΛΑ (ΠΟΡΩΔΗ)

Τα ελαφρά τούβλα και ελαφρά διάτρητα τούβλα με κατακόρυφες οπές είναι τούβλα με φαινόμενη πυκνότητα μεταξύ 0.8 και 0.65 kg/dm^3 , ενώ η μέση αντοχή τους σε θλίψη πρέπει να είναι 25 kp/cm^2 (κατά το Γερμανικό DIN 105). Ονομάζονται και πορώδη αν στην πρώτη ύλη προστεθούν καιόμενες ουσίες όπως πριονίδι, φελιζόλ κ.α. για τη δημιουργία πόρων. Παρέχουν καλή θερμική μόνωση και χρησιμοποιούνται σε τοιχοποιίες φέρουσες ή μη. Μερικές ενδεικτικές διαστάσεις τους είναι οι ακόλουθες: 240/115/113 - 240/71/113 - 240/240/240 mm. [10]

2.2.9. ΤΟΥΒΛΑ ΕΙΔΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΓΙΑ ΥΠΕΡΘΥΡΑ (ΠΡΕΚΙΑ)

Τούβλα ειδικής μορφής χρησιμοποιούνται σε ασθενώς οπλισμένα υπέρθυρα. Βασικό πλεονέκτημά τους είναι η καλύτερη θερμομόνωση που παρέχουν σε σύγκριση με τα υπέρθυρα από σκυρόδεμα. Τυπικές διαστάσεις αυτών είναι οι εξής: 240/115/160 - 113/115/240 - 240/175/113 mm. Από άλλα ειδικής μορφής τούβλα γίνονται προκατασκευασμένα προεντεταμένα υπέρθυρα. Μερικές διαστάσεις αυτών είναι οι ακόλουθες: 240/55/55 - 240/115/55 mm.[10]

2.2.10. ΠΥΡΙΜΑΧΑ ΤΟΥΒΛΑ (ΠΥΡΟΤΟΥΒΛΑ)

Τα πυρίμαχα τούβλα (κοινώς πυρότουβλα) είναι τεχνητοί λίθοι της ίδιας περίπου σύστασης με τους οπτόπλινθους, αλλά με μεγαλύτερη αντοχή στις υψηλές (άνω των 1500°C) και παρατεταμένες θερμοκρασίες. Στις θερμοκρασίες αυτές δεν θραύονται, δεν αποσυντίθενται και δεν υφίστανται ουσιώδη μεταβολή του όγκου τους λόγω διαστολής. Επίσης δεν καταστρέφονται, όταν η θερμοκρασία ελαττωθεί απότομα.

Τα κύρια συστατικά των πυρίμαχων τούβλων, στα οποία οφείλεται η αντοχή τους σε πύρωση, είναι τα οξειδία του αργιλίου (Al_2O_3) και του πυριτίου (SiO_2). Εάν η πρώτη ύλη (ο πηλός) περιέχει οξειδία του σιδήρου, του ασβεστίου, του νατρίου και του καλίου σε μεγαλύτερη αναλογία από 8% έως 10%, τότε είναι ακατάλληλη για την κατασκευή πυρίμαχων υλικών. Επίσης η σχέση μεταξύ των οξειδίων του αργιλίου και του πυριτίου καθορίζει τη χημική συμπεριφορά των πλίνθων αυτών.

Τα πυρίμαχα τούβλα χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις βιομηχανίες για την εσωτερική επένδυση κλιβάνων, καμίνων, εστιών και καπνοδόχων και γενικότερα όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες. Επειδή στις μεταλλουργικές καμίνους πραγματοποιούνται και χημικές αντιδράσεις, κατασκευάζονται διάφορα είδη πυρότουβλων, όπου καθένα αντέχει σε ορισμένες από τις χημικές αυτές δράσεις. Ανάλογα με τη χημική συμπεριφορά τους τα πυρίμαχα τούβλα διακρίνονται σε:

- Ουδέτερα
- Όξινα
- Βασικά

Τα κυριότερα είδη πυρίμαχων τούβλων είναι:

α) Αργιλικά πυρίμαχα.

Ανήκουν στην κατηγορία των βασικών πυρίμαχων και κατασκευάζονται από όσο το δυνατόν καθαρότερη άργιλο (καολίνη), η οποία συνίσταται από 46,2% οξείδιο του

αργιλίου και 53,8% οξειδίο του πυριτίου. Στην πράξη είναι αδύνατον να επιτευχθούν αυτές οι αναλογίες, επειδή στην άργιλο πάντοτε υπάρχουν και άλλες προσμίξεις.

Η πρώτη ύλη πλαστικοποιείται με νερό και μορφώνεται σε ράβδους, που υποβάλλονται σε μια πρώτη όπτηση. Μετά την όπτηση οι ράβδοι λειοτριβονται σε άλευρο, το οποίο αναμειγνυόμενο πάλι με άργιλο, για να αποκτήσει πλαστικότητα, μορφοποιείται με τα χέρια ή καλύτερα με τη χρήση μηχανών στο επιθυμητό σχήμα. Οι πλίνθοι αυτοί μετά την ξήρανσή τους υφίστανται πάλι όπτηση σε θερμοκρασία 1300°C περίπου επί 48 ώρες. Η ψύξη τους πρέπει να είναι βραδύτατη, ώστε να μην υποστούν βλάβες, οι οποίες θα επηρεάσουν την ποιότητά τους. Τα πυρίμαχα αυτά τούβλα τήκονται σε θερμοκρασία άνω των 1700°C

β) Πυριτικά πυρίμαχα.

Ανήκουν στην κατηγορία των όξινων πυρίμαχων. Η πρώτη ύλη τους πρέπει να αποτελείται κατ' αποκλειστικότητα σχεδόν από οξειδίο του πυριτίου που βρίσκεται σε αφθονία στη φύση. Ως πρώτη ύλη αυτής της κατηγορίας λαμβάνεται ο καθαρός χαλαζίας (96% έως 98% οξειδίο του πυριτίου), ο οποίος αλευροποιείται και αναμειγνύεται στη συνέχεια με γάλα ασβέστου σε αναλογία 2% για να αποκτήσει πλαστικότητα. Μετά μορφοποιείται στα κατάλληλα σχήματα και διαστάσεις και υφίσταται όπτηση μέσα σε καμίνους σε θερμοκρασίες 1360°C έως 1500°C.

Στη Γερμανία (με βάση τους γερμανικούς κανονισμούς) υπάρχουν οι εξής κατηγορίες πυρίμαχων τούβλων: [10]

α) Τούβλα Chamotte.

Παρασκευάζονται από πυρίμαχο πηλό με προσθήκη αλεύρου Chamotte δηλαδή μείγμα από αλεσμένη οπτηθείσα πυρίμαχο άργιλο και από άλευρο άνοπτης αργίλου μικρής περιεκτικότητας σε τηκόμενα συστατικά. Τα μαλακά και πορώδη τούβλα είναι ανθεκτικότερα στη φωτιά από ότι τα σκληρά και συμπαγή, αντέχουν όμως λιγότερο στα οξέα.

β) Τούβλα Dina (χαλαζιακά).

Αποτελούνται από χαλαζιακή άμμο ή από θραυσμένο χαλαζιακό ψαμμόλιθο και χαλαζιακό άλευρο, καθώς και μικρή ποσότητα πηλού. Έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα στη φωτιά. Χαλαζιακά τούβλα -Chamotte- περιέχουν επιπλέον και άλευρο Chamotte.

γ) Μαγνησιακά τούβλα.

Αποτελούνται από μαγνησίτη ($MgCO_3$), ψημένο σε θερμοκρασία 1500°C έως ότου επέλθει η επίτηξή του. Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στη φωτιά και είναι κατάλληλα για επενδύσεις καμίνων τήξεως μετάλλων.

Για τη δόμηση των πυρότουβλων χρησιμοποιείται ειδικό κονίαμα παρασκευαζόμενο από την ίδια ύλη, που κατασκευάζονται και αυτά. Στο εμπόριο φέρεται με το όνομα “χώμα της φωτιάς” ή “πυρόχωμα”. Το πυρόχωμα αναμειγνύεται με νερό ή καλύτερα με υδρύαλο και αποκτά την απαιτούμενη πλαστικότητα. Οι αρμοί της πυρίμαχης πλινθοδομής πρέπει να είναι όσο το δυνατόν λεπτότεροι, διότι το πυρόχωμα προσβάλλεται ταχύτερα από τη φωτιά από ότι τα πυρίμαχα τούβλα. [1]

2.2.11. ΕΙΔΗ ΤΟΥΒΛΩΝ ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ [2]

2.2.11.1. Τούβλα που παράγονται με εξώθηση της πρώτης ύλης και κοπή της με σύρμα

Περίπου το ένα τρίτο από όλα τα τούβλα που κατασκευάζονται στη Μεγάλη Βρετανία παρασκευάζονται με την εξώθηση μιας στήλης σκληρής αργίλου, η οποία στη συνέχεια κόβεται στις προβλεπόμενες διαστάσεις με συρμάτινο κόπτη. Οι επιφάνειες των τούβλων μπορούν να αφηθούν λείες, όπως εξωθούνται από τη μήτρα ή να τους δοθεί αμέσως επιφανειακή υφή. Τα τούβλα αυτά είναι συνήθως διάτρητα ώστε να διευκολύνονται οι διαδικασίες της εξώθησης, ξήρανσης και όπτησης.

2.2.11.2. Τούβλα που παράγονται με πίεση σε πρέσες

Τα τούβλα αυτά και ιδιαίτερα ο τύπος που γίνεται με την ημίξηρη μέθοδο αποτελούν τα πιο κοινά είδη. Έχουν λείες επιφάνειες, οξείες ακμές και τέλεια τετραγωνισμένες γωνίες. Πολλά διακοσμητικά τούβλα γίνονται μ’ αυτή τη μέθοδο, όπου όμως τους δίνεται και επιφανειακή υφή.

2.2.11.3. Τούβλα μαλακού πηλού (soft-mud)

Τα τούβλα αυτά παράγονται με μηχανική μορφοποίηση από μαλακή άργιλο που συχνά είναι υψηλής περιεκτικότητας σε νερό. Για πολλά χρόνια σχετιζόνταν με αυτά που κατασκευάζονταν στη νότια-ανατολική Αγγλία. Με μια ειδική διαφοροποίηση της μεθόδου αυτής, παρασκευάζονται απομιμήσεις χειροποίητων τούβλων χρησιμοποιώντας μηχανές, που πλάθουν τον πηλό όπως τα χέρια του ανθρώπου.

2.2.11.4. Τούβλα stock

Ο όρος αυτός, που δεν χρησιμοποιείται τώρα συχνά, αναφέρεται σε χειροποίητα τούβλα από τη νότια Αγγλία, που γίνονταν πάνω σε ένα “stock” -ένα κομμάτι ξύλου που πάνω του μορφώνεται ο πηλός. Σήμερα χρησιμοποιείται για να περιγράψει τούβλα που γίνονται με τη μέθοδο του μαλακού πηλού (soft-mud).

2.2.11.5. Χειροποίητα τούβλα

Τα τούβλα αυτά μορφώνονται με τη δια χειρός τοποθέτηση ενός θρόμβου μαλακής αργίλου σε καλούπια. Μερικές φορές η προεργασία της πρώτης ύλης γίνεται με μηχανικά μέσα.

Τα χειροποίητα, τα “stock” και τα τούβλα μαλακού πηλού είναι περιζήτητα για την ελκυστική ανομοιογένεια του χρώματος, της υφής και του σχήματός τους που οφείλεται στο υλικό και στις μεθόδους μόρφωσης και όπτησης που χρησιμοποιούνται. Τείνουν να έχουν μικρότερες θλιπτικές αντοχές και υψηλότερες απορροφήσεις νερού από ότι άλλες κατηγορίες, αλλά αντέχουν στον παγετό.

2.2.11.6. Ειδικά τούβλα (special bricks)

Τα συνήθη τούβλα έχουν σχήματα ορθογωνίων πρισμάτων. Ωστόσο υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από τούβλα διαφορετικών σχημάτων με οξείες ή στρογγυλεμένες ακμές. Σύμφωνα με το Βρετανικό κανονισμό, τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα από αυτά είναι γνωστά με το όνομα κανονικά-ειδικά (standard specials), ώστε να διακρίνονται από άλλους τύπους που μπορεί να κατασκευάζονται για ιδιαίτερες εφαρμογές.

2.2.12. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΔΟΜΗ

Ανάλογα με τη δομή τους τα τούβλα διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

[1]

- συμπαγή
- διάτρητα

2.2.12.1. Συμπαγή

Τα συμπαγή τούβλα έχουν συνήθως διαστάσεις 21/10/4,5 cm και φέρουν στη μία εκ των μεγαλύτερων πλευρών τους δύο επιμήκεις αύλακες και στην άλλη μία αύλακα,

για καλύτερη πρόσφηση του κονιάματος. Παλαιότερα είχαν στη μία μόνο των μεγαλύτερων επιφανειών σκαφοειδή εκσκαφή βάθους 1,5 cm περίπου.

Παρουσιάζουν σημαντική μηχανική αντοχή και χρησιμοποιούνται, εφόσον κατά τη δόμηση γίνεται χρήση ισχυρού κονιάματος (τσιμεντοκονιάμα), για την κατασκευή φερόντων στοιχείων. Είναι δυνατόν δηλαδή να αντικαταστήσουν τους φυσικούς λίθους σε όλες τους σχεδόν τις χρήσεις.

Τα τελευταία χρόνια η χρησιμοποίησή των συμπαγών τούβλων έχει περιοριστεί πολύ, λόγω της αλματώδης εξάπλωσης των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

2.2.12.2. Διάτρητα

Τα διάτρητα τούβλα, με συνήθεις διαστάσεις 5,5/9/19 cm περίπου, είναι ελαφρότερα των συμπαγών, ακριβώς λόγω της ύπαρξης των οπών. Οι οπές των διάτρητων οπτόπλινθων διατάσσονται συνήθως κατα μήκος του μεγαλύτερου αξονά τους και είναι έξι (εξάοπα τούβλα) ή και περισσότερες. Κατασκευάζονται όμως και διπλοί οπτόπλινθοι με περισσότερες οπές ή οπτόπλινθοι με τις οπές διατεταγμένες κάθετα προς τις δύο μεγαλύτερες πλευρές ή διαφορετικά.

Η διατομή των οπών είναι τετραγωνική ή κυκλική. Πλεονεκτούν οι οπτόπλινθοι με κυκλικές οπές, διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στην πίεση που εφαρμόζεται κάθετα στον άξονα των οπών.

Εμφανίζουν μικρότερη μηχανική αντοχή και έτσι δεν χρησιμοποιούνται, πλην ειδικών τύπων, για την κατασκευή φερόντων στοιχείων. Εφαρμόζονται όμως ευρύτατα σε λεπτούς διαχωριστικούς τοίχους, με την προϋπόθεση ότι τα φέροντα στοιχεία έχουν κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα.

2.3. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΩΝ

Υπάρχουν τέσσερα κύρια στάδια για την παρασκευή των οπτόπλινθων.

- α) Απόκτηση και προετοιμασία της πρώτης ύλης
- β) Μόρφωση του υλικού
- γ) Ξήρανση
- δ) Όπτηση

Σε ελάχιστες περιπτώσεις, κυρίως για παραγωγή διακοσμητικών τούβλων, μεταξύ των φάσεων ξήρανσης και όπτησης παρεμβάλλεται η διαδικασία της εφυάλωσης, που συνίσταται στην προσθήκη χημικών ουσιών πριν από την όπτηση, για την επίτευξη στιλπνών και ειδικά χρωματισμένων επιφανειών. [11]

Στη συνέχεια γίνεται αναλυτική περιγραφή του τρόπου παρασκευής των οπτόπλινθων από άργιλο και σχιστόλιθο με αναφορά στο καθένα από τα τέσσερα κύρια στάδια, ενώ στις παραγράφους 2.3.5. και 2.3.6. παρουσιάζεται συνοπτικά ο τρόπος παραγωγής των οπτόπλινθων από πυριτικό ασβέστιο και σκυρόδεμα αντίστοιχα.

2.3.1. ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΑΥΤΗΣ

Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται διάφοροι πηλοί ή άργιλοι. Το δραστικό συστατικό, δηλαδή η συγκολλητική ύλη του πηλού, είναι η πηλοκονία, που αποτελείται κυρίως από ένυδρο πυριτικό αργίλιο και από άλλες ουσίες, όπως π.χ. οξείδια του σιδήρου, του μαγνησίου, του ασβεστίου. Κάθε μία από τις ουσίες αυτές επιδρά με διαφορετικό τρόπο στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Το δεύτερο συστατικό του πηλού είναι η άμμος κυρίως χαλαζιακής προέλευσης.

Οι αναλογίες πηλού και άμμου καθορίζουν την πλαστικότητα και το εργάσιμο του υλικού. Με βάση τις αναλογίες αυτές οι πηλοί διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Παχείς, με μεγάλη περιεκτικότητα σε πηλοκονία
- Ισχυροί, με μικρή περιεκτικότητα σε πηλοκονία
- Κανονικοί, με την απαιτούμενη πηλοκονία για την πλήρωση μόνο των κενών της άμμου.

Τέλος το τρίτο συστατικό είναι το νερό, το οποίο καθιστά εύπλαστο το πηλοκονίαμα. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού εξαρτάται από την κατηγορία, στην οποία ανήκει ο πηλός, καθώς και από την μέθοδο που θα ακολουθηθεί για την κατασκευή του προϊόντος.

Η πρώτη αυτή ύλη (πηλός ή άργιλος) λαμβάνεται από ορισμένες επιφανειακές θέσεις που έχουν κατάλληλα επιλεγεί. Ωστόσο, επειδή στις διάφορες θέσεις η χημική σύσταση της πηλοκονίας και οι αναλογίες της με την άμμο δεν είναι σταθερές και κατάλληλες για την κατασκευή των οπτόπλινθων, είναι απαραίτητο να γίνει κάποια προεργασία για την απόκτηση πηλού με τις σωστές αναλογίες.

Ο προσδιορισμός της θέσης από όπου θα εξαχθεί η πρώτη ύλη γίνεται αφού προηγηθεί χημική ανάλυση του πηλού έτσι ώστε, αν εντοπιστούν επιβλαβή συστατικά όπως οξείδιο του ασβεστίου, γύψος, άνθρακας, χλωριούχα άλατα κ.λ.π. που υπερβαίνουν τα προβλεπόμενα μέγιστα ποσοστά να εγκαταλείπεται η συγκεκριμένη θέση και να αναζητείται νέα.

Η απόκτηση πηλού με την απαιτούμενη σύσταση γίνεται με τρεις τρόπους:

- Με αφαίρεση άμμου ή προσθήκη πηλοκονίας, αν ο πηλός είναι ισχνός (εμπλουτισμός του πηλού).
- Με προσθήκη άμμου ή αφαίρεση πηλοκονίας, όταν ο πηλός είναι παχύς (απίσχυση του πηλού)
- Με ανάμειξη δύο ή περισσότερων διαφορετικής αλλά γνωστής σύστασης πηλών, σε καθορισμένες αναλογίες.

Μετά την απόκτηση υλικού κατάλληλης σύστασης γίνεται η μάλαξη αυτού, ώστε να αποκτήσει ομοιογένεια και για να κατανεμηθεί το νερό επεξεργασίας σε όλη τη μάζα του. Η μάλαξη γίνεται σε ειδικά μηχανήματα, που αποτελούνται από περιστρεφόμενους κύλινδρους κατ' αντίθετη φορά ή ατέρμονες κοχλίες, που μαλάσσουν και συγχρόνως προωθούν το υλικό στους τύπους (καλούπια) όπου γίνεται η μόρφωση. [1]

2.3.2. ΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Η μόρφωση του υλικού, η απόκτηση δηλαδή του επιθυμητού σχήματος γίνεται με εφαρμογή πίεσης στην πρώτη ύλη. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με τα χέρια είτε με κατάλληλες μηχανές και με τη βοήθεια καλουπιών ή άλλων συσκευών.

Η ένταση της πίεσης εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε νερό. Διακρίνονται δύο μέθοδοι μόρφωσης, η υγρή και η ξηρή. Κατά την υγρή μέθοδο ο πηλός περιέχει αρκετή ποσότητα νερού, είναι πολύ εύπλαστος και απαιτείται μικρή πίεση για την απόκτηση της επιθυμητής μορφής. Αντίθετα στην ξηρή μέθοδο το περιεχόμενο νερό είναι ελάχιστο, ο πηλός σχεδόν στεγνός και απαιτείται ισχυρή πίεση για να διατηρηθεί η μορφή πριν την όπτηση.

Οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεταξύ τους και το ποια θα εφαρμοσθεί εξαρτάται από την ποιότητα του πηλού και το είδος του προϊόντος. Οι κύριες διαφορές τους είναι:

1. Η εφαρμογή μικρότερης πίεσης κατά τη μορφοποίηση με την υγρή μέθοδο, οπότε και κατανάλωση λιγότερης ενέργειας (μηχανικής ή ανθρώπινης) και χρησιμοποίηση ελαφρότερου μηχανικού εξοπλισμού.
2. Όταν εφαρμόζεται η ξηρή μέθοδος, τα τούβλα μένουν λιγότερο χρόνο στα ξηραντήρια διότι περιέχουν μικρή ποσότητα νερού. Έτσι συντομεύεται ο χρόνος παραγωγής τους.
3. Τα παραγόμενα με την υγρή μέθοδο τούβλα είναι περισσότερο πορώδη και ελαφρά, γιατί το εξατμιζόμενο κατά την ξήρανση νερό αφήνει κενά στη μάζα του υλικού.
4. Οι παραμορφώσεις και ρηγματώσεις κατά την όπτηση είναι πολύ μεγαλύτερες στην περίπτωση της υγρής μεθόδου, αν δεν ληφθούν κατάλληλα μέτρα.

Όπως αναφέρθηκε η μόρφωση των οπτόπλινθων μπορεί να γίνει είτε με τα χέρια (χειροποίητοι) είτε με μηχανές (μηχανοποίητοι). Τα συμπαγή τούβλα μπορούν να ανήκουν και στις δύο κατηγορίες, ενώ τα διάτρητα μόνο στη δεύτερη.

Για την κατασκευή χειροποίητων οπτόπλινθων χρησιμοποιείται ισχνός πηλός, χωρίς ιδιαίτερη προηγούμενη επεξεργασία. Αναμειγνύεται με νερό για την απόκτηση πλαστικότητας (υγρή μέθοδος) και χύνεται μέσα σε σιδηρά ή ξύλινα καλούπια κατάλληλου σχήματος. Τα καλούπια πριν την πλήρωσή τους βαπτίζονται στο νερό ή επιπάσσονται εσωτερικώς με άμμο, ώστε να αποφευχθεί η πρόσφυση του νωπού πηλού στα τοιχώματα. Παρόλο που η μέθοδος είναι πιο ακριβή από ότι η μηχανοποίητη, παράγει οπτόπλινθους με ιδιαίτερες ωραίες επιφάνειες που δύσκολα γίνονται μηχανικά. [1]

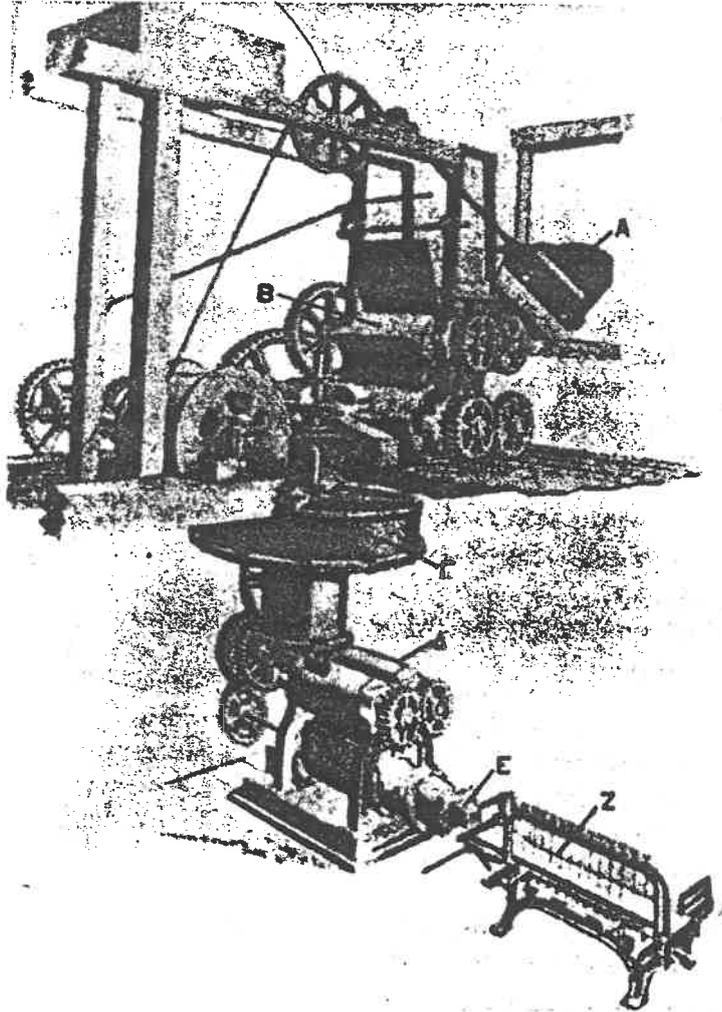
Επειδή ο πηλός είναι πολύ πλαστικός εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε νερό, κατά τη διάρκεια της ξήρανσης και όπτησης παρουσιάζεται αξιοσημείωτη συστολή των οπτόπλινθων, με αποτέλεσμα να ποικίλουν σε μέγεθος και σε σχήμα. Μέσα σε συγκεκριμένα όρια οι διαφορές αυτές είναι αποδεκτές. Τα χειροποίητα τούβλα συχνά έχουν μια κοιλότητα (σκαφοειδής εκσκαφή) στη μάζα τους. [2]

Στους μηχανοποίητους οπτόπλινθους εφαρμόζεται και η υγρή και η ξηρή μέθοδος μορφοποίησης.

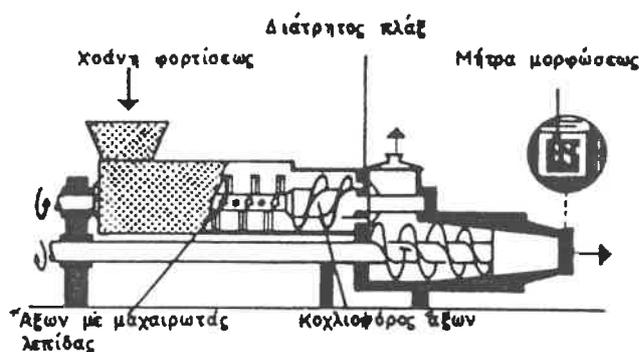
Κατά την υγρή μέθοδο ο πηλός μετά την προπαρασκευή και την ανάμιξή του με νερό μικρότερης ποσότητας από ότι στους χειροποίητους, μεταφέρεται σε κατάλληλες μηχανές για τη μάλαξη και τη μόρφωσή του στα επιθυμητά σχήματα.

Στο σχήμα 2.1 [1] παρίστανται σχηματικά τα μηχανήματα και η διαδικασία, που ακολουθείται κατά την κατασκευή μηχανοποίητων τούβλων και στο σχήμα 2.2 [1] παρίσταται με διάγραμμα ένας συνήθης τύπος του τελευταίου μηχανήματος (του Δ) της

σειράς αυτής. Εδώ ο πηλός έτοιμος πλέον μεταφέρεται από το σημείο αποθήκευσης του και ρίχνεται στη χοάνη του αναμικτήρα. Στον πυθμένα της χοάνης υπάρχει κοίλωμα, από όπου ξεκινάει ένας άξονας, που κατά μήκος φέρει κεκλιμένες λεπίδες. Ο πηλός με την περιστροφή του άξονα υφίσταται τέλεια μάλαξη, ενώ συγχρόνως ωθείται προς μία διάτρητη πλάκα. Με τη βοήθεια αντλίας η πλαστική μάζα ωθείται προς άλλο θάλαμο με κοχλιοφόρο άξονα, που την πιέζει προς την έξοδο.



Σχήμα 2.1: Διάταξη μηχανημάτων κατασκευής μηχανοποίητων οπτόπλινθων. Α) Φορείο μεταφοράς πρώτων υλών. Β) Ανάμιξη και μάλαξη. Γ) Χοάνη φόρτωσης υλικού. Δ) Μηχανή μορφοποίησης. Ε) Έξοδος μορφοποιημένου προϊόντος. Ζ) Σύρματα κοπής νωπού προϊόντος. [1]



Σχήμα 2.2: Μηχανή μορφοποίησης οπτόπλινθων [1].

Εκεί τοποθετείται ή ανάλογη προς το σχήμα που επιθυμούμε μήτρα μορφώσεως. Από τη μήτρα εξέρχεται μία συνεχής ράβδος από πηλό, ή οποία με κατάλληλα σύρματα κόβεται στο μήκος που προβλέπεται να έχει το τούβλο. Η μέθοδος της κοπής με σύρματα παρέχει ελαστικότητα στην παρασκευή οπτόπλινθων διαφόρων μεγεθών και σχημάτων και είναι ένας οικονομικός τρόπος μαζικής παραγωγής. [1]

Η κοπή με σύρματα συχνά αφήνει ίχνοι στις επιφάνειες των τούβλων και μερικές φορές μπορεί να καταστρέψει τις ακμές τους. Έτσι αν πρόκειται για διακοσμητικά, μετά την κοπή τους πιέζονται, ώστε να αποκτήσουν ομαλότερες επιφάνειες και πιο οξείες ακμές. Τα τούβλα αυτά δεν έχουν κοιλότητες, αλλά κατά τη διαδικασία της εξώθησης μπορούν να σχηματιστούν οπές που ποικίλουν σε αριθμό και μέγεθος δημιουργώντας έτσι τα διάτρητα τούβλα. Σύμφωνα με το Βρετανικό κανονισμό για να θεωρηθεί ένα τούβλο διάτρητο, πρέπει ο συνολικός όγκος των οπών να είναι μικρότερος από 25% του συνολικού όγκου του τούβλου. [2]

Τα πλεονεκτήματα των διάτρητων τούβλων περιλαμβάνουν μείωση του χρόνου παραγωγής, μείωση του βάρους και μερική αύξηση της θερμικής μόνωσης. Οι διατρήσεις δε φαίνεται να επηρεάζουν τη διείσδυση της βροχής διαμέσου των τοίχων μετά την περάτωσή τους, αλλά επειδή οι οπές διαπερνούν ολόκληρο το τούβλο, είναι επιρρεπείς στη διαβροχή από το νερό της βροχής κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Η διαβροχή θα αυξήσει το χρόνο ξήρανσης των οπτόπλινθων, τον κίνδυνο δημιουργίας εξανθήσεων, καθώς και την πιθανότητα καταστροφής από παγετό. [2]

Σε άλλο τύπο μηχανής, στο άκρο του ελικοειδή άξονα τοποθετείται έμβολο που κινείται κατακόρυφα. Το έμβολο με την κάθοδό του ωθεί τον πηλό μέσα σε ξύλινο καλούπι διαιρεμένου σε πολλά τμήματα ίσα με το μέγεθος του οπτόπλινθου. Μετά από κάθε κάθοδο του εμβόλου το καλούπι απομακρύνεται και στη θέση του τοποθετείται

άλλο κενό. Στη συνέχεια αφαιρούνται από το καλούπι που απομακρύνθηκε οι οπτόπλινθοι και τοποθετούνται στα υπόστεγα ξήρανσης.

Κατά την ξηρή μέθοδο, ο πηλός κονιοποιείται, κοπανίζεται καλά και μεταφέρεται σε ειδικές μηχανές πίεσης (πρέσες). Τα καλούπια, που χρησιμοποιούνται στις πρέσες, είναι χαλύβδινα και αλείφονται εσωτερικά με λίπος, για να μην προσκολληθεί ο πηλός στα τοιχώματα. Με ισχυρή πίεση ο οπτόπλινθος αποκτά την απαιτούμενη συνοχή και μεταφέρεται κατευθείαν στην κάμινο όπτησης, χωρίς να προηγηθεί ξήρανση. Οι οπτόπλινθοι που κατασκευάζονται έτσι λέγονται πλίνθοι πρέσας. [1]

Τα τούβλα που γίνονται μ' αυτή τη διαδικασία, είναι κανονικά σε μέγεθος και σχήμα, αλλά τα περισσότερα δεν έχουν ωραία εμφάνιση. Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως διακοσμητικά, τα καλούπια τους επιπάσσονται με άμμο ή τους δίνεται μηχανικά μια επιφανειακή υφή. Οι τελικές αυτές επιφάνειες συχνά διαφέρουν στο χρώμα από το υπόλοιπο τούβλο, γι' αυτό πρέπει να μεταφέρονται με προσοχή ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες ζημιές. Τα τούβλα πρέσας μπορεί να έχουν μία ή δύο κοιλότητες ή μπορεί να έχουν μια ποικιλία από άλλες οπές διαφόρων σχημάτων δίνοντας την κατηγορία των κυψελωτών οπτόπλινθων. [2]

Από τη σύγκριση των προϊόντων, που λαμβάνονται από τις τρεις παραπάνω μεθόδους, προκύπτει ότι καλύτερα είναι τα τούβλα πρέσας. Είναι συμπαγέστερα, βαρύτερα και έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή. Επίσης έχουν τελειότερο σχήμα με τελειώς ευθείες ακμές και επίπεδες επιφάνειες. Ακολουθούν τα μηχανοποίητα από ύφυγρο πηλό, που είναι βαρύτερα από τα χειροποίητα αλλά ανθεκτικότερα και κανονικότερα στις διαστάσεις. Επίσης είναι φθηνότερα από τα άλλα δύο είδη. Τα χειροποίητα τούβλα υπολείπονται των άλλων τόσο κατά το σχήμα, όσο και κατά τις ιδιότητες, αλλά κατασκευάζονται ακόμη σε αρκετές μικρές βιοτεχνίες.

2.3.3. ΞΗΡΑΝΣΗ

Το τρίτο στάδιο κατασκευής των οπτόπλινθων είναι η ξήρανση. Σ' αυτό επιδιώκεται η τέλεια απομάκρυνση του νερού επεξεργασίας από τη μάζα του προϊόντος. Τα τούβλα που παράγονται από ξηρό πηλό μεταφέρονται κατευθείαν στις καμίνους για όπτηση.

Η ξήρανση πρέπει να γίνεται με εξαιρετική προσοχή και να λαμβάνονται τα απαιτούμενα προφυλακτικά μέτρα, ώστε να εξαπλώνεται βαθμιαία σε όλη τη μάζα του οπτόπλινθου. Απότομη ξήρανση που προέρχεται από έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες

(ηλιακές ακτίνες), προκαλεί ρήγματα και παραμορφώσεις στα προϊόντα πριν την όπτησή τους. Ελλειπής ξήρανση (επιφανειακή) προκαλεί καταστροφή τους κατά την όπτηση.

Διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι ξήρανσης:

- Φυσική και
- Τεχνητή

Κατά τη φυσική μέθοδο τα τούβλα τοποθετούνται σε υπόστεγα με ανοιχτές όλες τις πλευρές, ώστε ο αέρας να κυκλοφορεί ελεύθερα. Ο αέρας απομακρύνει το εξατμιζόμενο νερό και επέρχεται η ξήρανση. Προς το τέλος της είναι δυνατόν ορισμένα προϊόντα να εκτεθούν στον ήλιο με αφαίρεση της κινητής στέγης των υποστέγων ξήρανσης. Σε ψυχρότερα και υγρότερα κλίματα, τα προϊόντα εκτίθενται για ξήρανση από την αρχή στον ήλιο.

Η τεχνητή ξήρανση γίνεται με δύο μεθόδους:

α) Στην πρώτη γίνεται με τη βοήθεια θερμού αέρα ή ατμού σε ειδικούς θαλάμους, που καλούνται ξηραντήρια. Στις σύγχρονες βιομηχανίες χρησιμοποιούνται δύο τύποι ξηραντηρίων.

1. Ξηραντήρια με θερμαινόμενα τοιχώματα και πατώματα. Είναι τετραγωνικοί ή πολυγωνικοί χώροι, στους οποίους η θέρμανση γίνεται εμμέσως από τα θερμά αέρια της καμίνου ή με τον ατμό που απελευθερώνεται από την κινητήρια μηχανή ή με τα αέρια που παράγονται από ειδική για το σκοπό αυτό πυρεστία. Τα ξηραντήρια αυτά χτίζονται κοντά στην κάμινο όπτησης και η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους δεν υπερβαίνει τους 120°C.

2. Ξηραντήρια με στοές (τούνελ). Έχουν επίμηκες σχήμα και η θερμότητα μεταφέρεται στο εσωτερικό τους με θερμά αέρια ή θερμό αέρα ή ατμό, που διοχετεύονται μέσω κατάλληλων οχετών κάτω από το δάπεδο. Τα ξηραντήρια αυτά είναι διακοπτόμενης ή συνεχούς λειτουργίας. Στα πρώτα, τοποθετούνται οι οπτόπλινθοι στο εσωτερικό τους και ακολουθεί η ξήρανση, που διαρκεί περίπου 3 ως 4 ημέρες. Στη συνέχεια αφαιρούνται και διοχετεύονται προς όπτηση, ενώ νέα ποσότητα τοποθετείται στο ξηραντήριο. Στα συνεχούς λειτουργίας η εργασία γίνεται χωρίς διακοπή. Από το ένα άνοιγμα του τούνελ γίνεται η τροφοδότηση και από το άλλο η παραλαβή των ξηραμένων πλέον προϊόντων. Η κίνησή τους πραγματοποιείται είτε με μεταφορική ταινία, είτε με κινητά επίπεδα, είτε με μικρά φορεία.

β) Στη δεύτερη μέθοδο χρησιμοποιείται η κάμινος όπτησης. Στην περίπτωση αυτή η ξήρανση επιτυγχάνεται με εκμετάλλευση μέρους της θερμότητας όπτησης. Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται σε βιομηχανίες, που χρησιμοποιούν καμίνους συνεχούς λειτουργίας.

Η φυσική μέθοδος ξήρανσης παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της τεχνητής. Τα πιο σημαντικά είναι η ομαλότητα και η ομοιομορφία ξήρανσης σε όλη τη μάζα του υλικού. Έχει όμως και δύο σοβαρά μειονεκτήματα

- Μεγάλη διάρκεια ξήρανσης με συνέπεια την καθυστέρηση σε όλη την παραγωγή και
- Κατάληψη μεγάλου χώρου από τα υπόστεγα ξήρανσης, σε σχέση με το χώρο που καταλαμβάνουν το κτίριο παραγωγής και η κάμιнос.

2.3.4. ΟΠΤΗΣΗ

Μετά την ξήρανση οι οπτόπλινθοι υφίστανται την όπτηση (ψήσιμο) σε ειδικές καμίνους. Στο στάδιο αυτό επιδιώκεται:

- α) Να σταθεροποιηθεί το σχήμα του προϊόντος, ώστε να αποφευχθεί μια νέα πλαστικοποίηση του πηλού στην περίπτωση που το προϊόν υγρανθεί.
- β) Να αποκτήσουν τα προϊόντα ορισμένες ιδιότητες, όπως π.χ. μηχανική αντοχή, επιφανειακή σκληρότητα, αντοχή στη φωτιά κ.λ.π., ανάλογα με τον σκοπό που προορίζονται.

Κατά την όπτηση πραγματοποιούνται διάφορες χημικές αντιδράσεις στη μάζα των τούβλων, που προκαλούνται από την συνεχώς αυξανόμενη θερμότητα. Λόγω αυτών των δράσεων το προϊόν αποκτά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Έτσι, η τελική θερμοκρασία όπτησης καθώς και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες στην κάμινο επηρεάζουν το χρώμα των πλίνθων, ενώ και η περιεκτικότητά τους σε διαλυτά άλατα εξαρτάται μερικώς από τις συνθήκες ψήσιματος. Σε γενικές γραμμές στις διάφορες θερμοκρασίες συμβαίνουν τα ακόλουθα: [1]

- Μέχρι τη θερμοκρασία των 700°C επέρχεται πλήρης αφυδάτωση και απομακρύνεται όχι μόνο το νερό, που τυχόν παρέμεινε μετά την ξήρανση, αλλά και το χημικά ενωμένο νερό των ένυδρων ενώσεων του πυριτίου και του αργιλίου που αποτελούν τα βασικά συστατικά της πηλοκονίας. Έτσι η άργιλος χάνει την ιδιότητα να ξαναγίνεται πλαστική κατά την επαφή της με το νερό, στερεοποιείται και συγκρατεί με σταθερό τρόπο τους κόκκους της άμμου, που βρίσκονται στο μείγμα. Στη θερμοκρασία αυτή καίγονται και οι τυχόν υπάρχουσες οργανικές ενώσεις.
- Στη θερμοκρασία των 900°C συμπληρώνεται η οξείδωση διαφόρων ενώσεων του άνθρακα και του θείου και εκλύονται τα διοξειδία τους. Η οξείδωση πρέπει να ολοκληρωθεί πλήρως πριν την ανύψωση της θερμοκρασίας πάνω από τους 900°C, διότι τότε εξαιτίας της επερχόμενης τήξεως ορισμένων συστατικών, κλείνουν οι πόροι

και παραμένουν εντός της μάζας τα αέρια, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κενά μέσα σ' αυτή.

- Μετά τη θερμοκρασία των 900°C αρχίζει η εξάλωση του προϊόντος. Οφείλεται στην τήξη εύτηκτων συστατικών της πηλοκονίας και της άμμου, τα οποία διαποτίζουν όλη τη μάζα του υλικού. Η εξάλωση αυξάνεται με τη θερμοκρασία, αλλά στα συνήθη τούβλα η όπτηση διακόπτεται στο πρώτο στάδιό της, δηλαδή στη θερμοκρασία των 1220°C έως 1400°C ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη.

Ο παλαιότερος τύπος καμίνων είναι η σωροκάμιнос, που χρησιμοποιείται και σήμερα σε μικρές εγκαταστάσεις. Σχηματίζεται με την τοποθέτηση των νωπών τούβλων σε παράλληλες σειρές ύψους 2.00 m έως 2.50 m περίπου και πλάτους 5.00 m έως 8.00 m. Το μήκος του σχηματιζόμενου σωρού εξαρτάται από την ποσότητα των προς όπτηση πλίνθων. Εξωτερικά ο σωρός επενδύεται με τοίχο από οπτοπλινθοδομή ή ξηρολιθοδομή και επαλείφεται με πηλοκονίαμα για να μην διαφεύγουν τα αέρια της καύσης. Εσωτερικά αφήνονται αγωγοί και καπναγωγοί για την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας σε όλη τη μάζα του σωρού. Ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιείται συνήθως ροκανίδι και σπανιότερα ακάθαρτο πετρέλαιο.

Ο τύπος αυτός της καμίνου κατασκευάζεται γρήγορα και με λίγα έξοδα, αλλά οι απώλειες θερμότητας είναι πολύ μεγάλες και η όπτηση δεν είναι ομοιόμορφη. Τα τούβλα που βρίσκονται κοντά στους εξωτερικούς τοίχους, παραμένουν σχεδόν άψητα, ενώ αυτά που βρίσκονται κοντά στους εσωτερικούς αγωγούς και εστίες ψήνονται περισσότερο απ' ότι πρέπει και καταστρέφονται.

Στην αγγλική βιβλιογραφία συναντάται και μια άλλη παλαιά μέθοδος όπτησης, που μερικές φορές εφαρμόζεται και σήμερα στα τούβλα τύπου stock και στα χειροποίητα. Σύμφωνα μ' αυτή οι νωποί πλίνθοι, που περιέχουν στη μάζα τους εύφλεκτα υλικά, στοιβάζονται προσεκτικά πάνω σε ένα στρώμα καυσίμου. Στη συνέχεια βάζουν φωτιά στο σωρό που αφήνεται έως ότου η στοιβία των πλίνθων ψηθεί ολοκληρωτικά. Ανάλογα με την ποιότητα των τούβλων που πρέπει να παραχθούν ρυθμίζεται και η ποσότητα του καυσίμου που θα προστεθεί. Οι οπτόπλινθοι αυτής της μεθόδου ταξινομούνται σε κατηγορίες πριν διατεθούν στο εμπόριο. [2]

Στις μεγαλύτερες και νεότερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται μόνιμες κάμινοι διακεκομμένης ή συνεχούς λειτουργίας. Οι κάμινοι διακεκομμένης λειτουργίας αποτελούσαν τη μοναδική μέθοδο όπτησης μέχρι το 1858 [2]. Τα τούβλα ψήνονταν σε διάφορους ανεξάρτητους φούρνους που μοιάζουν με του ίδιου τύπου ασβεστοκάμινους. Οι νωποί πλίνθοι τοποθετούνταν σ' αυτούς όπως και μέσα στις σωροκάμινους και μετά την

όπτηση αφήνονταν να ψυχθούν πριν μεταφερθούν έξω. Σήμερα η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως στην κατασκευή ειδικών κατηγοριών τούβλων.

Από το 1858 και μετά, με τη δακτυλιοειδή κάμινο Hoffman, εισήχθηκε για πρώτη φορά η κάμιнос συνεχούς λειτουργίας. Ο συνεχής φούρνος αποτελείται από συνεχόμενους θαλάμους, όπου η φωτιά μεταδίδεται διαδοχικά σε τοποθετημένους σωρούς τούβλων. Με τον τρόπο αυτό τα τούβλα θερμαίνονται, ψήνονται και επανέρχονται στη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε συνεχή ροή και με πλήρη εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας που συνεπάγεται σημαντική μείωση των καταναλισκόμενων καυσίμων. [2]

Σήμερα τα σύγχρονα εργοστάσια χρησιμοποιούν συνεχείς φούρνους-σήραγγες. Το μήκος τους που ξεπερνά συνήθως τα 100 μέτρα αποτελείται από τη ζώνη προθέρμανσης, τη ζώνη του κυρίως ψησίματος και τέλος τη ζώνη ψύξης των τούβλων. Οι οπτόπλινθοι εισέρχονται μέσα στη σήραγγα πάνω σε βαγονέτα και κινούμενοι σε σιδηροτροχιές περνούν μέσα από τρεις παραπάνω ζώνες οπότε και ολοκληρώνεται η όπτηση. Οι ψεκασμοί των καυστήρων του φούρνου ρυθμίζονται αυτόματα, ελέγχοντας κάθε στιγμή τις εσωτερικές θερμοκρασίες. Η διαδικασία της ψύξης, που διαρκεί συνήθως γύρω στις 48 ώρες, γίνεται σταδιακά, ώστε να αποφευχθούν ρηγματώσεις. Οι συνεχείς φούρνοι-σήραγγες με τη δυνατότητα διακύμανσης θερμοκρασιών και ταχυτήτων των βαγονιών παρέχουν τις καλύτερες συνθήκες για έλεγχο ποιότητας.

Τα τελευταία χρόνια (από το 1992 και μετά) αναπτύχθηκε μιας νέας μορφής φούρνος ταχείας όπτησης. Αποτελείται από σήραγγα μικρής επιφάνειας διατομής (πλάτους 1 μέτρου, ύψους 0.60 του μέτρου), μέσα στην οποία κινείται φορείο σε κυλινδρικά κύλιστρα, που φέρει μία ή το πολύ δύο σειρές τούβλων. Έτσι ο κύκλος όπτησης ολοκληρώνεται σε χρονικό διάστημα μόλις 3 ωρών. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι συνήθως φυσικό αέριο. Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η μεγάλη ευελιξία παραγωγής και το μικρό κόστος της εγκατάστασης.[11]

2.3.5. ΤΟΥΒΛΑ ΑΠΟ ΠΥΡΙΤΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή οπτόπλινθων από πυριτικό ασβέστιο είναι ασβέστης, πυριτική άμμος και νερό. Μερικές φορές στη θέση της άμμου ή σε συνδυασμό μ' αυτή μπορούν να προστεθούν πυριτικά χαλίκια ή βράχοι που έχουν θρυμματιστεί.

Τα παραπάνω συστατικά αναμειγνύονται προσεκτικά σε καθορισμένες και ελεγχόμενες αναλογίες, ενώ όπου απαιτείται προστίθενται χρωστικές ουσίες. Το τελικό προϊόν μορφοποιείται με εφαρμογή πίεσης για να αποκτήσει το σχήμα και τις διαστάσεις

των οπτόπλινθων. Στη συνέχεια τα νωπά τούβλα τοποθετούνται σε οχήματα (βαγονέτα), που κινούνται πάνω σε σιδηροτροχιές και οδηγούνται σε κάμινους, όπου ψήνονται υπό πίεση. Οι διακυμάνσεις του χρόνου όπτησης και των συνθηκών πίεσης έχουν ως αποτέλεσμα την επίτευξη των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των τούβλων.

Τα τούβλα πυριτικού ασβεστίου είναι ομοιόμορφα προϊόντα κανονικού μεγέθους και σχήματος, με οξείες ακμές και μικρή χρωματική διαφοροποίηση. Το χρώμα τους και η ποιότητά τους καθορίζονται από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται και από την διαδικασία της όπτησης. Οι οξείες ακμές τους καταστρέφονται σχετικά εύκολα, κάτι που γίνεται αμέσως αντιληπτό εξαιτίας της μεγάλης κανονικότητας που έχουν. Για το λόγο αυτό πρέπει να μεταφέρονται με μεγάλη προσοχή, κυρίως όσα προορίζονται ως διακοσμητικά. [2]

2.3.6. ΤΟΥΒΛΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τα τούβλα σκυροδέματος κατασκευάζονται από ένα πλήρως ελεγχόμενο μείγμα τσιμέντου, άμμου και αδρανών, καθώς και χρωστικών προσθέτων για την επίτευξη χρωματικών διαφοροποιήσεων. Το παραγόμενο προϊόν πιέζεται και δονείται μέσα σε καλούπια που έχουν το σχήμα και τις διαστάσεις του τελικού προϊόντος με τον ίδιο περίπου τρόπο που γίνονται και τα τούβλα πυριτικού ασβεστίου. Στη συνέχεια τα νωπά τούβλα διατηρούνται σε ειδικούς θαλάμους ή στις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Τα τούβλα από σκυρόδεμα είναι ομοίως ομοιόμορφα προϊόντα με μεγάλη κανονικότητα ως προς το σχήμα, τις διαστάσεις και το χρώμα τους. [2]

2.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΩΝ

2.4.1. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΟΥΒΛΩΝ

Είναι κοινά αποδεκτό ότι από τις βασικότερες προϋποθέσεις για μια ορθολογική βιομηχανοποιημένη παραγωγή και μια εύστοχη οικονομοτεχνικά κατασκευή είναι η τυποποίηση. Ο διαστασιακός συντονισμός (dimensional coordination) αποτελεί βασικό στοιχείο των σύγχρονων προδιαγραφών και κανονισμών των αναπτυγμένων χωρών.

