



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΧΗΜΙΚΑ ΕΝΕΜΕΝΗΣ ΆΜΜΟΥ ΥΠΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ο μελετητής:

ΡΑΠΟ ΜΑΡΙΝΕΛΑ

Ο επιβλέπων:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Α. ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΜΑΪΟΣ 2018

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία «Μηχανική Συμπεριφορά Χημικά Ενεμένης Άμμου υπό Δυναμική Φόρτιση» απευθύνεται κατά κύριο λόγο στους σπουδαστές του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. των Τ.Ε.Ι. της χώρας και στοχεύει στην παροχή των γνώσεων, που απαιτούνται στον τομέα της ενίσχυσης των εδαφών.

Αποτελεί κυρίως πειραματική έρευνα, εκτός από πτυχιακή εργασία, στις μηχανικές ιδιότητες ενεμένης άμμου με υδατοδιαλυτή εποξειδική ρητίνη και μπετονίτη υπό δυναμικές φορτίσεις. Με αυτόν τον τρόπο γεφυρώνεται η απόσταση που χωρίζει τη θεωρία από την πράξη, αφού συνδυάζει θεωρητικές γνώσεις, αλλά και πρακτικές.

Το περιεχόμενο χωρίζεται σε έξι κεφάλαια, τα οποία περιέχουν:

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται κυρίως σε θεωρητικές πληροφορίες για τις κατηγορίες των εδαφών, που περιλαμβάνει τη γαλλική άμμο, τα γενικά της χαρακτηριστικά, καθώς και ένα τύπο ελληνικής άμμου.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει την ενίσχυση των εδαφών. Συγκεκριμένα αναφέρεται στις μεθόδους ενίσχυσης τους, σε ιστορικά.

Το τρίτο κεφάλαιο αναλύει τη βελτίωση εδαφών με χρήση χημικών ενεμάτων, τον τρόπο μελέτης των μεθόδων, γενικά χαρακτηριστικά ενεμάτων, και αναφορές σε κάποια συγκεκριμένα παραδείγματα εφαρμογών τους.

Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελείται από τα υλικά της πειραματικής διαδικασίας. Υπάρχουν δεδομένα για την εποξειδική ρητίνη, τον λόγο επιλογής της καθώς και χαρακτηριστικά του μπετονίτη που χρησιμοποιήσαμε.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών, στις οποίες καταπονήθηκαν τα δοκίμια. Περιλαμβάνονται αναλυτικοί πίνακες και διαγράμματα από κάθε δοκιμή, καθώς μέσω αυτών βγαίνουν χρήσιμα συμπεράσματα.

Η τελευταία σελίδα αναφέρεται στην βιβλιογραφία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάποιον που επιθυμεί να εμβαθύνει τις γνώσεις του στο συγκεκριμένο αντικείμενο, αλλά και για να έχει πληρέστερη θεωρητική κάλυψη.

Υπάρχει ανάγκη έκφρασης ευχαριστιών ως προς το πρόσωπο του καθηγητή και σπουδαίο επιστήμονα, του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Ιδρύματος, του Αναγνωστόπουλου Κωνσταντίνου, για την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία του.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 ^ο : Είδη εδαφών	
1.1 Γενικά.....σελ. 5	
1.2 Γενικές κατηγορίες εδαφών.....σελ. 6	
1.3 Γαλλική άμμος.....σελ. 7	
1.4 Ελληνική άμμος.....σελ. 9	
Κεφάλαιο 2 ^ο : Μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης εδαφών	
2.1 Ιστορικά δεδομένα.....σελ. 10	
2.2 Εισαγωγή – Τεχνικές.....σελ. 11	
2.3 Βελτιώσεις εδαφών.....σελ. 12	
Κεφάλαιο 3 ^ο : Βελτίωση εδάφους – Χημική σταθεροποίηση με ενέματα	
3.1 Εισαγωγή.....σελ. 17	
3.2 Τρόπος μελέτης μεθόδων.....σελ. 17	
3.3 Χημική σταθεροποίηση με ενέματα.....σελ. 18	
3.4 Γενικά χαρακτηριστικά ενεμάτων.....σελ. 19	
3.4.1 Φυσικές και Χημικές θεωρήσεις για τον σχηματισμό χημικών κονιαμάτων.....	
3.4.2 Εφαρμογή – Εξέλιξη των τεχνικών πολυμερισμού στη λύση προβλημάτων των ενέσεων	
3.4.3 Κοινά χαρακτηριστικά στα ενέματα που βασίζονται σε οργανικά μονομερή.....	
3.5 Εφαρμογή των χημικών ενεμάτων με αναφορά σε συγκεκριμένα παραδείγματα	
3.5.1 Κριτήρια για την διαλογή χημικών κονιαμάτων.....	
3.5.2 Παραδείγματα εφαρμογής	
3.5.3 Ενέσεις ρητίνης με επεξεργασία των λεπτών, ιλυωδών άμμων του Woolwich και Readink Beds στο New Blackwall Junnel.....	
Κεφάλαιο 4 ^ο : Υλικά πειραματικής διαδικασίας	
4.1 Γενικά χαρακτηριστικά εποξειδικής ρητίνηςσελ. 43	
4.2 Χρήσης εποξειδικών ρητινών.....σελ. 45	
4.3 Μπετονίτηςσελ. 50	
Κεφάλαιο 5 ^ο :	
5.1 Μηχανικές συμπεριφορά χημικά ενεμένης άμμου υπό συνθήκες δυναμικής φόρτισης – Γαλλική άμμος, με απώλεια μπετονίτη – σε ξηρές συνθήκες.....σελ. 52	
5.1.1 Εργαστηριακή διαδικασία.....σελ. 53	
5.1.2 Δυναμική φόρτιση.....σελ. 54	
5.1.3 Δυναμική τριαξονική θλίψη.....σελ. 54	
5.1.4 Μέτρο ελαστικότητας.....σελ. 58	
5.1.5 Συντελεστής CSR σε συνάρτηση με τον αριθμό κύκλων.....σελ. 60	
5.1.6 Μοντέλο Ανάλυσης Μη Γραμμικής Παλινδρόμησης.....σελ. 61	
5.1.7 Συμπεράσματα.....σελ. 62	
5.2 Μηχανική συμπεριφορά χημικά ενεμένης άμμου υπό συνθήκες δυναμικής φόρτισης – Ελληνική άμμος, με χρήση μπετονίτη και χωρίς – σε υγρές συνθήκες.....	

5.2.1 Δυναμική φόρτιση.....	σελ. 63
5.2.2 Δυναμική τριαξονική θλίψη.....	σελ. 64
5.2.3 Μέτρο ελαστικότητας.....	σελ. 65
5.2.4 Συντελεστής CSR σε συνάρτηση με τον αριθμό κύκλων.....	σελ. 66
5.2.5 Συμπεράσματα.....	σελ. 67

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ. 68
-------------------	---------

Κεφάλαιο 1^ο : Είδη εδαφών

1.1. Γενικές πληροφορίες

Το έδαφος είναι ένα μη-συμπαγές πολυφασικό υλικό, που αποτελείται από ασύνδετους ή ελαφρά συνδεδεμένους στερεούς κόκκους, τα κενά των οποίων περιέχουν υγρά ή και αέρια. Τα κενά αυτά ονομάζονται αλλιώς και πόροι και συνήθως περιέχουν νερό και αέρα. Τα εδαφικά υλικά προέρχονται από τη μηχανική αλλά και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων.

Η μηχανική αποσάθρωση οφείλεται σε παράγοντες, όπως οι συνεχείς θερμοκρασιακές μεταβολές, ο παγετός, η διαβρωση λόγω νερού και αέρα, τις λειτουργίες των φυτών, ζώων και ανθρώπου, και οδηγεί σε κατεμαχισμό και θρυμματισμό των βράχων.

Αντίστοιχα, η χημική αποσάθρωση προκαλεί την αποσύνθεση των πετρωμάτων λόγω οξείδωσης, ενανθράκωσης, αναγωγής και άλλων χημικών διαδικασιών.

Γενικά, η χημική αποσάθρωση είναι ο κύριότερος παράγων γένεσης λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών, όπως για παράδειγμα ίλιο και άργιλο, ενώ η μηχανική αποσάθρωση αποτελεί κύριο λόγο δημιουργίας χονδρόκοκκων εδαφών, όπως χαλίκια και άμμο, χωρίς όμως να αποκλείεται και η μερική συμμετοχή της εναλλακτικής μεθόδου αποσάθρωσης στη γένεση εδαφικών σχηματισμών κάθε τύπου.

Η μεταφορά και απόθεση των ιζηματογενών εδαφικών σχηματισμών με το νερό οδηγεί στο διαχωρισμό τους κατά μέγεθος κόκκων. Έτσι, χονδρόκοκκα ιζήματα αποτίθενται συνήθως στις κοίτες των ποταμών και σε περιοχές κοντά στις εκβολές τους. Αντίθετα, τα λεπτόκοκκα ιζήματα μεταφέρονται αιωρούμενα σε μεγάλες αποστάσεις και αποτίθενται με αργό ρυθμό στον πυθμένα των θαλασσών και λιμνών μακριά από τις εκβολές των ποταμών, σχηματίζοντας οριζόντιες ή περίπου οριζόντιες στρώσεις. Αρκετά συνηθισμένη είναι και η διαδοχική απόθεση στρώσεων χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων ιζημάτων στην ίδια περιοχή, που οφείλεται είτε σε τεκτονικές κινήσεις του γήινου φλοιού είτε στη διαδοχή περιόδων έντονων βροχοπτώσεων και απορροών με ήπιες περιόδους. Ανεξάρτητα από τον τρόπο σχηματισμού, μεταφοράς και απόθεσης των εδαφών, η διάταξη των κόκκων τους δημιουργεί κενά τα οποία κατά την ιζηματογένεση στους πυθμένες των θαλασσών επληρουντο με νερό.

Στο μακρό χρονικό διάστημα, όμως, που μεσολάβησε από την ιζηματογένεση πολλοί εδαφικοί σχηματισμοί βρέθηκαν τελικώς πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και το νερό των πόρων αντικαταστάθηκε μερικά ή ολικά από αέρα. Έτσι, σήμερα, τα περισσότερα εδάφη περιέχουν στους πόρους τους και νερό και αέρα.

1.2. Γενικές κατηγορίες εδαφών

Οι κύριες γενικές κατηγορίες εδαφών είναι :

- Άμμος και χάλικες, τα οποία αποτελούν εδάφοι χωρίς συνοχή. Αποτελούνται από στρογγυλεμένα, γωνιώδη ή υπογωνιώδη θραύσματα πετρωμάτων ή ορυκτών. Σωματίδια μεγέθους μικρότερου των 2 mm χαρακτηρίζεται ως άμμος, αυτά που βρισκονται ανάμεσα σε 2mm με 75mm χαρακτηρίζονται ως χάλικες και αυτά που είναι 75 mm και άνω χαρακτηρίζονται ως κροκάλες.
- Ανόργανος ιλύς, η οποία αποτελεί λεπτόκοκκο έδαφος με μικρή ή μηδενική πλαστικότητα. Οι λιγότερο πλαστικές ποικιλίες αποτελούνται από ομοιόμορφους κόκκους χαλαζία και αναφέρονται συχνά με την ονομασία 'παιπάλη'. Οι τύποι της ιλύος με μεγαλύτερη πλαστικότητα περιλαμβάνουν αξόλογο ποσοστό λεπτών πλακοειδών σωματιδίων και χαρακτηρίζεται πλαστική. Λόγω της λείας υφής της η ανόργανη ιλύς εκλαμβάνεται συχνά σαν άργιλος αλλά αυτό μπορεί εύκολα να αποφευχθεί χωρίς χωρίς εργαστηριακές δοκιμές με απλές πρακτικές μεθόδους. Η ιλύς είναι σχετικά αδιαπέρατη. Όταν όμως βρίσκεται σε χαλαρή κατάσταση μπορεί να ανυψωθεί σε γεωτρητική οπή ή σε ερευνητικό φρέαρ σαν ιξώδες ρευστό.
- Οργανική ιλύς, το οποίο είναι λεπτόκοκκο και πλαστικό έδαφος, με προσμίξεις λεπτών σωματιδίων οργανικής ύλης. Είναι δυνατό επίσης να περιλαμβάνει όστρακα καθώς και ορατά τεμάχια φυσικών ουσιών σε αποσύνθεση. Το χρώμα του εδάφους αυτού κυμαίνεται από ανοικτό μέχρι σκούρο φαιό. Η διαπερατότητα της οργανικής ιλύος είναι πολύ μικρή και η συμπιεστότητα της πολύ μεγάλη.
- Άργιλος, η οποία είναι λεπτόκοκκο υλικό που αποτελείται από σωματίδια ορατά ή μη με το μικροσκόπιο που προέρχονται από την αποσύνθεση των συστατικών των πετρωμάτων. Είναι πλαστική για μέση έως μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό. Τα ξηρά δείγματα είναι πολύ σκληρά και δεν αποβάλλουν σκόνη όταν η επιφάνεια τους τρίβεται με τα δάκτυλα. Η διαπερατότητα της αργίλου είναι πολύ μικρή.
- Οργανική άργιλος, η οποία οφείλει μερικές από τις πιο σημαντικές φυσικές ιδιότητες της στην παρουσία λεπτά καταμερισμένων οργανικών υλών. Όταν είναι κορεσμένη έχει μεγάλη συμπιεστότητα, σε ξηρή όμως κατάσταση εμφανίζει σημαντική αντοχή. Το χρώμα της είναι συνήθως βαθύ φαιό ή μαύρο. Η οργανική άργιλος είναι δυνατό να έχει ευδιάκριτη χαρακτηριστική οσμή.
- Τύρφη, η οποία αποτελείται από ινώδεις συμπλέγματα μακροσκοπικά ή μικροσκοπικά ορατών σωματιδίων, από οργανική ύλη σε αποσύνθεση. Το χρώμα της κυμαίνεται από ανοικτό καστανό μέχρι μαύρο. Η τύρφη είναι τόσο πολύ συμπιεστή, ώστε να αποτελεί σχεδόν πάντοτε ακατάλληλη στρώση για την έδραση θεμελίων.

1.3. Γαλλική άμμος

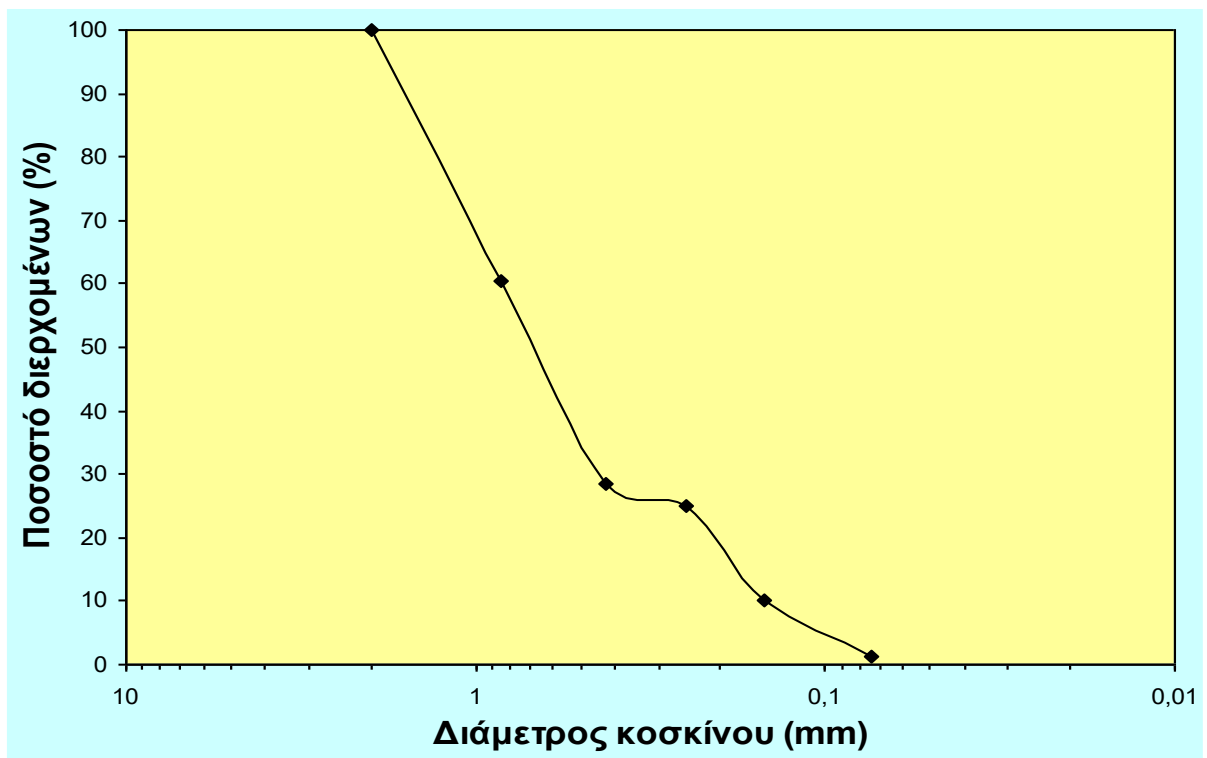
Γαλλική είναι η άμμος η οποία χρησιμοποιήθηκε στη πρώτη φάση της έρευνας. Ονομάστηκε γαλλική διότι προέρχεται από την Γαλλία και η προμήθεια της έγινε με παραγγελία από το εργαστήριο γεωμηχανικής του τμήματος Έργων Υποδομής του Α.Τ.Ε.Ι.Θ αρκετούς μήνες πριν τις εργασίες παρασκευής των δοκιμών. Ένα σακούλι της άμμου αυτής ζυγίζει 1350 ± 5 gr όπως φαίνεται και στην φωτογραφία.



Σχήμα 1.1 Γαλλική άμμος εισαγωγής (φωτογραφία από το εργαστήριο Σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Α. Τ. Ε. Ι.-Θ).

Πίνακας 1.1 Διανομή μεγέθους κόκκων της γαλλικής άμμου.

Κόσκιο	N° 10	N° 20	N° 40	N° 80	N° 100	N° 200
Ανοιγμα (mm)	2,00	0,84	0,42	0,25	0,149	0,074
Ποσοστό Διερχομένων (%)	100	60,43	28,46	24,94	10,28	1,248

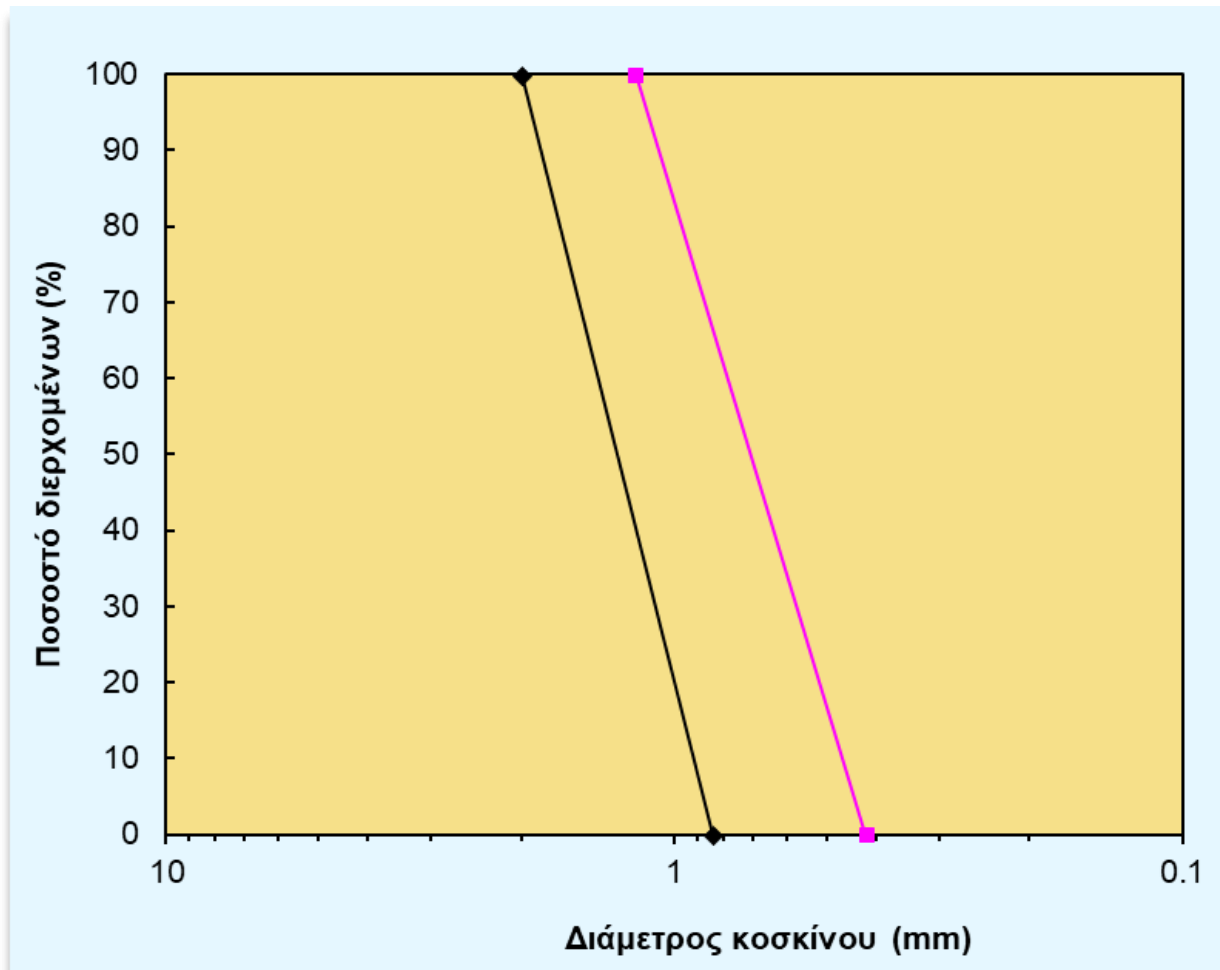


Σχήμα 1.2 Διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης της άμμου.

Σύμφωνα με την αξιολόγηση της καμπύλης το έδαφος μας λόγω απότομης – ισχυρής κλίσης είναι ομοιόμορφο και λόγω ομαλής κλίσης χαρακτηρίζεται επίσης και ως καλά διαβαθμισμένο.

1.4. Ελληνική άμμος

Ελληνική είναι η άμμος η οποία χρησιμοποιήθηκε στη δεύτερη φάση της έρευνας. Η προμήθεια της έγινε με παραγγελία από το εργαστήριο γεωμηχανικής του τμήματος Έργων Υποδομής του Α.Τ.Ε.Ι.Θ αρκετούς μήνες πριν τις εργασίες παρασκευής των δοκιμίων.



Σχήμα 1.3 Διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης της άμμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Μέθοδοι ενίσχυσης εδαφών

2.1. Ιστορικά δεδομένα

Από τα αρχαία χρόνια, από την περίοδο των Αιγυπτίων, Σουμερίων, Ασσυρίων, Ελλήνων, Κινέζων, Αράβων και Ρωμαίων αρχισε να εφαρμόζεται η ιδέα της βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους. Αυτό, είτε με την ανάμιξη υλικών, όπως τσιμέντο, ασβέστιο, πολυμερές υλικά κλπ, είτε με την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων, όπως πασάλους, διαφράγματα, γεωυφάσματα, ηλώσεις κλπ.

Η χρήση του υδρασβέστου στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους ήταν γνωστή στους Κινέζους, πριν από περίπου 3000 έτη, για βελτίωση των δρόμων. Την ίδια χρονική περίοδο επίσης οι Κινέζοι χρησιμοποιούσαν ξύλο ή bamboo για την ενίσχυση του εδάφους, μεθόδους που χρησιμοποιούν ακόμη και σήμερα για την δημιουργία φραγμάτων για προστασία του περιβάλλοντος από λασπορροές. Οι αρχαίοι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν ηφαιστιακή τέφρα, δηλαδή ποζολάνες, για διάφορες κατασκευές όπως η Απία Οδός, το Κολοσσαίο και το Πάνθεον.

Ακόμη στη Μεσοποταμία οι κάτοικοι χρησιμοποιούσαν ασφαλτο αναμεμιγμένη με αμμώδες έδαφος για κατασκευές δρόμων από το 3200 π.Χ., σύμφωνα με έρευνες της Asphalt Institute το 1965.

Η πρώτη σύγχρονη κατασκευή με ασφαλικό υλικό επικάλυψης σημειώθηκε στη Γαλλία το 1802, ενώ στη συνέχεια το 1824 ανακαλύφθηκε το τσιμέντο Portland από τον Joseph Aspdin, ο οποίος ήταν αγγλικής καταγωγής. Η ονομασία του συνδέθηκε με το χρώμα που ήταν όμοιο με αυτό του ασβεστόλιθου της νήσου Portland κοντά στην Αγγλία. Η πρώτη εφαρμογή σταθεροποίησης εδάφους με τσιμέντο τύπου Portland έγινε το 1904 στη περιοχή St Louis (USA). Από το 1940 και μετά οι γερμανοί αργότερα οι Βρετανοί και οι Αμερικάνοι κατασκεύασαν τους αεροδιαδρόμους πολλών πολεμικών αεροδρομίων με την τεχνική εδάφους – τσιμέντου. Την ίδια χρονική περίοδο η τεχνική της σταθεροποίησης εδάφους με διάφορα πρόσθετα, όπως τσιμέντο, ασβέστος, ιπτάμενη τέφρα, χημικές ενώσεις και άλλα, επεκτάθηκε στην Αυστραλία, Σκανδιναβία και Ιαπωνία. Άλλες τεχνικές σταθεροποίησης και ενίσχυσης μαλακών και συνεκτικών εδαφών είναι η βαθιά μίξης με πρόσθετα, για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών αυτών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε από τη Ιαπωνία το 1970, Σκανδιναβία, Σουηδία και Φιλανδία για εφαρμογές σε κτιριακά συγκροτήματα, θεμελιώσεις γεφυρών, κατασκευές αντιστήριξης κλπ. Η βασική στρατηγική όλων αυτών των τεχνικών είναι να βρεθεί η πιο κατάλληλη, αποτελεσματική και οικονομική μέθοδος που να βελτιώνει το έδαφος, ώστε οι μηχανικές του ιδιότητες να γίνουν παρόμοιες με αυτές των μαλακών βραχών, αυξάνοντας την ασφάλεια των γεωτεχνικών έργων.

