

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ – ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΟΔΟΠΟΙΑ

ΤΡΕΜΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΙΣΣΑΒΕΤ, ΓΕΩΛΟΓΟΣ

Διατριβή Ειδίκευσης
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ – ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΟΔΟΠΟΙΙΑ

ΤΡΕΜΟΠΟΥΛΟΥ ΕΛΙΣΣΑΒΕΤ, ΓΕΩΛΟΓΟΣ

Διατριβή Ειδίκευσης
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ
Δημόπουλος Γεώργιος, Καθηγητής ΑΠΘ (Επιβλέπων)
Σούλιος Γεώργιος, Καθηγητής ΑΠΘ
Χρηστάρας Βασίλειος, Καθηγητής ΑΠΘ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	1
Εισαγωγή	2

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή	4
1. Έργα οδοποιίας	4
1.1 Χωματοουργικά έργα οδοποιίας	5
1.1.1 Γενικά	5
1.2 Ορισμοί	7
1.3 Τύποι οδοστρωμάτων	8

Κεφάλαιο 2^ο Αδρανή υλικά

2.1 Ορισμός	11
2.2 Κατηγορίες αδρανών υλικών	11
2.3 Αδρανή λατομείων -θραυστά αδρανή	13
2.4 Έλεγχοι	16
2.4.1 Προκαταρκτικοί έλεγχοι	16
2.4.2 Έλεγχος της παραγωγής	17
2.4.3 Έλεγχος της ποιότητας των αδρανών υλικών	17
2.4.3.1. Γενικές ιδιότητες	18
2.4.3.2. Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών ιδιοτήτων αδρανών υλικών	19
2.4.3.3. Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων αδρανών υλικών	20
2.4.3.4. Δοκιμές προσδιορισμού της συμπεριφοράς των αδρανών σε θερμικές και καιρικές μεταβολές.	22
2.4.3.5. Δοκιμές προσδιορισμού των χημικών ιδιοτήτων των αδρανών υλικών	23
2.5 Εξόρυξη αδρανών - Διαδικασία θραύσης - Κοσκινίσματος	24
2.6 Ο ρόλος των αδρανών υλικών στην οδοστρωσία	24

Κεφάλαιο 3^ο Χωματοουργικά

3.1 Γενικές εκσκαφές	26
3.1.1 Ορισμοί	26
3.1.2 Εκτέλεση εργασιών	27
3.1.3 Καθαιρέσεις	28
3.2 Ισοζύγιο χωματοουργικών υλικών	28
3.3 Γεωτεχνικές έρευνες σε θέσεις ορυγμάτων - επιχωμάτων	29
3.3.1 Γεωτεχνικές έρευνες σε θέσεις ορυγμάτων	30
3.3.2 Γεωτεχνικές έρευνες σε θέσεις επιχωμάτων	31
3.4 Κατασκευή ορυγμάτων	32

3.5 Κατασκευή επιχωμάτων	32
3.5.1 Τμήματα επιχωμάτων	35
3.5.1.1 Γαιώδη επιχώματα	36
3.5.1.1.1 Υλικά γαιωδών επιχωμάτων	36
3.5.1.1.2 Ποιότητα υλικών	36
3.5.1.1.3 Προετοιμασία της επιφάνειας θεμελίωσης	40
3.5.1.1.4 Έδραση επιχώματος σε περιοχές ειδικών συνθηκών	40
3.5.1.1.5 Διάστρωση	40
3.5.1.1.6 Συμπύκνωση	41
3.5.1.1.7 Κλιματικοί περιορισμοί στην κατασκευή γαιωδών επιχωμάτων	43
3.5.1.1.8 Κυκλοφορία των οχημάτων	43
3.5.1.2 Κατασκευή επιχωμάτων από αργιλικά υλικά	43
3.5.1.2.1 Προέλευση - Ποιότητα	43
3.5.1.2.2 Διαλογή - έλεγχος και κατάταξη υλικών εκσκαφής	43
3.5.1.2.3 Κατασκευή αργιλικών επιχωμάτων	44
3.5.1.2.4 Έδραση αργιλικών επιχωμάτων	44
3.5.1.2.5 Συμπύκνωση – Διάστρωση του αργιλικού επιχώματος	45
3.5.1.2.5 Προστασία επιχώματος από αργιλικά υλικά	46
3.5.1.2.7 Ποιοτικός έλεγχος αργιλικών επιχωμάτων	46
3.5.1.2.8 Κατασκευή δοκιμαστικού επιχώματος	46
3.5.1.2 Βραχώδη επιχώματα	48
3.5.1.2.1 Υλικά βραχωδών επιχωμάτων	48
3.5.1.2.2 Ποιότητα υλικών	48
3.5.1.2.3 Προετοιμασία της επιφάνειας θεμελίωσης	49
3.5.1.2.4 Διάστρωση	50
3.5.1.2.5 Συμπύκνωση	50
3.5.1.2.6 Κατασκευή δοκιμαστικού τμήματος	51
3.5.1.2.7 Ανοχές των περατωμένων επιφανειών	51
3.5.1.2.8 Υποχωρήσεις επιχωμάτων, επιχωματώσεων διαμόρφωσης χώρων κ.λ.π.	52

Κεφάλαιο 4^ο

Έργα Οδοστρώσεως

4.1 Πρότυπος τεχνική προδιαγραφή Ο 150	53
4.2 Πρότυπος τεχνική προδιαγραφή Ο 155	54
4.2.1 Παραγωγή του υλικού	55
4.2.2 Προπαρασκευή της Επιφάνειας Έδρασης.	56
4.2.3 Διάστρωση των αδρανών υλικών	56
4.2.4 Συμπύκνωση	56
4.2.5 Τελικός έλεγχος στρώσης υπόβασης	57
4.2.6 Δοκιμές αδρανών υλικών	58
4.2.7 Δοκιμές επί του οδοστρώματος	58
4.3 Κατασκευή βάσεων και υποβάσεων από υλικά μη ευπαθή στον παγετό	58
4.3.1 Έλεγχτοι	60
4.4 Στρώση έδρασης οδοστρώματος	61
4.5 Διαστασιολόγηση οδοστρώματος	62
4.5.1 Γενικά	62
4.5.1.1 Φέρουσα ικανότητα στρώσης έδρασης	64
4.5.1.2 Κυκλοφοριακός φόρτος	64
4.5.1.3 Μέση Ετήσια Θερμοκρασία Αέρος (ΜΕΘΑ)	65

4.5.2 Διαδικασία διαστασιολόγησης	65
4.5.2.1 Καθορισμός εξυγιαντικής στρώσης	65
4.5.2.2 Καθορισμός πάχους βάσης / υπόβασης	66
4.5.2.3 Καθορισμός πάχους ασφαλικών στρώσεων	67
4.5.2.4 Υλικό στραγγιστικής στρώσης	67
4.5.2.5 Υλικό αντιπαγετικής στρώσης	67
4.5.2.6 Αποστράγγιση	67
4.5.2.7 Υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας	68

Κεφάλαιο 5^ο

Δοκιμές εδαφικών και αδρανών υλικών

5.1 Δοκιμές προσδιορισμού ορίων Atterberg	70
5.1.1 Όριο υδαρότητας	70
5.1.2 Όριο πλαστικότητας	74
5.2 Συμπύκνωση εδαφών δοκιμή Proctor – σχέση υγρασίας - πυκνότητας.	75
5.2.1 Πρότυπη μέθοδος Proctor	76
5.2.2 Τροποποιημένη μέθοδος Proctor	81
5.3 Μέθοδος δοκιμής του Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας (CBR)	83
5.3.1 Παραλλαγές στη μέτρηση του CBR	89
5.4 Επί τόπου προσδιορισμός του Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας (CBR)	90
5.5 Δοκιμή σε τριβή και κρούση χονδρόκοκκων αδρανών υλικών (μέθοδος Los Angeles)	92
5.6 Δοκιμή ανθεκτικότητας αδρανών υλικών σε αποσάθρωση (δοκιμή υγείας)	95
5.7 Προσδιορισμός της επί τόπου πυκνότητας εδάφους με τη μέθοδο της άμμου	98
5.8 Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας εδάφους	103
5.9 Δοκιμή ισοδύναμου άμμου	104

Κεφάλαιο 6^ο

Εισαγωγή	106
6.1 Κατάταξη υλικών οδοποιίας και ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών κατά τη χρήση τους σε επιμέρους θέσεις του έργου	106
6.1.1 Συμπύκνωση	107
6.1.2 Τραβερίνης	108
6.1.3 Φαίος μεταψαμμίτης.	115
6.1.4 Αμμοχάλικο ποταμού Αλιάκμονα	123
6.1.5 Θραυστός Ασβεστόλιθος	127
6.1.6 Αμμοχαλικώδες υλικό Αλιάκμονα	129
6.2 Διερεύνηση της ύπαρξης σχέσης μεταξύ των ποσοστών λεπτόκοκκου υλικού, άμμου και συντελεστή ομοιομορφίας με το συντελεστή	135

συμπύκνωσης του υλικού	
6.2.1 Γενικά	135
6.2.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων	136
6.2.3 Τραβερτίνης	137
6.2.4 Θραυστός τραβερτίνης	140
6.2.5 Ασβεστόλιθος	142
6.2.6 Μεταβατικό αμμοχάλικο	145
6.2.7 Αμμοχάλικο Αλιάκμονα	148
6.2.8 Θραυστό 3Α	151
6.2.9 Περιδοτιτής	154
6.2.10 Θραυστό μπαζοχάλικο	157
6.2.11 Θραυστός ασβεστόλιθος λατομείου	160
6.3 Υπολογισμός της καμπύλης κορεσμού των χωματουργικών υλικών στην οδοποιία	165
6.3.1 Γενικά	165
6.3.2 Δεδομένα	166
6.4 Συμπεράσματα	172
Βιβλιογραφία	174

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., υπό την εποπτεία του Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας κύριο Γεώργιο Δημόπουλο, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά τόσο για την επιστημονική του καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών, όσο και για την ανάθεση του θέματος της διατριβής και για τις πολύτιμες συμβουλές του που είχαν σαν αποτέλεσμα την καλύτερη δυνατή παρουσίαση της εργασίας αυτής.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα του καθηγητές του Τμήματος Γεωλογίας κ. Σούλιο Γεώργιο και Χρηστάρα Βασίλειο για την πρόθυμη και εποικοδομητική τους συνεργασία και τον Γεωλόγο κύριο Μακεδόνα Θωμά για την πολύτιμη βοήθεια του σε όλα τα σημεία εκπόνησης της διατριβής αυτής.

Τα πρωτογενή στοιχεία που ήταν απαραίτητα για την εκπόνηση της διατριβής αυτής προήλθαν από την Εγνατία Οδό Α.Ε.. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γιαννακούλα Ιωάννη, Material Engineer, για την άδεια πρόσβασής μου σε όλα τα απαιτούμενα στοιχεία καθώς επίσης και για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2007

Τρεμοπούλου Ελισσάβετ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της διατριβής αυτής είναι η παρουσίαση των χωματουργικών υλικών που χρησιμοποιούνται σήμερα στην οδοποιία καθώς επίσης και ο ποιοτικός έλεγχος που εφαρμόζεται σε αυτά τόσο πριν τη χρησιμοποίησή τους σε διάφορα τμήματα του έργου όσο και κατά τη φάση κατασκευής του.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην οδοποιία όπου αναφέρονται όλα τα έργα που πραγματοποιούνται για την ολοκλήρωση ενός μεγάλου οδικού άξονα όπως είναι η Εγνατία Οδός, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στα χωματουργικά έργα οδοποιίας, με τα οποία ασχολείται και η παρούσα διατριβή ειδίκευσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες των αδρανών υλικών καθώς επίσης και οι έλεγχοι που είναι απαραίτητο να γίνουν στα αδρανή για την καταλληλότητά τους για συγκεκριμένη χρήση τους. Στη συνέχεια αναφέρεται ο ρόλος τους στην οδοστρώση.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτεταμένη περιγραφή όλων των χωματουργικών εργασιών και των γεωτεχνικών ερευνών που εκτελούνται στα πλαίσια κατασκευής ενός οδικού έργου ενώ παράλληλα παρουσιάζονται τα συστήματα κατάταξης των χωματουργικών υλικών οδοποιίας που προβλέπονται από την Ελληνική Νομοθεσία την πρακτική και τις διεθνείς προδιαγραφές.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βήμα προς βήμα όλες οι εργασίες που εκτελούνται για την εκτέλεση των έργων οδοστρώσεως. Παρουσιάζονται οι δοκιμές ελέγχου της ποιότητας των υλικών τόσο πριν την χρήση τους στο έργο όσο και κατά τη φάση κατασκευής του και τέλος παρουσιάζεται η μεθόδολογία που χρησιμοποιείται σήμερα για τη διαστασιολόγηση ενός οδοστρώματος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται όλες οι δοκιμές εργαστηρίου αλλά και πεδίου των εδαφικών και αδρανών υλικών που είναι απαραίτητες τόσο για την κατάταξη των υλικών, όσο και για τον έλεγχο της κατασκευής.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται όλα τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε επιμέρους έργα της Εγνατίας οδού και στο τμήμα Λευκόπετρα – Βέροια – Κουλούρα (5.2/5.3-930). Στην πρώτη παράγραφο παρουσιάζονται οι μελέτες έγκρισης των υλικών αυτών για τη χρήση τους στο έργο και στη συνέχεια γίνεται ποσοτική ανάλυση και έλεγχος των αποτελεσμάτων των δοκιμών (επί τόπου δοκιμές και εργαστηριακοί έλεγχοι) των καταταχθέντων στα επί μέρους τμήματα της οδού, με τη χρήση του προγράμματος Statistica. Στη συνέχεια, στη δεύτερη παράγραφο, διερευνάται η πιθανή ύπαρξη σχέσης μεταξύ του ποσοστού της άμμου, του ποσοστού του λεπτόκοκκου υλικού και του συντελεστή ομοιομορφίας με το βαθμό συμπύκνωσης που επιτεύχθηκε στις διάφορες θέσεις του έργου, για υλικά διαφορετική προέλευσης. Στην τρίτη παράγραφο δίνονται οι καμπύλες κορεσμού κάποιων από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο έργο. Τέλος στην τέταρτη παράγραφο συνοψίζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που έγιναν στις προηγούμενες παραγράφους και εξάγονται συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Έργα οδοποιίας

Ως έργα οδοποιίας ορίζονται όλα εκείνα τα έργα που είναι απαραίτητα για την άρτια λειτουργία ενός οδικού άξονα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η άρτια κυκλοφορία και η λειτουργία του για τη συνήθη διάρκεια ζωής των 50 ετών. Στα έργα οδοποιίας εντάσσονται τα χωματουργικά έργα, τα τεχνικά έργα, τα έργα οδοστρωσίας, τα ασφαλτικά και τέλος τα έργα σήμανσης.

Στα τεχνικά έργα εντάσσονται τα υδραυλικά έργα (έργα αποστράγγισης, αποχέτευσης), οι γέφυρες, οι ανισόπεδοι και οι ισόπεδοι κόμβοι, οι σήραγγες (με διάτρηση, με εκσκαφή και επανεπίχωση), τα οικοδομικά έργα, τα έργα αντιστήριξης κ.α..

Επιγραμματικά, κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες των έργων οδοποιίας θα πρέπει να περιλαμβάνει, ανάλογα με το προς εκτέλεση έργο και ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες, κάποιες ή και όλες τις παρακάτω εργασίες:

Χωματουργικά Έργα

- Γενικές εκσκαφές ορυγμάτων
- Εξυγίανση εδαφών
- Επιχώματα (εδαφικά επιχώματα: μεταβατικό τμήμα – στέψη, βραχώδη επιχώματα: πυρήνας - μεταβατικό τμήμα – στέψη)
- Οπλισμένη επίχωση
- Καλύψεις – επενδύσεις -πληρώσεις πρανών και νησίδων με φυτική γη
- Μάρτυρες ελέγχου υποχωρήσεων
- Λιθορριπές προστασίας πρανών

Τεχνικά έργα

- Εκσκαφές θεμελίων τεχνικών έργων και τάφρων
- Επανεπίχωση απομένοντος όγκου εκσκαφών θεμελίων τεχνικών έργων και τάφρων
- Σκυροδέματα
- Ξυλότυποι
- Σιδηροπλισμός
- Προένταση
- Διαμόρφωση ορατών επιφανειών σκυροδεμάτων με ξυλότυπο
- Πρόχυτοι τσιμεντοσωλήνες
- Έγχυτοι πάσσαλοι και φρεατοπάσσαλοι με αφαίρεση του εδαφικού υλικού (και κεφαλόδεσμοί τους)
- Στεγανώσεις
- Αντιρρυπαντική επάλειψη
- Αρμοί συστολοδιαστολής γεφυρών
- Εφέδρανα γεφυρών
- Μεταλλικές κατασκευές
- Γεωϋφάσματα «διαχωρισμού» σε οδικά έργα
- Γεωϋφάσματα στραγγιστηρίων

- Αντιμετώπιση συνάντησης αγωγών Οργανισμών Κοινής Ωφελείας (ΟΚΩ) σε λειτουργία
- Κατασκευή εδαφοπασσάλων με τη μέθοδο του JET GROUTING
- Τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένες γαίες
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Κατασκευή στηθαίων σκυροδέματος (New Jersey)

Έργα Οδοστρωσία

- Στρώση στράγγισης
- Υποβάσεις οδοστρωμάτων με αδρανή σταθεροποιούμενου τύπου (χωρίς συνδετικό υλικό)
- Βάσεις οδοστρωμάτων με αδρανή σταθεροποιούμενου τύπου (χωρίς συνδετικό υλικό)
- Αντιπαγετικές στρώσεις από ασύνδετο υλικό

Ασφαλτικά έργα

- Ασφαλτικές βάσεις με ασφαλτόμιγμα εν θερμώ που κατασκευάζεται σε μόνιμη εγκατάσταση
- Ασφαλτικές στρώσεις με ασφαλικό σκυρόδεμα
- Ασφαλική στρώση μεταβλητού πάχους με ασφαλικό σκυρόδεμα
- Αντιολισθηρή ασφαλική στρώση από ασφαλικό σκυρόδεμα
- Ασφαλικές αντιολισθηρές στρώσεις ειδικού τύπου από ασφαλικό σκυρόδεμα με τροποποιημένη άσφαλτο ελαστομερούς τύπου
- Ασφαλικές αντιολισθηρές στρώσεις από ασφαλικό σκυρόδεμα με τροποποιημένη άσφαλτο
- Ασφαλτόμιγμα για λεπτή αντιολισθηρή στρώση

Έργα Σήμανσης και ασφάλειας

- Σήμανση
- Μέτρα ασφαλείας οδών
- Άκαμπτα μεταλλικά στηθαία τεχνικών έργων
- Μόνιμες περιφράξεις
- Ηλεκτροδότηση σηράγγων και πυροπροστασία
- Εγκατάσταση δικτύου τηλεφωνικής επικοινωνίας

1.1 Χωματοουργικά έργα οδοποιίας

1.1.1 Γενικά

Με τον όρο «χωματοουργικά έργα» νοούνται όλα εκείνα τα έργα οδοποιίας που αναφέρονται στην κατασκευή ορυγμάτων (εκσκαφών), επιχωμάτων, οπλισμένου εδάφους και τοίχων οπλισμένης γης. Σχεδιάζονται για διάρκεια ζωής 50 ετών (εκτός αν καθορίζεται διαφορετικά).

Οι χωματοουργικές εργασίες αποτελούν την πρώτη φάση κατασκευής ενός οδικού έργου. Αρχίζουν αμέσως μετά την εγκατάσταση του αναδόχου και την οργάνωση του εργοταξίου, ενώ η χρονική διάρκεια της εκτέλεσης τους είναι συνάρτηση του όγκου των χωματισμών και του είδους του εδάφους. Σε σημαντικά

έργα η διάρκεια τους ξεπερνά και τα δύο χρόνια, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου προβλέπεται από τη μελέτη η κατασκευή υψηλών ορυγμάτων σε συνδυασμό με τεχνικά μεγάλου ανοίγματος.

Από πλευράς κόστους, στο στάδιο της κατασκευής, η συμμετοχή των χωματουργικών εργασιών στο σύνολο του προϋπολογισμού κυμαίνεται γύρω στο 50%, ανάλογα με τον τύπο της οδού και τη μορφολογία του εδάφους. Το ποσοστό είναι μικρότερο για επαρχιακές οδούς, ενώ αυξάνει για το εθνικό δίκτυο και τους αυτοκινητόδρομους, όπου οι απαιτήσεις γεωμετρικής άνεσης και ασφάλειας είναι αυστηρότερες και επιβάλλουν την εκτέλεση χωματισμών σημαντικού όγκου. Για τη μείωση του κόστους, πριν, από την εκτέλεση όλων των χωματουργικών εργασιών, θα πρέπει να έχει προηγηθεί μια εμπεριστατωμένη μελέτη του όγκου των εκσκαφών και του όγκου των επιχώσεων, έτσι ώστε η ανάγκη για δάνεια υλικά, για την κατασκευή των επιχωμάτων, καθώς και η απόσταση μεταφοράς τους να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Η μεταφορά των υλικών εκσκαφής γίνεται εγκάρσια ως προς τον άξονα της οδού, αλλά και παράλληλα προς αυτόν από διατομή σε διατομή. Όπου δεν υπάρχει ισοζύγιο στις ποσότητες εκσκαφών και επιχώσεων και χρειάζονται δανειοθάλαμοι, λατομεία ή χώροι μόνιμης εναπόθεσης υλικών (αποθεσιοθάλαμοι), οι χώροι αυτοί προσδιορίζονται και υπολογίζονται για κάθε έναν από αυτούς οι διαθέσιμοι όγκοι ενώ παράλληλα ελέγχονται οι συνθήκες διαμόρφωσης των πρανών στους αποθεσιοθαλάμους.

Οι αναλύσεις ευστάθειας των πρανών στα ορύγματα και τα επιχώματα γίνεται απαραίτητα για πρανή που ξεπερνούν σε ύψος τα 10 μέτρα. Για μικρότερα ύψη, η ευστάθεια τους ελέγχεται σε περιπτώσεις όπου επικρατούν ειδικές γεωτεχνικές συνθήκες (ασταθή ή έρποντα εδάφη, υψηλός υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, μαλακά εδάφη, γειτονικές κατασκευές) ή όταν αυτές εμφανίζονται σε σημαντικά μήκη της χάραξης (όπου και επιλέγονται οι γεωτεχνικά κρίσιμες διατομές).

Παράλληλα με τον έλεγχο της ευστάθειας των πρανών σε ορύγματα και επιχώματα μελετάται ακόμη και η ανάπλαση τους, ώστε να συμμορφώνονται όσο το δυνατόν περισσότερο με τους περιβαλλοντικούς όρους. Όταν από γεωμετρική άποψη κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό και δεν εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος συντελεστής ασφάλειας, εξετάζονται πρόσθετα μέτρα αντιστήριξης, όπως αγκυρώσεις, οπλισμένο έδαφος ή εναλλακτικές λύσεις τεχνικών έργων (τοίχοι αντιστήριξης, σήραγγες με εκσκαφή και επανεπίχωση ή γέφυρες).

Επίσης η μελέτη των χωματουργικών έργων λαμβάνει υπόψη της την αισθητική εντύπωση, συσχετίζοντας με τυχόν υφιστάμενες οδηγίες διαμόρφωσης του τοπίου και προβλέποντας φύτευση και αποκατάσταση της φυτικής κάλυψης των πρανών με αντίστοιχη μεθοδολογία. Με τον τρόπον αυτόν εκτός της αισθητικής εντύπωσης επιτυγχάνεται και η προστασία των πρανών από διάβρωση και η πρόσθετη σταθεροποίησή τους.

Για την ευστάθεια των χωματουργικών στην επιφάνεια της σκάφης τους (ως σκάφη ορίζεται το επίπεδο που στοιχειοθετείται από το ανώτερο επίπεδο του υπεδάφους), γίνεται έλεγχος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και των πιέσεων των πόρων των ασυνεχειών της βραχομάζας. Στη συνέχεια συντάσσεται ειδική μελέτη για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με την αποστράγγιση υδροφόρων στρωμάτων υψηλής ελεύθερης στάθμης και πηγών.

Τέλος, κατά τη λειτουργία ενός οδικού έργου εξελίσσονται διάφορα φαινόμενα, όπως είναι η στερεοποίηση του εδάφους, ο ερπυσμός, η κόπωση των ασφαλικών υλικών και η μεταβολή των υδραυλικών συνθηκών, που μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές παραμορφώσεις και ρωγμώσεις στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Ένα μεγάλο μέρος από τις φθορές και τις βλάβες των οδών

οφείλονται στην αστοχία των χωματουργικών εργασιών που εκδηλώνονται με καταπτώσεις και κατολισθήσεις πρανών ορυγμάτων, καθιζήσεις και ολισθήσεις επιχωμάτων και παραμορφώσεις λόγω της ανεπαρκούς συμπίκνωσης τους.

Θα πρέπει να τονιστεί η μεγάλη ανάγκη της άρτιας εκτέλεσης όλων των χωματουργικών εργασιών με σκοπό την αποφυγή της αστοχίας του οδικού έργου, που θα το καταστήσει, για μεγάλο χρονικό διάστημα, μη λειτουργικό μέχρι την ολοκλήρωση της ανακατασκευής του.

1.2 Ορισμοί

Πριν ξεκινήσουμε την ανάλυση όλων εκείνων των χωματουργικών εργασιών που εκτελούνται κατά τη διάρκεια κατασκευής ενός οδικού έργου, είναι απαραίτητη η παράθεση ορισμένων βασικών εννοιών.

Ως **υποδομή** ορίζεται το σύνολο των έργων (χωματουργικών και τεχνικών) που είναι απαραίτητα έτσι ώστε η οδός να πάρει κατάλληλη μορφή για την ασφαλή έδραση του οδοστρώματος και την κανονική ροή των όμβριων υδάτων μέχρι τους φυσικούς τους αποδέκτες.

Ως **επίχωμα** ορίζεται κάθε υπερυψωμένη κατασκευή αποτελούμενη από έδαφος, μίγματα εδάφους και αδρανών υλικών ή λίθων.

Ως **έδραση επιχώματος** ορίζεται το υλικό πάνω στο οποίο εδράζεται το επίχωμα.

Ως **υπέδαφος** ορίζεται το προπαρασκευασμένο, μορφωμένο και συμπτυκνωμένο έδαφος που βρίσκεται αμέσως κάτω από το οδόστρωμα και που εκτείνεται μέχρι το βάθος όπου επηρεάζεται από τα κυκλοφοριακά φορτία.

Ως **εξυγιαντική στρώση** ορίζεται η στρώση που κατασκευάζεται πάνω από το υπέδαφος, με σκοπό την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του.

Ως **σκάφη έδρασης** ορίζεται το επίπεδο που στοιχειοθετείται από το ανώτερο επίπεδο του υπεδάφους. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εξυγιαντική στρώση ή σταθεροποίηση του εδάφους, το επίπεδο της σκάφης είναι η ανώτατη επιφάνεια της εξυγιαντικής στρώσης ή του σταθεροποιημένου εδάφους.

Ως **υπόβαση** ορίζεται η στρώση ενίσχυσης του οδοστρώματος που τοποθετείται μεταξύ του υπεδάφους και της στρώσης βάσης με σκοπό τη μείωση των εισαγόμενων προς το υπέδαφος τάσεων συμβάλλοντας έτσι στη δομική ενίσχυση του οδοστρώματος. Επίσης εμποδίζει την άνοδο λεπτόκοκκων συστατικών και την είσοδο τους στις ανώτερες στρώσεις, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη βελτίωση της αποστράγγισης και την αντιπαγετική προστασία της οδοστρωσίας. Κατασκευάζεται συνήθως από αδρανή υλικά, θραυστά ή φυσικά.

Ως **βάση** ορίζεται η στρώση του οδοστρώματος που τοποθετείται μεταξύ υπόβασης και στρώσης κυκλοφορίας, με σκοπό την παραλαβή και τη διανομή των κυκλοφοριακών φορτίων, στις υποκείμενες στρώσεις. Συμβάλλει επίσης στην αποστράγγιση και την αντιπαγετική προστασία της οδοστρωσίας.

Ως **στρώση κυκλοφορίας** ορίζεται η ανώτερη στρώση του οδοστρώματος που έχει σα σκοπό την ομαλή και άνετη κίνηση των οχημάτων. Παραλαμβάνει τις διατμητικές και ορθές τάσεις που προκύπτουν από αντίστοιχες δυνάμεις (εφαπτομενικές και ορθές) που αναπτύσσονται κυρίως εξαιτίας της κυκλοφορίας. Παρέχει στην οδό επαρκή επιφανειακή τριβή, ομαλότητα, απόσβεση θορύβου, αποστράγγιση και αντίσταση στην τροχοαυλάκωση (καταστροφή της επιπεδότητας του οδοστρώματος στα σημεία από όπου διέρχονται οι τροχοί των οχημάτων και

ειδικά των βαριών οχημάτων με αποτέλεσμα την δημιουργία παράλληλων αυλακώσεων και εξάρσεων κατά μήκος του άξονα του δρόμου).

Ως **οδόστρωμα ή επιδομή** ορίζεται το ανώτερο τμήμα της διατομής της οδού και μπορεί να αποτελείται από τις στρώσεις της υπόβασης της βάσης και της στρώσης κυκλοφορίας. Σκοπός του οδοστρώματος είναι η παραλαβή όλων των φορτίων της κυκλοφορίας και η κατανομή τους στο υπέδαφος, με παράλληλη μείωση της τιμής τους, έτσι ώστε οι ασκούμενες τάσεις να μην επιφέρουν ουσιαστικές παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις στην στρώση του υπεδάφους.

Τέλος ως **στρώση έδρασης οδοστρώματος (ΣΕΟ)** ορίζεται η στρώση που βρίσκεται ακριβώς κάτω από το οδόστρωμα και η οποία έχει διαμορφωθεί και συμπυκνωθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις των σχετικών προδιαγραφών με σκοπό την δομική υποστήριξη του οδοστρώματος.

1.3 Τύποι οδοστρώματων

Τα οδοστρώματα χωρίζονται κυρίως σε δύο τύπους. Στα εύκαμπτα και στα δύσκαμπτα οδοστρώματα ενώ παράλληλα υπάρχουν και κάποιοι ενδιάμεσοι τύποι.

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από διαφορετικές στρώσεις που κατατάσσονται γενικότερα σε δύο χαρακτηριστικές ομάδες, την κατώτερη που αποτελείται από ασύνδετα ή/και σταθεροποιημένα αδρανή και εδράζεται πάνω στο υπέδαφος και την ανώτερη που αποτελείται από ασφαλτομίγματα και εδράζεται πάνω στην κατώτερη ομάδα. Και οι δύο αυτές ομάδες παίζουν σημαντικότατο ρόλο στην άρτια λειτουργία του οδοστρώματος.

Στην κατώτερη ομάδα ανήκουν οι στρώσεις της υπόβασης και της βάσης. Η υπόβαση αποτελεί την πρώτη στρώση του οδοστρώματος και αποσκοπεί στη μεταβίβαση των φορτίων στο υπέδαφος, στην προστασία των υλικών της βάσης από την άνοδο των εδαφικών υλικών, στην αντιπαγετική προστασία του εδάφους και στην αποστράγγιση των ανώτερων στρώσεων. Η βάση αποτελεί τη βασικότερη δομή ενός εύκαμπτου οδοστρώματος καθώς παραλαμβάνει και κατανέμει τα κυκλοφοριακά φορτία στις υποκείμενες στρώσεις, μειώνει τις ορθές θλιπτικές τάσεις που εξασκούνται στο υπέδαφος (και διαμέσου της υπόβασης, εάν υπάρχει), σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να μπορούν να παραληφθούν από τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους και να μην προκαλούν ανεπίτρεπτα μεγάλες παραμορφώσεις. Επίσης παρέχει στο οδόστρωμα τη δυσκαμψία και την απαιτούμενη αντοχή του στην κόπωση. Παρέχει μια καλή επιφάνεια έτοιμη να δεχτεί τις ασφαλτικές στρώσεις και τέλος συμβάλλει στην αποτελεσματικότερη συμπύκνωση των υπερκείμενων ασφαλτικών στρώσεων.

Στην ανώτερη ομάδα ανήκουν η επιφανειακή στρώση ή τάπητας κυκλοφορίας, η συνδετική στρώση και η ασφαλτική βάση.

Ο τάπητας κυκλοφορίας είναι η ασφαλτική στρώση που έρχεται σε άμεση επαφή με το χρήστη της οδού (όχημα) και θα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις:

- ✓ να είναι ανθεκτική στην καταστροφική δράση της κυκλοφορίας και των καιρικών συνθηκών
- ✓ να μην παραμορφώνεται από την κυκλοφορία
- ✓ να ανθίσταται στη ρηγμάτωση που επέρχεται από θερμοκρασιακές συστολοδιαστολές και αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις
- ✓ να παρέχει καλή αντιολισθηρή επιφάνεια κύλισης (είτε από μόνη της είτε με την προσθήκη προεπαλειμμένων αδρανών ή αντιολισθηρού λεπτοτάπητα

τύπου slurry seal ή ασφαλικών επαλείψεων ή άλλης επιφανειακής επεξεργασίας)

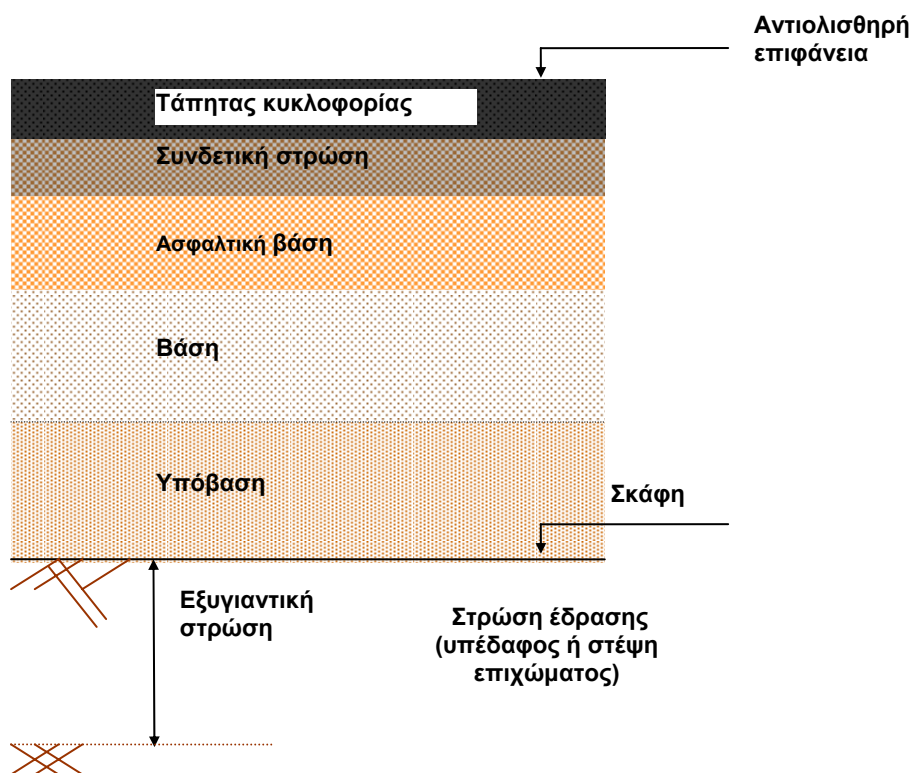
- ✓ να παρέχει καλή επιφάνεια κυκλοφορίας για οδήγηση υψηλής ποιότητας και ασφάλειας
- ✓ να παρέχει επιφάνεια κύλισης με χαμηλό επίπεδο θορύβου
- ✓ να συνεισφέρει στην αντοχή του οδοστρώματος
- ✓ να είναι σχεδόν αδιαπέρατη από το νερό έτσι ώστε να μην επιτρέπεται η διείσδυση του νερού στις υποκείμενες στρώσεις. Εξαίρεση αποτελεί η χρήση πορώδους τάπητα.

Ο τάπητας κυκλοφορίας ή η επιφανειακή στρώση σε ορισμένες χώρες ονομάζεται φθειρόμενη στρώση εξαιτίας της άμεσης φθοράς που υφίσταται από την κυκλοφορία.

Η συνδυαστική στρώση είναι μια ενδιάμεση στρώση μεταξύ τάπητα κυκλοφορίας και ασφαλικής βάσης και κατασκευάζεται για να παρέχει μια καλή επίπεδη επιφάνεια -με τις επιθυμητές κλίσεις- πάνω στην οποία θα διαστρωθεί ο τάπητας κυκλοφορίας. Και η στρώση αυτή θα πρέπει να μην παραμορφώνεται, να μη ρηγματώνεται εύκολα και να είναι σχεδόν αδιαπέρατη από το νερό.

Τα δύσκαμπτα ή άκαμπτα οδοστρώματα κατασκευάζονται αποκλειστικά από σκυρόδεμα. Εξαιτίας της μεγάλης τους δυσκαμψίας, οι πιθανές αστοχίες των κατώτερων στρώσεων δεν επηρεάζουν την επιφάνεια κύλισης των οχημάτων. Αποτελούνται βασικά από δύο στρώσεις. Τη στρώση της υπόβασης και την πλάκα σκυροδέματος που τοποθετείται πάνω σ' αυτήν και με την οποία το όχημα έρχεται σε άμεση επαφή. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους τα δύσκαμπτα οδοστρώματα διακρίνονται σε τρεις τύπους. Στα άοπλα οδοστρώματα, στα οπλισμένα με μη-συνεχή οπλισμό και στα οπλισμένα με συνεχή οπλισμό. Σε ορισμένες χώρες κατασκευάζονται μικτά δύσκαμπτα οδοστρώματα αποτελούμενα από τη στρώση της υπόβασης, την πλάκα σκυροδέματος με συνεχή οπλισμό και από την ασφαλική στρώση. Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα μεταφέρουν τα κυκλοφοριακά φορτία απευθείας στο υπέδαφος και σε αρκετά μεγάλη επιφάνεια. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, σχεδόν κατά αποκλειστικότητα τα οδοστρώματα εύκαμπτου τύπου, ενώ οι εφαρμογές των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων περιορίζονται σε ειδικές περιπτώσεις κατασκευής δαπέδων στάθμευσης αεροπλάνων, φορτηγών εμπορευματοκιβωτιών, σε περιβάλλοντες χώρους σταθμών ανεφοδιασμού, σε μικρούς δρόμους, σε ανωφέρειες όπου δεν είναι δυνατό να διαστρωθεί το θερμό ασφαλτόμιγμα ή σε ακριτικές περιοχές όπου δεν υπάρχουν συγκροτήματα παραγωγής ασφαλτομιγμάτων.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με την κατασκευή των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Μια τυπική διατομή ενός εύκαμπτου οδοστρώματος δίνεται στο Σχ.1 που ακολουθεί.



Σχήμα 1. Τυπική διατομή ευκάμπτου οδοστρώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Αδρανή υλικά

2.1 Ορισμός

Αδρανή είναι τα διαβαθμισμένα υλικά, ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης, που χρησιμοποιούνται είτε με συγκολλητικό μέσο (για παρασκευή κονιαμάτων, σκυροδεμάτων, ασφαλομιγμάτων κλπ) είτε αυτούσια (έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, στραγγιστήρια, φίλτρα διήθησης ή καθαρισμού, βράχοι θωράκισης, υλικά οδοστρώσας, επιχώματα κλπ), σε πάσης φύσης τεχνικά έργα. Τα αδρανή υλικά δεν παρουσιάζουν χημικές συνδετικές ιδιότητες μεταξύ τους, παρά μόνο εσωτερική τριβή λόγω της γεωμετρικής ταξινόμησης των κόκκων τους και του βάρους τους. Επίσης, σύμφωνα με την κλασσική αντίληψη, δεν αντιδρούν χημικά με το συγκολλητικό μέσο παρά μόνο συγκρατούνται από αυτό.

Τα αδρανή υλικά ανάλογα με τις ιδιότητες τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά στην οδοποιία για την κατασκευή επιχωμάτων, βάσεων, υποβάσεων και ασφαλικών στρώσεων.

2.2 Κατηγορίες αδρανών υλικών

Τα αδρανή υλικά διακρίνονται σε ¹κατηγορίες με βάση την προέλευση τους, την πηγή λήψης τους, το ειδικό τους βάρος και το μέγεθος των κόκκων τους.

1. Με βάση την προέλευση τους διακρίνονται σε:

- Αδρανή φυσικής προέλευσης
- τεχνητά ή βιομηχανικά αδρανή
- και ανακυκλωμένα αδρανή

Αδρανή φυσικής προέλευσης: είναι τα αδρανή που έχουν ληφθεί από το φυσικό περιβάλλον και έχουν υποστεί μόνο μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και διαλογής (πχ θραυστά πετρώματα, αλλουβιακοί σχηματισμοί, ποτάμιας, λιμναίες ή θαλάσσιες αποθέσεις, αποθέσεις άμμων ή χαλικιών, λάβα, ηφαιστειακοί τόφοι, προϊόντα λατομείου κλπ). Συμμετέχουν σε όλες τις στρώσεις του οδοστρώματος.

Τεχνητά ή βιομηχανικά αδρανή: είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών, ορυκτής ή άλλης προέλευσης. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε τη διαπύρωση του βωξίτη (πεφρυγμένος βωξίτης) που δίνει πολύ σκληρό αδρανές, χρησιμοποιούμενο κυρίως σε αντιολισθηρούς τάπητες και τις σκουριές που αποτελούν παραπροϊόντα κατά την παραγωγή μετάλλων σιδήρου και νικελίου και χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατο των αδρανών και σπανιότερα της παιπάλης. Άλλα τεχνητά αδρανή είναι οι τέφρες, τα υπολείμματα καύσεων, ο βερμικουλίτης, ο περλίτης, υλικά στίλβωσης κ.α.)

Ανακυκλωμένα αδρανή: Είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει από την επεξεργασία (προεπιλογή και θραύση) ανόργανων υλικών (δομικών υλικών), τα οποία έχουν προηγουμένως χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή (π.χ. υλικά κατεδάφισης σκυροδέματος, τοιχοποιίας, οδοστρώματων) και χρησιμοποιούνται κυρίως σε

¹ Από Οδηγό Δομικών Υλικών που αφορά τα αδρανή υλικά, ΤΕΕ 2005

υποβάσεις και βάσεις.

2. Με βάση την πηγή λήψης τους σε:

- «Φυσικά» ή συλλεκτά αδρανή
- Αδρανή λατομείων

Οι παραπάνω κατηγορίες αναφέρονται στα πρωτογενή αδρανή φυσικής προέλευσης, ανεξάρτητα αν ακολουθεί άλλη κατεργασία που μπορεί να τα μετατρέψει σε τεχνητά – βιομηχανικά.

«Φυσικά» ή συλλεκτά ονομάζονται τα αδρανή που η λήψη τους γίνεται από φυσικές αποθέσεις (π.χ. ποτάμια, ορυχεία κτλ.). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν ή να επεξεργαστούν παραπέρα ανάλογα με τις απαιτήσεις (π.χ. θραύση, πλύσιμο, κτλ.) του έργου. Επειδή σ' αυτά τα υλικά υπάρχει αυξημένος ο κίνδυνος αργιλικής παιπάλης, έχουν κατά κανόνα αυξημένες απαιτήσεις ως προς αυτήν.

Αδρανή λατομείων (θραυστά αδρανή) ονομάζονται τα αδρανή που προκύπτουν από εξόρυξη και θραύση όγκων πετρώματος και αποτελούν την κύρια κατηγορία αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται στον Ελλαδικό χώρο. Τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά εξαρτώνται, κατά κανόνα, από αυτά του πετρώματος που θραύεται. Σε παράγραφο που ακολουθεί θα γίνει λεπτομερής ανάλυση των μηχανικών τους χαρακτηριστικών βάσει του αρχικού πετρώματος και θα παρουσιαστεί η διαδικασία θραύσης και οι απαιτούμενοι ποιοτικοί έλεγχοι του τελικού θραυστού αδρανούς.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των αδρανών υλικών βάσει της πηγής λήψης τους και την προέλευσή τους.

3. Με βάση το ειδικό τους βάρος

- Κανονικού ειδικού βάρους
- Ελαφροβαρή
- Βαρέα

Κανονικού ειδικού βάρους είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος ≥ 2.000 και < 3.000 (kg/m^3). Αποτελούν αδρανή που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στα τεχνικά έργα (ασφαλτικά, οδοστρώσις, παραγωγή σκυροδέματος, κονιαμάτων, κτλ.).

Ελαφροβαρή είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος < 2.000 (kg/m^3). Χρησιμοποιούνται κυρίως για ελαφροβαρή θερμομονωτικά σκυροδέματα ή κονιάματα.

Βαρέα είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος ≥ 3.000 (kg/m^3). Έχουν ειδικές χρήσεις (πχ κατασκευές από σκυρόδεμα προστασίας από την ακτινοβολία κλπ).

4. Με βάση το μέγεθος των κόκκων τους

- Χονδρόκοκκα
- Λεπτόκοκκα
- Παιπάλη

Χονδρόκοκκα αδρανή (κατά AASHTO² και ASTM³) είναι τα αδρανή που οι κόκκοι τους συγκρατούνται από το κόσκινο No. 4

Λεπτόκοκκα αδρανή (κατά AASHTO και ASTM) είναι τα αδρανή που οι κόκκοι τους συγκρατούνται από το κόσκινο No 200 και διέρχονται από το κόσκινο No 4. Το λεπτόκοκκο αδρανές έχει διαστάσεις άμμου.

² AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Office

³ ASTM: American Society for Testing and Material

Παιπάλη ή φύλλερ είναι τα αδρανή που οι κόκκοι τους διέρχονται από το κόσκινο Νο 200.

Πίνακας 1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αδρανών υλικών ανάλογα με την πηγή προέλευσης τους.

Υλικό – Προέλευση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Θραυστά αδρανή προϊόντα εξόρυξης λατομείων	Κατά κανόνα υγιές υλικό, αν η εξόρυξη και η παραγωγική διαδικασία γίνεται με επιμέλεια. Παρουσιάζουν σταθερή και ελεγχόμενη δομή	Τα λεπτόκοκκα κλάσματα περιέχουν ποσοστό παιπάλης πολύ μεγαλύτερο από τα αντίστοιχα φυσικά αδρανή
Θραυστά αδρανή, προϊόντα θραύσης φυσικών αποθέσεων (ποταμοί, χείμαρροι, λίμνες κλπ)	Υλικό μεγάλης σκληρότητας. Δημιουργεί προϊόντα με χαμηλό ποσοστό παιπάλης	Ύπαρξη λεπτόκοκκου υλικού αργλικής διαβάθμισης. Επιβάλλεται το πλύσιμο προ της θραύσης. Ενδεχόμενη παρουσία, κυρίως στα ποτάμια υλικά, υψηλού ποσοστού άμορφου SiO ₂ που αντιδρά με τα αλκάλια του τσιμέντου. Χρειάζονται εξέταση πριν την χρήση τους σε σκυρόδεμα ή σε κονιάματα
Φυσικά αδρανή, προϊόντα ταξινόμησης φυσικών αποθέσεων (ποταμοί, χείμαρροι, λίμνες κλπ)	Τα λεπτόκοκκα φυσικά αδρανή έχουν πολύ χαμηλό ποσοστό παιπάλης	Προσμίξεις χώματος. Επιβάλλεται το πλύσιμο. Λεία επιφάνεια και στρογγυλεμένο σχήμα κόκκων.
Άμμος θάλασσας	Λεπτόκοκκη άμμος, κατάλληλη για κονιάματα	Ύπαρξη κοχυλίων και χλωριόντων. Επιβάλλεται το πλύσιμο πριν τη χρήση
Τεχνητά αδρανή από επεξεργασία πετρωμάτων (π.χ. κίσηρη, περλίτης κλπ)	Ελαφροβαρή αδρανή για οδοποιία και ελαφροβαρές σκυρόδεμα.	Χρειάζονται βιομηχανική επεξεργασία
Σκουριές	Αποτελούν λύση για παραγωγή αντιολισθηρών αδρανών οδοποιίας	Πρέπει να εξετάζονται οι ιδιότητες πριν τη χρήση τους
Ανακυκλωμένα αδρανή από θραύση παλαιών κατασκευών (σκυρόδεμα, ασφαλτοτάπητες)	Περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα. Αποτελούν καλή λύση για υλικά υπόβασης ή για παραγωγή άοπλου σκυροδέματος σε κατασκευές (σκυρόδεμα καθαριότητας).	Δύσκολη η προδιαλογή τους (π.χ. διαχωρισμός σκυροδέματος από χάλυβα οπλισμού). Πρέπει πριν τη χρήση τους να προσδιορίζεται το % SO ₃ καθώς και το % χλωριόντων που είναι πιθανόν αυξημένο

2.3 Αδρανή λατομείων -θραυστά αδρανή

Τα θραυστά αδρανή παράγονται, όπως είδαμε και παραπάνω, σε λατομεία με τη θραύση διάφορων πετρωμάτων που χαρακτηρίζονται από κατάλληλες μηχανικές και χημικές ιδιότητες.

Τα μητρικά πετρώματα κατατάσσονται σε τρεις γενικές κατηγορίες: τα πυριγενή, τα ιζηματογενή και τα μεταμορφωμένα. Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζεται μια γενική εκτίμηση της καταλληλότητας τους ως υλικά οδοποιίας με βάση τα χαρακτηριστικά τους.

Πυριγενή πετρώματα: Τα όξινα plutωνικά πετρώματα (γρανίτες, διορίτες) είναι συμπαγή, παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα και είναι ανθεκτικά στην

αποσάθρωση και τον παγετό. Αποτελούν ιδανικά υλικά για τη χρήση τους ως υλικά βάσεων και υποβάσεων, ασφαλικών και αντιολισθηρών στρώσεων και τέλος ως ογκόλιθων. Το μόνο τους μειονέκτημα αποτελεί η δαπανηρή κατεργασία τους. Κατάλληλα επίσης είναι και τα βασικά plutωνικά πετρώματα, όπως οι γάββροι. Τα ηφαιστειακά πετρώματα, όπως οι ανδεσίτες, οι δακίτες και οι βασάλτες αποτελούν ιδανικό θραυστό υλικό για την κατασκευή βάσεων, υποβάσεων, ασφαλικών και αντιολισθηρών ταπήτων, ενώ οι ρυόλιθοι και οι διάβασες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην πλειοψηφία τους έπειτα από ποιοτικούς ελέγχους σε βάσεις και υποβάσεις.

Ιζηματογενή πετρώματα: Χρησιμοποιούνται ως υλικά υποβάσεων και βάσεων με αποδεκτές αλλά όχι και τόσο καλές ιδιότητες. Χρησιμοποιούνται κυρίως οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες. Οι ασβεστόλιθοι, αν και ποιοτικά κατώτεροι, χρησιμοποιούνται κατά κόρο στην οδοποιία λόγω της μεγάλης εξάπλωσης τους και της εύκολης κατεργασίας τους. Ο ποιοτικός έλεγχος των δολομιτών είναι αναγκαίος πριν τη χρήση τους στο έργο.

Μεταμορφωμένα πετρώματα: Τα σκληρά μεταμορφωμένα πετρώματα χρησιμοποιούνται σε όλες τις στρώσεις στην οδοποιία, με εξέχουσα θέση αυτήν των γνευσίων και των χαλαζιτών. Οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, οι φυλλίτες, οι σερπεντινίτες και τα μάρμαρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά από ποιοτικούς ελέγχους ως υλικά βάσεων και υποβάσεων.

Γενικότερα τα περισσότερα πετρώματα που απαντώνται στον Ελλαδικό χώρο είναι κατάλληλα για παραγωγή αδρανών υλικών για επιχώματα, βάσεις και υποβάσεις.

Στον Πίνακα 2 γίνεται μια κατηγοριοποίηση του μητρικού και προς θραύση πετρώματος και παρουσιάζονται τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα του καθώς και η δυνατότητα χρήσης του ως θραυστό υλικό για τη συμμετοχή του στην κατασκευή βάσεων, υποβάσεων, ασφαλικών και αντιολισθηρών στρώσεων.

Πίνακας 2. Κύριες κατηγορίες μητρικού πετρώματος για παραγωγή αδρανών υλικών

ΠΥΡΙΓΕΝΗ				
ΠΛΟΥΤΩΝΙΚΑ				
ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Δυνατότητα Χρήσης	
			ΥΛΙΚΑ ΒΑΣΕΩΝ & ΥΠΟΒΑΣΕΩΝ	ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ & ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΑ
<u>Οξίνα:</u> Γρανίτες Διορίτες	Συμπαγή, μεγάλης σκληρότητας, ανθεκτικά στην αποσάθρωση και τον παγετό	Δαπανηρά στην κατεργασία τους (περισσότερο ως διακοσμητικά)	ΙΔΑΝΙΚΟ	ΙΔΑΝΙΚΟ
<u>Βασικά:</u> Γάββροι	Συμπαγή	Μειωμένη ανθεκτικότητα στην αποσάθρωση - Δαπανηρή κατεργασία	ΝΑΙ, για την πλειοψηφία αυτών	Πιθανή χρήση, κατόπιν ελέγχων
ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ				
ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Δυνατότητα Χρήσης	

			ΥΛΙΚΑ ΒΑΣΕΩΝ & ΥΠΟΒΑΣΕΩΝ	ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ & ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΑ
Φυσικές ύαλοι (κίσσηρις, περλίτης)	Μεγάλη θερμομονωτική & ηχομονωτική ικανότητα	Αποσαθρωμένα τεμάχια δημιουργούν προβλήματα διόγκωσης και μείωσης αντοχής	OXI	OXI
Ηφαιστειακοί τόφοι	Η ανάμιξη με ασβέστη δίνει υδραυλικό κονίαμα	Δεν είναι αδρανές υλικό (αντιδρά με το τσιμέντο)	ΝΑΙ, σε ορισμένες περιπτώσεις	OXI
Ρυόλιθοι	Μεγάλη σκληρότητα και αντοχή σε θλίψη, όταν δεν είναι αποσαθρωμένοι	Κύρια χρήση ως διακοσμητικά	ΝΑΙ, για την πλειοψηφία αυτών	ΝΑΙ, κατόπιν ελέγχων
Ανδεσίτες – Δακίτες	Μεγάλη σκληρότητα και αντοχή σε θλίψη, όταν δεν είναι αποσαθρωμένοι	Δαπανηρή κατεργασία	ΙΔΑΝΙΚΟ	ΙΔΑΝΙΚΟ
Βασάλτες	Μεγάλη σκληρότητα και αντοχή σε θλίψη, όταν δεν είναι αποσαθρωμένοι	Κύρια χρήση ως διακοσμητικά λόγω υψηλού κόστους. Σε συνθήκες παγετού εμφανίζει εξαλλοιώσεις και ρηγματώσεις	ΙΔΑΝΙΚΟ	Πιθανή χρήση, κατόπιν ελέγχων
Διαβάσεις	Μεγάλη σκληρότητα και αντοχή σε θλίψη, όταν δεν είναι αποσαθρωμένοι	Μειωμένη ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση. Κύρια χρήση ως διακοσμητικά	ΝΑΙ, για την πλειοψηφία αυτών	OXI

ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ				
ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Δυνατότητα Χρήσης	
			ΥΛΙΚΑ ΒΑΣΕΩΝ & ΥΠΟΒΑΣΕΩΝ	ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ & ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΑ
i. Ασβεστόλιθοι	Αφθονούν στην Ελλάδα – Χαμηλό κόστος κατεργασίας	Κατώτερης ποιότητας αδρανή	ΝΑΙ, για την πλειοψηφία αυτών	OXI
ii. Δολομίτες	Αφθονούν στην Ελλάδα – Χαμηλό κόστος κατεργασίας	Κατώτερης ποιότητας αδρανή	Πιθανή χρήση, κατόπιν ελέγχων	OXI

ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ				
ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Δυνατότητα Χρήσης	
			ΥΛΙΚΑ ΒΑΣΕΩΝ & ΥΠΟΒΑΣΕΩΝ	ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ & ΑΝΤΙΟΛΙΣΘΗΡΑ
Γενικά	Όταν έχουν ομογενή κρυσταλλικό ιστό, παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες των αρχικών πετρωμάτων	Παρουσιάζουν συχνά εύθρυπτους κόκκους. Συνήθως μη ανθεκτικά στο παγετό,	Καλές ιδιότητες, συνήθως στα εδάφη θεμελιώσεων	
Γνεύσιοι	Συμπαγή, μεγάλης σκληρότητας, προσβάλλονται δύσκολα από χημικές ενώσεις, σαν ορθογνεύσιοι (όταν προέρχονται από γρανίτη, διορίτη)	Πιθανά προβλήματα κατολισθήσεων, λόγω της σχιστότητας Δαπανηρή κατεργασία	ΝΑΙ, για την πλειοψηφία αυτών	Πιθανή χρήση, κατόπιν ελέγχων
Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι – φυλλίτες	Υδατοστεγανά, ανθεκτικά στην αποσάθρωση	Μεγάλη σχιστότητα	Πιθανή χρήση, κατόπιν ελέγχων	ΟΧΙ
Χαλαζίτες	Μεγάλη σκληρότητα (μεταμόρφωση ψαμμιτών)	Δεν απαντώνται συχνά Δαπανηρή κατεργασία	ΝΑΙ	ΝΑΙ, κατόπιν ελέγχων
Σερπεντινίτες	Διακοσμητικά πετρώματα	Μη ανθεκτικά στον παγετό, την αποσάθρωση και τη λείανση	Πιθανή χρήση, κατόπιν ελέγχων	ΟΧΙ
Μάρμαρα	Ανθεκτικά στην αποσάθρωση Διακοσμητικά πετρώματα	Σε υγρά κλίματα, επιφανειακή διαλυτότητα Απότριψη και εύκολη αποσάθρωση των χονδρόκοκκων	Πιθανή χρήση, κατόπιν ελέγχων	ΟΧΙ

2.4 Έλεγχοι

2.4.1 Προκαταρκτικοί έλεγχοι

Οι δοκιμές προκαταρκτικού τύπου πραγματοποιούνται για να διαπιστωθεί εάν τα υλικά συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των αντίστοιχων προδιαγραφών ⁴ στις περιπτώσεις που:

⁴ ΠΤΠ Ο-155: Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή 0 155 - Κατασκευή Βάσεων Οδοστρωμάτων δι' αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου.
ΠΤΠ Ο-150: Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή 0 150 - Κατασκευή Υποβάσεων Οδοστρωμάτων δι' αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου.
ΠΤΠ Χ1: Πρότυπη Τεχνική Προδιαγραφή Έκτελεσης Χωματουργικών Έργων Οδοποιίας μεθ' οδηγιών και επενδύσεων -φυτεύσεων αυτών).

- Πρόκειται για νέες πηγές λήψης αδρανών για τις οποίες ο παραγωγός δε διαθέτει επαρκή στοιχεία ή πολυετή πείρα.
- Υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στη φύση του μητρικού πετρώματος ή στις συνθήκες της επεξεργασίας των αδρανών που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

Τα αποτελέσματα των προκαταρκτικών δοκιμών πρέπει να αποτελούν σημείο εκκίνησης του ελέγχου της παραγωγής αυτού του υλικού.

2.4.2 Έλεγχος της παραγωγής

Κατά την πορεία παραγωγής του υλικού πρέπει να εφαρμόζονται όλες εκείνες οι διαδικασίες που επιτρέπουν την ταυτοποίηση και τον έλεγχο της παραγωγής σύμφωνα με τις ελάχιστες απαιτήσεις, όπως αυτές ορίζονται στις αντίστοιχες προδιαγραφές ΠΤΠ Ο-150, ΠΤΠ Ο-155 και ΠΤΠ Χ1.

Η συχνότητα των εκτελούμενων δοκιμών είναι ανάλογη των περιόδων παραγωγής (εβδομάδα, μήνας, έτος).

Μεταξύ των άλλων πρέπει να περιλαμβάνονται διαδικασίες που να διευκρινίζουν τους κανόνες συντήρησης και ρύθμισης των μηχανημάτων επεξεργασίας, δειγματοληψίας των υλικών κατά τη διάρκεια της παραγωγής, μετατροπές της παραγωγικής διαδικασίας σε περίπτωση κακών καιρικών συνθηκών, κλπ.

Ακόμη θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψη τα εξής:

- Η συχνότητα των δοκιμών σχετίζεται με τις περιόδους παραγωγής: εβδομάδα, μήνας, έτος
- Οι απαιτήσεις για έλεγχο της παραγωγής μπορεί να εισάγουν οπτικούς ελέγχους. Οποιοσδήποτε διακυμάνσεις που επισημανθούν ενδέχεται να οδηγήσουν σε αύξηση της συχνότητας των δοκιμών
- Όταν μια μετρούμενη τιμή είναι κοντά σε ένα καθορισμένο όριο, η συχνότητα της δοκιμής μπορεί να αυξηθεί
- Κάτω από ειδικές συνθήκες οι συχνότητες των δοκιμών μπορεί να μειωθούν, όπως:
 - Υψηλός βαθμός αυτοματισμού της παραγωγικής διαδικασίας
 - Μακρόχρονη εμπειρία σε ειδικές ιδιότητες
 - Πηγές που πληρούν πλήρως τις προδιαγραφές
 - Εφαρμογή συστήματος διαχείρισης ποιότητας με εξαιρετικά μέτρα επιθεώρησης και καταγραφής της παραγωγικής διαδικασίας

Εάν το υλικό δε συμφωνεί με τις προδιαγραφές τότε ο παραγωγός μπορεί να το επαναπεξεργαστεί, να το μετατρέψει σε προϊόν άλλης εφαρμογής, για την οποία είναι κατάλληλο ή να το απορρίψει ως μη συμμορφούμενο μ' αυτές.

2.4.3 Έλεγχος της ποιότητας των αδρανών υλικών

Οι έλεγχοι της ποιότητας των αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται στα χωματουργικά έργα, μπορούν να διακριθούν σε 5 κατηγορίες με βάση το σκοπό για τον οποίον εκτελούνται. Έτσι γίνονται δοκιμές για:

- Τον προσδιορισμό των γενικών ιδιοτήτων τους
- Τον προσδιορισμό των γεωμετρικών τους ιδιοτήτων
- Τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών τους ιδιοτήτων
- Τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των αδρανών σε θερμικές και καιρικές μεταβολές και

- για τον προσδιορισμό των χημικών τους ιδιοτήτων

Κάθε μια από τις δοκιμές εκτελείται με σκοπό τον προσδιορισμό μιας συγκεκριμένης ελεγχόμενης ιδιότητας και γίνεται βάσει προδιαγραφών. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της δοκιμής το αδρανές υλικό χαρακτηρίζεται ως κατάλληλο ή ακατάλληλο για μια συγκεκριμένη χρήση.

2.4.3.1 Γενικές Ιδιότητες

Μέθοδοι δειγματοληψίας

Η διαδικασία αυτή προηγείται του συνόλου των δοκιμών. Δεν προσδιορίζει συγκεκριμένη ιδιότητα αλλά θέτει τους όρους για τη λήψη αντιπροσωπευτικού εργοταξιακού δείγματος. Η δειγματοληψία ενός αδρανούς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα των δοκιμών στις οποίες θα υποβληθεί ένα δείγμα. Τα στιγμιαία δείγματα είναι τυχαία και κατανεμημένα σε όλα τα σημεία της παρτίδας που εξετάζεται. Τα στιγμιαία δείγματα πρέπει να ανακατεύονται και έτσι να αποτελούν το συνολικό εργοταξιακό δείγμα. Ανάλογα με το μέγεθος του μέγιστου κόκκου καθώς και το επιθυμητό σημείο δειγματοληψίας (σωροί αποθήκευσης, μεταφορική ταινία, φορτηγά, πλοία κλπ) πρέπει να ακολουθείται διαφορετική διαδικασία (ASTM D 75, ⁵ΕΛΟΤ ⁶EN 932-1:1996, AASHTO T-2).

Μέθοδοι μείωσης εργαστηριακών δειγμάτων

Η μέθοδος αυτή δεν προσδιορίζει ιδιότητα αλλά θέτει όρους για τη μείωση του εργοταξιακού δείγματος και τη λήψη αντιπροσωπευτικών εργαστηριακών δειγμάτων για τη διεξαγωγή δοκιμών. Ανάλογα με το μέγεθος του μέγιστου κόκκου καθώς και την επιθυμητή ποσότητα δείγματος προς δοκιμή εφαρμόζονται διαφορετικές μέθοδοι (AASHTO T-248, ASTM C 702, ΕΛΟΤ EN 932-2:2000).

Ορολογία και πετρογραφική περιγραφή

Προσδιορίζονται τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των αδρανών που διαπιστώνονται με πετρογραφικές μεθόδους ανάλυσης. Εφαρμόζεται σε όλα τα αδρανή που περιέχουν χημικώς ασταθή ορυκτά ή ορυκτά που είναι δυνατόν να επηρεάσουν τις ιδιότητες και την ποιότητα του τελικού προϊόντος (ASTM 294, ASTM 295, ΕΛΟΤ EN 932-3).

Διαφυγή επικίνδυνων ουσιών

Γίνεται προσδιορισμός επικίνδυνης ουσίας X, εκφραζόμενη σε μm^3 . Ως επικίνδυνες ουσίες θεωρούνται:

- η εκπομπή ραδιενέργειας (από ραδιενεργά υλικά, που προορίζονται για χρήση σκυροδέματος σε κτίρια)
- τα βαρέα μέταλλα
- οι πολυαρωματικές ενώσεις του άνθρακα
- άλλα επικίνδυνα συστατικά

⁵ ΕΛΟΤ: Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης

⁶ EN: European Normals

Εφαρμόζεται όταν απαιτείται, ή σε περίπτωση αμφιβολιών. Τα αδρανή που προέρχονται από ορυκτές πρώτες ύλες είναι συνήθως ακίνδυνα (Council Directive 76/769/EEC).

2.4.3.2 Δοκιμές προσδιορισμού γεωμετρικών ιδιοτήτων

Κοκκομετρική ανάλυση

Γίνεται ποσοτική κατάταξη των κόκκων με βάση το μέγεθος τους. Η κοκκομετρική διαβάθμιση αναφέρεται είτε στα επιμέρους κλάσματα που με ανάμιξη δίνουν το τελικό μίγμα των αδρανών, είτε στο τελικό μίγμα προς εφαρμογή.

Ο μέγιστος κόκκος καθορίζει τη δυνατότητα του αδρανούς να διέρχεται από κάποιο, περιοριστικό άνοιγμα βροχίδας κοσκίνου κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό.

Σε συνδυασμό με τους δείκτες πλακοειδούς και επιμήκυνσης καθορίζει το ποσοστό του όγκου των κενών μεταξύ των κόκκων του συμπυκνωμένου αδρανούς. Η συνολική διαβάθμιση σε συνάρτηση με το *γωνιώδες*, την *τραχύτητα*, τους δείκτες πλακοειδούς και επιμήκυνσης, το ειδικό βάρος των κόκκων και τη φαινόμενη πυκνότητα καθορίζει τη ρεολογία του μίγματος, τη συνεκτικότητά του, την τάση απόμειξης και την ικανότητα να μεταφέρει τα κάθετα φορτία στα υποκείμενα στρώματα χωρίς οριζόντιες τάσεις (AASHTO T-27, ASTM C-136, ΕΛΟΤ EN 933-1:1998).

Ποσοστό παιπάλης

Προσδιορίζεται το ποσοστό των κόκκων με μέση διάσταση μικρότερη από το όριο προδιαγραφής (0,074 ή 0,063 mm). Η παιπάλη εμπεριέχεται στα χονδρόκοκκα και κυρίως στα λεπτόκοκκα αδρανή σε ποσοστά που ποικίλουν ανάλογα με την προέλευση του υλικού και την παραγωγική διαδικασία. Σε πολλές εφαρμογές απαιτείται ποσοστό πολύ χαμηλό ώστε να μην επηρεασθούν συγκεκριμένες ιδιότητες (π.χ. σκυρόδεμα). Σε άλλες εφαρμογές απαιτείται σε επιπλέον ποσότητα από αυτήν που περιέχεται στα αδρανή, οπότε και προστίθεται με μορφή filler (ASTM C-117, ΕΛΟΤ EN 933-1, AASHTO T-11).

Δείκτης Πλακοειδούς - Δείκτης Σχήματος

Γίνεται προσδιορισμός του μέγιστου ποσοστού πεπλατυσμένων κόκκων σε κάθε κοκκομετρικό κλάσμα d_i/D_i . Αυτό αντιστοιχεί σε % διερχόμενων κόκκων από ραβδωτό κόσκινο με απόσταση ράβδων $D_i/2$.

Γίνεται επίσης ο προσδιορισμός του μέγιστου ποσοστού των επιμηκυσμένων κόκκων. Αυτό αντιστοιχεί σε % κόκκων των οποίων ο λόγος μήκους:πλάτος είναι μεγαλύτερος από 3:1 (με βάση το σχέδιο προτύπου ΕΛΟΤ 408 το % αντιστοιχεί σε ποσοστό των κόκκων που η μέγιστη προς ελάχιστη διάσταση είναι μεγαλύτερη από 3:1).

Οι επιμήκεις και πεπλατυσμένοι κόκκοι πρέπει να αποφεύγονται γιατί είναι δυνατόν να υπάρχει ανομοιόμορφη κατανομή τάσεων λόγω σχήματος με αποτέλεσμα τη πιθανή θραύση των αδρανών. Επιπλέον το κυβικό σχήμα επιτυγχάνει τη βέλτιστη γεωμετρική κατανομή των κόκκων με αποτέλεσμα την μέγιστη δυνατή συμπύκνωση. Η δοκιμή του δείκτη σχήματος είναι εναλλακτική του δείκτη πλακοειδούς (ΕΛΟΤ EN 933-3:1997, ⁷BS 812, ΕΛΟΤ EN 933-4:2000).

⁷ BS: British Standards

Ποιοτικός προσδιορισμός παιπάλης: Ισοδύναμο Άμμου

Γίνεται έμμεσος και συγκριτικός προσδιορισμός του ποσοστού των κόκκων λεπτόκοκκου κλάσματος, όχι κατ' ανάγκη αργιλικών, που παραμένουν σε αιώρηση σε υδατικό διάλυμα μετά από συγκεκριμένη ώρα, σε σχέση με το σύνολο των κόκκων. Δίνει ένδειξη για την παρουσία βλαπτικών αργιλικών συστατικών στην άμμο και στα υλικά βάσεων, υποβάσεων οδοστρωμάτων. Σε συνδυασμό με την ποσότητα της παιπάλης δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα.

Μπλε του μεθυλενίου

Γίνεται έμμεσος προσδιορισμός των κόκκων, όχι κατ' ανάγκη αργιλικών, που έχουν την ικανότητα απορρόφησης διαλύματος μπλε του μεθυλενίου.

Η δοκιμή αυτή βασίζεται στην αρχή της προσρόφησης πάνω στην ενεργή επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών των μορίων του μπλε του μεθυλενίου. Έρχεται να συμπληρώσει τη δοκιμή ισοδυναμίου άμμου και ο συνδυασμός των δύο αυτών μεθόδων, όπου αυτό είναι εφικτό, δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα για τον χαρακτηρισμό του εξεταζόμενου δείγματος.

Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο (Stokes)

Προσδιορίζεται η κοκκομετρική κατανομή της παιπάλης με βάση την ταχύτητα καθίζησης των κόκκων μέσα σε ρευστό.

Δίνει άμεση ένδειξη για την παρουσία βλαπτικών αργιλικών συστατικών, που κατά κανόνα είναι πολύ λεπτόκοκκα. Είναι δοκιμή που κυρίως χρησιμοποιείται σε εδάφη και στα αδρανή βάσεων και υποβάσεων (ASTM E 105).

2.4.3.3 Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των αδρανών

Αντοχή σε φθορά κατά micro-Deval (συντελεστής micro- Deval)

Προσδιορίζεται το μέγιστο ποσοστό φθοράς χονδρόκοκκου κλάσματος κατά την εκτέλεση πρότυπης δοκιμής στη συσκευή micro-Deval παρουσία νερού.

Τροποποιημένη δοκιμή εκτελείται μέχρι τώρα στην Ελλάδα, στα αδρανή για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής. Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι τιμές της νέας Ευρωπαϊκής δοκιμής, δεν έχουν αντιστοιχία με την υφιστάμενη στην Ελλάδα δοκιμή.

Σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς η δοκιμή εκτελείται στα αδρανή για ασφαλτικά μίγματα, αδρανή για βάσεις και υποβάσεις (ΕΛΟΤ EN 1097-1).

Αντοχή σε απότριψη κατά Los Angeles (συντελεστής Los Angeles)

Προσδιορίζεται το μέγιστο ποσοστό φθοράς χονδρόκοκκου κλάσματος αδρανών υλικών κατά την εκτέλεση πρότυπης δοκιμής απότριψης με τριβή και κρούση. Χαμηλές τιμές του συντελεστή Los Angeles αποτελούν ένδειξη υγείας πετρώματος. Γενικά κατά την θραύση και τη συνεπαγόμενη μείωση του μεγέθους του υλικού, προκύπτει τελικό προϊόν που παρουσιάζει καλύτερη ανθεκτικότητα σε απότριψη, αφού μειώνονται οι πιθανές ασυνέχειες της μάζας του. Βελτιώνεται το σχήμα του, αποτρίβονται και αποβάλλονται ασθενείς και ψαθυροί κόκκοι.

Αποτελεί δοκιμή αναφοράς για τον προσδιορισμό του ποσοστού φθοράς των αδρανών σε τριβή και σε κρούση (AASHTO T-96. ΣΚ- 34, ΕΛΟΤ EN 1097-2, ASTM C 535, ASTM C 131).

Φαινόμενο βάρος και ποσοστό όγκου κενών

Προσδιορίζεται η μάζα των αδρανών ανά μονάδα όγκου πρότυπα συμπαγνυμένη ή μη. Σε συνδυασμό με το φαινόμενο ειδικό βάρος προσδιορίζεται ο όγκος των κενών του συμπαγνυμένου ή μη μίγματος αδρανών.

Εφαρμόζεται σε αδρανή με μέγιστο κόκκο $\leq 63 \text{ mm}$. Με βάση τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές η δοκιμή αυτή εφαρμόζεται μόνο στα *ελαφροβαρή αδρανή*, ενώ αντίθετα στην Ελλάδα εκτελείται σε όλους τους τύπους. Ειδικά για τα *filler* ο προσδιορισμός γίνεται με κηροζίνη σύμφωνα με EN 1097-3B, ΕΛΟΤ EN 1097-3, ASTM C-29.

Φυσική υγρασία αδρανών

Προσδιορίζεται το % ποσοστό υγρασίας που περιέχεται στο δείγμα αδρανών που εξετάζεται με ξήρανση του υλικού στους $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Ο προσδιορισμός της φυσικής υγρασίας αποτελεί προκαταρκτική δοκιμή για πλήθος άλλων δοκιμών.

Φαινόμενο ειδικό βάρος και υδαταπορροφητικότητα

Προσδιορίζεται το ειδικό βάρος των κόκκων συμπεριλαμβανομένων των συνολικών κενών τους στον συνολικό όγκο. Προσδιορίζεται επίσης η υδαταπορροφητικότητα των κόκκων στα κενά του όγκου τους. Η υδαταπορροφητικότητα είναι έμμεσος τρόπος χαρακτηρισμού του πορώδους των κόκκων και της απορροφητικότητας γενικά (π.χ. σε άσφαλτο). (ΣΚ-301, ΣΚ-302, ASTM C-127, ASTM C-128, ΕΛΟΤ EN 1097-6).

Όριο υδαρότητας

Προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε νερό στο όριο μεταξύ υδαρούς και στερεάς κατάστασης. Χρησιμοποιώντας τη συσκευή Cassagrande, ως όριο υδαρότητας ορίζεται η περιεκτικότητα σε νερό κατά την οποία το εδαφικό υλικό μετά από 25 χτυπήματα ρέει κατά μια απόσταση 1mm. Εφαρμόζεται στα αδρανή υλικά επιχώματος, βάσης- υπόβασης (ASTM D 854, ASTM D 4318, AASHTO T-89).

Όριο πλαστικότητας

Προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε νερό στην οποία το εδαφικό υλικό βρίσκεται στο όριο μεταξύ πλαστικής και ημιστερεάς μορφής. Εφαρμόζεται στα αδρανή υλικά βάσης- υπόβασης (ASTM D 4318, AASHTO T-90).