Τα τούβλα πρέπει να παράγονται σε τέτοιες διαστάσεις, ώστε να διευκολύνεται η σωστή δόμηση των τοίχων καθώς και η δημιουργία τυποποιημένων οικοδομικών μεγεθών. Το προσφορότερο σχήμα είναι το ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με διάσταση πλάτους ίση με το άνοιγμα της παλάμης, για την εύκολη μεταφορά από τον τεχνίτη, ενώ για τις υπόλοιπες διαστάσεις ακολουθείται η πρακτική του να είναι το μήκος διπλάσιο από το πλάτος και το πλάτος διπλάσιο από το ύψος. [11]

Παλαιότερα οι διαστάσεις των Ελληνικών τούβλων κυμαίνονταν σύμφωνα με τον πίνακα 2.1. [11]

Πίνακας 2.1. Διαστάσεις Ελληνικών τούβλων [11]

	Συμπαγή	Διάτρητα
Πλάτος	8-12 cm	6-19 cm
Μήκος	17-25 cm	19-25 cm
Ύψος	4-6 cm	6-9 cm

Σύμφωνα με νεότερες προσπάθειες τυποποίησης (ΤΕΕ 1978) έχουμε την πρόταση για διαστάσεις τούβλων που φαίνεται στον πίνακα 2.2. [11]

Παρόλο τις προσπάθειες αυτές ακόμα και σήμερα εξακολουθούν να μην υπάρχουν νομοθετημένες προδιαγραφές, με αποτέλεσμα οι διαστάσεις των Ελληνικών τούβλων να είναι ποικίλες και να μην μπορούν εύκολα να ομαδοποιηθούν. Σε γενικές γραμμές πάντως μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

α) μικρά τούβλα (εξάοπα) με διαστάσεις 6x9x19 και 9x9x19,

β) μεγάλα τούβλα (μπλόκια) με διαστάσεις 15x18x25 ή 30

Στα μεγάλα συγκαταλέγονται και τούβλα με πλάτος 7-9 cm, μήκος 25-30 cm και ύψος 18 cm γνωστά ως γλώσσες.

Σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς (DIN 105) για τούβλα τοιχοποιίας συμπαγή και διάτρητα ισχύουν οι διαστάσεις που φαίνονται στον πίνακα 2.3. [10]. Με βάση αυτές τις προδιαγραφές, οι επιτρεπόμενες αποκλίσεις είναι $\pm 4\%$, ενώ μέσα σε μια παρτίδα η μικρότερη με την μεγαλύτερη διάσταση μπορούν να διαφέρουν το πολύ κατά το μέγεθος $\pm 5\%$.

Πίνακας 2.2. Προτεινόμενες διαστάσεις τούβλων από το ΤΕΕ (1978) [11]

		Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm)
1η Ομάδα	Ισχνή μορφή	190	90	57
	Κανονική μορφή	190	90	90
	Μικτή μορφή	190	157	90
	Πολλαπλή μορφή	290	190	90
2η Ομάδα	Ισχνή μορφή	240	115	52
	Κανονική μορφή	240	115	73
	Μικτή μορφή	240	135	115
	Πολλαπλή μορφή	365	178	115

Πίνακας 2.3. Διαστάσεις τούβλων κατά DIN 105 [10]

Διάσταση	Μέγεθος τούβλου (mm)	Ελάχιστο (mm)	Μέγιστο (mm)	Εύρος απόκλισης t
Μήκος	240	230	250	12
	365	350	380	15
Πλάτος	115	110	120	6
	175	168	182	9
	240	230	250	12
	300	288	312	15
Ύψος	52	50	54	3
	71	68	74	4
	113	108	118	6
	155	149	161	8
	175	168	182	9
	238	228	248	12

Σύμφωνα με τους Βρετανικούς κανονισμούς (British Standard) αναφέρονται δύο είδη διαστάσεων: α) η ονομαστική διάσταση (work size) που είναι η πραγματική διάσταση του μεμονωμένου τούβλου και β) η βασική διάσταση (coordinating size) που αποτελεί το χώρο που καταλαμβάνει το τούβλο μαζί με το κονιάμά του κατά χτίσιμο. Ως μέσο πάχος κονιάματος λαμβάνονται τα 10 mm.

Οι ονομαστικές διαστάσεις για τα τούβλα από άργιλο, πυριτικό ασβέστιο και σκυρόδεμα σε (mm) είναι 215x102.5x65, ενώ οι βασικές διαστάσεις τους σε (mm) είναι 225x112.5x75. [2]

Τα τούβλα ποικίλουν σε μέγεθος ανάλογα με την κατασκευαστική διαδικασία που ακολουθείται. Έτσι στα αργιλικά, επειδή πραγματοποιείται συστολή κατά την ξήρανση και όπτηση, παρατηρούνται μεγαλύτερες διακυμάνσεις στο μεγεθός τους σε σχέση με αυτές που εμφανίζονται στα τούβλα πυριτικού ασβεστίου και σκυροδέματος. Ο Βρετανικός κανονισμός (BS 3921: 1985) θεωρεί ότι οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των συνολικών μετρήσεων διάστασης ενός τυχαίου δείγματος που αποτελείται από 24 αργιλικά τούβλα πρέπει να είναι αυτές που φαίνονται στον πίνακα 2.4. [12].

Πίνακας 2.4. Όρια διαστάσεων αργιλικών τούβλων κατά BS 3921: 1985 [12]

Ονομαστική διάσταση (mm)	Συνολική μέτρηση από 24 τούβλα	
	Μέγιστη (mm)	Ελάχιστη (mm)
65	1605	1515
102.5	2505	2415
215	5235	5085

Ανάλογα οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των ονομαστικών διαστάσεων ενός δείγματος από 10 τούβλα πυριτικού ασβεστίου δίνονται από τον BS 187: 1978 και φαίνονται στον πίνακα 2.5. [2].

Πίνακας 2.5. Όρια διαστάσεων τούβλων πυριτικού ασβεστίου (BS 187: 1978) [2]

	Μήκος	Πλάτος	Ύψος
Μέγιστη τιμή διάστασης (mm)	217	105	67
Ελάχιστη τιμή διάστασης (mm)	212	101	63

Στον πίνακα 2.6. [13] δίνονται οι διακυμάνσεις στις τιμές των διαστάσεων των τούβλων σκυροδέματος κατά BS 6073: Part 1: 1981.

Πίνακας 2.6. Απόκλιση διαστάσεων τούβλων σκυροδέματος (BS 6073: Part 1:1981)[13]

	Μέγιστη απόκλιση διάστασης (mm)	
Μήκος	+4	-2
Ύψος	+2	-2
Πάχος	+2	-2

Άλλες διαστάσεις (βασικές) τούβλων κατά τα Βρετανικά πρότυπα είναι: [11]

300x100x100 mm και 200x100x100 mm

300x100x75 mm και 200x100x75 mm

Στις Η.Π.Α. υπάρχει μεγάλος αριθμός προτυποποιημένων διαστάσεων τούβλων σε ίντσες με πιο τυπική την $2 \frac{1}{4} \times 3 \frac{3}{4} \times 8$ ίντσες [14].

Τέλος, στη Γαλλία υπάρχει προτυποποίηση σε ένα μεγάλο φάσμα ειδών διαφόρων τούβλων με κυριότερα τα παρακάτω: [11]

Τούβλα συμπαγή ή διάτρητα (κανονικά)

40x105x220 mm (ύψος x πλάτος x μήκος)

55x105x220 mm

60x105x220 mm

55x105x330 mm.

2.4.2. ΥΔΡΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Ως υδροαπορροφητικότητα ενός αργιλικού τούβλου ορίζεται το ποσοστό επί τοις εκατό της αύξησης του βάρους ενός ξηρού τούβλου, όταν αυτό διαβραχεί μέχρι τον πλήρη κορεσμό του σε νερό. Στη χώρα μας σύμφωνα με την πρότυπη τεχνική προδιαγραφή τούβλων τοιχοποιίας του ΥΠΕΧΩΔΕ (1990), η υδατοαπορρόφηση δεν πρέπει να ξεπερνάει το 16 % του βάρους του ξηρού οπτόπλινθου [16]. Η υδροαπορροφητικότητα των τούβλων μιας οπτοπλινθοδομής επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η διείδυση της βροχής διαμέσου της εξωτερικής στρώσης μιας τοιχοποιίας δύο στρώσεων με διάκενο αέρα και χρησιμοποιείται για να ορίσει την καμπτική αντοχή της έναντι πλευρικών φορτίσεων. [2]

Στη Μ. Βρετανία, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η υδροαπορροφητικότητα είναι μία από τις παραμέτρους με βάση την οποία ορίζονται τα τεχνικά (engineering) και τα υδατοστεγανά (damp-proof) τούβλα. Στον πίνακα 2.7. [12] φαίνεται η ταξινόμηση των τούβλων από πλευράς υδροαπορροφητικότητας σύμφωνα με τον BS 3921: 1985.

Τέλος, στη Γερμανία τα τούβλα που υπάρχουν στο εμπόριο κατανέμονται σε πέντε κατηγορίες, ανάλογα με το βαθμό όπτησής τους και παρουσιάζονται στον πίνακα 2.8. [10]

Πίνακας 2.7. Ταξινόμηση τούβλων βάση υδροαπορροφητικότητας (BS 3921: 1985) [12]

Κατηγορία	Υδροαπορροφητικότητα σε % του βάρους
Τεχνικά (Engineering A)	≤ 4.5
Τεχνικά (Engineering B)	≤ 7.0
Υδατοστεγανά (Damp-proof course 1)	≤ 4.5
Υδατοστεγανά (Damp-proof course 2)	≤ 7.0
Όλα τα υπόλοιπα	Δεν υπάρχουν όρια

Πίνακας 2.8. Υδροαπορροφητικότητα Γερμανικών τούβλων [10]

Βαθμός όπτησης	Υδροαπορροφητικότητα σε % του βάρους
Χαμηλός	10 - 22
Μέσος	8 - 14
Υψηλός	6 - 8
Μερική επίτηξη	8
Πλήρης επίτηξη (Klinker)	0 - 6

2.4.3. ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΔΙΑΛΥΤΑ ΑΛΑΤΑ

Οι περισσότερες άργιλοι που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των οπτόπλινθων περιέχουν διαλυτά άλατα, που μπορεί να παραμείνουν στα τούβλα και μετά την όπτησή

τους. Έτσι, αν η οπτοπλινθοδομή διαβραχεί και παραμείνει σε υγρή κατάσταση για μεγάλα χρονικά διαστήματα, υπάρχει περίπτωση να ελευθερωθούν διαλυτά θειικά ιόντα, που χειροτερεύουν την ποιότητα κονιαμάτων χαμηλής περιεκτικότητας σε τσιμέντο και γενικότερα αυτών που δεν έχουν παραχθεί με τον κατάλληλο τρόπο. Εξίσου καταστροφικές επιδράσεις έχουν τα θειικά ιόντα από το έδαφος ή και από άλλες πηγές.[2] Ο Βρετανικός κανονισμός BS 3921: 1985 [12] έχει καθορίσει ανώτατες τιμές περιεκτικότητας διαλυτών αλάτων σε ορισμένες κατηγορίες τούβλων. Τα τούβλα αυτά χαρακτηρίζονται με το γράμμα “L” (Low) υποδηλώνοντας μικρή περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα. Το ποσοστό επί τοις εκατό κατά βάρος των διαλυτών ιόντων δεν πρέπει να υπερβαίνει τις ακόλουθες τιμές:

ιόντα ασβεστίου	0.300 %
ιόντα μαγνησίου	0.030 %
ιόντα καλίου	0.030 %
ιόντα νατρίου	0.030 %
θειικά ιόντα	0.500 %

Σε όσα τούβλα δεν καθορίζονται όρια, χαρακτηρίζονται με το γράμμα “N” (Normal) υποδηλώνοντας κανονική περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα.

2.4.4. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΠΑΓΕΤΟ

Η βλαπτική επίδραση του παγετού σε διαποτισμένη τοιχοποιία οφείλεται στη διαστολή του νερού κατά 9% περίπου, όταν μετατρέπεται σε πάγο. Η πίεση που ασκεί ο πάγος έχει ως επακόλουθο την αποφλοιώση, την αποσύνθεση, αλλά ακόμα και την θραύση των τούβλων, όταν δεν είναι ανθεκτικά σε παγετό ή δεν έχουν ψηθεί αρκετά.[11]

Ο Βρετανικός κανονισμός για τα αργιλικά τούβλα (BS 3921: 1985) δεν περιέχει προδιαγραφή που να αφορά την ανθεκτικότητά τους σε παγετό. Έτσι οι κατασκευαστές των αργιλικών οπτόπλινθων απαιτείται να καθορίζουν την αντοχή τους σε παγετό ταξινομώντας τα στις παρακάτω κατηγορίες: [12],[2]

- F (Frost resistant): περιλαμβάνει τούβλα ανθεκτικά στον παγετό ακόμα και σε συνθήκες συνεχούς πήξης και τήξης του νερού των πόρων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα σημεία ενός κτιρίου, ακόμα και στα πιο εκτεθειμένα στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ωστόσο, τα σημεία των οπτοπλινθοδομών που βρίσκονται κάτω από μεγάλες γυάλινες επιφάνειες ή επιφάνειες επενδυμένες με αδιαπέραστα υλικά, συνιστάται να προστατεύονται από το διαποτισμό.

- M (Moderately frost resistant): περιλαμβάνει τούβλα περιορισμένης αντοχής σε παγετό ιδιαίτερα σε συνθήκες συνεχούς πήξης και τήξης. Είναι κατάλληλα για γενική χρήση σε τοιχοποιίες προστατευμένες από διαποτισμό
- O (Not frost resistant): περιλαμβάνει τούβλα που δεν είναι ανθεκτικά σε παγετό με αποτέλεσμα να καταστρέφονται σε τέτοιες συνθήκες. Είναι κατάλληλα για χρήση σε εσωτερικές τοιχοποιίες, ενώ αν πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε σημεία εκτεθειμένα στο διαποτισμό και παγετό επιβάλλεται να καλυφθούν με υδατοστεγανή επένδυση.

Η ανθεκτικότητα στον παγετό των τούβλων από πυριτικό ασβέστιο είναι γενικά μεγαλύτερη στις κατηγορίες υψηλότερων αντοχών. Ωστόσο, τα τούβλα από πυριτικό ασβέστιο δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε θέσεις που εκτίθενται σε ραντίσματα θαλασσινού νερού ή αντιψυκτικά άλατα.

2.4.5. ΕΞΑΝΘΗΣΕΙΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΩΝ

Οι εξανθήσεις είναι κρυσταλλικά κατάλοιπα που παραμένουν στην επιφάνεια των οπτοπλινοδομών μετά την εξάτμιση νερού που περιέχει διαλυτά άλατα. Ο Βρετανικός κανονισμός (BS 3921: 1985) περιλαμβάνει δοκιμή με την οποία γίνεται ο έλεγχος των τούβλων από πλευράς εξανθήσεων και με βάση αυτή, οι κατασκευαστές πρέπει να καθορίζουν την κατηγορία στην οποία ανήκουν τα τούβλα. Οι κατηγορίες που προβλέπονται ως προς την παρουσία εξανθήσεων είναι οι ακόλουθες: [12]

- Μηδενική (Nil). Περιλαμβάνει τούβλα όπου δεν υπάρχουν ευδιάκριτα κατάλοιπα αλάτων.
- Μικρή (Slight). Περιλαμβάνει τούβλα όπου μέχρι το 10 % της επιφάνειάς τους καλύπτεται από κατάλοιπα αλάτων, αλλά χωρίς να εμφανίζονται κονιοποιήσεις και αποφλοιώσεις σ' αυτές.
- Μέτρια (Moderate). Περιλαμβάνει τούβλα όπου το 10 % μέχρι το 50 % της επιφάνειάς τους καλύπτεται από κατάλοιπα αλάτων, αλλά χωρίς να εμφανίζονται κονιοποιήσεις και αποφλοιώσεις σ' αυτές.
- Μεγάλη (Heavy). Περιλαμβάνει τούβλα όπου περισσότερο από το 50 % της επιφάνειάς τους καλύπτεται από κατάλοιπα αλάτων, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζονται κονιοποιήσεις και αποφλοιώσεις σ' αυτές.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ουσίες που προκαλούν εξανθήσεις είναι τα θειικά άλατα π.χ. γύψο, χλωριούχα και άλλα άλατα, ο σιδηροπυρίτης κ.λ.π. Ειδικά ο

σιδηροπυρίτης προκαλεί ρωγμές λόγω τοπικής διόγκωσης, κηλίδες, αποχρωματισμούς και μειώνει την ανθεκτικότητα στις καιρικές συνθήκες και στη φωτιά. [10]

Η πιθανότητα παρουσίας εξανθήσεων, που δεν καταστρέφουν και είναι συνήθως προσωρινές, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την προστασία των τούβλων από τη βροχή, τόσο όταν αυτά είναι ακόμα σε σωρούς πριν χρησιμοποιηθούν όσο και στις νεόχτιστες οπτοπλινθοδομές [2]. Σε γενικές γραμμές ωστόσο, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση οπτόπλινθων με εξανθήσεις, γιατί τότε προκαλούνται φθορές στα επιχρίσματα και αλλοιώσεις στους χρωματισμούς των τοιχοποιιών [1].

2.4.6. ΔΙΑΣΤΟΛΗ - ΣΥΣΤΟΛΗ

Τα τούβλα διαστέλλονται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία τους και συρρικνώνονται όταν μειώνεται. Στην πράξη εκείνο που ενδιαφέρει δεν είναι τόσο οι μεταβολές του όγκου των μεμονωμένων τούβλων λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών, όσο το αποτέλεσμα που επιφέρουν, δηλαδή τη διαστολή και τη συστολή της οπτοπλινθοδομής. Έτσι, κάποιες αναστρεπτές μετακινήσεις θα εκδηλωθούν στις τοιχοποιίες που εκτίθενται σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Ο τύπος του τούβλου δεν επιφέρει κάποια σημαντική διαφορά και ο συντελεστής θερμικής διαστολής σε οριζόντια διεύθυνση θα είναι περίπου 5.6×10^{-6} για κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας κατά 1°C . Για έναν τοίχο μήκους 10 μέτρων, η μεταβολή του μήκους του μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα θα μπορούσε να ήταν περίπου 2 mm. Στην κατακόρυφη διεύθυνση η διαστολή μπορεί να είναι μέχρι και 1.5 φορές η τιμή της οριζόντιας. [2]

2.4.7. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΓΚΟΥ ΛΟΓΩ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Τα αργιλικά τούβλα διαστέλλονται κατά την ψύξη τους όταν εξέρχονται από τις καμίνους. Αυτό οφείλεται στο ότι μερικά μόρια νερού επαναπροσροφώνται στην επιφάνεια του αργιλικού υλικού μετά την απομάκρυνσή τους απ' αυτό λόγω των υψηλών θερμοτήτων που αναπτύσσονται στις καμίνους. Η διαστολή αυτή είναι μη αναστρέψιμη, εκτός αν τα τούβλα ψηθούν εκ νέου. Το μέγεθος της αύξησης του όγκου ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του τούβλου. Το θετικό είναι ότι ένα μεγάλο μέρος της διαστολής πραγματοποιείται αρκετά γρήγορα, πιθανότατα η μισή απ' αυτή επέρχεται μέσα σε λίγες μέρες. Το υπόλοιπο μέρος πραγματοποιείται αργά σε σημαντικό χρονικό διάστημα.

Επιπρόσθετα, υπάρχει μια μικρή αντιστρεπτή αυξομείωση όγκου, που οφείλεται στην ύγρανση και ξήρανση των αργιλικών οπτόπλινθων. Τα τούβλα από πυριτικό

ασβέστιο έχουν την τάση να συρρικνώνονται καθώς ξηραίνονται μετά την παραγωγή τους, και στη συνέχεια να διαστέλλονται ξανά όταν υγρανθούν. Η συστολή λόγω ξήρανσης μπορεί να κυμαίνεται λιγότερο από 0.01 % μέχρι περίπου 0.04 %.

Τα τούβλα από σκυρόδεμα, όπως όλα τα προϊόντα σκυροδέματος, συστέλλονται όταν ξηραθούν και διαστέλλονται όταν υγρανθούν. Ο Βρετανικός κανονισμός BS 6073: Part 1: 1981 θεωρεί ως επιτρεπόμενο όριο συστολής λόγω ξήρανσης το 0.04 %.

Όπως και στη διαστολή - συστολή λόγω θέρμανσης, εκείνο που ενδιαφέρει είναι οι μετακινήσεις στην οπτοπλινθοδομή. Η μεταβολή του όγκου των τούβλων εξαιτίας της μεταβολής της υγρασίας τους μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μορφή μιας μόνιμης μετακίνησης που θα συνεχίζει σε όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου. Σε σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει και μια τρίτη μορφή μετακίνησης που εμφανίζεται ως συνεχής διαστολή, σύμφωνα με την οποία τα τούβλα διαστέλλονται τόσο κατά την ξήρανση όσο και κατά την ύγρανσή τους. Γι' αυτού του είδους τη μετακίνηση οι πληροφορίες είναι περιορισμένες, ωστόσο είναι γνωστό ότι τα τούβλα δεν πρέπει να παραλαμβάνονται και να χρησιμοποιούνται αμέσως μόλις εξέλθουν από τις καμίνους. [2]

2.4.8. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Η αντοχή σε θλίψη των οπτόπλινθων εξαρτάται ως γνωστό από την κατηγορία στην οποία ανήκουν, από την ποιότητα της πρώτης ύλης και από την κανονικότητα της όπτησης. Οι κανονισμοί καθορίζουν τις ελάχιστες αντοχές που πρέπει να έχουν οι διάφοροι τύποι οπτόπλινθων τόσο στη φέρουσα επιφάνεια, όσο και στην επιφάνεια έδρασης. Σε γενικές γραμμές ισχύουν τα ακόλουθα: [1]

- Η αντοχή των διατρήτων οπτόπλινθων που προορίζονται για διαχωριστικούς τοίχους είναι απλώς ενδεικτική της ποιότητας του υλικού, αφού απαγορεύεται να χρησιμοποιούνται ως φέροντες.
- Η αντοχή των διατρήτων φερόντων οπτόπλινθων είναι περίπου ίση με το μισό της αντοχής των συμπαγών.
- Κάθε οπτόπλινθος παρουσιάζει διαφορετική αντοχή κατά τις τρεις διαστάσεις του. Η μεγαλύτερη εμφανίζεται, όταν η δύναμη εφαρμόζεται παράλληλα προς τη μεγαλύτερη διάσταση, και η μικρότερη, όταν εφαρμόζεται παράλληλα προς την ενδιάμεση διάσταση.

Στη χώρα μας σύμφωνα με την πρότυπη τεχνική προδιαγραφή τούβλων τοιχοποιίας του ΥΠΕΧΩΔΕ (1990), ανάλογα με τον τύπο των τούβλων οι απαιτήσεις αντοχής σε θλίψη

καθορίζονται στον πίνακα 2.9. [16], όπου οι αναγραφόμενες τιμές αποτελούν το μέσο όρο ελέγχου πέντε (5) δοκιμίων.

Με βάση το Βρετανικό κανονισμό, η θλιπτική αντοχή ενός τούβλου προκύπτει από το μέσο όρο 10 δοκιμών θραύσης, ως το πηλίκο του φορτίου θραύσης δια την ολική επιφάνεια φόρτισης του τούβλου. Η ποσότητα αυτή λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς. Στα τούβλα με κοιλότητες (σκάφες), πρέπει τα κοιλώματα να πληρώνονται με κονίαμα ώστε η θλιπτική τους αντοχή να πλησιάζει την αντοχή σχεδιασμού τους, αφού αυτή η διαδικασία ακολουθείται στις δοκιμές. Η θλιπτική αντοχή των διατρήτων τούβλων σχετίζεται με την ολική επιφάνεια της βάσης τους χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι οπές. Έτσι, δεν υπάρχει λόγος να πληρώνονται κατά το χτίσιμο. Οι διάφοροι τύποι αργιλικών τούβλων έχουν θλιπτικές αντοχές που κυμαίνονται από 7 ως και πάνω από 100 Nmm⁻², ενώ για τα τούβλα πυριτικού ασβεστίου και σκυροδέματος από 21 ως 60 Nmm⁻². Στον πίνακα 2.10. [12] φαίνεται η ταξινόμηση των αργιλικών τούβλων με βάση την αντοχή τους σε θλίψη κατά BS 3921: 1985.

Πίνακας 2.9. Θλιπτική αντοχή τούβλων (Ελληνικά πρότυπα) [16]

Τύπος τούβλων	Θλιπτική αντοχή (N / mm ²)	
	Μέση	Ελάχιστη μεμονωμένη
Συμπαγή	10.0	8.0
Διάτρητα με κατακόρυφες οπές	10.0	8.0
Διάτρητα με οριζόντιες οπές αποκλειστικά για τοίχους πληρώσεως	3.0	2.5

Πίνακας 2.10. Ταξινόμηση τούβλων βάση θλιπτικής αντοχής (BS 3921: 1985) [12]

Κατηγορία	Θλιπτική αντοχή (N/mm ²)
Τεχνικά (Engineering A)	≥ 70
Τεχνικά (Engineering B)	≥ 50
Υδατοστεγανά (Damp-proof course 1)	≥ 5
Υδατοστεγανά (Damp-proof course 2)	≥ 5
Όλα τα υπόλοιπα	≥ 5

Σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς DIN 105 η αντοχή σε θλίψη των διαφόρων κατηγοριών τούβλων φαίνεται στον πίνακα 2.11. [10]

Στις Η.Π.Α. η αντοχή των τούβλων ποικίλλει ευρέως ανάλογα με το υλικό και τη μέθοδο παρασκευής. Έτσι, υπάρχουν τούβλα με χαμηλές αντοχές της τάξης των 1600 pounds / inch², ενώ άλλα με υψηλό βαθμό όπτησης πλησιάζουν τις 15000 pounds / inch² [14].

Πίνακας 2.11. Θλιπτική αντοχή τούβλων κατά DIN 105 [10]

Τύπος τούβλων	Αντοχή σε θλίψη (kp/cm ²)
Συμπαγή	100 - 150 - 250 - 350
Διάτρητα κατακόρυφων οπών	100 150 250 350
Διάτρητα με διαμήκεις οπές	50 100
Ηχομονωτικά	100 -350

Τέλος, σε διάφορες χώρες τα τούβλα με κριτήριο την αντοχή τους διακρίνονται σε: [11]

1. χαμηλής αντοχής ή πληρώσεως με τάση θραύσης $\sigma_{\theta\rho} = 30-40 \text{ kg/cm}^2$
2. μέσης αντοχής με τάση θραύσης $\sigma_{\theta\rho} = 40-50 \text{ kg/cm}^2$
3. υψηλής αντοχής με τάση θραύσης $\sigma_{\theta\rho} = 50-350 \text{ kg/cm}^2$

2.4.9. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΠΟΤΡΙΨΗ

Η αντοχή των τούβλων σε απότριψη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αντοχή τους σε θλίψη, που με τη σειρά της σχετίζεται με το βαθμό όπτησης των τούβλων. Πράγματι, οι καλά ψημένοι οπτόπλινθοι παρουσιάζουν άριστη ανθεκτικότητα σε τριβή και παρόμοιες καταπονήσεις. [14]

2.5. ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΗ

Η σημασία κατασκευής των οπτόπλινθων θα ήταν πολύ μικρή αν δεν γινόταν χρήση σε τοιχοποιίες. Η ποικιλία και η ελκυστική εμφάνιση των οπτοπλινθοδομών, καθώς και η ανθεκτικότητά τους στο χρόνο, έχουν συμβάλλει ώστε να θεωρούνται τα τούβλα ένα από τα πιο δημοφιλή υλικά κατασκευής για χιλιάδες χρόνια και υπάρχουν πολλά παραδείγματα αρχαίων οπτοπλινθοδομών που ενισχύουν την άποψη αυτή. Οι οπτοπλινθοδομές, εκτός από την εμφάνιση και την ανθεκτικότητά τους, μπορούν να αντέχουν στις καιρικές συνθήκες, να φέρουν φορτία, να πληρούν άλλα δομικά στοιχεία, και να παρέχουν προστασία έναντι της θερμότητας, του ήχου και της φωτιάς. Ιστορικά οι οπτοπλινθοδομές μαζί με τις λιθοδομές ήταν τα μόνα στοιχεία οικοδόμησης κτιρίων. Στις μέρες μας οπτοπλινθοδομές συνδυάζονται με τσιμεντοπλινθοδομές, ώστε να δημιουργηθούν στοιχεία με αυξημένες αντοχές που δεν θα εμφανίζουν τα μειονεκτήματα του καθέ υλικού όταν χρησιμοποιείται χωριστά. [2]

Τα τούβλα σε μια οπτοπλινθοδομή μπορούν να δομηθούν με ποικίλους τρόπους, οπότε και προκύπτουν διάφοροι τύποι τοιχοποιιών που εξετάζονται σε επόμενη παράγραφο.

2.5.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΩΝ

Η κατάταξη των τοιχοποιιών σε κατηγορίες ακολουθεί διάφορα κριτήρια όπως, τη θέση τους στο οικοδομικό έργο, τη λειτουργία ή το σκοπό για τον οποίο προορίζονται, τον τρόπο δόμησης των τούβλων κ.λ.π. Οι κυριότερες κατηγορίες που συναντώνται στη βιβλιογραφία είναι οι ακόλουθες: [11]

α) Ανάλογα με τον τρόπο δόμησης

1. Δρομικές τοιχοποιίες
2. Μπατικές τοιχοποιίες
3. Υπερμπατικές τοιχοποιίες
4. Δικέλυφες τοιχοποιίες
5. Τοιχοποιίες με αλυσσοειδές ή σταυροειδές σύστημα (English bond)
6. Τοιχοποιίες με μικτό σύστημα (Flemish bond)
7. Οπλισμένες τοιχοποιίες

β) Ανάλογα με τη θέση τους στο κτίριο

1. Εξωτερικές τοιχοποιίες (συμπαγείς μίας στρώσης, συμπαγείς δύο στρώσεων, τοιχοποιίες δύο στρώσεων με διάκενο αέρα)

2. Εσωτερικές τοιχοποιίες (διαχωριστικές)
- γ) Ανάλογα με το σκοπό και τη λειτουργία τους
 1. Φέρουσες τοιχοποιίες
 2. Τοιχοποιίες πληρώσεως (διαχωριστικές)
 3. Ειδικές τοιχοποιίες (περίφραξης κ.λ.π.)

Στα επόμενα θα αναφερθούμε σε μερικούς από τους παραπάνω τύπους.

Δρομικές ονομάζονται οι τοιχοποιίες όπου το πάχος τους είναι όσο το πλάτος του τούβλου. Οι οπτόπλινθοι τοποθετούνται με τη μεγάλη τους επιφάνεια, έτσι ώστε η μεγαλύτερη τους διάσταση να είναι παράλληλη προς την όψη του τοίχου.

Μπατικές ονομάζονται οι τοιχοποιίες όπου το πάχος τους είναι όσο το μήκος του τούβλου. Οι οπτόπλινθοι τοποθετούνται με τη μεγάλη τους επιφάνεια, έτσι ώστε η μεγαλύτερη τους διάσταση να είναι κάθετη στην όψη του τοίχου.

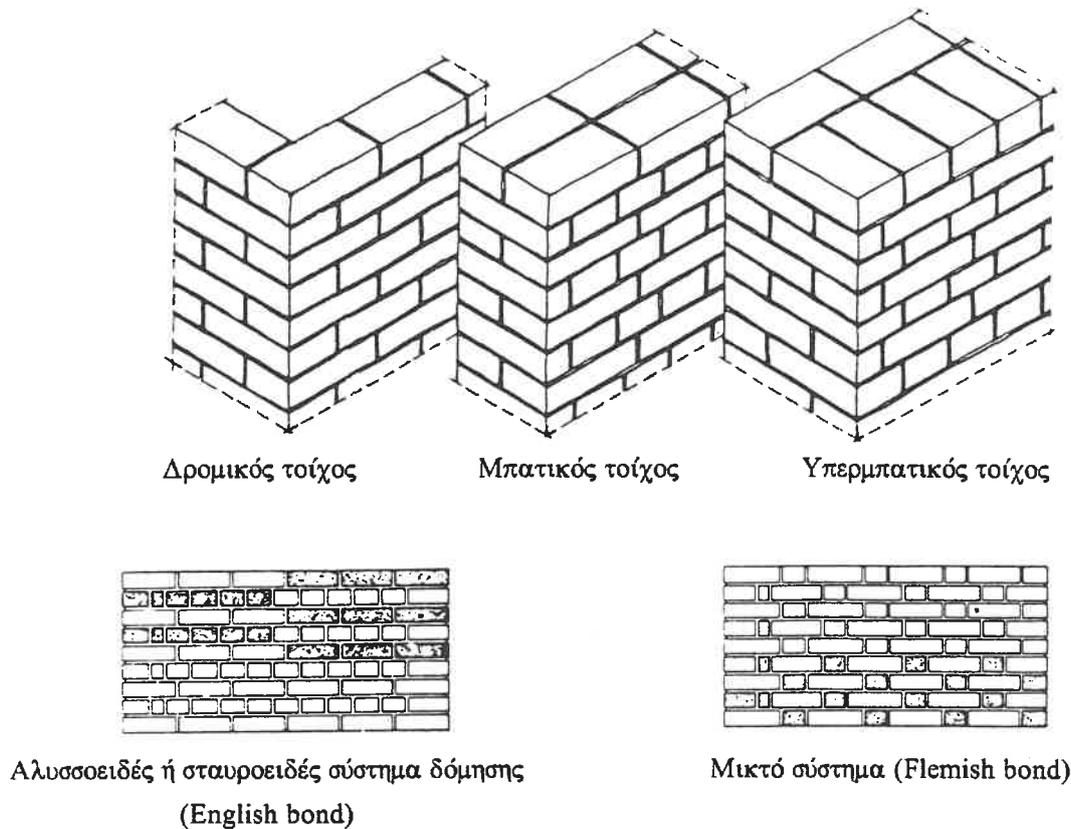
Υπερμπατικές ονομάζονται οι τοιχοποιίες όπου το πάχος τους είναι όσο το άθροισμα του μήκους ενός τούβλου με το πλάτος ενός άλλου. Οι οπτόπλινθοι τοποθετούνται με τη μεγάλη τους επιφάνεια σε δύο στρώσεις. Στη μία στρώση η μεγαλύτερη τους διάσταση είναι κάθετη στην όψη του τοίχου, ενώ στην άλλη στρώση η μεγαλύτερη διάσταση είναι παράλληλη προς την όψη του τοίχου.

Στην αγγλική βιβλιογραφία υπάρχουν οι τύποι των τοιχοποιιών με αλυσσοειδές ή σταυροειδές σύστημα (English bond) και αυτών με μικτό σύστημα (Flemish bond), που αποτελούν τρόπους δόμησης τοίχων με πάχος μεγαλύτερο από το πλάτος του τούβλου [2]. Η δόμηση με αλυσσοειδές ή σταυροειδές σύστημα (English bond) αποτελείται από εναλλασσόμενες σειρές τούβλων τοποθετημένων με τη μεγαλύτερη διάσταση κάθετα και παράλληλα προς την όψη του τοίχου. Τα κάθετα τούβλα τοποθετούνται κεντρικά πάνω στα παράλληλα και οι αρμοί σύνδεσης μεταξύ των παραλλήλων σε όλες τις σειρές βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφη. Στη δόμηση με μικτό σύστημα (Flemish bond), κάθε σειρά αποτελείται από τούβλα τοποθετημένα κατά τον κάθετο και παράλληλο τρόπο εναλλάξ. Και εδώ τα κάθετα τούβλα τοποθετούνται κεντρικά ως προς τα παράλληλα [14]. Στο σχήμα 2.3 [17], [14] παρουσιάζονται οι παραπάνω τύποι δόμησης.

Οπλισμένη ονομάζεται η τοιχοποιία στην οποία έχει τοποθετηθεί οπλισμός για τη βελτίωση της εφελκυστικής, διατμητικής και θλιπτικής αντοχής της. Προσθέτει πλαστιμότητα και αντοχή στην τοιχοποιία που παραλαμβάνει τα φορτία με ελάχιστη παραμόρφωση και μέγιστη απόσβεση της σεισμικής ενέργειας [11]. Υπάρχουν δύο μορφές:

- α) η τοιχοποιία με οπλισμό μέσα στον πυρήνα
- β) η τοιχοποιία με οπλισμό διάσπαρτο μέσα στα λιθοσώματα.

Η συμπαγής τοιχοποιία μιας στρώσης μπορεί να αποτελείται από συμπαγή ή διάτρητα τούβλα. Συμπαγής δηλαδή είναι η ίδια η τοιχοποιία αλλά όχι κατ' ανάγκη τα τούβλα που τη συνθέτουν. Στον τύπο αυτό τα τούβλα επικαλύψεως του εξωτερικού τμήματος συμπλέκονται με αυτά του εσωτερικού (δεν έχουν δηλαδή διαφορετική λειτουργικότητα). Στη συμπαγή τοιχοποιία δύο στρώσεων η επενδυτική στρώση βρίσκεται σε επαφή με την κύρια τοιχοποιία χωρίς ενδιάμεσο κενό αέρος. [10]

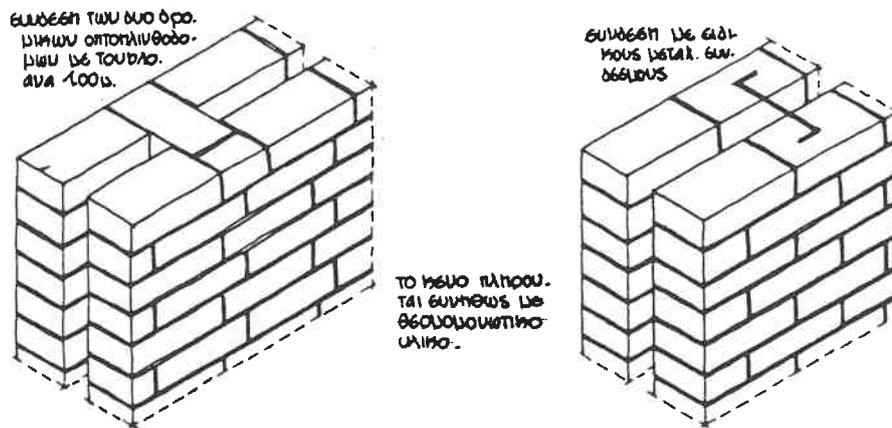


Σχήμα 2.3: Τύποι δόμησης τούβλων σε τοιχοποιίες [17], [14]

Κοίλη ή δικέλυφη ονομάζεται η τοιχοποιία δύο στρώσεων με συνεχές διάκενο αέρος. Κατασκευάζεται σε περιοχές όπου η εξωτερική στρώση είναι εκτεθειμένη σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Σ' αυτόν τον τύπο, η εξωτερική στρώση χρησιμεύει ως ασπίδα κατά της βροχής. Αν η κατασκευή γίνει σωστά, τότε είναι σίγουρο ότι η εσωτερική στρώση παραμένει στεγνή και η θερμομόνωση είναι καλή. Για την καλύτερη απόδοση του εξωτερικού τοίχου στο διάκενο τοποθετείται θερμομονωτικό υλικό. Παράλληλα είναι βασικό να εξαερίζεται το διάκενο ανάμεσα στις δύο στρώσεις για να μπορεί να απομακρύνεται το νερό της βροχής που έχει ενδεχόμενα διαπεράσει την εξωτερική στρώση. Εδώ είναι καλό η πίσω στρώση της τοιχοποιίας να αποτελείται από

τούβλα μεγάλης υδροαπορροφητικότητας, γιατί έτσι διοχετεύεται στο διάκενο η συνεχώς παραγόμενη υγρασία των εσωτερικών χώρων [10].

Εξωτερικά η κοίλη τοιχοποιία έχει την ίδια εμφάνιση με τη συμπαγή τοιχοποιία. Δεν απαιτούνται τούβλα τοποθετημένα κατά τον κάθετο τρόπο, επειδή οι δύο στρώσεις τούβλων συνδέονται μεταξύ τους με ειδικούς μεταλλικούς συνδέσμους. Στο σχήμα 2.4 [17] φαίνεται μια κοίλη τοιχοποιία.



Σχήμα 2.4: Κοίλη (δικέλυφη) τοιχοποιία [17]

2.5.2. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΩΝ

Η οπτοπλινθοδομή είναι ένας συνδυασμός μεμονωμένων τούβλων και κονιάματος που λειτουργεί ως συνδετικό υλικό δημιουργώντας μια συμπαγή και στέρεη κατασκευή. Αν και τα κονιάματα αντιστοιχούν μόνο σε μια αναλογία 7 % του όγκου της συνολικής τοιχοποιίας, έχουν μια ιδιαίτερα σημαντική λειτουργία, που δεν αφορά μόνο στη σύνδεση των διαφόρων τούβλων μεταξύ τους, αλλά και στην αντίσταση της διεύθυνσης της θερμότητας και της υγρασίας.

Κονίαμα ονομάζεται το μείγμα που αποτελείται από λεπτόκοκκα αδρανή (μέγιστη διάσταση κόκκου αδρανούς 4 mm), από κονίες ως συνδετική ύλη και από νερό επεξεργασίας, έχει δε τη βασική ιδιότητα να σκληρύνεται με το χρόνο, ενώ κατά τη διάρκεια της δόμησης έχει ρευστή μορφή. Διατίθενται σε πολλά χρώματα για να ταιριάζουν ή να δημιουργούν αντίθεση με τα τούβλα. Ανάλογα με τη μηχανική τους αντοχή χωρίζονται σε:

- α) χαμηλής αντοχής, δηλαδή κονιάματα χωρίς καμία απαίτηση αντοχής όπως ασβεστοκονιάματα, πηλοκονιάματα κ.λ.π.
- β) μέσης αντοχής, δηλαδή κονιάματα με αντοχή περίπου 25 kg/cm² όπως ασβεστοτσιμεντοκονιάματα, θραϊκά κονιάματα κ.λ.π.

γ) υψηλής αντοχής, δηλαδή κονιάματα με αντοχή περίπου 100 kg/cm^2 όπως τσιμεντοκονιάματα κ.λ.π.

Βασικοί παράγοντες της ποιότητας του κονιάματος είναι η κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου (ώστε να επιτυγχάνεται ο μικρότερος δυνατός όγκος κενών), η κατάλληλη αναλογία της ποσότητας της κονιάς προς την άμμο, η μορφή των κόκκων της άμμου και το ποσοστό του νερού επεξεργασίας.

Ο έλεγχος καταλληλότητας ενός κονιάματος αφορά την αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό, την εργασιμότητά του, την ικανότητα συγκράτησης του νερού επεξεργασίας και τις αναλογίες σύνθεσης. Με πρόσθετα επιτυγχάνεται βελτίωση των ιδιοτήτων των κονιαμάτων.

Τα συνηθέστερα κονιάματα που χρησιμοποιούνται στο χτίσιμο είναι τα ασβεστοκονιάματα, τα τσιμεντοκονιάματα, τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα και τα μαρμαροκονιάματα.

Τα ασβεστοκονιάματα έχουν ως κονία πολύ σβησμένης ασβέστου, ένα μείγμα δηλαδή νερού με υδροξείδιο του ασβεστίου. Ως αδρανές χρησιμοποιείται άμμος λατομείου, χωρίς να αποκλείεται η ορυκτή αλλά ακόμη και η ποταμίσια ή θαλασσινή. Η κοκκομετρική σύνθεση της άμμου πρέπει να είναι συνεχής, με διάμετρο μεγαλύτερων κόκκων 3 mm . Στα ασβεστοκονιάματα οπτοπλινθοδομών η αναλογία υδρασβέστου προς άμμο είναι $1:2.5$ με $1:3$

Τα τσιμεντοκονιάματα είναι μείγματα τσιμέντου, άμμου και νερού. Ανάλογα με την περιεκτικότητα τσιμέντου ανα κυβικό μέτρο, διακρίνονται σε:

- α) πολύ ισχυρά, με 900 kg τσιμέντο
- β) ισχυρά, με 700 kg τσιμέντο
- γ) σχετικά ισχυρά, με 600 kg τσιμέντο
- δ) αρκετά ισχυρά, με 450 kg τσιμέντο
- ε) κανονικά, με $350\text{-}450 \text{ kg}$ τσιμέντο
- στ) ισχνά, με $200\text{-}250 \text{ kg}$ τσιμέντο

Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα είναι ενισχυμένα με τσιμέντο ασβεστοκονιάματα. Αυτό συντείνει στην αύξηση της αντοχής και στην ταχύτερη πήξη. Όταν η ποσότητα τσιμέντου είναι μεγάλη, το κονίαμα παρουσιάζει συμπεριφορά που είναι ανάλογη του τσιμεντοκονιάματος.

Τέλος, τα μαρμαροκονιάματα είναι μείγματα ασβέστη, μαρμαρόσκονης και 0.20 κ.μ. νερού. Χρησιμοποιούνται, όταν επιδιώκεται εκτός των άλλων και αισθητική εμφάνιση.

Η αντοχή των κονιαμάτων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αντοχή των τοιχοποιιών. Υπερβολική όμως αντοχή κονιάματος μπορεί να προκαλέσει ρηγματώσεις λόγω συστολής. Η αντοχή των κονιαμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της άμμου. Η ανάμειξη πρέπει να είναι επιμελημένη και να γίνεται το πολύ μέσα σε δύο ώρες από τη στιγμή που προστέθηκε το νερό.

2.5.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΩΝ

2.5.3.1. Στατική συμπεριφορά

Οι οπτοπλινθοδομές μπορούν να λειτουργήσουν πολύ ικανοποιητικά ως φέροντες οργανισμοί και να παραλάβουν φορτία από διάφορες καταπονήσεις. Σε πολλές πολυόροφες κατασκευές, η μεταφορά των φορτίων στο έδαφος γίνεται αποκλειστικά από οπτοπλινθοδομές.

Ωστόσο, εκείνο που ενδιαφέρει δεν είναι μόνο η δυνατότητα παραλαβής κατακόρυφων φορτίων. Οι οπτοπλινθοδομές χρησιμοποιούνται και ως εξωτερικοί τοίχοι, με συνέπεια να εκτίθενται στις δράσεις του ανέμου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αναπτύσσονται καμπτικές ροπές σε δύο διευθύνσεις, όπως σε μία πλάκα που φορτίζεται με ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο κάθετα στην επιφάνειά της. Η καμπτική αντοχή μιας οπτοπλινθοδομής επηρεάζεται από τον τύπο των τούβλων και, αν τα τούβλα που χρησιμοποιούνται είναι αργιλικά, από την απορροφητικότητά τους σε νερό. Το κονίαμα επίσης, επηρεάζει την καμπτική αντοχή, όπως και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται το χτίσιμο των τούβλων (υγρές, ξηρές). [2]

2.5.3.2. Μετακινήσεις οπτοπλινθοδομών

Τα αίτια μετακινήσεως των τοίχων μπορεί να είναι: [11]

- α) θερμοκρασιακές μεταβολές που προκαλούν συστολές - διαστολές στα επιμέρους υλικά που τον αποτελούν,
- β) μεταβολή των διαστάσεων ή και μόνιμες παραμορφώσεις λόγω υπερκαταπόνησης από τα επιβαλλόμενα φορτία,
- γ) ιδιαίτερη συμπεριφορά των υλικών απέναντι στην υγρασία (π.χ. οι οπτόπλινθοι παρουσιάζουν μη αντιστρεπτές διαστολές με την πάροδο του χρόνου, ενώ οι τσιμεντόπλινθοι συστέλλονται και διαστέλλονται ανάλογα με τις υγρές και ξηρές περιόδους).

Για το λόγο αυτό πρέπει να διακόπτεται η συνέχεια της οπτοπλινθοδομής από αρμούς, τόσο κατά το μήκος της όσο και κατά το ύψος της. Στις τοιχοποιίες αργιλικών τούβλων οι αρμοί αυτοί ονομάζονται αρμοί διαστολής, ενώ σ' αυτές των τούβλων από πυριτικό ασβέστιο και τσιμέντο αρμοί συστολής. Σύμφωνα με το Βρετανικό κανονισμό προτείνεται ευχέρεια μετακίνησης ενός χιλιοστού για κάθε μέτρο τοίχου. Έτσι, σε ένα τοίχο 12 μέτρων πρέπει να δημιουργείται αρμός πάχους 12 χιλιοστών [2]. Κατά τα αμερικάνικα πρότυπα, τοίχοι μήκους μέχρι 200 πόδια δε χρειάζονται αρμούς, ενώ σ' αυτούς με μεγαλύτερο μήκος απαιτούνται κάθε 200 πόδια [14].

2.5.3.3. Θερμομόνωση

Στα σύγχρονα κτίρια η οπτοπλινθοδομή μόνη της δε λειτουργεί ως φράγμα στις απώλειες θερμότητας. Οι απαιτήσεις εξοικονόμησης ενέργειας για τη θέρμανση των εσωτερικών χώρων έχουν ως αποτέλεσμα να επιδιώκονται τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας πολύ χαμηλότερες από αυτές που μπορούν να επιτευχθούν με ένα μόνο συμπαγή τοίχο. Για το λόγο αυτό, οι περισσότερες οπτοπλινθοδομές εξωτερικών τοιχοποιιών αποτελούν μέρος ενός σύνθετου συστήματος. Αυτό μπορεί να είναι, και συνήθως είναι, μια εξωτερική τοιχοποιία δύο στρώσεων με διάκενο αέρα (κοίλος ή δικέλυφος τοίχος), όπως επίσης και η χρήση οπτοπλινθοδομής στην οποία θα έχει τοποθετηθεί υψηλής ποιότητας θερμομονωτικό υλικό (πολυστερίνη). Για να επιτευχθούν οι χαμηλές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας σε έναν κοίλο τοίχο, συχνά στο κενό ανάμεσα στις δύο στρώσεις παρεμβάλλεται θερμομονωτικό υλικό. [2]

2.5.3.4. Υγρομόνωση

Η εξωτερική στρώση μιας κοίλης τοιχοποιίας δεν θα πρέπει ποτέ να θεωρείται ως υδατοστεγανή, αλλά θα πρέπει να προδιαγράφεται και να χτίζεται έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η αντοχή της στη βροχή. Όλοι οι σύνδεσμοι (αρμοί κατασκευής) μεταξύ των τούβλων πρέπει να πληρούνται συμπαγώς με κονίαμα. Γενικά θεωρείται ότι η χρήση ασβέστη στο κονίαμα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνάφειας μεταξύ τούβλων και κονιάματος (πρόσφυση), οπότε και την αντίσταση στη βροχή της οπτοπλινθοδομής [2]. Σημαντική είναι τέλος και η διαμόρφωση των αρμών. Πρέπει να αποξέονται σε βάθος τουλάχιστον 15 mm υπό οξεία γωνία, τα δε υπολείμματα του κονιάματος πρέπει να απομακρύνονται με βούρτσα [10].

2.5.3.5. Ηχομόνωση

Οι τοιχοποιίες από οπτόπλινθους αποτελούν άριστα φράγματα στη μετάδοση του ήχου. Η αποτελεσματικότητα ενός ηχητικού φράγματος συνίσταται στην ποσότητα κατά την οποία μειώνεται το επίπεδο θορύβου και εκφράζεται σε ντεσιμπέλ (dB). Για τους συμπαγείς τοίχους η μέση ηχομόνωση στη συνήθη διακύμανση συχνοτήτων εξαρτάται ευρέως από το βάρος ανά μονάδα επιφάνειας του τοίχου. Κάθε διπλασιασμός του βάρους προσθέτει περίπου 6 dB στην τιμή της ηχομόνωσης. Αυτό σημαίνει ότι ένας τοίχος πάχους ενός τούβλου (τοποθετημένου κατά το πλάτος του) παρέχει καλύτερη ηχομόνωση κατά 6 dB από έναν τοίχο πάχους μισού τούβλου (τοποθετημένου κατά το ύψος του), αλλά ότι για να πετύχουμε μια νέα βελτίωση κατά 6 dB θα έπρεπε να διπλασιάσουμε το πάχος σ' αυτό των δύο τούβλων, κάτι που είναι οικονομικά ασύμφορο [2]. Οι κοίλοι τοίχοι, εξαιτίας του κενού ανάμεσα στις δύο στρώσεις τους, παρουσιάζουν αυξημένη αντίσταση στη μετάδοση του ήχου [14].