2.2. Εισαγωγή

Με τον όρο βελτίωση η ενίσχυση ενός υλικού, φυσικού η θραυστού, εννοούμε την επεξεργασία του υλικού αυτού που αποβλέπει στη βελτίωση των γεωτεχνικών του ιδιοτήτων (αντοχή, διάβρωση, διαπερατότητα, συμπιεστότητα, πορώδες, φυσικά χαρακτηριστικά, μηχανικές ιδιότητες κλπ.). Ο Van Impe (1989) διαχωρίζει τις μεθόδους βελτίωσης στις παρακάτω γενικές ομάδες:

- Προσωρινές τεχνικές βελτίωσης εδάφους με περιορισμένο χρόνο εφαρμογής, κατά την περίοδο της κατασκευής (ηλεκτρική όσμωση, ψύξη εδάφους κλπ.).
- Μόνιμες (διαρκείς) τεχνικές βελτίωσης εδάφους, που εφαρμόζονται χωρίς την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (δυναμική συμπύκνωση, μέθοδοι μαζικής δόνησης κλπ.).
- Μόνιμες (διαρκείς) τεχνικές βελτίωσης εδάφους που εφαρμόζονται με την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (οπλισμένο έδαφος, τσιμεντενέσεις, γενικά ενέσεις με διάφορα ενέματα, βαθιές μίξεις με διάφορα μίγματα όπως τσιμέντου, ασβέστου, μπεντονίτη κλπ.).

Οι τεχνικές βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους εφαρμόζονται:

- Στα θεμέλια κτιρίων για την μείωση των καθιζήσεων, τον έλεγχο της διαπερατότητας ή την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.
- Σε εργασίες εκσκαφής για καλύτερη πλευρική αύξηση της αντοχής σε σήραγγες ή τάφρους και μείωση της διαπερατότητας.
- Στην οδοποιία, στις υποβάσεις δρόμων για αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, μείωση της διάβρωσης και μείωση των μεταβολών του όγκου.
- Σε σταθεροποίηση των πρανών για να αυξηθεί η αντοχή του εδάφους σε διάβρωση, να μειωθεί η διαπερατότητα και ο δείκτης κενών.
- Σε κατασκευές συγκράτησης (αποθήκευσης) ύδατος για την δημιουργία όσο το δυνατόν υδατοστεγανών κατασκευών, όπως φράγματα, κανάλια, δεξαμενές, χωματερές (Χ.Υ.Τ.Α.).
- Στην προστασία περιβάλλοντος, αυξάνοντας την αντίσταση του εδάφους στην φυσική αποσάθρωση από αέρα ή το νερό, περιορίζοντας την μόλυνση του εδάφους με μείωση της μεταφορικής ικανότητας των μολυσμένων ουσιών δημιουργώντας συσσωματώματα που μετατρέπονται σε πολυδυσκίνητες χημικές μορφές.

2.3. Βελτιώσεις εδαφών

Οι μέθοδοι βελτίωσης εδαφών παρουσιάζονται συνοπτικά χωρισμένες στις εξής κατηγορίες:

- 1) Μέθοδοι στερεοποίησης
- 2) Μέθοδοι όπλισης του εδάφους
- 3) Μέθοδοι συμπύκνωσης
- 4) Μέθοδοι σταθεροποίησης (βελτίωσης) του εδάφους με ανάμιξη:
 - με άσβεστο
 - με τσιμέντο
 - με χημικά πρόσθετα
- 5) Μέθοδοι με εκτέλεση ενέσεων
- 6) Θερμικής δράσης

Αναλυτική περιγραφή των μεθόδων βελτίωσης του εδάφους κατά τους Attewell και Farmer (1976), Τσότσο (1987), Van Impe (1989), γίνεται παρακάτω:

α. Στερεοποίηση

- Προφόρτιση.
Η μέθοδος της προφόρτισης συνιστάται στη συσσώρευση εδαφικού υλικού και την τοποθέτηση του με μορφή σωρών πάνω στην προς βελτίωση έκταση.
Καποιοι άλλοι τρόποι προφόρτισης είναι :
 - Η τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων συνήθως σε μικρού πλάτους γραμμικά έργα,
 - Η κατάλληλη άντληση και ο υποβιβασμός της στάθμης του υπογείου νερού,
 - Η πλήρωση δεξαμενών ή άλλων υδατοστεγών χώρων με νερό,
 - Η επιφανειακή διαβροχή στεγνών χαλαρών αποθέσεων,
- Προφόρτιση με την χρησιμοποίηση αμμοστραγγιστηρίων.
Η προφόρτιση μπορεί να ενισχυθεί και να βελτιωθεί με την κατασκευή κατακόρυφων αμμοστραγγιστηρίων που επιτρέπουν συμπληρωματική αποστράγγιση.
- Ηλεκτρο-όσμωση.
Η μέθοδος συνιστάται στη δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλεί τη ροή υπογείου νερού προς την κάθοδο. Οι κάθοδοι συνήθως αποτελούνται από διάτρητους σιδερένιους σωλήνες που απομακρύνουν το νερό.

β. Οπλισμός εδάφους

- Λιθοπάσσαλοι ή χαλικοπάσσαλοι.
Η μέθοδος συνιστάται κυρίως στην διάνοιξη κυκλικών οπών στο προβληματικό έδαφος με μήκος σημαντικό και την πλήρωσή τους με χάλικες ή με θραυστό υλικό λατομείου.
Σε αυτήν την περίπτωση κρίσιμη είναι η αντοχή του ίδιου του υλικού του πασσάλου και όχι η μεταφορά του φορτίου από τους πασσάλους στο έδαφος.
- Οπλισμένο έδαφος. Το έδαφος μπορεί να βελτιωθεί με την εισαγωγή τοπικά στοιχείων οπλισμού. Αυτό μπορεί να με την εισαγωγή μεταλλικών λωρίδων μέσα στο έδαφος, με τα γεωϋφάσματα, την εισαγωγή ασφάλινων ράβδων ή με ηλώσεις ή με την εισαγωγή ριζοπασσάλων.

γ. Συμπύκνωση.

- Δυναμική συμπύκνωση.
Συνιστάται στην επιβολή πτώσης μεγάλων βαρών έως 10 τόννων από ύψος 10μ έως 40μ, όπως ακριβώς συμβαίνει στη δοκιμή συμπύκνωσης των εδαφών κατά Proctor. Χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία σε χαλαρά αμμώδη εδάφη.
- Μέθοδοι μαζικής δόνησης.
Συνιστάται στην εισαγωγή δονητή σε χαλαρά, μη συνεκτικά εδάφη όπου προκαλεί ακτινωτή συμπύκνωση.
- Σε δίκτυο γετρήσεων τοποθετείται εκρηκτική ύλη που κατά την έκρηξη δημιουργεί διαμήκη και διάτμησης κύματα, που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητας του εδάφους, κάτω από το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων.

δ. Σταθεροποίηση του εδάφους με τη χρήση τσιμέντου, ασβέστου ή και άλλων χημικών προσθέτων

- Ασβεστοπάσσαλοι.
Με ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα διανοίγεται οπή σε αργιλλοϊλυώδη εδάφη στη συνέχεια το στέλεχος ανασύρεται, ενώ διοχετεύεται στο έδαφος σκόνη άνυδρου ασβέστη.
Ταυτόχρονα το όλο σύστημα 'έδαφος – ασβέστος' αναμειγνύεται και σχηματίζεται μια κατακόρυφη στήλη.
- Πάσσαλοι ή διαφράγματα με ανάμιξη εδάφους και τσιμέντου. Ο τρόπος κατασκευής των πασσάλων και διαφραγμάτων με ανάμιξη εδάφους και τσιμέντου είναι ο ίδιος με τον τρόπο κατασκευής των ασβεστοπασσάλων.

ε. Ενέσεις.

Η ένεση είναι η διοχέτευση στα εδάφη, με πίεση, ειδικών ρευστών που σύντομα πήζουν και βελτιώνουν, και ενισχύουν την συμπεριφορά τους. Ανάλογα με την ιδιότητα που βασικά επηρεάζεται διακρίνουμε δύο κατηγορίες ενέσεων : - τις ενέσεις στεγανοποίησης που προκαλούν κυρίως μείωση διαπερατότητας και χρησιμοποιούνται στην αντιμετώπιση υπογείων ροών και τις ενέσεις σταθεροποίησης που έχουν ως στόχο την αύξηση της αντοχής και τη μείωση της συμπιεστότητας.

Ανάλογα με τον τρόπο που ενεργεί το ένεμα διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες:

- Ενέσεις διαποτισμού,
- Ενέσεις εγκλωβισμού,
- Ενέσεις εκτοπίσεως ή συμπύκνωσης
- Ενέσεις πλήρωσης κενών.

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι ενεμάτων είναι τα αιωρήματα τσιμέντου, όπως οι τσιμεντενέσεις, ή μίγματος εδάφους και τσιμέντου ή και μόνο εδαφών σε νερό και τα χημικά διαλύματα συνήθως πυριτικών ή πολυμερών υλικών.

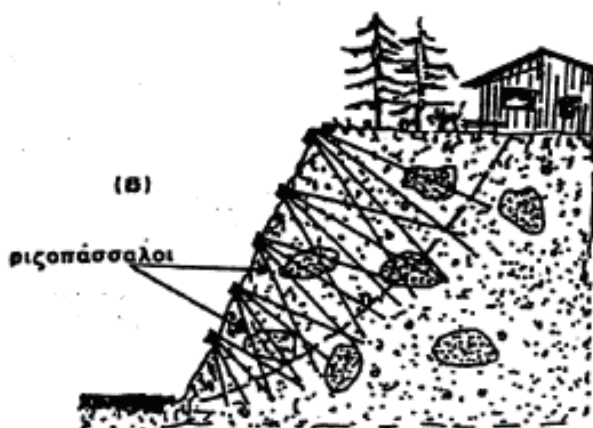
Η χρήση οργανικών σταθεροποιητών ή πρόσθετων ή ακόμα και αργιλικών εδαφών μπετονίτη είναι αναγκαία σε περιπτώσεις που επιδιώκεται ρύθμιση των ιδιοτήτων των μιγμάτων εδάφους – τσιμέντου, (επιτάχυνση του χρόνου πήξης ή σκλήρυνσης του τσιμέντου, αύξηση των αρχικών αντοχών, μείωση διαπερατότητας), όπως πχ. Στην περίπτωση των τσιμεντενέσεων, (δημιουργία σταθερών διαλυμάτων με την χρήση αργιλικών εδαφών – μπετονίτη)

στ. Θερμική δράση

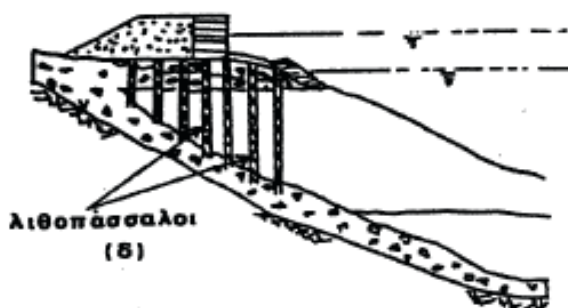
- Θέρμανση του εδάφους
Η μέθοδος αυτή είναι η λιγότερο οικονομική από τις προηγούμενες και εφαρμόζεται σε χαλαρά εδάφη με μεγάλη διαπερατότητα και συνιστάται στη δημιουργία οπών με καρφίδες και την εισβολή πολύ θερμού μίγματος αέρος και καυσίμου μέσα στο έδαφος.
Η πίεση είναι 1,5 μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Η θερμοκρασία κυμαίνεται από 300° C έως 1000° C με αποτέλεσμα τη συμπύκνωση λόγω απώλειας του νερού και την αύξηση των ενεργών τάσεων.
Σε θερμοκρασίες 550° C η ικανότητα διόγκωσης της αργίλλου καταστρέφεται σε 1000° C οι κόκκοι άμμου τήκονται και δημιουργούν τεχνητή τσιμεντοποίηση.



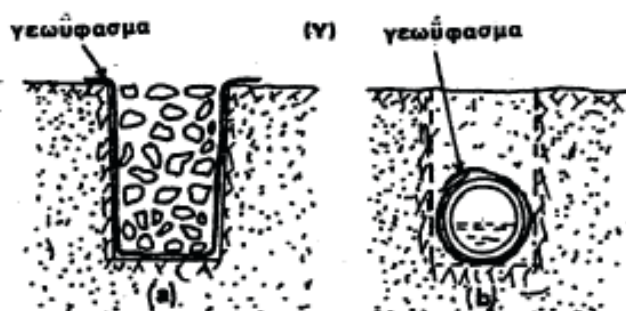
α) Επιστρώσεις - επικαλύψεις με μίγμα εδάφους - τσιμέντου.



β) Στερέωση εδάφους και αποφυγή κατολίσθησης με την χρήση ριζοπάσσάλων.



δ) Χρησιμοποίηση λιθοπάσσάλων και ενίσχυση του εδάφους για την κατασκευή επιχώματος και τοίχου αντιστήριξης.



γ) Χρησιμοποίηση γεωύφασμάτων σε τάφρους ή σωλήνες υδρορροής α,β.



ε) Χρησιμοποίηση αμμοστραγγιστηρίων.

ζ. Ψύξη του εδάφους.

Η μέθοδος ψύξης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φραγμών από παγωμένο νερό έξω από την επιφάνεια των κατασκευών.

Ειδικότερα όσων αφορά τις μεθόδους βελτίωσης που περιλαμβάνονται στην κατηγορία της σταθεροποίησης του εδάφους διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Σταθεροποίηση με συμπήκνωση.
- Μηχανική σταθεροποίηση με ανάμιξη δύο ή περισσότερων υλικών
- Χημικές ή φυσικοχημικές σταθεροποιήσεις με πρόσθετα υλικά που ονομάζονται 'σταθεροποιητές'

Από τις παραπάνω μεθόδους βελτίωσης και ενίσχυσης των εδαφών η σταθεροποίηση με τσιμέντο έχει ευρύ φάσμα εφαρμογής στα εδάφη, επίσης είναι οικονομική μέθοδος .

Κατά τον Mitchell (1981) η σταθεροποίηση του εδάφους με τσιμέντο σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους βελτίωσης έχει μέσο σχετικό κόστος (Πιν. XII σελίδα 555).

Κεφάλαιο 3^ο: Βελτίωση εδάφους – Χημική σταθεροποίηση με ενέματα

3.1. Εισαγωγή

Με τον όρο βελτίωση του εδάφους εννοούμε ένα σύνολο μεθόδων και τεχνικών με τις οποίες επιδιώκεται να βελτιωθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους θεμελίωσης, ώστε κατά κανόνα η λύση επιφανειακής θεμελίωσης να είναι αποδεκτή ή σε μερικές περιπτώσεις, η λύση της βαθιάς θεμελίωσης να είναι μικρότερου κόστους.

Με το γενικό χαρακτήρα του ορισμού της βελτίωσης του εδάφους που δόθηκε προηγουμένως η λύση βελτίωσης θα πρέπει να αναζητηθεί ως εναλλακτική λύση σε όλες τις περιπτώσεις μη συμβατικών επιφανειακών θεμελιώσεων, στην πράξη όμως λύση βελτίωσης αναζητάται :

- Σε ειδικές περιπτώσεις εδαφών.
- Σε περιπτώσεις έργων μεγάλης έκτασης. Στη περίπτωση αυτή επιδιώκεται γενική βελτίωση του εδάφους ώστε να είναι δυνατή η τοποθέτηση διαφόρων τεχνικών έργων στη συνέχεια.

3.2 Επιλογή – Τρόπος μελέτης μεθόδων βελτίωσης

Η επιλογή μιας μεθόδου βελτίωσης βασίζεται στους παρακάτω παράγοντες:

1. Στο κόστος εφαρμογής της μεθόδου.
2. Στο διαθέσιμο χώρο
3. Στο διαθέσιμο χρόνο
4. Στο διαθέσιμο εξοπλισμό
5. Στην εμπειρία από περιπτώσεις εφαρμογής σε ανάλογα εδάφη.

Η συστηματική μελέτη των μεθόδων βελτίωσης περιλαμβάνει:

1. Την ανάλυση του μηχανισμού βελτίωσης.
2. Την περιγραφή της τεχνικής της μεθόδου.
3. Τον τρόπο υπολογισμού.
4. Την ανάλυση των πλεονεκτημάτων – μειονεκτημάτων.
5. Τον καθορισμό του τρόπου ελέγχου της βελτίωσης.

Είναι απαραίτητο να καθορίζεται από πριν ο τρόπος ελέγχου της βελτίωσης και η λύση της βελτίωσης να γίνεται αποδεκτή μόνο εφόσον ο έλεγχος αυτός έχει επαληθευτεί .

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ
Μαλακά αργιλικά εδάφη	Μεγάλες καθιζήσεις από στερεοποίηση
Χαλαρά αμμώδη εδάφη	Πρόβλημα ρευστοποίησης σε περίπτωση σεισμού
Ιλυώδη εδάφη	Περιορισμένη αντοχή,
Οργανικά εδάφη	Χαμηλή αντοχή - Δυσκολία καθορισμού
Τεχνητές επιχωματώσεις	Ανομοιογένεια - Δυσκολία καθορισμού

3.3 Χημική σταθεροποίηση με ενέματα

Η ένεση λεπτόκοκκης και ιλυώδους άμμου, που μέχρι τελευταία θεωρούνταν ακατόρθωτη, μπορεί πια να πραγματοποιηθεί με ενέσεις προερχόμενες από το πεδίο της οργανικής χημείας.

Έχουν εφευρεθεί πολλές μέθοδοι αλλά παρακάτω γίνεται αναφορά μόνο σε προϊόντα που έχουν χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια σε ευρεία κλίμακα σε σημαντικά έργα.

Λιγνοχρώμια και πυριτικά άλατα με οργανικά αντιδραστήρια χρησιμοποιούνται για την ένεση λεπτών άμμων και οργανικά υδατώδη μονομερή και προσυμπιεσμένα πολυμερή χωρίς νερό χρησιμοποιούνται για την ένεση ιλυωδών άμμων.

3.4. Γενικά χαρακτηριστικά χημικών ενεμάτων

Οι χημικές ενέσεις χρησιμοποιούνται απ' το 1914 για μια μεγάλη ποικιλία σκοπών κι έχουν προταθεί πολλοί τύποι και σχηματισμοί. Ο Terzaghi συσχέτισε πρώτος τα διάφορα γνωστά ενέματα με την κοκκομετρική ανάλυση του εδάφους, ενώ οι Riddel, Glossop και Skempton καθόρισαν αργότερα τα όρια.

Αυτά τα όρια παρουσίαζαν διαφορές γιατί ήταν εξαρτημένα απ' την ακριβή σύνθεση του ενέματος (συγκέντρωση και ιξώδες), απ' τη μορφή της κοκκομετρικής καμπύλης και το πορώδες του εδάφους.

Γενικά, άμμοι χονδρότερες από 0,8mm μπορούν να ενεθούν με τσιμέντο, ενώ άμμοι χονδρότερες από 0,1mm μπορούν να ενεθούν με πυριτικά άλατα και ασφαλτούχα προϊόντα. Ο Καθηγητής B. P. Askalohoff, του πανεπιστημίου της Μόσχας, έχει δημοσιεύσει μια σύνθεση παλαιότερων και πρόσφατων εργασιών, πάνω στον τομέα αυτό, που συνοψίζεται ως εξής:

ΤΑΞΗ Α Χονδρόκοκκη άμμος (μεγαλύτερη από 0,8mm) - μπορεί να ενεθεί με αιωρήματα που περιέχουν σωματίδια της τάξης των 50μ.

ΤΑΞΗ Β Μεσαία άμμος (από 0,1-0,8mm) - μπορεί να ενεθεί με κολλοειδή διαλύματα.

ΤΑΞΗ C Εξαιρετικά λεπτή άμμος και ιλύς - μπορούν να ενεθούν με πραγματικά νευτώνεια διαλύματα χαμηλού ιξώδους.

Οι μελέτες του C. CARON έχουν δείξει ότι:

- 1) τα χονδρόκοκκα αιωρήματα είναι γενικά, σώματα Bingham (δηλ. έχουν ακαμψία).
- 2) ενέματα σχηματισμένα από κολλοειδή διαλύματα είναι νευτώνεια και το ιξώδες τους αυξάνει με το χρόνο και
- 3) μίγματα βασισμένα σε οργανικά μονομερή, μολονότι είναι επίσης νευτώνεια, έχουν ιξώδες που παραμένει αμετάβλητο στο πέρασμα του χρόνου.

Απ' την άλλη μεριά, έχει παρατηρηθεί ότι η αντοχή σε θλίψη εδάφους που υπέστη επεξεργασία με αιωρήματα τσιμέντου ή αργίλου τσιμέντου (τάξη Α), είναι ανεξάρτητη απ' το μέγεθος των κόκκων του εδάφους, ενώ η αντοχή σε θλίψη εδάφους επεξεργασμένου με προϊόντα των τάξεων Β και C είναι μεγαλύτερη, όσο λεπτότερο είναι το έδαφος. Αυτά τα τελευταία προϊόντα συμπεριφέρονται κατά κάποιο τρόπο σαν μέσα συγκόλλησης.

Η μελέτη ενεμάτων των τάξεων Β και C πρέπει να περιλαμβάνει όχι μόνο τα χαρακτηριστικά του καθαρού προϊόντος, αλλά και τη συμπεριφορά του προϊόντος στο έδαφος. Τα τελευταία 30 χρόνια έχει πραγματοποιηθεί στο πεδίο αυτό σημαντική πρόοδος και είναι πλέον δυνατό και να στεγανοποιήσουμε και να σταθεροποιήσουμε λεπτές άμμους με χρήση κολλοειδών διαλυμάτων.

3.4.1 Φυσικές και χημικές θεωρήσεις για τον σχηματισμό χημικών κονιαμάτων

Η διαδικασία πήξης ενός κονιάματος ξεκινά την πορεία της όταν τα αντιδρώντα συστατικά βρεθούν μαζί. Στην πράξη αυτή η μίξη συμβαίνει είτε πριν από την διοχέτευση στο έδαφος (μέθοδος one-shot) είτε μέσα στο έδαφος (διαδικασία two-shot). Η προσοχή μας θα συγκεντρωθεί στα συστήματα one-shot με κάποιες αναφορές στα συστήματα two-shot.

- **Συνθήκες για την στερεοποίηση**

Η στερεοποίηση ενός κονιάματος μπορεί να συμβεί με την κάθιση ιζηματωδών σωματιδίων ή με το μπλέξιμο μακρινών κρυστάλλων οι οποίοι γεμίζουν τα κενά. Ένα γαλάκτωμα μπορεί να διασπαστεί για να δώσει μια στερεά ή μια με υψηλό ιξώδες υγρή φάση.

Ένα κολλοειδές εδάφους μπορεί να μετατραπεί σε πήγμα. Μικρά μόρια σε διάλυμα μπορούν να πολυμεριστούν για να δώσουν ένα άκαμπτο δικτύωμα. Τα κονιάματα κάθισης και κονιάματα διασπασμένου γαλακτώματος δεν φράζουν τους πόρους και τις ρηγματώσεις ολοκληρωτικά επειδή το κενό περιέχει ακόμα πλεονάζον υγρό (συνήθως νερό) της αρχικής σύνθεσης.

Αυτά τα κονιάματα είναι αποτελεσματικά για το σταμάτημα του νερού, δεδομένου ότι τα σωματίδια συσσωρεύονται εξαιτίας της διοχέτευσης, όπως και για τον σχηματισμό του μανδύα φίλτρου.

Κονιάματα τα οποία ξεκινούν σαν κολλοειδή ή διαλύματα πολυμερισμένων χημικών στερεοποιούνται με μικρή συρρίκνωση και είναι γι' αυτόν τον λόγο καλά σαν γεμίσματα οπών.

Τα πολυμερισμένα κονιάματα μπορούν να μετατραπούν εξ' ολοκλήρου σε σκληρά στερεά - όπως στην περίπτωση των ρητινών στερεοποίησης εν ψυχρώ λ.χ. Epoxy resins. Πιο συχνά τα αντιδρώντα χημικά διαλύονται σε νερό ή σε κάποιον άλλον διαλύτη.

Το προϊόν της σταθεροποίησης είναι σε αυτήν την περίπτωση ένα πήγμα. Μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα δίκτυο αποτελούμενο από αλυσίδες σωματιδίων ή μεγάλα μόρια που απλώνονται σ' όλη την έκταση του υγρού.

Το δίκτυο προσδίδει την μηχανική αντοχή και επίσης εμπλέκει και ακινητοποιεί το πλεονάζον υγρό. Τα χημικά κονιάματα που βασίζονται στην πήξη αποτελούν μια μεγάλη και αυξανόμενη τάξη.

Υπάρχει ευρεία εκλογή συστημάτων και συνήθως κάθε σύστημα δίνει μια σειρά κονιαμάτων με διάφορη ρευστότητα και αντοχή ανάλογη με την πρακτική ρευστότητα για ένα δεδομένο σύστημα, προέρχεται από την χαμηλότερη ποσότητα διαλυτικού.

- **Ρευστότητα**

Η υψηλότερη συγκέντρωση η οποία δίνει επαρκή αντοχή πήγματος. Η πρόσθεση σωματιδίων εν αιώρηση ή κολλοειδών σωματιδίων σε ένα υγρό αυξάνει το ιξώδες πολύ περισσότερο απ' ότι μόρια που προστίθενται για να διαλυθούν.

Η αύξηση εξαρτάται κυρίως από το τμήμα του συνολικού όγκου που καταλαμβάνουν τα ξεχωριστά σωματίδια και λιγότερο από τη μορφή. Η σχέση του Einstein εφαρμόζεται στα σφαιρικά σωματίδια σε χαμηλή συγκέντρωση και κάπως παρόμοιες σχέσεις εφαρμόζονται στις πιο γενικές περιπτώσεις.

Ο αντίστοιχος νόμος για τα διαλύματα μορίων και μακρομορίων είναι κάπως διαφορετικός, το ιξώδες αυξάνεται σταθερά, με τη συγκέντρωση, αλλά, για ένα δεδομένο μοριακό τύπο αυξάνεται επίσης με το μοριακό βάρος [σχέση του Standinger (FRORY 1953)].

Τα κονιάματα με χαμηλό ιξώδες επιτυγχάνονται πιο εύκολα με χαμηλές συγκεντρώσεις συμπαγών σωματιδίων ή μικρών μορίων.

- **Αντοχή στερεοποίησης**

Η αντοχή του πήγματος εξαρτάται από την ύπαρξη μιας συνεχούς δομής στο στερεοποιημένο κονίαμα. Στην ιδανικότερη περίπτωση, θα έπρεπε να υπάρχει ένα σύστημα πολύ λεπτών αλυσίδων ή διακλαδωμένων δικτύων τα οποία είναι σταθερά και ισχυρά συνδεδεμένα μεταξύ τους.