Δείκτης Πλαστικότητας

Είναι η αριθμητική διαφορά μεταξύ του ορίου υδαρότητας και ορίου πλαστικότητας. Εφαρμόζεται στα αδρανή υλικά βάσης- υπόβασης (ASTM D 4318, AASHTO T-91).

Τροποποιημένη μέθοδος Proctor

Προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας και της περιεχόμενης υγρασίας, και συνεπώς τη βέλτιστη υγρασία και τη μέγιστη πυκνότητα. Μέθοδος Α, Β, Γ & Δ. Εφαρμόζεται στα αδρανή υλικά βάσης – υπόβασης (ASTM D 1557, AASHTO T-180).

Καλιφορνιακός λόγος φέρουσας ικανότητας (CBR)

Τρία δείγματα συμπυκνώνονται με πυκνότητα από 95-100% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας και γίνεται υδρεμποτισμός για 96 ώρες. Κατόπιν έμβολο διείσδυσης φορτίου 44,5N επικάθεται επάνω στο δοκίμιο με ταχύτητα 1,3mm/min.

Εφαρμόζεται στα αδρανή υλικά βάση – υπόβασης (ASTM D 1883, AASHTO T-193, BS 1377, E 105-86).

Αντίσταση σε θλίψη (ACV – Aggregate Compression Value) – Προσδιορισμός δύναμης για 10% λεπτόκοκκα (TFV – Ten percent Fines Value) – Αντίσταση σε κρούση (AIV – Aggregate Impact Value)

Χονδρόκοκκα αδρανή τοποθετούνται σε μεταλλική μήτρα. Στις δύο πρώτες δοκιμές υποβάλλονται σε θλίψη ενώ στην τρίτη σε επαναλαμβανόμενο κρουστικό φορτίο. Στην πρώτη και στην τρίτη δοκιμή προσδιορίζεται η φθορά σαν ποσοστό ενώ στη δεύτερη η δύναμη που προκαλεί φθορά 10%.

Χαρακτηρίζει την ικανότητα των αδρανών να ανθίστανται στον θρυμματισμό από την επιβολή φορτίων κατά την κατασκευή και τη λειτουργία του έργου (π.χ. ασφαλτοτάπητας, βάση, υπόβαση κτλ. κατά τη διάστρωση με οδοστρωτήρα και στη διάρκεια του χρόνου λόγω της κυκλοφορίας), (BS 812/75 Part 3 (ACV), (TFV), (AIV), ΕΛΟΤ EN 1097-2:1999).

2.4.3.4 Δοκιμές προσδιορισμού της συμπεριφοράς των αδρανών σε θερμικές και καιρικές μεταβολές.

Ανθεκτικότητα σε κύκλους ψύξης-απόψυξης

Δείγμα χονδρόκοκκων αδρανών (d/D)⁸ (συνήθη κλάσματα: 4/8, 8/16, 16/32 mm), αφού πρώτα έχει εμβαπτιστεί σε νερό, υποβάλλεται σε 10 κύκλους ψύξης-απόψυξης. Η ανθεκτικότητα του σε ψύξη – απόψυξη προσδιορίζεται με βάση την ποσότητα του δείγματος με μέγιστο κόκκο <d/2. Οι δοκιμές προσομοιώνουν κύκλους ψύξης-απόψυξης και καθορίζουν την ανθεκτικότητα του υλικού σε παγετό σε συνδυασμό με την υδαταπορροφητικότητα του, με την πετρογραφική του δομή, καθώς και με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής. Είναι απαραίτητο να εκτελείται σε αδρανή εκτεθειμένα σε έντονες ατμοσφαιρικές επιδράσεις (εναλλαγές ακραίων θερμο-υγρομετρικών συνθηκών).

Έχει εφαρμογή σε όλα τα αδρανή. Επιβάλλεται ο έλεγχος όταν η υδαταπορροφητικότητα είναι μεγαλύτερη από τα όρια που επιβάλλουν οι προδιαγραφές των αντίστοιχων υλικών στις τοπικές συνθήκες (ΕΛΟΤ EN 1367-1:2000).

Ανθεκτικότητα στην αποσάθρωση με χρήση θεικού μαγνησίου ή θεικού νατρίου (υγεία πετρώματος)

Προσδιορίζεται η φθορά του υλικού όταν υποστεί κύκλους εμβάπτισης σε διάλυμα θεικού μαγνησίου ή νατρίου. Οι δοκιμές προσομοιώνουν κύκλους ψύξης-απόψυξης και καθορίζουν την ανθεκτικότητα του υλικού σε παγετό σε συνδυασμό με την υδαταπορροφητικότητα του, με την πετρογραφική του δομή καθώς και με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής. Είναι απαραίτητο να εκτελείται σε αδρανή που εκτίθενται σε έντονες ατμοσφαιρικές επιδράσεις (εναλλαγές ακραίων θερμο-υγρομετρικών συνθηκών).

⁸ d/D: ελάχιστη / μέγιστη διάσταση κόκκου

Έχει εφαρμογή σε όλα τα αδρανή. Επιβάλλεται ο έλεγχος όταν η υδαταπορροφητικότητα είναι μεγαλύτερη από τα όρια που επιβάλλουν οι προδιαγραφές των αντίστοιχων υλικών στις τοπικές συνθήκες (AASHTO T-104, ΕΛΟΤ EN 1367-2:1999, ASTM C 88).

Δοκιμή Βρασμού «Sonnenbrand» του βασάλτη και αποσύνθεση σκωρίας σιδήρου

Γίνεται βρασμός για την επιτάχυνση της εμφάνισης της αντίδρασης Sonnenbrand του βασάλτη.

Η αντίδραση Sonnenbrand εμφανίζεται σε ορισμένους βασάλτες σε ατμοσφαιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα την αποσάθρωσή τους. Εμφανίζεται με τη μορφή γκρι στιγμάτων και συνοδεύεται από σχηματισμό ρωγμών στο πέτρωμα. Ο χρόνος της αντίδρασης είναι από μερικούς μήνες μέχρι και δεκαετίες. Σε εξεζητημένες περιπτώσεις μπορεί να συμβεί ακαριαία. Μετράται η απώλεια μάζας και η αύξηση του συντελεστή Los Angeles και η τιμή κρούσης (ΕΛΟΤ EN 1367-3:2001).

2.4.3.5 Δοκιμές προσδιορισμού των χημικών ιδιοτήτων των αδρανών υλικών

Χημική ανάλυση

Προσδιορίζονται οι οργανικές προσμίξεις και τα επιβλαβή συστατικά των αδρανών υλικών. Ανάλογα με την χρήση τους εφαρμόζεται το κατάλληλο άρθρο της μεθόδου ΕΛΟΤ EN 1744-1:1999.

Προσδιορισμός ολικού Θείου

Με τη χρήση βρώμιου και νιτρικού οξέος, προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε ολικό θείο. Εφαρμόζεται στα αδρανή σκυροδέματος καθώς και σε αδρανή βάσεων και υποβάσεων με ή χωρίς συνδετικό υλικό. Η ύπαρξη θειούχων ενώσεων σε αδρανή υλικά είναι δυνατόν να προκαλέσει διογκώσεις στο σκυρόδεμα (ΕΛΟΤ EN 1744-1, άρθρο 11).

Προσδιορισμός ευδιάλυτων σε οξέα SO₃

Προσδιορίζεται η περιεκτικότητα των SO₃ με χρήση HCl . Εφαρμόζεται στα αδρανή σκυροδέματος και βάσεων- υποβάσεων με ή χωρίς συνδετικό υλικό (ΕΛΟΤ EN 1744-1, άρθρο 12).

Προσδιορισμός οργανικών προσμίξεων

Προσδιορίζεται η παρουσία οργανικών προσμίξεων με χρωματογραφική μέθοδο ελέγχου. Οι οργανικές προσμίξεις παρεμποδίζουν την πήξη και τη σκλήρυνση σκυροδέματος ή κονιάματος, και είναι δυνατόν να χρωματίσουν τις επιφάνειες αυτών. Εφαρμόζεται σε αδρανή σκυροδέματος, κονιάματος και σε αδρανή βάσεων- υποβάσεων με ή χωρίς συνδετικό υλικό (ΕΛΟΤ EN 1744-1, άρθρο 15-1, ASTM C-33).

Προσδιορισμός των οργανικών προσμίξεων λεπτόκοκκων αδρανών με δοκιμές κονιάματος

Προσδιορίζεται η επιρροή των οργανικών προσμίξεων στην αντοχή καθώς και στο χρόνο πήξης κονιάματος. Έχει εφαρμογή σε αδρανή κονιάματος, σκυροδέματος, αδρανή για βάσεις και υποβάσεις με ή χωρίς συνδετικό υλικό που δεν πληρούν τις

απαιτήσεις των άρθρων 15.1 ή και 15.2 του ΕΛΟΤ EN 1744-1 (ΕΛΟΤ EN 1744-1, άρθρο 15-3, ASTM C 87).

2.5 Εξόρυξη αδρανών - Διαδικασία θραύσης - Κοσκίνισματος

Η εξόρυξη των πετρωμάτων που προορίζονται για παραγωγή αδρανών για βάσεις και υποβάσεις πρέπει να γίνεται σε υγιείς όγκους στο λατομείο, με απόρριψη:

- όλων των μη καθαρών και μη υγιών τμημάτων
- των περιοχών επαφής με γειτονικά πετρώματα, μη υγιή
- των αποσαθρωμένων και εύθρυπτων όγκων πετρώματος
- των σβώλων και κωμών αργίλου, των γαιωδών προσμίξεων και των χωμάτων
- λοιπών ξένων υλικών

Η παραγωγή του θραυστού υλικού για βάσεις και υποβάσεις πρέπει να γίνεται με τροφοδότηση του συγκροτήματος θραύσης – κοσκίνισης με καθαρό υλικό, απαλλαγμένο από σβώλους και κώμους αργίλου όπως και κάθε ξένης πρόσμιξης.

Το θραυστό υλικό παράγεται μετά από μια ή περισσότερες θραύσεις, γεγονός που εξαρτάται από την αρχική του προέλευση και από τις ισχύουσες προδιαγραφές. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται πολλαπλά θραυστικά μέσα, ανάλογα με την προέλευση του αδρανούς υλικού, την ορυκτολογική και πετρογραφική σύσταση του, τη σκληρότητα, την αντοχή σε τριβή και κρούση, την αρχική αλλά και την επιδιωκόμενη κοκκομετρική διαβάθμιση του.

Στην περίπτωση, όπου τεμάχια του υλικού, που προορίζεται για θραύση, περιβάλλονται από ισχυρή συγκολλημένη άργιλο που δε μπορεί να αποχωρισθεί με μηχανικά μέσα, το υλικό αυτό είτε δε χρησιμοποιείται είτε υποβάλλεται σε πλύσιμο. Η λύση αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε αδρανή φυσικών αποθέσεων.

Ένα σύνθετο συγκρότημα θραύσης – κοσκίνισης αδρανών υλικών παραγωγής αδρανών υλικών για βάσεις και υποβάσεις αποτελείται από:

- Προδιαλογέα για απομάκρυνση των βλαπτικών αργιλικών συστατικών
- Θραυστήρες πρωτογενούς θραύσης. Θραυστήρες σιαγόνων, προς αποφυγή δημιουργίας πολύ λεπτόκοκκου υλικού και οι πλέον διαδεδομένοι στην Ελλάδα οι περιστροφικοί, κρουστικοί με ρότορα
- Κόσκινα τετραγωνικής ή ορθογωνικής βροχίδας

Θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην εκλογή και στη ρύθμιση των μηχανημάτων θραύσης – κοσκίνισης, ώστε το τελικό προϊόν να παρουσιάζει σταθερότητα ποιοτικών χαρακτηριστικών και να είναι απαλλαγμένο από:

- Υψηλό ποσοστό ασβεστολιθικής παιπάλης
- Αργιλικές προσμίξεις
- Υπερμεγέθεις κόκκους

Σε περίπτωση που το υλικό ύστερα από τη θραύση – κοσκίνιση δεν ικανοποιεί την απαιτούμενη κοκκομετρική διαβάθμιση πρέπει να παράγεται με ανάμιξη και σύνθεση διαφορετικών κοκκομετρικών κλασμάτων σε συγκεκριμένες αναλογίες έτσι ώστε το τελικό προϊόν να συμμορφώνεται με τις προδιαγραφές.

2.6 Ο ρόλος των αδρανών υλικών στις βάσεις / υποβάσεις

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται στις στρώσεις βάσεων ή υποβάσεων πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις για να μπορούν να εξασφαλίζουν ικανοποιητική ευστάθεια κάτω από επαναλαμβανόμενα φορτία.

Ανάλογα με το είδος του οδοστρώματος (εύκαμπτα ή δύσκαμπτα) ο ρόλος των αδρανών στις βάσεις και υποβάσεις διαφοροποιείται.

Αναλυτικότερα για τα εύκαμπτα οδοστρώματα, επειδή η βάση υπόκειται σε υψηλές καταπονήσεις, τα αδρανή που την αποτελούν, πρέπει να παρουσιάζουν ιδιότητες που να εξασφαλίζουν την αντοχή της σε υψηλές επαναλαμβανόμενες πιέσεις που επιβάλλει η κυκλοφορία ενώ, θα πρέπει επιπλέον να παρέχουν δυνατότητα αποστράγγισης και αντοχή στις καταπονήσεις χωρίς να υπόκεινται μόνιμες παραμορφώσεις. Επίσης θα πρέπει να παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα στον παγετό.

Αντίθετα επειδή η υπόβαση υπόκειται σε μικρότερες καταπονήσεις, τα αδρανή μπορεί να είναι χαμηλότερης ποιότητας. Ωστόσο τα αδρανή υλικά θα πρέπει πάντα να εξασφαλίζουν στις στρώσεις τη δυνατότητα αποστράγγισης, την ανθεκτικότητα στον παγετό (παγοπληξία) και την προστασία των υλικών βάσης από τη «μόλυνση» αυτών με εδαφικό υλικό (άργιλος, ιλύς, οργανικά υλικά).

Για τα δύσκαμπτα οδοστρώματα τα αδρανή της βάσης πρέπει να προστατεύσουν την κατασκευή της άκαμπτης πλάκας. Δηλαδή να έχουν υψηλή αντίσταση στη διαβρωτική δράση του νερού (συνεχή κοκκομετρική καμπύλη ή πρέπει να σταθεροποιηθούν με συνδετικά υλικά), να προσφέρουν αποστράγγιση, να είναι ανθεκτικά στη φθορά έναντι παγετού, να μην προκαλούν μεταβολή όγκου (διόγκωση – συρρίκνωση) και γενικότερα να βελτιώνουν τη δομική (φέρουσα) ικανότητα της κατασκευής.

Τα αδρανή της υπόβασης δε συνεισφέρουν τόσο στην αύξηση της δομικής αντοχής του οδοστρώματος όσο κυρίως παρέχουν την ομοιομορφία της φέρουσας ικανότητας για την αποφυγή τοπικών αστοχιών. Επιπλέον πρέπει να προσφέρουν μία καλή επιφάνεια για την κυκλοφορία των βαρέων οχημάτων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο φαινόμενο της ανόδου λεπτόκοκκου υλικού από την υποκείμενη στρώση (υπόβαση). Στην περίπτωση αυτή πρέπει να λαμβάνονται οπωσδήποτε μέτρα σταθεροποίησης με τσιμέντο.

Τα αδρανή που προορίζονται για βάσεις και υποβάσεις, πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των αντίστοιχων προδιαγραφών Ο 155 και Ο 150 του Υπουργείου Δημοσίων Έργων για την “Κατασκευή Βάσεων και Υποβάσεων δι’ αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου”.

Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι οι ελληνικές προδιαγραφές που προαναφέρθηκαν, δεν έχουν αναθεωρηθεί από το 1966. Συνεπώς κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στις ευρωπαϊκές προδιαγραφές για τα αδρανή που χρησιμοποιούνται ως βάσεις και υποβάσεις στην οδοποιία.

Το αντίστοιχο Ευρωπαϊκό πρότυπο είναι ⁹ΕΛΟΤ EN 13242: 2003.

Γενικότερα τα περισσότερα πετρώματα που απαντώνται στον Ελλαδικό χώρο είναι κατάλληλα για την παραγωγή αδρανών υλικών για βάσεις και υποβάσεις.

⁹ ΕΛΟΤ EN 13242: 2003: Αδρανών υλικών σταθεροποιημένων με υδραυλικές κονίες ή μη σταθεροποιημένων για χρήση στα τεχνικά έργα και την οδοποιία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ

3.1 Γενικές εκσκαφές

3.1.1 Ορισμοί

Ως «γενικές εκσκαφές» ορίζονται οι εκσκαφές και εξορύξεις σε οποιοδήποτε βάθος και με πλάτος μεγαλύτερο των 3 m. Οι γενικές εκσκαφές διακρίνονται σε "εκσκαφές χαλαρών εδαφών" σε "γενικές εκσκαφές γαιών και ημίβραχου" και σε "γενικές εκσκαφές βράχου". Επισημαίνεται ότι ειδικά για τις "εκσκαφές χαλαρών εδαφών" δεν υφίσταται θέμα "πλάτους" και σαν τέτοιες νοούνται και εκείνες οποιουδήποτε πλάτους ακόμη και μικρότερου των 3 m.

Ο ρόλος των εκσκαφών στα χωματουργικά έργα οδοποιίας είναι σημαντικότερος μιας και από αυτές προκύπτουν τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενα στάδια της κατασκευής, ενώ παράλληλα η δυσκολία με την οποία εκσκάπτονται αποτελεί σημαντικό οικονομικό κριτήριο. Τα υλικά που προκύπτουν από τις εκσκαφές κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με τις ιδιότητες τους και τη μελλοντική χρήση τους ή όχι. Τα ακατάλληλα υλικά τοποθετούνται σε προβλεπόμενες θέσεις ενώ τα κατάλληλα συμμετέχουν στην κατασκευή επιχωμάτων, αναχωμάτων, επιχώσεων ή ενσωματώνονται σε οποιοδήποτε άλλο τμήμα του έργου.

Για την εκτίμησή του βαθμού δυσκολίας μιας εκσκαφής χρησιμοποιείται συνήθως ο όρος εκσκαψιμότητα. Ως εκσκαψιμότητα ορίζεται γενικά η δυνατότητα που παρέχει μια συγκεκριμένη περιοχή για την εκσκαφή της σε προκαθορισμένη έκταση και βάθος. Τα κριτήρια που καθορίζουν την εκσκαψιμότητα μιας περιοχής είναι μόνο ποιοτικά αφού οι επί μέρους παράγοντες που την επηρεάζουν είναι γενικά μεταβλητοί και δεν προσδιορίζονται αριθμητικά (π.χ. σύσταση του υλικού, βαθμός αποσάθρωσης του, κερματισμός, μηχανικός εξοπλισμός κ.λ.π.). Η κατάταξη της εκσκαψιμότητας των εδαφών γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές κατασκευής που ισχύουν για το κάθε έργο.

Πίνακας 3. Κλίμακα Ευκολίας Εκσκαφής, (Μακεδών, 2005).

Κατηγορία	Χαρακτηρισμός	Περιγραφή
E	Εύκολα εκσκαπτόμενα	Χαλαρά εδάφη, π.χ. άμμοι, λεπτά χαλίκια
M	Μέσης δυσκολίας	Συνεκτικότερα εδάφη, π.χ. αργιλώδη χαλίκια, άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας
M-H	Μέσης έως υψηλής δυσκολίας	Θραυσμένοι βράχοι, υγρή πυκνή άργιλος, χαλίκια με ογκόλιθους
H	Υψηλής δυσκολίας	Υλικά που απαιτούν ανατίναξη και σκληρές άργιλοι υψηλής πλαστικότητας

Διεθνώς χρησιμοποιούνται διάφορες κατηγορίες για το σκοπό αυτόν ενώ ενδεικτικά παρουσιάζεται η Κλίμακα Ευκολίας Εκσκαφής που χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα στη Μ. Βρετανία και κατατάσσει τα εδάφη σε 4 κατηγορίες (Πίνακας 3).

Στην Ελλάδα τα προς εκσκαφή εδάφη κατατάσσονται, ανάλογα με τη φύση τους και τη δυσκολία της εκσκαφής τους σε "χαλαρά εδάφη-γαιές", "γαιές και ημίβραχος" και "βράχος". Αναλυτικότερα:

Ως "χαλαρά εδάφη" χαρακτηρίζονται οι φυτικές γαιές, η ιλύς, η τύρφη, οι άργιλοι, οι μάργες, οι πηλοί, τα αμμοχάλικα, τα χαλίκια, οι κροκάλες ή οι λατύπες, οι λίθοι, οι μεμονωμένοι ογκόλιθοι όγκου κάτω από $0,20 \text{ m}^3$ και λοιπά εδάφη που έχουν προέλθει από επιχωματώσεις με ανομοιογενή υλικά και η εκσκαφή τους είναι δυνατή και μόνο με τη χρήση σκαπάνης.

Ως "γαιές και ημίβραχος" χαρακτηρίζονται τα εδάφη, τα αμμοχάλικα, οι κροκάλες, τα σκληρά και συμπαγή υλικά, όπως τσιμεντωμένα αμμοχάλικα,, πλευρικά κορήματα και προϊόντα έκπλυσης κλιτύων, ο μαλακός ή αποσαθρωμένος βράχος, οι μεμονωμένοι ογκόλιθοι, και τα τμήματα συμπαγούς βράχου με όγκο όχι μεγαλύτερο από $0,5 \text{ m}^3$ και γενικά τα εδάφη που μπορούν να εκσκαφθούν αποτελεσματικά με εκσκαπτικά μηχανήματα και αναμοχλευτήρες (rippers), χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση εκρηκτικών υλών.

Τέλος ως «βράχος» χαρακτηρίζεται το συμπαγές πέτρωμα που δε μπορεί να εκσκαφθεί εάν δεν χαλαρωθεί με εκρηκτικές ύλες, χρήση λωστών ή σφηνών, και οι ογκόλιθοι ή αποσπασμένα τμήματα συμπαγούς βράχου, όγκου μεγαλύτερου του $0,5 \text{ m}^3$. Συμπαγής βράχος, κατά τον ορισμό αυτόν, σε αντιδιαστολή με το μαλακό ή αποσαθρωμένο βράχο γαιώδους ή ημιβραχώδους σύστασης, θεωρείται ο υγιής βράχος τέτοιας σκληρότητας και δομής, που δε μπορεί να χαλαρωθεί ή αναμοχλευθεί με μπουλντόζα τύπου «Caterpillar D - 9L» ή ισοδυνάμου τύπου άλλου κατασκευαστή, εφοδιασμένη με μονό αναμοχλευτήρα (ripper) ορθογωνικής διατομής και για το λόγο αυτόν προτιμάται η ανατίναξη του. Υλικά, εκτός από ογκόλιθους ή αποσπασμένα τμήματα συμπαγούς βράχου, τα οποία δεν χαλαρώθηκαν με ανατίναξη πριν από την απομάκρυνσή τους, δε χαρακτηρίζονται ως εκσκαφή βράχου, εκτός εάν η χρήση ανατίναξης ήταν απαγορευμένη και η αφαίρεση με λωστούς, σφήνες ή παρόμοιες μεθόδους επιβλήθηκε για διάφορους λόγους όπως π.χ. σε κατοικημένες περιοχές.

Οι εκσκαφές είναι δυνατό να κατατάσσονται και σε δύο ή και σε μία μόνο κατηγορία. Στην πρώτη περίπτωση η μία από τις δύο κατηγορίες θα περιλαμβάνει τις γαιές και τον ημίβραχο και η άλλη το βράχο, ενώ στη δεύτερη περίπτωση γίνεται κατάταξη χωρίς χαρακτηρισμό. Η εξέλιξη του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στη σύγχρονη οδοποιία καθιστά, όπως προαναφέρθηκε, σχετική την παραπάνω κατάταξη, αφού για παράδειγμα ως βράχος χαρακτηρίζεται συνήθως και το πέτρωμα, για την εκσκαφή του οποίου χρησιμοποιείται αερόσφυρα ή υδραυλική σφύρα.

3.1.2 Εκτέλεση εργασιών

Πριν από την έναρξη των γενικών εκσκαφών (γαιών - ημίβραχου και βράχου) πραγματοποιείται ο καθαρισμός και η εκρίζωση σε όλη την επιφάνεια της εκσκαφής. Τα υλικά αυτά απομακρύνονται από την περιοχή του έργου σε όλες τις περιπτώσεις με μόνη εξαίρεση την περίπτωση που τα επιφανειακά στρώματα της φυτικής γης είναι κατάλληλα για επένδυση των πρανών των επιχωμάτων, οπότε και αποθηκεύονται σε καθορισμένο σημείο.

Κατά την εκτέλεση των εργασιών, λαμβάνονται όλα τα αναγκαία μέτρα, για την εξασφάλιση επαρκούς αποστράγγισης των εκσκαφών ώστε να αποφευχθεί η διάβρωση των επιφανειών της εκσκαφής και η συσσώρευση νερού. Όλες οι εκσκαφές γίνονται σύμφωνα με τις γραμμές, τα πρανή, τις κλίσεις και τις διαστάσεις που φαίνονται στα σχέδια των εγκεκριμένων μελετών, ή σύμφωνα με τις γραπτές εντολές του εργοδότη.

Κατά την εκτέλεση των εργασιών χρησιμοποιούνται, σε κάθε περίπτωση, τα κατάλληλα μηχανήματα και εργαλεία ενώ, η χρήση εκρηκτικών υλών είναι δυνατή μετά από ειδική έγγραφη άδεια της Επιβλέπουσας Υπηρεσίας, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και τις οδηγίες της.

Τα κατάλληλα προϊόντα που προκύπτουν από τις εκσκαφές χρησιμοποιούνται υποχρεωτικά στην κατασκευή του έργου. Όπου είναι πρακτικά δυνατό, τα υλικά που είναι κατάλληλα για χρήση τους στην κατασκευή εκσκάπτονται χωριστά από τα υλικά που πρόκειται να απορριφθούν. Τα κατάλληλα υλικά εκσκαφής επιλέγονται κατά φορτία κατά τη διάρκεια της εκσκαφής και αποτίθενται στις καθορισμένες οριστικές θέσεις ή αποτίθενται σε προσωρινούς χώρους αποθήκευσης, απ' όπου αργότερα μεταφέρονται στις καθορισμένες οριστικές θέσεις.

Η αποθήκευση των κατάλληλων προϊόντων εκσκαφής γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διαχωρίζονται ανάλογα με τη χρήση τους σε :

- Υλικά κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν σε επιχώσεις και αναχώματα
- Υλικά βράχου, κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν για επίχωση βράχου και λιθορριπές προστασίας πρανών σε διάφορες θέσεις, όπου απαιτείται
- Υλικά κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν για αδρανή σκυροδέματος
- Άλλα υλικά, κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν σε ειδικά τμήματα του έργου ή σύμφωνα με τις οδηγίες του εργοδότη

3.1.3 Καθαιρέσεις

Οι καθαιρέσεις γενικά διακρίνονται σε :

- Καθαιρέσεις κτισμάτων
- Καθαιρέσεις λιθοδομών
- Καθαιρέσεις οπλισμένων και μη οπλισμένων σκυροδεμάτων

3.2 Ισοζύγιο χωματουργικών υλικών

Όπως αναφέρθηκε κατά την εκτέλεση των χωματουργικών έργων επιδιώκεται η επίτευξη ισοζυγίου των υλικών μεταξύ των εκσκαφών και των επιχωμάτων, έτσι ώστε να απαιτηθούν οι λιγότερες δυνατές δανειοληψίες για την ολοκλήρωση του έργου. Για το λόγο αυτόν θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν οι συντελεστές συρρίκνωσης και διόγκωσης του υλικού.

Έτσι η εκσκαφή βραχωδών ή γαιωδών υλικών αυξάνει τον όγκο του εξορυσσόμενου υλικού κατά ένα *συντελεστή* διόγκωσης ή επαύξησης (Σ_{Δ}) που ορίζεται ως ο λόγος του όγκου του υλικού μετά από την εκσκαφή (V_{ME}) προς τον όγκο του υλικού πριν από την εκσκαφή ($V_{ΠΕ}$):

$$\Sigma_{\Delta} = \frac{V_{ME}}{V_{ΠΕ}}$$

Η ίδια αρχή ισχύει και για τον όγκο του υλικού μετά τη διάστρωση και συμπύκνωσή του για την κατασκευή ενός επιχώματος. Όμοια ορίζεται ο συντελεστής

συρρίκνωσης (Σ_Σ) του υλικού, ως ο λόγος του όγκου του υλικού μετά από τη συμπίκνωση ($V_{\Sigma\Sigma}$) του προς τον όγκο του υλικού πριν από την εκσκαφή:

$$\Sigma_\Sigma = \frac{V_{\Sigma\Sigma}}{V_{\Pi\Xi}}$$

Ο Πίνακας 4 δίνει ενδεικτικές τιμές των παραπάνω συντελεστών για διαφορετικά πετρώματα και υλικά.

Πίνακας 4: Τιμές συντελεστών διόγκωσης και συρρίκνωσης υλικών σε συνδυασμό με την εκσκαψιμότητά τους, (Μακεδών, 2005).

Υλικό	Φαινόμενο Βάρος (t/m ³)	Συντελεστής Διόγκωσης	Συντελεστής Συρρίκνωσης	Εκσκαψιμότητα
Αργίλος (μικρό PI)	1,65	1,30	-	M
Αργίλος (μεγάλο PI)	2,10	1,40	0,90	M-H
Αργίλος και χαλίκια	1,80	1,35	-	M-H
Άμμος	2,00	1,05	0,89	E
Άμμος και χαλίκια	1,95	1,15	-	E
Χαλίκια	2,10	1,05	0,97	E
Κρήτιδα	1,85	1,50	0,97	E
Σχιστόλιθοι	2,35	1,50	1,33	M-H
Ασβεστόλιθος	2,60	1,63	1,36	M-H
Πορώδης Ψαμμίτης	2,50	1,60	-	M
Συνεκτικός Ψαμμίτης	2,65	1,61	1,34	M-H
Βασάλτης	2,95	1,64	1,36	H
Γρανίτης	2,41	1,72	1,33	H

3.3 Γεωτεχνικές έρευνες σε θέσεις ορυγμάτων - επιχωμάτων

Σκοπός των ερευνών αυτών είναι ο προσδιορισμός των γεωτεχνικών στοιχείων του εδάφους, μέσω της εκτέλεσης δοκιμών και δειγματοληψιών, για τη σωστή διαστασιολόγηση και εκτέλεση του έργου.

Οι έρευνες αυτές γίνονται με την εκτέλεση γεωτρήσεων ή φρεάτων, σε θέσεις που επιλέγονται από τον Ανάδοχο, και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5, όπως ορίζεται από τον ΟΣΜΕΟ.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στα ελάχιστα στοιχεία που θα πρέπει να συλλεχθούν κατά την εκτέλεση των γεωτεχνικών ερευνών στις θέσεις ορυγμάτων και επιχωμάτων.

Κατά τη διάρκεια των ερευνών αυτών θα πρέπει να δίνεται έμφαση στη λήψη αξιόπιστων πληροφοριών για τις συνθήκες των υπόγειων νερών.

Πίνακας 5 : Ενδεικτικές απαιτήσεις γεωτρήσεων ανά είδος έργου, (Από ΟΣΜΕΟ, 2001)

Είδος Έργου	Αριθμός γεωτρήσεων	Ελάχιστος αριθμός γεωτρήσεων	Ελάχιστο βάθος γεώτρησης (L_1) κάτω από επιφανειακή θεμελίωση (m) ή κάτω από τη στάθμη της ερυθράς
Πρανή ορυγμάτων ύψους $H_{op} > 10,0$ m	1 γεώτρηση / 250 m ορύγματος ⁽¹⁾	1 γεώτρηση / όρυγμα	$L_1 = H_{op} + 3,0$ m
Υψηλά επιχώματα ($H_{ep} > 10,0$ m) πάνω σε γαιώδες έδαφος ($B =$ πλάτος επιχ. στη βάση)	1 γεώτρηση / 250 m επιχώματος ⁽¹⁾	1 γεώτρηση / επίχωμα	$L_1 (2) > 1,5 \times H_{ep}$

(1) Θα αυξάνονται αν υπάρχουν διαφοροποιήσεις εδαφικών συνθηκών. Αντίστροφα, ο αριθμός μπορεί να περιορισθεί, κατά περίπτωση, εάν οι συνθήκες δε διαφοροποιούνται

(2) Αν το βάθος γεώτρησης που προκύπτει από τη σχέση είναι μεγαλύτερο από 30,0 m, μπορεί να περιορισθεί σε 30,0 m

3.3.1 Γεωτεχνικές έρευνες σε θέσεις ορυγμάτων

Οι γεωτρήσεις που εκτελούνται στις θέσεις των ορυγμάτων έχουν ως σκοπό, τον καθορισμό της κλίσης των πρανών, της εκσκαψιμότητας των πετρωμάτων, της καταλληλότητας των προϊόντων εκσκαφής για την κατασκευή επιχωμάτων, της διογκωσιμότητας των εδαφών και της διαστασιολόγησης του οδοστρώματος ύστερα από την κατάταξη τους (υποκείμενη στρώση) στις κατηγορίες E0, E1, E2, E3, E4, για οδικά έργα.

Το είδος και η έκταση των εργαστηριακών δοκιμών εξαρτώνται από τη φύση των εδαφών και το είδος των δειγμάτων.

1. Για τους γαιώδεις σχηματισμούς γενικά γίνονται οι ακόλουθες εργαστηριακές δοκιμές:

Κατάταξης:

- Κοκκομετρήσεις με κόσκινα και υδρόμετρο (Για αμμώδες εδαφικό υλικό γίνεται υπολογισμός και του συντελεστή ομοιομορφίας διαβάθμισης $C_u = d_{60}/d_{10}$).

- Όρια ATTERBERG

Προσδιορισμού φυσικών χαρακτηριστικών:

- Φυσική υγρασία

- Ειδικό βάρος

Προσδιορισμού παραμέτρων αντοχής και συμπίεστότητας:

- Ανεμπόδιστη θλίψη

- Τριαξονική θλίψη (C.U. - Consolidated Undrained)

- Άμεση διάτμηση

Προσδιορισμού των παραμέτρων των ενεργών τάσεων

2. Για τους γαιώδεις σχηματισμούς πάνω στους οποίους πρόκειται να γίνει η έδραση του οδοστρώματος ή/και που προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή

επιχωμάτων γίνονται, σε κάθε διακεκριμένη στρώση (π.χ. για στρώσεις πάχους μεγαλύτερου από 0,50 m) και σε δείγματα ανά 5 m υψομετρικής διαφοράς το πολύ, εκτός της κατάταξης στις κατηγορίες E0, E1, E2, E3, E4 και οι παρακάτω συμπληρωματικές δοκιμές κατάταξης:

- Τροποποιημένη δοκιμή PROCTOR (βέλτιστη περιεκτικότητα σε νερό και μέγιστη ξηρή φαινόμενη πυκνότητα).
- Περιεκτικότητα σε οργανικά (με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης - AASHTO T194).
- Προσδιορισμός του CBR που αντιστοιχεί στο 90% και στο 95% της μέγιστης ξηρής φαινόμενης πυκνότητας κατά την τροποποιημένη δοκιμή PROCTOR, μετά από υδρεμποτισμό 4 ημερών.
- Μέτρηση της διόγκωσης κατά την παραπάνω δοκιμή CBR.

Για εδάφη “σιμεντωμένα” (στα οποία ως γνωστόν η “σιμεντώση” καταστρέφεται κατά τη συμπύκνωση στο εργαστήριο) και στην περίπτωση, που τα υλικά αυτά αποτελούν την “υποκείμενη στρώση” κάτω από τη Στρώση Έδρασης Οδοστρώματος οδού σε όρυγμα, ο δείκτης CBR μπορεί να υπολογίζεται με “επί τόπου” δοκιμή επί του αδιατάρακτου εδάφους, ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή των δεσμών σιμεντώσης και η ως εκ τούτου πλασματική μείωση του CBR. Στην περίπτωση αυτή κατά την εκτέλεση των χωματουργικών εργασιών λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα ώστε να εξασφαλίζεται η αποφυγή της καταστροφής των δεσμών σιμεντώσης.

Στην περίπτωση που ο χαρακτηρισμός του εδάφους σε κατηγορία E, βασισθεί στα αποτελέσματα της “επί τόπου” δοκιμής CBR, ο χαρακτηρισμός αυτός δε μπορεί να διαφέρει από τον αντίστοιχο προσδιορισμό της “εργαστηριακής” δοκιμής CBR, περισσότερο από μία κατηγορία.

Με τις παραπάνω “συμπληρωματικές δοκιμές κατάταξης” είναι δυνατόν να καταταχθούν τα υλικά του ορύγματος στις κατηγορίες E0, E1, E2, E3, E4 για οδικά έργα.

3. Για τους γαιώδεις σχηματισμούς που βρίσκονται πάνω από την κατώτατη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και εφ’ όσον τα αποτελέσματα των δοκιμών των ορίων ATTERBERG δείξουν υψηλές πλαστικότητες αργίλων για τις οποίες υπάρχουν πιθανότητες διόγκωσης (π.χ. για plasticity Index (P.I.) > 20), τότε για να διερευνηθεί ο κίνδυνος διόγκωσης του εδάφους γίνονται δοκιμές ελέγχου διογκωτικού δυναμικού του εδάφους:

- Δοκιμές διόγκωσης στο οιδήμετρο υπό σταθερό φορτίο (ίσο προς το φορτίο που θα βρεθεί το δείγμα μετά την κατασκευή των έργων).
- Δοκιμές μέτρησης πίεσης διόγκωσης (για πλήρη περιορισμό της διόγκωσης).

3.3.2 Γεωτεχνικές έρευνες σε θέσεις επιχωμάτων

Οι έρευνες στις θέσεις επιχωμάτων γίνονται στην περίπτωση υψηλών επιχωμάτων οδών ($H_{ep} > 10$ m) που εδράζονται σε γαιώδες έδαφος. Ειδικότερα για επισφαλές έδαφος θεμελίωσης (“μαλακά εδάφη”) γίνονται και σε επιχώματα μικρού ή μέσου ύψους ($H \leq 10$ m). Ο σκοπός των ερευνών αυτών, με την εκτέλεση γεωρευνητικών γεωτρήσεων, είναι ο καθορισμός της κλίσης των πρανών (και γενικότερα της θεμελίωσης του επιχώματος) και η εκτίμηση των αναμενομένων υποχωρήσεων.

Το είδος και η έκταση των εργαστηριακών δοκιμών εξαρτώνται από τη φύση των εδαφών και το είδος των δειγμάτων.

Για τους γαιώδεις σχηματισμούς είναι δυνατή η εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών που αναφέρθηκαν και στην περίπτωση των ορυγμάτων. Επί πλέον πρέπει να εξετάζεται και το ενδεχόμενο εκτέλεσης δοκιμών συμπίεστότητας με οιδήμετρα.

Στην περίπτωση που υπάρχουν επιφανειακοί γαιώδεις σχηματισμοί γίνεται δειγματοληψία και δοκιμή προσδιορισμού των οργανικών (σύμφωνα με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης - Μέθοδος AASHTO T194, το πολύ ανά 500 m μήκους οδού και ανεξάρτητα από το ύψος των επιχωμάτων) σε βάθος 0,30 m.

Στην περίπτωση που τα επιχώματα εδράζονται σε επικλινή εδάφη που καλύπτονται από μανδύες αποσάθρωσης οι έρευνες πρέπει να δίνουν επαρκή στοιχεία για την εκτίμηση της καταλληλότητας του επιφανειακού εδάφους για έδραση των επιχωμάτων. Θα πρέπει να δίνουν πληροφορίες για την πιθανή παρουσία παλιών επιφανειών ολίσθησης στη βάση του μανδύα, για το πάχος της τυχόν απαιτούμενης αφαίρεσης - αντικατάστασης με κοκκώδες υλικό και τυχόν απαιτούμενα μέτρα στράγγισης για υποβιβασμό των πιέσεων πόρων στο μανδύα, στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η ολοκληρωτική αφαίρεσή του.

3.4 Κατασκευή ορυγμάτων

Η εκσκαφή των ορυγμάτων εκτελείται βάσει των σχεδίων της εκάστοτε μελέτης. Στα σχέδια αυτά καθορίζονται οι διαστάσεις των διατομών των εκσκαφών ενώ οι κλίσεις τους εξαρτώνται από το ύψος των ορυγμάτων, την κατηγορία του υλικού, του χρόνου κατά τον οποίο η εκσκαφείσα επιφάνεια παραμένει ακάλυπτη καθώς επίσης και από την επιρροή των φορτίσεων και των κραδασμών εντός της μάζας ή και κοντά σ' αυτήν. Οι κλίσεις αυτές ορίζονται στην ¹⁰ΠΤΠ Χ1 και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 .

Πίνακας 6. Κλίσεις πρανών ορυγμάτων (υ:β) ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους (από ΠΤΠ Χ1, 1966)

Κατηγορία εδάφους	Ύψος πρανού σε m	Κλίση πρανού (υ : β)
Συνεκτικά γαιώδη, ημιβραχώδη	≤ 2,00 m	1:2
Συνεκτικά γαιώδη, ημιβραχώδη	> 2,00 m	1:1
Πολύ συνεκτικά ημιβραχώδη		2:1 έως 3:1
Χαλαρά ή υποκείμενα σε διαβρώσεις		1:2 έως 1:3
Βραχώδη		3:1 έως 10:1

Οι τελικές κλίσεις των ορυγμάτων μπορεί να διαφέρουν από αυτές που ορίστηκαν αρχικά στη μελέτη. Η τελική επιλογή τους γίνεται ύστερα από εργαστηριακούς ελέγχους των υλικών ή ύστερα από την κατάταξή τους. Η επιλογή

¹⁰ ΠΤΠ Χ1: Πρότυπη Τεχνική Προδιαγραφή Έκτελεσης Χωματουργικών Έργων Οδοποιίας (μεθ' οδηγιών και επενδύσεων -φυτεύσεων αυτών)

της κατασκευής ηπιότερων κλίσεων, στα πρανή των ορυγμάτων, μπορεί να γίνεται είτε για λόγους αύξησης της ορατότητας, είτε για την λήψη κατάλληλων υλικών για την κατασκευή των επιχωμάτων σε κάποια άλλη θέση. Στα πρανή ορυγμάτων μεγάλου ύψους η κατασκευή αναβαθμίδων κρίνεται αναγκαία και γίνεται μετά τη σύνταξη εδαφοτεχνικής μελέτης. Για τα πρανή ορυγμάτων ύψους μεγαλύτερου των 15 m απαιτείται υποχρεωτικά ο υπολογισμός της ευστάθειας τους, ενώ όταν τα πρανή αποτελούνται από μαλακές αργίλους ή υλικά μειωμένης αντοχής, η μελέτη ευστάθειας κρίνεται απαραίτητη για πρανή ύψους μεγαλύτερου των 6 m. Η εκλογή της κλίσης που εφαρμόζεται στα βραχώδη πρανή ορυγμάτων είναι συνάρτηση της κατάστασης του πετρώματος (βαθμός αποσάθρωσης-καταταμητικότητα), της κλίσης των σχηματισμών, των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής και της σημαντικότητας του προς εκτέλεση έργου.

Κατά τη μόρφωση των επιφανειών του πυθμένα των ορυγμάτων είναι δυνατό να συναντηθούν ακατάλληλα υλικά (οργανικά εδάφη ή πολύ πλαστικά). Τα υλικά αυτά αφαιρούνται, μέχρι βάθους 0,40 m, και αντικαθίστανται από κατάλληλα υλικά εκσκαφής ή εκβραχιισμού μέγιστου κόκκου 63,5 mm (2,5΄΄) χωρίς πλαστικότητα. Επίσης κατά τη μόρφωση των πυθμένων βραχωδών ορυγμάτων αφαιρούνται όλα τα χαλαρά ή ασταθή μεμονωμένα τεμάχια βράχου και τα κενά καλύπτονται με κατάλληλα υλικά, όπως αυτά ορίστηκαν παραπάνω. Οι πυθμένες των ορυγμάτων θα πρέπει να είναι ομαλοί προς όλες τις διευθύνσεις όπως επίσης και οι κλίσεις τους. Στην περίπτωση πυθμένων βραχωδών ορυγμάτων, αντί για υπόβαση κατασκευάζεται μια συμπτυκνωμένη ισοπεδωτική στρώση μέγιστου πάχους 10 cm από υλικό που έχει υποστεί πολλαπλή θραύση.

Τα προϊόντα των ορυγμάτων διαχωρίζονται ανάλογα με τη χρησιμότητα τους, βάσει των εδαφολογικών και φυσικών ιδιοτήτων τους και μετακινούνται στις ενδεδειγμένες θέσεις του έργου.

Τα υλικά που είναι κατάλληλα για την κατασκευή των επιχωμάτων χρησιμοποιούνται υποχρεωτικά. Τα καλύτερης ποιότητας υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ανώτερων στρώσεων των επιχωμάτων, ενώ ύστερα από διαλογή των υλικών που προέρχονται από την εξόρυξη βραχωδών ορυγμάτων προκύπτουν υλικά που χρησιμοποιούνται στην ανώτερη στρώση των επιχωμάτων, πάχους 60 cm, προς αποφυγή κατασκευής υπόβασης.

Τα ακατάλληλα υλικά για χρήση σε θέσεις επιχωμάτων μπορεί να είναι κατάλληλα για την επένδυση των πρανών, ενώ τα τελείως ακατάλληλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλα τμήματα του έργου.

Ο τρόπος εκτέλεσης μιας εκσκαφής ορύγματος εξαρτάται από την κατηγορία του εδάφους, την εγκάρσια κλίση, το βάθος της εκσκαφής, τη διάταξη των στρωμάτων και από τα διαθέσιμα μέσα και μηχανήματα. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε τους εξής τρόπους εκσκαφής:

- Εκσκαφή κατά στρώματα
- Εκσκαφή κατά δώματα
- Εκσκαφή κατά μέτωπο
- Εκσκαφή κατά βαθμίδες
- Εκσκαφή με στοές (Αγγλικός τρόπος)

3.5 Κατασκευή επιχωμάτων

Ως "επίχωμα" ορίζεται κάθε υπερυψωμένη κατασκευή που εκτελείται με διάστρωση και συμπίκνωση κατάλληλων εδαφικών υλικών, προϊόντων εκσκαφών ή δανείων, σε στρώσεις τέτοιου πάχους ώστε με τα μέσα συμπίκνωσης που υπάρχουν

να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη συμπύκνωση και σε τμήματα τέτοιων διαστάσεων, ώστε να μπορεί να γίνει χρήση μηχανικού εξοπλισμού υψηλής απόδοσης.

Τα επιχώματα διακρίνονται σε "γαιώδη" που κατασκευάζονται με διάστρωση και συμπύκνωση γαιωδών εδαφικών υλικών και σε "βραχώδη" που κατασκευάζονται με διάστρωση και συμπύκνωση βραχωδών εδαφικών υλικών. Επίσης διακρίνονται σε υψηλά (ύψους > 10 m) και χαμηλά (ύψους < 10 m).

Τα επιχώματα κατασκευάζονται είτε σε περιοχές που δεν έχουν ομαλό μορφολογικό ανάγλυφο και έχουν ως σκοπό τους την διατήρηση της στάθμης της έδρασης του οδοστρώματος στο επίπεδο χάραξης της μελέτης είτε σε περιοχές με αυξημένες απαιτήσεις αποστράγγισης του οδοστρώματος.

Οι κλίσεις των πρανών των επιχωμάτων όπως άλλωστε και των ορυγμάτων εξαρτώνται από το ύψος τους, την κατηγορία του υλικού, του χρόνου κατά τον οποίο η επιφάνεια παραμένει ακάλυπτη καθώς επίσης και από την επιρροή των φορτίσεων και των κραδασμών εντός της μάζας ή και κοντά σε αυτήν. Οι κλίσεις αυτές ορίζονται στην ΠΤΠ Χ1 και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 7. Κλίσεις πρανών επιχωμάτων ύψος: βάση (υ:β) ανάλογα με την περίπτωση, (από ΠΤΠ Χ1, 1966).

Περίπτωση	Ύψος πρανούς επιχώματος (m)	Κλίση πρανούς υ:β
Κατά γενικό κανόνα	Έως 1,5m	1:3
	1,5m έως 3m	1:2
	>3m	1:1,5
Βραχώδη προϊόντα μορφούμενα με το χέρι	>3m	1:1
Σε περίπτωση κινδύνου διάβρωσης	>3m	1:3

Υπολογισμοί γενικευμένης και εσωτερικής ευστάθειας γίνονται για όλα τα πρανή επιχωμάτων ύψους μεγαλύτερου των 10 m (καθώς και σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις ανεξάρτητου ύψους). Για το πρανές της εξωτερικής επιφάνειας των επιχωμάτων γίνεται, επιπρόσθετα, μελέτη ευστάθειας έναντι ολίσθησης μεγάλου βάθους, που διέρχεται από τη θεμελίωση, ή ολίσθησης μικρού βάθους μέσα στο επίχωμα.

Η ανάλυση ευστάθειας των επιχωμάτων (σε συνδυασμό με το φρεάτιο ορίζοντα) γίνεται για τις συνθήκες και τους συνδυασμούς φορτίσεων, τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής καθώς και τους ελάχιστους επιτρεπόμενους συντελεστές ασφαλείας που δίνονται στον Πίνακα 8 που ακολουθεί. Ο συνδυασμός φόρτισης 3 θα πρέπει οπωσδήποτε να ελέγχεται στις περιπτώσεις όπου το επίχωμα είναι θεμελιωμένο πάνω σε επικλινές έδαφος.

Πίνακας 8. Έλεγχοι ευστάθειας πρανών επιχωμάτων, (από ΟΜΟΕ, 2003).

Συνδυασμός φόρτισης	Συνθήκες	Παράμετροι διατηρητικής αντοχής για τα εδαφικά στρώματα	απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας
1	Βραχυπρόθεσμες στατικές	Αστράγγιστες συνθήκες (συνεκτικά εδάφη)	1,2
2	Μακροπρόθεσμες με σεισμό	Βελτιωμένη αστράγγιστη λόγω στερεοποίησης (συνεκτικά εδάφη)	1,0
3	Μακροπρόθεσμες με ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50ετίας	Ενεργές παράμετροι αντοχής	1,3

3.5.1 Τμήματα επιχωμάτων

Τα επιχώματα αποτελούνται από τέσσερα διαφορετικά τμήματα. Από το θεμέλιο που είναι το κατώτερο, από τον πυρήνα, από το μεταβατικό τμήμα και από το ανώτερο τμήμα τη στέψη. Στον Πίνακα 9 περιγράφονται αναλυτικά τα τμήματα αυτά για τις περιπτώσεις ενός εδαφικού και ενός βραχώδους επιχώματος.

Πίνακας 9. Τμήματα γαιωδών και βραχωδών επιχωμάτων, (από ΤΣΥ, Εγνατία Οδός Α.Ε, 1988).

Τμήμα	Γαιώδη επιχώματα	Βραχώδη επιχώματα
Θεμέλιο	Το τμήμα που βρίσκεται κάτω από την αρχική επιφάνεια του εδάφους μετά τον καθαρισμό των ακατάλληλων υλικών και την κατάλληλη διαμόρφωση της επιφανείας ώστε να αγκυρώνεται το επίχωμα στο υπέδαφος και επιπλέον στρώση πάχους 0,30 m πάνω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.	Το κατώτερο μέρος του επιχώματος πάχους 0.30 m σε επαφή με το έδαφος στην αρχική του επιφάνεια (όταν δεν υπάρχουν επιφανειακά ακατάλληλα υλικά) και το τμήμα κάτω από αυτήν, (μετά από τον ενδεχομένως απαιτούμενο καθαρισμό, εκρίζωση, ή/ και απομάκρυνση ακατάλληλων υλικών) και διαμόρφωση αναβαθμών για αγκύρωση.
Πυρήνας	Το τμήμα του επιχώματος μεταξύ θεμελίου και στέψης	Το τμήμα του επιχώματος μεταξύ θεμελίου και μεταβατικού τμήματος
Μεταβατικό τμήμα		Το τμήμα εκείνο όπου η διαβάθμιση του υλικού των στρώσεων που το αποτελούν, πληρούν ορισμένες απαιτήσεις (φίλτρο) για την αποφυγή διεύθυνσης του υλικού της στέψης στο υποκείμενο βραχώδες τμήμα. Το πάχος του είναι 1m εκτός αν ορίζεται διαφορετικά στους λοιπούς όρους δημοπράτησης
Στέψη	Το μέρος του επιχώματος κάτω από τη Στρώση Έδρασης του Οδοστρώματος (Σ.Ε.Ο), που εκτείνεται σε βάθος, από την πάνω επιφάνεια της Σ.Ε.Ο., ίσο προς 1m για τα οδοστρώματα κυκλοφορίας K0, K1, K2, K2ε και K3 (και 0,80 m για τα οδοστρώματα κυκλοφορίας K4 έως και K7)	Το μέρος του επιχώματος πάνω από το μεταβατικό τμήμα που κατασκευάζεται από γαιώδη υλικά όπως στα γαιώδη επιχώματα και αποτελεί (ολόκληρο ή μέρος του) τη στρώση έδρασης του οδοστρώματος.

3.5.1.1 Γαιώδη επιχώματα

3.5.1.1.1 Υλικά γαιωδών επιχωμάτων

Τα υλικά κατασκευής των γαιωδών επιχωμάτων προέρχονται κατά κύριο λόγο από τα προϊόντα εκσκαφής των ορυγμάτων. Τα υλικά δανειοθαλάμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν τα υλικά των ορυγμάτων είναι ακατάλληλα, δεν επαρκούν ή δεν είναι δυνατός ο συντονισμός των εργασιών ορυγμάτων-επιχωμάτων, σύμφωνα με το πρόγραμμα εκτέλεσης των έργων.

3.5.1.1.2 Ποιότητα υλικών

Η επιλογή των υλικών με τα οποία κατασκευάζονται τα επιμέρους τμήματα ενός επιχώματος καθώς επίσης και ο βαθμός συμπίκνωσής τους γίνεται βάσει της ΠΤΠ Χ-1. Η κατηγοριοποίηση των υλικών, όσον αφορά την καταλληλότητα χρήσης τους στα επί μέρους τμήματα των επιχωμάτων, στηρίζεται στην κατάταξη των εδαφικών υλικών κατά AASHTO. Στην κατάταξη κατά AASHTO διακρίνονται 7 κύριες ομάδες και 8 υποομάδες, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 11 όπου δίνονται οι κυριότεροι τύποι υλικών που αντιστοιχούν σε κάθε ομάδα καθώς επίσης και μια εκτίμηση της καταλληλότητας τους ως υλικά υπεδάφους των επιχωμάτων.

Σύμφωνα με την ΠΤΠ Χ-1, τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στα διάφορα τμήματα των επιχωμάτων θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από επιβλαβή οργανικά υλικά (φύλλα, χλόη, ρίζες, βορβορώδης ύλης κ.ά) και υλικά που ανήκουν στην ομάδα Α-5 δε θα πρέπει να περιέχουν γη διατόμων. Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται βάσει της κατάταξης κατά AASHTO και της ΠΤΠ Χ-1 οι κατηγορίες των υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιχώματα ύψους $\geq 15\text{m}$ και $< 15\text{m}$ καθώς επίσης και οι απαιτήσεις συμπίκνωσης των υλικών αυτών.

Πίνακας 10. Κατηγορίες υλικών και απαιτήσεις συμπίκνωσης αυτών για χρήση τους σε επιχώματα ύψους $h \geq 15\text{m}$ και $< 15\text{m}$. (Από ΠΤΠ Χ-1, 1966).

Επιχώματα ύψους $h < 15\text{ m}$	Κοκκώδη υλικά με συνδετική ή όχι ύλη	Ομάδες Α-1, Α-2-4, Α-2-5 ή Α-3 (κατά AASHTO) Ομάδες Α-2-6, Α-2-7, Α-4, Α-6, Α-7 (κατά AASHTO) μόνο εφόσον επιτευχθεί συμπίκνωση $> 90\%$ της μέγιστης πυκνότητας	Συμπύκνωση τουλάχιστον 90% της μέγιστης πυκνότητας Proctor (Τροποποιημένη μέθοδος AASHTO T-180, D)
Επιχώματα ύψους $h \geq 15\text{ m}$	Κοκκώδη υλικά με συνδετική ή όχι ύλη	Ομάδες Α-1, Α-2-4, Α-2-5, Α-3 (κατά AASHTO)	Συμπύκνωση τουλάχιστον 90% της μέγιστης πυκνότητας Proctor (Τροποποιημένη μέθοδος AASHTO T-180, D)

Η τροποποιημένη δοκιμή συμπίκνωσης Proctor E105-86 που εφαρμόζεται είναι σύμφωνα με την : ΜΕΘΟΔΟ Α: Για εδαφικό υλικό με συγκρατούμενο ποσοστό στο κόσκινο Νο4 μικρότερο ή ίσο προς 7%.

ΜΕΘΟΔΟ Δ : Για εδαφικό υλικό με συγκρατούμενο ποσοστό στο κόσκινο Νο 4 μεγαλύτερο από 7%.

Σύμφωνα με την ίδια προδιαγραφή για τα υπεδάφη, όπου ανήκει και η ανώτερη στρώση των επιχωμάτων και των ορυγμάτων πάχους τουλάχιστον 30cm, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοκκώδη υλικά με συνδετική ή όχι ύλη που κατατάσσονται στις ομάδες Α-1, Α-2-4, Α-2-5, Α-3 (κατά AASHTO) και συμπτυκνώνονται μέχρι 95% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας Proctor (Τροποποιημένη

Πίνακας 11. Κατάταξη εδαφών κατά AASHTO

Γενική κατάταξη	Κοκκώδη (ή χονδρόκοκκα) εδαφικά υλικά, διερχόμενο % από το κόσκινο 0,075mm:<35							Λεπτόκοκκα (ιλλοαργιλώδη) εδαφικά υλικά, διερχόμενο % από το κόσκινο 0,075mm:>35				
Ομάδα κατάταξης	Α-1		Α-3	Α-2				Α-4	Α-5	Α-6	Α-7	
Υπό-ομάδες	Α-1-α	Α-1-β		Α-2-4	Α-2-5	Α-2-6	Α-2-7				Α-7-5	Α-7-6
Διερχ. % από κόσκινο: 2,00mm 0,425mm 0,075mm	50max 30max 15max	- 50max 25max	- 51max 10max	- - 35max	- - 35max	- - 35max	- - 35max	- - 36min	- - 36min	- - 36min	- - 36min	- - 36min
Χαρακτηριστικά (Διερχ. του 0,425mm) Όριο υδαρότητας Δείκτης πλαστικότητας Δείκτης Ομάδας	- 6 max 0	- 6 max 0	- 6 max 0	40max 10max 0	41max 10min 0	40max 11min 4max	41max 10min 4max	40max 10max 8max	41max 10max 12max	40max 11min 16max	41min 11min ^A 20max	41min 11min ^B 20max
Συνήθεις τύποι εδαφικών υλικών	Χαλίκια, άμμος και αμμοχάλικο		Λεπτή άμμος	Ιλυώδη ή αργιλώδη αμμοχάλικα				Ιλυώδη εδάφη		Αργιλώδη εδάφη		
Καταλληλότητα ως υπέδαφος	Εξαιρετικά έως καλά							Μέτρια έως ακατάλληλο				

A. Ο δείκτης πλαστικότητας της υποομάδας A-7-5 είναι μικρότερος ή ίσος από LL - 30.

B. Ο δείκτης πλαστικότητας της υποομάδας A-7-6 είναι μεγαλύτερος από LL - 30.

Δείκτης Ομάδας (Group Index): $GI=0.2 (F-35) + 0.005(LL-40) + 0.01 (F-15) (PI-10)$ όπου F:% διερχόμενα από το κόσκινο Νο 200 και PI ο δείκτης πλαστικότητας του υλικού.

μέθοδος AASHTO T-180, D). Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υλικά των ομάδων A-2-6, A-2-7, A-4, A-6, A-7 (κατά AASHTO) που να συμπυκνώνονται τουλάχιστον στο 95% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας Proctor με υγρασία 95-100% της βέλτιστης (Τροποποιημένη μέθοδος AASHTO T- 180, D).

Τα γαιώδη εδαφικά υλικά που είναι κατάλληλα για την κατασκευή επιχωμάτων, κατατάσσονται σε 5 κατηγορίες και δίδονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Κατηγορίες γαιωδών εδαφικών υλικών για οδικά έργα (δεν περιλαμβάνονται τα προϊόντα βραχωδών ορυγμάτων)(Πηγή: ΤΣΥ, ΟΣΜΕΟ ΕΟΑΕ 1998).

Κατηγορία εδαφικού υλικού	Χαρακτηριστικά υλικού	Όρια Atterberg	Μέγιστη πυκνότητα κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπίκνωσης (kg/m ³)	CBR ¹	Περιεκτικότητα σε οργανικά ³	Παρατηρήσεις ως προς τη δυνατότητα χρησιμοποίησης τους για επιχώματα
E1	Γαιώδες υλικό με μέγιστη διάσταση κόκκου D<200 mm Περιεκτικότητα σε κόκκους 200>D>150 mm μέχρι 25%	LL<40 ή LL<65 και PI>(0,6xLL-9)	>1.600	>3 και διόγκωση ² <3%	<2%	Αποδεκτό
E2	Μέγιστος κόκκος <100 mm Διερχόμενο % από No. 200<25%	LL<40	>1.940	>5 και διόγκωση ² <2%	<1%	Κατάλληλο
E3	Μέγιστος κόκκος <80 mm Διερχόμενο % από No. 200<25%	LL<30 και PI>10		>10 και διόγκωση ² =0	0%	Επίλεκτο Ι
E4	Μέγιστος κόκκος <80 mm Διερχόμενο % από No. 200<25%	LL<30 και PI>10		>20 και διόγκωση ² =0	0%	Επίλεκτο ΙΙ
E0	Εδαφικό υλικό που δεν ανήκει στις άλλες κατηγορίες					Ακατάλληλο

(1) CBR = Τιμή του Καλιφορνιακού Λόγου Φέρουσας Ικανότητας.

Η τιμή CBR προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο 12 των προδιαγραφών Εργαστηριακών Δοκιμών Εδαφομηχανικής (E 105-86) επί δοκιμίων, τα οποία συμπυκνώνονται στο 90% της μέγιστης πυκνότητας της Τροποποιημένης Δοκιμής Συμπύκνωσης (E 105-86 Μέθοδος 11), με τη βέλτιστη υγρασία και μετά από υδρεμποτισμό 4 ημερών.

(2) Κατά τη δοκιμή CBR.

(3) Θα προσδιορισθεί με τη μέθοδο της "υγρής οξείδωσης" (AASHTO T-194)

Όπου: LL = Όριο Υδαρότητας (E 105-86 Μέθοδος 5)

PI = Δείκτης Πλαστικότητας (E 105-86 Μέθοδος 6)

No. 200=Κόσκινο της Αμερικανικής σειράς προτύπων κόσκινων AASHTO M-92, ανοίγματος βροχίδας 0,074 mm

Το ανώτερο τμήμα των επιχωμάτων της οδικής αρτηρίας, κάτω από το οδόστρωμα που περιλαμβάνει τη στρώση έδρασης οδοστρώματος (Σ.Ε.Ο.), έχει συνήθως πάχος 40-50 cm και κατασκευάζεται από υλικά κατηγορίας E3 ή E4.

Το τμήμα του επιχώματος κάτω από τη Σ.Ε.Ο. και μέχρι το βάθος του 1m από τη στάθμη έδρασης του οδοστρώματος, κατασκευάζεται από υλικά της κατηγορίας E1

ή ανώτερης. Αποφεύγεται δηλαδή η χρήση αργιλικών υλικών της κατηγορίας E0 στο ανώτερο αυτό τμήμα του επιχώματος.

Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της συμπεριφοράς του επιχώματος μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλο καταμερισμό των προϊόντων εκσκαφής κατά τη χρησιμοποίησή τους για την κατασκευή επιχωμάτων. Συγκεκριμένα η χρήση αργιλικών υλικών της κατηγορίας E0 περιορίζεται μόνο στις επιχώσεις των Cut & Cover και στην κατασκευή επιχωμάτων οδοποιίας, ύψους έως 6m. Υψηλά επιχώματα, ύψους μεγαλύτερου των 6m, κατασκευάζονται εξ' ολοκλήρου με υλικά που κατατάσσονται στην κατηγορία E1 ή καλύτερη.

Απαγορεύεται έτσι να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή επιχωμάτων υψηλότερων των 6 m υλικά που ανήκουν στην κατηγορία E0 (ακατάλληλα). Επίσης απαγορεύεται η χρησιμοποίηση εδαφικών υλικών:

- Πρόσμικτων με φυτικές ουσίες (θάμνοι, ρίζες, φυτική γή, ριζόχωμα κλπ)
- Οργανούχων (περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά $\geq 30\%$ κ.β.)
- Θιξοτροπικών (π.χ. ρέουσα άργιλος)
- Διαλυτών (π.χ. έδαφος που περιέχει ορυκτό αλάτι ή γύψο)
- Ρυπαντικών (π.χ. βιομηχανικά απόβλητα)
- Μιγμάτων εδαφικών υλικών (περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά $> 5\%$ και $< 30\%$ κ.β.)
- Διογκούμενης αργίλου.

Επίσης θεωρούνται ως ακατάλληλα:

- Εδαφικά υλικά τα οποία περιέχουν διαλυτά θειικά άλατα σε ποσότητα εκφρασμένη ως SO_3 μεγαλύτερη από 1,9 gr ανά λίτρο, μετρούμενη σύμφωνα με τη μέθοδο BS 1377 δοκιμή 10, με λόγο νερού προς έδαφος 2:1. Αυτά τα υλικά δε θα χρησιμοποιούνται σε θέσεις που απέχουν λιγότερο από 50 cm, από κατασκευές σκυροδέματος, ή Κατεργασμένο Θραυστό Αμμοχάλικο με τσιμέντο (ΚΘΑ), ή Σταθεροποιημένο Εδαφικό Υλικό με τσιμέντο (ΣΕΥ).
- Υλικά με ολική περιεκτικότητα σε θειικά άλατα εκφρασμένα ως SO_3 μεγαλύτερη από 0,5% κατά βάρος, μετρούμενη σύμφωνα με τη μέθοδο BS 1377 δοκιμή 9 και δε θα χρησιμοποιούνται σε θέσεις που απέχουν λιγότερο από 50 cm από μεταλλικές κατασκευές.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται:

- Όταν υπάρχει πιθανότητα έκθεσης του πυρήνα σε νερά πλημμύρας. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μόνο υλικά κατηγορίας E2 ή E3 ή E4.
- Στην περίπτωση υλικών επιχωμάτων θα πρέπει να γίνεται χρήση επίλεκτου υλικού πάνω από το θεμέλιο, πάχους 1 μέτρου και στη συνέχεια συμπλήρωση με κατάλληλο υλικό σύμφωνα με τα παραπάνω.

3.5.1.1.3 Προετοιμασία της επιφάνειας θεμελίωσης

Πριν από τη διάστρωση του υλικού του επιχώματος απομακρύνονται τα επιφανειακά ακατάλληλα υλικά ή η φυτική γη και αντικαθίστανται με κατάλληλα υλικά, σύμφωνα με τις υποδείξεις της Υπηρεσίας.

Στη συνέχεια τα διαστρωμένα, κατάλληλα υλικά, συμπυκνώνονται προσεκτικά. Ολόκληρη η επιφάνεια έδρασης του επιχώματος συμπυκνώνεται

τουλάχιστον σε πυκνότητα ίση προς το 90% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που επιτυγχάνεται κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπίκνωσης Proctor. Η συμπίκνωση αυτή εκτείνεται σε βάθος τουλάχιστον 40 cm και σε πλάτος 2m μετά από το πόδι του επιχώματος, ή το λιγότερο μέχρι το όριο απαλλοτρίωσης, όπου υπάρχουν σχετικοί περιορισμοί πλάτους.

3.5.1.1.4 Έδραση επιχώματος σε περιοχές ειδικών συνθηκών

Για τη θεμελίωση του επιχώματος σε περιοχές με ασταθή εδάφη ο τρόπος θεμελίωσης καθορίζεται με βάση τα αποτελέσματα ειδικής εδαφοτεχνικής μελέτης.

Όταν πρόκειται να κατασκευασθούν επιχώματα σε έδαφος που η εγκάρσια κλίση του ως προς το οριζόντιο επίπεδο είναι μεγαλύτερη των 10°, απαιτείται να κατασκευαστούν πάνω στο φυσικό έδαφος βαθμίδες αγκύρωσης, ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος ολίσθησης του επιχώματος. Το ύψος και το πλάτος των βαθμίδων εξαρτάται από το είδος του υπεδάφους. Ειδικότερα το πλάτος των λωρίδων, των βαθμίδων και του επιχώματος πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπει την άνετη κίνηση των μηχανημάτων συμπίκνωσης (περίπου 2,5m), ενώ η κλίση τους προς το εσωτερικό του επιχώματος να είναι 6% ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Σε ειδικές περιπτώσεις και παρουσία νερών, μετά την εκτέλεση εδαφοτεχνικής μελέτης, μπορεί να χρειαστεί η κάθε βαθμίδα να έχει σύστημα σωλήνων αποστράγγισης.

3.5.1.1.5 Διάστρωση

Ακολουθεί η διάστρωση και η συμπίκνωση των στρώσεων του επιχώματος. Οι στρώσεις είναι συνεχείς, παράλληλες προς την υποδομή και ομοιόμορφου πάχους, τέτοιου ώστε, με τον διαθέσιμο εξοπλισμό, να επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος βαθμός συμπίκνωσης σ' όλο το πάχος τους. Το χαλαρό πάχος της κάθε στρώσης δεν πρέπει να είναι μικρότερο των 20cm για γαιώδη υλικά και μικρότερο των 40cm για τα βραχώδη. Εάν δεν έχει επαληθευθεί ότι η υποκείμενη στρώση συμμορφώνεται προς τις απαιτήσεις, δε διαστρώνεται καμία στρώση.

Εφόσον διαπιστωθεί ότι η περιεχόμενη υγρασία του υλικού που διαστρώθηκε δεν είναι η βέλτιστη που απαιτείται για την συμπίκνωση γίνεται διαβροχή του υλικού έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη ύγρανση του στην περίπτωση που απαιτείται αύξηση της υγρασίας. Εάν απαιτείται μείωσή της, γίνεται ξήρανση του υλικού με αερισμό ή ανάμιξη με στεγνά κατάλληλα εδαφικά υλικά ή με χημικά πρόσθετα όπως άσβεστο, υδράσβεστο κ.α..

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην περίπτωση που το επίχωμα θα πρέπει να θεμελιωθεί πάνω σε εδάφη μικρής φέρουσας ικανότητας, επειδή υπάρχει ο κίνδυνος να γίνει υπέρβαση του ορίου αντοχής του εδάφους. Μια τέτοια κατάσταση μπορεί να προληφθεί εάν προηγηθεί μια κατάλληλη διαστασιολόγηση του πάχους των πρώτων στρώσεων για την προστασία του εδάφους από τις φορτίσεις των οχημάτων μεταφοράς υλικού και των μηχανημάτων συμπίκνωσης.

Κατά την εκτέλεση των εργασιών, η επιφάνεια των στρώσεων πρέπει να έχει την απαραίτητη εγκάρσια κλίση (ελάχιστη κλίση +4% σε ευθυγραμμία, προς το εξωτερικό τμήμα του επιχώματος) για την εξασφάλιση της ταχείας απορροής των επιφανειακών νερών χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος διάβρωσης ή υπερβολικής διαβροχής του σώματος του επιχώματος. Πριν αλλά και κατά την εκτέλεση όλων των εργασιών λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα προστασίας του επιχώματος από την επίδραση του νερού της βροχής και του νερού των χείμαρρων, των ποταμών αλλά και του υπόγειου νερού.

3.5.1.1.6 Συμπύκνωση

Γενικά στοιχεία

Με τον όρο συμπύκνωση ορίζουμε την τεχνητή αύξηση της πυκνότητας του εδάφους με τη χρήση μηχανικών μέσων.

Η επαρκής συμπύκνωση των εδαφικών υλικών, που χρησιμοποιούνται σε επιχώματα και ορύγματα ακόμα και μετά την απομάκρυνση της φυτικής ύλης, είναι βασικότερη προϋπόθεση για την αποφυγή της πρόωρης καθίζησης καθώς και άλλων αρνητικών επιπτώσεων στο οδόστρωμα. Επαρκής συμπύκνωση διασφαλίζεται με την επιβολή κατάλληλης ενέργειας συμπύκνωσης επί του εδαφικού υλικού, όταν αυτό έχει την κατάλληλη (βέλτιστη) υγρασία συμπύκνωσης. Η επιβολή της αναγκαίας ενέργειας συμπύκνωσης επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλου μηχανήματος συμπύκνωσης και εκφράζεται σε συνάρτηση με τον αριθμό διελεύσεων, για το συγκεκριμένο βάρος του μηχανήματος. Η βέλτιστη υγρασία, ουσιαστικής σημασίας για τη συμπύκνωση συνεκτικών και ελαφρώς συνεκτικών εδαφών, καθορίζεται εργαστηριακά από τη δοκιμή Proctor.

Το πάχος της στρώσης που συμπεκνώνεται είναι μια ακόμα καθοριστική παράμετρος για την αποτελεσματική και ομοιόμορφη συμπύκνωση, σε όλο το βάθος. Το ενδεδειγμένο πάχος της προς συμπύκνωση στρώσης (χαλαρό πάχος) ή της τελικής συμπεκνωμένης στρώσης, είναι συνάρτηση του τύπου του μηχανήματος που χρησιμοποιείται και της κατηγορίας του εδαφικού υλικού. Οδοστρωτήρες λείου κυλίνδρου με δόνηση μπορούν να συμπεκνώσουν μεγαλύτερα πάχη στρώσεων απ' ότι οι αντίστοιχοι χωρίς δόνηση. Λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο σε συνεκτικά ή ελαφρώς συνεκτικά εδάφη ενώ είναι ακατάλληλοι για κοκκώδη μονόμικτα εδαφικά υλικά.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπύκνωση είναι η ταχύτητα κυλίνδρωσης, που δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3km/h και στην περίπτωση λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα, η πίεση των ελαστικών του θα πρέπει να είναι σταθερή, χωρίς αυξομειώσεις και καθορισμένη από τον κατασκευαστή.

Έτσι με βάση τον τύπο του μηχανήματος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και του εδαφικού υλικού που πρόκειται να συμπεκνωθεί, καθορίζεται ο αριθμός των διελεύσεων για συγκεκριμένο πάχος στρώσης, έπειτα από επί τόπου δοκιμές όπου καθορίζεται η σχέση μεταξύ αριθμού διελεύσεων και της επιτευχθείσας ξηρής πυκνότητας. Επαρκής είναι ο αριθμός των διελεύσεων, όταν η επιτευχθείσα ξηρή πυκνότητα είναι ίση ή λίγο μικρότερη της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που επιτυγχάνεται στο εργαστήριο. Συνήθως, επιζητούνται ποσοστά από 95% έως 100% της εργαστηριακής.

Θα πρέπει να αναφερθεί ακόμη ότι, η αναφορά στον ελάχιστο αριθμό διελεύσεων δε σημαίνει ότι το εδαφικό υλικό μπορεί να κυλινδρώνεται για πολύ μεγαλύτερο αριθμό διελεύσεων. Κάτι τέτοιο είναι αφενός αντισυμβατικό και χρονοβόρο αφετέρου μπορεί, ιδιαίτερα στα συνεκτικά εδάφη, να καταστρέψει και τη δομή της στρώσης και κατά συνέπεια τη διατμητική της αντοχή.

Συμπύκνωση των επιχωμάτων

Για τα επιχώματα οδικών έργων, αν δεν γίνεται ιδιαίτερη αναφορά σε ειδική μελέτη ή/ και σε ειδικούς όρους δημοπράτησης, πρέπει να εξασφαλίζεται ελάχιστη φαινόμενη ξηρή πυκνότητα τουλάχιστον ίση με το 90% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που καθορίζεται κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης PROCTOR (E105-86 Δοκιμή 11).