2.5.3.6. Πυραντίσταση

Οι οπτοπλινθοδομές παρουσιάζουν πολύ ικανοποιητική αντίσταση στη διέλευση της φωτιάς, όταν μάλιστα πρόκειται για τοιχοποιίες πάχους μεγαλύτερου από 20 cm και για συμπαγή τούβλα. Οι κανονισμοί δίνουν για τα διάφορα πάχη των τοίχων τις χρονικές περιόδους αντίστασης στη φωτιά. [11]

2.5.3.7. Ανθεκτικότητα

Οι οπτοπλινθοδομές που προορίζονται ως εσωτερικές τοιχοποιίες πρέπει να αντέχουν στον παγετό και στην επίδραση διαλυτών αλάτων στη χρονική περίοδο που εκτίθενται στις καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια κατασκευής τους. Τα περισσότερα τούβλα έχουν επαρκή ανθεκτικότητα και καλύπτουν την παραπάνω περίπτωση.

Στις τοιχοποιίες που θα εκτίθενται στις καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της ζωής τους, είναι πολύ σημαντική η περιεκτικότητα των τούβλων σε διαλυτά άλατα κυρίως θειικά που δημιουργούν εξανθήσεις και συμβάλουν στην προσβολή της τοιχοποιίας από θειικά ιόντα. Ωστόσο, πρέπει να γίνεται διάκριση μεταξύ των εξανθήσεων που επηρεάζουν την εμφάνιση της τοιχοποιίας, αλλά όχι και την ευστάθειά της και την προσβολή της από θειικά που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές. Η παρουσία των διαλυτών αλάτων μπορεί να προέρχεται είτε από τα ίδια τα τούβλα, είτε από τα κονιάματα, είτε ακόμα και από το έδαφος. [2]

Η κρυσταλλοποίηση των διαλυτών αλάτων στην εξωτερική πλευρά των οπτοπλινθοδομών προκαλεί εξανθήματα με τη μορφή λευκών κηλίδων. Το φαινόμενο των εξανθήσεων έχει ως απαραίτητη προϋπόθεση τη συνύπαρξη ποσότητας νερού που καθώς απομακρύνεται παρασύρει τα διαλυμένα άλατα στην επιφάνεια της τοιχοποιίας. Ιδιαίτερα όταν πρόκειται για νέες τοιχοποιίες είναι παροδικές και συνήθως εξαφανίζονται, όταν οι τοίχοι στεγνώσουν. Για να αποφευχθούν οι εξανθήσεις θα πρέπει να αποφεύγεται ο διαποτισμός των τοίχων κατά τη διάρκεια κατασκευής τους [11].

Σημαντική είναι επίσης και η προσβολή των κονιαμάτων από θειικά άλατα, που μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή τους λόγω ρηγματώσεων. Για την αντιμετώπιση αυτού του κινδύνου χρησιμοποιείται δυνατό κονίαμα με αυξημένη περιεκτικότητα τσιμέντου που εμποδίζει τη θείωση (αναλογίες: τσιμέντο 1: άσβεστος ½: άμμος 4 ½). Σε κάθε περίπτωση πάντως πρέπει να διατηρούνται οι τοίχοι στεγνοί.

Εκτός από τα θειικά άλατα ένας άλλος κίνδυνος που διατρέχουν οι τοιχοποιίες είναι ο παγετός. Η βλαπτική επίδραση του παγετού σε διαποτισμένη τοιχοποιία οφείλεται στη διαστολή του νερού κατά 9 % περίπου, όταν μετατρέπεται σε πάγο. Η πίεση που ασκεί ο πάγος έχει επακόλουθο την αποφλοιώση, την αποσύνθεση, αλλά ακόμη και τη θραύση των τούβλων, όταν δεν είναι ανθεκτικά σε παγετό ή δεν έχουν ψηθεί αρκετά [11].

3. ΦΥΣΙΚΟΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ - ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι φυσικοί λίθοι είναι στερεά σώματα, ποικίλων σχημάτων και διαστάσεων που προέρχονται από εξόρυξη φυσικών πετρωμάτων. Το σχήμα τους μπορεί να είναι κανονικό ή τελείως ακανόνιστο. Γενικά επιδιώκεται να έχουν πρισματική μορφή, όπου η μία διάσταση είναι μεγαλύτερη από τις άλλες δύο ή πλακοειδή μορφή, όπου οι δύο διαστάσεις είναι σημαντικά μεγαλύτερες από την τρίτη.

Οι διαστάσεις των φυσικών λίθων κυμαίνονται μεταξύ ευρέων ορίων. Χρησιμοποιούνται πλακοειδείς λίθοι πάχους λίγων εκατοστών και μεγάλοι ογκόλιθοι με διαστάσεις που υπερβαίνουν το μέτρο. Πάντως για να χαρακτηριστεί ένα προϊόν του στερεού φλοιού της γης ως φυσικός λίθος πρέπει μια διαστασή του να υπερβαίνει τα 15 cm.

Οι φυσικοί λίθοι λαμβάνονται από τα πετρώματα, που συγκροτούν το επιφανειακό στερεό στρώμα του φλοιού της γης. Αποτελούν βασικό υλικό για την κατασκευή ορισμένων τεχνικών έργων. Χρησιμοποιούνται χωρίς προηγουμένως να έχουν υποστεί φυσική ή χημική μετατροπή. Σε μερικές περιπτώσεις υφίστανται μηχανική κατεργασία, για να αποκτήσουν τις επιθυμητές διαστάσεις και σχήματα. Διατηρούν επομένως όλα τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των πετρωμάτων από τα οποία προέρχονται. [1]

Οι δομικοί λίθοι χρησιμοποιούνται σε κτίρια ως δομικά αλλά και ως διακοσμητικά στοιχεία από τα πανάρχαια χρόνια. Στο Μεσαίωνα, οι λίθοι που χρησιμοποιούνταν σε κάποιο συγκεκριμένο έργο συνήθως προέρχονταν από γειτονικά λατομεία. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα έργα εκείνης της περιόδου έχουν κατασκευαστεί από τοπικά υλικά, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις. [2]

Στις μέρες μας, με την πρόοδο της τεχνολογίας των δομικών υλικών, τη βελτίωση και την παραγωγή νέων τύπων υλικών και κυρίως με την ευρεία χρήση του σιδήρου, του σκυροδέματος και των τεχνητών λίθων, άρχισαν να παραμερίζονται από τα περισσότερα έργα και να αντικαθίστανται από τα νέα αυτά υλικά. Ωστόσο, στην Ελλάδα εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα λόγω κυρίως της χαμηλής τιμής και της μεγάλης αφθονίας τους. Οι κυριότερες εφαρμογές τους είναι οι θεμελιώσεις, οι τοίχοι αντιστήριξης οδών και σιδηροδρομικών γραμμών, τα φράγματα βαρύτητας, ορισμένα λιμενικά έργα, κτίρια μνημειακού χαρακτήρα (π.χ. εκκλησίες) και άλλα

οικοδομικά έργα όπως αγροτικές κατοικίες, αποθήκες κ.λ.π. Τέλος ορισμένοι φυσικοί λίθοι εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας των χρωματισμών και των σχεδίων που παρουσιάζουν, όπως π.χ. τα μάρμαρα, τη σχετικά εύκολη επεξεργασία τους και τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους, αποτελούν το καλύτερο υλικό για τη διακόσμηση και επένδυση τεχνικών έργων. [1]

Οι φυσικοί λίθοι είναι σώματα ανομοιογενή, δηλαδή δεν έχουν σταθερή χημική ή ορυκτολογική σύσταση. Οι ιδιότητες που παρουσιάζουν δεν είναι σταθερές και ούτε ανεπτυγμένες όλες στον ίδιο βαθμό. Για παράδειγμα υπάρχουν ασβεστόλιθοι της ίδιας περιόδου χημικής ή ορυκτολογικής σύστασης, αλλά με μεγάλες διαφορές στο ειδικό βάρος, την πυκνότητα, το χρώμα και γενικότερα στην εμφάνισή τους. Επίσης οι λίθοι δεν είναι σώματα συμπαγή, αλλά πορώδη. Αποτελούνται από κόκκους που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με μια ορυκτή συγκολλητική ύλη. Οι κόκκοι μπορεί να είναι μικρού μεγέθους (διακρίνονται μόνο με μικροσκόπιο) ή να είναι πολύ μεγαλύτεροι και ορατοί δια γυμνού οφθαλμού. Τέλος οι φυσικοί λίθοι, όπως και όλα τα υλικά σώματα φθείρονται με το πέρασμα του χρόνου. Η διάρκεια του κύκλου ζωής τους εξαρτάται:[1]

- α) Από τους εξωτερικούς παράγοντες (περιβαλλοντικές συνθήκες)
- β) Από την ποιότητα του ίδιου του λίθου, δηλαδή από τις ιδιότητές του
- γ) Από τα μέτρα που λαμβάνει ο ίδιος ο άνθρωπος για να τους προστατέψει ή για να αυξήσει ορισμένες ιδιότητές τους.

3.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ - ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ

3.2.1. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η επεξεργασία των φυσικών λίθων αποσκοπεί αφ' ενός στην απόκτηση των επιθυμητών διαστάσεων και σχήματος και αφ' ετέρου στην εξασφάλιση της επιθυμητής εμφάνισής τους όπου είναι ορατοί. Η επεξεργασία μπορεί να γίνει είτε χειρωνακτικά με χρήση διαφόρων εργαλείων είτε μηχανικά. [18]

Οι φυσικοί λίθοι ανάλογα με το βαθμό κατεργασίας τους κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. Παρακάτω περιγράφονται οι κυριότερες από αυτές.

α) Αργοί λίθοι

Αργοί λίθοι ονομάζονται οι τελείως ακατέργαστοι λίθοι που χρησιμοποιούνται στις συνήθειες λιθοδομές. Οι λίθοι αυτοί, κατά το χτίσιμο, υφίστανται μια πρόχειρη επεξεργασία, η οποία συνίσταται στην αποκοπή των αιχμών τους για να αποκτήσουν στοιχειώδεις επιφάνειες διάστρωσης και όψης στη λιθοδομή και γενικότερα για τη βελτίωση της ευστάθειάς τους. [19]

Το μέγεθός τους, όσων προορίζονται για τοιχοδομές, ποικίλλει. Δεν πρέπει όμως να υπερβαίνει κάποιο όριο, για να είναι εύκολη η μετακίνησή τους κατά το χτίσιμο, όπως επίσης και να μην είναι οι διαστάσεις τους μικρότερες από 15 cm. Το σχήμα τους πρέπει να τείνει προς το πρισματικό. [1]

β) Ημίξεστοι ή ημιλάξευτοι λίθοι

Ημίξεστοι ή ημιλάξευτοι λίθοι ονομάζονται εκείνοι που υφίστανται λάξευση στο εργοτάξιο, ώστε να αποκτήσουν επιθυμητό σχήμα, διαστάσεις και σχετικά ομαλή επιφάνεια. Συνήθως γίνεται επεξεργασία μόνο των επιφανειών που θα είναι ορατές μετά τη δόμηση. Το σχήμα και οι διαστάσεις τους καθορίζονται ανάλογα με τη χρήση τους. [19], [1]

γ) Ξεστοί ή λαξευτοί λίθοι

Ξεστοί ή λαξευτοί ονομάζονται οι ημίξεστοι ή ημιλάξευτοι λίθοι που υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία ώστε όλες οι επιφάνειές τους να γίνουν σχετικά επίπεδες. Το σχήμα τους είναι πρισματικό ή κυβικό. Χρησιμοποιούνται σε μνημειακές κατασκευές ή σε κτίρια, όπου για αισθητικούς λόγους ο τοίχος δεν καλύπτεται με επίχρισμα. Το μέγεθός τους ποικίλλει ανάλογα με την προέλευση του λίθου και τη θέση στην οποία πρόκειται να τοποθετηθεί. [19], [1]

δ) Μηχανικά κατεργασμένοι λίθοι

Τα τελευταία χρόνια με τις τελειοποιήσεις των κοπτικών μηχανημάτων και εργαλείων έχει αρχίσει να εφαρμόζεται σε μικρή κλίμακα, η κατεργασία λίθων σε κανονικές διαστάσεις. Η εργασία αυτή γίνεται σε λατομεία με μαλακούς ασβεστόλιθους ή παρόλιθους και με τον τρόπο αυτό παράγονται από φυσικούς λίθους στοιχεία λιθοδομών με κανονικές τυποποιημένες διαστάσεις, όπως ακριβώς επιτυγχάνεται με τους τεχνητούς λίθους. [19]

ε) Ογκόλιθοι

Είναι φυσικοί λίθοι μεγάλου ή μεσαίου μεγέθους και συνήθως έχουν αποστρογγυλεμένο σχήμα. Με αυτούς δεν είναι δυνατόν να γίνει κανονική δόμηση, ακόμη και αν αποσχιστούν σε μικρότερα τεμάχια. [10]

στ) Πλάκες

Οι πλάκες χαρακτηρίζονται από το μικρό πάχος τους που δεν υπερβαίνει τα 5 cm. Σε πολλές περιπτώσεις οι πλάκες έχουν πάχος 2 cm ή και μικρότερο. Οι άλλες διαστάσεις μήκους και πλάτους ποικίλλουν ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο προορίζονται και σε πολλές περιπτώσεις προσαρμόζονται ειδικά στο χώρο που θα τοποθετηθούν. Ανάλογα με τη χρησιμοποίησή τους, ονομάζονται πλάκες επίστρωσης, πλάκες στέγασης και πλάκες διακόσμησης.

Το σχίσσιμο των φυσικών λίθων σε πλάκες επιτυγχάνεται είτε με το χέρι, όταν τα πετρώματα είναι σχιστολιθικά, δηλαδή παρουσιάζουν φυσικές επιφάνειες σχισμού, είτε με μηχανικά μέσα. Ο πρώτος τρόπος του φυσικού σχισμού χρησιμοποιείται για τις πλάκες στέγασης και για ορισμένες πλάκες επίστρωσης. Η επιφάνειά τους δεν είναι τελείως επίπεδη αλλά αρκετά ομαλή και προτιμούνται τα πετρώματα που έχουν μεγαλύτερη ομαλότητα επιφανειών σχισμού. Οι πλάκες διακόσμησης και οι περισσότερες από τις πλάκες επίστρωσης προέρχονται από ογκώδη τεμάχια λίθων, τα οποία σχίζονται με ειδικές χαλύβδινες ταινίες ή και με παράλληλες σειρές από χαλύβδινες ταινίες σε κανονικά πάχη και επίπεδες επιφάνειες. Μετά το σχίσσιμο κόβονται στα επιθυμητά μεγέθη μήκους και πλάτους. [19]

Μετά το σχίσσιμο οι πλάκες που προορίζονται για διακοσμητικές επενδύσεις υποβάλλονται σε συμπληρωματικές επεξεργασίες για να αποκτήσουν καλύτερη εμφάνιση και μεγαλύτερη ανθεκτικότητα. Οι επεξεργασίες αυτές είναι οι εξής: [19]

- Μια πρώτη χονδρική λείανση που λέγεται προλείανση. Η εργασία αυτή γίνεται με προστριβή της επιφάνειας με ένα λειαντικό μέσο και ταυτόχρονη διαβροχή με νερό.
- Στις περιπτώσεις που η επιφάνεια των πλακών παρουσιάζει μικροελαττώματα (μικρορωγμές κ.λ.π.) επακολουθεί το στοκάρισμα που γίνεται με μαρμαρόστοκο. Αν

τυχόν παρουσιάζονται μεγαλύτερα ελαττώματα (π.χ. οπές), επισκευάζεται με κομμάτια από το ίδιο πέτρωμα που κολλούνται με ειδικές κόλλες. Το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό τόσο από άποψη αντοχής όσο και αισθητικά.

- Το επόμενο στάδιο επεξεργασίας των διακοσμητικών πλακών είναι η λείανση. Γίνεται με πολύ λεπτότερα λειαντικά μέσα όπως η λεπτή σμύριδα, τα ρινίσματα μολύβδου κ.λ.π. Η τριβή της επιφάνειας γίνεται με κατάλληλο εργαλείο (σβούρα). Με τη λείανση, εκτός από τη βελτίωση της εμφάνισης των επιφανειών επιτυγχάνεται και η καλύτερη προστασία από τις εξωτερικές επιδράσεις. [1]

- Η τελική επεξεργασία που γίνεται σε πολυτελείς εργασίες είναι η στίλβωση, με την οποία δημιουργούνται στιλπνές και λαμπρότερες επιφάνειες, και αναδεικνύονται τα χρώματα και τα σχήματα του ιστού των πλακών. Η στίλβωση γίνεται μηχανικά ή χειρωνακτικά με διάφορα στιλβωτικά μέσα ανάλογα με τη σκληρότητα και το χρώμα της πλάκας. Στίλβωση επιδέχονται οι σκληροί λίθοι όπως τα μάρμαρα, οι γρανίτες κ.λ.π. [1]

3.2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Όπως είναι γνωστό, οι φυσικοί λίθοι λαμβάνονται από τα συμπαγή επιφανειακά πετρώματα του φλοιού της γης. Επομένως η μελέτη και η διαίρεση των λίθων κατά κατηγορίες είναι η ίδια με αυτή των πετρωμάτων από τα οποία προέρχονται.

Τα πετρώματα είναι φυσικά συμπαγή υλικά αποτελούμενα από ένα ή περισσότερα ορυκτά συνδεδεμένα μεταξύ τους [19]. Ανάλογα με τη γεωλογική τους προέλευση, δηλαδή ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας τους κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: τα πυριγενή, τα ιζηματογενή και τα μεταμορφωσιγενή.

α) Πυριγενή πετρώματα

Πυριγενή πετρώματα ονομάζονται εκείνα που δημιουργήθηκαν από τη στερεοποίηση του μάγματος, δηλαδή της διάπυρης μάζας που βρίσκεται σε τεττηγμένη κατάσταση στο εσωτερικό της γης. Προέρχονται από κρυσταλλοποίηση ή στερεοποίηση των λειωμένων υλικών, είτε μέσα στη γη, είτε στην επιφάνειά της. Η δομή τους είναι κοκκώδης ή κρυσταλλική ή υαλώδης. Το μέγεθος του κόκκου των πυριγενών πετρωμάτων εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία τα διάπυρα υλικά ψύχονται. Αργός ρυθμός ψύξης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χοντρόκοκκων πετρωμάτων, ενώ ένας γρήγορος τη δημιουργία λεπτόκοκκων. [2]

Τα πυριγενή πετρώματα υποδιαιρούνται σε δύο κατηγορίες, τα πλουτώνεια, τα οποία σχηματίστηκαν από στερεοποίηση του μάγματος βαθιά κάτω από την επιφάνεια

της γης και τα ηφαιστειογενή τα οποία σχηματίστηκαν στην επιφάνεια της γης από στερεοποίηση των διάπυρων υλικών των ηφαιστείων. [19]

Τα πυριγενή πετρώματα είναι κατά κανόνα πολύ σκληρά, ανθεκτικά, και ομοιογενή, δηλαδή ο καταμερισμός των διαφόρων συστατικών τους είναι περίπου ο ίδιος σε όλη τη μάζα τους. Δεν παρουσιάζουν στρωσιγενείς επιφάνειες και είναι κατάλληλα για την παραγωγή υλικών για τα τεχνικά έργα. [1], [19]

β) Ιζηματογενή πετρώματα

Ιζηματογενή πετρώματα ονομάζονται εκείνα τα οποία σχηματίστηκαν με μεταφορά και απόθεση υλικών από προϋπάρχοντα πετρώματα με την ενέργεια κυρίως του νερού και του αέρα.

Είναι δευτερογενή πετρώματα. Τα υλικά τους μετακινήθηκαν από την αρχική τους θέση σε μορφή τεμαχιδίων ή σαν διαλυτά άλατα ή αιωρήματα μέσα στο νερό, αποτέθηκαν στις νέες θέσεις και σχημάτισαν χαλαρά ιζήματα. Τα ιζήματα αυτά στερεοποιήθηκαν μετά από μακρά περίοδο πύσεων από τις υπερκείμενες νεότερες αποθέσεις και από τις μετακινήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά καιρούς στην επιφάνεια της γης και οι κόκκοι τους συγκολλήθηκαν με ορυκτές συγκολλητικές ύλες. Με τον τρόπο αυτό οι μάζες του νέου πετρώματος χωρίστηκαν σε στρώσεις που διακρίνονται εύκολα από τη διαφορά σύνθεσης, σκληρότητας και χρώματος των υλικών που τις αποτελούν. Μερικά ιζηματογενή πετρώματα έχουν ενσωματωμένες στη μάζα τους και οργανικές ουσίες, π.χ. όστρακα, κελύφη, μικροοργανισμούς, κ.λ.π. Το ποσοστό των πετρωμάτων αυτών είναι πολύ μικρό σε σχέση με το σύνολο των ιζηματογενών πετρωμάτων που υπάρχουν στο φλοιό της γης [19].

Τα ιζηματογενή πετρώματα γενικά σχίζονται εύκολα κατά τις επιφάνειες επαφής των διαφόρων στρώσεων. Υπάρχουν όμως εξαιρέσεις κατά τις οποίες η επιφάνεια σχισμού είναι διαφορετική από την επιφάνεια επαφής. Αυτό οφείλεται στην ενέργεια μεγάλων εξωτερικών δυνάμεων με διεύθυνση που δεν είναι κάθετη στην επιφάνεια επαφής. Η επιφάνεια επαφής καθώς και η επιφάνεια σχισμού έχουν μεγάλη σημασία στην εξόρυξη λίθων από ιζηματογενή πετρώματα και είναι απαραίτητο να προσδιορίζονται κατά την επιλογή του λατομείου.

Η αντοχή των ιζηματογενών πετρωμάτων εξαρτάται κυρίως από τη φύση της συγκολλητικής ύλης που συγκρατεί τους κόκκους μεταξύ τους, αλλά και από την αντοχή των ίδιων των κόκκων. [1]

γ) Μεταμορφωσιγενή πετρώματα

Μεταμορφωσιγενή πετρώματα ονομάζονται εκείνα που δημιουργήθηκαν από την επανακρυστάλλωση ή μεταμόρφωση πυριγενών ή ιζηματογενών πετρωμάτων.

Σχηματίστηκαν με την επίδραση διαφόρων εξωτερικών παραγόντων όπως ισχυρών πιέσεων, υψηλών θερμοκρασιών ή με δράση διαφόρων υγρών και αερίων που βρέθηκαν στο περιβάλλον τους. Αποτέλεσμα της επίδρασης αυτής είναι να υποστούν σοβαρές χημικές και μηχανικές αλλοιώσεις και να παρουσιάζουν σήμερα κοινά χαρακτηριστικά τόσο με τα πυριγενή όσο και με τα ιζηματογενή πετρώματα. Έχουν π.χ. κρυσταλλικό ιστό, αλλά ορισμένα είναι διατεταγμένα και κατά στρώσεις. [18]

3.3. ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΕΡΟΙ ΦΥΣΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ

3.3.1. ΛΙΘΟΙ ΑΠΟ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Οι πιο σημαντικοί λίθοι για δομική χρήση που προέρχονται από πυριγενή πετρώματα είναι:

α) Γρανίτης

Ο γρανίτης είναι το πιο χαρακτηριστικό από τα πλουτώνια πυριγενή πετρώματα. Αποτελείται από τρία βασικά ορυκτά, τον χαλαζία (διοξείδιο του πυριτίου), τον άστριο (πυριτικό αργίλιο με κάλιο κ.λ.π.) και το μαρμαρυγία (ένυδρο πυριτικό αργιλιοκάλιο) σε διάφορες αναλογίες μεταξύ τους. Η ποιότητα ενός γρανίτη εξαρτάται από την αναλογία των βασικών ορυκτών του και από το μέγεθος των κόκκων του, με καλύτερης ποιότητας τους πιο λεπτόκοκκους και πιο πλούσιους σε χαλαζία. [19]

Ο γρανίτης είναι από τα σκληρότερα πετρώματα, με ειδικό βάρος 2640-2760 kg/m³. Η αντοχή του σε θλίψη είναι κατά μέσο όρο 1500 kg/cm², αλλά μπορεί να φτάσει τα 2200 kg/cm². Οι Ελληνικοί γρανίτες παρουσιάζουν μικρότερες αντοχές που κυμαίνονται από 800-1500 kg/cm². Το πορώδες του είναι χαμηλό, είναι ανθεκτικός στις καιρικές συνθήκες, ενώ θρυμματίζεται σε περίπτωση πυρκαγιάς από το νερό καταστολής της φωτιάς λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Είναι σχετικά δύσκολος στην κατεργασία, ωστόσο επιδέχεται λείανση. Το χρώμα του ποικίλλει από ανοιχτό γκρι έως μαύρο και από κιτρινωπό έως ερυθρό. [1], [2], [10], [19]

Χρησιμοποιείται όχι ευρέως για κοινούς λίθους οικοδομών, αλλά κυρίως ως διακοσμητικός λίθος.

β) Οφίτης ή σερπεντίνης

Το όνομά του οφείλεται στη μορφή των διαφόρων φλεβών (νερών), που διασχίζουν τη μάζα του. Αποτελείται από διάφορα ορυκτά, από τα οποία το κυριότερο είναι το ομώνυμο οφίτης ή σερπεντίνης (ένυδρο βασικό πυριτικό μαγνήσιο). Σε περίπτωση που έχει και ασβεστολιθικά υλικά, λέγεται οφίτασβεστίτης.

Η σκληρότητα του λίθου αμέσως μετά την εξαγωγή του από το πέτρωμα, είναι αρκετά χαμηλή (2.5 στην κλίμακα Mohs), μετά όμως την πλήρη ξήρανσή του ανέρχεται σε 4. Η διαφορά αυτή δείχνει ότι η υγρασία του εδάφους επηρεάζει τη σκληρότητα του λίθου. Ο οφίτασβεστίτης έχει σκληρότητα 4, ειδικό βάρος 2700 kg/m³, αντοχή σε θλίψη 750 kg/cm², επεξεργάζεται εύκολα και επιδέχεται λείανση. Το χρώμα των ελληνικών οφίτων είναι πράσινο σε διάφορες αποχρώσεις. [1], [19]

Χρησιμοποιείται ως διακοσμητικός λίθος σε εξωτερικές ή εσωτερικές επενδύσεις τοίχων, υποστυλωμάτων, εστιών κ.λ.π. [1]

γ) Τραχειίτης

Ο τραχειίτης είναι ολοκρυσταλλικό πέτρωμα εξαιρετικά λεπτόκοκκο. Αποτελείται από άστριους στους οποίους διακρίνονται κρύσταλλοι κερουσίλβης ή και αυγίτου.

Έχει τραχειά υφή, χρώμα ανοιχτό μέχρι σκοτεινό γκριζο, ειδικό βάρος 2.6 t/m^3 , σκληρότητα 6, και αντοχή σε θλίψη $600-700 \text{ kg/cm}^2$. Επεξεργάζεται σχετικά εύκολα, ωστόσο δεν επιδέχεται λείανση. Είναι ανθεκτικός στις καιρικές επιδράσεις μόνο αν είναι φτωχός σε άστριους σανιδίνου. [10], [19]

Χρησιμοποιείται όχι ευρέως για αδρανή οδοστρωσίας και ως διακοσμητικός λίθος.

δ) Κίσηρης (ελαφρόπετρα)

Αποτελείται από αφρώδη, υαλώδη μάζα ανοιχτού χρώματος. Είναι πέτρωμα με μεγάλο πορώδες, μικρό φαινόμενο ειδικό βάρος (επιπλέει στο νερό) και με μεγάλη σκληρότητα. Το χρώμα της είναι υπόλευκο ως ελαφρώς γκριζο. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή μονωτικών στρώσεων και ελαφρών τούβλων (κίσηρόλιθοι). [1], [19]

Άλλοι δομικοί λίθοι από πυριγενή πετρώματα με μικρότερη χρήση είναι:

- Σηνήτης: Αποτελείται από αλκαλιούχους άστριους και σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά. Δεν έχει χαλαζία. Το χρώμα του είναι σκούρο, είναι μαλακότερος από το γρανίτη, κοκκώδης και ευκολότερος στην κατεργασία. Το ειδικό βάρος του είναι $2700-2900 \text{ kg/m}^3$ και η θλιπτική του αντοχή $1500-2000 \text{ kg/cm}^2$. Σαν δομικός λίθος είναι ισοδύναμος με το γρανίτη. [10], [19]

- Διορίτης: Αποτελείται από ασβεστονατριούχους άστριους και μαρμαρυγία. Έχει ειδικό βάρος $2750-2970 \text{ kg/m}^3$ και θλιπτική αντοχή $1500-2000 \text{ kg/cm}^2$. Είναι κοκκώδης και έχει χρώμα πρασινωπό. [10], [19]

- Γάββρος: Είναι ολοκρυσταλλικό πέτρωμα που αποτελείται από ασβεστονατριούχους άστριους και πυρόξενους. Το χρώμα του είναι πράσινο ή σκούρο γκρι ως μαύρο με πράσινες ή λευκές κηλίδες. Είναι κοκκώδης με ειδικό βάρος $2800-3100 \text{ kg/m}^3$, δεν είναι ανθεκτικός στην υγρασία και κατεργάζεται δύσκολα. [10], [19]

- Πορφυρίτης: Είναι μικροκοκκώδης και ολοκρυσταλλικό πέτρωμα. Το χρώμα του είναι συνήθως ερυθρό, έχει ειδικό βάρος $2.5-2.8 \text{ t/m}^3$, είναι σκληρός και επιδέχεται λείανση. Παρουσιάζει ανθεκτικότητα στις καιρικές επιδράσεις. [10], [19]

- Βασάλτης: Είναι ολοκρυσταλλικό πέτρωμα χρώματος γκρι ως μαύρου, ειδικού βάρος $2.7-3.3 \text{ t/m}^3$, και σκληρότητας 6-8. Οι βασάλτες είναι συνήθως ανθεκτικοί στις καιρικές

μεταβολές και στις υψηλές θερμοκρασίες. Είναι δύσκολο να κατεργαστεί, ωστόσο λειαιίνεται όταν φθαρεί. [10], [19]

- Διαβάσης ή δολερίτης: Είναι μικροκοκκώδες πέτρωμα που αποπτελείται κυρίως από άστριους και αυγίτη. Το χρώμα τους είναι πρασινωπό με λευκές ή μαύρες κηλίδες. Παρουσιάζουν σημαντικές μηχανικές αντοχές. [10], [19]

3.3.2. ΛΙΘΟΙ ΑΠΟ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Οι πιο σημαντικοί λίθοι που προέρχονται από ιζηματογενή πετρώματα είναι:

α) Ψαμμίτες

Οι ψαμμίτες σχηματίστηκαν από αμμώδη ιζήματα. Είναι αρκετά διαδομένοι, λόγω της μεγάλης ομοιογένειας του ιστού τους. Ανάλογα με την ποιότητα και την ποσότητα της συνδετικής ύλης, την ηλικία και την στερεοποίηση μπορεί να είναι συμπαγείς ή εύθρυπτοι. Η συνδετική ύλη είναι συνήθως πυριτική, ασβεστολιθική, σιδηρούχος ή αργιλούχος. Τα ψαμμιτικά πετρώματα με πυριτική και ασβεστολιθική ύλη έχουν χρώμα λευκό ή γκριζο, ενώ αυτά που περιέχουν σιδηρούχα ορυκτά, έχουν χρώμα χρυσοκίτρινο, καστανό ή ερυθρό. Το ειδικό τους βάρος κυμαίνεται από 2.30 ως 2.90 t/m³.

Οι καλύτεροι ψαμμίτες είναι οι πυριτικοί, των οποίων οι κόκκοι αποτελούνται κυρίως από χαλαζία και η συγκολλητική ύλη είναι πυριτική. Έχουν μεγάλη σκληρότητα που σε μερικά είδη πλησιάζει αυτή του γρανίτη.

Οι ψαμμίτες, όταν αφαιρεθούν από το μητρικό πέτρωμα, είναι εμποτισμένοι με την εδαφική υγρασία και είναι πολύ μαλακοί, πράγμα που επιτρέπει την εύκολη επεξεργασία τους. Όταν εκτεθούν στον αέρα και ξηρανθούν, αποκτούν μεγάλη σκληρότητα. Οι πιο συμπαγείς χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λίθων δομής. [1], [19].

β) Σχιστόλιθοι

Οι σχιστόλιθοι λαμβάνονται από πετρώματα που σχηματίστηκαν με τον ίδιο τρόπο που σχηματίστηκαν και οι ψαμμίτες. Η διαφορά τους έγκειται στο μέγεθος των συγκολλημένων τεμαχίων. Οι σχιστόλιθοι δηλαδή αποτελούνται από λεπτότατη κονία (σκόνη) ή άλευρο (παιπάλη).

Παρουσιάζουν στρωσιγενή δομή και μπορούν να σχιστούν σε πολύ λεπτές πλάκες μέχρι πάχους 0.5 cm. Το σύνηθες πάχος των πλακών είναι 4-5 cm. Το χρώμα τους είναι συνήθως σκοτεινό γκριζο και κυανίζον, αλλά εμφανίζονται και με άλλα χρώματα. Είναι αρκετά σκληροί λίθοι με μεγάλο ειδικό βάρος (2.7-3.5 t/m³) και με στιλπνή

επιφάνεια. Ανάλογα με την σύσταση των συγκολλημένων υλικών, διακρίνονται σε αργιλικούς, ασβεστομαργαϊκούς ή ασβεστολιθικούς σχιστόλιθους.

Ο αργιλικός σχιστόλιθος είναι αργιλικό πέτρωμα με ιστό που μοιάζει με συμπαγή στερεοποιημένη λάσπη. Το χρώμα του είναι τεφρό μέχρι μαύρο, κυανό ή καστανέρυθρο. Αποσχίζεται σε επίπεδα φύλλα που συχνά παρουσιάζουν μαρμαρυγιακή λάμψη. Είναι αδιαπέρατος από το νερό και ανθεκτικός στις καιρικές επιδράσεις και στη φωτιά. Έχει ικανοποιητική εφελκυστική και καμπτική αντοχή. Χρησιμοποιείται πολύ στην οικοδομική για την κάλυψη στεγών λόγω της υδατοστεγανότητας και της ανθεκτικότητας που παρουσιάζει. [1], [10], [19]

γ) Δολομίτης

Ο δολομίτης είναι πέτρωμα που αποτελείται από τα ορυκτά ασβεσίτη (ανθρακικό ασβέστιο) και δολομίτη (ανθρακικό ασβέστιο και ανθρακικό μαγνήσιο), με ιστό που έχει υποστεί μερική ή ολική κρυστάλλωση. Είναι συμπαγές πέτρωμα, μοιάζει στην όψη με τον ασβεστόλιθο, είναι όμως περισσότερο εύθρυπτος, βαρύτερος και συχνά σκληρότερος από αυτόν. Το χρώμα του είναι συνήθως υπόλευκο ως υποκίτρινο. Η σκληρότητά του είναι 3.5-4, το ειδικό βάρος κυμαίνεται μεταξύ 2.85-2.95 t/m³ και η αντοχή του σε θλίψη μεταξύ 1200-1750 Kg/cm².

Ο δολομίτης χρησιμοποιείται σε διάφορες κατασκευές ως δομικός λίθος, λόγω της ικανοποιητικής αντοχής που παρουσιάζει. Στιλβώνεται εύκολα και συχνά αντικαθιστά το μάρμαρο. [1], [19]

δ) Ασβεστόλιθος

Ο ασβεστόλιθος είναι ιζηματογενές πέτρωμα, του οποίου το κύριο συστατικό είναι ο ασβεσίτης. Περιγράφεται λεπτομερώς σε επόμενη παράγραφο αφού είναι από τα κύρια υλικά που δοκιμάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Άλλοι δομικοί λίθοι από ιζηματογενή πετρώματα είναι:

- Ηφαιστειακός τόφος: Είναι ομοιόμορφο πέτρωμα με κοκκώδη ιστό που προέρχεται από ηφαιστειακές εκρήξεις. Οι πρόσφατοι τόφοι είναι μαλακοί και πορώδεις, ενώ οι παλαιότεροι είναι συμπαγείς και σκληροί. Το χρώμα τους είναι ανοιχτό, έχουν μέτρια αντοχή, είναι συνήθως ελαφροί, εύκολοι στην κατεργασία και χρησιμοποιούνται ως λίθοι δομής μόνο σε ξηρά κλίματα, λόγω του αυξημένου πορώδους τους. [19]

- Χαλαζίτης: Ο χαλαζίτης αποτελεί ποικιλία ψαμμιτικών πετρωμάτων. Είναι λεπτοκοκκώδες καλά στερεοποιημένο πέτρωμα που σχηματίστηκε από τη συγκόλληση κόκκων χαλαζιακής άμμου με πυριτική συνδετική ύλη. Είναι συμπαγής, σκληρός και το χρώμα του είναι συνήθως ανοιχτό. Εμφανίζει ανθεκτικότητα στη φθορά λόγω τριβής και

μεγάλη αντοχή στις καιρικές επιδράσεις. Κατεργάζεται δύσκολα όπως επίσης δύσκολα συνεργάζεται με τα κονιάματα. [10], [19]

3.3.3. ΛΙΘΟΙ ΑΠΟ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Οι πιο σημαντικοί λίθοι που προέρχονται από μεταμορφωσιγενή πετρώματα είναι:

α) Γνεύσιος

Οι γνεύσιοι αποτελούνται από τα ίδια ορυκτολογικά συστατικά που έχουν και οι γρανίτες όπως άστριους, χαλαζία και μαρμαρυγία, διαφέρουν όμως στο ότι έχουν στρωσιγενή διάταξη, οπότε μπορούν εύκολα να σχιστούν σε πλάκες με διάφορα πάχη.

Οι γνεύσιοι αποσαθρώνονται εύκολα κάτω από την επίδραση των ατμοσφαιρικών παραγόντων. Η αποσάθρωση είναι περισσότερο έντονη, όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητά τους σε μαρμαρυγία και μικρότερη σε χαλαζία. Η αντοχή τους σε θλίψη είναι σχετικά μικρή, φτάνει όμως μερικές φορές τα 1600 Kg/cm². Χρησιμοποιούνται σε περιορισμένη κλίμακα ως δομικοί λίθοι για την κατασκευή πλακών με σκοπό την κάλυψη στεγών. [1], [19]

β) Μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος

Ο μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος αποτελείται από χαλαζία και μαρμαρυγία σε σχιστώδη διάστρωση, οπότε μπορεί εύκολα να σχιστεί σε λεπτές πλάκες ομοίου πάχους και μεγάλων διαστάσεων.

Παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή σε τάση κάθετη προς τις στρώσεις του, είναι ανθεκτικός στην επίδραση των ατμοσφαιρικών παραγόντων και αντέχει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Το χρώμα του είναι συνήθως αργυρόλευκο ως γκρίζο μαύρο ωστόσο υπάρχουν και πρασινωπές αποχρώσεις. [1], [10]

γ) Μάρμαρο

Τα μάρμαρα προέρχονται από ασβεστόλιθους, οι οποίοι υπέστησαν μερική ή ολική κρυστάλλωση λόγω της επίδρασης εξωτερικών παραγόντων. Επομένως χημικά και ορυκτολογικά μοιάζουν με τα ασβεστολιθικά πετρώματα. Το κύριο δηλαδή συστατικό τους είναι το ανθρακικό ασβέστιο με μικρή αναλογία άλλων οξειδίων.

Τα μάρμαρα περιγράφονται λεπτομερώς σε επόμενη παράγραφο γιατί μαζί με τους ασβεστόλιθους αποτελούν τα κύρια πετρώματα που δοκιμάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας έρευνας.

Εκτός από τα παραπάνω άλλα μεταμορφωσιγενή πετρώματα που χρησιμοποιούνται ως λίθοι δομής και συναντούνται στη βιβλιογραφία είναι: [10], [18]

- Ο χλωριτικός σχιστόλιθος που είναι ένα πολύ μαλακό πέτρωμα πράσινου χρώματος και ανθεκτικός στις καιρικές επιδράσεις.
- Ο ταλκικός σχιστόλιθος που είναι ομοίως μαλακός, λευκού χρώματος, απρόσβλητος από τις καιρικές επιδράσεις και τη φωτιά.
- Ο φυλλίτης που είναι λεπτόκοκκο πέτρωμα με λεπτές διαστρώσεις και μεταξωτή λάμψη. Αποσχίζεται εύκολα, είναι μαλακός και ανθεκτικός στις καιρικές επιδράσεις. Το χρώμα του ποικίλλει από λευκό μέχρι γκριζο, μερικές φορές όμως είναι μαύρος, κίτρινος, πράσινος ή ερυθρός.

3.3.4. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ

Οι ασβεστόλιθοι είναι από τα πιο διαδεδομένα ιζηματογενή πετρώματα στην Ελλάδα, αφού αποτελούν σχεδόν το 25% των βραχωδών σχηματισμών [20]. Το κύριο συστατικό τους σε αναλογία πάνω από 75% είναι το ανθρακικό ασβέστιο (ασβεστίτης), ενώ συνθέστερα προσμείγματα είναι το ανθρακικό μαγνήσιο, το οξείδιο του πυριτίου με τη μορφή χαλαζιακής άμμου, το οξείδιο του αργιλίου με τη μορφή αργίλου και οξείδια του σιδήρου. Ανάλογα με το ποσοστό του προσμείγματος οι ασβεστόλιθοι διακρίνονται σε:

- μαγνησιακούς ασβεστόλιθους όπου το ανθρακικό μαγνήσιο περιέχεται σε ποσοστά 15% ως 40%,
- πυριτικούς ασβεστόλιθους με οξείδιο του πυριτίου πάνω από 15%,
- αργιλικούς ασβεστόλιθους με οξείδιο του αργιλίου πάνω από 15%,
- σιδηρικούς ασβεστόλιθους.

Τα παραπάνω δευτερεύοντα συστατικά, όταν εμφανίζονται σε μικρές αναλογίες, δεν επηρεάζουν τις ιδιότητες του ασβεστόλιθου ως δομικού λίθου. Εξαιρέση αποτελούν τα οξείδια του σιδήρου που καθιστούν τους λίθους ελαττωματικούς.

Οι ασβεστόλιθοι σχηματίστηκαν από το ανθρακικό ασβέστιο που περιέχουν στα κελύφη και στους σκελετούς τους ορισμένα ζώα και φυτά ή στους σχηματισμούς που δημιούργησαν αυτά μέσα στους βυθούς. Αποσαθρώνονται και διαλύονται από τα νερά ιδιαίτερα όταν περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα. Η σκληρότητά τους είναι 3 και το ειδικό βάρος 2.7 t/m^3 . Η αντοχή σε θλίψη κυμαίνεται μεταξύ 100 και 1900 Kg/cm^2 , ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε άργιλο.

Σε πρόσφατη έρευνα [20] που έγινε πάνω σε ένα μεγάλο αριθμό ασβεστολιθικών πετρωμάτων από διάφορα μέρη της Ελλάδας, βρέθηκαν θλιπτικές αντοχές που κυμαίνονταν μεταξύ 9-175 MPa με μέση τιμή 53 MPa για τους παλαιότερους

κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και μεταξύ 2.4-110 MPa με μέση τιμή 29.5 MPa για τους δολομιτικούς και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Αντίστοιχα η ξηρή πυκνότητα για τους πρώτους βρέθηκε μεταξύ 17.0-28.2 KN/m³ με μέση τιμή 26.1 KN/m³ και για τους δεύτερους μεταξύ 15.1-25.7 KN/m³ με μέση τιμή 22.2 KN/m³.

Εξετάζοντας τους ασβεστόλιθους από δομική άποψη μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες:

α) Πορώδεις ασβεστόλιθοι (πωρόλιθοι)

Οι πορώδεις ασβεστόλιθοι εμφανίζονται με πολλά κενά στη μάζα τους, έχουν δηλαδή μεγάλο πορώδες. Κατεργάζονται εύκολα και μπορούν να κοπούν σε κανονικά σχήματα πρισματικής ή πλακοειδούς μορφής. Λόγω του πορώδους τους είναι υδροπερατοί και γι' αυτό δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε θέσεις που έρχονται σε επαφή με το νερό. Το χρώμα τους είναι συνήθως υποκίτρινο ή ελαφρά γκριζο, πολλοί έχουν τη δυνατότητα να υποστούν στίλβωση και παρουσιάζουν καλή διακοσμητική επιφάνεια. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται ως δομικοί λίθοι με τη μορφή αργών λίθων.

β) Συμπαγείς ασβεστόλιθοι

Είναι συμπαγέστεροι και σκληρότεροι από τους πορώδεις ασβεστόλιθους και για το λόγο αυτό κατεργάζονται δυσκολότερα. Οι χρωματισμοί τους ποικίλλουν ανάλογα με την ύπαρξη των διαφόρων προσμειγμάτων. Συνήθως είναι υπόλευκοι ως υπότεφροι, ωστόσο σε ορισμένες περιοχές εμφανίζονται ροδόχρωμοι ή ερυθροί ασβεστόλιθοι. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως αργοί λίθοι για τη δόμηση κτιρίων και άλλων τεχνικών έργων.

3.3.5. ΜΑΡΜΑΡΑ

Τα μάρμαρα είναι πετρώματα τα οποία αποτελούνται κυρίως από ανθρακικό ασβέστιο (ασβεστίτης), ανθρακικό μαγνήσιο (δολομίτης) ή μείγμα αυτών. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε ασβεστίτη ή δολομίτη ονομάζονται ασβεστιτικά ή δολομιτικά. Τα πετρώματα αυτά σχηματίστηκαν από τη μεταμόρφωση των ασβεστόλιθων, των μαγνησιακών ασβεστόλιθων και των δολομιτών.

Τα μάρμαρα σε καθαρή κατάσταση είναι συμπαγή, κρυσταλλικά κοκκώδη πετρώματα. Οι κρύσταλλοι μπορεί να είναι από πολύ μικροί που δεν διακρίνονται με το μάτι οπότε έχουμε λεπτοκοκκώδη μάρμαρα, ως αρκετά μεγάλοι (φτάνουν μέχρι 5-6 mm) οπότε έχουμε χονδροκοκκώδη μάρμαρα. Το μέγεθος των κρυστάλλων επηρεάζει την

ανθεκτικότητά τους σε γήρανση και τη δυνατότητα επεξεργασίας τους. Τα δολομιτικά μάρμαρα έχουν συνήθως λεπτότερους κόκκους από τα ασβεστιτικά.

Τα μάρμαρα όταν είναι χημικά “καθαρά” έχουν λευκό και χιονόλευκο χρώμα. Συνηθέστερα όμως δεν εμφανίζονται τελείως λευκά, αλλά με διάφορα χρώματα που οφείλονται στην παρουσία ξένων προσμειξέων. Έτσι υπάρχουν μάρμαρα τεφρά, υποκύανα, μελανά, κίτρινα, ερυθρά, πράσινα, καστανά, μαύρα κ.λ.π. Η παρουσία ανθρακούχων ουσιών (άνθρακας, γραφίτης) χρωματίζει τα μάρμαρα τεφρά, υποκύανα, υπόμαυρα ή και μαύρα. Τα οξείδια του σιδήρου προσδίδουν ερυθρή απόχρωση στα μάρμαρα, ενώ τα υδροξείδια του σιδήρου προσδίδουν σ’ αυτά κίτρινη ή υποκίτρινη απόχρωση. Προσμειξείς ανθρακικού σιδήρου, μαγγανίου και σιδηροπυρίτου δημιουργούν στα μάρμαρα στίγματα, κηλίδες, ραβδώσεις κ.λ.π. διαφόρων χρωμάτων όταν εκτεθούν στην επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών με αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητάς τους.

Το μάρμαρο, που έλαβε το όνομά του από τη λάμψη που παρουσιάζει, στιλβώνεται πολύ εύκολα και σε συνδυασμό με την ποικιλία των χρωμάτων που διατίθεται και των φλεβών (νερών) που διατρέχουν τη μάζα του, αποτελεί άριστο διακοσμητικό λίθο και θεωρείται ένα από τα πλέον πολύτιμα δομικά υλικά. Το ειδικό του βάρος κυμαίνεται μεταξύ 2.66 και 2.79 t/m³. Τα μάρμαρα από ασβεστίτη έχουν σκληρότητα 3 και τα δολομιτικά 3.5-4. Είναι ανθεκτικά στους ατμοσφαιρικούς παράγοντες (ψύχος, θερμότητα, υγρασία κ.λ.π.) και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Καταστρέφονται στη φωτιά όπως επίσης και από τα οξέα που είναι διαλυμένα στο νερό της βροχής.

Στην Ελλάδα μάρμαρα εμφανίζονται σε πολλές μεταμορφωσιγενείς περιοχές. Απαντώνται σε διάφορες ποικιλίες και αποχρώσεις, ώστε να υπάρχουν περισσότερες από 72 παραλλαγές που διαφέρουν μεταξύ τους κατά το χρωματισμό και τον ιστό. Η αφθονία των μαρμάρων στην Ελλάδα οφείλεται στην ύπαρξη πολλών ασβεστολιθικών πετρωμάτων μέσα στις μεταμορφωσιγενείς περιοχές, τα οποία και μεταμορφώθηκαν σε μάρμαρα. Από τα πιο σημαντικά ελληνικά μάρμαρα είναι τα λευκά και υπόλευκα μάρμαρα της Πάρου, της Πεντέλης, της Αγίας Μαρίνας, της Τήνου, της Χαλκιδικής, της Κοζάνης, τα υπέρυθρα και ερυθρά μάρμαρα των Ιωαννίνων, της Δομβραίνης Θηβών, της Μάνης, της Ερέτριας, τα πράσινα μάρμαρα της Τήνου, της Καρύστου Ευβοίας, της Λάρισας, τα τεφρά και μαύρα μάρμαρα του Κοκκιναρά, του Μαραθώνα, της Μάνης.

[1], [10], [18], [19]

3.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ

3.4.1. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ-ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ-ΠΟΡΩΔΕΣ

Η πυκνότητα εκφράζει το ποσοστό του όγκου της ύλης, που περιέχεται σε ένα φυσικό λίθο, ενώ το πορώδες χαρακτηρίζει το ποσοστό του όγκου των κενών, που περιέχονται σ' αυτόν. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα, τόσο συμπαγέστερος και με λιγότερα κενά είναι ο λίθος, ή αντίθετα, μεγαλύτερο πορώδες συνεπάγεται αραιότερο και με περισσότερα κενά λίθο.

Οι παραπάνω ιδιότητες επηρεάζουν σημαντικά και άλλες ιδιότητες του λίθου. Η ποιότητα, η υδραπορροφητικότητα, η αντοχή στον παγετό, το φαινόμενο ειδικό βάρος, η μηχανική του αντοχή, εξαρτώνται άμεσα από την πυκνότητα και το πορώδες του.

Αντίστοιχη ιδιότητα προς την πυκνότητα είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος που εξαρτάται από το είδος της ύλης από την οποία αποτελείται ο λίθος καθώς και από την πυκνότητά του. Το φαινόμενο βάρος των λίθων δομής αποτελεί ένα συγκριτικό κριτήριο ποιότητας, τουλάχιστον για τους λίθους που προέρχονται από το ίδιο πέτρωμα. [1], [19]

Στον πίνακα 3.1. [10] παραθέτονται ενδεικτικές τιμές φαινόμενου ειδικού βάρους και πορώδους για την εκλογή φυσικών λίθων κατά DIN 52100 ενώ στον πίνακα 3.2. [2] φαίνονται τιμές της πυκνότητας και του πορώδους για τους πιο σημαντικούς φυσικούς λίθους με βάση την αγγλική βιβλιογραφία.

3.4.2. ΥΔΡΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η υδροαπορροφητικότητα είναι μια σημαντική ιδιότητα των φυσικών λίθων και αφορά κυρίως αυτούς που έρχονται σε επαφή με το νερό όπως οι πλάκες επικάλυψης στεγών, στις λιθοδομές χωρίς επένδυση για διακοσμητικούς λόγους κ.λ.π. Αποτέλεσμα της προσρόφησης νερού είναι ο λίθος να γίνεται μαλακότερος και να ελαττώνεται η μηχανική του αντοχή και η αντοχή του στον παγετό. Παράλληλα αν στο εισερχόμενο νερό υπάρχουν διαλυμένα άλατα και οξέα προκαλούνται χημικές επιδράσεις που καταστρέφουν το λίθο.