Σε υδατικά των στοιχείων των αλυσίδων του δικτυώματος. Ένα δικτύωμα μπορεί να γίνει κατά τρόπο αποτελεσματικό, με υπερβολικά λεπτά (10A) platelets, όπως στα πήγματα μοντμοριλλονιτών νατρίου συστήματα οι υδρόφιλες ομάδες που συνδέονται με τα μόρια του δικτυώματος τείνουν να ενθαρρύνουν τη επέκταση των μακρομορίων.

Επιπλέον πρέπει να υπάρχουν δυνάμεις συνοχής μεταξύ όπου οι συγκεντρώσεις μπορούν να είναι χαμηλές ως 0,05% w/v. Τα πήγματα πυριτίου όπως μορφώνονται σε πολλές μεθόδους ενέσεως με πολυμερισμό του πυριτικού νατρίου, συντίθενται από αλυσίδες μικρών, σχετικά πυκνών, σφαιρικών ενώσεων πολυπυριτικού οξέος.

Καθώς οι αλυσίδες είναι συσπειρωμένες και συνδεδεμένες σε υψηλό βαθμό, τα πήγματα δεν θα σχηματίσουν διαλύματα με συγκέντρωση μικρότερη από 0,5% w/v. Μικρά πολυμερή μόρια της urea-φορμαλδεΐδης, έχουν τριχοειδείς διακλαδώσεις αλλά χάνουν την υδρόφιλη τους φάση καθώς μεγαλώνουν.

Ελάχιστες συγκεντρώσεις 20-30% είναι απαραίτητες για αδιαπέραστα πήγματα. Λιγνοθειούχα πολυμερή με πολλές υδρόφιλες ομάδες μορφώνουν πήγματα σε συγκεντρώσεις των 2%.

Η αντοχή εξαρτάται επίσης από τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των στοιχείων του δικτυώματος. Οι δεσμοί είναι πολλών ειδών (PAULING 1960). Οι δεσμοί υδρογόνου είναι πρωταρχικής σημασίας για τα πήγματα με μορφή ζελατίνας. Οι δυνάμεις πρόσφυσης λογαριάζονται πιθανότατα για την κύρια σύνδεση σωματιδίων στα πήγματα αργίλου.

- **Χρόνος πήξης**

Ο χρόνος πήξης ενός χημικού κονιάματος ελέγχεται γενικά με επιπρόσθετους καταλύτες και επιταχυντές, οι οποίοι ενεργούν με άμεση επίδραση πάνω στα αντιδρώντα μέρη ή αλλάζοντας το περιβάλλον, λ.χ. με έλεγχο του ΡΗ.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου πήξης, το ιξώδες του κονιάματος τείνει να αυξηθεί καθώς τα μόρια ή άλλα στοιχεία του δικτυώματος γίνονται μεγαλύτερα (FLORY, 1953). Καθώς πλησιάζει η πήξη, τα κονιάματα τα οποία ξεκινούν σαν νευτώνεια υγρά, αποκτούν αντοχή σε διάτμηση η οποία ενεργεί παρακάτω, στη μείωση της ρευστότητας.

Στα περισσότερα κονιάματα το ιξώδες αυξάνει μερικές φορές στο τελευταίο μισό της περιόδου του χρόνου πήξης.

Όπου είναι επιθυμητό αυτή η μείωση της ρευστότητας μπορεί να αποφευχθεί με την εκλογή ενός αντιδρώντος συστήματος λ.χ. του AM-9 κατά τον οποίο δεν αρχίζει κανένας σχηματισμός δομής μέχρις ότου ο χρόνος πήξης έχει σχεδόν παρέλθει.

- **Ιξώδες διαλυμάτων στην ένεση two-shot**

Στα συστήματα two-shot, η αντίδραση λαμβάνει χώρα γρήγορα όταν τα δύο διαλύματα συναντιούνται. Οποσδήποτε, πρέπει να εφαρμοστεί μια ειδική σχέση ιξώδους, εάν το δεύτερο υγρό πρέπει να διαπεράσει το πρώτο, αντί να το εκτοπίσει για να δώσει μια χημική αντίδραση σε βάθος.

Συγκεκριμένα, το δεύτερο υγρό πρέπει να έχει χαμηλότερο ιξώδες σε σχέση με το πρώτο. Ο αναπτυσσόμενος δεσμός είναι κατόπιν ασταθής και δάκτυλοι του δεύτερου ρέουν προς το πρώτο (SCOTT, 1963).

3.4.2 Εξέλιξη – Εφαρμογή των τεχνικών πολυμερισμού στη λύση προβλημάτων των ενέσεων

Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι έγιναν προσπάθειες για να επωφεληθούμε στον τομέα των ενέσεων από την πρόοδο της οργανικής χημείας, συνέπεια των σημαντικών προόδων όσον αφορά τον σχηματισμό ρητινοειδών υψηλών πολυμερών από υγρούς υδρογονάνθρακες μικρού μοριακού βάρους και χαμηλού ιξώδους.

Στις αντιδράσεις πολυμερισμού, ένα σχετικά απλό οργανικό μόριο, το μονομερές (λ.χ. αιθυλένιο) μπορεί να αναγκαστεί να ενωθεί με άλλα ταυτόσημα μόρια σχηματίζοντας μια αλυσίδα ενός κάποιου μήκους (πολυμερής αλυσίδα). Τέτοιες αλυσίδες μπορούν να ενωθούν με μόρια εγκάρσιως τοποθετημένα ή με μοριακές αλυσίδες για να σχηματίσουν κλιμακωτές δομές (σταυρωτή ένωση).

Στην πράξη, η ένωση γίνεται σε τρεις διαστάσεις ώστε να σχηματίζονται πολύπλοκα δικτυώματα. Μερικές απ' αυτές τις τρισδιάστατες πολυμερικές δομές είναι αδιάλυτες στο νερό και σε άλλα συνήθη υγρά και σχηματίζουν μεγάλες ποσότητες πήγματος από μια συγκριτικά μικρή ποσότητα οργανικού μονομερούς, έτσι ώστε να βρίσκουν χρήση στις επιχειρήσεις ενέσεων.

Το πρόβλημα παρουσιάζεται όταν τοποθετούνται σε σχηματισμούς εδάφους ή βράχων που πρέπει να σταθεροποιηθούν. Πολλά πολυμερή όπως το πολυαιθυλένιο, το οποίο προέρχεται από το αιθυλένιο, απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις για το σχηματισμό τους.

Μια άλλη ομάδα μονομερών μπορεί εύκολα να πολυμεριστεί σε διάλυμα νερού, ή σε υδατικά γαλακτώματα, με την χρήση καταλυτών, που είναι επίσης διαλυτοί, ή συμβατοί με το νερό.

Συνεπώς, εάν μπορούν να βρεθούν απλά μέσα για να γίνει ένεση διαλυμάτων αυτού του είδους σε ένα βραχώδη σχηματισμό, τότε μπορεί ένα πολυμερές αδιάλυτο στο νερό ή ένα πήγμα, να σχηματιστεί επί τόπου.

Η αμερικανική Gyanamid Co. ήταν η πρώτη που εισήγαγε μια ευρείας χρήσης οργανική υδατώδη ρητίνη κατάλληλη για ενέσεις. Αυτό το προϊόν, η AM-9, έτυχε ευρείας χρήσης στις Ηνωμένες

Πολιτείες, αλλά είναι καταλληλότερο για στεγανοποίηση παρά για σταθεροποίηση. Ο C. Garon κατασκεύασε το 1959 ένα διαφορετικό μίγμα που βασιζόταν σε μια ρητίνη φαινοπλάστη, η οποία χρησιμοποιήθηκε σε διάφορες τοποθεσίες στη Γαλλία και στην Αγγλία.

Είναι διαθέσιμα και άλλα υδατικά μονομερή τα οποία πολυμερίζονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Μερικά βρίσκονται σε εργαστηριακό στάδιο, μερικά έχουν πατενταριστεί και άλλα πωλούνται στο εμπόριο από χημικούς κατασκευαστές. Αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθεί αποκλειστικά και μόνο με προϊόντα τα οποία δοκιμάστηκαν για αρκετά χρόνια και θα περιοριστεί για το λόγο αυτό στην περιγραφή AM-9 και των ρητινών φαινοπλάστη.

3.4.3 Κοινά χαρακτηριστικά στα ενέματα που βασίζονται σε οργανικά μονομερή

- **Διαλυτότητα**

Τα μονομερή που βρίσκονται σε χρήση είναι απόλυτα διαλυτά στο νερό. Συγκεντρώσεις του 30-40% εφαρμόζονται συχνά και η αντοχή είναι ανάλογη προς την συγκέντρωση που χρησιμοποιείται. Αυτά τα διαλύματα, που δεν είναι κολλοειδή έχουν ιξώδες σχεδόν ίδιο μ' αυτό του νερού - περίπου 2cP.

- **Πολυμερισμός**

Ο πολυμερισμός λαμβάνει χώρα ξαφνικά, αφού περάσει μια καθορισμένη περίοδος χρόνου, η οποία ρυθμίζεται με τη χρήση ενός ή περισσοτέρων καταλυτών. Εργαστηριακές δοκιμές οδήγησαν στη διαλογή καταλυτών κατάλληλων για κάθε διαβάθμιση του χρόνου πήξης. Σε κάθε κλίμακα ο χρόνος πήξης ρυθμίζεται ποικίλλοντας την ποσότητα των καταλυτών.

Ο πολυμερισμός είναι μια εξωθερμική αντίδραση η οποία λαμβάνει χώρα πιο γρήγορα σ' ένα μονωμένο μέρος παρά στο έδαφος και αυτό πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν όταν γίνεται ένεση. Μπορεί ορισμένες φορές να είναι χρήσιμο να αναμιχθεί το μονομερές διάλυμα και ο καταλύτης στην κορυφή της σπής, λίγο πριν από την ένεση, για να μπορεί να γίνει επαρκής και αποτελεσματικός έλεγχος του χρόνου πήξης.

- **Περιορισμοί της δυνατότητας ένεσης**

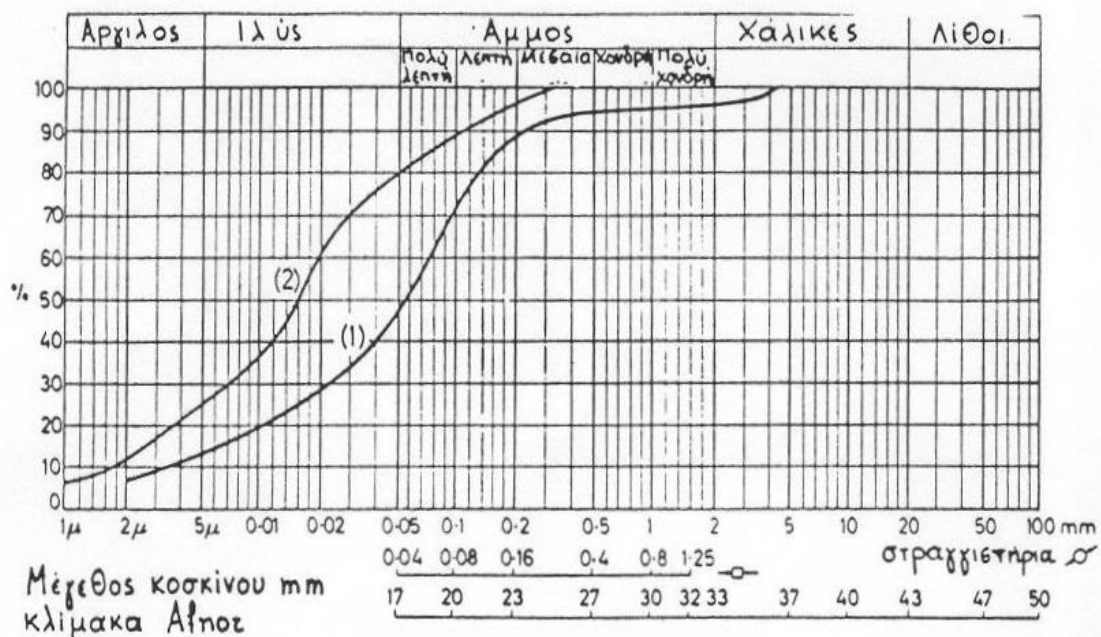
Οι λεπτές άμμοι και λάσπες μπορούν να δεχθούν με κονιάματα ρητίνης ένεση χρησιμοποιώντας πολύ αργές ταχύτητες έκχυσης. Πρακτικά, εδάφη με διαπερατότητα κάτω από 10^{-5} cm/sec μπορούν να δεχθούν ένεση αποτελεσματικά. Το σχ. 4.3 δίνει τις καμπύλες μεγέθους κόκκων από δυο ιλυώδεις άμμους, στις οποίες έγινε επεξεργασία με υδατώδη ρητίνη.

- **Σταθερότητα με το πέρασμα του χρόνου**

Τα οργανικά πολυμερή είναι τα πιο σταθερά προϊόντα σε σχέση με το χρόνο. Είναι απόλυτα αδιάλυτα και μετά την ένεση δεν σχηματίζονται διαλυτά άλατα.

- **Τοξικότητα**

Σαν μονομερή, αυτά τα οργανικά παράγωγα είναι άλλα λιγότερο άλλα περισσότερο τοξικά, αλλά μετά από τον πολυμερισμό δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος πλέον.



Σχήμα 3.1 Ανάλυση μεγέθους κόκκων, καμπύλη (1) Opera: το έργο της Soletanche που ενέθηκε με ενέματα ρητίνης φαινοπλάστη και AM-9, καμπύλη (2) Σικάγο : ενέθηκε από την Chemjest, Chicago AM-9 ρητίνη.

3.5 Εφαρμογή των χημικών ενεμάτων με αναφορά σε συγκεκριμένα παραδείγματα

3.5.1 Κριτήρια για τη διαλογή των χημικών κονιαμάτων

Δεν μπορεί να προταθεί κάποια ομάδα φυσικών ιδιοτήτων που να χαρακτηρίζει το ιδανικό κονίαμα. Τα ρευστά κονιάματα επιτυγχάνουν την εργασία σε λεπτόκοκκα εδάφη, αλλά μπορεί να πέσουν πολύ γρήγορα σε εδάφη με πολύ ανοικτούς πόρους.

Για την στερεοποίηση των λεπτόκοκκων εδαφών η εκλογή εξαρτάται από την τιμή της αντοχής που απαιτείται επειδή υψηλή αντοχή προέρχεται από αδιάλυτα κονιάματα τα οποία έχουν ιζώδες και έχουν χαμηλή ταχύτητα διαπερατότητας.

Το πιο ευρύ πεδίο για τα χημικά κονιάματα είναι η μέση και ψιλή άμμος και αμμοχάλικο (διαπερατότητα $K = 10^{-1} - 10^{-4}$ cm/sec) και εφαρμόζονται είτε για να μειωθεί η διαπερατότητα ή για να δοθεί μέτρια στερεοποίηση, επαρκής για να συγκρατήσει τις πλευρές μιας εκσκαφής στη θέση τους. Θα πρέπει αρχικά να εξετάσουμε αυτές εδώ τις εφαρμογές.

Σε εδάφη πιο διαπερατά από 10^{-2} cm/sec, το κονίαμα μπορεί να έχει ιζώδες της τάξης των 10cP και περισσότερο, χωρίς να μειονεκτεί, εκτός αν είναι κοντά στην επιφάνεια, όπου οι

πιέσεις πρέπει να κρατηθούν χαμηλές. Τα χημικά κονιάματα γι' αυτή την περιοχή πρέπει να είναι φθηνά εάν πρέπει να συναγωνισθούν τα κονιάματα αργίλου ή κονιάματα αργίλου-τσιμέντου.

Σε εδάφη πιο λεπτόκοκκα (K μικρότερο του 10^{-2} cm/sec) ο χρόνος διοχέτευσης αυξάνει και απαιτούνται κονιάματα με ιξώδες σαν αυτό του νερού. Ο χρόνος πήξης των κονιαμάτων που διοχετεύονται στο έδαφος πρέπει να είναι ελεγχόμενος ώστε να ταιριάζει με μια ποικιλία των ταχυτήτων διοχέτευσης και αποστάσεις διόδου.

Έτσι το διοχετευμένο κονίαμα δεν παραμένει τότε άπηχτο και ευκίνητο μέσα στο έδαφος για μια μακρά περίοδο. Κονιάματα για στεγανοποίηση δεν χρειάζονται υψηλή μηχανική αντοχή.

Ένα χονδρόκοκκο έδαφος με διαπερατότητα 1 cm/sec γεμισμένο με ένα κονίαμα που έχει αντοχή σε διάτμηση 1 g/cm^2 θα αντισταθεί σε υδραυλικές κλίσεις των 100, και ακόμα μικρότερη αντοχή χρειάζεται για τα υψηλότερα εδάφη. Γι' αυτό το λόγο εξυπηρετούν τα υπερβολικά ασθενή πήγματα.

Πολλά από τα χημικά πήγματα που μορφώνονται από σχετικά διαλυτά διαλύματα θα προσδώσουν στο χώμα αντοχή μιας ασθενούς τσιμεντοενεμένης άμμου και συνεπώς θα σταθεροποιήσουν τον τοίχο μιας εκσκαφής. Πολύ υψηλότερες αντοχές μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση υψηλά συγκεντρωμένων κονιαμάτων πολυμερών.

Στην ένεση για στερεοποίηση η λειτουργία του κονιάματος είναι να προσθέσει αντοχή – με τη έννοια που δίνει ο Coulomb. Για ορισμένα κονιάματα υδροπηγμάτων (λ.χ. AM-9 και TDM chromelignin) η αντοχή ενός συμπαγούς εδάφους συμπεριφέρεται καταλλήλως ανάλογα με τον νόμο του Coulomb, με τιμές ϕ σχεδόν αντιπροσωπευτικές του χώματος και τιμές c όχι σημαντικά διάφορες από την αντοχή σε καθαρή διάτμηση του πήγματος.

Τα σημαντικά μηχανικά χαρακτηριστικά των τυπικών, πρακτικά εφικτών κονιαμάτων παρουσιάζονται στον πίνακα 1, μαζί με ένα υπόδειγμα του ειδικού πεδίου εφαρμογών τους. Οι ενέσεις two-shot δεν επιδέχονται απευθείας σύγκριση με τις ενέσεις one-shot αλλά στον πίνακα 2 δίνονται τυπικά ιξώδη και πυκνότητες για τις μεθόδους Joosten και Guttman. Ακολουθούν παραδείγματα εφαρμογής των χημικών ενεμάτων σε διάφορους τύπους έργων

Πίνακας 3.1 Ιξώδες – Πυκνότητα.

	Ιξώδες	Πυκνότητα
Συστατικό πυριτικού νατρίου	100	1.37
Joosten – Guttman	20	1.32
Χλωριούχο ασβέστιο	5	1.34

3.5.2 Παραδείγματα εφαρμογής κολλοειδών κονιαμάτων

- Great Cumberland Place

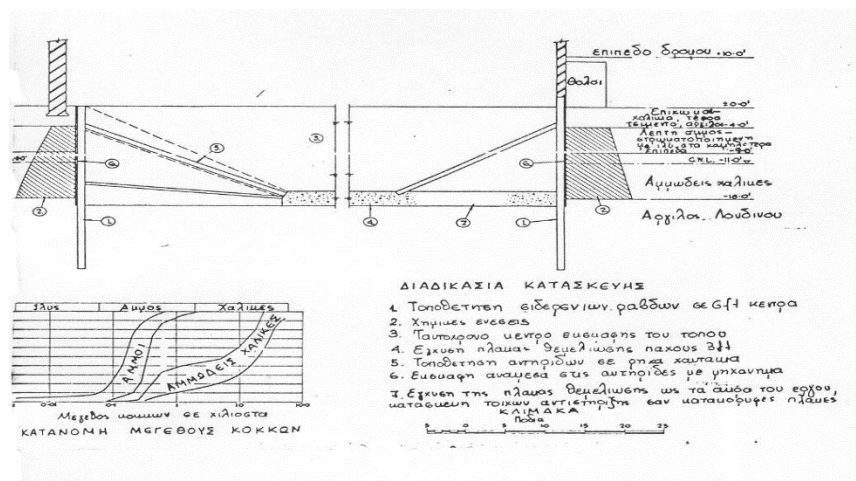
Εδώ, οι χημικές ενέσεις χρησιμοποιήθηκαν για υποστύλωση. Το πρόβλημα αφορούσε τη σταθερότητα οπτοπλινθοδομών διακοσίων χρόνων, που βρίσκονταν ακριβώς δίπλα σε μια περιοχή που έπρεπε να εκσκαφτεί διαμέσου διαποτισμένων με νερό αμμωδών χαλικιών σε βάθος 20ft κάτω απ' τα θεμέλια και 30ft κάτω απ' το επίπεδο του δρόμου.

Η μελέτη για την υποστύλωση των κτιρίων, δημοσιευμένη ήδη από τους GOLDEN, HARDING και JENKINS (1961) σκιαγραφείται στο σχ.4.9, το οποίο δείχνει και τις συνθήκες εδάφους. Προσδιορίστηκε η ανάγκη χημικής ένεσης σ' όλο το βάθος των στρωμάτων Tarlow, σε μια λωρίδα πάχους 4ft προσεγγιστικά, χαμηλότερα απ' τα θεμέλια των κτιρίων και κατά μήκος της περιμέτρου της περιοχής της γειτονικής στους δρόμους – το συνολικό μήκος ανέρχονται προσεγγιστικά σε 685ft.

Τα επάνω 5ft των άμμων Tarlow αποτελούνται από άμμο σε μορφή λεπτών ελασμάτων και χονδρή ιλύς σε κατά τόπους περιεκτικότητα σε άργιλο, οι διαβαθμίσεις μικτών δειγμάτων του υλικού αυτού δείχνονται στο σχ. 4.8.

Οι διαβαθμίσεις του χαμηλότερου και χαλικώδους μέρους των στρωμάτων Tarlow παρουσιάζονται απ' την ταξινόμηση των χονδρότερων υλικών που δείχνεται. Παρόλο που έγινε ενίσχυση με τη μορφή τοιχωμάτων της εκσκαφής, έπρεπε να εμποδιστεί διαρροή της άμμου από τρύπες μεταξύ των μεγάλης έκτασης ανοιχτών σανιδωμάτων ανάμεσα στα υποστηρίγματα.

Επίσης έπρεπε να δοθεί επαρκής διατμητική αντοχή για να βαστάξει το φορτίο των κτιρίων.

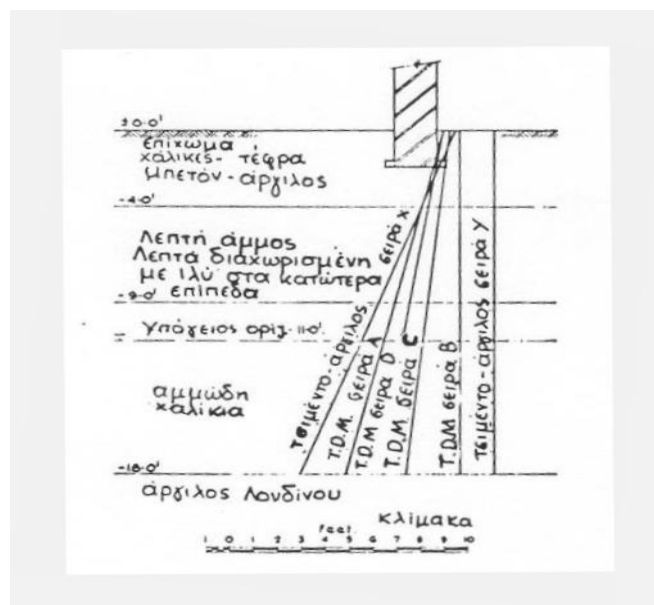


Σχήμα 3.2 Σχεδιάγραμμα χημικής υποστύλωσης στο Great Cum-berland Place που δείχνει λεπτομέρειες των εδαφών .

Οι εργασίες ένεσης προχώρησαν από ένα επίπεδο 4ft πάνω απ' τα στρώματα Tarlow σε 2 φάσεις:

(1) ενέσεις αργίλου τσιμέντου σε δύο σειρές οπών με απόσταση των κέντρων 4ft για πλευρική στήριξη της ζώνης που θα δέχονταν χημική ένεση. Αυτά έγιναν για να γκρεμιστεί ένα ανοιχτός στρώμα πάχους 3in στο σύνορο χαλικιών-London Clay και άλλα διαστήματα με μεγάλους πόρους ή κενά στα χαλίκια ή στο έδαφος.

(2) ενέσεις TDM σε 3 σειρές οπών με αποστάσεις κέντρων 2ft κάτω απ' τα θεμέλια των κτιρίων και σε δύο σειρές οπών όμοια διατεταγμένες κάτω απ' τη γειτονική των δρόμων περιοχή. Στα ανώτερα 5ft λεπτότερης άμμου κάτω απ' τα κτίρια, μια επιπρόσθετη σειρά οπών συγχωνεύτηκε στην επεξεργασία (σχ. 4.9).



Σχήμα 3.3 Great Cumberland Place σχεδιάγραμμα των οπών ενέσεων κάτω από τα κτίρια.

Οι ενέσεις έγιναν με τη βοήθεια ραβδίων που μπήχθηκαν χωρίς περιστροφή, με χρήση σφυριών από εργάτες.

Για την επεξεργασία με τσιμέντο-άργιλο, χρησιμοποιήθηκε ένα εύχρηστο σημείο εισαγωγής, αλλά η ένεση του TDM έγινε διαμέσου ραβδίων, έχοντας ένα μήκος διαπέρασης στον πυθμένα 12in.

Οι χημικές τρύπες ανοίχθηκαν διαμέσου προτοποθετημένων τμημάτων σωλήνων μήκους 5ft που βοηθούσαν την ευθυγράμμιση και στερέωση των ραβδίων στο έδαφος.

Το επεξεργασμένο έδαφος ήταν σχεδόν ομοιόμορφο μέσα στα αμμώδη χαλίκια και έμοιαζε με κροκαλοπαγές πέτρωμα.

Στην καταστρώσεις άμμο ήταν επαρκές αλλά πολύ λιγότερο αξιόπιστο, το πάχος επεξεργασίας ήταν το ελάχιστο, και οι πιέσεις της ένεσης κοντά στην επιφάνεια του εδάφους έπρεπε να περιοριστούν σε τιμές μικρότερες από 50lb/ft².

