



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ
ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΕΥΚΑΜΠΤΟΥ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ
ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΤΗΣ**

ΝΤΑΒΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΠΛΑΤΗ,
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους ανθρώπους συνέβαλαν στην εκπόνησή της.

Αρχικά, οφείλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της διπλωματικής μου, κυρία Χριστίνα Πλατή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ για τη στήριξη και την καθοδήγησή της σε όλη τη διαδικασία εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής και για την εξαιρετική συνεργασία όλους αυτούς τους μήνες.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και όλους τους φίλους μου, για τη θερμή υποστήριξή τους και την κατανόηση που έδειξαν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της αποστραγγιστικής στρώσης οδοστρώματος και η ανάδειξη της σημασίας της διαπερατότητάς της. Ακόμα, στοχεύει στον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του υλικού της στρώσης που επηρεάζουν τη διαπερατότητα. Αρχικά πραγματοποιείται αναφορά στο οδόστρωμα, και πιο συγκεκριμένα στο εύκαμπτο οδόστρωμα, με ανάλυση της δομής του και περιγραφή των συστημάτων αποστράγγισης. Παράλληλα, επισημαίνονται ορισμένες δοκιμές που αφορούν εδαφικά υλικά. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά η στρώση στράγγισης οδού με τα κύρια χαρακτηριστικά της, ένα εκ των οποίων είναι και ο συντελεστής διαπερατότητας k . Μετά το πέρας του θεωρητικού υποβάθρου συγκεντρώνονται στοιχεία για πλήθος υλικών (28 δείγματα) αποστραγγιστικής στρώσης από υφιστάμενες οδούς και λατομεία της Ελλάδας. Ειδικότερα, τα στοιχεία περιλαμβάνουν την κοκκομετρική διαβάθμιση του κάθε υλικού, το βάρος του δείγματος, το ισοδύναμο άμμου, την υγρασία και τον συντελεστή Los Angeles. Πραγματοποιείται ανάλυση των δεδομένων αυτών και προσπάθεια συσχέτισής τους με στόχο την ανάπτυξη σχέσεων του συντελεστή διαπερατότητας με τα επιμέρους μεγέθη, ακολουθώντας τη διαδικασία της γραμμικής παλινδρόμησης. Συνολικά, προκύπτουν αποτελέσματα και συμπεράσματα που δείχνουν τη σημασία της επιλογής κατάλληλου υλικού για την αποστραγγιστική στρώση οδοστρώματος.

ABSTRACT

The main purpose of the present work is the study of the drainage layer in pavements and to highlight the importance of its permeability. In addition, the work aims to find which properties of the layer's material affect the permeability. At the beginning, it refers to the pavement, and more specifically to the flexible pavement, by analyzing its structure and describing all the drainage systems. Alongside, some important tests on soil materials are pointed out. Then, the drainage layer in pavements is presented in detail with emphasis on its permeability k . After the end of the theoretical background, data are collected for multitude of materials (28 samples) used for drainage layers, from Greek existing roads and quarries. More specifically these data include the sieve analysis, the dry and washed mass, the sand equivalent, the moisture and the Los Angeles. The data are analyzed and an attempt is made to correlate them with the permeability, using trend lines. Finally, results and conclusions are drawn from the above analyses, which show the importance of selecting the suitable material for the drainage layer.

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Αντικείμενο.....	1
1.2	Στόχος- Μεθοδολογία	2
1.3	Δομή διπλωματικής εργασίας	3
2	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	1
2.1	Γενικά.....	1
2.2	Κατηγορίες Οδοστρωμάτων.....	4
2.2.1	Εύκαμπτα οδοστρώματα	4
2.2.2	Δύσκαμπτα οδοστρώματα.....	5
2.2.3	Ημιάκαμπτα οδοστρώματα.....	7
2.3	Διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος.....	7
2.3.1	Ασφαλτικές στρώσεις	7
2.3.2	Βάση	8
2.3.3	Υπόβαση.....	9
2.3.4	Εξυγιαντική στρώση	10
2.3.5	Στρώση έδρασης.....	10
2.4	Χαρακτηριστικές ιδιότητες εδαφικών υλικών	11
2.4.1	Δείκτης CBR.....	11
2.4.2	Δοκιμή Los Angeles	14
2.4.3	Δοκιμή Ισοδύναμου Άμμου.....	15
2.5	Παρουσία υδάτων στην οδό και αποστράγγιση	16
2.6	Συστήματα αποστράγγισης.....	18
2.6.1	Γενικά	18
2.6.2	Επιφανειακή αποστράγγιση	18
2.6.3	Υπόγεια αποστράγγιση	20
2.6.4	Αποκατάσταση φυσικών ροών.....	22

3	ΣΤΡΩΣΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	24
3.1	Γενικά.....	24
3.2	Υλικά κατασκευής	24
3.3	Σχεδιασμός	26
3.4	Διαπερατότητα- Παροχετευτική ικανότητα	29
3.5	Συντελεστής διαπερατότητας k	31
3.5.1	Γενικά	31
3.5.2	Εργαστηριακές μέθοδοι μέτρησης της διαπερατότητας.....	32
3.5.3	Επί τόπου δοκιμές.....	33
3.5.4	Εμπειρικοί τύποι υπολογισμού της διαπερατότητας.....	34
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	37
4.1	Συνοπτική περιγραφή	37
4.2	Δεδομένα	37
4.3	Διαδικασία επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων	39
5	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	42
5.1	Ανάλυση δεδομένων	42
5.2	Αποτελέσματα.....	44
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 2-1 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ TELFORD	2
ΕΙΚΟΝΑ 2-2 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ MCADAM	3
ΕΙΚΟΝΑ 2-3 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΚΑΙ ΔΥΣΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ	4
ΕΙΚΟΝΑ 2-4 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΥΚΑΜΠΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	5
ΕΙΚΟΝΑ 2-5 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	5
ΕΙΚΟΝΑ 2-6 ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΗ CBR (WWW.SUBSURFACE.CO.UK)	13
ΕΙΚΟΝΑ 2-7 ΔΟΚΙΜΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΑΜΜΟΥ	15
ΕΙΚΟΝΑ 2-8 ΤΡΟΠΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΟΔΟ	17
ΕΙΚΟΝΑ 3-1 ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΜΟΥΛΤΟΝ	28
ΕΙΚΟΝΑ 3-2 ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ CASAGRANDE&SHANNON	29
ΕΙΚΟΝΑ 3-3 ΣΧΕΣΗ ΙΞΩΔΟΥΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (KAYE AND LABY 1973)	31
ΕΙΚΟΝΑ 3-4 (Α) ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ, (Β) ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΜΕΤΡΟ ΜΕΙΟΥΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (ΚΑΒΒΑΔΑΣ 2005)	33
ΕΙΚΟΝΑ 5-1 ΡΑΒΔΟΓΡΑΜΜΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΜΟΥ ΑΜΜΟΥ- ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΤΙΜΩΝ	42
ΕΙΚΟΝΑ 5-2 ΡΑΒΔΟΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΥΓΡΑΣΙΑΣ- ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΤΙΜΩΝ	43
ΕΙΚΟΝΑ 5-3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ (%) ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΚΟΣΚΙΝΟ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΥΛΙΚΟ	44
ΕΙΚΟΝΑ 5-4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΒΑΡΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	46
ΕΙΚΟΝΑ 5-5 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΑΜΜΟΥ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	46
ΕΙΚΟΝΑ 5-6 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ LOS ANGELES ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	47
ΕΙΚΟΝΑ 5-7 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	48
ΕΙΚΟΝΑ 5-8 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ (ΠΛΗΝ ΑΝΑΦΕΡΟΜΕΝΗΣ ΤΙΜΗΣ)	49
ΕΙΚΟΝΑ 5-9 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ ΚΟΣΚΙΝΟΥ 1	49
ΕΙΚΟΝΑ 5-10 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ ΚΟΣΚΙΝΟΥ 1/2	50

ΕΙΚΟΝΑ 5-11 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ ΚΟΣΚΙΝΟΥ 3/4	50
ΕΙΚΟΝΑ 5-12 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟ ΚΟΣΚΙΝΟΥ 3/8	51
ΕΙΚΟΝΑ 5-13 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΚΟΣΚΙΝΟ ΝΟ4	51
ΕΙΚΟΝΑ 5-14 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΚΟΣΚΙΝΟ ΝΟ10	52
ΕΙΚΟΝΑ 5-15 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΚΟΣΚΙΝΟ ΝΟ40	52
ΕΙΚΟΝΑ 5-16 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΚΟΣΚΙΝΟ ΝΟ200	53
ΕΙΚΟΝΑ 5-17 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΚΟΣΚΙΝΟ ΝΟ10	54
ΕΙΚΟΝΑ 5-18 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΚΟΣΚΙΝΟ ΝΟ40	55
ΕΙΚΟΝΑ 5-19 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΚΟΣΚΙΝΟ ΝΟ200	56
ΕΙΚΟΝΑ 5-20 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΓΙΑ ΤΑ ΚΟΣΚΙΝΑ ΝΟ10, ΝΟ40, ΝΟ200	57

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1 ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ CBR ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (AASHTO T 193, 2003)	12
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ Π.Τ.Π 0150	25
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2 ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΚΑΤΑ HAZEN C_k (HUANG, 2004)	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ (CARTER & BENTLEY, 1991)	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ, ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΑΜΜΟΥ, ΥΓΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΚΑΤΑ LOS ANGELES	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1 ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ K	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΓΙΑ ΤΑ ΚΟΣΚΙΝΑ NO10, NO40, NO200	56

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο

Η αποστράγγιση των οδών έχει πρωτεύοντα ρόλο στην προστασία των οδοστρωμάτων από την παρουσία υδάτων και στην καλή συντήρησή τους. Ιδιαίτερα αναφέρεται ότι η ανάγκη κατασκευής έργων αποστράγγισης φαίνεται έντονα από τις επιπτώσεις που έχει το νερό στο οδόστρωμα. Συγκεκριμένα, μελέτες έχουν αποδείξει πως χωρίς εγκαταστάσεις επαρκούς αποστράγγισης η φθορά του οδοστρώματος μπορεί να είναι έως και δεκαπέντε φορές μεγαλύτερη από την περίπτωση καλής αποστράγγισης. Με τον όρο «εγκαταστάσεις αποστράγγισης» νοούνται οι εγκαταστάσεις με σκοπό τη συλλογή και απομάκρυνση υπογείων και διηθούμενων επιφανειακών υδάτων (ΓΤΣΥ-200 n.d.). Τα έργα αποστράγγισης διακρίνονται σε επιφανειακά, υπόγεια και έργα αποκατάστασης φυσικών ροών, ανάλογα με τον τρόπο που υπεισέρχονται τα ύδατα στο οδόστρωμα.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη της στρώσης αποστράγγισης οδού. Η στρώση αποστράγγισης αποτελεί έργο υπόγειας αποστράγγισης και είναι ουσιαστικά φίλτρα που κατασκευάζονται κάτωθεν του οδοστρώματος, σε όλο το πλάτος της οδού και αποτελούνται από υλικά με επαρκή αντοχή και σκληρότητα, χωρίς προσμίξεις αργίλου. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην αντοχή του πετρώματος στο νερό, στην κατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση και στην σχεδόν πλήρη απουσία λεπτόκοκκου υλικού (5-7%) (Huang 2004). Η ελάχιστη εγκάρσια κλίση της στρώσης είναι 4%, μονοκλινής ή αμφικλινής.