Η υδροαπορροφητικότητα εξαρτάται από το πορώδες, τη διάταξη και το βαθμό επικοινωνίας των πόρων (κλειστοί, ανοιχτοί, συνεχόμενοι κ.λ.π.) και τη διάμετρο των τριχοειδών αγγείων. Ένας λίθος για να απορροφήσει νερό πρέπει να έχει πόρους. Ωστόσο αυτό δε σημαίνει ότι το μεγαλύτερο πορώδες αυξάνει την υδροαπορροφητικότητα αφού αυτή εξαρτάται και από τη διάταξη των πόρων. Μεγάλοι

πόροι και ευθύγραμμοι επιτρέπουν τη διόδο του νερού ενώ πολύ μικροί και δαιδαλώδεις δυσχεραίνουν ή καθιστούν αδύνατη την είσοδο του νερού. Γενικά χαμηλός βαθμός υδροαπορρόφησης είναι ενδεικτικό καλής ποιότητας του λίθου. [1], [19]

Πίνακας 3.1. Ενδεικτικές τιμές φαινόμενου ειδικού βάρους και πορώδους για την εκλογή φυσικών λίθων κατά DIN 52100 [10]

Ομάδες πετρωμάτων		Φαινόμενο ειδικό βάρος (Kg/m ³)	Πορώδες (% κ.ο.)
Πυριγενή	Γρανίτης, σηνίτης	2600-2800	0.4-1.5
	Διορίτης, γάββρος	2800-3000	0.5-1.2
	Πορφυρίτης	2550-2800	0.4-1.8
	Βασάλτης	2950-3000	0.2-0.9
	Διαβάσης	2800-2900	0.3-1.1
	Σερπεντίνης	2600-2750	0.3-2.0
Ιζηματογενή	Χαλαζίτης	2600-2650	0.4-2.0
	Χαλαζιακός ψαμμίτης	2600-2650	0.4-2.0
	Ηφαιστειακοί τόφφοι	1800-2000	20-30
	Αργιλικός σχιστόλιθος	2700-2800	1.6-2.5
	Συμπ. ασβεστόλιθοι, δολομίτης	2650-2850	0.5-2.0
	Άλλοι ασβεστόλιθοι	1700-2600	0.5-30
Μεταμ/γενή	Μάρμαρο	2650-2850	0.5-2.0
	Γνεύσιος	2650-3000	0.4-2.0

Πίνακας 3.2. Τιμές πυκνότητας και πορώδους των σημαντικότερων φυσικών λίθων [2]

Ιδιότητα	Μονάδες	Ασβεσ/θος	Ψαμμίτης	Μάρμαρο	Γρανίτης	Σχισ/θος
Πυκνότητα	g/cm ³	1.8-2.7	2.0-2.6	2.4-2.8	2.5-2.7	2.6-2.9
Πορώδες	%	< 50	5-31	0.6-2.3	0.4-2.3	0.1-4.3

Στον πίνακα 3.3. [10] παραθέτονται ενδεικτικές τιμές υδροαπορροφητικότητας για την εκλογή και αξιολόγηση των φυσικών λίθων κατά DIN 52103

Πίνακας 3.3. Ενδεικτικές τιμές υδροαπορροφητικότητας για την εκλογή και αξιολόγηση των φυσικών λίθων κατά DIN 52103 [10]

Ομάδες πετρωμάτων		Υδροαπορρόφηση (% κ.β.)	Υδροαπορρόφηση (% κ.ο.)
Πυριγενή	Γρανίτης, σηνίτης	0.2-0.5	0.4-1.4
	Διορίτης, γάββρος	0.2-0.4	0.5-1.2
	Πορφυρίτης	0.2-0.7	0.4-1.8
	Βασάλτης	0.1-0.3	0.2-0.8
	Διαβάσης	0.1-0.4	0.3-1.0
	Σερπεντίνης	0.1-0.7	0.3-1.8
Ιζηματογενή	Χαλαζίτης	0.2-0.5	0.4-1.3
	Χαλαζιακός ψαμμίτης	0.2-0.5	0.4-1.3
	Ηφαιστειακοί τόφφοι	6-15	12-30
	Αργιλικός σχιστόλιθος	0.5-0.6	1.4-1.8
	Συμπ. ασβεστόλιθοι, δολομίτης	0.2-0.6	0.4-1.8
	Άλλοι ασβεστόλιθοι	0.2-10	0.5-25
Μεταμ/γενή	Μάρμαρο	0.2-0.6	0.4-1.8
	Γνεύσιος	0.1-0.6	0.3-1.8

3.4.3. ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΟΝ ΠΑΓΕΤΟ

Όπως είναι γνωστό η διαδικασία της μετατροπής του νερού σε πάγο συνοδεύεται από την αύξηση του όγκου του. Έτσι όταν το νερό το οποίο έχει εισέλθει στους πόρους ενός λίθου παγώσει, διαστέλλεται ασκώντας τεράστιες δυνάμεις στη μάζα του λίθου με αποτέλεσμα αυτός να καταστρέφεται, αν οι δυνάμεις συνοχής των κόκκων του δεν είναι αρκετά μεγάλες για να αντέξουν την πίεση του παγωμένου νερού των πόρων.

Η αντοχή ενός φυσικού λίθου στον παγετό εξαρτάται όπως είναι φανερό κυρίως από το πορώδες του, από την υδροαπορροφητικότητα του, από τη διάταξη και τη μορφή των πόρων του. Όσο μεγαλύτεροι και πιο ευθύγραμμοι είναι οι πόροι, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντοχή του λίθου στον παγετό, επειδή το νερό μπορεί να εξέλθει ευκολότερα από αυτούς παρά από τους μικρότερους με δαιδαλώδη διάταξη. [1],[2]

3.4.4. ANTOXH ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ

Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται όταν οι φυσικοί λίθοι έλθουν σε επαφή με τη φωτιά προξενούν καταστροφικά αποτελέσματα σ' αυτούς. Η αύξηση της θερμοκρασίας και η πύρωση που ακολουθεί διαστέλλουν το λίθο, με συνέπεια να καταστρέφεται η δομή του, να μειώνεται η μηχανική του αντοχή και στην περίπτωση που το φαινόμενο διαρκέσει για μεγάλο χρονικό διάστημα, οδηγούμαστε στην πλήρη αποσάθρωση του λίθου.

Η αντοχή των διαφόρων λίθων στη φωτιά εξαρτάται από τη χημική και ορυκτολογική τους σύσταση, όπως επίσης από την πυκνότητα και τη δομή του ιστού τους. Συνήθως η παρουσία χαλαζία (πυριγενείς λίθοι) επιφέρει αύξηση της αντοχής τους. Όταν ένας λίθος δεν υφίσταται μηχανικές ή χημικές μεταβολές σε θερμοκρασία πάνω από τους 1200 °C, χαρακτηρίζεται ως πυρίμαχος και χρησιμοποιείται σε ειδικές κατασκευές (εστίες, καμινάδες κ.λ.π.).

Γενικά οι φυσικοί λίθοι δεν αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες και γι' αυτό δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε σημεία που αν καταστραφούν θα προκαλέσουν την κατάρρευση του έργου. [1]

3.4.5. ANΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΟΞΕΩΝ

Όπως είναι γνωστό τα διάφορα οξέα που είναι αναμειγμένα στον ατμοσφαιρικό αέρα επιδρούν κατά δυσμενή τρόπο στους φυσικούς λίθους. Συγκεκριμένα, όξινα αέρια όπως τα οξειδία του θείου προσβάλλουν τους λίθους που περιέχουν ανθρακικά ορυκτά όπως είναι ο ασβεστίτης και ο δολομίτης (ασβεστίτης και μαγνησίτης). Η επίδραση αυτή προκαλεί προβλήματα για δύο κυρίως λόγους. Αρχικά ο λίθος αποσαθρώνεται επιφανειακά και στη συνέχεια η αντίδραση με τα οξέα δημιουργεί διαλυτά άλατα τα οποία επικάθονται στην επιφάνεια των λίθων με τη μορφή κρυσταλλικών αποθέσεων και καταστρέφουν τη φυσική του εμφάνιση.

Οι περισσότεροι επιρρεπείς λίθοι στην αποσάθρωση λόγω προσβολής οξέων είναι αυτοί που περιέχουν μικρές ποσότητες ανθρακικών ορυκτών όπως συμβαίνει με τη συνδετική ύλη που συγκρατεί μεταξύ τους τους κόκκους των ασβεστολιθικών ψαμμιτών και μερικών σχιστολίθων. Οι συνδετικές αυτές ύλες αποσαθρώνονται ραγδαία γιατί η αποσύνθεση μικρής ποσότητας του ανθρακικού ορυκτού έχει ως αποτέλεσμα τη χαλάρωση και αποκόλληση ενός μεγάλου μέρους των κόκκων του λίθου.

Τα διάφορα είδη των λίθων παρουσιάζουν διαφορετική αντίσταση στην επίδραση των οξέων. Γι' αυτό όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν λίθοι σε περιοχές όπου ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει τέτοιες προσμείξεις, πρέπει οι λίθοι να υποστούν έλεγχο της αντοχής τους έναντι των οξέων. [1], [2]

3.4.6. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Η θλιπτική αντοχή των φυσικών λίθων είναι αισθητά διαφορετική όχι μόνο μεταξύ αυτών που προέρχονται από διαφορετικά πετρώματα, αλλά ακόμα και μεταξύ αυτών που προέρχονται από το ίδιο πέτρωμα διαφορετικής ή και της ίδιας προέλευσης. Ακόμα και στην τελευταία περίπτωση οι διαφορές είναι τέτοιες ώστε να μην μπορούν να ληφθούν απόλυτες τιμές της αντοχής κάποιου πετρώματος αν δεν έχουν προηγηθεί μετρήσεις σε ένα μεγάλο αριθμό δοκιμίων. [18]

Η θλιπτική αντοχή ενός λίθου εξαρτάται από τη σύσταση και τη δομή του και από τις συνθήκες που γίνεται η δοκιμή (θερμοκρασία, περιεκτικότητα σε νερό κ.λ.π.). Σε ένα πέτρωμα οι μηχανικές ιδιότητες δεν εξαρτώνται μόνο από τις ιδιότητες των απλών κρυστάλλων αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο οι κρύσταλλοι συνδέονται για να σχηματίσουν το πέτρωμα.

Οι σημαντικότερες φυσικές ιδιότητες που επηρεάζουν την αντοχή ενός λίθου εκτός από την ορυκτολογική του σύσταση και πετρογραφική του δομή είναι η πυκνότητα, το πορώδες, το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων και των πόρων, το ποσοστό ύδατος, η θερμοκρασία κ.λ.π. [21]

Στον πίνακα 3.4. [10] παραθέτονται ενδεικτικές τιμές αντοχής σε θλίψη για την εκλογή και αξιολόγηση φυσικών λίθων κατά DIN 52105 ενώ στον πίνακα 3.5. [2] φαίνονται τιμές της θλιπτικής αντοχής για τους πιο σημαντικούς φυσικούς λίθους με βάση την αγγλική βιβλιογραφία.

3.4.7. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΠΟΤΡΙΨΗ-ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Ως σκληρότητα ενός λίθου χαρακτηρίζεται η αντίστασή του σε χάραξη όπως επίσης και η αντίστασή του σε φθορά λόγω τριβής. Η σκληρότητα των φυσικών λίθων εξαρτάται από τη σκληρότητα των ορυκτών που τον αποτελούν, από τη συγκολλητική ύλη με την οποία συνδέονται οι κόκκοι μεταξύ τους, καθώς και από τη θέση που έχουν μεταξύ τους οι κόκκοι.

Ο βαθμός σκληρότητας ενός λίθου και της αντίστασής του σε τριβή χαρακτηρίζει κατά ένα μεγάλο ποσοστό και το εργάσιμό του. Εργάσιμο είναι η δυνατότητα που έχει ένας λίθος να υφίσταται κάποια κατεργασία όπως τμήση, λάξευση, λείανση, στίλβωση κ.λ.π. Γενικά οι πολύ σκληροί λίθοι είναι δυσκατέργαστοι δηλαδή κόβονται, μορφοποιούνται και λειαινούνται με μεγάλη δυσκολία.

Πίνακας 3.4. Ενδεικτικές τιμές αντοχής σε θλίψη για την εκλογή και αξιολόγηση φυσικών λίθων κατά DIN 52105 [10]

Ομάδες πετρωμάτων		Θλιπτική αντοχή (kp/cm ²)
Πυριγενή	Γρανίτης, σηνίτης	1600-2400
	Διορίτης, γάββρος	1700-3000
	Πορφυρίτης	1800-3000
	Βασάλτης	2500-4000
	Διαβάσης	1800-2500
	Σερπεντίνης	1400-2500
Ιζηματογενή	Χαλαζίτης	1500-3000
	Χαλαζιακός ψαμμίτης	1200-2000
	Ηφαιστειακοί τόφφοι	200-300
	Αργιλικός σχιστόλιθος	-
	Συμπ. ασβεστόλιθοι, δολομίτης	800-1800
	Άλλοι ασβεστόλιθοι	200-900
Μεταμ/γενή	Μάρμαρο	800-1800
	Γνεύσιος	1600-2800

Πίνακας 3.5. Τιμές θλιπτικής αντοχής των σημαντικότερων φυσικών λίθων [2]

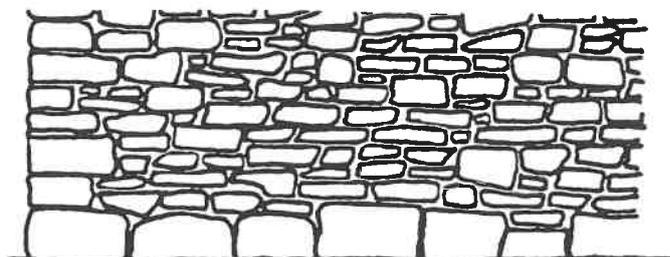
Ιδιότητα	Μονάδες	Ασβες/θος	Ψαμμίτης	Μάρμαρο	Γρανίτης	Σχισ/θος
Θλιπτική αντοχή	MPa	14-255	34-248	69-241	96-310	138-206

3.5. ΛΙΘΟΔΟΜΕΣ

Σήμερα, τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό δεν συνηθίζεται η δόμηση κτιρίων με φυσικούς λίθους, λόγω του μεγάλου βάρους τους και του κόστους επεξεργασίας τους. Ωστόσο, χρησιμοποιούνται σε διάφορες ειδικές κατασκευές, αλλά κυρίως σε επενδύσεις ως διακοσμητικά στοιχεία. Στη συνέχεια αναφέρονται μερικοί τρόποι δόμησης φυσικών λίθων.

3.5.1. ΞΗΡΟΛΙΘΟΔΟΜΕΣ (ΞΗΡΟΛΙΘΙΕΣ)

Η μέθοδος αυτή λιθοδομής, που είναι η παλαιότερη, έχει σχεδόν σήμερα εγκαταλειφθεί και χρησιμοποιείται μόνο για πρόχειρες κατασκευές. Η δόμηση γίνεται χωρίς κονίαμα (μόνο με ξερό χώμα), με μικρή κατεργασία αλλά με σωστή συνδεσμολογία τών λίθων, έτσι ώστε να προκύπτουν λεπτοί αρμοί και μικρότερα κενά. Τα κενά που αναπόφευκτα παραμένουν πληρούνται με μικρές λαξευτές πέτρες τις λατύπες. Το πάχος της ξηρολιθιάς είναι περίπου ίσο με το 1/3 του ύψους της και στη δόμησή της χρησιμοποιούνται συνήθως πλακοειδείς λίθοι. Στο σχήμα 3.1 απεικονίζεται η όψη ξηρολιθοδομής. [11]



Σχήμα 3.1: Όψη ξηρολιθοδομής [11]

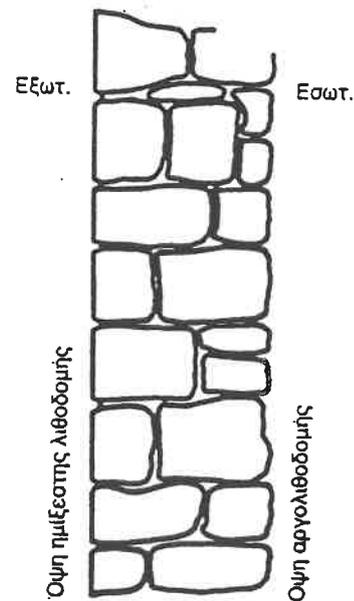
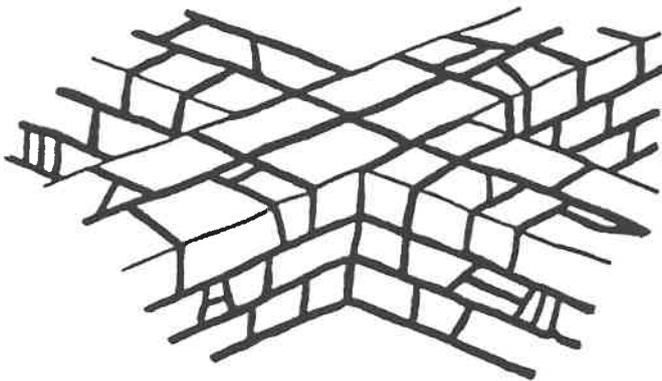
3.5.2. ΑΡΓΟΛΙΘΟΔΟΜΕΣ

Στις αργολιθοδομές η δόμηση γίνεται με τη χρήση κονιάματος. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις κατασκευών τοίχων υπογείων, αντιστήριξης, περίφραξης αλλά και σε ανωδομές με τη μορφή επένδυσης. Οι αρμοί της πρόσωσης έχουν συνήθως πάχος 2-3 cm και πληρούνται με κονίαμα. Στο σχήμα 3.2 απεικονίζεται ο

τρόπος με τον οποίο διασταυρώνονται δύο τοιχοποιίες που έχουν κατασκευαστεί ως αργολιθοδομές. [11]

3.5.3. ΗΜΙΛΑΞΕΥΤΕΣ ΛΙΘΟΔΟΜΕΣ

Είναι η απλούστερη και οικονομικότερη λιθοδομή, η οποία κατά κανόνα δομείται στην εμφανή όψη της με ημιλαξευτούς λίθους με επιπέδωση των παραπλεύρων εδρών, μέχρι βάθους τουλάχιστον 12 cm, και στην εσωτερική όψη με αργούς λίθους. Για τη σύνδεση των δύο αυτών λιθοδομών, χρησιμοποιούνται ανά αποστάσεις λίθοι μπατικοί. Ο τρόπος αυτός δόμησης δεν κατασκευάζεται πλέον σε τοιχοποιίες κατοικιών, γιατί παρουσιάζει προβλήματα θερμομόνωσης αφού η θερμοχωρητικότητα της ημιλαξευτής λιθοδομής είναι ίση με το μισό της αντίστοιχης οπτοπλινθοδομής. Στο σχήμα 3.3 απεικονίζεται η τομή τοιχοποιίας όπου στην εξωτερική όψη έχει κατασκευαστεί ημιλαξευτή λιθοδομή και στην εσωτερική αργολιθοδομή. [11]



Σχήμα 3.2: Διασταύρωση αργολιθοδομών [11]

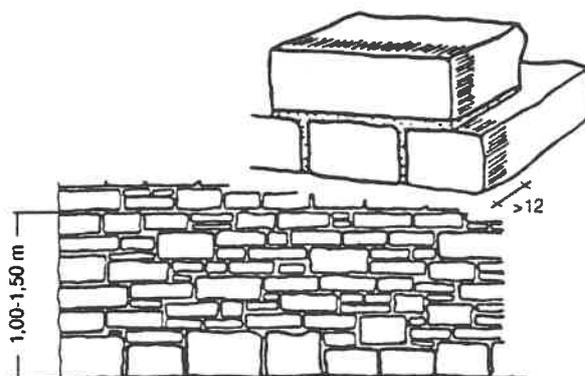
Σχήμα 3.3: Τομή τοίχου ημιλαξευτής λιθοδομής [11]

3.5.4. ΛΑΞΕΥΤΕΣ ΛΙΘΟΔΟΜΕΣ

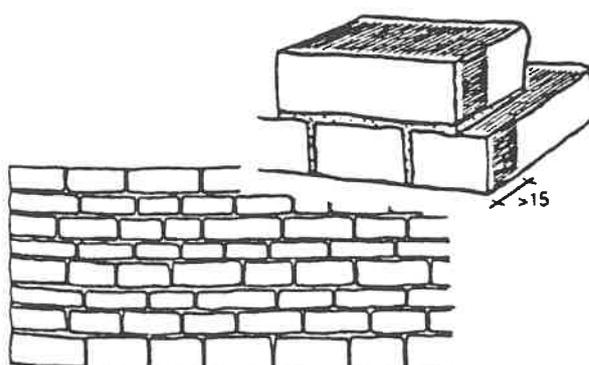
Είναι από τα αρχαιότερα συστήματα δόμησης, με το οποίο έχουν κατασκευαστεί σημαντικά μνημεία, αλλά σήμερα σπάνια χρησιμοποιείται ως τοιχοποιία, λόγω του μεγάλου κόστους της. Το ελάχιστο πάχος λαξευτής τοιχοποιίας με δύο εμφανείς όψεις είναι 50 cm, ενώ οι οριζόντιοι και κάθετοι αρμοί γίνονται υπό ορθή γωνία σε βάθος τουλάχιστον 12 cm. Τα πάχη των στρώσεων μπορεί να είναι διαφοροποιημένα. Όταν τα πάχη των στρώσεων εναλλάσσονται σε κανονικές διαστάσεις μεταξύ τους και σε όλο το βάθος της τοιχοποιίας, έχουμε την κανονική λιθοδομή.

Ένα είδος κανονικής λιθοδομής είναι το ισόδομο σύστημα, όπου οι λίθοι έχουν ισομεγέθη, κανονικά ορθογώνια παραλληλεπίπεδα σχήματα και οι αρμοί είναι επιμελημένοι σε βάθος τουλάχιστον 15 cm.

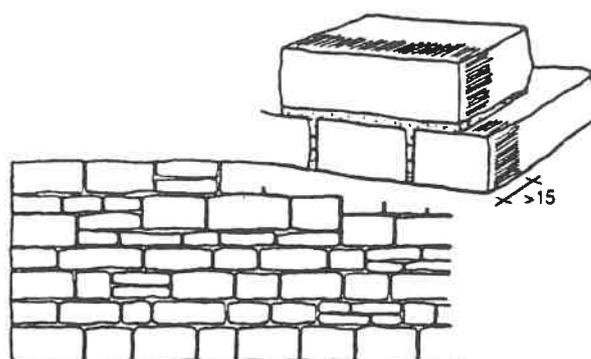
Τέλος στην ακανόνιστη λιθοδομή υπάρχουν στρώσεις με διαφορετικά ύψη και αρμοί μέχρι βάθους τουλάχιστον 15 cm. Στα σχήματα 3.4, 3.5, και 3.6 απεικονίζονται αντίστοιχα μια λαξευτή, μια κανονική και μια ακανόνιστη λιθοδομή. [11]



Σχήμα 3.4: Λαξευτή λιθοδομή [11]



Σχήμα 3.5: Κανονική λιθοδομή (Ισόδομο σύστημα) [11]

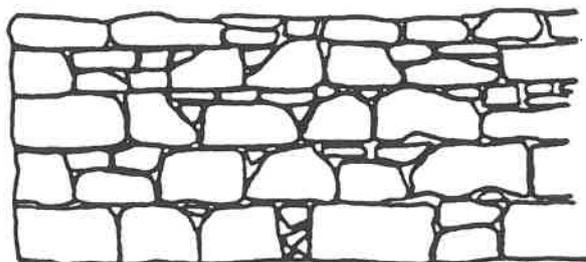


Σχήμα 3.6: Ακανόνιστη λιθοδομή [11]

3.5.5. ΑΛΛΑ ΕΙΔΗ ΛΙΘΟΔΟΜΩΝ

Εκτός από τα παραπάνω υπάρχουν και άλλα είδη λιθοδομών όπως: [11]

1. Οι πλακοειδείς αργολιθοδομές που κατασκευάζονται από λίθους πλακοειδούς μορφής (μικρού ύψους) και έχουν δύο ορατές όψεις.
2. Οι λιθοδομές με ακανόνιστες πέτρες που δεν έχουν συνεχείς στρώσεις. Στην περίπτωση αυτή οι πέτρες χρησιμοποιούνται χωρίς καμία επεξεργασία και ανάλογα με τις ικανότητες του τεχνίτη επιτυγχάνονται αισθητικά ωραίες όψεις. Τα κενά που δημιουργούνται πληρούνται με μικρές πέτρες που ενσωματώνονται με τη βοήθεια κονιάματος. Στο σχήμα 3.7 [11] απεικονίζεται λιθοδομή με ακανόνιστες πέτρες.
3. Οι λιθοδομές με κροκάλες που κατασκευάζονται από στρογγυλές πέτρες και έχουν μειωμένη θλιπτική αντοχή. Τα αναπόφευκτα πολλά κενά που δημιουργούνται κατά τη δόμηση, λόγω της μορφής των λίθων, πληρούνται με ταιριαστές μικρές πέτρες, αλλά και μεγάλη ποσότητα κονιάματος.



Σχήμα 3.7: Λιθοδομή με ακανόνιστες πέτρες [11]

3.5.6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΛΙΘΟΔΟΜΩΝ

Κατά τη δόμηση των λιθοδομών πρέπει να ισχύουν τα ακόλουθα: [11]

- Οι επιφάνειες έδρασης των λιθοδομών πρέπει να είναι οριζόντιες.
- Τα λιθосώματα πρέπει να έχουν τέτοια μορφή, που να επιτυγχάνεται η όσο το δυνατόν καλύτερη αλληλοεμπλοκή.
- Πρέπει να επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση των κενών μεταξύ των λίθων, τα οποία πληρούνται με κονίαμα.
- Αποφεύγεται η αρμολόγηση της ορατής όψης των λιθοδομών. Όταν είναι απαραίτητη, το γέμισμα των αρμών γίνεται έτσι, ώστε να παραμένει η ζωντανή όψη της λιθοδομής.
- Ανά 30 m μήκους κατασκευάζεται αρμός διαστολής πάχους 2-3 cm. Κατά την κατασκευή δημιουργούνται αρμοί είτε από τις διακοπές εργασίας, είτε στις ενώσεις με άλλα δομικά στοιχεία.

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξημένο ενδιαφέρον για τον έλεγχο αντοχής των διαφόρων τοιχοποιιών. Το ενδιαφέρον αυτό πηγάζει από την ανάγκη εισαγωγής βελτιωμένων μεθόδων εκτίμησης της μηχανικής συμπεριφοράς των τοιχοποιιών, με σκοπό την ανάπτυξη ακριβέστερων μεθόδων υπολογισμού των κατασκευών έναντι των διαφόρων φορτίων που τις καταπονούν.

Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν υπάρχει κάποια καθορισμένη πρακτική μέθοδος (ευρείας αποδοχής) που να παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην εκτίμηση της αντοχής των τοιχοποιιών σε υπάρχουσες κατασκευές. Για το λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες εκτίμησης της αντοχής των επιμέρους στοιχείων που τις αποτελούν (κονιάματα, λιθοσώματα), ώστε να έχουμε μια αρχική εικόνα για την κατάσταση των τοιχοποιιών.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε σε δύο μεθόδους έμμεσης εκτίμησης της αντοχής κονιαμάτων που αναπτύχθηκαν πρόσφατα και συσχετίζουν θλιπτικές αντοχές με χαρακτηριστικά διάτρησης του ελεγχόμενου υλικού. Η πρώτη μέθοδος δημοσιεύτηκε στο περιοδικό "Materials and Structures" [22] και αποτελεί έρευνα των Gucci - Moretti του πανεπιστημίου της Πίζα (Ιταλία) και η δεύτερη αναπτύχθηκε στο εργαστήριο οδοποιίας του τομέα μεταφορών και συγκοινωνιακής υποδομής (Τ.Μ.Σ.Υ.) του Ε.Μ.Π.

Τα ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών συνέβαλαν στην εφαρμογή τους και σε άλλα υλικά. Έτσι η παρούσα εργασία αποτελεί επέκταση της δεύτερης μεθόδου στα λιθοσώματα μιας τοιχοποιίας (οπτόπλινθους, φυσικούς λίθους) αφού πρώτα διαμορφώθηκε κατάλληλα η συσκευή ελέγχου. Παράλληλα εξετάστηκε και η δυνατότητα συσχετισμού της μεθόδου με την αντοχή σε απότριψη οπτόπλινθων.

4.2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ GUCCI-MORETTI

Η μέθοδος αυτή, που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό “Materials and Structures” [22] έκδοσης 1995, βασίζεται στη μέτρηση της ποσότητας ενέργειας που απαιτείται για τη διάνοιξη με ηλεκτρικό τρυπάνι μικρής οπής σε μια στρώση κονιάματος.

Η συσκευή αποτελείται από ένα σύνθετος φορητό ηλεκτρικό τρυπάνι μπαταρίας συνδεδεμένο με ένα κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα. Το κύκλωμα αυτό υπολογίζει την ποσότητα της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια της διάτρησης με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η επιρροή της ηλεκτρομηχανικής απόδοσης του τρυπανιού κατά τη μέτρηση. Η διαδικασία της διάτρησης διακόπτεται αυτόματα, όταν το τρυπάνι φτάσει στο καθορισμένο βάθος οπής και η τιμή της ενέργειας που υπολογίζεται, καταγράφεται στην ψηφιακή οθόνη της συσκευής. Η όλη διάταξη έχει μικρό βάρος και είναι εύκολη στη χρήση της ακόμα και από μη ειδικευμένα άτομα, αφού η πίεση που ασκείται κατά τη διάτρηση δεν επηρεάζει ουσιαστικά τη μέτρηση.

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας που έγινε σε ένα μεγάλο αριθμό δοκιμών κονιαμάτων μπορούν να προκύψουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η πιο κατάλληλη γεωμετρία της κοιλότητας διάτρησης προκύπτει από διάμετρο τρυπανιού 4 mm και βάθος οπής 5 mm.
- Το έργο διάτρησης σχετίζεται γραμμικά με τη θλιπτική αντοχή του κονιάματος, και αυτή η συσχέτιση είναι ίδια για όλα τα κονιάματα που περιέχουν άμμο και έχουν αντοχή μικρότερη από 4 MPa.
- Για τα ασθενή κονιάματα (αντοχή μικρότερη από 4 MPa) δεν απαιτούνται πληροφορίες για τις μηχανικές ιδιότητες της περιεχόμενης άμμου. Για κονιάματα μεγαλύτερων αντοχών είναι αναγκαία η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων των αδρανών όπως η κοκκομετρική τους διαβάθμιση και η πετρογραφική τους σύσταση. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν τέτοιες πληροφορίες, η μέθοδος εκτιμάει την τάξη μεγέθους της αντοχής του κονιάματος.
- Η διαφοροποίηση ανάλογα με το εύρος της αντοχής οφείλεται στη θέση και μορφή των ρωγμών που δημιουργούνται κατά τη διάτρηση. Στην περίπτωση κονιαμάτων μικρής αντοχής, οι κόκκοι της άμμου παραμένουν άθικτοι και οι ρωγμές διέρχονται μέσα από το συνδετικό υλικό (τσιμεντοπολτός), ενώ στην περίπτωση κονιαμάτων μεγάλης αντοχής υπάρχουν κόκκοι άμμου που θραύονται, επειδή οι ρωγμές της διάτρησης διέρχονται και από το συνδετικό υλικό και από την άμμο. Έτσι το συνολικό έργο διάτρησης είναι

άθροισμα της ενέργειας που καταναλώνεται στο τσιμέντο και στους κόκκους της άμμου, γι' αυτό εξαρτάται και από τις μηχανικές ιδιότητες της άμμου.

4.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Παράλληλα με την εργασία των Gucci-Moretti, στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής (Τ.Μ.Σ.Υ.) του Ε.Μ.Π. διερευνήθηκε η δυνατότητα εκτίμησης της αντοχής των κονιαμάτων, με μέτρηση του χρόνου που απαιτείται από ένα ηλεκτρικό τρυπάνι συγκεκριμένου διαμέτρου, που εφαρμόζεται κατά ορθή γωνία στην επιφάνεια του κονιάματος με σταθερή δύναμη και σταθερή ταχύτητα περιστροφής, να διανοίξει μικρή οπή συγκεκριμένου βάθους στη μάζα του κονιάματος. Για την εκπόνηση της έρευνας αυτής αναπτύχθηκε ειδική διάταξη που περιγράφεται λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο με απώτερο στόχο τη δημιουργία στο μέλλον φορητής συσκευής με την οποία θα γίνεται επί τόπου έλεγχος των κονιαμάτων σε υπάρχουσες κατασκευές.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής που κρίθηκαν ιδιαιτέρως ικανοποιητικά μπορούν να συνοψιστούν στα εξής: [7], [8], [23]

- Ο χρόνος διάτρησης συσχετίζεται γραμμικά με την αντοχή του κονιάματος στην περίπτωση που το δοκίμιο δε φορτίζεται με κάποιο θλιπτικό φορτίο. Η συσχέτιση αυτή είναι ανεξάρτητη από το είδος του κονιάματος.
- Ο χρόνος διάτρησης συσχετίζεται γραμμικά με την αντοχή του κονιάματος και στην περίπτωση που το δοκίμιο φορτίζεται με κάποιο θλιπτικό φορτίο. Η ύπαρξη του φορτίου όμως αυξάνει τους χρόνους διάτρησης με αποτέλεσμα η συσχέτιση να εκφράζεται με διαφορετική ευθεία από ότι στην πρώτη περίπτωση και ομοίως είναι ανεξάρτητη από το είδος του κονιάματος.
- Σε έρευνες που έγιναν σε κονιάματα που παρασκευάστηκαν με διάφορες κονίες (τσιμεντοκονιάματα, ασβεστοτσιμεντοκονιάματα, ποζουλιανοασβεστοκονιάματα) αλλά με την ίδια άμμο (ασβεστολιθική) βρέθηκε ότι δεν υπάρχει διαφοροποίηση της συσχέτισης ανάλογα με το συνδετικό υλικό.
- Σε έρευνες που έγιναν σε κονιάματα με το ίδιο συνδετικό υλικό (τσιμέντο), αλλά με διάφορες άμμους διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης προέκυψε γραμμική

συσχέτιση μεταξύ χρόνου διάτρησης και θλιπτικής αντοχής. Η συσχέτιση αυτή διαφοροποιείται αν μεταβληθεί η διάμετρος του τρυπανιού και η δύναμη με την οποία εφαρμόζεται αυτό στην επιφάνεια του δοκιμίου. Συγκεκριμένα αύξηση της διαμέτρου και μείωση της δύναμης είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου διάτρησης στα κονιάματα με άμμο μεγαλύτερου μεγέθους κόκκων.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα υλικά που εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι τούβλα και φυσικοί λίθοι (πετρώματα).

Από την πρώτη κατηγορία χρησιμοποιήθηκαν διάτρητα και συμπαγή τούβλα που προέρχονταν από διαφορετικές περιοχές (Καλαμάτα, Χαλκίδα κ.λ.π.), εργοστάσια παραγωγής και μάντρες οικοδομικών υλικών. Συγκεκριμένα έγιναν δοκιμές σε:

- διάτρητα τούβλα
 - 6 οκτάοπα τούβλα με διαστάσεις 6 x 11 x 19 cm
 - 24 εξάοπα τούβλα με διαστάσεις 6 x 9 x 19 cm
- συμπαγή τούβλα
 - 16 τσιμεντότουβλα με σκαφοειδή εκσκαφή στη μία τους επιφάνεια
 - 15 πλίνθους που προέρχονταν από παλιά τοιχοποιία
 - 4 πυρότουβλα
 - 13 διακοσμητικά τούβλα διαφόρων αποχρώσεων.

Από τη δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιήθηκαν ασβεστόλιθοι και μάρμαρα διαφόρων περιοχών της Ελλάδας, που παραχωρήθηκαν στη μορφή κυλινδρικών δοκιμίων από το τμήμα Γεωτεχνικής Μηχανικής του Κεντρικού Εργαστηρίου Δημοσίων Έργων (Κ.Ε.Δ.Ε.). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν φυσικοί λίθοι δομής που προέρχονταν από την περιοχή Παραμυθιάς Θεσπρωτίας. Το πέτρωμα αυτό σε μορφή ογκωδών τεμαχίων διαμορφώθηκε στην απαιτούμενη μορφή κυλινδρικών δοκιμίων στα εργαστήρια του Κ.Ε.Δ.Ε.

Τα κυλινδρικά δοκίμια λαμβάνονται με εργαστηριακό αδαμαντογεωτρύπανο (καροταρία), που είναι εφοδιασμένο με ειδικό αδαμαντοτρύπανο λεπτού τοιχώματος για οικονομία υλικού. Για τη διευκόλυνση της δειγματοληψίας στο εργαστήριο το δείγμα, πριν τοποθετηθεί στην τράπεζα του αδαμαντογεωτρύπανου, διαμορφώνεται χονδροειδώς με τη βοήθεια αδαμαντοτροχού σε μικρών διαστάσεων κυβόλιθο (περίπου μέχρι 30 cm πλευρά) με επίπεδη βάση για καλή έδραση στην τράπεζα. Τα δείγματα μορφής πυρήνα που προέκυψαν από το πέτρωμα αποκóπτονται με αδαμαντοτροχό σε κατάλληλα μήκη ανάλογα με την επιθυμητή σχέση L/D (μήκους / διαμέτρου). Την κοπή ακολουθεί προσεκτική λείανση της μεν κυλινδρικής επιφάνειας σε τόρνο, των δε βάσεων σε δίσκο

λείανσης. Σ' ένα ιδανικό δοκίμιο οι βάσεις πρέπει να είναι τελείως παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες προς τον μεγάλο άξονα του δοκιμίου. [24]

Τα παραπάνω υλικά υποβλήθηκαν στις ακόλουθες δοκιμές:

- δοκιμή διάτρησης (όλα τα υλικά)
- δοκιμή σε θλίψη (όλα τα υλικά)
- δοκιμή σε απότριψη (μόνο μερικά από τα συμπαγή τούβλα)

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται λεπτομερώς η διαδικασία που ακολουθείται για την πραγματοποίηση των δοκιμών αυτών.

5.2. ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Όπως και σε ανάλογες εργασίες [7],[8] που έχουν γίνει με κονιάματα, η δοκιμή της διάτρησης βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται ώστε να διανοιχθεί μικρή οπή στην επιφάνεια του ελεγχόμενου υλικού με ηλεκτρικό τρυπάνι συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Για να μπορέσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων να είναι συγκρίσιμα, θα πρέπει οι διαστάσεις των οπών, καθώς και οι παράμετροι διάτρησης του τρυπανιού να είναι σταθερές. Έτσι πρέπει να διατηρούνται σταθερά:

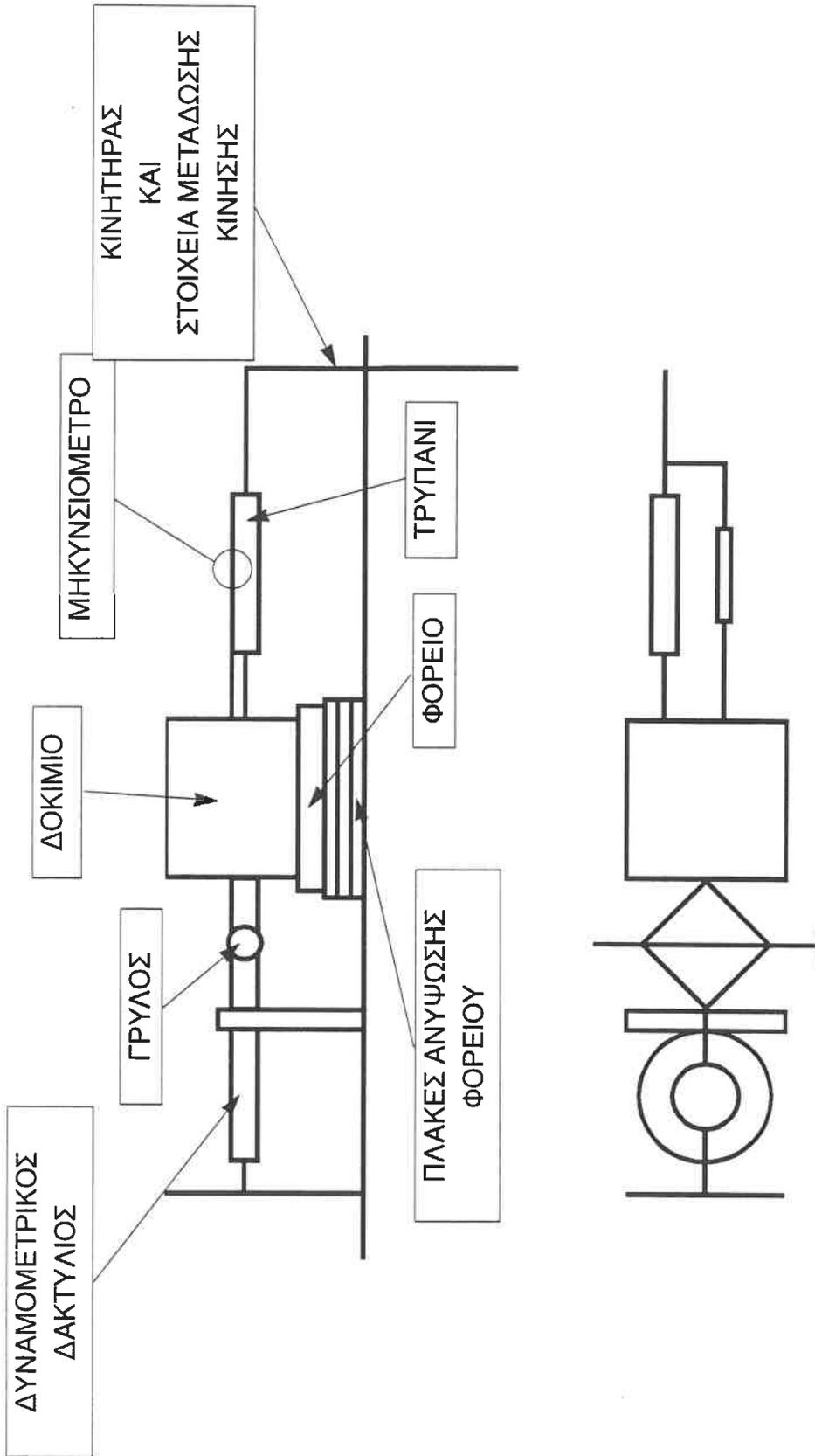
- το βάθος της διανοιγόμενης οπής
- το είδος του τρυπανιού
- η διάμετρος του τρυπανιού
- η ταχύτητα περιστροφής του τρυπανιού
- η δύναμη με την οποία το τρυπάνι δημιουργεί την οπή.

Για την πραγματοποίηση της δοκιμής αυτής χρησιμοποιήθηκε διάταξη που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής (Τ.Μ.Σ.Υ.) του Ε.Μ.Π. (σχήμα 5.1). Η διάταξη αυτή που αρχικά είχε κατασκευαστεί για την πραγματοποίηση δοκιμών διάτμησης, μετατράπηκε κατάλληλα για πειράματα διάτρησης σε δοκίμια κονιαμάτων. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε η ίδια διάταξη με μικρές μόνο προσαρμογές που οφείλονται στη διαφορετικότητα του όγκου, του σχήματος και της σκληρότητας των εξεταζόμενων δοκιμίων.

Η συσκευή αποτελείται ουσιαστικά από δύο μέρη. Το πρώτο περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- ένα ηλεκτρικό κινητήρα που παράγει την απαιτούμενη ενέργεια. Ο κινητήρας έχει ενσωματωμένο μειωτή στροφών μεγάλης ακρίβειας που διατηρεί σταθερές τις στροφές στην έξοδο του κινητήρα ανεξάρτητα από την αντίσταση που συναντάται κατά την εκτέλεση της δοκιμής. Με τη βοήθεια ενός ροοστάτη υπάρχει η δυνατότητα να μεταβάλλεται κατά το επιθυμητό η ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο του κινητήρα.
- ένα τρυπάνι που είναι σταθερά συνδεδεμένο πάνω στη διάταξη.
- ένα σύστημα από αλυσίδες και οδοντωτούς τροχούς με τη βοήθεια των οποίων γίνεται μετάδοση της περιστροφικής κίνησης από τον κινητήρα στο τρυπάνι.
- ένα μηχανικό μηκυνσιόμετρο συνδεδεμένο παράλληλα με το τρυπάνι.

Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:



Σχήμα 5.1: Συσκευή εκτέλεσης της δοκιμής διάτρησης.

- το φορείο πάνω στο οποίο τοποθετείται το δοκίμιο, που επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση μόνο κατά τη διεύθυνση του άξονα του τρυπανιού.
- ένα δυναμομετρικό δακτύλιο συνδεδεμένο στη μία του πλευρά με ένα σταθερό σημείο.
- ένα μηχανικό γρύλο που εφάπτεται από τη μία πλευρά με το άλλο άκρο του δυναμομετρικού δακτυλίου και από την άλλη με το δοκίμιο.

Όλα τα παραπάνω εξαρτήματα είναι τοποθετημένα στην ίδια νοητή ευθεία.

Σε σχέση με τη διάταξη που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενα πειράματα με κονιάματα έχουν γίνει οι εξής αλλαγές:

- το τρυπάνι τοποθετήθηκε σε μεγαλύτερο ύψος, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα μετρήσεων σε όλη την επιφάνεια ακόμα και δοκιμίων μεγαλύτερου όγκου.
- το σύστημα των αλυσίδων και οδοντωτών τροχών αντικαταστάθηκε, ώστε να αυξηθεί η ταχύτητα περιστροφής του τρυπανιού πέρα από τα όρια που επιτρέπει ο ροοστάτης του κινητήρα.
- το φορείο πάνω στο οποίο τοποθετείται το δοκίμιο αντικατέστησε μια σειρά από μικρές χαλύβδινες ράβδους κυκλικής διαμέτρου (κατρακύλια).
- το δοκίμιο μπορεί να μεταβάλλει τη θέση του καθ' ύψος ανάλογα με το επιθυμητό σημείο διάτρησης με την τοποθέτηση, κάτω από το φορείο, στρώσεων από πλάκες διαφόρων παχών.

Η δοκιμή της διάτρησης εκτελείται ως εξής:

Το δοκίμιο τοποθετείται πάνω στο φορείο της διάταξης και στερεώνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να εμποδίζεται η μετακίνησή του κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Κάτω από το φορείο τοποθετούνται πλάκες, ώστε το δοκίμιο να φτάσει στο κατάλληλο ύψος σε σχέση με το τρυπάνι. Με τη βοήθεια του μηχανικού γρύλου το δοκίμιο ωθείται προς το τρυπάνι μέχρι το τελευταίο να αγγίξει την επιφάνειά του υλικού. Σημειώνουμε ότι η διεύθυνση του τρυπανιού είναι κάθετη στην επιφάνεια του δοκιμίου.

Μετά την παραπάνω προεργασία, εφαρμόζουμε με το μηχανικό γρύλο την επιθυμητή δύναμη με την οποία θα γίνεται η διάτρηση. Η τιμή της φαίνεται στο δυναμομετρικό δακτύλιο που είναι συνδεδεμένος στην άλλη άκρη του γρύλου. Στη συνέχεια τίθεται σε λειτουργία ο ηλεκτρικός κινητήρας για την έναρξη της διάτρησης, αφού προηγουμένως έχει ρυθμιστεί η ταχύτητα περιστροφής που απαιτείται. Ταυτόχρονα αρχίζει και η χρονομέτρηση της με τη βοήθεια ηλεκτρονικού χρονομέτρου. Με το πέρασμα του χρόνου, το δοκίμιο μετακινείται προς το τρυπάνι, με αποτέλεσμα να μειώνεται η δύναμη που ασκείται σ' αυτό. Για το λόγο αυτό ο χειριστής πρέπει να παρακολουθεί συνεχώς τη δύναμη στο δυναμομετρικό δακτύλιο και να τη διορθώνει με

κατάλληλους χειρισμούς του γρύλου, έτσι ώστε να διατηρείται σταθερή μέσα στα όρια του $\pm 3\%$ σε όλη τη διάρκεια της δοκιμής. Παράλληλα πρέπει να παρακολουθεί και το βάθος της δημιουργούμενης οπής που φαίνεται στο μηχανικό μηκυσιόμετρο. Τη χρονική στιγμή που το μηκυσιόμετρο δείχνει ότι το τρυπάνι έχει φτάσει στο καθορισμένο βάθος ολοκληρώνεται η δοκιμή, ο ηλεκτρικός κινητήρας τίθεται εκτός λειτουργίας και σημειώνεται η ένδειξη του χρονομέτρου για το χρόνο διάτρησης της συγκεκριμένης οπής. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και σε άλλες θέσεις του ίδιου δοκιμίου.

Όπως αναφέρθηκε η δοκιμή της διάτρησης εφαρμόστηκε σε όλα τα δοκίμια που είχαν συγκεντρωθεί (τούβλα, κυλινδρικά δοκίμια πετρωμάτων). Στην περίπτωση των τούβλων χρησιμοποιήθηκε τρυπάνι τοιχοποιίας από τιτάνιο για να μην υφίσταται φθορές λόγω τριβής που θα επηρέαζαν τις μετρήσεις. Στο κάθε ένα δημιουργήθηκαν συνολικά 10 οπές, από 5 σε κάθε μία από τις δύο επιφάνειες που φορτίζονται στις κατασκευές. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά παραθέτονται παρακάτω.

- Επιλέχθηκε διάμετρος τρυπανιού 4 mm, διότι από προηγούμενη εργασία πάνω σε κονιάματα [7] διαπιστώθηκε ότι αυτή ήταν η πλέον κατάλληλη διάμετρος. Η θεώρηση αυτή μπορεί να γίνει αφού το βασικό υλικό από το οποίο αποτελούνται τα τούβλα είναι το πηλοκονίαμα.

- Η δύναμη εφαρμογής του τρυπανιού ήταν 200 N. Η επιλογή αυτής της τιμής έγινε διότι μικρότερη δύναμη είχε ως αποτέλεσμα πολύ μεγάλους χρόνους διάτρησης που καθιστούσαν πρακτικά προβληματική τη δοκιμή, ενώ μεγαλύτερη δύναμη είχε ως αποτέλεσμα να λυγίζει το τρυπάνι ή να καταστρέφονται τα διάτρητα τούβλα.

- Η ταχύτητα περιστροφής του τρυπανιού ήταν 2.40 στροφές/λεπτό, τιμή που έδινε χρόνους διάτρησης που θα μπορούσαν να επεξεργαστούν (ούτε πολύ μικροί, ούτε πολύ μεγάλοι).

- Το βάθος της οπής ήταν 4 mm στα συμπαγή τούβλα, τιμή που επιλέχθηκε βάσει ερευνών που είχαν γίνει σε κονιάματα [7] και θεωρούσαν αυτό ως το πιο κατάλληλο. Ωστόσο σε μερικά συμπαγή τούβλα διερευνήθηκε και η συσχέτιση χρόνου διάτρησης με θλιπτική αντοχή για μεγαλύτερα βάθη οπών (π.χ. 7 mm). Στα διάτρητα τούβλα το βάθος οπής ήταν 3 mm (σε μεγαλύτερο βάθος το τρυπάνι συναντούσε τις διαμπερείς οπές που έχουν κατά μήκος της μάζας τους τα τούβλα). Σημειώνουμε ότι σε κάθε περίπτωση καταγράφηκαν και οι ενδιάμεσοι χρόνοι που απαιτούνταν για να φτάσει το τρυπάνι στο πρώτο, δεύτερο, τρίτο, τέταρτο κ.λ.π. χιλιοστό του τελικού βάθους της οπής.