Η επεξεργασία επέτρεψε στις εργασίες κατασκευής να προχωρήσουν όπως είχε σχεδιαστεί, με αξιόλογη οικονομία σε χρόνο και χρήμα. Σε κάποια θέση μια αναδρομική μετατόπιση που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της βροχερής περιόδου στο χώμα που εκσκάφτηκε, προχώρησε στην επεξεργασμένη ζώνη και σταμάτησε.

Η μέση διαπερατότητα των επεξεργασμένων αμμωδών χαλικιών υπολογίστηκε 10^{-5} cm/sec, δείχνοντας μια ελάττωση μερικών τάξεων.

- Πύργος ελέγχου του Αεροδρομίου του Λονδίνου (1960) – [Σύμβουλοι μηχανικοί: Sir William Halcrow and Partners, κύριος εργολήπτης: J. Lawson and Co Ltd].

Αυτό είναι ένα πολύ καλό παράδειγμα για την τοπική χρήση της μεθόδου του Joosten σε άμμο και χάλικες κάτω από ένα σημαντικό κτίριο για ασφάλεια από απώλειες εδάφους κατά τη διάρκεια εκσκαφής.

Έπρεπε να διανοιχτεί ένα όρυγμα μήκους 50ft στη δυτική πτέρυγα του πατώματος του πύργου ελέγχου του αεροδρομίου του Λονδίνου για να κατασκευαστεί μια νέα αίθουσα τηλεγράφου στο ταχυδρομείο.

Κάθε πλευρά της εκσκαφής έπρεπε να επεκταθεί κατά μήκος και κάτω από μια σειρά πέδινων υποστυλωμάτων 4-5ft² που έφεραν το βάρος του κτιρίου. η αναμενόμενη στάθμη νερού ήταν κάτω από την στάθμη σχηματισμού, αλλά οι σύμβουλοι μηχανικοί θεώρησαν προτιμότερο να υποστυλώσουν τα πέδιλα των στύλων με χημική στερεοποίηση των χαλικιών.

Εκσκαφές που έγιναν κατόπιν έδειξαν ότι έχει επιτευχθεί πολύ ικανοποιητικός βαθμός στερεοποίησης.

- Wuppertal, Δυτ.Γερμανία (1960) – [Το έργο εκτελέστηκε από την Soletanche, Παρισίων, και την Eurosond του Μονάχου].

Απαιτήθηκαν εκσκαφές σε βάθος για τα θεμέλια ενός συγκροτήματος νέων γραφείων που θα κατασκευάζονταν δίπλα στην όχθη του ποταμού Wupper.

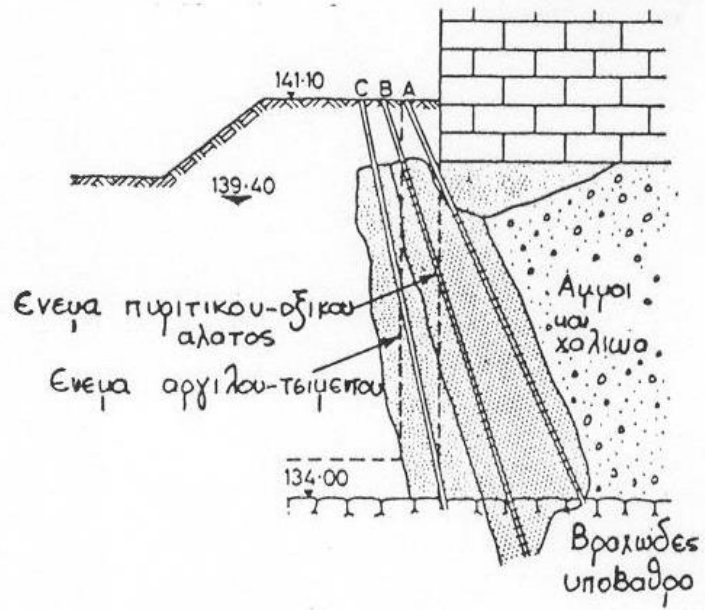
Τρεις πλευρές του οικοπέδου οριοθετούνται από δρόμους και οι κάθετες εκσκαφές έγιναν πραγματοποιήσιμες χάριν στο σχηματισμό ενός συνεχούς τοίχου-διαφράγματος.

Η τέταρτη πλευρά οριοθετήθηκε από ενυπάρχοντα κτίρια τεσσάρων και οκτώ ορόφων. Οι όροι του συμβολαίου απαιτούσαν τη λήψη επαρκών προφυλακτικών μέτρων για την προστασία αυτών των περιουσιών από απώλειες εδάφους κατά τη διάρκεια των εκσκαφών.

Το έδαφος εκτεινόταν 7m προς τα κάτω σ' ένα βραχώδες υπόβαθρο σκληρού μεταμορφικού σχιστόλιθου, η εκσκαφή μορφώσεως ήταν συνεχόμενη από κροκάλα ως λεπτόκοκκη άμμο, και η διαπερατότητα ήταν της τάξης των 10⁻² cm/sec.

Μια λύση δόθηκε με τον σχηματισμό ενός τοιχώματος από ένεση πυριτίου-οξικού άλατος που υποστύλωνε τα πλησίον θεμέλια (σχ. 4.10).

Αρχικά κατά την επεξεργασία έγινες ένας μανδύας με ένεση αργίλου-τσιμέντου μέσω σωλήνων C για να γεμίσει τα μεγαλύτερα κενά και να περιορίσει την εξάπλωση του ακριβότερου κονιάματος στην πλευρά της εκσκαφής. Ένεση με άργιλο-τσιμέντο έγινε αμέσως μετά κάτω από τα θεμέλια για να διασφαλίσει το αρχικό γέμισμα από πιθανά κενά που θα υπήρχαν εκεί.



Σχήμα 3.4 Επεξεργασία εδάφους στο Wuppertal ,Δυτική Γερμανία.

3.5.3 Ενέσεις ρητίνης με ειδική αναφορά στην επεξεργασία των λεπτών, ιλυωδών άμμων του Woolwich και Readink Beds στο New Blackwall Junnel

- Παρουσίαση ενός συστήματος AM -9- καταλυτών και του εξοπλισμού για την εφαρμογή του

Η τεχνική που αναπτύσσεται εδώ έχει U.S. πατέντα 2,651,619 (de Mell. Hauser και Lambe) και αρχειοθετήθηκε το 1953. Στο σύστημα που αναφέρεται η πραγματική διαδικασία μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά ως εξής:

1 στάδιο: παρασκευάζεται ένα υδατικό διάλυμα AM-9, που περιέχει επιπρόσθετα για τον έλεγχο του χρόνου πήξης και ένα συστατικό από το σύστημα των καταλυτών.

2 στάδιο: υπολειπόμενο συστατικό του συστήματος των καταλυτών (συνήθως το νερό) προστίθεται στο διάλυμα της AM-9 που παρασκευάστηκε κατά το στάδιο 1.

Αρχίζει η χρονομέτρηση της περιόδου εγκατάστασης (χρόνος πήξης). Γίνονται δύο αντιδράσεις σε ακολουθία: καταλύτης → ελεύθερη ρίζα και ελεύθερη ρίζα + AM-9 (μονομερές) → πολυμερές.

Η πρώτη αντίδραση αρχίζει σχεδόν αμέσως αφότου το δεύτερο συστατικό του συστήματος καταλυτών προστεθεί στο διάλυμα της AM-9. Η ταχύτητα του σχηματισμού των ελεύθερων ριζών και ταχύτητα αποσύνθεσής τους επηρεάζεται από ορισμένους παράγοντες.

Ο έλεγχος αυτών, με την κατάλληλη εκλογή του συστήματος καταλυτών και του περιβάλλοντος επιτρέπει να κυλήσει ένας προκαθορισμένος χρόνος πριν να γίνει ο πολυμερισμός της AM-9. Αυτό είναι γνωστό σαν περίοδος εγκατάστασης ή χρόνος πήξης, κατά τη διάρκεια του οποίου το ιξώδες του διαλύματος παραμένει σταθερό. Στο τέλος της περιόδου εγκατάστασης, αναπτύσσεται θερμότητα και σχηματίζονται μακριές ευκίνητες, αλυσίδες πολυμερών.

Καθώς σχηματίζονται αυτές οι αλυσίδες, διασταυρώνονται μεταξύ τους διαδοχικά για να σχηματίσουν ένα γερό, πολύπλοκο δικτύωμα, το οποίο μαζί με το νερό σχηματίζει ένα πήγμα. Το πήγμα αποκτά τη μέγιστη αντοχή του μέσα σε λίγα λεπτά.

- Η μεγαλύτερη αξία των συστημάτων σαν κι αυτών που αναφέρθηκαν παραπάνω έγκειται στα εξής:

(1) ευκολία με τη οποία μπορούν να παρασκευαστούν τα διαλύματα

(2) απλότητα των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται

(3) ακριβής έλεγχος του χρόνου πήξης

(4) στο γεγονός ότι το ιξώδες του διαλύματος της ένεσης παραμένει σε χαμηλά επίπεδα (περίπου 1.9cP) και σταθερό μέχρι ένα μικρό διάστημα πριν από την έναρξη της πήξης.

(5) παρόλο που η AM-9 είναι πιο ακριβής από κάθε άλλο υλικό ενέσεων, τα διαλύματα της AM-9 γεμίζουν περισσότερο κενό χώρο απ' ό,τι ίδιοι όγκοι των περισσότερων γαλακτωμάτων τσιμέντου, επειδή κάθε γαλόνι AM-9 παράγει τουλάχιστον ένα γαλόνι αδιαπέραστου πήγματος.

Δεν υπάρχουν προβλήματα διαρροής, διαίρεσης και εγκατάστασης. Μπορεί να αναμένεται δίοδος κάθε ζώνης όπου μπορεί να ρέει νερό.

(6) Οι εργολάβοι, βασιζόμενοι στην εμπειρία πεδίου, υπολόγισαν ότι η ένεση με AM-9 μπορεί να ολοκληρωθεί σε 10-20% του χρόνου που απαιτείται για ένεση με τσιμέντο Portland.

(7) εξαιτίας του χαμηλού ιξώδους των διαλυμάτων της AM-9 και τον εξαιρετικό έλεγχο που ασκούν στο χρόνο πήξης, μπορεί να περιοριστεί η απώλεια ενέματος σχεδόν στο μίνιμουμ και σε ορισμένες περιπτώσεις ουσιαστικά να εκμηδενιστεί.

Φυσικά, προϋποθέσεις απαραίτητες για να πραγματοποιηθεί αυτό είναι, τα κατάλληλα εξαρτήματα για την διοχέτευση και μια καλή ανάλυση του προβλήματος.

Εφόσον όλα τα συστατικά του διαλύματος είναι πολύ διαλυτά στο νερό, δεν είναι απαραίτητα αναγκαία ειδικά εξαρτήματα για να κάνουν τα διαλύματα του έργου.

Στη συνήθη πρακτική πεδίου, η ανάδευση μ' ένα αυτοσχέδιο κουπί είναι επαρκής, αν και εκεί όπου εκτελούνται έργα μεγάλης κλίμακας, όπως στο Monktonhall Colliery, μπορεί να εγκατασταθεί μια μόνιμη συσκευή μίξης.

Για να εξασφαλιστεί η επιτυχία της χρήσης ενέματος πολυμερών, είναι αναγκαίο (όπως και σε οποιαδήποτε κατασκευή ή υπόγεια εργασία) να χρησιμοποιηθεί εξοπλισμός που έχει σχεδιαστεί για να επιτυγχάνει την καλύτερη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Με το ένεμα βασισμένο στο ακρυλαμίδιο χρησιμοποιήθηκαν τρεις βασικοί τύποι εξοπλισμού, οριζόμενοι σαν το αναλογικό σύστημα, το σύστημα 2 λύσεων και το σύστημα σωρού.

Όλοι αυτοί χρησιμοποιήθηκαν επιτυχώς και ένας εργολάβος στη Ν. Βρετανία χρησιμοποίησε μια τροποποιημένη χειροκίνητη, διαφραγματική αντλία για ενέσεις σωρών (batch injections) με πολύ μεγάλη επιτυχία. Σε έργα μεγάλης κλίμακας το αναλογικό σύστημα είναι καλύτερο και ευκολότερο στη χρήση.

Το σύστημα έχει σχεδιαστεί με σχετική ευελιξία γιατί συχνά είναι σημαντικό να διαφοροποιούνται οι χρόνοι πήξης, οι ταχύτητες άντλησης και οι πιέσεις γύρω από ένα μέσο εύρος κατά τη διάρκεια μιας εφαρμογής.

Αυτό το σύστημα επιτρέπει σε κάποιον να ελέγχει όλους τους παράγοντες ταχύτητα και με ακρίβεια, με μηχανικά μέσα. Η ανάγκη να ρυθμίζονται οι χημικές συγκεντρώσεις ή να αλλάζονται τα βάρη ή οι διαδικασίες ανάμιξης έχει εξαλειφθεί.

Η AM-9, ο καταλύτης DMAPN και το KF, αναμιγνύονται στο TA₁, ammonium persulfate παρασκευάζεται στο TA₂. Η αντλία P₂ επιλέγεται να ρυθμίσει ένα μικρό όγκο διαλύματος AP (περιεκτικότητα AP 5-29%) σε σχέση με τον όγκο του διαλύματος AM-9 που ρυθμίζεται απ' την αντλία P₁.

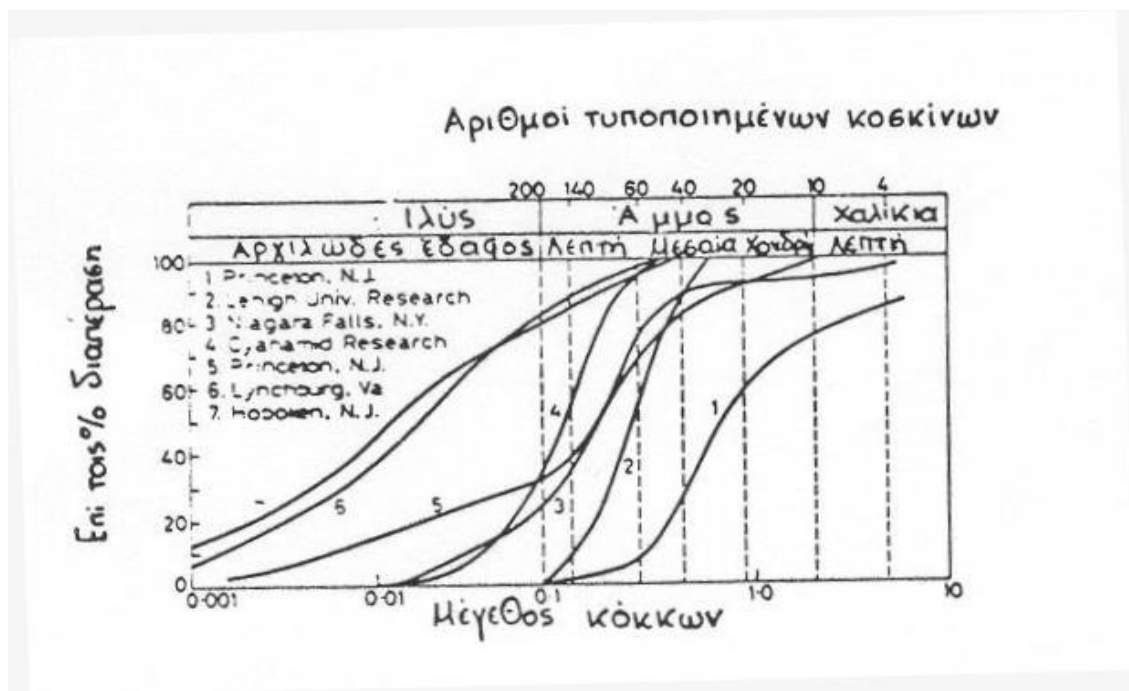
Έτσι η ροή διαμέσου της P_2 μπορεί στη διάρκεια των εργασιών να διαφοροποιείται με αποτέλεσμα μεγάλες αλλαγές στο χρόνο πήξης χωρίς η συγκέντρωση της AM-9 στο τελικό μίγμα ή το συνολικό όγκο διαλύματος που εισέρχεται στο έδαφος να αλλάζει ουσιαστικά.

Η χωρητικότητα της P_1 είναι συνήθως 5-15 φορές μεγαλύτερη της P_2 .

Ένας διακόπτης που η λειτουργία του καθορίζεται από την πίεση, ελέγχοντας την έναρξη και το σταμάτημα των αντλιών μπορεί να κάνει το όλο σύστημα της ένεσης δυνατό να ελεγχθεί με το άνοιγμα ή κλείσιμο της V_1 .

Το μέγεθος του στομίου (O) πρέπει να έχει τέτοιο μέγεθος ώστε το διάλυμα AP να ψεκάζεται μέσα στο θάλαμο ανάμιξης για καλή ανάμιξη. Αυτό κάνει την P_2 να λειτουργεί σε μεγαλύτερη πίεση από εκείνη της P_1 .

Τα μεγέθη όλων των αντλιών, σωλήνων και βαλβίδων πρέπει να εκλέγονται σύμφωνα με τις προσδοκώμενες πιέσεις και ταχύτητες ροής. Σε όλες τις εφαρμογές θα έπρεπε να είναι διαθέσιμη μια ξεχωριστή πηγή νερού ώστε να το νερό να περνά απ' την P_1 ή μια άλλη αντλία και να καθορίζεται το σημείο της ένεσης ή τη γειτονική σ' αυτά διάταξη.



Σχήμα 3.5 Σύγκριση οριακού μεγέθους κόκκων.

Το σχήμα 3.5 δείχνει μια σύγκριση του οριακού μεγέθους κόκκων εδαφικών δομών που δέχτηκαν διάφορους τύπους ένεσης. Σε λεπτή ιλύς και άμμο το μέγεθος των κόκκων ή το ιζώδες άλλων ενέσεων εμποδίζει τη χρήση τους.

Στους ψαμμίτες επίσης ένα διάλυμα με ιζώδες παρόμοιο με του νερού είναι το μόνο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν εκτιμάται το πραγματικό κόστος μιας επιχείρησης ένεσης με χρήση της AM-9 ή παρόμοιων προϊόντων.

Ακόμη και σε σύγκριση με την τσιμεντένεση, όταν βέβαια θεωρούνται τα πραγματικά κόστη μιας εργασίας μηχανικού η AM-9 μπορεί να αποδειχθεί οικονομική.

Μια μικρή φίρμα εργοληπτών στο Midlands ήδη γνωστή για την επιδεξιότητά της στις τσιμεντενέσεις, έχει καταφέρει τέτοιες οικονομίες σε εργασίες και χρόνο που σχεδόν όλα της τα συμβόλαια για στεγανοποίηση υπογείων και παρόμοιες εργασίες πραγματοποιούνται με τη βοήθεια του AM-9.

Στις υπόγειες εργασίες, ο συνολικός χρόνος για εκσκαφές, όταν συναντώνται σχηματισμοί διαποτισμένοι με νερό, έχει ελαττωθεί από 36h, με χρήση τσιμέντου, σε 2 1/2-3 ώρες. Αναφορές σε άλλες, μεγαλύτερες επιχειρήσεις δίνονται στο τέλος αυτού του κεφαλαίου. Η Cynamid έχει σε εφαρμογή ένα συνεχές πρόγραμμα ερευνών και μια δεύτερη πολυμερική ένεση θα είναι σύντομα διαθέσιμη.

Αυτό το υλικό θα έχει περίπου 10 φορές τη δύναμη της AM-9 επί τόπου, και θα αποτελείται από δυο συστατικά μονάχα – ένα υδατοδιαλυτό ένεμα και ένα υδατοδιαλυτό ανόργανο καταλύτη.

Η αύξηση της δύναμης έχει επιτευχθεί θυσιάζοντας εν μέρει το χαμηλό ιζώδες και τον ακριβή χρόνο ελέγχου του χρόνου πήξης της AM-9 είναι προφανές ότι το κόστος του νέου υλικού, επί τόπου, θα είναι χαμηλότερο από της AM-9.

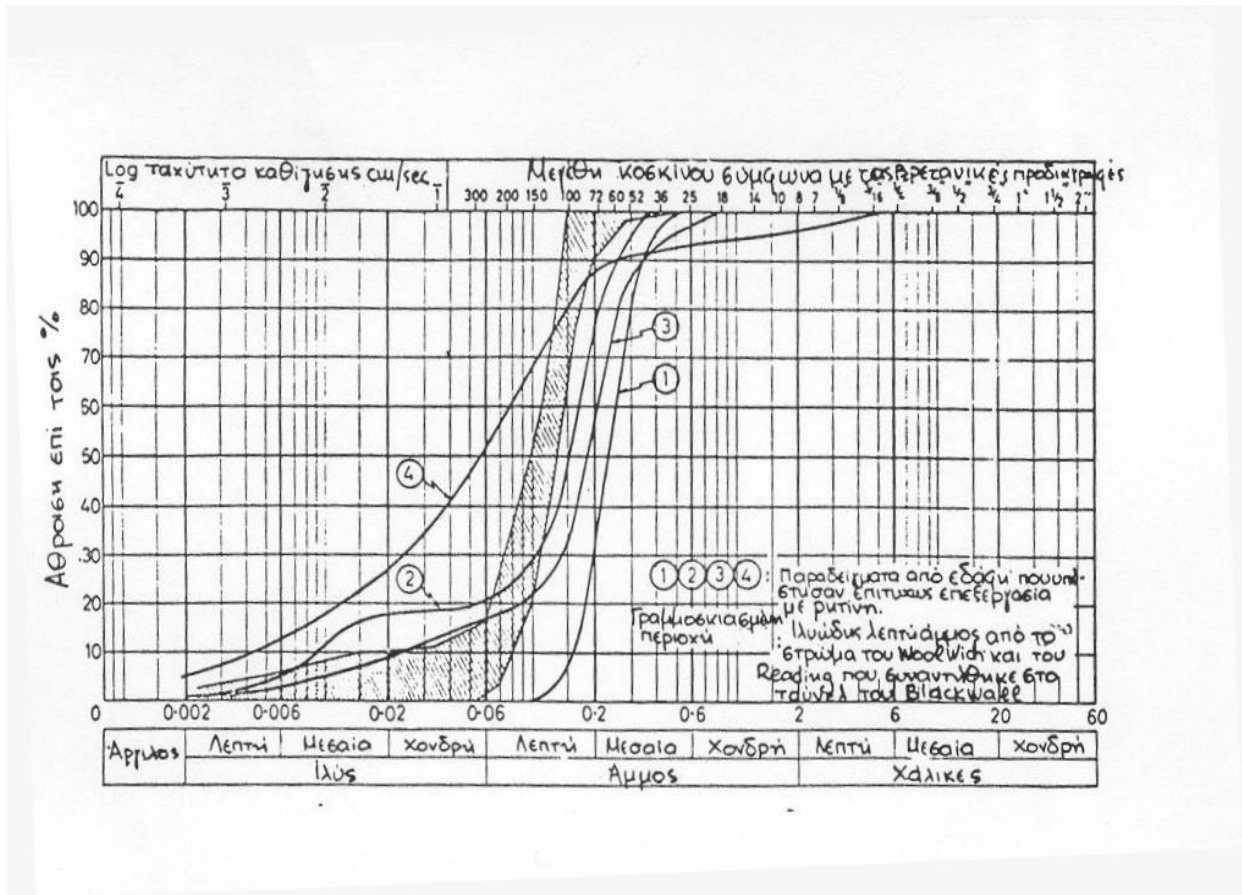
Ένα τρίτο προϊόν, που προς το παρόν βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο υπόσχεται δύναμη συγκρίσιμη με εκείνη που αποκτιέται με τις τσιμεντενέσεις. Το εμπορικό μάρκετινγκ τοποθετείται ακόμη στο μέλλον.

Πειραματική εργασία γίνεται επίσης και πάνω σε πήγματα που είναι αδιαπέραστα από ιόντα. Πήγματα της AM-9 είναι αδιάλυτα και σχεδόν ολότελα αδιαπέραστα από το νερό, αλλά εφόσον, είναι πολυηλεκτρολύτες τα ιόντα θα διέρχονται διαμέσω αυτών και έχει γίνει αντιληπτό ότι σε συγκεκριμένες συνθήκες ένα πήγμα αδιαπέραστο από ιόντα μπορεί να έχει αξία.

1. Παραδείγματα εδαφών στα οποία έγινε επιτυχώς επεξεργασία με ρητίνες

Το σχήμα 3.6 δίνει κοκκομετρικές καμπύλες μερικών εδαφών στα οποία έγινε επιτυχώς επεξεργασία, με ρητίνες. Η καμπύλη Νο. 1 αναφέρεται σε μια άμμο 0,1-0,4 mm η οποία να στερεοποιηθεί σ' ένα μήκος 30ft ώστε να επιτραπεί το πέρασμα του υπονόμου.

Στις αρχικές οπές ενέσεων διοχετεύτηκε ένα πήγμα πυριτικού νατρίου και στις δευτερεύουσες ρητίνη.



Σχήμα 3.6 Καμπύλες κατανομής μεγέθους κόκκων.

Η καμπύλη Νο. 2 αναφέρεται σε μια άμμο, με διαπερατότητα που ποίκιλε από 6×10^{-3} και 2×10^{-4} cm/sec, που βρέθηκε κατά τη διάρκεια της κατασκευής ενός από τους κύριους υπονόμους, στην περιοχή των Παρισίων.

Η διάνοιξη ενός προσωρινού μετώπου σταμάτησε από μια πολύ μεγάλη εισροή νερού και άμμου. Μετά από την επεξεργασία με ρητίνη η διάνοιξη συνεχίστηκε χωρίς καμία δυσκολία.

Το ίδιο πρόβλημα της εισροής νερού και άμμου παρουσιάστηκε κατά τη καταβύθιση δύο φρεάτων και τη διάνοιξη ενός μετώπου στην άμμο του Brauchamps (κοκκομετρική καμπύλη

No.3) και λύθηκε με μια συνδυασμένη επεξεργασία με ημίσκληρο πήγμα άλατος πυριτίου και με ρητίνη.

Η καμπύλη No.4 αναφέρεται σε μια πολύ ιλυώδη άμμο με διαπερατότητα $h=10^{-5}$ cm/sec. Ο σκοπός της ενέσεως ήταν να περιορίσει την καθίζηση ενός σπιτιού δώδεκα ορόφων που ήταν θεμελιωμένο πάνω σ' ένα στρώμα ιλυώδους άμμου που με τη σειρά του βρισκόταν πάνω από ένα στρώμα ψιλής άμμου.