Για τα υψηλά επιχώματα ($H > 10 \text{ m}$) σε σημαντικά έργα (αυτοκινητοδρόμων, αρτηριών μεγάλης σημασίας, κλάδων κόμβων) πρέπει να διερευνάται η ανάγκη συμπύκνωσης με ελάχιστη φαινόμενη ξηρή πυκνότητα τουλάχιστον ίση με το 95% της μέγιστης πυκνότητας που επιτυγχάνεται κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης PROCTOR (E 105-86 Δοκιμή 11). Ο παραπάνω αυξημένος βαθμός συμπύκνωσης εφαρμόζεται μόνο στην περίπτωση που προβλέπεται σε εγκεκριμένη μελέτη ή περιλαμβάνεται στους όρους δημοπράτησης, ή διατάσσεται από την Υπηρεσία.

Σε περίπτωση κατασκευής επιχωμάτων από "ελευθέρως στραγγιζόμενα"¹¹ υλικά, για τα οποία η τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης PROCTOR (E105-86 Δοκιμή 11) δε δίνει σαφή καμπύλη για τον προσδιορισμό της μέγιστης ξηρής πυκνότητας, πρέπει να χρησιμοποιείται, εναλλακτικά, συμπύκνωση στις ακόλουθες τιμές της "σχετικής πυκνότητας" (D_r):

- Σχετική πυκνότητα τουλάχιστον 65%, για τις περιπτώσεις που ζητείται συμπύκνωση τουλάχιστον 90% της τροποποιημένης δοκιμής PROCTOR.
- Σχετική πυκνότητα τουλάχιστον 70% για τις περιπτώσεις που ζητείται συμπύκνωση τουλάχιστον 95% της τροποποιημένης δοκιμής PROCTOR.

Στα πλαίσια των ελέγχων συμπύκνωσης με τη μέθοδο της σχετικής πυκνότητας επιτρέπονται οι παρακάτω αποκλίσεις:

- Αν ο αριθμός των δοκιμών ελέγχων (N) κάθε στρώσης (ή θέσης ελέγχου) είναι $N < 5$ τότε, όλα τα επί μέρους αποτελέσματα πρέπει να βρίσκονται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.
- Αν ο αριθμός των δοκιμών ελέγχων (N) κάθε στρώσης (ή θέσης ελέγχου) είναι $5 < N < 10$ τότε επιτρέπεται, κάθε φορά, ένα (1) επί μέρους αποτέλεσμα να είναι μικρότερο από την απαιτούμενη σχετική πυκνότητα (D_r), όχι όμως περισσότερο από 10% του προσδιοριζόμενου κάτω ορίου αυτής.
- Αν ο αριθμός των δοκιμών ελέγχων (N) κάθε στρώσης (ή θέσης ελέγχου) είναι $N \geq 10$, τότε κάθε φορά ποσοστό 90% των αντιπροσωπευτικών δοκιμών που πραγματοποιούνται σε διαδοχικές θέσεις πρέπει να βρίσκεται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.

Η σχετική πυκνότητα ή πυκνότητα απόθεσης (D_r) ορίζεται ως εξής:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \cdot 100$$

όπου: e = είναι ο πραγματικός δείκτης πόρων του υλικού.

$e_{\max}$ = είναι ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί στην ελάχιστη πυκνότητα (δοκιμή προσδιορισμού ελάχιστης πυκνότητας ASTM D 4254-83).

$e_{\min}$ = είναι ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί στη μέγιστη πυκνότητα (δοκιμή προσδιορισμού μέγιστης πυκνότητας ASTM D 4253-83).

¹¹ Ως "ελευθέρως στραγγιζόμενα" υλικά θεωρούνται τα υλικά με ποσοστό κόκκων μεγέθους μικρότερου από 0,6 mm μέχρι 30% κ.β. και ποσοστό λεπτόκοκκου κλάσματος (διερχόμενου από το κόσκινο No 200) μέχρι 7% κ.β.

3.5.1.1.7 Κλιματικοί περιορισμοί στην κατασκευή γαιωδών επιχωμάτων

Τα γαιώδη επιχώματα δεν κατασκευάζονται όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό σκιά είναι μικρότερη από 2°C και γενικότερα όταν οι καιρικές συνθήκες δεν το επιτρέπουν (π.χ. έντονες βροχοπτώσεις, που προκαλούν αναμόχλευση της τελευταίας διαστρωμένης στρώσης λόγω της κυκλοφορίας των βαρέων μηχανημάτων μεταφοράς και διάστρωσης). Η Υπηρεσία έχει δικαίωμα να απαγορεύσει προσωρινά τις εργασίες κατασκευής, αν κρίνει ότι επικρατούν αντίξοες καιρικές συνθήκες.

3.5.1.1.8 Κυκλοφορία των οχημάτων

Κατά την κατασκευή των στρώσεων του επιχώματος, πριν και μετά τη συμπύκνωσή του απαγορεύεται η διέλευση των οχημάτων. Στην περίπτωση που κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό τα οχήματα πρέπει να κατανέμονται έτσι, ώστε να μην κυκλοφορούν πάνω από τα ίδια σημεία έτσι ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία αυλακώσεων από τους τροχούς τους (τροχαυλάκωση).

3.5.1.2 Κατασκευή επιχωμάτων από αργιλικά υλικά

3.5.1.2.1 Προέλευση - Ποιότητα

Πρόκειται για υλικά που προέρχονται από τις εκσκαφές που πραγματοποιούνται σε αργίλους και αργιλικές μάργες, καστανού έως τεφρού χρώματος, μέσης έως υψηλής πλαστικότητας, που χαρακτηρίζονται ως ακατάλληλα για την κατασκευή επιχωμάτων και κατατάσσονται γενικά στην κατηγορία Ε0.

3.5.1.2.2 Διαλογή - έλεγχος και κατάταξη υλικών εκσκαφής

Τα υλικά που προκύπτουν από την εκσκαφή των ορυγμάτων του έργου χρησιμοποιούνται για την κατασκευή επιχωμάτων μετά από κατάλληλη διαλογή, κατάταξη και έλεγχο.

Συγκεκριμένα για την κατάταξη των υλικών σε κάθε θέση του ορύγματος, σύμφωνα με την ¹²ΤΣΥ της ΕΟΑΕ, εκτελούνται αρχικά οι ακόλουθες δοκιμές με συχνότητα μία δοκιμή ανά 1.000m³ (για κάθε διακριτή εδαφική στρώση, με όγκο προϊόντων < 1.000m³ θα εκτελείται τουλάχιστον μία δοκιμή:

- Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα
- Προσδιορισμός ορίων Atterberg
- Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας

Βάσει των παραπάνω δοκιμών γίνεται η ομαδοποίηση και η κατάταξη των υλικών κατά USCS¹³ και AASHTO. Στη συνέχεια για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών και τον έλεγχο της καταλληλότητας των αργιλικών υλικών, που κατατάσσονται στις κατηγορίες A-6, A-7 κατά AASHTO, εκτελούνται σύμφωνα με την ΤΣΥ της ΕΟΑΕ οι παρακάτω δοκιμές με συχνότητα μία δοκιμή ανά 5.000 m³ (για κάθε διακριτή εδαφική στρώση, με όγκο προϊόντων < 5.000m³ εκτελείται τουλάχιστον μία δοκιμή):

- Τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης Proctor
- Προσδιορισμός ποσοστού οργανικών
- Δοκιμή προσδιορισμού λόγου CBR, με μέτρηση της διόγκωσης

¹² ΤΣΥ: Τεχνική Συγγραφή Υποχρεώσεων

¹³ USCS: United Soil Classification System, ASTM D-2487).

Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων διαχωρίζονται τα υλικά που θα χαρακτηριστούν ως ακατάλληλα και κατατάσσονται στην κατηγορία Ε0 των προδιαγραφών για οδικά έργα. Για την κατασκευή επιχωμάτων με τα υλικά αυτά, πρέπει να ληφθούν πρόσθετα μέτρα βελτίωσης, προστασίας και ελέγχου. Οι ειδικές προδιαγραφές για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τον έλεγχο των επιχωμάτων που περιγράφονται στη συνέχεια, αφορούν την κατασκευή επιχωμάτων με υλικά που κατατάσσονται στην κατηγορία Ε0 και περιέχουν οργανικά υλικά σε ποσοστό $\leq 5\%$.

Οργανικά ή μικτά εδάφη, που περιέχουν ποσοστό οργανικών $>5\%$ θεωρούνται ακατάλληλα και δε χρησιμοποιούνται για την κατασκευή επιχωμάτων.

3.5.1.2.3 Κατασκευή αργιλικών επιχωμάτων

Για την ικανοποιητική κατασκευή και συμπεριφορά των επιχωμάτων από τα παραπάνω αργιλικά υλικά με μέγιστο ύψος 6 m θεωρείται απαραίτητη η συστηματική παρακολούθηση και ο έλεγχος τόσο των υλικών που χρησιμοποιούνται όσο και του συμπυκνωμένου υλικού του επιχώματος. Για το λόγο αυτό απαιτείται η επιτόπου εγκατάσταση ανεξάρτητου Εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου, με αποκλειστική αρμοδιότητα την εφαρμογή των μεθόδων και του ελέγχου που περιγράφονται στη συνέχεια. Το εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου σύμφωνα με την ΤΣΥ της ΕΟΑΕ πρέπει να διαθέτει τον απαιτούμενο εξοπλισμό για την εκτέλεση των παρακάτω δοκιμών:

- Κοκκομέτρηση με κόσκινα και αραιόμετρο
- Προσδιορισμό ορίων Atterberg
- Προσδιορισμό φυσικής υγρασίας
- Προσδιορισμό ποσοστού οργανικών
- Προσδιορισμό επιτόπου πυκνότητας απόθεσης
- Τροποποιημένη δοκιμή συμπίκνωσης (modified Proctor)
- Εργαστηριακή δοκιμή προσδιορισμού λόγου φέρουσας ικανότητας CBR, με παράλληλη μέτρηση της διόγκωσης

Να διαθέτει επίσης το κατάλληλο προσωπικό, που θα περιλαμβάνει:

- Επιστημονικό διευθυντή εργαστηρίου 8ετούς τουλάχιστον εμπειρίας σε εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου έργων οδοποιίας.
- Τεχνικό προσωπικό (εργαστηριακοί βοηθοί) 5ετούς τουλάχιστον εμπειρίας σε έργα οδοποιίας

3.5.1.2.4 Έδραση αργιλικού επιχώματος

Η έδραση του αργιλικού επιχώματος γίνεται απευθείας στο φυσικό έδαφος αφού προηγηθεί η αφαίρεση των φυτικών γαιών. Η προστασία του πόδα του επιχώματος από επιφανειακές απορροές γίνεται με τη χρήση κατάλληλου συστήματος συλλογής νερών (π.χ. πλευρική τάφρο).

Ειδική εδαφοτεχνική μελέτη είναι απαραίτητο να γίνει στην περίπτωση που το επίχωμα πρόκειται να εδραστεί επάνω σε μαλακά ή διογκούμενα υλικά ή σε θέσεις όπου συναντάται υψηλός υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας.

3.5.1.2.5 Συμπύκνωση – Διάστρωση του αργιλικού επιχώματος

Κατά την κατασκευή του επιχώματος πρέπει να γίνεται καλή και προσεκτική συμπύκνωση του υλικού, ώστε το σώμα του επιχώματος να αποκτά την απαιτούμενη ομοιομορφία, αντοχή και φέρουσα ικανότητα και να αποφεύγονται σημαντικές καθιζήσεις ή αστοχίες στα πρανή.

Η διάστρωση και συμπύκνωση σύμφωνα με την ΤΣΥ της ΕΟΑΕ γίνεται σε στρώσεις, που είναι συνεχείς, παράλληλες προς την υποδομή και ομοιόμορφου αρχικού πάχους (προ της συμπύκνωσης), όχι μεγαλύτερου του 0,25m, ώστε να επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος βαθμός συμπύκνωσης σε όλο το πάχος.

Κατά τη συμπύκνωση των αργιλικών στρώσεων που βρίσκονται σε βάθος μεγαλύτερο του 1,0m από την έδραση του οδοστρώματος, πρέπει να εξασφαλίζεται ελάχιστη ξηρή φαινόμενη πυκνότητα τουλάχιστον ίση με το 90% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που επιτυγχάνεται κατά την τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης Proctor.

Η υγρασία του υλικού κατά τη συμπύκνωση πρέπει να είναι κατά 2-3% μεγαλύτερη της βέλτιστης κατά Proctor. Η υψηλή υγρασία κατά τη συμπύκνωση εξασφαλίζει τον κορεσμό του υλικού και την προστασία του από μεταβολές της υγρασίας και διόγκωση. Αν η υγρασία του υλικού είναι διαφορετική της επιδιωκόμενης τιμής, τότε διορθώνεται με κατάλληλη ύγρανση ή και ξήρανση.

Τα υλικά κάθε στρώσης πρέπει να έχουν κοινά χαρακτηριστικά, αλλιώς αναμιγνύονται με κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό. Εάν κατά την εκσκαφή προκύψουν οργανικά υλικά (π.χ. ενστρώσεις ξυλότη) συλλέγονται επιτόπου με κατάλληλη διαλογή και απομακρύνονται ενώ τα ευμεγέθη συμπαγή αργιλικά τεμάχια (συσσωματώματα) θρυμματίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό, έτσι ώστε να αποφεύγεται η ανομοιομορφία και ο κίνδυνος απώλειας της δομής των τεμαχίων αυτών σε περίπτωση διαβροχής, μετά την κατασκευή.

Κατά την κατασκευή του επιχώματος πρέπει να παίρνονται κατάλληλα μέτρα για την προστασία του από διαβροχή. Η διάστρωση του υλικού πραγματοποιείται όταν οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν και μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα, ώστε να αποφεύγεται η παρατεταμένη έκθεση της συμπυκνωμένης επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία. Η επιφάνεια μεταξύ των στρώσεων πρέπει να έχει την απαραίτητη εγκάρσια κλίση για την εξασφάλιση της απορροής. Εάν η υποκείμενη στρώση έχει μαλακώσει από διαβροχή δε γίνεται διάστρωση της επόμενης πριν από την αποκατάσταση των απαιτούμενων ιδιοτήτων. Η αποκατάσταση αυτή μπορεί να επιτευχθεί είτε με αναμόχλευση και επανασυμπύκνωση με διέλευση κατσκοπόδαρου, είτε, σε περίπτωση έντονης διαβροχής, με απόξεση και επανακατασκευή του χαλαρωμένου τμήματος.

Κατά την κατασκευή πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία επιφανειών ασυνέχειας. Τέτοιου είδους επιφάνειες μειωμένης αντοχής μπορεί να προκύψουν:

- Μεταξύ δύο διαδοχικών στρώσεων λόγω ξήρανσης της υποκείμενης στρώσης. Μπορεί να δημιουργηθεί ζώνη αυξημένης υγρασίας και μειωμένης αντοχής στο κατώτερο τμήμα της νέας στρώσης. Γι' αυτό πρέπει πριν την τοποθέτηση της επόμενης στρώσης να γίνεται ελεγχόμενη διαβροχή της επιφάνειας της υποκείμενης στρώσης.
- Δημιουργία λείων γυαλιστερών διατμητικών επιφανειών λόγω της κίνησης των μηχανημάτων ή και της παρουσίας υλικών πολύ χαμηλής αντοχής. Περίπτωση βροχής ή διαβροχής αυξάνει αυτό το ενδεχόμενο. Σε περίπτωση που δημιουργούνται τέτοιου είδους επιφάνειες πρέπει να γίνεται αναμόχλευση του υλικού πριν την τοποθέτηση της νέας στρώσης.

3.5.1.2.6 Προστασία επιχώματος από αργιλικά υλικά

Τα πρανή των επιχωμάτων από αργιλικά υλικά πρέπει να καλύπτονται με μια στρώση φυτικού εδάφους. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να αποφύγουμε την ανεπιθύμητη διαβροχή του αργιλικού υλικού που οδηγεί στην χαλάρωση και στην διόγκωση του. Παράλληλα όμως υπάρχει πάντα ο κίνδυνος λόγω της πολύ χαμηλής υδροπερατότητας του αργιλικού σώματος του επιχώματος, σε περίπτωση ισχυρής βροχόπτωσης να προκληθεί υπερκορεσμός και αστοχία της φυτικής στρώσης. Για να αποφευχθεί ένα τέτοιο ενδεχόμενο, αλλά και για την προστασία των πρανών κατά την κατασκευή προτείνεται η τοποθέτηση στραγγιστηρίου συμπυκνωμένου αμμοχάλικου πάχους περίπου 50cm, σε όλη την επιφάνεια των πρανών των επιχωμάτων και κάτω από τη στρώση των φυτικών. Η στραγγιστική στρώση διοχετεύει τα νερά που συλλέγονται σε κατάλληλο σύστημα απορροής (π.χ. πλευρική τάφρο) δίπλα στον πόδα του πρανούς του επιχώματος.

3.5.1.2.7 Ποιοτικός έλεγχος του αργιλικού επιχώματος

Μετά την ολοκλήρωση της συμπύκνωσης κάθε στρώσης γίνονται οι έλεγχοι των ιδιοτήτων του συμπυκνωμένου επιχώματος που αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί, με τις αντίστοιχες συχνότητες:

Πίνακας 13. Συχνότητα και είδος δοκιμών συμπυκνωμένης στρώσης του επιχώματος, (από ΤΣΥ της ΕΟΑΕ).

Δοκιμή	Συχνότητα
Προσδιορισμός επιτόπου υγρασίας αμέσως μετά τη συμπύκνωση	Τουλάχιστον μία δοκιμή ανά 500 m ³ για κάθε συμπυκνωμένη στρώση
Προσδιορισμός επιτόπου πυκνότητας	
Τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης (Modified Proctor)	Τουλάχιστον μία δοκιμή ανά 2000 m ³ για κάθε συμπυκνωμένη στρώση
Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινο	Τουλάχιστον μία δοκιμή ανά 1000 m ³ για κάθε συμπυκνωμένη στρώση
Προσδιορισμός ορίων Atterberg	

Από τους ελέγχους αυτούς κρίνεται εάν έχει επιτευχθεί το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα ως προς την υγρασία και την πυκνότητα του συμπυκνωμένου υλικού, όπως αυτό καθορίζεται στις προδιαγραφές του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε και την ΠΤΠ.Χ1.

3.5.1.2.8 Κατασκευή δοκιμαστικού επιχώματος

Για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και των μεθόδων κατασκευής των αργιλικών επιχωμάτων κατασκευάζεται δοκιμαστικό επίχωμα με την έναρξη του έργου. Το δοκιμαστικό επίχωμα αποσκοπεί:

- Στην επιλογή των κατάλληλων μηχανημάτων συμπύκνωσης
- Στον προσδιορισμό του ρυθμού διέλευσης των μηχανημάτων
- Στην εκτίμηση του ικανοποιητικού βαθμού συμπύκνωσης και του ικανοποιητικού θρυμματισμού των συσσωματωμάτων (αργιλικών τεμαχών)
- Στον έλεγχο των γεωμηχανικών χαρακτηριστικών του συμπυκνωμένου επιχώματος και συγκεκριμένα του μέτρου συμπίεσης και της διατμητικής του αντοχής.

Προτείνεται η κατασκευή δύο δοκιμαστικών επιχωμάτων, διαστάσεων 20m×40m το καθένα. Τα δοκιμαστικά επιχώματα κατασκευάζονται αποκλειστικά από

αργιλικά υλικά, που κατατάσσονται στην κατηγορία E0, και σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κεφαλαίου 4 της ΠΤΠ Χ1. Η συμπύκνωση του ενός επιχώματος γίνεται σε στρώσεις ομοιόμορφου αρχικού πάχους (πριν τη συμπύκνωση) 0,25m και του άλλου σε στρώσεις πάχους της τάξης των 0,35m. Κάθε δοκιμαστικό επίχωμα αποτελείται από πέντε (5) συνολικά στρώσεις.

Κατά την κατασκευή κάθε στρώσης και για καθένα από τα δύο δοκιμαστικά επιχώματα γίνεται χωροστάθμιση της επιφανείας της στρώσης και μετριέται για κάθε διέλευση του μηχανήματος συμπύκνωσης η καθίζηση της επιφάνειας της στρώσης σε προκαθορισμένες θέσεις, σε κάρναβο 5×5m. Με βάση τις μετρήσεις αυτές συντάσσονται για κάθε στρώση διαγράμματα εξέλιξης των καθιζήσεων με τον αριθμό διελεύσεων.

Εκτός από την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του επιχώματος κατά τη συμπύκνωση, πραγματοποιούνται οι έλεγχοι των ιδιοτήτων του συμπυκνωμένου δοκιμαστικού επιχώματος που αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί, με τις αντίστοιχες συχνότητες:

Πίνακας 14. Συχνότητα, σκοπός και είδος δοκιμών των συμπυκνωμένων στρώσεων του δοκιμαστικού επιχώματος για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του (από ΤΣΥ της ΕΟΑΕ).

Δοκιμή	Συχνότητα	Σκοπός
Κοκκομετρική ανάλυση	από δύο δοκιμές ανά στρώση για κάθε επίχωμα	Κατάταξη του υλικού
Προσδιορισμός ορίων Atterberg		
Τροποποιημένη δοκιμή συμπύκνωσης (Modified Proctor)	δύο δοκιμές σε καθένα δοκιμαστικό επίχωμα	Έλεγχος χαρακτηριστικών με βάση τις προδιαγραφές
Προσδιορισμός επιτόπου υγρασίας	από δύο δοκιμές σε κάθε στρώση κατασκευασμένου επιχώματος	Προσδιορισμός χαρακτηριστικών συμπυκνωμένου επιχώματος
Προσδιορισμός επιτόπου πυκνότητας		
Δοκιμαστική φόρτιση πλάκας	τρεις δοκιμές σε καθένα δοκιμαστικό επίχωμα	Προσδιορισμός μέτρου συμπίεσης
Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης	από δύο δοκιμές σε αδιατάρακτα δείγματα από καθένα κατασκευασμένο επίχωμα	Προσδιορισμός διατμητικής αντοχής
Τριαξονική δοκιμή CUPP		

Ο τελικός καθορισμός του είδους, των θέσεων και της συχνότητας των ελέγχων και των μετρήσεων για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του δοκιμαστικού επιχώματος γίνεται από την Υπηρεσία ανάλογα και με τα επιτόπου ευρήματα.

Με βάση την παρακολούθηση και τους ελέγχους του δοκιμαστικού επιχώματος οριστικοποιείται η μέθοδος κατασκευής των επιχωμάτων, σε ό,τι αφορά τον απαιτούμενο εξοπλισμό, τον αριθμό διελεύσεων και το πάχος των στρώσεων και ελέγχονται οι προδιαγραφές ως προς τον απαιτούμενο βαθμό συμπύκνωσης, καθώς και η ευστάθεια και συμπεριφορά των επιχωμάτων, ανάλογα με το ύψος τους.

3.5.1.2 Βραχώδη επιχώματα

3.5.1.2.1 Υλικά βραχωδών επιχωμάτων

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των βραχωδών επιχωμάτων είναι προϊόντα που προέρχονται από τις εκσκαφές βραχωδών ορυγμάτων. Είναι δυνατόν, ύστερα από σχετική έγκριση, να χρησιμοποιούνται πάσης φύσης κατάλληλα υλικά προερχόμενα από δανειοθαλάμους. Στις περιπτώσεις αυτές οι θέσεις των δανειοθαλάμων εκσκαφής υποδεικνύονται από την Υπηρεσία ή εγκρίνονται από την Υπηρεσία σύμφωνα με την Ε.Σ.Υ. και τους λοιπούς ειδικούς όρους δημοπράτησης.

Πριν αρχίσει η εκσκαφή των βραχωδών υλικών απομακρύνονται τα εδαφικά υλικά ή η εξαλλοιωμένη επιφανειακή στρώση του βράχου, καθώς επίσης και τμήματα του ακατάλληλου εδαφικού υλικού που εμφανίζεται μέσα στο βραχώδη σχηματισμό κατά την εκσκαφή των βραχωδών υλικών.

Η εκσκαφή του βράχου γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η μορφή και η κοκκομετρία των βραχωδών υλικών που παράγονται να είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια για τη χρήση τους. Μετά το τέλος της εκσκαφής μπορεί να γίνει παραπέρα θραύση του υλικού ή απομάκρυνση του, εάν αυτό βρίσκεται εκτός ορίων. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στον τρόπο φόρτωσης και μεταφοράς του υλικού, έτσι ώστε να αποφεύγεται ο διαχωρισμός του και η αλλοίωση της μορφής των κόκκων του.

3.5.1.2.2 Ποιότητα πετρώματος

Τα πετρώματα από τα οποία προέρχονται τα βραχώδη υλικά διακρίνονται σε κατάλληλα, ακατάλληλα και σε εκείνα που απαιτούν ειδική εργαστηριακή μελέτη.

Στα κατάλληλα πετρώματα περιλαμβάνονται οι γρανίτες, πορφυρίτες, γρανοδιορίτες, γάβροι, οφίτες, ανδεσίτες, βασάλτες, δολομίτες, μάρμαρα κ.α.

Στα ακατάλληλα πετρώματα περιλαμβάνονται οι σερπεντινίτες, φυλλίτες, ανυδρίτες, γύψος, διαλυτοί βράχοι και γενικά τα πετρώματα που αποσυντίθενται με την έκθεσή τους στις επιδράσεις του καιρού ή που θραύονται σε σημαντικό βαθμό, ή κονιοποιούνται ή αποκτούν δυσμενή υφή με τη συμπίκνωση.

Κοκκομετρική διαβάθμιση

Η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Η μέγιστη διάσταση κόκκου (D) του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τα 2/3 του πάχους της κάθε χαλαρής στρώσης.
- Η περιεκτικότητα κατά βάρος του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο της μιας ίντσας (1") να είναι μικρότερη από 30%, και του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200 μικρότερη από 10%.

Οι απαιτήσεις αυτές αφορούν το ασυμπύκνωτο υλικό από το οποίο λαμβάνονται δείγματα για την εξακρίβωση της τήρησης των απαιτήσεων, γιατί κατά τη διάστρωση και τη συμπίκνωση το υλικό μπορεί να υφίσταται αλλαγές που να μεταβάλλουν την αρχική του κοκκομετρική διαβάθμιση.

Επιπλέον το υλικό πρέπει να έχει κοκκομετρική καμπύλη σύμφωνη με τις απαιτήσεις που αναφέρονται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 15 : Κοκκομετρική καμπύλη υλικών βραχωδών επιχωμάτων (από ΤΣΥ της ΕΟΑΕ)

Διάσταση κόκκου	Ποσοστό κατά βάρος διερχόμενου υλικού [%]
D	90 - 100
D/4	45 - 60
D/16	25 - 45
D/64	15 - 35

Όπου D = H μέγιστη διάσταση του κόκκου.

Η κοκκομετρική αυτή διαβάθμιση είναι ενδεικτική και μπορεί να τροποποιηθεί με βάση τα αποτελέσματα που λαμβάνονται κατά την κατασκευή του δοκιμαστικού τμήματος.

Μορφή κόκκων

Το ποσοστό των κόκκων που παρουσιάζουν ακατάλληλη μορφή πρέπει να είναι μικρότερο από 30%. Ως ακατάλληλη μορφή θεωρείται αυτή που έχουν οι κόκκοι για τους οποίους ισχύει η σχέση:

$$\frac{L + G}{2E} \geq 3$$

όπου: **L** = η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο παράλληλων επιπέδων που εφάπτονται στο κόκκο.

G = η ελάχιστη διάμετρος κυκλικής οπής δια της οποίας μπορεί να διέλθει ο κόκκος.

E = η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο παράλληλων επιπέδων που εφάπτονται στον κόκκο.

Οι τιμές **L**, **G** και **E** μπορούν να προσδιορίζονται προσεγγιστικά και δεν είναι υποχρεωτικό να μετρούνται σε τρεις κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις.

3.5.1.2.3 Προετοιμασία της επιφάνειας θεμελίωσης

Πριν αρχίσει η διάστρωση και η συμπύκνωση των βραχωδών υλικών γίνεται ο καθαρισμός, η εκρίζωση και η απομάκρυνση των επιφανειακών ακατάλληλων υλικών ή της φυτικής γης μέχρι το απαιτούμενο βάθος.

Όταν είναι αναγκαία η κατασκευή βραχώδους επιχώματος απ' ευθείας πάνω σε ασταθή εδάφη, διαταραγμένα ή πάνω σε μαλακές αργίλους, γίνεται εξυγίανση της στρώσης έδρασης του επιχώματος με στερεοποίηση ή απομάκρυνση του υλικού αυτού. Αν κοντά στη στάθμη έδρασης του επιχώματος υπάρχει βράχος μπορεί να απομακρύνεται το υπερκείμενο του βράχου υλικό και η έδραση του επιχώματος να γίνεται κατ' ευθείαν πάνω στο βράχο, πάντα μετά από τη σύμφωνη γνώμη της Υπηρεσίας.

3.5.1.2.4 Διάστρωση

Η διάστρωση γίνεται σε επάλληλες στρώσεις ομοιόμορφου πάχους παράλληλες στην επιφάνεια θεμελίωσης. Η αρχική επιφάνεια μορφώνεται με κατάλληλη κλίση ώστε να επιτρέπεται η άμεση αποστράγγιση και η αποχέτευση των νερών.

Το υλικό κάθε στρώσης εκφορτώνεται στο έργο πάνω σε τμήμα της ίδιας στρώσης και κοντά στο άκρο προώθησης (μέτωπο κατασκευής). Από τη θέση αυτή προωθείται μέχρι το μέτωπο κατασκευής και διαστρώνεται πέρα απ' αυτό με τρόπο που να ελαχιστοποιείται η απόμιξή του. Το πάχος της κάθε στρώσης εξαρτάται από την ικανότητα των μηχανημάτων συμπίκνωσης που θα χρησιμοποιηθούν, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη συμπίκνωση.

Το μέγιστο πάχος του πυρήνα μετά τη συμπίκνωση του είναι 1 m, ενώ για το μεταβατικό τμήμα το πάχος πρέπει να μειώνεται από κάτω προς τα πάνω ώστε να υπάρχει βαθμιαίο βήμα από τον πυρήνα προς την ανώτερη στάθμη του επιχώματος. Ειδικότερα για το ανώτερο τμήμα επιχώματος πάχους 2m, η κατώτερη στρώση θα πρέπει να έχει διάσταση κόκκων μικρότερη των 200mm, ενώ για την τελευταία στρώση πάχους 15cm η διάσταση των κόκκων να είναι μικρότερη των 75mm.

Μεταξύ δύο συνεχόμενων στρώσεων πρέπει να τηρούνται σύμφωνα με την ΤΣΥ της ΕΟΑΕ:

$$\frac{I_{15\%}}{S_{85\%}} < 5 \text{ και } \frac{I_{50\%}}{S_{50\%}} < 25$$

όπου: I_x = Το άνοιγμα του κόσκινου, από το οποίο διέρχεται το x% κατά βάρος του υλικού της κάτω στρώσης

S_x = Το άνοιγμα του κοσκίνου, από το οποίο διέρχεται το x% κατά βάρος του υλικού της άνω στρώσης

3.5.1.2.5 Συμπύκνωση

Η μέθοδος συμπίκνωσης που επιλέγεται τελικά πρέπει να διασφαλίζει την επίτευξη των απαιτούμενων συμπτυκνώσεων. Για το λόγο αυτό πρέπει να επιλέγεται κατάλληλα, για κάθε τμήμα του επιχώματος, η κοκκομετρία του υλικού, το πάχος στρώσης, ο τύπος του εξοπλισμού συμπίκνωσης και ο αριθμός διελεύσεων του. Οι μεταβλητές αυτές προσδιορίζονται από την κατασκευή του δοκιμαστικού τμήματος.

Για τη συμπίκνωση χρησιμοποιούνται δονητικοί οδοστρωτήρες ελκυσόμενοι ή αυτοπροωθούμενοι με στατικό γραμμικό φορτίο (του τυμπάνου και του φερόμενου τμήματος του πλαισίου) μεγαλύτερο από 25 kgf (κατηγορία V2 και άνω των Γαλλικών Προδιαγραφών Οδοποιίας). Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν στατικοί οδοστρωτήρες με κυλίνδρους με ορθογωνικό πλέγμα σιδηρών ράβδων (GRID ROLLERS) με στατικό φορτίο μεγαλύτερο από 80 kgf.

Η συμπίκνωση βάσει της ΤΣΥ θεωρείται ότι ολοκληρώθηκε όταν μεταξύ δύο διαδοχικών διελεύσεων του εξοπλισμού συμπίκνωσης, δε μετριέται υποχώρηση μεγαλύτερη από 0,7 cm στο θεμέλιο και τον πυρήνα και από 0,3 cm στο μεταβατικό τμήμα.

Η υποχώρηση μετριέται με χαλύβδινο μάρτυρα διαστάσεων 40 x 40 cm, από λαμαρίνα πάχους τουλάχιστο 15 mm, με κατάλληλη διαμόρφωση έδρασης. Ο μάρτυρας αυτός θα πρέπει να διατηρείται οριζόντιος κατά τη διέλευση του εξοπλισμού συμπίκνωσης και τοποθετείται στις θέσεις υψομετρικού ελέγχου.

Ανεξάρτητα από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, ορίζεται ως "ελάχιστη απαίτηση συμπίκνωσης" η διέλευση, σε κάθε συμπτυκνόμενη στρώση, τουλάχιστον

έξι φορές δονητικού οδοστρωτήρα με στατικό γραμμικό φορτίο (του τυμπάνου και του φερόμενου τμήματος του πλαισίου) μεγαλύτερου από 25 kgf ή στατικού οδοστρωτήρα με κυλίνδρους με ορθογωνικό πλέγμα σιδηρών ράβδων (GRID ROLLERS) με στατικό φορτίο του κυλίνδρου μεγαλύτερο από 80 kgf.

3.5.1.2.6 Κατασκευή δοκιμαστικού τμήματος

Ο Ανάδοχος προτείνει γραπτώς στην Υπηρεσία τη μέθοδο κατασκευής που θεωρεί πιο κατάλληλη για κάθε τύπο υλικού, με τρόπο ώστε να πληρούνται όλες οι προδιαγραφές.

Στην πρόταση περιέχονται :

- Χαρακτηριστικά όλου του μηχανικού εξοπλισμού
- Μέθοδος εκσκαφής, φόρτωσης και μεταφοράς των πετρωδών υλικών
- Μέθοδος διάστρωσης
- Πάχος στρώσεων, μέθοδος συμπύκνωσης και αριθμός διελεύσεων του εξοπλισμού.
- Εμπειρίες του προτεινόμενου τρόπου κατασκευής, με ανάλογα υλικά.

Η έγκριση της προτεινόμενης μεθόδου εξαρτάται από την επί τόπου δοκιμή της, εκτός αν υπάρχει αρκετή εμπειρία πάνω σ' αυτήν. Η δοκιμή αυτή αποτελείται από τη κατασκευή ενός δοκιμαστικού τμήματος με όγκο τουλάχιστον ίσο με 3.000m^3 , με στόχο την επαλήθευση της καταλληλότητας της προτεινόμενης μεθόδου ή ανάλογα, την αναπροσαρμογή της.

Κατά την κατασκευή του δοκιμαστικού βραχώδους επιχώματος, προσδιορίζεται η κοκκομετρία του προσφάτως εκσκαφθέντος υλικού και η κοκκομετρία και πυκνότητα του συμπυκνωμένου υλικού. Για να προσδιοριστούν αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται αντιπροσωπευτικά δείγματα όχι μικρότερα από 4m^3 όγκου. Γίνονται τουλάχιστον 10 δοκιμές κάθε τύπου. Επίσης επιθεωρούνται οι παρείς των τομών που γίνονται στο επίχωμα για να προσδιορισθούν τα χαρακτηριστικά που έχουν ελάχιστη επιφάνεια 4m^2 . Ελέγχονται με τοπογραφικές μεθόδους οι επιφανειακές παραμορφώσεις του επιχώματος μετά από κάθε διέλευση του εξοπλισμού συμπύκνωσης, καθώς και η μέση πυκνότητα του συμπυκνωμένου υλικού.

Η Υπηρεσία αποφασίζει για την έγκριση, τροποποίηση ή απόρριψη της προτεινόμενης μεθόδου, ανάλογα με τα αποτελέσματα του δοκιμαστικού τμήματος.

3.5.1.2.7 Ανοχές των περατωμένων επιφανειών

Οι περατωμένες επιφάνειες του πυρήνα και του μεταβατικού επιχώματος επαληθεύονται με υψομετρικούς πασσάλους με ακρίβεια 1 cm, τοποθετημένους στον άξονα της κατασκευής και κάθετα σ' αυτόν, σε αποστάσεις μικρότερες των 20 m.

Βρίσκονται οι διαφορές μεταξύ των πραγματικών ορίων των πασσαλωμένων σημείων και των θεωρητικών ορίων, σύμφωνα με τα σχέδια όπου προσδιορίζονται οι ακραίες αλγεβρικές τιμές αυτών των διαφορών, για τμήματα μήκους όχι μικρότερου των 100 m. Θεωρούνται θετικές οι διαφορές που αντιστοιχούν σε σημεία τοποθετημένα πάνω από τη θεωρητική επιφάνεια. Πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω απαιτήσεις:

- Αν το ημιάθροισμα των ακραίων τιμών είναι θετικό, πρέπει να είναι μικρότερο του 1/5 του πάχους της τελευταίας στρώσης
- Αν το ημιάθροισμα των ακραίων τιμών είναι αρνητικό, η απόλυτη τιμή του πρέπει να είναι μικρότερη του 1/2 του πάχους της τελευταίας στρώσης

- Η ημιδιαφορά των ακραίων τιμών πρέπει να είναι μικρότερη των 5 cm για την επιφάνεια του μεταβατικού επιχώματος

Αν δεν πληρείται η πρώτη συνθήκη εκσκάπτεται η τελευταία κατασκευασμένη στρώση και κατασκευάζεται άλλη με σωστό πάχος. Αν δεν πληρείται η δεύτερη συνθήκη κατασκευάζεται νέα στρώση με σωστό πάχος. Αν δεν πληρείται η τρίτη συνθήκη προστίθεται ισοπεδωτική στρώση με ελάχιστο πάχος τουλάχιστον 15 cm πάνω στον πυρήνα ή των 10 cm πάνω στο μεταβατικό επίχωμα, αποτελούμενη από κοκκώδες υλικό καλά διαβαθμισμένο, με μηχανικά χαρακτηριστικά όχι κατώτερα απ' αυτά του υλικού του βραχώδους επιχώματος και με μέγιστο μέγεθος 10 cm ή 6 cm, αντίστοιχα.

3.5.1.2.8 Υποχωρήσεις επιχωμάτων, επιχωματώσεων διαμόρφωσης χώρων κ.λ.π.

Οι διαστάσεις, κλίσεις, γραμμές και τα υψόμετρα των επιχωματώσεων διαμόρφωσης χώρων κλπ. που φαίνονται στα συμβατικά σχέδια είναι τα τελικά, δηλαδή εκείνα που θα έχουν τα έργα μετά την αναμενόμενη συνίζηση του υλικού επιχωμάτων - επιχωματώσεων διαμόρφωσης χώρων και την καθίζηση του εδάφους με το φορτίο του επιχώματος ή επιχωμάτωσης διαμόρφωσης χώρου.

Ο Ανάδοχος υποχρεώνεται να προσδώσει, είτε με μια, είτε με διαδοχικές συμπληρώσεις, τόση επαύξηση στο ύψος και το πλάτος αυτών, όση θα απαιτηθεί για την αντιστάθμιση των υποχωρήσεων κάθε είδους.

Τα επιπλέον αυτά υλικά δεν πληρώνονται στον Ανάδοχο. Θα πρέπει ο Ανάδοχος κατά την προσφορά του να έχει λάβει υπόψη του, ότι στην πραγματικότητα θα κατασκευάσει πραγματικό όγκο επιχωμάτων - επιχωματώσεων (και δανειοληψία) μεγαλύτερο από αυτόν που προκύπτει από τα συμβατικά σχέδια και τεύχη (γεωμετρικό όγκο).

Αυτή η απώλεια λαμβάνεται υπόψη από τον Ανάδοχο στον υπολογισμό των πραγματικών συνθηκών ισοζυγίου χωματισμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΕΡΓΑ ΟΔΟΣΤΡΩΣΙΑΣ

4.1 Πρότυπη τεχνική προδιαγραφή Ο 150

Κατασκευή υποβάσεων οδοστρωμάτων από αδρανή υλικά σταθεροποιημένου τύπου

Η προδιαγραφή Ο 150 αφορά την προμήθεια και τη μεταφορά στο έργο αμμοχάλικου, θραυστού ή μη, από ποτάμια, χείμαρρους, θαλάσσιες αποθέσεις και ορυχεία ή θραυστού υλικού από λίθους λατομείων, χείμαρρους, θάλασσας ή από άλλες πηγές κατάλληλες για την κατασκευή υποβάσεων οδών, αεροδρομίων κ.λ.π., την παραγωγή των υλικών και την κατασκευή των υποβάσεων, καθώς και την εφαρμογή των όσων προδιαγράφονται σε αυτήν για την σύνταξη μελετών τέτοιου είδους οδών.

Το θραυστό ή φυσικό υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή των υποβάσεων αποτελείται από σκληρά, υγρή και ανθεκτικά τεμάχια της εκάστοτε προσδιοριζόμενης κοκκομετρικής διαβάθμισης. Ως χονδρόκοκκο υλικό ορίζεται το κλάσμα του υλικού που συγκρατείται από το κόσκινο Νο4, τετραγωνικής οπής με πλευρά 4,76mm, ενώ ως λεπτόκοκκο υλικό ή άμμος αυτό που διέρχεται από το ίδιο κόσκινό.

Πίνακας 16. Κοκκομετρική διαβάθμιση σύμφωνα με την ΠΤΠ Ο 150 (AASHTO T-11 & T-27)

Αριθμός κόσκινου Αμερικανικά πρότυπα κόσκινων (AASHTO: M-92)		Διερχόμενο % (κατά βάρος)				
Άνοιγμα οπής		Διαβάθμιση Α	Διαβάθμιση Β	Διαβάθμιση Γ	Διαβάθμιση Δ	Διαβάθμιση Ε
Κόσκινο	mm					
3''	76,2	100	-	-	-	-
2''	50,8	65-100	100	-	-	-
1½''	38,1	-	70-100	100	-	-
1¼''	31,7	-	-	-	100	-
1''	25,4	45-75	55-85	70-100	83-100	100
¾''	19,1	-	50-80	60-90	65-95	70-100
⅜''	9,52	30-60	40-70	45-75	47-77	50-80
No 4	4,76	25-50	30-60	30-60	33-63	35-65
No 10	2,00	20-40	20-50	20-50	23-50	25-30
No 40	0,42	10-25	10-30	10-30	13-30	15-30
No 200	0,075	3-10	5-15	5-15	5-15	5-15

Το αργό υλικό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της υπόβασης πρέπει να είναι καθαρό, ομοιόμορφης ποιότητας, συμπαγές και απαλλαγμένο από φυτικές ή άλλης φύσης ξένες προσμίξεις. Επίσης δεν θα πρέπει να περιέχει χώματα, βόλους αργίλου κ.λ.π., οποιασδήποτε φύσης περιβλήματα (ιδίως αργιλούχα), πλακοειδή, αποσθρωμένα ή εύθρυπτα και σχιστολιθικά τεμάχια. Η μορφή των κόκκων του υλικού θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν κυβική. Η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού πρέπει να είναι ομαλή, χωρίς έντονες

διακυμάνσεις της κοκκομετρικής καμπύλης, και να ακολουθεί μια από τις διαβαθμίσεις όπως αυτές ορίζονται στον παρακάτω πίνακα. Ο έλεγχος της κοκκομετρικής διαβάθμισης γίνεται σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους A.A.S.H.O: T-11 και A.A.S.H.O: T-27 και θα πρέπει να γίνεται καθημερινά έτσι ώστε το υλικό που χρησιμοποιείται να πληροί όλες τις απαιτήσεις.

Η φθορά του χονδρόκοκκου υλικού σε κρούση και τριβή, προσδιοριζόμενη από την Πρότυπη Μέθοδο Los Angeles AASHTO T-96 (διαβάθμιση A, 500 στροφές), δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 50%. Σύμφωνα με την ΤΣΥ της ΕΟΑΕ για τις υποβάσεις από θραυστό ή συλλεκτό αμμοχάλικο μη κατεργασμένο (χωρίς συνδετικό υλικό) η φθορά σε τριβή και κρούση που προσδιορίζεται κατά την παραπάνω μέθοδο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 40%.

Το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No 40 (0,42mm.) πρέπει να έχει όριο υδαρότητας (LL: Liquid Limit) μικρότερο ή ίσο του 25 και δείκτη πλαστικότητας (PI: Plasticity Index) όχι μεγαλύτερο του 4 με βάση την εκτέλεση των πρότυπων δοκιμών AASHTO T-80 και AASHTO T-91 αντίστοιχα, με προσέγγιση ακέραιας μονάδας. Σε ειδικές περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει υλικό με $PI \leq 4$ και ύστερα από εργαστηριακές δοκιμές και την έγκριση της Υπηρεσίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί υλικό με PI μέχρι 5.

Το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No 4 (4,76mm) πρέπει να έχει ισοδύναμο άμμου (Sand Equivalent) μεγαλύτερο του 40 και προσδιορίζεται βάσει της Πρότυπης Μεθόδου AASHTO T-176.

Στην περίπτωση χρησιμοποίησης θραυστού υλικού, ποσοστό τουλάχιστον 50% του συγκρατούμενου στο κόσκινο No 4 (4,76 mm) πρέπει να αποτελείται από κόκκους που έχουν τουλάχιστον μία επιφάνεια προερχόμενη από θραύση.

Η ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση (Δοκιμή υγείας) εκτελείται σύμφωνα με την Πρότυπη Δοκιμή AASHTO T-104, με θειικό νάτριο Na_2SO_4 ή $MgSO_4$, και η απώλεια του βάρους του υλικού μετά από πέντε κύκλους δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 12%.

Κατά την εκτέλεση των εργασιών κατασκευής πρέπει να υπάρχει Εργοταξιακό Εργαστήριο για τη συνεχή εξέταση των υλικών και την εκτέλεση των εργασιών κάτω από εργαστηριακά ελεγχόμενες συνθήκες.

4.2 Πρότυπη τεχνική προδιαγραφή Ο 155

Κατασκευή βάσεων οδοστρωμάτων από αδρανή υλικά σταθεροποιημένου τύπου

Η προδιαγραφή Ο 155 αφορά την προμήθεια και τη μεταφορά στο έργο θραυστού αμμοχάλικου, από ποτάμια, χείμαρρους, αποθέσεις και ορυχεία ή θραυστού υλικού από λίθους λατομείων, χείμαρρους, αποθέσεις ή από άλλες πηγές κατάλληλες για την κατασκευή βάσεων οδών, αεροδρομίων κ.λ.π., την παραγωγή των υλικών και την κατασκευή των βάσεων, καθώς και την εφαρμογή των όσων προδιαγράφονται σε αυτήν για τη σύνταξη μελετών τέτοιου είδους οδών.

Μεταξύ της προδιαγραφής Ο 150 για την κατασκευή υποβάσεων και της Ο 155 δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές. Η κοκκομετρική διαβάθμιση των υλικών που χρησιμοποιούνται παραμένει η ίδια, ενώ η προέλευση του υλικού για την κατασκευή των βάσεων διαφοροποιείται και μπορεί να κατασκευάζεται μόνο από θραυστό υλικό και όχι και από φυσικό όπως ισχύει για την κατασκευή των υποβάσεων. Επίσης διαφοροποιούνται ελάχιστα οι ιδιότητες του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των βάσεων.

Έτσι η φθορά του χονδρόκοκκου υλικού σε κρούση και τριβή, προσδιοριζόμενη από την Πρότυπη Μέθοδο Los Angeles AASHTO T-96 (διαβάθμιση A, 500 στροφές), δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 50%. (όμοια της O150). Ενώ σύμφωνα με την ΤΣΥ για τις βάσεις από θραυστό αμμοχάλικο μη κατεργασμένο (χωρίς συνδετικό υλικό) η φθορά σε τριβή και κρούση που προσδιορίζεται κατά την παραπάνω μέθοδο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 30%.

Το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No 40 (0,42mm) πρέπει να έχει όριο υδαρότητας (LL) μικρότερο ή ίσο του 25 και δείκτη πλαστικότητας (PI) όχι μεγαλύτερο του 3 με βάση την εκτέλεση των πρότυπων δοκιμών AASHTO T-80 και AASHTO T-91 αντίστοιχα, με προσέγγιση ακέραιας μονάδας. Σε ειδικές περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει υλικό με $PI \leq 3$ και ύστερα από εργαστηριακές δοκιμές και την έγκριση της Υπηρεσίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί υλικό με PI μέχρι 5.

Στην περίπτωση χρησιμοποίησης θραυστού αμμοχάλικου, ποσοστό τουλάχιστον 50% του συγκρατούμενου στο κόσκινο No 4 (4,76 mm) πρέπει να αποτελείται από κόκκους που έχουν τουλάχιστον μία επιφάνεια προερχόμενη από θραύση.

Το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No 4 (4,76mm) πρέπει να έχει ισοδύναμο άμμου (Sand Equivalent) μεγαλύτερο του 50 και προσδιορίζεται βάση της Πρότυπης Μεθόδου AASHTO T-176.

Το ποσοστό του κλάσματος που διέρχεται από το κόσκινο No 200 (0,075mm) πρέπει να είναι μικρότερο του 50% του διερχόμενου από το κόσκινο No 40 (0,42 mm) πρέπει να αποτελείται από κόκκους που έχουν τουλάχιστον μία επιφάνεια προερχόμενη από θραύση.

Η ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση (Δοκιμή υγείας) εκτελείται σύμφωνα με την Πρότυπη Δοκιμή AASHTO T-104, με θειικό νάτριο Na_2SO_4 ή Mg_2SO_4 , και η απώλεια του βάρους του υλικού μετά από πέντε κύκλους δε θα πρέπει να υπερβαίνει το 12%.

Κατά την εκτέλεση των εργασιών κατασκευής πρέπει να υπάρχει Εργοταξιακό Εργαστήριο για τη συνεχή εξέταση των υλικών και την εκτέλεση των εργασιών κάτω από εργαστηριακά ελεγχόμενες συνθήκες.

Η παραγωγή του υλικού, η προπαρασκευή της επιφάνειας έδρασης, η διάστρωση του υλικού και η συμπύκνωση του καθώς και οι απαραίτητοι έλεγχοι γίνονται όμοια με τις αντίστοιχες διαδικασίες κατά την κατασκευή των υποβάσεων.

4.2.1 Παραγωγή του υλικού

Το θραυστό υλικό παράγεται μέσα από μια διαδικασία πολλαπλών θραύσεων σε πολλαπλά θραυστικά συγκροτήματα ανάλογα με την προέλευση του αδρανούς υλικού, την ορυκτολογική και πετρολογική του σύσταση, τη σκληρότητα του, την αντοχή του σε κρούση και τριβή, την αρχική και την επιδιωκόμενη του κοκκομετρική διαβάθμιση.

Το υλικό που τροφοδοτεί το θραυστικό μηχάνημα πρέπει να είναι καθαρό και απαλλαγμένο από οποιεσδήποτε ξένες προσμίξεις και το 90% αυτού να συγκρατείται από το κόσκινο No 3 (6,35mm), ενώ η μέγιστη διάσταση των υλικών προς θραύση δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 25cm. Εάν δεν υπάρχει υλικό κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης, υλικό θραύσης – φυσικό υλικό, μπορεί να δημιουργηθεί κατάλληλο με την ομοιόμορφη σύνθεση του από κλάσματα υλικού στο οποίο μπορεί να προστεθεί, εάν απαιτηθεί και κλάσμα παιπάλης.

Όταν το προς θραύση υλικό ή οι κόκκοι του φυσικού υλικού περιβάλλονται από ισχυρά συγκολλημένη άργιλο που δεν αποχωρίζεται με μηχανικά μέσα το υλικό ή απορρίπτεται ή πλένεται σε ειδικές εγκαταστάσεις.

4.2.2 Προπαρασκευή της επιφάνειας έδρασης

Πριν από την τοποθέτηση του υλικού της υπόβασης γίνεται έλεγχος του γεωμετρικού σχήματος της οδού και νέα χωροστάθμιση της, με την τοποθέτηση πασσάλων, ενώ λαμβάνονται συγχρόνως εγκάρσιες διατομές των χωματουργικών για να ελεγχθεί εάν εφαρμόστηκαν όλα τα στοιχεία της μελέτης. Σημαντικό βάρος στους ελέγχους αυτούς πέφτει στη διαπίστωση της επίτευξης επαρκούς συμπίκνωσης των υλικών.

Εάν μετά τον έλεγχο διαπιστωθεί πως το γεωμετρικό σχήμα της οδού δεν ανταποκρίνεται στα σχέδια της μελέτης επιβάλλεται η κατασκευή μιας ισοπεδωτικής στρώσης με αδρανή υλικά κοκκομετρίας που δεν υπερβαίνει τα 25mm. Ακολουθεί ελαφρά αναμόχλευση του υλικού του καταστρώματος μέχρι το βάθος των 50mm και συμπλήρωση με το καινούργιο υλικό, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται η οδός στα σχέδια της μελέτης. Γίνεται διαβροχή μέχρι την κατώτερη επιφάνεια της αναμόχλευσης, ανάμιξη, διάστρωση του υλικού, μόρφωση και συμπίκνωση του μέχρι την επίτευξη πυκνότητας ίσης με το 95% της μέγιστης εργαστηριακά προσδιοριζόμενης με τη μέθοδο AASHTO: T-180 Μέθοδος D (Τροποποιημένη δοκιμή Proctor). Επάνω στην στρώση αυτή και αφού γίνει ο έλεγχος της, τοποθετείται η υπόβαση.

Η υπόβαση είναι δυνατό να παραλειφθεί, μετά την εκτέλεση εδαφοτεχνικών ερευνών, σε περιπτώσεις όπου η οδός κατασκευάζεται σε θέσεις βραχιδών ορυγμάτων ή επιχωμάτων και που για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν δάνεια αμμοχάλικα. Πριν την κατασκευή της βάσης κατασκευάζεται μια ισοπεδωτική στρώση μέγιστου συμπυκνωμένου πάχους 10cm, από θραυστό υλικό διαβάθμισης Γ, Δ ή Ε. Η υπόβαση είναι δυνατό να παραλειφθεί εξ' ολοκλήρου ή εν μέρει, στην περίπτωση ανακατασκευής της οδού, εφόσον το νέο οδόστρωμα εδράζεται πάνω στη βάση ή υπόβαση της παλαιάς οδού, ανάλογα με τα αποτελέσματα της εδαφοτεχνικής μελέτης.

4.2.3 Διάστρωση των αδρανών υλικών

Η υπόβαση κατασκευάζεται με τη διάστρωση του υλικού και τη συμπίκνωση του σε στρώσεις. Το συμπυκνωμένο πάχος της κάθε στρώσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 12cm, ενώ μπορεί να κατασκευαστεί και στρώση των 15cm στην περίπτωση που αποτελεί το ολικό πάχος της υπόβασης με την προϋπόθεση πάντα της επαρκούς συμπίκνωσής της. Στην περίπτωση όπου η υπόβαση κατασκευάζεται σε στρώσεις, η επόμενη στρώση μπορεί να τοποθετηθεί αφού γίνει η διάστρωση, η μόρφωση και η συμπίκνωση της προηγούμενής της.

Η τοποθέτηση του υλικού στο έργο, γίνεται σε ειδικό σημείο που καθορίζεται από την Υπηρεσία Επίβλεψης και εκτελείται με τη χρήση ειδικών διαστρωτήρων finisher ή κατάλληλων μηχανημάτων, έτσι ώστε το υλικό να διανέμεται ομοιόμορφα κατά μήκος της στρώσης ή της σειράς και έτσι ώστε το συμπυκνωμένο πάχος της στρώσης που θα προκύψει να είναι το απαιτούμενο από τη μελέτη. Μετά την τοποθέτηση του υλικού ακολουθεί η ανάμιξη του υλικού σε όλο το πάχος της στρώσης με ειδικά μηχανήματα (Grader ή άλλο μηχάνημα ανάμιξης) και η ύγρανση του μέχρι την επίτευξη της βέλτιστης υγρασίας του. Μετά την ανάμιξη του και μέσα σε 48 ώρες το υλικό διαστρώνεται στο προβλεπόμενο πάχος της στρώσης.

4.2.4 Συμπύκνωση

Για τη συμπίκνωση του υλικού της κάθε στρώσης της υπόβασης χρησιμοποιούνται είτε στατικοί οδοστρωτήρες με λείους κυλίνδρους ελάχιστου βάρους 12tn είτε στατικοί λαστιχοφόροι ή δονητικοί οδοστρωτήρες. Στην περίπτωση που δε γίνεται να χρησιμοποιηθούν οδοστρωτήρες η συμπίκνωση του υλικού μπορεί

να γίνει με τη χρήση άλλων μηχανικών μέσων (μικρές δονητικές πλάκες αναπήδησης ή βάτραχοι) ισοδύναμης συμπτωκνωτικής ικανότητας. Η συμπτύκνωση γίνεται σε όλο το πλάτος της οδού, παράλληλα προς τον άξονα της και από το άκρο της προς το κέντρο, ενώ στις καμπύλες (με κλίση) της οδού από το χαμηλότερο προς το υψηλότερο άκρο. Σε κάθε διαδρομή του οδοστρωτήρα οι πίσω του τροχοί πρέπει να επικαλύπτουν τα ίχνη της προηγούμενης διέλευσής του. Μετά τη συμπτύκνωση η επιφάνεια της στρώσης πρέπει να είναι ομοιόμορφη και λεία και εάν κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει, π.χ. μετατόπιση υλικού ή οποιαδήποτε άλλη ανωμαλία, το υλικό μετά από τη χαλάρωση του (αναμόχλευση κ.λ.π.), την προσθήκη ή την αφαίρεση υλικού όπου απαιτείται, επανασυμπτωνώνεται.

Η συμπτύκνωση του υλικού με διαδοχικές διελεύσεις του οδοστρωτήρα συνεχίζεται μέχρι την επίτευξη πυκνότητας τουλάχιστον ίσης με το 95% της μέγιστης εργαστηριακά προσδιοριζόμενης με τη μέθοδο AASHTO: T-180 Μέθοδος D (Τροποποιημένη δοκιμή). Κατά τη διάρκεια της συμπτύκνωσης γίνονται έλεγχοι συμπτύκνωσης με την Πρότυπη Μέθοδο AASHTO: T-147 από τα αποτελέσματα της οποίας καθορίζεται και η διάρκεια της κυλίνδρωσης (συμπτύκνωσης).

Η εργαστηριακά προσδιοριζόμενη πυκνότητα, με τη μέθοδο AASHTO: T-180 Μέθοδος D (Τροποποιημένη δοκιμή Proctor) διορθώνεται για το % ποσοστό χονδρόκοκκου υλικού P (συγκρατούμενο από το κόσκινο τετραγωνικής οπής πλευράς 19,1mm ή 3/4'' βάσει του τύπου:

$$\gamma = \frac{100}{\frac{P}{\varepsilon} + \frac{100 - P}{\gamma_s}}$$

όπου: γ : η διορθωμένη ξηρή πυκνότητα του μίγματος, (λεπτόκοκκου και χονδρόκοκκου υλικού)

γ_s : η μέγιστη ξηρή εργαστηριακή πυκνότητα του υλικού διερχόμενου του κόσκινου 3/4''

P: Το ποσοστό επί της % του χονδρόκοκκου υλικού συγκρατούμενου στο κόσκινο 3/4''

ε : το ειδικό βάρος του χονδρόκοκκου υλικού (διερχόμενου από το κόσκινο 3/4'')

Όταν το συγκρατούμενο υλικό στο κόσκινο No 4 (4,76mm) είναι μεγαλύτερο του 60% δεν μπορούν να εφαρμοστούν η μέθοδος AASHTO: T-180 Μέθοδος D και η AASHTO: T-147 (έλεγχος συμπτύκνωσης) και στη θέση τους εκτελείται πρότυπη κυλίνδρωση του υλικού μέχρις άρνησης και δοκιμαστική φόρτιση όπως ορίζεται στην ΠΤΠ Χ1.

4.2.5 Τελικός έλεγχος στρώσης υπόβασης

Ο έλεγχος του πάχους της υπόβασης γίνεται με την διάνοιξη οπών ή άλλων εγκεκριμένων μεθόδων, σε διαστήματα των 100m κατά μήκος της υπόβασης. Εάν οι αποκλίσεις είναι μεγαλύτερες των 10mm από το συμβατικό πάχος γίνεται αφαίρεση ή συμπλήρωση του υλικού και εκ νέου συμπτύκνωση. Εάν δεν υπάρχουν αποκλίσεις ο έλεγχος μπορεί να γίνεται και σε διαστήματα των 300m με κάποιες ενδιάμεσες μετρήσεις. Στην περίπτωση όμως που υπάρχουν αποκλίσεις, οι μετρήσεις γίνονται σε διαστήματα των 7,5m για τον ακριβή προσδιορισμό του προβληματικού τμήματος.

Η τελική επιφάνεια της υπόβασης δεν πρέπει να έχει – σύμφωνα με την ΠΤΠ Χ1-αποκλίσεις των υψομέτρων μεγαλύτερες των 10mm από αυτά του σχεδίου, ενώ σύμφωνα με την ΤΣΥ μεγαλύτερες των 20mm. Ο έλεγχος της ομαλότητας της

επιφάνειας γίνεται με τη χρήση ράβδου- οδηγού του σχήματος της ημιδιατομής της οδού- και με τη χρήση ευθύγραμμου κανόνα μήκους 3m παράλληλα και κάθετα προς τον άξονα της οδού. Σε κάθε περίπτωση μεταξύ της κάτω επιφάνειας επαφής του οδηγού ή του κανόνα και της κάτωθεν αυτού ελεγχόμενης επιφάνειας, οι κυματισμοί (κοιλότητες) δεν πρέπει να υπερβαίνουν σε ύψος τα 10 και 12 mm αντίστοιχα.

Οι μετρήσεις παράλληλα προς τον άξονα γίνονται κατά κανόνα στο μέσο του πλάτους κάθε λωρίδας κυκλοφορίας και στο μέσον του πλάτους της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης (Λ.Ε.Α.) όπου υπάρχει.

Οι μετρήσεις κάθετα προς τον άξονα γίνονται σε διατομές απέχουσες μεταξύ τους το πολύ 20m.

4.2.6 Δοκιμές αδρανών υλικών

Όλες οι δοκιμές εκτελούνται βάση των παρακάτω μεθόδων:

- Δειγματοληψία AASHTO T-2
- Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών υλικών AASHTO T-27
- Ισοδύναμο άμμου AASHTO T-176
- Φθορά κατά Los Angeles AASHTO T-96
- Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση αδρανών υλικών (Δοκιμή Υγείας) AASHTO T-104
- Υλικό διερχόμενου του κόσκινου Νο 200 (παιπάλη) AASHTO T-11
- Όριο υδαρότητας AASHTO T-89
- Όριο πλαστικότητας AASHTO T-90
- Δείκτης πλαστικότητας: AASHTO T-91
- Σχέση υγρασίας πυκνότητας (Μέθοδος D) AASHTO T-180

4.2.7 Δοκιμές επί του οδοστρώματος

- Έλεγχος συμπίκνωσης AASHTO T-147
- Δοκιμαστική φόρτιση (μέθοδος φορτιζόμενης πλάκας) ¹⁴

4.3 Κατασκευή βάσεων και υποβάσεων από υλικά μη ευπαθή στον παγετό

Εναλλακτικά, και μετά από έγκριση της Υπηρεσίας, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν υλικά διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης από αυτήν που ορίζεται στην ΠΤΠ Ο 155 και Ο 150 για την κατασκευή βάσεων και υποβάσεων αντίστοιχα.

Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή βάσεων και υποβάσεων από μη κατεργασμένα αμμοχάλικα που δεν είναι ευπαθή στην επίδραση παγετού και που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αντιπαγετικές στρώσεις.

Οι στρώσεις αυτές αποτελούνται από συνθέσεις συλλεκτών αμμοχάλικων με πιθανή προσθήκη θραυστών αδρανών διαβαθμίσεων 0/32, 0/45 ή 0/56 ή από συνθέσεις θραυστών σκύρων – γαρμπιλιού (λιθοσυντρίμματα) - άμμου διαβαθμίσεων 0/45 ή 0/56, ή γαρμπιλιού – άμμου διαβάθμισης 0/32.

Η κοκκομετρική καμπύλη των συνθέσεων των αδρανών πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων που φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν:

1. για συνθέσεις (συλλεκτών) αμμοχάλικων εφαρμόζεται ο Πίνακας 17
2. για συνθέσεις από θραυστά λιθοσυντρίμματα (γαρμπίλι) και άμμο ή από θραυστά σκύρα, γαρμπίλι και άμμο εφαρμόζεται ο Πίνακας 18.

¹⁴ STRASSENBAU VON A-Z

Οι απαιτήσεις αυτές πρέπει να ικανοποιούνται ακόμη και στην τελειωμένη στρώση.

Πίνακας 17. Επιτρεπόμενα όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης για βάσεις και υποβάσεις συλλεκτών αμμοχάλικων.

Άνοιγμα Βροχίδας κοσκίνου	Διερχόμενο ποσοστό (% κ.β.)		
(mm)	0/32mm	0/45 mm	0/56 mm
0,074	0 - 7	0 - 7	0 - 7
0,25	3 - 27	2 - 25	2 - 25
0,42	8 - 32	5 - 30	5 - 30
1,0	13 - 36	11 - 35	11 - 35
2,0	20 - 40	18 - 40	18 - 40
4,76	27 - 51	26 - 48	24 - 47
8,0	39 - 67	37 - 61	33 - 57
16,0	59 - 82	50 - 74	44 - 68
31,7	90 - 100	70 - 90	51 - 81
45,0		90 - 100	70 - 90
56,0			90 - 100

Πίνακας 16. Επιτρεπόμενα όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης για βάσεις και υποβάσεις θραυστών σκύρων

Άνοιγμα Βροχίδας κοσκίνου	Διερχόμενο ποσοστό (% κ.β.)		
(mm)	0/32 mm	0/45 mm	0/56 mm
0,074	0 - 7	0 - 7	0 - 7
0,25	2 - 20	2 - 20	2 - 20
0,71	9 - 30	7 - 30	7 - 30
2,0	18 - 40	16 - 40	16 - 40
4,76	30 - 55	27 - 51	27 - 51
11,2	48 - 71	40 - 64	39 - 63
22,4	70 - 90	58 - 81	54 - 77
31,7	90 - 100	70 - 90	61 - 81
45,0		90 - 100	70 - 90
56,0			90 - 100

Τα υλικά κατασκευής μεταφέρονται στο εργοτάξιο ομοιόμορφα αναμεμιγμένα και διαβρεγμένα.

Το ελάχιστο πάχος κάθε στρώσης ή επί μέρους στρώσης σε συμπκνωμένη κατάσταση εξαρτάται από το μέγεθος του μέγιστου κόκκου της σύνθεσης των αδρανών και είναι:

- συνθέσεις αδρανών 0/32mm 12 cm.

- συνθέσεις αδρανών 0/45mm 15 cm.
- συνθέσεις αδρανών 0/56 mm 18 cm.

Η βάση / υπόβαση κατασκευάζεται, με τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζει ομοιομορφία ως προς την αντοχή της και τη συμπεριφορά της σε παραμόρφωση. Για το σκοπό αυτόν η φόρτωση, εκφόρτωση και διάστρωση των αδρανών υλικών πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η απόμιξη, ενώ δεν επιτρέπεται η προσωρινή απόθεση της σύνθεσης των υλικών κατασκευής στο εργοτάξιο. Η συμπίκνωση του διαστρωμένου υλικού γίνεται με τη βέλτιστη περιεκτικότητα σε νερό, σε πολλές φάσεις εργασίας.

Μεγαλύτερο του επιτρεπόμενου ποσοστό κόκκων μικρότερων των 0,063 mm γίνεται δεκτό, μόνον όταν αποδεικνύεται η καταλληλότητα της σύνθεσης των αδρανών αναφορικά με την υδατοπερατότητα και τη μη ευπάθεια σε παγετό.

Ο βαθμός συμπίκνωσης DPr πρέπει να μην είναι μικρότερος του 103% της πρότυπης δοκιμής Proctor (ή 98% της τροποποιημένης δοκιμής Proctor). Σε περίπτωση κατά την οποία ο έλεγχος του βαθμού συμπίκνωσης γίνεται έμμεσα (λόγω των δυσκολιών, που μπορεί να προέρχονται από τα χαρακτηριστικά των υλικών κατασκευής) με τη δοκιμή φόρτισης πλάκας, η σχέση των μέτρων παραμόρφωσης (2η προς 1η φόρτιση) E_{v2}/E_{v1} δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 2,2.

Το κατασκευαστικό πάχος δεν πρέπει να υπολείπεται του προδιαγραφόμενου περισσότερο από 10% ή 3,5cm. (Ως κατασκευαστικό πάχος θεωρείται ο αριθμητικός μέσος των αποτελεσμάτων μετρήσεων κάθε στρώσης του συνολικού έργου. Κατά τον προσδιορισμό του μέσου όρου δεν λαμβάνονται υπόψη αποτελέσματα μετρήσεων που υπερβαίνουν το προδιαγραφόμενο στη σύμβαση του έργου πάχος περισσότερο από 3,0 cm).

4.3.1 Έλεγχοι

■ Ποιοτικοί Έλεγχοι

Οι ποιοτικοί έλεγχοι διενεργούνται από τον ανάδοχο για την απόδειξη της καταλληλότητας των προβλεπόμενων υλικών και συνθέσεων υλικών κατασκευής και είναι:

1. Κοκκομετρική διαβάθμιση της σύνθεσης των αδρανών υλικών
2. Πυκνότητα Proctor της σύνθεσης των υλικών κατασκευής (πρότυπη δοκιμή : DIN 18127M AASHTO T99, ASTM D698, E105-86 Δοκιμή 10, ή τροποποιημένη δοκιμή Proctor : AASHTO T180, ASTM D1557, E105-86 Δοκιμή 11).
3. Προέλευση των αδρανών υλικών
4. Ποσοστό νερού που απαιτείται για την κατασκευή.

■ Έλεγχοι αυτεπιστασίας

Οι έλεγχοι αυτοί διενεργούνται από τον ανάδοχο και τα αποτελέσματά τους πρέπει να βρίσκονται στη διάθεση της Υπηρεσίας, εφόσον αυτό ζητηθεί. Το είδος και η έκταση των ελέγχων δίδονται παρακάτω.

■ Έλεγχοι κατά την κατασκευή

Διατήρηση της ικανοποίησης των απαιτήσεων για τις συνθέσεις των αδρανών υλικών, όποτε κρίνεται αναγκαίο.

■ Έλεγχοι στην έτοιμη στρώση

1. Κοκκομετρική διαβάθμιση: Μία (1) δοκιμή το πολύ ανά 500 m³ σύνθεσης υλικών κατασκευής.
2. Βαθμός συμπίκνωσης, ο οποίος υπολογίζεται από την πυκνότητα Proctor (πρότυπη δοκιμή DIN 18127, AASHTO T-99, ASTM D698, E105-86 Δοκιμή 10, ή τροποποιημένη δοκιμή Proctor (AASHTO T180, ASTM D1557, E105-86 Δοκιμή 11) και την πυκνότητα ξηρού υλικού (DIN 18125 Teil 2): σε αποστάσεις ανά 250 m, ή τουλάχιστον μία δοκιμή ανά 500 m³ κατασκευαζόμενης βάσης / υπόβασης.
3. Μέτρο παραμόρφωσης (DIN 18134) ή CBR (AASHTO T193, ASTM D1883 BS 1377) : όποτε κρίνεται αναγκαίο.
4. Τελική στάθμη και ομαλότητα : Σύμφωνα με την ΤΣΥ της ΕΟΑΕ
5. Κατασκευαστικό πάχος: Ανά 100 m στην αρχική περίοδο ελέγχων και στη συνέχεια το πολύ ανά 300 m .

■ Τελικοί έλεγχοι

Η δειγματοληψία και οι υπόψη έλεγχοι διενεργούνται από τον ανάδοχο, παρουσία εκπροσώπου της Υπηρεσίας. Το είδος και η έκταση των ελέγχων δίδονται παρακάτω :

1. Κοκκομετρική διαβάθμιση: όποτε κρίνεται αναγκαίο, όμως τουλάχιστον ανά 3.000 m³ σύνθεσης υλικών κατασκευής.
2. Βαθμός συμπίκνωσης, ο οποίος υπολογίζεται από την πυκνότητα Proctor (πρότυπη δοκιμή DIN 18127, AASHTO T99, ASTM D698, E105-86 Δοκιμή 10, ή τροποποιημένη δοκιμή Proctor AASHTO T180, ASTM D1557, E105-86 Δοκιμή 11) και την πυκνότητα ξηρού υλικού (DIN 18125 Teil 2) : όποτε κρίνεται αναγκαίο ή τουλάχιστον ένας έλεγχος ανά 500 m³ κατασκευαζόμενης βάσης / υπόβασης.
3. Μέτρο παραμόρφωσης (DIN 18134) ή CBR (AASHTO T193, ASTM D1883, BS 1377): όποτε κρίνεται αναγκαίο.
4. Τελική στάθμη στρώσης το πολύ ανά 50 m και ομαλότητα αυτής όποτε κρίνεται αναγκαίο
5. Κατασκευαστικό πάχος : ± 1 cm
6. Συμπύκνωση εδαφών επί του έργου

4.4 Στρώση Έδρασης Οδοστρώματος

Σα Στρώση Έδρασης Οδοστρώματος (ΣΕΟ) χαρακτηρίζεται το έδαφος ή υλικό επίχωσης που βρίσκεται ακριβώς κάτω από το οδόστρωμα, το οποίο έχει διαμορφωθεί και συμπτυνωθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις των σχετικών προδιαγραφών (ΠΤΠ Χ-1 κ.α.). Η ΣΕΟ εκτείνεται μέχρι το βάθος που επηρεάζεται από τα φορτία κυκλοφορίας και είναι τουλάχιστον 600 mm.

Στις περιοχές επιχωμάτων η ΣΕΟ περιλαμβάνει και τη Στρώση Στράγγισης Οδοστρώματος (ή Στρώση Αντιπαγετικής Προστασίας από ασύνδετο υλικό) όπου αυτή απαιτείται. Στις περιοχές ορυγμάτων η ΣΕΟ περιλαμβάνει και την, τυχόν απαιτούμενη, Στρώση Στράγγισης Οδοστρώματος καθώς και την ισοπεδωτική στρώση βραχωδών ορυγμάτων.

Όπως προαναφέρθηκε στην κατασκευή των επιχωμάτων της οδού χρησιμοποιούνται με πρώτη προτεραιότητα τα υλικά των εκσκαφών (ορυγμάτων και υπόγειων εκσκαφών). Τα υλικά αυτά αξιολογούνται έτσι, ώστε να διαχωριστούν αυτά με την καλύτερη ποιότητα και μηχανικά χαρακτηριστικά, που θα χρησιμοποιηθούν

στην κατασκευή των επιχωμάτων, από τα ακατάλληλα για χρήση στα επιχώματα αλλά κατάλληλα για την επένδυση πρανών και τα τελείως ακατάλληλα για οποιεσδήποτε χρήσεις στο έργο. Ειδικότερα, από τα υλικά που θα κριθούν κατάλληλα, θα πρέπει επίσης να διαχωριστούν τα ποιοτικά καλύτερα, που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή των ανώτερων στρώσεων των επιχωμάτων. Ο διαχωρισμός αυτός των υλικών (εφόσον δε μεταφέρονται απευθείας στην τελική τους θέση), καθιστά πολλές φορές αναγκαία την απόθεσή τους σε συγκεκριμένες θέσεις του έργου. Εφόσον τα υλικά των εκσκαφών που κρίνονται κατάλληλα δεν επαρκούν για την κατασκευή των επιχωμάτων, ή δεν είναι δυνατός ο συντονισμός των εργασιών ορυγμάτων – επιχωμάτων, γίνεται δανειοληψία από θέσεις που δε θα πρέπει να είναι ορατές από την οδό και οι οποίες αξιολογούνται με βάση τις προβλεπόμενες για το λόγο αυτό μελέτες, ενώ απαιτείται και σχετική έγκριση.