Στην περίπτωση των πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο τρυπάνι κοβαλτίου αυξημένης σκληρότητας. Πριν την εκτέλεση της δοκιμής τα δοκίμια

τοποθετήθηκαν σε φούρνο, σε θερμοκρασία 100-105 °C για 24 ώρες, ώστε να επιτευχθεί η ξήρανσή τους. Στη συνέχεια και μέχρι να δοκιμαστούν διατηρήθηκαν σε ξηραντήρα. Ακολούθως στο κάθε δοκίμιο δημιουργήθηκαν συνολικά 10 οπές στις δύο επίπεδες επιφάνειές του (5 σε κάθε μία). Ωστόσο σε μερικά δοκίμια για πρακτικούς λόγους εξαιτίας των μεγάλων χρόνων διάτρησης ανοίχθησαν λιγότερες οπές. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά παραθέτονται παρακάτω.

- Η διάμετρος του τρυπανιού ήταν 4 mm. Η τιμή αυτή θεωρήθηκε ως η πιο κατάλληλη, αφού μεγαλύτερη διάμετρος έδινε πολύ μεγάλους χρόνους διάτρησης, ενώ μικρότερη οδηγούσε σε αστοχία το τρυπάνι (λύγιζε).

- Η δύναμη εφαρμογής του τρυπανιού ήταν 200 N. Η τιμή αυτή ήταν η μεγαλύτερη δυνατή που μπορούσε να ασκηθεί στο τρυπάνι χωρίς να αστοχήσει.

- Η ταχύτητα περιστροφής του τρυπανιού ήταν 4.30 στροφές/λεπτό. Αυτή ήταν η μέγιστη δυνατή ταχύτητα που μπορούσε να επιτευχθεί με τα δεδομένα του διαθέσιμου κινητήρα παρ' όλες τις μετατροπές που έγιναν για να αυξηθεί. Σημειώνουμε ότι οι αυξημένοι χρόνοι διάτρησης των πετρωμάτων έδειξαν ότι η ταχύτητα περιστροφής του τρυπανιού θα έπρεπε να ήταν ακόμη μεγαλύτερη.

- Το βάθος της οπής ήταν 4 mm. Και αυτή η τιμή επιλέχθηκε για τους πρακτικούς λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η ανάγκη να εξεταστεί η συμπεριφορά της μεθόδου στα ενδιάμεσα βάθη οδήγησε στην καταγραφή και των χρόνων που απαιτούνταν για να φτάσει το τρυπάνι στο πρώτο, δεύτερο, τρίτο χιλιοστό του τελικού βάθους της οπής.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής διάτρησης στα τούβλα και στα πετρώματα παραθέτονται αναλυτικά σε πίνακες στο επόμενο κεφάλαιο.

5.3. ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Μετά τη μέτρηση των χρόνων διάτρησης των δοκιμίων, ακολούθησε ο προσδιορισμός της θλιπτικής τους αντοχής, ώστε να διερευνηθεί η δυνατότητα συσχέτισης των δύο αυτών μεγεθών.

5.3.1. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΤΟΥΒΛΩΝ

Η πρότυπη τεχνική προδιαγραφή BS 3921: 1985 [12] καθορίζει λεπτομερώς τη διαδικασία της δοκιμής.

Η μηχανή φόρτισης (πρέσα) περιλαμβάνει δύο πλάκες, ανάμεσα στις οποίες συνθλίβονται τα δοκίμια. Οι πλάκες αυτές πρέπει να είναι επίπεδες, καλά λειασμένες και να έχουν κατασκευαστεί από σκληρό σιδηρούχο υλικό, ώστε να αποκλείεται η πλαστική παραμόρφωσή τους. Για να εξασφαλίζεται η παραλληλία των πλακών φόρτισης καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής, πρέπει η μία από αυτές να μπορεί να περιστρέφεται προς όλες τις κατευθύνσεις, μέσα σε καθορισμένα όρια.

Αρχικά μετρούνται οι συνολικές διαστάσεις των επιφανειών φόρτισης των τούβλων και υπολογίζεται το εμβαδόν της μικρότερης από αυτές. Ακολούθως, και ανάλογα με το είδος του τούβλου, γίνονται τα εξής:

- Για τα διάτρητα, τα συμπαγή και τα συμπαγή με κοίλωμα (σκαφοειδή εκσκαφή) που πρόκειται να τοποθετηθούν με το κοίλωμα προς τα κάτω:

Το τούβλο τοποθετείται στο νερό για 24 ώρες.

- Για τα συμπαγή με ένα μόνο κοίλωμα που πρόκειται να τοποθετηθούν με το κοίλωμα προς τα πάνω:

Το τούβλο τοποθετείται σε νερό θερμοκρασίας περιβάλλοντος για όχι λιγότερο από 24 ώρες. Στη συνέχεια το αφήνουμε να στραγγίξει επί 5 λεπτά και το σκουπίζουμε, ώστε να απομακρυνθεί το νερό που έμεινε στην επιφάνεια. Γεμίζουμε το κοίλωμα με κονίαμα, που η θλιπτική του αντοχή πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 28-42 N/mm² τη στιγμή της δοκιμής, συντηρούμε το τούβλο σε συνθήκες υγρασίας κάτω από φύλλο πλαστικού υλικού, ώστε να σκληρυνθεί το κονίαμα (24 ώρες για μείγμα που περιέχει τσιμέντο Portland) και τοποθετούμε εκ νέου το δοκίμιο στο νερό.

- Για τα συμπαγή με διπλό κοίλωμα:

Ετοιμάζουμε το τούβλο και γεμίζουμε το πρώτο κοίλωμα με κονίαμα όπως περιγράφεται παραπάνω. Μετά από 4-8 ώρες, γεμίζουμε και το δεύτερο κοίλωμα με κονίαμα όμοιο με το πρώτο. Συντηρούμε το τούβλο σε συνθήκες υγρασίας κάτω από

φύλλο πλαστικού υλικού, ώστε να σκληρυνθεί το κονίαμα (24 ώρες για μείγμα που περιέχει τσιμέντο Portland) και τοποθετούμε το δοκίμιο στο νερό.

Στη συνέχεια απομακρύνουμε τα τούβλα από το νερό. Καθαρίζουμε τις πλάκες φόρτισης της πρέσας και λειαίνουμε τις επιφάνειες του δοκιμίου που θα έρθουν σε επαφή με την πρέσα. Για να εξασφαλίσουμε την επιπεδότητα των δοκιμίων που δεν καλύφθηκαν με κονίαμα, τα τοποθετούμε μεταξύ φύλλων κόντρα-πλακέ. Το κόντρα πλακέ πρέπει να είναι τριών στρώσεων με συνολικό πάχος 4 mm και οι διαστάσεις της επιφάνειάς του να υπερβαίνουν αυτές των επιφανειών φόρτισης του τούβλου κατά 5-15 mm. Για κάθε δοκίμιο χρησιμοποιούμε νέο ζευγάρι φύλλων κόντρα-πλακέ.

Τοποθετούμε το δοκίμιο στη μηχανή κατά τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται απολύτως αξονική φόρτιση. Θέτουμε σε λειτουργία τη συσκευή και φορτίζουμε το κάθε τούβλο με σταθερό ρυθμό που δεν υπερβαίνει τα 35.0 N/(mm²·min) μέχρι περίπου το μισό του τελικού φορτίου θραύσης και ακολούθως μεταβάλλουμε την ταχύτητα φόρτισης σε 15.0 N/(mm²·min) που παραμένει σταθερή μέχρι τη θραύση του δοκιμίου.

Τέλος καταγράφουμε το φορτίο θραύσης και υπολογίζουμε τη θλιπτική αντοχή του τούβλου διαιρώντας το φορτίο αυτό με το εμβαδόν της μικρότερης από τις δύο επιφάνειες φόρτισης.

Στην Ελλάδα σύμφωνα με την πρότυπη τεχνική προδιαγραφή τούβλων τοιχοποιίας Δ-100 [16] σχετικά με την αντοχή τους σε θλίψη ισχύουν τα εξής:

Ως δοκίμιο λαμβάνεται ολόκληρο το τούβλο. Οι μεγαλύτερες από τις επιφάνειες του επιλέγονται ως επιφάνειες έδρασης-φόρτισης. Αν οι επιφάνειες αυτές έχουν αυλακώσεις ή παρουσιάζουν ανωμαλίες ή κοιλώματα πρέπει να γίνει επιπέδωσή τους με λεπτό στρώμα κονιάς, η σύνθεση της οποίας θα είναι ένα μέρος όγκου τσιμέντο και ένα μέρος όγκου γύψο στα οποία προστίθεται τόσο νερό, ώστε να παρασκευαστεί πυκνόρευστος πολτός. Μετά την επιπέδωση και πριν τον έλεγχο της αντοχής σε θλίψη πρέπει να μεσολαβήσουν τουλάχιστον 48 ώρες.

Στη συνέχεια μετριούνται οι διαστάσεις των επιφανειών έδρασης-φόρτισης με ακρίβεια 1 mm και υπολογίζεται το εμβαδόν τους. Ο έλεγχος της αντοχής σε θλίψη γίνεται σε κατάλληλη εργαστηριακή συσκευή ακρίβειας 1% του φορτίου. Ο ρυθμός φόρτισης πρέπει να είναι ομοιόμορφος και τόσοσ ώστε η θράυση του δοκιμίου να προκληθεί σε χρόνο 1-2 min.

Η αντοχή σε θλίψη του δοκιμίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_{\theta} = P/F$$

όπου:

σ_{θ} = τάση θραύσης σε θλίψη του δοκιμίου σε N/mm^2

P = φορτίο θραύσης σε θλίψη του δοκιμίου σε N

F = ημιάθροισμα των τιμών εμβαδού των δύο επιφανειών έδρασης-φόρτισης σε mm^2

Στην παρούσα έρευνα η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων ήταν διαφορετική ανάλογα με τον τύπο του τούβλου (διάτρητο ή συμπαγές). Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε υδραυλική μηχανή 60t τύπου TONIPACT, TONINDUSTRIE.

Σε κάθε διάτρητο τούβλο, μετά τη δοκιμή διάτρησης, μετρήθηκαν με ακρίβεια χιλιοστού οι διαστάσεις των επιφανειών φόρτισης και υπολογίστηκε το εμβαδόν της μικρότερης εξ' αυτών. Στη συνέχεια, αφού τοποθετήθηκαν μεταξύ δύο φύλλων τριπλής στρώσης κόντρα-πλακέ, δοκιμάστηκαν σε θλίψη στην παραπάνω μηχανή. Η ταχύτητα επιβολής του φορτίου ήταν 5.00 KN/sec για τα οκτάοπα τούβλα και 4.00 KN/sec για τα εξάοπα, ώστε να διατηρείται σταθερή η ταχύτητα επιβολής της τάσης. Όταν επέλθει η θραύση, καταγράφουμε από την ηλεκτρονική ένδειξη της μηχανής το φορτίο αστοχίας (σε KN) από το οποίο, διαιρώντας με το εμβαδόν της μικρότερης επιφάνειας, υπολογίζουμε τη θλιπτική αντοχή του δοκιμίου.

Τα συμπαγή τούβλα, επειδή πολλά από αυτά είχαν κοιλώματα στη μάζα τους και ήταν πρακτικά δύσκολη η επιπέδωσή τους με κονίαμα, δοκιμάστηκαν με διαφορετικό τρόπο, που βασίζεται στον έλεγχο ενός τμήματος του τούβλου, κυβικού ή πρισματικού σχήματος. Η θεώρηση αυτή μπορεί να γίνει αφού στην ουσία δεν μας ενδιαφέρει η αντοχή του τούβλου αυτού καθ' αυτού, αλλά η αντοχή του υλικού του (πηλοκονίαμα). Έτσι δεν δοκιμάστηκε ολόκληρο το τούβλο αλλά ένα τμήμα του, που επιδιώκουμε να έχει το σχήμα και τις διαστάσεις των τυποποιημένων δοκιμίων ελέγχου κονιαμάτων (π.χ. κύβος 7 cm). Ωστόσο επειδή αυτό δεν ήταν πάντα εφικτό, η θλιπτική αντοχή υπολογίστηκε σε πρισματικά ή κυβικά τμήματα και στη συνέχεια προσαρμόστηκε κατάλληλα με τη βοήθεια συντελεστών διόρθωσης λόγω σχήματος και λόγω μεγέθους, για να αναχθούμε τελικά σε κύβο πλευράς 7 cm.

Τα τμήματα των τούβλων αυτών αποκόπηκαν με ηλεκτρικό τροχό και μετρήθηκαν με ακρίβεια οι διαστάσεις τους. Συνοπτικά, δημιουργήθηκαν κυβικά δοκίμια των 4 cm, 5 cm, και 6 cm καθώς και πρισματικά δοκίμια με διαστάσεις 3x6x6 cm. Στη συνέχεια αφού επιπεδώθηκαν οι επιφάνειες φόρτισής τους με σιδηρόστοκο, δοκιμάστηκαν σε θλίψη. Η ταχύτητα επιβολής του φορτίου ήταν 0.98 KN/sec για τα κυβικά δοκίμια πλευράς 5-6 cm, 0.48 KN/sec για τα κυβικά δοκίμια πλευράς 4 cm και 0.78 KN/sec

για τα πρισματικά δοκίμια, ώστε να διατηρείται σταθερή η ταχύτητα επιβολής της τάσης. Γενικά, η ταχύτητα επιβολής της τάσης (MPa/sec) πρέπει να είναι η ίδια στις διάφορες δοκιμές, για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα. Όταν επέλθει η θραύση, καταγράφουμε από την ηλεκτρονική ένδειξη της μηχανής το φορτίο αστοχίας (σε KN) από το οποίο, διαιρώντας με το εμβαδόν της μικρότερης επιφάνειας, υπολογίζουμε τη θλιπτική αντοχή του δοκιμίου.

Στη συνέχεια η τιμή της αντοχής διορθώνεται λόγω σχήματος για τα πρισματικά δοκίμια (ώστε να αναχθεί το πρίσμα σε κύβο) και λόγω μεγέθους για όλα τα δοκίμια (ώστε να αναχθούν σε κύβο πλευράς 7 cm).

Ο συντελεστής λόγω σχήματος ($\Sigma\Delta\sigma$) προκύπτει από έρευνα σε τσιμεντοκονιάματα ως εξής: Παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο 12 κυβικά δοκίμια πλευράς 7 cm από το ίδιο τσιμεντοκονίαμα, εκ των οποίων μετά από 20 ώρες τα 8 δοκιμάστηκαν σε θλίψη ολόκληρα με ταχύτητα φόρτισης 0.98 KN/sec, ενώ τα 4 αποκόπηκαν στη μέση, με αποτέλεσμα η δοκιμή να γίνει σε 8 δοκίμια πρισματικού σχήματος που είχαν το μισό όγκο από ότι τα πρώτα και με ταχύτητα φόρτισης 0.78 KN/sec. Τα αποτελέσματα της έρευνας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα έρευνας για τον υπολογισμό συντελεστή διόρθωσης αντοχής λόγω σχήματος

α/α Δοκιμίου	Επιφάνειες φόρτισης		Φορτίο θραύσης (KN)	Θλιπτική αντοχή (MPa)
	Διαστάσεις (mm)	Εμβαδόν (mm ²)		
1	71-72	5112	155.2	30.36
2	71-72	5112	149.8	29.30
3	70-71	4970	156.3	31.45
4	71-71	5041	154.6	30.67
5	70-71	4970	148.6	29.90
6	71-71	5041	154.7	30.69
7	71-71	5041	155.8	30.91
8	70-72	5040	149.5	29.66
9α	72-32	2304	68.0	29.51
9β	72-36	2592	77.4	29.86
10α	72-34	2448	72.6	29.66
10β	72-34	2448	69.4	28.35
11α	72-31	2232	60.4	27.06
11β	71-37	2627	71.6	27.26
12α	70-33	2310	67.6	29.26
12β	70-35	2450	72.8	29.71

Μέση τιμή αντοχής ολόκληρων δοκιμίων (1 ως 8): $M_{to} = 30.37 \text{ MPa}$

Τυπική απόκλιση ολόκληρων δοκιμίων (1 ως 8): 0.7092 MPa

Συντελεστής μεταβλητότητας ολόκληρων δοκιμίων (1 ως 8): 2.34%

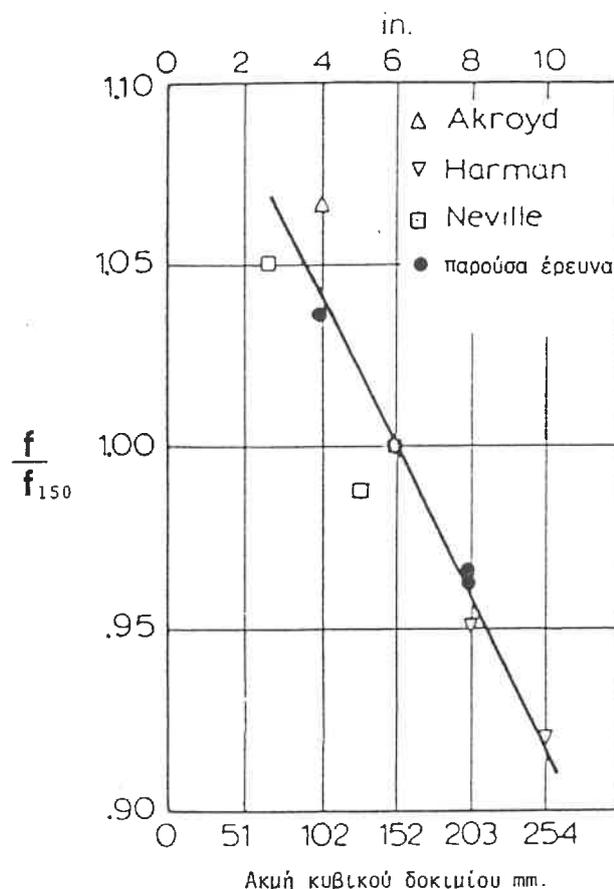
Μέση τιμή αντοχής μισών δοκιμίων (9α ως 12β): $M_{tm} = 28.83 \text{ MPa}$

Τυπική απόκλιση μισών δοκιμίων (9α ως 12β): 1.1339 MPa

Συντελεστής μεταβλητότητας μισών δοκιμίων (9α ως 12β): 3.93%

Συντελεστής διόρθωσης (Σδσ) = $M_{to} / M_{tm} = 30.37 / 28.83 = 1.05$

Ως συντελεστής λόγω μεγέθους δοκιμίου (Σδμ), θεωρήθηκε αυτός που προκύπτει από παλαιότερη έρευνα πάνω στο λόγο των θλιπτικών αντοχών κυβικών δοκιμίων σκυροδέματος που είχαν διάφορα μήκη πλευράς [25], [26]. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής απεικονίζονται στο σχήμα 5.2. [26].



Σχήμα 5.2: Σχέση μεταξύ θλιπτικής αντοχής και μήκους πλευράς κυβικών δοκιμίων [26]

Στο διάγραμμα αυτό f/f_{150} είναι ο λόγος της αντοχής κύβου με κάποιο μήκος πλευράς προς την αντοχή κύβου πλευράς 15 cm. Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα για τα κυβικά δοκίμια που δοκιμάστηκαν στην παρούσα έρευνα, προκύπτουν οι εξής συντελεστές διόρθωσης ($\Sigma\delta\mu$), για αναγωγή σε κύβο ακμής 7 cm:

- κυβικά δοκίμια πλευράς 4 cm $\rightarrow \Sigma\delta\mu = 1.02$
- κυβικά δοκίμια πλευράς 5 cm $\rightarrow \Sigma\delta\mu = 1.02$
- κυβικά δοκίμια πλευράς 6 cm $\rightarrow \Sigma\delta\mu = 1.01$

Όλα τα αποτελέσματα θλιπτικών αντοχών των τούβλων παραθέτονται αναλυτικά σε πίνακες στο επόμενο κεφάλαιο.

5.3.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΘΛΙΨΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής των δοκιμών πετρώματος πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο βραχομηχανικής του τμήματος Γεωτεχνικής Μηχανικής του Κεντρικού Εργαστηρίου Δημοσίων Έργων, σύμφωνα με την προδιαγραφή εργαστηριακών δοκιμών βραχομηχανικής (E 103-84) [27].

Η δοκιμή αυτή έχει σαν σκοπό τον προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική συμπίεση δοκιμών πετρωμάτων, δηλαδή χωρίς την άσκηση πλευρικής πίεσης. Τα δοκίμια πρέπει να είναι ορθού κυλινδρικού σχήματος με λόγο ύψους προς διάμετρο (L/D) 2.5-3.0 και διάμετρο όχι μικρότερη των 54 mm. Οποσδήποτε η διάμετρος του δοκιμίου θα πρέπει να είναι δεκαπλάσια του μεγέθους του μεγαλύτερου κόκκου των ορυκτών που αποτελούν τη δομή του πετρώματος. Τα άκρα του δοκιμίου πρέπει να είναι λεία και επίπεδα με μέγιστη απόκλιση 0.02 mm και να είναι παράλληλα μεταξύ τους, ώστε να μην αποκλίνουν από την κάθετο προς τον άξονα του δοκιμίου περισσότερο από 0.001 rad. Τα δοκίμια της παρούσας έρευνας επειδή έφεραν μικρές οπές στα άκρα τους από τη δοκιμή διάτρησης που είχε προηγηθεί, διαμορφώθηκαν εκ' νέου ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του κανονισμού.

Η κυλινδρική επιφάνεια (περίμετρος) πρέπει να είναι ελεύθερη από προεξοχές, δηλαδή να είναι λεία και απαλλαγμένη από απότομες ανωμαλίες, με μέγιστη απόκλιση από την ευθεία για όλο το μήκος του δοκιμίου 0.3 mm.

Πριν την εκτέλεση της δοκιμής μετρείται η διάμετρος του δοκιμίου με ακρίβεια 0.1 mm, με τη λήψη του μέσου όρου δύο μετρήσεων της διαμέτρου σε ορθή γωνία μεταξύ τους στο μέσο του δοκιμίου, καθώς και στο άνω και κάτω άκρο αυτού. Ο μέσος όρος των

έξι αυτών μετρήσεων χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εγκάρσιας διατομής του δοκιμίου. Το ύψος του δοκιμίου μετρείται με ακρίβεια 0.1 mm.

Οι συνθήκες υγρασίας του δοκιμίου κατά τη δοκιμή καλό είναι να αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές επιτόπου συνθήκες, γι' αυτό η φύλαξή του δεν πρέπει να διαρκεί πάνω από 30 ημέρες, ενώ τηρούνται οι προϋποθέσεις για τη διατήρηση της φυσικής του υγρασίας. Είναι όμως δυνατόν οι συνθήκες υγρασίας να είναι διαφορετικές ή το δοκίμιο να είναι σε ξηρή κατάσταση. Τα δοκίμια που εξετάζονται σε ξηρή κατάσταση τοποθετούνται σε φούρνο θερμοκρασίας 105 ± 5 °C για 24 ώρες, πράγμα που έγινε και στην παρούσα έρευνα.

Αφού πάρουμε όλες τις απαιτούμενες μετρήσεις, τοποθετούμε το δοκίμιο στη μηχανή φόρτισης (πρέσα). Η πρέσα πρέπει να είναι εξοπλισμένη με δύο χαλύβδινες πλάκες κυκλικού σχήματος σκληρότητας κατά Rockwell, όχι μικρότερης του HRC 58. Η μία από τις πλάκες πρέπει να έχει σφαιρική έδραση και η άλλη να είναι άκαμπτη και επίπεδη. Οι πλάκες αυτές θα πρέπει να έχουν πάχος μεγαλύτερο των 15 mm και οι επιφάνειές τους δεν θα πρέπει να αποκλίνουν του επιπέδου περισσότερο από 0.005 mm. Το δοκίμιο, οι χαλύβδινες πλάκες και η σφαιρική έδραση θα πρέπει να είναι κεντραωμένα σε σχέση με τον άξονα φόρτισης.

Το φορτίο πρέπει να εφαρμόζεται συνεχώς και βαθμιαία στο δοκίμιο με σταθερή ταχύτητα φόρτισης 0.5-1.0 MPa/sec. Η θραύση του δοκιμίου πρέπει να επέλθει μέσα σε 5-10 min. Το μέγιστο φορτίο που επιβλήθηκε στο δοκίμιο σε KN ή MN καταγράφεται στο έντυπο της δοκιμής.

Η αντοχή του δοκιμίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_c = P / A$$

όπου:

σ_c : η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (KPa ή MPa)

P: το φορτίο θραύσης (KN ή MN)

A: το εμβαδόν της εγκάρσιας διατομής του δοκιμίου (m²)

Όλα τα αποτελέσματα θλιπτικών αντοχών των πετρωμάτων παραθέτονται αναλυτικά σε πίνακες στο επόμενο κεφάλαιο.

5.4. ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΑΠΟΤΡΙΨΗ

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας έγινε σε περιορισμένο βαθμό και μια προσπάθεια συσχέτισης των αποτελεσμάτων της δοκιμής διατήρησης με αυτά της αντοχής σε απότριψη των συμπαγών τούβλων, αφού και τα δύο αφορούν επιφανειακά μεγέθη και προκαλούν την ίδια περίπου καταπόνηση. Η ανάγκη ελέγχου συμπαγών τούβλων σε απότριψη οφείλεται στο ότι πολλές φορές χρησιμοποιούνται σε κατασκευές όπου καταπονούνται σε τριβή (επίδραση φερτών υλών που μετακινούνται με τον άνεμο ή το νερό, χρήση σε διακοσμητικά δάπεδα, πεζόδρομους κ.λ.π). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν μερικά από τα τμήματα των συμπαγών τούβλων που είχαν παραμείνει μετά την αποκοπή από τη μάζα τους κυβικών και πρισματικών δοκιμίων για την εκτέλεση της δοκιμής σε θλίψη.

Οι προδιαγραφές ελέγχου υλικών δεν προβλέπουν πρότυπη δοκιμή για τον προσδιορισμό της αντοχής σε απότριψη τούβλων. Για το λόγο αυτό, επιδιώχτηκε η προκαταρκτική ανάπτυξη μιας δοκιμής απότριψης με βάση τη συσκευή Deval, που βασίζεται στη μέτρηση της απώλειας βάρους, που υφίσταται ορισμένη ποσότητα υλικού, όταν αυτή τεθεί μαζί με χαλύβδινες σφαίρες μέσα σε τύμπανο που περιστρέφεται με συγκεκριμένη ταχύτητα και για καθορισμένο αριθμό στροφών.

Η εκτέλεση της δοκιμής έγινε στη συσκευή Deval που υπάρχει στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Τ.Μ.Σ.Υ. του Ε.Μ.Π. Η συσκευή αυτή αποτελείται από δύο χυτοσιδηρούς κυλίνδρους κενούς στο εσωτερικό τους, με εσωτερική διάμετρο 20 cm και μήκος 34 cm, οι οποίοι είναι κλειστοί από το ένα άκρο τους και εφοδιασμένοι με μεταλλικά καλύμματα που εφαρμόζουν τέλεια στο άλλο άκρο τους. Οι κύλινδροι είναι κεκλιμένοι υπό γωνία 35° περίπου και συνδεδεμένοι σε έναν οριζόντιο άξονα περιστροφής. Το όλο σύστημα περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα 37 στροφές/λεπτό με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα, στον οποίο είναι προσαρμοσμένος αυτόματος μετρητής στροφών, που διακόπτει τη μηχανή όταν συμπληρωθεί ο αριθμός στροφών που έχει από πριν καθοριστεί. Μαζί με το προς έλεγχο υλικό στους κυλίνδρους εισάγεται και ορισμένο βάρος χαλύβδινων σφαιρών διαμέτρου 1 cm, που συντελούν στην απότριψη.

Πριν την εκτέλεση της δοκιμής γίνεται η προετοιμασία του υλικού. Συγκεκριμένα κάθε συμπαγές τούβλο θρυμματίζεται σε μικρά τεμάχια με τη βοήθεια σφύρας. Στη συνέχεια κοσκινίζεται το υλικό και κρατείται η ποσότητα που παραμένει στο κόσκινο No 1/4" (6.35 mm) και στο κόσκινο No 3/8" (9.52 mm). Το υλικό που συγκρατείται στο αμέσως μεγαλύτερο κόσκινο No 1/2" (12.70 mm) θρυμματίζεται εκ' νέου και ακολουθείται η ίδια διαδικασία, ώστε να συγκεντρωθεί η απαιτούμενη ποσότητα από

κάθε τούβλο για την πραγματοποίηση της δοκιμής. Η ποσότητα αυτή, που είναι περίπου 700 gr, ζυγίζεται με ακρίβεια και εισάγεται στη μηχανή. Οι υπόλοιπες παράμετροι, δηλαδή το βάρος απότριψης και ο αριθμός στροφών του τυμπάνου επιλέχθηκαν σύμφωνα με τα αποτελέσματα έρευνας στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας, που εκπονήθηκε παράλληλα στο Έργαστήριο Οδοποιίας. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν 2.5 Kg χαλύβδινων σφαιρών και η δοκιμή ολοκληρώθηκε στις 2000 στροφές.

Ακολουθώς το δείγμα εξάγεται από τον κύλινδρο και αφού διαχωριστούν οι σφαίρες, κοσκινίζεται. Το υλικό που συγκρατείται στα κόσκινα Νο 1/4” και Νο 3/8” ζυγίζεται με ακρίβεια και η διαφορά από το αρχικό δείγμα εκφρασμένη σε ποσοστό % του αρχικού βάρους, παρέχει το ποσοστό απότριψης του τούβλου.

Το παραπάνω εκφράζεται με τη σχέση:

$$W = (A - B) / A \cdot 100$$

όπου:

W = η ζητούμενη απώλεια βάρους λόγω απότριψης (%)

A = το αρχικό βάρος του δείγματος (gr)

B = το βάρος του δείγματος μετά την πραγματοποίηση της δοκιμής (gr).

Τα αποτελέσματα της δοκιμής παραθέτονται αναλυτικά σε πίνακα στο επόμενο κεφάλαιο.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών διάτρησης, μονοαξονικής θλίψης και απότριψης που εκτελέστηκαν στα υλικά (διάτρητα τούβλα, συμπαγή τούβλα, πετρώματα), που μελετήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής.

6.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Στους πίνακες 6.1 έως 6.4 φαίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών διάτρησης που έγιναν στα διάτρητα τούβλα, στους πίνακες 6.5 έως 6.10 φαίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών διάτρησης που έγιναν στα συμπαγή τούβλα και στους πίνακες 6.11 έως 6.15 φαίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών διάτρησης που έγιναν στα πετρώματα.

Σε καθένα από τους παραπάνω πίνακες καταγράφεται ο αύξων αριθμός του δοκιμίου που εξετάζεται, το είδος του, ο αριθμός των οπών που διανοίχθηκαν και ο χρόνος που απαιτήθηκε για τη διάτρηση κάθε μιας. Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής μεταβλητότητας των χρόνων διάτρησης των οπών κάθε δοκιμίου.

Σημειώνουμε ότι σε κάθε κατηγορία δοκιμίου παρουσιάζονται χωριστά οι χρόνοι διάτρησης για τα ενδιάμεσα βάθη της οπής καθώς και για το τελικό βάθος, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της συσχέτισης χρόνου διάτρησης - αντοχής σε θλίψη και σε μικρότερα βάθη από το τελικό. Τέλος, για να αποκλειστεί η περίπτωση επιρροής των εξωτερικών συνθηκών στην επιφάνεια του υλικού (διάβρωση, αποσάθρωση), υπολογίζεται και ο χρόνος που απαιτείται για διείσδυση του τρυπανιού μέχρι το τελικό βάθος αφού όμως πρώτα έχει εισχωρήσει κατά 1 mm στη μάζα του υλικού.

Θυμίζουμε ότι τα χαρακτηριστικά της δοκιμής ήταν διάμετρος τρυπανιού 4 mm, δύναμη εφαρμογής του τρυπανιού 200 N, ταχύτητα περιστροφής του τρυπανιού 2.4 στροφές/λεπτό για τα τούβλα και 4.3 στροφές/λεπτό για τα πετρώματα, τελικό βάθος οπής 3 mm για τα διάτρητα τούβλα και 4 mm για τα συμπαγή τούβλα και πετρώματα. Σε μερικά συμπαγή τούβλα το βάθος οπής ήταν 7 mm.

Στην περίπτωση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, επειδή παρατηρήθηκαν αυξημένοι χρόνοι διάτρησης κατά την εκτέλεση της δοκιμής, δημιουργήθηκαν νέες οπές στα δοκίμια με συχνή αλλαγή τρυπανιού, ώστε να παρατηρηθεί εάν η φθορά του τρυπανιού επηρεάζει τους χρόνους διάτρησης. Οι νέες αυτές οπές, για πρακτικούς λόγους, ήταν λιγότερες σε αριθμό από τις πρώτες.

Πίνακας 6.1: Χρόνοι διάτρησης διάτρητων τούβλων για διεύδυση από 0 έως 1 mm.

α/α Δοκίμιου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύδυση από 0 mm έως 1 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
7	βοπο	52	69	64	57	56	61	46	49	51	54	55,9	7,09	12,69
8	βοπο	63	59	56	54	58	65	60	55	58	57	58,5	3,44	5,88
9	βοπο	57	66	70	65	69	62	56	58	60	57	62	5,21	8,40
10	βοπο	64	63	66	114	58	54	53	55	52	44	62,3	19,32	31,01
11	βοπο	62	66	65	45	63	57	59	52	57	65	59,1	6,66	11,26
12	βοπο	63	67	64	63	61	61	58	68	61	66	63,2	3,12	4,94
13	βοπο	76	77	78	78	89	76	87	73	79	80	79,3	4,99	6,29
14	βοπο	78	71	60	64	61	81	55	67	67	67	67,1	7,96	11,87
15	βοπο	50	55	60	61	65	46	62	48	52	58	55,7	6,48	11,64
16	βοπο	64	63	69	66	65	62	51	60	57	56	61,3	5,38	8,77
17	βοπο	55	48	45	47	45	65	54	45	60	69	53,3	8,86	16,62
18	βοπο	84	79	86	80	77	83	81	96	82	89	83,7	5,54	6,62
19	βοπο	67	77	79	76	78	77	80	77	74	79	76,4	3,72	4,87
20	βοπο	72	75	83	76	81	69	80	67	62	73	73,8	6,61	8,96
21	βοπο	77	76	72	68	77	78	76	73	73	73	74,3	3,06	4,11
22	βοπο	84	75	69	80	75	72	80	87	91	97	81	8,82	10,89
23	βοπο	75	71	71	95	89	93	82	95	104	97	87,2	11,73	13,45
24	βοπο	74	71	67	59	60	72	62	82	78	80	70,5	8,30	11,78
25	βοπο	51	53	51	54	56	53	41	49	48	48	50,4	4,22	8,38
26	βοπο	58	55	54	50	57	55	59	53	60	57	55,8	3,01	5,40
27	βοπο	58	54	49	46	52	52	52	55	57	58	53,3	3,92	7,35
28	βοπο	62	60	59	59	60	58	59	52	61	55	58,5	2,95	5,05
29	βοπο	61	61	38	61	65	62	58	61	61	61	58,9	7,53	12,79
30	βοπο	66	64	62	64	63	51	55	59	59	58	60,1	4,63	7,70

Πίνακας 6.2: Χρόνοι διάτρησης διάτρητων τούβλων για διεύθυνση από 0 έως 2 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύθυνση από 0 mm έως 2 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
7	βοπο	127	139	131	129	131	133	112	113	120	120	125,5	8,90	7,09
8	βοπο	132	125	126	121	127	134	129	123	126	121	126,4	4,33	3,42
9	βοπο	127	140	140	135	138	133	126	128	128	127	132,2	5,69	4,31
10	βοπο	133	138	135	271	128	123	122	127	121	118	141,6	45,93	32,44
11	βοπο	137	140	139	73	136	76	139	123	129	137	122,9	26,05	21,20
12	βοπο	139	144	138	140	141	140	136	140	134	139	139,1	2,73	1,96
13	βοπο	170	170	171	175	182	172	185	169	174	178	174,6	5,46	3,13
14	βοπο	167	151	136	136	132	171	120	145	137	133	142,8	16,03	11,22
15	βοπο	117	125	131	144	155	120	141	119	123	130	130,5	12,49	9,57
16	βοπο	141	141	148	147	144	144	119	130	129	131	137,4	9,56	6,96
17	βοπο	126	119	115	115	112	132	121	115	125	139	121,9	8,63	7,08
18	βοπο	183	174	185	178	177	181	177	192	183	184	181,4	5,19	2,86
19	βοπο	151	160	164	166	165	162	170	166	160	166	163	5,21	3,19
20	βοπο	153	157	163	153	166	153	160	145	139	161	155	8,29	5,35
21	βοπο	171	172	162	162	168	165	162	168	162	171	166,3	4,19	2,52
22	βοπο	170	159	151	160	150	151	161	170	172	183	162,7	10,87	6,68
23	βοπο	163	156	151	200	171	175	163	186	180	182	172,7	14,94	8,65
24	βοπο	158	152	153	141	143	154	143	175	162	166	154,7	10,93	7,07
25	βοπο	110	114	111	110	114	109	97	104	102	107	107,8	5,41	5,02
26	βοπο	123	120	121	115	121	117	126	117	127	118	120,5	3,95	3,28
27	βοπο	120	114	108	105	110	112	105	114	118	115	112,1	5,11	4,56
28	βοπο	128	127	122	123	124	123	123	116	126	118	123	3,74	3,04
29	βοπο	127	129	96	127	131	130	124	128	127	127	124,6	10,23	8,21
30	βοπο	136	134	134	135	114	116	122	128	127	127	127,3	7,87	6,19

Πίνακας 6.3: Χρόνοι διάτρησης διάτρητων τούβλων για διείσδυση από 0 έως 3 mm

α/α Δοκίμιου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 3 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
1	8οπο	116	132	114	87	70	110	137	115	105	99	108,5	19,84	18,29
2	8οπο	45	93	96	114	91	104	104	106	107	106	96,6	19,45	20,13
3	8οπο	98	100	114	108	117	110	80	71	102	108	100,8	14,74	14,62
4	8οπο	111	115	110	118	116	109	109	111	112	113	112,4	3,06	2,72
5	8οπο	105	122	114	99	114	149	116	112	109	114	115,4	13,37	11,58
6	8οπο	110	107	112	101	108	97	104	111	105	107	106,2	4,64	4,37
7	6οπο	197	206	201	200	203	205	182	182	187	185	194,8	9,73	4,99
8	6οπο	201	192	189	189	194	199	194	191	194	190	193,3	4,06	2,10
9	6οπο	198	210	210	202	206	199	192	197	196	198	200,8	6,07	3,02
10	6οπο	201	223	204	347	197	194	194	199	190	191	214	47,68	22,28
11	6οπο	206	212	220	133	207	91	211	193	200	207	188	41,87	22,27
12	6οπο	213	217	214	207	216	214	209	212	207	211	212	3,50	1,65
13	6οπο	264	264	262	269	275	266	275	264	265	276	268	5,37	2,01
14	6οπο	258	228	211	206	201	264	185	217	201	197	216,8	26,04	12,01
15	6οπο	186	197	209	223	237	195	207	186	186	187	201,3	17,64	8,77
16	6οπο	218	216	225	226	228	222	189	189	200	205	211,8	14,99	7,08
17	6οπο	192	186	182	184	178	195	184	179	191	203	187,4	7,81	4,17
18	6οπο	280	271	278	274	275	280	277	286	275	279	277,5	4,14	1,49
19	6οπο	236	243	249	249	252	234	250	246	250	248	245,7	6,17	2,51
20	6οπο	229	237	245	232	247	238	239	224	218	239	234,8	9,09	3,87
21	6οπο	263	264	249	252	256	255	251	258	254	261	256,3	5,12	2,00
22	6οπο	254	242	235	237	229	229	240	251	250	262	242,9	11,04	4,55

Πίνακας 6.3: Χρόνοι διάτρησης διάτρητων τούβλων για διεύδωση από 0 έως 3 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύδωση από 0 mm έως 3 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
23	βοπο	246	240	233	281	251	262	246	271	268	266	256,4	15,41	6,01
24	βοπο	243	230	234	221	220	235	227	258	246	252	236,6	12,86	5,44
25	βοπο	159	172	168	162	170	165	154	161	155	163	162,9	6,01	3,69
26	βοπο	189	183	184	180	188	181	192	183	193	183	185,6	4,58	2,47
27	βοπο	180	176	166	162	164	170	156	171	177	170	169,2	7,39	4,37
28	βοπο	196	192	182	186	186	185	186	179	189	179	186	5,37	2,89
29	βοπο	189	194	158	194	198	193	189	192	191	190	188,8	11,16	5,91
30	βοπο	205	205	202	204	176	170	169	188	186	189	189,4	14,32	7,56

Πίνακας 6.4: Χρόνοι διάτρησης διάτρητων τούβλων για διεύθυνση από 1 έως 3 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύθυνση από 1 mm έως 3 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
7	βοπο	145	137	137	143	147	144	136	133	136	131	138,9	5,45	3,92
8	βοπο	138	133	133	135	136	134	134	136	136	133	134,8	1,69	1,25
9	βοπο	141	144	140	137	137	137	136	139	136	141	138,8	2,66	1,92
10	βοπο	137	160	138	233	139	140	141	144	138	147	151,7	29,37	19,36
11	βοπο	144	146	155	88	144	34	152	141	143	142	128,9	38,24	29,66
12	βοπο	150	150	150	144	155	153	151	144	146	145	148,8	3,85	2,59
13	βοπο	188	187	184	191	186	190	188	191	186	196	188,7	3,43	1,82
14	βοπο	180	157	151	142	140	183	130	150	134	130	149,7	19,03	12,71
15	βοπο	136	142	149	162	172	149	145	138	134	129	145,6	13,18	9,05
16	βοπο	154	153	156	160	163	160	138	129	143	149	150,5	10,87	7,22
17	βοπο	137	138	137	137	133	130	130	134	131	134	134,1	3,07	2,29
18	βοπο	196	192	192	194	198	197	196	190	193	190	193,8	2,86	1,48
19	βοπο	169	166	170	173	174	157	170	169	176	169	169,3	5,21	3,08
20	βοπο	157	162	162	156	166	169	159	157	156	166	161	4,74	2,94
21	βοπο	186	188	177	184	179	177	175	185	181	188	182	4,83	2,65
22	βοπο	170	167	166	157	154	157	160	164	159	165	161,9	5,22	3,22
23	βοπο	171	169	162	186	162	169	164	176	164	169	169,2	7,38	4,36
24	βοπο	169	159	167	162	160	163	165	176	168	172	166,1	5,38	3,24
25	βοπο	108	119	117	108	114	112	113	112	107	115	112,5	3,98	3,54
26	βοπο	131	128	130	130	131	126	133	130	133	126	129,8	2,49	1,91
27	βοπο	122	122	117	116	112	118	104	116	120	112	115,9	5,47	4,72
28	βοπο	134	132	123	127	126	127	127	127	128	124	127,5	3,31	2,59
29	βοπο	128	133	120	133	133	131	131	131	130	129	129,9	3,87	2,98
30	βοπο	139	141	140	140	113	119	114	129	127	131	129,3	10,92	8,45

Πίνακας 6.5: Χρόνοι διάτρησης συμπαγών τούβλων για διείσδυση από 0 έως 1 mm

α/α Δοκίμιου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 1 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
10	τσιμεντότουβλο	21	23	50	22	18	27	30	37	38	25	29,1	9,87	33,92
11	τσιμεντότουβλο	43	31	14	45	22	38	26	42	20	13	29,4	12,13	41,26
12	τσιμεντότουβλο	19	30	47	41	16	14	47	29	37	14	29,4	13,23	44,99
13	τσιμεντότουβλο	46	46	52	28	16	28	52	30	32	26	35,6	12,43	34,91
14	τσιμεντότουβλο	17	13	19	30	23	26	22	24	37	24	23,5	6,72	28,60
15	τσιμεντότουβλο	24	41	55	27	25	45	24	45	26	15	32,7	12,78	39,08
16	πλίνοδος	14	18	19	14	19	20	19	23	21	19	18,6	2,80	15,04
17	πλίνοδος	16	17	14	17	19	18	20	19	21	14	17,5	2,37	13,54
18	πλίνοδος	22	16	21	14	11	18	24	20	19	16	18,1	3,93	21,70
19	πλίνοδος	15	15	13	17	15	13	16	17	19	15	15,5	1,84	11,88
20	πλίνοδος	22	21	22	17	16	18	17	16	19	20	18,8	2,35	12,49
21	πλίνοδος	16	18	11	15	10	15	15	9	15	11	13,5	2,99	22,15
22	πλίνοδος	13	17	17	11	19	19	14	15	19	11	15,5	3,17	20,46
23	πλίνοδος	14	11	13	18	16	16	10	15	15	19	14,7	2,83	19,25
24	πλίνοδος	12	16	21	21	18	15	18	13	21	18	17,3	3,27	18,89
25	πλίνοδος	26	24	21	29	26	21	20	23	26	28	24,4	3,10	12,70
26	πλίνοδος	17	19	16	19	10	17	17	19	14	27	17,5	4,33	24,73
27	πλίνοδος	18	22	25	23	21	18	23	25	17	23	21,5	2,92	13,56
28	πλίνοδος	17	17	18	14	22	17	15	14	20	11	16,5	3,17	19,22
29	πλίνοδος	20	16	24	24	24	22	18	18	25	20	21,1	3,14	14,90
30	πλίνοδος	15	16	21	14	15	17	19	16	14	14	16,1	2,33	14,48
31	πυρότουβλο	31	35	36	30	28	25	26	40	34	29	31,4	4,77	15,18

Πίνακας 6.5: Χρόνοι διάτρησης συμπαγών τούβλων για διείσδυση από 0 έως 1 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 1 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
32	πυρότουβλο	28	19	24	29	28	21	29	26	36	37	27,7	5,74	20,71
33	πυρότουβλο	33	41	40	30	26	26	33	26	31	37	32,3	5,62	17,39
34	πυρότουβλο	32	36	32	19	29	20	31	34	28	19	28	6,39	22,84
35	διακοσμητικό 1	49	61	51	63	60	63	54	54	64	58	57,7	5,38	9,32
36	διακοσμητικό 1	68	65	65	63	71	72	60	60	54	50	62,8	7,04	11,20
37	διακοσμητικό 1	70	72	67	63	65	60	54	61	50	62	62,4	6,75	10,82
38	διακοσμητικό 1	74	71	66	71	64	60	63	64	54	50	63,7	7,56	11,86
39	διακοσμητικό 2	35	38	26	39	37	35	40	36	34	35	35,5	3,87	10,89
40	διακοσμητικό 2	28	38	39	29	37	39	36	32	33	37	34,8	4,05	11,64
41	διακοσμητικό 2	38	39	34	31	29	36	35	35	30	37	34,4	3,41	9,90
42	διακοσμητικό 2	39	28	36	31	26	37	37	38	38	37	34,7	4,62	13,31
43	διακοσμητικό 3	44	23	41	21	45	16	52	38	41	31	35,2	11,87	33,72
44	διακοσμητικό 3	37	37	26	28	35	32	27	31	31	28	31,2	4,05	12,98
45	διακοσμητικό 3	32	33	31	21	26	27	24	30	26	23	27,3	4,06	14,86
46	διακοσμητικό 3	54	43	23	42	24	26	31	40	61	42	38,6	12,72	32,96
47	διακοσμητικό 3	32	42	30	33	28	33	28	30	27	26	30,9	4,61	14,90
48	τοιμεντότουβλο	34	55	81	43	58	63	75	55	52	48	56,4	14,03	24,88

Πίνακας 6.6: Χρόνοι διάτρησης συμπαγών τούβλων για διεύδυση από 0 έως 2 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύδυση από 0 mm έως 2 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
31	πυρότουβλο	77	73	77	63	61	66	64	84	78	74	71,7	7,72	10,76
32	πυρότουβλο	67	48	62	74	61	61	68	67	73	82	66,3	9,21	13,90
33	πυρότουβλο	76	91	87	84	67	73	70	59	78	83	76,8	9,84	12,81
34	πυρότουβλο	72	80	74	66	65	52	65	82	64	51	67,1	10,37	15,45
35	διακοσμητικό 1	118	134	125	128	130	135	129	128	136	129	129,2	5,27	4,08
36	διακοσμητικό 1	145	137	138	138	146	147	136	133	130	126	137,6	6,92	5,03
37	διακοσμητικό 1	147	159	152	142	147	142	133	142	122	144	143	10,08	7,05
38	διακοσμητικό 1	154	152	132	156	150	142	147	142	129	124	142,8	11,13	7,80
39	διακοσμητικό 2	84	88	77	88	85	78	85	82	80	77	82,4	4,25	5,16
40	διακοσμητικό 2	74	83	82	69	83	84	82	75	75	81	78,8	5,12	6,49
41	διακοσμητικό 2	81	82	80	75	74	78	80	80	73	80	78,3	3,16	4,04
42	διακοσμητικό 2	85	73	82	81	75	81	79	82	83	82	80,3	3,68	4,59
43	διακοσμητικό 3	89	60	100	60	101	51	110	92	87	64	81,4	20,80	25,55
44	διακοσμητικό 3	78	80	58	68	78	72	70	74	70	66	71,4	6,60	9,25
45	διακοσμητικό 3	62	69	65	58	58	62	50	63	59	56	60,2	5,25	8,71
46	διακοσμητικό 3	118	95	45	100	54	59	83	89	122	99	86,4	26,28	30,42
47	διακοσμητικό 3	67	93	68	78	67	70	62	68	60	59	69,2	9,99	14,43
48	τοιμεντότουβλο	104	139	171	147	142	156	168	138	136	116	141,7	20,86	14,72

Πίνακας 6.7: Χρόνοι διάτρησης συμπλεγών τούβλων για διείσδυση από 0 έως 3 mm

α/α Δοκμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 3 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
1	τοιμεντότουβλο	120	148	175	105	114	165	133	194	169	125	144,8	29,84	20,61
2	τοιμεντότουβλο	66	89	150	153	111	92	148	160	131	84	118,4	34,17	28,86
3	τοιμεντότουβλο	155	87	166	173	65	100	128	109	118	76	117,7	37,62	31,96
4	τοιμεντότουβλο	146	133	200	152	121	91	118	124	95	50	123	40,23	32,71
5	τοιμεντότουβλο	91	128	154	141	75	120	149	122	111	76	116,7	28,44	24,37
6	τοιμεντότουβλο	139	258	214	133	88	108	199	224	214	112	168,9	59,28	35,10
7	τοιμεντότουβλο	93	127	188	114	96	141	134	191	189	122	139,5	37,50	26,88
8	τοιμεντότουβλο	106	188	170	91	106	160	143	193	123	88	136,8	39,48	28,86
9	τοιμεντότουβλο	126	167	171	145	90	147	188	160	100	115	140,9	32,29	22,91
31	πυρότουβλο	123	121	117	100	98	101	101	126	137	118	114,2	13,41	11,74
32	πυρότουβλο	106	85	107	120	97	101	107	113	115	118	106,9	10,60	9,91
33	πυρότουβλο	132	155	137	141	106	127	111	95	127	123	125,4	17,69	14,11
34	πυρότουβλο	111	122	115	110	105	88	107	126	102	87	107,3	12,75	11,89
35	διακοσμητικό 1	184	206	201	193	201	207	200	198	206	196	199,2	7,00	3,52
36	διακοσμητικό 1	218	210	216	212	222	223	218	202	207	197	212,5	8,57	4,03
37	διακοσμητικό 1	228	241	234	220	230	217	211	222	205	220	222,8	10,76	4,83
38	διακοσμητικό 1	221	231	185	233	216	224	221	217	199	199	214,6	15,45	7,20
39	διακοσμητικό 2	131	136	128	133	132	123	130	126	124	121	128,4	4,84	3,77
40	διακοσμητικό 2	118	128	125	112	131	130	127	119	117	124	123,1	6,30	5,12
41	διακοσμητικό 2	122	124	123	118	121	118	125	123	117	122	121,3	2,75	2,27
42	διακοσμητικό 2	132	119	126	129	116	125	123	124	125	126	124,5	4,55	3,66