Η λεπτή άμμος αρχικά, δέχτηκε ένεση με ένα πήγμα πυριτικού νατρίου για να αποφευχθεί η απώλεια ρητίνης στα πιο διαπερατά στρώματα, έπειτα η στερεοποίηση που είναι κατάλληλη για τις ιλυώδεις άμμους εκτελέστηκε με ένεση ρητίνης, εξαιτίας της πού χαμηλής διαπερατότητας αυτών των ιλυωδών άμμων, η ταχύτητα της ένεσης ήταν πολύ χαμηλή, με μια ροή 10gal/h των περίπου.

Επεξεργασία των ιλυωδών, ψιλών άμμων του Woolwich και Reading Beds που έλαβαν χώρα στο βόρειο άκρο της σήραγγας του New Blachwall στο Λονδίνο

- Γενικά

Η υπάρχουσα οδική σήραγγα στο Blachwall, που ολοκληρώθηκε το 1897, υπήρξε η κύρια οδική διάβαση του κατώτερου τμήματος του ποταμού Τάμεση. Η πρόσφατη αύξηση της κυκλοφορίας έκανε αυτή τη σήραγγα ανεπαρκή και η κατασκευή μιας νέας τοπικής σήραγγας βρίσκεται τώρα σε εξέλιξη.

Η καινούργια σήραγγα θα επενδυθεί με έγχυτα τμήματα σιδήρου μήκους 28ft και τα κυριότερα τμήματα κάτω από το ποτάμι θα κατασκευαστούν με πεπιεσμένο αέρα.

Στη βόρεια πλευρά του Τάμεση ένα μήκος περίπου 30ft του τούνελ, ανάμεσα στο κύριο νότιο καταδυόμενο φρέαρ και την σήραγγα που προσεγγίζει την οδό Prestage θα συναντήσει τα εξής στρώματα: (a) χάλικες του Τάμεση στη στεφάνη της σήραγγας (b) άργιλο του Λονδίνου, κάπου 20-30ft, που καλύπτει το μεσαίο τμήμα της σήραγγας, και (c) ιλυώδη, ψιλή άμμος του Woolwich και του στρώματος του Reading στον πυθμένα της σήραγγας.

Ανάμεσα στην άργιλο του Λονδίνου, και την άμμο του Woolwich και του Reading Beds υπήρχε κατά τόπους ένα κατ' ουσία σκληρό στρώμα οστράκων και κροκάλων. Αυτό το στρώμα είναι πάχους 1ft και αναφέρεται σαν "στρώμα στρειδιών". Το σχήμα 17 δίνει το κατά μήκος τμήμα το οποίο δείχνει την θέση των στρωμάτων, μαζί με τις συνθήκες του υπόγειου νερού.

Γίνεται φανερό ότι, για να ισορροπηθούν οι πιέσεις του νερού στον πυθμένα θα απαιτούνταν πεπιεσμένος αέρας σε πιέσεις των 20lb/in² περίπου. Όμως καθώς, το κάλυμμα της κορυφής, είναι μικρό στο τέλος της σήραγγας στην οδό Prestage, αυτή η πίεση θα εγκυμονούσε τον κίνδυνο ανύψωσης του εδάφους, έχοντας σαν αποτέλεσμα καταστροφές στην υπερκείμενη περιοχή, και υψηλότερη απώλεια αέρα στο στρώμα κροκάλων.

Τρεις εναλλακτικές μέθοδοι κατασκευής φαίνονταν δυνατές: είτε να αυξηθεί το κάλυμμα του εδάφους και να χρησιμοποιηθεί πεπιεσμένος αέρας, ή να χρησιμοποιηθεί πτώση νερού ή να σταθεροποιηθούν τα διαπερατά ασυνεχή εδάφη, με ένεση. Η τελευταία λύση επιλέχθηκε σαν η πιο πρακτική.

Η σήραγγα ήταν τοποθετημένη επάνω απ' αυτό το τμήμα έτσι ώστε μια σήραγγα-οδηγός διαμέτρου 7ft μπορούσε να οδηγεί ολόκληρη διαμέσω της αργίλου του Λονδίνου και έτσι ανενόχλητη από προβλήματα του νερού.

Η ένεση στα στρώματα κροκάλων και άμμου εκτελέστηκε μέσω της σήραγγας-οδηγού. Μετά την αποπεράτωση του έργου των ενέσεων έγινε εκσκαφή της σήραγγας σε δύο στάδια, πρώτα στα 18ft, εγκαθιστώντας μια προσωρινή επένδυση, και έπειτα σ' όλη της τη διάμετρο.

Αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται στην επεξεργασία της ιλυώδους, ψιλής άμμου του Woolwich και του στρώματος Reading. Σημειώνεται ότι στο χαλίκι του Τάμεση στη στεφάνη της σήραγγας έγινε επεξεργασία με ημίσκληρο μονό ρευστοκονίαμα βασισμένο στο πυριτικό νάτριο.

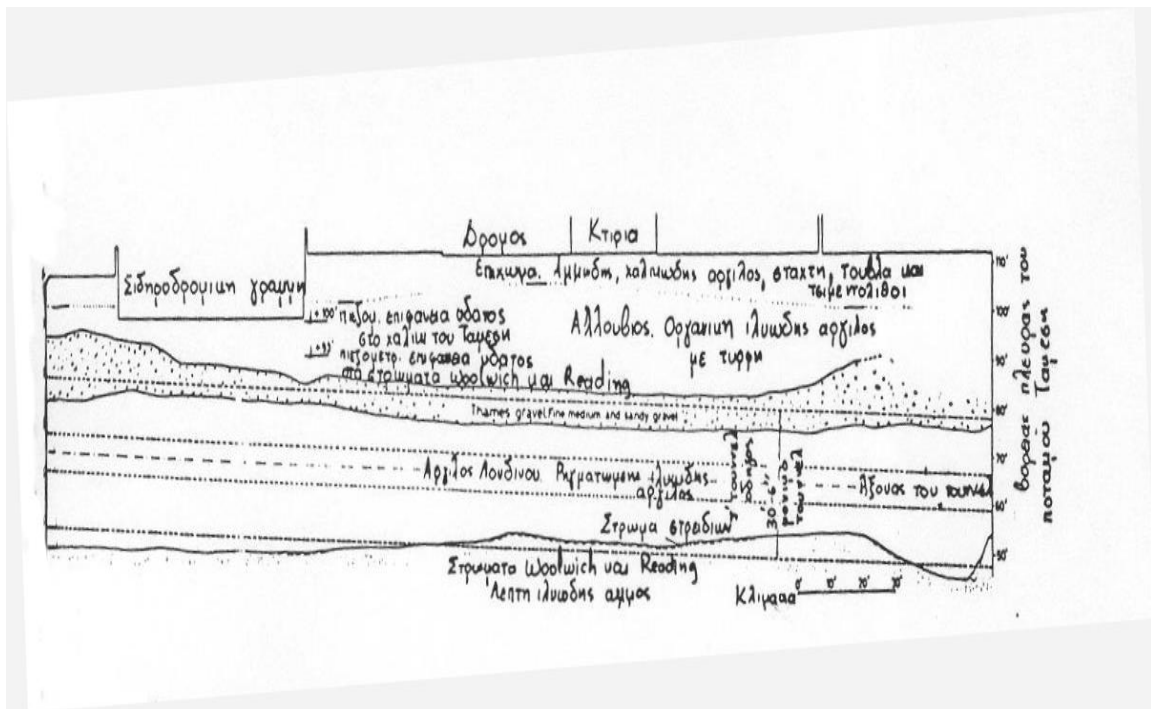
- Αρχές της επεξεργασίας

Έγινε κοκκομετρική ανάλυση σε δείγματα των στρωμάτων του Woolwich και του Reading, που πάρθηκαν από τις γεωτρήσεις ερευνών. Η σειρά των καμπύλων κατανομής μεγέθους κόκκων δίνεται στο σχήμα 4.12 .

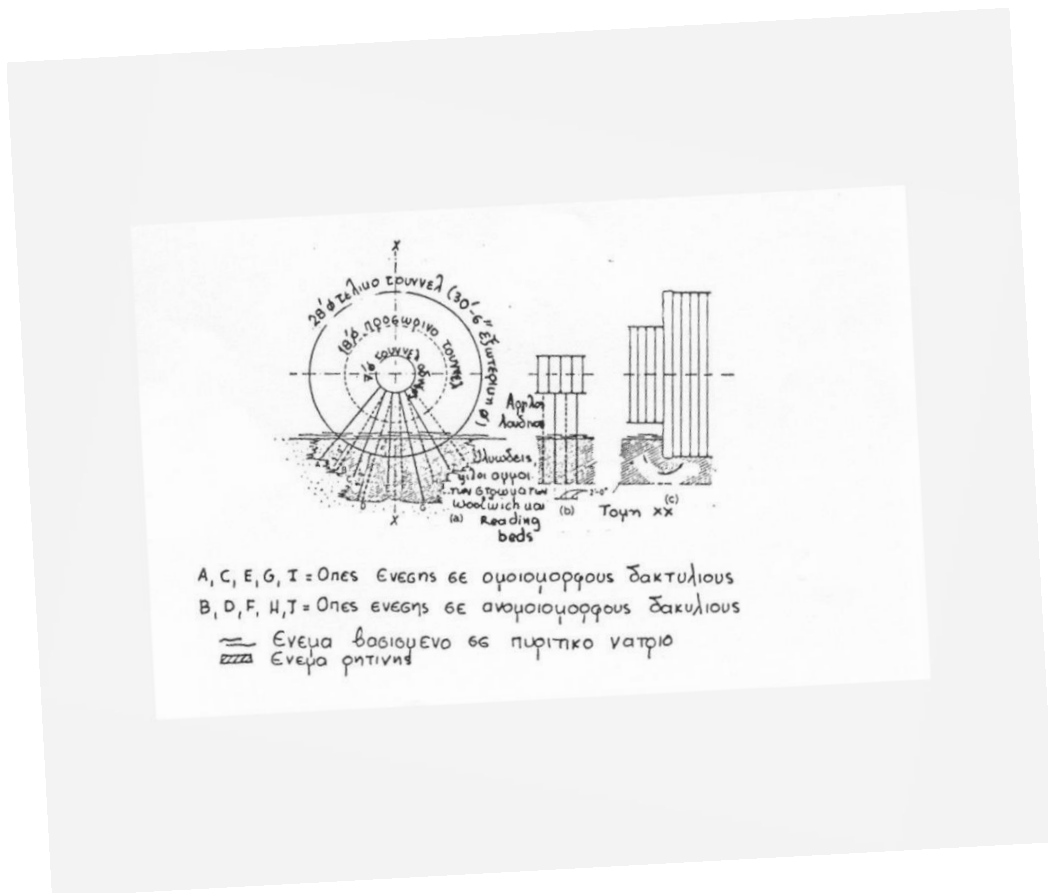
Δέκα, επί τόπου, δοκιμές διαπερατότητας εκτελέστηκαν επίσης στην άμμο κατά τη διάρκεια της διάνοιξης των γεωτρήσεων ερευνών και αυτές έδωσαν τιμές του συντελεστή διαπερατότητας K που ποίκιλαν από 1 ως 7×10^{-4} cm/sec. Αυτές οι δοκιμές έδειξαν ότι στην άμμο δεν μπορεί να γίνει επεξεργασία με κονίαμα βασισμένο στο άλας πυριτίου.

Η αρχή της επεξεργασίας με ρητίνη παρουσιάζεται στο σχήμα 4.14.

Έπρεπε να σταθεροποιηθεί ένας δακτύλιος άμμου πάχους τουλάχιστον 5ft. Ένα τόσο μικρό πάχος αποτελεί το ελάχιστο, αποδεκτό μόνο εξαιτίας της αψίδας που σχηματίζεται ανάμεσα στο έδαφος που υποστηρίζεται από την προσωρινή σήραγγα διαμέτρου 18ft και την τελική σήραγγα [βλ. σχήμα 4.14 (c)].



Σχήμα 4.7 Κατά μήκος τομή , που απεικονίζει το μήκος 300 ft τούνελ στο οποίο χρησιμοποιήθηκε ένεμα ρητίνης.



Σχήμα 4.8 Αρχή της επεξεργασίας : (α) Διατομή (b) κατά την επεξεργασία από το τούνελ – οδηγό 7 ft (c) κατά την κατασκευή του τελικού τούνελ 28 ft.

Οι ενέσεις εκτελέστηκαν από ακτινωτές οπές ενέσεων, από την σήραγγα-οδηγό. Γι' αυτό το σκοπό τα τμήματα έγχυτου σιδήρου της επένδυσης της σήραγγας-οδηγού τροφοδοτήθηκαν με βύσματα διαμέτρου 3.

Ο αριθμός των οπών ενέσεων εξαρτιόταν από το ύψος, h , της λαμβανόμενης άμμου στο εσωτερικό του τούνελ.

Ο τύπος του κονιάματος ρητίνης που χρησιμοποιήθηκε, βασιζόταν σε resorcinol και φορμαλδεϋδήμια πατέντα της Soletanche. Η αντοχή της επεξεργασμένης άμμου και το κόστος του κονιάματος ποικίλουν ανάλογα με την περιεκτικότητα του κονιάματος σε ρητίνη, και αυτό πρέπει να επιλεγεί για να προσδώσει μια ικανοποιητική αντοχή, με όσο το δυνατό μικρότερο κόστος γίνεται.

- Μέθοδος ένεσης

Η μέθοδος της ένεσης πρέπει να υιοθετηθεί ανάλογα με τις συνθήκες στο χώρο του έργου. Αρχικά έγινε επεξεργασία ενός δοκιμαστικού τμήματος 20ft, όπου χρησιμοποιήθηκαν λόγχες εμπήξεως, αλλά το αποτέλεσμα δεν ήταν ικανοποιητικό.

Η άμμος επεξεργάστηκε μόνο εν μέρει, αφήνοντας περιοχές όπου δεν μπορούσε να βρεθεί κανένας ίχνος διαπερασης της ρητίνης. Αφού είχε γίνει ένεση επαρκούς κονιάματος, το φτωχό αποτέλεσμα μπορούσε να αποδοθεί μόνο στην μέθοδο ένεσης που χρησιμοποιήθηκε. Οι παρακάτω παρατηρήσεις μπορεί να εξηγήσουν τη φανερή ανικανότητα στην επεξεργασία της ιλυώδους, ψιλής άμμου, με λόγχες:

(1) Το διαταραγμένο έδαφος γύρω από το εξωτερικό της λόγχης σχηματίζει μια προνομιακή τροχιά για τη ροή του υψηλά διαπεραστικού κονιάματος ρητίνης και το κονίαμα, τείνει να διασχίσει το δρόμο του κατά μήκος της λόγχης και να διασκορπιστεί σε περισσότερο ανοιχτές ζώνες αφήνοντας το έδαφος στο σημείο της ένεσης ακατέργαστο.

Αυτή η απώλεια πίσω κατά μήκος της λόγχης – το οποίο είναι σχετικά αμελητέο όταν γίνεται ένεση σε εδάφη με υψηλή διαπερατότητα – αποκτά, αντιθέτως, μεγάλη σημαία, όταν πρόκειται για εδάφη με χαμηλή διαπερατότητα.

(2) Το "στρώμα στρειδιών", στην κορυφή των άμμων του Woolwich και του Reading έκανε την πασαλόμπηξη πολύ δύσκολη και κατά τόπους αδύνατη. Αυτή η δύσκολη πασαλόμπηξη προκάλεσε ζημιές στις συνδέσεις του σωλήνα, πράγμα που δεν έγινε αμέσως φανερό παρά μόνο κατά την εξόρυξη του σωλήνα, με αποτέλεσμα να διαφεύγει πιθανά κονίαμα προς το έδαφος, απ' αυτά τα υψηλότερα επίπεδα.

Γι' αυτούς τους κύριους λόγους αποφασίστηκε να εξαιρεθεί η χρήση λογχών και να εγκατασταθεί ένας σωλήνας με παρέμβυσμα.

Η μέθοδος αυτή (tube a manchette) η οποία αναπτύχθηκε από την Soletanche έχει περιγραφεί διεξοδικά από τους ISCHY και GLOLLOP (1962). Η μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματα, να διασφαλίζει ότι το κονίαμα ενίεται σε κάθε διαλεγμένο επίπεδο χωρίς τον κίνδυνο "μικρής

περιστροφής" (short circuiting) κατά μήκος του σωλήνα και επίσης ότι δίνει την δυνατότητα να γίνει ένεση κατ' επανάληψη όσες φορές είναι επιθυμητό, με διάφορους τύπους κονιάματος.

Η μέθοδος ένεσης που υιοθετήθηκε ήταν η εξής: αρχικά, έγινε ένεση ενός κονιάματος αργίλου-τσιμέντου για να επανασυμπιέσει το διαταραγμένο από τη γεώτρηση έδαφος, ώστε να γίνει η εγκατάσταση της tube a manchette έγινε κατόπιν μια δεύτερη ένεση, με κονίαμα βασισμένο στο άλας πυριτίου, στο ύψος του στρώματος στρειδιών και στη βάση της αργίλου του Λονδίνου, με σκοπό να μειωθούν όσο είναι δυνατό οι απώλειες ρητίνης κατά μήκος των δίπλα περιοχών και προς τις χαραμάδες της αργίλου του Λονδίνου, έπειτα έγινε σε διαφορετικά στάδια η κατάλληλη ένεση ρητίνης με επαναχρησιμοποίηση των οπών ενέσεων για έλεγχο, και συμπληρωματικές ενέσεις σε περιοχές όπου ο έλεγχος έδειξε μη ικανοποιητικά αποτελέσματα, η χρησιμοποίηση του συστήματος παρεμβύσματος χώρισε τις εργασίες γεώτρησης απ' τις εργασίες ένεσης με αποτέλεσμα μια καλύτερη οργάνωση του χώρου και καλύτερη επίβλεψη του έργου.

- Έλεγχοι

Η επεξεργασία έγινε σε πέντε στάδια, έτσι ώστε να δοθούν περισσότερες ευκαιρίες για ελέγχους, που εκτελέστηκαν ως εξής:

(1) έγινε γεώτρηση και ένεση των πρωτογενών οπών, και καταστράφηκαν οι πιέσεις της ένεσης.

(2) έγινε γεώτρηση δευτερογενών οπών ενέσεων. Οι παρατηρήσεις που έγιναν κατά την γεώτρηση βοήθησαν να καθοριστούν οι ποσότητες που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την ένεση στις δευτερογενείς οπές οι οποίες και ενέθηκαν.

(3) έγινε ένεση μικρής ποσότητας ρητίνης σε όλες τις οπές ενέσεων για να ελεγχθεί εάν η πίεση της ένεσης είχε αυξηθεί σαν επακόλουθο της προγενέστερης επεξεργασίας.

(4) έγινε ένεση μιας συμπληρωματικής ποσότητας ρητίνης σε περιοχές όπου κατά τη διάρκεια της επιχείρησης (3) δεν είχε σημειωθεί καμία αύξηση της πίεσης.

(5) έγινε γεώτρηση τερματικών οπών ελέγχου.

Η διαδικασία αυτή επέτρεψε την επικύρωση (επαλήθευση) της επεξεργασίας καθώς το έργο βρίσκονταν υπό ανάπτυξη.

Η γεώτρηση των πρωτογενών οπών ενέσεων αποδείχθηκε σχετικά δύσκολη εξαιτίας των αρτεσιανών πιέσεων. Καθώς το έργο προχωρούσε η κατάσταση επιδεινώθηκε περισσότερο από την άμμου που επιβαρυνόταν με πεπιεσμένο αέρα από το έργο καταβύθισης στο κυρίως φρέαρ.

Όταν οι οπές ενέσεων έφθασαν την ιλυώδη, ψιλή άμμο του Woolwich και των στρωμάτων του Reading τότε ανέβλυσαν από την οπή νερού, αέρας και άμμος. Χρειάστηκε μια ειδική μέθοδος γεώτρησης που έκανε χρήση μιας συσκευής στεγανότητας για να αποφευχθούν απώλειες άμμου.

Η γεώτρηση των δευτερογενών οπών ήταν πολύ πιο εύκολη, το 64% των δευτερογενών οπών δεν έδειξαν ούτε αέρα ούτε νερό, 24% έδειξαν αέρα και 12% νερό. Μια μικρή ποσότητα άμμου η οποία ξεβράστηκε με το νερό παρατηρήθηκε σε 6% των δευτερογενών οπών και η άμμος εμφανίστηκε πολύ στερεοποιημένη στο 30% των οπών, και μόνο σταθεροποιημένη χωρίς μεγάλη αντοχή, στο 64% των οπών.

Ο έλεγχος κατά το τρίτο στάδιο αποκάλυψε μια αύξηση της πίεσης σε 91% των οπών ενέσεων.

Οι τερματικές οπές ελέγχου του πέμπτου σταδίου διανοίχτηκαν σε περιοχές όπου ξεπλυμένη άμμος είχε παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια του δεύτερου σταδίου, και όπου δεν παρατηρήθηκε αύξηση της πίεσης κατά το τρίτο στάδιο. Αυτές οι οπές απέδειξαν μια καλή επεξεργασμένη άμμο όπου ούτε αέρας, ούτε νερό, ήταν φανερά.

- Συμπεράσματα

Ένα τμήμα της σήραγγας μήκους 60ft είχε ήδη χτιστεί ανάμεσα στις περιοχές που είχαν δεχθεί ένεση. Η εκσκαφή στην άμμο εκτελέστηκε κάτω από ξηρές συνθήκες, με εξαίρεση δυο μικρές περιοχές στις ζώνες σύνδεσης. Πεπιεσμένος αέρας, που είχε εγκατασταθεί προληπτικά για λόγους ασφαλείας χρησιμοποιήθηκε σε μια απ' αυτές τις περιπτώσεις.

Η άμμος είναι ξηρή, έχει την ομογενή κοκκινωπή απόχρωση της ρητίνης και η εκσκαφή της πρέπει να γίνει με εργαλεία πεπιεσμένου αέρα. Μερικά δείγματα επεξεργασμένης άμμου ελέγχθηκαν στο εργαστήριο, και έδειξαν μια αντοχή συμπίεσεως 60-70lb/in².

Η σταθεροποίηση της ιλυώδους, ψιλής άμμου, η οποία θεωρούνταν μέχρι πρόσφατα ότι δεν μπορούσε να δεχθεί ένεση, μπορεί να επιτευχθεί μέσω κονιαμάτων ρητίνης. Οι περιοχές σύνδεσης μεταξύ στρωμάτων διαφορετικής διαπερατότητας είναι δύσκολο να επεξεργαστούν και κανείς δεν μπορεί να είναι τόσο πολύ προσεκτικός όταν έχει να κάνει μ' αυτές.

Οι μέθοδοι και οι διαδικασίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι σχετικά καινούργιες και η σήραγγα του Blackwall αποτελεί την πρώτη εφαρμογή ένεσης με ρητίνη σε μεγάλη κλίμακα, στη Μ. Βρετανία.

Κεφάλαιο 4° : Υλικά πειραματικής διαδικασίας

4.1. Γενικά χαρακτηριστικά των εποξειδικών ρητινών

4.1.1. Ορισμός

Οι εποξειδικές ρητίνες είναι συνθετικές ρητίνες που παρασκευάζονται από την αντίδραση εποξειδίου (συνήθως επιχλωρυδρίνη) με μια ουσία που περιέχει υδροξύλιο, όπως η διφαινυλοπροπάνη (ή διάνη) ή μια πολυσθενής αλκοόλη (π.χ γλυκερόλη). Οι διανικές εποξειδικές ρητίνες έχουν τη μορφή είτε ιξωδών κίτρινων υγρών, με μοριακή μάζα 350-750, διαλυτών σε ακετόνη και τολουόλη, είτε στερεών με χρώμα κίτρινο ή καστανό (μοριακή μάζα 800-3500), που διαλύονται σε μείγμα τολουόλης και βουτανόλης. Η κατεργασία των εποξειδικών ρητινών (στερεοποίηση) πραγματοποιείται σε συνήθεις συνθήκες και θερμοκρασίες είτε χαμηλές, (έως 15° C) είτε υψηλές (60-180° C), ανάλογα με τον τύπο του στερεοποιητή που χρησιμοποιείται (μπορεί να είναι πολυαμίνας, πολυβασικά οξέα, πολυσθενείς φαινόλες, κ.α). Οι στερεές ρητίνες έχουν μεγάλη μηχανική ανθεκτικότητα και αντοχή στο νερό, στις υψηλές θερμοκρασίες και στα χημικά αντιδραστήρια. Οι εποξειδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται για την παρασκευή κολλητικών ουσιών μεγάλης αντοχής, ως στεγανοποιητικές ουσίες, καθώς και στη βιομηχανία εποξειδικών βερνικιών κ.α.

4.1.2. Φυσικές ιδιότητες

Η χρωματική γκάμα των εποξειδικών ρητινών ποικίλει από μια ανοιχτή κιτρινοπράσινη έως μια σκούρα κιτρινοκαφέ απόχρωση που εξαρτάται από την ηλικία τους. Αν έχει γίνει κακή ανάμιξη μπορεί να έχουν μια πορτοκαλή απόχρωση. Οι περισσότερες σύγχρονες εποξειδικές ρητίνες έχουν αρχικά διαφανές χρώμα και με την πάροδο του χρόνου γίνονται σκούρες κίτρινες έως καφέ. Γενικά είναι πολύ σκληρές και όχι εύθριπτες. Αν έχει γίνει κακή ανάμιξη μπορεί να είναι μαλακές και να χαράσσονται με το νύχι, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει την εντύπωση ότι πρόκειται για θερμοπλαστικές κόλλες. Τα καλύτερα διαλυτικά όταν έχει γίνει κακή ανάμιξη είναι ζεστό νερό, ασετόν, polystrippa, nitromors, desolve-x.

4.1.3. Χημικές ιδιότητες

Οι εποξειδικές ρητίνες είναι πλαστικά θερμοσκληρυνόμενα και παράγονται με αντιδράσεις ανάμεσα σε μονομερή ή πολυμερισμένα με δύο τουλάχιστον εποξειδικές ομάδες του τύπου και περιέχουν αμινομάδες ή όξινες ομάδες ή παράγωγά τους, τα οποία αντιδρώντας με τις εποξειδικές ομάδες σχηματίζουν διακλαδιζόμενους δεσμούς. Οι πιο γνωστοί σκληρυντές περιέχουν αμινομάδες και η αντίδραση ανάμεσα στην αμινομάδα του σκληρυντή και τις εποξειδικές ομάδες είναι πολύ εύκολη και πραγματοποιείται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, χωρίς παράλληλα να σχηματίζονται υποπροϊόντα. Οι συγκολλήσεις με εποξειδικές ρητίνες αντέχουν σε χημική προσβολή και άριστη στεγανότητα στην υγρασία, ηλεκτρική μόνωση και προστασία από την ηλεκτρολυτική διάβρωση.