Η καταλληλότητα των υλικών της στρώσης έδρασης καθορίζεται από το Άρθρο 2 της ΤΣΥ. Η στρώση έδρασης περιλαμβάνει μία από τις κατηγορίες υλικών σύμφωνα με τον Πίνακα 19. Σε περίπτωση ύπαρξης υλικού κατηγορίας E1, απαιτείται η κατασκευή εξυγιαντικής στρώσης, όπως αυτή αναφέρεται στην παράγραφο διαστασιολόγησης του οδοστρώματος που ακολουθεί.

Η Φέρουσα Ικανότητα της στρώσης Έδρασης (Φ.Ι.Ε.) εκφράζεται συναρτήσει του Καλιφορνιακού δείκτη φέρουσας ικανότητας (CBR) και καθορίζεται από την τιμή CBR του χειρότερου συναντώμενου υλικού (μικρότερη τιμή CBR) μέχρι βάθος 600mm από την επιφάνεια της στρώσης έδρασης.

Εκτός από την τιμή Φ.Ι.Ε. του οδοστρώματος που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό, η στρώση έδρασης πρέπει, κατά την περίοδο της κατασκευής, να έχει μία «ελάχιστη» φέρουσα ικανότητα, που είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική και ικανοποιητική συμπίκνωση των υπερκείμενων στρώσεων του οδοστρώματος και την επίτευξη της απαιτούμενης επιπεδότητας σ' αυτές.

4.5 Διαστασιολόγηση Οδοστρωμάτων

4.5.1 Γενικά

Ως οδόστρωμα ορίζεται το σύνολο των επάλληλων στρώσεων πάνω από τη στρώση έδρασης (σκάφη). Στην περίπτωση ορύγματος η στρώση έδρασης είναι η διαμορφωμένη επιφάνεια του υπεδάφους, ενώ στην περίπτωση επιχώματος είναι η διαμορφωμένη επιφάνεια της στέψης του επιχώματος.

Κατά τη μελέτη και διαστασιολόγηση ενός οδοστρώματος καθορίζονται τα πάχη των ασφαλικών στρώσεων, το πάχος της βάσης και της υπόβασης, το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης (εάν απαιτείται) και το πάχος της στραγγιστικής στρώσης (εάν χρησιμοποιηθεί) και δίνονται σχετικές πληροφορίες ως προς τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν κατά την κατασκευή.

Για την Εγνατία Οδό δεν απαιτείται η κατασκευή αντιπαγετικής στρώσης εφόσον το ολικό πάχος του οδοστρώματος είναι μεγαλύτερο των 350mm. Στην ειδική περίπτωση που το ολικό πάχος του οδοστρώματος είναι μικρότερο των 350mm και το υλικό της στρώσης έδρασης είναι ευπαθές σε παγετό, το πάχος της βάσης/υπόβασης προσυζητάται έτσι ώστε το πάχος του οδοστρώματος να είναι μεγαλύτερο ή ίσο των 350mm.

Πίνακας 19. Ελάχιστα πάχη στρώσης έδρασης οδοστρώματος συναρτήσει της ΦΙΕ (Από ΤΣΥ, ΟΣΜΕΟ της ΕΟΑΕ, 1998).

ΕΠΙΧΩΜΑ	Το υλικό της στρώσης E1 E1 M 10	ΦΙΕ 0
ΟΡΥΓΜΑ	E1 E0 40	$3 < CBR \leq 5$
ΕΠΙΧΩΜΑ	E2 E1 50 E2 M 50	ΦΙΕ 1
ΟΡΥΓΜΑ	E2 E1 E0 30 30 E2 E0 50 E2 E1 30	$5 < CBR \leq 10$
ΕΠΙΧΩΜΑ	E3 E1 50 E4 E1 40 E3 E2 35 E4 E2 30 E3 M 50	ΦΙΕ 2
ΟΡΥΓΜΑ	E3 E2 E0 30 30 E4 E0 25 25 E3 E1 E0 40 30 E3 E1 40 E4 E1 30 E3 E2 E0 25 25	$10 < CBR \leq 20$
ΕΠΙΧΩΜΑ	E4 E1 50 E4 E2 40 E4 E3 30 E4 M 50	ΦΙΕ 3
ΟΡΥΓΜΑ	E4 E1 E0 50 30 E4 E0 30 30 E4 E1 50 E4 E2 35 E4 E3 30 E4 βράχος 10	$CBR > 20$

Υπόμνημα:

E0 έως E4: Κατηγορίες εδαφικού υλικού (γαιώδους) σύμφωνα με τον πίνακα 12

M: Μεταβατικό τμήμα (περίπτωση βραχωδών επιχωμάτων σύμφωνα με το άρθρο 2 της ΤΣΥ)

(Οι αναφορές στην ΤΣΥ μπορεί να τροποποιηθούν από την ΕΟΑΕ, εάν συνταχθεί νέα ΤΣΥ)

Για τη διαστασιολόγηση του πάχους των στρώσεων απαιτείται ο καθορισμός:

1. Της φέρουσας ικανότητας της στρώσης έδρασης, εκφραζόμενης συναρτήσει του Καλιφορνιακού δείκτη (CBR),
2. Του αθροιστικού κυκλοφοριακού φόρτου σε όλη τη σχεδιαστική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος, εκφραζόμενου σε Ισοδύναμους Τυπικούς άξονες ή πρότυπους άξονες (ΙΤΑ), και
3. Της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αέρος, σε °C.

4.5.1.1 Φέρουσα ικανότητα στρώσης έδρασης

Η φέρουσα ικανότητα της στρώσης έδρασης εκφράζεται συναρτήσει του Καλιφορνιακού δείκτη (CBR) και καθορίζεται από την τιμή CBR του χειρότερου συναντώμενου υλικού (μικρότερη τιμή CBR) σε βάθος ως 600mm από την επιφάνεια της στρώσης έδρασης. Η τιμή αυτή ορίζεται και ως σχεδιαστική τιμή CBR για τη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος.

Σε όλες τις περιπτώσεις σα τιμή CBR θα λαμβάνεται αυτή που αντιστοιχεί στο 90% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που καθορίζεται από την τροποποιημένη δοκιμή Proctor. Εξαιρέση αποτελεί μόνο η περίπτωση μη διαταραγμένου εδαφικού υλικού φυσικώς σιμεντωμένου σε όρυγμα με χαμηλό υδροφόρο ορίζοντα (>1m από την επιφάνεια), οπότε λαμβάνεται το CBR που αντιστοιχεί στο 95% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που καθορίζεται από την τροποποιημένη δοκιμή Proctor.

Ο αριθμός των δοκιμών για τον καθορισμό του CBR είναι:

1. Στο στάδιο της προμελέτης: μια (1) ανά κατηγορία υλικού αφού προηγουμένως γίνει η κατάταξη των υλικών με το σύστημα κατάταξης εδαφών κατά USCS ή κατά AASHTO, και
2. στο στάδιο της οριστικής μελέτης: έξι έως οκτώ (6-8) ανά κατηγορία υλικού. Ως αντιπροσωπευτική τιμή CBR του υλικού θα είναι η τιμή που είναι ίση ή ξεπερνιέται από το 90% των τιμών που εξήχθησαν.

Στην περίπτωση κατασκευής οδοστρώματος σε γαιώδες όρυγμα όπου υπάρχει εναλλαγή κατηγοριών του εδαφικού προφίλ (μετά από γεωτεχνική έρευνα για τον καθορισμό της κατάταξης των υλικών), η οδός χωρίζεται σε τόσα αντίστοιχα τμήματα όσα οι διακεκριμένες εναλλαγές των υλικών.

Στην ειδική περίπτωση κατασκευής οδοστρώματος πάνω σε βραχώδες όρυγμα όπου ο μελετητής, για την κατασκευή της εξισωτικής στρώσης, επιλέγει καλής ποιότητας υλικό, το σχεδιαστικό CBR λαμβάνει τιμές 20% ή 15%, αναλόγως της ποιότητας του υλικού και της κατάστασης του βράχου.

Σε περίπτωση κατασκευής οδοστρώματος σε μικτή διατομή το σχεδιαστικό CBR καθορίζεται από το χειρότερο υλικό της διατομής.

Στην ειδική περίπτωση χρήσης στραγγιστικής στρώσης, η σχεδιαστική τιμή CBR καθορίζεται από το υλικό που βρίσκεται κάτω από τη στραγγιστική στρώση. Δηλαδή δε λαμβάνεται υπόψη η χρήση της στραγγιστικής στρώσης στη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος.

4.5.1.2 Κυκλοφοριακός φόρτος

Ο κυκλοφοριακός φόρτος θα πρέπει να εκφράζεται συναρτήσει του αριθμού των Ισοδυνάμων Τυπικών Αξόνων (ΙΤΑ) και όχι συναρτήσει του αριθμού των οχημάτων. Επιπρόσθετα, ο κυκλοφοριακός φόρτος σε ΙΤΑ θα πρέπει να υπολογίζεται για ολόκληρη τη διάρκεια σχεδιασμού του οδοστρώματος (αθροιστικός αριθμός ΙΤΑ) και θα πρέπει να αναφέρεται στη λωρίδα μελέτης ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας.

Για τον υπολογισμό του αθροιστικού αριθμού των ΙΤΑ ($\Sigma_{ΙΤΑ}$) ανά κατεύθυνση στη λωρίδα μελέτης καθ' όλη τη διάρκεια σχεδιασμού του οδοστρώματος χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\Sigma_{ΙΤΑ} = (ΙΤΑ_{\eta\mu\epsilon\rho}) \times ΠΚΛΜ \times 365 \times ΑΣ$$

όπου:

$ΙΤΑ_{\eta\mu\epsilon\rho}$ = ημερήσιος αριθμός ισοδυνάμων τυπικών αξόνων ανά κατεύθυνση κατά το έτος έναρξης λειτουργίας της οδού

ΠΚΛΜ = ποσοστό κυκλοφορίας στη λωρίδα μελέτης

$A\Sigma = \text{αθροιστικός συντελεστής} = [(1+r)^n - 1]/r$

$r = \text{μέση ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας (π.χ. 0,03 για 3\% μέση ετήσια αύξηση)}$

$n = \text{διάρκεια σχεδιασμού, σε έτη}$

Όλες οι μεταβλητές της εξίσωσης καθώς και ο αθροιστικός αριθμός Ισοδυνάμων Τυπικών Αξόνων (ΙΤΑ) δίνονται σε ειδικούς πίνακες όπου η σχεδιαστική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος λαμβάνεται ίση με 30 χρόνια.

4.5.1.3 Μέση Ετήσια Θερμοκρασία Αέρος (ΜΕΘΑ)

Η Μέση Ετήσια Θερμοκρασία Αέρος (ΜΕΘΑ) της περιοχής του έργου απαιτείται για να επιλεγεί το κατάλληλο νομογράφημα διαστασιολόγησης του οδοστρώματος.

4.5.2 Διαδικασία διαστασιολόγησης

Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται σε θεμελιώδεις αρχές της μηχανικής των οδοστρωμάτων και χρησιμοποιεί νομογραφήματα που παρέχουν τη δυνατότητα υπολογισμού του πάχους των ασφαλικών στρώσεων συναρτήσει της φέρουσας ικανότητας της στρώσης έδρασης του οδοστρώματος, του κυκλοφοριακού φόρτου και του πάχους της βάσης και υπόβασης.

Αφού καθορισθούν τα τρία βασικά δεδομένα, δηλαδή: η φέρουσα ικανότητα της στρώσης έδρασης εκφραζόμενη σε CBR, ο κυκλοφοριακός φόρτος εκφραζόμενος σε αθροιστικό αριθμό ΙΤΑ και η ΜΕΘΑ, η διαστασιολόγηση του οδοστρώματος γίνεται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- α) Καθορισμός εξυγιαντικής στρώσης
- β) Καθορισμός πάχους βάσης/υπόβασης
- γ) Καθορισμός πάχους ασφαλικών στρώσεων
- δ) Επιλογή κατάλληλης αντολισθηρής στρώσης

Μετά την ολοκλήρωση του καθορισμού του πάχους των διακεκριμένων στρώσεων δίνονται σαφείς οδηγίες για τα υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε κάθε στρώση.

4.5.2.1 Καθορισμός εξυγιαντικής στρώσης

Η κατασκευή εξυγιαντικής στρώσης απαιτείται μόνο στην περίπτωση που το CBR του υπεδάφους είναι μικρότερο από ή ίσο με 5%. Το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης καθορίζεται από το CBR του υπεδάφους. Ειδικότερα, όταν:

1. το CBR είναι μικρότερο ή ίσο με 2,5% το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης είναι 600mm
2. το CBR είναι μεγαλύτερο από 2,5% και μικρότερο ή ίσο με 5% το πάχος της εξυγιαντικής στρώσης είναι 300mm.

Τα προαναφερόμενα πάχη της εξυγιαντικής στρώσης συνδυάζονται με το πάχος της βάσης και υπόβασης (Πίνακας 20).

Στις περιπτώσεις που το CBR του υπεδάφους είναι μικρότερο από 3%, η σχεδιαστική τιμή CBR λαμβάνεται ίση με 3%, ανεξαρτήτως ποιότητας υλικού εξυγιαντικής στρώσης. Σ' όλες τις άλλες περιπτώσεις, δηλ. CBR μεταξύ 3% και 5%, σαν σχεδιαστική τιμή CBR λαμβάνεται η μετρούμενη τιμή CBR του υπεδάφους, ανεξαρτήτως ποιότητας υλικού εξυγιαντικής στρώσης.

Σε περιπτώσεις που απαιτείται εξυγιαντική στρώση και η φυσική υγρασία του εδάφους είναι σχετικά υψηλή και ειδικότερα όταν το CBR <2,5%, μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη η τοποθέτηση γεωσυνθετικού υλικού στην εκτιθέμενη επιφάνεια του υπεδάφους, μετά την απομάκρυνση των 600mm ή 300mm. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία του γεωσυνθετικού υλικού θα καθορίζονται μετά από ειδική μελέτη.

Εκτός από τη χρήση κατάλληλου υλικού για εξυγιαντική στρώση, ως εναλλακτική λύση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αυτή της σταθεροποίησης του υλικού με ασβέστη. Βασική προϋπόθεση στην περίπτωση αυτή είναι η καταλληλότητα του υλικού προς σταθεροποίηση.

Ως υλικά εξυγιαντικής στρώσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιλεγμένα κοκκώδη αδρανή ή σταθεροποιημένο με τσιμέντο ή υδράσβεστο εδαφικό υλικό.

4.5.2.2 Καθορισμός πάχους βάσης/υπόβασης

Οι στρώσεις της βάσης και της υπόβασης αντιμετωπίζονται σα μία στρώση από ασύνδετα αδρανή υλικά.

Το πάχος της στρώσης από ασύνδετα αδρανή λαμβάνει τρεις διακεκριμένες τιμές: 400mm, 300mm και 200mm. Η επιλογή του κατάλληλου πάχους εξαρτάται από το CBR της στρώσης έδρασης και θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τις οδηγίες του Πίνακα 20.

Όταν το πάχος της βάσης/υπόβασης είναι 400mm επιτρέπεται η κατασκευή των πρώτων 200mm, σε επαφή με τη στρώση έδρασης, να είναι από φυσικό αμμοχάλικο ενώ τα υπόλοιπα 200mm θα πρέπει απαραίτητως να είναι από θραυστό αδρανές υλικό ή θραυστό αμμοχάλικο.

Πίνακας 20. Απαιτούμενα και συνιστώμενα πάχη βάσης / υπόβασης

CBR στρώσης έδρασης (%)	Εξυγιαντική στρώση (mm)	Πάχος βάσης / υπόβασης (mm)
	Απαιτούμενο πάχος	
≤ 2,5	600	400
2,6 – 5,0	300	400
5,1 – 10,0	0	400
	Συνιστώμενο πάχος	
10,1 – 20,0	0	300
>20,0	0	200

Με τον όρο «συνιστώμενο πάχος» νοείται ότι στις περιπτώσεις που το CBR είναι μεγαλύτερο του 10% ή του 20%, το πάχος των 400mm για βάση / υπόβαση και των 300mm ή 400mm, αντίστοιχα, δεν αποκλείεται.

Εξαίρεση των παραπάνω αποτελεί η περίπτωση κατασκευής οδοστρώματος σε περιοχές όπου αναμένονται κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστάται η αποκλειστική χρήση υλικού σύμφωνα με την ΠΤΠ Ο-155 και το άρθρο 67 της ΤΣΥ.

Η υπόβαση και η βάση μπορούν να κατασκευαστούν επίσης από υλικό σταθεροποιημένο με τσιμέντο στην περίπτωση έλλειψης κατάλληλου υλικού για

βάση/υπόβαση στην εγγύτερη περιοχή του έργου. Στην περίπτωση αυτή το πάχος της σταθεροποιημένης στρώσης είναι το ίδιο με το πάχος της στρώσης από ασύνδετα αδρανή.

4.5.2.3 Καθορισμός πάχους ασφαλικών στρώσεων

Ο καθορισμός του πάχους των ασφαλικών στρώσεων πραγματοποιείται με τη χρήση νομογραφημάτων που περιέχουν σχεδιαστικές καμπύλες σε διαφορετικές τιμές CBR, για κάθε διακεκριμένο πάχος βάσης/υπόβασης (400mm, 300mm και 200mm), για ΜΕΘΑ 13°C και 16°C και για άσφαλτο¹⁵ 50/70pen και 40/50pen (1 pen = 0,1mm).

Επιλέγοντας το κατάλληλο νομογράφημα για προαποφασισμένο πάχος βάσης/υπόβασης και ΜΕΘΑ έργου, και γνωρίζοντας τον αθροιστικό αριθμό ΙΤΑ και το CBR της στρώσης έδρασης, υπολογίζεται το συνολικό πάχος των ασφαλικών στρώσεων.

4.5.2.4 Υλικό στραγγιστικής στρώσης

Το υλικό της στραγγιστικής στρώσης, όπου αυτή κατασκευάζεται, είναι κοκκώδες διαβαθμισμένο ή μονόκοκκο υλικό. Ο μέγιστος κόκκος των αδρανών καθώς και η κοκκομετρική του διαβάθμιση καθορίζονται μετά από μελέτη σταθερότητας φίλτρου.

4.5.2.5 Υλικό αντιπαγετικής στρώσης

Παρόλο που δεν απαιτείται αντιπαγετική στρώση, τα υλικά της βάσης / υπόβασης σε βάθος 350mm μείον το πάχος ασφαλικών στρώσεων θα πρέπει να είναι μη παγόπληκτα. Κατά κανόνα τα υλικά βάσης / υπόβασης, με περιεκτικότητα σε παιπάλη κάτω από 10% και απορρόφηση υγρασίας από τα αδρανή μικρότερη του 2%, θεωρούνται ως μη παγόπληκτα.

4.5.2.6 Αποστράγγιση

Το νερό των βροχοπτώσεων (επιφανειακό νερό) αλλά και το υπόγειο, θα πρέπει να εμποδίζεται να εισέλθει και να παραμείνει στη βάση / υπόβαση, τη στρώση έδρασης του οδοστρώματος και την εξυγιαντική στρώση (εάν υπάρχει), τόσο κατά τη διάρκεια της κατασκευής όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας του οδοστρώματος.

Αυτό επιτυγχάνεται με την παράλληλη παρεμπόδιση του εισερχόμενου νερού και την παροχή οδού διαφυγής για το νερό που βρίσκεται στο έδαφος.

Η αποστράγγιση του νερού του εδάφους για την προστασία του οδοστρώματος, ανεξάρτητα αν αυτό κατασκευάζεται σε όρυγμα ή σε επίχωμα, και ανεξάρτητα αν ανιχνεύεται υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, γίνεται με την κατασκευή γραμμικών ή κατακόρυφων στραγγιστηρίων.

Τα γραμμικά στραγγιστήρια μπορεί να είναι:

- α) στραγγιστήρια με υλικά φίλτρου ευρείας διατομής,
- β) στραγγιστήρια με υλικά φίλτρου στενής διατομής και
- γ) πλαστικά στραγγιστήρια με κατάλληλο προκατασκευασμένο υλικό φίλτρου και γεωυφάσματα ή με σύνθετο προκατασκευασμένο φίλτρο.

Όταν η φέρουσα ικανότητα του υλικού της στρώσης έδρασης (εδαφικό υλικό) είναι ευαίσθητη στις αλλαγές της υγρασίας, και ως τέτοια υλικά χαρακτηρίζονται τα

¹⁵ Οι άσφαλτοι οδοστρώσεως ταξινομούνται στις περισσότερες χώρες όπως και στην Ελλάδα, σε συνάρτηση με το βαθμό διεισδυτικότητάς τους, όπου η μονάδα μέτρησης είναι το pen. Μεγάλη τιμή του pen αντιστοιχεί σε μαλακή άσφαλτο.

υλικά με Δείκτη Πλαστικότητας μικρότερο του 25 περίπου, (ιλυώδεις άργιλοι, αργιλοαμμώδη υλικά κλπ.), θα πρέπει να επιλέγεται μία από τις παρακάτω, επιπλέον των γραμμικών στραγγιστηρίων, κατασκευή:

1. Επέκταση των γραμμικών στραγγιστηρίων σε επιπλέον βάθος 600mm περίπου (συνιστάται να προσδιορίζεται από αναλυτικούς υπολογισμούς), κάτω από την επιφάνεια υποδοχής της υπόβασης ή της εξυγιαντικής στρώσης (εάν κατασκευάζεται), για την προστασία του εδαφικού υλικού από υπερύψωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται κατά τη διάρκεια της κατασκευής όπου πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα, έτσι ώστε τα στραγγιστήρια να μη δέχονται επιφανειακά νερά για να αποφευχθεί η πλήρωσή τους με λεπτόκοκκα εδαφικά σωματίδια.
2. Κατασκευή στραγγιστικής στρώσης από κατάλληλα διαβαθμισμένα υλικά, για την περαιτέρω προστασία του εδαφικού υλικού από την διείσδυση επιφανειακών νερών διαμέσου των υδροπερατών ανώτερων στρώσεων με συνδετικό υλικό και της βάσης / υπόβασης. Στρώσεις με συνδετικό υλικό που είναι υδροπερατές είναι αυτές που κατασκευάζονται εξ' ολοκλήρου με ασφαλτόμικμα ανοικτού ή ημίκλειστου τύπου, ή με σκυρόδεμα. Η στραγγιστική στρώση τοποθετείται κάτω από την υπόβαση ή την εξυγιαντική στρώση (εάν κατασκευάζεται) και το πάχος αυτής θα πρέπει να είναι όχι μικρότερο των 150mm και όχι μεγαλύτερο των 220mm. Κατά τον σχεδιασμό της στραγγιστικής στρώσης, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να ελέγχεται η ευστάθεια του υλικού του φίλτρου μεταξύ της υπόβασης ή της εξυγιαντικής στρώσης (εάν κατασκευάζεται) και του φυσικού εδάφους. Για την αποφυγή στόμωσης της στραγγιστικής στρώσης σε συνδυασμό με τα υλικά της υπερκείμενης στρώσης, η στραγγιστική στρώση προστατεύεται με την τοποθέτηση κατάλληλου διαχωριστικού γεωφάσματος στη διεπιφάνεια μεταξύ αυτής και της υπερκείμενης στρώσης. Η στραγγιστική στρώση, στην περίπτωση που κατασκευάζεται εξυγιαντική στρώση, μπορεί να ληφθεί ως μέρος αυτής, εφόσον η εξυγιαντική στρώση έχει πάχος 600mm. Σημειώνεται ότι η στραγγιστική στρώση θα εκτείνεται μέχρι τα γραμμικά στραγγιστήρια.

Οποιαδήποτε αλλαγή των παραπάνω για την αποστράγγιση των υπογείων νερών και την προστασία της κατασκευής, πρέπει να τεκμηριώνεται από αναλυτική μελέτη ως προς τον προσδιορισμό της ποσότητας, της ταχύτητας εκροής του νερού και της διαπερατότητας του κάθε υλικού των στρώσεων και να δίνονται αναλυτικές πληροφορίες ως προς τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν και σαφείς οδηγίες ως προς τον τρόπο κατασκευής.

4.5.2.7 Υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας

Συνιστάται το επίπεδο του φυσικού υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα να διατηρείται σε βάθος τουλάχιστον 1m κάτω από την επιφάνεια της στρώσης έδρασης και επιβάλλεται, το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, μετά την τριχοειδή ανύψωση του, κάτω από την επιφάνεια της στρώσης έδρασης να είναι, στη δυσμενέστερη περίπτωση, τουλάχιστον 300mm.

Ταπείνωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα γίνεται συνήθως με βαθιά γραμμικά στραγγιστήρια. Το βάθος των στραγγιστηρίων καθορίζεται συναρτήσει του πλάτους της οδού και του τύπου του εδαφικού υλικού. Σε δυσμενείς περιπτώσεις, αξιόπιστη και πρακτική μέθοδος καθορισμού του βάθους είναι να γίνουν μετρήσεις επί του έργου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διάνοιξη δύο παράλληλων γραμμικών τάφρων, εκατέρωθεν του πλάτους του οδοστρώματος, σε βάθος περίπου 1m και

μήκους περίπου 15m καθώς και εγκάρσιων οπών παρακολούθησης του βάθους εμφάνισης του υδροφόρου ορίζοντα, ανά 2 περίπου μέτρα, εντός του πλάτους του οδοστρώματος και εκτεινόμενες κατά 4 έως 6 μέτρα εκτός του πλάτους του οδοστρώματος. Μετρήσεις και παρατηρήσεις για τον καθορισμό του βάθους, και όλων των άλλων χαρακτηριστικών (διάμετρος διάτρητου σωλήνα, αριθμός οπών, κλπ.) γίνονται πριν και μετά την άντληση του νερού από τις γραμμικές τάφρους.

Σε συνεκτικά εδαφικά υλικά με πολύ μικρή υδροπερατότητα (συνήθως $PI > 25$) η ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα με γραμμικά βαθιά στραγγιστήρια δεν είναι αποτελεσματική. Παρόλο που υπάρχουν άλλες περισσότερο αποτελεσματικές πλην όμως αρκετά δαπανηρές και εξειδικευμένες μέθοδοι (ηλεκτρική όσμωση κλπ.), συνιστάται να επιλέγεται αντί της ταπείνωσης του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα η υπερύψωση της στρώσης έδρασης στο επιθυμητό ύψος. Στην περίπτωση αυτή επιβάλλεται η κατασκευή αποστραγγιστικής στρώσης. Ο σχεδιασμός και η προστασία της αποστραγγιστικής στρώσης θα γίνεται σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

5.1 Δοκιμές προσδιορισμού ορίων Atterberg

5.1.1 Όριο υδαρότητας. (AASHTO T-89/76, ASTM D-4318/83)

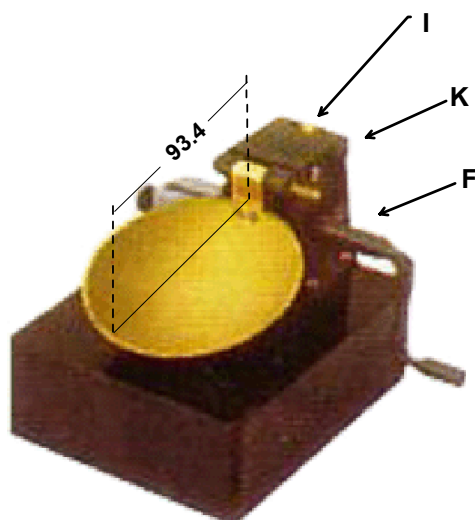
Το όριο υδαρότητας εδάφους αντιστοιχεί εξ' ορισμού στην υγρασία στην οποία το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ρευστή κατάσταση, όπως αυτή προσδιορίζεται από τη δοκιμή του ορίου υδαρότητας.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου περίπου 120 mm.

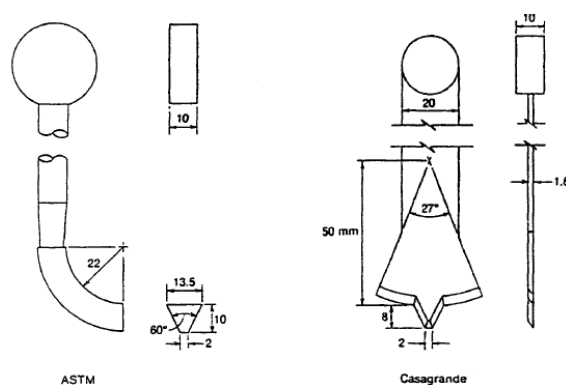
Σπαθίδα ή μικρό μαχαίρι με λεπίδα μήκους περίπου 80 mm και πλάτους 20 mm.

Συσκευή ορίου υδαρότητας, Cassagrande. Μηχανική συσκευή που συνίσταται από ένα ορειχάλκινο κύπελλο και μία βάση (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Συσκευή Cassagrande ορίου υδαρότητας

Όργανο χάραξης συνδυασμένο με μετρητή στο πίσω μέρος σύμφωνα με τις εμφανιζόμενες διαστάσεις.



Σχήμα 3. Περιγραφή εργαλείων χάραξης

Γυάλινοι υποδοχείς που παρεμποδίζουν την απώλεια υγρασίας κατά τη ζύγιση.

Ζυγός με ευαισθησία 0,01g.

Μηχανική μέθοδος

Προκαταρκτικές εργασίες

Παίρνουμε δείγμα βάρους 100 g από το κλάσμα του υλικού, που έχει καλά αναμιχθεί και διέρχεται από το κόσκινο Νο 40. Η συσκευή του ορίου υδαρότητας πρέπει να επιθεωρείται για να διαπιστωθεί η καλή κατάσταση λειτουργίας, ότι δεν έχει επέλθει φθορά στον πείρο που συγκρατεί το κύπελλο, ότι είναι σφιγμένοι οι κοχλίες σύνδεσης του κυπέλλου και ότι δεν έχει χαραχθεί το κύπελλο λόγω μακράς χρήσης. Με τον μετρητή που υπάρχει στο πίσω μέρος του οργάνου χάραξης ρυθμίζουμε το ύψος στο οποίο θα ανυψώνεται το κύπελλο έτσι ώστε το σημείο του κυπέλλου που έρχεται σε επαφή με τη βάση της συσκευής να είναι ακριβώς 1 εκατ. πάνω από τη βάση. Στη συνέχεια σταθεροποιούμε την πλάκα ρύθμισης σφίγγοντας τους κοχλίες I. Με τον μετρητή ακόμη στη θέση ελέγχουμε τη ρύθμιση περιστρέφοντας τον στρόφαλο μερικές φορές. Εάν η ρύθμιση είναι καλή θα ακούγεται ένας ελαφρύς ήχος, όταν η προεξοχή του στροφάλου εφάπτεται της προεξοχής του κυπέλλου. Εάν το κύπελλο ανυψώνεται ή δεν ακούγεται ο ελαφρύς ήχος πρέπει να γίνει ξανά η ρύθμιση.

Τρόπος εργασίας

Τοποθετούμε το δείγμα εδάφους μέσα σε μία κάψα και ρίχνουμε 15-29 cm³ απεσταγμένου νερού. Ανακατεύουμε πάρα πολύ καλά με την σπαθίδα (σπάτουλα) μέχρις ότου κατανεμηθεί ομοιόμορφα το νερό στο δείγμα. Παραπάνω προσθήκη νερού γίνεται σε ποσότητα 1-3 cm³ και επακολουθεί η ανάμιξη όπως και παραπάνω, πριν προστεθεί, αν χρειαστεί, άλλη ποσότητα νερού. Κατόπιν το δείγμα τοποθετείται στον υγραντήρα επί 30 min για ωρίμανση.

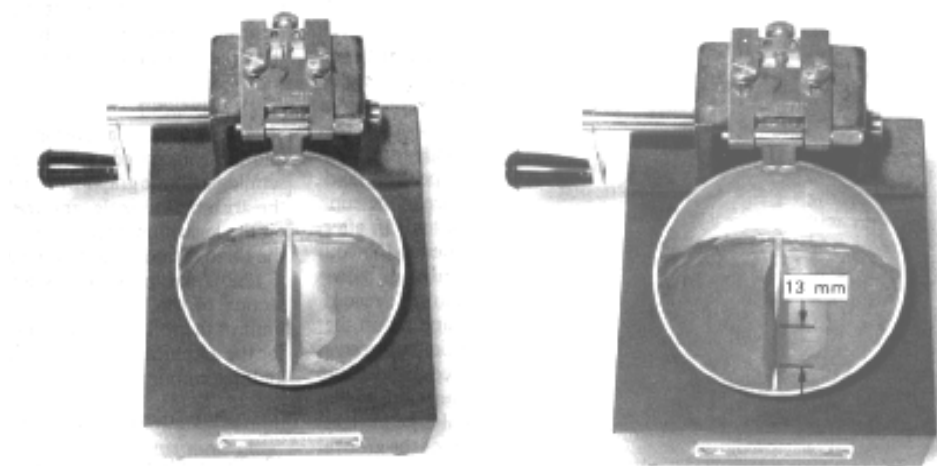
Στην συνέχεια παίρνουμε μέρος της ομοιόμορφης πηκτής μάζας και την τοποθετούμε στο κύπελλο στης συσκευής και στο μέρος πάνω από το σημείο που ακουμπά το κύπελλο στη βάση της συσκευής.

Απλώνεται το υλικό με τη βοήθεια της σπαθίδας (σπάτουλας) καταβάλλοντας προσπάθεια να μη εγκλείσουμε φυσαλίδες μέσα στο δείγμα. Μετά την ισοπέδωση το μεγαλύτερο βάθος του δείγματος πρέπει να είναι 1 cm. Το επί πλέον έδαφος απομακρύνεται.

Το εντός του κυπέλλου έδαφος διαιρείται με μια σταθερή διαδρομή του οργάνου χάραξης κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλλου, έτσι ώστε να σχηματιστεί καθαρή και απότομη χαραγή καταλλήλων διαστάσεων.

Προς αποφυγή δημιουργίας σχισμών επί των πλευρών της χαραγής ή ολίσθησης του εδάφους, επιτρέπονται μέχρι έξη (6) τέτοιοι χειρισμοί. Το βάθος της χαραγής πρέπει να αυξάνει με κάθε χειρισμό, στο τέλος δε πρέπει να φαίνεται ο πυθμένας του κυπέλλου. Με περιστροφή του στροφάλου F με ταχύτητα δύο στροφών ανά δευτερόλεπτο, ανυψώνεται και πέφτει το κύπελλο με το παρασκεύασμα, μέχρις ότου οι δύο πλευρές του δείγματος ενωθούν στον πυθμένα της χαραγής και σε μήκος 12,7 mm περίπου. Αναγράφεται ο αριθμός των κτύπων που χρειάστηκαν για να κλείσει έτσι η χαραγή. Όταν περιστρέφεται ο στρόφαλος η συσκευή πρέπει να κρατιέται με το άλλο χέρι. Τμήμα εδάφους, ίσο περίπου με το πλάτος της σπαθίδας εκτεινόμενο από άκρο σε άκρο του πλακούντος του εδάφους, κάθετα προς την χαραγή και περιλαμβάνοντας το μέρος της χαραγής που ενώθηκε το έδαφος, τοποθετείται σε κατάλληλο γυάλινο υποδοχέα ζυγίζεται και ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους σε κλίβανο θερμοκρασίας 110° C και ζυγίζεται πάλι. Καταγράφεται

το ξηρό βάρος ως επίσης και το νερό που έχασε κατά την ξήρανση. Η πιο πάνω διαδικασία, επαναλαμβάνεται σε δύο τουλάχιστον επί πλέον τμήματα του δείγματος, στα οποία έχει προστεθεί αρκετό νερό για να γίνει το δείγμα περισσότερο ρευστό. Ο σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η επίτευξη δειγμάτων τέτοιας σύστασης ώστε να γίνεται τουλάχιστον ένας προσδιορισμός σε κάθε μία από τις ακόλουθες τρεις περιοχές κτύπων: 25-35, 20- 30, 15-25.



Σχήμα 4. Δοκιμή ορίου υδαρότητας πριν τη δοκιμή και μετά το πέρας της.

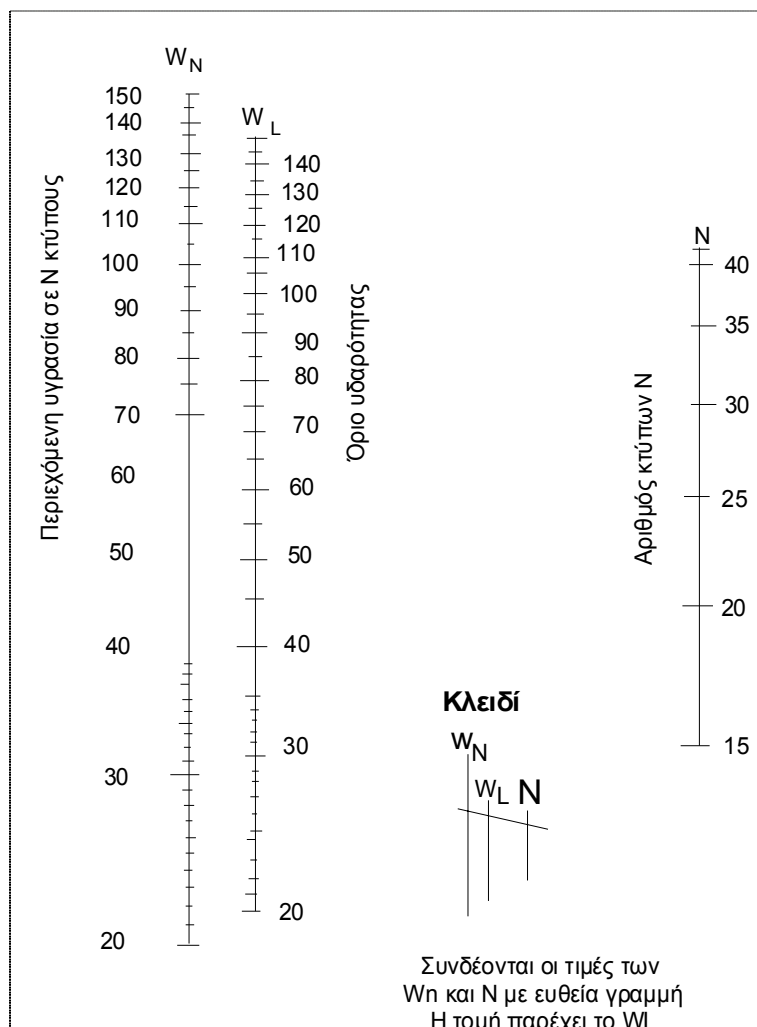
Τήρηση στοιχείων

Η περιεκτικότητα σε νερό βρίσκεται όπως αναφέρεται στην προδιαγραφή προσδιορισμού φυσικής υγρασίας εδάφους. Στη συνέχεια επί ημιλογαριθμικού διαγράμματος σχηματίζεται η καμπύλη ροής, που παριστά την σχέση μεταξύ περιεχόμενης υγρασίας και αντίστοιχου αριθμού κτύπων, με τα ποσοστά υγρασίας σαν τεταγμένες στην γραμμική κλίμακα και των αριθμών κτύπων σαν τετμημένες, στην λογαριθμική κλίμακα. Η καμπύλη ροής θα σχεδιάζεται ως ευθεία γραμμή όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς τα τρία αποτυπωθέντα σημεία. Το ποσοστό υγρασίας που αντιστοιχεί στην καμπύλη ροής με την τεταγμένη των 25 κτύπων λαμβάνεται σαν όριο υδαρότητας.

Μηχανική μέθοδος (εναλλακτική)

Το δείγμα και ο τρόπος εργασίας είναι ίδιος με την προηγούμενη μέθοδο, εκτός του ότι το υγρό δείγμα που παίρνουμε για ζύγιση πρέπει να λαμβάνεται μόνο από μία αποδεκτή δοκιμή. Δύο τουλάχιστον κλεισίματα χαραγής πρέπει να γίνονται προτού ένα από αυτά γίνει αποδεκτό. Για ακρίβεια ίση με αυτή που έχουμε με την μέθοδο των τριών σημείων, ο αποδεκτός αριθμός κτύπων για κλείσιμο χαραγής πρέπει να περιορίζεται μεταξύ 20 και 30 κτύπων. Για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας χρησιμοποιείται το νομογράφημα του σχήματος 5. Το κλειδί στο σχήμα 5 δείχνει την χρησιμοποίηση του νομογραφήματος που αποτελεί την απεικόνιση της λύσης της εξίσωσης.

$$LL = w_l = w_n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$



Σχήμα 5. Νομογράφημα προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας

Κατά την εκτέλεση δοκίμων ελέγχου ή διαιτησίας, πρέπει να χρησιμοποιείται η μηχανική μέθοδος τριών σημείων.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Το όριο υδαρότητας αναφέρεται σε ακέραιες μονάδες (στρογγυλεμένο στον επόμενο πλησιέστερο ακέραιο αριθμό). Για υλικά με δείκτη πλαστικότητας μικρότερο του 10 το όριο υδαρότητας εκφράζεται με ακρίβεια 0,1.

5.1.2 Όριο πλαστικότητας. (AASHTO T-90/61 , ASTM D-4318/83)

Εισαγωγή

Το όριο πλαστικότητας εδάφους αντιστοιχεί, εξ' ορισμού, στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας, στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς ο ραβδίσκος να θραύεται.

Εξοπλισμός

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός αποτελείται από:

- Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου περίπου 120 mm.
- Σπαθίδα ή σπάτουλα με λεπίδα μήκους 80 mm περίπου και πλάτους 20 mm περίπου.
- Επιφάνεια για την κυλίνδρωση: Γυάλινη πλάκα σμυριδωμένη ή κομμάτι ομαλού και αστίλβωτου χαρτιού για κυλίνδρωση του δείγματος.
- Υποδοχείς. Κατάλληλοι υποδοχείς, ώστε να προσαρμόζονται ύαλοι ωρολογίου για την πρόληψη απώλειας υγρασίας κατά τη διάρκεια της ζύγισης.
- Κλίβανος θερμοκρασίας 110° C.
- Ζυγός ευαισθησίας 0,001 g.

Τρόπος εργασίας

Λαμβάνεται ποσότητα εδάφους περίπου 20 g από μέρος του υλικού που έχει αναμιχθεί καλά, του διερχομένου από το κόσκινο Νο 40 (0,42mm). Τοποθετείται το έδαφος, που έχει ξηραθεί στον αέρα, μέσα σε κάψα από πορσελάνη και αναμιγνύεται καλά με απεσταγμένο νερό μέχρι που η μάζα καταστεί αρκετά πλαστική ώστε να μορφώνεται εύκολα σε βόλο. Σαν δείγμα δοκιμής λαμβάνεται μέρος του βόλου αυτού 8 g περίπου.

Συμπιέζεται και μορφώνεται το δείγμα δοκιμής των 8g σε μάζα ελλειψοειδούς σχήματος. Η μάζα αυτή κυλινδρώνεται μεταξύ των δακτύλων και της σμυριδωμένης γυάλινης πλάκας ή του κομματιού χαρτιού που βρίσκεται πάνω σε ομαλή οριζόντια επιφάνεια, με την ακριβώς απαιτούμενη πίεση ώστε να κυλινδρωθεί η μάζα σε ραβδίσκο ομοιόμορφου διαμέτρου σε όλο το μήκος του. Ο αριθμός κυλινδρώσεων πρέπει να είναι μεταξύ 80-90 κινήσεων ανά λεπτό, υπολογιζόμενης της κίνησης σαν μία πλήρη κίνηση του χεριού προς τα εμπρός και προς τα πίσω στη θέση εκκίνησης. Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου γίνει 3 mm ο ραβδίσκος θραύεται σε έξη ή οκτώ τεμάχια. Συμπιέζονται τα τεμάχια μαζί μεταξύ των αντιχείρων και των δακτύλων και των δύο χεριών προς ομοιόμορφη μάζα, χονδρικά ελλειψοειδούς σχήματος και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση. Η εναλλαγή συνεχίζεται με κυλίνδρωση σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm, με συλλογή (συνένωση), με αναζύμωση και επανακυλίνδρωση, μέχρι που ο ραβδίσκος να θρυμματιστεί με την απαιτούμενη για την κυλίνδρωση πίεση και το έδαφος δεν μπορεί πλέον να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο. Ο θρυμματισμός μπορεί να επέλθει όταν ο ραβδίσκος έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 3 mm. Αυτό πρέπει να θεωρηθεί ικανοποιητικό σημείο περάτωσης, με τον όρο ότι το έδαφος κυλινδρώθηκε προηγουμένως σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm. Συγκεντρώνονται μαζί τα μέρη του θραυσθέντος εδάφους και τοποθετούνται μέσα σε κατάλληλο προζυγισμένο υποδοχέα. Ο υποδοχέας με το έδαφος ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος. Το έδαφος που είναι μέσα στον υποδοχέα, ξηραίνεται σε κλίβανο μέχρι σταθερού βάρους, σε θερμοκρασία 110° C και ζυγίζεται. Το βάρος αυτό καταγράφεται. Η απώλεια βάρους αναφέρεται στο βάρος ύδατος. Ο

προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας προκύπτει σαν ο μέσος όρος τριών (3) δοκιμών.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Το όριο πλαστικότητας υπολογίζεται σαν το ποσοστό επί τοις εκατό (%) του νερού, κατά βάρος, που περιέχεται στους ραβδίσκους των 3 mm που ξηράνθηκαν στον κλίβανο μέχρι σταθερού βάρους, ως εξής:

$$\text{Όριο πλαστικότητας} = \frac{\text{Βάρος Νερού}}{\text{Βάρος εδάφους που ξηράνθηκε στον κλίβανο}} \times 100$$

Ο δείκτης πλαστικότητας εδάφους υπολογίζεται σαν η διαφορά μεταξύ του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας, ως εξής:

Δείκτης πλαστικότητας = Όριο υδαρότητας - Όριο πλαστικότητας.

Η παραπάνω διαφορά ορίζεται ως «δείκτης πλαστικότητας» με εξαίρεση τις εξής περιπτώσεις:

- Όταν το όριο υδαρότητας ή το όριο πλαστικότητας δεν μπορούν να προσδιορισθούν, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό).
- Όταν το έδαφος είναι εξαιρετικά αμμώδες, η δοκιμή για το όριο πλαστικότητας πρέπει να εκτελείται πριν από το όριο υδαρότητας. Αν το όριο πλαστικότητας δε μπορεί να προσδιοριστεί, αναφέρονται και το όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό).
- Όταν το όριο πλαστικότητας είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το όριο υδαρότητας, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP.

Το όριο πλαστικότητας και ο δείκτης πλαστικότητας εκφράζονται στρογγυλεμένοι στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό. Για υλικά με δείκτη πλαστικότητας μικρότερο του 10 εκφράζονται με ακρίβεια 0,1.

5.2 Συμπύκνωση εδαφών δοκιμή Proctor - Σχέση υγρασίας – πυκνότητας

Με τον όρο συμπύκνωση εδαφών εννοούμε την τεχνητή αύξηση της πυκνότητας του εδάφους με μηχανικά μέσα. Με τη συμπύκνωση επιτυγχάνουμε αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους, μείωση των καθιζήσεων και της διαπερατότητας του και τέλος αύξηση της αντίστασης του εδάφους σε αποσάθρωση.

Η διαδικασία συμπύκνωσης εφαρμόζεται στα τεχνικά έργα τόσο στις περιπτώσεις κατασκευής επιχωμάτων, όσο και σε αυτές κατασκευής ορυγμάτων-όπου μετά την αφαίρεση της φυτικής γης διαταράσσεται η συμπύκνωση και η πυκνότητα της στρώσης έδρασης- για την επίτευξη ασφαλέστερων κατασκευών.

Η συμπύκνωση των εδαφικών υλικών εξαρτάται άμεσα από το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας. Μέγιστη συμπύκνωση του υλικού μπορεί να επιτευχθεί μόνο για συγκεκριμένο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας που ονομάζεται «βέλτιστη υγρασία». Ο καθορισμός της βέλτιστης υγρασίας για την επίτευξη μέγιστης πυκνότητας καθορίζεται με την εκτέλεση της εργαστηριακής δοκιμής Proctor.



Σχήμα 6. Μήτρες και κόπανοι για την διεξαγωγή της δοκιμής Proctor και της τροποποιημένης δοκιμής Proctor.

5.2.1 Πρότυπη μέθοδος Proctor

Εισαγωγή

Οι δοκιμές αυτές έχουν σα σκοπό τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της πυκνότητας των εδαφών με συμπύκνωση τους μέσα σε τύπο ορισμένου μεγέθους με κόπανο βάρους 2,49 kg που πέφτει από ύψος 304,8mm. Προβλέπονται τέσσερις διαφορετικές διαδικασίες:

Μέθοδος Α

Τύπος διαμέτρου 101, 6 mm

Το εδαφικό υλικό διέρχεται από το κόσκινο No 4 (4, 76 mm).

Μέθοδος Β

Τύπος διαμέτρου 152, 4 mm

Το εδαφικό υλικό διέρχεται από το κόσκινο No 4 (4, 76 mm).

Μέθοδος Γ

Τύπος διαμέτρου 101, 6 mm.

Το εδαφικό υλικό διέρχεται από το κόσκινο $\frac{3}{4}''$ (19,1 mm).

Μέθοδος Δ

Τύπος διαμέτρου 152, 4 mm.

Το εδαφικό υλικό διέρχεται από το κόσκινο $\frac{3}{4}''$ (19, 1 mm).

Πίνακας 21. Απαιτήσεις των μεθόδων Α, Β, Γ και Δ του υλικού και του χρησιμοποιούμενου τύπου (μήτρας)

Μέθοδος	Τύπος Διαμέτρου	Εδαφικό υλικό διερχόμενο από το κόσκινο Νο
A	101, 6 mm	No 4. (4, 76 mm).
B	152, 4 mm	No 4. (4, 76 mm).
Γ	101, 6 mm	$\frac{3}{4}''$ (19,1 mm).
Δ	152, 4 mm	$\frac{3}{4}''$ (19,1 mm).

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί καθορίζεται ανάλογα με τις εκάστοτε προδιαγραφές του προς δοκιμή υλικού. Αν όμως δεν καθορίζεται, χρησιμοποιείται τότε η μέθοδος Α.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

Τύποι: Οι τύποι είναι κατασκευασμένοι από μέταλλο και έχουν κυλινδρικό σχήμα. Έχουν ένα πρόσθετο δακτύλιο ύψους περίπου 60,3 mm. Ο τύπος και ο πρόσθετος δακτύλιος μαζί είναι έτσι κατασκευασμένοι, ώστε να μπορούν να συνδέονται σταθερά με την ανεξάρτητη πλάκα βάσεως. Η χωρητικότητα και οι διαστάσεις των τύπων είναι οι ακόλουθες:

α) Τύπος με χωρητικότητα: $(943 \pm 8) \times 10^3 \text{ mm}^3$ εσωτερικής διαμέτρου: 101,6 $\pm$ 0,406mm και

β) Τύπος που έχει χωρητικότητα: $(2124 \pm 21) \times 10^3 \text{ mm}^3$.

Εσωτερικής διαμέτρου: 152.4 $\pm$ 0,66mm και ύψους 116,4 $\pm$ 0,127mm

Κόπανος: Ένας μεταλλικός κόπανος με κυκλική διατομή διαμέτρου 50,8 $\pm$ 0,127 mm και βάρους 2,49 $\pm$ 0.01 kg. Ο κόπανος θα είναι εφοδιασμένος με κατάλληλο οδηγό (διάταξη) για τον έλεγχο του ύψους πτώσεως, ώστε να πέφτει ελεύθερα από ύψος 304,8 $\pm$ 0,524mm από τη στάθμη του εδαφικού δοκιμίου.

Εξολκέας δείγματος (προαιρετικά): Μία κατάλληλη συσκευή για την εξαγωγή των συμπυκνωθέντων δοκιμίων από τον τύπο.

Ζυγοί: Ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 10kg και ακρίβειας ως 5g και ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 1kg και ακρίβειας ως 0,19gr.

Κλίβανος ξηράνσεως: Ένας θερμοστατικά ελεγχόμενος κλίβανος ξηράνσεως ικανός για τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε 110 $\pm$ 5° C για την ξήρανση υγρών δειγμάτων.

Κανόνας: Ένας χαλύβδινος κανόνας μήκους περίπου 300mm που έχει τη μία πλευρά λοξά κομμένη.

Κόσκινα: Κόσκινα 50mm, 19mm και No 4 (4,76mm).

Εργαλεία αναμίξεως: Διάφορα εργαλεία όπως λεκάνη αναμίξεως, κουτάλα, μυστρί, σπάτουλα κ.λ.π. ή κατάλληλη μηχανική συσκευή για την καλή ανάμιξη του δείγματος του εδάφους με τα προστιθέμενα ποσοστά του ύδατος.

Περιγραφή εργασίας

Μέθοδος Α Εάν το δείγμα του εδάφους, όταν λαμβάνεται από το έργο, είναι υγρό, ξηραίνεται μέχρι που να γίνει εύθρυπτο. Η ξήρανση μπορεί να γίνει με τον αέρα ή μέσα σε συσκευή ξηράνσεως τέτοια ώστε η θερμοκρασία του δείγματος να μην υπερβαίνει τους 60°C. Μετά θραύονται καλά τα συσσωματώματα με τρόπο ώστε να αποφευχθεί η ελάττωση του φυσικού μεγέθους (θραύση) των κόκκων. Κοσκινίζεται επαρκής ποσότητα αντιπροσωπευτικού κονιοποιηθέντος εδάφους με το κόσκινο Νο 4.

Απορρίπτεται το χονδρόκοκκο υλικό που συγκρατήθηκε στο κόσκινο No 4, αν υπάρχει.

Σε περίπτωση που το ποσοστό υλικού που συγκρατείται στο κόσκινο No 4 είναι μεγαλύτερο από 7% τότε, συνίσταται να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Γ.

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα βάρους περίπου 3kg ή και περισσότερο, από το έδαφος που παρασκευάστηκε. Το αντιπροσωπευτικό δείγμα που πάρθηκε αναμιγνύεται καλά με επαρκή ποσότητα νερού για να υγρανθεί κατά 4 περίπου μονάδες (επί τοις % του βάρους) κάτω από τη βέλτιστη υγρασία.

Σχηματίζεται ένα δοκίμιο με συμπίκνωση του παρασκευασθέντος εδάφους μέσα στον τύπο των 101,6mm (με τον δακτύλιο προσαρμοσμένο), σε τρεις ίσες στρώσεις για την παρασκευή ενός υλικού συμπυκνωμένου βάρους περίπου 127mm. Συμπυκνώνεται κάθε στρώση με 25 ομοιόμορφα διανεμημένους κτύπους με τον κόπανο. (Κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης, ο τύπος θα πρέπει να στηρίζεται σε σταθερό βάθρο). Μετά τη συμπίκνωση, απομακρύνεται από τον τύπο ο δακτύλιος, περικόπεται με τον κανόνα με προσοχή το συμπυκνωμένο έδαφος μέχρι τα χείλη του τύπου και ζυγίζεται. Πολλαπλασιάζεται το βάρος του συμπυκνωμένου δοκιμίου μαζί με τον τύπο, μείον το βάρος του τύπου, (σε kg), επί 1.059. Αναφέρεται το αποτέλεσμα ως το υγρό φαινόμενο βάρος συμπυκνωμένου εδάφους "γ" σε kg/m³. Εξάγεται το δοκίμιο από τον τύπο και αποκόπεται κάθετα με ένα επίπεδο που διέρχεται από το κέντρο του. Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα του υλικού από μία από τις δύο επιφάνειες της τομής. Ζυγίζεται αμέσως και ξηραίνεται μέσα σε κλίβανο σε θερμοκρασία 110 ± 5° C επί δώδεκα τουλάχιστον ώρες ή μέχρι σταθερού βάρους για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας. Το βάρος του υγρού δείγματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 100g. Το υπόλοιπο υλικό θραύεται τελείως μέχρι που να διέρχεται αυτό από το κόσκινο No 4. Προστίθεται νερό σε επαρκή ποσότητα ώστε να αυξηθεί η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος του εδάφους κατά μία ή δύο μονάδες επί τοις % και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία για κάθε νέα αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας. Συνεχίζεται η σειρά αυτή των προσδιορισμών μέχρι που να ελαττωθεί ή δεν μεταβληθεί το υγρό φαινόμενο βάρος του συμπυκνωμένου εδάφους. Στις περιπτώσεις που το εδαφικό υλικό είναι εύθραυστο και θα ελαττωθεί σημαντικά το μέγεθος των κόκκων λόγω των επαναλαμβανόμενων συμπυκνώσεων και στις περιπτώσεις όπου το έδαφος είναι αργιλώδες υλικό, εντός του οποίου είναι δύσκολο να ενσωματωθεί το νερό, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα ξεχωριστό και νέο δείγμα για κάθε δοκιμή συμπίκνωσης. Στις περιπτώσεις αυτές, ξεχωριστά δείγματα αναμιγνύονται καλά με επαρκή ποσά νερού, για να προσδώσουν περιεχόμενες υγρασίες στα δείγματα, που διαφέρουν κατά περίπου 2 μονάδες επί τοις %.

Μέθοδος Β

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα σύμφωνα προς τα ανωτέρω με τη διαφορά, ότι αυτό θα πρέπει να έχει βάρος περίπου 7kg. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως περιγράφεται για την Μέθοδο Α εκτός από τα ακόλουθα : σχηματίζεται δοκίμιο με συμπίκνωση του παρασκευασθέντος εδάφους στον τύπο των 152, 4mm, (με τον δακτύλιο προσαρμοσμένο), σε 3 ίσες στρώσεις για απόκτηση ενός υλικού συμπυκνωθέντος βάρους περίπου 127mm, με κάθε στρώση να συμπυκνώνεται, με 56 ομοιόμορφες διανεμημένες κρούσεις με τον κόπανο.

Πολλαπλασιάζεται το βάρος του συμπυκνωμένου δοκιμίου με τον τύπο, μείον το βάρος του τύπου (σε kg) επί 471. Αναφέρεται το αποτέλεσμα ως το υγρό φαινόμενο βάρος του συμπυκνωθέντος εδάφους, σε kg/m³.

Σε περίπτωση που ποσοστό μεγαλύτερο από 7% του υλικού συγκρατείται στο κόσκινο Νο 4, τότε συνίσταται να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Α.

Μέθοδος Γ

Εάν το δείγμα του εδάφους είναι υγρό, ξηραίνεται όπως στη μέθοδο Α. Κοσκινίζεται μια επαρκής ποσότητα αντιπροσωπευτικού κονιοποιημένου εδάφους με το κόσκινο 19,1 mm. Απορρίπτεται το χονδρόκοκκο υλικό, το συγκρατημένο στο κόσκινο 19,1 mm, αν υπάρχει.

Σε περίπτωση που περισσότερο από 10% του υλικού συγκρατείται στο κόσκινο 19,1 mm, τότε είναι σκόπιμο να διατηρηθεί το ίδιο ποσοστό % χονδρόκοκκου υλικού, (διερχόμενου από το κόσκινο 50mm και συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο 4), στο δείγμα υγρασίας -πυκνότητας όπως στο αρχικά ληφθέν από το έργο δείγμα. Το υλικό το συγκρατούμενο στο κόσκινο 19,1mm θα πρέπει να αντικατασταθεί με τον ακόλουθο τρόπο: Κοσκινίζεται επαρκής ποσότητα από το αντιπροσωπευτικό κονιοποιημένο έδαφος με τα κόσκινα 50mm και 19,1mm. Απορρίπτεται το χονδρόκοκκο υλικό που συγκρατείται στο κόσκινο 50mm. Ζυγίζεται το υλικό το διερχόμενο από το κόσκινο 50mm και συγκρατούμενο στο κόσκινο 19,1mm και αντικαθίσταται αυτό με ένα ίσου βάρους υλικό διερχόμενο από το κόσκινο 19,1mm και συγκρατούμενο στο κόσκινο Νο 4. Το προς αντικατάσταση υλικό λαμβάνεται από το υλικό που απέμεινε μέρος του δείγματος. Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα βάρους περίπου 5,5kg ή περισσότερο, από το έδαφος που παρασκευάστηκε όπως περιγράφεται πιο πάνω. Το αντιπροσωπευτικό δείγμα που έχει ληφθεί αναμιγνύεται καλά με αρκετό νερό για να υγρανθεί με 4 περίπου μονάδες, επί τοις % του βάρους, κάτω από την βέλτιστη υγρασία.

Σχηματίζεται ένα δοκίμιο με συμπίκνωση του παρασκευασθέντος εδάφους μέσα στον τύπο των 101,6mm (με τον δακτύλιο προσαρμοσμένο), σε τρεις στρώσεις ίσες για την παρασκευή ενός υλικού συμπτυκνωμένου βάθους περίπου 127mm. Συμπυκνώνεται κάθε στρώση με 25 ομοιόμορφα διανεμημένους κτύπους με τον κόπανο. Κατά τη διάρκεια της συμπίκνωσης ο τύπος θα πρέπει να στηρίζεται σε σταθερό βάθρο. Μετά τη συμπίκνωση, απομακρύνεται από τον τύπο ο δακτύλιος και περικόπτεται με τον κανόνα με προσοχή το συμπτυκνωμένο έδαφος, μέχρι τα χείλια του τύπου. Οι σχηματιζόμενες οπές στην επιφάνεια λόγω της απομάκρυνσης χονδρών κόκκων, συμπληρώνονται με λεπτότερο υλικό. Ζυγίζεται ο τύπος με το υγρό έδαφος. Πολλαπλασιάζεται το βάρος του συμπτυκνωμένου δοκιμίου με τον τύπο μείον το βάρος του τύπου (σε kg), επί 1.059 και αναφέρεται το αποτέλεσμα ως το υγρό φαινόμενο βάρος του συμπτυκνωμένου εδάφους σε kg/m^3 .

Ακολουθείται η διαδικασία όπως περιγράφεται για την Μέθοδο Α.

Μέθοδος Δ

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα, τούτο θα πρέπει να ζυγίζει περίπου 11, 5kg. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία που περιγράφεται για τη Μέθοδο Γ εκτός από τα ακόλουθα: Σχηματίζεται δοκίμιο με συμπίκνωση του παρασκευασμένου εδάφους στον τύπο των 152,4mm, (με τον δακτύλιο προσαρμοσμένο), σε 3 ίσες στρώσεις για την απόκτηση ενός υλικού συμπτυκνωμένου βάθους περίπου 127mm, κάθε στρώσης συμπτυκνωμένης με 56 ομοιόμορφα διανεμημένες κρούσεις με τον κόπανο.

Πολλαπλασιάζεται το βάρος του συμπτυκνωμένου δοκιμίου με τον τύπο μείον το βάρος του τύπου (σε kg), επί 471. Αναφέρεται το αποτέλεσμα σαν το υγρό φαινόμενο βάρος του συμπτυκνωμένου εδάφους σε kg/m^3 .

Εάν παραπάνω από 30% του υλικού συγκρατείται στο κόσκινο 19,1 mm τότε συνιστάται να μην ακολουθείται καμιά από τις παραπάνω μεθόδους, για τον προσδιορισμό της μέγιστης πυκνότητας και της βέλτιστης υγρασίας.

Υπολογισμοί- τήρηση στοιχείων

Υπολογίζεται η περιεχόμενη υγρασία και το ξηρό βάρος του εδάφους, όπως αυτό συμπτυνώθηκε για κάθε δοκιμή με τον ακόλουθο τρόπο:

$$w = \frac{A - B}{B - \Gamma} \times 100$$

και

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{w - 100} \times 100$$

όπου: w = % περιεχόμενη υγρασία στο δοκίμιο, βασιζόμενη στο βάρος εδάφους, που ξηράνθηκε σε κλίβανο.

A = βάρος υποδοχέα και υγρού εδάφους.

B = βάρος υποδοχέα και ξηρού εδάφους

Γ = βάρος υποδοχέα.

γ_d = ξηρό φαινόμενο βάρος, σε kg/m³ συμπτυνωμένου εδάφους και

γ = υγρό φαινόμενο βάρος, σε kg/m³ συμπτυνωμένου εδάφους.

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού του υγρού φαινομένου βάρους του συμπτυνωμένου εδάφους γίνεται βάση της σχέσης:

$$\gamma = \frac{E}{V}$$

όπου: E = το βάρος του υγρού συμπτυνωμένου εδάφους μέσα στη μήτρα σε kg

V = όγκος μήτρας (συνήθως λαμβάνεται ίσος με $2,1231 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ για τη μεγάλη μήτρα και $0,943 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ για τη μικρή).

Σχέση υγρασίας πυκνότητας

Οι υπολογισμοί γίνονται για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας και του ξηρού φαινομένου βάρους (πυκνότητας) που αντιστοιχεί σ' αυτή σε κλίβανο για κάθε ένα από τα συμπτυνωμένα δείγματα εδάφους. Τα σε κλίβανο ξηρή βάρη ανά κυβικό μέτρο (πυκνότητες) του εδάφους σημειώνονται σε σχετικό διάγραμμα, σαν τεταγμένες και οι αντίστοιχες περιεχόμενες υγρασίες σα τετμημένες (Σχήμα 7).

Βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία

Όταν έχουν προσδιοριστεί και σχεδιαστεί οι πυκνότητες και οι αντίστοιχες περιεχόμενες υγρασίες, παρατηρείται ότι, με σύνδεση των σχεδιασμένων σημείων με ομαλή γραμμή, σχηματίζεται μία καμπύλη. Η περιεχόμενη υγρασία που αντιστοιχεί στο ανώτατο σημείο της καμπύλης ορίζεται σαν "βέλτιστη υγρασία" του εδάφους για την παραπάνω συμπτύκνωση (Σχήμα 7).

Στο εργοτάξιο η επιδιωκόμενη συμπτύκνωση είναι της τάξης του 90% της μέγιστης εργαστηριακά προσδιοριζόμενης ξηρής πυκνότητας.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Το δελτίο περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Τη χρησιμοποιηθείσα μέθοδο, (Μέθοδος Α, Β, Γ ή Δ).
- Τη βέλτιστη περιεχόμενη υγρασία %.
- Τη μέγιστη ξηρή πυκνότητα σε kg/m^3 με προσέγγιση χιλιοστού και στις Μεθόδους Γ και Δ, αν το επί του κόσκινου 19,1mm συγκρατούμενο υλικό, απομακρύνθηκε ή αντικαταστάθηκε.

5.2.2 Τροποποιημένη Μέθοδος Proctor (AASHTO. T 99-74 ASTM. D 698-78)

Εισαγωγή

Οι δοκιμές αυτές έχουν σαν σκοπό τον προσδιορισμό της σχέσεως μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της πυκνότητας των εδαφών με συμπίκνωση αυτών μέσα σε τύπο ορισμένου μεγέθους με κόπανο βάρους 4,54 kg που πέφτει από ύψος 457,2mm. Προβλέπονται τέσσερις διαφορετικές διαδικασίες όμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται και στην πρότυπη μέθοδο Proctor Α, Β, Γ και Δ.

Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος καθορίζεται στις προδιαγραφές για το προς δοκιμή υλικό. Αν δε προδιαγράφεται μέθοδος, εφαρμόζεται η μέθοδος Α.

Σήμερα στα έργα χρησιμοποιείται η τροποποιημένη δοκιμή Proctor, μιας και η εξέλιξη στον τομέα του μηχανικού εξοπλισμού –οδοστρωτήρες μεγάλου φορτίου- επιτρέπει την επιβολή μεγαλύτερου φορτίου κατά τη διαδικασία της συμπίκνωσης. Το φορτίο αυτό αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο παραγόμενο έργο ενός κοπάνου μεγαλύτερου βάρους που πέφτει από ένα υψηλότερο σημείο. Με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor επιτυγχάνεται μεγαλύτερη συμπίκνωση για μικρότερη περιεχόμενη υγρασία από ότι με την πρότυπη. Το φαινόμενο αυτό γίνεται έντονα αισθητό στην περίπτωση των συνεκτικών εδαφών. Μια σύγκριση των τιμών που προκύπτουν από την εκτέλεση των διαφορετικών μεθόδων σε υλικά διαφορετικής κοκκομετρίας φαίνεται στον Πίνακα 22 που ακολουθεί. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται μια γενικευμένη αναπαράσταση, της γραφικής παράστασης, του ίδιου υλικού για τις δυο δοκιμές.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

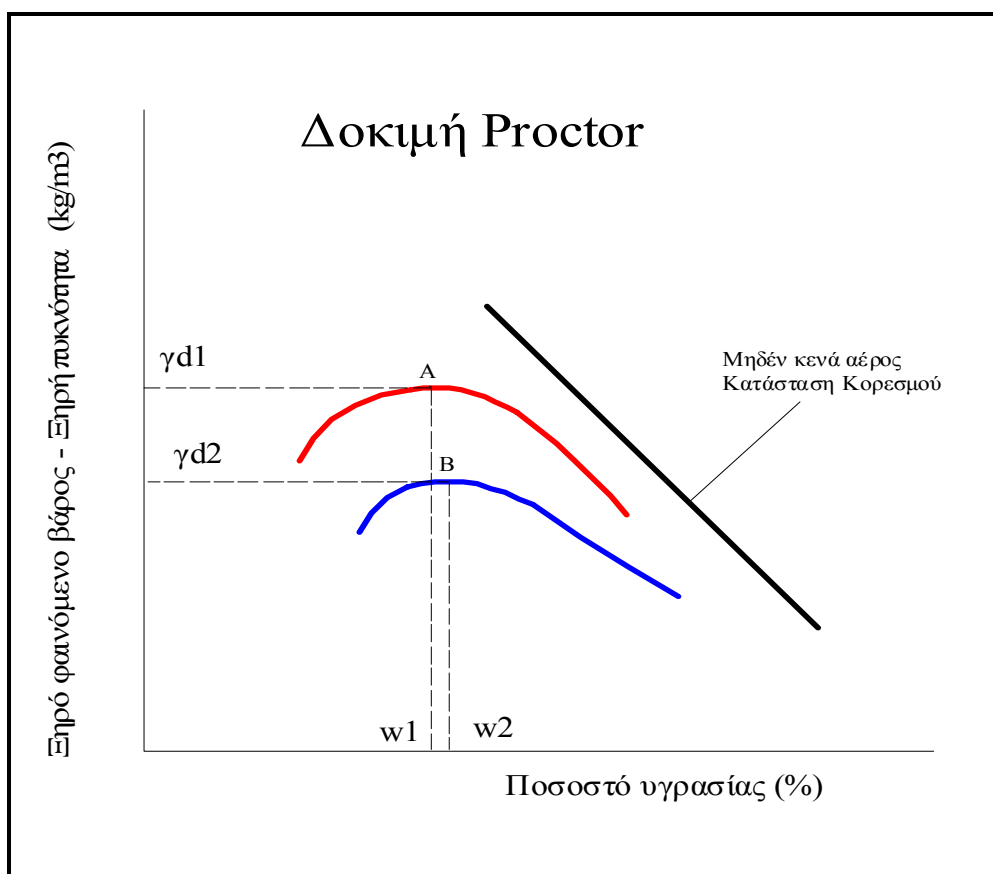
Ο εργαστηριακός εξοπλισμός ανάμεσα στην πρότυπη και τροποποιημένη δοκιμή Proctor δεν διαφοροποιείται σημαντικά. Έτσι οι τύποι, ο εξολκέας, οι ζυγοί, ο κλίβανος ξηράνσεως, ο κανόνας, τα εργαλεία αναμίξεως και ο κλίβανος που χρησιμοποιούνται, παραμένουν τα ίδια ενώ η διαφορά εντοπίζεται στο βάρος του χρησιμοποιούμενου κόπανου και στο ύψος από το οποίο γίνεται η πτώση του. Ο κόπανος που χρησιμοποιείται έχει κυκλική διατομή διαμέτρου $50,8 \pm 0,127\text{mm}$ και βάρος $4,54 \pm 0,01\text{kg}$. Ο κόπανος επίσης είναι εφοδιασμένος με κατάλληλο οδηγό (διάταξη) για τον έλεγχο του ύψους πτώσεως, ώστε να πέφτει ελεύθερα από ύψος $457,2 \pm 1,524\text{mm}$ από τη στάθμη του εδαφικού δοκιμίου.

Περιγραφή εργασίας

Η εκτέλεση των δοκιμών και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και στην πρότυπη μέθοδο.

Πίνακας 22. Τυπικές τιμές βέλτιστης υγρασία με την πρότυπη και τροποποιημένη μέθοδο συμπίκνωσης κατά Proctor (Transport and Road Research Laboratory, Soil Mechanics for Road Engineers, London, 1990) (από Νικολαΐδης, 1996).

Είδος εδαφικού υλικού	Τροποποιημένη μέθοδος Proctor		Πρότυπη μέθοδος Proctor	
	Μέγιστη ξηρή πυκνότητα (kg/m ³)	Βέλτιστη Υγρασία (%)	Μέγιστη ξηρή πυκνότητα (kg/m ³)	Βέλτιστη Υγρασία (%)
Αργιλικό	1875	18	1555	28
Ιλυώδης άργιλος	1945	12	1670	21
Αμμώδης άργιλος	2055	11	1840	14
Άμμος	2085	9	1940	11
Μίγμα χαλικιών – άμμου - αργίλου	2200	8	2070	9



Σχήμα 7. Γραφική απεικόνιση σχέσης Υγρασίας – Πυκνότητας για την πρότυπη (1) και την τροποποιημένη (2) δοκιμή Proctor.

5.3 Μέθοδος δοκιμής του Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας (CBR) (AASHTO T 193, ASTM - D 1883, BS – 1377)

Εισαγωγή

Με τη δοκιμή αυτή, επιδιώκεται ο καθορισμός της τιμής της φέρουσας ικανότητας εδαφών και μιγμάτων εδαφών-αδρανών όταν συμπτυνωθούν στο εργαστήριο στη βέλτιστη υγρασία και σε διάφορους βαθμούς πυκνότητας με χρησιμοποίηση σφύρας βάρους 2,49kg και πτώση ύψους 304,8mm, (Πρότυπη μέθοδος). Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να γίνει και η τροποποιημένη μέθοδος συμπτύνωσης με χρησιμοποίηση σφύρας βάρους 4,54kg και ύψους πτώσεως 457,2mm. Η φέρουσα ικανότητα του εδάφους εκφράζεται στην οδοποιία συναρτήσει του Καλιφορνιακού δείκτη φέρουσας ικανότητας (C.B.R.: Californian Bearing Ratio). Στην Ελλάδα ο προσδιορισμός του CBR γίνεται σύμφωνα με τις αμερικάνικες προδιαγραφές AASHTO T 193-81 και ASTM - D 1883 και περιγράφεται αναλυτικά στην Ε 105-86, BS – 1377.

Ως CBR ορίζεται ο λόγος, επί τοις εκατό, της δύναμης (ή τάσης) η οποία απαιτείται για να διεισδύσει το έμβολο της συσκευής εντός του εδαφικού υλικού κατά ένα συγκεκριμένο βάθος, προς τη δύναμη (ή τάση) που απαιτείται για αντίστοιχο βάθος διείσδυσης εντός προτύπου υλικού.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

Μήτρες. Οι μήτρες πρέπει να είναι κυλινδρικού σχήματος, μεταλλικές, εσωτερικής διαμέτρου $152,4 \pm 0,66\text{mm}$ και ύψους περί τα $177,8 \pm 0,41\text{mm}$ και με διάτρητη βάση, η οποία μπορεί να προσαρμόζεται και στα δύο άκρα του δοχείου. Είναι επιθυμητό να έχουμε τουλάχιστον τρεις μήτρες για κάθε δοκιμή.

Παρέμβλημα. Ένας κυκλικός μεταλλικός δίσκος διαμέτρου $150,8 \pm 0,8\text{mm}$ και ύψους $61,37 \pm 0,13\text{mm}$. Όταν χρησιμοποιούνται μήτρες ύψους 177,8mm, τότε χρειάζεται ένα παρέμβλημα ύψους 61,37mm ώστε να ληφθεί πάχος δείγματος που να συμπίπτει με το πάχος των 116,4mm των δοκιμών της πρότυπης ή τροποποιημένης μεθόδου PROCTOR.

Κόπανος. Ένας κόπανος βάρους 2,49kg με επιφάνεια κρούσης κυκλική, διαμέτρου 50,8mm. Αυτός φέρει διάταξη για τον έλεγχο του ύψους πτώσεως για ελεύθερη πτώση 304,8mm επάνω από την επιφάνεια του δοκιμίου.

Συσκευή για τη μέτρηση της διόγκωσης. Αποτελείται από την πλάκα διόγκωσης με στέλεχος μέτρησης και τρίποδα υποστήριξης με μηκυνσιόμετρο. Η πλάκα διόγκωσης είναι μεταλλική, κυκλική, διαμέτρου 149,2mm, διάτρητη με οπές διαμέτρου (1,6mm). Ο τρίποδας που χρησιμοποιείται για να υποστηρίζει το μηκυνσιόμετρο είναι διαρθρωμένος ώστε να προσαρμόζεται στο δακτύλιο προέκτασης της μήτρας.

Μηκυνσιόμετρα. Δύο μηκυνσιόμετρα που καθένα έχει ικανότητα μέτρησης μέχρι 25,4mm και με προσέγγιση 0,02mm.

Βάρη επιφόρτισης. Ένα δακτυλιοειδές μεταλλικό φορτίο με κυκλική οπή στο μέσο, διαμέτρου 54mm, μερικά μεταλλικά φορτία με εγκοπή ή διαιρούμενα, όλα διαμέτρου

149,2mm και βάρους το καθένα $2,27 \pm 0,04\text{kg}$. Όταν χρησιμοποιούνται διαιρούμενα φορτία το βάρος του ζεύγους θα είναι $2,27 \pm 0,04\text{kg}$.

Έμβολο διείσδυσης. Μεταλλικό έμβολο κυκλικής διατομής με διάμετρο $49,63 \pm 0,13\text{mm}$, εμβαδόν διατομής 1935mm^2 και μήκους όχι μικρότερο από 102mm.

Συσκευή φόρτισης. Μία συσκευή θλίψης που έχει την ικανότητα να εξασκεί φόρτιση ομοιόμορφα αυξανόμενου φορτίου μέχρι 44,5 KN και με ταχύτητα φόρτισης 1,3mm/min. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιείται για να εξαναγκάσει το έμβολο να διεισδύσει στο δοκίμιο.

Δοχείο Υδρεμποτισμού. Ένα δοχείο υδρεμποτισμού κατάλληλο ώστε να διατηρείται η στάθμη του νερού 25,4mm πάνω από τα δοκίμια.

Κλίβανος ξήρανσης. Ένα κλίβανο ξήρανσης ικανό να διατηρεί θερμοκρασία $110 \pm 5^\circ\text{C}$ για την ξήρανση των δειγμάτων.

Διάφορα. Διάφορα εργαλεία, όπως δοχεία ανάμιξης, σπάτουλες, διηθητικό χαρτί, ζυγοί κ.λ.π.

Περιγραφή εργασίας

Ετοιμάζεται δείγμα σύμφωνα με την Πρότυπη μέθοδο Proctor (Μέθοδος Γ), με τη διαφορά ότι θα ζυγίζει 35kg ή περισσότερο. Το εδαφικό υλικό, αφού κονιορτοποιηθεί (να μην υπάρχουν σβώλοι), θα πρέπει όλο να διέρχεται από το κόσκινο 19,1mm. Εάν το υλικό που διέρχεται από κόσκινο ανοίγματος 50mm και που συγκρατείται στο κόσκινο 19mm είναι μεγαλύτερο του 10% αντικαθίσταται με υλικό που διέρχεται από το κόσκινο ανοίγματος 19mm και συγκρατείται στο κόσκινο No 4 (4,76mm), όπως επεξηγείται στην μέθοδο Proctor. Η αντικατάσταση αυτή κρίνεται αναγκαία για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων στην περίπτωση που τα εδαφικά υλικά είναι χονδρόκοκκα. Επιλέγεται αντιπροσωπευτική ποσότητα βάρους περίπου 11kg για ένα έλεγχο υγρασίας-πυκνότητας και διαχωρίζεται το υπόλοιπο του δείγματος, ώστε να ληφθούν τρεις αντιπροσωπευτικές ποσότητες βάρους περίπου 6,8kg η κάθε μία.

Σχέση υγρασίας - πυκνότητας

Η ποσότητα των 11kg χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της βέλτιστης υγρασίας και της μέγιστης ξηρής πυκνότητας, σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο PROCTOR, (Μέθοδος Δ).

Διαδικασία δοκιμής

Κανονικά πρέπει να συμπυκνωθούν τρία δείγματα κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι πυκνότητες που θα προκύψουν από τη συμπύκνωση να κυμαίνονται από 95% (ή λιγότερο) μέχρι 100% (ή περισσότερο) της μέγιστης ξηρής πυκνότητας σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο Proctor, (Μέθοδος Δ). Ο αριθμός των κτύπων, που είναι ο ίδιος για κάθε στρώση, καθορίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί, ανά δοκίμιο, πυκνότητα λίγο μικρότερη και λίγο μεγαλύτερη από τη μέγιστη πυκνότητα κατά Proctor.

Γενικά θεωρούνται κατάλληλοι περίπου 10, 30 και 65 κτύποι κατά στρώση, για τη συμπύκνωση αντιστοίχως των δοκιμίων 1, 2 και 3. Απαιτούνται γενικά περισσότεροι των 56 κτύπων κατά στρώση για την παρασκευή ενός δοκιμίου CBR, μέχρι του 100% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας, γιατί το δείγμα για την παρασκευή του δοκιμίου CBR αναμιγνύεται και συμπυκνώνεται μια φορά μόνο.

Ορισμένα εργαστήρια προτιμούν να ελέγχουν μόνο ένα δοκίμιο που συμπτκνώνεται στη μέγιστη ξηρή πυκνότητα και στη βέλτιστη υγρασία, όπως καθορίζεται από την πρότυπη μέθοδο Proctor.

Είναι δυνατή η εκτέλεση της δοκιμής CBR και με την τροποποιημένη μέθοδο συμπτκνωσης Proctor, σε ένα μόνο δοκίμιο, σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στη μέθοδο ελέγχου ASTM- D 1883/1978, και για δοκίμιο που θα συμπτκνωθεί με τη μέθοδο ASTM D 1557.

Συνδέεται η μήτρα στο δίσκο της βάσης, στερεώνεται ο δακτύλιος προέκτασης και ζυγίζεται με προσέγγιση 5g. Εισάγεται το παρέμβλημα στη μήτρα και τοποθετείται τραχύ διηθητικό χαρτί στην επάνω επιφάνεια του δίσκου. Αναμιγνύεται κάθε μία από τις ποσότητες των 6,8kg, που έχουν παρασκευασθεί σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω με αρκετό νερό, ώστε να ληφθεί η βέλτιστη υγρασία. Συμπτκνώνεται μία από τις ποσότητες του μίγματος του εδάφους-νερού μέσα στη μήτρα σε τρεις ίσες στρώσεις και λαμβάνεται συμπτκνωμένο δοκίμιο εδάφους πάχους περίπου 127mm. Κάθε στρώση συμπτκνώνεται με τον ελάχιστο αριθμό κτύπων, που έχει επιλεγεί, ώστε να ληφθεί από τη συμπτκνωση πυκνότητα 95% ή λιγότερη της μέγιστης πυκνότητας.

Προσδιορίζεται η περιεχόμενη υγρασία του υλικού στην αρχή και στο τέλος της συμπτκνωσης αυτής (2 δείγματα). Κάθε δείγμα για τον καθορισμό της υγρασίας πρέπει να ζυγίζει τουλάχιστον 100g για τα λεπτόκοκκα εδάφη και 500g για τα χονδρόκοκκα. Εξάγεται ο δακτύλιος προέκτασης και με ράβδο επιπεδώνεται το έδαφος που συμπτκνώθηκε στο ύψος των χειλών της μήτρας. Επιφανειακές ανωμαλίες γεμίζουν με λεπτόκοκκο υλικό. Απομακρύνεται το παρέμβλημα, τοποθετείται τραχύ διηθητικό χαρτί στο διάτρητο δίσκο της βάσης, αντιστρέφεται η μήτρα και το συμπτκνωμένο δοκίμιο εδάφους τοποθετείται πάνω σε διηθητικό χαρτί. Στερεώνεται η διάτρητη πλάκα της βάσης στη μήτρα και προσαρμόζεται ο δακτύλιος προέκτασης. Ζυγίζεται η μήτρα και το δοκίμιο με προσέγγιση 5g. Οι δύο άλλες ποσότητες των 6,8kg συμπτκνώνονται, με μόνη διαφορά ότι ένας ενδιαμέσος αριθμός κτύπων κατά στρώση χρησιμοποιείται για τη συμπτκνωση του δεύτερου δοκιμίου και ο μέγιστος αριθμός κτύπων κατά στρώση χρησιμοποιείται για τη συμπτκνωση του τρίτου δοκιμίου.

Υδρεμποτισμός

Πάνω στο εδαφικό δείγμα και μέσα στη μήτρα τοποθετείται, πλάκα με στέλεχος ρύθμισης της διόγκωσης και στη συνέχεια τοποθετούνται επαρκή δακτυλιοειδή βάρη (συνήθως τρία) για την πραγματοποίηση της φόρτισης (προσομοίωση του βάρους των υπερκείμενων στρώσεων), τιμής ίσης προς την πραγματοποιούμενη από το βάρος των στρώσεων υπόβασης, βάσης και στρώσης κυκλοφορίας, πάνω από το προς δοκιμή υλικό, με απόκλιση $\pm 2,26\text{kg}$ από αυτό. Σε καμιά περίπτωση τα φορτία αυτά δεν θα είναι συνολικά μικρότερα από 4,54kg. Τοποθετείται ο τρίποδας με το μηχανοστάσιο στην κορυφή της μήτρας και λαμβάνεται μια αρχική ανάγνωση. Εμβαπτίζεται η μήτρα στο νερό, ώστε και το επάνω και το κάτω μέρος του δοκιμίου να βρίσκεται σε ελεύθερη επαφή με το νερό. Κατά τη διάρκεια του υδρεμποτισμού διατηρείται η στάθμη του νερού στη μήτρα και στο δοχείο υδρεμποτισμού περίπου 25.4mm επάνω από την κορυφή του δοκιμίου. Ο υδρεμποτισμός του δοκιμίου διαρκεί 96 ώρες (4 ημέρες). Είναι δυνατό να εφαρμοστεί μικρότερη περίοδος υδρεμποτισμού, (όχι πάντως μικρότερη από 24 ώρες), για έδαφος με χαλίκια που αποστραγγίζεται εύκολα εφόσον όμως οι δοκιμές δείχνουν ότι η μικρότερη περίοδος αυτή, δεν επηρεάζει καθόλου τα αποτελέσματα της δοκιμής. Για

ορισμένα αργιλικά εδάφη μπορεί να χρειαστεί περίοδος υδρεμποτισμού μεγαλύτερη των 4 ημερών.

Μετά την πάροδο των 96 ωρών υδρεμποτισμού και αφού ληφθεί η τελική ένδειξη του μηχανοσυόμετρου, το όλο σύστημα απομακρύνεται με προσοχή από το υδρόλουτρο, έτσι ώστε να μη διαταραχθεί η επιφάνεια του δοκιμίου και αφήνεται για 15 λεπτά να στραγγίσει με τη βαρύτητα. Τα βάρη επιφόρτισης και οι διάτρητες πλάκες αφαιρούνται μετά την αποστράγγιση. Μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος το συμπυκνωμένο εδαφικό δοκίμιο είναι έτοιμο να υποβληθεί στη δοκιμή καθορισμού του CBR. Από τις μετρήσεις του μηχανοσυόμετρου (αρχική και τελική ένδειξη) καθορίζεται το ποσοστό διόγκωσης του εδαφικού υλικού, σαν ποσοστό του αρχικού μήκους του δείγματος, βάσει του παρακάτω τύπου.

$$\text{Ποσοστό διόγκωσης} = \frac{\text{Μεταβολή του μήκους σε mm κατά τη διάρκεια υδρεμ.}}{116.4 \text{ mm}} \times 100$$

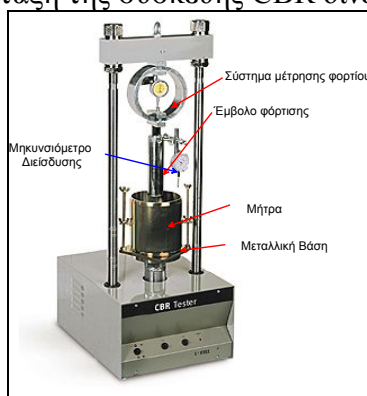
Όταν ζητείται να καθορισθεί η υγρή πυκνότητα του υλικού που έχει υδρεμποτισθεί τα δοκίμια ζυγίζονται μετά την αποστράγγιση.

Δοκιμή διείσδυσης- επιβολή φορτίου - μέτρηση διείσδυσης

Προκαλείται επιφόρτιση πάνω στα δοκίμια με όσα δακτυλιοειδή φορτία, (ίδιας μορφής και σχήματος), χρησιμοποιήθηκαν κατά τον υδρεμποτισμό. Μόλις γίνεται η τοποθέτηση ενός φορτίου επάνω στο δοκίμιο και για να αποφευχθεί διαρροή μαλακού υλικού κατά την έναρξη της φόρτισης, αφήνεται να επικαθίσει επάνω στο δοκίμιο το έμβολο διείσδυσης. Μετά την επικάθηση του εμβόλου διείσδυσης τοποθετούνται τα υπόλοιπα βάρη φόρτισης γύρω από το έμβολο. Το έμβολο διείσδυσης με φορτίο 44,5N (4,54kg), αφήνεται να επικαθίσει επάνω στο δοκίμιο και στη συνέχεια μηδενίζονται οι ενδείξεις των οργάνων μέτρησης της διείσδυσης και του φορτίου. Τα φορτία εξασκούνται πάνω στο έμβολο διείσδυσης έτσι ώστε η διείσδυση να είναι ομοιόμορφη και με ταχύτητα διείσδυσης περίπου 1,3 mm/min.

Λαμβάνονται ενδείξεις του φορτίου για διεισδύσεις: 0,64 – 1,27 – 1,91 – 2,54 – 5,08 και 7,62 mm. Η φόρτιση συνήθως σταματά όταν έχει επιτευχθεί διείσδυση περίπου 8,0mm. Επίσης, εάν χρειάζεται, μπορεί να ληφθούν αναγνώσεις για διεισδύσεις 10,16 mm και 12,70 mm.

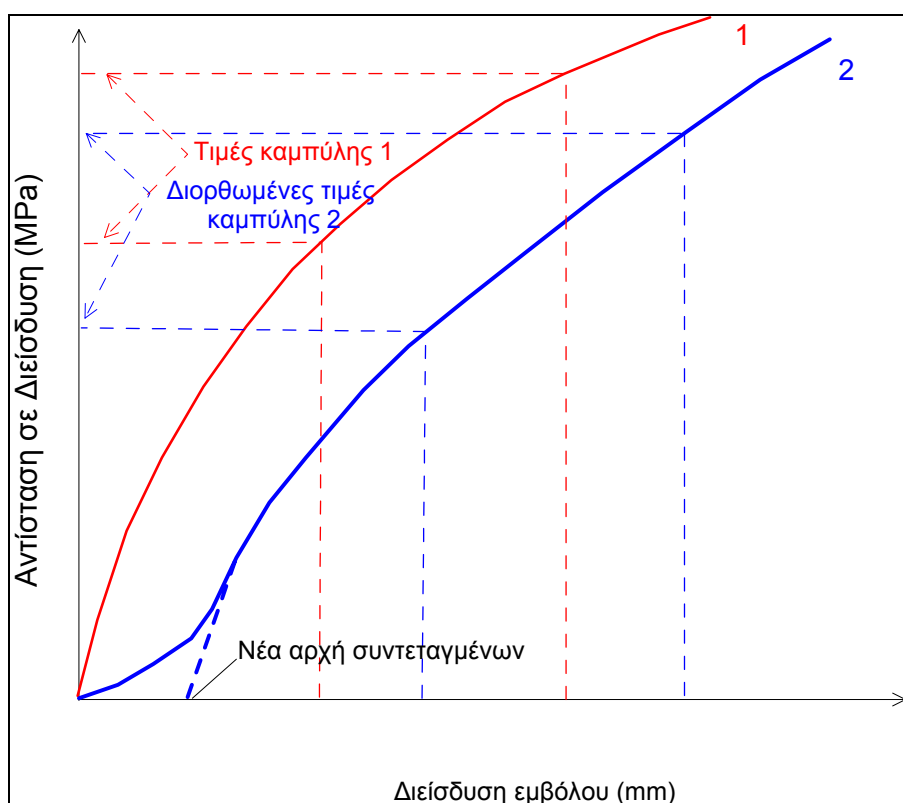
Μετά τη δοκιμή, μπορεί να προσδιοριστεί η περιεχόμενη υγρασία της άνω ζώνης πάχους 25,4mm του δείγματος. Τα δείγματα για τον προσδιορισμό της υγρασίας θα ζυγιστούν τουλάχιστον 100g για λεπτόκοκκα εδάφη και 500 g για κοκκώδη εδάφη. Τυπική διάταξη της συσκευής CBR δίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 8. Συσκευή CBR

Υπολογισμοί - τήρηση στοιχείων

Τα ζεύγη τιμών διείσδυση εμβόλου και επιβαλλόμενο φορτίο- ή αντίσταση σε διείσδυση ή διείσδυση εμβόλου και επιβαλλόμενη τάση τοποθετούνται σε γραμμικές συντεταγμένες και λαμβάνεται καμπύλη της μορφής 1 ή 2, Σχήμα 9. Η καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων (αντίσταση σε διείσδυση -βάθος διείσδυσης), σχεδιάζεται για κάθε δοκίμιο. Σε ορισμένες περιπτώσεις η αρχική διείσδυση λαμβάνει χώρα χωρίς αναλογική αύξηση της αντίδρασης σε διείσδυση και η καμπύλη πιθανό να είναι κοίλη προς τα άνω. Για να λάβουμε την πραγματική σχέση τάσεων παραμορφώσεων, διορθώνουμε την καμπύλη που έχει τα κοίλα στραμμένα προς τα άνω, ειδικά στο τμήμα της κοντά στην αρχή των συντεταγμένων. Η διόρθωση της καμπύλης συνίσταται στον επαναπροσδιορισμό της αρχής των συντεταγμένων (δηλαδή το ζεύγος 0,0). Η νέα θέση της αρχής των συντεταγμένων καθορίζεται με προέκταση του ευθύγραμμου τμήματος καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων, μέχρις ότου αυτό τμήσει τον άξονα των τετμημένων (Σχήμα. 9).



Σχήμα 9. Διάγραμμα υπολογισμού CBR

Οι λόγοι Καλιφορνιακού δείκτη φέρουσας ικανότητας λαμβάνονται σε ποσοστό %, με διαίρεση των διορθωμένων τιμών πιέσεων που αντιστοιχούν στις διεισδύσεις των 2,54mm και 5,08 mm δια των αντιστοίχων προτύπων πιέσεων 6,9 MPa (7,03 kg/cm²) και 10,35 MPa (105,5 kg/cm²).

Ο λόγος αυτός πρέπει να πολλαπλασιασθεί επί 100.

$$C.B.R. = \frac{\text{διορθωμενη τιμη πιεσης}}{\text{προτυπη πιεση}} \times 100$$

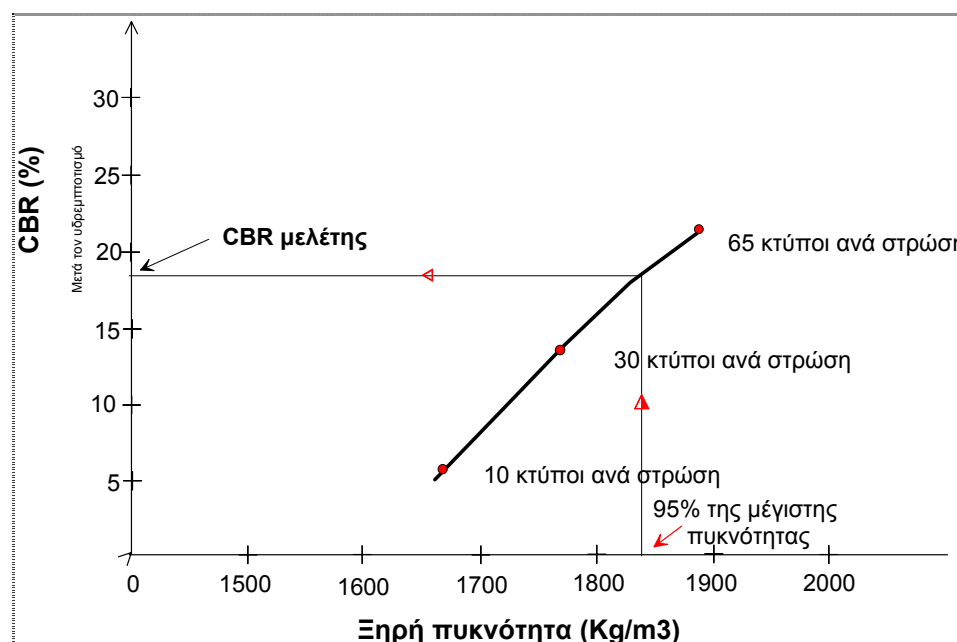
Πρέπει να επισημανθεί ότι, οι πρότυπες πιέσεις των 6, 9 MPa και 10,35 MPa, προκύπτουν από την διαίρεση των προτύπων φορτίων 13,35 kN και 20,02 kN αντίστοιχα δια της επιφάνειας του εμβόλου 1.935 mm^2 και προκαλούν διείσδυση του εμβόλου, σε πρότυπο υλικό, των 2,5mm ή 5,0mm, αντίστοιχα.

Σαν τιμή του Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας εκλέγεται αυτή που αντιστοιχεί σε διείσδυση 2,54 mm. Εάν ο λόγος της φέρουσας ικανότητας που αντιστοιχεί σε διείσδυση 5,08mm είναι μεγαλύτερος η δοκιμή επαναλαμβάνεται. Εάν η δοκιμή επαληθεύσεως δώσει όμοια αποτελέσματα, χρησιμοποιείται ο λόγος που αντιστοιχεί σε διείσδυση 5,08mm.

Τα αποτελέσματα εκφράζονται, συνήθως, σε ακέραιους αριθμούς, εφ' όσον το CBR λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του 10% και με ένα δεκαδικό εφ' όσον το CBR λαμβάνει τιμές μικρότερες του 10%. Τα ίδια ακριβώς με όλα τα παραπάνω ισχύουν εάν αντί της τάσης χρησιμοποιείται το επιβαλλόμενο φορτίο. Στην περίπτωση όμως αυτή η διαίρεση του επιβαλλόμενου φορτίου γίνεται με την τιμή του τυπικού φορτίου 13,35 kN ή 20,02 kN, που αντιστοιχεί σε διείσδυση 2,54mm ή 5,08mm, αντίστοιχα.

Με τη χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων τριών τουλάχιστον δοκιμών που συμπεκνώθηκαν με διαφορετικούς κτύπους και συνεπώς έχουν διαφορετική πυκνότητα, αναπαριστάται η σχέση C.B.R.- πυκνότητα ξηρού συμπεκνωμένου εδάφους, από την οποία καθορίζεται και το CBR της μελέτης στο επιθυμητό ποσοστό της μέγιστης πυκνότητας (Σχήμα 10). Συνήθως εκλέγεται το C.B.R. που αντιστοιχεί στο ελάχιστο επιτρεπόμενο ποσοστό συμπεκνώσεως σύμφωνα με τις προδιαγραφές του έργου.

Ακολουθώντας την προδιαγραφή, όπως στο Σχήμα 10, από την καμπύλη που ορίζεται, ως CBR μελέτης λαμβάνεται η τιμή που αντιστοιχεί σε πυκνότητα ίση με το 95% της μέγιστης πυκνότητας κατά Proctor (πρότυπη μέθοδος).



Σχήμα 10 . Καθορισμός CBR μελέτης

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Το δελτίο των δοκιμών περιλαμβάνει τα ακόλουθα για κάθε δοκίμιο:

- Ενέργεια συμπτύκνωσης (αριθμός κτύπων ανά στρώση).
- Ξηρή πυκνότητα συμπτύκνωσης δείγματος σε kg/m^3 .
- Περιεχόμενη υγρασία όταν συμπτύκνεται στη μήτρα %.
- Διόγκωση (ως ποσοστό αρχικού μήκους) %, αναφέρεται και το βάρος επιφόρτισης για τις τρεις περιπτώσεις των δοκιμών, (10-30-65 κτύποι), με ακρίβεια ακέραιας μονάδας.
- Καλιφορνιακός Λόγος Φέρουσας Ικανότητας, εκφραζόμενος με % με ένα δεκαδικό ψηφίο για τιμές του C.B.R. < 10, ενώ για μεγαλύτερες τιμές σαν ακέραιος αριθμός.

5.3.1 Παραλλαγές στη μέτρηση του CBR

Ορισμένες χώρες δεν ακολουθούν πλήρως την προαναφερθείσα μεθοδολογία μέτρησης του CBR. Οι αποκλίσεις κυρίως εστιάζονται στην υγρασία που χρησιμοποιείται κατά τη συμπίκνωση των δοκιμών, στη μη υποβολή των δοκιμών σε υδρεμποτισμό πριν τον έλεγχο της διείσδυσης και στον τρόπο συμπίκνωσης (στατική συμπίκνωση έναντι της δυναμικής συμπίκνωσης).

Η υγρασία συμπίκνωσης στις περιπτώσεις αυτές δεν είναι η βέλτιστη για μέγιστη πυκνότητα, αλλά η υγρασία στην οποία θα βρίσκεται το υπέδαφος κατά την κατασκευή ή κάποια μέση αντιπροσωπευτική υγρασία του εδάφους. Αυτό έχει συνήθως ως επακόλουθο τα δοκίμια να μην υπόκεινται σε υδρεμποτισμό πριν τη δοκιμή διείσδυσης. Η σχεδιαστική τιμή του CBR στην περίπτωση αυτή καθορίζεται από τη σχέση CBR και υγρασίας. Ως σχεδιαστική τιμή λαμβάνεται αυτή που αντιστοιχεί στη μέγιστη πιθανή υγρασία στην οποία θα βρεθεί το υπέδαφος καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του οδοστρώματος.

Η χρήση στατικής συμπίκνωσης έναντι της δυναμικής, εκτός του γεγονότος ότι απαιτεί λιγότερη χειρωνακτική δουλειά, έχει το πλεονέκτημα ότι τα δοκίμια μπορούν να συμπτύκνουν στην επιθυμητή ξηρή πυκνότητα επακριβώς και δίχως αυτή να χρειασθεί να καθορισθεί με άλλο προκαταρκτικό έλεγχο. Βεβαίως, μειονέκτημα αυτού του τρόπου συμπίκνωσης είναι η πολύ πιθανή ανομοιομορφία της πυκνότητας του δοκιμίου συναρτήσει του βάθους του.

Συνεπώς, οποιαδήποτε μέθοδος συμπίκνωσης και τρόπος καθορισμού της σχεδιαστικής τιμής CBR χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να αναφέρεται ρητά στη μελέτη έτσι ώστε να είναι δυνατός, σε μεταγενέστερο χρόνο, ο έλεγχος του CBR κατά την κατασκευή του έργου.

5.4 Επί τόπου προσδιορισμός του Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας (CBR). (AASHTO T 193-72)

Το CBR του συμπτύκνωσης υπεδάφους ή και της εδαφικής στρώσης (υπόβαση και βάση) μπορεί να μετρηθεί και "επί του έργου". Το γεγονός αυτό παρέχει τη δυνατότητα τόσο της εξαγωγής γρήγορων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων όσο και τον προσδιορισμό του CBR των εδαφών και των οδοστρωμάτων στη φυσική τους κατάσταση χωρίς διατάραξη και με τη φυσική υγρασία. Η δοκιμή είναι χρήσιμη για την εκτίμηση του υπεδάφους καθώς και των παλαιών υποβάσεων και βάσεων στις περιπτώσεις που χρειάζεται να ενισχυθούν.

Η συσκευή που χρησιμοποιείται είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο με μόνη διαφορά ότι η επιβολή του ρυθμού διείσδυσης γίνεται

χειροκίνητα και απαιτείται (συνήθως) η χρήση οχήματος για να επιτευχθεί η αντίδραση για την επιβολή του φορτίου. Όλη η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής και η εξαγωγή του αποτελέσματος είναι ακριβώς όπως και στο εργαστήριο.

Συσκευές

Μηκυνσιόμετρα. Δύο μηκυνσιόμετρα που το καθένα έχει ικανότητα μετρήσεως μέχρι 2,54cm και ευαισθησία 0,02mm.

Βάρη επιφόρτισης. Ένα δακτυλιοειδές μεταλλικό φορτίο με κυκλική οπή στο μέσο, διαμέτρου 54 mm και μερικά μεταλλικά φορτία με εγκοπή ή διαιρούμενα, όλα διαμέτρου 149,2 mm και βάρους $2,27 \pm 0,04$ kg το καθένα.

Έμβολο διείσδυσης. Μεταλλικό έμβολο κυκλικής διατομής με διάμετρο 49,63 mm, εμβαδόν διατομής 1935 mm² και μήκος όχι λιγότερο από 102 mm.

Συσκευή φόρτισης. Μία συσκευή θλίψης που έχει την ικανότητα να εξασκεί φόρτιση ομοιόμορφα όταν το φορτίο αυξάνεται μέχρι 44,5kN και με ταχύτητα φόρτισης 1,3 mm ανά min. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιείται για να εξαναγκάσει το έμβολο να διεισδύσει στο δοκίμιο. Η συσκευή φόρτισης πρέπει να έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται κατάλληλα σε αυτοκίνητο ή πλατφόρμα.

Αντίβαρο. Φορτηγό αυτοκίνητο ή μικρή πλατφόρμα. Τα φορτία τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν αντίβαρα για την επιβολή των φορτίων στο έμβολο διείσδυσης.

Διείσδυση εμβόλου

Επιπεδώνεται η επιφάνεια στην οποία πρόκειται να γίνει η δοκιμή φέρεται σε επαφή το έμβολο διείσδυσης με την επιφάνεια με φορτίο 4,54 kg και στη συνέχεια μηδενίζονται οι ενδείξεις των οργάνων μετρήσεως του φορτίου και των διεισδύσεων του εμβόλου.

Πριν από τη διείσδυση του εμβόλου, τοποθετούνται πάνω στο έδαφος επαρκή δακτυλιοειδή βάρη για την πραγματοποίηση φόρτισης τιμής ίσης προς το βάρος των υπερκειμένων γαιών πάνω από τη στάθμη της δοκιμής. Η διακύμανση του φορτίου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 22,6 kg αλλά σε καμία περίπτωση αυτή η επιφόρτιση δεν θα είναι μικρότερη από 4,54 kg.

Εφαρμογή του φορτίου διείσδυσης.

Τα φορτία στο έμβολο εξασκούνται κατά τρόπο ομοιόμορφο ώστε να εξασφαλίζουν ομοιόμορφη ταχύτητα διείσδυσης 1,3 mm/min. Καταγράφονται τα φορτία που αντιστοιχούν σε διείσδυση: 0,64mm – 1,27mm – 1,91mm – 2,54mm – 3,81mm – 5,08mm και 7,62mm. Αν είναι επιθυμητό μπορεί να ληφθούν αναγνώσεις για διείσδυση 10,16mm και 12,70mm.

Υπολογισμοί

Καμπύλη τάσεων - παραμορφώσεων.

Για κάθε δοκιμή σχεδιάζεται καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων, (αντίσταση σε διείσδυση - βάθος διείσδυσης). Σε ορισμένες περιπτώσεις η αρχική διείσδυση λαμβάνει χώρα χωρίς αναλογική αύξηση της αντίδρασης σε διείσδυση και η καμπύλη πιθανόν να είναι κοίλη προς τα πάνω. Για να λάβουμε την πραγματική σχέση τάσεων - παραμορφώσεων, διορθώνουμε την καμπύλη που έχει τα κοίλα στραμμένα προς τα πάνω και στο τμήμα της που είναι κοντά στην αρχή, αναπροσαρμόζοντας τη θέση της αρχής όπως κάνουμε και στην εργαστηριακή δοκιμή.

Η νέα σχέση της αρχής καθορίζεται με προέκταση του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων μέχρι να τμήσει αυτό τον άξονα των τετμημένων.

Λόγος καλιφορνιακού δείκτη φέρουσας ικανότητας.

Οι διορθωμένες τιμές φορτίου θα καθορισθούν για κάθε δοκιμή από τις διεισδύσεις 0,254 cm και 0,508cm. Οι λόγοι του καλιφορνιακού δείκτη φέρουσας ικανότητας λαμβάνονται σε ποσοστό %, με διαίρεση δια των προτύπων φορτίων 6,9MPa και 10,35 MPa των διορθωμένων τιμών φορτίου που αντιστοιχούν στις διεισδύσεις των 0,254 cm και 0,508 cm αντίστοιχα. Ο λόγος αυτός πρέπει να πολλαπλασιαστεί επί 100.

$$CBR = \frac{\text{Διορθωμένες τιμές φορτίου}}{\text{Πρότυπο φορτίο}} \times 100$$

Ως τιμή του Καλιφορνιακού Λόγου Φέρουσας Ικανότητας εκλέγεται η αντιστοιχούσα σε διείσδυση 0,254 cm. Εάν ο λόγος της φέρουσας ικανότητας που αντιστοιχεί σε διείσδυση 0,508 cm είναι μεγαλύτερος, η δοκιμή θα επαναληφθεί. Εάν η δοκιμή επαληθεύσεως δώσει όμοια αποτελέσματα, θα χρησιμοποιηθεί ο λόγος που αντιστοιχεί σε διείσδυση 0,508 cm. Μετά το τέλος της δοκιμής διείσδυσης προσδιορίζεται στη θέση της δοκιμής η ξηρή πυκνότητα του εδάφους και η φυσική του υγρασία.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Η έκθεση θα πρέπει να περιλαμβάνει την ξηρή πυκνότητα του εδάφους, την φυσική του υγρασία και την τιμή του CBR.

Σύγκριση εργαστηριακών και επί τόπου τιμών CBR

Βασική παρατήρηση μεταξύ των τιμών που λαμβάνονται στο εργαστήριο και "επί του έργου" είναι ότι αυτές πάντοτε διαφέρουν. Λόγω του περιορισμού που επιβάλλει η μεταλλική μήτρα στο εδαφικό υλικό, οι τιμές που λαμβάνονται στο εργαστήριο είναι συνήθως μεγαλύτερες από αυτές που λαμβάνονται "επί του έργου", για τον ίδιο βαθμό συμπίκνωσης και ποσοστού υγρασίας. Οι διαφορές που παρατηρούνται είναι περισσότερο έντονες στα κοκκώδη εδαφικά υλικά. Έτσι λοιπόν η εκτέλεση εργαστηριακών και "επί του έργου" ελέγχων, θα πρέπει εκ των προτέρων να καθορίσει τη σχέση που υφίσταται μεταξύ εργαστηριακών τιμών και τιμών που λαμβάνονται στο έργο, για το συγκεκριμένο εδαφικό υλικό. Μόνο έτσι θα υπάρχει απόλυτη βεβαιότητα για τις τιμές που πρέπει να λαμβάνονται στο έργο ή στο εργαστήριο. Στον Πίνακα 23 δίνονται συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ εργαστηριακών και επί του έργου δοκιμών, για διάφορα εδαφικά υλικά.

Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, ο καθορισμός του CBR "επί του έργου" των χονδρόκοκκων εδαφικών υλικών (συγκρατούμενων στο κόσκινο 19,1mm) θα πρέπει να αποφεύγεται διότι οι διαστάσεις των κόκκων σε σχέση με τη διάμετρο του εμβόλου επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Η απομάκρυνση και η αντικατάσταση του ποσοστού των χονδρόκοκκων, όπως γίνεται στο εργαστήριο, δεν είναι εφικτή γιατί θα διαταραχθεί η συμπίκνωση της στρώσης.

Πίνακας 23. Σύγκριση τιμών CBR από εργαστηριακές και επί του έργου δοκιμές, (Νικολαΐδης,, 1996).

Τύποι εδαφικών υλικών	Ξηρή πυκνότητα (kg/m ³)	Ποσοστό Υγρασίας (%)	Τιμές CBR (%)	
			Εργαστηριακές	Επί του έργου
Άργιλος (LL=69,PL=27)	1522	24.8	8.9	7.9
Άργιλος (59,23)	1538	25.1	3.9	3.0
Ιλυώδης άργιλος (37, 23)	1746	19.5	2.0	1.2
	1714	19.0	5.0	1.1
	1666	16.1	2.2	2.2
Αμμώδης άργιλος (30,18)	1522	19.2	2.2	3.1
Αργιλώδης άμμος	1858	12.2	14	7.0
	1826	12.6	10	9.0
	1746	10.0	12	18.0
Άμμος	1750	8.0	24	7.5
Θραυστή σκωρία	2243	4.8	41	44

5.5 Δοκιμή σε τριβή και κρούση χονδρόκοκκων αδρανών υλικών (μέθοδος Los Angeles) (A.A.S.H.O.: T 96-65, A.S.T.M.: O 131-64).

Σκοπός

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αντοχής σε τριβή και κρούση χονδρόκοκκων αδρανών υλικών, διερχόμενων από κόσκινο οπής 1 ½'' (38,1 mm) με τη συσκευή Los Angeles. Για πιο χονδρόκοκκα υλικά (που διέρχονται από κόσκινο οπής 3'' ή 76,2 mm) εφαρμόζεται η δοκιμή με την πρότυπη διαδικασία ASTM C 535.



Σχήμα 11. Συσκευή Los Angeles

Εργαστηριακός εξοπλισμός

Συσκευή Los Angeles: Για τη δοκιμή σε τριβή και κρούση χρησιμοποιείται η συσκευή Los Angeles, όπως φαίνεται στο σχήμα 11. Η συσκευή αποτελείται από ένα κοίλο χαλύβδινο κύλινδρο, κλειστό και στις δυο βάσεις του, εσωτερικής διαμέτρου 71,12cm και εσωτερικού μήκους 50,80 cm. Ο κύλινδρος στηρίζεται εξωτερικά σε έδρανα, με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του, σε οριζόντια θέση. Ο κύλινδρος έχει ένα άνοιγμα για την εισαγωγή του υλικού και το κάλυμμα του κλείνει στεγανά με τη βοήθεια ενός κοχλία έτσι ώστε να αποκλείεται η έξοδος της σκόνης. Το κάλυμμα είναι κατασκευασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρείται το κυλινδρικό περίγραμμα της εσωτερικής επιφάνειας, εκτός εάν το πτερύγιο έχει τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε το φορτίο να μην πέφτει πάνω στο κάλυμμα ή να μην έρχεται σε επαφή με αυτό κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Εσωτερικά του κυλίνδρου, σε ακτινική διάταξη υπάρχει ένα αποσπώμενο χαλύβδινο πτερύγιο. Το πτερύγιο αυτό, πλάτους 8,89cm, στερεώνεται με κοχλίες σε ελάχιστη απόσταση από το κάλυμμα τα 127cm κατά την φορά της περιστροφής του κυλίνδρου και ο σκοπός του είναι να συμπαρασύρει και να ρίχνει στο απέναντι τοίχωμα, κατά την περιστροφή του, το φορτίο και το προς δοκιμή υλικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν το πτερύγιο να στερεωθεί επάνω στο κάλυμμα.

Κόσκινα: Σύμφωνα με το πρότυπο AASHTO M 92

Κλίβανος θερμοκρασίας (105-110°C).

Ζυγός ακριβείας 0,01gr

Φορτία τριβής: Το φορτίο τριβής αποτελείται από χαλύβδινες σφαίρες διαμέτρου 4,7625 cm και βάρους 390 έως 445gr η κάθε μια. Το φορτίο τριβής που χρησιμοποιείται σε κάθε μια δοκιμή Los Angeles εξαρτάται από την κοκκομετρική διαβάθμιση του προς δοκιμή υλικού. Έτσι ο αριθμός των σφαιρών που θα χρησιμοποιηθούν στη δοκιμή δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 24. Απαιτούμενο φορτίο ανάλογα με τις διαφορετικές διαβαθμίσεις (Μέθοδοι Α-Δ).

Διαβάθμιση υλικού	Αριθμός σφαιρών	Βάρος φορτίου (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
Γ	8	3330±20
Δ	6	2500±15
ASTM C 535 - Όλες	12	5000±25

Πορεία δοκιμής

Επιλέγεται αντιπροσωπευτικό δείγμα του προς εξέταση υλικού αποτελούμενο από καθαρά αδρανή. Το δείγμα ξηραίνεται σε κλίβανο θερμοκρασίας 105-110°C, μέχρι να μην παρουσιάζεται καμία αλλαγή στο βάρος του λόγω της ξήρανσης και ζυγίζεται. Το υλικό αυτό θα πρέπει να ανήκει σε μια από τις διαβαθμίσεις του παρακάτω πίνακα αφού κοσκινιστεί και γίνει η σύνθεση των κλασμάτων της κάθε κοκκομετρίας.

Πίνακας 25: Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις δείγματος αδρανών.

Μέγεθος κόσκινου τετραγωνικής οπής		Μάζα ενδεδειγμένων μεγεθών (gr)			
Διερχόμενο	Συγκρατούμενο	Διαβάθμιση Α	Διαβάθμιση Β	Διαβάθμιση Γ	Διαβάθμιση Δ
1½'' (38,1 mm)	1'' (25,4 mm)	1250±25	-	-	-
1'' (25,4 mm)	¾'' (19,1 mm)	1250±25	-	-	-
¾'' (19,1 mm)	½'' (12,7 mm)	1250±10	2500±10	-	-
½'' (12,7 mm)	⅜'' (9,5 mm)	1250±10	2500±10	-	-
⅜'' (9,5 mm)	¼'' (6,35 mm)	-	-	2500±10	-
¼'' (6,35 mm)	No 4 (4,76 mm)	-	-	2500±10	-
No 4 (4,76 mm)	No 8 (2,38 mm)	-	-	-	5000±10
Σύνολο		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Μετά τοποθετείται το δείγμα και το φορτίο (σφαίρες) μέσα στη συσκευή Los Angeles η οποία θα εκτελέσει 500 περιστροφές με ταχύτητα 30-33 στροφές το λεπτό. Έπειτα εξάγεται το υλικό με προσοχή από τον κύλινδρο και υπόκειται σε έναν προκαταρκτικό διαχωρισμό με κοσκίνισμά του με το κόσκινο No 12 (1,70 mm), σύμφωνα με την ΠΤΠ ανάλυσης λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων υλικών AASHTO T-27. Το υλικό που συγκρατήθηκε στο κόσκινο No 12 πλένεται, ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους σε θερμοκρασία 105-110 °C και ζυγίζεται με ακρίβεια 1gr.

Υπολογισμοί

Υπολογίζεται η επί της εκατό φθορά του υλικού με βάση τη σχέση:

$$P = \frac{W_a - W_\tau}{W_a} \times 100\%$$

όπου: P= η επί τις εκατό φθορά του υλικού σε τριβή και κρούση

W_a = το βάρος του δείγματος πριν την εκτέλεση της δοκιμής

W_τ = το τελικό βάρος του δείγματος μετά την δοκιμή.

5.6 Δοκιμή ανθεκτικότητας αδρανών υλικών σε αποσάθρωση (δοκιμή υγείας) (AASHTO T-104)

Ο σκοπός αυτής της δοκιμής είναι η εκτίμηση της υγείας των αδρανών υλικών, αντοχής τους σε αποσάθρωση, που υπόκεινται σε καιρικές μεταβολές με τη διαδοχική εμβάπτιση τους μέσα σε υδατικό διάλυμα θεικού νατρίου ή θεικού μαγνησίου και τη θέρμανση και ψύξη τους. Ουσιαστικά γίνεται μια προσομοίωση της αύξησης της πίεσης των πόρων που προκαλείται από τη διόγκωση των κρυστάλλων των αλάτων κατά την αφυδάτωση τους (κρυσταλλοποίηση τους), όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της ψύξης του νερού. Η δοκιμή αυτή είναι πολύ σημαντική επειδή προσδιορίζει την απώλεια του όγκου του υλικού που χρησιμοποιείται στην

κατασκευή των οδών. Η απώλεια αυτή, όταν είναι μεγάλη, προκαλεί κενά στην δομή της κατασκευής, με αποτέλεσμα, τη μείωση της φέρουσας ικανότητας του οδοστρώματος, την εμφάνιση ρωγμών και οπών και επομένως την αστοχία του έργου.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

- Σειρά κοσκίνων σύμφωνα με την πρότυπη προδιαγραφή AASHTO M-92 για κόσκινα εργαστηριακών δοκιμών.
- Μεγάλα δοχεία όπου εμβαπτίζεται το υλικό (υποδοχείς)
- Ζυγοί ακριβείας με ελάχιστη ικανότητα τα 500gr και ευαισθησία 0,1gr για τα λεπτόκοκκα αδρανή και 100gr για τα χονδρόκοκκα αδρανή.
- Κλίβανος ξήρανσης σταθερής θερμοκρασία $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ και ταχύτητας εξάτμισης 25gr/h για 4 ώρες.
- Ειδικά όργανα για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της εμβάπτισής του στο διάλυμα
- Συσκευή μηχανικού κοσκινίσματος με ικανότητα κίνησης όπως αυτή προσδιορίζεται στην πρότυπη προδιαγραφή AASHTO T-27
- Διαλύματα θεικού νατρίου ή θεικού μαγνησίου θερμοκρασίας $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ που έχει προπαρασκευασθεί το ελάχιστο πριν από 48 ώρες.
- Διάλυμα χλωριούχου βαρίου (BaCl_2) 0,2 M για την ανίχνευση της τυχόν παρουσίας Na_2SO_4 ή MgSO_4 στο νερό της τελικής πλύσης.

Παρασκευή απαιτούμενων διαλυμάτων

Σε νερό θερμοκρασίας 25 έως 30°C διαλύεται χημικώς καθαρό άλας άνυδρης (Na_2SO_4) ή ένυδρης μορφής ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) και σε αναλογία 350gr/ltr νερού και 750gr/ltr αντίστοιχα. Κατά την προσθήκη του άλατος το διάλυμα αναδεύεται ισχυρά και στη συνέχεια ψύχεται στους $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ και διατηρείται σε αυτήν τουλάχιστον για 48h πριν τη χρήση του. Το τελικό διάλυμα θα πρέπει να είναι υπερκορεσμένο με εμφανή την παρουσία κρυστάλλων και ειδικού βάρους 1,151-1,174 ενώ παράλληλα ο όγκος του θα πρέπει να είναι τουλάχιστον πενταπλάσιος από αυτόν του δείγματος. Συνήθως χρησιμοποιείται η άνυδρη μορφή του για λόγους οικονομίας αλλά και ευκολίας μιας και η ένυδρη μορφή του κοστίζει περισσότερο και ψύχει το διάλυμα σε μεγάλο βαθμό, με αποτέλεσμα την δυσκολία διατήρησης της επιθυμητής θερμοκρασίας. Εάν το διάλυμα παρουσιάσει αποχρωματισμό απορρίπτεται ή ελέγχεται το ειδικό του βάρος.

Το υπερκορεσμένο διάλυμα του θεικού μαγνησίου παρασκευάζεται κατά όμοιο τρόπο με αυτόν του θεικού νατρίου. Το τελικό διάλυμα θερμοκρασίας 23°C θα πρέπει να έχει ειδικό βάρος που να κυμαίνεται μεταξύ των 1,295 και 1,308 και προκύπτει από τη διάλυση είτε της άνυδρης (MgSO_4) είτε της ένυδρης ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) μορφής του χημικά καθαρού θεικού μαγνησίου σε αναλογία ως προς ένα λίτρο νερού 1:350gr και 1:1400gr αντίστοιχα. Συνήθως προτιμάται η προπαρασκευή του υδατικού διαλύματος με τη χρήση του ένυδρου άλατος μιας και παρουσιάζει μικρότερη αστάθεια και κατά συνέπεια μεγαλύτερη παρουσία περισσειας κρυστάλλων στο υπερκορεσμένο διάλυμα.

Πρέπει να σημειωθεί πως σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να επισημαίνεται το είδος του χρησιμοποιούμενου διαλύματος μιας και τα όρια καταλληλότητας διαφέρουν λόγω της διαφορετικής διαβρωτικής τους ικανότητας.

Δείγματα

Λεπτόκοκκο υλικό

Το δείγμα του λεπτόκοκκου αδρανούς λαμβάνεται με τη βοήθεια διαχωριστή ή μετά από τετραμερισμό του και πρέπει για κάθε κοκκομετρία, όπως αυτή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, να υπάρχει διαθέσιμο υλικό τουλάχιστον 100gr το οποίο θα πρέπει να είναι διαθέσιμο τουλάχιστον σε ποσοστό της τάξης του 5 % μέσα στο δείγμα μας. Στην περίπτωση που τα δείγματα περιέχουν ποσοστό μικρότερο του 5% το μέγεθος αυτό δεν εξετάζεται και η φθορά του στη δοκιμή αυτή βγαίνει ως μέσος όρος του αμέσως μικρότερου και του αμέσως μεγαλύτερου μεγέθους ή αν ένα από τα δυο απουσιάζει θεωρείται ίσο προς αυτό που υπάρχει. Το λεπτόκοκκο αδρανές πρέπει να διέρχεται από κόσκινο τετραγωνικής οπής 9,5mm.

Πίνακας 26. Κοκκομετρική διαβάθμιση του υπό εξέταση λεπτόκοκκου υλικού με συμμετοχή του κάθε κλάσματος τουλάχιστον 5%.

Συγκρατούμενο από το κόσκινο		Διερχόμενο από το κόσκινο		Βάρος δείγματος της αντίστοιχης κοκκομετρίας (gr)
0,300 mm	No 50	0,600 mm	No 30	100
0,600 mm	No 30	1,18 mm	No 16	100
1,18 mm	No 16	2,36 mm	No 8	100
2,36 mm	No 8	4,76 mm	No 4	100
4,76 mm	No 4	9,52 mm	No 3/8 in	100

Χονδρόκοκκο υλικό

Το δείγμα του χονδρόκοκκου αδρανούς λαμβάνεται επίσης με τη βοήθεια διαχωριστή ή μετά από τετραμερισμό του και η ποσότητα με την οποία συμμετέχει η κάθε κοκκομετρία φαίνεται στον παρακάτω πίνακα ενώ το διαθέσιμο ποσοστό θα πρέπει να είναι της τάξης του 5 % τουλάχιστον μέσα στο υλικό του οποίου θέλουμε να μάθουμε την ανθεκτικότητα. Από το χονδρόκοκκο αδρανές θα πρέπει να απομακρυνθούν όλα τα μεγέθη τα λεπτότερα από 4,76 mm (κόσκινο No 4).

Παρασκευή του δείγματος δοκιμής

Λεπτόκοκκο αδρανές

Το δείγμα του λεπτόκοκκου αδρανούς αφού πλυθεί καλά μέσα στο κόσκινο No 50 (0,3 mm), ξηραίνεται μέχρι σταθερής μάζας σε θερμοκρασία 110 ± 5 ° C και στη συνέχεια διαχωρίζεται στα διάφορα μεγέθη που ορίζονται στον Πίνακα 26 με κοσκίνισμά τους διάρκειας 10 λεπτών. Από το κάθε κόσκινο λαμβάνεται δείγμα ίσο με 100gr με ακρίβεια 0,1gr, ενώ είναι δυνατό να ληφθεί και ποσότητα ίση προς 110gr. Το κάθε κλάσμα τοποθετείται σε διαφορετικούς υποδοχείς για την εκτέλεση της δοκιμής.

Χονδρόκοκκο αδρανές

Το δείγμα του χονδρόκοκκου αδρανούς αφού πλυθεί καλά ξηραίνεται μέχρι σταθερής μάζας σε θερμοκρασία 110 ± 5 ° C και στη συνέχεια διαχωρίζεται στα διάφορα μεγέθη όπως ορίζονται στον Πίνακα 27 με κοσκίνισμά τους διάρκειας 1 λεπτού ή μέχρις άρνησης. Στην περίπτωση που υπάρχουν κλάσματα με διαστάσεις μεγαλύτερες του κοσκίνου των 19,1mm μετρίεται ο αριθμός των τεμαχιδίων. Από το κάθε κόσκινο λαμβάνεται ποσότητα δείγματος όπως αυτή ορίζεται στον πίνακα με

ακρίβεια 1gr. Το κάθε κλάσμα τοποθετείται σε ξεχωριστούς υποδοχείς για την εκτέλεση της δοκιμής.

Στην περίπτωση που θέλουμε να κάνουμε τη δοκιμή για ένα μεγάλο τεμάχιο θα πρέπει αρχικά να το θραύσουμε σε τεμάχια που δεν ξεπερνούν το καθένα τα 100gr, ενώ το συνολικό υλικό που θα δοκιμαστεί δεν θα ξεπερνά τα 5000gr $\pm 2\%$.

Πίνακας 27. Κοκκομετρική διαβάθμιση του υπό εξέταση χονδρόκοκκου υλικού με συμμετοχή του κάθε κλάσματος τουλάχιστον 5%. Για μεγαλύτερη κοκκομετρία (ανά 25mm) το υλικό που προστίθεται είναι βάρους 3000gr.

Συγκρατούμενο από το κόσκινο	Διερχόμενο από το κόσκινο	Βάρος δείγματος της αντίστοιχης κοκκομετρίας (gr)
4,76mm	9,52 mm	300
9,52 mm	12,5 mm	330
12,5 mm	19,1 mm	670
19,1 mm	25,4mm	450
25,4mm	38,1 mm	1050
38,1 mm	50,8 mm	1500
50,8 mm	63,0 mm	1500
85,00 mm	105 mm	3000

Τρόπος εργασίας

Τα δείγματα εμβαπτίζονται στο προπαρασκευασμένο διάλυμα, σταθερής θερμοκρασίας $21 \pm 1^\circ\text{C}$, για χρόνο από 16 έως 18 ώρες με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτονται πλήρως από αυτό, (13mm κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του διαλύματος). Οι υποδοχείς καλύπτονται έτσι ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε εξάτμιση του διαλύματος.

Μετά το πέρας της εμβάπτισης, τα δείγματα απομακρύνονται και αφήνονται προς αποστράγγιση τους για 15 περίπου λεπτά και έπειτα τοποθετούνται μέσα στον κλίβανο ξήρανσης θερμοκρασίας $110 \pm 5^\circ\text{C}$, μέχρι σταθερού βάρους, περίπου τέσσερις ώρες (το δείγμα θα πρέπει να υφίσταται απώλεια νερού μικρότερη του 0.1% για δίωρη ξήρανση του).

Μετά την ξήρανσή του το δείγμα ψύχεται σε θερμοκρασία δωματίου και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την ολοκλήρωση όλων των απαιτούμενων κύκλων.

Ποσοτική εξέταση

Μετά την ολοκλήρωση του τελευταίου κύκλου και αφού το δείγμα ψυχθεί, πλένεται καλά έτσι ώστε να απομακρυνθούν όλα τα ίχνη του θεικού νατρίου ή του θεικού μαγνησίου. Στην τελευταία πλύση προστίθεται διάλυμα χλωριούχου βαρίου (BaCl_2) 0,2 M για την ανίχνευση μέσω αντίδρασης της τυχόν παρουσίας τους στο δείγμα. Έπειτα τα δείγματα ξηραίνονται όπως και προηγουμένως και ζυγίζονται. Το λεπτόκοκκο αδρανές κοσκινίζεται για 10 λεπτά με μηχανικά μέσα και στα κόσκινα στα οποία ήταν συγκρατούμενα προ της δοκιμής ενώ το χονδρόκοκκο αδρανές κοσκινίζεται με το χέρι στα κόσκινα που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα ανάλογα προς το μέγεθος τους πριν τη δοκιμή.

Πίνακας 28. Μέγεθος χρησιμοποιούμενου κοσκίνου ανάλογα με την κλάση του χονδρόκοκκου αδρανούς μετά το πέρας της εμβάπτισής του για τον προσδιορισμό της φθοράς του.

Διαστάσεις αδρανούς	Κόσκινο για τον προσδιορισμό της φθοράς
4,76 mm -9,52 mm (No,4 - 3/8'')	4,00mm (No5)
9,52 mm -19,1 mm (3/8'' - 3/4'')	8,00mm (5/16 '')
19,1 mm - 38,1 mm (3/4'' - 1 1/2'')	16,0mm (5/8'')
38,1 mm - 63,0 mm (1 1/2'' - 2 1/2'')	31,7mm (1 1/4'')

Εκτός από την ποσοτική τους ανάλυση τα δείγματα θα πρέπει να ελεγχθούν και μακροσκοπικά για τη διαπίστωση αυξημένης εμφάνισης ρηγμάτωσης των κόκκων. Για τα τεμάχια τα μεγαλύτερα των 19,1 mm (3/4'') ο έλεγχος συνίσταται στην μέτρηση των προσβεβλημένων από το διάλυμα τεμαχιδίων που εμφανίζεται είτε ως αυξημένη ρωγμάτωση είτε ως απολέπιση, θρυμματισμός θραύση κ.τ.λ. Το ποσοστό της φθοράς υπολογίζεται εκφρασμένο επί τις εκατό, ως το κλάσμα του αριθμού των προσβεβλημένων κόκκων προς των ολικό τους αριθμό.

Εμφάνιση αποτελεσμάτων

Το δελτίο των αποτελεσμάτων πρέπει να περιλαμβάνει τα παρακάτω:

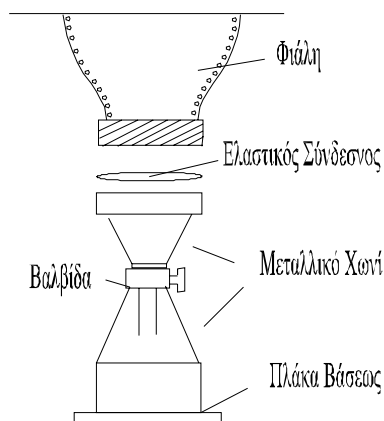
- Τη μάζα όλων των δειγμάτων πριν την εκτέλεση της δοκιμής
- Τον ανηγμένο μέσο όρο υπολογιζόμενο από το ποσοστό φθοράς του κάθε κλάσματος με βάση τη διαβάθμιση του δείγματος όπως λαμβάνεται πριν από την εξέταση. Στους υπολογισμούς αυτούς τα μεγέθη που είναι λεπτότερα του κοσκίνου 0.300mm πρέπει να θεωρούνται ότι έχουν φθορά 0%
- Ο ανηγμένος μέσος όρος της φθοράς υπολογίζεται με προσέγγιση 0,1%

5.7 Προσδιορισμός της επί τόπου πυκνότητας εδάφους με τη μέθοδο της άμμου (AASHTO T 191-61).

Η προδιαγραφή αυτή έχει σαν σκοπό να περιγράψει τη μέθοδο προσδιορισμού της επί τόπου πυκνότητας των εδαφών. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε εδάφη που περιέχουν κόκκους μικρότερους ή ίσους των 5 cm.

Εργαστηριακός εξοπλισμός

Συσκευή προσδιορισμού πυκνότητας. Η συσκευή προσδιορισμού πυκνότητας αποτελείται από μία φιάλη χωρητικότητας περίπου 400 cm³ και από ένα ιδιαίτερο εξάρτημα που αποτελείται από κυλινδρική βαλβίδα με οπή διαμέτρου 1,27 cm και έχει στο μεν ένα άκρο χωνί που καταλήγει σε κοχλιωτό περιλαίμιο, στο δε άλλο άκρο μεγάλο χωνί. Η βαλβίδα πρέπει να έχει τέρματα, ώστε να αποκλείεται η περιστροφή αυτής πέραν των θέσεων κατά τις οποίες είναι τελείως ανοικτή, είτε τελείως κλειστή. Η συσκευή που χρησιμοποιείται φαίνεται στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12. Συσκευή προσδιορισμού πυκνότητας

Η συσκευή αυτή είναι πλήρης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οπές δοκιμής που έχουν όγκο περίπου 2.850 cm^3 .

Η πλάκα της βάσης που παριστάνεται στο σχήμα, είναι προαιρετική. Η χρησιμοποίηση της πλάκας είναι πιθανό να καταστήσει την ισοπέδωση δυσκολότερη, αλλά παρέχει τη δυνατότητα διάνοιξης μεγαλύτερων οπών δοκιμής και μπορεί να μειώσει την απώλεια εδάφους κατά τη μεταφορά του στο σάκο, καθώς επίσης και να δημιουργήσει σταθερότερη βάση για δοκιμές σε μαλακά εδάφη. Όταν χρησιμοποιείται η πλάκα της βάσης πρέπει να θεωρείται και αυτή σαν μέρος του χωνιού κατά τη διαδικασία της εκτέλεσης της δοκιμής αυτής.

Άμμος.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε άμμος καθαρή, ξηρή που να ρέει εύκολα, χωρίς συνδετική ύλη και να έχει λίγους κόκκους, εάν υπάρχουν τέτοιοι, που να διέρχονται από το κόσκινο Νο 200 ή να συγκρατούνται στο κόσκινο Νο 10. Για την εκλογή της άμμου που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να γίνουν μερικοί προσδιορισμοί του φαινομένου βάρους της με τη χρησιμοποίηση του ίδιου αντιπροσωπευτικού δείγματος για τον προσδιορισμό. Για να γίνει αποδεκτή η άμμος δεν θα πρέπει να παρουσιάζει διαφορά στο φαινόμενο βάρος μεγαλύτερη του 1%.

Ζυγοί. Ζυγός ικανότητας 10 kg και ακριβείας 1,0g και ζυγός ικανότητας 500 kg και ακριβείας 0,19.

Συσκευή ξήρανσης. Κλίβανος ή φούρνος ή άλλη κατάλληλη συσκευή για τη ξήρανση δειγμάτων προσδιορισμού της υγρασίας.

Διάφορα όργανα. Μικρή αξίνα, σμίλες ή κουτάλες για την εκσκαφή της οπής δοκιμής. Λεκάνη ξήρανσης διαμέτρου 25 cm ή οποιοδήποτε κατάλληλο δοχείο για την ξήρανση δειγμάτων προσδιορισμού υγρασίας. Δοχεία από λευκοσίδηρο χωρίς ραφή με πώματα, σάκοι ή άλλα κατάλληλα δοχεία για την τοποθέτηση των δειγμάτων που θα χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της πυκνότητας και της υγρασίας των δειγμάτων ή για την τοποθέτηση της άμμου. Θερμόμετρο για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του νερού. Μικρή βούρτσα από αυτές που χρησιμοποιούνται από τους βαφείς, σημειωματάριο κ.λ.π.

Τρόπος εργασίας

Προσδιορίζεται ο όγκος της φιάλης και του προσαρτημένου εξαρτήματος, συμπεριλαμβανομένου και του όγκου της οπής της βαλβίδας με τον ακόλουθο τρόπο:

- Ζυγίζεται η συναρμολογούμενη συσκευή και καταγράφεται το βάρος της

- Τοποθετείται η συσκευή όρθια και ανοίγεται η βαλβίδα
- Γεμίζεται η συσκευή με νερό μέχρι το επάνω μέρος της βαλβίδας
- Κλείνεται η βαλβίδα και απομακρύνεται το επί πλέον νερό
- Ζυγίζεται η συσκευή με το νερό και η προσδιορίζεται η θερμοκρασία του νερού
- Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για άλλες δυο τουλάχιστον φορές.

Ο όγκος που προσδιορίστηκε κατά την προηγούμενη διαδικασία είναι σταθερός εφόσον η φιάλη και το προσαρτημένο εξάρτημα είναι στην ίδια σχετική θέση. Εάν αυτά πρόκειται να αποχωρισθούν πρέπει να σηματοδοτούν κατάλληλα ώστε να είναι δυνατή η επανασύνδεσή τους στην ίδια θέση. Μετατρέπεται το βάρος του νερού σε ml με διόρθωση για τη θερμοκρασία. Ο χρησιμοποιούμενος όγκος πρέπει να είναι ο μέσος όρος τριών προσδιορισμών με μέγιστη απόκλιση 3 ml.

Το φαινόμενο βάρος της άμμου που θα χρησιμοποιηθεί στην επί τόπου δοκιμή προσδιορίζεται κατά τον ακόλουθο τρόπο:

Τοποθετείται η άδεια συσκευή όρθια σε στερεά επίπεδη επιφάνεια κλείνεται η βαλβίδα και γεμίζεται το χωνί με άμμο.

- Ανοίγεται η βαλβίδα και γεμίζεται η συσκευή με άμμο ενώ το χωνί διατηρείται τουλάχιστον κατά το μισό όγκο του γεμάτο με άμμο. Κλείνεται τελείως η βαλβίδα και αδειάζεται το περίσσειμα της άμμου.
- Ζυγίζεται η συσκευή με την άμμο και προσδιορίζεται το καθαρό βάρος της άμμου με αφαίρεση του βάρους της συσκευής.

Προσδιορίζεται το βάρος της άμμου που απαιτείται για να πληρωθεί η χοάνη κατά τον ακόλουθο τρόπο:

- Τοποθετείται άμμος μέσα στη συσκευή και βρίσκεται το βάρος της συσκευής και άμμου.
- Τοποθετείται η συσκευή ανεστραμμένη σε καθαρή επίπεδη επιφάνεια.
- Ανοίγεται η βαλβίδα και αφήνεται ανοικτή, έως ότου σταματήσει η ροή της άμμου.
- Κλείνεται γρήγορα η βαλβίδα, ζυγίζεται η συσκευή με την άμμο που απόμεινε και προσδιορίζεται η απώλεια άμμου. Η απώλεια αυτή αντιπροσωπεύει το βάρος της άμμου που χρειάζεται για την πλήρωση του χωνιού.
- Αντικαθίσταται η άμμος που απομακρύνθηκε κατά τον προσδιορισμό πλήρωσης του χωνιού και κλείνεται η βαλβίδα.

Η πυκνότητα του εδάφους επί τόπου προσδιορίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

- Προετοιμάζεται η επιφάνεια στη θέση της δοκιμής ώστε να είναι επίπεδη.
- Τοποθετείται η συσκευή ανεστραμμένη στην επιφάνεια που προετοιμάστηκε και χαράσσεται το περίγραμμα του χωνιού.
- Σκάβεται η οπή δοκιμής μέσα στο περίγραμμα του χωνιού με μεγάλη προσοχή, ώστε να αποφευχθεί διατάραξη του εδάφους που περιβάλλει την οπή. Εδάφη που είναι βασικά κοκκώδη απαιτούν εξαιρετική φροντίδα. Τοποθετείται όλο το έδαφος που σκάφηκε με προσοχή σε δοχείο, ώστε ν' αποφευχθεί απώλεια υλικού.
- Τοποθετείται η συσκευή στη θέση που σημειώθηκε προηγουμένα, ανοίγεται η βαλβίδα και αφού παύσει να ρέει η άμμος κλείνεται.
- Ζυγίζεται η συσκευή με την άμμο που απέμεινε και προσδιορίζεται το βάρος της άμμου που χρησιμοποιήθηκε.
- Ζυγίζεται το υλικό που πάρθηκε από την οπή.
- Αναμιγνύεται το υλικό καλά, εξασφαλίζεται και ζυγίζεται αντιπροσωπευτικό δείγμα για τον προσδιορισμό της υγρασίας.

- Ξηραίνεται και ζυγίζεται το δείγμα για τον προσδιορισμό της υγρασίας.

Πίνακας 29. Ελάχιστοι όγκοι οπών δοκιμής και ελάχιστα βάρη δειγμάτων για τον προσδιορισμό της υγρασίας με βάση το μέγιστο μέγεθος κόκκου του υλικού.

Μέγιστο μέγεθος κόκκου	Ελάχιστος όγκος οπής δοκιμής	Ελάχιστο βάρος δείγματος για τον προσδιορισμό υγρασίας
Κόσκινο	cm³	(g)
No 4	712	100
12,5 mm	1425	250
25,4 mm	2173	500
50,8 mm	2850	1000

Οι ελάχιστοι όγκοι οπών που απαιτούνται για τον προσδιορισμό της εργοταξιακής πυκνότητας εδαφικών δειγμάτων, δίνονται στον πίνακα 29. Ο πίνακας αυτός δείχνει τα προτεινόμενα ελάχιστα βάρη των δειγμάτων για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας, ανάλογα με το μέγιστο μέγεθος κόκκου του εδαφικού δείγματος.

Υπολογισμοί

Ο όγκος της συσκευής προσδιορισμού της πυκνότητας υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_1' = G \times T$$

όπου: V_1' = ο όγκος της συσκευής προσδιορισμού πυκνότητας σε ml.

G = βάρος νερού σε g, απαιτούμενο για την πλήρωση της συσκευής και

T = διόρθωση του όγκου του νερού ανάλογα με τη θερμοκρασία, όπως φαίνεται στην τρίτη στήλη του πίνακα 30.

Πίνακας 30. Όγκος νερού ανά γραμμάριο ανάλογα με τη θερμοκρασία του.

Θερμοκρασία °C	Όγκος νερού ανά γραμμάριο (ml/gr)
12	1,00048
14	1,00072
16	1,00103
18	1,00138
20	1,00177
22	1,00221
24	1,00268
26	1,00320
28	1,00375
30	1,00435
32	1,00497

Το φαινόμενο βάρος της άμμου υπολογίζεται ως εξής:

$$w_1 = \frac{w_2}{V_1}$$

όπου:

w_1 = φαινόμενο βάρος άμμου σε gr/cm³
 w_2 = απαιτούμενο ποσό άμμου σε gr για πλήρωση της συσκευής
και V_1 = όγκος της συσκευής σε cm³ ($V_1 = V'_1$ σε cm³)

Η περιεχόμενη υγρασία και το ξηρό βάρος του υλικού που συλλέχθηκε από την οπή δοκιμής, υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$w = \frac{w_3 - w_4}{w_4} \times 100\%$$

$$w_6 = \frac{w_5}{w + 1}$$

όπου: w = ποσοστό % υγρασίας στο υλικό της οπής δοκιμής

w_3 = υγρό βάρος δείγματος προσδιορισμού υγρασίας, σε gr

w_4 = ξηρό βάρος δείγματος προσδιορισμού υγρασίας, σε gr

w_5 = βάρος υγρού υλικού που λήφθηκε από την οπή, σε gr

w_6 = ξηρό βάρος του υλικού που λήφθηκε από την οπή, σε gr

Η επί τόπου πυκνότητα του υλικού που εξετάζεται υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$V = \frac{w_7 - w_8}{w_1}$$

$$W = \frac{w_6}{V}$$

όπου: V = ο όγκος της οπής δοκιμής, σε cm³

w_7 = βάρος, σε gr, της άμμου που χρησιμοποιήθηκε

w_8 = βάρος, σε gr, της εντός του χωνιού άμμου

W = ξηρή πυκνότητα υλικού που εξετάζεται, σε gr/cm³.

Η επί τόπου ξηρή πυκνότητα που προσδιορίζεται από την παραπάνω σχέση πρέπει να συγκριθεί στη συνέχεια με την μέγιστη ξηρή πυκνότητα του υλικού όπως αυτή προσδιορίστηκε εργαστηριακά με τη μέθοδο συμπύκνωσης Proctor. Η προσδιοριζόμενη με τη μέθοδο Proctor μέγιστη ξηρή πυκνότητα θα πρέπει να διορθώνεται για το ποσοστό % του χονδρόκοκκου υλικού που συγκρατείται στο κόσκινο ανοίγματος $\frac{3}{4}''$ (19,1 mm), όπως ορίζεται στις Π.Τ.Π. Ο-150 και Ο-155.

Η διόρθωση αυτή γίνεται για να είναι συγκρίσιμες οι τιμές της επί τόπου (εργοταξιακής) και της εργαστηριακής ξηρής πυκνότητας, αφού όπως είναι γνωστό, ο προσδιορισμός της μέγιστης ξηρής πυκνότητας με τη μέθοδο συμπύκνωσης Proctor γίνεται στο κλάσμα που διέρχεται από το κόσκινο με άνοιγμα $\frac{3}{4}''$.

$$\gamma_s = \frac{100}{\frac{P}{\varepsilon} + \frac{100 - P}{\gamma_s}}$$

Όπου:

γ_e = διορθωμένη επί τόπου ξηρή πυκνότητα

P = ποσοστό % χονδρόκοκκου υλικού (συγκρατούμενου στο κόσκινο ανοίγματος $\frac{3}{4}$ '')

ε = ειδικό βάρος του χονδρόκοκκου υλικού (συγκρατούμενου στο κόσκινο ανοίγματος $\frac{3}{4}$ '')

γ_s = μέγιστη ξηρή εργαστηριακή πυκνότητα του υλικού (διερχόμενου από κόσκινο ανοίγματος $\frac{3}{4}$ '')

Αφού προσδιοριστεί η τιμή της διορθωμένης επί τόπου ξηρής πυκνότητας, μπορεί να υπολογιστεί το ποσοστό συμπίκνωσης του ελεγχόμενου στρώματος από την παρακάτω σχέση.

Εφόσον το ειδικό βάρος του χονδρόκοκκου υλικού δεν είναι γνωστό (και δε μπορεί να προσδιοριστεί) μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ίσο με 2,60.

$$C = \frac{\gamma}{\gamma_e} \times 100$$

Η τιμή του ποσοστού συμπίκνωσης $C(\%)$ είναι αυτή που συγκρίνεται με το απαιτούμενο ποσοστό συμπίκνωσης όπως αυτό ορίζεται κάθε φορά από τις απαιτήσεις του έργου.

5.10 Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας εδάφους (ASTM D2216)

Μεταξύ των χαρακτηριστικών του εδάφους που προσδιορίζονται πολύ συχνά είναι και η υγρασία. Η υγρασία μιας εδαφικής μάζας καθορίζεται σαν ο λόγος (συνήθως εκφρασμένος επί τοις εκατό) του βάρους του νερού προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους.

Εξοπλισμός

Κατάλληλοι υποδοχείς (π. χ. ύαλοι ωρολογίου) τέτοιοι ώστε να προλαμβάνεται απώλεια υγρασίας κατά τη διάρκεια της ζύγισης.

Μεταλλικά κουτιά.

Κλίβανος θερμοκρασίας 110° C.

Ζυγός ευαισθησίας 0,01g.

Τρόπος εργασίας

Κατά την επιλογή ενός δείγματος για τον προσδιορισμό της υγρασίας πρέπει να προσέξουμε να λάβουμε ένα αντιπροσωπευτικό δοκίμιο. Επίσης πολλά εδαφικά δείγματα είναι πιθανό να έχουν ξηρανθεί επιφανειακά. Έτσι, όταν πρόκειται να προσδιοριστεί η υγρασία, αντιπροσωπευτική του δοκιμίου, το έδαφος για τη δοκιμή πρέπει να ληφθεί από περισσότερες από μια στρώσεις από υλικό που δεν έχει υποστεί επιφανειακή ξήρανση. Το ποσό του εδάφους που λαμβάνεται για έναν προσδιορισμό υγρασίας εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και τη διατιθέμενη ποσότητα. Γενικά όσο μεγαλύτερο είναι το δοκίμιο τόσο ακριβέστερος είναι ο προσδιορισμός, γιατί τα βάρη είναι μεγαλύτερα. Ένα δοκίμιο για τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας πρέπει να ζυγίζεται όσο το δυνατόν γρηγορότερα μετά την έναρξη της δοκιμής, ώστε να μειωθούν στο ελάχιστο οι επιδράσεις από την επιφανειακή ξήρανση. Μετά την προσεκτική ζύγιση το δοκίμιο ξηραίνεται σε φούρνο

θερμοκρασίας 105-110° C (για υλικά που περιέχουν οργανικές ύλες σε 60° C μέγιστη) μέχρι σταθερού βάρους. Ο χρόνος ξήρανσης εξαρτάται από τον τύπο, την ποσότητα και το σχήμα του δοκιμίου. Μετά την απομάκρυνσή του από το φούρνο, το δοκίμιο ψύχεται και μετά ζυγίζεται.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Η φυσική υγρασία εκφράζεται επί τοις % με ακρίβεια δεκάτου.

5.11 Δοκιμή ισοδύναμου άμμου (AASHTO T-176)

Η δοκιμή αυτή εκτελείται με σκοπό την αξιολόγηση της σχετικής αναλογίας μεταξύ των λεπτόκοκκων συστατικών ή των αργιλικών υλικών σε κοκκώδη εδάφη ή σε κοκκώδη διαβαθμισμένα αδρανή.

Η ύπαρξη χαμηλού ποσοστού ισοδύναμου άμμου χαρακτηρίζει τα αδρανή ως μη καθαρά και είναι μια ένδειξη ότι πιθανότατα στα λεπτόκοκκα αδρανή περιέχεται ποσότητα αργίλου. Στην περίπτωση αυτή επιβάλλεται η εκτέλεση της δοκιμής καθορισμού της πλαστικότητας του υλικού.