Πίνακας 6.7: Χρόνοι διάτρησης συμπαγών τούβλων για διείσδυση από 0 έως 3 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 3 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
43	διακοσμητικό 3	137	100	153	100	149	91	160	145	140	98	127,3	26,74	21,01
44	διακοσμητικό 3	149	115	90	105	115	109	110	112	113	105	112,3	14,84	13,21
45	διακοσμητικό 3	89	95	94	92	97	95	78	93	87	89	90,9	5,53	6,08
46	διακοσμητικό 3	172	152	73	170	88	96	123	129	171	147	132,1	36,50	27,63
47	διακοσμητικό 3	102	139	105	119	106	103	98	104	90	87	105,3	14,77	14,03
48	τοιμεντότουβλο	188	234	257	243	218	258	244	225	236	172	227,5	28,21	12,40

Πίνακας 6.8: Χρόνοι διάτρησης συμπαγών τούβλων για διεύθυνση από 0 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύθυνση από 0 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
10	τσιμεντότουβλο	132	279	249	163	107	183	216	219	155	130	183,3	56,10	30,61
11	τσιμεντότουβλο	232	201	164	229	151	201	214	270	140	92	189,4	52,49	27,72
12	τσιμεντότουβλο	177	253	326	198	101	129	242	206	244	137	201,3	68,11	33,83
13	τσιμεντότουβλο	226	260	322	202	142	170	262	237	220	133	217,4	58,22	26,78
14	τσιμεντότουβλο	115	190	238	215	136	180	188	224	188	135	180,9	40,73	22,52
15	τσιμεντότουβλο	181	291	329	195	155	211	235	283	181	137	219,8	63,23	28,77
16	πλίνθος	91	86	88	74	91	90	86	94	90	94	88,4	5,78	6,54
17	πλίνθος	77	73	67	79	79	75	85	85	81	68	76,9	6,26	8,14
18	πλίνθος	103	93	89	88	74	90	87	93	84	75	87,6	8,57	9,78
19	πλίνθος	72	75	70	78	77	60	71	81	69	79	73,2	6,18	8,44
20	πλίνθος	84	82	88	84	84	78	77	77	78	78	81	3,89	4,80
21	πλίνθος	72	70	66	74	65	65	69	63	63	68	67,5	3,75	5,55
22	πλίνθος	71	70	81	75	84	75	71	72	81	71	75,1	5,11	6,80
23	πλίνθος	76	60	64	70	73	72	57	73	60	80	68,5	7,75	11,31
24	πλίνθος	74	75	86	77	77	77	84	79	83	78	79	4,00	5,06
25	πλίνθος	115	119	125	122	117	88	94	93	108	115	109,6	13,25	12,09
26	πλίνθος	78	82	81	60	64	83	77	71	68	99	76,3	11,22	14,70
27	πλίνθος	90	98	110	111	105	82	113	114	99	101	102,3	10,48	10,24
28	πλίνθος	73	73	74	65	89	75	76	60	75	62	72,2	8,31	11,51
29	πλίνθος	95	90	98	95	93	90	77	87	92	91	90,8	5,77	6,35
30	πλίνθος	71	78	82	61	66	78	78	79	76	71	74	6,60	8,92

Πίνακας 6.8: Χρόνοι διάτρησης συμπαγών τούβλων για διείσδυση από 0 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/γίας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
31	πυρότουβλο	166	168	171	142	132	137	137	172	180	165	157	17,85	11,37
32	πυρότουβλο	153	123	149	169	137	148	156	156	150	168	149	14,11	9,47
33	πυρότουβλο	193	205	196	189	148	152	138	190	169	176,3	23,08	13,09	
34	πυρότουβλο	159	167	159	148	149	127	173	142	122	149,9	16,23	10,83	
35	διακοσμητικό 1	248	278	268	262	276	281	272	265	273	261	268,4	9,81	3,66
36	διακοσμητικό 1	294	286	293	281	297	292	293	275	281	263	285,5	10,63	3,72
37	διακοσμητικό 1	304	306	302	292	307	291	280	299	279	290	295	10,23	3,47
38	διακοσμητικό 1	285	303	238	299	265	301	290	292	265	270	280,8	20,84	7,42
39	διακοσμητικό 2	177	186	176	178	179	167	174	167	163	164	173,1	7,52	4,34
40	διακοσμητικό 2	163	173	170	156	176	175	171	163	163	167	167,7	6,41	3,82
41	διακοσμητικό 2	164	163	167	164	165	162	170	167	159	165	164,6	3,03	1,84
42	διακοσμητικό 2	177	163	171	173	162	170	165	167	171	169	168,8	4,64	2,75
43	διακοσμητικό 3	182	143	205	144	193	130	222	208	196	144	176,7	33,26	18,82
44	διακοσμητικό 3	259	148	120	140	149	144	146	151	155	138	155	37,80	24,39
45	διακοσμητικό 3	116	121	125	120	129	124	107	117	119	120	119,8	5,94	4,96
46	διακοσμητικό 3	213	197	97	231	130	130	157	169	218	182	172,4	43,96	25,50
47	διακοσμητικό 3	144	184	143	162	141	136	132	138	118	111	140,9	20,67	14,67
48	τοιμεντότουβλο	305	324	349	332	321	343	319	296	321	243	315,3	29,89	9,48

Πίνακας 6.9: Χρόνοι διάτρησης συμπαγών τούβλων για διεύδυση από 0 έως 7 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύδυση από 0 mm έως 7 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
10	τοιμεντότουβλο	258	436	414	315	235	334	379	409	366	232	337,8	75,77	22,43
11	τοιμεντότουβλο	406	422	366	443	296	365	376	495	334	190	369,3	84,46	22,87
12	τοιμεντότουβλο	346	504	532	383	196	244	495	413	468	252	383,3	120,34	31,40
13	τοιμεντότουβλο	436	484	588	392	288	376	528	483	453	285	431,3	97,97	22,72
14	τοιμεντότουβλο	262	365	392	370	266	334	368	436	322	272	338,7	58,46	17,26
15	τοιμεντότουβλο	364	488	503	381	303	369	406	511	349	295	396,9	79,07	19,92
16	πλίνθος	174	166	169	143	160	135	166	178	173	160	162,4	13,74	8,46
17	πλίνθος	149	144	130	150	151	145	151	158	155	142	147,5	7,85	5,32
18	πλίνθος	195	183	178	175	155	154	168	169	160	153	169	13,94	8,25
19	πλίνθος	138	142	139	142	144	125	138	152	105	143	136,8	13,05	9,54
20	πλίνθος	161	160	154	156	158	151	147	147	148	148	153	5,52	3,61
21	πλίνθος	143	130	135	136	131	125	130	127	130	132	131,9	5,09	3,86
22	πλίνθος	135	139	146	150	156	136	135	133	143	138	141,1	7,52	5,33
23	πλίνθος	141	133	132	133	137	141	119	139	125	150	135	8,76	6,49
24	πλίνθος	142	155	163	143	151	146	142	142	157	150	149,1	7,40	4,96
25	πλίνθος	226	225	238	219	225	181	187	180	200	209	209	20,90	10,00
26	πλίνθος	148	154	148	110	134	138	139	134	129	165	139,9	15,08	10,78
27	πλίνθος	166	188	208	206	202	148	215	207	188	191	191,9	20,95	10,92
28	πλίνθος	139	138	140	129	145	137	143	124	144	123	136,2	8,07	5,92
29	πλίνθος	162	166	178	155	162	165	158	165	180	164	165,5	7,89	4,77
30	πλίνθος	138	147	144	132	121	151	142	150	146	138	140,9	9,13	6,48

Πίνακας 6.10: Χρόνοι διάτρησης συμπλεγών τούβλων για διεύθυνση από 1 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύθυνση από 1 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
10	τοιμεντότουβλο	111	256	199	141	89	156	186	182	117	105	154,2	51,91	33,67
11	τοιμεντότουβλο	189	170	150	184	129	163	188	228	120	79	160	42,37	26,48
12	τοιμεντότουβλο	158	223	279	157	85	115	195	177	207	123	171,9	57,22	33,29
13	τοιμεντότουβλο	180	214	270	174	126	142	210	207	188	107	181,8	47,89	26,34
14	τοιμεντότουβλο	98	177	219	185	113	154	166	200	151	111	157,4	40,19	25,53
15	τοιμεντότουβλο	157	250	274	168	130	166	211	238	155	122	187,1	52,61	28,12
16	πλίνθος	77	68	69	60	72	70	67	71	69	75	69,8	4,64	6,64
17	πλίνθος	61	56	53	62	60	57	65	66	60	54	59,4	4,38	7,37
18	πλίνθος	81	77	68	74	63	72	63	73	65	59	69,5	7,03	10,11
19	πλίνθος	57	60	57	61	62	47	55	64	50	64	57,7	5,74	9,94
20	πλίνθος	62	61	66	67	68	60	60	61	59	58	62,2	3,52	5,66
21	πλίνθος	56	52	55	59	55	50	54	54	48	57	54	3,27	6,05
22	πλίνθος	58	53	64	64	65	56	57	57	62	60	59,6	4,03	6,77
23	πλίνθος	62	49	51	52	57	56	47	58	45	61	53,8	5,87	10,90
24	πλίνθος	62	59	65	56	59	62	66	66	62	60	61,7	3,30	5,35
25	πλίνθος	89	95	104	93	91	67	74	70	82	87	85,2	11,83	13,89
26	πλίνθος	61	63	65	41	54	66	60	52	54	72	58,8	8,80	14,97
27	πλίνθος	72	76	85	88	84	64	90	89	82	78	80,8	8,32	10,30
28	πλίνθος	56	56	56	51	67	58	61	46	55	51	55,7	5,77	10,37
29	πλίνθος	75	74	74	71	69	68	59	69	67	71	69,7	4,64	6,66
30	πλίνθος	56	62	61	47	51	61	59	63	62	57	57,9	5,28	9,12

Πίνακας 6.10: Χρόνοι διάτρησης συμπλεγών τούβλων για διεύδωση από 1 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύδωση από 1 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τίας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
31	πυρότουβλο	135	133	135	112	104	112	111	132	146	136	125,6	14,32	11,40
32	πυρότουβλο	125	104	125	140	109	116	119	130	114	131	121,3	10,98	9,05
33	πυρότουβλο	160	164	156	159	122	157	119	112	159	132	144	20,26	14,07
34	πυρότουβλο	127	131	127	129	120	107	122	139	114	103	121,9	11,17	9,16
35	διακοσμητικό 1	199	217	217	199	216	218	218	211	209	203	210,7	7,82	3,71
36	διακοσμητικό 1	226	221	228	218	226	220	233	215	227	213	222,7	6,33	2,84
37	διακοσμητικό 1	234	234	235	229	242	231	226	238	229	228	232,6	4,95	2,13
38	διακοσμητικό 1	211	232	172	228	201	241	227	228	211	220	217,1	19,73	9,09
39	διακοσμητικό 2	142	148	150	139	142	132	134	131	129	129	137,6	7,73	5,62
40	διακοσμητικό 2	135	135	131	127	139	136	135	131	130	130	132,9	3,63	2,73
41	διακοσμητικό 2	126	124	133	133	136	126	135	132	129	128	130,2	4,16	3,19
42	διακοσμητικό 2	138	135	135	142	136	133	128	129	133	132	134,1	4,12	3,07
43	διακοσμητικό 3	138	120	164	123	148	114	170	170	155	113	141,5	22,95	16,22
44	διακοσμητικό 3	222	111	94	112	114	112	119	120	124	110	123,8	35,43	28,62
45	διακοσμητικό 3	84	88	94	99	103	97	83	87	93	97	92,5	6,74	7,28
46	διακοσμητικό 3	159	154	74	189	106	104	126	129	157	140	133,8	33,31	24,90
47	διακοσμητικό 3	112	142	113	129	113	103	104	108	91	85	110	16,61	15,10
48	τοιμεντότουβλο	271	269	268	289	263	280	244	241	269	195	258,9	26,72	10,32

Πίνακας 6.11: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείσδυση από 0 έως 1 mm

α/α Δοκμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 1 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
1	Μάρμαρο	38	31	42	35	42	37	42	39	25	40	37,1	5,51	14,84
2	Μάρμαρο	32	34	28	41	28	28	42	38	32	42	34,5	5,84	16,92
3	Μάρμαρο	23	33	34	43	41	41	32	38	42	39	36,6	6,17	16,85
4	Μάρμαρο	35	33	38	39	41	37	32	33	36	38	36,2	2,94	8,11
5	Μάρμαρο	44	38	30	40	24	38	39	28	23	32	33,6	7,21	21,47
7	Μάρμαρο	29	28	26	23	29	23	26	28	24	22	25,8	2,66	10,30
8	Μάρμαρο	25	26	26	21	25	26	24	25	23	25	24,6	1,58	6,41
9	Μάρμαρο	23	27	22	24	29	29	23	30	24	25	25,6	2,91	11,38
10	Μάρμαρο	22	34	23	26	19	26	26	18	24	26	24,4	4,48	18,35
11	Μάρμαρο	28	21	27	25	27	26	27	27	27	25	26	2,00	7,69
12	Μάρμαρο	25	19	22	29	24	30	28	22	22	24	24,5	3,54	14,43
13	Μάρμαρο	27	26	27	26	20	37	25	16	20	26	25	5,64	22,55
14	Μάρμαρο	24	24	23	26	27	46	26	26	24	22	26,8	6,92	25,84
15	Μάρμαρο	30	25	25	23	34	28	25	24	26	25	26,5	3,31	12,48
16	Μάρμαρο	23	29	25	35	31	24	28	26	26	25	27,2	3,65	13,40
17	Μάρμαρο	54	51	48	46	51	46	48	45	43	48	48	3,27	6,80
18	Μάρμαρο	46	50	52	52	51	51	49	44	43	50	48,8	3,29	6,75
19	Μάρμαρο	47	45	44	44	45	50	48	37	52	50	46,2	4,26	9,23
20	Μάρμαρο	44	45	44	42	48	44	47	46	42	44	44,6	1,96	4,38
21	Μάρμαρο	30	32	32	34	31	32	30	31	30	31	31,3	1,25	4,00
22	Ασβ/δος	45	44	42	47	48	50	43	47	49	48	46,3	2,67	5,76
23	Ασβ/δος	81	69	70	77	70	75	70	71	71	64	71,8	4,73	6,59
24	Μάρμαρο	46	49	43	51	47	47	50	50	47	49	47,9	2,38	4,96
25	Πέτρ. Θεοπ.	43	45	42	40	39	43	41	40	38	38	40,9	2,33	5,70

Πίνακας 6.11: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείδωση από 0 έως 1 mm

α/α Δοκμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείδωση από 0 mm έως 1 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
26	Πέτρ. Θεοπ.	41	37	38	38	42	44	44	42	41	40	40,7	2,45	6,02
27	Πέτρ. Θεοπ.	41	43	43	43	42	42	35	40	41	40	41,1	2,47	6,01
28	Πέτρ. Θεοπ.	43	42	41	38	40	43	42	39	41	39	40,8	1,75	4,29
29	Πέτρ. Θεοπ.	39	41	44	38	43	42	40	38	41	42	40,8	2,04	5,01
30	Πέτρ. Θεοπ.	43	41	42	42	43	43	40	42	40	37	41,3	1,89	4,57
32	Πέτρ. Θεοπ.	45	44	45	42	43	40	43	44	46	44	43,6	1,71	3,93
33	Πέτρ. Θεοπ.	40	46	43	41	42	42	40	45	41	40	42	2,11	5,02
34	Πέτρ. Θεοπ.	43	39	44	41	41	39	43	43	40	40	41,3	1,83	4,43
35	Πέτρ. Θεοπ.	41	45	40	41	38	43	42	44	38	42	41,4	2,32	5,60
37	Πέτρ. Θεοπ.	46	43	44	41	43	46	44	38	41	43	42,9	2,42	5,65
38	Πέτρ. Θεοπ.	45	45	44	42	43	40	41	39	42	39	42	2,26	5,38
40	Πέτρ. Θεοπ.	39	42	41	39	42	42	37	41	41	42	40,6	1,71	4,22
41	Πέτρ. Θεοπ.	40	40	42	37	41	41	35	38	43	35	39,2	2,82	7,20
42	Πέτρ. Θεοπ.	48	35	42	44	44	42	41	44	40	38	41,8	3,61	8,65
43	Πέτρ. Θεοπ.	43	42	40	42	44	45	40	42	41	41	42	1,63	3,89
44	Πέτρ. Θεοπ.	46	45	42	41	40	47	39	44	43	39	42,6	2,88	6,75
31	Πέτρ. Θεοπ.	47	47	41	42	42	42	41	46	42	44	43,4	2,41	5,56
36	Πέτρ. Θεοπ.	42	43	43	40	39	37	42	45	38	42	41,1	2,51	6,12
39	Πέτρ. Θεοπ.	51	43	40	40	43	43	40	43	42	41	42,6	3,24	7,60
45	Πέτρ. Θεοπ.	41	41	38	40	42	45	43	44	44	39	41,7	2,31	5,54
46	Ασβ/δος	48	67	71	59	55	44	52	55	64	51	56,60	8,60	15,20
47	Ασβ/δος	66	43	60	48	69	77	72	83	71	48	63,70	13,50	21,19
48	Ασβ/δος	49	54	55	53	48	52	56	57	53	51	52,80	2,90	5,49
49	Ασβ/δος	125	110	218	178	59	73	171	40	72	120	116,60	57,94	49,69

Πίνακας 6.11: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διεύδυση από 0 έως 1 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύδυση από 0 mm έως 1 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
50	Ασβ/δος	63	62	61	67	68	65	67	63	71	59	64,60	3,66	5,66
51	Ασβ/δος	46	76	68	106	64	82	36	41	60	94	67,30	22,83	33,93
52	Ασβ/δος	16	14	16	12	17	11	11	14	13	15	13,90	2,13	15,34
53	Ασβ/δος	222										222,00	-	-
54	Ασβ/δος	101	91	90	82	87	85	83	92	96	82	88,90	6,33	7,12
55	Ασβ/δος	42	46	47	47	51	71	62	55	46	49	51,60	8,82	17,10
56	Ασβ/δος	31	30	30	31	29	26	33	29	27	31	29,70	2,06	6,93
57	Ασβ/δος	161										161,00	-	-
58	Ασβ/δος	96	88	81	63	97	69	96	83	78	87	83,80	11,52	13,74
59	Ασβ/δος	226										226,00	-	-
60	Ασβ/δος	38	61	43								47,33	12,10	25,56
61	Ασβ/δος	36	37	38	34	50	53	45	61	52	33	43,90	9,67	22,02
62	Ασβ/δος	145	70	162								125,67	48,95	38,95
63	Ασβ/δος	41	39	45	42	42	42	46	42	46	47	43,20	2,62	6,06
64	Ασβ/δος	538										538,00	-	-
65	Ασβ/δος	100	105	101	184	111						120,20	35,93	29,89
66	Ασβ/δος	39	152	205								132,00	84,79	64,23
67	Ασβ/δος	195										195,00	-	-
68	Ασβ/δος	40	42	34	40	47	35	44	37	42	41	40,20	3,99	9,94
46*	Ασβ/δος	48	67	71	59	55	44	52	55	64	51	56,60	8,60	15,20
47*	Ασβ/δος	37	61	74								57,33	18,77	32,74
48*	Ασβ/δος	36	45	46								42,33	5,51	13,01
49*	Ασβ/δος	86	272	238								198,67	99,04	49,85
50*	Ασβ/δος	54	58	56								56,00	2,00	3,57

Πίνακας 6.11: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διεύδυση από 0 έως 1 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύδυση από 0 mm έως 1 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)		
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή					
51*	Ασβ/δος	75	59	68										67,33	8,02	11,91
52*	Ασβ/δος	16	14	16	12	17	11	14	13	15				13,90	2,13	15,34
53*	Ασβ/δος	100	181	289										190,00	94,82	49,91
54*	Ασβ/δος	40	38	38										38,67	1,15	2,99
55*	Ασβ/δος	46	40	42										42,67	3,06	7,16
56*	Ασβ/δος	23	27	27										25,67	2,31	9,00
57*	Ασβ/δος	101	134	145										126,67	22,90	18,08
58*	Ασβ/δος	53	55	52										53,33	1,53	2,86
59*	Ασβ/δος	51	50	55										52,00	2,65	5,09
60*	Ασβ/δος	38	61	43										47,33	12,10	25,56
61*	Ασβ/δος	36	43	47										42,00	5,57	13,26
62*	Ασβ/δος	41	86	82	80	106								79,00	23,62	29,90
63*	Ασβ/δος	41	43	42										42,00	1,00	2,38
64*	Ασβ/δος	63	93	160										105,33	49,66	47,15
65*	Ασβ/δος	58	64	68										63,33	5,03	7,95
66*	Ασβ/δος	39	152	205										132,00	84,79	64,23
67*	Ασβ/δος	47	61	55										54,33	7,02	12,93
68*	Ασβ/δος	34	31	41										35,33	5,13	14,52

* : Στά δοκίμια 46 έως 68 έγιναν νέες οπές με συχνή αλλαγή τρυπανιού.

Πίνακας 6.12: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείσδυση από 0 έως 2 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 2 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
1	Μάρμαρο	80	67	95	86	90	84	98	82	67	82	83,1	10,28	12,37
2	Μάρμαρο	87	83	64	84	70	74	94	79	72	90	79,7	9,58	12,02
3	Μάρμαρο	64	84	80	98	88	84	75	83	87	88	83,1	8,99	10,81
4	Μάρμαρο	87	80	84	86	94	88	82	79	84	89	85,3	4,50	5,27
5	Μάρμαρο	91	84	70	84	75	87	88	64	66	70	77,9	9,99	12,83
7	Μάρμαρο	71	60	58	52	60	55	64	58	59	56	59,3	5,23	8,82
8	Μάρμαρο	57	59	54	50	57	55	58	53	50	53	54,6	3,17	5,80
9	Μάρμαρο	49	53	50	57	62	65	56	78	58	58	58,6	8,41	14,35
10	Μάρμαρο	50	79	55	54	48	55	57	46	52	57	55,3	9,12	16,49
11	Μάρμαρο	58	50	54	61	59	58	70	58	68	55	59,1	6,06	10,26
12	Μάρμαρο	58	49	52	60	54	68	66	50	52	58	56,7	6,53	11,52
13	Μάρμαρο	61	64	60	58	54	83	54	43	59	63	59,9	10,12	16,89
14	Μάρμαρο	55	61	51	62	54	98	60	85	68	50	64,4	15,59	24,20
15	Μάρμαρο	65	63	53	56	77	64	55	54	55	55	59,7	7,56	12,66
16	Μάρμαρο	58	63	60	71	75	58	62	59	56	59	62,1	6,15	9,91
17	Μάρμαρο	120	115	105	108	120	108	110	105	103	108	110,2	6,11	5,54
18	Μάρμαρο	112	121	119	123	116	115	107	109	102	114	113,8	6,51	5,72
19	Μάρμαρο	102	106	103	103	104	120	110	60	119	118	104,5	17,18	16,44
20	Μάρμαρο	94	99	98	95	98	90	105	96	97	94	96,6	3,95	4,09
21	Μάρμαρο	64	65	67	69	66	65	65	67	65	64	65,7	1,57	2,39
22	Ασβ/δος	95	97	97	103	102	104	89	97	102	96	98,2	4,59	4,67
23	Ασβ/δος	206	155	170	192	170	174	167	156	166	156	171,2	16,41	9,59
24	Μάρμαρο	109	111	103	107	107	109	111	113	109	110	108,9	2,77	2,54
25	Πέτρ. Θεσι.	93	98	94	90	91	97	96	93	92	90	93,4	2,84	3,04

Πίνακας 6.12: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείσδυση από 0 έως 2 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 2 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
26	Πέτρ. Θεσπ.	93	82	85	90	94	99	98	98	93	94	92,6	5,58	6,03
27	Πέτρ. Θεσπ.	95	92	95	98	91	88	89	89	92	91	92,9	3,48	3,74
28	Πέτρ. Θεσπ.	95	96	96	92	94	97	96	94	92	91	94,3	2,06	2,18
29	Πέτρ. Θεσπ.	94	96	98	92	98	94	94	92	96	94	94,8	2,15	2,27
30	Πέτρ. Θεσπ.	101	96	96	96	97	97	96	96	96	91	96,2	2,39	2,49
32	Πέτρ. Θεσπ.	100	98	101	97	99	77	98	103	102	102	97,7	7,54	7,72
33	Πέτρ. Θεσπ.	87	100	95	92	92	96	95	100	94	94	94,5	3,84	4,06
34	Πέτρ. Θεσπ.	101	93	98	94	94	95	99	99	92	92	95,7	3,27	3,41
35	Πέτρ. Θεσπ.	92	98	94	93	89	95	94	95	90	95	93,5	2,64	2,82
37	Πέτρ. Θεσπ.	107	102	101	99	97	100	103	94	95	101	99,9	3,87	3,88
38	Πέτρ. Θεσπ.	106	102	104	99	106	92	94	92	97	86	97,8	6,78	6,93
40	Πέτρ. Θεσπ.	97	95	94	98	97	98	94	97	97	98	96,5	1,58	1,64
41	Πέτρ. Θεσπ.	93	90	97	91	97	95	91	88	92	87	92,1	3,45	3,74
42	Πέτρ. Θεσπ.	107	92	100	106	103	100	97	101	97	92	99,5	5,15	5,17
43	Πέτρ. Θεσπ.	101	100	97	102	103	101	96	100	96	94	99	3,02	3,05
44	Πέτρ. Θεσπ.	107	106	102	101	88	101	95	99	100	97	99,6	5,46	5,48
31	Πέτρ. Θεσπ.	105	101	95	99	98	95	93	100	96	99	98,1	3,51	3,58
36	Πέτρ. Θεσπ.	106	89	98	100	96	91	99	100	93	97	96,9	4,95	5,11
39	Πέτρ. Θεσπ.	112	101	94	92	100	101	97	99	97	96	98,9	5,47	5,53
45	Πέτρ. Θεσπ.	101	99	93	98	99	105	100	101	105	96	99,7	3,68	3,69
46	Ασβ/δος	135	175	178	150	134	107	121	133	152	127	141,20	22,68	16,06
47	Ασβ/δος	160	111	157	127	162	177	172	177	177	129	154,90	24,07	15,54
48	Ασβ/δος	122	134	134	134	125	121	142	143	138	130	132,30	7,76	5,87
49	Ασβ/δος	300	287	565	490	165	162	404	112	170	269	292,40	151,73	51,89

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Πίνακας 6.12: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείσδυση από 0 έως 2 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 2 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
50	Ασβ/δος	152	159	149	152	163	173	172	164	174	160	161,80	9,14	5,65
51	Ασβ/δος	87	194	203	281	223	220	118	177	200	255	195,80	58,12	29,69
52	Ασβ/δος	35	36	32	30	37	27	22	35	31	30	31,50	4,60	14,61
53	Ασβ/δος	828										828,00	-	-
54	Ασβ/δος	234	224	225	217	222	214	210	217	218	212	219,30	7,13	3,25
55	Ασβ/δος	108	109	108	113	116	166	147	134	111	118	123,00	19,75	16,06
56	Ασβ/δος	70	65	68	70	64	64	71	66	64	66	66,80	2,74	4,10
57	Ασβ/δος	552										552,00	-	-
58	Ασβ/δος	257	236	229	211	276	184	248	269	241	250	240,10	27,29	11,37
59	Ασβ/δος	647										647,00	-	-
60	Ασβ/δος	93	118	97								102,67	13,43	13,08
61	Ασβ/δος	76	88	93	92	122	124	111	133	133	96	106,80	20,40	19,10
62	Ασβ/δος	566	174	476								405,33	205,33	50,66
63	Ασβ/δος	93	92	102	97	96	98	109	95	105	102	98,90	5,47	5,53
64	Ασβ/δος	1565										1565,00	-	-
65	Ασβ/δος	310	303	335	665	310						384,60	157,22	40,88
66	Ασβ/δος	102	457	589								382,67	251,87	65,82
67	Ασβ/δος	622										622,00	-	-
68	Ασβ/δος	105	103	99	109	119	111	114	106	114	110	109,00	5,93	5,44
46*	Ασβ/δος	135	175	178	150	134	107	121	133	152	127	141,20	22,68	16,06
47*	Ασβ/δος	92	140	164								132,00	36,66	27,77
48*	Ασβ/δος	80	92	99								90,33	9,61	10,64
49*	Ασβ/δος	239	703	620								520,67	247,44	47,52
50*	Ασβ/δος	122	126	123								123,67	2,08	1,68

Πίνακας 6.12: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διεύδυση από 0 έως 2 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύδυση από 0 mm έως 2 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/πτης (%)	
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή				
51*	Ασβ/δος	197	133	204									178,00	39,13	21,98
52*	Ασβ/δος	35	36	32	30	37	27	22	35	31	30		31,50	4,60	14,61
53*	Ασβ/δος	348	563	784									565,00	218,01	38,59
54*	Ασβ/δος	88	87	85									86,67	1,53	1,76
55*	Ασβ/δος	97	93	92									94,00	2,65	2,81
56*	Ασβ/δος	51	55	56									54,00	2,65	4,90
57*	Ασβ/δος	268	331	388									329,00	60,02	18,24
58*	Ασβ/δος	114	121	119									118,00	3,61	3,06
59*	Ασβ/δος	114	112	113									113,00	1,00	0,88
60*	Ασβ/δος	93	118	97									102,67	13,43	13,08
61*	Ασβ/δος	98	98	113									103,00	8,66	8,41
62*	Ασβ/δος	145	172	191	193	252							190,60	39,37	20,66
63*	Ασβ/δος	89	90	90									89,67	0,58	0,64
64*	Ασβ/δος	151	217	386									251,33	121,20	48,22
65*	Ασβ/δος	139	146	151									145,33	6,03	4,15
66*	Ασβ/δος	102	457	589									382,67	251,87	65,82
67*	Ασβ/δος	109	141	153									134,33	22,74	16,93
68*	Ασβ/δος	79	82	93									84,67	7,37	8,71

* : Στα δοκίμια 46 έως 68 έγιναν νέες οπές με συχνή αλλαγή τρυπανιού.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Πίνακας 6.13: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διεύθυνση από 0 έως 3 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύθυνση από 0 mm έως 3 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
1	Μάρμαρο	130	107	152	141	140	138	159	120	115	137	133,9	16,20	12,10
2	Μάρμαρο	143	135	102	132	118	123	152	115	111	153	128,4	17,48	13,61
3	Μάρμαρο	118	141	131	150	136	130	116	133	144	142	134,1	10,95	8,16
4	Μάρμαρο	121	132	137	137	153	143	135	128	130	134	135	8,67	6,42
5	Μάρμαρο	138	134	121	132	129	135	139	108	125	110	127,1	11,04	8,69
7	Μάρμαρο	123	93	91	80	92	92	107	94	92	85	94,9	12,02	12,67
8	Μάρμαρο	91	94	86	83	90	86	87	84	82	86	86,9	3,75	4,32
9	Μάρμαρο	78	81	81	90	96	103	86	121	104	97	93,7	13,32	14,21
10	Μάρμαρο	92	116	85	90	81	84	87	75	82	94	88,6	11,14	12,57
11	Μάρμαρο	87	84	86	96	91	93	111	92	108	96	94,4	8,93	9,46
12	Μάρμαρο	88	81	85	91	86	112	105	81	85	99	91,3	10,57	11,58
13	Μάρμαρο	92	106	99	90	89	120	75	76	100	100	94,7	13,51	14,26
14	Μάρμαρο	87	109	80	99	85	143	106	131	103	82	102,5	21,06	20,55
15	Μάρμαρο	108	100	84	87	121	103	88	92	87	90	96	11,81	12,31
16	Μάρμαρο	96	100	101	109	112	92	101	99	88	106	100,4	7,35	7,32
17	Μάρμαρο	184	183	168	175	191	175	176	171	167	174	176,4	7,55	4,28
18	Μάρμαρο	181	193	185	187	186	188	174	175	167	184	182	7,82	4,30
19	Μάρμαρο	160	167	165	166	168	194	175	94	190	187	166,6	28,10	16,86
20	Μάρμαρο	208	154	151	152	157	147	160	153	154	153	158,9	17,59	11,07
21	Μάρμαρο	93	99	106	103	101	102	102	102	97	100	100,5	3,57	3,55
22	Ασβ/δος	147	150	148	157	151	157	146	152	155	151	151,4	3,92	2,59
23	Ασβ/δος	330	243	288	308	271	268	260	245	261	258	273,2	27,79	10,17
24	Μάρμαρο	174	176	164	167	168	172	176	175	171	170	171,3	4,08	2,38
25	Πέτρ. Θεσπ.	149	148	150	145	145	153	153	150	145	146	148,4	3,13	2,11

Πίνακας 6.13: Χρόνοι διάρτησης πετρωμάτων για διείσδυση από 0 έως 3 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάρτησης για διείσδυση από 0 mm έως 3 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
26	Πέτρ. Θεοπ.	148	130	132	143	150	157	155	153	149	150	146,7	9,14	6,23
27	Πέτρ. Θεοπ.	154	149	152	156	155	147	143	143	146	145	149	4,94	3,32
28	Πέτρ. Θεοπ.	151	154	153	148	151	156	145	174	147	147	152,6	8,29	5,43
29	Πέτρ. Θεοπ.	151	152	153	150	154	152	148	146	151	150	150,7	2,36	1,57
30	Πέτρ. Θεοπ.	155	151	152	150	153	155	151	152	154	146	151,9	2,69	1,77
32	Πέτρ. Θεοπ.	157	155	156	154	157	119	156	162	165	162	154,3	12,91	8,37
33	Πέτρ. Θεοπ.	143	157	151	150	139	153	153	160	151	150	150,7	6,09	4,04
34	Πέτρ. Θεοπ.	161	149	155	153	153	155	157	159	151	149	154,2	4,02	2,61
35	Πέτρ. Θεοπ.	148	155	147	147	146	151	152	150	146	153	149,5	3,17	2,12
37	Πέτρ. Θεοπ.	170	167	164	160	158	163	161	152	156	163	161,4	5,25	3,26
38	Πέτρ. Θεοπ.	169	160	164	160	164	149	153	152	156	141	156,8	8,31	5,30
40	Πέτρ. Θεοπ.	156	152	153	157	156	156	152	155	155	156	154,8	1,81	1,17
41	Πέτρ. Θεοπ.	154	150	157	153	158	153	150	149	150	148	152,2	3,39	2,23
42	Πέτρ. Θεοπ.	170	152	163	170	165	163	159	164	159	152	161,7	6,33	3,91
43	Πέτρ. Θεοπ.	164	163	161	163	168	164	156	161	158	155	161,3	4,00	2,48
44	Πέτρ. Θεοπ.	174	174	167	167	145	161	153	156	157	154	160,8	9,54	5,93
31	Πέτρ. Θεοπ.	164	160	153	156	155	151	149	157	152	157	155,4	4,45	2,87
36	Πέτρ. Θεοπ.	167	125	158	162	159	153	163	160	153	158	155,8	11,63	7,47
39	Πέτρ. Θεοπ.	172	160	151	151	160	159	154	157	154	153	157,1	6,26	3,99
45	Πέτρ. Θεοπ.	161	155	149	157	158	165	159	162	166	156	158,8	5,03	3,17
46	Ασβ/δος	243	291	293	247	216	179	190	207	236	202	230,40	39,29	17,05
47	Ασβ/δος	255	194	250	223	273	282	273	262	285	219	251,60	30,32	12,05
48	Ασβ/δος	209	225	222	230	215	199	232	234	231	219	221,60	11,32	5,11
49	Ασβ/δος	469	462	884	862	265	277	673	196	254	404	474,60	251,99	53,09

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Πίνακας 6.13: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείσδυση από 0 έως 3 mm

α/α Δοκμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 3 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
50	Ασβ/δος	249	254	241	228	254	266	283	264	267	258	256,40	15,21	5,93
51	Ασβ/δος	173	287	365	421	386	374	191	305	370	390	326,20	85,69	26,27
52	Ασβ/δος	55	66	45	55	62	45	33	56	54	57	52,80	9,50	17,99
53	Ασβ/δος	1914										1914,00	-	-
54	Ασβ/δος	370	361	361	345	350	348	341	343	343	344	350,60	9,90	2,82
55	Ασβ/δος	176	172	178	185	191	270	247	226	179	184	200,80	34,36	17,11
56	Ασβ/δος	109	105	107	111	102	103	114	104	103	104	106,20	3,97	3,73
57	Ασβ/δος	993										993,00	-	-
58	Ασβ/δος	408	376	376	394	425	291	403	415	394	401	388,30	37,51	9,66
59	Ασβ/δος	1055										1055,00	-	-
60	Ασβ/δος	151	183	153								162,33	17,93	11,04
61	Ασβ/δος	123	144	148	162	197	202	171	201	206	173	172,70	28,64	16,58
62	Ασβ/δος	925	352	799								692,00	301,11	43,51
63	Ασβ/δος	140	147	157	151	151	144	163	163	161	156	153,30	8,04	5,25
64	Ασβ/δος	2824										2824,00	-	-
65	Ασβ/δος	528	505	626	1038	521						643,60	225,54	35,04
66	Ασβ/δος	192	705	1027								641,33	421,13	65,66
67	Ασβ/δος	1089										1089,00	-	-
68	Ασβ/δος	173	175	168	182	193	190	185	181	197	185	182,90	9,11	4,98
46*	Ασβ/δος	243	291	293	247	216	179	190	207	236	202	230,40	39,29	17,05
47*	Ασβ/δος	147	221	261								209,67	57,84	27,59
48*	Ασβ/δος	130	135	156								140,33	13,80	9,83
49*	Ασβ/δος	407	1016	988								803,67	343,81	42,78
50*	Ασβ/δος	192	195	194								193,67	1,53	0,79

Πίνακας 6.13: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείσδυση από 0 έως 3 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 3 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)	
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή				
51*	Ασβ/δος	270	207	331									269,33	62,00	23,02
52*	Ασβ/δος	55	66	45	55	62	45	33	56	54	57		52,80	9,50	17,99
53*	Ασβ/δος	655	1001	1338									998,00	341,51	34,22
54*	Ασβ/δος	136	136	134									135,33	1,15	0,85
55*	Ασβ/δος	150	146	145									147,00	2,65	1,80
56*	Ασβ/δος	78	86	85									83,00	4,36	5,25
57*	Ασβ/δος	484	574	639									565,67	77,84	13,76
58*	Ασβ/δος	178	189	188									185,00	6,08	3,29
59*	Ασβ/δος	177	175	176									176,00	1,00	0,57
60*	Ασβ/δος	151	183	153									162,33	17,93	11,04
61*	Ασβ/δος	170	158	180									169,33	11,02	6,51
62*	Ασβ/δος	267	256	323	303	418							313,40	64,40	20,55
63*	Ασβ/δος	137	149	141									142,33	6,11	4,29
64*	Ασβ/δος	264	361	581									402,00	162,43	40,41
65*	Ασβ/δος	215	227	239									227,00	12,00	5,29
66*	Ασβ/δος	192	705	1027									641,33	421,13	65,66
67*	Ασβ/δος	177	220	245									214,00	34,39	16,07
68*	Ασβ/δος	125	127	140									130,67	8,14	6,23

* : Στα δοκίμια 46 έως 68 έγιναν νέες οπές με συχνή αλλαγή τρυπανιού.

Πίνακας 6.14: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διεύδυση από 0 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύδυση από 0 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
1	Μάρμαρο	184	150	211	203	183	194	221	173	157	195	187,1	22,59	12,07
2	Μάρμαρο	203	194	157	185	176	171	219	160	150	207	182,2	23,28	12,78
3	Μάρμαρο	167	196	185	199	183	173	157	184	199	200	184,3	14,87	8,07
4	Μάρμαρο	167	183	198	195	212	199	187	174	181	176	187,2	13,73	7,33
5	Μάρμαρο	188	196	182	182	193	186	193	169	187	158	183,4	11,74	6,40
7	Μάρμαρο	167	125	132	108	123	136	162	129	128	116	132,6	18,63	14,05
8	Μάρμαρο	127	139	121	120	123	114	116	123	117	126	122,6	7,14	5,82
9	Μάρμαρο	110	113	111	122	129	144	127	170	156	137	131,9	20,02	15,18
10	Μάρμαρο	134	152	114	135	112	117	119	108	111	136	123,8	14,50	11,71
11	Μάρμαρο	119	119	120	130	122	124	147	131	148	133	129,3	10,85	8,39
12	Μάρμαρο	124	118	116	120	119	163	142	112	127	133	127,4	15,29	12,00
13	Μάρμαρο	129	139	136	124	126	161	105	111	145	135	131,1	16,18	12,34
14	Μάρμαρο	119	145	110	134	116	191	160	174	150	116	141,5	27,46	19,41
15	Μάρμαρο	148	138	120	120	161	147	130	123	120	131	133,8	14,31	10,70
16	Μάρμαρο	142	144	147	148	144	122	141	138	127	152	140,5	9,36	6,66
17	Μάρμαρο	254	253	233	246	253	241	247	239	235	242	244,3	7,56	3,09
18	Μάρμαρο	252	265	252	253	255	254	241	237	234	254	249,7	9,45	3,79
19	Μάρμαρο	220	231	228	231	232	262	246	151	262	257	232	32,22	13,89
20	Μάρμαρο	268	210	205	206	211	209	220	214	212	206	216,1	18,77	8,69
21	Μάρμαρο	128	133	141	142	142	134	138	140	137	134	136,9	4,61	3,36
22	Ασβ/δος	202	201	203	217	207	212	202	211	207	203	206,5	5,34	2,59
23	Ασβ/δος	452	335	404	423	372	368	361	344	358	359	377,6	37,07	9,82
24	Μάρμαρο	240	242	224	226	232	240	236	238	231	218	232,7	7,97	3,43
25	Πέτρ. Θεσπ.	205	203	205	199	199	210	210	210	207	203	205,1	4,20	2,05

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Πίνακας 6.14: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείδυση από 0 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείδυση από 0 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
26	Πέτρ. Θεοπ.	207	176	184	200	208	212	212	208	207	205	201,9	12,18	6,03
27	Πέτρ. Θεοπ.	214	205	213	216	213	198	198	202	200	204	206,3	7,04	3,41
28	Πέτρ. Θεοπ.	209	217	213	207	211	203	203	215	201	205	211,2	8,66	4,10
29	Πέτρ. Θεοπ.	209	211	211	213	213	206	206	211	208	208	209,1	3,63	1,74
30	Πέτρ. Θεοπ.	214	209	207	208	209	208	208	209	212	204	208,8	2,70	1,29
32	Πέτρ. Θεοπ.	219	212	216	212	215	217	222	170	228	224	213,5	16,13	7,55
33	Πέτρ. Θεοπ.	200	215	207	212	183	211	211	211	212	208	207,5	9,72	4,68
34	Πέτρ. Θεοπ.	221	206	216	212	214	217	215	219	209	207	213,6	5,04	2,36
35	Πέτρ. Θεοπ.	208	215	206	204	202	209	209	209	207	211	207,1	4,38	2,12
37	Πέτρ. Θεοπ.	236	232	230	224	222	223	223	225	217	226	225	6,45	2,87
38	Πέτρ. Θεοπ.	228	216	225	222	223	211	215	214	218	196	216,8	9,05	4,18
40	Πέτρ. Θεοπ.	217	212	211	217	217	219	214	219	214	215	215,1	2,47	1,15
41	Πέτρ. Θεοπ.	215	210	217	212	219	214	214	214	214	209	213,6	3,03	1,42
42	Πέτρ. Θεοπ.	232	213	228	232	227	228	222	228	223	215	224,7	6,50	2,89
43	Πέτρ. Θεοπ.	225	227	224	230	232	221	226	230	222	219	225,6	4,25	1,88
44	Πέτρ. Θεοπ.	242	241	235	237	203	219	213	219	221	217	224,6	13,25	5,90
31	Πέτρ. Θεοπ.	221	216	211	216	213	208	207	213	209	214	212,8	4,26	2,00
36	Πέτρ. Θεοπ.	234	162	220	222	226	216	228	223	217	222	217	20,03	9,23
39	Πέτρ. Θεοπ.	235	220	209	209	218	222	217	219	216	215	218	7,35	3,37
45	Πέτρ. Θεοπ.	220	214	205	220	217	229	220	222	232	218	219,7	7,47	3,40
46	Ασβ/δος	350	407	398	347	299	253	268	281	321	279	320,30	53,87	16,82
47	Ασβ/δος	359	286	336	326	385	379	356	386	385	318	351,60	34,27	9,75
48	Ασβ/δος	305	324	312	330	312	286	332	286	318	312	316,30	14,31	4,53
49	Ασβ/δος	629	642	1181	1233	359	423	888	283	340	582	656,00	341,61	52,07

Πίνακας 6.14: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διεύθυνση από 0 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύθυνση από 0 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
50	Ασβ/δος	347	351	333	317	346	357	378	370	359	355	351,30	17,40	4,95
51	Ασβ/δος	286	421	585	583	523	508	231	395	536	556	462,40	124,91	27,01
52	Ασβ/δος	71	89	60	79	77	67	43	79	80	76	72,10	12,92	17,92
53	Ασβ/δος	3318										3318,00	-	-
54	Ασβ/δος	498	494	483	473	481	486	467	464	466	468	478,00	12,20	2,55
55	Ασβ/δος	250	244	253	262	262	369	341	309	255	260	280,50	43,56	15,53
56	Ασβ/δος	152	147	150	152	141	146	158	144	140	145	147,50	5,54	3,76
57	Ασβ/δος	1453										1453,00	-	-
58	Ασβ/δος	547	517	530	545	570	408	549	561	529	538	529,40	45,40	8,58
59	Ασβ/δος	1320										1320,00	-	-
60	Ασβ/δος	205	243	206								218,00	21,66	9,93
61	Ασβ/δος	176	203	187	230	271	271	238	271	274	249	237,00	37,13	15,67
62	Ασβ/δος	1319	608	1149								1025,33	371,28	36,21
63	Ασβ/δος	196	206	211	206	203	196	212	220	225	210	208,50	9,31	4,47
64	Ασβ/δος	4179										4179,00	-	-
65	Ασβ/δος	773	694	868	1458	800						918,60	307,91	33,52
66	Ασβ/δος	297	1008	1478								927,67	594,58	64,09
67	Ασβ/δος	1598										1598,00	-	-
68	Ασβ/δος	248	251	244	253	262	265	260	259	273	260	257,50	8,61	3,34
46*	Ασβ/δος	350	407	398	347	299	253	268	281	321	279	320,30	53,87	16,82
47*	Ασβ/δος	222	306	370								299,33	74,22	24,80
48*	Ασβ/δος	179	180	213								190,67	19,35	10,15
49*	Ασβ/δος	530	1371	1348								1083,00	479,05	44,23
50*	Ασβ/δος	265	264	264								264,33	0,58	0,22

Πίνακας 6.14: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείσδυση από 0 έως 4 mm

α/α Δοκίμιου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)	
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή				
51*	Ασβ/δος	337	278	467									360,67	96,70	26,81
52*	Ασβ/δος	71	89	60	79	77	67	43	79	80	76		72,10	12,92	17,92
53*	Ασβ/δος	1021	1452	1933									1468,67	456,23	31,06
54*	Ασβ/δος	186	187	185									186,00	1,00	0,54
55*	Ασβ/δος	208	208	196									204,00	6,93	3,40
56*	Ασβ/δος	108	118	113									113,00	5,00	4,42
57*	Ασβ/δος	721	811	889									807,00	84,07	10,42
58*	Ασβ/δος	242	255	258									251,67	8,50	3,38
59*	Ασβ/δος	242	238	239									239,67	2,08	0,87
60*	Ασβ/δος	205	243	206									218,00	21,66	9,93
61*	Ασβ/δος	241	228	251									240,00	11,53	4,81
62*	Ασβ/δος	419	344	484	405	569							444,20	85,69	19,29
63*	Ασβ/δος	187	201	198									195,33	7,37	3,77
64*	Ασβ/δος	396	551	761									569,33	183,19	32,18
65*	Ασβ/δος	299	296	323									306,00	14,80	4,84
66*	Ασβ/δος	297	1008	1478									927,67	594,58	64,09
67*	Ασβ/δος	245	304	346									298,33	50,74	17,01
68*	Ασβ/δος	173	178	193									181,33	10,41	5,74

* : Στα δοκίμια 46 έως 68 έγιναν νέες οπές με συχνή αλλαγή τρυπανιού.