4.1.4. Διαλυτότητα

Η διαλυτότητα των εποξειδικών ρητινών επηρεάζεται από το μέσο μοριακό βάρος τους και αυξάνεται καθώς το μοριακό βάρος μειώνεται. Τα διαλυτικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι οι κετόνες, οι εστέρες και οι αλκοόλες, ενώ σαν αραιωτικά η ακετόνη, το τουλουόλιο, η βουτανόλη και η προπανόλη. Οι στερεές εποξειδικές ρητίνες είναι αδιάλυτες στις αλκοόλες, στους αλειφατικούς και αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Συνήθως, το καλύτερο διαλυτικό είναι ένα μείγμα από διάφορα διαλυτικά υλικά.

4.1.5. Ανθεκτικότητα

Γενικά οι εποξειδικές ρητίνες έχουν μεγάλη αντίσταση στα οξέα, στις βάσεις, στους οργανικούς διαλύτες και στο νερό. Επηρεάζονται όμως από τις υπεριώδεις ακτίνες και η μακροχρόνια έκθεση των εποξειδικών ρητινών στις υπεριώδεις ακτίνες προκαλεί κιτρίνισμα, κρακελάρισμα και απολέπιση. Η ανθεκτικότητα στις υπεριώδεις είναι μεγαλύτερη στα προϊόντα που δεν έχουν αρωματικές ομάδες. Επίσης, οι εποξειδικές ρητίνες βελτιώνουν τις μηχανικές ιδιότητες της πέτρας, όπως αντίσταση σε συμπίεση, έλξη και κάμψη και παρουσιάζουν καλές συγκολλητικές ιδιότητες.

4.1.6. Ιξώδες

Το ιξώδες της εποξειδικής ρητίνης παίζει σημαντικό ρόλο όταν χρησιμοποιείται για εμποτισμό του υλικού και με το χαμηλότερο δυνατό ιξώδες επιτυγχάνεται βαθύτερη εισχώρηση της ρητίνης μέσα στη μάζα. Όμως οι περισσότερες εποξειδικές ρητίνες έχουν αρκετά μεγάλο ιξώδες, δηλαδή μικρή ρευστότητα και επομένως διεισδύουν με δυσκολία στο εσωτερικό της πορώδους δομής.

Όταν χρησιμοποιούνται σαν διαλυτικά κετόνες και αρωματικοί υδρογονάνθρακες, δεν επιτρέπεται πλήρης αλληλοσύνδεση των μορίων. Το καλύτερο διαλυτικό, όπου παράλληλα ελέγχεται και ο χρόνος αντίδρασης πολυμερισμού της ρητίνης είναι μίγμα τολουολίου και μεθανόλης. Ο εμποτισμός της πέτρας π.χ με τη μέθοδο αυτή, μειώνει το πορώδες της, χρήση διαλύματος 10% εποξειδικής ρητίνης για στερέωση σε ψαμμίτη και ασβεστόλιθο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του πορώδους κατά 9.6% και 22.8% αντίστοιχα. Εξάλλου διάλυμα 20% έχει λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού η μείωση του πορώδους είναι 9.17% και 14% αντίστοιχα.

Παρατηρήθηκε επίσης ότι η ταχύτητα κίνησης της ρητίνης μέσα στους τριχοειδείς πόρους της πέτρας αυξάνει κατά 40%, όταν η πέτρα έχει προηγουμένως εμποτιστεί με το διαλυτικό της ρητίνης.

4.1.7. Ιστορικό χρήσης

Οι εποξειδικές ρητίνες βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στη συντήρηση όταν τη δεκαετία του 1960 χρειάστηκε να γίνουν μεγάλης κλίμακας επεμβάσεις στα μνημεία που η περιοχή τους κατακλύστηκε από τεχνητή λίμνη του φράγματος του Assuan στην Αίγυπτο, τεράστια μνημεία χρειάστηκε να κοπούν σε κομμάτια και στη συνέχεια να συναρμολογηθούν σε άλλη θέση. Η συγκόλληση των κομματιών έγινε με εποξειδικές ρητίνες, επειδή κατά την εποχή εκείνη ήταν

το καλύτερο υλικό που είχε στη διάθεση της η τεχνολογία. Το γεγονός όμως ότι οι εποξειδικές ρητίνες είναι υλικά μη αναστρέψιμα αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα.

4.2. Χρήσεις εποξειδικών ρητινών

4.2.1. Περιπτώσεις χρήσης

Στην Ιταλία έχουν χρησιμοποιηθεί δυο περιπτώσεις εποξειδικών ρητινών: Στην πρώτη περίπτωση, υπήρξε αρνητικό αποτέλεσμα γιατί μετά από ένα χρόνο, το πολυμερές που παρέμεινε στην εξωτερική επιφάνεια παρουσίασε μεταβολές στο χρώμα, θρυμματιζόταν και απολεπιζόταν. Στην δεύτερη περίπτωση η κατάσταση του συντετριμμένου μαρμάρου ήταν ικανοποιητική. Περισσότερο εκτεταμένη, μέχρι σήμερα, είναι η χρήση εποξειδικών, σαν συνδετικά διαφόρων κονιαμάτων ή σαν δομικά συγκολλητικά για επανασύνδεση αποκολλημένων μερών. Για τέτοιου είδους εφαρμογές χρησιμοποιούνται εποξειδικά προϊόντα αναμιγμένα με σιλικονικές ρητίνες.

4.2.2. Άλλες χρήσεις

Οι εποξειδικές κόλλες μπορούν να κολλήσουν ένα μεγάλο πλήθος υλικών, ιδίως μέταλλα. Χρησιμοποιήθηκαν για να αντικαταστήσουν παραδοσιακές μεθόδους ένωσης των μετάλλων όπως την συγκόλληση, τις μεταλλικές κολλήσεις.

Είναι κόλλες κατάλληλες για κολλήσεις όλων σχεδόν των υλικών όπως μέταλλα, κεραμικά, ξύλο, ελαστικό εκτός από ορισμένα πλαστικά όπως το πολυαιθυλένιο. Επίσης κολλούν μη πορώδη υλικά επειδή στερεοποιούνται χωρίς συρρίκνωση και χωρίς να παράγουν αέρια ή υγρά παραπροϊόντα.

4.2.3. Τρόπος ελέγχου

Για να χρησιμοποιηθεί η κάθε κόλλα πρέπει να γίνει καταγραφή και έλεγχος των παρακάτω χαρακτηριστικών της :

1. Τρόπος παρασκευής
2. Τρόπος εφαρμογής
3. Χρώμα μετά τη στερεοποίηση
4. Ιξώδες
5. Χρόνος σκλήρυνσης
6. Αποτελεσματικότητα συναρτήσεως του χρόνου
7. Πρόσφυση
8. Επίδραση των υπεριωδών ακτινών

9. Επίδραση της θερμοκρασίας
10. Επίδραση της υγρασίας
11. Αντιστρεψιμότητα
12. Δείκτης διάθλασης

4.2.4. Συσκευασία των εποξειδικών συγκολλητικών μέσων

Οι εποξειδικές κόλλες πρέπει να συσκευάζονται από τον προμηθευτή σε δύο διαφορετικά και διακεκριμένου τύπου δοχεία. Ένα για την εποξειδική ρητίνη (**συστατικό Α**) και ένα για τον σκληρυντή (**συστατικό Β**). Τα συστατικά **A** και **B** πρέπει να έχουν τέτοια αναλογία ώστε να σχηματίζουν μίγμα καθορισμένου βάρους συγκολλητικού υλικού. Επιπλέον, τα συστατικά **A** και **B** πρέπει να είναι εμφανώς αντίθετου χρώματος.

4.2.5. Αποθήκευση

Τα συσκευασμένα συστατικά **A** και **B** πρέπει να αποθηκεύονται σε θέση με θερμοκρασία μεταξύ **10° C** και **20° C** και κατά τις οδηγίες του εργοστασίου παραγωγής. Μετά από αποθήκευση τριών μηνών το συστατικό **A** (η εποξειδική ρητίνη) πρέπει να ελέγχεται έναντι κρυσταλλώσεως. Ο έλεγχος της εποξειδικής ρητίνης πρέπει να γίνεται οπτικά σε τρεις μέρες πριν την χρησιμοποίηση της και αν υπάρχουν δείγματα κρυσταλλώσεως τότε δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίηση της. Επίσης, επειδή οι εποξειδικές ρητίνες επηρεάζονται από τον ήλιο θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι δυνατή η μακροχρόνια αποθήκευση τους.

4.2.6. Οι βασικές εφαρμογές

Μερικές από τις σημαντικότερες εφαρμογές των εποξειδικών ρητινών αναφέρονται πιο κάτω:

- Στην κατασκευή κτιρίων και αυτοκινητοδρόμων και γενικά σε κατασκευές όπου υπάρχουν απαιτήσεις για υψηλή χημική αντίσταση.
- Σαν βασικό συγκολλητικό σκυροδέματος.
- Σαν συγκολλητικά σε δομικά μέρη της ατράκτου αεροσκαφών.
- Σαν συγκολλητικό πλαστικών και μεταλλικών κομματιών σε βάρκες και αυτοκίνητα, ώστε να υπάρχει τέλεια στεγανότητα.
- Σαν φυλλώδεις ρητίνες για την κατασκευή πλαισίων και τελειωμάτων αεροσκαφών και πυραύλων.
- Ως διαλύματα επίστρωσης που έχουν βασικό συστατικό την ρητίνη και είναι πολύ χρήσιμα για την συντήρηση και την κατασκευή τελειωμάτων, όπως τελειώματα θαλάσσιας υφής, τελειώματα λιθοδομής ή τελειώματα αεροσκαφών. Επίσης

χρησιμοποιούνται για επαλείψεις κατασκευαστικού χάλυβα, επαλείψεις δεξαμενών, επαλείψεις πτυσσόμενων αγωγών και για επαλείψεις σε πλάκες από σκυρόδεμα.

- Στην κατασκευή τριχών για πινέλα.
- Συστήματα έποξυ-ρητινών χρησιμοποιούνται σαν συγκολλητικά, επικαλυπτικά και σαν μέσα ενσωμάτωσης ηλεκτρικών εξαρτημάτων.
- Τυπικές εφαρμογές χυτών έποξυ-ρητινών αποτελούν οι κατασκευές ανθεκτικών σε χημικά αντλιών και σωλήνων, μήτρων καθώς και ηλεκτρικών μονωτικών ειδών.

Μειονέκτημα των έποξυ-ρητινών αποτελεί το υψηλό τους κόστος. Επίσης ειδικές χρήσεις για εποξειδικές ρητίνες, **100 %** χωρίς διαλύτες, για τη συγκόλληση με ενέσεις μικρορωγμών και μικρών κενών σε σκυρόδεμα. Έχοντας κατάλληλη σύνθεση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας όσο και μεγάλης υγρασίας. Εξασφαλίζουν πρόσφυση σε ξηρές και υγρές επιφάνειες και **στερεοποιούνται ακόμη και κάτω από την επιφάνεια ύδατος!** Η πρόσφυση εξασφαλίζεται πάνω σε γνωστά δομικά υλικά όπως σκυρόδεμα, μέταλλα, μάρμαρα, πέτρα, ξύλα κτλ. Συνδυάζουν υψηλή αντοχή, δεν χάνουν όγκο κατά την σκλήρυνση και δεν γίνονται εύθραυστες. Είναι απόλυτα μη διαβρωτικές και είναι κατάλληλες για χρήση σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα ή δομικό χάλυβα. Επίσης υπάρχουν ρητίνες δύο συστατικών για επαλείψεις επιφανειών (υγρών και στερεών). Η ξηρή μεμβράνη που σχηματίζουν έχει πυρανασχετικές ιδιότητες και έτσι δεν επιτρέπουν την εξάπλωση της φωτιάς. Οι ρητίνες αυτές προορίζονται για υγρομόνωση, για προστασία και διακόσμηση δαπέδων, τοίχων και ορόφων σε οικοδομικούς, βιομηχανικούς, αγροτικούς κ.α. χώρους.

- Εφαρμόζονται σε επιφάνειες σκυροδέματος, τσιμεντοκονιάματος, πέτρας, σοβάδων, τούβλων, γύψου, αμιαντοτσιμέντου, ασφάλτου κ.α.
- Για την σύνδεση παλιού και νέου σκυροδέματος κυρίως σε υγρούς χώρους.
- Για την προστασία κτιρίων από την διάβρωση και τη διείσδυση υγρασίας.
- Για την υγρομόνωση υπογείων χώρων και παταριών, δαπέδων πριν από την επίστρωσή τους με πλακάκια, μοκέτα κ.α. Επίσης για την υγρομόνωση πισινών και δεξαμενών.

4.2.7. Υδατοδιαλυτή εποξειδική ρητίνη

Κάποιες από τις εποξειδικές ρητίνες έχουν την δυνατότητα να διαλύονται στο νερό με συνέπεια την παραγωγή ενεμάτων πολύ χαμηλότερου κόστους. Η διαλυτοποίηση αυτή έχει βέβαια ως αρνητικό επακόλουθο την μείωση των αντοχών, η οποία και είναι ανάλογη με την ποσότητα νερού που αναμιγνύεται. Διάφορα υλικά χρησιμοποιούνται στις χημικές ενέσεις ανάλογα με τον σκοπό που αυτές γίνονται και τις ιδιότητες του εδάφους. Τα κυριότερα είναι πυριτικό νάτριο, ακρυλαμίδες, ουρεθάνη και ρητίνες. Συγκεκριμένα, μία από τις κυριότερες κατηγορίες χημικών διαλυμάτων που χρησιμοποιούνται είναι αυτή των εποξειδικών ρητινών. Οι εποξειδικές ρητίνες γενικά απαρτίζονται από δύο συστατικά, την εποξειδική ρητίνη (**συστατικό Α**) και το σκληρυντή της (**συστατικό Β**). Το τελικό προϊόν το οποίο προκύπτει από

την ανάμιξη των δύο συστατικών χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή και πρόσφυση, ανθεκτικότητα, αδιαβρωσιμότητα από οξέα, αλκάλια και οργανικές ουσίες και χαμηλή συρρίκνωση. Παρόλο που έχει πραγματοποιηθεί εκτεταμένη έρευνα όσον αφορά τη χρήση εποξειδικών ενεμάτων προς αποκατάσταση κατασκευαστικών ζημιών ή προς ενίσχυση της αντοχής ρηγματωμένου σκυροδέματος (Issa & Debs, 2007), δεν έχει υπάρξει κάποια δημοσιευμένη έρευνα σχετική με την εφαρμογή και αποτελεσματικότητα αυτής της κατηγορίας ενεμάτων στην ενίσχυση του εδάφους ή της βραχώμαζας και ειδικότερα των χαμηλού κόστους υδατοδιαλυτών εποξειδικών ενεμάτων.

4.2.8 Λόγος επιλογής εποξειδικής ρητίνης

Ο λόγος που χρησιμοποιούμε εποξειδική ρητίνη έναντι άλλων πιθανών υλικών (όπως απλό τσιμεντοκονίαμα, διάφορα είδη σιλικόνης, μαστίχας κτλ.), για ρωγμές μικρού πλάτους (0.1-3mm) έχει να κάνει κυρίως με τις εξής ιδιότητες της ρητίνης: **το χαμηλό ιξώδες και την αντοχή σε γήρανση.**

Το χαμηλό ιξώδες επιτρέπει στην ρητίνη να εισχωρήσει σε όλο το βάθος της ρωγμής και όχι να την γεφυρώσει μόνο επιφανειακά. Έτσι, όχι μόνο η κατασκευή ανακτά αποτελεσματικότερα τις αρχικές της αντοχές, αλλά και προστατεύεται η ίδια η ρητίνη από περιβαλλοντικούς παράγοντες, αφού το μεγαλύτερο μέρος της βρίσκεται στο βάθος της ρωγμής,

Με την μεγάλη της αντοχή σε γήρανση η ρητίνη διατηρεί την αρχική της αντοχή, μετά από πολλούς κύκλους φόρτισης – αποφόρτισης λόγω της αυξομείωσης του πλάτους των ρωγμών από διάφορα δυναμικά φορτία (κυρίως σεισμό) και ιδιαίτερα από κλιματολογικές αλλαγές, διατηρώντας την μονολιθικότητα του μέλους.

Άλλα πλεονεκτήματα της χρήσης ρητίνης είναι η μικρή συστολή ξήρανσης που παρουσιάζει, οι μεγάλες μηχανικές αντοχές, η μεγάλη συγκολλητική ικανότητα, το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται κα. Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα υπερκαλύπτουν τα όποια μειονεκτήματα της χρήσης του υλικού, όπως η απαίτηση έμπειρου προσωπικού ή το σχετικά μικρό μέτρο ελαστικότητας που εμφανίζει.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγουμε το εποξειδικό υδατοδιαλυτό αστάρι δύο συστατικών, **EPOXYPRIMER-W**, της εταιρίας **isomat**.

- Ιδιότητες.

Το EPOXYPRIMER-W είναι ένα εποξειδικό υδατοδιαλυτό σύστημα 2 συστατικών. Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στις τριβές και υψηλή σκληρότητα. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στο νερό, στα οξέα, στα αλκάλια, στα πετρελαιοειδή κλπ. Μπορεί να εφαρμοστεί σε στεγνά έως και ελαφρά υγρά υποστρώματα, χωρίς όμως λιμνάζοντα νερά. Κατατάσσεται ως SR-B2,0 σύμφωνα με το πρότυπο EN 13813

- **Τεχνικά χαρακτηριστικά.**

Χημική βάση:	εποξειδική ρητίνη, 2 συστατικών
Απόχρωση:	υποκίτρινο
Ιξώδες συστατικού A:	100 mPa.s
Ιξώδες συστατικού B:	2.000 mPa.s
Ιξώδες (A+B):	600 mPa.s
Πυκνότητα συστατικού A:	1,02 kg/lit
Πυκνότητα συστατικού B:	1,13 kg/lit
Πυκνότητα (A+B):	1,04 kg/lit
Αναλογία ανάμιξης (A:B):	100:40 κατά βάρος
Χρόνος ζωής στο δοχείο:	περίπου 60 min στους +20°C
Ελάχιστη θερμοκρασία σκλήρυνσης:	+8°C
Τελικές αντοχές:	μετά από 7 ημέρες στος +23°C
Αντοχή σε πρόσφυση:	> 3 N/mm ² (θράυση του σκυροδέματος)

- **Ανάμιξη**

Τα συστατικά A (ρητίνη) και B (σκληρυντής) είναι συσκευασμένα σε δοχεία με προκαθορισμένη αναλογία ανάμιξης. Το συστατικό B προστίθεται πλήρως μέσα στο συστατικό A. Η ανάμιξη των δύο συστατικών γίνεται για περίπου 5 λεπτά με δράπανο χαμηλών στροφών (300 στρ./λεπτό). Είναι σημαντικό η ανάδευση να γίνεται και στα τοιχώματα και στον πυθμένα του δοχείου, προκειμένου ο σκληρυντής να κατανεμηθεί ομοιόμορφα.

4.3. Μπετονίτης

Ο μπετονίτης είναι το πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από το αργιλικό ορυκτό μοντμοριλλονίτη, $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$, (N90%), και σχηματίζεται από την εξαλλοίωση όξινων ηφαιστειακών πετρωμάτων. Όταν η περιεκτικότητα σε μοντμοριλλονίτη είναι μικρότερη (60-80%), το υλικό χαρακτηρίζεται ως “μπεντονιτική άργιλος”. Πήρε το όνομά του από την τοποθεσία Fort Benton της πολιτείας Yoming των Η.Π.Α., όπου πρωτοανακαλύφθηκε και άρχισε να εξορύσσεται.

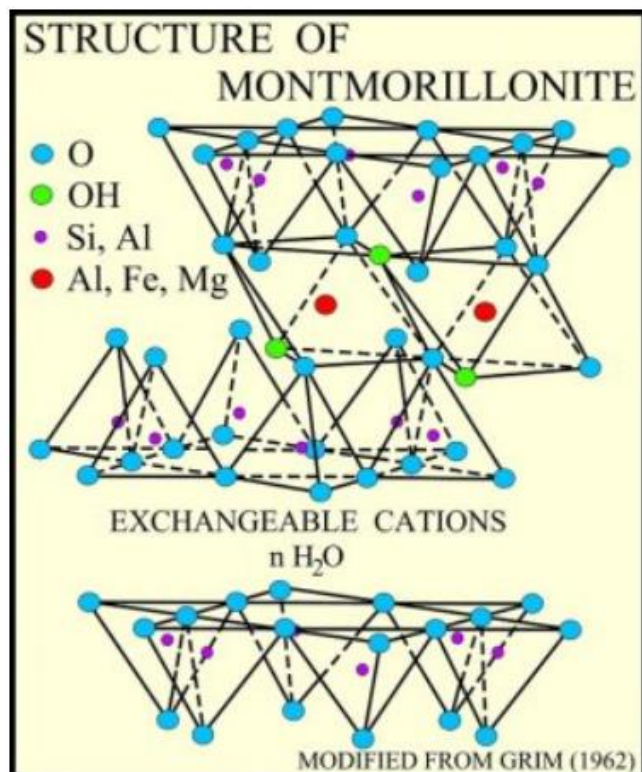
Ο μοντμοριλλονίτης ανήκει στα αργιλικά ορυκτά, δομής 2:1, αποτελείται δηλαδή από δύο φύλλα τετραέδρων πυριτίου που εμπεριέχουν ένα φύλλο οκταέδρων αργιλίου, σιδήρου και μαγνησίου. Στο διαστρωματικό χώρο, μπορούν να προσροφηθούν κατιόντα και μεγαλομόρια νερού, γι αυτό ο μοντμοριλλονίτης έχει την ιδιότητα της διόγκωσης.

4.3.1. Ιδιότητες και χρήσεις μπετονίτη / μοντμοριλλονίτη

Ο μοντμοριλλονίτης χαρακτηρίζεται από μεγάλη προσροφητική ικανότητα, υψηλή πλαστικότητα, δυνατότητα ιοντοανταλλαγής, θιξοτροπία σε ιξώδη αιωρήματα, δυνατότητα να δρα σαν συνδετικό υλικό. Μπορεί να απορροφήσει μεγάλο ποσοστό νερού (περίπου το 75% του όγκου του).

Χρησιμοποιείται σε γεωτρήσεις πετρελαίου (πολφός, λειαντικό, στεγανοποιητικό), σε υδρογεωτρήσεις

(στεγανοποιητικό, καθαριστικό τοιχωμάτων), στη σφαιροποίηση σιδηρομεταλλεύματος, σε άμμους χυτηρίων, στην ταφή ραδιενεργών αποβλήτων (δεύσμευση των ραδιενεργών κατιόντων), στην κατασκευή φραγμάτων (συνθετικό τσιμεντενέσεων), σε διαυγαστικές και αποχρωστικές γαίες, σε κεραμικά, στη χαρτοποιία, στη βιομηχανία καλλυντικών, σε απολυμαντικά, σε λιπάσματα και φυτοφάρμακα, στη διάθεση στερεών αποβλήτων κ.α.



4.3.2. Παρουσία κοιτασμάτων μπετονίτη στην Ελλάδα

Τα βασικότερα κοιτάσματα είναι της Μήλου (Κώμια, Τρογαλάς) και της Κιμώλου. Ο μπετονίτης της Μήλου περιέχει κυρίως Ca-μοντμοριλλονίτη (σε ποσοστό πάνω από 80%), χαλαζία, αστρίους, καολινίτη και αναλλοίωτο ηφαιστειακό γυαλί. Επίσης αποθέσεις μπετονίτη υπάρχουν στη Λέσβο, τη Χίο και τον Έβρο (Μέστη, Συκορράχη).

Τα ενδεικτικά αποθέματα μπετονίτη είναι 100 εκατ. τόνοι.

4.3.3. Ο μπετονίτης που χρησιμοποιήσαμε

Ο τύπος μπετονίτη που χρησιμοποιήσαμε είναι ο Zenith-N, ο οποίος είναι ένας Na-activated μπετονίτης από την Μήλο, της βιομηχανίας S&B Industrial Minerals SA.

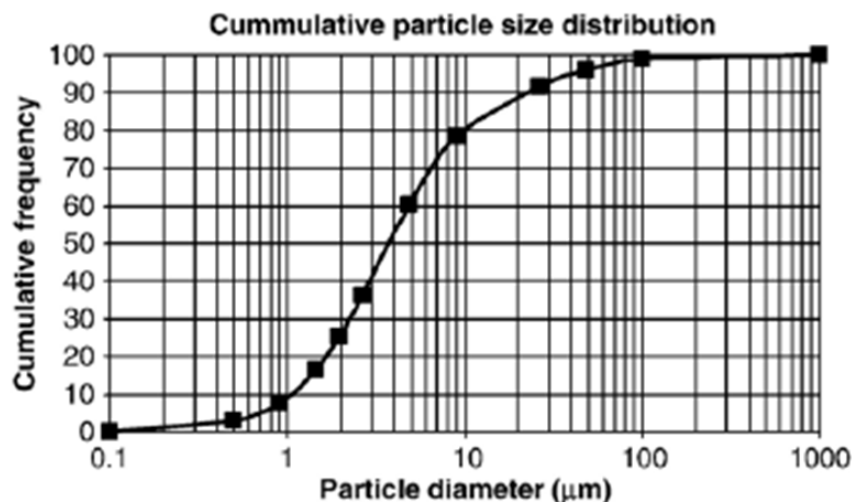
Οι προτεινόμενες δοσολογίες είναι: 6,42 g (μπετονίτης)/ 100 g (νερό).

Η χημική ανάλυση δίνεται στον παρακάτω πίνακα :

Χημική ανάλυση του μπετονίτη Zenith			
Συστατικά	Ποσότητα (%)	Συστατικά	Ποσότητα (%)
Na ₂ O	3.70	Fe ₂ O ₂	5.07
MgO	4.02	Al ₂ O ₃	20.25
K ₂ O	0.65	SiO ₂	59.31
CaO	4.23	P ₂ O ₅	0.00
TiO ₂	0.68	LOI ^a	1.83
MnO	0.08		
Sum			99.83

^a Απώλεια ανάφλεξης

Η ανάλυση μεγέθους των σωματιδίων του μπετονίτη παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα :



Κεφάλαιο 5° :

5.1. Μηχανικές συμπεριφορά χημικά ενεμένης άμμου υπό συνθήκες δυναμικής φόρτισης – Γαλλική άμμος, με απώλεια μπετονίτη – σε ξηρές συνθήκες

Αρχικά θα πρέπει να σημειώσουμε ότι την δυνατότητα να διαπεράσουν έτσι ώστε να γεμίσουν οι σχισμές – οπές ή τα εδάφη με πολύ μικρό μέγεθος πόρων, έχουν μόνο τα ρευστοκονιάματα. Από τις μελέτες των τριών τελευταίων δεκαετιών έχουν χρησιμοποιηθεί για αυτόν τον σκοπό εκατοντάδες διαφορετικά ρευστοκονιάματα, παρουσιάζοντας έτσι ευρή φάσμα ιδιοτήτων.