Συσκευές

- Πλαστικός ογκομετρικός κύλινδρος
- Πλαστικό πώμα
- Σωλήνας διαποτισμού
- Πέλμα φόρτισης
- Σύστημα σιφωνίων
- Μια μικρή μεζούρα, χωρητικότητας 85±5 ml και διαμέτρου 57mm
- Χωνί με άνοιγμα διαμέτρου περίπου 100mm
- Χρονόμετρο
- Μηχανικό αναμικτήρας με λειτουργία στους 175± 2 κύκλους ανά λεπτό.
- Χειροκίνητο αναμικτήρας με ικανότητα λειτουργίας στους 100 κύκλους ανά 45±5 δευτερόλεπτα
- Πρότυπο διάλυμα με φορμαλδεΰδη
- Πρότυπο διάλυμα με γλουταραλδεΰδη
- Πρότυπο διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου
- Πρότυπο διάλυμα γλυκερίνης
- Σπάτουλα ή ευθύγραμμο κανόνα
- Φούρνο ικανό να διατηρεί σταθερή θερμοκρασία της τάξης των 110±5°C

Τρόπος εργασίας

Η δοκιμή εκτελείται στο κλάσμα του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο Νο 4. Στην περίπτωση που υπάρχουν συσσωματώματα θα πρέπει να κονιοποιούνται έτσι ώστε να περνούν από το κόσκινο Νο 4. Από αντιπροσωπευτικό δείγμα του υλικού και ύστερα από τετραμερισμό λαμβάνεται επαρκής ποσότητα υλικού (4 δείγματα των 85 ml).

Μέσα στον πλαστικό ογκομετρικό σωλήνα εισάγεται πρότυπο υδατικό διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου 101,6±25mm και το δείγμα του υλικού και στην συνέχεια τον ανακινούμε απότομα έτσι ώστε να φύγει από το υλικό ο παγιδευμένος αέρας.

Αφήνουμε τον κύλινδρο σε κατάσταση ηρεμίας για 10 ± 1 λεπτά. Έπειτα κλείνουμε το στόμιο του κυλίνδρου και τον ανακινούμε ελαφρά έτσι ώστε το δείγμα μας να απομακρυνθεί από τη βάση του.

Ακολουθεί η ανάμιξη του υλικού μέσα στο κύλινδρο είτε με τον μηχανοκίνητο αναμικτήρα για 45 ± 1 δευτερόλεπτα, είτε με τον χειροκίνητο για 100 κύκλους. Μπορεί επίσης η ανακίνηση να γίνει χωρίς τη χρήση αναμικτήρα. Τότε ο κύλινδρος κρατιέται σε οριζόντια θέση και με παλινδρομικές κινήσεις από τη μια μεριά προς την άλλη ανακινείται για 90 κύκλους μέσα σε 30 δευτερόλεπτα.

Μετά την ανακίνηση ο κύλινδρος τοποθετείται όρθιος στο τραπέζι εργασίας αφού έχει πρώτα απομακρυνθεί το πάμα.

Διαδικασία διαποτισμού του δείγματος

Στη φάση αυτή της δοκιμής εισάγεται ο σωλήνας διαποτισμού μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο από πάνω προς τα κάτω ενώ παράλληλα εισάγεται επιπλέον ποσότητα διαλύματος. Η εργασία αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ξεπλυθούν τα τοιχώματα του κυλίνδρου και το κλάσμα του λεπτόκοκκου υλικού να βρεθεί σε αιώρηση πάνω από τους κόκκους του πιο χονδρόκοκκου κλάσματος. Ο ογκομετρικός κύλινδρος πληρώνεται με το διάλυμα μέχρι το επίπεδο των 381mm.

Στη συνέχεια αφήνουμε τον κύλινδρο και το περιεχόμενό του σε κατάσταση ηρεμίας για 20 λεπτά ± 15 δευτερόλεπτα.

Μετά το τέλος του χρόνου γίνεται η ανάγνωση και η καταγραφή της στάθμης του αργλικού αιωρήματος. Αυτή η τιμή αναφέρεται ως "ένδειξη αργίλου".

Ακολουθεί η ανάγνωση της "ένδειξης άμμου" με την εισαγωγή του μεταλλικού πέλματος μέσα στον κύλινδρο. Το μεταλλικό πέλμα οδηγείται προσεκτικά μέσα στον κύλινδρο και σταματά μόλις έρθει σε επαφή με το ίζημα της άμμου (του κλάσματος του χονδρόκοκκου υλικού). Γέρνουμε το μεταλλικό πέλμα μέχρι να ακουμπήσει τις ενδείξεις διαβάθμισης του κυλίνδρου. Στο σημείο όπου ακουμπά παίρνουμε τη μέτρηση της "ένδειξης άμμου" αφού αφαιρέσουμε την τιμή 254 mm.

Υπολογισμοί

Ο υπολογισμός του ισοδύναμου της άμμου (SE) γίνεται στο πλησιέστερο 0,1 χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$SE = (\text{ένδειξη άμμου} \times 100) / \text{ένδειξη αργίλου}$$

Εάν το αποτέλεσμα δεν είναι ακέραιος αριθμός στρογγυλοποιείται στον αμέσως επόμενο ακέραιο.

Για την διεξαγωγή πιο έγκυρων αποτελεσμάτων η δοκιμή μπορεί να διεξαχθεί σε τρία δείγματα. Στην περίπτωση αυτή η τιμή ισοδύναμου άμμου προκύπτει από τον αριθμητικό μέσο όρο των τριών ακέραιων τιμών και εάν είναι δεκαδικός αριθμός στρογγυλοποιείται στον αμέσως επόμενο ακέραιο αριθμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την ανάλυση πρωτογενών δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά αφορούν τα υλικά οδοποιίας που χρησιμοποιήθηκαν σε επιμέρους έργα της Εγνατίας οδού και στο τμήμα Λευκόπετρα – Βέροια – Κουλούρα (5.2/5.3-930).

Στην παράγραφο 6.1 παρουσιάζονται κάποια από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως υλικά οδοποιίας. Για τα υλικά αυτά υπάρχουν οι δοκιμές που εκτελέστηκαν για την έγκριση τους για χρησιμοποίηση σε διάφορες θέσεις του έργου και ακολουθούν ποσοτικές αναλύσεις των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών και των εργαστηριακών ελέγχων που εκτελέστηκαν στα υλικά αυτά κατά τη χρήση τους στο έργο.

Στην παράγραφο 6.2 γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης της σχέσης μεταξύ του ποσοστού της περιεχόμενης άμμου, του λεπτόκοκκου υλικού και του συντελεστή ομοιομορφίας σε σχέση με το βαθμό συμπύκνωσης που επιτεύχθηκε στις διάφορες θέσεις του έργου για κάθε υλικό.

Στην παράγραφο 6.3 και βάση των δοκιμών CBR σε υλικά του έργου δίνεται η καμπύλη κορεσμού τους.

6.1 Κατάταξη υλικών οδοποιίας και ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών κατά τη χρήση τους σε επιμέρους θέσεις του έργου

Γενικά

Στο τμήμα αυτό της εργασίας παρουσιάζεται μέρος των χωματουργικών υλικών οδοποιίας που χρησιμοποιήθηκαν στα τμήματα 5.2 και 5.3 Λευκόπετρα-Βέροια- Κουλούρα της Εγνατίας οδού.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η παρουσίαση διαφορετικών χωματουργικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία σήμερα. Παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα των δοκιμών κατάταξης μέρους των χωματουργικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο τμήμα αυτό σε συνάρτηση με τα αποτελέσματα που έδωσαν κατά τους ποιοτικούς ελέγχους στις διάφορες φάσεις κατασκευής του έργου.

Τα χωματουργικά αυτά υλικά λήφθηκαν από το εγγύς περιβάλλον του έργου και είναι:

1. Τραβερτίνη
2. Μεταψαμμίτης
3. Αμμοχάλικο ποταμού Αλιάκμονα
4. Θραυστός ασβεστόλιθος
5. Αμμοχαλικώδες υλικό Αλιάκμονα

Στα αποτελέσματα των ποιοτικών ελέγχων των υλικών αυτών γίνεται στατιστική ανάλυση απλής κατανομής για τον προσδιορισμό των επικρατούντων τιμών και του εύρους διακύμανσής τους. Στην συνέχεια συγκρίνονται με τις απαιτήσεις του έργου και με τα αποτελέσματα που έδωσαν κατά τις δοκιμές έγκρισης του υλικού.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση κάποιων γενικών εννοιών που αφορούν τη συμπίκνωση των υλικών με μηχανικά μέσα στα έργα οδοποιίας.

6.1.1 Συμπύκνωση

Ως συμπίκνωση ορίζουμε την τεχνητή αύξηση της πυκνότητας του εδάφους με τη χρήση μηχανικών μέσων. Η συμπίκνωση του εδάφους αποτελεί σήμερα μια σχετικά οικονομική μέθοδο βελτίωσης των ιδιοτήτων του, ως αποτέλεσμα της αναδιάταξης των κόκκων του υλικού.

Η διαδικασία της συμπίκνωσης των διαταραγμένων εδαφών όπως είναι τα υλικά κατασκευής επιχωμάτων, υποβάσεων και βάσεων οδοστρώσας επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανικών μέσων, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

Με τη συμπίκνωση του εδάφους επιτυγχάνεται επίσης:

- Η αύξηση της διατμητικής αντοχής και της φέρουσας ικανότητας του εδάφους
- Μείωση της συμπίεστότητας και επομένως των καθιζήσεων που μπορούν να προκληθούν σε συνθήκες εξωτερικής φόρτισης
- Μείωση της υδροπερατότητας του εδάφους
- Αύξηση της αντίστασης του εδάφους σε αποσάθρωση.

Τα συμπτυκνωμένα εδάφη χρησιμοποιούνται:

- Για τη σταθεροποίηση των εδαφών στη θεμελίωση τεχνικών έργων
- Για ομογενοποίηση του εδάφους έδρασης μιας κατασκευής
- Για τη δημιουργία στερεών επιχωμάτων, υποβάσεων και βάσεων οδοστρώσας, κατασκευή φραγμάτων κ.τ.λ.

Η συμπίκνωση ενός υλικού στα έργα οδοποιίας μετράται με το βαθμό συμπίκνωσης. Ο βαθμός συμπίκνωσης ενός εδάφους εκφράζεται ως ο λόγος της επί τόπου επιτευχθείσας πυκνότητας του, ως προς την μέγιστη ξηρή πυκνότητα του, που προσδιορίζεται εργαστηριακά με τη μέθοδο Proctor.

Η μέγιστη συμπίκνωση, δηλαδή η μέγιστη ξηρή πυκνότητα του εδάφους επιτυγχάνεται με την προσθήκη καθορισμένης ποσότητας νερού κατά τη συμπίκνωσή του. Η παρουσία του νερού κατά τη διαδικασία της συμπίκνωσης συμβάλλει στη μείωση της τριβής μεταξύ των κόκκων και άρα τη μείωση της διατμητικής αντοχής του υλικού, ευνοώντας έτσι την αναδιάταξη των κόκκων για την επίτευξη της μέγιστης πυκνότητας. Η περιεκτικότητα αυτή του υλικού σε νερό, ή βέλτιστη υγρασία, καθορίζεται επίσης με τη μέθοδο Proctor και αντιστοιχεί στη μέγιστη ξηρή πυκνότητα του υλικού.

Όπως είδαμε η συμπίκνωση ενός υλικού στα έργα οδοποιίας εξαρτάται από την ενέργεια συμπίκνωσης και από τη βέλτιστη υγρασία του. Η βέλτιστη υγρασία του προς συμπίκνωση υλικού μειώνεται με την αύξηση της ενέργειας συμπίκνωσης και αυξάνεται με την αύξηση του λεπτόκοκκου υλικού (Χρηστάρας 2002). Μέσα από αυτή την παρατήρηση διαφαίνεται η σημασία της κοκκομετρικής διαβάθμισης ενός προς συμπίκνωση υλικού.

Η ανομοιομορφία του υλικού ευνοεί την αύξηση της διατμητικής του αντοχής. Η παρουσία κόκκων όλων των διαβαθμίσεων σε ένα διαστρωμένο υλικό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός υλικού με ελάχιστα κενά μεταξύ των επιφανειών επαφής των κόκκων. Η αύξηση αυτή των επιφανειών επαφής μεταξύ τους συμβάλλει στην αύξηση της τριβής του υλικού και άρα στην αύξηση της αντοχής του και τις συμπτυκνωτικής του ικανότητας. Η ανομοιομορφία ενός υλικού εξετάζεται με το

συντελεστή ανομοιομορφίας¹⁶ $U=d_{60}/d_{10}$, όπου d_{10} και d_{60} είναι οι διάμετροι των κόκκων που αντιστοιχούν σε ποσοστά διερχόμενων αντίστοιχα 10% και 60% του βάρους. Για τιμές του U μικρότερες του 5 το έδαφος χαρακτηρίζεται ως ομοιόμορφο, για τιμές του U από 5-15 ανομοιόμορφο και για τιμές μεγαλύτερες του 15 πολύ ανομοιόμορφο.

6.1.2. Θραυστός τραβερτίνης

Υλικό

Το υλικό αυτό προέρχεται από τη θραύση τεμαχίων τραβερτίνη σε θραυστήρα και είναι προϊόν εκσκαφής του ορύγματος μεταξύ των Χ.Θ. 9+600 και Χ.Θ. 10+600.

Γεωλογικά χαρακτηρίζεται ως ανοίχτοκάστανος τραβερτίνης.

Δοκιμές

Από το υλικό αυτό και από το χώρο αποθήκευσης του, λήφθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα στα οποία εκτελέστηκαν οι παρακάτω δοκιμές με σκοπό την έγκρισή του υλικού ως υλικού οδοστρωσίας (βάσης-υπόβασης):

1. Κοκκομετρική ανάλυση
2. Προσδιορισμός ορίου Υδαρότητας και Δείκτη Πλαστικότητας
3. Προσδιορισμός Ισοδύναμου άμμου
4. Δοκιμή Συμπύκνωσης Proctor (τροποποιημένη μέθοδος)
5. Προσδιορισμός της φθοράς σε τριβή και κρούση (Los Angeles Abrasion Test)
6. Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση (δοκιμή υγείας)

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 31.

Πίνακας 31. Δοκιμές για την κατάταξη του τραβερτίνης ως υλικού οδοστρωσίας.

Αμερ. Πρότυπο κόσκινα (A.A.S.H.T.O. M-92)		Δείγμα Αρ.1	Δείγμα Αρ.2	Δείγμα Αρ.3	Δείγμα Αρ.4	Δείγμα Αρ.5
2"	50,80	100,0	100,0	100,0		
1 1/2"	38,10	100,0	100,0	100,0		
1"	25,40	96,6	95,2	95,4		
3/4"	19,00	91,8	85,3	86,2		
3/8"	9,51	67,8	66,0	64,3		
No 4	4,76	48,8	50,1	47,2		
No 10	2,00	32,2	33,5	30,1		
No 40	0,420	15,2	16,3	14,0		
No 200	0,074	7,8	8,1	6,5		
Ισοδύναμο Άμμου (S.E)		53	57	54		
Δείκτης Πλαστικότητας (P.I)		N.P.	N.P.	N.P.		

¹⁶ Ο συντελεστής ανομοιομορφίας μπορεί να αναφέρεται και ως συντελεστής ομοιομορφίας.

Φθορά σε τριβή και κρούση (Los Angeles)	34,60	36,21	38,13	33,38	36,87
Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση (δοκιμή υγείας)	2,95 1,75 1,26	1,18	1,22	0,64	0,98
Εργαστηριακή πυκνότητα (Proctor Modified)	2.050kg/m ³	2.067kg/m ³	2.046kg/m ³		

Καταλληλότητα υλικού

Βάσει των εργαστηριακών αποτελεσμάτων του υλικού αυτού και σε σύγκριση με τις προδιαγραφές καταλληλότητας, κατατάσσεται στη διαβάθμιση Γ της Π.Τ.Π Ο-150 και της Π.Τ.Π Ο-155 και κρίνεται κατάλληλο για χρήση του ως υλικό οδοστρώσας εάν τα αποτελέσματα συμπίκνωσης του υλικού και της δοκιμής με τη μέθοδο της άμμου είναι 95% για την υπόβαση και 97% για την βάση οδοστρώσας της συμπίκνωσης που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor.

Το υλικό αυτό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής επιχώματος κατηγορίας E3-E4 κατά ΟΣΜΕΟ.

Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό στραγγιστικής στρώσης εάν τα αποτελέσματα συμπίκνωσης του υλικού είναι 95% - 98% της συμπίκνωσης που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor και τέλος ως υλικό μεταβατικού επιχώματος εάν CBR>20.

Χρήση του τραβερτίνη στο έργο

Κατά την κατασκευή του έργου το υλικό αυτό χρησιμοποιήθηκε ως υλικό κατασκευής επιχωμάτων και ως υλικό οδοστρώσας βάσης και υπόβασης.

Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων δοκιμών κατά την πορεία εκτέλεσης του έργου

Από τις επί τόπου δοκιμές πυκνότητας του τραβερτίνη (κατά AASHTO T180-61), που εκτελέστηκαν σε διάφορες θέσεις του έργου για τον έλεγχο της κατασκευής, προέκυψαν οι παρακάτω τιμές του δείκτη συμπίκνωσης, (Πίνακας 32, 33 και 34).

Οι τιμές του ποσοστού συμπίκνωσης, όπου ο τραβερτίνης χρησιμοποιήθηκε ως υλικό σκάφης και έδρασης επιχώματος κυμάνθηκαν από 94% έως 99,6% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας βάση της τροποποιημένης μεθόδου Proctor, με μέση τιμή 97,38 % και παρουσίασαν τυπική απόκλιση ίση με 1,65. Οι τιμές του ποσοστού συμπίκνωσης, όπου ο τραβερτίνης χρησιμοποιήθηκε ως υλικό θεμελίου επιχώματος κυμάνθηκαν από 94,3% έως 99,8% με μέση τιμή 97,63 % και παρουσίασαν τυπική απόκλιση ίση με 1,45. Τέλος οι τιμές του ποσοστού συμπίκνωσης, όπου ο τραβερτίνης χρησιμοποιήθηκε ως υλικό πυρήνα επιχώματος κυμάνθηκαν από 76% έως 102,8% με μέση τιμή 97,06 % και παρουσίασαν τυπική απόκλιση ίση 2,36.

Σε όλες τις περιπτώσεις ο έλεγχος της συμπίκνωσης ήταν μέσα στα προβλεπόμενα όρια καλύπτοντας όλο το φάσμα των συμπεκνώσεων, παρουσιάζοντας μια αυξημένη συχνότητα εμφάνισης για την τιμή του ποσοστού συμπίκνωσης ίση με 98,5% (98,25% - 98,75%)¹⁷ για τον τραβερτίνη ως υλικό σκάφης και έδρασης

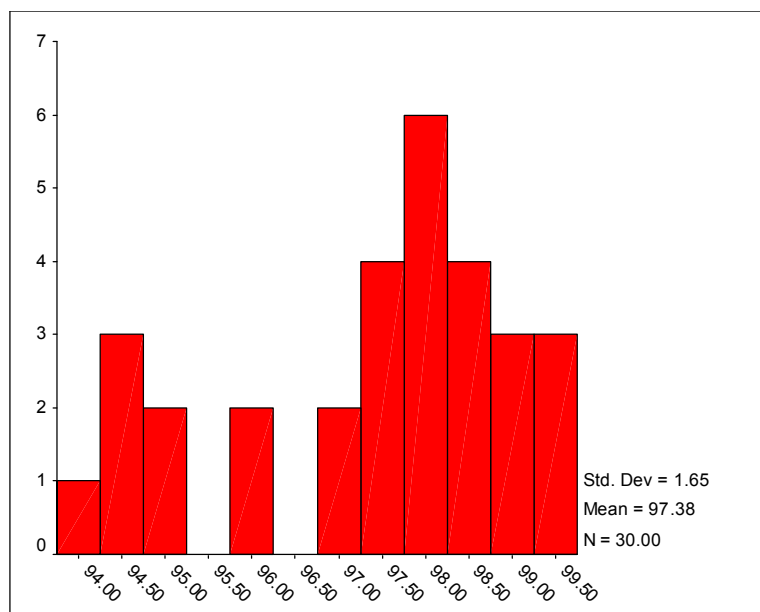
¹⁷ Στο γράφημα η απεικόνιση των ράβδων γίνεται για διαστήματα τιμών όπου η κεντρική τιμή αποτελεί τον μέσο όρο των ορίων του.

επιχώματος (Γράφημα 1) και για τις τιμές 97 - 99% (Γράφημα 2) ως υλικού θεμελίου επιχώματος. Αντίθετα για τον τραβερτίνη που χρησιμοποιήθηκε ως υλικό κατασκευής πυρήνα παρουσιάστηκαν σε 8 δοκιμές τιμές συμπίκνωσης κάτω από το επιτρεπόμενο από τις προδιαγραφές όριο που είναι το 90% (εκτός και αν ορίζεται διαφορετικά) της συμπίκνωσης που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor και που αντιστοιχεί στο ποσοστό 0,7% του συνόλου των δοκιμών. Οι άλλες τιμές κυμαίνονται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια παρουσιάζοντας αυξημένη συχνότητα εμφάνισης για τις τιμές του ποσοστού συμπίκνωσης στις τιμές 97 - 99% (Γράφημα 3).

Ως υλικό σκάφης – έδρασης επιχώματος

Πίνακας 32. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών πυκνότητας του τραβερτίνη ως υλικού σκάφης και έδρασης επιχώματος σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ποσοστό συμπίκνωσης %	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
94,0	1	3,3	3,3
94,4	2	6,7	10,0
94,6	1	3,3	13,3
94,9	1	3,3	16,7
95,2	1	3,3	20,0
96,2	2	6,7	26,7
96,8	1	3,3	30,0
97,1	1	3,3	33,3
97,4	1	3,3	36,7
97,5	1	3,3	40,0
97,6	1	3,3	43,3
97,7	1	3,3	46,7
97,8	1	3,3	50,0
97,9	1	3,3	53,3
98,0	1	3,3	56,7
98,1	1	3,3	60,0
98,2	2	6,7	66,7
98,4	3	10,0	76,7
98,6	1	3,3	80,0
98,8	1	3,3	83,3
99,0	1	3,3	86,7
99,1	1	3,3	90,0
99,3	1	3,3	93,3
99,5	1	3,3	96,7
99,6	1	3,3	100,0
Σύνολο	30	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 94,0	Μέγιστη Τιμή 99,6	Μ.Ο 97,38	Τυπική Απόκλιση 1,65

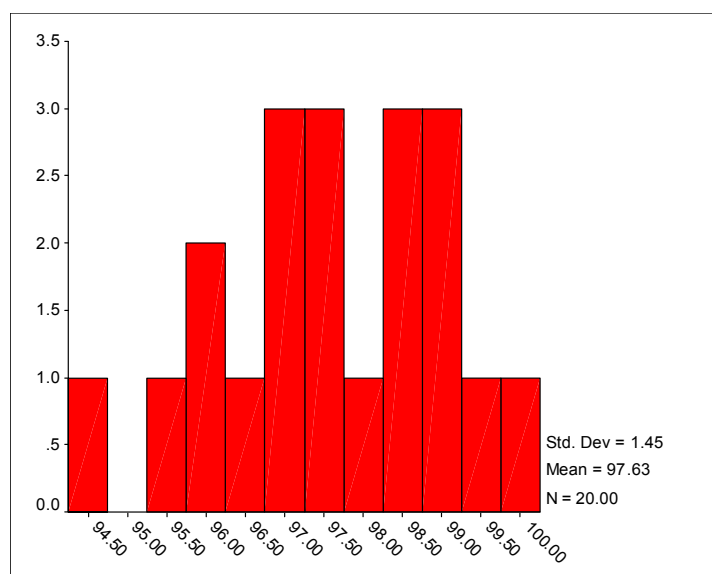


Γράφημα 1. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της επί τόπου δοκιμής πυκνότητας για τον τραβερτίνη ως υλικού σκάφης και έδρασης επιχώματος.

Ως υλικού κατασκευής θεμελίου

Πίνακας 33. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών πυκνότητας του τραβερτίνη ως υλικού θεμελίου επιχώματος σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ποσοστό συμπίκνωσης %	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
94,3	1	5,0	5,0
95,7	1	5,0	10,0
96,0	1	5,0	15,0
96,1	1	5,0	20,0
96,4	1	5,0	25,0
96,8	1	5,0	30,0
97,2	2	10,0	40,0
97,3	1	5,0	45,0
97,6	2	10,0	55,0
98,2	1	5,0	60,0
98,5	1	5,0	65,0
98,6	1	5,0	70,0
98,7	1	5,0	75,0
98,9	1	5,0	80,0
99,1	2	10,0	90,0
99,6	1	5,0	95,0
99,8	1	5,0	100,0
Σύνολο	20	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 94,3	Μέγιστη Τιμή 99,8	Μ.Ο 97,63	Τυπική Απόκλιση 1,45



Γράφημα 2. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της επί τόπου δοκιμής πυκνότητας για τον τραβερτίνη ως υλικού θεμελίου επιχώματος.

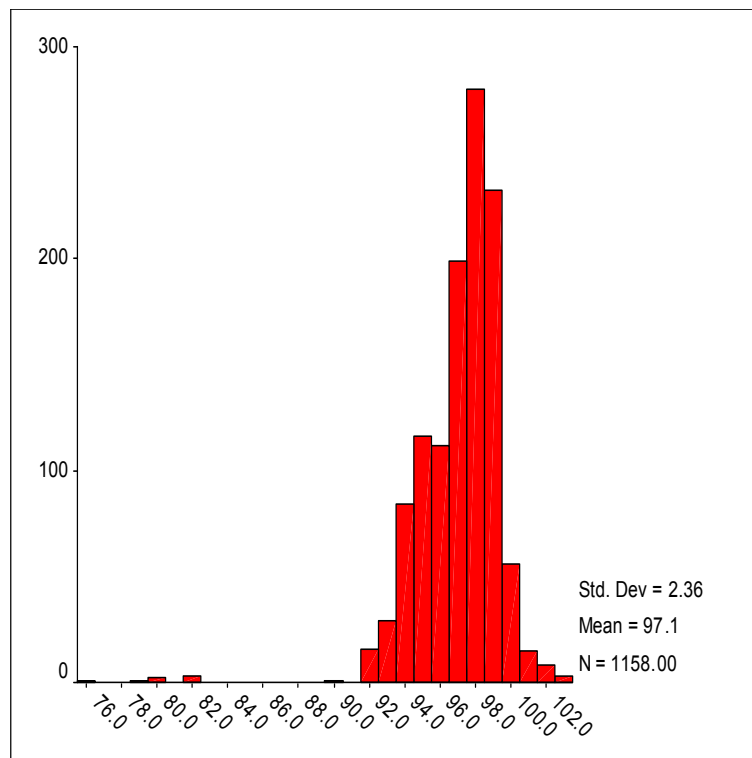
Ως υλικού κατασκευής πυρήνα

Πίνακας 34. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών πυκνότητας του τραβερτίνη ως υλικού πυρήνα επιχώματος σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ποσοστό συμπίκνωσης %	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
76,0	1	0,1	0,1
78,9	1	0,1	0,2
80,2	1	0,1	0,3
80,4	1	0,1	0,3
81,5	1	0,1	0,4
82,0	1	0,1	0,5
82,2	1	0,1	0,6
89,9	1	0,1	0,7
91,5	1	0,1	0,8
91,6	2	0,2	0,9
91,7	2	0,2	1,1
91,8	2	0,2	1,3
91,9	2	0,2	1,5
92,0	1	0,1	1,6
92,1	2	0,2	1,7
92,4	4	0,3	2,1
92,5	3	0,3	2,3
92,6	6	0,5	2,8
92,8	2	0,2	3,0
92,9	3	0,3	3,3
93,0	5	0,4	3,7
93,1	5	0,4	4,1
93,2	2	0,2	4,3

93,3	1	0,1	4,4
93,4	2	0,2	4,6
93,5	1	0,1	4,7
93,6	3	0,3	4,9
93,7	13	1,1	6,0
93,8	13	1,1	7,2
93,9	7	0,6	7,8
94,0	5	0,4	8,2
94,1	10	0,9	9,1
94,2	11	0,9	10,0
94,3	11	0,9	11,0
94,4	10	0,9	11,8
94,5	3	0,3	12,1
94,6	13	1,1	13,2
94,7	18	1,6	14,8
94,8	18	1,6	16,3
94,9	5	0,4	16,8
95,0	14	1,2	18,0
95,1	16	1,4	19,3
95,2	10	0,9	20,2
95,3	6	0,5	20,7
95,4	13	1,1	21,8
95,5	9	0,8	22,6
95,6	8	0,7	23,3
95,7	11	0,9	24,3
95,8	12	1,0	25,3
95,9	5	0,4	25,7
96,0	8	0,7	26,4
96,1	22	1,9	28,3
96,2	12	1,0	29,4
96,3	14	1,2	30,6
96,4	11	0,9	31,5
96,5	9	0,8	32,3
96,6	6	0,5	32,8
96,7	15	1,3	34,1
96,8	34	2,9	37,0
96,9	17	1,5	38,5
97,0	5	0,4	38,9
97,1	22	1,9	40,8
97,2	35	3,0	43,9
97,3	18	1,6	45,4
97,4	38	3,3	48,7
97,5	23	2,0	50,7
97,6	34	2,9	53,6
97,7	14	1,2	54,8
97,8	46	4,0	58,8

97,9	23	2,0	60,8
98,0	15	1,3	62,1
98,1	51	4,4	66,5
98,2	41	3,5	70,0
98,3	10	0,9	70,9
98,4	23	2,0	72,9
98,5	30	2,6	75,5
98,6	22	1,9	77,4
98,7	27	2,3	79,7
98,8	17	1,5	81,2
98,9	20	1,7	82,9
99,0	14	1,2	84,1
99,1	39	3,4	87,5
99,2	40	3,5	90,9
99,3	7	0,6	91,5
99,4	16	1,4	92,9
99,5	14	1,2	94,1
99,6	14	1,2	95,3
99,7	10	0,9	96,2
99,8	6	0,5	96,7
99,9	4	0,3	97,1
100,2	3	0,3	97,3
100,3	2	0,2	97,5
100,4	3	0,3	97,8
100,5	3	0,3	98,0
100,6	2	0,2	98,2
100,7	2	0,2	98,4
100,8	1	0,1	98,4
100,9	1	0,1	98,5
101,0	1	0,1	98,6
101,2	4	0,3	99,0
101,3	1	0,1	99,1
101,6	1	0,1	99,1
101,7	1	0,1	99,2
101,8	1	0,1	99,3
101,9	1	0,1	99,4
102,0	1	0,1	99,5
102,1	1	0,1	99,6
102,3	2	0,2	99,7
102,6	1	0,1	99,8
102,7	1	0,1	99,9
102,8	1	0,1	100,0
Σύνολο	1158	100,0	
Ελάχιστη Τιμή: 76,0	Μέγιστη Τιμή: 102,8	Μ.Ο: 97,06	Τυπική Απόκλιση: 2,36



Γράφημα 3. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της επί τόπου δοκιμής πυκνότητας για τον τραβερτίνη ως υλικού πυρήνα επιχώματος.

6.1.3 Φαίος μεταψαμμίτης

Υλικό

Αποτελεί προϊόν θραύσης των προϊόντων εκσκαφής της σήραγγας Σ1. Γεωλογικά χαρακτηρίζεται ως φαίος μεταψαμμίτης.

Δοκιμές

Από το χώρο αποθήκευσης του υλικού αυτού, λήφθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα στα οποία εκτελέστηκαν οι παρακάτω δοκιμές, με σκοπό την έγκρισή του υλικού ως κατάλληλου για την χρήση του ως υλικού οδοστρώσας.

1. Κοκκομετρική ανάλυση (A.A.S.H.T.O T-11 & T-27, ΠΤΠ O-150, O-155)
2. Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας και Δείκτη Πλαστικότητας
3. Προσδιορισμός Ισοδύναμου Άμμου
4. Δοκιμή Συμπύκνωσης Proctor (τροποποιημένη μέθοδος)
5. Προσδιορισμός της φθοράς σε τριβή και κρούση (Los Angeles Abrasion Test)
6. Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση (δοκιμή υγείας)

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 35. Δοκιμές για την κατάταξη του φαιού μεταψαμμίτη ως υλικού οδοστρώσας.

Αμερ. Πρότυπο κόσκινα (A.A.S.H.T.O. M-92)		Δείγμα Αρ.1	Δείγμα Αρ.2	Δείγμα Αρ.3	Δείγμα Αρ.4
2"	50,80	100,0	100,0	100,0	
1 1/2"	38,10	100,0	100,0	100,0	
1"	25,40	85,3	92,0	89,7	
3/4"	19,00	69,8	78,5	72,6	
3/8"	9,51	54,7	64,6	58,2	
No 4	4,76	42,1	52,2	46,9	
No 10	2,00	27,7	39,6	35,7	
No 40	0,420	18,6	23,7	23,6	
No 200	0,074	7,1	9,8	8,2	
Ισοδύναμο Άμμου (S.E)		56	51	52	
Δείκτης Πλαστικότητας (P.I)		N.P.	N.P.	N.P.	
Φθορά σε τριβή και κρούση (Los Angeles)					25,22
Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση (δοκιμή υγείας)		1,88	1,27	2,38	
Εργαστηριακή πυκνότητα (Proctor Modified) Βέλτιστη Υγρασία %		2.122kg/m ³	2.117kg/m ³	2.135kg/m ³	

Καταλληλότητα υλικού

Βάσει αυτών των αποτελεσμάτων το υλικό αυτό κατατάσσεται στην διαβάθμιση Γ της Π.Τ.Π Ο-150 και της Π.Τ.Π Ο-155 και κρίνεται κατάλληλο για χρήση στην κατασκευή βάσεων και υποβάσεων οδοστρώσας εάν τα αποτελέσματα συμπίκνωσης του υλικού και της δοκιμής με τη μέθοδο της άμμου είναι 95% για την υπόβαση και 97% για την βάση οδοστρώσας της συμπίκνωσης που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor. Επίσης τα αποτελέσματα της δοκιμής του ισοδύναμου άμμου θα πρέπει να έχουν τιμές μεγαλύτερες του 40 για τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των υποβάσεων και 50 για την κατασκευή βάσεων οδοστρώσας.

Το υλικό αυτό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως υλικό κατασκευής στραγγιστικής στρώσης εάν τα αποτελέσματα συμπίκνωσης του υλικού είναι 95% - 98%.

Χρήση του στο έργο

Κατά την κατασκευή του έργου το υλικό αυτό τελικά χρησιμοποιήθηκε ως υλικό οδοστρώσας βάσης και υπόβασης.

Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων δοκιμών κατά την πορεία εκτέλεσης του έργου

Από τις επί τόπου δοκιμές πυκνότητας του φαιού μεταψαμμίτη, που εκτελέστηκαν σε διάφορες θέσεις του έργου για τον έλεγχο της κατασκευής, προέκυψαν οι τιμές του ποσοστού συμπίκνωσης όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες 36 και 39.

Οι τιμές του ποσοστού συμπίκνωσης, όπου ο φαιός μεταψαμμίτης χρησιμοποιήθηκε ως υλικό υπόβασης κυμάνθηκαν από 96,6% έως 102,6 % της μέγιστης ξηρής πυκνότητας, βάσει της τροποποιημένης μεθόδου Proctor, με μέση τιμή 100,11% και παρουσίασαν τυπική απόκλιση ίση με 1,22. Οι τιμές του ποσοστού συμπίκνωσης, όπου ο φαιός μεταψαμμίτης χρησιμοποιήθηκε ως υλικό βάσης κυμάνθηκαν από 98,2 % έως 103 % με μέση τιμή 99,89 % και παρουσίασαν τυπική απόκλιση ίση με 1,05.

Σε όλες τις περιπτώσεις ο έλεγχος της συμπίκνωσης ήταν μέσα στα προβλεπόμενα όρια καλύπτοντας όλο το φάσμα των συμπτύκνωσης με μια αυξημένη συχνότητα εμφάνισης για την τιμή του ποσοστού συμπίκνωσης ίση με 100,5% για τον φαιό μεταψαμμίτη ως υλικού υπόβασης (Γράφημα 4) και για τις τιμές 99,5% (Γράφημα 5) ως υλικού βάσης.

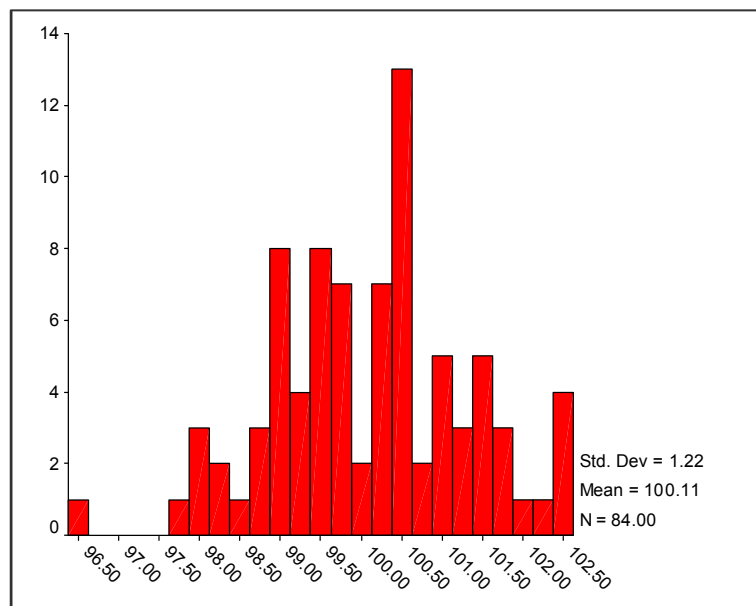
Στο υλικό αυτό εκτελέστηκαν επίσης δοκιμές προσδιορισμού του ισοδύναμου άμμου. Ο φαιός μεταψαμμίτης σε όλες τις περιπτώσεις ήταν σύμφωνος με τις προδιαγραφές. Το ισοδύναμο άμμου στις θέσεις όπου ο μεταψαμμίτης χρησιμοποιήθηκε ως υλικό υπόβασης κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 48 – 65 με μέση τιμή 55,56, τυπική απόκλιση 2,94 και μέγιστη συχνότητα συγκέντρωσης τιμών για ισοδύναμο άμμου ίσο με 55 – 57 (Γράφημα 6). Στις θέσεις όπου χρησιμοποιήθηκε ως υλικό βάσης το ισοδύναμο άμμου κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 52 – 62 με μέση τιμή 55,76 και τυπική απόκλιση 2,10. Η μέγιστη συγκέντρωση της συχνότητας των τιμών του ισοδύναμου άμμου παρατηρήθηκε στην τιμή 54 (Γράφημα 7). Οι τιμές αυτές που σημειώθηκαν για το ισοδύναμο άμμου βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τις τιμές που επιτεύχθηκαν κατά τις δοκιμές έγκρισης του υλικού για τη χρήση του στο έργο.

Χρήση του ως υλικού υπόβασης

Πίνακας 36. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών πυκνότητας του φαιού μεταψαμμίτη ως υλικού υπόβασης σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ποσοστό συμπίκνωσης %	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
96,6	1	1,2	1,2
97,8	1	1,2	2,4
98,0	1	1,2	3,6
98,1	2	2,4	6,0
98,2	2	2,4	8,3
98,6	1	1,2	9,5
98,7	1	1,2	10,7

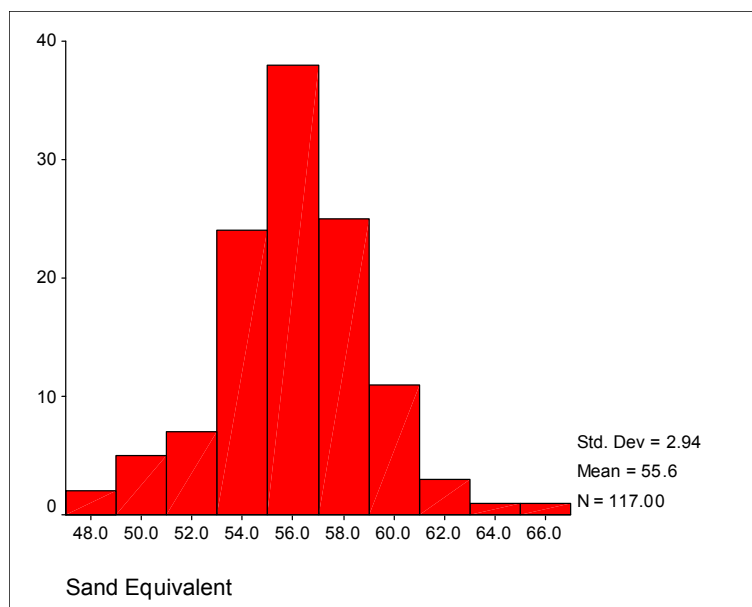
98,8	2	2,4	13,1
98,9	5	6,0	19,0
99,1	3	3,6	22,6
99,2	4	4,8	27,4
99,4	2	2,4	29,8
99,6	6	7,1	36,9
99,7	2	2,4	39,3
99,8	5	6,0	45,2
99,9	1	1,2	46,4
100,1	1	1,2	47,6
100,2	4	4,8	52,4
100,3	3	3,6	56,0
100,4	3	3,6	59,5
100,5	3	3,6	63,1
100,6	7	8,3	71,4
100,8	2	2,4	73,8
100,9	1	1,2	75,0
101,0	3	3,6	78,6
101,1	1	1,2	79,8
101,2	2	2,4	82,1
101,3	1	1,2	83,3
101,4	1	1,2	84,5
101,5	1	1,2	85,7
101,6	3	3,6	89,3
101,7	3	3,6	92,9
102,1	1	1,2	94,0
102,3	1	1,2	95,2
102,4	1	1,2	96,4
102,6	3	3,6	100,0
Σύνολο	84	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 96,6	Μέγιστη Τιμή 102,6	Μ.Ο 100,11	Τυπική Απόκλιση 1,22



Γράφημα 4. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της επί τόπου δοκιμής πυκνότητας για το φαιό μεταψαμμίτη ως υλικού υπόβασης.

Πίνακας 37. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων του ισοδύναμου άμμου του φαιού μεταψαμμίτη ως υλικού υπόβασης σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ισοδύναμο Άμμου	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
48	2	1,7	1,7
49	3	2,6	4,3
50	2	1,7	6,0
51	2	1,7	7,7
52	5	4,3	12,0
53	8	6,8	18,8
54	16	13,7	32,5
55	19	16,2	48,7
56	19	16,2	65,0
57	15	12,8	77,8
58	10	8,5	86,3
59	8	6,8	93,2
60	3	2,6	95,7
61	2	1,7	97,4
62	1	0,9	98,3
63	1	0,9	99,1
65	1	0,9	100,0
Σύνολο	117	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 48	Μέγιστη Τιμή 65	Μ.Ο 55,56	Τυπική Απόκλιση 2,94



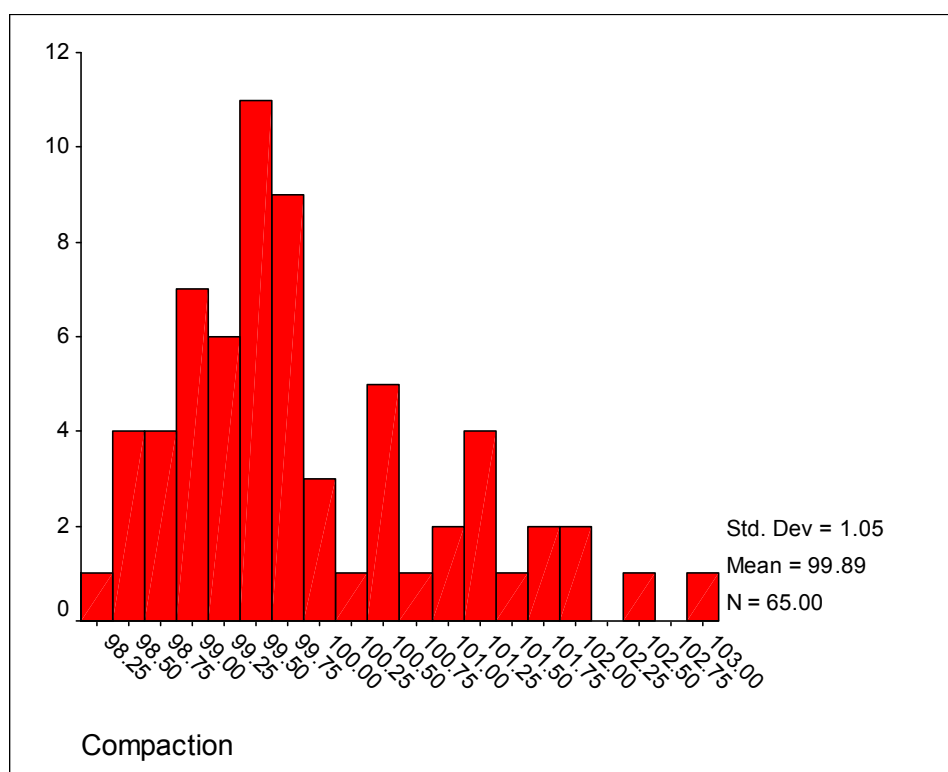
Γράφημα 5. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της δοκιμής ισοδύναμου άμμου για το φαιό μεταψαμμίτη ως υλικού υπόβασης.

Χρήση του ως υλικού κατασκευής βάσης

Πίνακας 38. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών πυκνότητας του φαιού μεταψαμμίτη ως υλικού βάσης σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ποσοστό συμπίκνωσης %	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
98,2	1	1,5	1,5
98,4	1	1,5	3,1
98,5	2	3,1	6,2
98,6	1	1,5	7,7
98,7	1	1,5	9,2
98,8	3	4,6	13,8
98,9	2	3,1	16,9
99,0	1	1,5	18,5
99,1	4	6,2	24,6
99,2	5	7,7	32,3
99,3	1	1,5	33,8
99,4	1	1,5	35,4
99,5	2	3,1	38,5
99,6	8	12,3	50,8
99,7	5	7,7	58,5
99,8	4	6,2	64,6
99,9	3	4,6	69,2
100,3	1	1,5	70,8

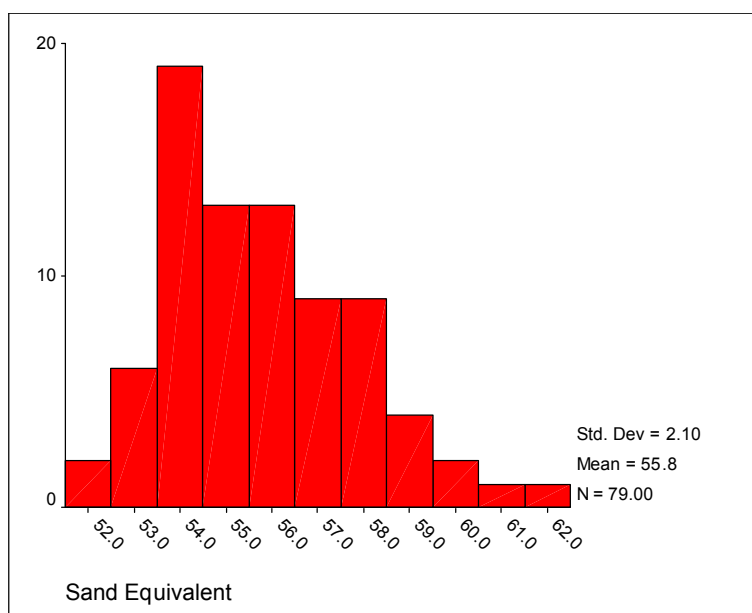
100,4	4	6,2	76,9
100,5	1	1,5	78,5
100,7	1	1,5	80,0
101,1	2	3,1	83,1
101,2	4	6,2	89,2
101,6	1	1,5	90,8
101,7	2	3,1	93,8
101,9	1	1,5	95,4
102,0	1	1,5	96,9
102,4	1	1,5	98,5
103,0	1	1,5	100,0
Σύνολο	65	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 98,2	Μέγιστη Τιμή 103,00	Μ.Ο 99,89	Τυπική Απόκλιση 1,05



Γράφημα 6. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της επί τόπου δοκιμής πυκνότητας για το φαιό μεταψαμμίτη ως υλικού βάσης.

Πίνακας 39. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων του ισοδύναμου άμμου του φαιού μεταψαμμίτη ως υλικού βάσης σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ισοδύναμο άμμου	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
52	2	2,5	2,5
53	6	7,6	10,1
54	19	24,1	34,2
55	13	16,5	50,6
56	13	16,5	67,1
57	9	11,4	78,5
58	9	11,4	89,9
59	4	5,1	94,9
60	2	2,5	97,5
61	1	1,3	98,7
62	1	1,3	100,0
Σύνολο	79	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 52	Μέγιστη Τιμή 62	M.O 55,76	Τυπική Απόκλιση 2,10



Γράφημα 7. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της δοκιμής ισοδύναμου άμμου για το φαιό μεταψαμμίτη ως υλικού βάσης.

6.1.4 Αμμοχάλικο ποταμού Αλιάκμονα

Υλικό

Φυσικό αμμοχάλικο προερχόμενο από τον ποταμό Αλιάκμονα.

Δοκιμές

Από το χώρο αποθήκευσης του υλικού αυτού, λήφθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα στα οποία εκτελέστηκαν οι παρακάτω δοκιμές με σκοπό την έγκρισή του υλικού για χρήση ως υλικού στραγγιστικής στρώσης:

1. Κοκκομετρική ανάλυση (Α.Α.Σ.Η.Τ.Ο T-11 & T-27, ΠΤΠ O-150, O-155)
2. Προσδιορισμός ορίου Υδαρότητας και Δείκτη Πλαστικότητας
3. Προσδιορισμός Ισοδύναμου Άμμου
4. Δοκιμή Συμπύκνωσης Proctor Modified

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 40. Δοκιμές για την κατάταξη του αμμοχάλικου Αλιάκμονα ως υλικού στραγγιστικής στρώσης.

Αμερ. Πρότυπο κόσκινα (Α.Α.Σ.Η.Τ.Ο. M-92)		Δείγμα Αρ.1	Δείγμα Αρ.2	Δείγμα Αρ.3
3"	76,2	100	100	100
2"	50,80	100	100	100
1 1/2"	38,10	89,4	86,7	92,1
1"	25,40	78,3	70,4	74,3
3/4"	19,00	60,7	63,8	68,8
3/8"	9,51	51,1	54,1	49,8
No 4	4,76	32,7	30,5	36,2
No 10	2,00	25,5	20,8	28,4
No 40	0,420	16,5	13,9	14,1
No 200	0,074	5,0	6,2	6,6
Ισοδύναμο Άμμου (S.E)		58	56	54
Δείκτης Πλαστικότητας (P.I)		N.P.	N.P.	N.P.
Εργαστηριακή πυκνότητα (Proctor Modified) Βέλτιστη Υγρασία %		2.208kg/m ³ 6,8	2.194kg/m ³ 7,1	2.186kg/m ³ 7,5

Καταλληλότητα υλικού

Βάσει αυτών των αποτελεσμάτων το υλικό αυτό κατατάσσεται στη διαβάθμιση Β της Π.Τ.Π Ο-150 και της Π.Τ.Π Ο-155 και κρίνεται κατάλληλο για χρήση του στην κατασκευή στραγγιστικής στρώσης εάν τα αποτελέσματα συμπίκνωσης του υλικού είναι 95% - 98% της συμπίκνωσης που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor.

Το υλικό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως υλικό κατασκευής βάσεων και υποβάσεων, διαβάθμισης Β, εάν τα αποτελέσματα των δοκιμών υγείας και Los Angeles είναι εντός των προβλεπόμενων ορίων και τα αποτελέσματα συμπίκνωσης του υλικού και της δοκιμής με τη μέθοδο της άμμου είναι 95% για την υπόβαση και 97% για την βάση οδοστρώσις της εργαστηριακά επιτευχθείσας συμπίκνωσης με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor.

Χρήση του στο έργο

Κατά την κατασκευή του έργου το υλικό αυτό τελικά χρησιμοποιήθηκε ως υλικό κατασκευής στραγγιστικής στρώσης

Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών κατά την πορεία εκτέλεσης του έργου

Στο αμμοχάλικο του ποταμού Αλιάκμονα εκτελέστηκαν κατά τη φάση κατασκευής του έργου δοκιμές ισοδύναμου άμμου και Proctor για τον έλεγχο της πορείας της κατασκευής.

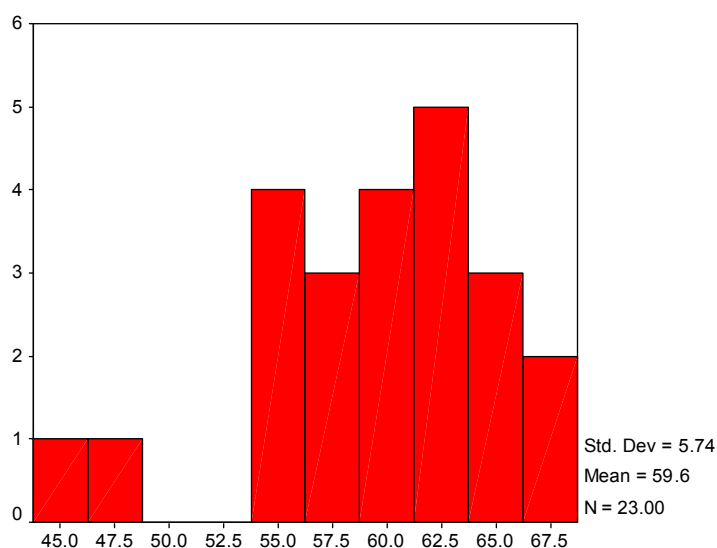
Το ισοδύναμο άμμου του αμμοχάλικου Αλιάκμονα κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 45 – 68 με μέση τιμή 59,61, τυπική απόκλιση 5,74 και μέγιστη συχνότητα συγκέντρωσης τιμών για ισοδύναμο άμμου ίσο με 62,5 (Γράφημα 8). Οι τιμές αυτές είναι σε συμφωνία με τις τιμές που επιτεύχθηκαν κατά τις δοκιμές έγκρισης του υλικού για χρήση του στο έργο.

Οι δοκιμές Proctor έδωσαν τιμές μέγιστης ξηρής πυκνότητας που κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 2.082 – 2.115 kg/m³ με μέση τιμή 2.097 kg/m³ και τυπική απόκλιση 13,74. Η τιμή 2.082 kg/m³ είναι οριακά κάτω από το όριο των προδιαγραφών (Π.Τ.Π Ο-150, Π.Τ.Π Ο-155) αντιστοιχώντας σε συμπίκνωση 94,8% της συμπίκνωσης που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor κατά τη φάση έγκρισης του υλικού.

Χρήση του αμμοχάλικου Αλιάκμονα ως υλικού στραγγιστικής στρώσης

Πίνακας 41. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων του ισοδύναμου άμμου του αμμοχάλικου Αλιάκμονα ως υλικού στραγγιστικής στρώσης σε διάφορες θέσεις του έργου.

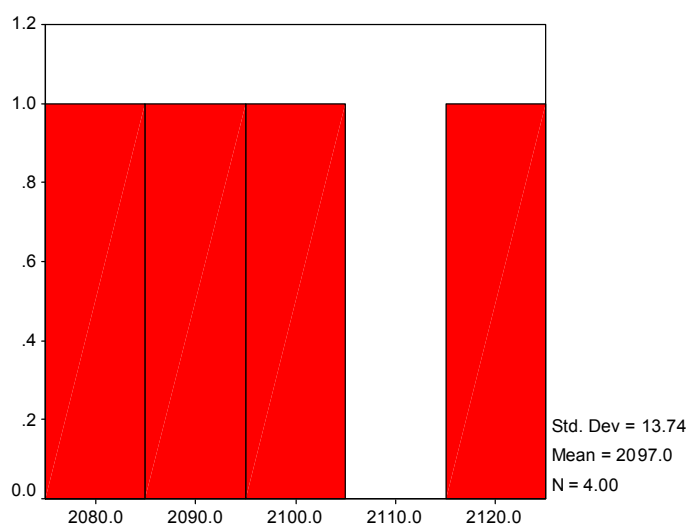
Ισοδύναμο άμμου	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
44	1	4,2	4,2
45	1	4,2	8,3
48	1	4,2	12,5
54	1	4,2	16,7
55	3	12,5	29,2
58	3	12,5	41,7
60	2	8,3	50,0
61	2	8,3	58,3
62	3	12,5	70,8
63	2	8,3	79,2
64	1	4,2	83,3
65	1	4,2	87,5
66	1	4,2	91,7
68	2	8,3	100,0
Σύνολο	24	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 45	Μέγιστη Τιμή 68	Μ.Ο 59,61	Τυπική Αποκλίση 5,74



Γράφημα 8. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της δοκιμής ισοδύναμου άμμου για το αμμοχάλικο Αλιάκμονα ως υλικού στραγγιστικής στρώσης σε διάφορες θέσεις του έργου.

Πίνακας 42. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων της δοκιμής Proctor για το αμμοχάλικου Αλιάκμονα ως υλικού στραγγιστικής στρώσης σε διάφορες θέσεις του έργου.

Μέγιστη ξηρή πυκνότητα (kg/m ³)	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό Ποσοστό %
2.082	1	25,0	25,0
2.093	1	25,0	50,0
2.098	1	25,0	75,0
2.115	1	25,0	100,0
Σύνολο	4	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 2.082	Μέγιστη Τιμή 2.115	M.O 2097	Τυπική Απόκλιση 13,74



Γράφημα 9. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της δοκιμής Proctor για το αμμοχάλικου Αλιάκμονα ως υλικού στραγγιστικής στρώσης σε διάφορες θέσεις του έργου.

6.1.5 Θραυστός ασβεστόλιθος

Υλικό

Πρόκειται για ασβεστολιθικά προϊόντα εκσκαφής του ορύγματος μεταξύ των Χ.Θ. 12+000 και Χ.Θ. 12+600. Το υλικό αυτό χαρακτηρίζεται ως ανοικτόφαιος έως φαιός μικροκροκρυσταλλικός ασβεστόλιθος.

Δοκιμές

Από το χώρο αποθήκευσης του υλικού αυτού, λήφθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα στα οποία εκτελέστηκαν οι παρακάτω δοκιμές, με σκοπό την έγκρισή του υλικού ως κατάλληλου για την χρήση του ως υλικού μεταβατικού επιχώματος:

1. Κοκκομετρική ανάλυση (Α.Α.Σ.Η.Τ.Ο T-11 & T-27, ΠΤΠ O-150, O-155)
2. Προσδιορισμός ορίου Υδαρότητας και Δείκτη Πλαστικότητας
3. Προσδιορισμός Ισοδύναμου Άμμου
4. Δοκιμή Συμπύκνωσης Proctor (τροποποιημένη μέθοδος)

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 43. Δοκιμές για την κατάταξη του θραυστού ασβεστόλιθου ως υλικού μεταβατικού επιχώματος.

Αμερ. Πρότυπο κόσκινα (Α.Α.Σ.Η.Τ.Ο. M-92)	Δείγμα Αρ.1	Δείγμα Αρ.2	Δείγμα Αρ.3
2"	50,80	100	100
1 1/2"	38,10	85,7	89,7
1"	25,40	74,0	75,8
3/4"	19,00	66,3	66,2
3/8"	9,51	50,3	48,0
No 4	4,76	39,4	35,4
No 10	2,00	30,2	26,6
No 40	0,420	19,0	13,2
No 200	0,074	8,2	4,7
Ισοδύναμο Άμμου (S.E)	42	45	42
Δείκτης Πλαστικότητας (P.I)	N.P.	N.P.	N.P.
Εργαστηριακή πυκνότητα (Proctor Modified) Βέλτιστη Υγρασία %	2.110kg/m ³ 8,2	2.122kg/m ³ 8,7	2.127kg/m ³ 8,2

Καταλληλότητα υλικού

Βάσει αυτών των αποτελεσμάτων το υλικό αυτό κατατάσσεται στην διαβάθμιση Β της Π.Τ.Π Ο-150 και της Π.Τ.Π Ο-155 και κρίνεται κατάλληλο για χρήση του στην κατασκευή μεταβατικών επιχωμάτων εάν η τιμή του CBR >20.

Το υλικό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως υλικό κατασκευής βάσεων και υποβάσεων διαβάθμισης Β, εάν τα αποτελέσματα των δοκιμών υγείας και Los Angeles είναι εντός των προβλεπόμενων ορίων και τα αποτελέσματα συμπίκνωσης του υλικού και της δοκιμής με τη μέθοδο της άμμου είναι 95% για την υπόβαση και 97% για την βάση οδοστρώσας της εργαστηριακά επιτευχθείσας συμπίκνωσης με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor.

Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό στραγγιστικής στρώσης εάν τα αποτελέσματα συμπίκνωσης του υλικού είναι 95% - 98% της συμπίκνωσης που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor.

Χρήση του στο έργο

Κατά την κατασκευή του έργου το υλικό αυτό τελικά χρησιμοποιήθηκε ως υλικό κατασκευής μεταβατικού επιχώματος.

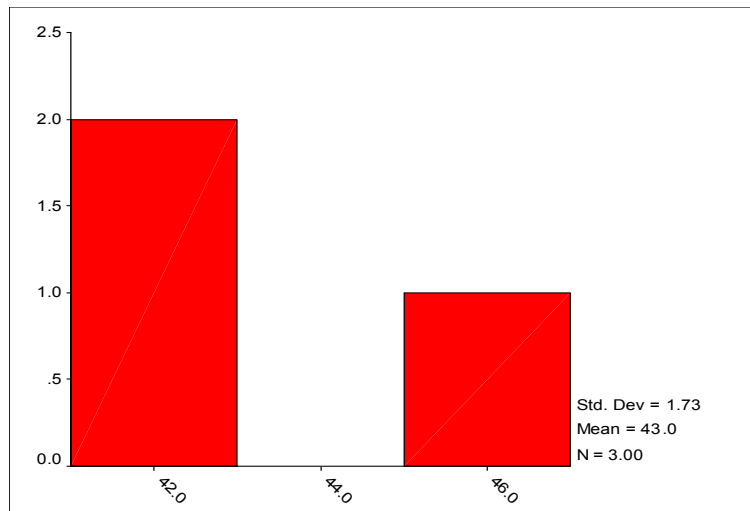
Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων δοκιμών κατά την πορεία εκτέλεσης του έργου

Στο θραυστό ασβεστόλιθο εκτελέστηκαν κατά την φάση κατασκευής του έργου δοκιμές ισοδύναμου άμμου και Proctor για τον έλεγχο της πορείας της κατασκευής. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών παρουσιάζονται στους Πίνακες 44 και 45.

Το ισοδύναμο άμμου του θραυστού ασβεστόλιθου κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 42 – 45 με μέση τιμή 43, τυπική απόκλιση 1,73 και βρίσκονται σε συμφωνία με τις τιμές που επιτεύχθηκαν κατά την έγκριση του υλικού. Μέγιστη συχνότητα συγκέντρωσης τιμών για το ισοδύναμο άμμου δεν παρουσιάζεται λόγω και του μικρού αριθμού των διαθέσιμων τιμών (Γράφημα 10).

Πίνακας 44 Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων του ισοδύναμου άμμου του θραυστού ασβεστόλιθου ως υλικού μεταβατικού επιχώματος σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ισοδύναμο άμμου	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
42	2	66,7	66,7
45	1	33,3	100,0
Σύνολο	3	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 42	Μέγιστη Τιμή 45	Μ.Ο 43	Τυπική Απόκλιση 1,73



Γράφημα 10. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της δοκιμής ισοδύναμου άμμου για τον θραυστό ασβεστόλιθο ως υλικού μεταβατικού επιχώματος σε διάφορες θέσεις του έργου.

6.1.6 Αμμοχαλικώδες υλικό Αλιάκμονα

Υλικό

Πρόκειται για χαλαρά αμμοχαλικώδη υλικά της κοίτης του Αλιάκμονα.

Δοκιμές

Από το δανειοθάλαμο αυτόν λήφθηκαν τρία αντιπροσωπευτικά δείγματα στα οποία εκτελέστηκαν οι παρακάτω δοκιμές με σκοπό την κατάταξη του υλικού και τη διαπίστωση της καταλληλότητας του ως υλικού εξυγιαντικής στρώσης επιχώματος.

1. Κοκκομετρική ανάλυση
2. Προσδιορισμός ορίου Υδαρότητας και Δείκτη Πλαστικότητας
3. Προσδιορισμός Φυσικής Υγρασίας
4. Δοκιμή Συμπύκνωσης Proctor (τροποποιημένη μέθοδος)
5. Προσδιορισμός του CBR

Οι δύο τελευταίες δοκιμές έγιναν σε υλικό προ-παρασκευασμένο εργαστηριακά μετά από απομάκρυνση του χονδρόκοκκου υλικού σε ποσοστό 10%.

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 46. Δοκιμές για την κατάταξη του αμμοχαλικώδους υλικού της κοίτης του Αλιάκμονα ως υλικού εξυγιαντικής στρώσης επιχώματος.

Αμερ. Πρότυπο κόσκινα (A.A.S.H.T.O. M- 92)		Δείγμα Αρ.1	Δείγμα Αρ.2	Δείγμα Αρ.3	Δείγμα Αρ.4
3"	76,2	100	100	100	
2"	50,80	82,2	72,2	89,2	
1"	25,40	62,1	50,2	58,9	100
3/8"	9,51	54	39,7	42,0	68,9
No 4	4,76	27,2	29,6	27,5	51,4
No 10	2,00	20,4	22,2	21,2	38,8
No 40	0,420	8,0	7,9	7,8	16
No 200	0,074	0,2	0,1	0,1	0,4
Φυσική Υγρασία %		1,30	1,20	1,30	1,00
Δείκτης Πλαστικότητας (P.I)		N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
Ποσοστό Διόγκωσης					<0,1%
CBR					30
Εργαστηριακή πυκνότητα (Proctor Modified) Βέλτιστη Υγρασία %					2.283kg/m ³ 1,8

Καταλληλότητα υλικού

Το υλικό βάσει των παραπάνω δοκιμών κατατάσσεται στην κατηγορία E3-E4 κατά ΟΣΜΕΟ και θεωρείται ως κατάλληλο για την κατασκευή στρώσης εξυγίανσης και ως υλικό κατασκευής επιχωμάτων.

Βάσει αυτών των αποτελεσμάτων το υλικό αυτό κατατάσσεται στη διαβάθμιση Α της Π.Τ.Π Ο-150 και της Π.Τ.Π Ο-155 και κρίνεται κατάλληλο ως υλικό κατασκευής βάσεων και υποβάσεων, εάν τα αποτελέσματα συμπίκνωσης του υλικού με τη μέθοδο της άμμου είναι 95% για την υπόβαση και 97% για την βάση οδοστρώσις, της εργαστηριακά επιτευχθείσας συμπίκνωσης με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor και τα αποτελέσματα των δοκιμών υγείας και Los Angeles βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια.

Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό στραγγιστικής στρώσης εάν τα αποτελέσματα συμπίκνωσης του υλικού είναι 95% - 98% της συμπίκνωσης που επιτεύχθηκε στο εργαστήριο με την τροποποιημένη μέθοδο Proctor.

Και τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό μεταβατικού επιχώματος.

Χρήση του στο έργο

Κατά την κατασκευή του έργου το υλικό αυτό τελικά χρησιμοποιήθηκε ως υλικό εξυγιαντικής στρώσης και στραγγιστικής στρώσης και ως υλικό οδοστρώσις βάσης και υπόβασης.

Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών κατά την πορεία εκτέλεσης του έργου

Από τις επί τόπου δοκιμές πυκνότητας του αμμοχαλικώδους υλικού της κοίτης του Αλιάκμονα, που εκτελέστηκαν σε διάφορες θέσεις του έργου για τον έλεγχο της κατασκευής, προέκυψαν οι τιμές του ποσοστού συμπίκνωσης και του ισοδύναμου άμμου όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες 48, 48 και 49 αντίστοιχα.

Οι τιμές του ποσοστού συμπίκνωσης, όπου το αμμοχαλικώδες υλικό της κοίτης του Αλιάκμονα χρησιμοποιήθηκε ως υλικό εξυγίανσης κυμάνθηκαν από 95,5% έως 101,2 % με μέση τιμή 99,31% και παρουσίασαν τυπική απόκλιση ίση με 0,97. Οι τιμές του ποσοστού συμπίκνωσης, όπου το αμμοχαλικώδες υλικό της κοίτης του Αλιάκμονα χρησιμοποιήθηκε ως υλικό στραγγιστικής στρώσης κυμάνθηκαν από 98,7 % έως 101,5 % με μέση τιμή 99,7% και παρουσίασαν τυπική απόκλιση ίση με 0,7.

Σε όλες τις περιπτώσεις ο έλεγχος της συμπίκνωσης ήταν μέσα στα προβλεπόμενα όρια καλύπτοντας όλο το φάσμα των συμπυκνώσεων και με αυξημένη συχνότητα εμφάνισης για την τιμή του ποσοστού συμπίκνωσης ίση με 99,5% και στις δύο χρήσεις του (Γραφήματα 11 και 13).

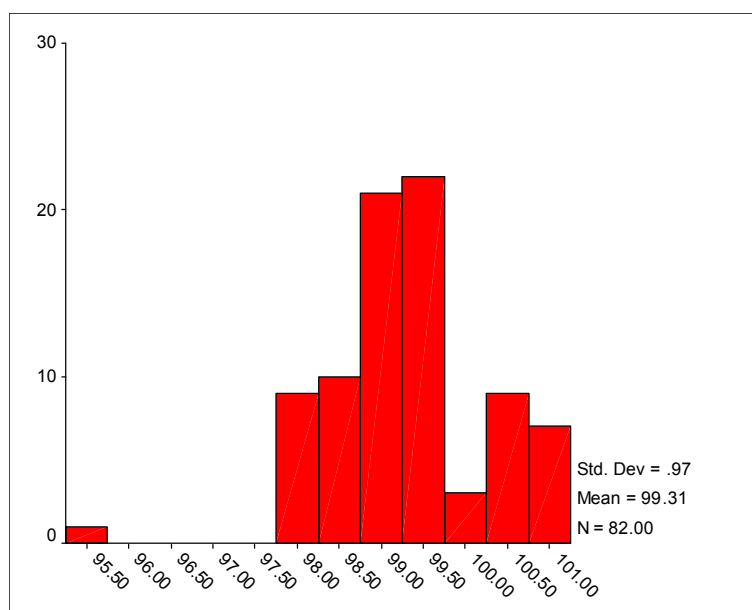
Στο υλικό αυτό εκτελέστηκαν επίσης δοκιμές προσδιορισμού του ισοδύναμου άμμου. Το αμμοχαλικώδες υλικό της κοίτης του Αλιάκμονα βρέθηκε σύμφωνο με τις προδιαγραφές. Το ισοδύναμο άμμου στις θέσεις όπου το υλικό χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή εξυγιαντικής στρώσης κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 42 – 81 με μέση τιμή 73, τυπική απόκλιση 11,05 και μέγιστη συχνότητα συγκέντρωσης τιμών για ισοδύναμο άμμου ίσο με 80 (Γράφημα 12).

Ως υλικού Εξυγιαντικής στρώσης

Πίνακας 47. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών πυκνότητας του αμμοχαλικώδους υλικού της κοίτης του Αλιάκμονα ως υλικού εξυγιαντικής στρώσης επιχώματος σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ποσοστό συμπίκνωσης %	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
95,5	1	1,2	1,2
97,8	1	1,2	2,4
97,9	1	1,2	3,7
98,0	1	1,2	4,9
98,1	4	4,9	9,8
98,2	2	2,4	12,2
98,4	3	3,7	15,9
98,5	3	3,7	19,5
98,6	3	3,7	23,2
98,7	1	1,2	24,4
98,8	4	4,9	29,3
98,9	5	6,1	35,4
99,0	5	6,1	41,5

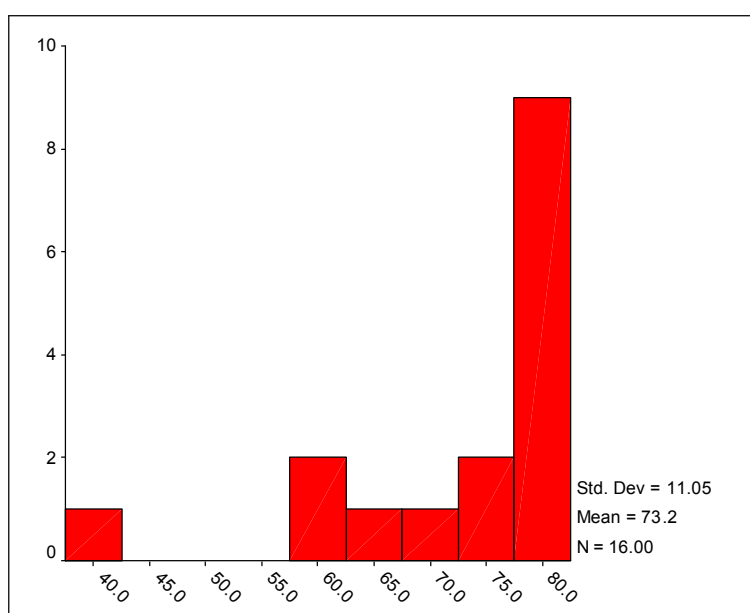
99,1	2	2,4	43,9
99,2	5	6,1	50,0
99,3	1	1,2	51,2
99,4	9	11,0	62,2
99,5	5	6,1	68,3
99,6	2	2,4	70,7
99,7	5	6,1	76,8
99,8	1	1,2	78,0
100,2	2	2,4	80,5
100,4	3	3,7	84,1
100,5	2	2,4	86,6
100,6	3	3,7	90,2
100,7	1	1,2	91,5
100,8	2	2,4	93,9
101,2	5	6,1	100
Σύνολο	82	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 95,5	Μέγιστη Τιμή 101,2	M.O 99,31	Τυπική Απόκλιση 0,97



Γράφημα 11. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της επί τόπου δοκιμής συμπίκνωσης για το αμμοχαλικώδες υλικό της κοίτης του ποταμού Αλιάκμονα ως υλικού εξυγιαντικής στρώσης επιχώματος σε διάφορες θέσεις του έργου.

Πίνακας 48. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων του ισοδύναμου άμμου του αμμοχαλικώδους υλικού της κοίτης του Αλιάκμονα ως υλικού εξυγιαντικής στρώσης επιχώματος σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ισοδύναμο άμμου	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
42	1	6,3	6,3
59	1	6,3	12,5
62	1	6,3	18,8
66	1	6,3	25,0
68	1	6,3	31,3
77	2	12,5	43,8
79	3	18,8	62,5
80	3	18,8	81,3
81	3	18,8	100,0
Σύνολο	16	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 42	Μέγιστη Τιμή 81	Μ.Ο 73	Τυπική Απόκλιση 11,05

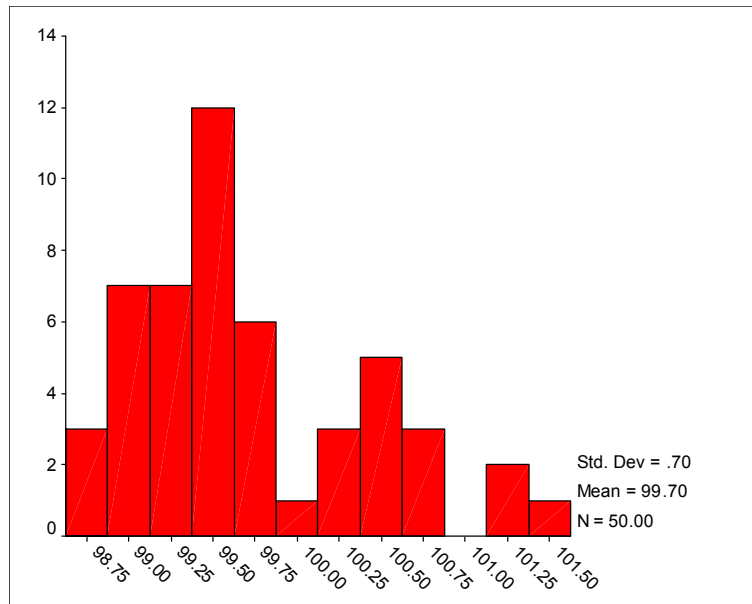


Γράφημα 12. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της δοκιμής ισοδύναμου άμμου για το αμμοχαλικώδες υλικό της κοίτης του Αλιάκμονα ως υλικού εξυγιαντικής στρώσης επιχώματος σε διάφορες θέσεις του έργου.

Ως υλικού στραγγιστικής στρώσης

Πίνακας 49. Ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών του αμμοχαλικώδους υλικού της κοίτης του Αλιάκμονα ως υλικού στραγγιστικής στρώσης σε διάφορες θέσεις του έργου.

Δείκτης Συμπύκνωσης %	Συχνότητα εμφάνισης τιμής	Ποσοστό %	Αθροιστικό ποσοστό %
98,7	2	4,0	4,0
98,8	1	2,0	6,0
98,9	2	4,0	10,0
99,0	5	10,0	20,0
99,2	7	14,0	34,0
99,4	3	6,0	40,0
99,5	6	12,0	52,0
99,6	3	6,0	58,0
99,7	4	8,0	66,0
99,8	2	4,0	70,0
100,1	1	2,0	72,0
100,2	2	4,0	76,0
100,3	1	2,0	78,0
100,4	1	2,0	80,0
100,5	4	8,0	88,0
100,7	2	4,0	92,0
100,8	1	2,0	94,0
101,2	2	4,0	98,0
101,5	1	2,0	100,0
Σύνολο	50	100,0	
Ελάχιστη Τιμή 98,7	Μέγιστη Τιμή 101,5	Μ.Ο 99,70	Τυπική Απόκλιση 0,70



Γράφημα 13. Γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των αποτελεσμάτων της επί τόπου δοκιμής πυκνότητας για το αμμοχαλικώδες υλικό της κοίτης του ποταμού Αλιάκμονα ως υλικού στραγγιστικής στρώσης σε διάφορες θέσεις του έργου.

6.2 Διερεύνηση της συσχέτισης φυσικών παραμέτρων των υλικών

6.2.1 Γενικά

Στο τμήμα αυτό της εργασίας παρουσιάζεται μέρος των χωματουργικών υλικών οδοποιίας που χρησιμοποιήθηκαν στα τμήματα 5.2 και 5.3 Λευκόπετρα-Βέροια- Κουλούρα της Εγνατίας οδού.

Διερευνήθηκε η ύπαρξη μαθηματικής συσχέτισης μεταξύ κάποιων φυσικών παραμέτρων που επηρεάζουν το ποσοστό της επί τόπου συμπίκνωσης των υλικών οδοποιίας και κατά συνέπεια τη μηχανική τους συμπεριφορά στα διάφορα τμήματα του έργου. Πιο συγκεκριμένα έγινε συσχέτιση του επί τόπου ποσοστού συμπίκνωσης των υλικών ως προς:

- το ποσοστό του λεπτόκοκκου κλάσματος στα υλικά
- το ποσοστό άμμου
- το συντελεστή ομοιομορφίας

Τα χωματουργικά υλικά που παρουσιάζονται στη συνέχεια λήφθηκαν από το κοντινό περιβάλλον του έργου και είναι:

1. Τραβερίνης
2. Θραυστός Τραβερίνης
3. Ασβεστόλιθος
4. Υλικό μεταβατικού επιχώματος (αμμοχάλικο)
5. Αμμοχάλικο Αλιάκμονα
6. Θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και ΠΤΠ Ο-155
7. Περιδοτίτης
8. Θραυστό αμμοχάλικο
9. Θραυστό υλικό λατομείου

6.2.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο τμήμα αυτό της εργασίας προέρχονται από τα αποτελέσματα των δοκιμών επί τόπου πυκνότητας και κοκκομετρικής ανάλυσης που εκτελέστηκαν στα χωματουργικά υλικά σε διάφορες θέσεις του έργου κατά την κατασκευή του για τον έλεγχο και την αξιολόγησή του. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή επιχωμάτων, βάσεων και υποβάσεων οδοστρώσας, στραγγιστικών στρώσεων και στρώσεων εξυγίανσης, οπλισμένης γης και σε διάφορα τεχνικά όπως γέφυρες, διαβάσεις και άλλα.

Η συμμετοχή των υπό εξέταση υλικών στα διάφορα τμήματα της Εγνατίας οδού φαίνεται στον συγκεντρωτικό Πίνακα 50 που ακολουθεί.

Πίνακας 50. Συμμετοχή των χωματουργικών υλικών στα διάφορα τμήματα της Εγνατίας Οδού.

	Υπόβαση	Βάση	Τεχνικά	Εξυγίανση	Στέψη	Πυρήνας	Στραγ.Στρώση	Οπλ.Γη
Τραβερτίνης					+	+		+
Θραυστός Τραβερτίνης							+	+
Θραυστό αμμοχάλικο			+					
Θραυστό O-150 O-155	+	+						
Αμμοχάλικο Αλιάκμονα				+		+	+	
Υλικό μεταβατικού επιχώματος (αμμοχάλικο)			+					
Ασβεστόλιθος				+	+			
Περιδοτίτης					+	+		
Θραυστός ασβεστόλιθος λατομείου						+		

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων και πριν τη διερεύνηση των παραπάνω σχέσεων έγινε ένα φιλτράρισμα των δεδομένων με βάση τη γραμμική συσχέτιση, σε ποσοστό $> 50\%$, του ποσοστού του λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού της άμμου. Κριτήριο αυτού του φιλτραρίσματος ήταν η αντιστρόφως ανάλογη σχέση που πρέπει φυσιολογικά να υπάρχει μεταξύ των δύο ποσοστών σε κάθε δείγμα. Έτσι τιμές που δεν ικανοποιούσαν το παραπάνω κριτήριο απορρίφθηκαν με το σκεπτικό ότι η κοκκομετρική τους διαβάθμιση έχει αλλοιωθεί κυρίως κατά τη διαδικασία δειγματοληψίας τους. Οι τιμές που τελικά χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και ο βαθμός ικανοποίησης του παραπάνω κριτηρίου παρουσιάζεται για κάθε υλικό στο αντίστοιχο διάγραμμα (Ποσοστό λεπτόκοκκου – Ποσοστό άμμου).

Ως λεπτόκοκκο υλικό θεωρείτε αυτό που διέρχεται από το φίλτρο Νο 200¹⁸ και ως άμμος το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο Νο 4 και συγκρατείται από το κόσκινο Νο 200.

Για κάθε υλικό προβλήθηκαν σε διαγράμματα τα ποσοστά λεπτόκοκκου υλικού – ποσοστού συμπίκνωσης, άμμου – ποσοστού συμπίκνωσης και συντελεστή ομοιομορφίας – συντελεστή συμπίκνωσης. Στα δεδομένα του κάθε διαγράμματος

¹⁸ Αμερικάνικα πρότυπα κοσκίων (AASHTO M-92)

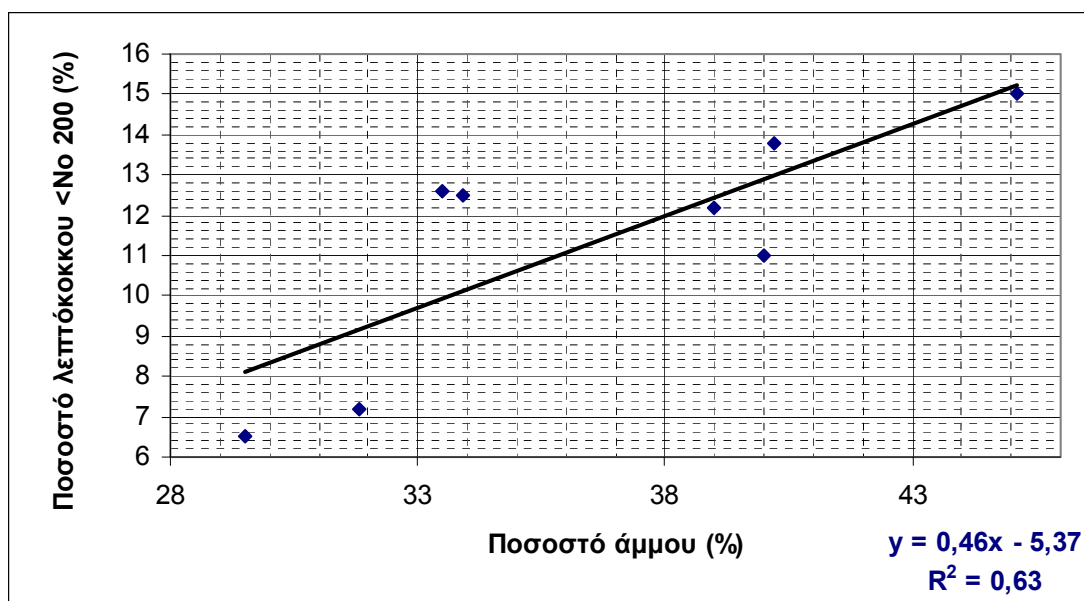
εφαρμόστηκε απλή γραμμική παλινδρόμηση, η οποία προσδιορίζεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Σε κάθε διάγραμμα απεικονίζεται η γραμμή τάσης της απλής γραμμικής παλινδρόμησης (ή ευθεία παλινδρόμησης) και σημειώνεται η τιμή του συντελεστή συσχέτισης R^2 που δείχνει το βαθμό προσαρμογής των δεδομένων πάνω στην ευθεία εκφράζοντας το βαθμό καταλληλότητας του μοντέλου. Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Όσο πλησιάζει τη μονάδα τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή της γραμμής τάσης στα δεδομένα.

6.2.3 Τραβερίνης

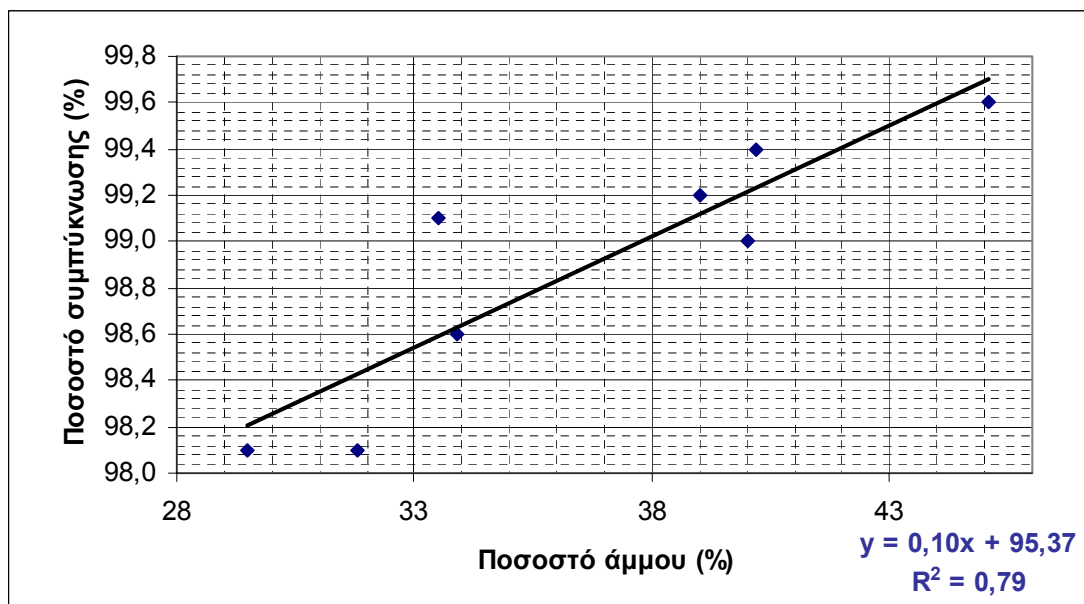
Στον τραβερίνη παρουσιάστηκε γραμμική σχέση μεταξύ των ποσοστών άμμου και λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού συμπίκνωσης του. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν 0,79 και 0,86 αντίστοιχα ενώ ο ρυθμός μεταβολής (κλίση της ευθείας $y = ax + \beta$) ήταν 0,10 και 0,17 αντίστοιχα. Για το συντελεστή ομοιομορφίας και το ποσοστό συμπίκνωσης δεν υπήρξε κάποιας μορφής γραμμική συσχέτιση όπως φαίνεται και στο γράφημα 17.

Πίνακας 51. Τιμές του ποσοστού της άμμου και του λεπτόκοκκου υλικού, του συντελεστή ομοιομορφίας και των αποτελεσμάτων της δοκιμής προσδιορισμού της επί τόπου πυκνότητας για τον τραβερίνη.

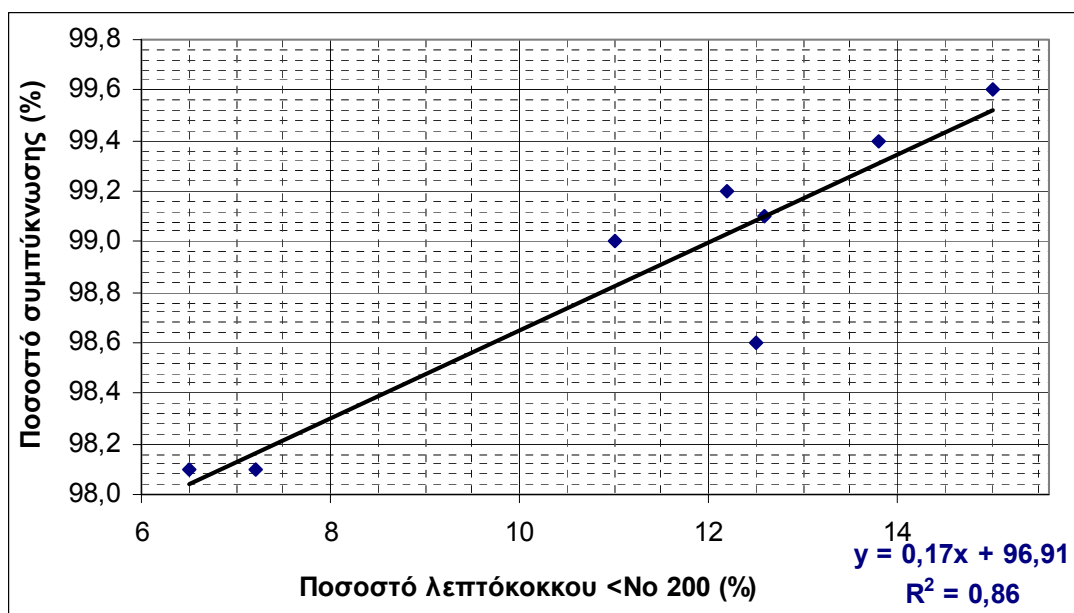
Τραβερίνης						
Δείγμα α/α	Άμμος (%)	Λεπτόκοκκο υλικό (%)	d_{10}	d_{60}	U	Βαθμός συμπύκνωσης (%)
1	33,5	12,6	0,04	11,06	277	99,1
2	33,9	12,5	0,05	20,45	409	98,6
4	40,2	13,8	0,05	6,97	139	99,4
5	39,0	12,2	0,05	8,24	165	99,2
6	45,1	15,0	0,04	4,72	118	99,6
7	29,5	6,5	0,12	23,16	193	98,1
8	31,8	7,2	0,11	21,41	195	98,1
9	40,0	11,0	0,06	10,39	173	99,0



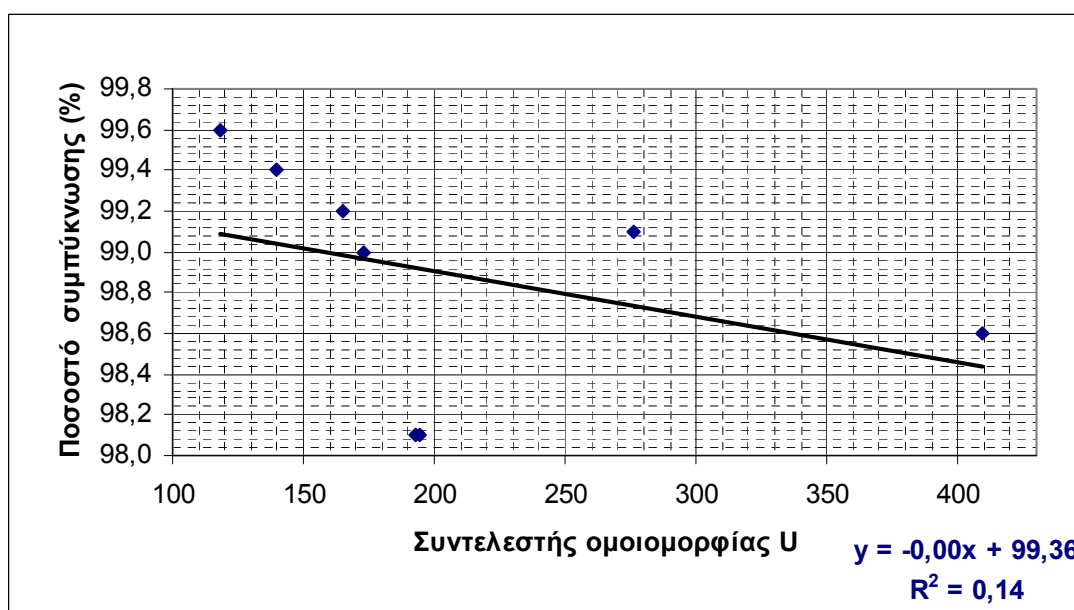
Γράφημα 14. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον τραβερτίνη.



Γράφημα 15 Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και του ποσοστού συμπίκνωσης του υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον τραβερτίνη.



Γράφημα 16. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον τραβερτίνη.



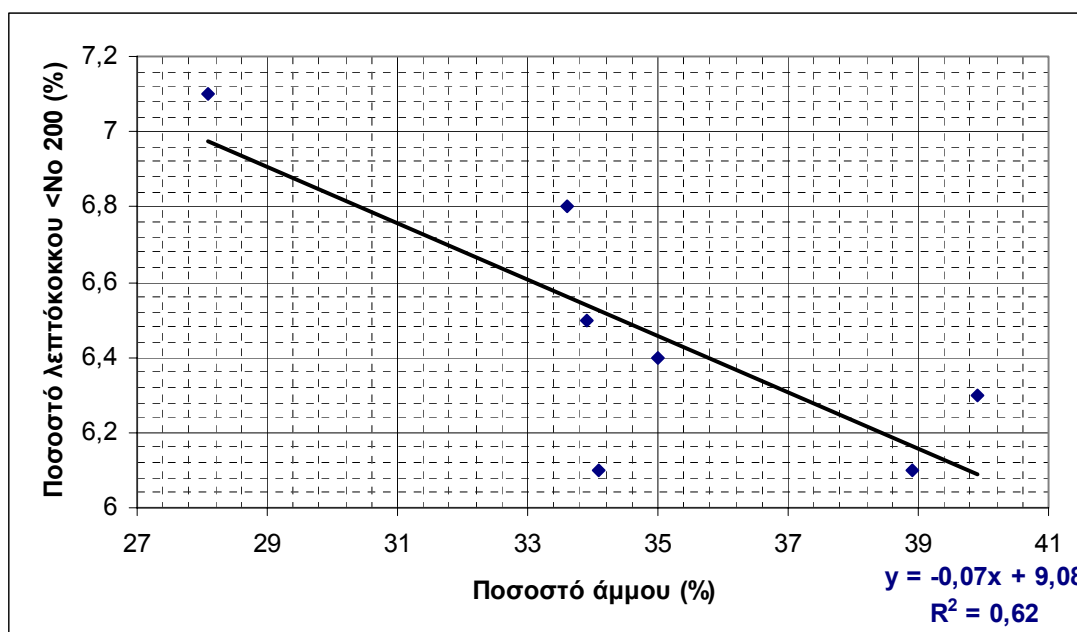
Γράφημα 17 Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον τραβερτίνη.

6.2.4 Θραυστός τραβερτίνη

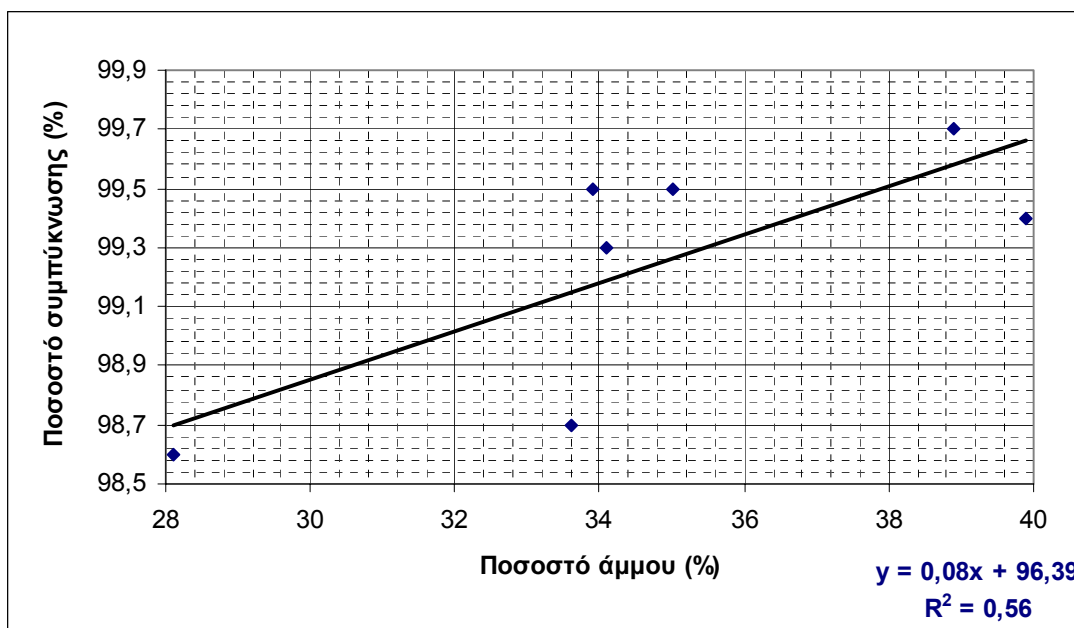
Στον θραυστό τραβερτίνη παρουσιάστηκε ανάλογη γραμμική σχέση μεταξύ των ποσοστών άμμου και του ποσοστού συμπύκνωσης και αντιστρόφως ανάλογη μεταξύ του λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού συμπύκνωσης. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν 0,56 και 0,75 αντίστοιχα ενώ ο ρυθμός μεταβολής (κλίση της ευθείας $y = ax + \beta$) ήταν 0,08 και -1,00 αντίστοιχα. Για το συντελεστή ομοιομορφίας και το βαθμό συμπύκνωσης υπήρξε αντιστρόφως ανάλογη σχέση με $R^2=0,60$ και ρυθμό μεταβολής -0,01 όπως φαίνεται και στο γράφημα 21.

Πίνακας 52. Τιμές του ποσοστού της άμμου και του λεπτόκοκκου υλικού, του συντελεστή ομοιομορφίας και των αποτελεσμάτων της δοκιμής προσδιορισμού της επί τόπου πυκνότητας για τον θραυστό τραβερτίνη.

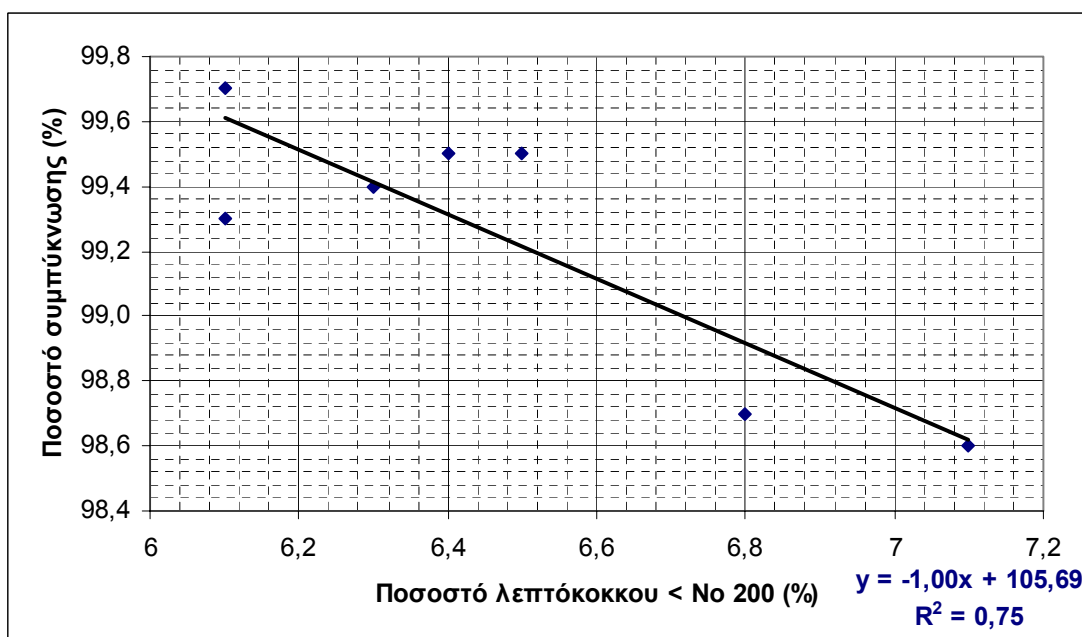
Θραυστός τραβερτίνη						
Δείγμα α/α	Άμμος (%)	Λεπτόκοκκο υλικό (%)	d_{10}	d_{60}	U	Βαθμός συμπύκνωσης (%)
1	28,1	7,1	0,11	26,67	242	98,6
2	34,1	6,1	0,13	13,00	100	99,3
3	33,6	6,8	0,10	17,76	178	98,7
4	38,9	6,1	0,10	10,67	107	99,7
5	39,9	6,3	0,12	13,01	108	99,4
6	35,0	6,4	0,12	18,19	152	99,5
7	33,9	6,5	0,11	17,90	163	99,5



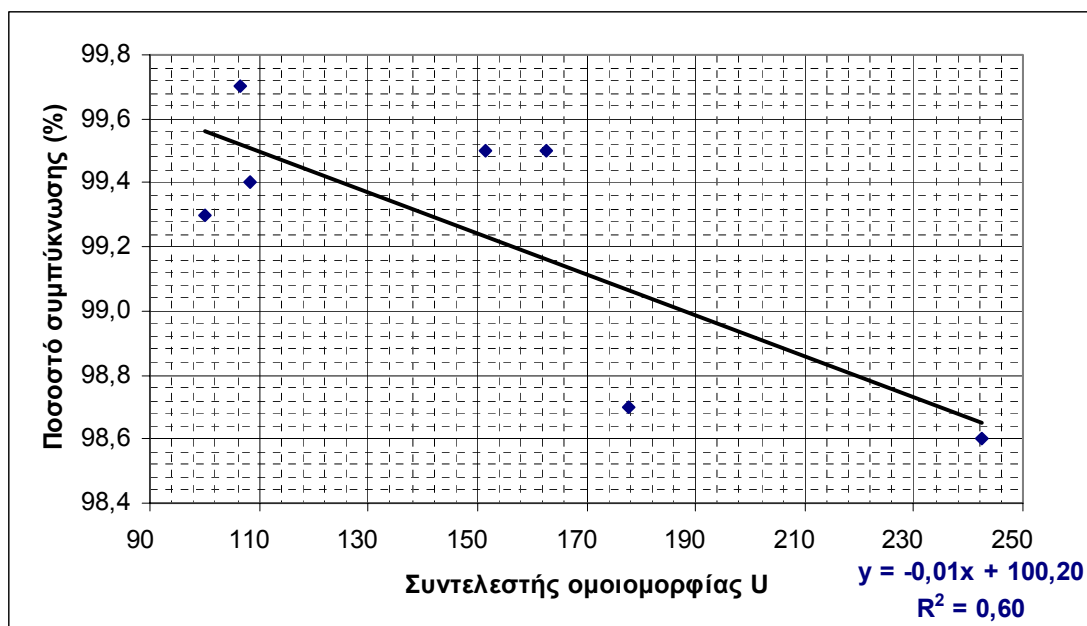
Γράφημα 18 Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό τραβερτίνη.



Γράφημα 19 Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και του ποσοστού συμπίκνωσης του υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό τραβερτίνη.



Γράφημα 20 Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού λεπτόκοκκου (%) και ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό τραβερτίνη.



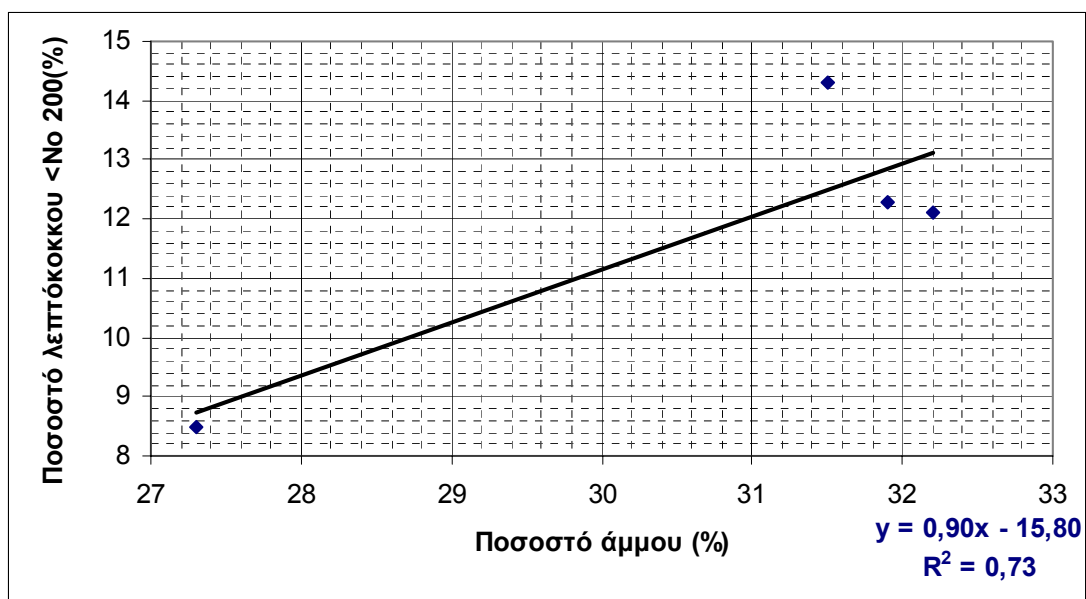
Γράφημα 21 Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό τραβερτίνη.

6.2.5 Ασβεστόλιθος

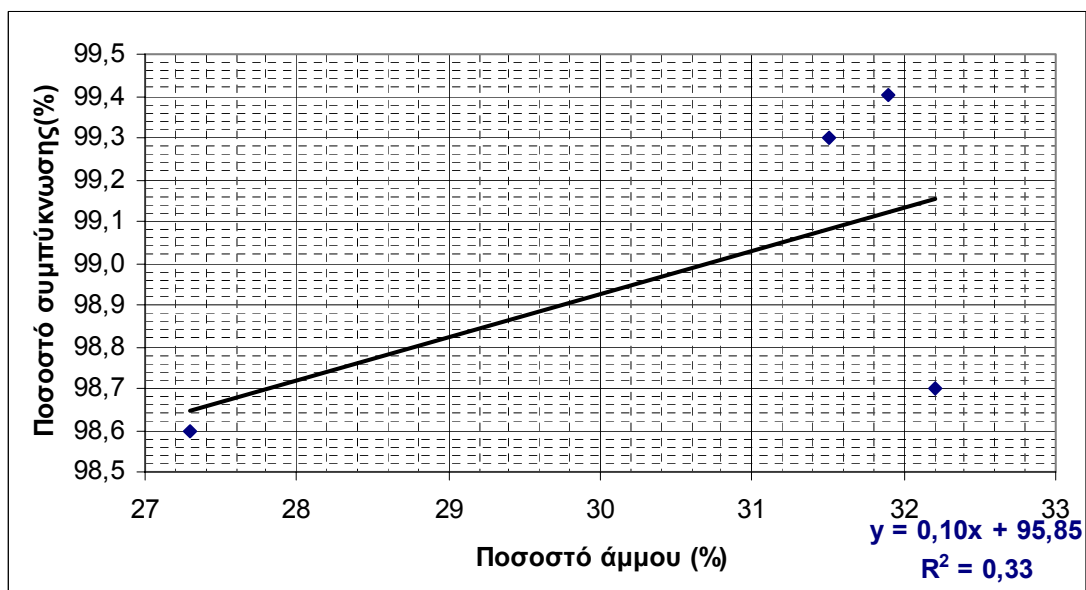
Στον ασβεστόλιθο παρουσιάστηκε ανάλογη σχέση μεταξύ των ποσοστών άμμου και λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού συμπίκνωσης του. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν 0,33 και 0,54, ενώ ο ρυθμός μεταβολής ήταν 0,10 και 0,17 αντίστοιχα. Οι τιμές $R^2 = 0,33$ είναι πολύ μικρή και δεν μπορεί να δώσει κάποιο αξιόπιστο συμπέρασμα αλλά αναφέρεται για να δείξει την τάση μεταβολής του ποσοστού της άμμου με το βαθμό συμπίκνωσης. Για το συντελεστή ομοιομορφίας και το βαθμό συμπίκνωσης δεν υπήρξε κάποιας μορφής γραμμική συσχέτιση όπως φαίνεται και στο γράφημα 25.

Πίνακας 53. Τιμές του ποσοστού της άμμου και του λεπτόκοκκου υλικού, του συντελεστή ομοιομορφίας και των αποτελεσμάτων της δοκιμής προσδιορισμού της επί τόπου πυκνότητας για τον ασβεστόλιθο.

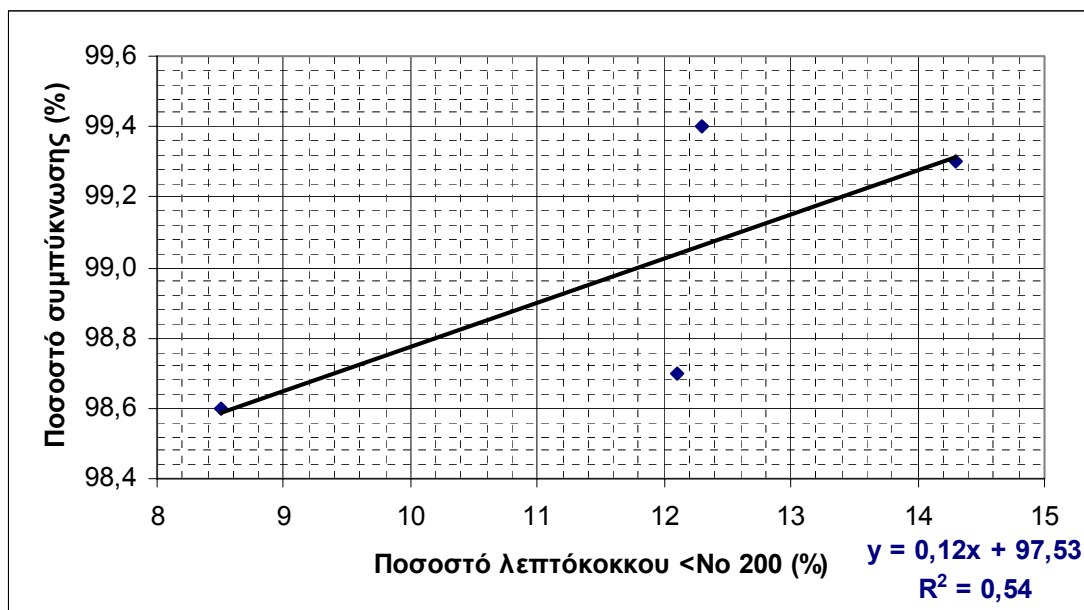
Ασβεστόλιθος						
Δείγμα α/α	Άμμος (%)	Λεπτόκοκκο υλικό (%)	d_{10}	d_{60}	U	Βαθμός συμπίκνωσης (%)
1	27,3	8,5	0,08	20,61	258	98,6
2	31,9	12,3	0,05	15,53	311	99,4
3	32,2	12,1	0,05	19,56	391	98,7
4	31,5	14,3	0,03	17,30	577	99,3



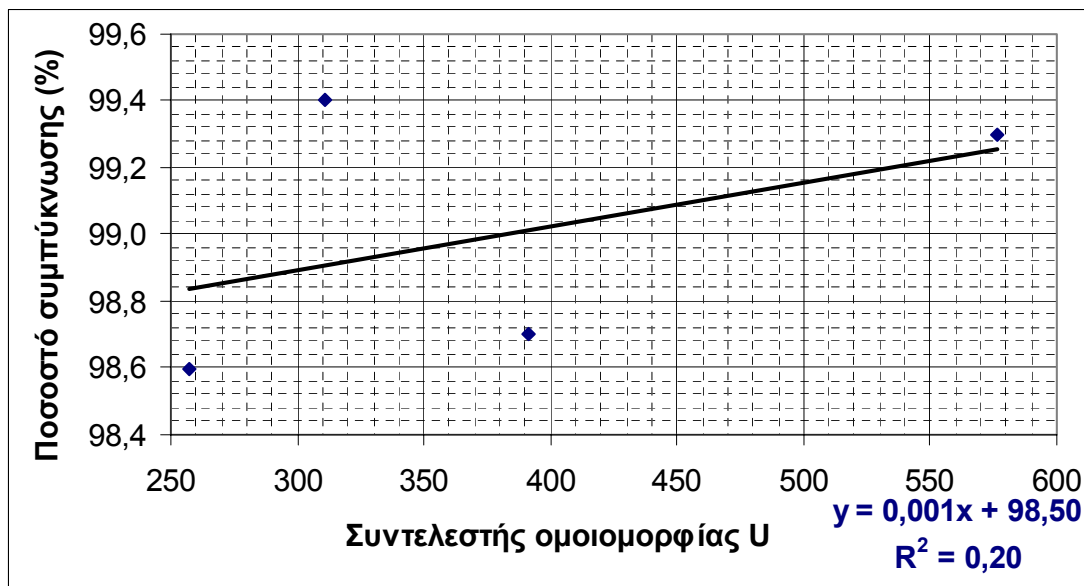
Γράφημα 22 Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον ασβεστόλιθο.



Γράφημα 23 Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και του ποσοστού συμπίκνωσης του υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον ασβεστόλιθο.



Γράφημα 24 Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού λεπτόκοκκου (%) και ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον ασβεστόλιθο.



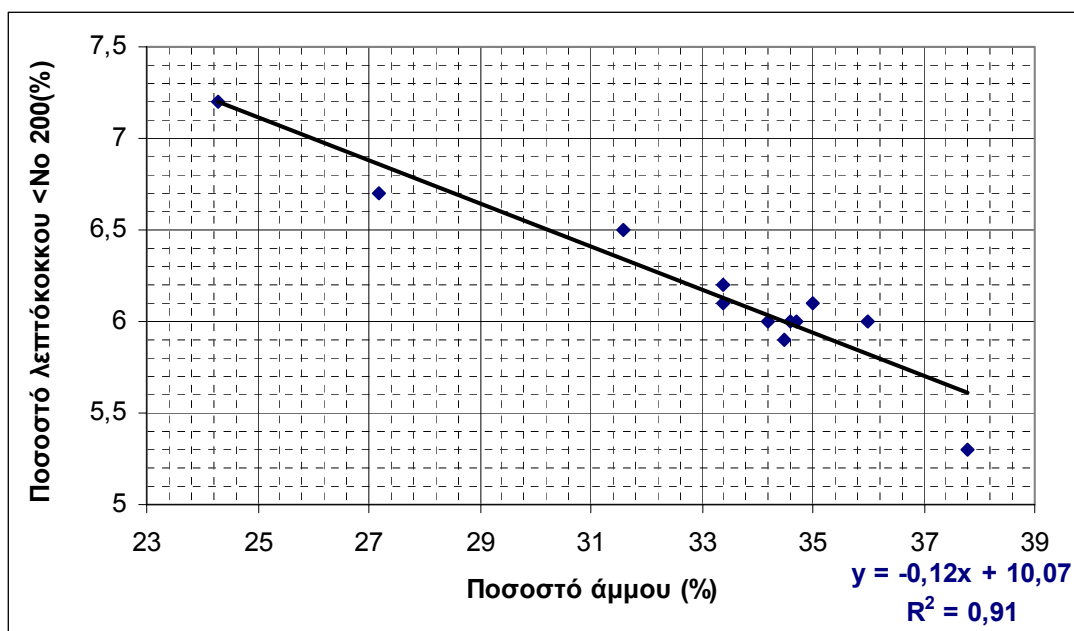
Γράφημα 25 Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον ασβεστόλιθο.

6.2.6 Υλικό μεταβατικού επιχώματος (αμμοχάλικο)

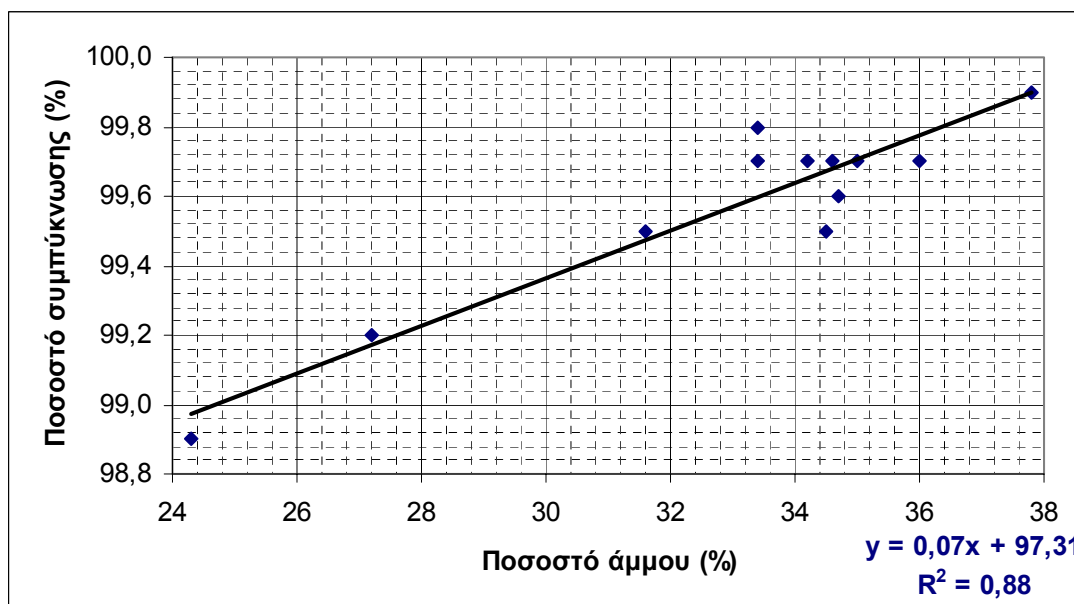
Στο υλικό μεταβατικού επιχώματος (αμμοχάλικο) παρουσιάστηκε ανάλογη σχέση μεταξύ των ποσοστών άμμου και του ποσοστού συμπύκνωσης και αντιστρόφως ανάλογη μεταξύ του λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού συμπύκνωσης. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν 0,88 και 0,78 ενώ ο ρυθμός μεταβολής ήταν 0,07 και -0,52 αντίστοιχα. Για το συντελεστή ομοιομορφίας και το βαθμό συμπύκνωσης υπήρξε αντιστρόφως ανάλογη σχέση με $R^2=0,66$ και ρυθμό μεταβολής -0,01 όπως φαίνεται στο γράφημα 29 για όλο το πεδίο των τιμών. Στο γράφημα 30 για τιμές του $U < 160$ παρατηρούμε πως η σχέση του U με το βαθμό συμπύκνωσης είναι ανάλογη με $R^2=0,47$ και ρυθμό μεταβολής 0,01.

Πίνακας 33 Τιμές του ποσοστού της άμμου και του λεπτόκοκκου υλικού, του συντελεστή ομοιομορφίας και των αποτελεσμάτων της δοκιμής προσδιορισμού της επί τόπου πυκνότητας για το αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος.

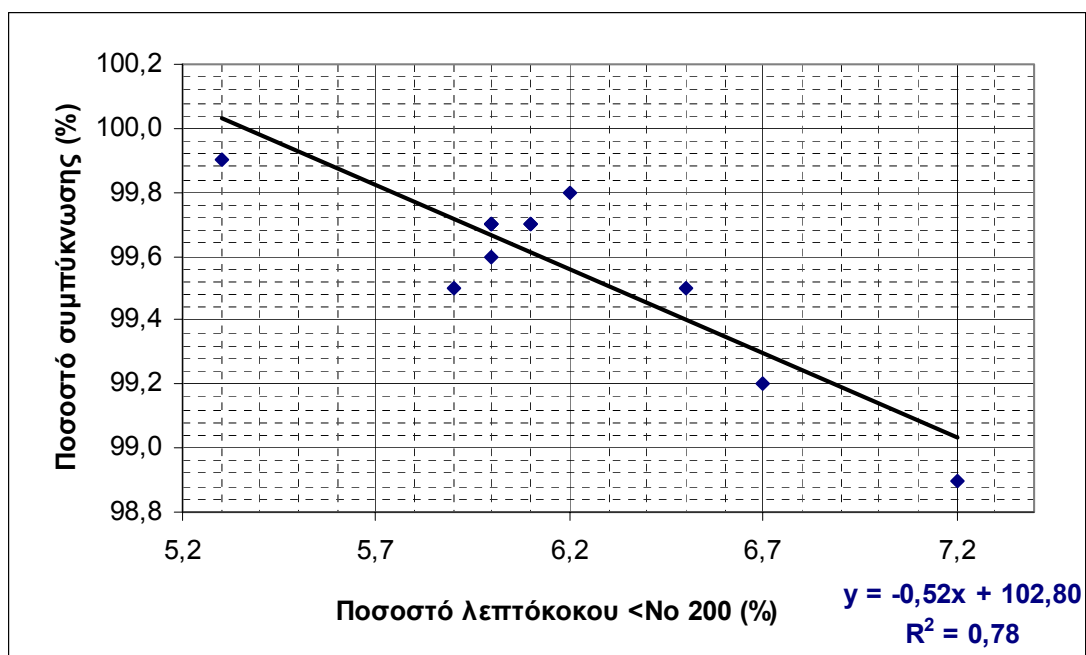
Αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος						
Δείγμα α/α	Άμμος (%)	Λεπτόκοκκο υλικό (%)	d_{10}	d_{60}	U	Ποσοστό συμπύκνωσης (%)
1	24,3	7,2	0,1	28,4	259	98,9
2	27,2	6,7	0,1	22	200	99,2
3	34,5	5,9	0,1	15,5	129	99,5
4	31,6	6,5	0,1	16,8	129	99,5
5	34,7	6,0	0,1	15,9	133	99,6
6	36,0	6,0	0,1	14,9	124	99,7
7	33,4	6,1	0,1	17,3	145	99,7
8	34,6	6,0	0,1	16,8	152	99,7
9	34,2	6,0	0,1	15,5	141	99,7
10	35,0	6,1	0,1	17	142	99,7
11	33,4	6,2	0,1	16,3	136	99,8
12	37,8	5,3	0,2	25,3	158	99,9



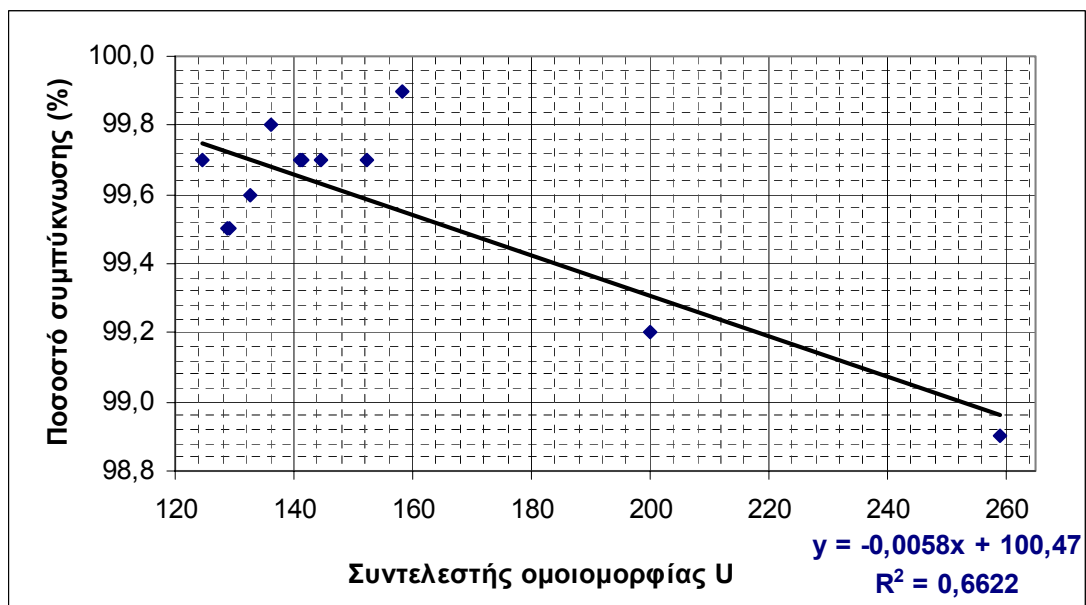
Γράφημα 26 Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος.



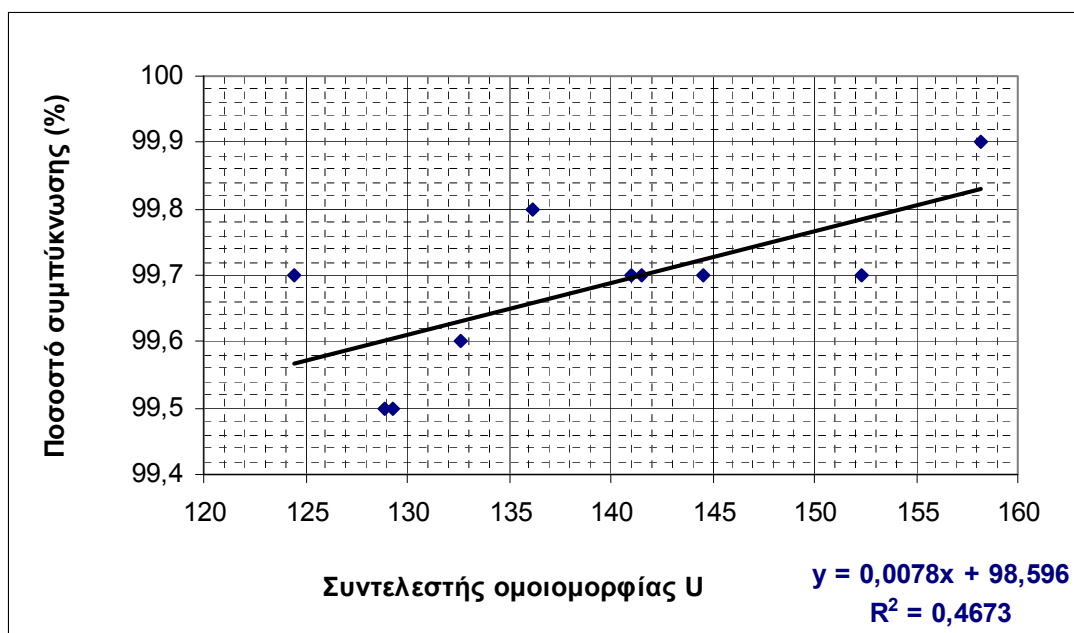
Γράφημα 27 Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και του ποσοστού συμπίκνωσης του υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος.



Γράφημα 28. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού λεπτόκοκκου (%) και ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος.



Γράφημα 29. Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος.



Γράφημα 30. Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος.

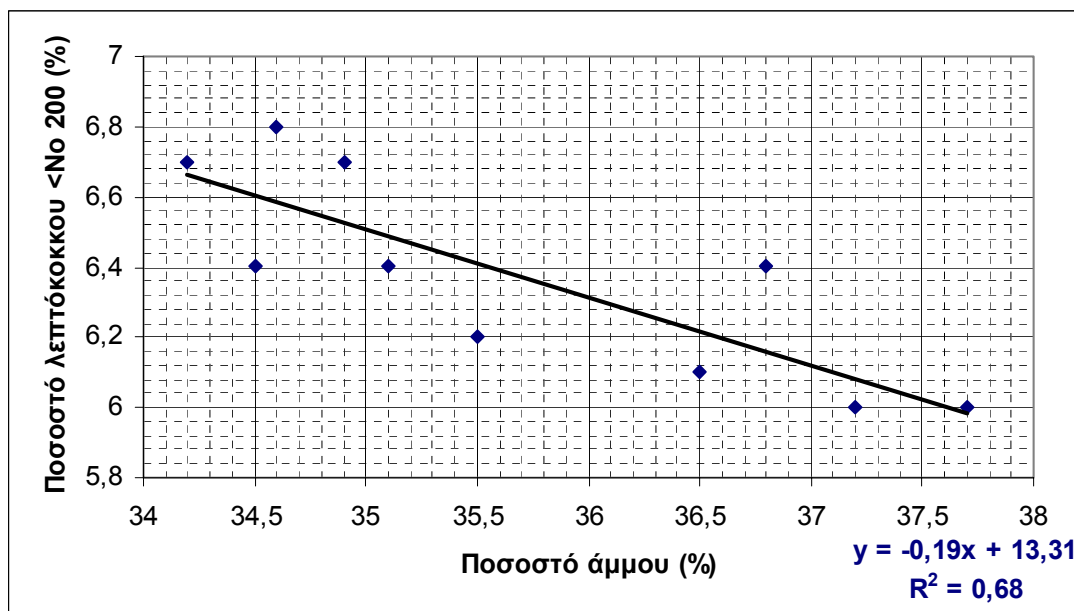
6.2.7 Αμμοχάλικο Αλιάκμονα

Στο αμμοχάλικο του ποταμού Αλιάκμονα παρουσιάστηκε ανάλογη σχέση μεταξύ των ποσοστών άμμου και του ποσοστού συμπίκνωσης και αντιστρόφως ανάλογη μεταξύ του λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού συμπίκνωσης. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν 0,67 και 0,61 ενώ ο ρυθμός μεταβολής ήταν 0,61 και -2,46 αντίστοιχα. Η σύγκριση όλων των τιμών του συντελεστή ομοιομορφίας με το ποσοστό συμπίκνωσης δεν έδωσε μια ενιαία γραμμική συσχέτιση. Με περαιτέρω όμως ανάλυση των τιμών, παρατηρείται πράγματι η ύπαρξη μιας τέτοιας συσχέτισης, εφόσον συγκριθούν οι τιμές των ποσοστών συμπίκνωσης με συγκεκριμένο ευρος τιμών του συντελεστή ομοιομορφίας. Ποιο συγκεκριμένα μια τέτοια συσχέτιση δίνει πολύ καλές τιμές του συντελεστή συσχέτισης R^2 για τιμές του συντελεστή ομοιομορφίας από $U = 89-102$ και $U = 127-145$ και $U = 147-150$ όπως φαίνεται στο γράφημα 34.

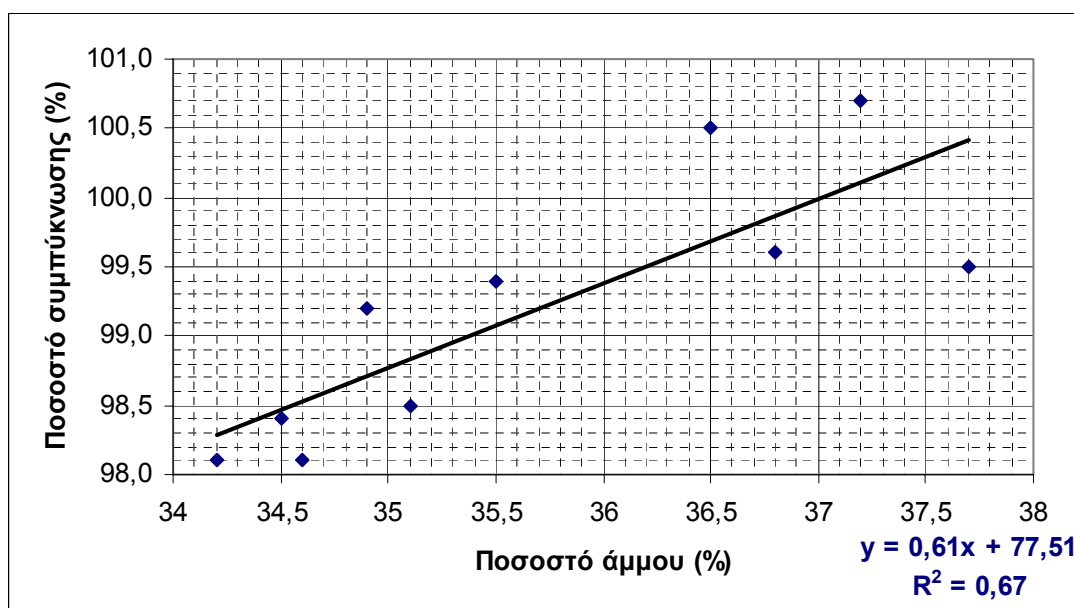
Πίνακας 34. Τιμές του ποσοστού της άμμου και του λεπτόκοκκου υλικού, του συντελεστή ομοιομορφίας και των αποτελεσμάτων της δοκιμής προσδιορισμού της επί τόπου πυκνότητας για το αμμοχάλικο Αλιάκμονα.

Αμμοχάλικο Αλιάκμονα						
Δείγμα α/α	Άμμος (%)	Λεπτόκοκκο υλικό (%)	d_{10}	D_{60}	U	Ποσοστό συμπίκνωσης (%)
1	34,6	6,8	0,11	14,00	127	98,1
2	34,2	6,7	0,11	16,12	147	98,1
3	34,5	6,4	0,11	14,17	129	98,4
4	35,1	6,4	0,11	16,54	150	98,5
5	34,9	6,7	0,18	16,07	89	99,2

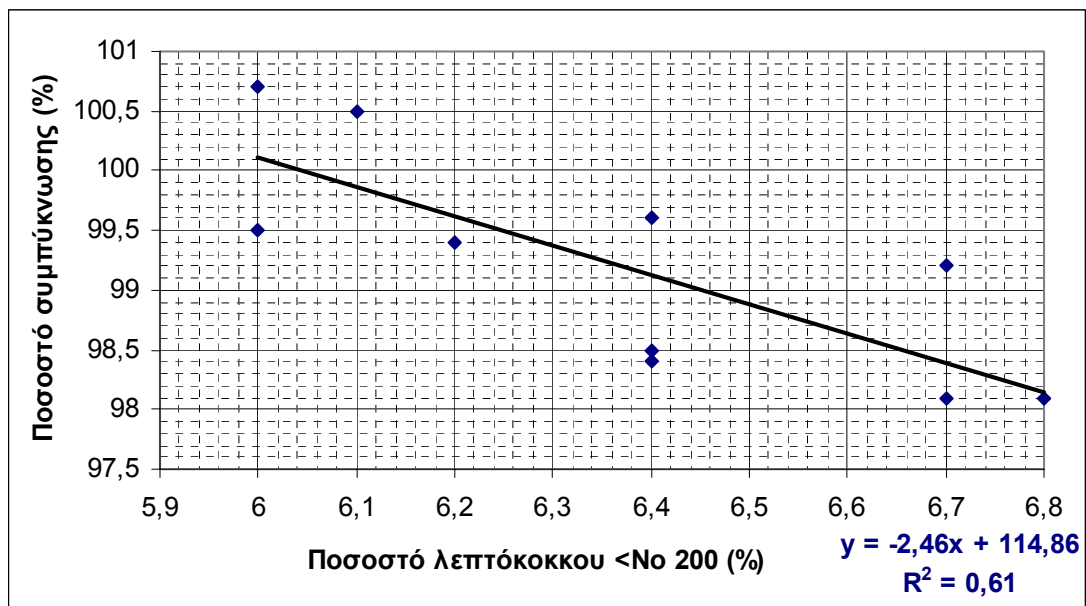
6	35,5	6,2	0,12	17,43	145	99,4
7	37,7	6,0	0,11	11,02	100	99,5
8	36,8	6,4	0,11	11,24	102	99,6
9	36,5	6,1	0,11	13,32	121	100,5
10	37,2	6,0	0,11	14,54	132	100,7



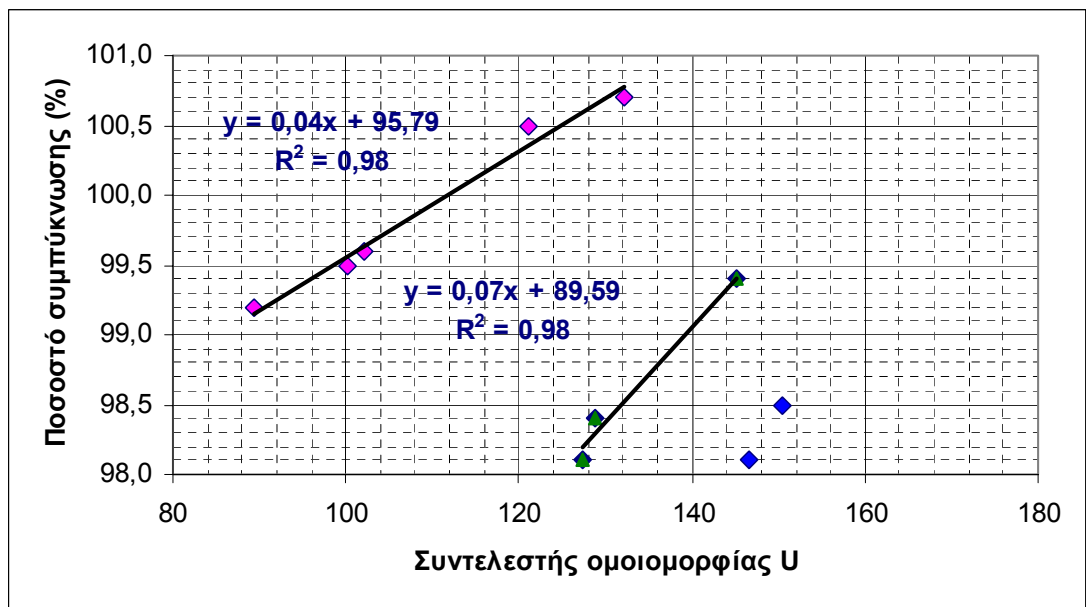
Γράφημα 31. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το αμμοχάλικο Αλιάκμονα.



Γράφημα 32. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και του ποσοστού συμπύκνωσης του υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το αμμοχάλικο Αλιάκμονα.



Γράφημα 33. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού λεπτόκοκκου (%) και ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το αμμοχάλικο Αλιάκμονα.



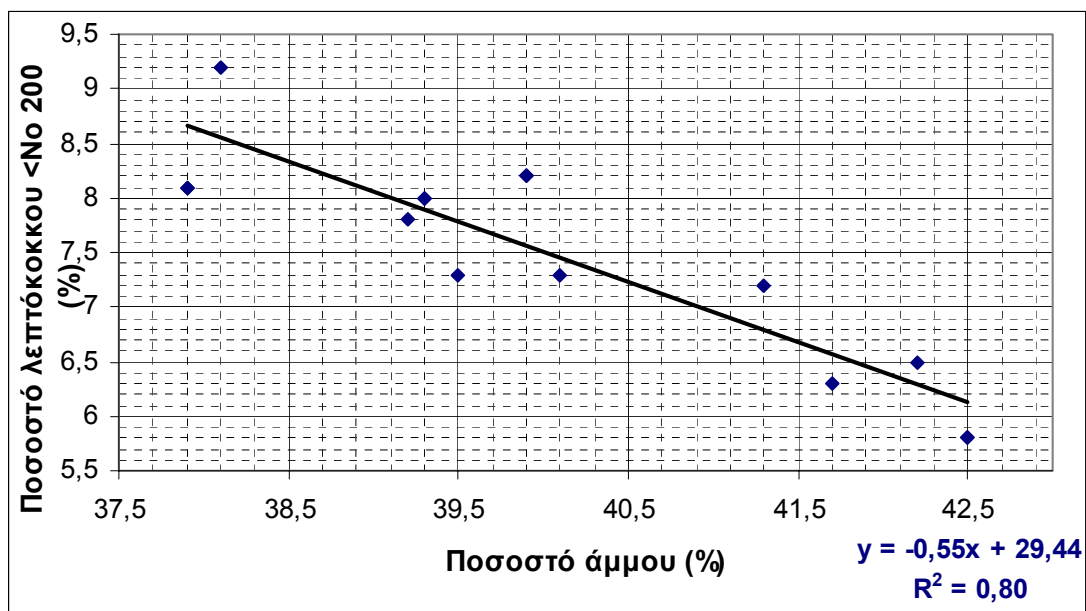
Γράφημα 34. Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το αμμοχάλικο Αλιάκμονα.

6.2.8 Θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155

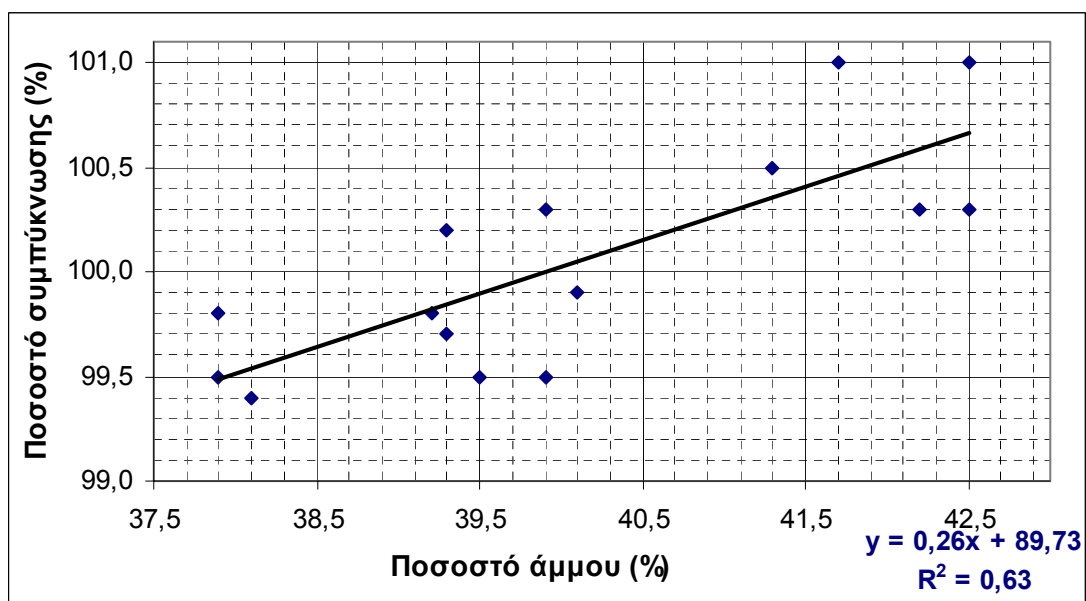
Στο θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155 παρουσιάστηκε ανάλογη σχέση μεταξύ των ποσοστών άμμου και του ποσοστού συμπύκνωσης και αντιστρόφως ανάλογη μεταξύ του λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού συμπύκνωσης. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν 0,63 και 0,60 ενώ ο ρυθμός μεταβολής ήταν 0,26 και -0,54 αντίστοιχα. Για το συντελεστή ομοιομορφίας και το βαθμό συμπύκνωσης δεν υπήρξε κάποια ενιαία γραμμική συσχέτιση όπως φαίνεται και στο γράφημα 38. Στο γράφημα 39 όμως παρατηρούμε πως για τιμές του $U=73-79$, $U=84-94$ και $U=95-104$ η σχέση του U με το ποσοστό συμπύκνωσης είναι ανάλογη και παρουσιάζει για τα δύο τελευταία πεδία τιμών συντελεστές συσχέτισης που δείχνουν μια τάση αύξησης του ποσοστού συμπύκνωσης με το συντελεστή ομοιομορφίας.

Πίνακας 35. Τιμές του ποσοστού της άμμου και του λεπτόκοκκου υλικού, του συντελεστή ομοιομορφίας και των αποτελεσμάτων της δοκιμής προσδιορισμού της επί τόπου πυκνότητας για το θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155.

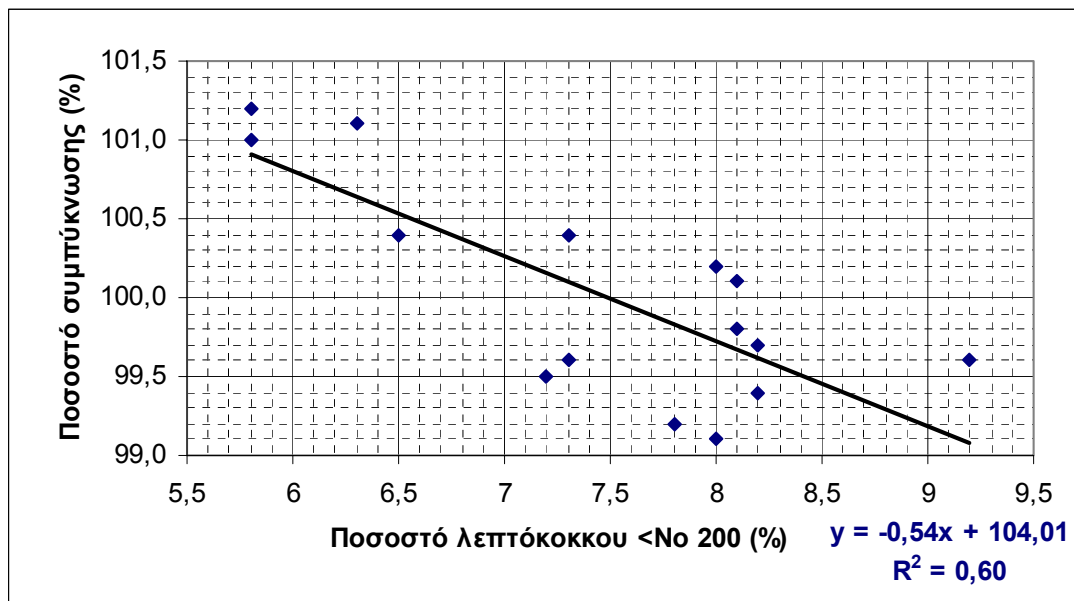
Θραυστό (ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155)						
Δείγμα α/α	Άμμος (%)	Λεπτόκοκκο υλικό (%)	d_{10}	d_{60}	U	Ποσοστό συμπύκνωσης (%)
1	37,9	8,1	0,09	10,41	116	99,5
2	37,9	8,1	0,09	10,41	116	99,8
3	38,1	9,2	0,08	6,91	86	99,4
4	39,2	7,8	0,10	10,07	101	99,8
5	39,3	8,0	0,10	10,38	104	99,7
6	39,3	8,0	0,10	10,38	104	100,2
7	39,5	7,3	0,12	10,08	84	99,5
8	39,9	8,2	0,10	9,52	95	99,5
9	39,9	8,2	0,09	8,47	94	100,3
10	40,1	7,3	0,10	8,44	84	99,9
11	41,3	7,2	0,11	8,67	79	100,5
12	41,7	6,3	0,11	8,56	78	101,0
13	42,2	6,5	0,12	8,85	74	100,3
14	42,5	5,8	0,12	8,75	73	100,3
15	42,5	5,8	0,12	8,75	73	101,0



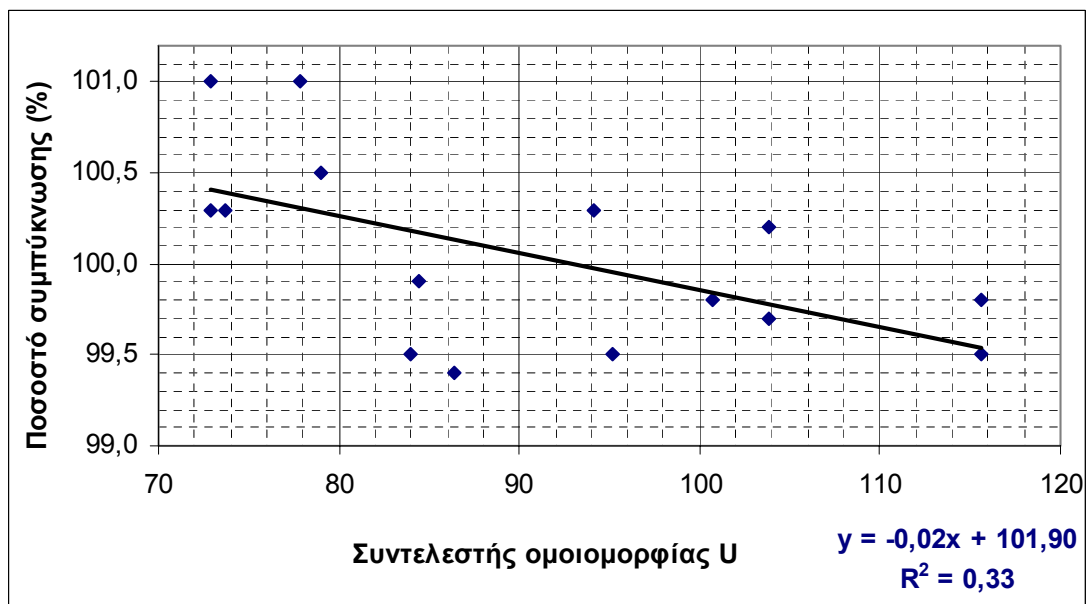
Γράφημα 35. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155.



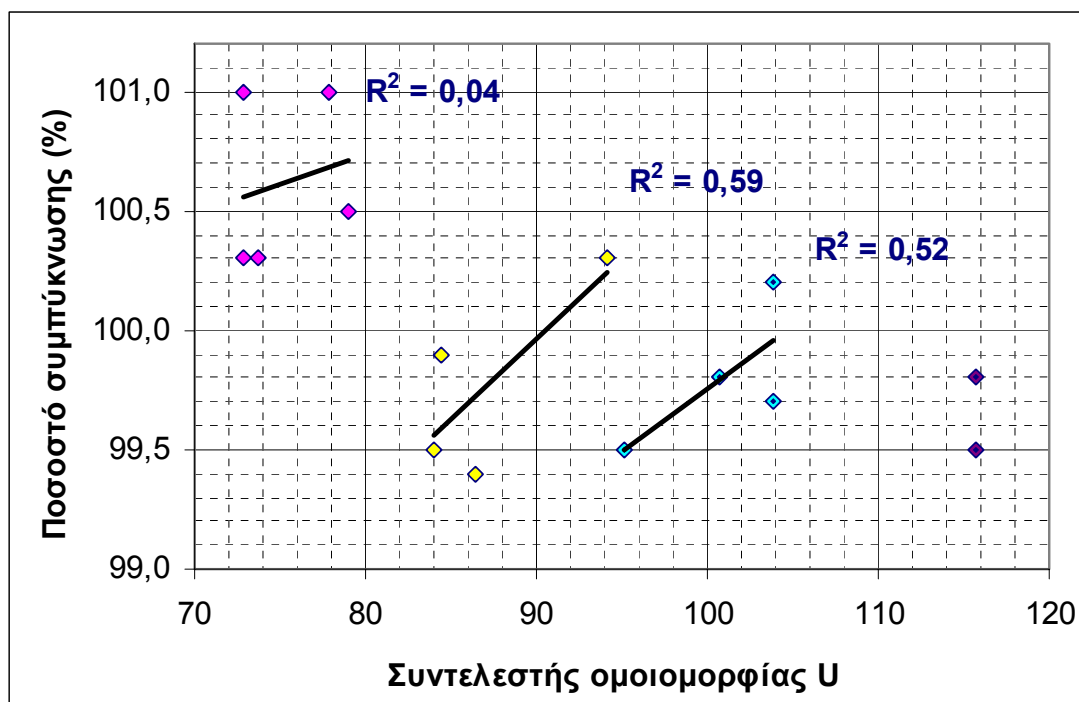
Γράφημα 36. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και του ποσοστού συμπίκνωσης του υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155.



Γράφημα 37 Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού λεπτόκοκκου (%) και ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155



Γράφημα 38. Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155



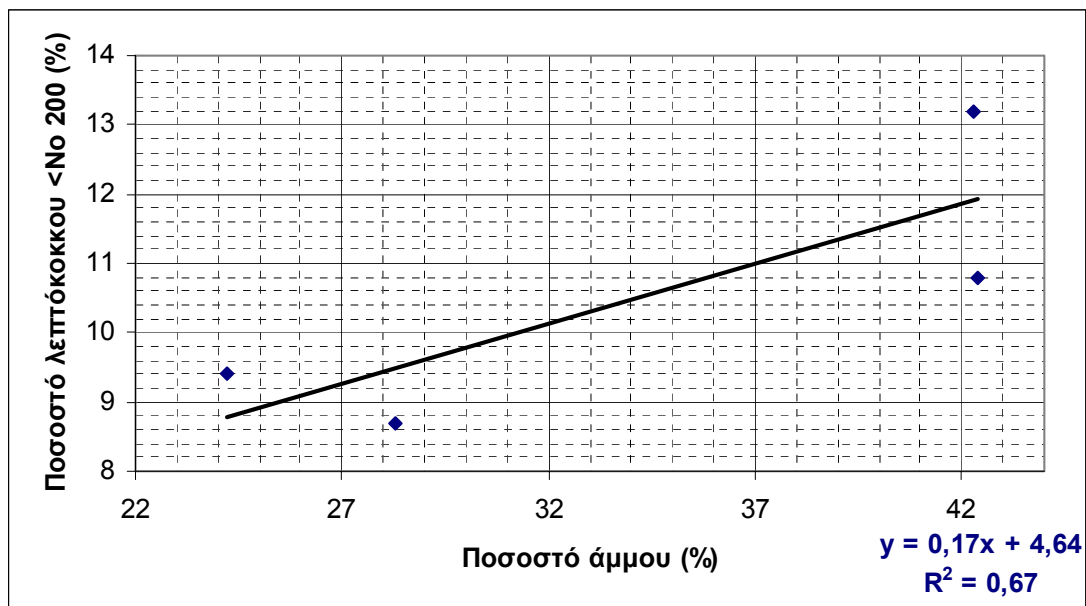
Γράφημα 39. Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155

6.2.9 Περιδοτικότητα

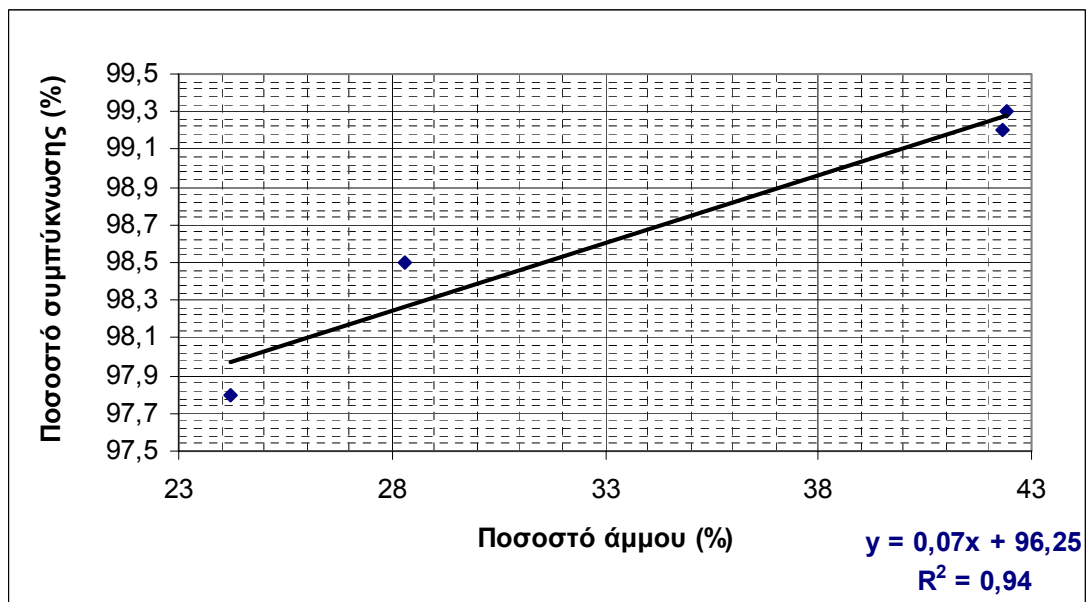
Στον περιδοτική παρουσιάστηκε ανάλογη σχέση μεταξύ των ποσοστών άμμου και λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού συμπίκνωσης του. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν 0,94 και 0,50 αντίστοιχα ενώ ο ρυθμός μεταβολής ήταν 0,07 και 0,23 αντίστοιχα. Για το συντελεστή ομοιομορφίας και το ποσοστό συμπίκνωσης υπήρξε γραμμική συσχέτιση με $R^2 = 0,88$ και ρυθμό μεταβολής 0,01 όπως φαίνεται και στο γράφημα 43.

Πίνακας 36 Τιμές του ποσοστού της άμμου και του λεπτόκοκκου υλικού, του συντελεστή ομοιομορφίας και των αποτελεσμάτων της δοκιμής προσδιορισμού της επί τόπου πυκνότητας για τον περιδοτική.

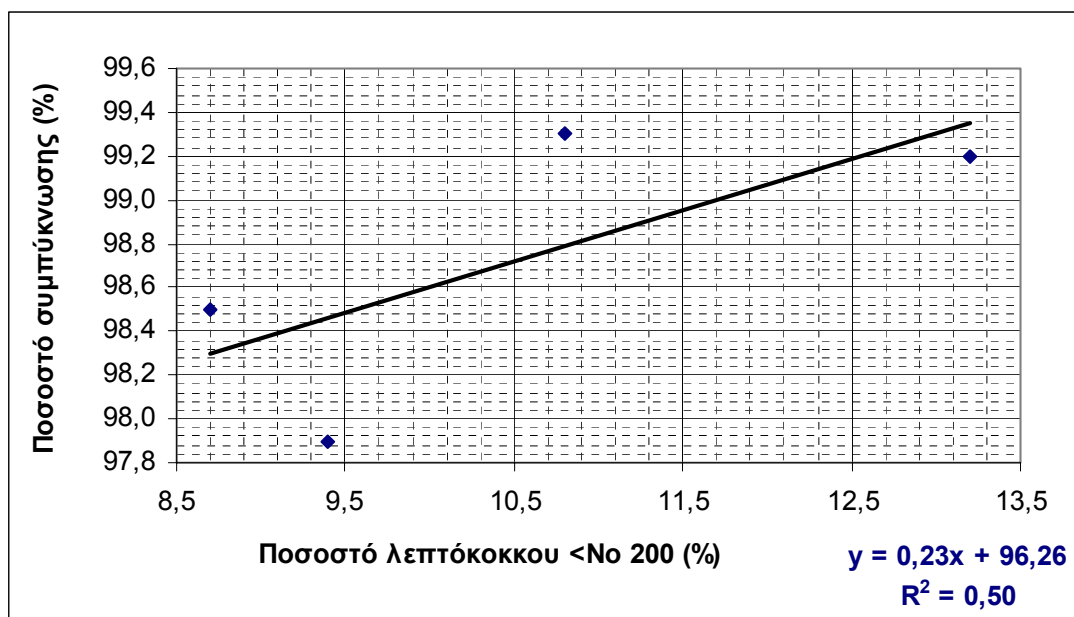
Περιδοτικότητα						
Δείγμα α/α	Άμμος (%)	Λεπτόκοκκο υλικό (%)	d_{10}	d_{60}	U	Ποσοστό συμπίκνωσης (%)
1	42,4	10,8	0,03	13,44	448	99,3
2	42,3	13,2	0,04	23,16	579	99,2
3	28,3	8,7	0,09	23,50	261	98,5
4	24,2	9,4	0,14	24,69	125	97,9



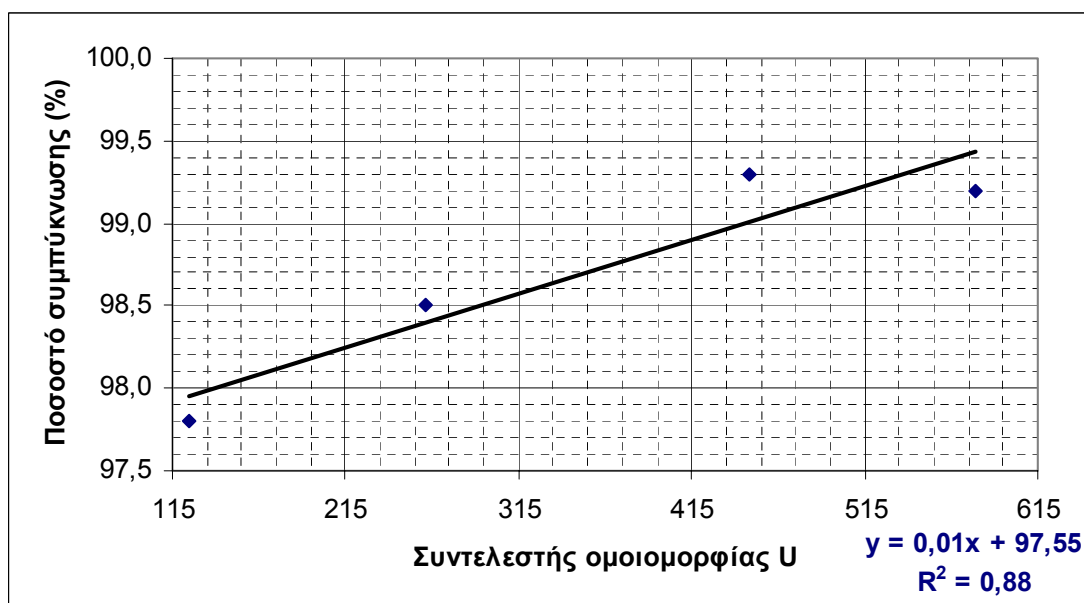
Γράφημα 40. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον περιδοτίτη.



Γράφημα 41. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και του ποσοστού συμπίκνωσης του υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον περιδοτίτη.



Γράφημα 42. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού λεπτόκοκκου (%) και ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον περιδοττή



Γράφημα 43. Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για τον περιδοττή

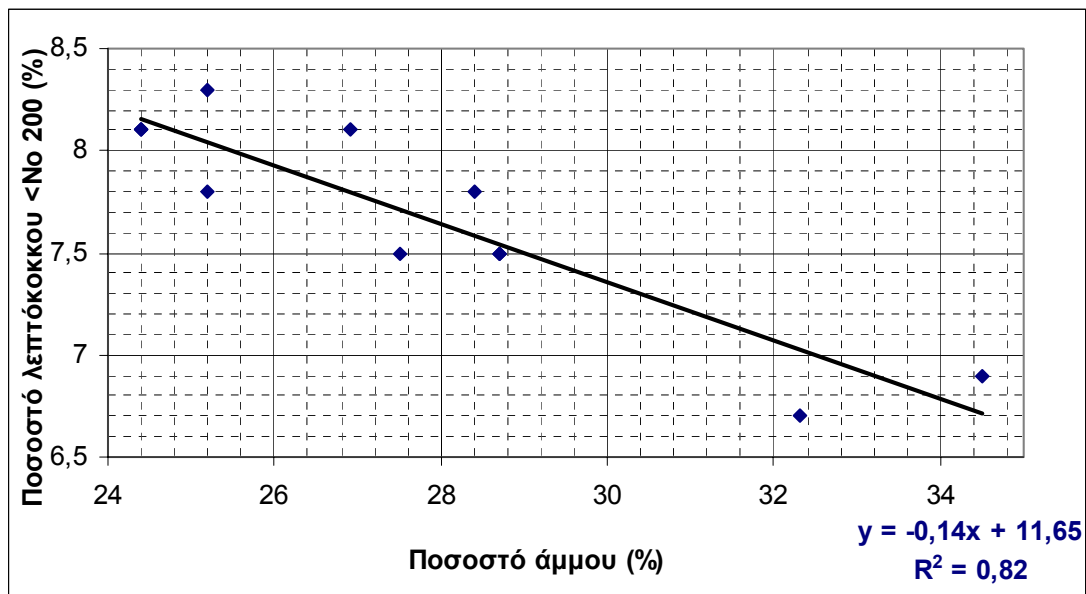
6.2.10 Θραυστό αμμοχάλικο

Στο θραυστό αμμοχάλικο παρουσιάστηκε ανάλογη σχέση μεταξύ των ποσοστών άμμου και του ποσοστού συμπίκνωσης και αντιστρόφως ανάλογη μεταξύ του λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού συμπίκνωσης. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν 0,73 και 0,76 ενώ ο ρυθμός μεταβολής ήταν 0,17 και -1,11 αντίστοιχα. Για το συντελεστή ομοιομορφίας και το ποσοστό συμπίκνωσης υπήρξε αντιστρόφως ανάλογη σχέση με $R^2=0,55$ και ρυθμό μεταβολής -0,01 όπως φαίνεται και στο γράφημα 47.

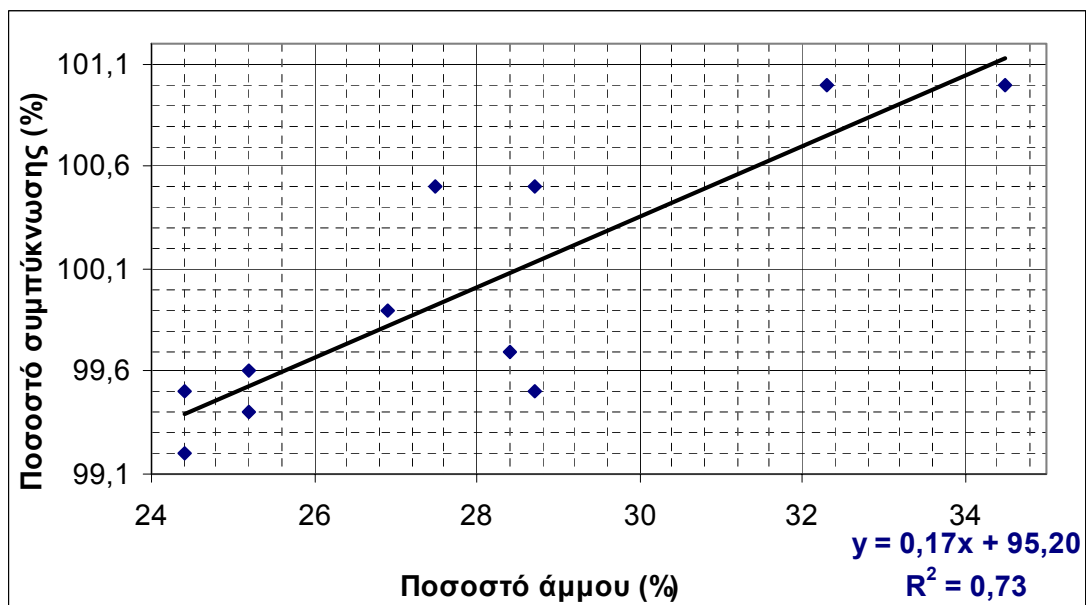
Για το συντελεστή ομοιομορφίας και το ποσοστό συμπίκνωσης δεν υπήρξε κάποια ενιαία γραμμική συσχέτιση όπως φαίνεται και στο γράφημα 38. Στο γράφημα 39 όμως, παρατηρούμε πως για τιμές του $U=73-79$, $U=84-94$ και $U=95-104$ η σχέση του U με το ποσοστό συμπίκνωσης είναι ανάλογη και παρουσιάζει για τα δυο τελευταία πεδία τιμών συντελεστές συσχέτισης που δείχνουν μια τάση αύξησης του ποσοστού συμπίκνωσης με το συντελεστή ομοιομορφίας.

Πίνακας 37. Τιμές του ποσοστού της άμμου και του λεπτόκοκκου υλικού, του συντελεστή ομοιομορφίας και των αποτελεσμάτων της δοκιμής προσδιορισμού της επί τόπου πυκνότητας για το θραυστό αμμοχάλικο.

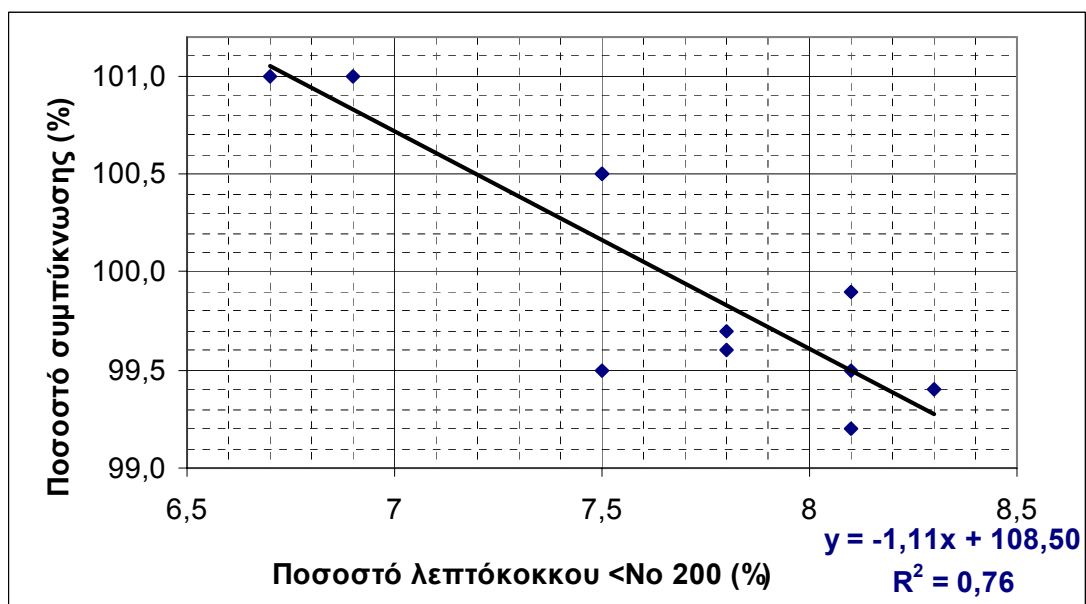
Θραυστό αμμοχάλικο						
Δείγμα α/α	Άμμος (%)	Λεπτόκοκκο υλικό (%)	d_{10}	d_{60}	U	Ποσοστό συμπύκνωσης (%)
1	24,4	8,1	0,11	25,66	233	99,2
2	24,4	8,1	0,11	25,66	233	99,5
3	25,2	8,3	0,09	19,05	212	99,4
4	25,2	7,8	0,14	21,41	153	99,6
5	26,9	8,1	0,09	17,64	196	99,9
6	27,5	7,5	0,1	17,19	172	100,5
7	28,4	7,8	0,11	21,42	195	99,7
8	28,7	7,5	0,11	18,1	165	99,5
9	28,7	7,5	0,11	18,1	165	100,5
10	32,3	6,7	0,13	20,07	154	101,0
11	34,5	6,9	0,12	14,72	123	101,0



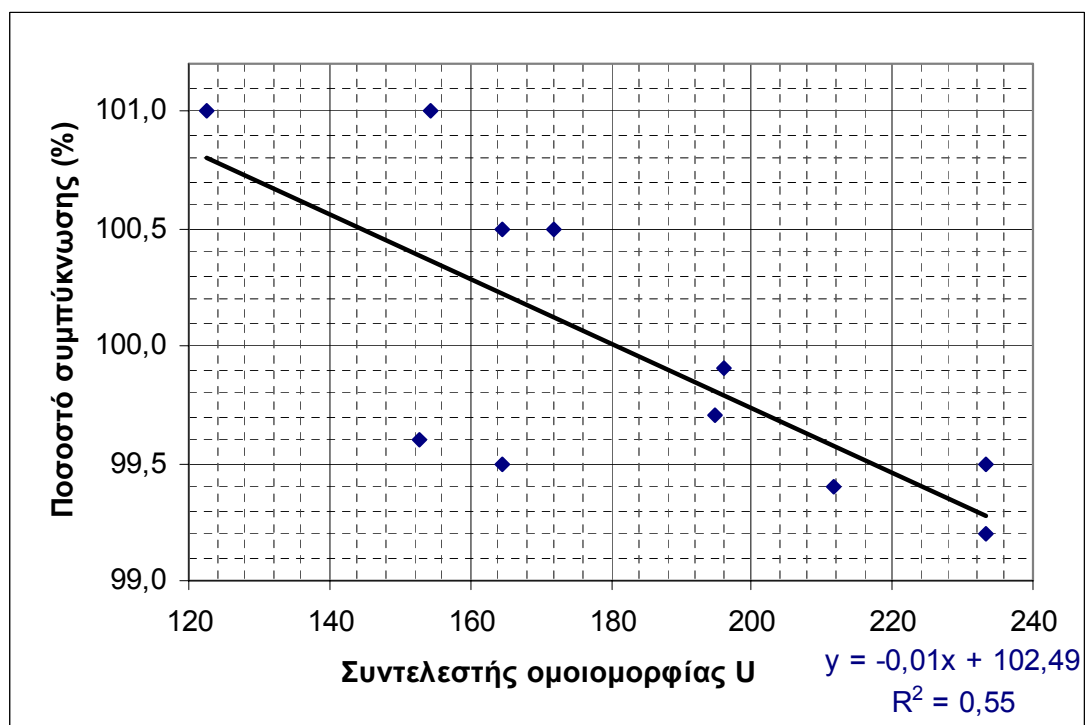
Γράφημα 44. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό αμμοχάλικο.



Γράφημα 45. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και του ποσοστού συμπίκνωσης του υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό αμμοχάλικο.



Γράφημα 46. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού λεπτόκοκκου (%) και ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό αμμοχάλικο.



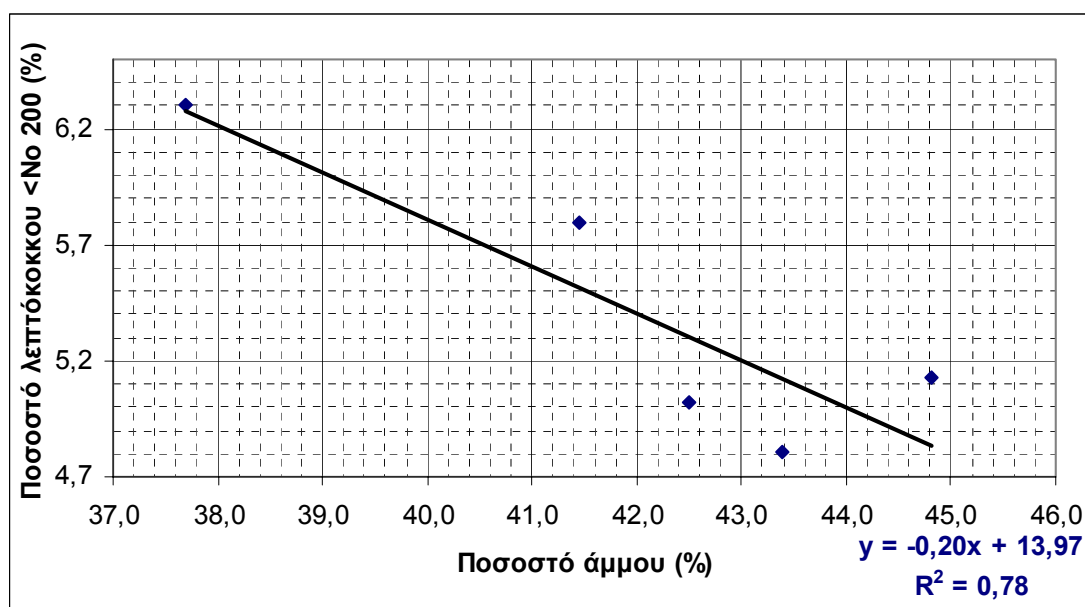
Γράφημα 47. Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό αμμοχάλικο.

6.2.11 Θραυστός ασβεστόλιθος λατομείου

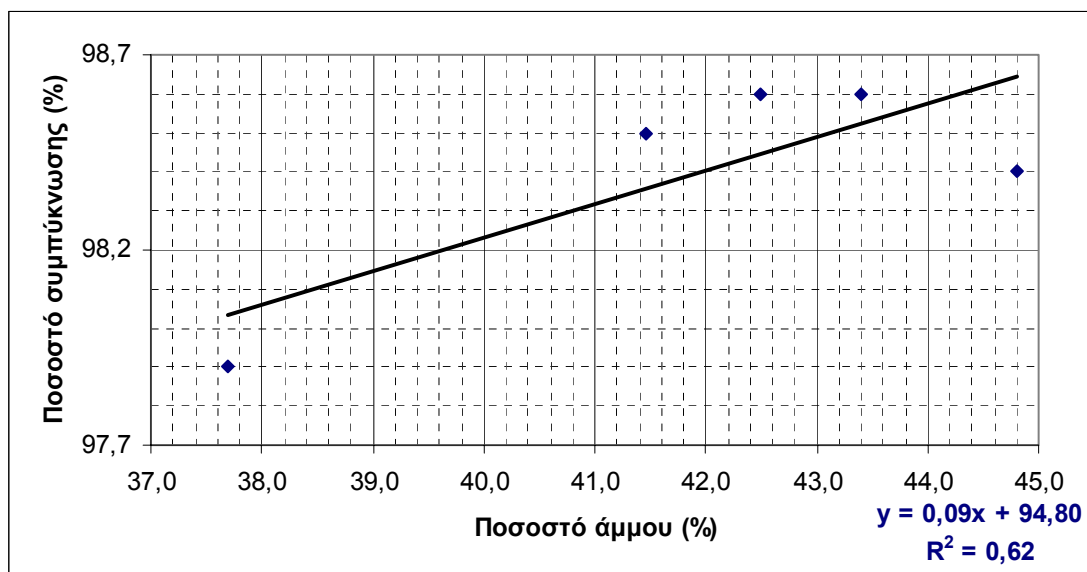
Στο θραυστό ασβεστόλιθο παρουσιάστηκε ανάλογη σχέση μεταξύ των ποσοστών άμμου και του ποσοστού συμπίκνωσης και αντιστρόφως ανάλογη μεταξύ του λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού συμπίκνωσης. Ο συντελεστής συσχέτισης R^2 ήταν 0,62 και 0,70 ενώ ο ρυθμός μεταβολής ήταν 0,09 και -0,39 αντίστοιχα. Για το συντελεστή ομοιομορφίας και το ποσοστό συμπίκνωσης δεν υπήρξε κάποια ενιαία γραμμική συσχέτιση όπως φαίνεται και στο γράφημα 51. Στο γράφημα αυτό παρατηρούμε πως για τιμές του $U=47-63$ και $U=60-71$ η σχέση του U με το ποσοστό συμπίκνωσης είναι ανάλογη με συντελεστές συσχέτισης που δείχνουν αύξηση του ποσοστού συμπίκνωσης με το συντελεστή ομοιομορφίας.

Πίνακας 38. Τιμές του ποσοστού της άμμου και του λεπτόκοκκου υλικού, του συντελεστή ομοιομορφίας και των αποτελεσμάτων της δοκιμής προσδιορισμού της επί τόπου πυκνότητας για το θραυστό ασβεστόλιθο λατομείου.

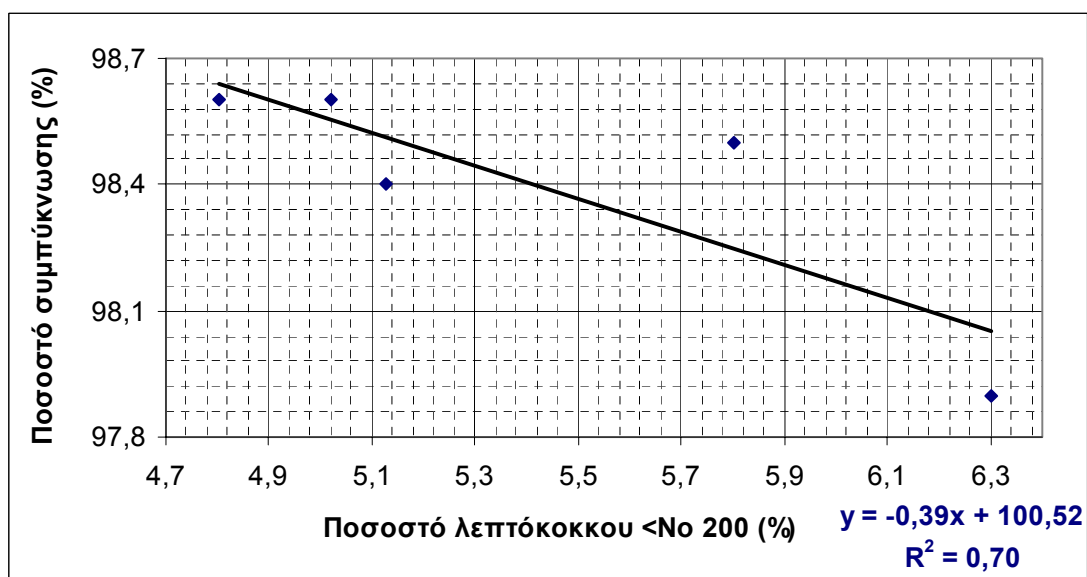
Θραυστός ασβεστόλιθος λατομείου						
Δείγμα α/α	Άμμος (%)	Λεπτόκοκκο υλικό (%)	d_{10}	d_{60}	U	Ποσοστό συμπίκνωσης (%)
1	43,4	4,8	0,15	9,52	63	98,6
2	37,7	6,3	0,15	9,00	60	97,9
3	44,8	5,1	0,15	7,00	47	98,4
4	42,5	5,0	0,14	8,20	59	98,6
5	41,5	5,8	0,12	8,50	71	98,5



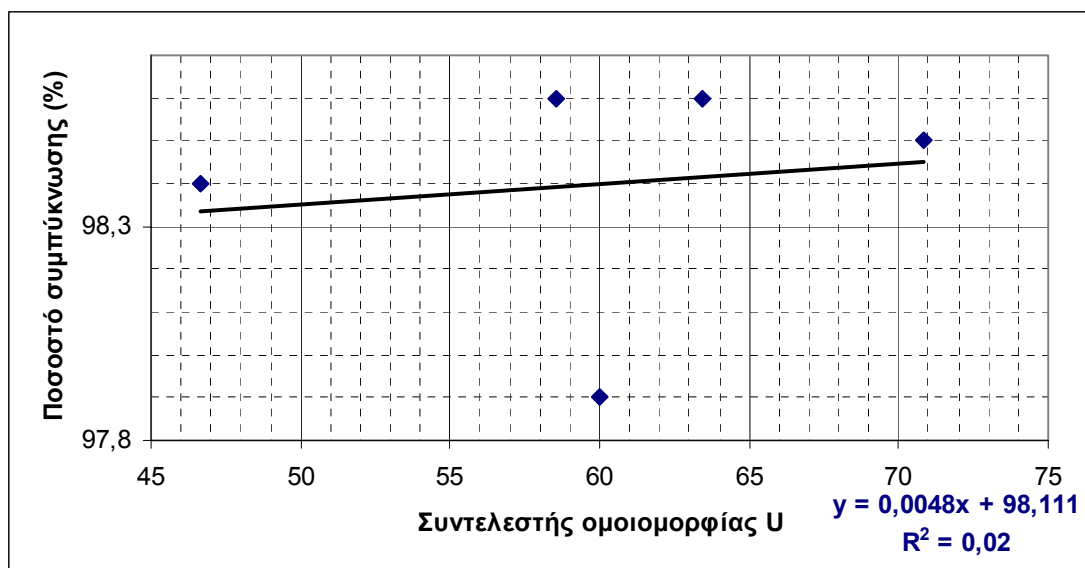
Γράφημα 48. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό ασβεστόλιθο λατομείου.



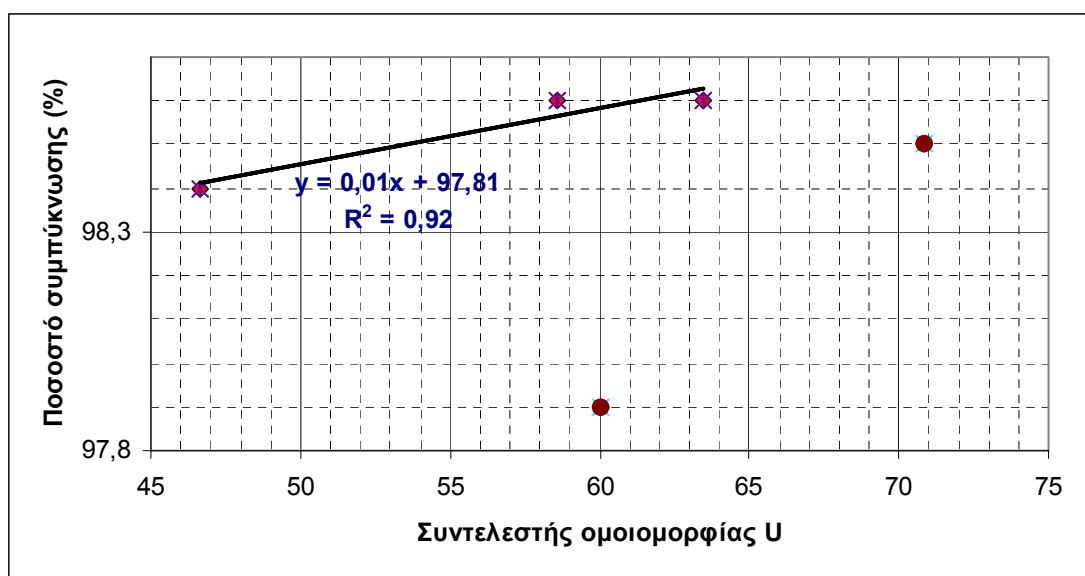
Γράφημα 49. Γραφική παράσταση της σχέσης ποσοστού άμμου (%) και του ποσοστού συμπίκνωσης του υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό ασβεστόλιθο λατομείου.



Γράφημα 50. Γραφική παράσταση λεπτόκοκκου υλικού (%) και ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό ασβεστόλιθο λατομείου.

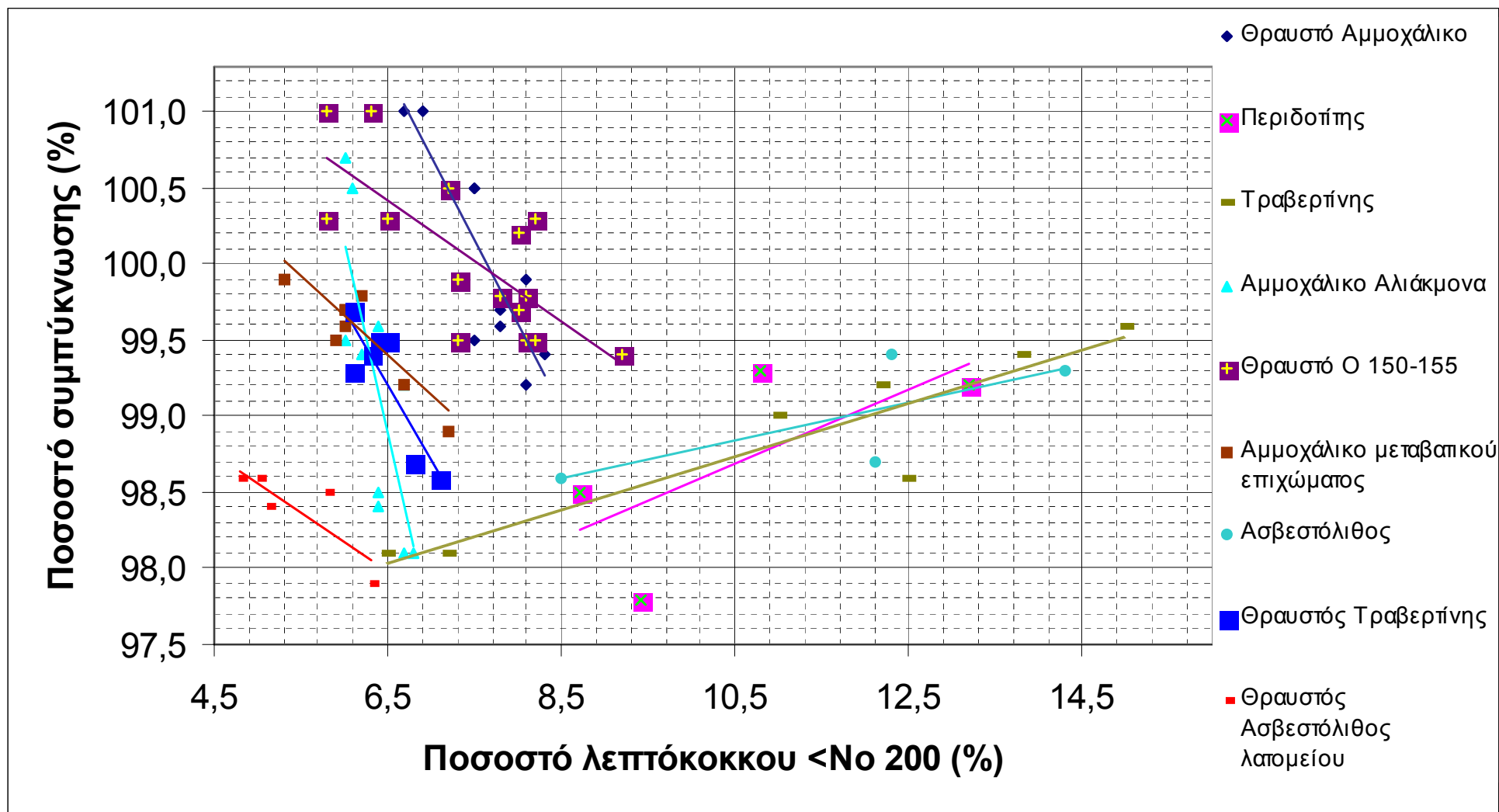


Γράφημα 51. Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό ασβεστόλιθο λατομείου.

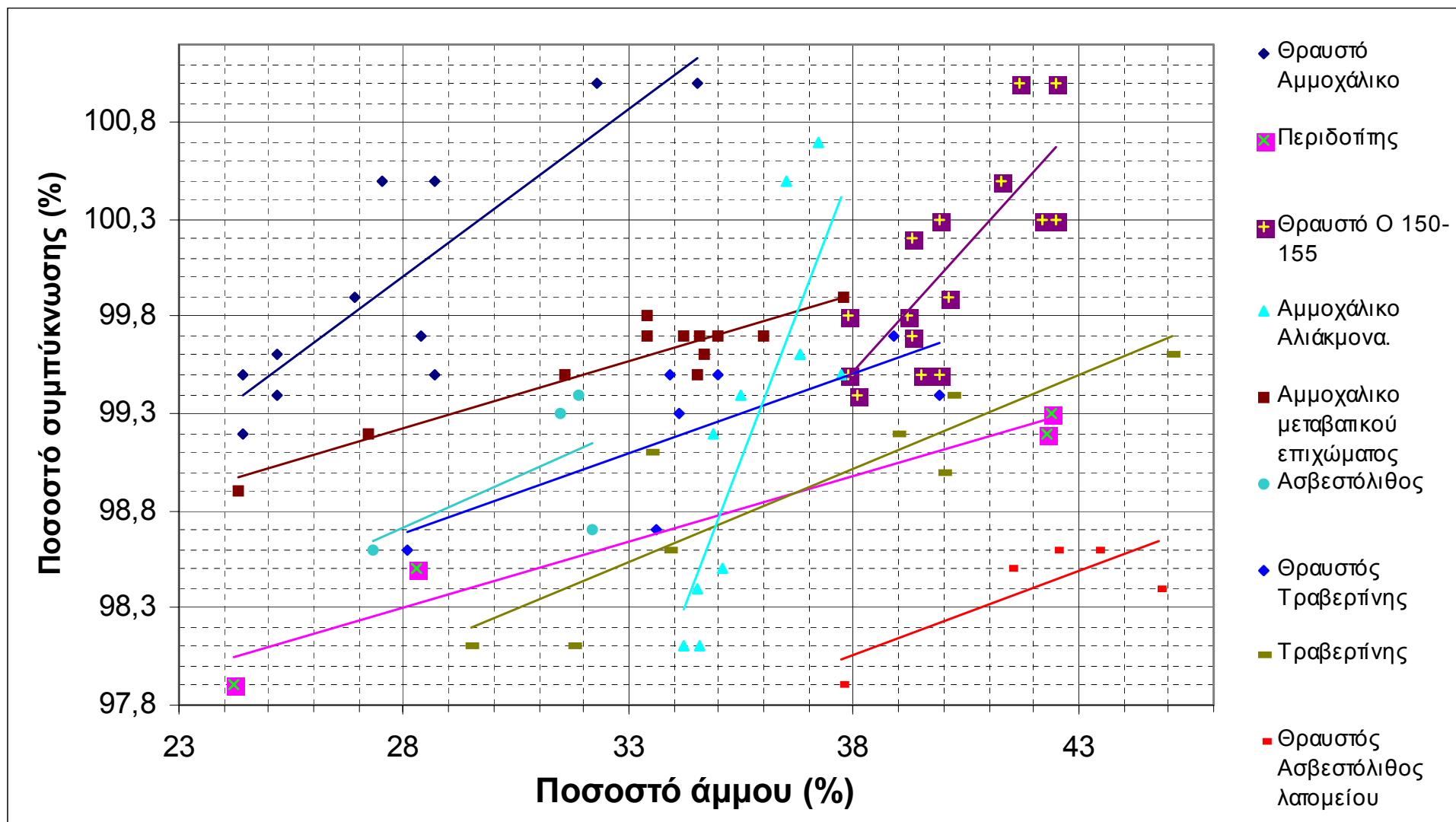


Γράφημα 52. Γραφική παράσταση της σχέσης του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για το θραυστό ασβεστόλιθο λατομείου.

Στα γραφήματα 53 και 54 που ακολουθούν απεικονίζονται οι σχέσεις των ποσοστών λεπτόκοκκου υλικού και άμμου με το ποσοστό συμπίκνωσης του υλικού.



Γράφημα 53. Συγκεντρωτική γραφική παράσταση της σχέσης λεπτόκοκκου υλικού (%) - ποσοστού συμπίκνωσης και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για όλα τα χωματουργικά υλικά.

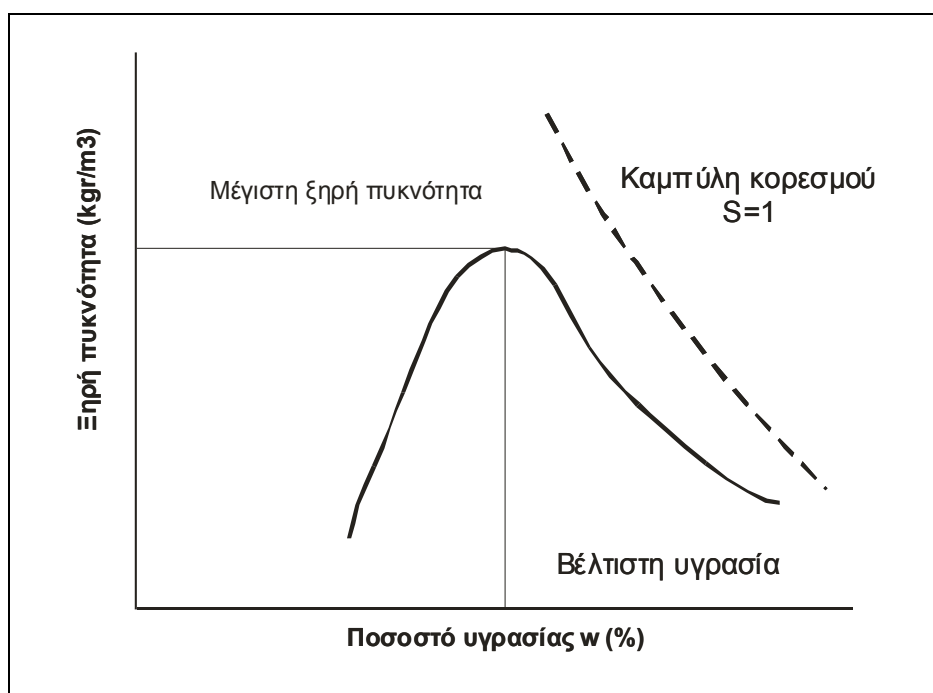


Γράφημα 54. Συγκεντρωτική γραφική παράσταση της σχέσης του ποσοστού άμμου (%) και του ποσοστού συμπίκνωσης του υλικού (%) και απεικόνιση της γραμμικής τους συσχέτισης με τη γραμμή τάσης για όλα τα χωματουργικά υλικά.

6.3 Υπολογισμός της καμπύλης κορεσμού χωματογενικών υλικών στην οδοποιία

6.3.1 Γενικά

Με τη συμπίκνωση, όπως είπαμε και στην προηγούμενη παράγραφο, επιτυγχάνουμε την αύξηση της ξηρής πυκνότητας του υλικού και άρα μειώνουμε το πορώδες του υλικού διώχνοντας τον αέρα από τη μάζα του. Κατά τη διαδικασία αυτή και για την ίδια ποσότητα νερού μέσα στο υλικό μας επιτυγχάνουμε την αύξηση του ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας. Στην περίπτωση που τα κενά καταλαμβάνονται μόνο από νερό το υλικό μας βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού. Στο παρακάτω διάγραμμα ποσοστού υγρασίας – ξηρής πυκνότητας παριστάνεται η καμπύλη κορεσμού του υλικού.



Γράφημα 55. Απεικόνιση της καμπύλης κορεσμού ενός υλικού στο διάγραμμα ποσοστό υγρασίας – ξηρή πυκνότητα.

Ο σχεδιασμός της καμπύλης κορεσμού γίνεται βάση του παρακάτω τύπου:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_d \times \gamma_w}{1 + (m \times \gamma_d / s)}$$

όπου: γ_d = ειδικό βάρος εδάφους

γ_w = το ειδικό βάρος του νερού (1 kg/m^3)

s^{19} = ο βαθμός κορεσμού

m = το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας

¹⁹ Ως βαθμός κορεσμού S ορίζεται ο λόγος του όγκου του νερού προς των όγκο όλων των κενών επί τις 100.

Σε κατάσταση κορεσμού ($s=1$), η περιεκτικότητα σε νερό έχει τη μεγαλύτερη τιμή της.

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη ποσοστό υγρασίας – ξηρή πυκνότητα δε συμπίπτει με την καμπύλη κορεσμού στο αριστερό τμήμα της. Αυτό συμβαίνει γιατί τέλεια συμπίκνωση δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί σε καμία δοκιμή συμπίκνωσης παρά μόνο για πολύ μικρές τιμές ξηρής πυκνότητας και μεγάλες τιμές του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας.

Για κάθε υλικό μπορούμε να κατασκευάσουμε την καμπύλη κορεσμού του. Από την καμπύλη αυτή μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της ξηρής πυκνότητας του υλικού σε κατάσταση κορεσμού για δεδομένο ποσοστό υγρασίας και επομένως μπορούμε να εκτιμήσουμε χονδρικά το βαθμό συμπίκνωσης του εάν γνωρίζουμε τη μέγιστη ξηρή πυκνότητα του.

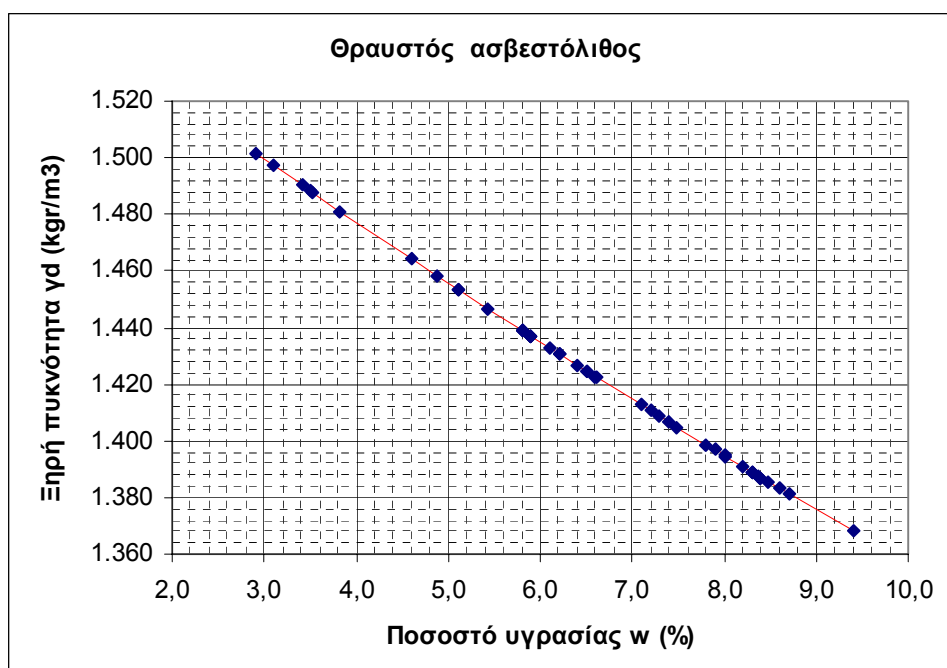
6.3.2 Δεδομένα

Από τις δοκιμές ελέγχου Proctor που εκτελέστηκαν στα χωματουργικά υλικά κατά την έγκριση και κατά την πορεία χρησιμοποίησης τους στο έργο υπήρξαν για επεξεργασία, αρκετά στοιχεία για τα θραυστά υλικά του ασβεστόλιθου του ψαμμίτη και του τραβερτίνη. Για τα χωματουργικά αυτά υλικά από τις δοκιμές Proctor πήραμε τις αντιστοιχίες μεταξύ της ξηρής πυκνότητας και του ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας και υπολογίσαμε βάσει του παραπάνω τύπου την πυκνότητα του υλικού σε κατάσταση κορεσμού. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στους Πίνακες 39, 40 και 41 που ακολουθούν. Στα γραφήματα 56-58 παρουσιάζονται οι καμπύλες κορεσμού του κάθε υλικού ενώ στο γράφημα 59 όλες οι καμπύλες παρουσιάζονται μαζί.

Πίνακας 39. Υπολογισμός των τιμών της πυκνότητας του θραυστού ασβεστόλιθου σε κατάσταση κορεσμού για την κατασκευή της καμπύλης κορεσμού (το ειδικό βάρος θεωρήθηκε ίσο με 2.700 kgr/m^3).

Θραυστός ασβεστόλιθος				
Δείγμα α/α	Ξηρή πυκνότητα κατά τη δοκιμή Proctor (kgr/m^3)	Ποσοστό υγρασίας κατά τη δοκιμή Proctor w %	Ειδικό βάρος (kgr/m^3)	Ξηρή Πυκνότητα για $S=1$ (kgr/m^3)
1	2.153	9,4	2.700	2.153
2	1.978	8,7	2.700	2.186
3	2.048	8,6	2.700	2.191
4	1.906	8,5	2.700	2.197
5	2.037	8,4	2.700	2.201
6	2.051	8,4	2.700	2.201
7	1.950	8,4	2.700	2.202
8	2.052	8,3	2.700	2.206
9	1.889	8,3	2.700	2.206
10	1.982	8,3	2.700	2.206
11	1.856	8,2	2.700	2.211

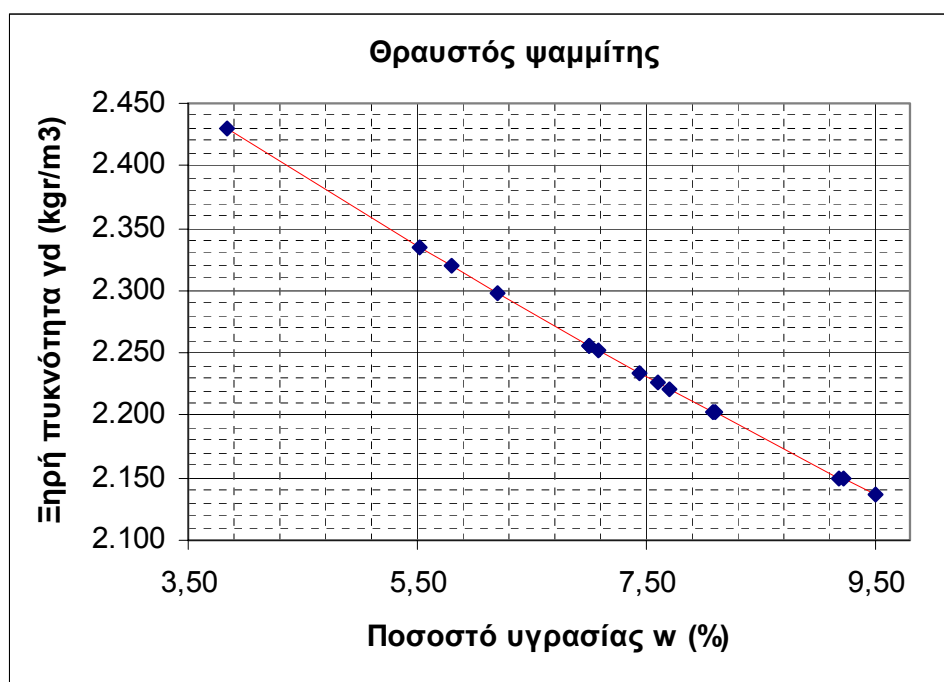
12	2.204	8,0	2.700	2.219
13	2.046	8,0	2.700	2.220
14	2.169	7,9	2.700	2.225
15	2.228	7,8	2.700	2.230
16	2.221	7,5	2.700	2.246
17	2.225	7,4	2.700	2.250
18	2.140	7,3	2.700	2.255
19	2.238	7,2	2.700	2.261
20	2.070	7,1	2.700	2.266
21	2.271	6,6	2.700	2.291
22	2.254	6,6	2.700	2.292
23	2.275	6,5	2.700	2.296
24	2.035	6,5	2.700	2.297
25	2.273	6,4	2.700	2.302
26	2.279	6,2	2.700	2.312
27	2.293	6,2	2.700	2.313
28	2.038	6,1	2.700	2.318
29	2.285	5,9	2.700	2.329
30	2.280	5,9	2.700	2.329
31	2.140	5,9	2.700	2.329
32	2.247	5,9	2.700	2.329
33	2.281	5,8	2.700	2.334
34	2.300	5,8	2.700	2.334
35	2.285	5,8	2.700	2.334
36	2.283	5,4	2.700	2.355
37	2.267	5,1	2.700	2.373
38	2.285	5,1	2.700	2.373
39	2.261	4,9	2.700	2.385
40	2.256	4,6	2.700	2.402
41	2.204	3,8	2.700	2.447
42	2.163	3,5	2.700	2.466
43	2.161	3,5	2.700	2.466
44	2.174	3,4	2.700	2.472
45	2.160	3,1	2.700	2.492
46	2.155	2,9	2.700	2.503



Γράφημα 56. Καμπύλη κορεσμού του θραυστού ασβεστόλιθου

Πίνακας 40. Υπολογισμός των τιμών της ξηρής πυκνότητας του θραυστού ψαμμίτη σε κατάσταση κορεσμού για την κατασκευή της καμπύλης κορεσμού του (το ειδικό βάρος θεωρήθηκε ίσο με 2.680 kg/m³).

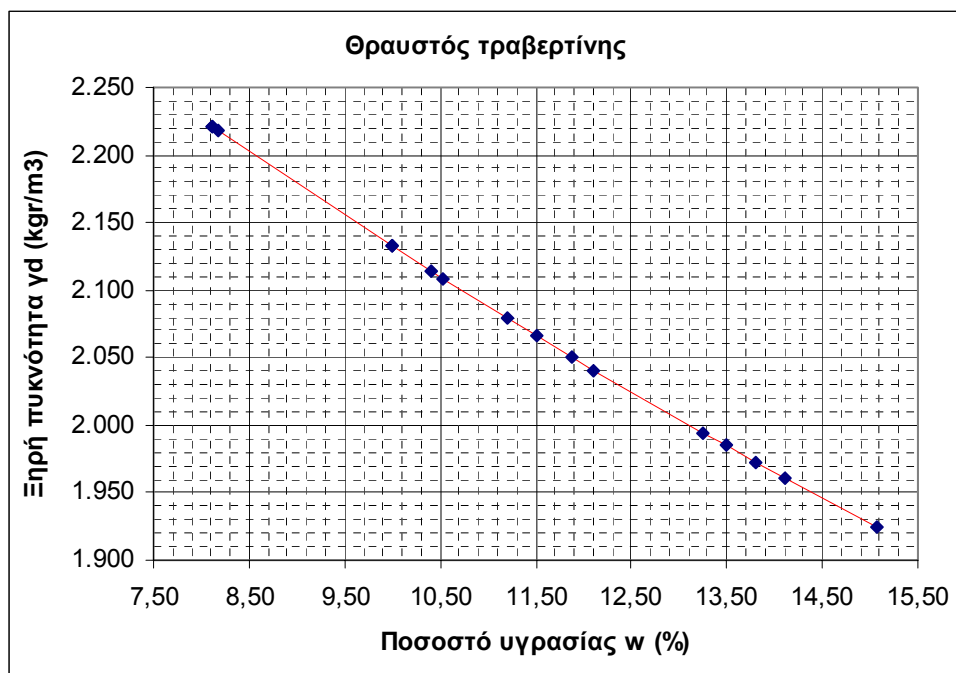
Θραυστός ψαμμίτης				
Δείγμα α/α	Ξηρή πυκνότητα κατά τη δοκιμή Proctor (kg/m ³)	Ποσοστό υγρασίας κατά τη δοκιμή Proctor w %	Ειδικό βάρος (kg/m ³)	Ξηρή Πυκνότητα για S=1 (kg/m ³)
1	2.135	6,19	2.680	2.299
2	2.190	7,09	2.680	2.252
3	2.183	8,10	2.680	2.202
4	2.133	9,19	2.680	2.150
5	2.194	7,45	2.680	2.234
6	2.105	5,80	2.680	2.319
7	2.166	7,00	2.680	2.257
8	2.171	8,09	2.680	2.202
9	2.115	9,21	2.680	2.149
10	2.176	7,70	2.680	2.222
11	2.050	3,84	2.680	2.430
12	2.136	5,53	2.680	2.334
13	2.167	7,61	2.680	2.226
14	2.036	9,50	2.680	2.136
15	2.173	7,00	2.680	2.257



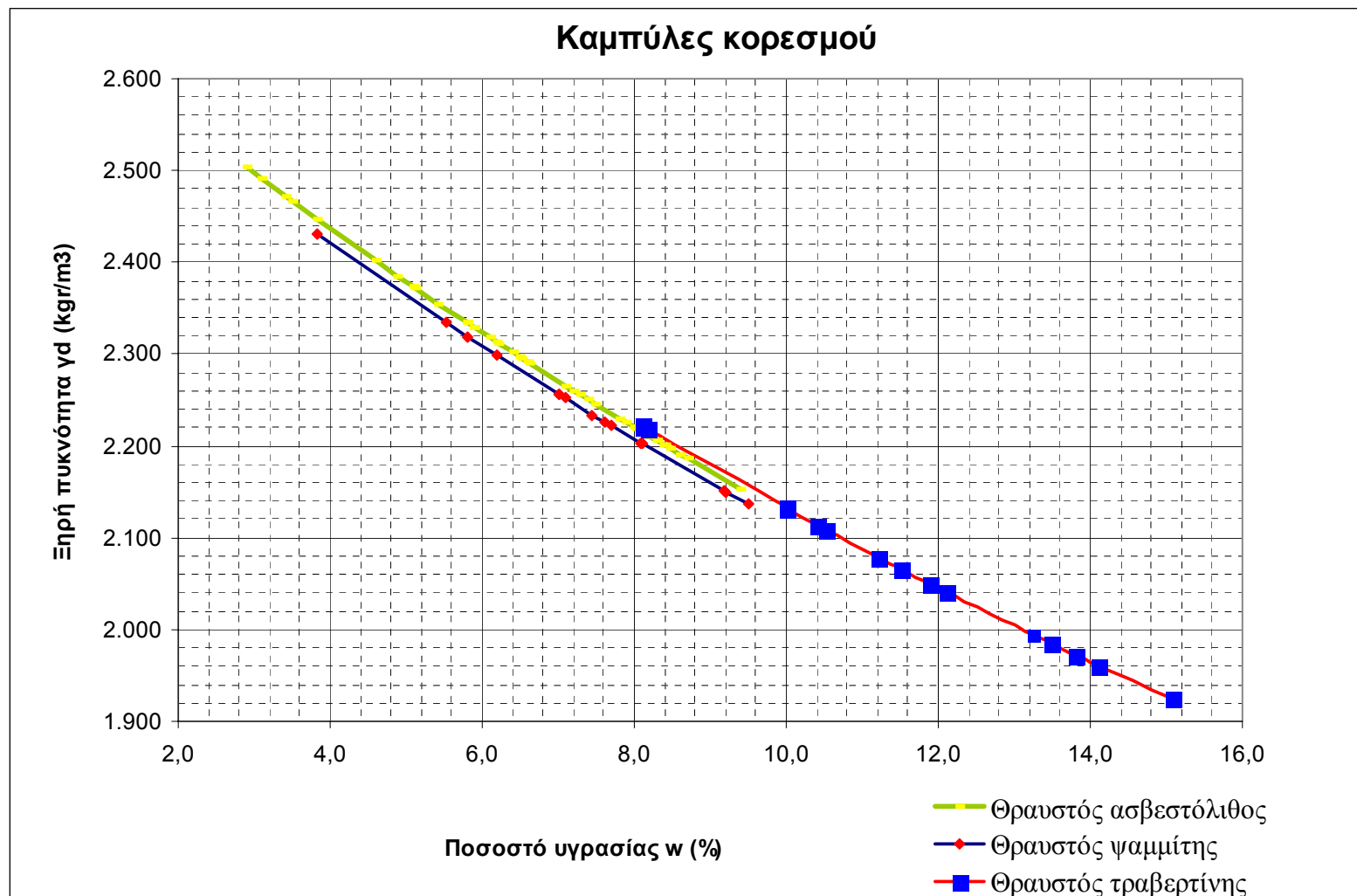
Γράφημα 57. Καμπύλη κορεσμού του θραυστού ψαμμίτη.

Πίνακας 41. Υπολογισμός των τιμών της πυκνότητας του θραυστού τραβερτίνη σε κατάσταση κορεσμού για την κατασκευή της καμπύλης κορεσμού (το ειδικό βάρος θεωρήθηκε ίσο με 2.710 kgr/m³).

Θραυστός τραβερτίνης				
Δείγμα α/α	Ξηρή πυκνότητα κατά τη δοκιμή Proctor (kgr/m ³)	Ποσοστό υγρασίας κατά τη δοκιμή Proctor w %	Ειδικό βάρος (kgr/m ³)	Ξηρή Πυκνότητα για S=1 (kgr/m ³)
1	1.827	15,07	2.710	1.924
2	1.845	14,10	2.710	1.961
3	1.837	13,81	2.710	1.972
4	1.961	13,49	2.710	1.985
5	1.833	13,25	2.710	1.994
6	1.792	12,11	2.710	2.040
7	1.872	11,88	2.710	2.050
8	1.873	11,50	2.710	2.066
9	2.035	11,20	2.710	2.079
10	2.015	10,52	2.710	2.109
11	1.712	10,40	2.710	2.114
12	1.993	10,00	2.710	2.132
13	1.857	9,99	2.710	2.132
14	1.952	8,18	2.710	2.218
15	1.663	8,12	2.710	2.221
16	1.805	8,11	2.710	2.222



Γράφημα 58. Καμπύλη κορεσμού του θραυστού τραβερτίνης.



Γράφημα 59. Καμπύλες κορεσμού του θραυστού ασβεστόλιθο, του θραυστού ψαμμίτη και του θραυστού τραβερτίνης.

6.4 Συμπεράσματα

Στην παράγραφο αυτή συγκεντρώνονται όλα τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των δεδομένων των επί τόπου και των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέστηκαν στα χωματουργικά υλικά οδοποιίας του έργου της Εγνατίας Οδού του τμήματος Λευκόπετρα - Βέροια - Κουλούρα (5.2/5.3).

Από την πρώτη παράγραφο προκύπτουν οι ποσοτικές αναλύσεις των αποτελεσμάτων των ποιοτικών ελέγχων των υλικών κατά τη φάση κατασκευής του έργου. Στα δεδομένα αυτά έγινε στατιστική ανάλυση απλής κατανομής για τον προσδιορισμό των επικρατούντων τιμών, του εύρους διακύμανσής τους καθώς επίσης και της συμφωνίας τους με τις απαιτήσεις του έργου. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις η ανάλυση των δεδομένων βρισκόταν σε πλήρη συμφωνία τόσο με τις αρχικές δοκιμές κατάταξης του υλικού όσο και με τις απαιτήσεις του έργου. Μικρή απόκλιση παρουσίασαν οι τιμές για τον τραβερτίνη, στις θέσεις όπου χρησιμοποιήθηκε ως υλικό κατασκευής πυρήνα επιχώματος, με οκτώ συμπυκνώσεις κάτω από το επιτρεπόμενο όριο όπως ορίζεται στις προδιαγραφές. Ο φαιός μεταψαμμίτης παρουσίασε μεγάλες τιμές συμπυκνώσεων και ισοδύναμο άμμου λίγο μεγαλύτερο από αυτό που προσδιορίστηκε κατά τις δοκιμές κατάταξης. Τέλος το αμμοχαλικώδες υλικό έδωσε τόσο τιμές συμπίκνωσης όσο και ισοδύναμο άμμου αρκετά μεγαλύτερες από τις ελάχιστες απαιτούμενες των προδιαγραφών.

Στη δεύτερη παράγραφο εφαρμόστηκε η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του ποσοστού άμμου και του ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού <No 200 με το ποσοστό συμπίκνωσης, και τέλος μεταξύ του συντελεστή ομοιομορφίας και του ποσοστού συμπίκνωσης για όλα εκείνα τα χωματουργικά για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία.

Για όλα τα χωματουργικά υλικά υπήρξε σαφής συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού της περιεχόμενης άμμου και του ποσοστού συμπίκνωσης του υλικού στο έργο. Η σχέση τους αυτή υπήρξε ανάλογη δηλαδή η αύξηση του περιεχόμενου ποσοστού της άμμου οδήγησε στην επίτευξη μεγαλύτερων τιμών συμπίκνωσης στο έργο για όλα τα υλικά.

Από το γράφημα 53 βλέπουμε πως τον ίδιο ρυθμό αύξησης²⁰ (από 0,07 έως 0,1) παρουσίασαν οι γραμμές τάσης του τραβερτίνη, του θραυστού τραβερτίνη, του ασβεστόλιθου, του θραυστού ασβεστόλιθου του μεταβατικού αμμοχάλικου και του περιδοτίτη. Το αμμοχάλικο του ποταμού Αλιάκμονα παρουσίασε το μεγαλύτερο ρυθμό μεταβολής ίσο με 0,61, ακολούθησε το θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155 με 0,26 και τέλος το θραυστό αμμοχάλικο με 0,17.

Μεγαλύτερο εύρος τιμών (ως προς το ποσοστό της άμμου) παρουσίασε ο τραβερτίνης και ο περιδοτίτης ενώ την μικρότερη το αμμοχάλικο του ποταμού Αλιάκμονα, το θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155, ο θραυστός ασβεστόλιθος και ο ασβεστόλιθος.

Τα μεγαλύτερα ποσοστά της άμμου στις κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των υλικών παρατηρήθηκαν στον θραυστό ασβεστόλιθο, στον τραβερτίνη, τον περιδοτίτη και στο θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155.

Μπορούμε επίσης να παρατηρήσουμε πως για τα ίδια ποσοστά της περιεχόμενης άμμου 23% - 33% μεγαλύτερες συμπυκνώσεις επιτυγχάνονται για το θραυστό αμμοχάλικο και το αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος, ενώ για ποσοστά

²⁰Ο μεγάλος ρυθμός μεταβολής ή αύξησης σημαίνει πως για το συγκεκριμένο υλικό μικρή αύξηση στο περιεχόμενο της άμμου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση του ποσοστού συμπίκνωσης.

άμμου από 33%-45% για το αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος, το θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155 και το αμμοχάλικο του ποταμού Αλιάκμονα.

Η διερεύνηση της σχέσης του ποσοστού του λεπτόκοκκου υλικού και του ποσοστού συμπύκνωσης δεν έδωσε ενιαία αποτελέσματα. Παρατηρήθηκε μια ανάλογη και μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση.

Ανάλογη σχέση υπήρξε για τον ασβεστόλιθο, τον περιδοτίτη και τον τραβερτίνη με παρόμοιο ρυθμό μεταβολής ενώ, αντιστρόφως ανάλογη σχέση παρουσιάστηκε για όλα τα θραυστά υλικά, το αμμοχάλικο του ποταμού Αλιάκμονα και το αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος.

Εξήγηση για το φαινόμενο αυτό μπορεί να δοθεί εάν λάβουμε υπόψη αφενός τη μεταβολή στη δομή των κόκκων του φυσικού υλικού μετά τη συμπύκνωση του, και αφετέρου τη μεταβολή στη δομή των κόκκων του φυσικού υλικού μετά τη θραύση του. Πιο συγκεκριμένα, η επί τόπου συμπύκνωση των μη θραυστών υλικών (συλλεκτών υλικών ή υλικών ορυγμάτων) επιφέρει συνήθως περαιτέρω θραύση και κερματισμό τους, με αποτέλεσμα τη μείωση των κενών χώρων στο υλικό με ταυτόχρονη αύξηση του λεπτόκοκκου υλικού (λόγω θραύσης), το οποίο καταλαμβάνει τους χώρους αυτούς, αυξάνοντας την ξηρή επί τόπου πυκνότητα του υλικού. Στα θραυστά υλικά αντίθετα, η αρχική τους θραύση, επιφέρει μεταβολή στη δομή των κόκκων τους, δίνοντας τους ένα περισσότερο κυβικό σχήμα, με σκοπό τη βελτίωση της μηχανικής τους συμπεριφοράς. Αυτή η μορφή των κόκκων όμως δεν επιτρέπει τον περαιτέρω θρυμματισμό τους κατά τη συμπύκνωση τους επί τόπου και άρα την αύξηση του ποσοστού των λεπτόκοκκων στο αρχικό υλικό (προ της συμπύκνωσης) με αποτέλεσμα να μην επιφέρει και αύξηση της ξηρής του επί τόπου πυκνότητας.

Από το γράφημα 52 μπορούμε να δούμε πως τον ίδιο ρυθμό μείωσης (από -0,39 έως -0,54) παρουσίασαν οι γραμμές τάσης του θραυστού ασβεστόλιθου, του αμμοχάλικου μεταβατικού επιχώματος και του θραυστού της ΠΤΠ Ο 150-155. Ο θραυστός τραβερτίνης και το θραυστό αμμοχάλικο παρουσίασαν ρυθμό μείωσης -1,00 και -1,11 αντίστοιχα ενώ το μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης εμφάνισε το αμμοχάλικο του ποταμού Αλιάκμονα με -2,48.

Το εύρος τιμών του λεπτόκοκκου υλικού ήταν πολύ μεγαλύτερο για τον ασβεστόλιθο, τον τραβερτίνη και τον περιδοτίτη, ενώ για τα θραυστά υλικά και τα αμμοχάλικα το διάστημα ήταν μικρό και περιορίστηκε σε χαμηλά ποσοστά. Για τα τελευταία υλικά παρατηρούμε πως για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής συμπύκνωσης η τιμή του λεπτόκοκκου υλικού θα πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή, γεγονός που μπορεί να εξηγηθεί με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω.

Από το ίδιο γράφημα μπορούμε να διαπιστώσουμε πως οι μεγαλύτερες συμπυκνώσεις επιτεύχθηκαν στο θραυστό αμμοχάλικο και στο θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155.

Όσον αφορά το συντελεστή ομοιομορφίας και το ποσοστό συμπύκνωσης ενιαίες σχέσεις δεν προσδιορίστηκαν. Για το αμμοχάλικο μεταβατικού επιχώματος και τον θραυστό τραβερτίνη παρουσιάστηκε μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση ενώ για τον τραβερτίνη και τον ασβεστόλιθο δεν υπήρξε κανενός είδους συσχέτιση. Για τον θραυστό ασβεστόλιθο, το θραυστό υλικό της ΠΤΠ Ο-150 και Ο-155, το αμμοχάλικο και το αμμοχάλικο του ποταμού Αλιάκμονα μπορούμε να παρατηρήσουμε την ύπαρξη γραμμικής συσχέτισης ανά διαφορετικά διαστήματα τιμών του U για το κάθε υλικό. Επίσης είναι ενδιαφέρον και πρέπει να σημειωθεί ότι, με εξαίρεση τον ασβεστόλιθο, όλα τα υπόλοιπα υλικά, θραυστά ή μη και ανεξάρτητα από τη μορφή της συσχέτισης (σε όσα υλικά προκύπτει κάποιας μορφής συσχέτιση, ανάλογη ή αντιστρόφως ανάλογη) και την τιμή του συντελεστή συσχέτισης τους, δίνουν την ίδια

σχεδόν γραμμική σχέση (εξίσωση). Αυτό δείχνει ότι τουλάχιστον ο ρυθμός μεταβολής (αύξηση ή μείωση) του ποσοστού συμπίκνωσης με τον U είναι σταθερός σε όλα τα εξεταζόμενα υλικά.

Τέλος από τις καμπύλες κορεσμού μπορούμε να παρατηρήσουμε πως ο θραυστός ψαμμίτης και ο θραυστός ασβεστόλιθος χρειάζονται μικρότερα ποσοστά υγρασίας για τη συμπίκνωση τους στο έργο σε σχέση με το θραυστό τραβερτίνη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βουδούρης Κ., (2004), "Στατιστική ανάλυση δεδομένων στην εφαρμοσμένη και περιβαλλοντική γεωλογία", ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ.21.

Γραμματικόπουλος, Γ., Μάνου-Ανδρεάδου, Ν., Χατζηγώγος, Θ., (1980), "Έδαφομηχανική Ασκήσεις και Προβλήματα", Αφοι Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 49-53.

Δημόπουλος, Γ., (1986), "Τεχνική Γεωλογία", Γιαχούδη- Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ. 44-65.

Εγνατία Οδός Α.Ε., (2003), "Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Έργα Πολιτικού Μηχανικού "

Εγνατία Οδός Α.Ε., (2001), "Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Έργων Οδοποιίας", Αναθεώρηση Α3

ΕΛΟΤ EN 13242, (2003), " Αδρανή υλικών σταθεροποιημένων με υδραυλικές κονίες ή μη σταθεροποιημένων για χρήση στα τεχνικά έργα και την οδοποιία (Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction)".

Κάπαρης, Σπ., (1996), "Στοιχεία Οδοποιίας", Οργανισμός εκδόσεων διδακτικών βιβλίων, Αθήνα, σελ.173-182.

Κοφίτσας, Ι., (1995), "Υποστρώματα και καταστρώματα οδών", Οργανισμός εκδόσεων διδακτικών βιβλίων, Αθήνα, σελ.77-84.

Μακεδών, Θ., (2005), "Χωματουργικά έργα οδοποιίας & οδοστρωσία - Απαιτήσεις & ποιοτικός έλεγχος", ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ. 6-9.

Νικολαΐδης, Φ., Αθ., (1996), "Οδοποιία, οδοστρώματα – υλικά, έλεγχος ποιότητας", 1^η Έκδοση, Θεσσαλονίκη, σελ. 60-62, 458-492.

Νικολαΐδης, Φ., Αθ., (2002), "Νέα μεθοδολογία διαστασιολόγησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων", 3^ο Διεθνές Συνέδριο Ασφαλτικά Μίγματα και Οδοστρώματα, Θεσσαλονίκη.

Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή 0 150, (1966), "Κατασκευή Υποβάσεων Οδοστρωμάτων δι' αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου", Εγκύκλιος Γ. 9/1966 – ΦΕΚ 481/66, Τεύχος Β.

Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή 0 155, (1966), "Κατασκευή Βάσεων Οδοστρωμάτων δι' αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου", Εγκύκλιος Γ. 10/1966 – ΦΕΚ 294/66, Τεύχος Β.

Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή X1, (1966), "Εκτέλεσις Χωματουργικών Έργων Οδοποιίας (μεθ' οδηγιών) και επενδύσεων φυτεύσεως αυτών", ΦΕΚ 264, Τεύχος Β.

Τσιάβου, Ε., Χρυσοβελίδου, Α., Φωτόπουλος, Α., Μπίλλα, Ε., Δερζέκο, Χ., (2000), "Οδηγός δομικών υλικών - αδρανή", ΤΕΕ, Αθήνα.

Τσότσος, Στ., (1991), "Εδαφομηχανική, Θεωρία -Μέθοδοι –Εφαρμογές, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ. 11-15.

ΥΠΕΧΩΔΕ, (1986), "Προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών Εδαφομηχανικής" (Ε 105-86), Φ.Ε.Κ. 955/31-12-86.

ΥΠΕΧΩΔΕ, (1976), "Πρότυπος Μέθοδος Ανθεκτικότητας είς αποσάθρωσιν (υγείας), αδρανών υλικών (AASHTO T 104 – 76).

ΥΠΕΧΩΔΕ, (1968), "Πρότυπος Μέθοδος Δοκιμής Αντοχής είς τριβήν και κρούση χονδρόκοκκων αδρανών υλικών δια της μηχανής Los Angeles (AASHTO T 96 – 65).

ΥΠΕΧΩΔΕ, (1988), "Τεχνική Συγγραφή υποχρεώσεων έργων οδοποιίας"

Χρηστάρας, Β., (2002), "Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές εδαφομηχανικής", ΤΕΕ, Αθήνα, σελ. 27.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AASHTO, (1993) Guide for Design of Pavement Structures, Washington D.C., USA

Capachi, N., (2001), " Excavation & Grading Handbook", Craftsman Book Company, Carlsbad, pp. 199-205.