Πίνακας 6.15: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείδυση από 1 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείδυση από 1 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
1	Μάρμαρο	146	119	169	168	141	157	179	134	132	155	150	18,97	12,65
2	Μάρμαρο	171	160	129	144	148	143	177	122	118	165	147,7	20,49	13,88
3	Μάρμαρο	144	163	151	156	142	132	125	146	157	161	147,7	12,42	8,41
4	Μάρμαρο	132	150	160	156	171	162	155	141	145	138	151	12,06	7,99
5	Μάρμαρο	144	158	152	142	169	148	154	141	164	126	149,8	12,48	8,33
7	Μάρμαρο	138	97	106	85	94	113	136	101	104	94	106,8	17,66	16,53
8	Μάρμαρο	102	113	95	99	98	88	92	98	94	101	98	6,77	6,90
9	Μάρμαρο	87	86	89	98	100	115	104	140	132	112	106,3	18,57	17,47
10	Μάρμαρο	112	118	91	109	93	91	93	90	87	110	99,4	11,42	11,49
11	Μάρμαρο	91	98	93	105	95	98	120	104	121	108	103,3	10,54	10,20
12	Μάρμαρο	99	99	94	91	95	133	114	90	105	109	102,9	13,13	12,76
13	Μάρμαρο	102	113	109	98	106	124	80	95	125	109	106,1	13,45	12,68
14	Μάρμαρο	95	121	87	108	89	145	134	148	126	94	114,7	23,23	20,25
15	Μάρμαρο	118	113	95	97	127	119	105	99	94	106	107,3	11,46	10,68
16	Μάρμαρο	119	115	122	113	113	98	113	112	101	127	113,3	8,73	7,71
17	Μάρμαρο	200	202	185	200	202	195	199	194	192	194	196,3	5,36	2,73
18	Μάρμαρο	206	215	200	201	204	203	192	193	191	204	200,9	7,37	3,67
19	Μάρμαρο	173	186	184	187	187	212	198	114	210	207	185,8	28,28	15,22
20	Μάρμαρο	224	165	161	164	163	165	173	168	170	162	171,5	18,82	10,97
21	Μάρμαρο	98	101	109	108	111	102	108	109	107	103	105,6	4,27	4,05
22	Ασβ/δος	157	157	161	170	159	162	159	164	158	155	160,2	4,34	2,71
23	Ασβ/δος	371	266	334	346	302	293	291	273	287	295	305,8	33,65	11,00
24	Μάρμαρο	194	193	181	175	185	193	186	188	184	169	184,8	8,11	4,39
25	Πέτρ. Θεοπ.	162	158	163	159	160	167	169	170	169	165	164,2	4,44	2,71

Πίνακας 6.15: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείσδυση από 1 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 1 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/τητας (%)			
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή						
26	Πέτρ. Θεοπ.	166	139	146	162	166	168	166	166	166	168	166	166	165	161,2	10,13	6,28
27	Πέτρ. Θεοπ.	173	162	170	173	170	160	163	158	159	164	166	166	164	165,2	5,79	3,50
28	Πέτρ. Θεοπ.	166	175	172	169	171	172	161	192	160	166	166	166	166	170,4	9,01	5,29
29	Πέτρ. Θεοπ.	170	170	167	175	170	169	166	163	167	166	166	166	166	168,3	3,27	1,94
30	Πέτρ. Θεοπ.	171	168	165	166	166	166	168	166	172	167	167	167	167	167,5	2,32	1,39
32	Πέτρ. Θεοπ.	174	168	171	170	172	130	174	178	182	180	180	180	180	169,9	14,72	8,66
33	Πέτρ. Θεοπ.	160	169	164	171	141	169	171	171	171	168	168	168	168	165,5	9,34	5,64
34	Πέτρ. Θεοπ.	178	167	172	171	173	178	172	176	169	167	167	167	167	172,3	4,06	2,35
35	Πέτρ. Θεοπ.	167	170	166	163	164	166	167	163	162	169	169	169	169	165,7	2,67	1,61
37	Πέτρ. Θεοπ.	190	189	186	183	179	179	179	177	176	183	183	183	183	182,1	4,93	2,71
38	Πέτρ. Θεοπ.	183	171	181	180	180	171	174	175	176	157	157	157	157	174,8	7,51	4,30
40	Πέτρ. Θεοπ.	178	170	170	178	175	177	177	174	173	173	173	173	173	174,5	3,03	1,74
41	Πέτρ. Θεοπ.	175	170	175	175	178	173	179	174	171	174	174	174	174	174,4	2,76	1,58
42	Πέτρ. Θεοπ.	184	178	186	188	183	186	181	183	183	177	177	177	177	182,9	3,48	1,90
43	Πέτρ. Θεοπ.	182	185	184	188	188	185	181	184	181	178	178	178	178	183,6	3,17	1,73
44	Πέτρ. Θεοπ.	196	196	193	196	163	172	174	174	178	178	178	178	178	182	12,16	6,68
31	Πέτρ. Θεοπ.	174	169	170	174	171	166	166	167	167	170	170	170	170	169,4	2,99	1,76
36	Πέτρ. Θεοπ.	192	119	177	182	187	179	186	178	179	180	180	180	180	175,9	20,55	11,68
39	Πέτρ. Θεοπ.	184	177	169	169	175	179	177	176	174	174	174	174	174	175,4	4,45	2,54
45	Πέτρ. Θεοπ.	179	173	167	180	175	184	177	178	188	179	179	179	179	178	5,75	3,23
46	Ασβ/δος	302	340	327	288	244	209	216	226	257	228	228	228	228	263,7	47,47	18,00
47	Ασβ/δος	293	243	276	278	316	309	307	273	314	270	270	270	270	287,9	23,82	8,27
48	Ασβ/δος	256	270	257	277	264	234	276	275	265	261	261	261	261	263,5	12,87	4,88
49	Ασβ/δος	504	532	963	1055	300	350	717	243	268	462	462	462	462	539,4	286,51	53,12

Πίνακας 6.15: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διεύδωση από 1 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διεύδωση από 1 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλητότητας (%)
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή			
50	Ασβ/δος	284	289	272	250	278	292	311	307	288	296	286,70	17,54	6,12
51	Ασβ/δος	240	345	517	477	459	426	195	354	476	462	395,10	108,48	27,46
52	Ασβ/δος	55	75	44	67	60	56	32	65	67	61	58,20	12,46	21,41
53	Ασβ/δος	3096										3096,00	-	-
54	Ασβ/δος	397	403	393	391	394	401	384	372	370	386	389,10	11,22	2,88
55	Ασβ/δος	208	198	206	215	211	298	279	254	209	211	228,90	35,06	15,32
56	Ασβ/δος	121	117	120	121	112	120	125	115	113	114	117,80	4,24	3,60
57	Ασβ/δος	1292										1292,00	-	-
58	Ασβ/δος	451	429	449	482	473	339	453	478	451	451	445,60	40,71	9,14
59	Ασβ/δος	1094										1094,00	-	-
60	Ασβ/δος	167	182	163								170,67	10,02	5,87
61	Ασβ/δος	140	166	149	196	221	218	193	210	222	216	193,10	30,82	15,96
62	Ασβ/δος	1174	538	987								899,67	326,87	36,33
63	Ασβ/δος	155	167	166	164	161	154	166	178	179	163	165,30	8,25	4,99
64	Ασβ/δος	3641										3641,00	-	-
65	Ασβ/δος	673	589	767	1274	689						798,40	273,28	34,23
66	Ασβ/δος	258	856	1273								795,67	510,18	64,12
67	Ασβ/δος	1403										1403,00	-	-
68	Ασβ/δος	208	209	210	213	215	230	216	222	231	219	217,30	8,22	3,78
46*	Ασβ/δος	302	340	327	288	244	209	216	226	257	228	263,70	47,47	18,00
47*	Ασβ/δος	185	245	296								242,00	55,56	22,96
48*	Ασβ/δος	143	135	167								148,33	16,65	11,23
49*	Ασβ/δος	444	1099	1110								884,33	381,38	43,13
50*	Ασβ/δος	211	206	208								208,33	2,52	1,21

Πίνακας 6.15: Χρόνοι διάτρησης πετρωμάτων για διείσδυση από 1 έως 4 mm

α/α Δοκιμίου	Είδος	Χρόνος διάτρησης για διείσδυση από 1 mm έως 4 mm (sec)										Μέση τιμή (sec)	Τυπική Απόκλιση (sec)	Συντελεστής Μεταβλ/πτίας (%)		
		1n οπή	2n οπή	3n οπή	4n οπή	5n οπή	6n οπή	7n οπή	8n οπή	9n οπή	10n οπή					
51*	Ασβ/δος	262	219	399										293,33	94,00	32,05
52*	Ασβ/δος	55	75	44	67	60	32	65	67	61				58,20	12,46	21,41
53*	Ασβ/δος	921	1271	1644										1278,67	361,56	28,28
54*	Ασβ/δος	146	149	147										147,33	1,53	1,04
55*	Ασβ/δος	162	168	154										161,33	7,02	4,35
56*	Ασβ/δος	85	91	86										87,33	3,21	3,68
57*	Ασβ/δος	620	677	744										680,33	62,07	9,12
58*	Ασβ/δος	189	200	206										198,33	8,62	4,35
59*	Ασβ/δος	191	188	184										187,67	3,51	1,87
60*	Ασβ/δος	167	182	163										170,67	10,02	5,87
61*	Ασβ/δος	205	185	204										198,00	11,27	5,69
62*	Ασβ/δος	378	258	402	325	463								365,20	77,77	21,29
63*	Ασβ/δος	146	158	156										153,33	6,43	4,19
64*	Ασβ/δος	333	458	601										464,00	134,10	28,90
65*	Ασβ/δος	241	232	255										242,67	11,59	4,78
66*	Ασβ/δος	258	856	1273										795,67	510,18	64,12
67*	Ασβ/δος	198	243	291										244,00	46,51	19,06
68*	Ασβ/δος	139	147	152										146,00	6,56	4,49

* : Στα δοκίμια 46 έως 68 έγιναν νέες οπές με συχνή αλλαγή τρυπανιού.

6.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Στους πίνακες 6.16 έως 6.18 φαίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών μονοαξονικής θλίψης που έγιναν αντίστοιχα στα διάτρητα τούβλα, στα συμπαγή τούβλα και στα πετρώματα.

Σε καθένα από τους παραπάνω πίνακες καταγράφονται τα εξής:

- ο αύξων αριθμός του δοκιμίου που εξετάζεται,
- το είδος του δοκιμίου,
- οι διαστάσεις του δοκιμίου (το μήκος-πλάτος της μικρότερης των επιφανειών φόρτισης καθώς και το εμβαδόν της για τα διάτρητα και συμπαγή τούβλα, ενώ η διάμετρος και το ύψος για τα δοκίμια πετρωμάτων),
- το φορτίο θραύσης του δοκιμίου,
- η θλιπτική αντοχή του δοκιμίου.

Στην περίπτωση των δοκιμών συμπαγών τούβλων υπολογίζεται και η διορθωμένη θλιπτική αντοχή, δηλαδή η αντοχή που θα εμφάνιζαν αν ήταν όλα κυβικά δοκίμια πλευράς 7cm, ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η διόρθωση περιγράφεται στην παράγραφο 5.3.1.

Κατά τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης η ταχύτητα επιβολής της τάσης (MPa/sec) πρέπει να διατηρείται σταθερή στις διάφορες κατηγορίες υλικών, για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα. Η ταχύτητα αυτή είναι περίπου 0.3-0.4 MPa/sec για τα τούβλα και 0.5-1.0 MPa/sec για τα πετρώματα. Έτσι ανάλογα με την επιφάνεια φόρτισης των δοκιμών η ταχύτητα επιβολής του φορτίου της μηχανής (KN/sec) ήταν 5.00 KN/sec για τα διάτρητα οκτάοπα τούβλα, 4.00 KN/sec για τα διάτρητα εξάοπα τούβλα, 0.98 KN/sec για τα κυβικά δοκίμια συμπαγών τούβλων πλευράς 5-6 cm, 0.48 KN/sec για τα κυβικά δοκίμια συμπαγών τούβλων πλευράς 4 cm και 0.78 KN/sec για τα πρισματικά δοκίμια συμπαγών τούβλων.

Πίνακας 6.16: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής διάτρητων τούβλων

α/α Δοκιμίου	Είδος	Διαστάσεις επιφάνειας φόρτισης (mm)	Εμβαδόν επιφάνειας φόρτισης (mm ²)	Φορτίο Θράυσης (KN)	Θλιπτική Αντοχή (MPa)
1	οκτάοπο	109 x 185	20165	52,94	2,63
2	οκτάοπο	110 x 184	20240	41,25	2,04
3	οκτάοπο	109 x 184	20056	29,17	1,45
4	οκτάοπο	110 x 185	20350	47,15	2,32
5	οκτάοπο	110 x 185	20075	46,99	2,34
6	οκτάοπο	110 x 185	20350	19,37	0,95
7	εξάοπο	86 x 188	16168	129,90	8,03
8	εξάοπο	86 x 187	16082	113,20	7,04
9	εξάοπο	86 x 188	16168	98,30	6,08
10	εξάοπο	86 x 187	16082	120,20	7,47
11	εξάοπο	86 x 187	16082	94,40	5,87
12	εξάοπο	86 x 189	16254	112,00	6,89
13	εξάοπο	86 x 187	16082	96,10	5,98
14	εξάοπο	86 x 187	16082	28,77	1,79
15	εξάοπο	87 x 186	16182	37,70	2,33
16	εξάοπο	87 x 188	16356	68,20	4,17
17	εξάοπο	87 x 188	16356	26,75	1,64
18	εξάοπο	86 x 189	16254	83,10	5,11
19	εξάοπο	85 x 191	16235	111,90	6,89
20	εξάοπο	84 x 187	15708	94,30	6,00
21	εξάοπο	84 x 188	15792	41,18	2,61
22	εξάοπο	83 x 189	15687	99,10	6,32
23	εξάοπο	83 x 186	15438	96,10	6,22
24	εξάοπο	84 x 189	15876	127,40	8,02
25	εξάοπο	84 x 189	15876	44,65	2,81
26	εξάοπο	85 x 191	16235	44,85	2,76
27	εξάοπο	84 x 191	16044	35,38	2,21
28	εξάοπο	85 x 191	16235	58,20	3,58
29	εξάοπο	85 x 192	16320	61,90	3,79
30	εξάοπο	85 x 191	16235	59,70	3,68

Πίνακας 6.17: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής συμπαγών τούβλων

α/α Δοκιμίου	Είδος	Διαστάσεις (mm)		Εμβαδόν (mm ²)	Φορτίο Θράσης (KN)	Θλιπτική Αντοχή (MPa)	Διορθωμένη Αντοχή (MPa)
		Βάση	Ύψος				
1	τσιμεντότουβλο	23 x 60	63	1380	22,87	16,57	17,23
2	τσιμεντότουβλο	22 x 62	62	1364	15,64	11,47	11,92
3	τσιμεντότουβλο	25 x 62	63	1550	28,74	18,54	19,27
4	τσιμεντότουβλο	22 x 64	65	1408	33,82	24,02	24,97
5	τσιμεντότουβλο	23 x 62	65	1426	22,93	16,08	16,72
6	τσιμεντότουβλο	22 x 61	61	1342	16,20	12,07	12,55
7	τσιμεντότουβλο	23 x 62	66	1426	32,92	23,09	24,00
8	τσιμεντότουβλο	25 x 61	65	1525	13,24	8,68	9,02
9	τσιμεντότουβλο	21 x 62	65	1302	25,77	19,79	20,57
10	τσιμεντότουβλο	21 x 61	62	1281	21,95	17,14	17,82
11	τσιμεντότουβλο	23 x 62	61	1426	23,00	16,13	16,77
12	τσιμεντότουβλο	25 x 62	64	1550	24,47	15,79	16,42
13	τσιμεντότουβλο	25 x 62	61	1550	41,58	26,83	27,89
14	τσιμεντότουβλο	25 x 62	64	1550	31,74	20,48	21,29
15	τσιμεντότουβλο	20 x 62	62	1240	31,30	25,24	26,24
16	πλίνθος	48 x 52	56	2496	50,22	20,12	19,78
17	πλίνθος	51 x 53	53	2703	43,63	16,14	15,87
18	πλίνθος	45 x 53	52	2385	39,89	16,73	16,45
19	πλίνθος	51 x 46	55	2346	27,90	11,89	11,69
20	πλίνθος	53 x 54	52	2862	51,03	17,83	17,53
21	πλίνθος	53 x 47	53	2491	16,11	6,47	6,36
22	πλίνθος	51 x 53	55	2703	47,12	17,43	17,14
23	πλίνθος	53 x 54	49	2862	41,83	14,62	14,37
24	πλίνθος	46 x 52	53	2392	45,00	18,81	18,50
25	πλίνθος	52 x 48	52	2496	65,80	26,36	25,92
26	πλίνθος	50 x 49	55	2450	36,50	14,90	14,65

Πίνακας 6.17: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής συμπαγών τούβλων

α/α Δοκιμίου	Είδος	Διαστάσεις (mm)		Εμβαδόν (mm ²)	Φορτίο Θράυσης (KN)	Θλιπτική Αντοχή (MPa)	Διορθωμένη Αντοχή (MPa)
		Βάση	Ύψος				
27	πλίνθος	51 x 51	53	2601	63,10	24,26	23,85
28	πλίνθος	53 x 48	55	2544	20,78	8,17	8,03
29	πλίνθος	45 x 49	53	2205	49,51	22,45	22,08
30	πλίνθος	48 x 53	53	2544	34,38	13,51	13,29
31	πυρότουβλο	57 x 56	55	3192	91,10	28,54	28,06
32	πυρότουβλο	55 x 55	57	3025	80,90	26,74	26,30
33	πυρότουβλο	55 x 54	55	2970	97,80	32,93	32,38
34	πυρότουβλο	56 x 54	55	3024	97,20	32,14	31,61
35	διακοσμητικό 1	57 x 57	55	3249	135,70	41,77	41,07
36	διακοσμητικό 1	56 x 57	56	3192	109,10	34,18	33,61
37	διακοσμητικό 1	58 x 58	57	3364	85,20	25,33	24,90
38	διακοσμητικό 1	57 x 58	57	3306	104,40	31,58	31,05
39	διακοσμητικό 2	38 x 39	38	1482	91,80	61,94	60,73
40	διακοσμητικό 2	40 x 37	38	1480	91,60	61,89	60,68
41	διακοσμητικό 2	36 x 38	40	1368	76,00	55,56	54,47
42	διακοσμητικό 2	36 x 38	35	1368	68,00	49,71	48,73
43	διακοσμητικό 3	57 x 60	60	3420	54,50	15,94	15,81
44	διακοσμητικό 3	56 x 58	62	3248	49,95	15,38	15,26
45	διακοσμητικό 3	57 x 57	61	3249	42,60	13,11	13,01
46	διακοσμητικό 3	57 x 56	60	3192	45,96	14,40	14,28
47	διακοσμητικό 3	57 x 55	61	3135	49,99	15,95	15,82
48	ταιμεντότουβλο	23 x 56	58	1288	44,30	34,39	35,83

Πίνακας 6.18: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής πετρωμάτων

α/α Δοκιμίου	Είδος	Διάμετρος (cm)	Ύψος (cm)	Φορτίο Θραύσης (KN)	Θλιπτική Αντοχή (MPa)
1	Μάρμαρο	5,48	13,89	101,00	42,82
2	Μάρμαρο	5,47	13,91	99,00	42,13
3	Μάρμαρο	5,48	13,78	85,00	36,04
4	Μάρμαρο	5,45	13,83	77,00	33,01
5	Μάρμαρο	5,46	13,79	53,00	22,64
7	Μάρμαρο	5,14	12,30	89,00	42,89
8	Μάρμαρο	5,15	12,52	96,00	46,09
9	Μάρμαρο	5,17	12,50	102,00	48,59
10	Μάρμαρο	5,16	12,52	110,00	52,60
11	Μάρμαρο	5,16	12,53	91,00	43,52
12	Μάρμαρο	5,16	12,04	119,00	56,91
13	Μάρμαρο	5,17	12,51	100,00	47,64
14	Μάρμαρο	5,16	12,52	107,00	51,17
15	Μάρμαρο	5,16	12,56	107,00	51,17
16	Μάρμαρο	5,16	12,32	95,00	45,43
17	Μάρμαρο	5,45	13,89	284,00	121,74
18	Μάρμαρο	5,46	13,83	313,00	133,68
19	Μάρμαρο	5,45	13,80	288,00	123,46
20	Μάρμαρο	5,38	10,71	426,90	187,79
21	Μάρμαρο	5,39	12,24	193,50	84,80
22	Ασβεστόλιθος	5,10	11,83	317,60	155,47
23	Ασβεστόλιθος	5,10	11,91	118,60	58,06
24	Μάρμαρο	5,46	10,33	524,40	223,97
25	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,47	13,66	300,00	127,66
26	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,47	13,60	55,00	23,40
27	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,48	12,90	406,00	172,14
28	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,48	13,53	50,00	21,20
29	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,45	13,02	302,00	129,46
30	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,46	12,69	351,00	149,91
32	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,47	12,16	238,80	101,62
33	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,45	12,71	33,20	14,23
34	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,47	12,20	364,70	155,19
35	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,45	11,98	393,90	168,85
37	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,47	12,04	37,20	15,83
38	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,47	13,35	271,20	115,41
40	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,46	13,23	90,80	38,78
41	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,47	13,08	203,00	86,38
42	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,47	12,20	343,00	145,96
43	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,47	13,11	130,00	55,32
44	Πέτρ. Θεσπρωτ.	5,48	13,08	265,00	112,36
31	Πέτρ. Θεσπρωτ.			καταστροφή δοκιμίου	
36	Πέτρ. Θεσπρωτ.			καταστροφή δοκιμίου	
39	Πέτρ. Θεσπρωτ.			καταστροφή δοκιμίου	
45	Πέτρ. Θεσπρωτ.			καταστροφή δοκιμίου	

Πίνακας 6.18: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής πετρωμάτων

α/α Δοκιμίου	Είδος	Διάμετρος (cm)	Ύψος (cm)	Φορτίο Θραύσης (KN)	Θλιπτική Αντοχή (MPa)
48	Ασβεστόλιδος	5,04	10,96	240,53	120,56
49	Ασβεστόλιδος	5,15	11,36	231,69	111,23
50	Ασβεστόλιδος	5,10	11,75	171,34	83,87
52	Ασβεστόλιδος	5,07	14,41	31,90	15,80
53	Ασβεστόλιδος	5,07	9,96	83,29	41,26
54	Ασβεστόλιδος	5,05	12,05	190,59	95,15
55	Ασβεστόλιδος	5,04	11,47	248,46	124,54
57	Ασβεστόλιδος	5,15	11,02	247,82	118,97
58	Ασβεστόλιδος	5,03	11,08	263,48	132,59
63	Ασβεστόλιδος	5,03	11,29	304,20	152,48
65	Ασβεστόλιδος	5,15	10,02	316,99	152,17
66	Ασβεστόλιδος	5,15	11,16	190,59	95,15
46	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			
47	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			
51	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			
56	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			
59	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			
60	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			
61	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			
62	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			
64	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			
67	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			
68	Ασβεστόλιδος	Δεν εκτελέστηκε δοκιμή σε θλίψη			

6.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ

Στον πίνακα 6.19 φαίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών απότριψης που έγιναν στα συμπαγή τούβλα.

Στον πίνακα αυτόν καταγράφονται τα εξής:

- ο αύξων αριθμός του δοκιμίου που εξετάζεται,
- το είδος του δοκιμίου,
- το αρχικό βάρος του δείγματος πριν τη δοκιμή,
- το τελικό βάρος του δείγματος μετά την πραγματοποίηση της δοκιμής,
- η απώλεια βάρους του δείγματος λόγω απότριψης.

Θυμίζουμε ότι η δοκιμή ολοκληρώθηκε στις 2000 στροφές του κυλίνδρου της μηχανής, το αρχικό βάρος του δείγματος ήταν περίπου 700 gr, ενώ το βάρος απότριψης ήταν 2.5 Kg χαλύβδινες σφαίρες διαμέτρου 1 cm.

Πίνακας 6.19: Αποτελέσματα αντοχής σε απότριψη συμπαγών τούβλων

α/α Δοκιμίου	Είδος	Αρχικό Βάρος "Α" (gr)	Τελικό Βάρος "Β" (gr)	Απώλεια Βάρους "W" (%)
12	τσιμεντότουβλο	697,2	581,3	16,62
13	τσιμεντότουβλο	702,7	597,5	14,97
14	τσιμεντότουβλο	688,7	555,9	19,28
15	τσιμεντότουβλο	682,9	588,6	13,81
18	πλίνθος	702,8	520,2	25,98
21	πλίνθος	712,1	462,5	35,05
23	πλίνθος	698,9	421,1	39,75
27	πλίνθος	654,3	556,1	15,01
36	διακοσμητικό 1	707,1	626,1	11,46
37	διακοσμητικό 1	701,7	621,9	11,37
38	διακοσμητικό 1	683,6	567,8	16,94
39	διακοσμητικό 2	654,8	610,2	6,81
40	διακοσμητικό 2	637,1	586,1	8,01
41	διακοσμητικό 2	691,5	577,8	16,44
42	διακοσμητικό 2	685,1	612,6	10,58
43	διακοσμητικό 3	680,2	532,4	21,73
44	διακοσμητικό 3	693,8	462,9	33,28
45	διακοσμητικό 3	687,7	434,3	36,85
47	διακοσμητικό 3	690,4	529,1	23,36
48	τσιμεντότουβλο	695,1	594,8	14,43

7. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

7.1. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ - ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΑ ΔΙΑΤΡΗΤΑ ΤΟΥΒΛΑ

Στα σχήματα 7.1 έως 7.4 απεικονίζονται οι συσχετίσεις μεταξύ χρόνων διάτρησης και θλιπτικών αντοχών στα διάτρητα τούβλα. Σε καθένα από αυτά (7.1, 7.2, 7.3) διαφοροποιείται το βάθος διάτρησης που λαμβάνεται υπόψιν, έτσι ώστε να παρουσιαστεί η επιρροή του στη συσχέτιση αυτή. Παράλληλα μπορεί να φανεί το πιο κατάλληλο βάθος μέχρι το οποίο πρέπει να πραγματοποιείται η δοκιμή της διάτρησης. Στο σχήμα 7.4 παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ χρόνων διάτρησης και θλιπτικής αντοχής για διάτρηση που δεν ξεκινάει από την επιφάνεια του υλικού, αλλά αφού το τρυπάνι έχει διεισδύσει κατά 1 mm στη μάζα του. Εξετάζεται δηλαδή και η περίπτωση όπου έχει εξαλειφθεί η πιθανή επιρροή των περιβαλλοντικών συνθηκών (διάβρωση, αποσάθρωση) στην επιφανειακή στρώση του υλικού, που θα επηρέαζε τα αποτελέσματα.

Παρατηρώντας τα σχήματα μπορούμε να καταλήξουμε στα ακόλουθα:

Σε όλες τις περιπτώσεις, δηλαδή για τα βάθη διάτρησης 0-1 mm, 0-2 mm, 0-3 mm και 1-3 mm, η συσχέτιση μεταξύ του μέσου χρόνου διάτρησης και της θλιπτικής αντοχής κάθε διάτρητου τούβλου, παρουσιάζει την ίδια μορφή, οπότε φαίνεται ότι το βάθος διάτρησης καθώς και η πιθανή επίδραση των εξωτερικών συνθηκών στην επιφάνεια του υλικού δεν επηρεάζουν το συσχετισμό των δύο μεγεθών.

Υπάρχει μια σαφής ένδειξη ότι η αύξηση των θλιπτικών αντοχών των διάτρητων τούβλων συνεπάγεται την αύξηση των μέσων χρόνων διάτρησης. Η τάση αυτή σημειώνεται με διακεκομμένη γραμμή. Ωστόσο, επειδή η διασπορά των τιμών είναι πολύ μεγάλη η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών δεν μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική (σε κάθε περίπτωση ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης, που προκύπτει με τη μέθοδο της ευθύγραμμης παλινδρόμησης, είναι πολύ μικρός).

Αναφερόμενοι στο σχήμα 7.3 (συσχέτιση μέσου χρόνου διάτρησης και θλιπτικής αντοχής για διάτρηση από 0 mm έως 3 mm) παρατηρούμε ότι οι τιμές της αντοχής σε θλίψη κυμαίνονται σε ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος από ότι οι τιμές του μέσου χρόνου διάτρησης. Συγκεκριμένα, στα οκτάοπα τούβλα ο μέσος χρόνος διάτρησης κυμαίνεται περίπου μεταξύ 95-115 sec (εύρος περίπου 21 % της ελάχιστης τιμής), ενώ η θλιπτική αντοχή κυμαίνεται περίπου μεταξύ 0.9-2.7 MPa (εύρος περίπου 200 % της ελάχιστης

τιμής). Στα εξάοπα τούβλα η διαφορά είναι ακόμα πιο έντονη, με το μέσο χρόνο διάτρησης να κυμαίνεται μεταξύ 160-280 sec (εύρος περίπου 75 % της ελάχιστης τιμής), ενώ η θλιπτική αντοχή κυμαίνεται περίπου μεταξύ 1.5-8.0 MPa (εύρος περίπου 430 % της ελάχιστης τιμής).

Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών διάτρησης και θλίψης. Η ανάλυση αυτή για τα αποτελέσματα των δοκιμών διάτρησης έγινε με δύο τρόπους. Στην πρώτη περίπτωση θεωρούμε ως δείγμα τους χρόνους διάτρησης των οπών όλων των τούβλων της ίδιας κατηγορίας, ενώ στη δεύτερη θεωρούμε ως δείγμα τους μέσους χρόνους διάτρησης κάθε τούβλου της ίδιας κατηγορίας. Έτσι προκύπτουν:

1^{ος} τρόπος

Χρόνοι διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 3 mm στα οκτάοπα τούβλα

Μέση τιμή: 106.65 sec

Τυπική απόκλιση: 15.73 sec

Συντελεστής μεταβλητότητας: 14.75 %

Χρόνοι διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 3 mm στα εξάοπα τούβλα

Μέση τιμή: 213.35 sec

Τυπική απόκλιση: 35.00 sec

Συντελεστής μεταβλητότητας: 16.40 %

2^{ος} τρόπος

Μέσοι χρόνοι διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 3 mm στα οκτάοπα τούβλα

Μέση τιμή: 106.65 sec

Μέση ανηγμένη τυπική απόκλιση: 14.13 sec

Συντελεστής μεταβλητότητας: 13.25 %

Μέσοι χρόνοι διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 3 mm στα εξάοπα τούβλα

Μέση τιμή: 213.35 sec

Μέση ανηγμένη τυπική απόκλιση: 16.64 sec

Συντελεστής μεταβλητότητας: 7.80 %

Στο δεύτερο τρόπο η μέση ανηγμένη τυπική απόκλιση S_m δίνεται από τη σχέση:

$$S_m^2 = \left[\sum_1^k (n_i - 1) S_i^2 \right] / [n_i - K] \quad (\text{σχέση 1})$$

όπου: n_i , είναι ο αριθμός των οπών που διανοίχθησαν σε κάθε τούβλο,
 S_i , η τυπική απόκλιση των χρόνων διάτρησης των οπών κάθε τούβλου
 K , ο αριθμός των τούβλων της κάθε κατηγορίας

Για τα αποτελέσματα των δοκιμών σε θλίψη η στατιστική ανάλυση έδωσε τα εξής:

Θλιπτική αντοχή οκτάοπων τούβλων

Μέση τιμή: 1.96 MPa

Τυπική απόκλιση: 0.63 MPa

Συντελεστής μεταβλητότητας: 32.43 %

Θλιπτική αντοχή εξάοπων τούβλων

Μέση τιμή: 4.89 MPa

Τυπική απόκλιση: 2.09 MPa

Συντελεστής μεταβλητότητας: 42.77 %

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι, τόσο στα οκτάοπα όσο και στα εξάοπα τούβλα, ο συντελεστής μεταβλητότητας των θλιπτικών αντοχών είναι πολύ μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των χρόνων διάτρησης. Σε ανάλογα συμπεράσματα καταλήγουμε από τη μελέτη και των άλλων διαγραμμάτων (σχήμα 7.1, 7.2, 7.4).

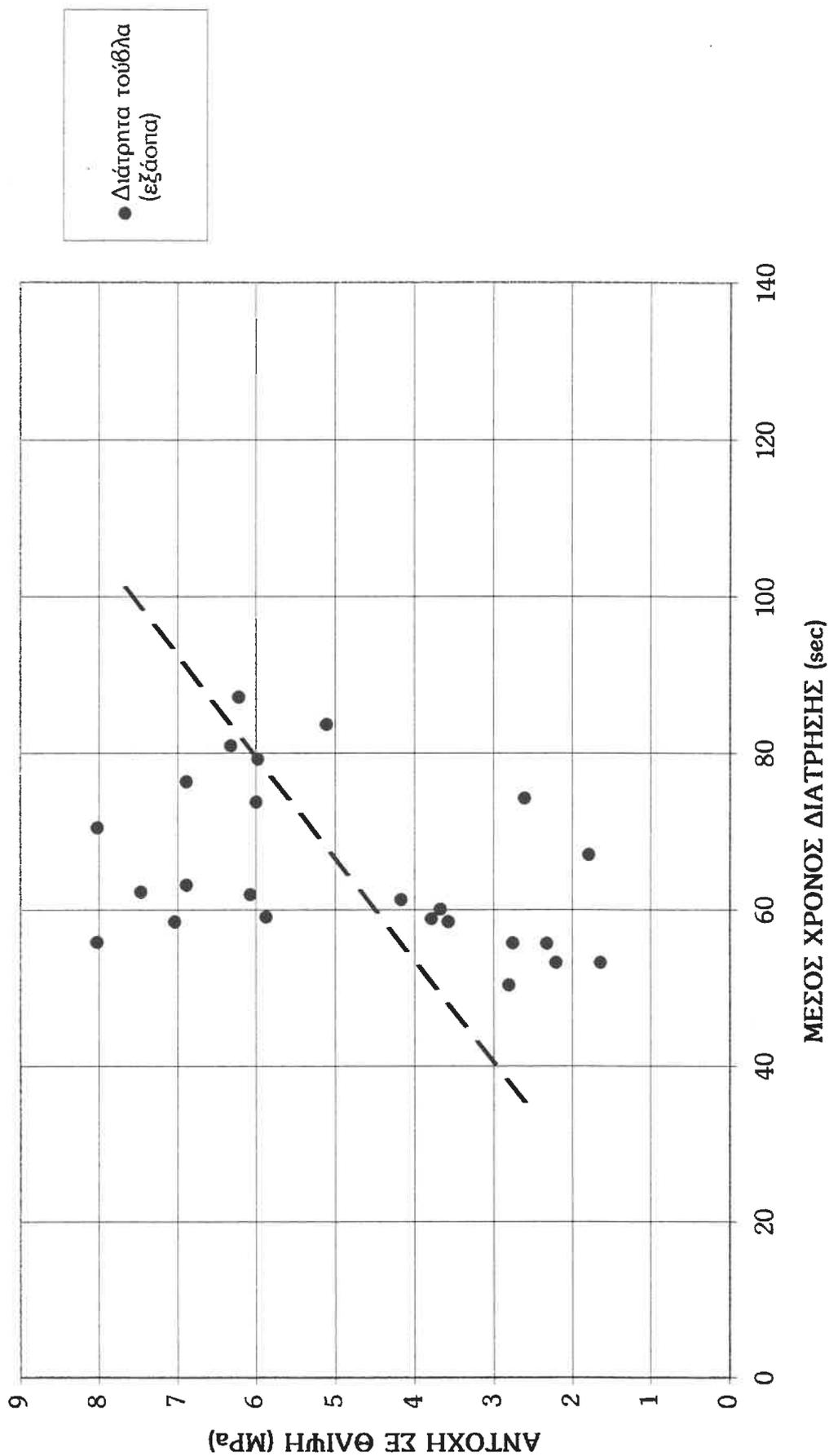
Το μεγάλο εύρος της διασποράς των αντοχών σε σχέση με αυτή των χρόνων διάτρησης μπορεί να εξηγηθεί μετά από προσεκτική παρατήρηση των υλικών που δοκιμάστηκαν. Τα διάτρητα τούβλα της ίδιας κατηγορίας (εξάοπα ή οκτάοπα), αφού προορίζονται για τον ίδιο σκοπό (δόμηση τοιχοποιιών), αναμένονταν να εμφανίζουν την ίδια περίπου θλιπτική αντοχή. Αυτό όμως δεν συμβαίνει αφού πολλά από αυτά έχουν στη μάζα τους ελαττώματα (μικροσπασίματα, ρωγμές), που μειώνουν την αντοχή τους. Σε άλλα από τα τούβλα που δοκιμάστηκαν, παρατηρήθηκαν στρεβλώσεις του σχήματός τους, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται βέλη κάμψης που καθιστούν προβληματική τη δοκιμή τους σε θλίψη και μεταβάλλουν την αντοχή τους.

Αντίθετα στη δοκιμή διάτρησης, οι οπές που διανοίγονται, δεν συναντούν τα ελαττωματικά σημεία που συνήθως βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη, οπότε οι χρόνοι διάτρησης επηρεάζονται μόνο από το υλικό του τούβλου και γι' αυτό παρουσιάζουν μικρότερη διακύμανση. Η μέτρηση του χρόνου δηλαδή αφορά ένα σημειακό (τοπικό) προσδιορισμό και μάλιστα στην επιφάνεια του δοκιμίου, ενώ ο προσδιορισμός της αντοχής αφορά όλη τη μάζα του. Κατ' επέκταση μπορούμε να πούμε ότι δημιουργώντας πολλές οπές σε ένα δοκίμιο διάτρητου τούβλου προσδιορίζουμε τοπικές αντοχές από τις

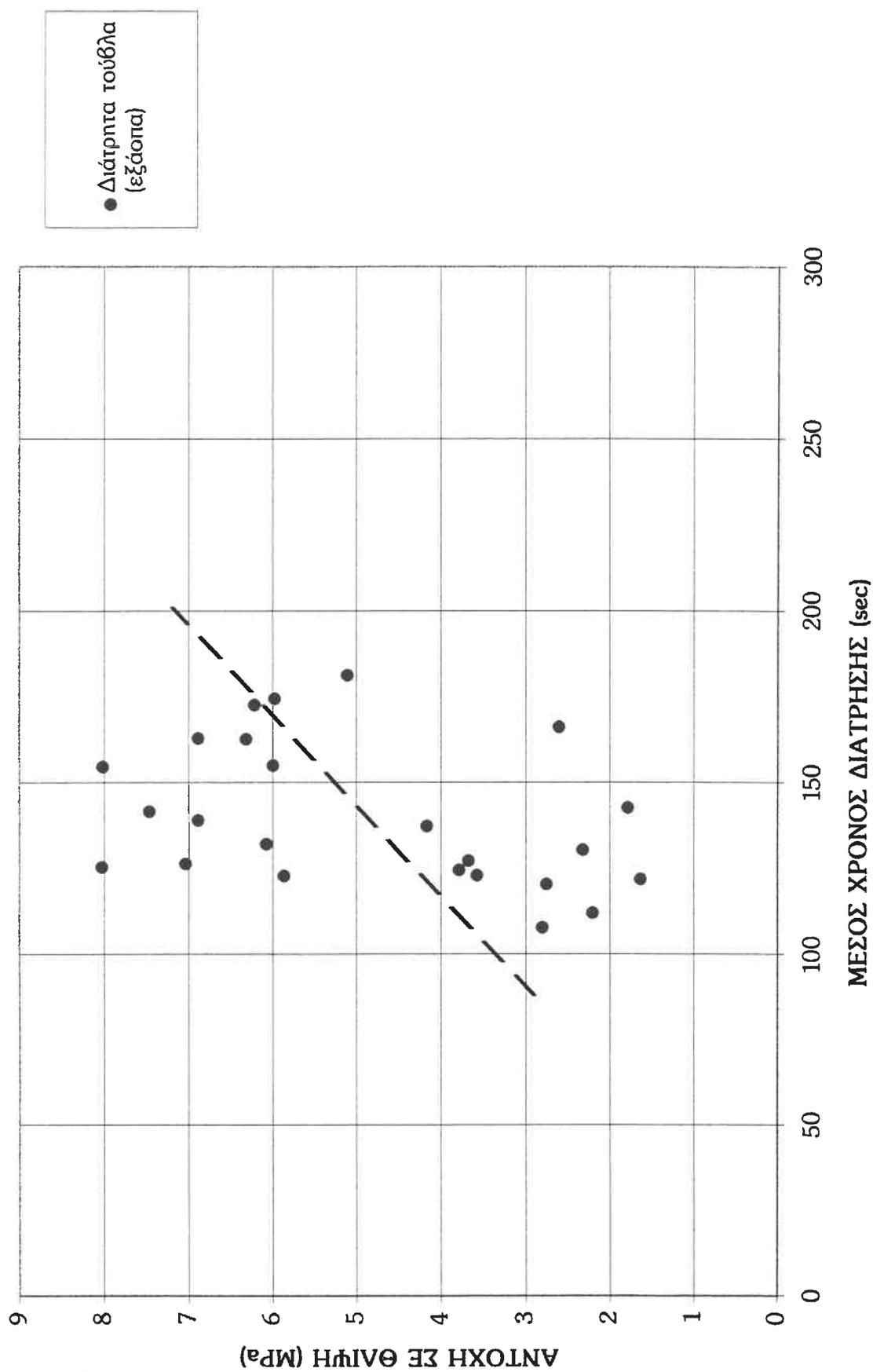
οποίες λαμβάνουμε μια μέση αντοχή του υλικού (πηλοκονίαμα) και όχι τη θλιπτική του αντοχή που σχετίζεται και με τη δομή του τούβλου

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι στην περίπτωση υλικών όπως τα διάτρητα τούβλα, που δεν είναι ομοιόμορφα και ομογενή, η δοκιμή της διάτρησης δεν μπορεί να δώσει εκτίμηση της θλιπτικής τους αντοχής ως δομικά στοιχεία αλλά μόνο μια τοπική ένδειξη της αντοχής του υλικού τους.

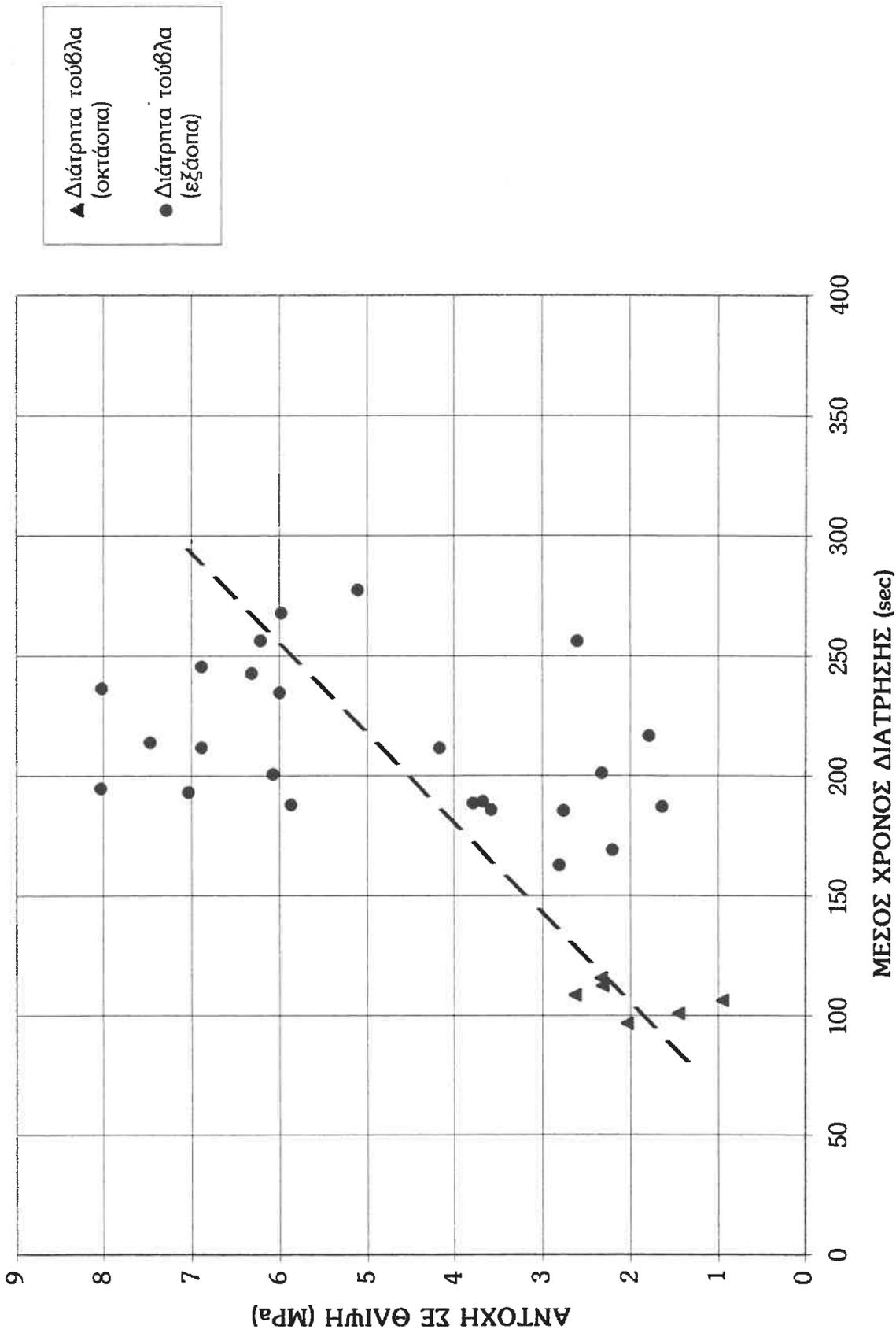
Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι η δοκιμή σε θλίψη λαμβάνοντας ως δοκίμιο ολόκληρο το τούβλο δεν μας δίνει ακριβή αποτελέσματα, αφού το μικρό ύψος των δοκιμίων σε σχέση με τις διαστάσεις των επιφανειών φόρτισης δημιουργούν συνθήκες τριαξονικής καταπόνησης που αυξάνουν την τιμή της αντοχής. Αυτός ήταν και ένας από τους λόγους όπου η δοκιμή σε θλίψη των συμπαγών τούβλων έγινε σε κυβικά δοκίμια αυτών.



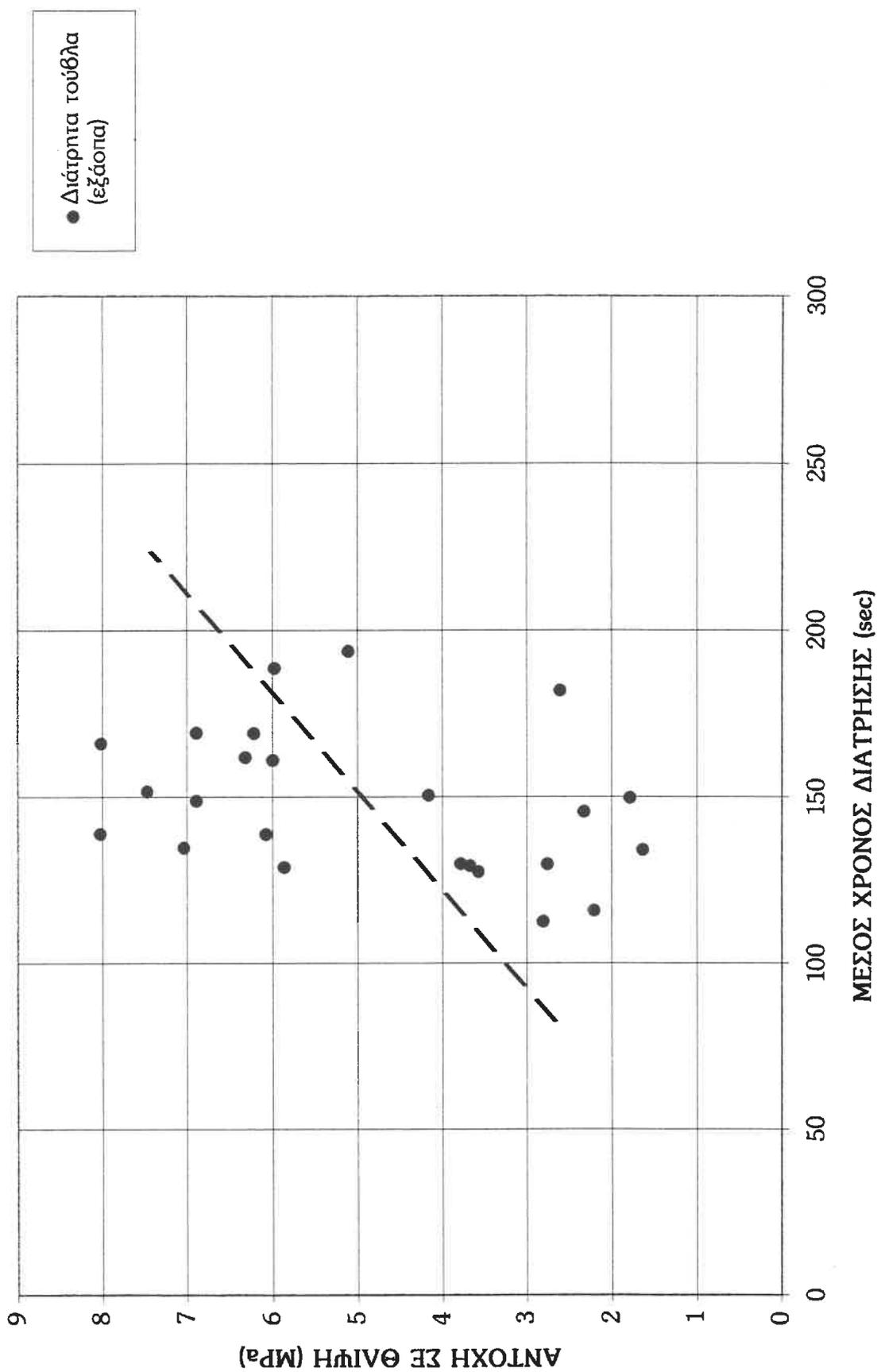
Σχήμα 7.1: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής διάτρητων τούβλων για διείσδυση από 0 έως 1 mm



Σχήμα 7.2: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής διάτρητων τούβλων για διείσδυση από 0 έως 2 mm



Σχήμα 7.3: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής διάτρητων τούβλων για διεύδοση από 0 έως 3 mm



Σχήμα 7.4: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής διάτρητων τούβλων για διεύθυνση από 1 έως 3 mm

7.2. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ - ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΑ ΣΥΜΠΑΓΗ ΤΟΥΒΛΑ

Στα σχήματα 7.5 έως 7.10 απεικονίζονται οι συσχετίσεις μεταξύ χρόνων διάτρησης και θλιπτικών αντοχών στα δοκίμια των συμπαγών τούβλων. Ομοίως με τα διάτρητα τούβλα σε καθένα από αυτά (7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9) διαφοροποιείται το βάθος διάτρησης που λαμβάνεται υπόψιν, ώστε να παρουσιαστεί η επιρροή του στη συσχέτιση αυτή και να επιλεγθεί τελικά το πιο κατάλληλο στο οποίο πρέπει να πραγματοποιείται η δοκιμή της διάτρησης. Στο σχήμα 7.10 παρουσιάζεται η ίδια συσχέτιση, στην περίπτωση που ο χρόνος διάτρησης μετρείται από τη στιγμή που το τρυπάνι έχει ήδη διεισδύσει κατά 1 mm στη μάζα του υλικού, ώστε να εξαιρεθεί η πιθανότητα επιρροής των εξωτερικών συνθηκών στην επιφανειακή στρώση του υλικού.

Από την μελέτη των προαναφερθέντων διαγραμμάτων καταλήγουμε στα ακόλουθα:

Σε όλες τις περιπτώσεις, δηλαδή για τα βάθη διάτρησης 0-1 mm, 0-2 mm, 0-3 mm, 0-4 mm, 0-7 mm και 1-4 mm, η συσχέτιση μεταξύ του μέσου χρόνου διάτρησης και της θλιπτικής αντοχής των συμπαγών τούβλων παρουσιάζει την ίδια περίπου μορφή, όποτε διαφαίνεται ότι το βάθος διάτρησης καθώς και η πιθανή επίδραση των εξωτερικών συνθηκών στην επιφάνεια του υλικού, δεν επηρεάζουν το συσχετισμό των δύο μεγεθών.

Υπάρχει μια σαφής ένδειξη ότι η αύξηση των θλιπτικών αντοχών συνεπάγεται την αύξηση των μέσων χρόνων διάτρησης. Ωστόσο, δεν μπορεί να προκύψει μια γενική γραμμική σχέση, η οποία να εκφράζει τη συσχέτιση των δύο μεγεθών για όλα τα συμπαγή τούβλα που δοκιμάστηκαν.

Αναφερόμενοι στα σχήματα 7.5, 7.8, 7.10, όπου έχουν απεικονιστεί τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών συμπαγών τούβλων που εξετάστηκαν, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

Τα τούβλα που ανήκουν στην κατηγορία “διακοσμητικά 1” σε σχέση με τα υπόλοιπα, παρουσιάζουν μειωμένη θλιπτική αντοχή αναλογικά με τους μέσους χρόνους διάτρησης που παρατηρήθηκαν. Αυτό συμβαίνει γιατί μέσα στη μάζα τους υπήρχαν μικρορωγμές, που ελαττώνουν την αντοχή τους.

Τα τούβλα που ανήκουν στις κατηγορίες “τσιμεντότουβλα” και “διακοσμητικά 3” σε σχέση με τα υπόλοιπα, παρουσιάζουν αυξημένους χρόνους διάτρησης αναλογικά με τις θλιπτικές τους αντοχές. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στα αδρανή (με διάμετρο κόκκου μέχρι 3 mm περίπου) που υπήρχαν στη μάζα τους, με αποτέλεσμα κατά

τη διάνοιξη της οπής το τρυπάνι να συναντάει σκληρότερο υλικό, οπότε και να απαιτείται μεγαλύτερη διάρκεια για την απότριψή του. Αντίθετα, τα αδρανή αυτά δεν επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή των τούβλων.