Οι εποξειδικές ρητίνες, λόγω της υψηλής αντοχής και της διάρκειας ζωής ενάντια στη μηχανική ή τη φυσική διάβρωση, είναι μεταξύ αυτών που χρησιμοποιούνται συνήθως στις ενέργειες πλήρωσης.

Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν ερευνάται η βελτίωση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων της ενεμένης γαλλικής άμμου με μία υδροδιαλυτή εποξειδική ρητίνη.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας ενέματα εποξειδικής ρητίνης με αναλογίες ρητίνης/ νερού (ER/W) 2, 1,5 , 1 , 0,5. Παρασκευάστηκαν κυλινδρικά δοκίμια με ανάμιξη της γαλλικής άμμου και επαρκούς ποσότητας εποξειδικής ρητίνης για τον σκοπό της πραγματοποίησης των δοκιμών θλίψεως, έμμεσου εφελκυσμού και τριαξονικής θλίψης.

5.1.1. Εργαστηριακή διαδικασία

Αφού υπολογίσαμε τις κατάλληλες αναλογίες, παρασκευάσαμε τα δοκίμια, τα οποία περιέχουν άμμο, ρητίνη και νερό, χρησιμοποιώντας κυλινδρικές μεταλλικές ανοξείδωτες φόρμες με διάμετρο 5,4 cm, και ύψος 11,00 cm.



Σχήμα 5.1.1 Μεταλλικές ανοξείδωτες φόρμες. (Φωτογραφία απο το εργαστήριο Σκυροδέματος του τμήματος Π-Μ του Α.Τ.Ε.Ι.-Θ)

Αφού πήξουν τα δοκίμια είναι έτοιμα για να διαμορφωθούν εφόσον χρειαστεί. Απαιτείται να αφαιρεθεί η ανώμαλη επιφάνεια με έναν τροχό για να υπάρχει επιπεδότητα ώστε το δοκίμιο να τοποθετείται στο μηχάνημα και να παραμένει κάθετο.

Τα δοκίμια του παρόν πειράματος τα αφήνουμε να φτάσουν σε ηλικία ενός έτους απο την ημέρα παρασκευής τους.

Με την βοήθεια της Σερβοϋδραυλικής μηχανής θλιπτικής συμπίεσης και επιβολής θλιπτικού φορτίου, της εταιρείας Lustron, συνεχίζουμε με τις δοκιμές.

Αρχικά κάναμε τις δοκιμές με γυμνά δοκίμια κάτω από υδροδυναμική πίεση. Η προσπάθεια αυτή μας έδειξε οτι σε χονδρόκοκκα εδάφη, λόγω μεγάλης διαπερατότητας, διεισδύει το νερό και καταστρέφει το πλέγμα της ρητίνης.

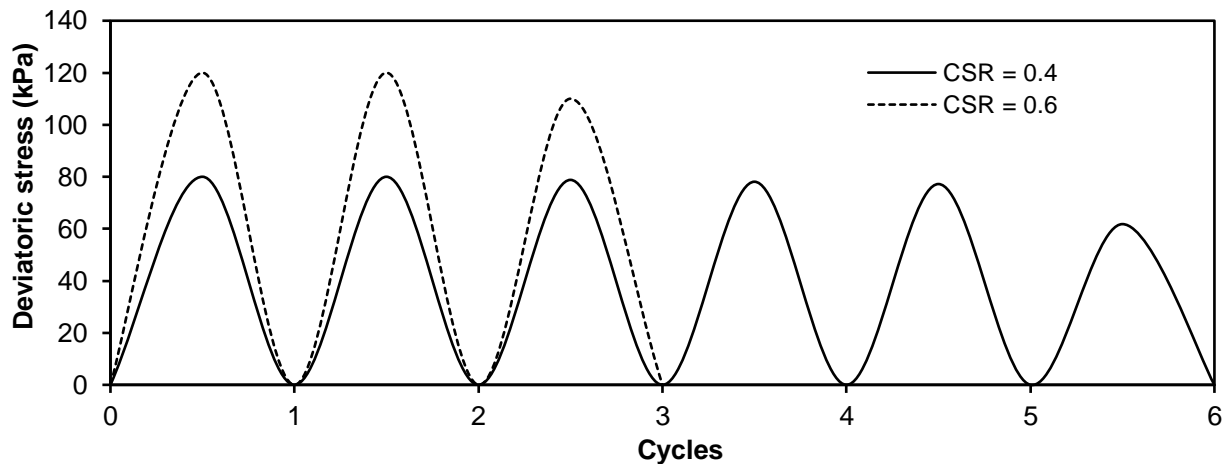


Με την βοήθεια πλαστικών μεμβρανών καταφέραμε να συνεχίσουμε τα πειράματα υπό ξηρές συνθήκες.

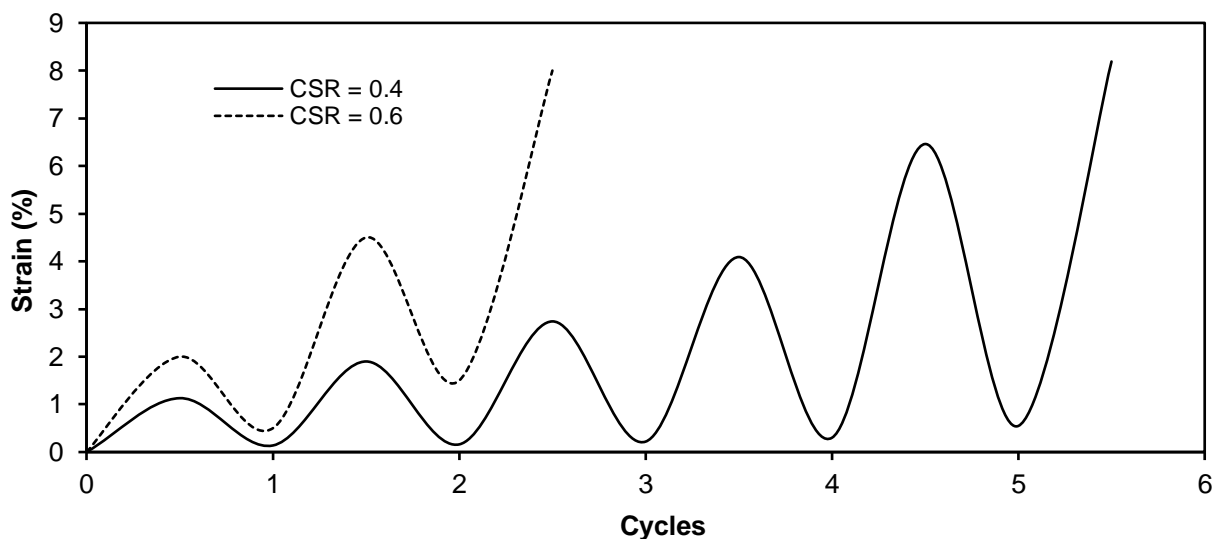


5.1.2. Δυναμική φόρτιση

Συνεχίζοντας μπορούμε να μελετήσουμε την συμπεριφορά της άμμου σε δυναμική φόρτιση χωρίς την επιρροή της ρητίνης.



Διαγρ. 5.1.1. Διάγραμμα περιγραφής Εκτροπικής τάσης ($\sigma_1 - \sigma_3$) σε συνάρτηση με τον αριθμό κύκλων.



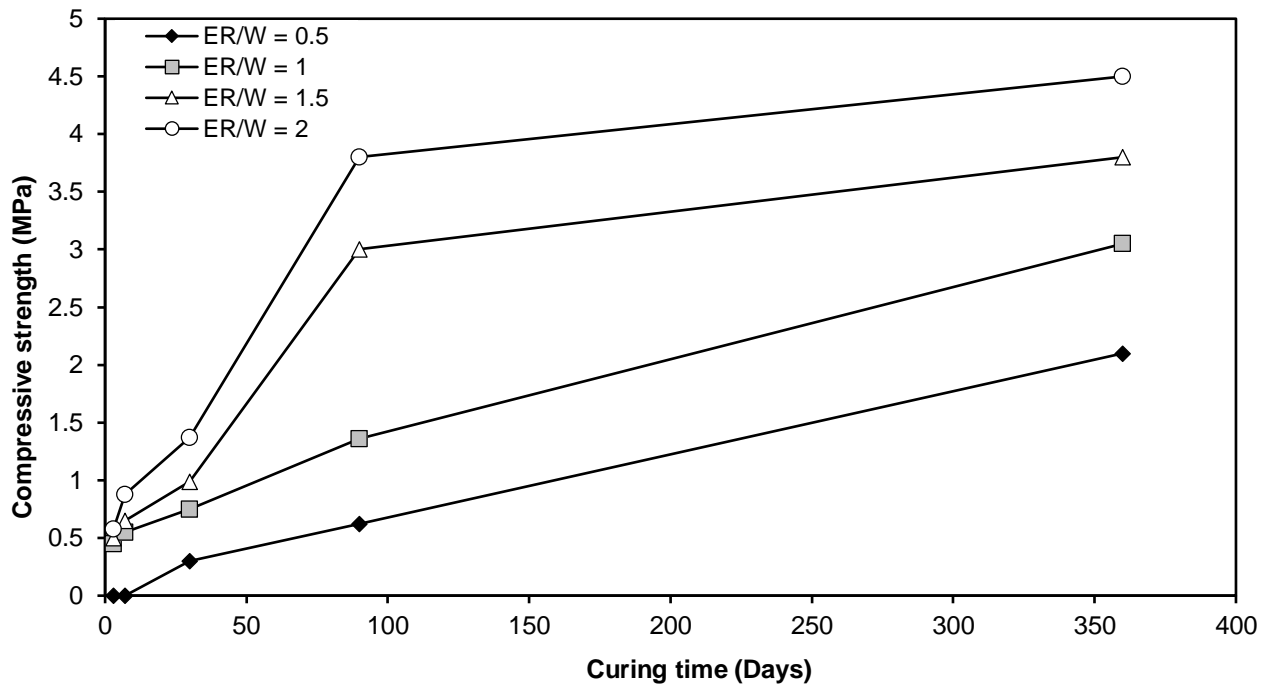
Διαγρ. 5.1.2. Διάγραμμα παραμόρφωσης σε συνάρτηση με τον αριθμό κύκλων.

Με τις πρώτες δοκιμές για την συμπεριφορά της άμμου υπό δυναμική φόρτιση βρίσκουμε για την εκτροπική τάση σε σχέση με τον αριθμό κύκλων μας δίδει ότι σε επίπεδο φόρτισης CSR (Cyclic Stress Ratio) ίσο με 0,4 το δοκίμιο σπάει στους έξι κύκλους, ενώ με CSR = 0,6 σπάει στους τρεις κύκλους, με αποτέλεσμα την ρευστοποίηση της άμμου.

Ενώ η παραμόρφωση είναι μόνιμη.

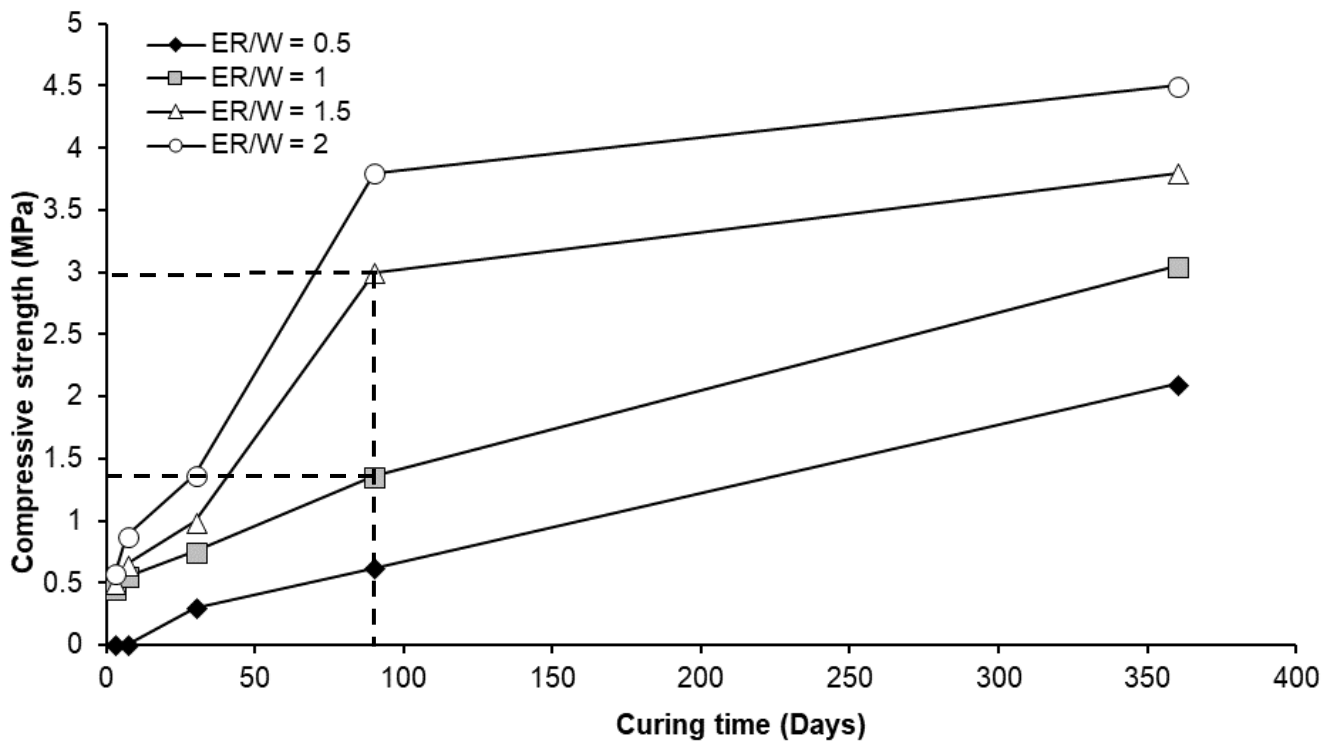
5.1.3. Δυναμική τριαξονική θλίψη.

Μελετώντας τα δοκίμια σε ηλικία τριών (3), επτά (7), τριάντα (30), ενενήντα (90) και τέλος τριακοσίων εξήντα (360) ημερών σε μονοαξονική θλίψη με την βοήθεια του σερβοϋδραυλικού μηχανήματος καταλήγουμε στα παρακάτω αποτελέσματα.



Διαγρ. 5.1.3. Διάγραμμα καμπυλών που εκφράζουν την αντοχή των δοκιμίων, σε θλιπτικές δυνάμεις σε διάφορες ηλικίες ωρίμανσης.

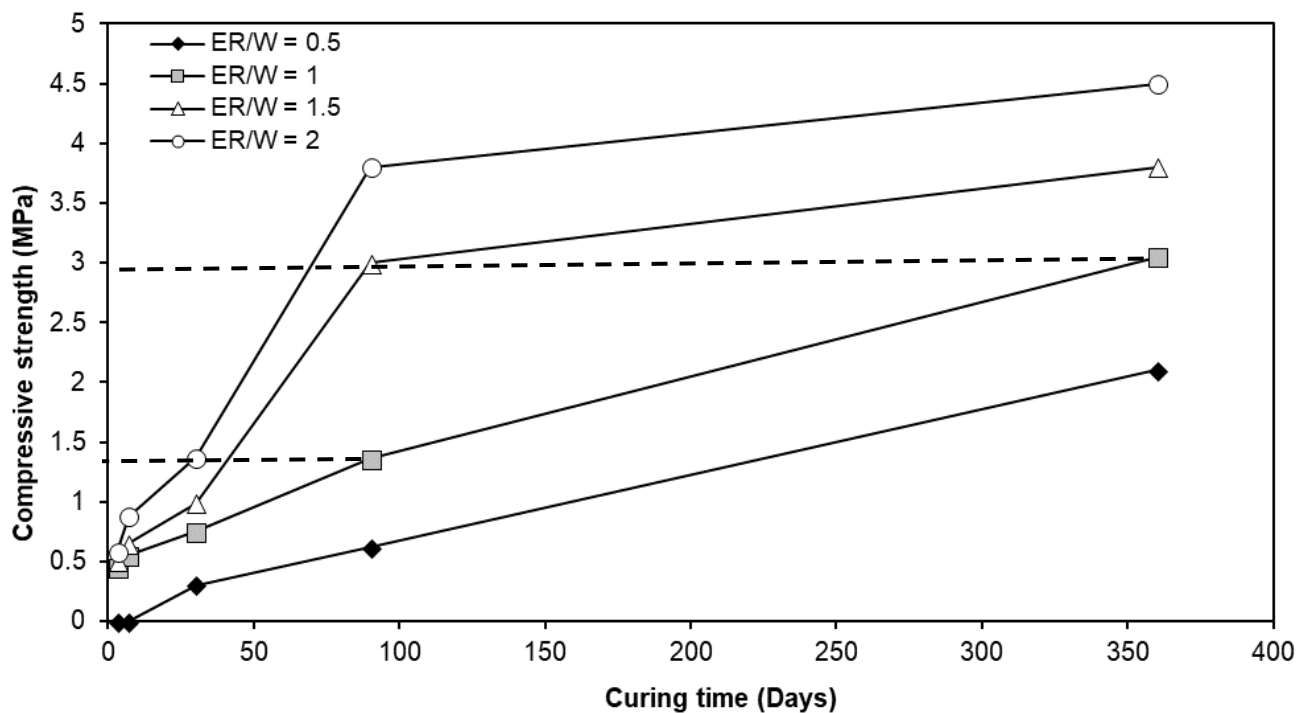
Αν προσέξουμε το παραπάνω διάγραμμα, μπορούμε να βγάλουμε τα παρακάτω δεδομένα,



Καταλαβαίνουμε ότι στη συγκεκριμένη κοκκομετρία άμμου, όσο περισσότερη είναι η ποσότητα της ρητίνης τόσο μεγαλύτερη η αντοχή του δοκιμίου σε θλιπτική τάση.

Για παράδειγμα, ας πάρουμε τις αναλογίες εποξειδικής ρητίνης ως προς το νερό (ER/W) 1 και 1,5. Μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε ότι, στις 90 ημέρες τα δοκίμια με περισσότερη ρητίνη (ER/W = 1,5) φτάνουν αντοχές ίσες με 3 MPa, ενώ αυτά με την λιγότερη ρητίνη (ER/W = 1) φτάνουν μόνο μέχρι περίπου 1,3 MPa.

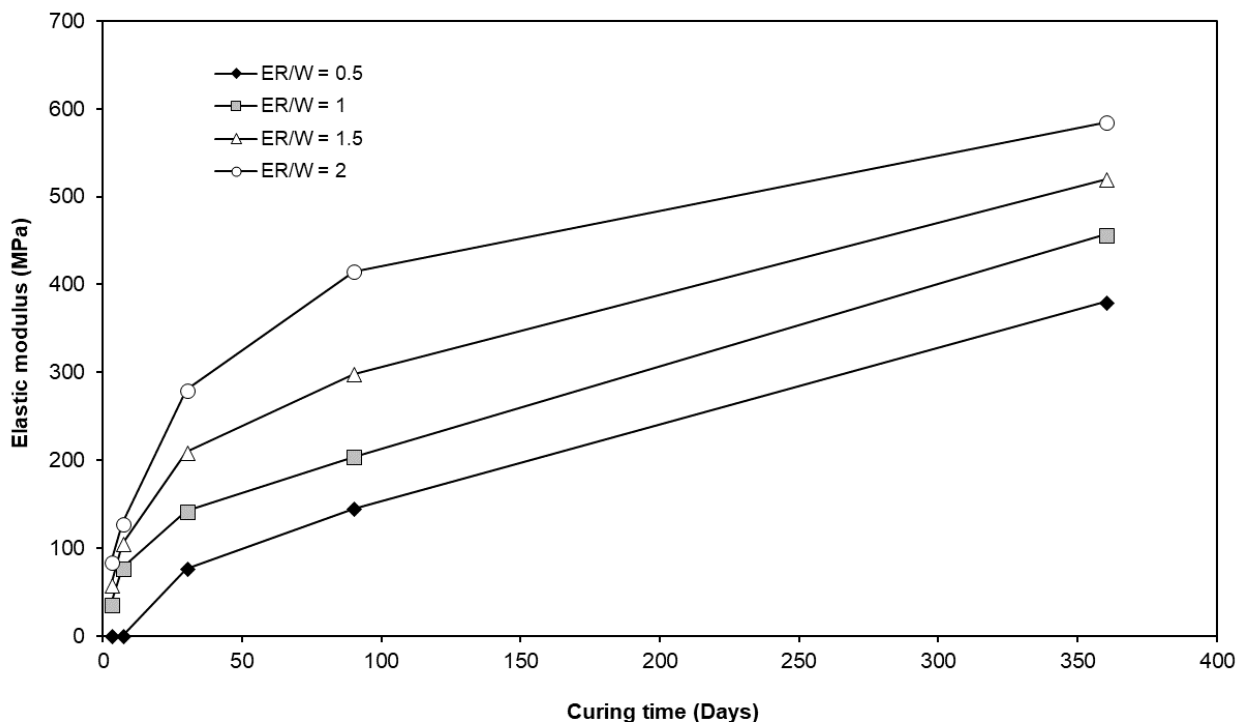
Επίσης οτι σε κάθε αναλογία ξεχωριστά όσο μεγαλύτερη η ηλικία του δοκιμίου, τόσο μεγαλύτερη και η αντοχή του δοκιμίου.



Για παράδειγμα, αν δούμε την καμπύλη των δοκιμών με αναλογία εποξειδικής ρητίνης προς νερό (ER/W) ίση με 1 στις ηλικίες 90 ημερών και 360 ημερών, ευκολα μπορούμε να διακρίνουμε ότι στις 360 ημέρες η αντοχή των δοκιμών είναι κατά 1,5 MPa περίπου μεγαλύτερη από αυτήν στις 90 ημέρες.

5.1.4. Μέτρο ελαστικότητας

Από τα ίδια δοκίμια υπολογίσαμε το μέτρο ελαστικότητας τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.

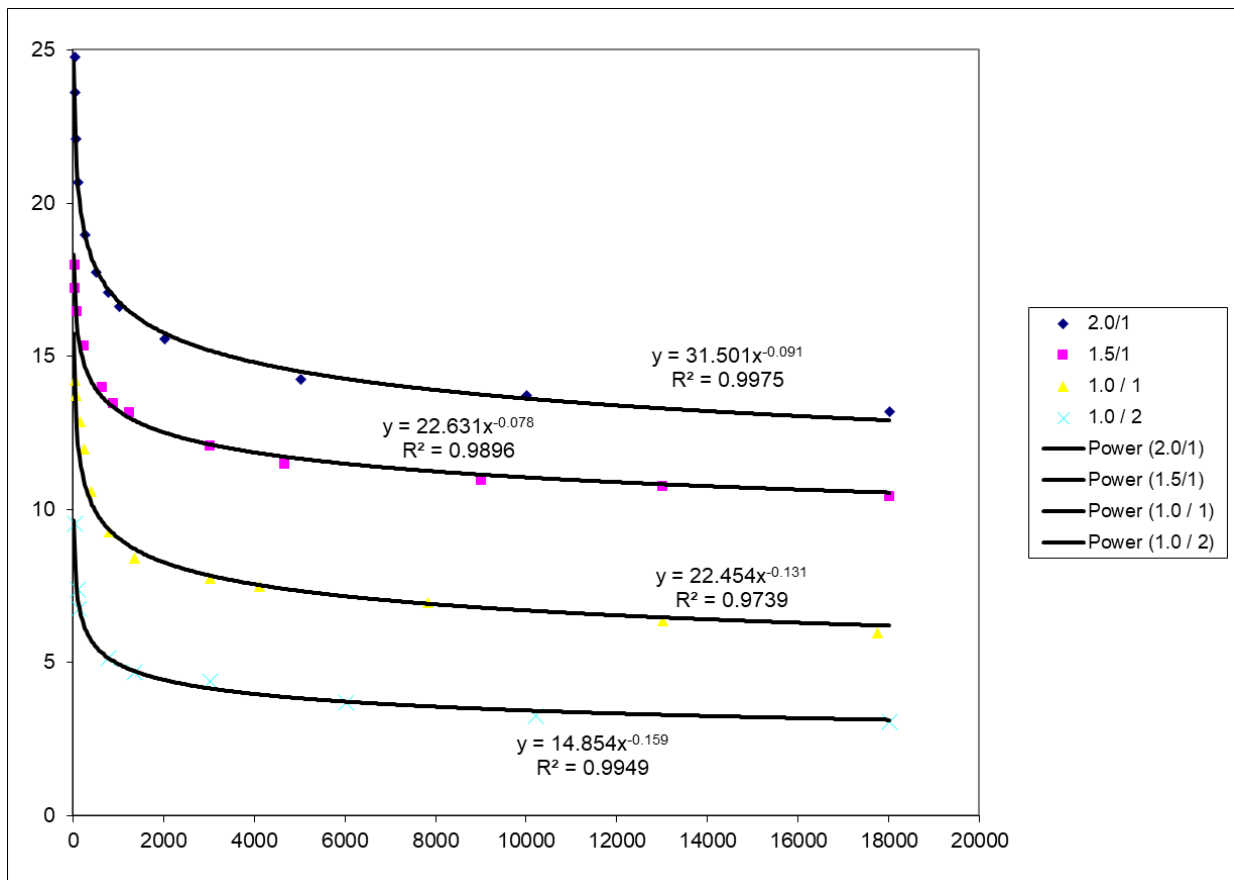


Διαγρ. 5.1.4. Διάγραμμα καμπυλών μέτρου ελαστικότητας δοκιμίων σε σχέση με τον χρόνο ωρίμανσής τους.

Μπορούμε εύκολα να καταλάβουμε ότι όσο μεγαλύτερη η ποσότητα της ρητίνης στα δοκίμια τόσο μεγαλύτερο το μέτρο ελαστικότητας. Αυτό μπορούμε να το διακρίνουμε εύκολα αν συγκρίνουμε δύο διαδοχικές καμπύλες, όπως για παράδειγμα, εκείνη με την μεγαλύτερη ποσότητα ρητίνης ($ER/W = 2$) και εκείνη με την αμέσως επόμενη αναλογία ($ER/W = 1,5$).

Επιπλέον, κατανοούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία ωρίμανσης ενός δοκιμίου τόσο μεγαλύτερο είναι και το μέτρο ελαστικότητάς του.