Ρόλος της στρώσης αποστράγγισης είναι η απαγωγή των υδάτων σε γραμμικά στραγγιστήρια ή άλλους αποδέκτες με σκοπό την προστασία του οδοστρώματος από νερό που διεισδύει μέσω των ρωγμών, καθώς και την ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα κάτω από την ανώτερη επιφάνεια της στρώσης έδρασης. Έτσι εξασφαλίζεται (ΓΤΣΥ-200 n.d.):

- ❖ η προστασία του οδοστρώματος από τα νερά που εισρέουν στις ρωγμές της ασφαλικής στρώσης, τα οποία εάν δεν απομακρυνθούν εγκαίρως μπορούν να προκαλέσουν φθορές στο οδόστρωμα
- ❖ η αποφυγή θραύσης του οδοστρώματος που μπορούν να προκληθούν λόγω της υδροστατικής άνωσης, σε περίπτωση που δεν είχε προηγηθεί η ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα.

Ο σχεδιασμός της πραγματοποιείται συνηθέστερα μέσω νομογραφημάτων, με βασικούς παράγοντες το βάθος ροής ή τον χρόνο αποστράγγισης, ανάλογα με την προτιμώμενη μέθοδο. Επιπλέον, η ικανότητα της στρώσης στράγγισης να απομακρύνει τα εισρέοντα νερά

είναι άμεσα εξαρτημένη από τον συντελεστή διαπερατότητας k (Παπασπύρου 2011). Ο προσδιορισμός της διαπερατότητας της αποστραγγιστικής στρώσης έχει μεγάλη σημασία για την οδό, καθώς σημαντική είναι και η μελέτη των παραγόντων που την επηρεάζουν και σχετίζονται με τα υλικά της στρώσης. Η διαπερατότητα εξαρτάται κυρίως από την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού, καθώς και τη μορφολογία των κόκκων, από το βαθμό συμπίκνωσης, από τον δείκτη πόρων και από τις ιδιότητες του νερού που αφορούν την πυκνότητα και το ιξώδες (Feng, Hua και White May 1999). Καθώς η πυκνότητα του νερού, που συνήθως μελετάται, είναι σταθερή σε συνήθεις θερμοκρασίες, δίνεται μεγαλύτερη σημασία στο ιξώδες που μεταβάλλεται σημαντικά με την αλλαγή θερμοκρασιών.

1.2 Στόχος- Μεθοδολογία

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη της σημασίας της στρώσης στράγγισης οδοστρώματος στα εύκαμπτα οδοστρώματα και ο εντοπισμός των παραμέτρων που επηρεάζουν τον σχεδιασμό και την αποτελεσματικότητά της, εστιάζοντας στη διαπερατότητα.

Όσον αφορά στη μεθοδολογία εκπόνησης της παρούσας έρευνας, αρχικά πραγματοποιείται εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση για τα βασικά χαρακτηριστικά των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Επικεντρώνοντας στις μεθόδους αποστράγγισης και ειδικότερα στην αποστραγγιστική στρώση οδού εντοπίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία οι σχέσεις που αφορούν το σχεδιασμό της, αλλά και τον υπολογισμό βασικών παραμέτρων της, όπως είναι η διαπερατότητα.

Προχωρώντας στην πειραματική- υπολογιστική διαδικασία γίνεται συλλογή δεδομένων υλικών της αποστραγγιστικής στρώσης οδού από ποικίλα υφιστάμενα έργα στον Ελλαδικό χώρο, καθώς και από υλικά εργαστηριακών ελέγχων λατομείων. Εφόσον διατίθεται η κοκκομετρία τους, υπολογίζεται ο συντελεστής διαπερατότητας. Παράλληλα αξιοποιούνται και άλλα χαρακτηριστικά των υλικών, όπως το ισοδύναμο άμμου, η υγρασία, ο δείκτης Los Angeles και η κοκκομετρία τους. Γίνεται προσπάθεια στατιστικής συσχέτισης των προαναφερόμενων χαρακτηριστικών με την υπολογισμένη διαπερατότητα και τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται και αξιολογούνται ενδελεχώς. Απώτερος στόχος είναι η πρακτικοποίηση της διαδικασίας για τον καθορισμό του τρόπου με τον οποίο επιμέρους χαρακτηριστικά της στραγγιστικής στρώσης επηρεάζουν τη διαπερατότητά της. Στη συνέχεια από τα συσχετισμένα δεδομένα ακολουθείται μια διαδικασία προσδιορισμού του βέλτιστου συνδυασμού κοκκομετρίας και διαπερατότητας. Τέλος, συντάσσονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα, τα οποία δίνουν μια σχετικά ολοκληρωμένη εικόνα για την αποστραγγιστική στρώση και τα μεγέθη που την επηρεάζουν.

1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από επτά κύρια κεφάλαια. Πέραν του παρόντος εισαγωγικού κεφαλαίου ακολουθούν:

Το δεύτερο κεφάλαιο, όπου δίνονται πληροφορίες για τη μορφή και τις κατηγορίες των οδοστρωμάτων και ιδίως των εύκαμπτων, με τα οποία ασχολείται κυρίως η παρούσα εργασία. Επιπλέον γίνεται αναφορά στα διάφορα συστήματα αποστράγγισης που συναντώνται στις οδούς.

Το τρίτο κεφάλαιο, όπου περιγράφεται εκτενέστερα η στρώση αποστράγγισης οδοστρώματος, ως προς τα υλικά που την αποτελούν, αλλά και το σχεδιασμό και τη σημασία της.

Το τέταρτο κεφάλαιο, το οποίο περιλαμβάνει λεπτομερώς τη μεθοδολογική προσέγγιση από τη συλλογή και κατηγοριοποίηση δεδομένων, μέχρι την επεξεργασία τους.

Το πέμπτο κεφάλαιο, στο οποίο παρατίθενται η διαδικασία ανάλυσης και τα σχετικά αποτελέσματα.

Το έκτο κεφάλαιο, όπου περιλαμβάνονται τα συμπεράσματα της συνολικής διερεύνησης των προηγούμενων κεφαλαίων, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Το έβδομο κεφάλαιο, στο οποίο συγκεντρώνονται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

2.1 Γενικά

Το έδαφος όταν βρίσκεται σε «φυσική» κατάσταση αδυνατεί να φέρει τις κυκλοφοριακές καταπονήσεις, καθώς επίσης δεν δύναται να εξασφαλίσει ομαλή κίνηση των τροχών επ' αυτού, λόγω της τραχιάς επιφάνειάς του. Επιπροσθέτως δυσκολεύεται να αντέξει στις κλιματολογικές διακυμάνσεις όπως βροχή, παγετός κλπ. Για όλους αυτούς τους λόγους είναι επιτακτική η ανάγκη κατασκευής οδοστρωμάτων.

Ως οδόστρωμα νοείται η επιφάνεια της οδού που καταλαμβάνουν οι λωρίδες κυκλοφορίας είτε αυτές είναι κύριες είτε πρόσθετες, αλλά και οι λωρίδες καθοδήγησης και έκτακτης ανάγκης, καθώς και η κεντρική νησίδα. Στην πραγματικότητα όμως η λέξη «οδόστρωμα» αφορά τη διαστρωματωμένη δομή μιας οδού (Κανελλαΐδης, και συν. 2016).

Επομένως, ως οδόστρωμα ορίζεται το σύνολο των στρώσεων, αποτελούμενων από υλικά ανώτερης ποιότητας, που τοποθετούνται πάνω από το φυσικό έδαφος. Σκοπός του οδοστρώματος είναι να ελαττώσει σημαντικά και να διανείμει τις τάσεις που φτάνουν στο έδαφος από τα οχήματα και παράλληλα να το προστατέψει από καιρικά φαινόμενα, όπως βροχή, παγετό κλπ. (Λοΐζος και Πλατή 2021).

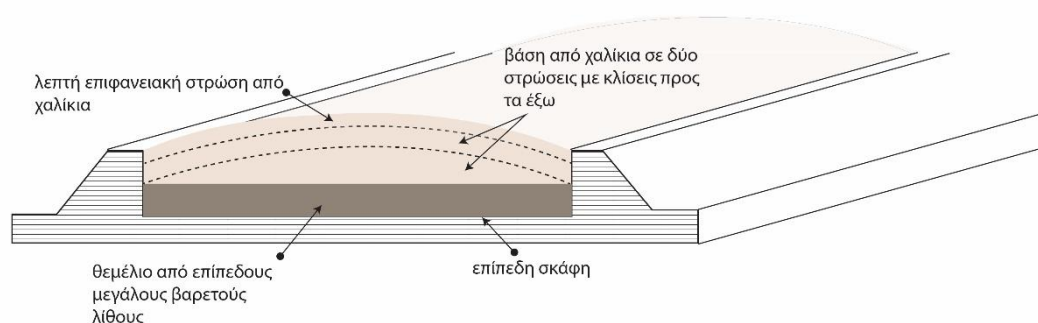
Ένα οδόστρωμα θα πρέπει κυρίως να προσφέρει επαρκή φέρουσα ικανότητα, αντίσταση σε ολίσθηση, ικανοποιητική ποιότητα στην κύλιση και φυσικά να κατασκευάζεται με όσο το δυνατόν μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Όσον αφορά την τοποθέτησή του, όταν η οδός βρίσκεται σε όρυγμα το οδόστρωμα εδράζεται κατευθείαν στο έδαφος, ενώ όταν βρίσκεται σε επίχωμα εδράζεται στην άνω στρώση του επιχώματος.