Τα υπόλοιπα τούβλα αποτελούνται μόνο από πηλοκονίαμα και όπως συμβαίνει με τα κονιάματα, η συσχέτιση μεταξύ των μέσων χρόνων διάτρησης και της θλιπτικής τους αντοχής παρουσιάζει γραμμική μορφή. Για τις δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις των σχημάτων 7.8 και 7.10, οι γραμμικές σχέσεις έχουν την εξής έκφραση:

Συσχέτιση μέσων χρόνων διάτρησης - θλιπτικής αντοχής για διείδυση από 0 - 4 mm

$$y = 0.34 x - 11.62$$

συντελεστής γραμμικής συσχέτισης: $r = 0.77$

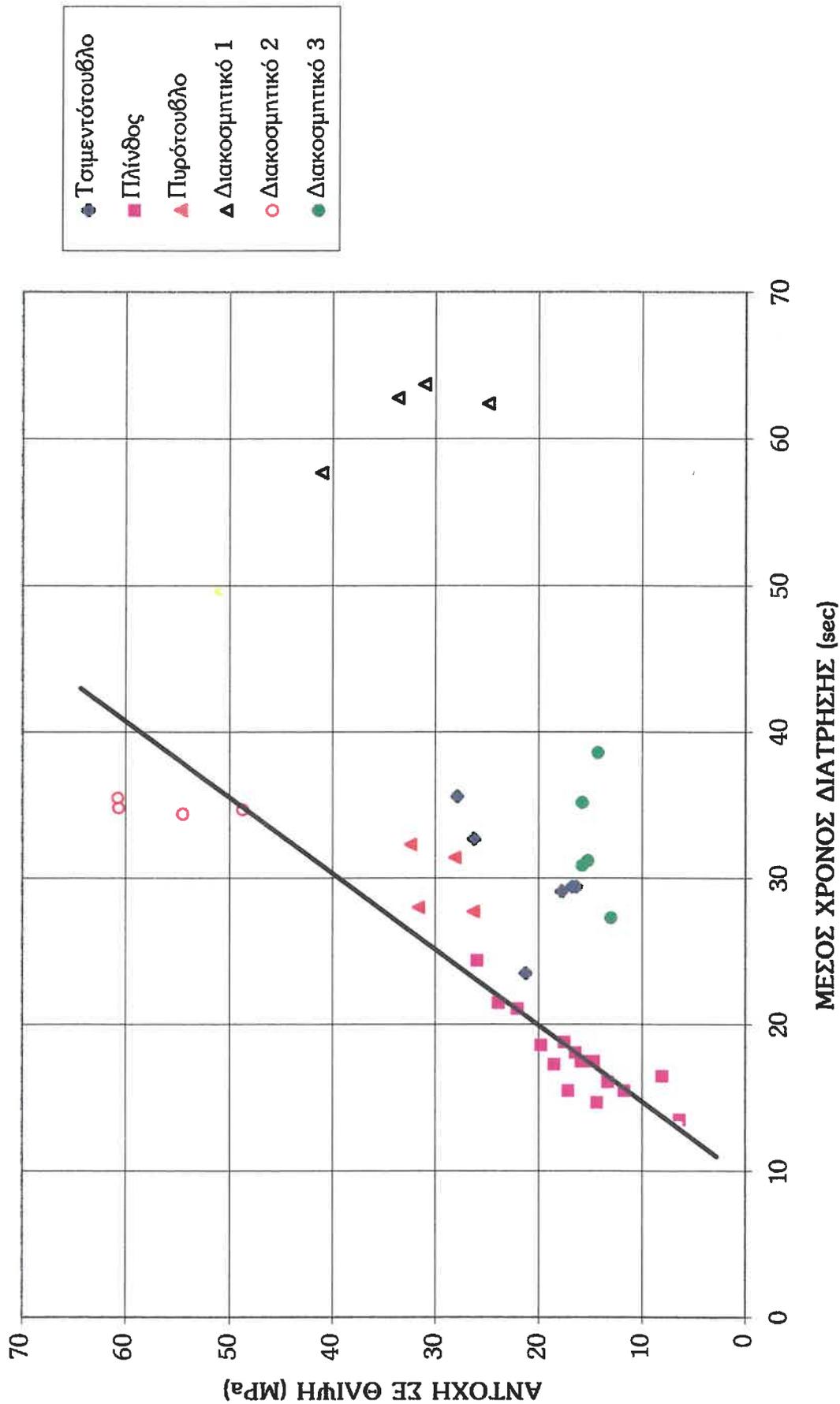
Συσχέτιση μέσων χρόνων διάτρησης - θλιπτικής αντοχής για διείδυση από 1 - 4 mm

$$y = 0.41 x - 9.86$$

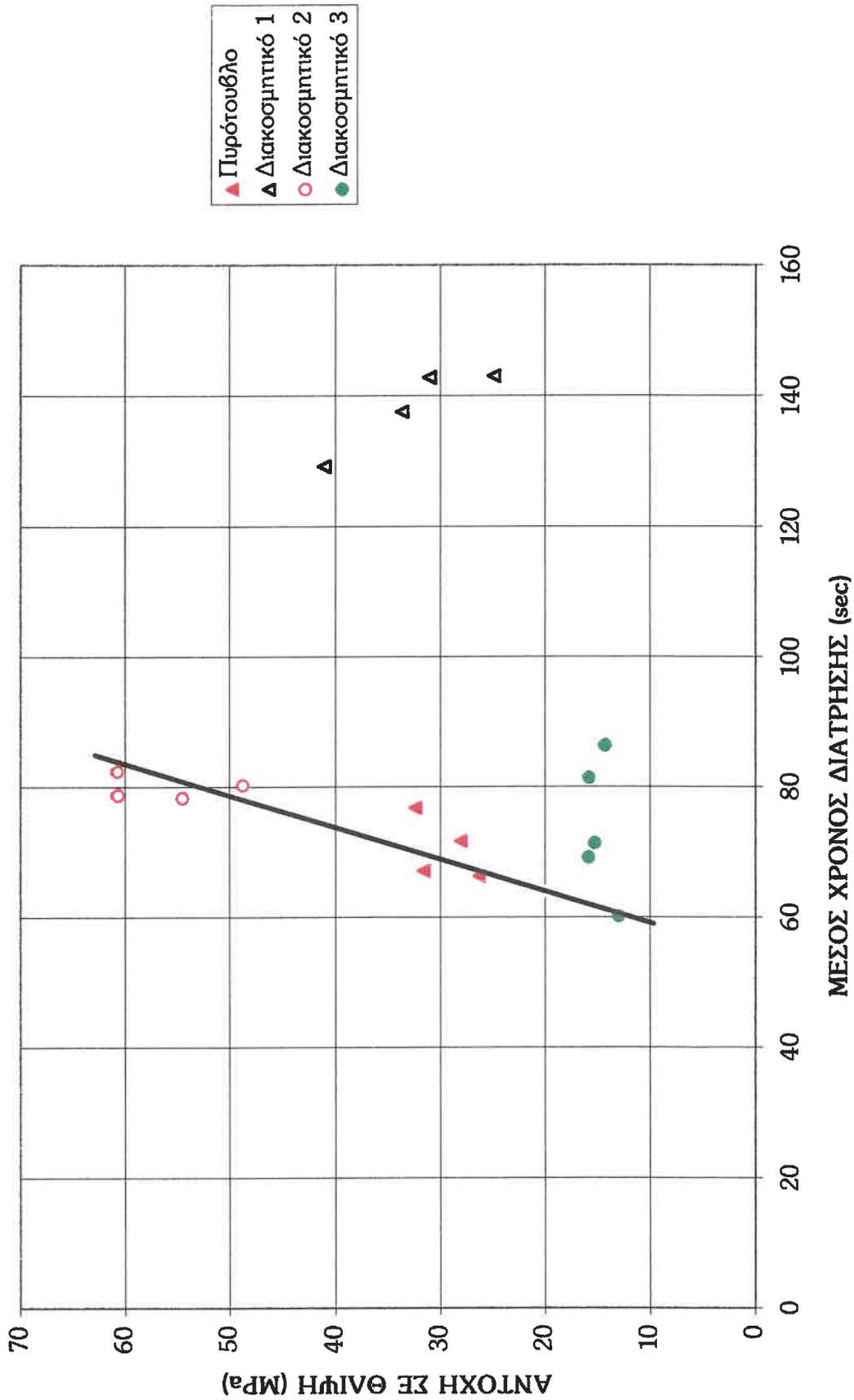
συντελεστής γραμμικής συσχέτισης: $r = 0.74$

Ανάλογες σχέσεις ισχύουν και για τα άλλα βάθη διάτρησης.

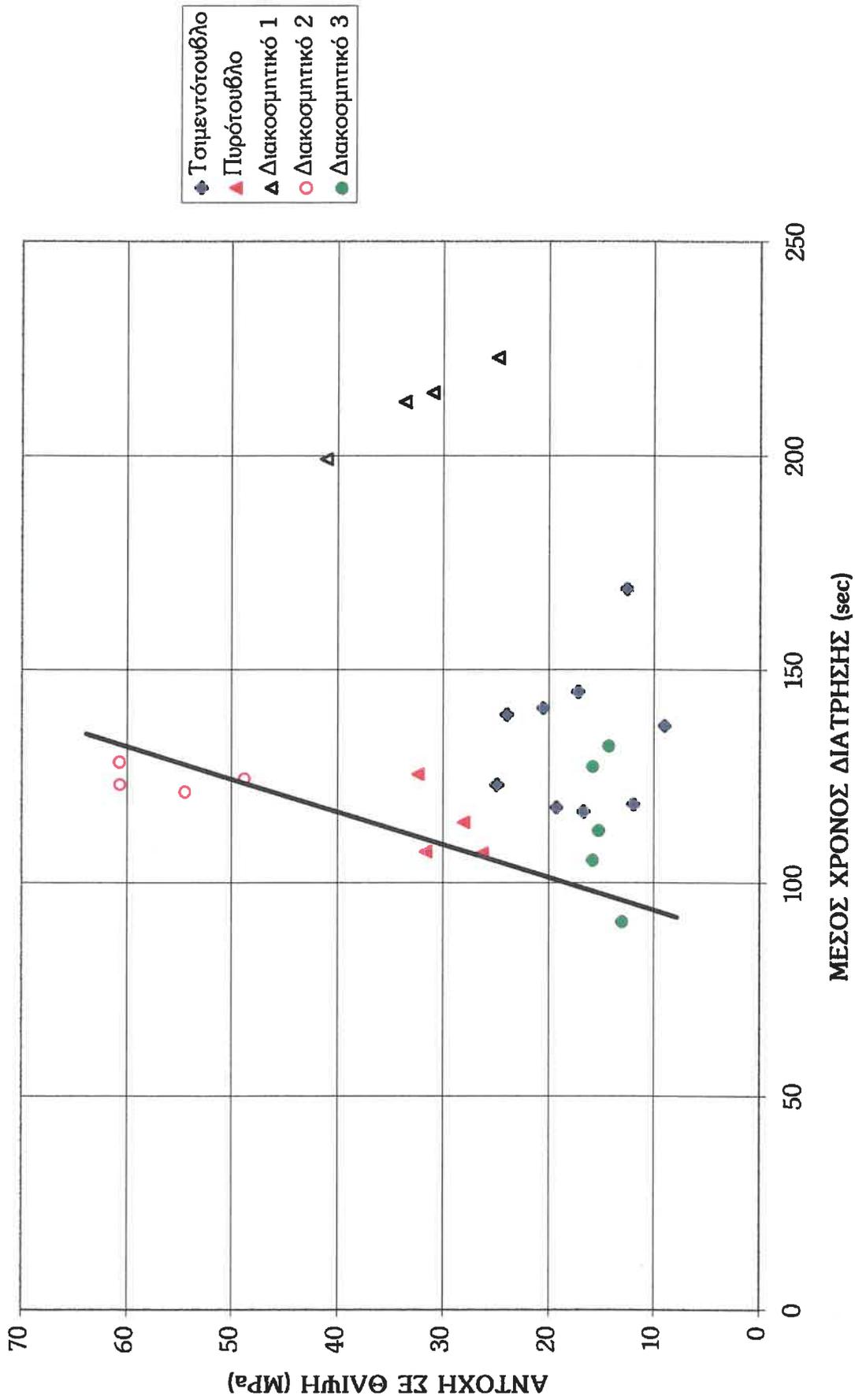
Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στην περίπτωση συμπαγών τούβλων που αποτελούνται μόνο από ομοιόμορφο αργιλικό υλικό χωρίς ελαττώματα στη μάζα τους, η μέθοδος της διάτρησης μπορεί να εκτιμήσει την αντοχή τους από τον προσδιορισμό των τοπικών αντοχών της επιφάνειάς τους. Το συμπέρασμα αυτό δεν ισχύει, αν μέσα στη μάζα των τούβλων περιέχονται αδρανή μεγαλύτερης σκληρότητας που αυξάνουν τους χρόνους διάτρησης.



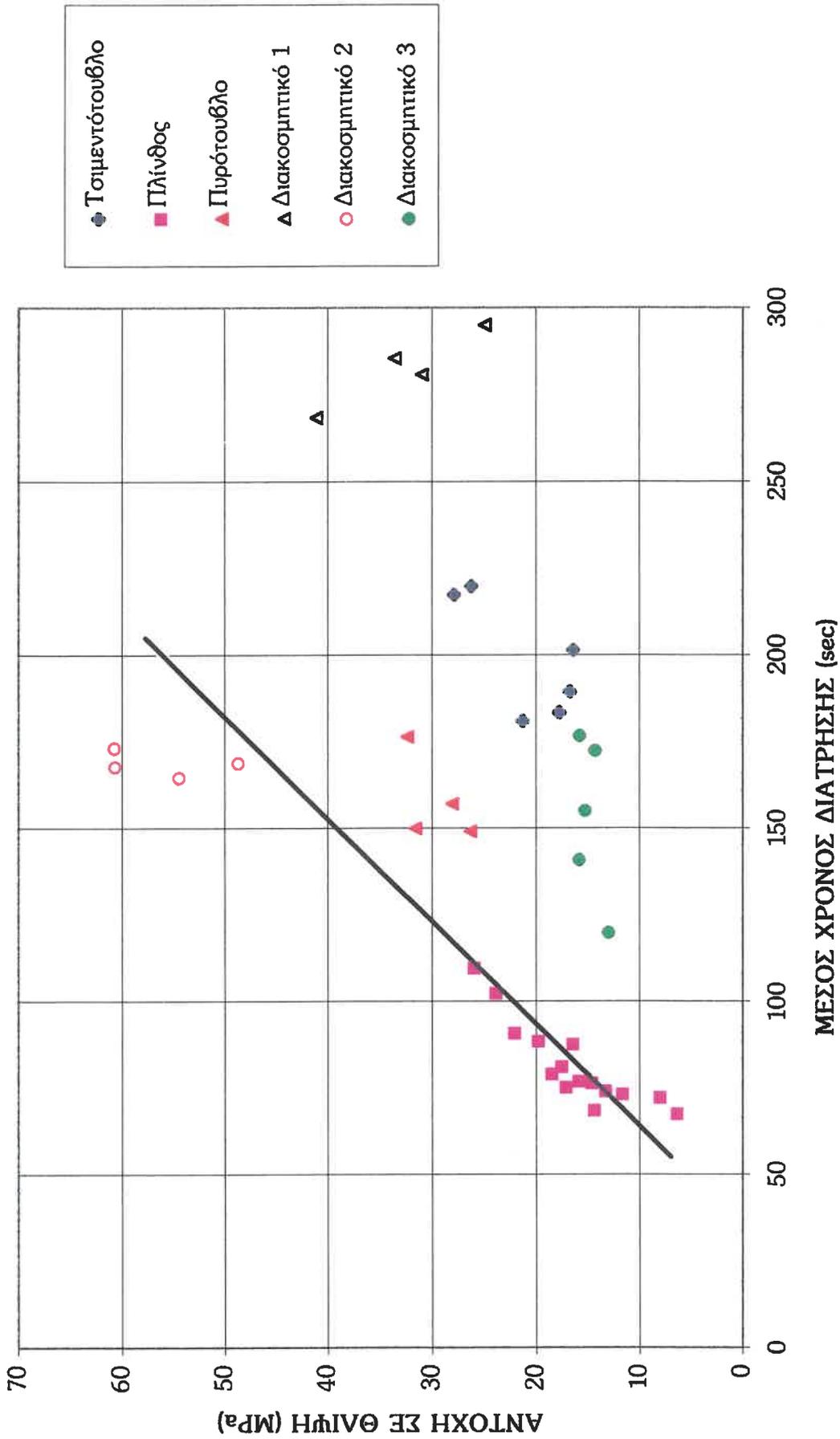
Σχήμα 7.5: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής συμπαγών τούβλων για διείσδυση από 0 έως 1 mm



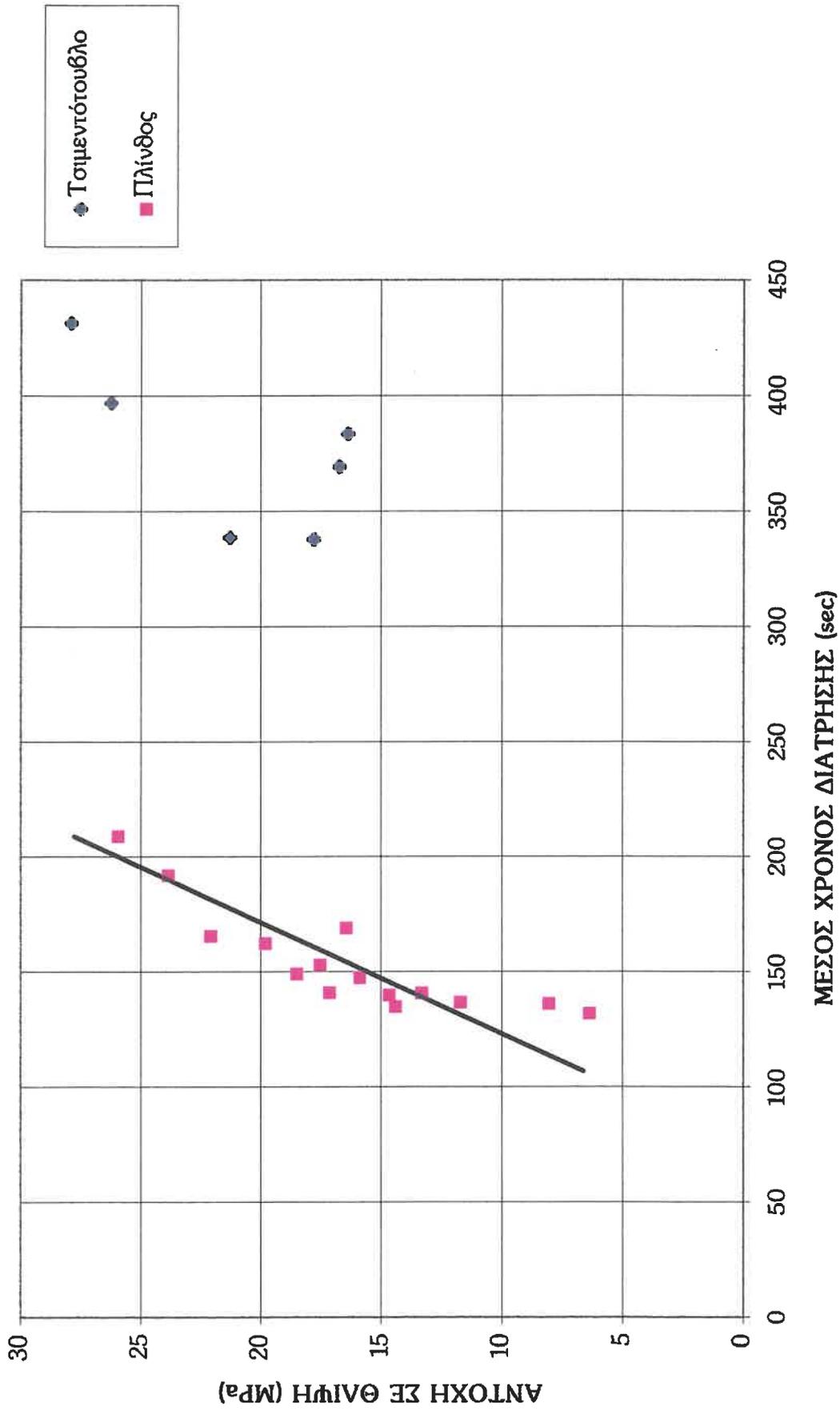
Σχήμα 7.6: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής συμπλεγών τούβλων για διεύθυνση από 0 έως 2 mm



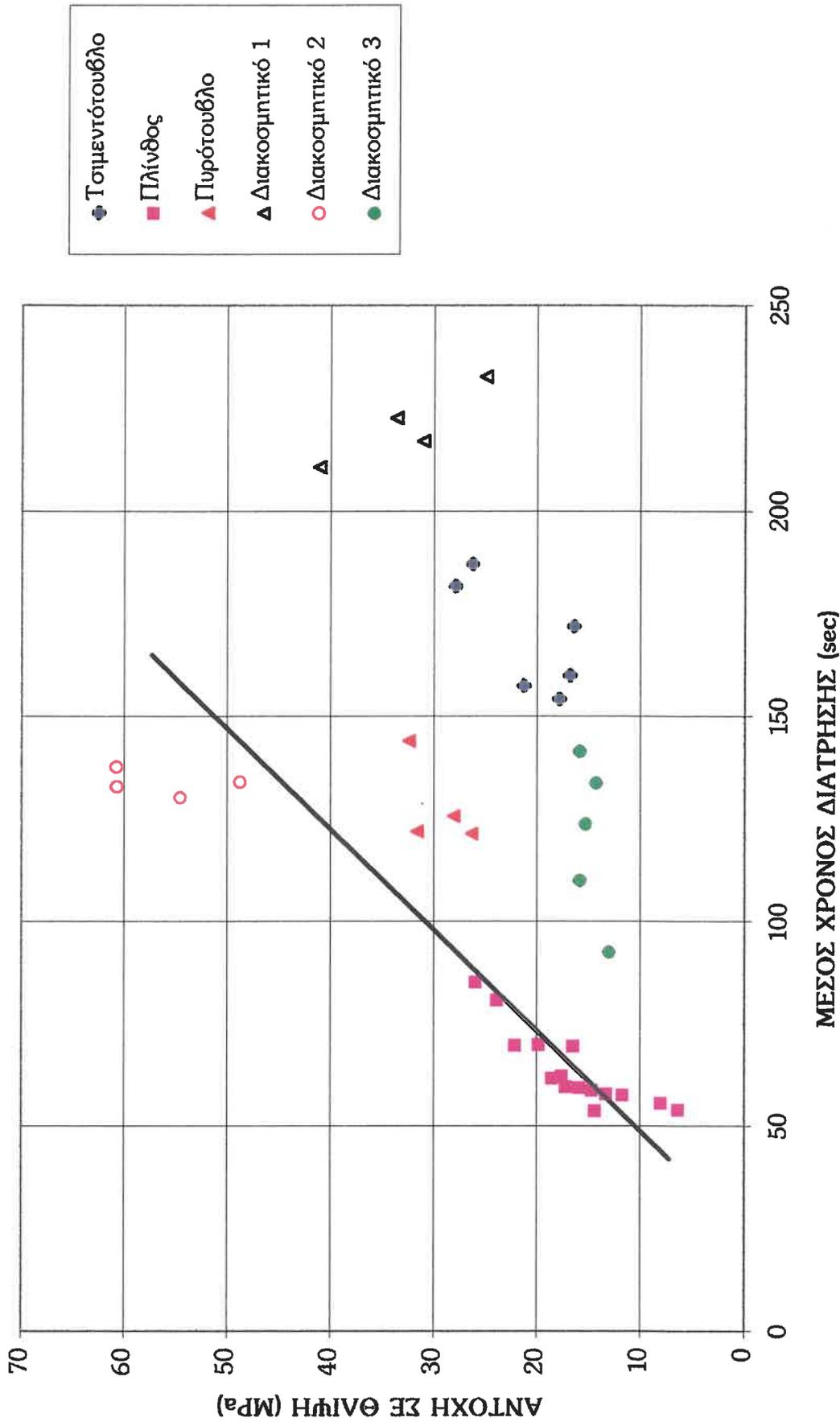
Σχήμα 7.7: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής συμπαγών τούβλων για διεύδυση από 0 έως 3 mm



Σχήμα 7.8: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής συμπαγών τούβλων για διεύδυση από 0 έως 4 mm



Σχήμα 7.9: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής συμπλεγών τούβλων για διεύδυση από 0 έως 7 mm



7.3. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ - ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Στα σχήματα 7.11 έως 7.15 απεικονίζονται οι συσχετίσεις μεταξύ χρόνων διάτρησης και θλιπτικών αντοχών στα πετρώματα για τα διάφορα βάθη διείσδυσης που λαμβάνονται υπόψιν, ώστε να παρουσιαστεί η επιρροή τους στη συσχέτιση αυτή. Στο σχήμα 7.15 παρουσιάζεται η ίδια συσχέτιση, στην περίπτωση που ο χρόνος διάτρησης μετρείται από τη στιγμή που το τρυπάνι έχει ήδη διεισδύσει κατά 1 mm στη μάζα του υλικού, ώστε να εξαλειφθεί η πιθανότητα επιρροής των εξωτερικών συνθηκών στην επιφανειακή στρώση του υλικού.

Από την μελέτη των προαναφερθέντων διαγραμμάτων καταλήγουμε στα ακόλουθα:

Σε όλες τις περιπτώσεις η συσχέτιση μεταξύ του μέσου χρόνου διάτρησης και της θλιπτικής αντοχής παρουσιάζει την ίδια μορφή, οπότε φαίνεται ότι και στα πετρώματα το βάθος διάτρησης καθώς και η πιθανή επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην επιφάνεια του υλικού, δεν επηρεάζουν το συσχετισμό των δύο μεγεθών.

Αναφερόμενοι στο σχήμα 7.14 (συσχέτιση μέσου χρόνου διάτρησης και θλιπτικής αντοχής για διάτρηση από 0 mm έως 4 mm) παρατηρούμε ότι στα δοκίμια μαρμάρου και σ' αυτά της πέτρας Θεσπρωτίας, οι τιμές της αντοχής σε θλίψη κυμαίνονται σε ένα πολύ μεγάλο εύρος από ότι οι τιμές του μέσου χρόνου διάτρησης. Ιδιαίτερα στην πέτρα Θεσπρωτίας η διαφορά είναι εντονότατη με το μέσο χρόνο διάτρησης να κυμαίνεται μεταξύ 202-226 sec (εύρος περίπου 12 % της ελάχιστης τιμής), ενώ η θλιπτική αντοχή κυμαίνεται μεταξύ 14-170 MPa (εύρος περίπου 1100 % της ελάχιστης τιμής). Ανάλογες παρατηρήσεις προκύπτουν και από τη μελέτη των άλλων σχημάτων (7.11, 7.12, 7.13, 7.15).

Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών διάτρησης και θλίψης στην πέτρα Θεσπρωτίας. Η ανάλυση αυτή για τα αποτελέσματα των δοκιμών διάτρησης έγινε με δύο τρόπους. Στην πρώτη περίπτωση θεωρούμε ως δείγμα τους χρόνους διάτρησης των οπών όλων των δοκιμών, ενώ στη δεύτερη θεωρούμε ως δείγμα τους μέσους χρόνους διάτρησης κάθε δοκιμίου αυτού του πετρώματος. Έτσι προκύπτουν:

1^{ος} τρόπος

Χρόνοι διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 4 mm στα δοκίμια πέτρας Θεσπρωτίας
Μέση τιμή: 213.50 sec

Τυπική απόκλιση: 10.60 sec

Συντελεστής μεταβλητότητας: 4.96 %

2^{ος} τρόπος

Μέσοι χρόνοι διάτρησης για διείσδυση από 0 mm έως 4 mm στα δοκίμια πέτρας Θεσπρωτίας

Μέση τιμή: 213.50 sec

Μέση ανηγμένη τυπική απόκλιση: 7.99 sec

Συντελεστής μεταβλητότητας: 3.74 %

Στο δεύτερο τρόπο η μέση ανηγμένη τυπική απόκλιση S_m δίνεται από τη σχέση 1 της παραγράφου 7.1.

Για τα αποτελέσματα των δοκιμών σε θλίψη η στατιστική ανάλυση έδωσε τα εξής:

Θλιπτική αντοχή δοκιμών πέτρας Θεσπρωτίας

Μέση τιμή: 96.11 MPa

Τυπική απόκλιση: 56.91 MPa

Συντελεστής μεταβλητότητας: 59.21 %

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι ο συντελεστής μεταβλητότητας των θλιπτικών αντοχών είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των χρόνων διάτρησης.

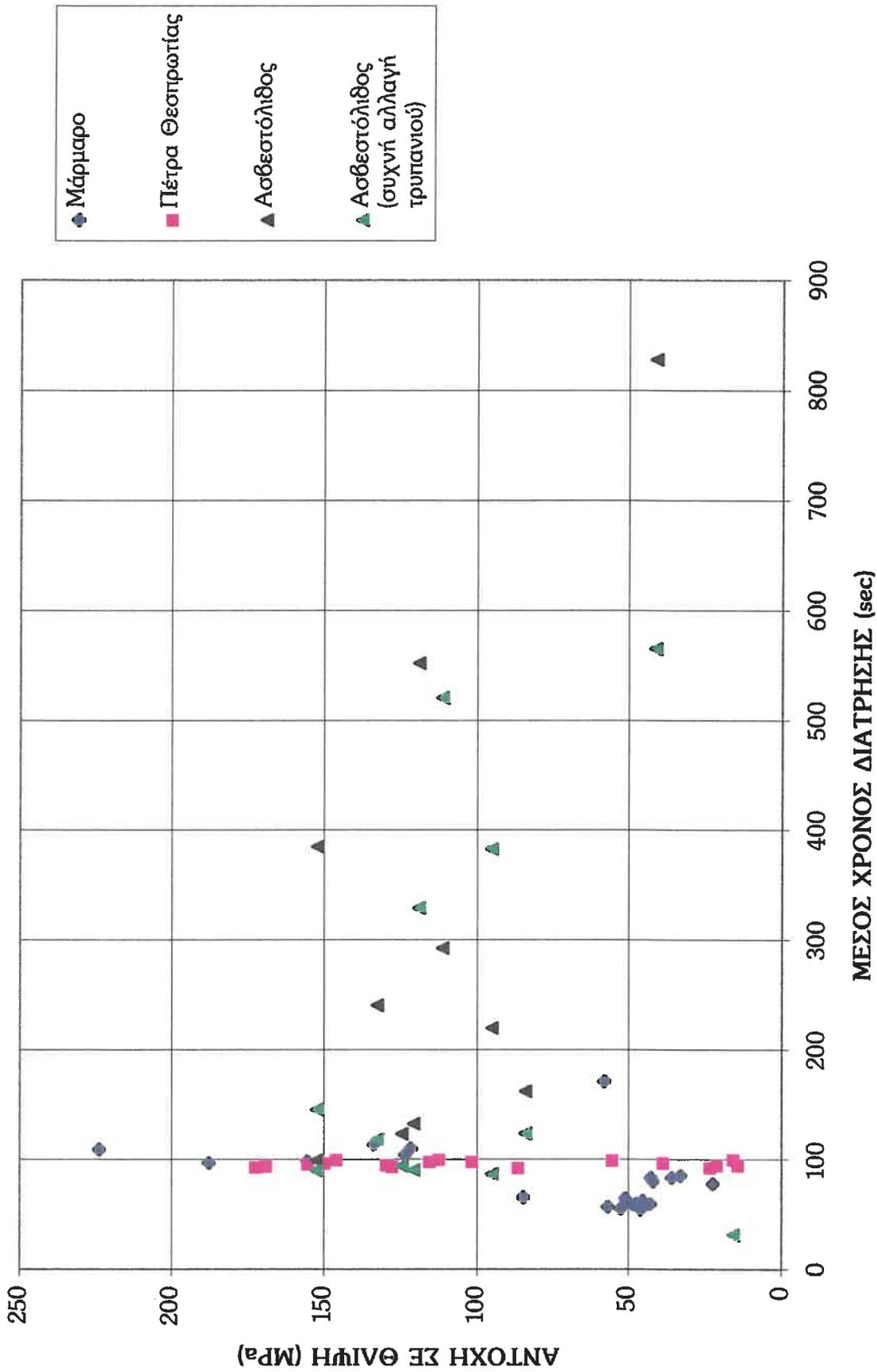
Η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι με τη δοκιμή της διάτρησης προσδιορίζεται τοπικά ένα σημειακό μέγεθος, που στις θέσεις ελέγχου επηρεάζεται μόνο από την ομοιογένεια του υλικού. Στην επιφανειακή στρώση των δοκιμών όπου εκτελέστηκε η δοκιμή, το υλικό παρουσίαζε ομοιογένεια με αποτέλεσμα οι χρόνοι διάτρησης να κυμαίνονται σε μικρού εύρους τιμές.

Αντίθετα, με τη δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης, προσδιορίζεται μέγεθος που αναφέρεται σε όλη τη μάζα του υλικού. Στην περίπτωση των πετρωμάτων και ιδιαίτερα στα δοκίμια των μαρμάρων και της πέτρας Θεσπρωτίας υπήρχαν μέσα στη μάζα τους ελαττώματα (ασυνέχειες, ρηγματώσεις, επιφάνειες απόσχισης κ.λ.π) που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την θλιπτική τους αντοχή και γι' αυτό παρατηρείται μεγάλη διακύμανση στις τιμές τους.

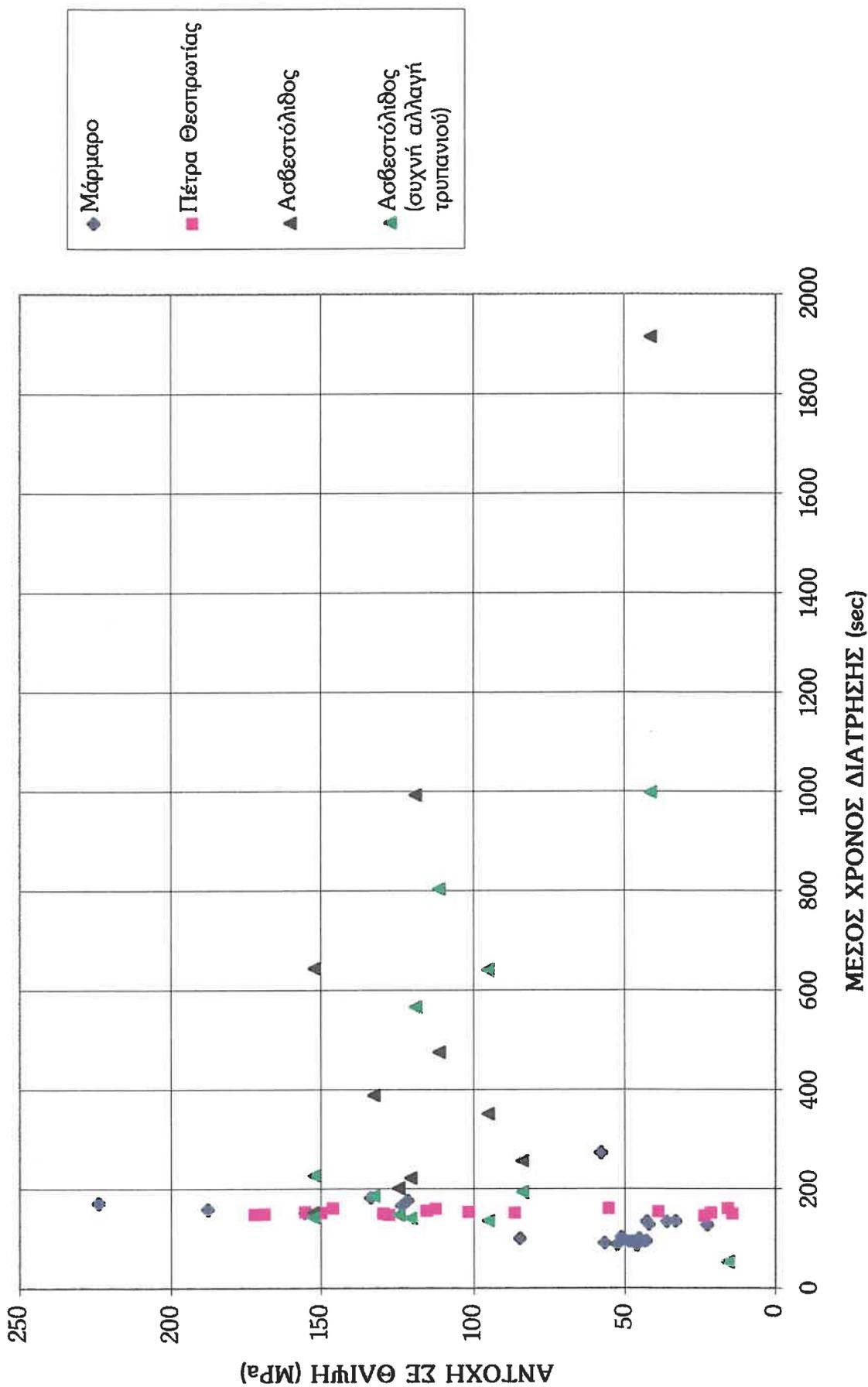
Μια διαφοροποίηση των παραπάνω φαίνεται να επικρατεί στην περίπτωση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Αναφερόμενοι πάλι στο σχήμα 7.14, παρατηρούμε ότι το εύρος των μέσων τιμών των χρόνων διάτρησης τους είναι πολύ μεγάλο σε σχέση με το εύρος των αντοχών τους. Πράγματι, ο μέσος χρόνος διάτρησης κυμαίνεται μεταξύ 250-

3300 sec (εύρος περίπου 1200 % της ελάχιστης τιμής), ενώ η θλιπτική αντοχή κυμαίνεται μεταξύ 20-150 MPa (εύρος περίπου 650 % της ελάχιστης τιμής). Αυτό οφείλεται στο ότι οι συγκεκριμένοι ασβεστόλιθοι παρουσίαζαν αυξημένη σκληρότητα με αποτέλεσμα, κατά τη δοκιμή τους σε διάτρηση το τρυπάνι να φθείρεται περισσότερο για να επιφέρει το ίδιο αποτέλεσμα. Για να επιβεβαιωθεί αυτό στα δοκίμια των ασβεστόλιθων δημιουργήθηκαν νέες σπές με συχνή αλλαγή τρυπανιού. Παρατηρήθηκε ότι οι μέσοι χρόνοι διάτρησης των ίδιων δοκιμίων μειώνονται αισθητά πράγμα που σημαίνει ότι η φθορά του τρυπανιού επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τους χρόνους διάτρησης.

Από τα παραπάνω καταλήγουμε στο ότι η μέθοδος της διάτρησης δεν μπορεί να εφαρμοσθεί ως τρόπος εκτίμησης της αντοχής των πετρωμάτων σε μονοαξονική θλίψη, παρά μόνο να μας δώσει μία πρώτη ένδειξη της σκληρότητας του υλικού τους. Στην περίπτωση πολύ σκληρών πετρωμάτων η ένδειξη αυτή δεν είναι αξιόπιστη, αφού επηρεάζεται ο παράγοντας φθορά τρυπανιού.



Σχήμα 7.12: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής πετρωμάτων για διεύδυση από 0 έως 2 mm

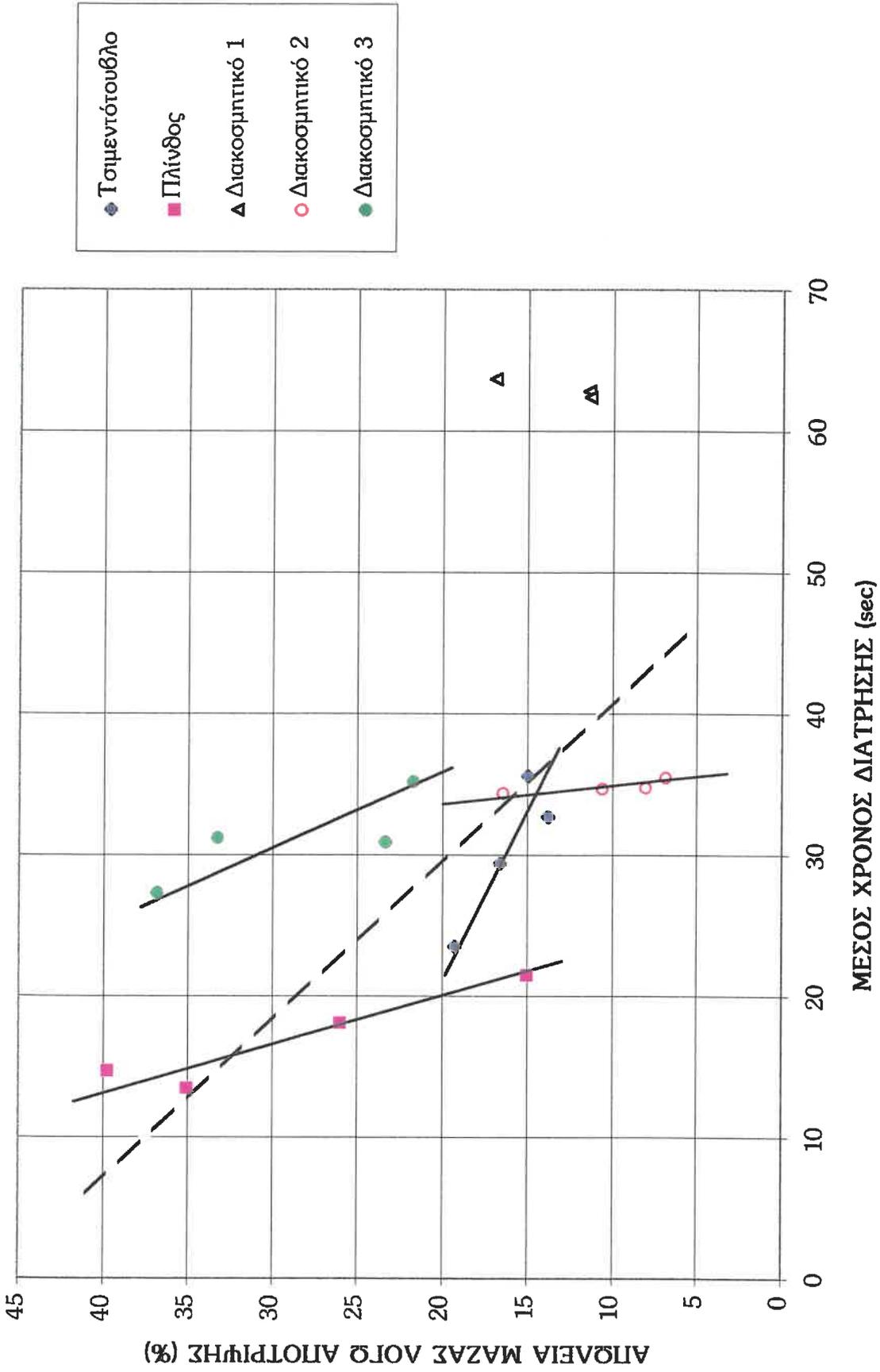


Σχήμα 7.13: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-θλιπτικής αντοχής πετρωμάτων για διεύδυση από 0 έως 3 mm

7.4. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ - ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΑΠΟΤΡΙΨΗ ΣΥΜΠΑΓΩΝ ΤΟΥΒΛΩΝ

Στο σχήμα 7.16 απεικονίζεται η συσχέτιση μεταξύ του μέσου χρόνου διάτρησης και αντοχής σε απότριψη στα συμπαγή τούβλα. Επειδή τα δύο μεγέθη αναφέρονται σε επιφανειακή καταπόνηση του υλικού, ως βάθος διάτρησης λήφθηκε το 1 mm. Παρατηρώντας το σχήμα καταλήγουμε στα ακόλουθα:

Υπάρχει μία σαφής ένδειξη ότι η μείωση των απωλειών μάζας λόγω απότριψης των συμπαγών τούβλων, συνεπάγεται την αύξηση των μέσων χρόνων διάτρησής τους. Η τάση αυτή σημειώνεται με διακεκομμένη γραμμή. Ωστόσο, επειδή η διασπορά των τιμών είναι πολύ μεγάλη η συσχέτιση των δύο αυτών μεγεθών δεν είναι στατιστικά ικανοποιητική (ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης που προκύπτει με τη μέθοδο της ευθύγραμμης παλινδρόμησης είναι πολύ μικρός), και υπάρχει η ένδειξη ότι για κάθε κατηγορία τούβλου ακολουθείται διαφορετική συσχέτιση (σημειώνεται με συνεχή γραμμή).



Σχήμα 7.16: Διάγραμμα χρόνου διάτρησης-αντοχής σε απότρηξη συμπλεγών τούβλων για διεύδυση από 0 έως 1 mm

8. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης της δυνατότητας προσδιορισμού της αντοχής σε θλίψη:

- α) διάτρητων τούβλων,
- β) συμπαγών τούβλων,
- γ) πετρωμάτων,

με μέτρηση του απαιτούμενου χρόνου διάτρησης συγκεκριμένων χαρακτηριστικών (βάθος οπής, διάμετρος τρυπανιού, ταχύτητα περιστροφής τρυπανιού κ.λ.π.) των παραπάνω υλικών.

Από τη διερεύνηση προκύπτει ότι, σε αντίθεση με τα κονιάματα, δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η αντοχή με ικανοποιητική ακρίβεια. Οι λόγοι αυτής της αδυναμίας αποδίδονται:

- Στην περίπτωση των διάτρητων τούβλων, στην ύπαρξη σημαντικών ατελειών και ελαττωμάτων μέσα στη μάζα τους, γεγονός που διαφοροποιεί σε μεγάλο βαθμό την αντοχή για τούβλα της ίδιας κατηγορίας και κατασκευής. Σε αντίθεση, ο χρόνος διάτρησης δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλες διαφοροποιήσεις, γιατί ουσιαστικά προσδιορίζει την αντοχή του πηλοκονιάματος του τούβλου τοπικά και στην επιφανειακή στρώση και όχι στο σύνολο της μάζας του, με τα όποια ελαττώματα υπάρχουν σ' αυτή.
- Στην περίπτωση των συμπαγών τούβλων, η εκτίμηση της αντοχής είναι σημαντικά καλύτερη, χωρίς όμως να είναι ικανή να αποτελέσει μια ικανοποιητική μέθοδο προσδιορισμού της αντοχής τους. Οι λόγοι αυτής της αδυναμίας αποδίδονται στην ύπαρξη μικρορωγμών ή άλλων ατελειών στη μάζα των τούβλων, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, όπου διαφοροποιούν την πραγματική συνολική τους αντοχή σε σχέση με την τοπική τους. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν δυσμενώς την εκτίμηση της αντοχής είναι η ύπαρξη ή όχι κόκκων αδρανών υλικών μέσα στο πηλοκονίαμα.
- Στην περίπτωση των πετρωμάτων, η αδυναμία εκτίμησης οφείλεται στην ύπαρξη ρηγματώσεων, ασυνεχειών κ.λ.π. στη μάζα τους, που διαφοροποιούν σε μεγάλο βαθμό την αντοχή τους σε σχέση μ' αυτή που προσδιορίζεται τοπικά με τη μέθοδο της διάτρησης. Ιδιαίτερα στα σκληρά πετρώματα η μέθοδος της διάτρησης δεν μπορεί να δώσει μία ένδειξη της τοπικής τους αντοχής, αφού τα αποτελέσματα των μετρήσεων επηρεάζονται από τη φθορά του τρυπανιού.

Σε μια προσπάθεια εκτίμησης της ανθεκτικότητας σε απότριψη συμπαγών τούβλων, για την περίπτωση όπου αυτά χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που καταπονούνται σε τριβή (επίδραση φερτών υλών που μετακινούνται με τον άνεμο ή το νερό, δάπεδα, πεζόδρομοι κ.λ.π.), επιδιώχτηκε η προκαταρκτική ανάπτυξη μιας δοκιμής απότριψης με βάση τη συσκευή Deval. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών διερευνήθηκε αν συσχετίζονται με τους χρόνους διάτρησης των συμπαγών τούβλων, δεδομένου ότι και η δοκιμή διάτρησης ουσιαστικά εξετάζει την αντοχή σε απότριψη. Βρέθηκε ότι γενικά υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μετρήσεων, η οποία όμως δεν είναι ικανοποιητική στατιστικά και υπάρχει σαφής ένδειξη, ότι για κάθε τύπο τούβλου ακολουθείται διαφορετική συσχέτιση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Λεγάκης Α., “Δομικά υλικά” Τόμος 1^{ος}, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1992.
- [2] Doran D., “Construction materials reference book”, Butterworth - Heinemann, London 1991.
- [3] Πρασιανάκης Ι. - Κωνσταντέλλος Β. - Μηλιός Ι., “Πειραματική αντοχή υλικών”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 1988.
- [4] Πρασιανάκης Ι. - Κωνσταντέλλος Β., “Εργαστήρια πειραματικής αντοχής υλικών”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1993.
- [5] Karlheinz Wesche, “Baustoffe fuer tragende Bauteile”, Band 2: Beton, Bauverlag GMBH, Wiesbaden und Berlin, 1981.
- [6] Τάσιος Θ.Π., “Η μηχανική της τοιχοποιίας”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1996.
- [7] 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.
- [8] Στούκα Ο., “Η επιρροή του είδους της άμμου στην εκτίμηση της αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων με τη μέθοδο της διάτρησης”, Αθήνα Μάρτιος 1998.
- [9] Binda L., “Masonry material and structures”, Technical sesion TC127-MS, Trento Haly September 1994.
- [10] Reinhard Wendehorst, “Δομικά υλικά”, Εκδόσεις Γκιούρδα, 1981.
- [11] Παπαϊωάννου Κυρ., “Η τεχνολογία της τοιχοποιίας”, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1998.
- [12] BS 3921 : 1985, “British Standard Specification for clay bricks”, British Standards Institution.
- [13] BS 6073 : Part 1 : 1981, “Specification for precast concrete masonry units”, Part 1, British Standards Institution.

- [14] Fogiel M., "Handbook of concrete technology and masonry construction", Staff of Research and Education Association, USA 1981.
- [15] BS 6073 : Part 1 : 1981, "Specification for precast concrete masonry units", Part 1, British Standards Institution.
- [16] "Πρότυπη τεχνική προδιαγραφή τούβλων τοιχοποιίας Δ-100", ΥΠΕΧΩΔΕ 1990.
- [17] Καλογεράς Ν.- Κιρπότην Χ.- Μακρής Γ.- Παπαϊωάννου Ι.- Ραυτόπουλος Σ.- Τζιτζίας Μ.- Τουλιάτος Π., "Θέματα οικοδομικής", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1993.
- [18] Παπαδημητρίου Κ., "Τεχνολογία δομικών υλικών", Τόμος Α', Θεσσαλονίκη 1962.
- [19] Σταθάκης Ελευθ.- Λαγγιώτης Χριστ., "Τα δομικά υλικά και οι εφαρμογές τους", Τόμος Ι, Αθήνα 1967.
- [20] Koukis G.- Sabatakakis N.- Tsiambaos G., "Geotechnical properties of Greek limestones".
- [21] Κούκης Γεώργ.- Χριστοδουλοπούλου Τ.Α., "Εδαφικοί και βραχώδεις σχηματισμοί", Πάτρα 1997.
- [22] Gucci N.- Barsotti R., "A non-destructive technique for determination of mortar load capacity in situ", Materials and Structures vol. 28, 1995.
- [23] Koliass S.- Douma C.- Papadopoulos K., "Estimation of the in situ strength of mortars".
- [24] Μακροστέργιος Α., "Δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων και δυναμικών παραμέτρων βραχωδών δοκιμίων", Αθήνα 1997.
- [25] Neville A. M., "Properties of Concrete", Pitman Plc. 2nd edition.
- [26] Κόλιας Σ.- Κακούρης Κ.- Σαρρής Ι., "Επίδραση του μεγέθους των δοκιμίων στην αντοχή σε θλίψη κατεργασμένων με τσιμέντο υλικών", Ανάπτυξη από το Δελτίον Κέντρου Ερευνών Δημοσίων Έργων, Τεύχος 1-2/1987, Αθήνα 1987.

[27] “Προδιαγραφές επι τόπου δοκιμών βραχομηχανικής (E 102-84) και εργαστηριακών δοκιμών βραχομηχανικής (E 103-84)”, Φ.Ε.Κ. υπ’ αρ. 70/8-2-1985 Τεύχος δεύτερο, Αθήνα 1985.