5.1.5. Συντελεστής CSR σε συνάρτηση με τον αριθμό κύκλων.



Διαγρ. 5.1.5. Διαγραμμα καμπυλών παρουσίασης σχέσεων CSR – Αριθμού κύκλων.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται οι καμπύλες που αντιστοιχούν στη σχέση του επιπέδου φόρτισης CSR (Cyclic Stress Ratio) σε συνάρτηση με τον αριθμό κύκλων, για την κάθε αναλογία εποξειδικής ρητίνης ως προς το νερό.

Η κάθετη γραμμή δεδομένων αντιστοιχεί στο επίπεδο φόρτισης CSR, ενώ η οριζόντια γραμμή δεδομένων αντιστοιχεί στον αριθμό των κύκλων.

Υπολογίζουμε τα επίπεδα φόρτισης που δέχεται το κάθε δοκίμιο με την χρήση του τύπου :

$$CSR = a * N^b * CS^c$$

Όπου, $a = 3.524$

$b = -0.095$

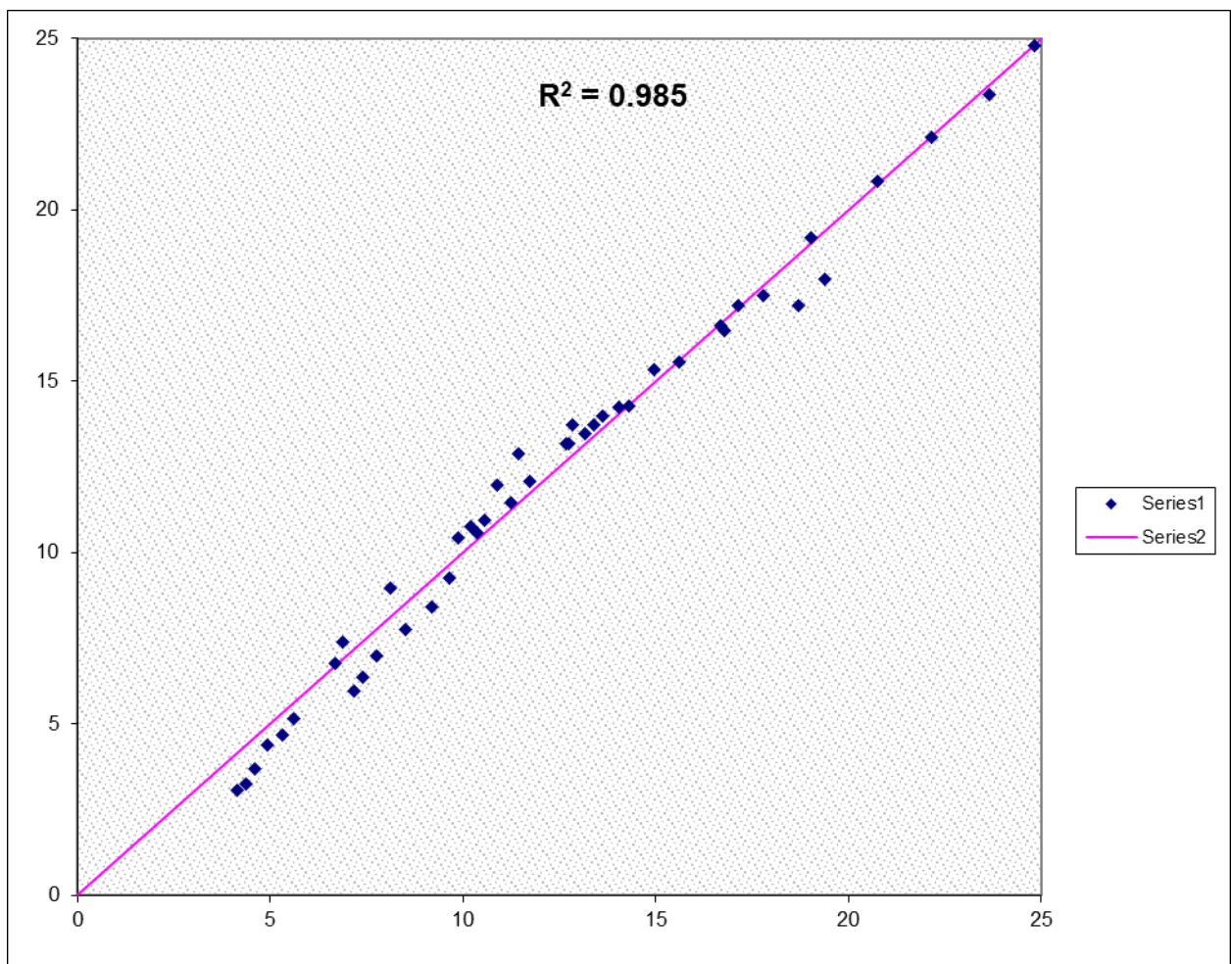
$c = 1.469$

CS: compressive strength at 1 year curing

Επομένως, καταλαβαίνουμε ότι ανεβάζοντας τη ποσότητα περιέκτικότητας σε ρητίνη σε σχέση με το νερό στα δοκίμια του πειράματός μας, ανεβαίνει και το επίπεδο φόρτισης που μπορεί να δεχτεί το δοκίμιο.

Με την βοήθεια των εξισώσεων στη συνέχεια μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε το επίπεδο της φόρτισης για κάθε αριθμό κύκλων, σε κάθε αναλογία ρητίνης- νερού, όπως και το αντίστροφο. Δηλαδή μπορούμε με την βοήθεια του επιπέδου φόρτισης να βρούμε στους πόσους κύκλους θα αστοχίσει κάποιο δοκίμιο μιας αναλογίας.

5.1.6. Μοντέλο ανάλυσης μη γραμμικής παλινδρόμησης



Διαγρ. 5.1.6. Διάγραμμα συσχέτισης CSR – Μονοαξονικής αντοχής – Αριθμού κύκλων.

Από την παρούσα έρευνα και με την βοήθεια του λογισμικού SPSS 12.0, καταφέραμε να κάνουμε ανάλυση μη γραμμικής παλινδρόμησης εξάγοντας έτσι το άνωθεν μοντέλο, το οποίο μας δίνει την δυνατότητα συσχέτισης του επιπέδου φόρτισης CSR με την μονοαξονική αντοχή του εδάφους καθώς και τον αριθμό κύκλων.

Η ευθεία διαγωνίως γραμμή αντιστοιχεί στην προβλεπόμενη τιμή του επιπέδου φόρτισης CSR του εδάφους, ενώ τα σημεία αντιστοιχούν στις μετρουμένες τιμές.

5.1.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας είναι ότι χωρίς προσθήκη μπετονίτη και σε υγρές συνθήκες δεν εμφανίζεται καμία αντοχή του εδάφους.

Αυτό πιθανότατα συμβαίνει διότι λόγω του ότι η άμμος είναι χονδρόκοκκη, τα κενά αέρος είναι αρκετά μεγάλα ώστε να διεισδύσει το νερό και να διασπαστούν οι αιθερικοί δεσμοί στο πολυμερικό πλέγμα της ρητίνης.

Στη συνέχεια με την βοήθεια των δεδομένων που συγκεντρώσαμε, και των διαγραμμάτων κατανοούμε απώλυτα ότι, όπως αναφέραμε και παραπάνω, όση περισσότερη η περιεκτικότητα του εδάφους σε ρητίνη σε σχέση με το νερό, τόσο μεγαλύτερη η αντοχή του εδάφους σε θλιπτικές δυνάμεις και όχι μόνο.

5.2. Μηχανική συμπεριφορά χημικά ενεμένης άμμου υπό συνθήκες δυναμικής φόρτισης – Ελληνική άμμος, με χρήση μπετονίτη και χωρίς – σε υγρές συνθήκες

Εφόσον είδαμε οτί η χονδρόκοκκη άμμος, χωρίς μπετονίτη δεν μπορεί να έχει τις αντοχές που επιθυμούμε λόγω της διαπερατότητας και των λόγων που αναφαίρουμε στα παράπανω συμπεράσματα, δοκιμάζουμε να φτιάξουμε δοκίμια ίδιων διαστάσεων, όμως με διαφορετική σύνθεση. Θα περιέχουν διαφορετική άμμο, δηλαδή αντί της χονδρόκοκκης Γαλλικής άμμου θα προσθέσουμε λεπτόκοκκη Ελληνική άμμο.

Επιπλέον σε αυτή την έρευνα θα προσθέσουμε και τον μπετονίτη. Θέλουμε έτσι να δούμε την διαφορά αντοχής, και τον ρόλο που παίζει σε αυτό ο μπετονίτης σε συνδιασμό με την εποξειδική ρητίνη. Για τον λόγω αυτό θα παρασκευάσουμε δοκίμια με ίση την ποσότητα ρητίνης και διαφορετική αυτή του μπετονίτη. Τα ποσοστά που θα δούμε θα είναι τα : 0% , 1.5%, 2.5%, και τέλος 5%.

Αφού κατασκευάσουμε τα δοκίμια, με τον ίδιο τρόπο που κατασκευάστηκαν και στην πρώτη έρευνα, αλλά με την διαφορά οτι θα πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί στην προσθήκη του μπετονίτη στο μίγμα, τα αφήνουμε να ωριμάσουν σε ηλικίες 7, 30 και 90 ημερών.

5.2.1 Δυναμική φόρτιση.

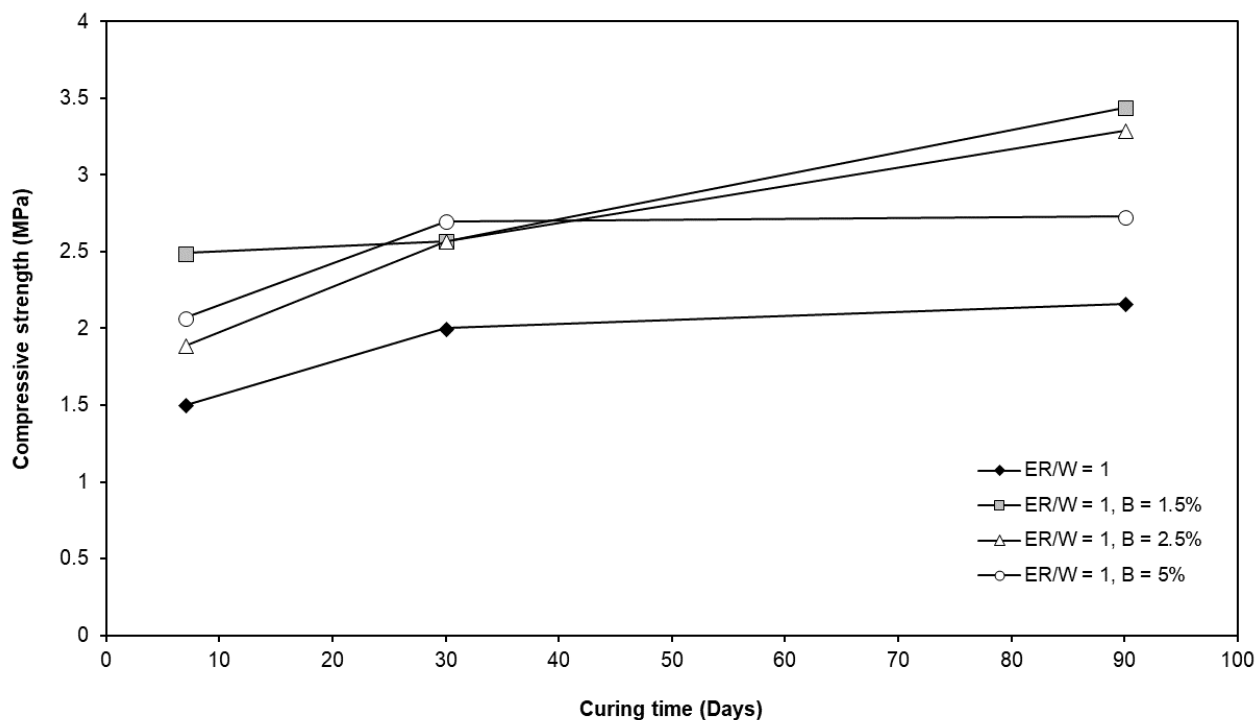
Με τις πρώτες δοκιμές για την συμπεριφορά της άμμου υπό δυναμική φόρτιση βρίσκουμε για την εκτροπική τάση σε σχέση με τον αριθμό κύκλων μας δίδει ότι σε μικρό επίπεδο φόρτισης CSR (Cyclic Stress Ratio) το δοκίμιο σπάει στους 2 πρώτους κύκλους με αποτέλεσμα την γρήγορη ρευστοποίηση της άμμου.

Η παραμόρφωση είναι μόνιμη.

5.2.2. Δυναμική τριαξονική θλίψη.

Μετά την ωρίμανση των δοκιμών, τα υποβάλλουμε σε τριαξονική καταπόνηση και σε υγρές συνθήκες με την βοήθεια του σερβοϋδραυλικού μηχανήματος θλιπτικής συμπίεσης της εταιρείας Lustron.

Τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε είναι τα παρακάτω.



Διαγρ. 5.2.1. Διάγραμμα καμπυλών που εκφράζουν την αντοχή των δοκιμών, σε θλιπτικές δυνάμεις σε διάφορες ηλικίες ωρίμανσης.

Από το παραπάνω διάγραμμα καταλαβαίνουμε ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά αντοχής μεταξύ των δοκιμών χωρίς μπετονίτη και αυτών με μπετονίτη.

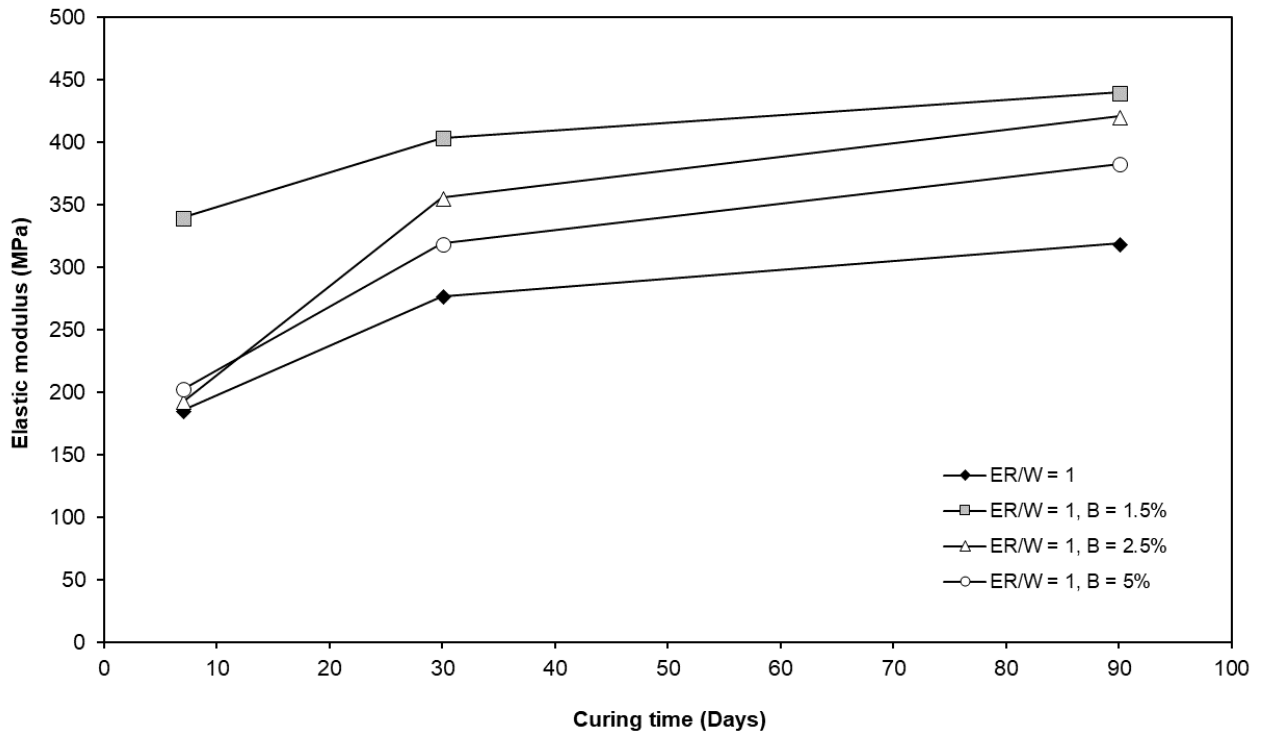
Εάν για παράδειγμα κοιτάξουμε την καμπύλη των δοκιμών που περιέχουν μόνο ρητίνη και την αμέσως επόμενη, δηλαδή εκείνη με περιεκτικότητα μπετονίτη 1.5%, μπορούμε να δούμε ότι στις 90 ημέρες ωρίμανσης έχουν διαφορά αντοχής περίπου 1.5 MPa.

Επίπλέον, καταλαβαίνουμε ότι η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε μπετονίτη δεν σημαίνει ότι θα υπάρξει μεγαλύτερη αντοχή. Βλέποντας τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ιδανικότερη περιεκτικότητα είναι αυτή των 2.5% μπετονίτη σε συνδιασμό με εποξειδική ρητίνη προς το νερό (ER/W) ίση με 1.

Προφανές είναι φυσικά ότι ο χρόνος ωρίμανσης των δοκιμών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην υποδοχή των τριαξονικών καταπονήσεων, καθώς όπως βλέπουμε και το διάγραμμα οι μεγαλύτερες αντοχές έχουν επιτευχθεί στις 90 ημέρες. Ο μέγιστος χρόνος ωρίμανσης στην προκειμένη περίπτωση.

5.2.3. Μέτρο ελαστικότητας.

Σχετικά με το μέτρο ελαστικότητας των δοκιμίων έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα.



Διαγρ. 5.2.2. Διάγραμμα καμπυλών μέτρου ελαστικότητας δοκιμίων σε σχέση με τον χρόνο ωρίμανσής τους.

Η προσθήκη του μπετονίτη στο μείγμα των δοκιμίων, αλλά και η ποσότητά του επηρεάζουν κατά πολύ όχι μόνο την αντοχή τους στις καταπονήσεις, αλλά και στο μέτρο ελαστικότητάς τους.

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στο παραπάνω διάγραμμα όσο μεγαλώνει η ποσότητα του μπετονίτη, τόσο μεγαλώνει και το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους.

Φυσικά, μεγάλο ρόλο παίζει και η ηλικία ωρίμανσης. Εύκολα παρατηρούμε ότι οι καμπύλες συνεχώς ανεβαίνουν. Φτάνουν τη μέγιστη τιμή μέτρου ελαστικότητας στη μέγιστη τιμή ηλικίας ωρίμανσης (90 ημέρες).

5.2.4. Συντελεστής CSR σε συνάρτηση με τους κύκλους αντοχής.

Όπως και στη προηγούμενη έρευνα υπολογίζουμε τα επίπεδα φόρτισης που δέχεται το κάθε δοκίμιο με την χρήση του τύπου :

$$CSR = a * N^b * CS^c$$

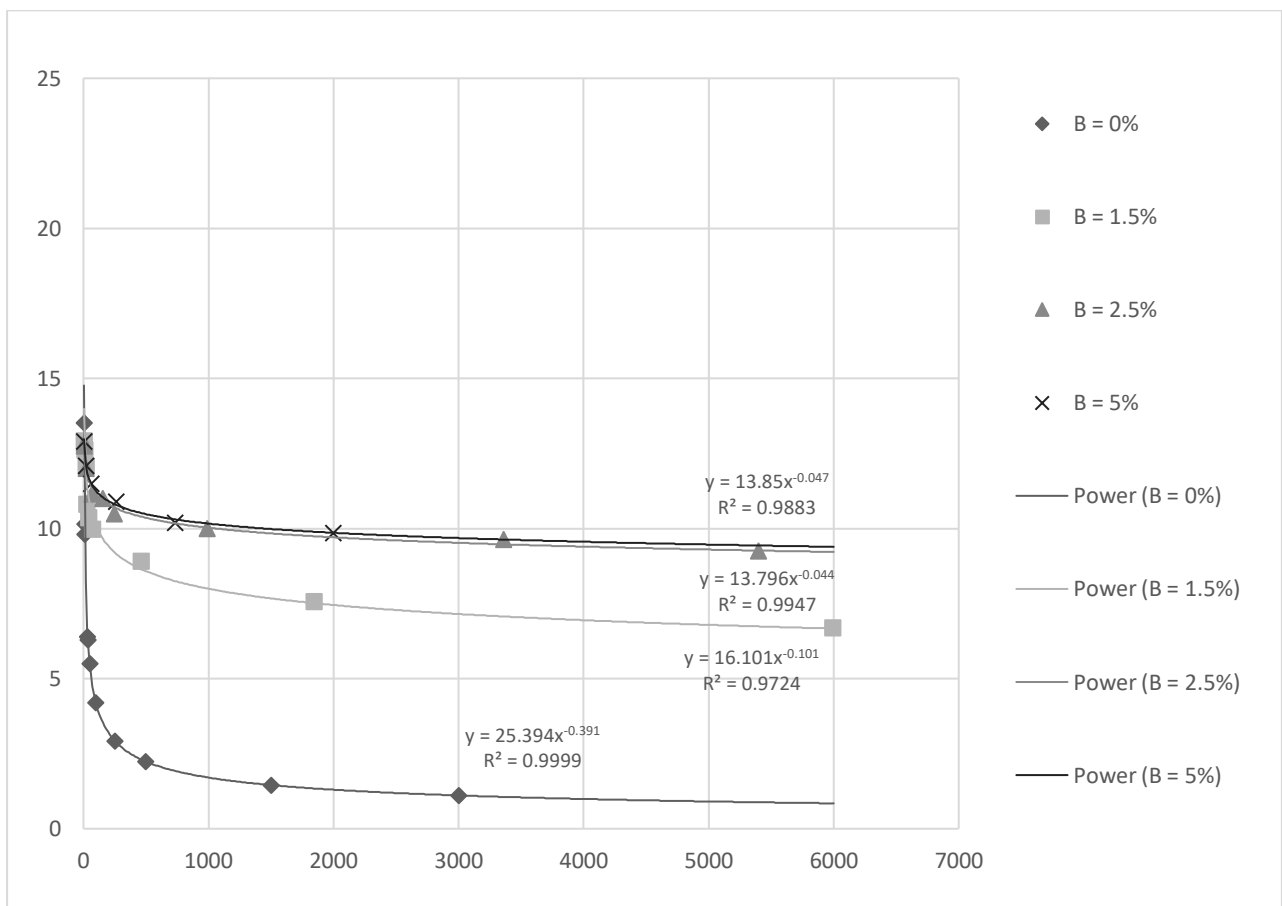
Όπου, $a = 3.524$

$b = -0.095$

$c = 1.469$

CS: compressive strength at 90 days curing

Έχουμε λοιπόν,



Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται οι καμπύλες που αντιστοιχούν στη σχέση του επιπέδου φόρτισης CSR (Cyclic Stress Ratio) σε συνάρτηση με των αριθμό κύκλων, για την κάθε αναλογία μπετονίτη σε ίση αναλογία εποξειδικής ρητίνης ως προς το νερό.

Η κάθετη γραμμή δεδομένων αντιστοιχεί στο επίπεδο φόρτισης CSR, ενώ η οριζόντια γραμμή δεδομένων αντιστοιχεί στον αριθμό των κύκλων.

Επομένως, καταλαβαίνουμε ότι ανεβάζοντας τη ποσότητα περιέκτικότητας σε μπετονίτη στα δοκίμια του πειράματός μας, ανεβαίνει και το επίπεδο φόρτισης που μπορεί να δεχτεί το δοκίμιο.

Εδώ παρατηρούμε ότι οι καμπύλες των ποσοτήτων 2.5% και 5% είναι σχεδόν ίσες με πολύ λίγες και μικρές διαφορές.

Με την βοήθεια των εξισώσεων στη συνέχεια μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε το επίπεδο της φόρτισης για κάθε αριθμό κύκλων, σε κάθε αναλογία μπετονίτη, όπως και το αντίστροφο. Δηλαδή μπορούμε με την βοήθεια του επίπεδου φόρτισης να βρούμε στους πόσους κύκλους θα αστοχίσει κάποιο δοκίμιο μιας αναλογίας.

5.2.5. Συμπεράσματα

Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι, ο μπετονίτης είναι ένα κύριο συστατικό του χημικού ενέματος, καθώς μέσω αυτού είναι δυνατόν να έχουμε πολύ μεγάλες αντοχές ακόμη και σε υγρές συνθήκες. Στην προηγούμενη έρευνα είδαμε ότι χωρίς αυτόν ήταν αδύνατον το έδαφος να μην ρευστοποιηθεί την στιγμή που ερχόταν σε επαφή με το νερό.

Οι καταπονήσεις που μπορούν να ανεχτούν τα εδάφια που έχουν ενεθεί χημικά με μίγμα που αποτελείται και από εποξειδική ρητίνη, αλλά και από μπετονίτη είναι ξεκάθαρα μεγαλύτερες.

Με την βοήθεια των διαγραμμάτων παρατηρούμε ότι η ποσότητα μπετονίτη που θα εμπεριέχεται στο μίγμα που θα ενεθεί στο έδαφος έχει πολύ μεγάλη σημασία. Αυτό μπορούμε να το δούμε και στα τρία διαγράμματα της έρευνας. Η θλιπτική δύναμη που μπορεί να δεχτεί το έδαφος, το μέτρο ελαστικότητας καθώς και το επίπεδο φόρτισης του εδάφους είναι μεγαλύτερα, όταν η ποσότητα, όπως και η ηλικία ωρίμανσης είναι μεγαλύτερη.

Βιβλιογραφία

1. Σοϊλεμεζίδης, Β. (2010). *Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες ενεμένων αμμωδών υλικών με εποξειδικές ρητίνες*. Θεσσαλονίκη, Πτυχιακή εργασία, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Ίδρυμα.
2. Καραβάτος, Σ. *Φυσικές και Μηχανικές Ιδιότητες Χημικά Ενεμένης Άμμου*. Θεσσαλονίκη, Πτυχιακή εργασία, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Ίδρυμα.
3. Σταυριδάκης, Ε. *Μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης εδαφών*. Θεσσαλονίκη, Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
4. Ιστοσελίδα: <http://www.orykta.gr/oryktes-protos-yles-tis-ellados/latomika-orykta/biomihanika-orykta/56-mpedonitis> . Στοιχεία για τον μπετονίτη.
5. Ιστοσελίδα: <https://www.isomat.gr/wp-content/uploads/2015/12/s-epoxyprimer-w.pdf> . Στοιχεία για την ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε.