



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**“Διατμητική αντοχή ασυνεχειών βράχου ενεμένων με μίγματα
εποξειδικής ρητίνης”**

Ντένις Τσάμπια

Πτυχιούχος Πολιτικός Μηχανικός Τ.Ε

Σίνδος

Μάρτιος 2023



“ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΒΡΑΧΟΥ ΕΝΕΜΕΝΩΝ ΜΕ ΜΙΓΜΑΤΑ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ”

Ντένις Τσάμπια

Πτυχιούχος Πολιτικός Μηχανικός Τ.Ε

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος της Σχολής Μηχανικών του ΔΙΠΑΕ στο πλαίσιο του Προγράμματος “Μεταπτυχιακών Σπουδών Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνικών Έργων”

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης 7/3/2023

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Διδάκτωρ Τσικρίκης Α., Επιβλέπων

Καθηγητής Αναγνωστόπουλος Κ., μέλος τριμελής

Καθηγητής Κωνσταντινίδης Δ., μέλος τριμελής

Copyright © Ντένις Τσάμπια, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΒΡΑΧΟΥ ΕΝΕΜΕΝΩΝ ΜΕ ΜΙΓΜΑΤΑ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος.....	10
Περίληψη.....	11
Abstract.....	12
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	13
Κεφάλαιο 2:Τεχνολογία Ενεμάτων	14
2.1) Γενικές Πληροφορίες Ενεμάτων	14
2.2) Μέθοδοι και σειρά εργασιών	15
2.3) Εξοπλισμός εκτέλεσης ενέσεων.....	25
Κεφάλαιο 3 : Βραχώδης μάζες και ασυνέχειες.....	27
3.1) Γενικές πληροφορίες βραχωδών υλικών και μαζών.	27
3.2)Γενικές πληροφορίες ασυνεχειών	27
3.3)Παράμετροι περιγραφής ασυνεχειών	28
3.3.1)Προσανατολισμός.....	28
3.3.2)Απόσταση.....	29
3.3.3) Εμμονή	29
3.3.4) Αριθμός συστημάτων.....	30
3.3.5)Μέγεθος τεμάχους.....	30
3.3.6)Τραχύτητα	31
3.3.7)Αντοχή τοιχώματος	32
3.3.8)Άνοιγμα	32
3.3.9) Υλικό πλήρωσης ασυνεχειών	32
3.3.10) Ροή νερού.....	33
3.4)Παράμετροι περιγραφής βραχωδών υλικών και μαζών	33
Κεφάλαιο 4 : Πειραματική Διαδικασία.....	37
4.1) Υλικά πειράματος.....	37
4.1.1) Μαρμάρου Τρανόβαλτου Κοζάνης	37
4.1.2) Εποξειδική ρητίνη - EPOXYPRIMER 500	38
4.1.3) Νερό.....	39
4.2) Προετοιμασία πειράματος.....	39
4.2.1) Διαμόρφωση δοκιμίων Μαρμάρου	39
4.2.2)Διαδικασία ανάμειξης εποξειδικής ρητίνης με νερό.....	41
4.3)Εκτέλεση δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών	42

4.3.1 Διάταξη συσκευής άμεσης διάτμησης	42
4.3.2) Διεξαγωγή δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών	43
4.3.3) Λογισμικό πρόγραμμα WINHOST V 4.34	44
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα δοκιμών Άμεσης Διάτμησης Ασυνεχειών	46
5.1) Αποτελέσματα δοκιμίου Α'1	46
5.2) Αποτελέσματα δοκιμίου Α'2	47
5.3) Αποτελέσματα δοκιμίου Α'3	48
5.4) Αποτελέσματα δοκιμίου Α'4	49
5.5) Αποτελέσματα δοκιμίου Β'1	50
5.6) Αποτελέσματα δοκιμίου Β'2	51
5.7) Αποτελέσματα δοκιμίου Β'3	52
5.8) Αποτελέσματα δοκιμίου Β'4	53
5.9) Αποτελέσματα δοκιμίου C'1	54
5.10) Αποτελέσματα δοκιμίου C'2	55
5.11) Αποτελέσματα δοκιμίου C'3	56
5.12) Αποτελέσματα δοκιμίου C'4	57
5.13) Αποτελέσματα δοκιμίου D'1	58
5.14) Αποτελέσματα δοκιμίου D'2	59
5.15) Αποτελέσματα δοκιμίου D'3	60
5.16) Αποτελέσματα δοκιμίου D'4	61
4.17) Αποτελέσματα δοκιμίου Ε'1	62
5.18) Αποτελέσματα δοκιμίου Ε'2	63
5.19) Αποτελέσματα δοκιμίου Ε'3	64
5.20) Αποτελέσματα δοκιμίου Ε'4	65
4.21) Αποτελέσματα δοκιμίου F'1	66
5.22) Αποτελέσματα δοκιμίου F'2	67
5.23) Αποτελέσματα δοκιμίου F'3	68
5.24) Αποτελέσματα δοκιμίου F'4	69
5.25.) Συγκεντρωτικά αποτελέσματα	70
Συμπεράσματα	72
Βιβλιογραφία	73
Παράρτημα	75

Ευρετήριο Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 4.1: ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΣΤΟΝ ΤΡΑΝΟΒΑΛΤΟ ΚΟΖΑΝΗΣ.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: ΕΡΟΧΥPRIMER 500 , ISOMAT	39
ΕΙΚΟΝΑ 4.3:ΑΔΑΜΑΝΤΙΝΟΣ ΤΡΟΧΟΣ ΚΟΠΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ.....	40
ΕΙΚΟΝΑ 4.4:ΕΙΔΙΚΕΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΕΣ ΜΗΤΡΕΣ	40
ΕΙΚΟΝΑ 4.5: ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	43
ΕΙΚΟΝΑ 4.6: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ WINHOST ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 4.7 : ΠΑΡΑΘΥΡΟ CONTROLLER CONFIGURATION.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 4.8: ΠΑΡΑΘΥΡΟ DST.....	45

Ευρετήριο Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΓΧΕΟΜΕΝΟΥ ΕΝΕΜΑΤΟΣ (DEERE,1976).....	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ.....	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3: ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΜΟΝΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ (ISRM,1981)	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4: : ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ (ISRM,1981)	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ(ΤΣΙΚΡΙΚΙΣ 2021)	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΑΡΜΑΡΟΥ ΤΡΑΝΟΒΑΛΤΟΥ ΚΟΖΑΝΗΣ(ΤΣΙΚΡΙΚΙΣ 2021)	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3:ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΟΧΥΡΙΜΕΡ 500, ISOMAT.	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4 :ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ ΡΗΤΙΝΗ ΠΡΟΣ ΝΕΡΟ.....	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Α'1	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Α'2.....	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Α'3.....	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4 : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Α'4.....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Β'1	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Β'2	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Β'3	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Β'4	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ C'1	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.10: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ C'2	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.11: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ C'3	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.12: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ C'4	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.13: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ D'1.....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.14: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ D'2.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.15: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ D'3.....	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.16: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ D'4.....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.17: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Ε'1	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.18: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Ε'2	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.19: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Ε'3	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.20: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Ε'4	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.21: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ F'1	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.22: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ F'2	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.23: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ F'3	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.24: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ F'4	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.25: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	70

Ευρετήριο Σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 2.1: ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΜΕ (Α) ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟ ΚΑΙ (Β) ΚΡΟΥΣΤΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ: 1. ΑΡΓΙΛΟΣ ΜΕ ΘΡΑΥΣΤΟ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟ, 2. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΜΑΡΓΑΣ, 3. ΜΑΛΑΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΜΑΡΓΑΣ, 4. ΜΕΣΑΙΑΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ, 5. ΣΚΛΗΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΜΑΡΓΑΣ, 6. ΣΚΛΗΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ, 7. ΜΑΛΑΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ, (ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ,1996). ...16	
ΣΧΗΜΑ 2.2: ΟΠΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΣΩΛΗΝΑ ΚΑΙ ΠΑΡΕΜΒΥΣΜΑ ΓΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΝΕΣΗΣ, 1. ΣΩΛΗΝΑΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΕΝΕΜΑΤΟΣ, 2. ΜΑΝΟΜΕΤΡΟ, 3. ΒΑΛΒΙΔΕΣ, 4. ΜΗΧΑΝΗ ΣΥΣΤΡΕΨΗΣ, 5. ΠΑΡΕΜΒΥΣΜΑ, 6. ΤΜΗΜΑ ΕΓΧΥΣΗΣ, 7. ΣΩΛΗΝΑΣ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ (ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ,1996). 17	
ΣΧΗΜΑ 2.3: ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΝΕΣΕΩΝ ΣΕ ΤΟΜΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ (ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, 1996). 18	
ΣΧΗΜΑ 2.4: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΝΕΣΕΩΝ ΣΕ ΤΟΜΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΑΝΩ(ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, 1996)..... 19	
ΣΧΗΜΑ 2.5 : ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΝΕΣΕΩΝ ΣΕ ΖΩΝΕΣ ΑΠΟ ΠΑΝΩ ΠΡΟΣ ΤΑ ΚΑΤΩ, ΖΩΝΕΣ I-III(ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ,1996) 20	
ΣΧΗΜΑ 2.6 : ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΝΕΣΕΩΝ Α) ΣΕ ΜΙΑ ΑΠΛΗ ΚΑΙ ΣΕ ΜΙΑ ΔΙΠΛΗ ΣΕΙΡΑ ΚΟΥΡΤΙΝΑΣ, Β) ΣΕ ΜΙΑ ΤΡΙΠΛΗ ΣΕΙΡΑ ΚΟΥΡΤΙΝΑΣ (ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ,1996). 21	
ΣΧΗΜΑ 2.7: ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΟΠΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΑΞΟΝΑ , ΣΧΕΔΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΙΦΕΔΟΥΝ, 1. ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ, 2. ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ(ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, 1996) 24	
ΣΧΗΜΑ 3.1: ΚΥΡΙΑ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ (HUDSON, 1989). 28	
ΣΧΗΜΑ 3.2: ΠΑΡΑΤΑΞΗ, ΚΛΙΣΗ ΚΑΙ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ(ISRM,1981) 29	
ΣΧΗΜΑ 3.3: ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ (S) ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΣΕ ΤΟΜΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ(ISRM, 1981) 29	
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 29	
ΣΧΗΜΑ 3.4: ΣΚΑΡΙΦΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΓΚΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΜΦΑΙΝΟΝΤΑΙ Η ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΜΜΟΝΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ. (ISRM, 1981)..... 30	
ΣΧΗΜΑ 3.5: ΟΓΚΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝΟΛΩΝ (ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΩΝ) ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ, ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ(ISRM,1981). 30	
ΣΧΗΜΑ 3.6: ΣΚΑΡΙΦΗΜΑΤΑ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ. Α. ΟΓΚΟΤΕΜΑΧΙΣΜΕΝΗ, Β. ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΗ, Γ. ΠΛΑΚΟΕΙΔΗΣ, Δ. ΣΤΗΛΟΕΙΔΗΣ(ISRM,1981) 31	
ΣΧΗΜΑ 3.7: ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ. ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΘΕ ΤΟΜΗΣ ΕΙΝΑΙ ΑΠΟ 1.0Μ ΕΩΣ10.0Μ. Η ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΚΑΙ Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΙΝΑΙ ΙΔΙΑ(ISRM,1981) 31	
ΣΧΗΜΑ 3.8: ΣΚΑΡΙΦΗΜΑΤΑ ΟΡΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ(ISRM,1981..... 32	

ΣΧΗΜΑ 5.1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Α'1	46
ΣΧΗΜΑ 5.2: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Α'2	47
ΣΧΗΜΑ 5.3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Α'3	48
ΣΧΗΜΑ 5.4: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Α'4	49
ΣΧΗΜΑ 5.5: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Β'1	50
ΣΧΗΜΑ 5.6: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Β'2	51
ΣΧΗΜΑ 5.7: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Β'3	52
ΣΧΗΜΑ 5.8: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Β'4	53
ΣΧΗΜΑ 5.9: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ C'1.....	54
ΣΧΗΜΑ 5.10: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ C'2	55
ΣΧΗΜΑ 5.11: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ C'3.....	56
ΣΧΗΜΑ 5.13: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ D'1	58
ΣΧΗΜΑ 5.14: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ D'2	59
ΣΧΗΜΑ 5.15: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ D'3	60
ΣΧΗΜΑ 5.16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ D'4	61
ΣΧΗΜΑ 5.17: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Ε'1.....	62
ΣΧΗΜΑ 5.19: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Ε'3.....	64
ΣΧΗΜΑ 5.20: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ Ε'4.....	65
ΣΧΗΜΑ 5.21 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ F'1	66
ΣΧΗΜΑ 5.22: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ F'2	67
ΣΧΗΜΑ 5.23: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ F'3	68
ΣΧΗΜΑ 5.24: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ F'4	69
ΣΧΗΜΑ 5.25: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΟΡΘΗ ΤΑΣΗΣ – ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗ.....	71

Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Σχεδιασμός και Κατασκευή Τεχνικών Έργων», του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος. Αποτελεί μια ελάχιστη συμβολή στην γενικότερη προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας για την ενίσχυση των ασυνεχειών βραχωδών υλικών με την χρήση χημικών ενεμάτων.

Η δομή των βραχωδών υλικών διαφέρει σημαντικά σε σχέση με την δομή των κοινών τεχνητών δομικών υλικών. Τα βραχώδη υλικά έχουν πόρους, ρωγμές και ασυνέχειες, σε αντίθεση με τα τεχνητά υλικά που η δομή τους είναι ομοιογενείς και η μηχανική τους συμπεριφορά είναι γνωστή. Η εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφορά των βραχωδών υλικών αποτελεί δύσκολο εγχείρημα. Σημαντικό ρόλο στην εν γένει μηχανική συμπεριφορά της βραχώδους, έχουν οι ασυνέχειες. Σε πολλές περιπτώσεις λόγω αστοχίας της ασυνέχειας του βράχου, έχουν παρατηρηθεί μεγάλες αποτυχίες σε έργα με καταστροφικές συνέπειες. Συνεπώς είναι αναγκαίο και απαραίτητο να γίνεται ενδελεχής μελέτη της περιοχής του έργου, και σε περιπτώσεις όταν απαιτείται να γίνεται ενίσχυση της ασυνέχειας της βραχώδους προκυμμένου να βελτιωθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που με βοήθησαν για την εκπόνηση της. Αρχικά ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα της εργασίας μου, Δρ. Αναστάσιο Τσικρίκη, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου με την ανάθεση του παρόν θέματος, την καθοδήγηση και υποστήριξη του καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Κωνσταντίνο Αναγνωστόπουλο για τις επισημάνσεις και υποδείξεις του πάνω στην διπλωματική εργασία καθώς για τις πολύτιμες συμβουλές του και γνώσεις που μου μετέδωσε. Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή Δημήτριο Κωνσταντινίδη για τις συμβουλές και υποδείξεις του και για την συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή. Τέλος, ευχαριστώ από τα βάθη της ψυχής μου τους γονείς μου για την αμέριστη στήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Ντένις Τσάμπια,

Σίνδος 2023.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε πειραματικά η ενίσχυση της διατμητικής αντοχής βραχώδους ασυνέχειας με τη χρήση υδατοδιαλυτής εποξειδικής ρητίνης. Το πέτρωμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι το μάρμαρο από την περιοχή του Τρανόβαλου Κοζάνης. Η κοπή του πετρώματος έγινε στο εργαστήριο βραχομηχανικής με την χρήση αδαμαντοτροχού. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας κοπής, προέκυψαν συνολικά 24 δοκίμια. Η ασυνέχεια του κάθε δοκιμίου δημιουργήθηκε τεχνητά με την χρήση τροχού με αποτέλεσμα η επιφάνεια του δοκιμίου να είναι λεία. Η ρητίνη διαλύθηκε στο νερό σε συγκεκριμένες αναλογίες, οι οποίες ήταν συνολικά έξι. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη αναλογία περιείχε μόνο ρητίνη, η δεύτερη 3 ρητίνη και 1 νερό, η τρίτη 2 ρητίνη και 1 νερό, η τέταρτη 1 ρητίνη και 1 νερό, η πέμπτη 1 ρητίνη και 1,5 νερό και τέλος η έκτη 1 ρητίνη και 2 νερό. Το κάθε μείγμα με την ίδια αναλογία εποξειδικής ρητίνης προς νερό ενεμάτωσε τέσσερα δοκίμια. Μετά το πέρας επτά ημερών από την έγχυση, η κάθε τετράδα δοκιμίων με την ίδια αναλογία ρητίνης προς νερό υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Κατά την δοκιμή της άμεσης διάτμησης εφαρμόστηκαν τέσσερις ορθές τάσεις, και συγκεκριμένα 200 kPa, 400 kPa, 600 kPa και 800 kPa αντίστοιχα. Μετά την ολοκλήρωση όλων των δοκιμών τα αποτελέσματα που προέκυψαν, δηλαδή η διατμητική αντοχή, η γωνία τριβής καθώς και η συνοχή, από την χάραξη της περιβάλλουσας Coulomb, συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα της άμεσης διάτμησης του μη ενεματωμένου βράχου. Σημαντικά συμπεράσματα εξήχθησαν όσον αφορά την δυνατότητα χρήσης αυτού του υλικού για την βελτίωση της διατμητικής αντοχής βραχώδους.

Abstract

“Shear Strength of Rock Discontinuities Grouted with Epoxy Resin Mixtures”

The present diploma thesis experimentally investigated the enhancement of the shear strength of rock discontinuity using water-soluble epoxy resin. The rock used is the Tranovaltou Kozani marble. The rock was cut in the rock mechanics laboratory using a diamond wheel. After the cutting process was completed, 24 samples were obtained. The discontinuity of each sample was created artificially by using a wheel so that the surface of the sample is smooth. The resin was dissolved in water of six specific ratios in total. More specifically, the first ratio contained only resin, the second 3 resin and 1 water, the third 2 resin and 1 water, the fourth 1 resin and 1 water, the fifth 1 resin and 1.5 water and finally the sixth 1 resin and 2 water. Each mixture with the same ratio of epoxy resin to water embedded four specimens. After seven days of injection, each quartet of specimens with the same ratio of resin to water was subjected to a direct shear test. During the direct shear test, four normal stresses were applied, namely 200 kPa, 400 kPa, 600 kPa and 800 kPa respectively. After completing all the tests, the results obtained, i.e. the shear strength, the friction angle, and the cohesion, from the etching of the surrounding Coulomb, were compared with the results of the direct shearing of the ungrouted rock. Important conclusions were drawn regarding the possibility of using this material to improve the shear strength of rock mass.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να διερευνήσει πειραματικά την επίδραση των μειγμάτων εποξειδική ρητίνης , στην διατμητική αντοχή ασυνεχειών του Μαρμάρου από την περιοχή του Τρανόβαλτου Κοζάνης. Το περιεχόμενο της Διπλωματικής Εργασία αναλύεται ανά κεφάλαιο ως ακολούθως:

Στο κεφάλαιο 2 και 3 πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση έτσι ώστε να αναλυθεί το θεωρικό υπόβαθρο που σχετίζεται με την τεχνολογία των ενεμάτων καθώς και με τις ασυνέχειες Βραχώμαζας. Πιο συγκεκριμένα ,στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία για ενέματα καθώς και η σειρά και οι μέθοδοι εκτέλεσης των ενέσεων. Επιπλέον γίνεται αναφορά στο τεχνικό εξοπλισμό για την διενέργεια των ενέσεων. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια γενική περιγραφή των βραχωδών υλικών καθώς και των ασυνεχειών. Επιπλέον , παρουσιάζονται οι μηχανισμοί αστοχία , οι χαρακτηριστικές δομές των βραχωδών υλικών καθώς και οι μηχανισμοί αστοχία τους.

Στο κεφάλαιο 4 παρατίθεται όλη η πειραματική διαδικασία. Συγκεκριμένα , γίνεται περιγραφή όλων των υλικών, όσο αναφορά τα χαρακτηριστικά τους, που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα. Επιπλέον , περιγράφεται αναλυτικά η προετοιμασία καθώς και η εκτέλεση των πειραμάτων. Τέλος αναφέρονται τα μηχανήματα και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για να πραγματοποιηθούν τα πειράματα.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα από τα 24 πειράματα της Άμεσης Διάτμησης Ασυνεχειών. Συγκεκριμένα , παραπείθονται τα διάγραμμα Διατμητικής τάσης – Σχετικής Μετατόπισης όλων των δοκιμίου. Επίσης παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων μαζί με το διάγραμμα Ορθής τάσης – Διατμητικής δύναμης.

Στα συμπεράσματα γίνεται ένας σχολιασμός των αποτελεσμάτων , αναφέρονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τα πειράματα και παρουσιάζεται η πρόταση σχετικά με τις συμφέρουσες αναλογίες Ρητίνης προς νερό.

Τέλος, παρατίθενται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκες στην Μεταπτυχιακή διατριβή και σε παράρτημα , φωτογραφίες όλων των δοκιμίων πριν και μετά την δοκιμή.

Κεφάλαιο 2: Τεχνολογία Ενεμάτων

2.1) Γενικές Πληροφορίες Ενεμάτων

Τα ενέματα αποτελούν μια από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους ενίσχυσης των εδαφικών ή των βραχωδών υλικών. Η χρήση τους αποσκοπεί στην βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών αυτών καθώς και στην αύξηση της αντοχής τους. Αυτό γίνεται εφικτό καθώς μέσω της έγχυσης υπό πίεση του ενέματος σε διατρήματα επιλεγμένων περιοχών, γίνεται η πλήρωση των ρωγμών, των πόρων καθώς οποιοδήποτε άλλων τυχόν ατελειών των εδαφικών ή των βραχωδών υλικών. Έτσι πετυχαίνεται στεγανότητα στην περιοχή ενδιαφέροντος με παράλληλη μείωση των ωθήσεων άνωσης και αύξησης της σταθερότητας του εδάφους. Το γεγονός αυτό βοηθάει ώστε να γίνει δυνατή μια τυχόν κατασκευή επιφανειακής θεμελίωσης στην περιοχή ενδιαφέροντος η μείωση, όσο είναι δυνατόν, του κόστους μια βαθιάς θεμελίωσης.

Είναι γεγονός πως λόγω της διαφορετικής φύσης και της ανομοιογένειας των εδαφών, δεν μπορεί να γίνει αυστηρή τυποποίηση στην διαδικασία εκτέλεσης των ενεμάτων. Παρόλα αυτά η εκτέλεση των ενέσεων δύναται να περιλαμβάνει μια σειρά από ορισμένες κοινές εργασίες. Πιο συγκεκριμένα σε όλα τα έργα των ενέσεων γίνεται κάθε φορά διάνοιξη μιας οπής, με την απαιτούμενη διάμετρο και το ανάλογο απαιτούμενο βάθος. Επίσης γίνεται προετοιμασία του επιλεγμένου ενέματος που θα χρησιμοποιηθεί στην κάθε ένεση, δηλαδή γίνεται ανάδευση όλων των συστατικών του αιωρήματος με την σωστή αναλογία. Όταν ολοκληρωθεί η εργασία αυτή, στην συνέχεια πραγματοποιείται η ενεμάτωση του επιλεγμένου τμήματος της οπής ώστε να πληρωθούν όλες οι τυχόν ρωγμές. Τέλος στις ενέσεις εκτός από το συνηθισμένο αιώρημα τσιμέντου με νερό, είναι δυνατή η χρήση αργίλου, τσιμέντου με άργιλο, ασφάλτου, ρητινών καθώς και άλλων χημικών υλικών.

Σε όλα τα έργα πολιτικού μηχανικού, επιδιώκεται να επιτευχθεί το καλύτερο οικονομικοτεχνικό αποτέλεσμα, συμπεριλαμβανομένου και των έργων των ενέσεων. Για γίνει εφικτό στα έργα αυτά το βέλτιστο οικονομικοτεχνικό αποτέλεσμα, απαιτείται η εφαρμογή ενός συνόλου συγκεκριμένων ενεργειών. Οι απαιτούμενες αυτές ενέργειες είναι άμεσα εξαρτημένες από τις επικρατούσες συνθήκες στην περιοχή της βραχομάζας, οι οποίες λόγω της μεγάλης έκτασης της περιοχής διαφέρουν αρκετά. Για να στεφθεί λοιπόν με επιτυχία μια εργασία ενέσεων, είναι επιβεβλημένη η αξιολόγηση με προσοχή όλων των πληροφοριών που θα προκύψουν από τα εδαφοτεχνικά και τα γεωλογικά στοιχεία της

περιοχής όπου θα πραγματοποιηθούν οι ενέσεις. Οι πληροφορίες αυτές (η μικροτεκτονική δομή του βράχου, το εύρος των κατακερματισμένων ζωνών ή η τυχόν ύπαρξη κοιλοτήτων στην περιοχή ενδιαφέροντος) μαζί με την εμπειρία των μηχανικών, θα συμβάλουν ώστε να ληφθούν οι ορθές αποφάσεις σχετικά με το είδος του ενέματος που θα χρησιμοποιηθεί και το εύρος των διατηρημάτων. Επειδή οι ενέσεις αποτελούν ως έναν βαθμό τέχνη, απαιτείται στενή συνεργασία μεταξύ έμπειρων μελετητών μηχανικών και μηχανικών του πεδίου ώστε να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη εκτέλεση τους. Έτσι λοιπόν και οι δυο πλευρές θα πρέπει να έχουν εξοικείωση με τις πρακτικές και τα μέσα των ενεμάτων καθώς και να έχουν ερευνήσει εις βάθος τα χαρακτηριστικά της περιοχής ενδιαφέροντος. Καταλήγοντας έτσι με βάση και τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών, στον σχεδιασμό τον τρόπο εκτέλεσης των ενέσεων. Τέλος αν και δεν μπορεί να γίνει αυστηρή τυποποίησή στις εργασίες των ενεμάτων, παρόλα αυτά είναι δυνατό να τυποποιηθούν κάποιες φάσεις. Έτσι οι εργασίες των ενέσεων μπορούν να οδηγηθούν με σωστή σειρά στο επιθυμητό αποτέλεσμα, δηλαδή τη μείωση της διαπερατότητας, την αύξηση της αντοχή και κατόχρωνα την μείωση της παραμορφωσιμότητας της ενεμένης περιοχής.

Όπως γίνεται κατανοητό η αποτελεσματικότητα των ενέσεων φτάνει μέχρι ένα ορισμένο όριο, καθώς το εγχέομενο ένεμα δεν δύναται να εισχωρήσει στις ρωγμές πολύ μικρού μεγέθους. Σημαντικός λοιπόν παράγοντας για τη δυνατότητα πραγματοποίησης ή μη των ενέσεων σε μια περιοχή, αποτελεί η διαπερατότητα του ρηγματωμένου πετρώματος της περιοχής καθώς δείχνει κατά πόσο είναι δυνατή η διείσδυση του ενέματος στις ρωγμές. Η τεχνική των ενέσεων μπορεί να μαθευτεί άριστα μόνο μέσω της εμπειρίας, των προσεκτικών παρατηρήσεων και εκτιμήσεων της κατάστασης του πετρώματος κατά την διάρκεια έγχυσης. Για την εκτέλεση των ενέσεων εκπονείται ένα σχέδιο διατηρήσεων, όπου σε αυτό περιλαμβάνετε η μέση απόσταση, το βάθος, η κλίση των διατηρημάτων καθώς και άλλα απαραίτητα στοιχεία. Ωστόσο, το σχέδιο των διατηρήσεων δύναται να τροποποιηθεί κατά την διάρκεια των εργασιών λόγω νέων δεδομένων που μπορούν να προκύπτουν επί του πεδίου, με σκοπό την αποφυγή της σπατάλης του ενέματος ή μη αποδεκτών αποτελεσμάτων.

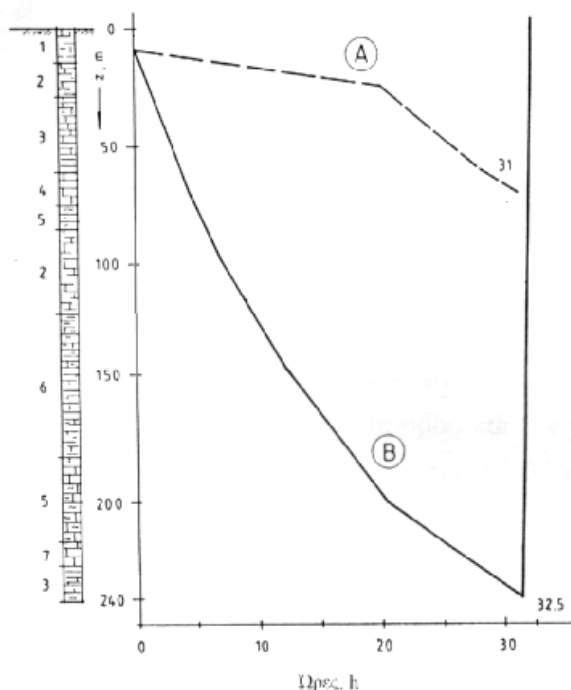
2.2) Μέθοδοι και σειρά εργασιών

Οι ενέσεις, ανεξάρτητα από το είδος του ενέματος που θα χρησιμοποιηθεί, περιλαμβάνουν μια κοινή σειρά εργασία που λαμβάνει χώρα κατά την εκτέλεση τους. Αρχικά λοιπόν, οι εργασίες των ενέσεων ξεκινούν με την διάτρηση των οπών από όπου θα γίνει η έγχυση. Οι οπές βρίσκονται σε διαστήματα τα οποία έχουν οριστεί από τη μελέτη των

διατρήσεων . Τα διαστήματα αυτά μπορούν να μεταβληθούν καθώς υπάρχει πιθανότητα να προκύψουν νέα δεδομένα κατά την διάρκεια των εργασιών.

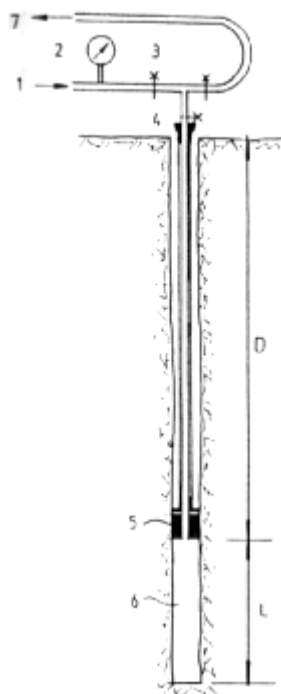
Η διάτρηση των οπών μπορεί να γίνει μέσω της χρήσης περιστροφικών ή περιστροφικών κρουστικών εξοπλισμών γεώτρησης. Η απόπλυση τους γίνεται με την χρήση νερού ή με τη χρήση αέρα (Mongilardi and Tornaghi, 1986). Τις περισσότερες φορές οι αρχικές οπές διανοίγονται με περιστροφικούς σπλισμούς, προκειμένου να γίνει η λήψη δειγμάτων από το υπέδαφος που θα δώσουν πρόσθετες πληροφορίες για τη σύνθεση και την κατάσταση του εδάφους. Ωστόσο η περιστροφική γεώτρηση έχει 2 έως 5 φορές μεγαλύτερο κόστος σε σχέση την κρουστική . Παρόλα αυτά , η περιστροφική γεώτρηση δύναται να γίνει πιο προσιτή στο κόστος με ταυτόχρονη αύξηση της ταχύτητας διάνοιξης, μέσω της μη χρήση αδαμαντοκορώνας στα τρυπάνια διάτρησης. Έτσι θα προκληθεί θραύση του υλικού και η μεταφορά του από το υπέδαφος θα γίνεται μέσω του νερού.

Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζεται ένα σχέδιο ελέγχου γεώτρησης που έχει λάβει χώρα στο Λίβανο (Fingerhut, 1971), στο οποίο γίνεται σύγκριση της ταχύτητας διάτρησης που επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης κρουστικού περιστροφικού εξοπλισμού και περιστροφικού εξοπλισμού.



Σχήμα 2.1: . Εξέλιξη της γεώτρησης με (Α) περιστροφικό και (β) κρουστικό εξοπλισμό : 1. άργιλος με θραυστό ασβεστόλιθο, 2. ασβεστόλιθος μάργας, 3. μαλακός ασβεστόλιθος μάργας, 4. μεσαίας σκληρότητας ασβεστόλιθος, 5. σκληρός ασβεστόλιθος μάργας, 6. σκληρός ασβεστόλιθος, 7. μαλακός ασβεστόλιθος, (Αναγνωστόπουλος,1996).

Τα δεδομένα που επηρεάζουν το μήκος (L) του τμήματος της οπής, είναι η διαπερατότητα του σχηματισμού καθώς η χωρητικότητα άντλησης. Στην περίπτωση που υπάρχει μικρή διαπερατότητα στον βραχώδη σχηματισμό με μεγάλη ομοιογένεια, το μήκος L δύναται να είναι μέχρι τα 10 m. Ενώ στην περίπτωση κατακερματισμένου βράχου με υψηλή διαπερατότητα, το μήκος μπορεί να είναι μέχρι 1 m. Η πιο συνηθισμένη επιλογή είναι τα 5 m. Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η έγχυση του ενέματος σε ένα τμήμα μια οπής με μήκος L , η οποία πραγματοποιείται με την βοήθεια ενός σωλήνα στο κάτω μέρος του οποίου είναι στερεωμένο ένα παρέμβυσμα.



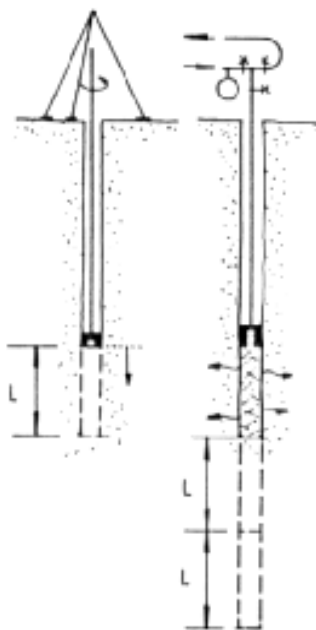
Σχήμα 2.2: Οπή γεώτρησης με κατακόρυφο σωλήνα και παρέμβυσμα για εκτέλεση ένεσης, 1. σωλήνας παροχής ενέματος, 2. μανόμετρο, 3. βαλβίδες, 4. μηχανή σύστρεψης, 5. παρέμβυσμα, 6. τμήμα έγχυσης, 7. σωλήνας επιστροφής (Αναγνωστόπουλος, 1996).

Σε αντίθεση με το μήκος, η διάμετρος των οπών απ' όπου θα πραγματοποιηθεί η έγχυση δεν έχει ουσιαστικό αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητα των ενέσεων. Συνεπώς γίνεται επιλογή της μικρότερης δυνατής με βάση φυσικά την καταλληλότητα για το μέγιστο βάθος διαμέτρου οπής. Βέβαια η επιλογή της διαμέτρου συμβαδίζει με τους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς, σύμφωνα με τους οποίους η διάμετρος των οπών βρίσκεται μεταξύ των ορίων 46-56 mm. Στην περίπτωση ύπαρξης χαλαρών εδαφών, τότε η ελάχιστη διάμετρος της οπής είναι 101 mm και 76 mm για το προβλεπόμενο τελικό βάθος της οπής.

Οι εργασίες της γεώτρησης καθώς και των ενέσεων εκτελούνται με βάση μια ή και συνδυασμό των δυο παρακάτω μεθόδων . Πιο συγκεκριμένα την:

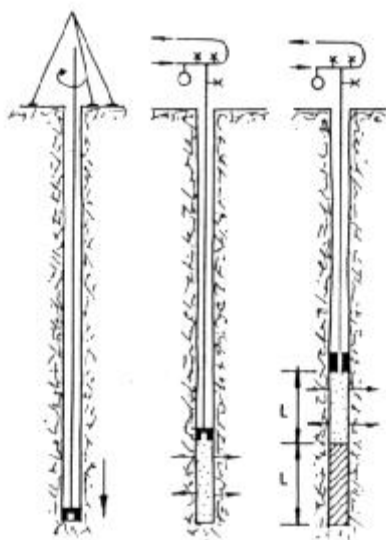
- Μέθοδο κατά κατιόντα βήματα
- Μέθοδο κατά ανιόντα βήματα

Στην Μέθοδο κατά κατιόντα βήματα γίνεται (Nonveiller, 1970) διάτρηση της οπής σε ελεγχόμενο βάθος και στην συνέχεια πραγματοποιείται δοκιμή εισπίεσης καθώς και εκτέλεση της ένεσης. Μετά το πέρας του απαραίτητου χρόνου για την πήξης του ενέματος , εκτελείται και νέα διάτρηση σε μεγαλύτερο βάθος και νέα ένεση. Η διαδικασία αυτή, δηλαδή η διαδοχική διάτρηση και ενεμάτωση της οπής , θα ολοκληρωθεί με την διάτρηση και την ενεμάτωση του τελικού βάθους της οπής. Η παραπάνω μέθοδος εκτελείται όταν υπάρχουν εδαφικές στρώσει κατακερματισμένες, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης των τοιχωμάτων της διάτρησης και μπλοκάρισμα του εξοπλισμού. Επιπλέον η συγκεκριμένη μέθοδος εκτελείται και όταν κατά την δοκιμής εισπίεσης , παρατηρηθεί διαρροή νερού στην επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 2.3: Γεώτρηση και εκτέλεση ενέσεων σε τομές από την κορυφή προς τον πυθμένα (Αναγνωστόπουλος, 1996).

Στην δεύτερη μέθοδο, δηλαδή την κατά ανιόντα βήματα, γίνεται η διάτρηση της οπής μέχρι το τελικό απαιτούμενο βάθος. Έπειτα ξεκινάει η διαδικασία της ενεμάτωση κατά ανιόντα τμήματα, δηλαδή από τον πυθμένα μέχρι την κεφαλή της οπής. Στις ενδιάμεσες θέσεις τοποθετείται στεγανωτικό παρέμβυσμα, με μεταξύ τους απόσταση 3 έως 5m. Η δοκιμή εισπίεσης πραγματοποιείται σε κάθε τμήμα της οπής είτε κατά την διάρκεια των εργασιών διάτρησης της οπής, είτε μετά την ολοκλήρωση των εργασιών διάτρησης της οπής μέχρι το τελικό απαιτούμενο βάθος. Για την πραγματοποίηση της δοκιμής χρησιμοποιούνται δυο παραμβύσματα, τα οποία τοποθετούνται στα δυο άκρα του τμήματος (Polatty, 1982). Μετά την ολοκλήρωση της ενεμάτωσης του κάθε τμήματος, το παρέμβυσμα θα παραμείνει στη θέση που βρίσκεται μέχρι να γίνει η αρχική πήξη του ενέματος που έχει διεισδύσει στις ασυνέχειες του υπεδάφους. Τέλος, η συγκεκριμένη μέθοδος εκτέλεσης των εργασιών γεώτρησης και ενεμάτωσης, επιλέγεται όταν ο εδαφικός σχηματισμός είναι συμπαγής.

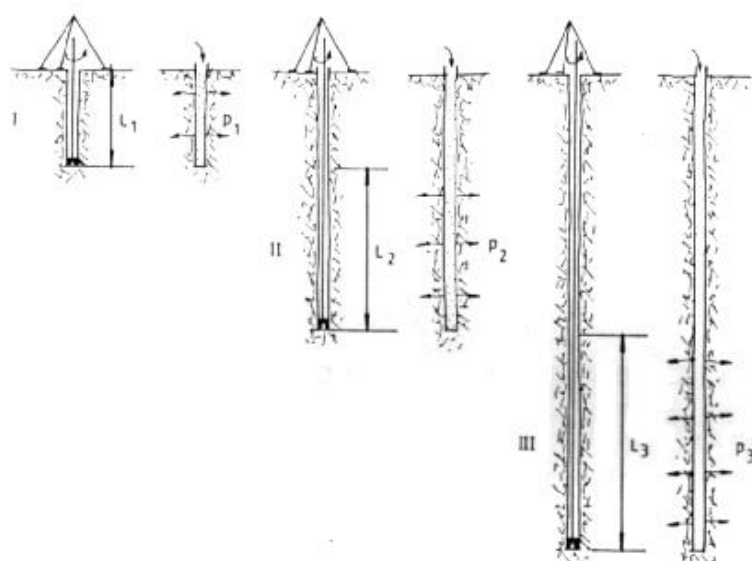


Σχήμα 2.4: Εκτέλεση ενέσεων σε τομές από τον πυθμένα προς τα πάνω(Αναγνωστόπουλος, 1996).

Συγκρίνοντας τις δυο μεθόδους, οι εργασίες που εκτελούνται με βάση τη μέθοδο κατά ανιόντα βήματα ολοκληρώνονται γρηγορότερα σε σχέση με την μέθοδο κατά κατιόντα βήματα. Ωστόσο κατά την εκτέλεση της μεθόδου κατά ανιόντα βήματα, χρειάζεται προσοχή λόγω του κινδύνου να παρακαμφθεί το παρέμβυσμα κατά την ενεμάτωση ενός τμήματος της οπή με αποτέλεσμα να ενεματωθεί και το προηγούμενο τμήμα. Για τον σκοπό αυτό γίνεται η τοποθέτηση μια μάνικας που καθαρίζει το παρέμβυσμα από το διαφυγών ένεμα.

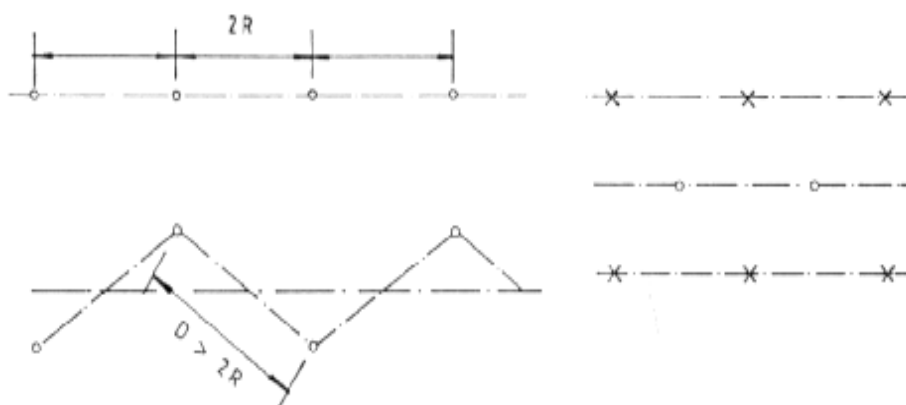
Σε πολλές περιπτώσεις η εκτέλεση των εργασιών με συνδυασμό των δυο μεθόδων κρίνεται ως η βέλτιστη λύση(Flores et al., 1985). Πιο συγκεκριμένα, οι εργασίες ξεκινούν με την διάτρηση της οπής μέχρι ένα ορισμένο βάθος , μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο κατάρρευσης των τοιχωμάτων. Έπειτα συνεχίζονται με την ενεμάτωση του τμήματος που έχει διατρηθεί, με την μέθοδο κατά ανιόντα βήματα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι την ενεματωση του τελικού βάθους της οπής. Ο τρόπος αυτός μειώνει σημαντικά την μετακίνηση του εξοπλισμού και των διατάξεων.

Μια άλλη μέθοδος, που βρίσκει συχνή εφαρμογή στις Η.Π.Α, είναι η μέθοδος πραγματοποίησης των εργασιών ενεμάτωσης σε ζώνες(Klosterman, 1982). Στην συγκεκριμένη λοιπόν μέθοδο , η οπή διανοίγεται αρχικά σε μικρό βάθος, τοποθετώντας στην συνέχεια έναν σωλήνα με κονίαμα στην κεφαλή της . Έπειτα η οπή διανοίγεται με τρυπάνι μέχρι το βάθος όπου θα πραγματοποιηθεί η πρώτη έγχυση .Η ενεμάτωση της πρώτης ζώνης πραγματοποιείται με την σύνδεση του σωλήνα παροχής του ενέματος με τον σωλήνα που βρίσκεται στην κεφαλή της οπής , με επιβολή μέτριας πίεσης για αποφυγή διαρροής ενέματος στην επιφάνεια του εδάφους. Όταν ολοκληρωθεί η πήξη του ενέματος, ξανά γίνεται διάτρηση της οπής μέχρι το επόμενο απαιτούμενο βάθος. Η ζώνη που διανοίχθηκε ενεματώνεται όπως και η προηγούμενη ζώνη, δηλαδή συνδέεται ο σωλήνας παροχής του ενέματος με τον σωλήνα της κεφαλής της οπής , υπό την επιβολή υψηλής αυτή την φορά πίεσης για την ένεση εκ νέου της προηγούμενης ζώνης. Η παραπάνω διαδικασία λαμβάνει χώρα μέχρι το τελικό βάθος έγχυσης. Τέλος , κατά μέσος οι ζώνες διαίρεσης του συνολικού βάθους της ένεσης είναι τρεις.



Σχήμα 2.5 : Εκτέλεση ενέσεων σε ζώνες από πάνω προς τα κάτω, ζώνες I-III(Αναγνωστόπουλος,1996)

Η αρχική διαπερατότητα του εδαφικού σχηματισμού της περιοχής ενδιαφέροντος καθώς και το επιθυμητό πάχος της ζώνης που πρόκειται να ενεματωθεί, θα καθορίσουν τον αριθμό της σειράς των οπών που θα διατρηθούν και θα ενεματωθούν. Λόγω της διαφορετικής φύσης των εδαφών, δεν υπάρχει κάποιος γενικός κανόνας που να καθορίζει τον αριθμό αυτό. Το αποτέλεσμα που θα επιτευχθεί με την ενεμάτωση μόνο δυο σειρών οπών θα είναι ακριβώς το ίδιο με το αποτέλεσμα που προκύψει από την αύξηση του διαστήματος ανάμεσα στις οπές. Στην περίπτωση που πρέπει να γίνει ενεμάτωση τριών σειρών οπών, γίνεται αρχικά έγχυση του ενέματος στις εξωτερικές σειρές των οπών με χαμηλότερα κριτήρια κορεσμού και ύστερα ενύονται οι εσωτερικές σειρές, οι οποίες μπορούν να υποστούν ένεση σε υψηλότερη πίεση και κριτήρια κορεσμού, χωρίς υπερβολική σπατάλη ενέματος (Pavlin, 1978).



Σχήμα 2.6 : Πυκνότητα εκτέλεσης ενέσεων α) σε μια απλή και σε μια διπλή σειρά κουρτίνας, β) σε μια τριπλή σειρά κουρτίνας (Αναγνωστόπουλος,1996).

Σύμφωνα με εμπειρικά δεδομένα έχει διαπιστωθεί ότι καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος των ενέσεων, έχει η μέθοδος σειράς που χρησιμοποιείται κατά την έγχυση του ενέματος σε ένα σύνολο οπών. Στην σήμερον ημέρα η μέθοδος με την πιο ευρεία χρήση αποτελεί αυτή του «χωριζόμενου διαστήματος». Με βάση την συγκεκριμένη μέθοδο η πρώτη ομάδα οπών, δηλαδή οι ονομαζόμενες και «πρωτεύουσες» οπές, διανοίγονται και ενύονται σε απόσταση η μια από την άλλη, μεγαλύτερη από την μέση απόσταση που έχει την ικανότητα να διανύσει η ένεση. Η δεύτερη ομάδα οπών, δηλαδή οι λεγόμενες και δευτερεύουσες οπές, διανοίγονται και ενύονται σε απόσταση μεταξύ τους όσο η μίση απόσταση ανάμεσα από τις πρωτεύουσες οπές. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι η διαπερατότητα του εδάφους της περιοχής ενδιαφέροντος να είναι την επιθυμητή τιμή.

Η απόσταση μεταξύ των πρωτευόντων οπών, επιλέγεται ύστερα από αξιολόγηση των δεδομένων που υπάρχουν από την εμπειρία μηχανικών σε παρόμοιους εδαφικούς σχηματισμούς, καθώς και από τα αποτελέσματα από τα σχέδια ελέγχου των ενέσεων. Η απόσταση που θα επιλεγεί τελικώς, θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε το επιθυμητό αποτέλεσμα να γίνει εφικτό ύστερα από την ενεμάτωση και των τριτεουσών οπών, με μεταξύ τους απόσταση στα όρια του 1,5m με 3m. Βέβαια η συνολική απόσταση επηρεάζεται από μια πληθώρα παραμέτρων, όπως το είδος των ρωγμών, η αρχική διαπερατότητα του εδαφικού σχηματισμού, τα κριτήρια κορεσμού, το είδος του ενέματος καθώς και η πίεση έγχυσης.

Τεταρτεύουσες οπές θα πρέπει σποραδικά να απαιτούνται, δεδομένου ότι η απόσταση των πρωτεουσών οπών έχει σωστά επιλεγεί. Στην συγκεκριμένη διαδικασία το σύνολο των οπών υψηλότερης τάξης θα πρέπει να ενύονται, αφού πρώτα όλες οι οπές χαμηλότερης τάξης έχουν ενεθεί. Οι οπές υψηλότερης τάξης μπορούν να διατηρηθούν και να υποστούν ένεση, προτού οι οπές χαμηλότερης τάξης φθάσουν το τελικό βάθος, αλλά οι δεύτερες θα πρέπει να ενεθούν σε τουλάχιστον δύο τμήματα βαθύτερα από τις πρώτες (Houlsby, 1981).

Μετά την ολοκλήρωση της ενεμάτωσης και της τελευταίας ομάδας οπών, γίνεται εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των ενέσεων που πραγματοποιήθηκαν. Η συγκεκριμένη διαδικασία μπορεί να γίνει μέσω της μέτρησης της διαπερατότητας του εδάφους πριν και μετά την έγχυση του ενέματος ή μέσω της ποσότητας ενέματος που καταναλώθηκε. Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή στην μέτρηση της διαπερατότητας του εδάφους, απαιτούνται να γίνουν νέες οπές ελέγχου με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη μέθοδος να είναι αρκετά κοστοβόρα και χρονοβόρα. Η δεύτερη περίπτωση είναι μια πιο απλή μέθοδος καθώς στηρίζεται σε εμπειρικά δεδομένα και στην κατάταξη της κατανάλωσης του ενέματος, με βάση την πρόταση του Deere (Πίνακας 1.1, 1976). Σύμφωνα λοιπόν με αυτήν την πρόταση, η ποσότητα του ενέματος που καταναλώνεται μπορεί να είναι από πολύ υψηλή έως πολύ χαμηλή. Στην τελευταία ομάδα οπών, επιβάλλεται να κυμανθεί από χαμηλή έως πολύ χαμηλή. Η λύση αυτή πλεονεκτεί έναντι της πρώτης λύσης, καθώς δύναται να ληφθεί απόφαση για την συνέχιση ή μη των ενέσεων στο επόμενο σύνολο οπών, αφότου γίνουν γνωστά το αποτέλεσμα που είχε η έγχυση στη προηγούμενη ομάδα οπών (Houlsby, 1985).

Με βάση εμπειρικά και πρακτικά δεδομένα, οι οπές με διάμετρο 70 mm ή 46 mm και βάθος 1m, απαιτούν ποσότητα ενέματος 10kg/m και 5 kg/m αντίστοιχα για την πλήρη ενεμάτωση τους. Στην περίπτωση που η απαιτούμενη ποσότητα ενέματος είναι μικρότερη από τα παραπάνω δεδομένα, τότε είναι άσκοπο να συνεχιστεί η διαδικασία των ενέσεων.

Πίνακας 2.1: Ειδική κατανάλωση εγχεόμενου ενέματος (Deere,1976).

Χαρακτηρισμός	Κατανάλωση εγχεόμενου ενέματος (kg/m)
πολύ υψηλή	> 400
Υψηλή	200 – 400
Μέτρια υψηλή	100 – 200
Μέτρια	50 – 100
Μέτρια χαμηλή	25 – 50
Χαμηλή	12.5 – 25
Πολύ χαμηλή	< 12.5

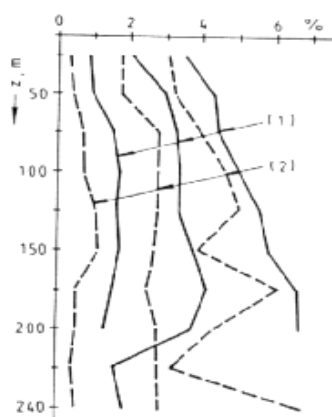
Σε περίπτωση που κατά την διάρκεια διάτρηση της οπής το τρυπάνι γεώτρησης διανοίξει μια κεκλιμένη ασυνέχεια, τότε υπάρχει ο κίνδυνος απόκλισης του άξονα της οπής από τον κάθετο άξονα με αποτέλεσμα η θέση της να μην η κατάλληλη. Μεγαλώνοντας το βάθος της οπής αυξάνεται και η απόσταση μεταξύ των οπών. Απαιτείται λοιπόν μεγάλη προσοχή, ώστε τέτοια λάθη που μπορούν υπονομεύσουν την αποτελεσματικό των ενέσεων, να μην γίνονται.

Σε πολλές χώρες δίνεται η πρόβλεψη σημασία ώστε να γίνονται οι απαραίτητη έλεγχοι ώστε να εξασφαλιστεί ότι η παρέκκλιση της οπής θα βρίσκεται στα επιτρεπτά όρια. Σε χώρες σαν τις ΗΠΑ αποφεύγονται να διανοίγονται οπές με βάθος μεγαλύτερο από τα 20m. Σε περιπτώσεις που απαιτούνται βαθύτερες οπές γίνεται διάνοιξη στοών, από τις οποίες στην συνέχεια διανοίγονται οπές μέχρι 20m. Σύμφωνα με τον Harris (1986), στην πράξη η έκταση του εγχεόμενου ενέματος αυξάνεται με το βάθος λόγω της αύξησης της εφαρμοζόμενης πίεσης, την πτώση της υδραυλικής κλίσης καθώς και την ύπαρξη περισσότερων συμπαγών σχηματισμών απ' ότι στην επιφάνεια του εδάφους. Οπότε μετά από ένα ορισμένο βάθος, η ακριβής θέση της οπής στον πυθμένα, δεν επηρεάζει τόσο πολύ το συνολικό αποτέλεσμα των ενέσεων. Σχετικές παρατηρήσεις κατά την διάρκεια τεχνικών έργων ενέσεων, επιβεβαιώνουν τα παραπάνω (Houlsby, 1988).

Οι δευτερεύουσες οπές έχουν γενικά μικρότερο βάθος από τις πρωτεύουσες οπές , όπως και οι τριτεύουσες οπές έχουν μικρότερο βάθος από τις δευτερεύουσες. Τα κύρια αίτια στα οποία οφείλονται οι μη προγραμματισμένες αποκλίσεις των οπών είναι τα εξής:

1. Ανεπαρκής στερέωση του γεωτρητικού εξοπλισμού.
2. Χρήση αρκετά εύκαμπτων ράβδων γεώτρησης.
3. Πραγματοποίηση ενέσεων ανάμεσα από διαφορετικούς εδαφικούς σχηματισμούς με πλατιές ρωγμές.
4. Μεγάλο διάκενο ανάμεσα στα τοιχώματα οπής και των ράβδων διάτρησης.

Η χρήση του κατάλληλου διατρητικού εξοπλισμού με ταυτόχρονη προσεκτική εκτέλεση της γεώτρησης , γίνει την δυνατότητα μείωσης των τυχόν αποκλίσεων οπής σε πολύ μεγάλο βαθμό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας προσεκτικής εκτέλεσης του σχεδίου ενέσεων αποτελεί εκείνη του Λιβάνου , όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.7. Στο συγκεκριμένο έργο, το βάθος των οπών ήταν 240m. Οι γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την χρήση Περιτροφικών και Κρουστικών εξοπλισμών .Κατά την διάρκεια των γεωτρήσεων έγιναν οι απαραίτητη έλεγχοι προκειμένου να αποφεύγουν τυχόν αποκλίσεις. Παρατηρώντας το σχήμα 2.7 , διαπιστώνεται ότι η απόκλιση ήταν μεγαλύτερη με κρουστική γεώτρηση παρά με Περιτροφική. Η μέγιστη απόκλιση και στις δυο μεθόδους γεώτρησης ήταν 6,5 % σε σχέση με το βάθος. Ενώ η ελάχιστη απόκλιση ήταν 2% σε σχέση με το βάθος με κρουστική γεώτρηση και 1% με Περιτροφική. Τέλος ο μέσος όρος κυμάνθηκε στο 4,1% με κρουστικό και 2,8% με Περιτροφικό.



Σχήμα 2.7: Απόκλιση των οπών από τον κατακόρυφο άξονα , σχέδιο ελέγχου Meifedoun, 1. Κρουστική γεώτρηση, 2. Περιτροφική γεώτρηση(Αναγνωστόπουλος, 1996)

2.3) Εξοπλισμός εκτέλεσης ενέσεων.

Οι εργασίες των ενέσεων πραγματοποιούνται από μια σειρά κεντρικών σταθμών που υπάρχουν στην περιοχή ενδιαφέροντος, οι οποίοι περιλαμβάνουν χώρους αποθηκεύει των υλικών του ενέματος, το συγκρότημα παραγωγής, τους αναμικτήρες και αναδευτήρες του ενέματος καθώς και τις αντλίες για την έγχυση του ενέματος. Το κάθε συγκρότημα ενέσεων περνάει από την έγκριση των μηχανικών προκειμένου να διασφαλιστεί ότι είναι κατάλληλου τύπου για την τροφοδοσία, ανάμιξη, ανάδευση και άντληση του επιλεγμένου ενέματος. Η συνήθης χωρητικότητα κάθε συγκροτήματος εκτός ορισμένων εξαιρέσεων, είναι 300 l/min, η παροχή είναι συνεχής με μέγιστη πίεση τις 12 atm.

Οι αναμικτήρες ενέματος είναι αναμικτήρες τύπου υψηλής ταχύτητας και λειτουργούν με ταχύτητα μεγαλύτερη από τριακόσιες στροφές ανά λεπτό (300 r/min). Δεν επιτρέπεται η χρήση αναμικτήρων, όπου η ανάμιξη γίνεται με εκτοξευτήρες πεπιεσμένου αέρα στη δεξαμενή ανάμιξης. Κάθε αναμικτήρας έχει δύο δεξαμενές ανάμιξης περίπου ίσης χωρητικότητας. Οι δεξαμενές είναι στραμμένες προς τα πίσω για διευκόλυνση της τροφοδοσίας του τσιμέντου. Η διάταξη των χειριστηρίων έχει οριστεί με τρόπο τέτοιο ώστε, να υπάρξει ανεξάρτητη λειτουργία των δεξαμενών ανάμιξης. Ταυτόχρονα η εγκατάσταση του συστήματος τροφοδοσίας του νερού, πρέπει να έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται συνεχής μέτρηση της παροχής του νερού σε κάθε δεξαμενή.

Η διάταξη του αναμικτήρα είναι τέτοια ώστε να γίνεται απρόσκοπτη εκκένωση του ενέματος στην κατάλληλη λεκάνη μηχανικής ανάδευσης. Η συγκεκριμένη λεκάνη είναι εφοδιασμένη με μηχανικά δονούμενο κόσκινο ώστε να γίνεται κοσκίνισμα του ενέματος κατά την εισόδου στη λεκάνη ανάδευσης από τον αναμικτήρα και από το σωλήνα επιστροφής. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε να μην εμποδιστούν και να μην φραχτούν τα ανοίγματα του κόσκινου από τα στηρίγματα του. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να υπάρχει παροχή νερού στην είσοδο του συστήματος της αντλία ενέματος, προκυμμένου να γίνεται απόπλυση όλου του μηχανισμού καθώς και των οπών που θα ενεματωθούν. Τέλος ρύθμιση της ροής του ενέματος επιτυγχάνεται μέσω των βαλβίδων τύπου «λιπαινόμενου πώματος».

Μετρητές με προφυλακτήρες τύπου διαφράγματος, εγκαθίστανται σε όλες τις θυρίδες που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της πίεσης του ενέματος στον κεντρικό αγωγό παροχής ενέματος. Αποφεύγεται η τοποθέτηση των αναδευτήρων του ενέματος σε απόσταση μεγαλύτερη των εκατό μέτρων (100 m) από την οπή στην οποία εκτελείται ένεση.

Ωστόσο σε περίπτωση που η απόσταση είναι μεγάλη με αποτέλεσμα η αναπτυσσόμενη πίεση από τον αναμικτήρα να μη είναι ικανή να μετακινήσει το μείγμα στον αναδευτήρα, τότε απαιτείται η εγκατάσταση συστήματος παροχής αέρα από τον αναμικτήρα στον αναδευτήρα.

Τα παρεμβύσματα αποτελούνται από σωλήνες πεπιεσμένου αέρα ή διαστελλόμενους δακτυλίους από ελαστικό, δέρμα ή άλλο κατάλληλο υλικό, που συνδέονται στο άκρο του σωλήνα τροφοδοσίας του ενέματος. Τα στεγανωτικά παρεμβύσματα είναι έτσι μελετημένα ώστε να μπορούν να διαστέλλονται για να σφραγίζουν τις οπές στα καθορισμένα υψόμετρα, και όταν διαστέλλονται, να είναι ικανά να αντέξουν χωρίς διαρροή, για χρονικό διάστημα δέκα λεπτών (10 min), και πίεση νερού ίση με τη μέγιστη πίεση ένεσης που θα χρησιμοποιηθεί.

Η συντήρηση του εξοπλισμού πρέπει να είναι συνεχείς, με επίβλεψη από έμπειρο Μηχανικό ώστε να υπάρχει συνεχής και αποτελεσματική λειτουργία του κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε εργασίας ενέσεων.

Ο εξοπλισμός για την διενέργεια των εργασιών ενέσεων έχει κάθε φορά διάταξη τέτοιο τρόπο, προκειμένου ώστε να παρέχει συνεχή κυκλοφορία του ενέματος σε όλο το σύστημα και να επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της πίεσης με τη λειτουργία μιας βαλβίδας στη σωλήνωση επιστροφής του ενέματος, ανεξάρτητα από το πόσο μικρή είναι η απορρόφηση ενέματος. Επίσης απαιτούνται μετρητές πίεσης και κατάλληλες βαλβίδες στην αντλία, στο σημείο ελέγχου της πίεσης και της ροής και στο κολάρο κάθε οπής, ώστε να εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος έλεγχος, η παράκαμψη της ροής και το κλείσιμο. Η ρύπανση του εξοπλισμού και των σωληνώσεων αποφεύγεται με τη συνεχή κυκλοφορία του ενέματος και με την περιοδική απόπλυση του συστήματος με νερό. Η απόπλυση γίνεται με τη βαλβίδα παροχής του ενέματος κλειστή, τη βαλβίδα παροχής του νερού ανοιχτή και τη λειτουργία της αντλίας στη μεγαλύτερη ταχύτητα (Αναγνωστόπουλος, 1996) .

Τέλος ο εργολάβος οφείλει να μεριμνήσει ώστε να γίνει πλήρης και έγκαιρη απομάκρυνση των αποβλήτων που δημιουργούνται κατά την διάρκεια των εργασιών καθώς και των νερών από την απόπλυση του εξοπλισμού των ενέσεων.

Κεφάλαιο 3 : Βραχώδης μάζες και ασυνέχειες

3.1) Γενικές πληροφορίες βραχωδών υλικών και μαζών.

Το γεωλογικό περιβάλλον της Γης συνεχώς μεταβάλλεται με το πέρασμα των ετών. Η μεταβολή γίνεται με αργό ρυθμό και ωφελείται τις περισσότερες φορές στην συνδυαστική δράση διάφορων φυσικών παραγόντων, όπως τα φυσικά φαινόμενα (πλημμύρες, σεισμοί, κατολισθήσεις, εκρήξεις ηφαιστείων, κλπ.), η διάβρωση και η αποσάθρωση. Λόγω λοιπόν αυτής της μεταβολής, προέκυψαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί. Πιο συγκεκριμένα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί αποτελούνται από εδαφικά υλικά, βραχώδη υλικά και μια τρίτη κατηγορία υλικού ανάμεσα από τις δυο προηγούμενες, τους λεγόμενους μαλακούς βράχους ή σκληρά εδάφη (ISRM, 1981).

Τα βραχώδη υλικά ή πετρώματα, αποτελούνται από κόκκους ή και κρυστάλλους, όπου η σύνδεση μεταξύ τους επιτυγχάνεται από την παρουσία μόνιμων και ισχυρών δυνάμεων ή και συγκολλητικής ύλης. Η δομή τους είναι ακέραια, σε επίπεδο τμήματος του βραχώδους υλικού, χωρίς να εμφανίζουν ατέλειες και μικρορωγμές με αποτέλεσμα να έχουν πολύ υψηλή αντοχή σε μοναξονική θλίψη.

Ένας βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός αποτελείται στην πλειονότητα του από ένα σύνολο άρρηκτων βραχωδών υλικών, τις λεγόμενες βραχώδης μάζες. Οι βραχώδεις μάζες είναι ένα ασυνεχές σύνολο στερεών βραχωδών υλικών που διατέμνονται από δομικές ασυνέχειες και αποτελούν στην πλειονότητα των τεχνικών έργων την κύριο κλίμακα ενδιαφέροντος όσο αναφορά την μελέτη αυτών των έργων.

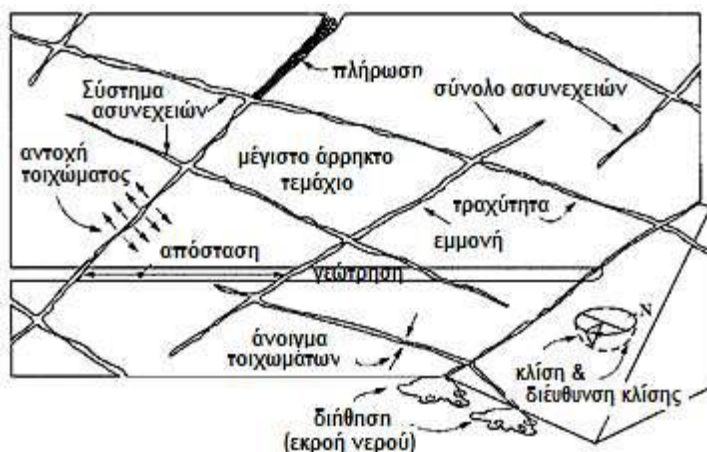
3.2) Γενικές πληροφορίες ασυνεχειών

Ως όρος ασυνέχεια, ορίζεται κάθε επιφάνεια που διαχωρίζει το πέτρωμα με ουσιαστικά καθόλου εφελκυστική αντοχή. Οι ασυνέχειες χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τις εσωτερικές ασυνέχειες και τις μηχανικές ασυνέχειες. Οι εσωτερικές ασυνέχειες, είναι μέρος της δομής του βραχώδους υλικού και δεν επηρεάζονται από τους διαβρωτικούς ή αποσθρωτικούς παράγοντες, εμφανίζοντας συνοχή. Οι μηχανικές ασυνέχειες, οι οποίες συνήθως είναι ανοικτές μπορεί να διακριθούν αδρά σε :

- 1) Διαρρήξεις- διακλάσεις ,δηλαδή θραύσεις του πετρώματος κατά μήκος του οποίου εμφανίζονται εμφανείς μετακινήσεις. Είναι αποτέλεσμα ισχυρών σεισμών ή σε παραμορφώσεις λόγω δομικών παραγόντων.
- 2) Ρωγματώσεις , δηλαδή θραύσεις κατά μήκος των οποίων δεν υπάρχουν εμφανής μετακινήσεις, Προκαλούνται από παραμορφώσεις λόγω ανθρώπινη παρέμβαση, όπως εκρήξεις, ή λόγω γεωμορφολογικών διεργασιών ,δηλαδή εκρήξεις.
- 3) Ρήγματα, οφείλονται σε ισχυρές τεκτονικές κινήσεις .
- 4) Επίπεδα διάτμησης . προκαλούνται και αυτά από ισχυρές τεκτονικές κινήσεις.

3.3)Παράμετροι περιγραφής ασυνεχειών

Η περιγραφή και η αξιολόγηση των φυσικών χαρακτηριστικών των ασυνεχειών, παρέχουν ουσιώδη στοιχεία για το χαρακτηρισμό της γεωτεχνικής ποιότητας της βραχώμαζας. Η παρατήρηση – καταγραφή των χαρακτηριστικών αυτών γίνεται σε δείγματα δειγματοληπτικών γεωτρήσεων ή και σε φυσικές εμφανίσεις.

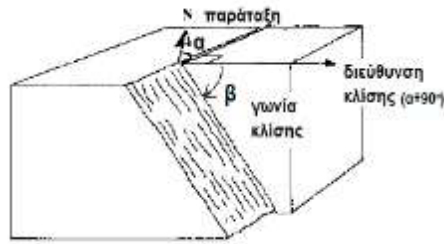


Σχήμα 3.1: Κύρια φυσικά χαρακτηριστικά ασυνεχειών βραχώμαζας (Hudson, 1989).

Σύμφωνα με την Διεθνής Εταιρεία Βραχομηχανικής (Brown, 1981), ο χαρακτηρισμός των ασυνεχειών και η δομής της βραχώμαζας γίνεται με βάση 10 παραμέτρους :

3.3.1)Προσανατολισμός

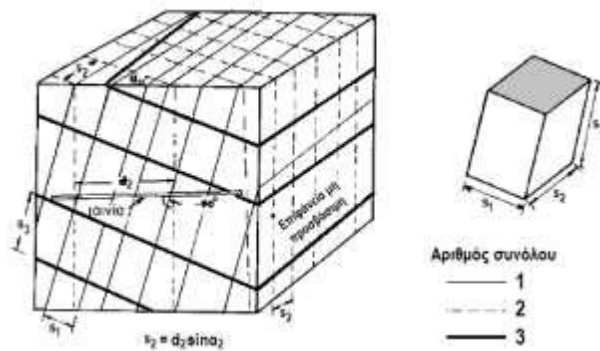
Οι ασυνέχειες αποτελούν επίπεδα στο χώρο. Ο προσανατολισμός τους περιγράφεται από την κλίση των επιπέδων και τη διεύθυνση κλίσης ή αζιμούθιο (Σοφιανός, Α, Νομικός, Π. 2008).



Σχήμα 3.2: Παράταξη, κλίση και διεύθυνση κλίσης προσανατολισμένου επιπέδου (ISRM,1981)

3.3.2) Απόσταση

Είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ διαδοχικών ασυνεχειών. Συνήθως, αναφέρεται στη μέση ή στη συνηθέστερη ορθή απόσταση ενός συνόλου ασυνεχειών.



Σχήμα 3.3: Μέτρηση της απόστασης επανάληψης (s) ασυνεχειών σε τομή βραχόμαζας (ISRM, 1981)

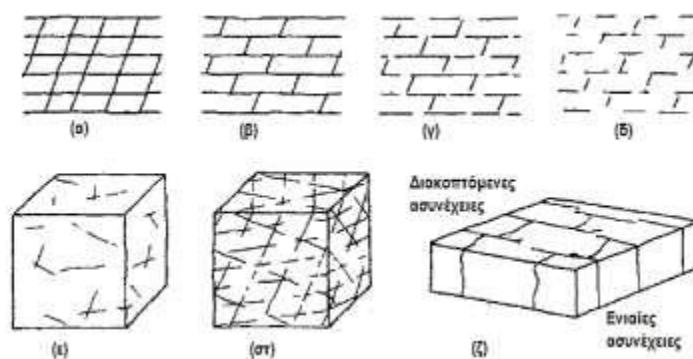
Σύμφωνα με την I.S.R.M (1981) η κατάταξη της απόστασης μιας ασυνέχειας διακρίνεται σε

Πίνακας 3.1: Κατάταξη ασυνεχειών με βάση την απόσταση

Περιγραφή	Απόσταση
Πάρα πολύ μικρή	2 cm
Πολύ μικρή	2-6 cm
Μικρή	6-20 cm
Μέση	20-60 cm
Μεγάλη	60-200 cm
Πολύ μεγάλη	200-600 cm
Πάρα πολύ μεγάλη	>600 cm

3.3.3) Εμμογή

Είναι το μήκος του ίχνους μιας ασυνέχειας που παρατηρείται σε μια αποκάλυψη του πετρώματος. Δίνει ένα μέτρο της χωρικής έκτασης ή του μήκους διεύθυνσης μιας ασυνέχειας. Το σταμάτημά της σε συμπαγές πέτρωμα ή σε άλλες ασυνέχειες μειώνει την εμμογή της. Ανάλογα με το συνηθέστερο μήκος του μετρημένου ίχνους χαρακτηρίζονται από πολύ μικρής έως πολύ μεγάλης εμμογής. Τυπικές διαγραμματικές απεικονίσεις φαίνονται στο σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4: Σκαριφήματα και ογκοδιαγράμματα στα οποία εμφανίζονται η σχετική εμμονή διαφόρων συνόλων ασυνεχειών. (ISRM, 1981)

3.3.4) Αριθμός συστημάτων

Είναι ο αριθμός των συστημάτων των ασυνεχειών που συνιστούν το σύστημα της βραχομάζας. Με βάση τον αριθμό των συστημάτων η βραχομάζα διακρίνεται σε εννέα κατηγορίες από συμπαγές πέτρωμα έως συντριμμένο πέτρωμα. Η βραχομάζα δύναται να διαχωρίζεται και από μεμονωμένες ασυνέχειες που καταγράφονται σε ατομική βάση.

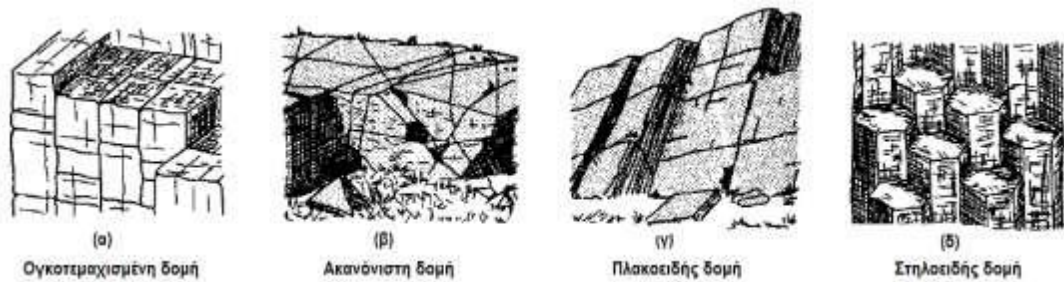


Σχήμα 3.5: Ογκοδιαγράμματα στα οποία φαίνονται ο αριθμός συνόλων (οικογενειών) ασυνεχειών, και η επίδρασή τους στη μηχανική συμπεριφορά και εμφάνιση του πετρώματος (ISRM, 1981).

3.3.5) Μέγεθος τεμάχου

Είναι η διάσταση του βραχώδους τεμάχου που προκύπτει από τα διατεμνόμενα σύνολα ασυνεχειών. Καθορίζεται από τον αριθμό των συστημάτων, την απόσταση επανάληψης και την εμμονή των ασυνεχειών. Για την περιγραφή του μεγέθους μπορεί να εφαρμοσθεί η εξής μεθοδολογία: Επιλέγονται από παρατηρήσεις μπλοκ τυπικού μεγέθους και μετρώνται οι μέσες διαστάσεις του κάθε τεμαχίου. Από τις συνολικές μετρήσεις εξαγεται η μέση τιμή μεγέθους του μοναδιαίου τεμαχίου (θα πρέπει να αναφέρεται και ο αριθμός των συστημάτων ασυνεχειών). Ανάλογα με την τιμή το μέγεθος τεμάχου χαρακτηρίζεται από πολύ μικρό έως πολύ μεγάλο. Στη βραχομάζα δίνονται, επίσης, επιθετικοί προσδιορισμοί μεγέθους και μορφής του τεμάχου. Ενδεικτικές περιπτώσεις εικονίζονται στο σχήμα που ακολουθεί. Στην περίπτωση πλακοειδών και στηλοειδών δομών η περιγραφή γίνεται

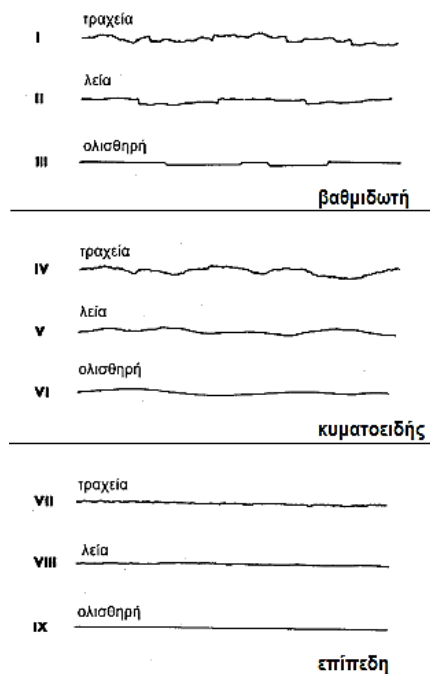
σαφέστερη με την προσθήκη στοιχείων προσανατολισμού. Μεμονωμένες ασυνέχειες δύνανται να επηρεάζουν, επιπλέον, τη μορφή και το μέγεθος του τεμάχους.



Σχήμα 3.6: Σκαριφήματα δομής του πετρώματος. α. ογκοτεμαχισμένη, β. ακανόνιστη, γ. πλακοειδής, δ. στηλοειδής (ISRM, 1981)

3.3.6) Τραχύτητα

Αναφέρεται στην εγγενή τραχύτητα (μικρή και μεσαία κλίμακα) και στην κύμανση σε σχέση με το μέσο επίπεδο της ασυνέχειας. Αμφότερες συνεισφέρουν στη διατμητική αντοχή αυξάνοντας τη φαινόμενη γωνία τριβής. Πρόκειται για τρεις κλίμακες παρατήρησης, μία μερικών cm, μία μερικών m και μία μεγάλη πάνω από 10.0m. Η μικρή κλίμακα διακρίνει τις ασυνέχειες σε τραχείες, λείες και ολισθηρές, ενώ η μεσαία σε βαθμιδωτές, κυματοειδείς και επίπεδες. Μεγάλης κλίμακας κύμανση της ασυνέχειας αλλάζει τοπικά την κλίση.



Σχήμα 3.7: Τυπικές τομές τραχύτητας και προτεινόμενη ονοματολογία. Το μήκος κάθε τομής είναι από 1.0m έως 10.0m. Η κατακόρυφη και η οριζόντια κλίμακα είναι ίδια (ISRM, 1981)

3.3.7) Αντοχή τοιχώματος

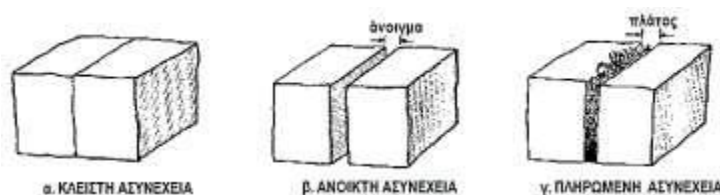
Ισοδύναμη θλιπτική αντοχή του πετρώματος των γειτονικών τοιχωμάτων της ασυνέχειας που αποτελεί σημαντική συνιστώσα της διατμητικής αντοχής εφόσον τα τοιχώματα είναι σε επαφή.

Οι ασυνέχειες αποτελούν τους αγωγούς διακίνησης του νερού στο εσωτερικό των βραχωδών μαζών με τα τοιχώματα των ασυνεχειών είναι από τα πρώτα στοιχεία της μάζας που υφίστανται τις συνέπειες της αποσάθρωτικής δράσης του νερού. Ως εκ τούτου, δύναται να είναι χαμηλότερη της αντοχής τεμαχίου πετρώματος λόγω αποσάθρωσης ή εξαλλοίωσης των τοιχωμάτων. Ο βαθμός (δείκτης) αποσάθρωσης (ή εξαλλοίωσης) της βραχομάζας διακρίνεται σε έξι κατηγορίες από υγιές πέτρωμα έως παραμένον έδαφος.

Η εκτίμηση της αντοχής γίνεται είτε με βάση το χαρακτηρισμό είτε με απλές έμμεσες δοκιμές όπως το αποτέλεσμα χτυπήματος με το γεωλογικό σφυρί και η αναπήδηση της σφύρας Schmidt.

3.3.8) Ανοιγμα

Άνοιγμα μια ασυνέχειας θεωρείται η κάθετη απόσταση μεταξύ των γειτονικών τοιχωμάτων της ασυνέχειας, όπου ο ενδιάμεσος χώρος της είναι πληρωμένος μόνο με αέρα ή νερό. Η ασυνέχεια μπορεί να έχει προκύψει από ανθρωπογενείς ενέργειες ή από φυσικά φαινόμενα. Με βάση το μέγεθος του ανοίγματος κάθε ασυνέχεια, γίνεται η κατάταξη του ανοίγματος σε μια από τις τρεις κατηγορίες: κλειστό (<0.50mm), διάκενο (0.50mm – 10.0mm) και ανοικτό (>10.0mm).



Σχήμα 3.8: Σκαριφήματα ορισμών του ανοίγματος ασυνεχειών (ISRM, 1981)

3.3.9) Υλικό πλήρωσης ασυνεχειών

Είναι το υλικό που χωρίζει τα γειτονικά τοιχώματα μιας ασυνέχειας και που είναι συνήθως ασθενέστερο από το μητρικό πέτρωμα. Το διάστημα μεταξύ των τοιχωμάτων στην περίπτωση αυτή ονομάζεται πλάτος σε αντιδιαστολή με τον όρο άνοιγμα. Τα υλικά πλήρωσης είναι από σκληρά όπως πχ. ασβεστίτης ή χαλαζίας (προκαλούν “επούλωση” της

ασυνέχειας και σημαντική αύξηση της διατμητικής αντοχής) έως πολύ μαλακά πχ. χλωρίτης, άμμος, ιλύς, άργιλος, μυλονίτης, υλικά ρωγματώσεων, τεμάχια αποσαθρωμένου πετρώματος κτλ. Η γεωμετρία, ο τύπος του υλικού, η αντοχή και η υγρασία του χαρακτηρίζουν την πλήρωση μιας ασυνέχειας.

3.3.10) Ροή νερού

Ροή νερού και εμφανής υγρασία είτε σε μεμονωμένες ασυνέχειες είτε στο σύνολο της βραχομάζας. Σε μεμονωμένες ασυνέχειες η βαθμονόμηση της διήθησης διαφέρει για πληρωμένες ασυνέχειες και για μη πληρωμένες. Βαθμονόμηση της διήθησης γίνεται και για τη βραχομάζα όπως πχ. το τοίχωμα μιας σήραγγας. Παρατήρηση εκρών νερού ή παρουσίας υγρασίας από ή σε ασυνέχειες απολήγουσες σε εκτεθειμένες επιφάνειες βραχωδών μαζών αποτελεί σημαντική ένδειξη για την παρουσία υπόγειου νερού στο εσωτερικό της. Η πρόβλεψη της στάθμης υπογείου νερού, πιθανών ζωνών υπογείων ροών και μεγέθη υδραυλικών φορτίων λόγω της παρουσίας του υπόγειου νερού συχνά δίδουν έγκαιρη προειδοποίηση για ενδεχόμενη αστάθεια ή κατασκευαστικά προβλήματα. Η περιγραφή της κατάστασης εκρών από ασυνέχειες μπορεί να βασιστεί στους περιγραφικούς όρους κατάταξης του πίνακα 3.3(Τομπουλίδου,2015).

Πίνακας 3.2: Ταξινόμηση της διήθησης του νερού σε ασυνέχειες.

Κατηγορία	Απόσταση
I	Ασυνέχεια κλειστή, ξηρή, η εκροή φαίνεται αδύνατη
II	Ασυνέχεια ξηρή χωρίς ενδείξεις ροής νερού
III	Ασυνέχεια ξηρή, αλλά υπάρχουν ενδείξεις ροής πχ. οξείδωση τοιχωμάτων
IV	Ασυνέχεια υγρή χωρίς την παρουσία ελεύθερης ροής νερού
V	Στάγδην ροή νερού
VI	Συνεχής ροή νερού

3.4)Παράμετροι περιγραφής βραχωδών υλικών και μαζών

Αντοχή

Η ορθή περιγραφή των βραχωδών υλικών και μαζών γίνεται με την βοήθεια κάποιων παραμέτρων. Συγκεκριμένα οι παράμετροι αυτοί είναι η αντοχή, η δομή του πετρώματος και η αποσάθρωση.

Ως κλίμακα κατάταξης της αντοχής ενός πετρώματος, τις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η μοναξονική θλιπτική αντοχή. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις για την μοναξονική θλιπτική αντοχή για διάφορα είδη πετρωμάτων από την ISRM(1981).

Πίνακας 1.3: Κατάταξη πετρωμάτων με βάση την αντοχή μοναξονική θλίψη (ISRM,1981)

Βαθμονόμηση	Όρος	σ_c (MPa)	Εκτίμηση αντοχής	Τύποι Πετρωμάτων
R6	Εξαιρετικά σκληρό	>250	Το βραχώδες υλικό απολεπίζεται μόνο κάτω από επαναλαμβανόμενα χτυπήματα του γεωλογικού σφυριού	Υγιής βασάλτης, γνεύσιος, γρανίτης, χαλαζίας
R5	Πολύ σκληρό	100-250	Απαιτούνται πολλά χτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί για να σπάσουν τμήματα του άρρηκτου βράχου	Αμφιβολίτης, ψαμμίτης, βασάλτης, γάββρος, γνεύσιος, δολομίτης, ασβεστόλιθος, μάρμαρο, ρυόλιθος, τόφφος
R4	Σκληρό	50-100	Κομμάτια μεγέθους γροθιάς σπάνε με ένα μόνο χτύπημα του γεωλογικού σφυριού	Ασβεστόλιθος, μάρμαρο, φυλλίτης, ψαμμίτης, σχιστόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος, ιλυόλιθος
R3	Μέτρια σκληρό	25-50	Με δυνατό χτύπημα το γεωλογικό σφυρί χαράσσει το βράχο μέχρι 5.0mm. - Το μαχαίρι ξύνει την επιφάνεια	Αργιλόλιθος, κάρβουνο, σκυρόδεμα, σχιστόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος, ιλυόλιθος
R2	Ασθενές	5-25	Το μαχαίρι κόβει το δείγμα, αλλά είναι δύσκολη η μόρφωση δοκιμίου τριαξονικής αντοχής	Τάλκης, ορυκτό άλας, ποτάσα
R1	Πολύ ασθενές	1-5	Το υλικό σπάει κάτω από δυνατά χτυπήματα με τη μύτη του γεωλογικού σφυριού και μπορεί να μορφοποιηθεί με μαχαίρι.	Πολύ αποσαθρωμένο ή μεταμορφωμένο πέτρωμα
R0	Εξαιρετικά ασθενές	0,25-1	Χαράσσεται με το νύχι	Αργιλικό υλικό πλήρωσης ρήγματο

Δομή πετρώματος

Ο δομικός ιστός αναφέρεται στο γενικό φυσικό χαρακτήρα των πετρωμάτων και καθορίζεται από επιμέρους χαρακτηριστικά των κόκκων και των ορυκτών συστατικών όπως

το μέγεθος (χονδρόκοκκο, λεπτόκοκκο κτλ.), το σχήμα, τον τρόπο σύνδεσης και το βαθμό κρυσταλλοποίησης (ολο-κρυσταλλικό, μεσο-κρυσταλλικό κτλ.).

Η υφή περιγράφει τη χωρική διάταξη των ορυκτών και δομικών στοιχείων που συγκροτούν ένα πέτρωμα και, επομένως, αποτελεί ένα μέτρο ομοιογένειας του υλικού. Περιγράφεται είτε ως *ισότροπη* με τυχαίο προσανατολισμό των κόκκων και των ορυκτών στο χώρο είτε ως *ανισότροπη* που περιλαμβάνει μορφές όπως η διαστρωμάτωση των ιζηματογενών πετρωμάτων και τον επιλεκτικό προσανατολισμό των κρυστάλλων σε μεταμορφωμένα πετρώματα (πχ. ζωνώδης υφή ☒ επιλεκτική διάταξη των ορυκτών παράλληλα προς τη μεγάλη επιφάνειά τους, σχιστοφυής υφή ☒ πιλεκτική διάταξη των ορυκτών σε ζώνες). Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την υφή αντιπροσωπεύουν εν δυνάμει επίπεδα αδυναμίας. Πετρώματα παρόμοιας ορυκτολογικής σύστασης είναι δυνατόν να έχουν πολύ διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες λόγω της υφής.

Αποσάθρωση

Ως αποσάθρωση ονομάζεται το σύνολο των μηχανικών ή φυσικών και χημικών διεργασιών που συντελούν στην βαθμιαία αποσύνθεση των πετρωμάτων.

Η φυσική ή μηχανική αποσάθρωση προκαλείται στο επιφανειακό τμήμα ενός πετρώματος από φυσικές διεργασίες όπως η δράση παγετού, η προσρόφηση και η αποβολή νερού, οι θερμοκρασιακές εναλλαγές, καθώς και ισχυρές μεταβολές των τάσεων πλησίον της θέσης του εκτεθειμένου πετρώματος. Ως αποτέλεσμα αυτών, προκαλείται διεύρυνση των ασυνεχειών ή και δημιουργία νέων, καθώς και χαλάρωση του ιστού και τη ρωγμάτωση των ορυκτών κόκκων. (Τομπουλίδου, 2015)

Η χημική αποσάθρωση οφείλεται κατά κύριο ρόλο στο νερό και τα διαλυόμενα συστατικά του. Παρατηρείται ότι σε περιοχές με υψηλή θερμοκρασία καθώς και υγρασία, εμφανίζονται πιο έντονα το φαινόμενο της χημικής αποσάθρωσης. Κατά την χημική αποσάθρωσης διενεργούνται χημικές αντιδράσεις όπως υδρόλυση, οξείδωση και ανταλλαγής ιόντων. Τέλος ανάλογα με το είδος του πετρώματος, παρατηρείται διαφορετικός ρυθμός αποσάθρωσης.

Ο βαθμός αποσάθρωσης είναι άμεσα συνδεδεμένος με την αντοχή των πετρωμάτων και εξαρτάται από το βαθμό κερματισμού καθώς η παρουσία των ασυνεχειών διευκολύνει τη δράση των παραγόντων αποσάθρωσης στο εσωτερικό της βραχώμαζας επιταχύνοντας και εξαπλώνοντας την. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται εκτιμήσεις του βαθμού αποσάθρωσης των πετρωμάτων και γεωτεχνικές χρήσεις τους κατά τη Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής ISRM.

Πίνακας 3.2: : Κατάταξη πετρωμάτων με βάση την αποσάθρωση (ISRM,1981)

Βαθμός αποσάθρωσης	Όρος	Περιγραφή	Γεωτεχνική χρήση
I	Υγιές πέτρωμα	Όχι εμφανής αποσάθρωση στο πέτρωμα. Πιθανόν μόνο αποχρωματισμός των επιφανειών κάποιων κύριων ασυνεχειών.	Το καλύτερο για γεωτεχνική χρήση. Επιμέρους τεμάχια βραχώμαζας μπορεί να χαλαρώσουν λόγω εκρήξεων ή απελευθέρωσης τάσεων και συνεπώς μπορεί να απαιτηθεί υποστήριξη.
II	Ελαφρά αποσαθρωμένο πέτρωμα	Αυξημένος αποχρωματισμός που υποδηλώνει αποσάθρωση του βραχώδους υλικού και των επιφανειών των ασυνεχειών. Όλο το βραχώδες υλικό μπορεί να έχει αποχρωματιστεί από την αποσάθρωση και μπορεί κατά κάποιο τρόπο να είναι ασθενέστερο εξωτερικά από ότι στην υγιή του κατάσταση.	Κατάλληλο για θεμελίωση μεγάλων κατασκευών από μπετόν (πχ. φραγμάτων), αλλά είναι αυξημένης υδατοπερατότητας λόγω ανοικτών ασυνεχειών. Μπορεί να γίνει χρήση του σαν αδρανές ύστερα από εξέταση. Απαιτεί χρήση εκρηκτικών για τη διάνοιξη
III	Μέτρια αποσαθρωμένο πέτρωμα	Λιγότερο από το 50% του βραχώδους υλικού παρουσιάζει αποσύνθεση και/ή μετατρέπεται σε έδαφος. Υγιές ή αποχρωματισμένο πέτρωμα υπάρχει με τη μορφή συνεχούς μέσου ή βραχωδών τεμαχίων.	Κατάλληλο για θεμελίωση μικρών κατασκευών από μπετόν. Πολλές ρωγμές σχηματίζονται κάτω από τις ερπύστριες εκσκαπτικού μηχανήματος.
IV	Ισχυρά αποσαθρωμένο πέτρωμα	Περισσότερο από το 50% του βραχώδους υλικού παρουσιάζει αποσύνθεση ή μετατρέπεται σε έδαφος. Υγιές ή αποχρωματισμένο πέτρωμα υπάρχει με τη μορφή συνεχούς μέσου βραχωδών τεμαχίων	Ακατάλληλο για φράγματα από μπετόν και μεγάλες κατασκευές. Κατάλληλο για χωμάτινα φράγματα – επιχώματα. Ασταθές σε υψηλά και απότομα ορύγματα. Χρειάζεται προστασία από τη διάβρωση.
V	Έντονα αποσαθρωμένο πέτρωμα	Όλη η βραχώδης μάζα έχει αποσυντεθεί και/ή μετατραπεί σε έδαφος, αλλά η αρχική βραχώδης δομή είναι ακόμα άθικτη στη μεγαλύτερη της έκταση.	Παρόμοια γεωτεχνική απόκριση με την προηγούμενη κατηγορία (IV)
VI	Υπολειμματικό έδαφος	Όλη η βραχώμαζα έχει μετατραπεί σε έδαφος και η αρχική βραχώδης δομή όπως και ο δομικός σκελετός του υλικού έχουν καταστραφεί. Υπάρχει σημαντική μεταβολή στον όγκο, αλλά δεν έχουν σημειωθεί ακόμα ουσιαστικές μετακινήσεις του εδαφικού υλικού	Ακατάλληλο για σημαντικές κατασκευές. Ασταθές σε πρηνή όταν έχει καταστραφεί η φυτοκάλυψη καθώς διαβρώνεται εύκολα

Κεφάλαιο 4 : Πειραματική Διαδικασία

4.1) Υλικά πειράματος

4.1.1) Μαρμάρου Τρανόβαλτου Κοζάνης

Το πέτρωμα με το οποίο πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα για τις ανάγκες της μεταπτυχιακής εργασίας, ήταν το ημίλευκο μάρμαρο Τρανόβαλτου Κοζάνης. Η εξόρυξή του έγινε στα λατομεία της περιοχής του Τρανόβαλτου, με τέτοιο τρόπο ώστε το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό του σχηματισμού από τον οποίο προέρχεται. Η προμήθεια του στο εργαστήριο βραχομηχανικής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του ΔΙΠΑΕ και έγινε από την εταιρεία λατομικών προϊόντων του κ.Παπαθυμιόπουλου κατόπιν δωρεάς στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 4.1: Περιοχή εξόρυξης μαρμάρου στον Τρανόβαλτο Κοζάνης

Το συγκεκριμένο πέτρωμα ανήκει στην κατηγορία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Τα ορυκτολογικά συστατικά καθώς και τα πετρογραφικά του χαρακτηριστικά περιγράφονται από τον Τσικρίκη (2021) και παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Ορυκτολογικά και πετρογραφικά χαρακτηριστικά(Tsirikis 2021)

Ορυκτολογική σύσταση		Μέσο μέγεθος κόκκου
%		(μm)
Ασβεσίτης	95	146
Δολομίτης	3	
Χαλαζίας	2	

Επιπλέον αναφέρονται από τον Τσικρίκη (2021) τα φυσικά και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του Μαρμάρου Τρανόβαλτου Κοζάνης, τα οποία χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στο πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Φυσικά και Μηχανικά χαρακτηριστικά Μαρμάρου Τρανόβαλτου Κοζάνης(Tsirikis 2021)

Ξηρή Πυκνότητα (ρ_d)	Πορώδες (n)	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	Αντοχή σε εφελκυσμό κατά γενέτειρα	Μέτρο ελαστικότητας	MR	$I_{s(50)}$	Σκληρότητα Brinelli (BHN)
kg/m^3	%	MPa	MPa	GPa		MPa	kgf/mm^2
2.709	0,32	63,0	5,2	32,9	557	2,50	56,1

4.1.2) Εποξειδική ρητίνη - EPOXYPRIMER 500

Η εποξειδική ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε για την ενεμάτωση της ασυνέχειας της βραχώμαζας, στο πλαίσιο των πειραμάτων της διπλωματικής εργασίας, πάρθηκε από το εμπόριο και είναι το προϊόν με ονομασία EPOXYPRIMER 500 της εταιρείας isomat. Η συγκεκριμένη ρητίνη είναι ένα υδατοδιαλυτό αστάρι που αποτελείται από δυο συστατικά με καθορισμένες αναλογίες ανάμειξης. Τα συστατικά αυτά είναι το συστατικό A (ρητίνη) και το συστατικό B (σκληρυντής) με αναλογίες ανάμειξης κατά βάρος 3 προς 1. Η εφαρμογή της EPOXYPRIMER 500 μπορεί να γίνει σε στεγνές έως ελαφρώς υγρές επιφάνειες, όχι όμως σε λιμνάζοντα νερά. Κατά την εφαρμογή θα πρέπει οι επιφάνειες να είναι σταθερές και καθαρές από τυχόν σκόνη ή υλικά που μπορεί να υπονομεύσουν την πρόσφυση μεταξύ ρητίνης και επιφάνειας. Τέλος σύμφωνα με την isomat το συγκεκριμένο αστάρι παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στις τριβές και υψηλή σκληρότητα.



Εικόνα 4.2: EPOXYPRIMER 500 , Isomat

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εποξειδικής ρητίνης όπως τα δίνει η παραγωγός εταιρία isomat.

Πίνακας 4.3:Τεχνικά χαρακτηριστικά Epoxyprimer 500, Isomat.

Χημική βάση	Απόχρωση	Ιξώδες συστατικού A(Ρητίνης)	Ιξώδες συστατικού B (Σκληρυντής)	Ιξώδες (A+B)	Πυκνότητα συστατικού A	Πυκνότητα συστατικού B	Αναλογία ανάμιξης (A:B)	Τελικές αντοχές	Αντοχή σε πρόσφυση
Εποξειδική ρητίνη δυο συστατικών	Υποκίτρινο	900 mPa s	4.400 mPa s	8.000 mPa s	1,1 kg/l	1,0 kg/l	3:1	7 ημέρες	> 3 N/mm ²

4.1.3) Νερό

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των διαφόρων μειγμάτων εποξειδικής ρητίνης, είναι το πόσιμο νερό της Θεσσαλονίκης. Το νερό αυτό ήταν απαλλαγμένο από οξέα, αλκάλια ή άλλες ουσίες που θα μπορούσαν να επιδράσουν αρνητικά στον πολυμερισμό της εποξειδικής ρητίνης.

4.2) Προετοιμασία πειράματος

4.2.1) Διαμόρφωση δοκιμών Μαρμάρου

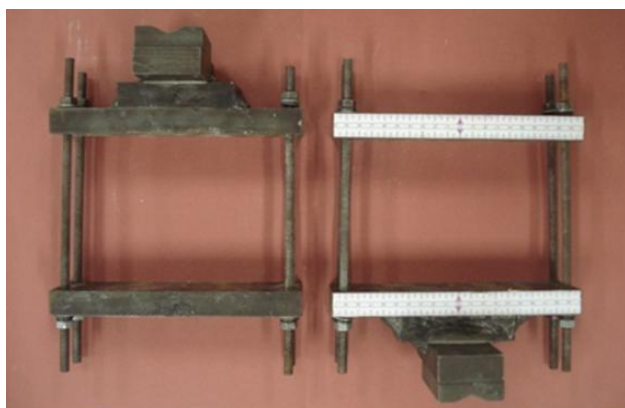
Αρχικά λοιπόν το βραχύδες δείγμα τοποθετήθηκε πάνω στην βάση του αδαμαντοτροχού προκειμένου να γίνει η κοπή του και ως αποτέλεσμα η διαμόρφωση των δοκιμών. Όταν ολοκληρώθηκε η διαδικασία της κοπής, προέκυψαν συνολικά 24 δοκίμια. Σε

κάθε ένα από τα εικοσιτέσσερα δοκίμια, η ασυνέχεια δημιουργήθηκε με τεχνητό τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, με την χρήση του αδαμαντοτροχού έγινε η κοπή στην μέση κάθε δοκιμίου με αποτέλεσμα να προκύψουν δυο τμήματα , το άνω (TOP) και το κάτω (BOT) τμήμα. Οι επιφάνειες των δυο τμημάτων του κάθε δοκιμίου που προέκυψαν ήταν λείες χωρίς τραχύτητα.



Εικόνα4.3:Αδαμάντινος τροχός κοπής δοκιμίου.

Τα δοκίμια διαμορφώθηκαν σε διαστάσεις τέτοιες ώστε στην συνέχεια να μπορούν τοποθετηθούν στις ειδικές χαλύβδινες μήτρες . Οι συγκεκριμένες μήτρες απαιτούνται προκειμένου να γίνει η τοποθέτηση του δοκιμίου στην συσκευή άμεσης διάτμησης καθώς βοηθούν στην όσο το δυνατόν καλύτερη προσαρμογή στην διατμητική μετατόπιση κατά την διάρκεια του πειράματος.



Εικόνα 4.4:Ειδικές χαλύβδινες μήτρες

Τέλος, στα δοκίμια έγινε ένας τελευταίος οπτικός έλεγχος για τυχόν μικρορηγματώσεις καθώς και καθαρισμός από σκόνη πριν την τοποθέτηση τους στο σημείο όπου θα γίνει η ενεμάτωση σε ξηρές συνθήκες δοκιμίου.

4.2.2) Διαδικασία ανάμιξης εποξειδικής ρητίνης με νερό.

Η υδατοδιαλυτή ρητίνη με εμπορική ονομασία EPOXYROMER 500 της εταιρία isomat , όπως έχει προαναφερθεί και προηγούμενος αποτελείται από δυο συστατικά. Τα συστατικά αυτά ,το συστατικό A (ρητίνη) και το συστατικό B(σκληρυντής) , προμηθεύονται από το εμπόριο σε συσκευασμένα δοχεία με συγκεκριμένη αναλογία το καθένα. Για τις ανάγκες των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν έξι αναλογίες ρητίνης προς νερό. Η αναλογία ρητίνης προς νερού είναι κατά βάρος, δηλαδή προστίθεται κάθε φορά στο μείγμα του συστατικού A και B νερό σε αναλογία με βάση το βάρος του μείγματος ώστε να επιτευχθεί επιδιωκόμενη αναλογία. Για την καλύτερη οργάνωση των πειραμάτων, της κάθε αναλογίας της δόθηκε ένα γράμμα του λατινικού αλφαβήτου.

Πίνακας 4.4 :Ονομασία αναλογίας Ρητίνη προς Νερό.

Αναλογία Ρητίνης προς νερού	Ονομασία αναλογίας
1:0	A'
2:1	B'
1,5:1	C'
1:1	D'
1:1,5	E'
3:1	F'

Η ανάμιξη των συστατικών A και B της ρητίνης με το νερό έγινε ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα, στο συστατικό A (ρητίνη) προστέθηκε η απαιτούμενη ποσότητα του συστατικού B (σκληρυντής), αφού πρώτα τα δυο συστατικά είχαν ζυγιστεί στη ζυγαριά ακριβείας. Μετά το μείγμα των δυο συστατικών αναμείχθηκε μέχρι να γίνει ομοιογενές. Έπειτα προστέθηκε η αναγκαία ποσότητα νερού προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή αναλογία ρητίνης προς νερό. Το μείγμα ρητίνης νερού ήταν έτοιμο για χρήση, αφού πρώτα είχε γίνει πολύ καλό ανακάτεμα που οδήγησε στην ομογενοποίηση του. Στην συνέχεια στο σημείο στο οποίο είχαν τοποθετηθεί τα δοκίμια, πραγματοποιήθηκε η ενεμάτωση τους. Πιο συγκεκριμένα , στο κάτω τμήμα του κάθε δοκιμίου (BOT) , ρίχνεται μια ποσότητα ενέματος

συγκεκριμένης αναλογίας τέτοια ώστε να καλύψει όλη την επιφάνεια του. Ύστερα τοποθετήθηκε το άνω τμήμα του δοκιμίου (TOP) πάνω στην ενεματωμενη επιφάνεια του κάτω τμήματος χωρίς την χρήση επιπρόσθετου βάρους. Το δοκίμιο αφέθηκε επί επτά ημέρες ώστε να γίνει η πήξη του ενέματος. Μετά το πέρας των επτά ημερών το δοκίμιο ήταν έτοιμο για την πραγματοποίηση του πειράματος. Να σημειωθεί πως η κάθε αναλογία από τις συνολικά έξι αναλογίες ρητίνης προς νερό, χρησιμοποιήθηκε για την ενεμάτωση τεσσάρων δοκιμίων. Αυτό έγινε προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση του μείγματος στην ασυνέχεια του δοκιμίου ανάλογα με την επιβαλλόμενη ορθή τάση. Συνολικά οι ορθές τάσεις που επιβλήθηκαν στα δοκίμια ήταν τέσσερις. Συγκεκριμένα ήταν τα 200 kPa, τα 400 kPa, τα 600 kPa και τα 800 kPa.

4.3) Εκτέλεση δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών

4.3.1 Διάταξη συσκευής άμεσης διάτμησης

Η δοκιμή της άμεσης διάτμησης ασυνεχειών πραγματοποιείται στην συσκευή της άμεσης διάτμησης του εργαστηρίου Γεωμηχανικής. Η συγκεκριμένη συσκευή αποτελείται από τρία σταθερά τμήμα. Πιο συγκεκριμένα, στην μέση της συσκευής βρίσκεται ένα κάθετο έμβολο που με την βοήθεια μια αντλίας σταθερής πίεσης, εφαρμόζει την ορθή τάση στο δοκίμιο. Στην μια άκρη της συσκευής βρίσκεται το οριζόντιο έμβολο της μηχανής TRISCAN 100, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με το κάτω χαλύβδινο πλαίσιο του δοκιμίου εφαρμόζει μια σταθερή διατμητική δύναμη στο δοκίμιο. Στην άλλη άκρη βρίσκεται ο δυναμοδακτύλιος ο οποίος ερχόμενος σε επαφή μέσω μιας μεταλλικής σφαίρας με το άνω χαλύβδινο πλαίσιο του δοκιμίου, καταγράφει την διατμητική παραμόρφωση. Επιπλέον στο μηχανήμα υπάρχουν τρία μηκυσιόμετρα, δυο κάθετα και ένα οριζόντιο. Τα δυο κάθετα μηκυσιόμετρα τοποθετούνται στο κέντρο της επιφάνεια του άνω τμήματος του δοκιμίου αριστερά και δεξιά του. Ενώ το οριζόντιο μηκυσιόμετρα ακουμπάει το μεταλλικό πλαίσιο του κάτω τμήματος του δοκιμίου. Η συλλογή όλων των τιμών γίνεται με την βοήθεια του καταγραφικού MPX 3000. Ο καταγραφέας αυτός είναι συνδεδεμένος με τον Η/Υ και το λογισμικό πρόγραμμα WINHOST, που μετατρέπει όλες τις καταγραφές σε μορφή διαγραμμάτων.



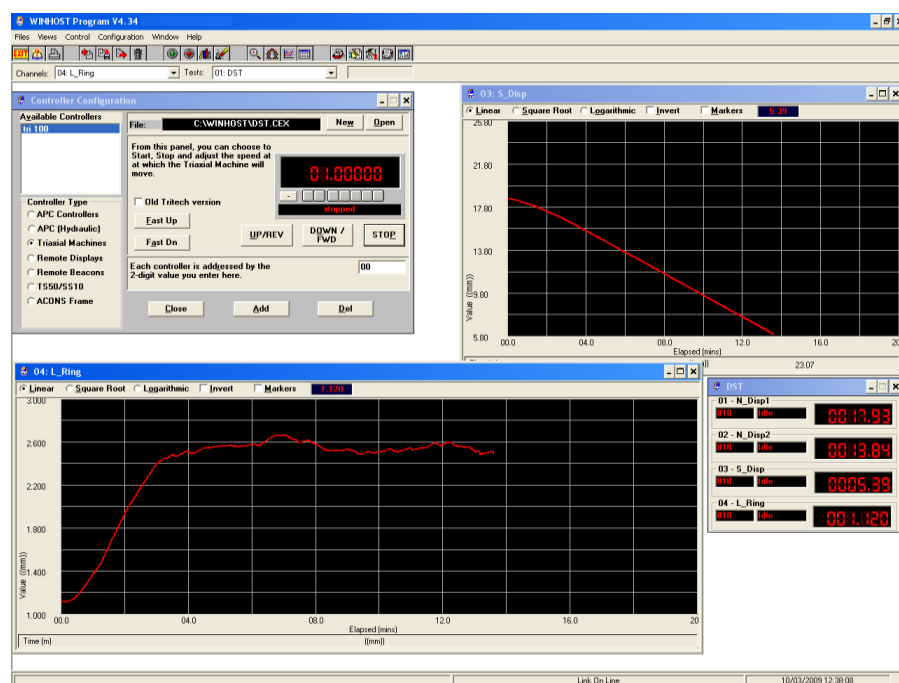
Εικόνα 4.5: Συσκευή άμεσης διάτμησης

4.3.2) Διεξαγωγή δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών

Αρχικά τοποθετείτε το δοκίμιο στα δυο χαλύβδινα πλαίσια και στην συνέχεια μέσα στο μηχάνημα της άμεσης διάτμησης ασυνεχειών. Το δοκίμιο κεντράρετε ως προς τον δυναμοδακτύλιο και το έμβολο εφαρμογής της ορθής τάσης. Έπειτα θέτονται σε λειτουργία ο Ηλεκτρονικός Υπολογιστής, ο καταγραφέας MPX 3000 καθώς το μηχάνημα εφαρμογής της διατμητικής δύναμης TRISCAN 100. Στην συνέχεια μέσω του κάθετου εμβόλου και της αντλίας σταθερής πίεσης, εφαρμόζετε η επιθυμητή σταθερή ορθή τάση στο δοκίμιο, αφού πρώτα έχει έρθει σε επαφή ο δυναμοδακτύλιος με το άνω χαλύβδινο πλαίσιο μέσω της χαλύβδινης σφαίρας. Ύστερα τοποθετούνται τα δυο κάθετα μηκυσιόμετρα στο κέντρο του δοκιμίου αριστερά και δεξιά του και το οριζόντιο μηκυσιόμετρο το οποίο ακουμπάει το κάτω πλαίσιο του δοκιμίου. Πριν την έναρξη της δοκιμής γίνεται ένας τελευταίος έλεγχος για τυχόν παραλείψεις και στην συνέχεια το μηχάνημα εφαρμογής της διατμητικής δύναμης τίθεται σε κίνηση. Η δοκιμή είχε διάρκεια μέχρι την πλήρης αστοχία του δοκιμίου. Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής όλες οι τιμές εξάγονται από το λογισμικό πρόγραμμα WINHOST σε διάγραμμα και συγκρίνονται μεταξύ τους. Τέλος, το κάθε δοκίμιο φωτογραφίζεται πριν την πραγματοποίηση της δοκιμής καθώς και μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής.

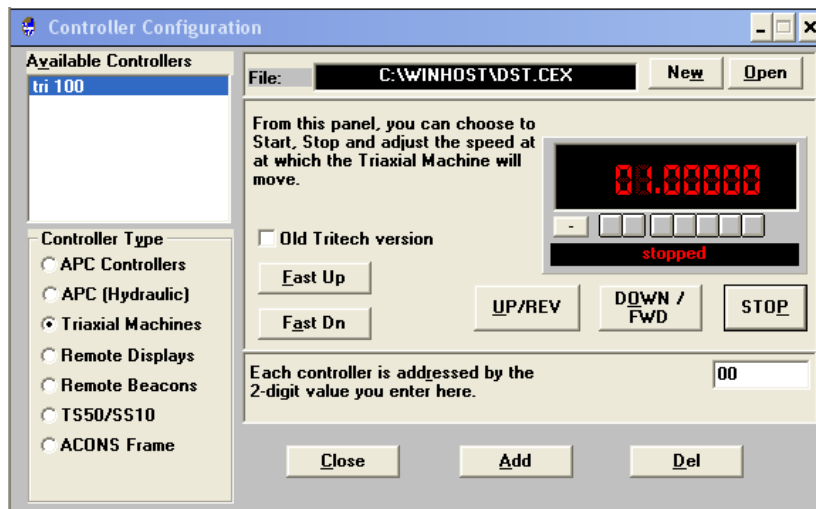
4.3.3) Λογισμικό πρόγραμμα WINHOST V 4.34

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τη ψηφιοποίηση όλων των αποτελεσμάτων από τα πειράματα της άμεσης διάτμησης ασυνεχειών, ήταν το WINHOST V 4.34 της Datalogic. Το συγκεκριμένο λογισμικό λειτουργεί όπως και άλλα προγράμματα, σε περιβάλλον Windows και με τη βοήθεια του επεξεργαστή MPX 3000 μετατρέπει όλες τις καταγραφίσεις τιμές σε διαγράμματα. Έτσι γίνεται πιο εύκολος ο έλεγχος της πορείας των πειραμάτων καθώς και η ανάλυση στην συνέχεια των αποτελεσμάτων.



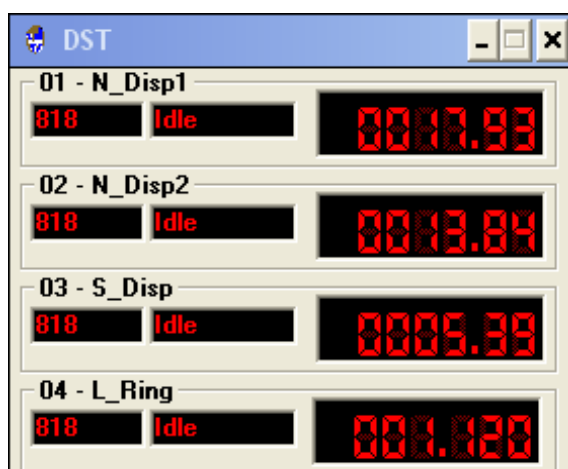
Εικόνα 4.6: Περιβάλλον Winhost κατά την διάρκεια εκτέλεση δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών.

Πριν από την έναρξη των δοκιμών, γίνεται κατάλληλη ρύθμιση του προγράμματος προκυμμένου να υπάρξει σωστή εκτέλεση των πειραμάτων. Πιο συγκεκριμένα, από το παράθυρο Configuration γίνεται επιλογή του κατάλληλου controller type μέσω μιας λίστας που υπάρχει στα αριστερά του παραθύρου. Η επιλογή που γίνεται στην περίπτωση των συγκεκριμένων πειραμάτων, είναι η Triaxial Machines και συγκεκριμένα η TRISCAN 100. Επίσης μέσω του πλαισίου που υπάρχει στα δεξιά του παράθυρο Configuration, γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας με την οποία εκτελείται το πείραμα. Όλα τα πειράματα εκτελέστηκαν με σταθερό ρυθμό αύξησης το 1mm/min. Τέλος, στο συγκεκριμένο παράθυρο υπάρχουν δυο κουμπιά που βοηθούν στον χειρισμό της TRISCAN 100, το Fast Up και το Fast Dn. Καθώς και τρία άλλα κουμπιά, εκ των οποίων μόνο το UP/REV και το STOP χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα, που ξεκινούν και σταματούν το πείραμα αντίστοιχα.



Εικόνα 4.7 : Παράθυρο Controller Configuration.

Η καταγραφή των τιμών κατά την διάρκεια των πειραμάτων, γίνεται με την βοήθεια τεσσάρων μηχανοσκόπων (N_Disp1, N_Disp2, S_Disp, L_Ring) όπως φαίνεται στο παράθυρο DST (Εικόνα 3.8). Τα δυο μηχανοσκόποι (N_Disp1, N_Disp2) καταγράφουν την ορθή μετακίνηση του άνω τμήματος του δοκιμίου, προκυμμένου να προσδιοριστεί η διαστολή του. Το τρίτο μηχανοσκόπος (S_Disp) καταγράφει την διατηρητική μετατόπιση και τέλος το μηχανοσκόπος του δυναμοδακτυλίου καταγράφει την παραμόρφωση του. Η κάθε μέτρηση έχει οριστεί να καταγράφεται ανά 5 δευτερόλεπτα. Οι τιμές που καταγράφουν τα τρία μηχανοσκόποι καθώς και ο δυναμοδακτύλιος κατά την διάρκεια των δοκιμών, μπορούν να παρουσιαστούν με την μορφή διαγραμμάτων αρκεί φυσικά να γίνει η κατάλληλη επιλογή στην μπάρα του μενού.



Εικόνα 4.8: Παράθυρο DST.

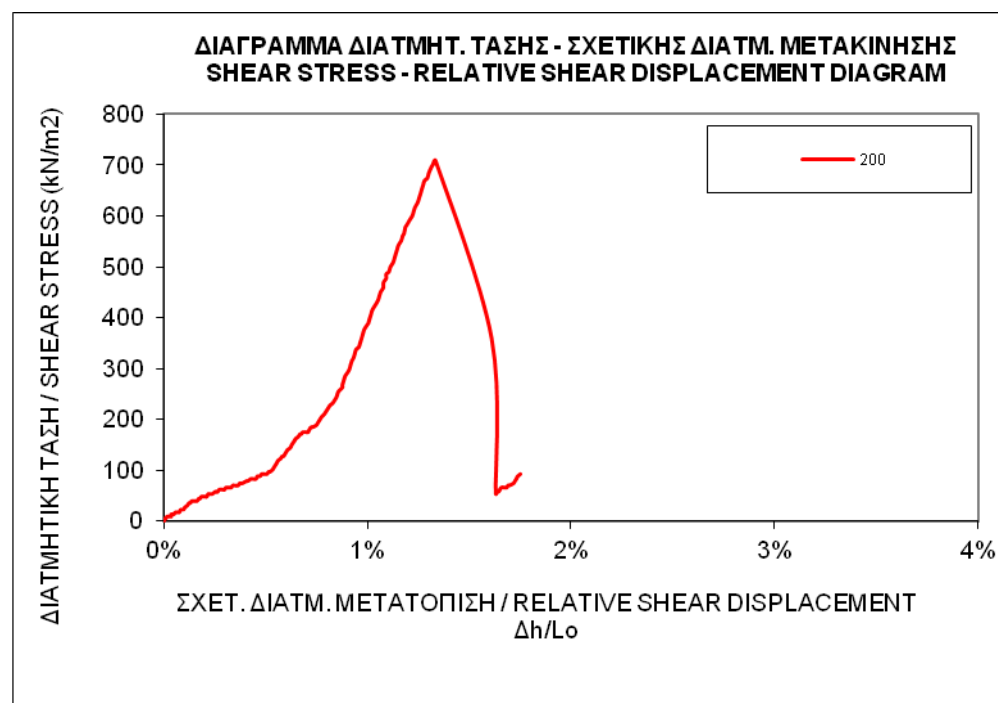
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα δοκιμών Άμεσης Διάτμησης Ασυνεχειών

5.1) Αποτελέσματα δοκιμίου Α'1

Το δοκίμιο Α'1, τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη σταθερή ορθή τάση τα 200kPa και διήρκησε έως την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 709$ kPa και $t_{residual} = 93$ kPa.

Πίνακας 5.1: Στοιχεία δοκιμίου Α'1

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Α'1^{TOP}	
Μήκος	148,65 mm
Πλάτος	75,60 mm
Εμβαδόν	11237,94 mm ²
Ορθή Τάση	200 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	∞



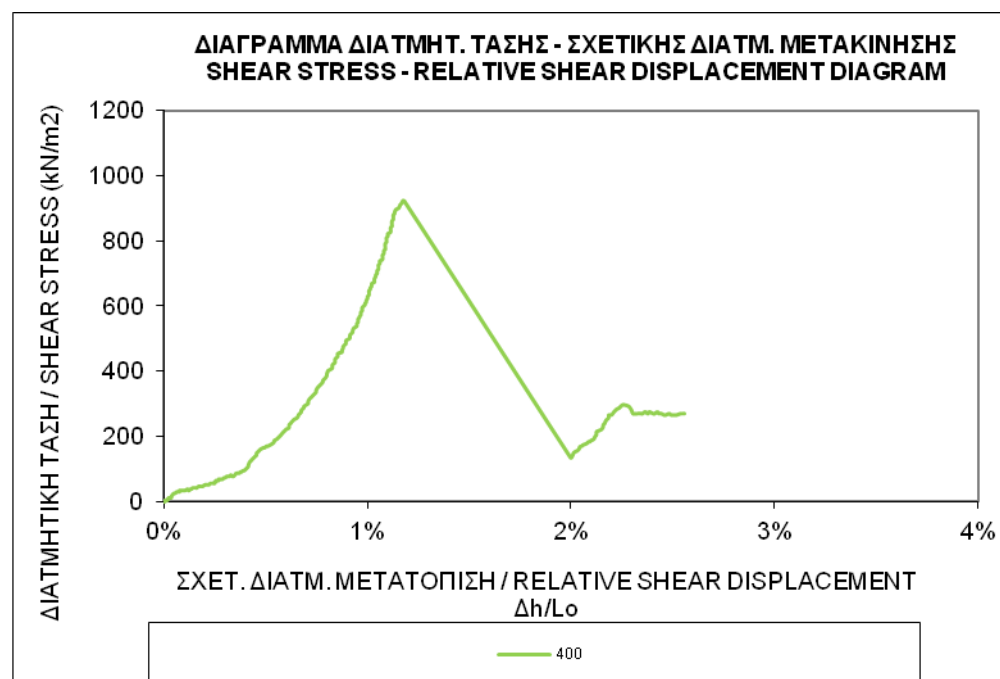
Σχήμα 5.1: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Α'1

5.2) Αποτελέσματα δοκιμίου Α'2

Το δοκίμιο Α'2 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 400kPa και διήρκησε έως την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak}=923$ kPa και $t_{residual}=270$ kPa.

Πίνακας 5.2: Στοιχεία δοκιμίου Α'2

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Α'2^{TOP}	
Μήκος	150,08 mm
Πλάτος	74,95 mm
Εμβαδόν	11248,96 mm ²
Ορθή Τάση	400 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	∞



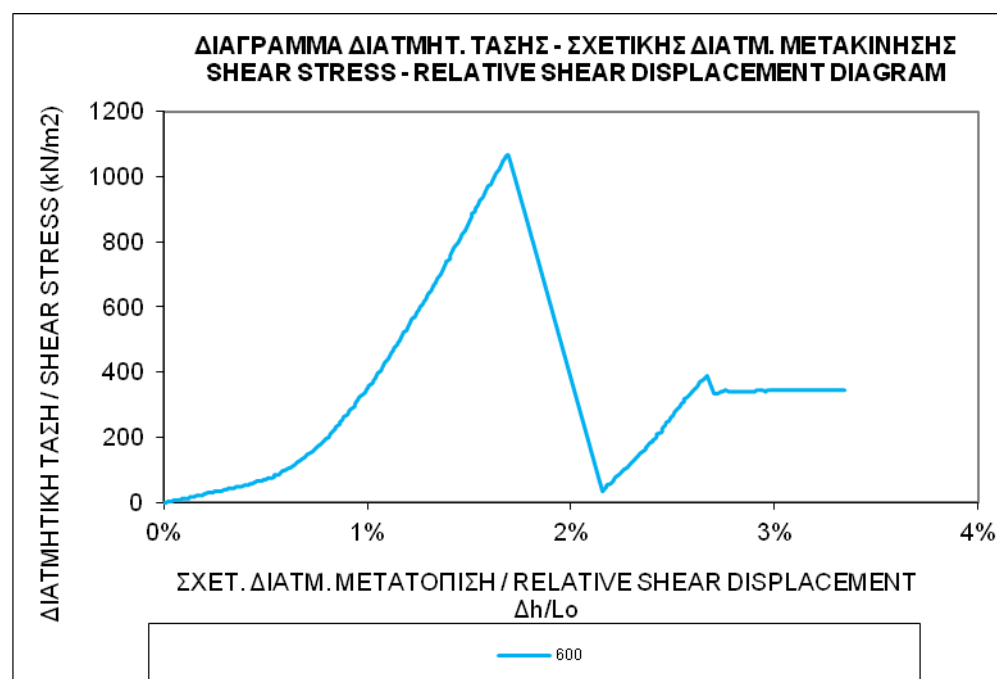
Σχήμα 5.2: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Α'2

5.3) Αποτελέσματα δοκιμίου Α'3

Το δοκίμιο Α'3 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.3, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 600kPa και διήρκησε έως την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 1066 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 345 \text{ kPa}$

Πίνακας 5.3: Στοιχεία δοκιμίου Α'3

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Α'3 ^{TOP}	
Μήκος	149,48 mm
Πλάτος	73,56 mm
Εμβαδόν	10995,75 mm ²
Ορθή Τάση	600 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	∞



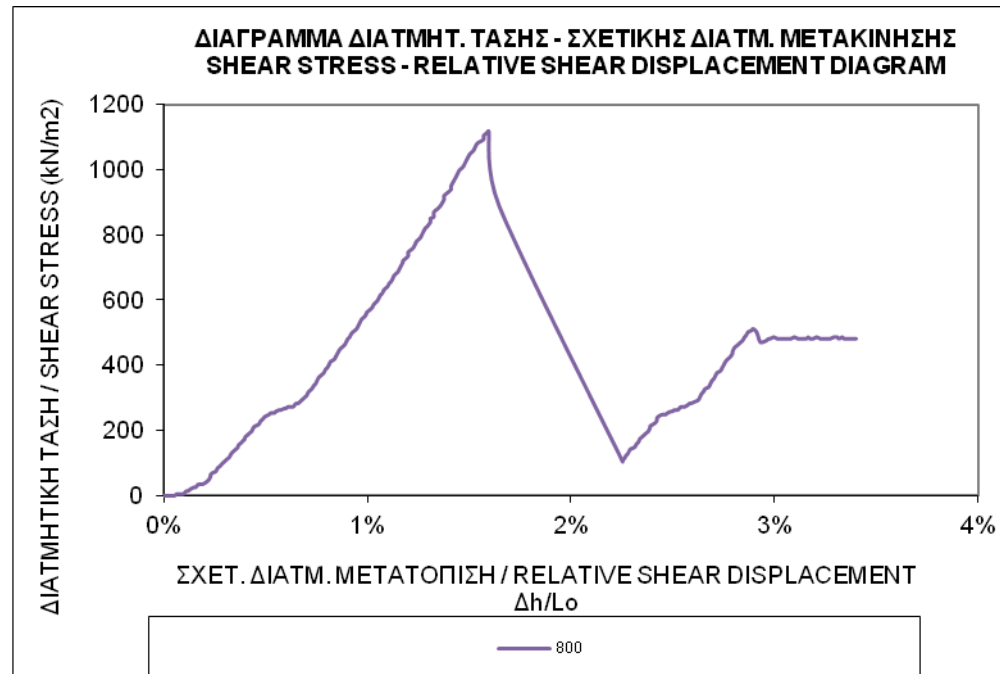
Σχήμα 5.3: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Α'3

5.4) Αποτελέσματα δοκιμίου Α'4

Το δοκίμιο Α'4 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 800kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 1120$ kPa και $t_{residual} = 482$ kPa.

Πίνακας 4.4 : Στοιχεία δοκιμίου Α'4

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Α'4 ^{TOP}	
Μήκος	118,52 mm
Πλάτος	83,52 mm
Εμβαδόν	11237,94 mm ²
Ορθή Τάση	800 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	∞



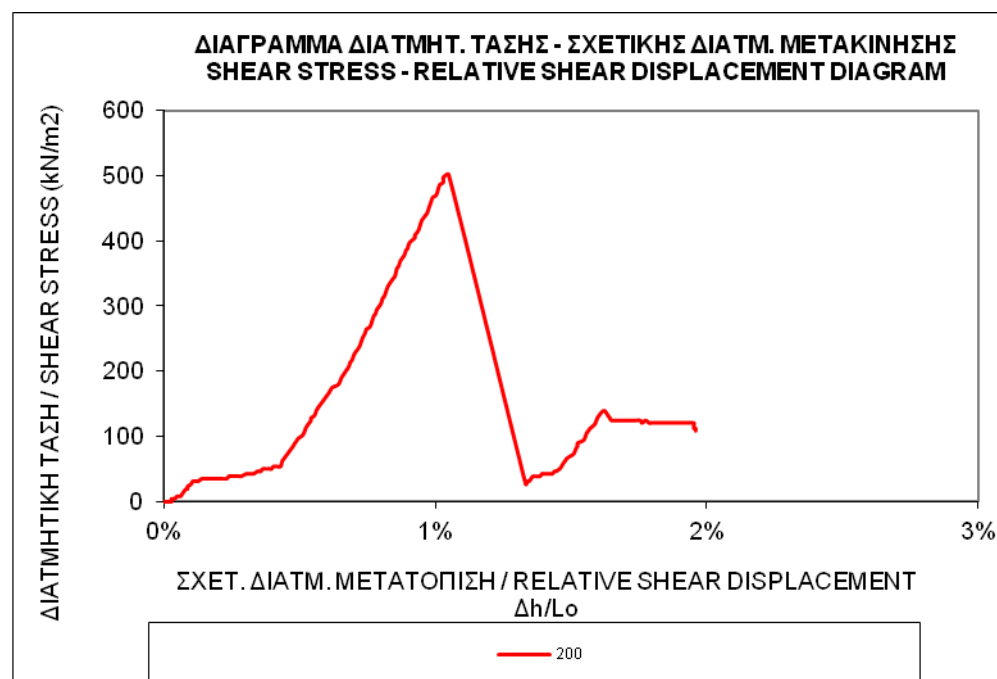
Σχήμα 5.4: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Α'4

5.5) Αποτελέσματα δοκιμίου Β'1

Το δοκίμιο Β'1 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 200kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 501\text{kPa}$ και $t_{residual} = 124\text{ kPa}$.

Πίνακας 5.5: Στοιχεία δοκιμίου Β'1

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Β'1 ^{TOP}	
Μήκος	149,21 mm
Πλάτος	71,80 mm
Εμβαδόν	10713,28 mm ²
Ορθή Τάση	200 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	2:1



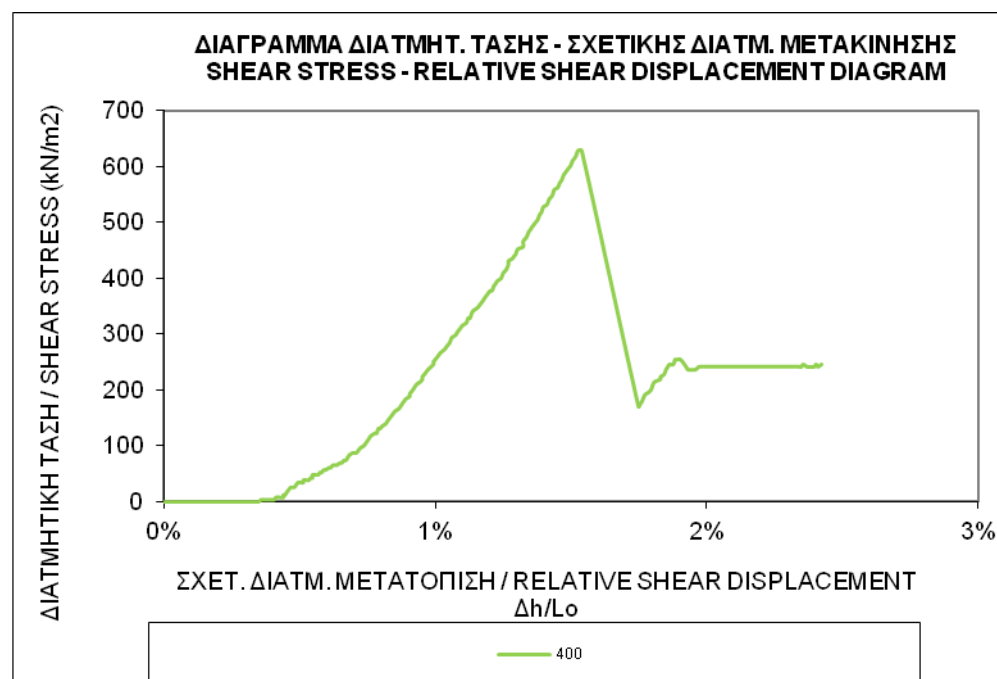
Σχήμα 5.5: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Β'1

5.6) Αποτελέσματα δοκιμίου Β'2

Το δοκίμιο Β'2 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης και η επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 400kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 627 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 241 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.6: Στοιχεία δοκιμίου Β'2

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Β'2^{TOP}	
Μήκος	148,20 mm
Πλάτος	71,80 mm
Εμβαδόν	11237,94 mm ²
Ορθή Τάση	400 kPa
Αναλογία Ρητίνης / Νερού	2:1



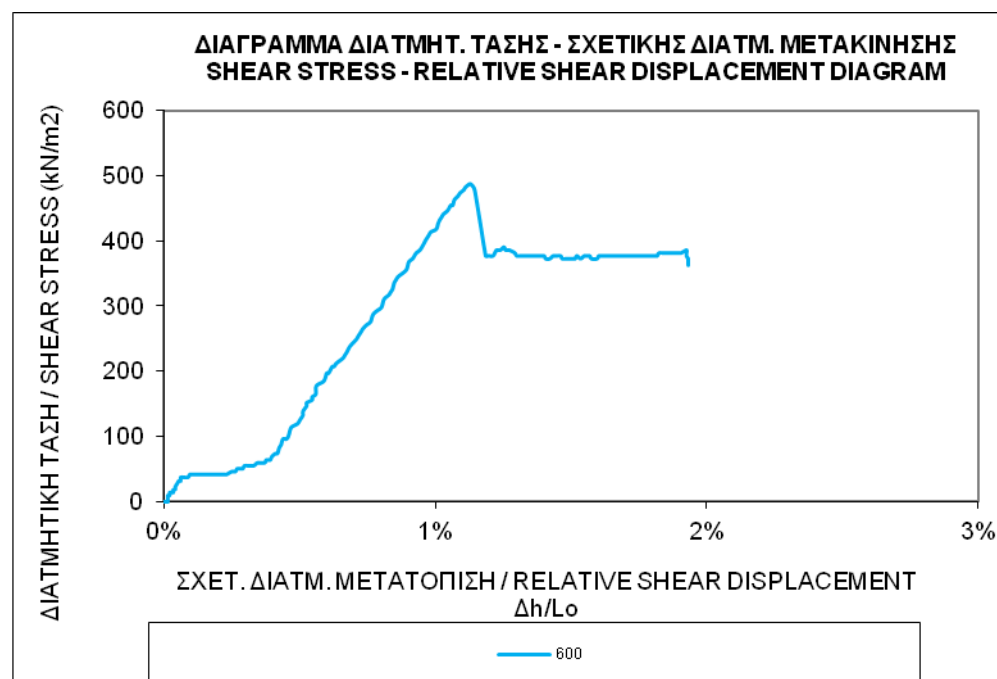
Σχήμα 5.6: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Β'2

5.7) Αποτελέσματα δοκιμίου Β'3

Το δοκίμιο Β'3 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.7, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 600kPa και διήρκεσε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.7, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 486$ kPa και $t_{residual} = 376$ kPa.

Πίνακας 5.7: Στοιχεία δοκιμίου Β'3

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Β'3^{TOP}	
Μήκος	148,65 mm
Πλάτος	75,60 mm
Εμβαδόν	11237,94 mm ²
Ορθή Τάση	600 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	2:1



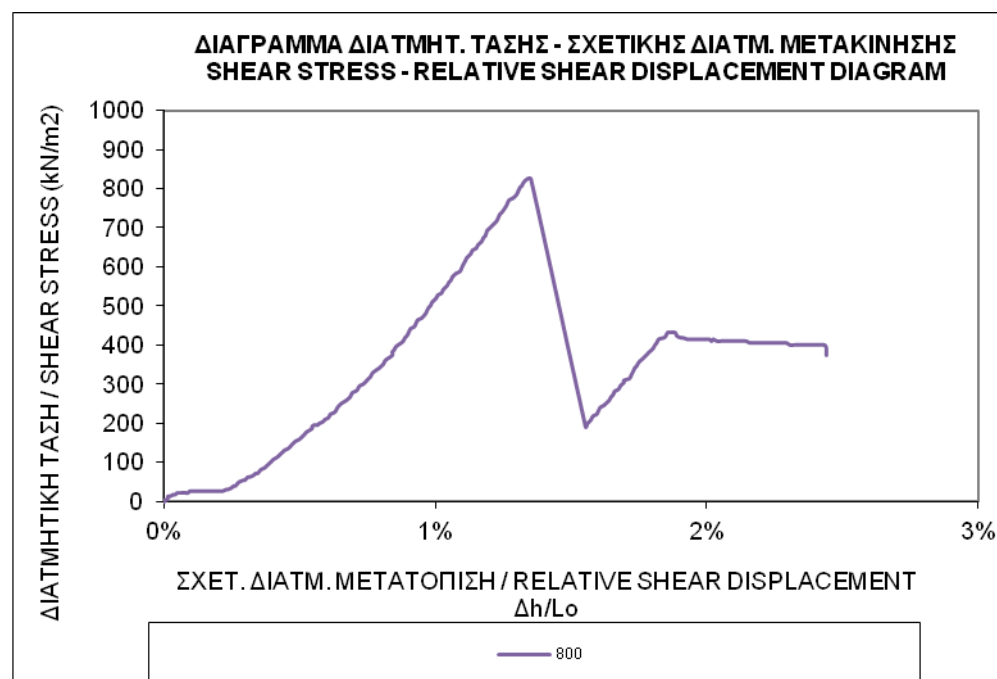
Σχήμα 5.7: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Β'3

5.8) Αποτελέσματα δοκιμίου Β'4

Το δοκίμιο Β'4 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 800kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $\tau_{peak} = 823 \text{ kPa}$ και $\tau_{residual} = 403 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.8: Στοιχεία δοκιμίου Β'4

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Β'4^{TOP}	
Μήκος	148,65 mm
Πλάτος	75,60 mm
Εμβαδόν	11237,94 mm ²
Ορθή Τάση	800 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	2:1



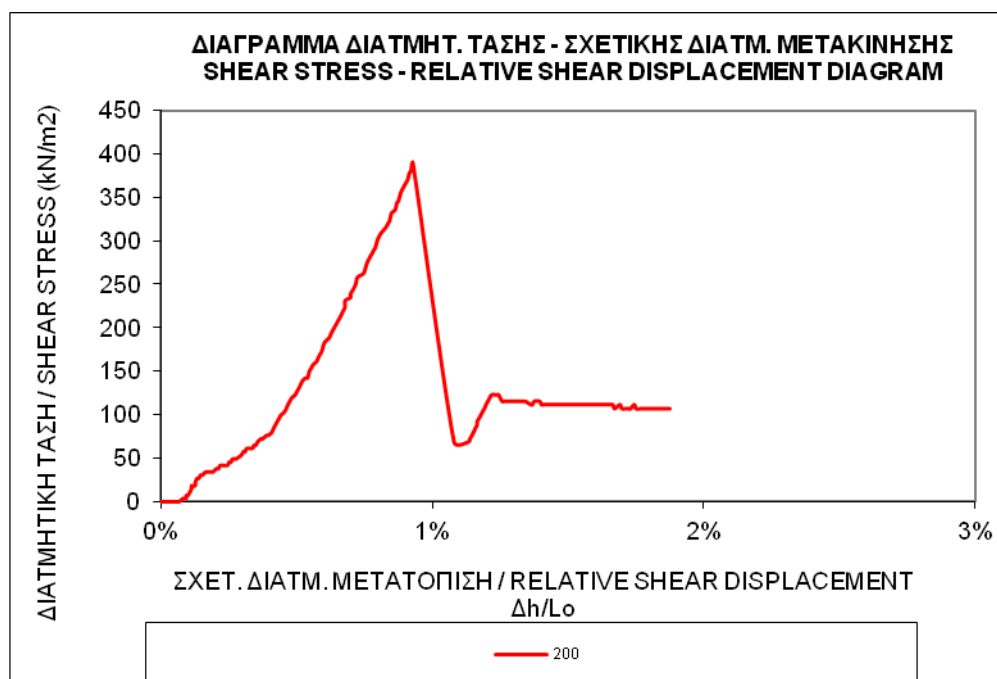
Σχήμα 5.8: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Β'4

5.9) Αποτελέσματα δοκιμίου C'1

Το δοκίμιο C'1, τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.9, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 200kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.9, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 390 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 112 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.9: Στοιχεία δοκιμίου C'1

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου C'1^{TOP}	
Μήκος	148,40 mm
Πλάτος	72,35 mm
Εμβαδόν	10736,74 mm ²
Ορθή Τάση	200 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1,5:1



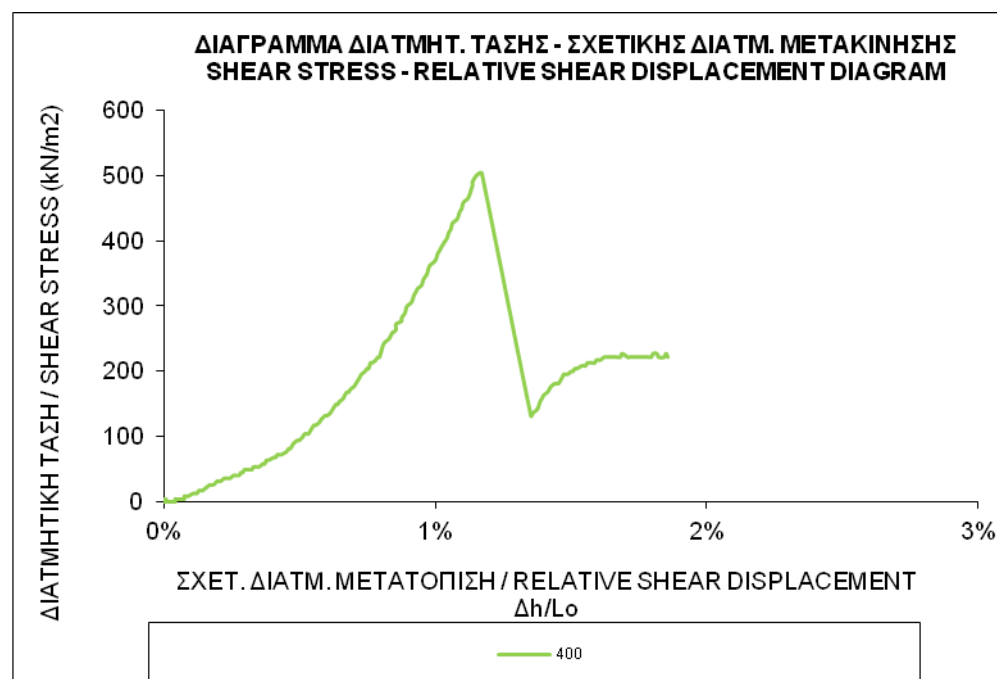
Σχήμα 5.9: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου C'1

5.10) Αποτελέσματα δοκιμίου C'2

Το δοκίμιο C'2, τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.10, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 400kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.10, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 504 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 221 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.10: Στοιχεία δοκιμίου C'2

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου C'2^{TOP}	
Μήκος	149,11 mm
Πλάτος	72,62 mm
Εμβαδόν	10828,37 mm ²
Ορθή Τάση	400 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1,5:1



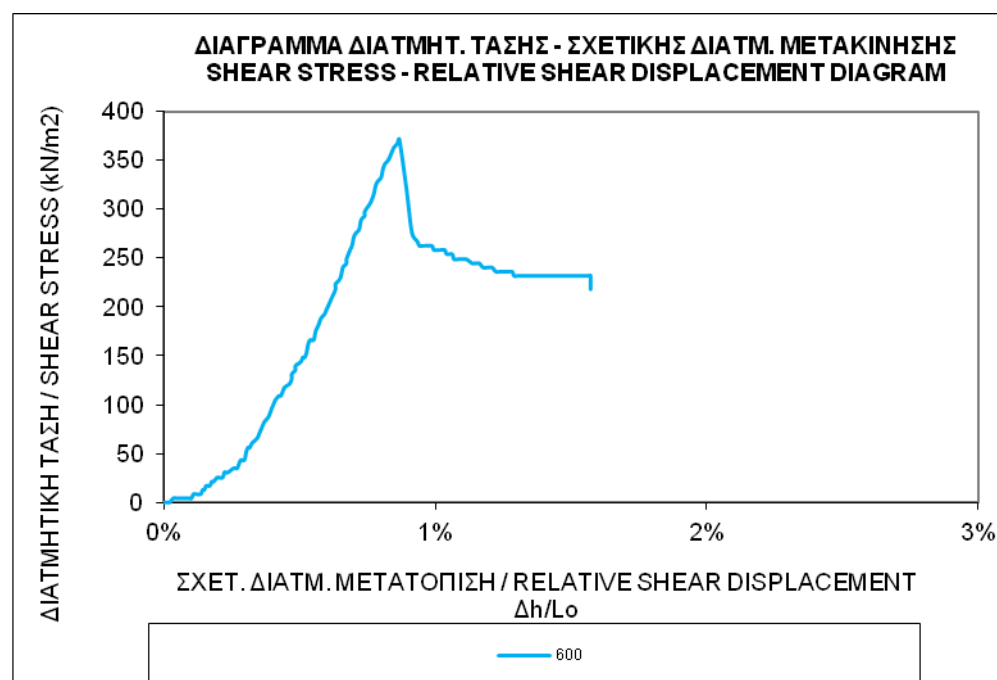
Σχήμα 5.10: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου C'2

5.11) Αποτελέσματα δοκιμίου C'3

Το δοκίμιο C'3, τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.11, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 600kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.11, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 372$ kPa και $t_{residual} = 232$ kPa.

Πίνακας 5.11: Στοιχεία δοκιμίου C'3

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου C'3^{TOP}	
Μήκος	148,63 mm
Πλάτος	72,96 mm
Εμβαδόν	10844,04 mm ²
Ορθή Τάση	600 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1,5:1



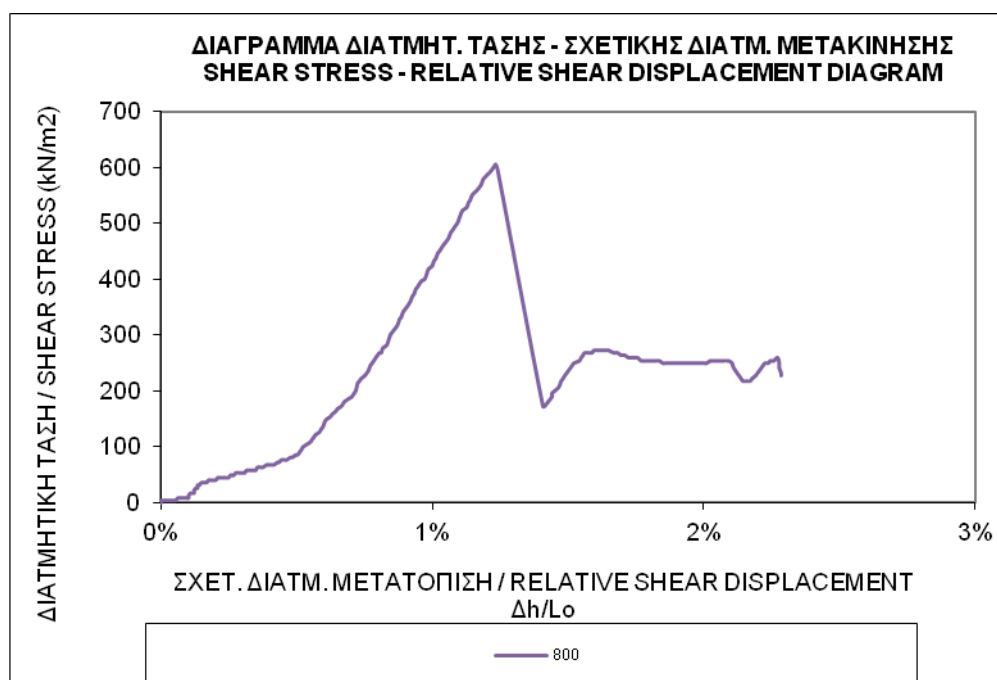
Σχήμα 5.11: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου C'3

5.12) Αποτελέσματα δοκιμίου C'4

Το δοκίμιο C'4, τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.12, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 800kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.12, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 605 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 249 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.12: Στοιχεία δοκιμίου C'4

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου C'4^{TOP}	
Μήκος	152,06 mm
Πλάτος	83,60 mm
Εμβαδόν	12712,22 mm ²
Ορθή Τάση	800 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1,5:1



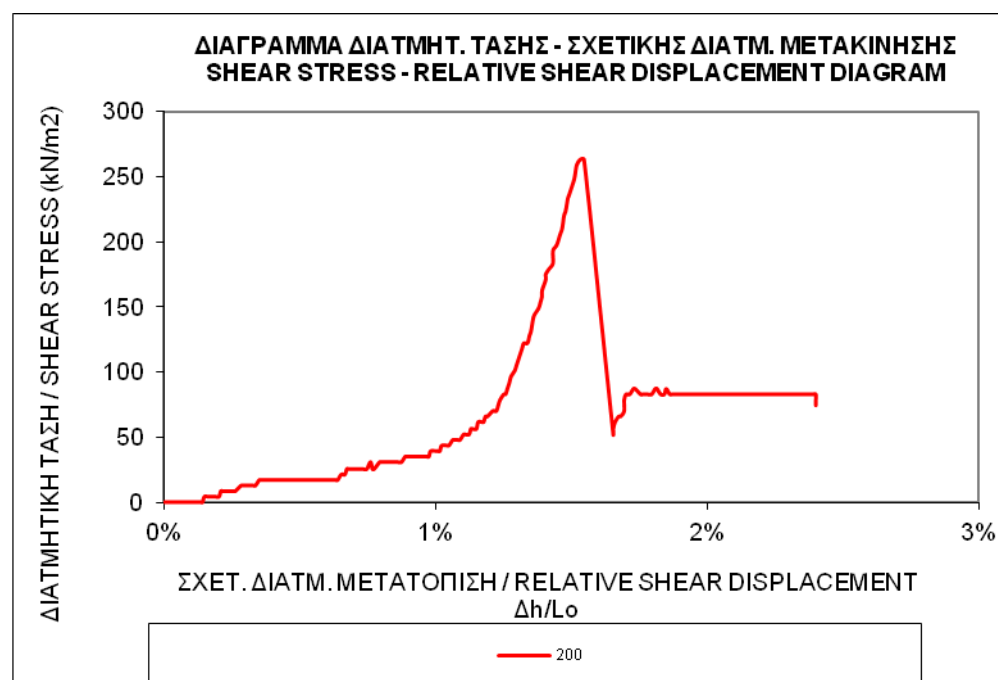
Σχήμα 5.12: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου C'4

5.13) Αποτελέσματα δοκιμίου D'1

Το δοκίμιο D'1, τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.13, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 200kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.13, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 262 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 83 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.13: Στοιχεία δοκιμίου D'1

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου D'1^{TOP}	
Μήκος	148,62 mm
Πλάτος	75,60 mm
Εμβαδόν	11237,94 mm ²
Ορθή Τάση	200 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1:1



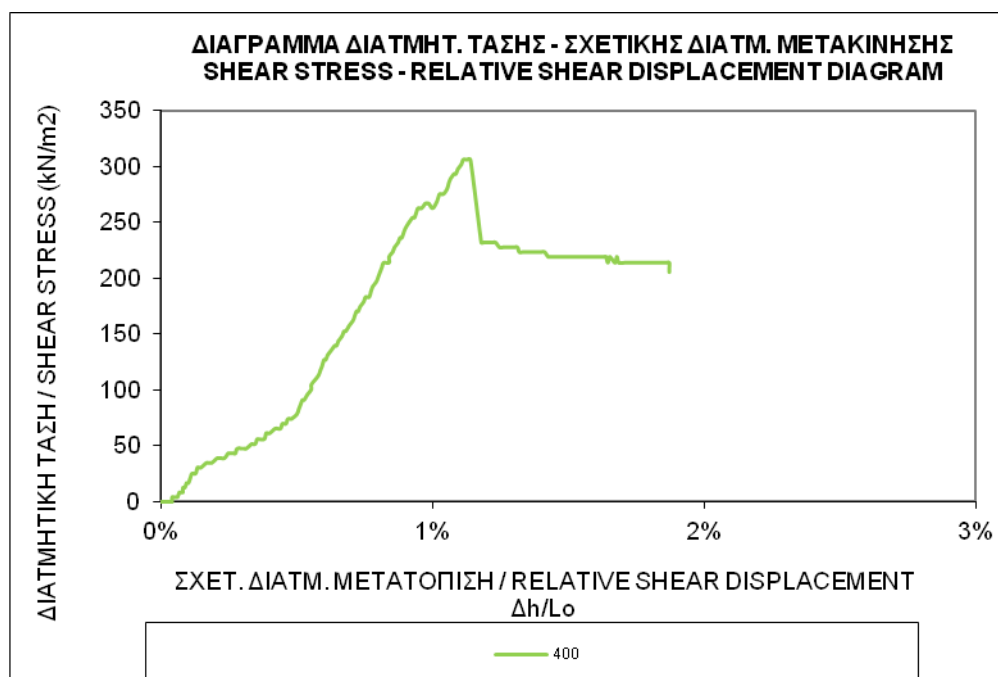
Σχήμα 5.13: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου D'1

5.14) Αποτελέσματα δοκιμίου D'2

Το δοκίμιο D'2, τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.14, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 400kPa και διάρκεια μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.14, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 306 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 213 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.14: Στοιχεία δοκιμίου D'2

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου D'2^{TOP}	
Μήκος	150,10 mm
Πλάτος	74,95 mm
Εμβαδόν	11.249,99 mm ²
Ορθή Τάση	400 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1:1



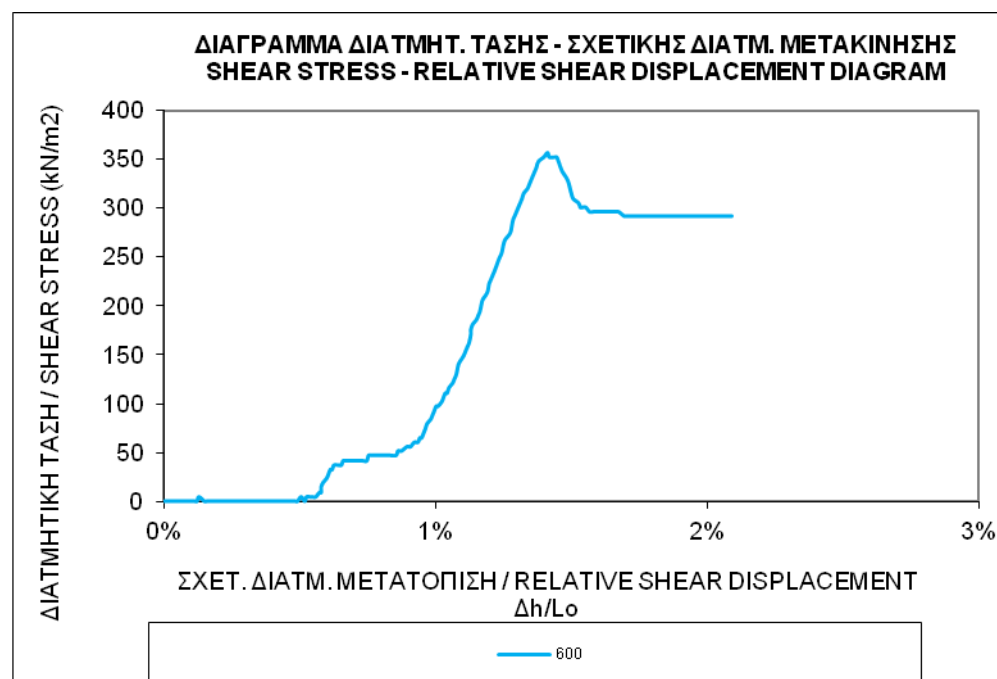
Σχήμα 5.14: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου D'2

5.15) Αποτελέσματα δοκιμίου D'3

Το δοκίμιο D'3 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.15, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 600kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.15, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 352 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 291 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.15: Στοιχεία δοκιμίου D'3

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου D'3^{TOP}	
Μήκος	148,65 mm
Πλάτος	75,60 mm
Εμβαδόν	11237,94 mm ²
Ορθή Τάση	600 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερό	1:1



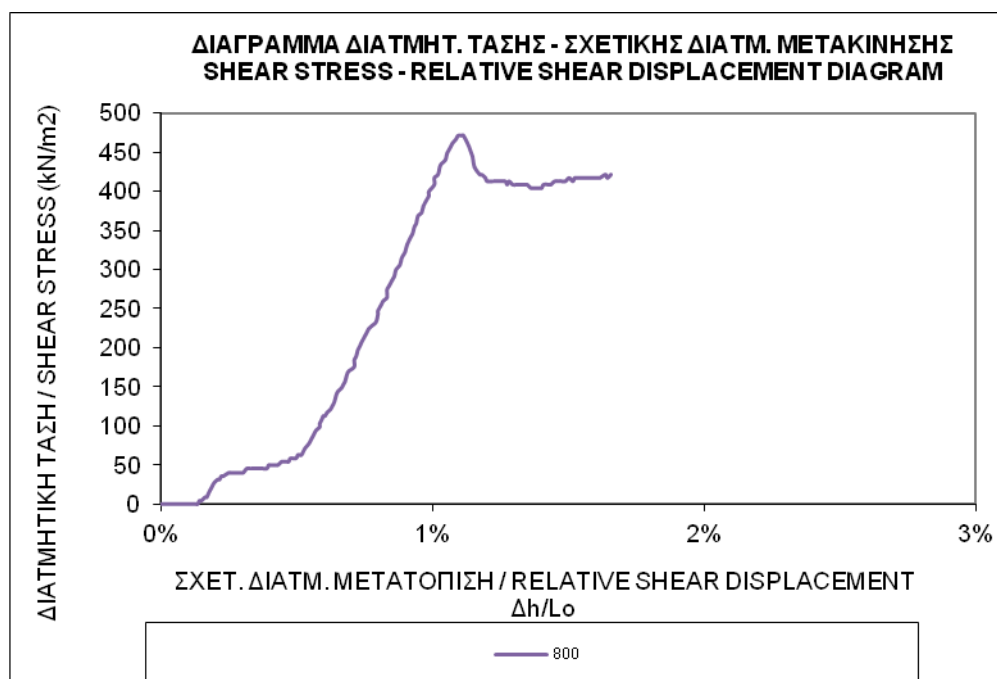
Σχήμα 5.15: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου D'3

5.16) Αποτελέσματα δοκιμίου D'4

Το δοκίμιο D'2 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.16, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 400kPa. και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.16, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 471 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 417 \text{ kPa}$

Πίνακας 5.16: Στοιχεία δοκιμίου D'4

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου D'4 TOP	
Μήκος	149,48 mm
Πλάτος	73,55 mm
Εμβαδόν	10994,25 mm ²
Ορθή Τάση	800 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1:1



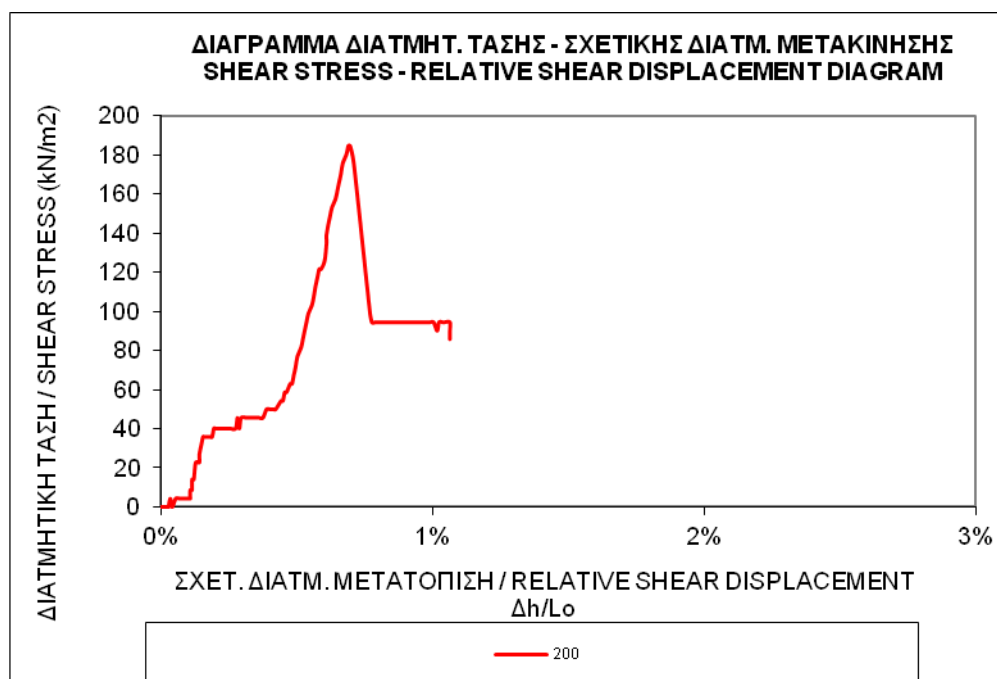
Σχήμα 5.16: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου D'4

4.17) Αποτελέσματα δοκιμίου Ε'1

Το δοκίμιο Ε'1 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.17, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 200kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.17, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak}=185kPa$ και $t_{residual} = 95 kPa$.

Πίνακας 5.17: Στοιχεία δοκιμίου Ε'1

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Ε'1 ^{TOP}	
Μήκος	149,20 mm
Πλάτος	71,60 mm
Εμβαδόν	10682,72 mm ²
Ορθή Τάση	200 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1:1,5



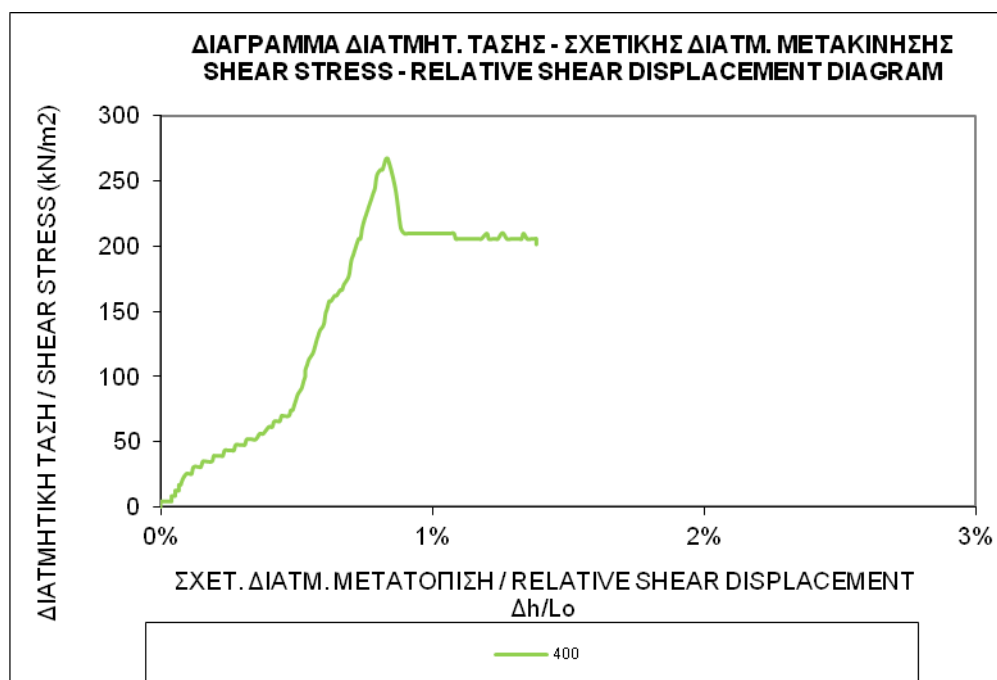
Σχήμα 5.17: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Ε'1

5.18) Αποτελέσματα δοκιμίου Ε'2

Το δοκίμιο D'2 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.18, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 400kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.18, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 267 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 205 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.18: Στοιχεία δοκιμίου Ε'2

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Ε'2^{TOP}	
Μήκος	148,20 mm
Πλάτος	75,75 mm
Εμβαδόν	11226,15 mm ²
Ορθή Τάση	400 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1:1,5



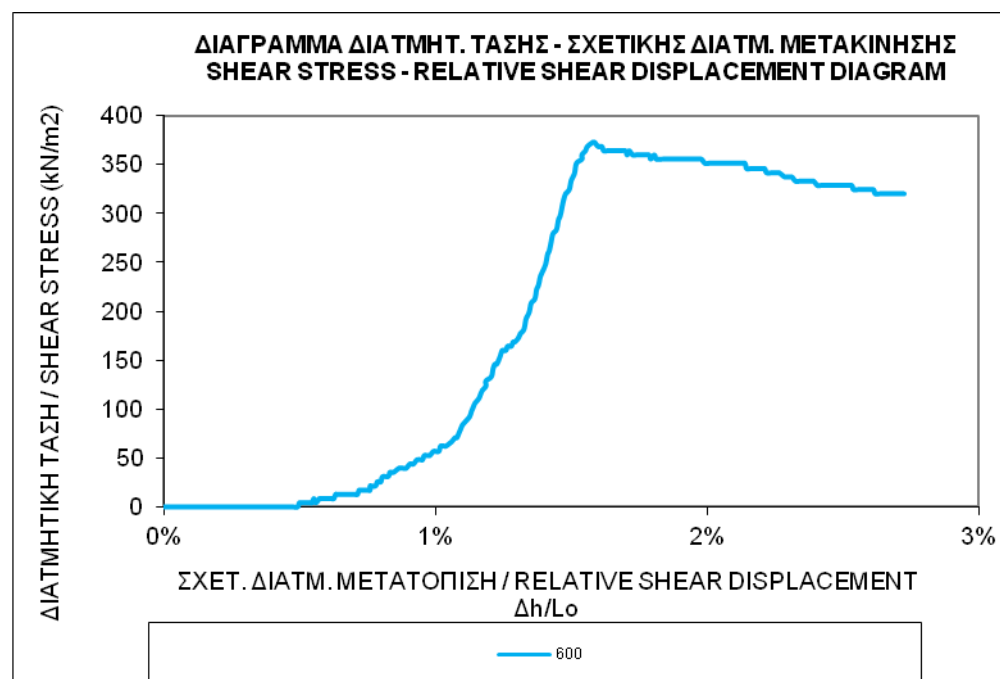
Σχήμα 5.18: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Ε'2

5.19) Αποτελέσματα δοκιμίου Ε'3

Το δοκίμιο Ε'3, τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.19, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 800kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.19, η αστοχία του δοκιμίου ήταν όλκιμου τύπου με $\tau_{peak} = 373 \text{ kPa}$ και $\tau_{residual} = 351 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.19: Στοιχεία δοκιμίου Ε'3

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Ε'3^{TOP}	
Μήκος	149,50 mm
Πλάτος	71,20 mm
Εμβαδόν	10644,40 mm ²
Ορθή Τάση	800 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1:1,5



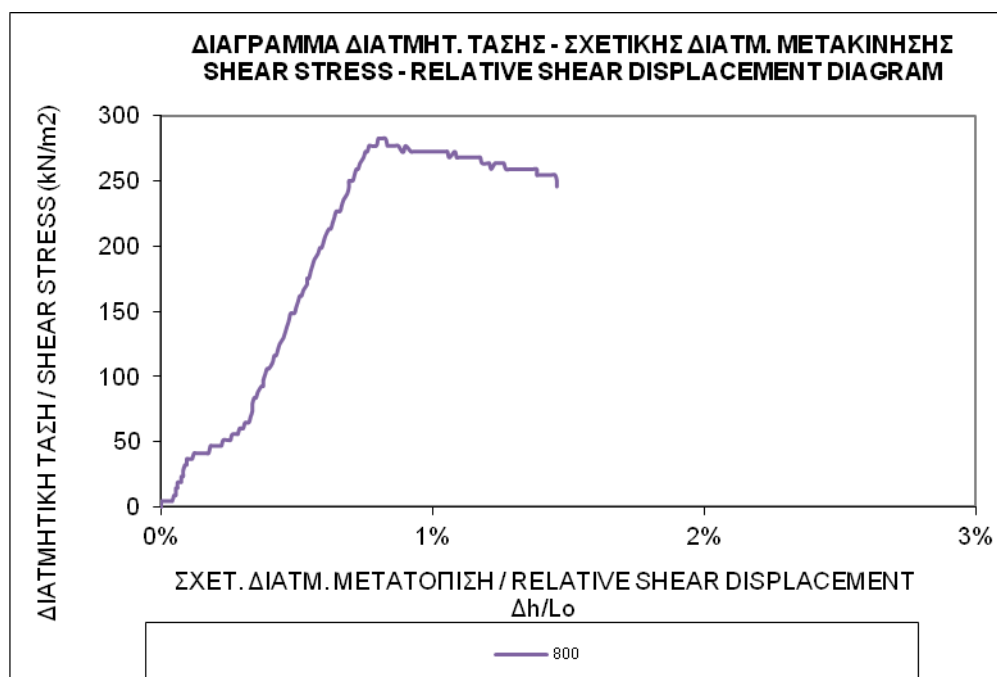
Σχήμα 5.19: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Ε'3

5.20) Αποτελέσματα δοκιμίου Ε'4

Το δοκίμιο Ε'4 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.20, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 600kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.20, η αστοχία του δοκιμίου ήταν όλκιμου τύπου με $\tau_{peak} = 282 \text{ kPa}$ και $\tau_{residual} = 267 \text{ kPa}$.

Πίνακας 5.20: Στοιχεία δοκιμίου Ε'4

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου Ε'4^{TOP}	
Μήκος	150,10 mm
Πλάτος	73,80 mm
Εμβαδόν	11077,38 mm ²
Ορθή Τάση	600 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	1:1,5



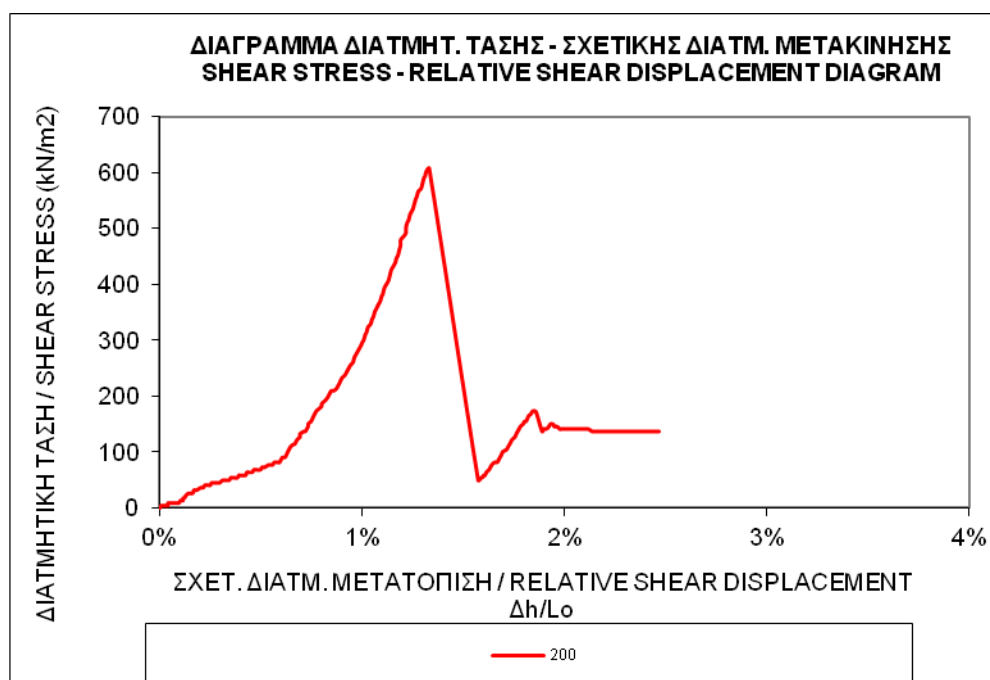
Σχήμα 5.20: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου Ε'4

4.21) Αποτελέσματα δοκιμίου F'1

Το δοκίμιο F'1 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.21, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 200kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.21, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 608$ και $t_{residual} = 137$.

Πίνακας 5.21: Στοιχεία δοκιμίου F'1

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου F'1 ^{TOP}	
Μήκος	148,75 mm
Πλάτος	72,30 mm
Εμβαδόν	10754,63 mm ²
Ορθή Τάση	200 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	3:1



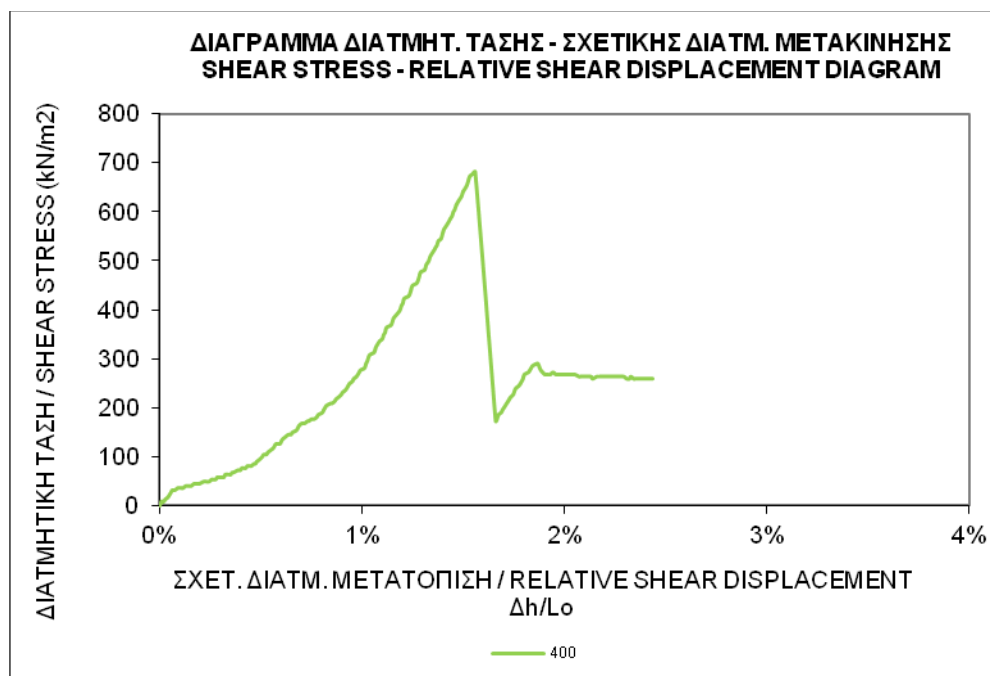
Σχήμα 5.21 : Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου F'1

5.22) Αποτελέσματα δοκιμίου F'2

Το δοκίμιο F'2 , τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.22, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 400kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.22, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 681\text{kPa}$ και $t_{residual} = 263\text{ kPa}$.

Πίνακας 5.22: Στοιχεία δοκιμίου F'2

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου F'2^{TOP}	
Μήκος	148,20 mm
Πλάτος	73,10 mm
Εμβαδόν	10833,42 mm ²
Ορθή Τάση	400 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	3:1



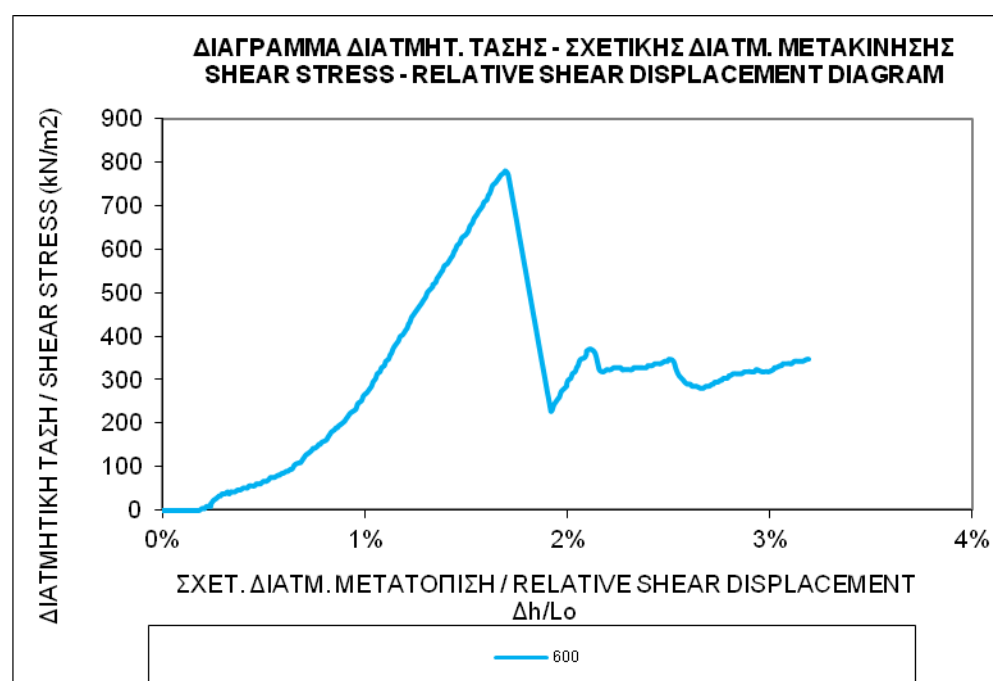
Σχήμα 5.22: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου F'2

5.23) Αποτελέσματα δοκιμίου F'3

Το δοκίμιο F'3, τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.23, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 600kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.23, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak}=780$ kPa και $t_{residual}=337$ kPa.

Πίνακας 5.23: Στοιχεία δοκιμίου F'3

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου F'3^{TOP}	
Μήκος	142,35 mm
Πλάτος	72,60 mm
Εμβαδόν	10334,61 mm ²
Ορθή Τάση	600 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	3:1



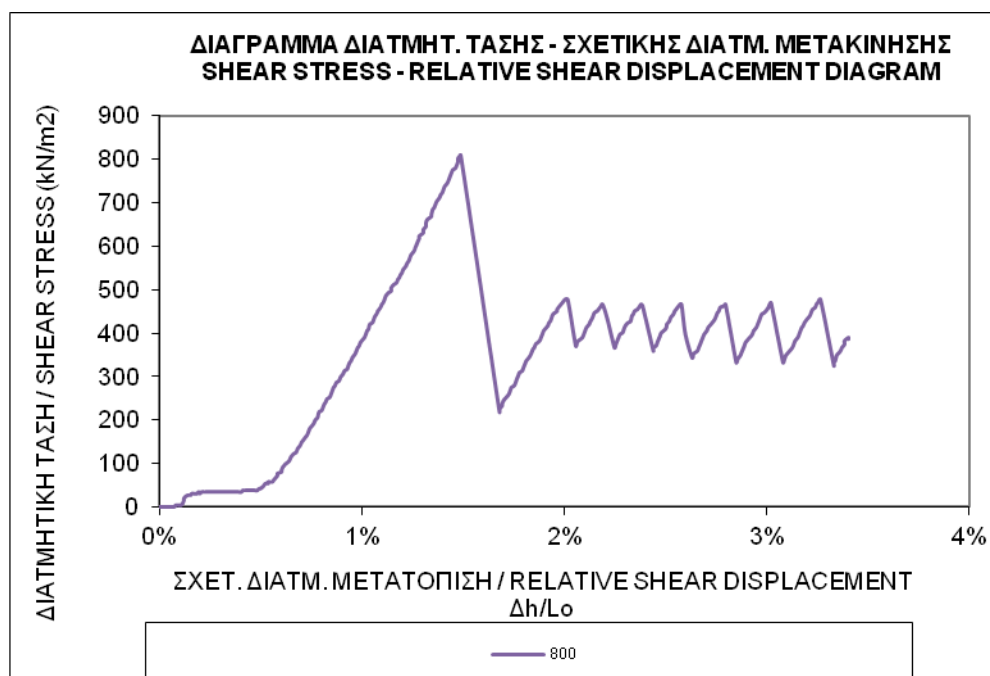
Σχήμα 5.23: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου F'3

5.24) Αποτελέσματα δοκιμίου F'4

Το δοκίμιο F'4, τα στοιχεία του οποίου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.24, υποβλήθηκε σε δοκιμή άμεσης διάτμησης. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην συσκευή άμεσης διάτμησης με επιβαλλόμενη ορθή τάση τα 800kPa και διήρκησε μέχρι την πλήρη αστοχία του δοκιμίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.24, η αστοχία του δοκιμίου ήταν ψαθυρού τύπου με $t_{peak} = 809 \text{ kPa}$ και $t_{residual} = 465 \text{ kPa}$

Πίνακας 5.24: Στοιχεία δοκιμίου F'4

Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης	
Στοιχεία Δοκιμίου F'4 ^{TOP}	
Μήκος	151,30 mm
Πλάτος	85,30 mm
Εμβαδόν	12905,89 mm ²
Ορθή Τάση	800 kPa
Αναλογία Ρητίνης / νερού	3:1



Σχήμα 5.24: Διάγραμμα διατμητικής τάσης-Σχετικής μετακίνησης δοκιμίου F'4

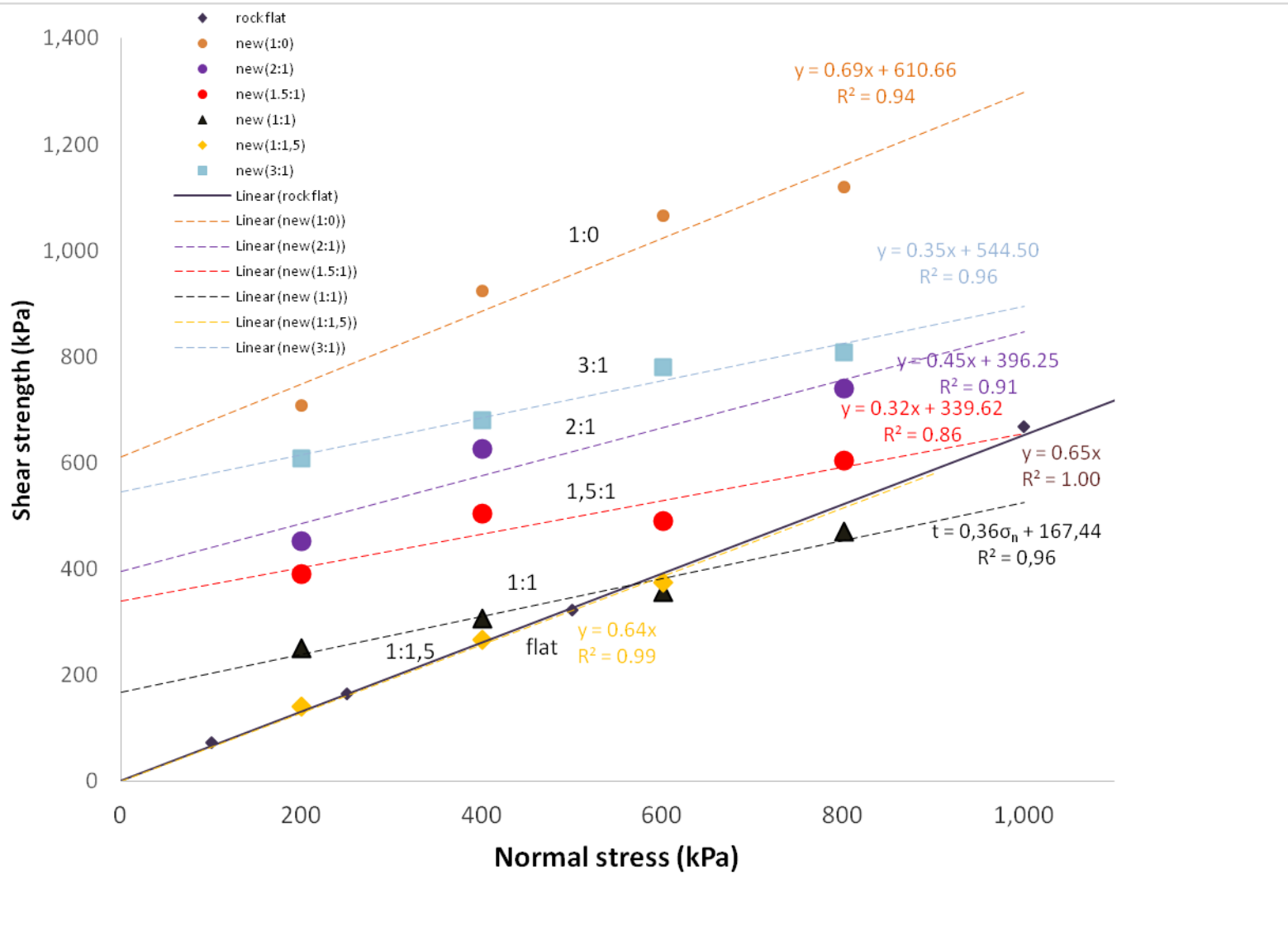
5.25.) Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Πίνακας 5.25: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

	ER/W	σ (kPa)	t_{peak} (kPa)	$t_{residual}$ (kPa)	t_p-t_r	μ	ϕ (°)	c (kPa)
A'	1,0:0	200	709	93	616	0,69	34,61	610
		400	923	270	653			
		600	1066	345	721			
		800	1120	482	638			
B'	2,0:1,0	200	501	124	377	0,45	24,23	396,25
		400	627	241	386			
		600	486	376	110			
		800	823	403	420			
C'	1,5:1,0	200	390	112	278	0,32	17,74	339,62
		400	504	221	283			
		600	372	232	140			
		800	605	249	356			
D'	1,0:1,0	200	262	83	179	0,36	19,80	167,44
		400	306	213	93			
		600	352	291	61			
		800	471	417	54			
E'	1,0:1,5	200	185	95	90	0,64	32,62	0
		400	267	205	62			
		600	373	351	22			
		800	282	267	15			
F'	3,0:1,0	200	608	137	471	0,35	19,20	544,50
		400	681	263	418			
		600	780	337	443			
		800	809	465	344			

Στο εργαστηριακό μέρος της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκαν δοκιμές άμεσης διάτμησης σε τεχνητές ασυνέχειες μαρμάρου Τρανόβλατου Κοζάνης , πληρωμένες με εποξειδική ρητίνη σε έξι διαφορετικές αναλογίες. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση της ρητίνης χωρίς νερό(A' 1:0) με σκοπό την εύρεση της μέγιστης διατμητικής αντοχής που εκφράζεται μέσω των παραμέτρων της γωνίας τριβής ϕ και της συνοχής c. Στην συνέχεια οι επόμενες αναλογίες είχαν συνεχώς αυξανόμενο νερό μέχρι την τελική και πιο αραιή αναλογία (E' 1:1,5) που παρουσιάζει την μικρότερη διατμητική αντοχή. Στον πίνακα 5.25 παρουσιάζονται για κάθε αναλογία η ορθή τάση, η αντίστοιχη μέγιστη και παραμένουσα

διατμητική αντοχή, η πτώση τάσης, ο συντελεστής τριβής, η γωνία τριβής και η συνοχή. Επιπλέον, γραφικά παρουσιάζονται σε διάγραμμα ορθής τάσης-διατμητικής αντοχής στο Σχήμα 5.25.



Σχήμα 5.25: Διάγραμμα Ορθή τάσης – Διατμητικής τάση

Συμπεράσματα

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές απευθείας διάτμησης σε ασυνέχειες πετρώματος μαρμάρου από την περιοχή του Τρανόβαλτου Κοζάνης με υλικό πλήρωσης σε διάφορες αναλογίες εποξειδικής ρητίνης. Ο σκοπός ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της αναλογίας εποξειδικής ρητίνης / νερού στις παραμέτρους διατμητικής αντοχής διεπιφάνειας βράχου. Έτσι χρησιμοποιήθηκε καθαρή εποξειδική ρητίνη και μείγματα εποξειδικής ρητίνης/ νερού με αναλογίες 3, 2, 1,5, 1 και 0.67. Οι δοκιμές απευθείας διάτμησης πραγματοποιήθηκε με σταθερό κατακόρυφο φορτίο 200 kPa, 400 kPa, 600kPa και 800 kPa αντίστοιχα, εκ των οποίων τα κάτωθι συμπεράσματα εξήχθησαν:

1. Η χρήση ενεμάτων εποξειδικής ρητίνης χωρίς περιεκτικότητα σε νερό, αύξησε ελαφρώς τη γωνία τριβής ενώ παράλληλα προσέδωσε υψηλή συνοχή.
2. Ενέματα με προσθήκη νερού είχαν ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση της γωνίας τριβής, ωστόσο εμφάνισαν αξιόλογη αντοχή, με εξαίρεση βέβαια τα πολύ υδαρή ενέματα (ER/W = 1, 0,67) για τα οποία δεν υπήρξε ανάπτυξη συνοχής ή η συνοχή εμφανίστηκε ιδιαίτερα χαμηλή.
3. Η κλίση της γωνίας τριβής δεν φάνηκε να εξαρτάται από την αναλογία ER/W. Η τιμή κυμάνθηκε από 17,74° έως 34,61°.
4. Η συνοχή εμφανίστηκε να είναι άμεσα εξαρτώμενη από την αναλογία ER/W. Όσο πιο πυκνή η αναλογία τόσο μεγαλύτερη η συνοχή.

Εν κατακλείδι, η χρήση εποξειδικής ρητίνης χωρίς νερό ή αραιωμένη με νερό έως την αναλογία ER/W=1,5 κρίνεται ως συμφέρουσα για την βελτίωση της ολικής διατμητικής αντοχής του βράχου.

Βιβλιογραφία

Αναγνωστόπουλος, Κ.,(1996).*Βελτίωση φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτωντσιμεντενέσεων με χρήση οργανικών ενώσεων*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Brown ET ed. (1981). "Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods", Pergamon Press.

Deere, D.V., (1976). Dams on rock foundations -Sane Design questions, Rock Engineering for Foundations and Slopes Conference II, Colo., 121-140.

Fingerhut, L., (1971). Longholr drilling with rock drill 53, Atlas Copco, MTC- Printed Matter 15078, Stockholm.

Flores, R., Rodriguez, J., Kreutzer, H., Schneider, T., (1985). Unusual Grout curtain in Karstic limestone for the El Cahon Dam in Honduras, Trans, XVth ICOLD, Lausanne, vol. III, 965-980.

Harris, R.R.W., (1982). Prestress grouting of high-pressure waterways, CGGE, New Orleans, 859-873.

Houlsby, A.C., (1985). Cement grouting: water minishing practice, issues in Dam grouting, ASCE, Denver, 34-75.

Hoek E. (1983). "Strength of jointed rock masses", Geotechnique, 33, 3, 187-223.

Houlsby, A.C., (1981). Grouting and sheathing of post-tensioning tendons, Bulletin of Australian National Committee on Large Dams, No. 58, 33-35.

Houlsby, A.C., (1988) Improvements in grouting of large ground anchors, ASCE Journal of geotechnical Engineering, Vol. 114, 448-468.

Hudson J.A. (1989). "Rock Mechanics Principles in Engineering Practice", CIRIA/Butterworths, London, 72pp.

Klosterman, M.J., (1982) Easterly, M.M., Grouting at Clarence Cannon Dam: a new approach, CGGE, New Orleans, 338-345.

Κούκης, Γ., Σαμπατάκης, Στ.,(2002). *Τεχνική Γεωλογία Β' έκδοση* , Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Mongillard, E, and Tornaghi, R., (1986). Construction of large underground openings and use of grouts, Presented in Beijing, Rodio S.p.a, Milano, Italy.

Νομικός, Π., (2015) *Εισαγωγή στην μηχανική των πετρωμάτων*, Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. www.kallipos.gr

Nonveiller, E., (1970). A rational approach to the design of grout curtains, IInd, ICISRM, Belgrade, Vol. 3, R.6, 1-3, (1970).

Pavlin, B., (1978). Design of grout curtain Zrnovhica, Design Documentation, Electroproject, Zagreb.

Pollaty, J.M., (1982). Discussion at Conference on Grouting in Geotechnical Engineering, Vol. 2, ASCE, New Orleans.

Σοφιανός, Α., Νομικός, Π.(2008). *Προχωρημένη Μηχανική των Πετρωμάτων*. ΠΜΣ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Τομπουλίδου, Σ.(2015). *Επίδραση της ανισοτροπίας και της κλίμακας στην ευστάθεια βραχωδών πόρων*, ΜΔΕ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

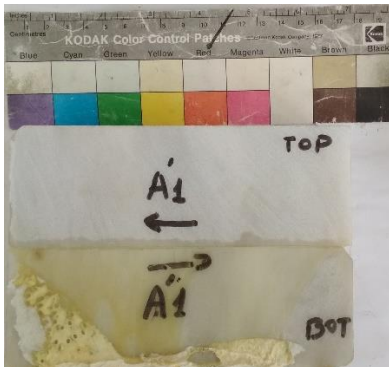
Τσικρίκης, Α.(2022). *Πειραματική Γεωμηχανική*. ΠΜΣ, Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος, Σίνδος.

Τσικρίκης, Α.(2021) *Συσχέτιση παραμέτρων διατμητικής συμπεριφοράς ασυνεχειών και άρρηκτου πετρώματος*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Τσικρίκης, Α.(2015) *ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΓΩΝΙΑΣ ΤΡΙΒΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ m_i ΤΟΥ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ ΗΟΕΚ & BROWN*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Παράρτημα

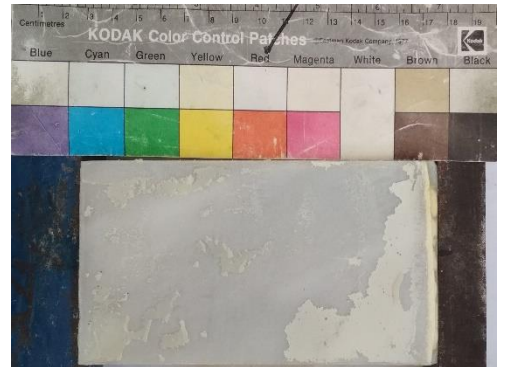
A'1



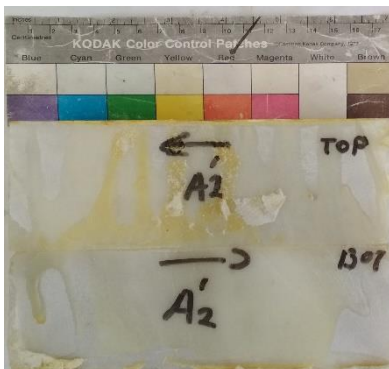
A'1 TOP



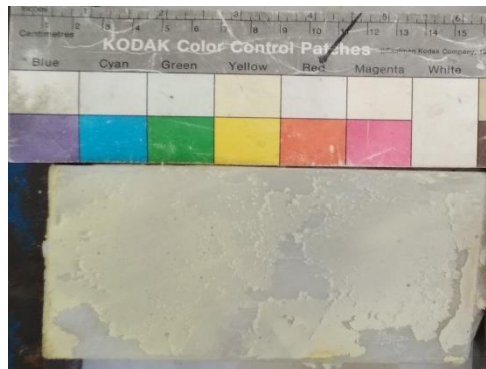
A'1 BOT



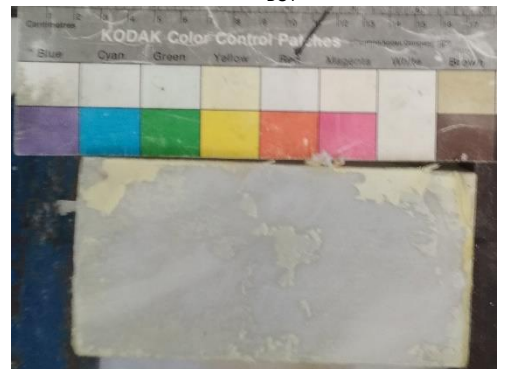
A'2



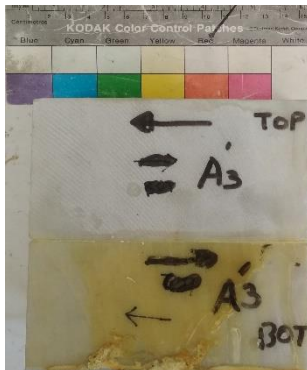
A'2 TOP



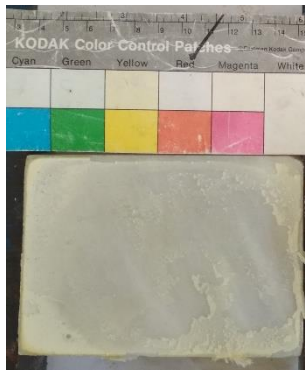
A'2 BOT



A'3



A'3 TOP



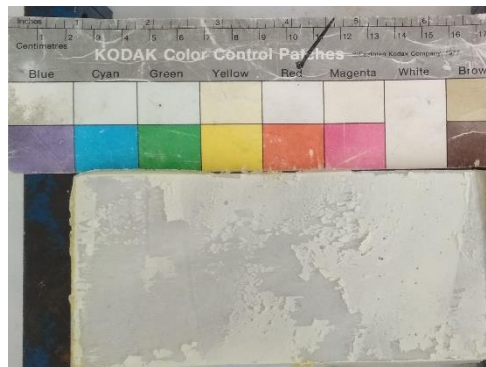
A'3 BOT



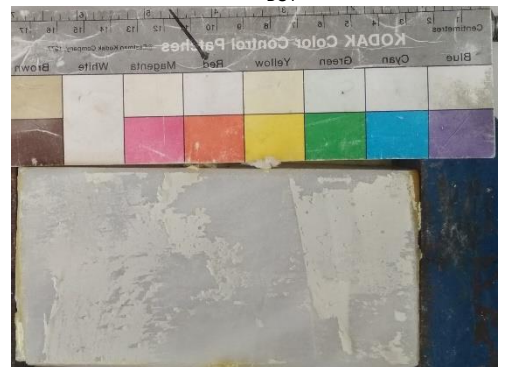
A'4



A'4 TOP



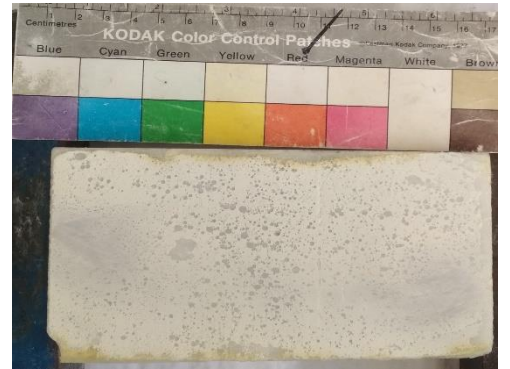
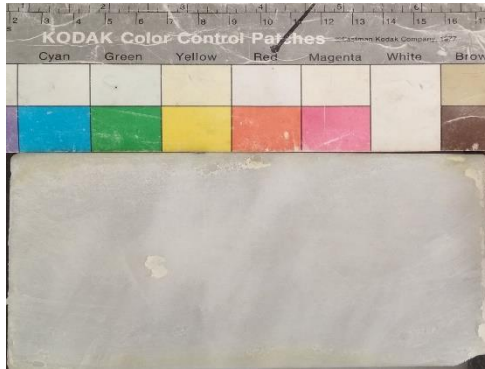
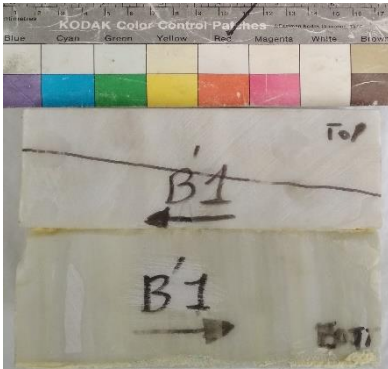
A'4 BOT



B'1

B'1^{TOP}

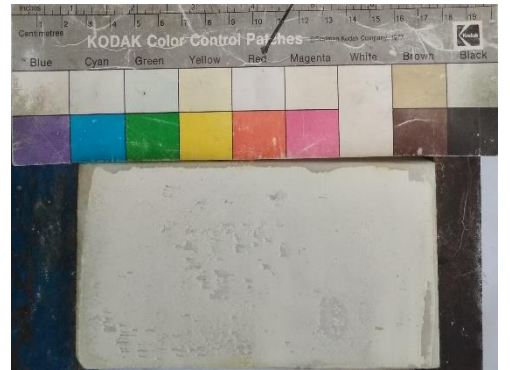
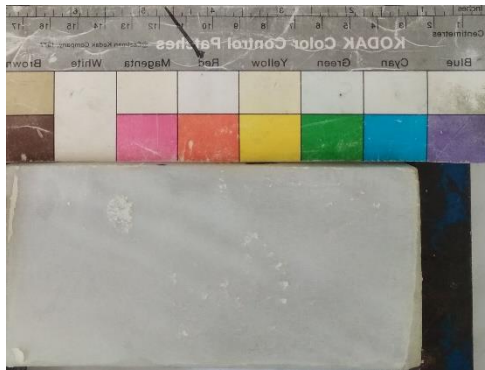
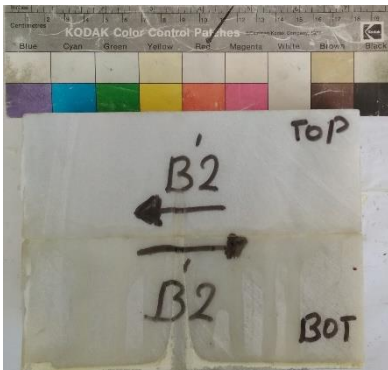
B'1^{BOT}



B'2

B'2^{TOP}

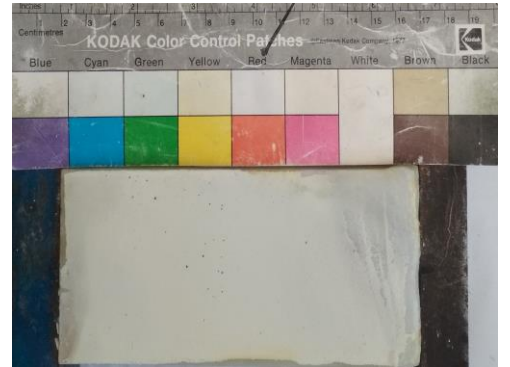
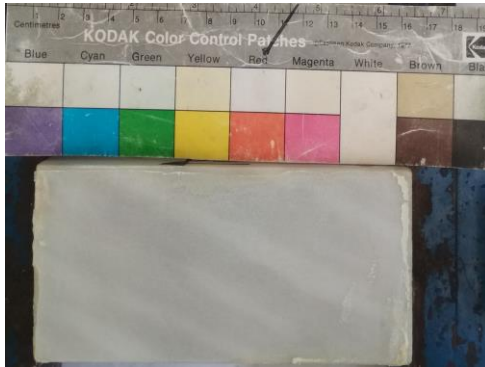
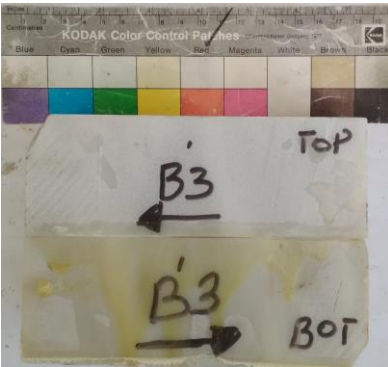
B'2^{BOT}



B'3

B'3^{TOP}

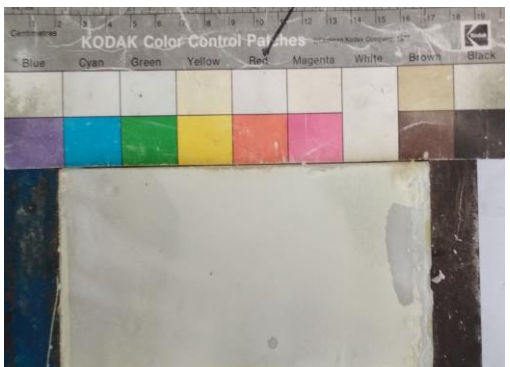
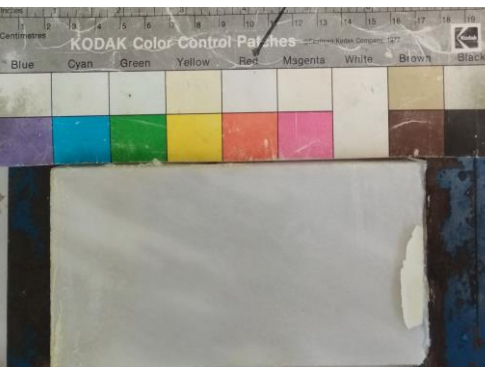
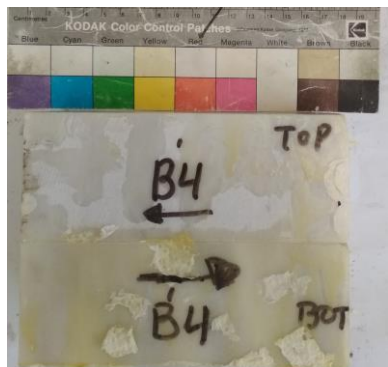
B'3^{BOT}



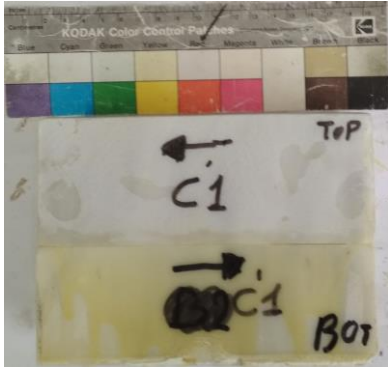
B'4

B'4^{TOP}

B'4^{BOT}



C'1



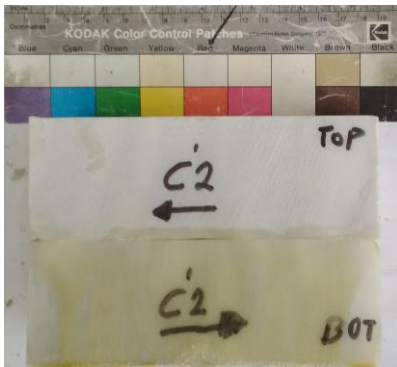
C'1 TOP



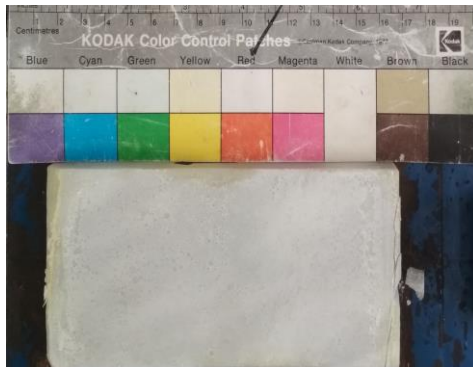
C'1 BOT



C'2



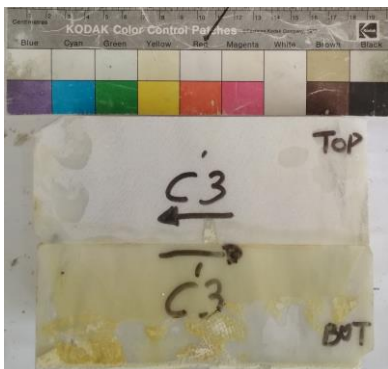
C'2 TOP



C'2 BOT



C'3



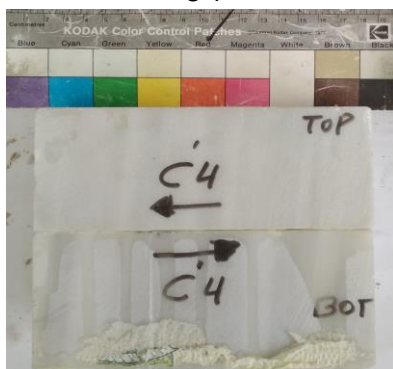
C'3 TOP



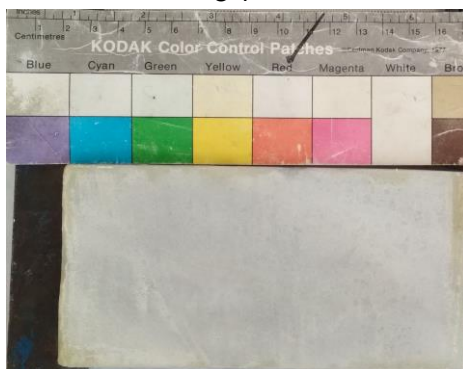
C'3 BOT



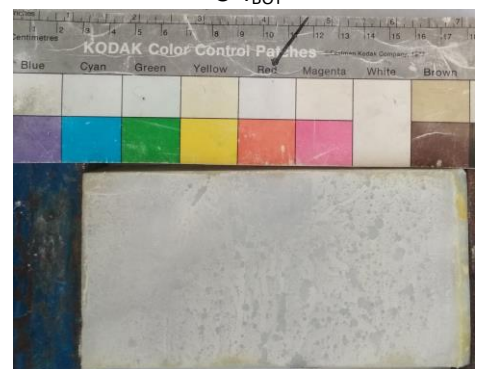
C'4



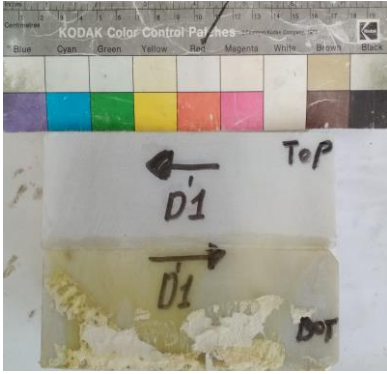
C'4 TOP



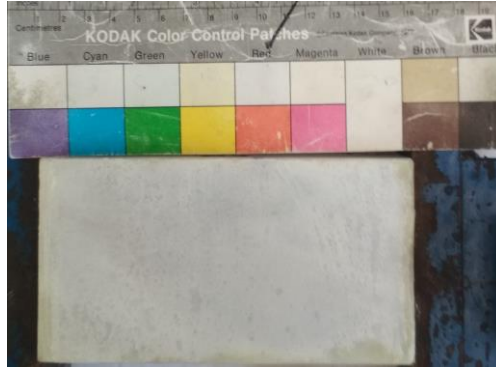
C'4 BOT



D'1



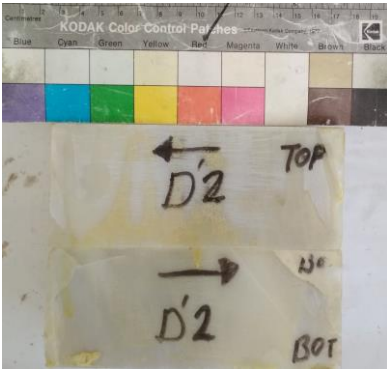
D'1 TOP



D'1 BOT



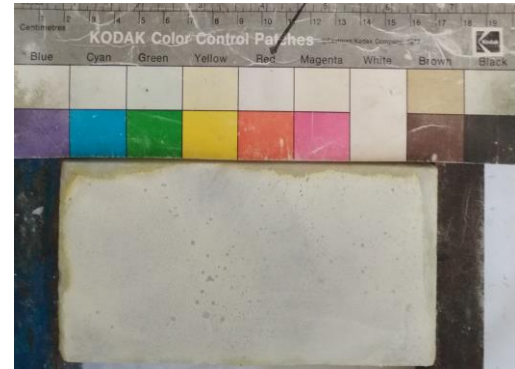
D'2



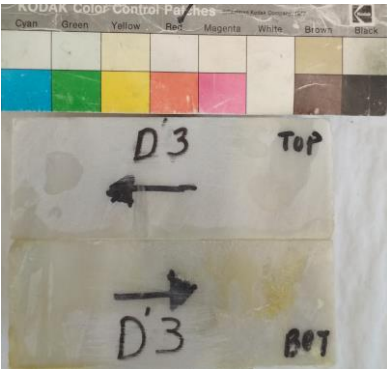
D'2 TOP



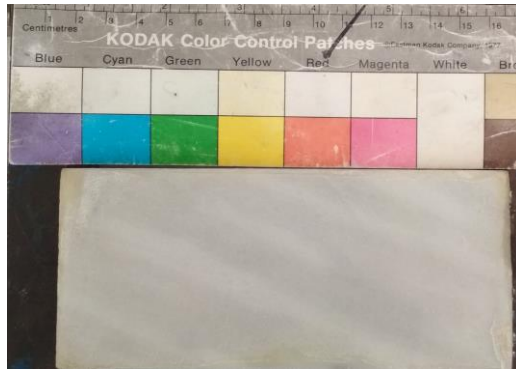
D'2 BOT



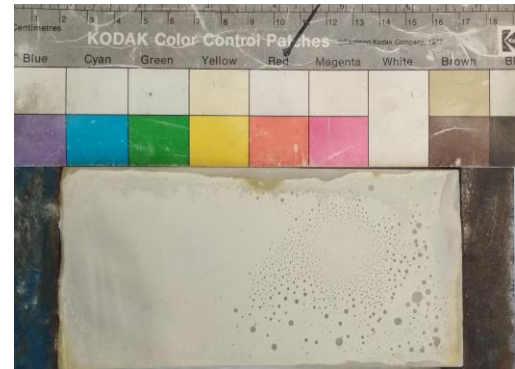
D'3



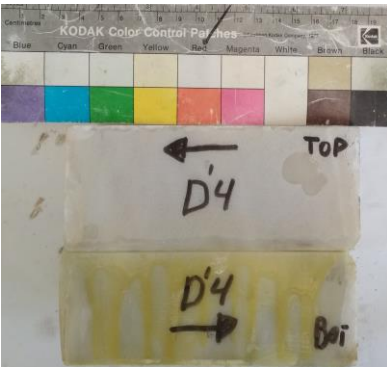
D'3 TOP



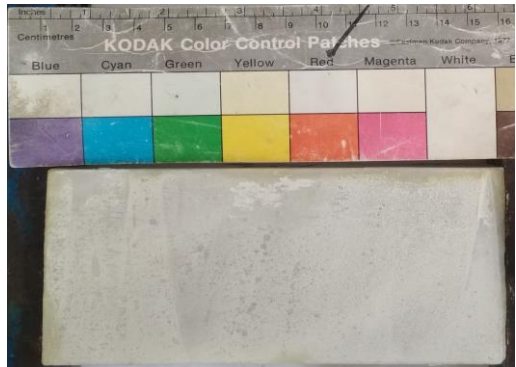
D'3 BOT



D'4



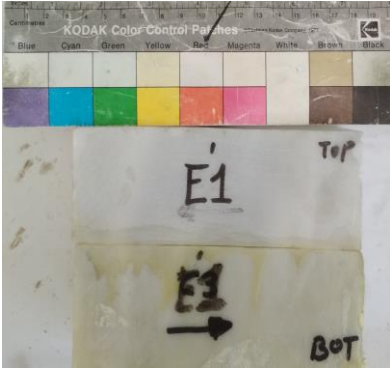
D'4 TOP



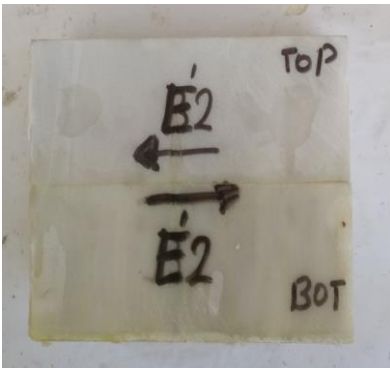
D'4 BOT



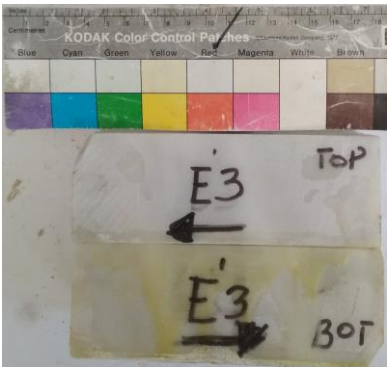
E'1



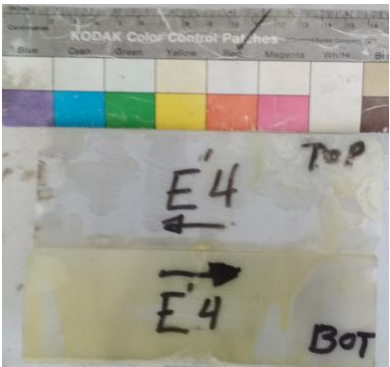
E'2



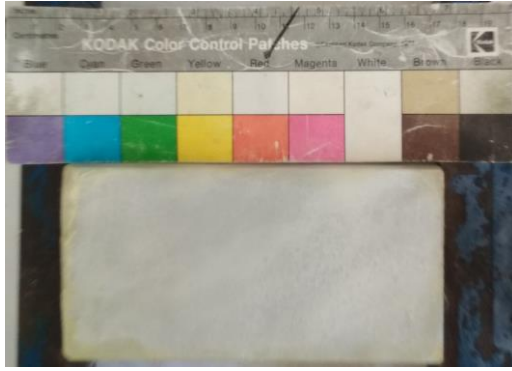
E'3



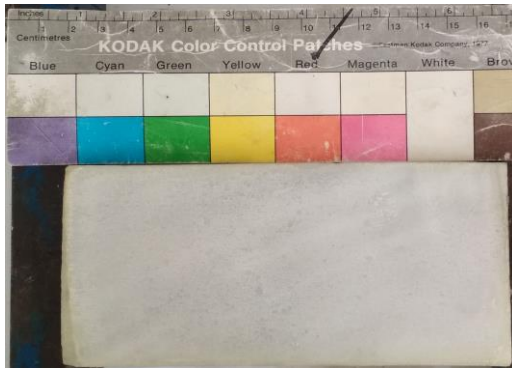
E'4



E'1 TOP



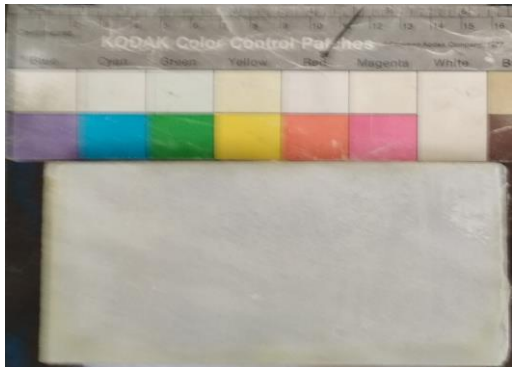
E'2 TOP



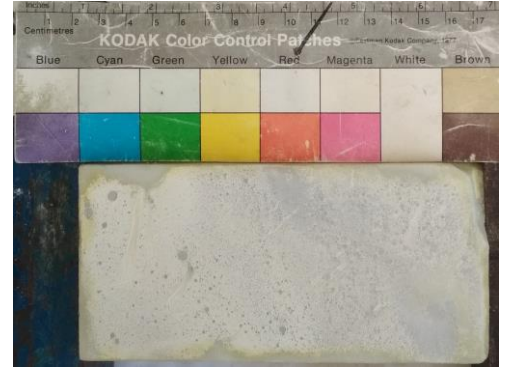
E'3 TOP



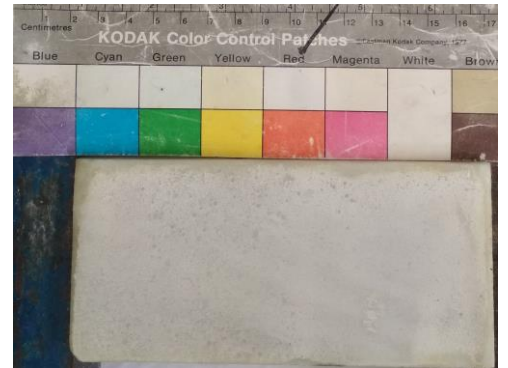
E'4 TOP



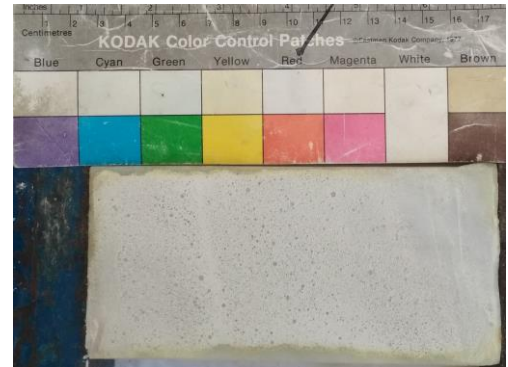
E'1 BOT



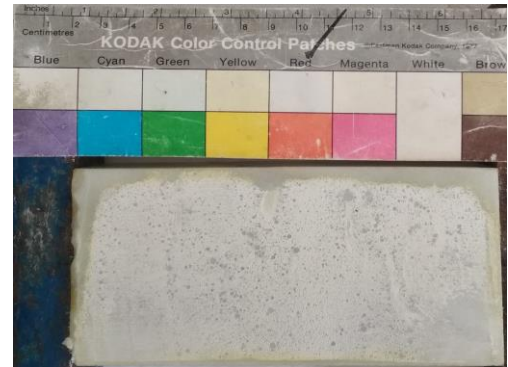
E'2 BOT



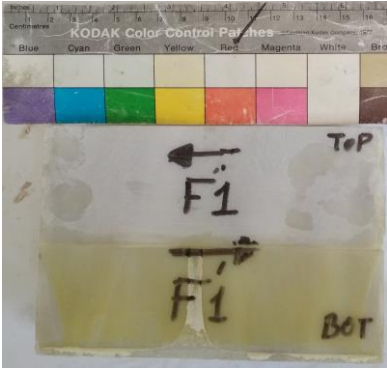
E'3 BOT



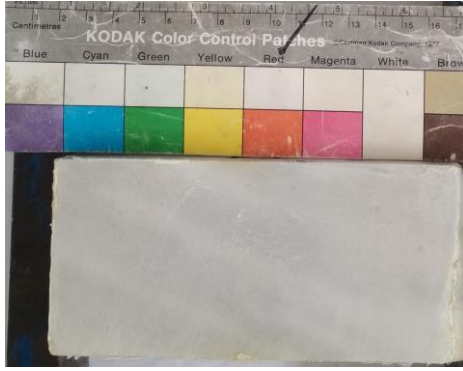
E'4 BOT



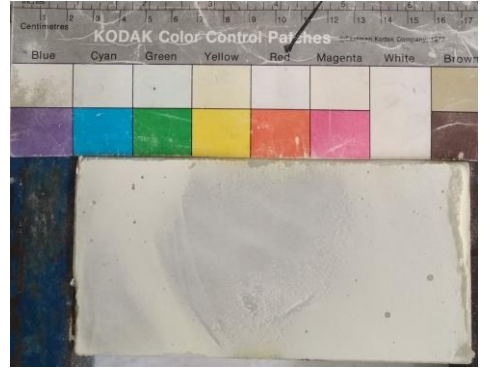
F'1



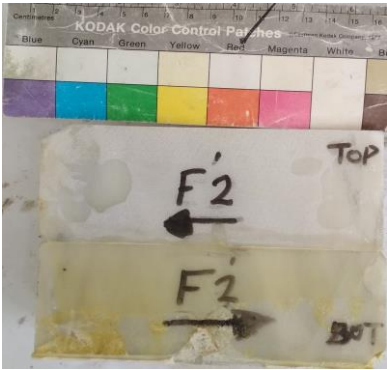
F'1 TOP



F'1 BOT



F'2



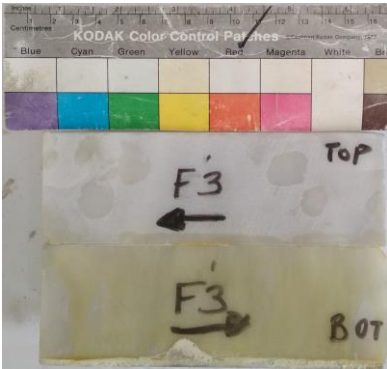
F'2 TOP



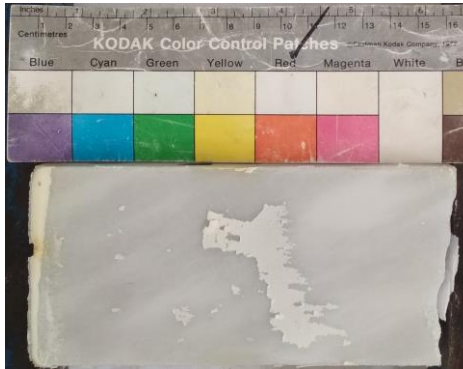
F'2 BOT



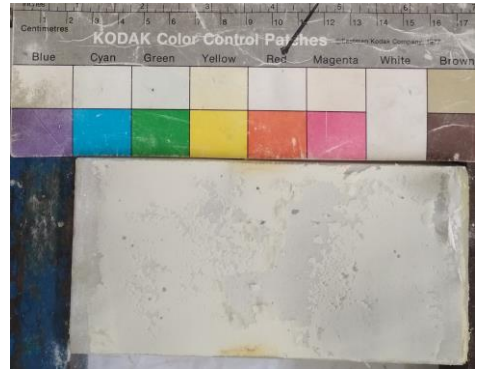
F'3



F'3 TOP



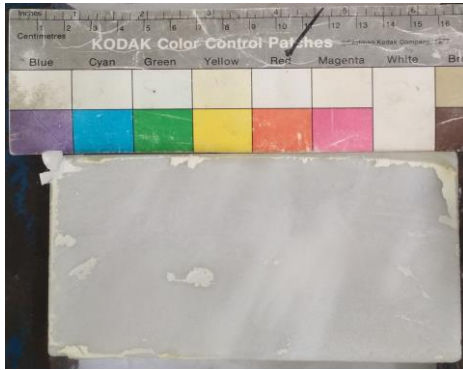
F'3 BOT



F'4



F'4 TOP



F'4 BOT