Είναι ιστορικά αποδεδειγμένο πως οι πρώτοι κατασκευαστές οδών ήταν οι Αιγύπτιοι με την αρχαία οδό τους να καλύπτει έκταση περίπου 800km. Περίπου 2000 χρόνια αργότερα οι Ρωμαίοι ήταν οι πρώτοι που εφάρμοσαν στην οδοποιία βασικές αρχές εδαφομηχανικής, δημιούργησαν προδιαγραφές καταλληλότητας υλικών για την κατασκευή οδών και χρησιμοποίησαν συνδετικά υλικά (Βραχίμης 2017). Έτσι η πρώτη καταγεγραμμένη μορφή οδοστρώματος συναντάται περί το 300π.Χ. σε Ρωμαϊκούς δρόμους. Το οδικό τους δίκτυο ήταν ιεραρχημένο, με κάθε τμήμα να είναι κατασκευασμένο με βάση την ιεράρχηση. Το πρωτεύον τμήμα, έκτασης 90.000km ήταν λιθόστρωτο, το δευτερεύον χαλικόστρωτο και όλα τα υπόλοιπα τμήματα ξυλόστρωτα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως η διατομή του οδοστρώματος αποτελούνταν συνήθως από τέσσερις στρώσεις ποικίλων πετρωμάτων ή ακόμα και πέτρινων πλακών με το συνολικό πάχος να φτάνει το 1m. Στα δύσκολα τμήματα

της οδού οι στρώσεις ήταν ακόμα και έξι. Από τα πρώιμα χρόνια φαίνεται να είχε γίνει αντιληπτό πως μία κατασκευή αποτελούμενη από πολλά στρώματα είναι η μόνη λύση για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων των αξονικών φορτίων και των καιρικών συνθηκών, παρότι τα πρώτα ήταν αμελητέα σε σχέση με τα σημερινά. Τέλος, η αποστράγγιση πραγματοποιούνταν με επικλίσεις ευθυγραμμίας της τάξεως του 6% και με πλευρικές τάφρους (Καλτσούνης 2007).

Η νεότερη ιστορία της οδοποιίας ξεκινά ουσιαστικά τον 18^ο αιώνα με τον Tresaguet (1716-1796), Γάλλο μηχανικό, που συντέλεσε σημαντικό ρόλο στην κατασκευή ισχυρών οδοστρωμάτων. Η δομή που πρότεινε αποτελούνταν από μια λεπτή επιφανειακή στρώση από χαλίκια, μια βάση από μεγάλους λίθους η οποία με τη σειρά της εδραζόταν σε μία στρώση θεμελίωσης αποτελούμενη από πολύ ογκώδεις πέτρες.

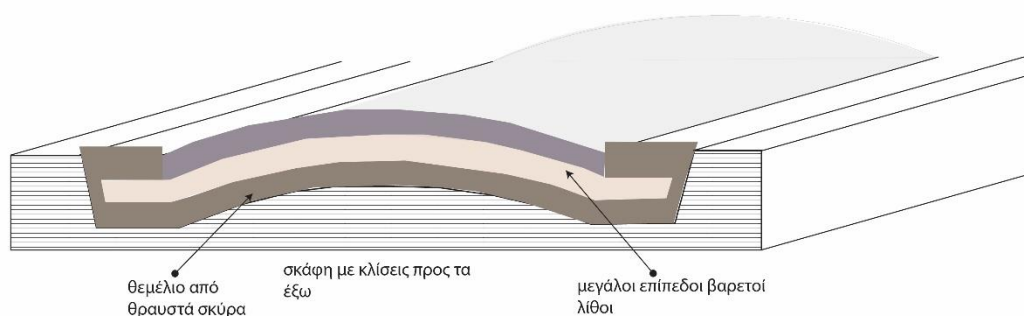
Την ιδέα αυτή προσπάθησε να τελειοποιήσει ένας ακόμη σημαντικός μηχανικός για την εξέλιξη των οδοστρωμάτων, ο σκωτσέζικης καταγωγής, Thomas Telford (1757-1834). Η δική του λύση ήταν να τοποθετήσει πάνω σε μεγάλες πέτρες μια παχιά (ή δύο λεπτότερες) στρώση πετρωμάτων διαμέτρου περίπου 6cm με κλίσεις προς τα έξω και στην επιφάνεια της οδού χρησιμοποίησε ένα μίγμα χαλικιού και σπασμένης πέτρας (Collins H.J., Hart C.A. 1936). Οι οδοί κατασκευάζονταν πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα και όπου αυτό δεν ήταν εφικτό, υποχρέωνε τους κατασκευαστές να αποστραγγίζουν τη γύρω περιοχή. Η τυπική διατομή κατά Telford παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-1.



Εικόνα 2-1 Τυπική διατομή οδοστρώματος κατά Telford

Τέλος, ο John Loudon McAdam (1756-1836), επίσης σκωτσέζικης καταγωγής, ανέπτυξε μια νέα μέθοδο κατασκευής οδού περί το 1816 που χρησιμοποιήθηκε στους πρώτους ασφαλτοστρωμένους δρόμους που βρίσκονται ακόμα και σήμερα. Αρχικά χρησιμοποίησε μια άνω στρώση για να προστατέψει τις κατώτερες στρώσεις από τη διάβρωση. Μία

σημαντική καινοτομία αφορά το μέγεθος των πετρωμάτων, ξεκινώντας από μεγαλύτερα πετρώματα στα κατώτερα στρώματα (διαμέτρου έως 7.5cm) και μικρότερα στα ανώτερα (διαμέτρου περίπου 2cm). Κάτω από αυτά υπήρχαν μεγάλες πέτρες- θεμέλια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-2. Όλα τα αδρανή σπάζονταν με το χέρι με σκοπό να αυξήσουν την αντοχή της οδού (S. Smiles 1904). Επίσης ανύψωσε τη διατομή του οδοστρώματος, όπως και ο Telford, πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα για να ενισχύσει την αποστράγγιση. Η μέθοδος του, εκτός από το ότι προσέφερε μια πιο ομαλή επιφάνεια, ήταν οικονομικότερη και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

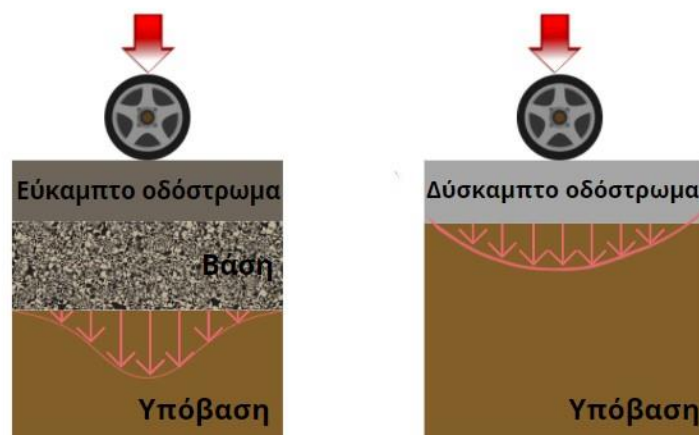


Εικόνα 2-2 Τυπική διατομή οδοστρώματος κατά McAdam

Περί τον 19^ο αιώνα, λοιπόν, παρατηρείται η πρώτη μείωση του πάχους της διατομής από τους Thomas Telford και John Macadam. Μελετώντας καλύτερα την τεχνολογία των υλικών και εφαρμόζοντας καινοτομίες στη μηχανική κατάφεραν να μειώσουν το πάχος σε 35-40cm στις αρχές του αιώνα, ενώ στα τέλη έφτασαν στα 25 περίπου εκατοστά. Αξίζει να σημειωθεί πως οι νέες τεχνικές έδωσαν μεγάλη βάση και στην αποστράγγιση. Με την τεχνολογία συνεχώς να εξελίσσεται, στη διαδικασία διαστασιολόγησης διατομής προστέθηκαν νέα καινοτόμα υλικά και μέσα, με αποτέλεσμα τον 20^ο αιώνα το πάχος της να προσεγγίζει τα 10-15cm, όπως ισχύει και σήμερα (Λοΐζος και Πλατή 2021).

Στις μέρες μας ο αριθμός και το είδος των στρώσεων ποικίλουν ανάλογα με το είδος του οδοστρώματος. Οι βασικότεροι παράγοντες με βάση τους οποίους επιλέγεται το είδος, αλλά και το πάχος του οδοστρώματος είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος της οδού και η ποιότητα του εδάφους όπου θα εδρασθεί το οδοστρώμα. Επιπλέον σημαντικό ρόλο έχει το κλίμα της περιοχής και το κόστος και η ποιότητα των υλικών που διατίθενται.

Τα οδοστρώματα διακρίνονται κατά βάση σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την ελαστικότητά τους, τα εύκαμπτα και τα δύσκαμπτα. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο αυτών τύπων οδοστρώματος είναι ο τρόπος με τον οποίο διανέμεται το κυκλοφοριακό φορτίο στην υπόβαση (Yoder και Witczak 1975). Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα η κατανομή των τάσεων στη στρώση έδρασης είναι περίπου ομοιόμορφη, λόγω του μεγάλου μέτρου ελαστικότητας και της ακαμψίας τους, σε αντίθεση με τα εύκαμπτα που η κατανομή τείνει να είναι σημειακή. Επίσης διαφορές παρατηρούνται και στο βάθος κατανομής τάσεων, το οποίο είναι αισθητά μεγαλύτερο στα εύκαμπτα οδοστρώματα, για αυτό και ο αριθμός στρώσεων χρήζει να είναι μεγαλύτερος. Έτσι οι αναπτυσσόμενες τάσεις φτάνουν σημαντικά ελαττωμένες στη στρώση έδρασης (Εικόνα 2-3). (Adorjánγι 2011)



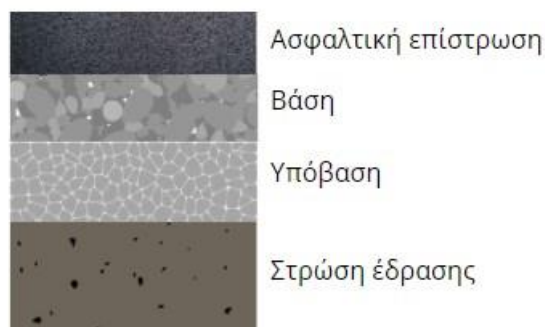
Εικόνα 2-3 Κατανομές τάσεων σε εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα

Επιπλέον, μια άλλη κατηγορία είναι τα ημιάκαμπτα οδοστρώματα.

2.2 Κατηγορίες Οδοστρωμάτων

2.2.1 Εύκαμπτα οδοστρώματα

Τα εύκαμπτα (flexible) οδοστρώματα αποτελούνται από την ασφαλτική επίστρωση, τη στρώση βάσης, τη στρώση υπόβασης και τη στρώση έδρασης (Εικόνα 2-4).



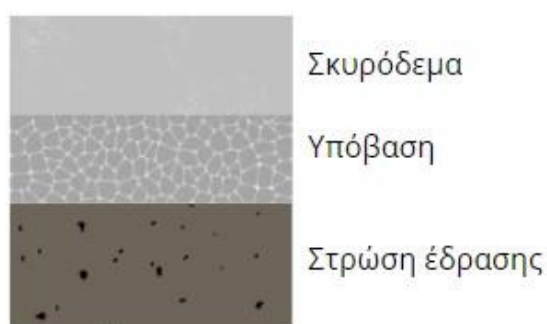
Εικόνα 2-4 Τυπική διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος

Οι επιμέρους στρώσεις αναλύονται λεπτομερώς σε επόμενα εδάφια. Τα εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελούν τον κύριο τύπο που χρησιμοποιείται στο Ελληνικό οδικό δίκτυο.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα εξεταστεί η περίπτωση εύκαμπτων οδοστρωμάτων, όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 2.3.

2.2.2 Δύσκαμπτα οδοστρώματα

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα δεν κατασκευάζονται με μεγάλο αριθμό στρώσεων, καθώς το σκυρόδεμα προσφέρει σημαντική καμπτική αντοχή και έχει σχετικά μεγάλο μέτρο ελαστικότητας. Συναντώνται συνήθως στα δάπεδα αναμονής, στάθμευσης και συντήρησης αεροσκαφών, καθώς παρουσιάζουν καλή συμπεριφορά έναντι στατικών φορτίων, χημικής διάβρωσης, αλλά και ικανοποιητική ανθεκτικότητα. Αποτελούνται από τη στρώση σκυροδέματος, την υπόβαση και τη στρώση έδρασης (Εικόνα 2-5) (FAA 2021).



Εικόνα 2-5 Τυπική διατομή δύσκαμπτου οδοστρώματος

- ❖ Στρώση σκυροδέματος: Πρόκειται στην ουσία για μια πλάκα από σκυρόδεμα, η οποία χρησιμεύει ως επίστρωση και ως στρώση βάσης. Το σκυρόδεμα αποτελείται από

χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα αδρανή, τσιμέντο, νερό και συνήθως ένα η περισσότερα χημικά πρόσθετα. Στόχος της πλάκας δεν είναι μόνο να παραλάβει και να διανείμει τις τάσεις των φορτίων κυκλοφορίας στο έδαφος. Οφείλει, επίσης, να παραλάβει και τις προερχόμενες από άλλους παράγοντες τάσεις, όπως η μεταβολή της θερμοκρασίας και της υγρασίας του σκυροδέματος και η ογκομετρική αλλαγή του εδάφους. (Paragiannakis και Masad 2012).

- ❖ Στρώση υπόβασης: Έχει ως στόχο την ομαλή έδραση της πλάκας σκυροδέματος και την ελάττωση των υποχωρήσεων που προκύπτουν σε αυτή. Έτσι η επιφάνεια της θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν επίπεδη για να επιτευχθεί ευκολότερα ομοιόμορφο πάχος της πλάκας, καθώς και να περιοριστεί η ποσότητα χρησιμοποιούμενου σκυροδέματος, που αυξάνει το κόστος της κατασκευής. Η υπόβαση αποτελείται συνήθως από κατεργασμένο με τσιμέντο αμμοχάλικο και σπανιότερα από συμπυκνωμένο ασύνδετο αμμοχάλικο.
- ❖ Στρώση έδρασης: Σκοπός της στρώσης είναι να παρέχει ομαλή έδραση στην πλάκα. Βασικές παράμετροι που μειώνουν την αντοχή του εδάφους είναι ο παγετός και η υγρασία, επομένως, σε τέτοιες περιπτώσεις, προτείνεται υποβιβασμός της στάθμης υδροφόρου ορίζοντα σε επίπεδο μεγαλύτερο των 60cm, είτε κατασκευάζοντας στραγγιστήρια, είτε κάποιο επίχωμα. Συνήθως απαιτείται εξυγίανση του εδάφους, εκτός εάν αυτό έχει ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα, που στα δύσκαμπτα οδοστρώματα μεταφράζεται σε CBR μεγαλύτερο του 15%. Στην περίπτωση αυτή η υπόβαση εδράζεται πάνω στο σχετικά διαμορφωμένο έδαφος. Τέλος, όταν το CBR είναι μεγαλύτερο του 30% ή το έδαφος βραχώδες, η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους θεωρείται καλή και η πλάκα μπορεί να εδρασθεί απευθείας πάνω σε αυτό, αφού πρώτα γίνει επίπεδο. Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα η ποιότητα της στρώσης έδρασης επηρεάζει λιγότερο το οδόστρωμα σε σχέση με τα εύκαμπτα.

Όσον αφορά την αποστράγγιση, στα δύσκαμπτα οδοστρώματα είναι απαραίτητη η παροχή ικανοποιητικού συστήματος αποστράγγισης, καθώς τα συγκεντρωμένα ύδατα κάτω από την επιφάνεια της πλάκας προκαλούν θραύση των γωνιών της και εμφάνιση ρωγμών (Forsyth, Wells and Woodstrom 1987).

Ανάλογα με την κατασκευή της πλάκας σκυροδέματος, τα δύσκαμπτα οδοστρώματα ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: τα άοπλα, τα οπλισμένα με μη συνεχή οπλισμό και τα οπλισμένα με συνεχή οπλισμό οδοστρώματα. Οι παραπάνω τύποι παρουσιάζουν ορισμένες σημαντικές διαφορές. Ως προς την κατασκευή τους, τα άοπλα ή τα οπλισμένα με μη συνεχή οπλισμό οδοστρώματα έχουν αρμούς και στην εγκάρσια και στη διαμήκη διεύθυνση, ενώ τα οπλισμένα με συνεχή οπλισμό έχουν μόνο κατά τη διαμήκη.

Σήμερα έχει καθιερωθεί να προτιμώνται κυρίως τα άοπλα ή τα οπλισμένα με συνεχή οπλισμό σκυροδέματα. Τα πρώτα έχουν ευκολότερη και οικονομικότερη κατασκευή, αλλά διαθέτουν αρμούς με μεγάλη εγκάρσια συχνότητα, γεγονός που τα καθιστά δυσκολότερα στην οδήγηση και αυξάνει τον κίνδυνο κάποιας αστοχίας κατά την κατασκευή και δημιουργεί σχετικά μεγάλη πιθανότητα διαφορικής καθίζησης των πλακών. Τα μειονεκτήματα αυτά, βέβαια, περιορίζονται τοποθετώντας σιδηρό οπλισμό, αυξάνοντας, όμως, παράλληλα το κόστος (Α. Νικολαΐδης 1996).

2.2.3 Ημιάκαμπτα οδοστρώματα

Τα ημιάκαμπτα (semi rigid) οδοστρώματα αποτελούνται από την ασφαλική στρώση, τη στρώση βάσης, τη στρώση υπόβασης και τη στρώση έδρασης, όπως περιγράφονται ακολούθως (Λοΐζος και Πλατή 2018).

- ❖ Ασφαλική στρώση: περιλαμβάνει μία ή περισσότερες στρώσεις ασφαλτομίγματος. Συνήθως κατασκευάζεται η άνω ασφαλική επιφανειακή στρώση ή αλλιώς τάπητας κυκλοφορίας και κάτω από αυτή μια ασφαλική συνδετική στρώση.
- ❖ Στρώση βάσης: αποτελείται από κατεργασμένο/σταθεροποιημένο αμμοχάλικο (ΚΘΑ) με υδραυλικές κονίες, όπως για παράδειγμα τσιμέντο κ.α.
- ❖ Στρώση υπόβασης: αποτελείται είτε από ΚΘΑ, είτε από ασύνδετο θραυστό αμμοχάλικο ορισμένης διαβάθμισης, είτε από εδαφικό υλικό.
- ❖ Στρώση έδρασης

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, σε ένα τέτοιου τύπου οδόστρωμα μπορεί να έχουν κατασκευαστεί μία ή και περισσότερες στρώσεις από ΚΘΑ. Η σταθεροποίηση του ΚΘΑ με τσιμέντο πραγματοποιείται με σκοπό την αύξηση της αντοχής του οδοστρώματος, την ελάττωση των καθιζήσεων, την προστασία από ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως ο παγετός, και την παρεμπόδιση της ανόδου του ύδατος λόγω τριχοειδών φαινομένων.

2.3 Διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος

2.3.1 Ασφαλικές στρώσεις

Ως επιφανειακές ασφαλικές στρώσεις ορίζονται η ασφαλική κυκλοφορίας, η συνδετική στρώση και η ασφαλική βάση.

- ❖ Ασφαλική στρώση κυκλοφορίας: Πρόκειται για στρώση αποτελούμενη από άσφαλτο που στοχεύει στην παροχή καλής ποιότητας κύλισης, καθώς πάνω σε αυτή κυκλοφορούν τα οχήματα. Για το λόγο αυτό, ορισμένες φορές καλείται και ως

φθιρόμενη στρώση. Η ασφαλική στρώση κυκλοφορίας οφείλει να πληροί τις παρακάτω προδιαγραφές:

- να αντέχει τα κυκλοφοριακά φορτία, χωρίς να παραμορφώνεται, και τις επιπτώσεις των έντονων καιρικών φαινομένων
 - να μην ρηγματώνεται εύκολα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας
 - να παρέχει επίπεδη και αντιολισθηρή επιφάνεια κύλισης
 - να περιορίζει το θόρυβο από την κυκλοφορία οχημάτων
 - να βελτιώνει την αντοχή του οδοστρώματος
 - να προστατεύει τις κατώτερες στρώσεις από την εισροή νερού, να είναι δηλαδή όσο το δυνατόν αδιαπέρατη (Dawson 2009)
- ❖ Συνδετική στρώση: Πρόκειται για μια στρώση που τοποθετείται ανάμεσα στην ασφαλική στρώση κυκλοφορίας και την ασφαλική βάση και δημιουργεί τη σωστή επιφάνεια για την τοποθέτηση της στρώσης κυκλοφορίας. Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν αδιαπέρατη από το νερό, να παραμορφώνεται και να ρηγματώνεται όσο το δυνατόν λιγότερο.
- Η συνδετική στρώση ήταν περισσότερο διαδεδομένη στο παρελθόν, ενώ σήμερα, στις περισσότερες χώρες, δεν χρησιμοποιείται πια, καθώς τον ρόλο της μπορεί να αναλάβει απευθείας η ασφαλική βάση.
- ❖ Ασφαλική βάση: Αποτελείται από μία ή περισσότερες στρώσεις με πάχος από 5 έως 10cm. Εάν η ασφαλική βάση έχει πάχος μικρότερο των 10cm, προτείνεται να διαστρώνεται εφ' άπαξ (ΠΕΤΕΠ 05-03-11-04 2006). Σκοπός της είναι να προφυλάσσει τις υπερκείμενες στρώσεις από την υπερφόρτιση, κατανέμοντας την φόρτιση της κυκλοφορίας. Αποτελεί τη στρώση που συμμετέχει περισσότερο στην ακαμψία και στην αντοχή σε κόπωση του οδοστρώματος και είναι απαραίτητο να διαθέτει καλό δυναμικό και στατικό μέτρο δυσκαμψίας και καλή συμπεριφορά σε κόπωση.

2.3.2 Βάση

Αποτελεί τη βασικότερη δομική στρώση του εύκαμπτου οδοστρώματος και τοποθετείται πάνω από την υπόβαση και κάτω από τις επιφανειακές ασφαλικές στρώσεις. Τα υλικά κατασκευής της είναι ασύνδετα αδρανή. Η στρώση βάσης είναι πιθανόν να αποτελείται από περισσότερες από μια στρώσεις και τα αδρανή που την αποτελούν είναι πάντα καλύτερα σε ποιότητα από αυτά της υπόβασης.

Στόχος της είναι:

- ❖ Η παραλαβή και κατανομή των κυκλοφοριακών φορτίων από τις υπερκείμενες στρώσεις
- ❖ Η ελάττωση των τιμών των θλιπτικών τάσεων που δρουν κάθετα, με σκοπό την αποφυγή μεγάλων παραμορφώσεων
- ❖ Η ενίσχυση του οδοστρώματος ως προς τη δυσκαμψία και την αντοχή του σε κόπωση
- ❖ Η δημιουργία κατάλληλης επιφάνειας για έδραση των επιφανειακών στρώσεων
- ❖ Η καλή συμπύκνωση, συνεπώς και η αποφυγή μεγάλων παραμορφώσεων

2.3.3 Υπόβαση

Η υπόβαση είναι μια στρώση που κατασκευάζεται πάνω στο έδαφος ή στην εξυγιαντική στρώση. Δεν είναι απαραίτητη σε όλες τις περιπτώσεις, καθώς αν το έδαφος είναι πολύ καλό, έχει δηλαδή CBR πάνω από 7%, μπορεί και να παραληφθεί και να κατασκευαστεί απευθείας η βάση. Το πάχος της καθορίζεται από τη μελέτη διαστασιολόγησης, αλλά θα πρέπει να είναι τέτοιο που να αποκλείει την ανάπτυξη υψηλών τάσεων στη στρώση έδρασης, ιδίως κατά την κατασκευή από τα εργοταξιακά οχήματα.

Αποτελείται από επιλεγμένα κοκκώδη εδαφικά υλικά. Συνήθως είναι άθραυστα (ή και θραυστά) αδρανή φυσικών αποθέσεων, δηλαδή αμμοχάλικα (ΠΤΠ Ο-150) (ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-03-00 2009). Σε κάποιες περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σταθεροποιημένα εδαφικά υλικά με τσιμέντο ή ασβέστη ως συνδετικό υλικό.

Ο ρόλος της στρώσης αυτής είναι ιδιαίτερα σημαντικός, αφού όχι μόνο μεταβιβάζει στο έδαφος τα φορτία και προσφέρει στα οχήματα του εργοταξίου μια ομαλή κυκλοφορία, αλλά προστατεύει και τα υλικά της βάσης από ουσίες του εδάφους, όπως αργίλους, εδαφικά υλικά κ.α. Επίσης λειτουργεί και ως αντιπαγετική και κάποιες φορές και ως αποστραγγιστική στρώση. Πιο συγκεκριμένα προστατεύει το υπέδαφος από επιφανειακά ύδατα που μπορεί να διαπεράσουν τις άνω στρώσεις, ειδικά όταν οι ασφαλτικές στρώσεις έχουν μικρό πάχος. Για να λειτουργήσει, όμως, σαν στραγγιστική στρώση πρέπει να προστεθεί υδρομονωτική μεμβράνη κάτω από την υπόβαση και πάνω από τη στρώση έδρασης. Αυτή αποκλείει την πιθανότητα να μεταφερθούν λεπτόκοκκα υλικά από το έδαφος στην υπόβαση, προστατεύει τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους και αποτρέπει τη διόγκωσή του από την υγρασία που δημιουργούν τα επιφανειακά νερά (AASHTO 1993). Τέλος, στις περιπτώσεις που η υπόβαση έχει ρόλο αποστραγγιστικής στρώσης, είναι επιθυμητό να ελέγχεται η ταχύτητα αποστράγγισής της.

2.3.4 Εξυγιαντική στρώση

Έτσι καλείται η στρώση που τοποθετείται πάνω από το έδαφος και κάτω από την υπόβαση και στόχος της είναι να βελτιώσει τη φέρουσα ικανότητα του εδάφους, προστατεύοντάς το παράλληλα από της επιπτώσεις των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της κατασκευής και να δημιουργήσει μια κατάλληλη επιφάνεια στην οποία θα εδρασθεί το οδόστρωμα. Σημαντικό, βέβαια, είναι να αναφερθεί πως η στρώση αυτή δεν αποτελεί μέρος του οδοστρώματος. Η κατασκευή της είναι επιθυμητή όταν στο έδαφος συναντάται CBR μικρότερο του 5%, ενώ απαραίτητη όταν το CBR είναι μικρότερο του 2.5%. Τέτοιες περιπτώσεις παρουσιάζονται όταν το οδόστρωμα κατασκευάζεται πάνω σε γαιώδες όρυγμα ή σε φυσικό έδαφος και σπανιότερα σε γαιώδες επίχωμα.

Η εξυγιαντική στρώση αποτελείται συνήθως από επιλεγμένα κοκκώδη εδαφικά υλικά ή γενικώς επιλεγμένα κοκκώδη υλικά, καθώς και απορριπτά υλικά από ανθρακωρυχεία. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με της υπόβασης. Ορισμένες φορές στην εξυγιαντική στρώση μπορεί να χρησιμοποιηθούν υλικά σταθεροποιημένα με τσιμέντο ή υδράσβεστο, τα οποία είτε αποτελούν εξ ολοκλήρου τη στρώση, είτε συνδυάζονται με τα επιλεγμένα κοκκώδη. Σημειώνεται πως δεν υφίσταται στρώση εξυγιάνσης με συνδυασμό παραπάνω των δύο εδαφικών υλικών (Εγνατία Οδός Α.Ε. 1998).

Σε κάποιες περιπτώσεις απαιτείται απομάκρυνση εδαφικού υλικού για την κατασκευή της, και ιδίως αν το CBR είναι μικρότερο του 2%, όπου εκεί απομακρύνεται πάχος στρώσης περίπου 50-100cm. Σε περίπτωση χρήσης εξυγιαντικής στρώσης σε επίχωμα, τα υλικά τοποθετούνται απευθείας στο εδαφικό υλικό και πρέπει να δοθεί βάση στο να μην αλλάξει το υψόμετρο της στρώσης έδρασης που έχει αποφασισθεί, εξαιτίας της προσθήκης της εξυγιαντικής στρώσης.

Γενικά το πάχος της στρώσης εξυγιάνσης προκύπτει από την αντίστοιχη μελέτη διαστασιολόγησης του οδοστρώματος, αλλά συνήθως για CBR 2-4% το πάχος κυμαίνεται από 30-60cm. Ειδικότερα για τιμή CBR<3% το πάχος ορίζεται συνήθως στα 60cm, ενώ για CBR μεγαλύτερο το πάχος είναι σαφώς μειωμένο περί τα 30cm. Μία μέθοδος υπολογισμού του πάχους με βάση το CBR του υπεδάφους είναι η Βρετανική. Για την εφαρμογή της απαιτείται υπόβαση τουλάχιστον 15cm (ΟΜΟΕ 11 n.d.).

2.3.5 Στρώση έδρασης

Το έδαφος είναι σχεδόν πάντα συμπυκνωμένο σε τέτοιο βαθμό, ώστε να εξασφαλίζεται η ζητούμενη φέρουσα ικανότητα. Το βάθος στο οποίο πραγματοποιείται η επεξεργασία είναι ανάλογο των κυκλοφοριακών φορτίων της κάθε οδού. Η στρώση συμπυκνωμένου εδάφους που δημιουργείται ονομάζεται στρώση έδρασης και συντελεί στη μείωση των υποχωρήσεων

και κατά συνέπεια στη μείωση του απαιτούμενου πάχους του οδοστρώματος. Σε πολύ λίγες περιπτώσεις η στρώση έδρασης μπορεί να ταυτιστεί με το φυσικό έδαφος, όταν δηλαδή το έδαφος δεν έχει υποστεί καμία επεξεργασία.

2.4 Χαρακτηριστικές ιδιότητες εδαφικών υλικών

2.4.1 Δείκτης CBR

Ο προσδιορισμός του Καλιφορνιακού Δείκτη Φέρουσας Ικανότητας (California Bearing Ratio, CBR) είναι ουσιαστικά μια εμπειρική δοκιμή διείδυσης, με την οποία δίνεται μια εκτίμηση της μηχανικής αντοχής του εδάφους στα επίπεδα της βάσης και της υπόβασης. Ο δείκτης CBR χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από το Υπουργείο Μεταφορών της Καλιφόρνιας το 1928, εξού και η ονομασία του, ενώ δημιουργός του ήταν ο O.J. Porter. Στόχος του δείκτη ήταν να αξιολογήσει τα εδάφη ως υλικά έδρασης στην οδοποιία, ενώ στη συνέχεια αξιοποιήθηκε και από τις Αμερικάνικες δυνάμεις του Β Παγκοσμίου πολέμου για τα υλικά των αεροδιαδρόμων.

Ως CBR ορίζεται ο λόγος της απαιτούμενης για τη διείδυση του εμβόλου στο εδαφικό υλικό δύναμης προς την αντίστοιχη δύναμη που θα απαιτούνταν σε ένα πρότυπο υλικό, σε ποσοστό επί τοις εκατό. Γενικά ενδιαφέρει το CBR ασύνδετων υλικών στη φυσική τους κατάσταση και υγρασία, χωρίς διατάραξη.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2-1) παρουσιάζεται το εύρος τιμών CBR ανάλογα με την κατηγορία του εδαφικού υλικού.

Πίνακας 2-1 Εύρος τιμών CBR σε σχέση με την κατηγορία του εδαφικού υλικού (AASHTO T 193 2003)

Τύπος εδαφικού υλικού	Κατηγορία εδάφους (σύμβολο)	Εύρος τιμής CBR
Χονδρόκοκκο	Καλά διαβαθμισμένοι χάλικες ή αμμοχάλικες με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα (GW)	40 – 80
	Ομοιόμορφοι χάλικες ή αμμοχάλικο με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα (GP)	30 – 60
	Πυώδεις χάλικες. Μίγματα χαλικιών-άμμου-αργίλου (GM)	20 – 60
	Αργυλώδεις χάλικες. Μίγματα χαλικιών-άμμου-αργίλου (GC)	20 – 40
	Καλά διαβαθμισμένες άμμοι ή αμμοχάλικα με λίγα λεπτόκοκκα (SW)	20 – 40
	Ομοιόμορφοι άμμοι ή αμμοχάλικα με λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα (SP)	10 – 40
	Πυώδεις άμμοι. Μίγματα άμμου-ιλύος (SM)	10 – 40
	Αργυλώδεις άμμοι. Μίγματα άμμου-αργίλου (SC)	5 – 20
Λεπτόκοκκο	Ανόργανες ιλεις πολύ λεπτές άμμοι, ιλυώδεις και αργυλώδεις άμμοι (ML)	≤ 15
	Ανόργανες άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας (CL LL < 50%)	≤ 15
	Οργανικές ιλεις πολύ λεπτές άμμοι, ιλυώδεις και αργυλώδεις άμμοι (OL)	≤ 5
	Ανόργανες συχνά μαρμαρυγιακές ιλεις υψηλής πλαστικότητας (MH)	≤ 10
	Ανόργανες άργιλοι υψηλής πλαστικότητας (CH LL > 50%)	≤ 15
	Οργανικές άργιλοι μέσης έως υψηλής πλαστικότητας (OH)	≤ 5

Ο προσδιορισμός του γίνεται είτε με επί τόπου μέτρηση στο έργο, είτε με εργαστηριακές δοκιμές.

- ❖ Επί τόπου μέτρηση: Όπως είναι φανερό, η μέτρηση πραγματοποιείται απευθείας στην επιφάνεια του οδοστρώματος με χρήση μιας συσκευής που ονομάζεται δυναμομετρικός δακτύλιος με έμβολο και είναι συνδεδεμένη με φορητό που έχει το ρολό του αντίβαρου (Εικόνα 2-6).



Εικόνα 2-6 Επί τόπου δοκιμή CBR (www.subsurface.co.uk)

Η δοκιμή εκτελείται σε πολλά σημεία του έργου, καθώς παράγοντες όπως η διαφορετική κοκκομετρία του υλικού, το ποσοστό υγρασίας και η τυχόν διόγκωση του εδάφους διαφοροποιούν κατά πολύ την τιμή του δείκτη.

Για να εκτελεστεί, όμως, η δοκιμή συνίσταται να πραγματοποιηθούν τα παρακάτω βήματα:

- Δειγματοληψία εδάφους με σκοπό την ανάλυση της κοκκομετρίας του και τον προσδιορισμό του δείκτη πλαστικότητας
- Επί τόπου δοκιμή για εύρεση πυκνότητας και βαθμού συμπίκνωσης του υλικού
- Εύρεση της φυσικής υγρασίας του εδάφους και σύγκρισή της με τη βέλτιστη κατά Proctor (Μαρσέλλος 1990)

Η επί τόπου δοκιμή γίνεται στα υλικά στην πραγματική τους μορφή, χωρίς καμία επέμβαση στην κοκκομετρία ή την υγρασία τους.

Τέλος, η δοκιμή έχει διάρκεια περίπου 0,5-1 ώρα.

- ❖ Εργαστηριακή δοκιμή: Πραγματοποιείται σε δοκίμια ομοιόμορφα, που έχουν συμπυκνωθεί και βρίσκονται στη βέλτιστη υγρασία και με δεδομένη ενέργεια συμπίκνωσης, σε αντίθεση με την επί τόπου δοκιμή, όπου η υγρασία και ο βαθμός συμπίκνωσης εξαρτώνται από τις διελεύσεις του οδοστρωτήρα.

Τα δοκίμια υφίστανται υδρεμποτισμό τεσσάρων ημερών, ώστε να προσομοιάζουν κορεσμένο έδαφος από έντονα καιρικά φαινόμενα που πιθανόν να συμβούν στη διάρκεια ζωής του έργου.

Το εκάστοτε υλικό πρώτα περνά από κόσκινο 3/4" (19mm) και το χονδρόκοκκο υλικό που συγκρατείται από το κόσκινο αντικαθίσταται με υλικό συγκρατούμενο από κόσκινο Νο. 4 (4,75mm).

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως η εργαστηριακή δοκιμή είναι χρονοβόρα.

2.4.2 Δοκιμή Los Angeles

Η δοκιμή Los Angeles έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό της αντοχής των χονδρόκοκκων κλασμάτων αδρανών υλικών στο θρυμματισμό και πρόκειται στην ουσία για μια δοκιμή θρυμματισμού με τριβή και κρούση.

Η συσκευή με την οποία πραγματοποιείται η δοκιμή ονομάζεται Los Angeles και περιλαμβάνει ένα κοίλο τύμπανο, κλειστό στα άκρα του, που κατασκευάζεται από ελάσματα χάλυβα. Στο άνω μέρος του τυμπάνου κατασκευάζεται άνοιγμα για την εισαγωγή και εξαγωγή του δείγματος και η συσκευή συνδέεται με ένα μοτέρ που της μεταδίδει την απαιτούμενη ταχύτητα. Μέσα στη μηχανή βρίσκονται χαλύβδινες σφαίρες. Η δοκιμή πραγματοποιείται με βάση το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1097 – 02 : 1998.

Αρχικά επιλέγεται υλικό βάρους περίπου 5000g και κατάλληλης αναλόγως την περίπτωση διαβάθμισης και ξηραίνεται στους 110°C. Ανάλογα με τη διαβάθμιση του υλικού επιλέγεται ο αριθμός των στροφών που πρόκειται να πραγματοποιηθούν, και είναι 500 ή 1000. Το δείγμα τοποθετείται μαζί με τις σφαίρες στη μηχανή και αφού ολοκληρωθούν οι στροφές κοσκινίζεται σε κόσκινο Νο12. Το συγκρατούμενο υλικό πλένεται, ξηραίνεται ξανά στους 110°C και ζυγίζεται. Η διαφορά του τελικού από το αρχικό βάρος δείγματος, σε ποσοστό επί τοις εκατό, δηλώνει το ζητούμενο ποσοστό φθοράς του υλικού.

Ο συντελεστής Los Angeles προσδιορίζεται από τη σχέση (Λοΐζος and Πλατή 2021):

$$LA = \frac{(A - B)}{A} \quad (2.1)$$

Όπου:

A= αρχική μάζα δείγματος

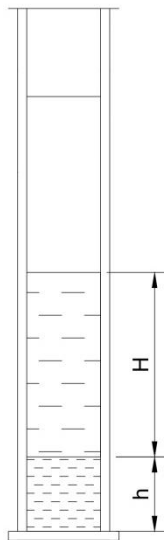
B= η μάζα του δείγματος που συγκρατείται στο κόσκινο ανοίγματος 1,6mm

Γενικώς προτείνεται στρογγυλοποίηση του αποτελέσματος ως προς τον άνω ακέραιο αριθμό.

2.4.3 Δοκιμή Ισοδύναμου Άμμου

Η δοκιμή ισοδύναμου άμμου αδρανών υλικών έχει ως στόχο τον προσδιορισμό των ποσοτήτων επιβλαβούς λεπτόκοκκου υλικού, όχι απαραίτητα αργιλικού, εάν αυτό περιλαμβάνεται στα αδρανή. Γενικά τα αργιλικά υλικά δεν είναι επιθυμητά στα αδρανή, καθώς έχουν την τάση να περιβάλλουν τα υλικά με μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων και να δημιουργούν λίπανση στις μεταξύ τους επιφάνειες. Η δοκιμή πραγματοποιείται με βάση το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 933 – 08 : 1997.

Αρχικά το υλικό, το οποίο είναι κατάλληλου μεγέθους ώστε να διέρχεται από κόσκινο Νο4, ξηραίνεται σε θερμοκρασία 110°C. Στη συνέχεια το διάλυμα τοποθετείται σε ειδικό σωλήνα και σε ύψος 90cm. Μεταφέρεται σε άλλο σωλήνα όπου και ανακινείται για να εξαφανισθούν τυχόν φυσαλίδες και αφήνεται σε ηρεμία για 10 λεπτά. Αφού περάσει ο χρόνος ηρεμίας, μια ειδική συσκευή ανάδευσης αναλαμβάνει εκτελώντας 90+-3 παλινδρομικές κινήσεις σε 45+- 1 δευτερόλεπτα και αμέσως μετά ξεπλένεται η άμμος. Είναι σημαντικό να απομακρυνθεί όλη η ποσότητα άμμου, έως ότου η στάθμη φτάσει τις 15in, όπου τότε ο σωλήνας αφήνεται ξανά σε ηρεμία για 20 λεπτά. Τέλος, σημειώνεται το ύψος H της αργίλου και το ύψος h της άμμου (Εικόνα 2-7).



Εικόνα 2-7 Δοκιμή Ισοδύναμου άμμου

Το ισοδύναμο άμμου υπολογίζεται από τη σχέση (Λοΐζος and Πλατή 2018):

$$SE = [h/(h + H)] \times 100 \quad (2.2)$$

Γενικώς προτείνεται στρογγυλοποίηση του αποτελέσματος ως προς τον άνω ακέραιο αριθμό.

Υψηλότερη τιμή ισοδύναμου άμμου σημαίνει καλύτερης ποιότητας αδρανές υλικό.

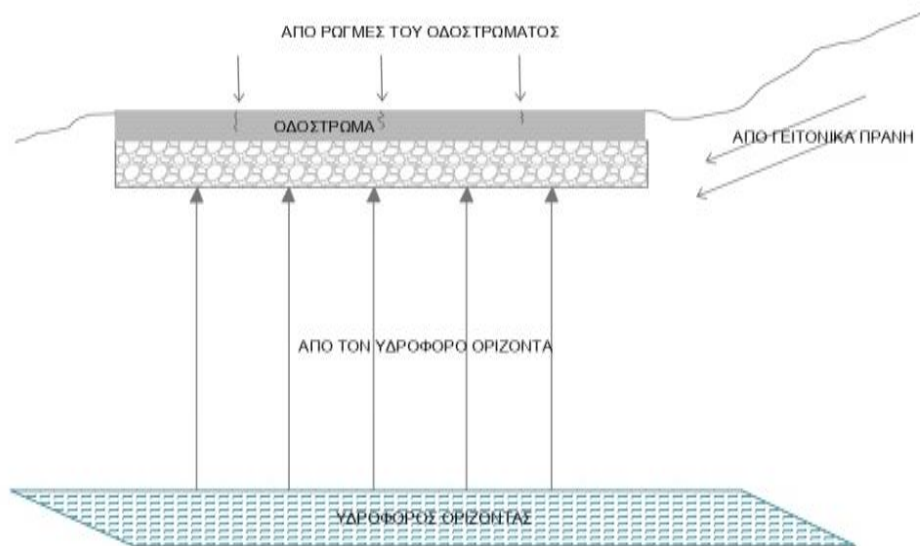
2.5 Παρουσία υδάτων στην οδό και αποστράγγιση

Η παρουσία ομβρίων υδάτων και υδάτων από άλλες πηγές στην οδό αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει τη λειτουργικότητα και τη διάρκεια ζωής της και μπορεί να προκαλέσει ποικίλα προβλήματα σε όλα τα στάδια κατασκευής της. Επιπρόσθετα επηρεάζει το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της οδού, ενώ παράλληλα έχει επιπτώσεις στη φέρουσα ικανότητα του οδοστρώματος και του εδάφους και στην οδική ασφάλεια. Οι παραπάνω επιπτώσεις εξαρτώνται από το μήκος του δρόμου, καθώς κάθε σημείο του μπορεί να επηρεαστεί διαφορετικά από την ύπαρξη νερού, αλλά κυρίως από τον τρόπο εισροής των υδάτων.

Επομένως, με κριτήριο τον τρόπο εισροής των νερών δημιουργούνται τρεις βασικές κατηγορίες:

- ❖ Τα ύδατα της οδού, δηλαδή τα όμβρια νερά που προέρχονται από βροχοπτώσεις και από λιώσιμο πάγων, τα οποία εισέρχονται απευθείας στο οδόστρωμα ή το επίχωμα.
- ❖ Τα ύδατα του κοντινού περιβάλλοντος, προερχόμενα δηλαδή από κοντινά πρανή ή με ροή προς το επίχωμα της οδού, τα οποία να μεν έχουν ίδια προέλευση με την παραπάνω κατηγορία, αλλά εισέρχονται έμμεσα και όχι απευθείας στην οδό.
- ❖ Τα απομακρυσμένα ύδατα, που αφορούν το γενικότερο περιβάλλον της οδού, αλλά παράλληλα περνούν από τη γραμμή του δρόμου και προέρχονται από ποτάμια, ρυάκια, λίμνες, υπόγεια ύδατα κλπ.

Γενικά οι κύριες μορφές που αξίζει να μελετηθούν είναι το ελεύθερο νερό, το τριχοειδές νερό, οι υδρατμοί, η επιφανειακή υγρασία, καθώς και τα ύδατα από λιώσιμο των πάγων ή από τυχαίες διαφοροποιήσεις του υδροφόρου ορίζοντα. Τα εισερχόμενα ύδατα μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν σε επιφανειακά και υπόγεια. Τα πρώτα διηθούνται στο οδόστρωμα μέσω διαφόρων αρμών, ρωγμών ή και κενών του οδοστρώματος. Ένας ακόμα πιθανός τρόπος να εισέλθει το νερό στο οδόστρωμα είναι από τάφρους που έχουν κατασκευαστεί στα άκρα του. Τα υπόγεια ύδατα προϋπάρχουν στο φυσικό έδαφος και συγκεκριμένα κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα.



Εικόνα 2-8 Τρόποι εισόδου των υδάτων στην οδό

Δημιουργούνται, έτσι, δύο βασικά προβλήματα προς επίλυση. Το πρώτο είναι η προστασία του οδοστρώματος από την είσοδο υδάτων στις διάφορες στρώσεις και το δεύτερο η εξασφάλιση της απορροής του νερού.

Για να αποφευχθεί η είσοδος υδάτων στο οδόστρωμα συνίσταται:

- ❖ Υγρομόνωση του επιφανειακού στρώματος με ποικιλία αδιαπέρατων υλικών, μέθοδος που δεν είναι απολύτως αποτελεσματική.
- ❖ Προσθήκη τσιμέντου ή ασβέστη στο υπόστρωμα της οδού και σταθεροποίησή του. Έτσι διασφαλίζεται μια σχετικά σταθερή τιμή φέρουσας ικανότητας, ακόμα και σε περίπτωση αυξημένης περιεκτικότητας σε νερό, αλλά παράλληλα μειώνεται σε μεγάλο βαθμό η διαπερατότητα και η διαδικασία συνοδεύεται από αυξημένο κόστος.
- ❖ Κατασκευή οδοστρώματος με κατάλληλες επικλίσεις που κυμαίνονται από 1,5 έως 2,5%.

Για την εύκολη απορροή του νερού, επιφανειακού ή υπόγειου, συνίσταται η κατασκευή επιφανειακών ή υπόγειων συστημάτων αποστράγγισης.

2.6 Συστήματα αποστράγγισης

2.6.1 Γενικά

Ως συστήματα αποστράγγισης ορίζονται τα τεχνικά έργα και τα υλικά που, παράλληλα με τα μέτρα που έχουν ληφθεί για τη στεγανοποίηση της εκάστοτε οδού, απομακρύνουν τα ύδατα από τις στρώσεις του οδοστρώματος. Δεν είναι σύνηθες να καλύπτονται οι ανάγκες της οδού σε αποστράγγιση σε όλα τα τμήματά της από ένα είδος τεχνικού έργου. Για το λόγο αυτό, συνήθως τα έργα αλληλοσυμπληρώνονται για να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Σκοπός των συστημάτων αποστράγγισης είναι ουσιαστικά να προστατέψουν τις οδικές κατασκευές από την παρουσία νερού και αποτελούν έργα που πρέπει να προβλέπονται και σε εύκαμπτα, αλλά και σε δύσκαμπτα οδοστρώματα. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει στο παρελθόν προκύπτει το συμπέρασμα πως ένα οδόστρωμα χωρίς έργα αποστράγγισης υφίσταται 15 φορές μεγαλύτερη βλάβη από ένα με επαρκή συστήματα αποστράγγισης (Rokade, Agarwal και Shrivastava 2012).

2.6.2 Επιφανειακή αποστράγγιση

Επιφανειακή αποστράγγιση σημαίνει στην ουσία διαμόρφωση της επιφάνειας της οδού με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να επιταχύνεται η ροή των υδάτων προερχόμενων από βροχόπτωση ή λιώσιμο πάγων. Στη συνέχεια τα νερά αυτά πρέπει να συγκεντρώνονται σε κοντινά σημεία συλλογής. Οι αποστάσεις υδροσυλλογών και γενικότερα η επιφανειακή αποστράγγιση σχεδιάζεται και κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η κατάκλιση του οδοστρώματος να μην ξεπερνά τις επιτρεπόμενες τιμές, όπως αυτές ορίζονται από τους κανονισμούς (Κυριαζόπουλος 2021).

Τα έργα επιφανειακής αποστράγγισης περιλαμβάνουν επιφανειακά και υπόγεια έργα που συμβάλλουν στη διαχείριση των επιφανειακών υδάτων και κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- ❖ Γραμμικά έργα συλλογής και μεταφοράς υδάτων: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα ρείθρα και οι τάφροι. Τα έργα αυτά συλλέγουν τα όμβρια ύδατα όχι μόνο από την επιφάνεια του οδοστρώματος, αλλά και από πρηνή ορυγμάτων ή ανάντη αυτών. Τα ρείθρα συναντώνται συνήθως σε αστικές περιοχές και είναι τοποθετημένα είτε κατά μήκος της οδού, είτε σε κάποια διαχωριστική νησίδα ή ακόμα και σε ερείσματα. Στόχος τους είναι να συλλέγουν τα νερά και να τα μεταβιβάζουν σε φρεάτια υδροσυλλογής ή απευθείας στην εκβολή. Υποκατηγορίες ρείθρων είναι τα ανοικτά ρείθρα που περιλαμβάνουν τα κρασπεδόρειθρα και τα κοίλα ρείθρα και τα κλειστά που αποτελούνται από τα κιβωτοειδή ρείθρα, τα ρείθρα σχισμής και τέλος τα

βαθμιδωτά ρείθρα. Τα τελευταία οδηγούν σε τάφρο αποχέτευσης ή εκβολή στην απορροή κάποιου πιθανού αγωγού που εκβάλλει στο πρανές.

Οι τάφροι είναι επιφανειακά έργα για ανοιχτή αποχέτευση ομβρίων. Διακρίνονται σε υποκατηγορίες, με κάθε μία να έχει τη δική της χρήση. Αυτές είναι:

- Αβαθείς πλευρικές τάφροι: Έχουν σχήμα τριγωνικό η τραπεζίου και συναντώνται συνήθως σε υπεραστικές περιοχές και προστατεύουν τα πρανή από πιθανή διάβρωση από επιφανειακά ύδατα, όπου αυτό είναι απαραίτητο. Ασφαλέστερο για την κυκλοφορία είναι το τραπεζοειδές σχήμα που συνδυάζεται και με καλύτερη παροχετευτικότητα. Έτσι προκύπτει ότι το τριγωνικό σχήμα προτιμάται μόνο όταν συντρέχουν κατασκευαστικοί περιορισμοί. Κατασκευάζονται με βάθος 20cm και κλίση 1:6 και επενδύονται κατά κανόνα με σκυρόδεμα.
- Τάφροι αποχέτευσης: Προσομοιάζουν τις αβαθείς πλευρικές τάφρους ως προς το σκοπό τους, με τη διαφορά ότι παρέχουν λιγότερη ασφάλεια, αλλά εξασφαλίζουν μεγαλύτερη παροχετευτικότητα. Έχουν και αυτές σχήμα τριγωνικό ή τραπεζίου με πλάτος 50cm, ενώ βάθος το πολύ 50cm. Η κλίση τους είναι κατά κανόνα 1:3.
- Τάφροι ορυγμάτων: Προστατεύουν, όπως φαίνεται και από την ονομασία τους, τα πρανή ορυγμάτων από ύδατα εισερχόμενα από ανάντη λεκάνη. Οι τάφροι ορυγμάτων περιλαμβάνουν τις τάφρους οφρύος, τάφρους διακοπής και τάφρους ποδός (ή αναχαίτισης).

Τάφροι οφρύος: Συναντώνται στο «φρύδι» των πρανών στα ορύγματα και έχουν πλάτος πυθμένα τουλάχιστον 30cm και βάθος 20-50cm.

Τάφροι διακοπής: Κατασκευάζονται ενδιάμεσα στο ύψος του πρανούς του ορύγματος και πιθανόν να χρειάζονται στεγανοποίηση.

Τάφροι αναχαίτισης: Κατασκευάζονται στον πόδα του πρανούς είτε με είτε χωρίς τοίχο αναχαίτισης και στόχος τους είναι να συγκρατούν τα προϊόντα που πέφτουν από τα βραχώδη ορύγματα, καθώς και να συλλέγουν τα ύδατα από το πρανές και να τα οδηγούν σε κάποιον αποδέκτη.
- Τάφροι συνέχειας: Μεταφέρουν τη ροή από τάφρους που ανήκουν στις παραπάνω κατηγορίες σε άλλους αποδέκτες, όπως παραδείγματος χάριν υδατορεύματα. Έχουν τραπεζοειδές σχήμα και το πλάτος τους είναι τουλάχιστον 50cm, όπως και το βάθος τους.
- Τάφροι επιχωμάτων: Προστατεύουν τα πρανή από προσπίπτοντα νερά. Οι τάφροι επιχωμάτων περιλαμβάνουν τάφρους ερείσματος, τάφρους διακοπής και τάφρους ποδός.

- ❖ Κομβικά έργα συλλογής υδάτων: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα φρεάτια εισροής , τα οποία συγκεντρώνουν τα ύδατα από τα ρείθρα και τις τάφρους και, μέσω αγωγών, τα μεταφέρουν στον αποδέκτη. Είναι κατασκευασμένα από σκυρόδεμα ή από προκατασκευασμένα τυποποιημένα τεμάχια.
- ❖ Έργα υπόγειας μεταφοράς: Εδώ συναντώνται στεγανοί αγωγοί, καθώς και τα φρεάτια αυτών.
- ❖ Έργα τελικής διάθεσης: Τέτοια είναι τα φρεάτια πτώσης και ηρεμίας, που περιορίζουν την ταχύτητα ροής όπου αυτό είναι αναγκαίο, τα αντλιοστάσια, οι τάφροι συνέχειας και τα βαθμιδωτά ρείθρα.
- ❖ Άλλα ειδικά έργα: Δεξαμενές διήθησης
- ❖ Επιφανειακά στραγγιστήρια: Πρόκειται ουσιαστικά για ένα αυλάκι που εκτείνεται παράλληλα στην οδό και είναι σκεπασμένο. Συνήθως περιβάλλεται με υλικό φίλτρου.

Όλα αυτά τα έργα είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και δημιουργούν ένα ενιαίο δίκτυο (Γαλάνης 2016).

2.6.3 Υπόγεια αποστράγγιση

Όταν δεν έχουν κατασκευαστεί τα κατάλληλα έργα αποστράγγισης στην οδό είναι πιθανή η συγκέντρωση υπόγειων υδάτων στο σώμα της. Αυτό έχει ως συνέπεια την φθορά του οδοστρώματος και των επιμέρους στοιχείων της οδού, δηλαδή πρανών και ερεισμάτων (Diafenderfer, Galal and Mokarem 2005).

Ειδικότερα στα εύκαμπτα οδοστρώματα, το υπόγειο νερό που συσσωρεύεται στη βάση και στην υπόβαση συμβάλλει στην ανάπτυξη πιέσεων πόρων, εξασθενώντας την αντοχή του οδοστρώματος και μειώνοντας τη φέρουσα ικανότητά του. Επιπλέον, όταν οι προαναφερθείσες στρώσεις αποτελούνται από λεπτόκοκκα υλικά και το νερό εγκλωβιστεί στο σώμα της οδού, είναι πιθανό να παρατηρηθεί το φαινόμενο της παγοπληξίας (Arika, Canelon and Nieber 2009).

Όσον αφορά τα επιμέρους στοιχεία της οδού, συχνή επίπτωση της παρουσίας νερού είναι η κατολίσθηση πρανών.

Σκοπός των έργων υπόγειας αποστράγγισης είναι η απομάκρυνση των υπογείων νερών από την οδό. Με βάση τη θέση τους στο έργο και την δομή που αποστραγγίζουν κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- ❖ Έργα μονοδιάστατης λειτουργίας:
 - Αγωγοί στραγγιστηρίων: Κατασκευάζονται κάτω από τα ερείσματα.

- Γραμμικά στραγγιστήρια: Εδράζονται κάτω από τη στρώση στράγγισης και σκοπός τους είναι να μεταφέρουν τα εδαφικά ύδατα μετά την αποστράγγιση στις καθορισμένες θέσεις τους ή σε φυσικούς αποδέκτες και συνήθως κατασκευάζονται από αδρανές υλικό φίλτρου καθορισμένης κοκκομετρίας.

Τα κατά μήκος στραγγιστήρια εδράζονται πλευρικά της οδού, μόνο όπου η διατομή είναι σε όρυγμα, ή πάνω στο έδαφος και σε κεντρικές νησίδες. Ξεκινούν από το επίπεδο της βάσης ή της υπόβασης και φθάνουν σε βάθος μεγαλύτερο των 60cm.

Τα εγκάρσια γραμμικά στραγγιστήρια τοποθετούνται στην εναλλαγή της διατομής από όρυγμα σε επίχωμα.

Τα γραμμικά στραγγιστήρια φίλτρου (σωληνωτά) είναι στην ουσία αγωγοί εγκιβωτισμένοι σε υλικό φίλτρου καθορισμένης κοκκομετρίας και διακρίνονται σε ευρείας διατομής από 30 έως 60cm και σε στενής διατομής από 15 έως 20cm. Η εσωτερική τους διάμετρος πρέπει να είναι τουλάχιστον 20cm και σχεδόν πάντα συνδέονται με κάποιο φρεάτιο υδροσυλλογής ή με τάφρο.

Τα γραμμικά πλαστικά στραγγιστήρια προσομοιάζουν στο σκοπό με τα γραμμικά φίλτρου και αποτελούνται από δύο γεωυφάσματα που μεταξύ τους βρίσκεται μάζα διαπερατών υλικών. Στο κάτω μέρος κατασκευάζεται πλαστικός αγωγός με διάμετρο 10-15cm. Προτιμώνται έναντι των γραμμικών στραγγιστηρίων φίλτρου, καθώς απαιτούν μικρότερο πλάτος σκάμματος που γεμίζεται με εδαφικό υλικό, έχουν γρηγορότερη διαδικασία κατασκευής και απομακρύνουν ταχύτερα τα ύδατα. Τέλος, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής εξαιτίας των γεωυφασμάτων.

Τα γραμμικά στραγγιστήρια με μικρό μήκος και παροχή μπορεί να εκβάλλουν στο έδαφος, ενώ αυτά με μεγαλύτερο μήκος και παροχή οφείλουν να συνδέονται με φρεάτια ή άλλους ανάλογους αποδέκτες.

- ❖ Έργα δυσδιάστατης λειτουργίας: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι στραγγιστικές στρώσεις, είτε για παράλληλη είτε για κάθετη στην επιφάνεια ροή. Σε αυτές ανήκουν:
 - Στρώση αποστράγγισης οδοστρώματος: Πρόκειται ουσιαστικά για φίλτρα που κατασκευάζονται κάτω από το οδόστρωμα και εκτείνονται σε όλο το πλάτος της οδού και μεταφέρουν το νερό σε κάποιον πιθανό αποδέκτη. Εκτενής ανάλυση παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.
 - Στρώση αποστράγγισης πρανούς: Συμβάλλει στην προστασία του φυσικού εδάφους από υπόγεια διάβρωση διευκολύνοντας την απομάκρυνση του νερού από την εδαφική στρώση του πρανούς. Η στρώση κατασκευάζεται ως φίλτρο απλής ή πολλαπλής διαβάθμισης με πάχος ανάλογο των συνθηκών της περιοχής και της ευστάθειας του πρανούς. Σε πρανή μέχρι 6m το πάχος της

στρώσης πρέπει να ξεπερνά τα 50-60cm στη στέψη και το 1m στον πόδα του πρανούς και η κατασκευή της οφείλει να συνοδεύεται από κάλυψη με συνεκτικό έδαφος και ανάλογη φυτοκάλυψη, με σκοπό την αποφυγή διήθησης των επιφανειακών υδάτων. Για πρανή ύψους άνω των 6m το απαιτούμενο πάχος απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση. Η κλίση του πρανούς καθορίζεται ανάλογα με τη διατμητική αντοχή του υλικού του φίλτρου και με την πίεση ροής. Τα νερά που συλλέγονται αποβάλλονται από το πρανές μέσω αποστραγγιστικού σωλήνα (δηλ. γραμμικού στραγγιστηρίου) που κατασκευάζεται στον πόδα του πρανούς, με διάμετρο τουλάχιστον 30cm.

- Προστατευτικό πέτασμα αποστράγγισης: Αποτελεί στρώση αποστράγγισης, η οποία τοποθετείται κάθετα στο κεκλιμένο πρανές και μειώνοντας την πίεση του νερού, βελτιώνει την ευστάθεια του πρανούς. Σε αντίθεση με τη στρώση αποστράγγισης πρανούς έχει σχετικά μικρό πλάτος και μεγάλο βάθος. Το ελάχιστο πλάτος του είναι 1,20m.

Συνδυάζεται κατά κανόνα με στραγγιστήριο σωλήνα με διάμετρο τουλάχιστον 20cm στο κάτω τμήμα του, καθώς επίσης περιλαμβάνει προστατευτικό πέτασμα αποτελούμενο από ασύνδετα (π.χ. σκύρα) ή συμπαγή (π.χ. διαπερατό σκυρόδεμα- μονόκοκκο) υλικά. Το τελευταίο καλύπτεται από στρώση συνεκτικού υλικού με πάχος τουλάχιστον 20cm για να διατηρηθεί στεγανό.

Τα προστατευτικά πετάσματα οφείλουν να έχουν κατά μήκος απόσταση 10-20m μεταξύ τους, ανάλογα με τις επί τόπου συνθήκες.

- Στρώση βαθιάς αποστράγγισης: Η στρώση κατασκευάζεται με πάχος μεγαλύτερο των 100cm και σχεδόν πάντα συνοδεύεται από γραμμικό στραγγιστήριο. Στόχος της είναι να προστατεύσει το υπέδαφος από την πλευρική ροή υδάτων, ενώ του στραγγιστηρίου είναι να μεταφέρει προς την εκβολή το νερό που συλλέγεται από τη στρώση. Η κατασκευή της συνοδεύεται από κάλυψη με συνεκτικό έδαφος πάχους 20cm, με σκοπό την αποφυγή διείσδυσης των επιφανειακών υδάτων (ΓΤΣΥ-200).

2.6.4 Αποκατάσταση φυσικών ροών

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι γέφυρες και οι οχετοί.

- ❖ Οχετοί: Κατασκευάζονται κάτω από τα επιχώματα της οδού και ουσιαστικά αποκαθιστούν τις φυσικές ροές που τυχόν διακόπτονται από τα έργα οδοποιίας. Πρόκειται για μικρά τεχνικά έργα, με άνοιγμα μικρότερο των 6 μέτρων που κατασκευάζονται κατά βάση από προκατασκευασμένους σωλήνες από σκυρόδεμα,

άοπλο ή οπλισμένο, ή και από σωλήνες HDPE. Οι οχετοί που κατασκευάζονται απευθείας κάτω από την επιφάνεια κυκλοφορίας καλούνται οχετοί στέψης, αλλιώς οχετοί υπό επίχωση.

Τα επιμέρους είδη των οχετών είναι οι σωληνωτοί, που είναι κατάλληλοι για μικρές παροχές, οι πλακοσκεπείς, οι κιβωτοειδείς, οι θολωτοί, που εφαρμόζονται σε περιπτώσεις με επίχωμα μεγάλου ύψους και οι μεταλλικοί οχετοί, οι οποίοι παρουσιάζουν πλεονέκτημα εύκολης μεταφοράς και τοποθέτησης. Στην Ελλάδα προτιμώνται συχνά οι πλακοσκεπείς οχετοί (ΟΜΟΕ 2013).

3 ΣΤΡΩΣΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

3.1 Γενικά

Η στρώση στράγγισης οδοστρώματος είναι ουσιαστικά φίλτρα που στοχεύουν στην συγκέντρωση και μεταφορά των νερών σε γραμμικά στραγγιστήρια ή σε άλλους αποδέκτες, καθώς και στην ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα. Είναι τοποθετημένη κάτω από το οδόστρωμα και εκτείνεται σε όλο το πλάτος της υφιστάμενης οδού. Ειδικότερα, κατασκευάζεται μεταξύ εδάφους ή εξυγιαντικής στρώσης και βάσης/ υπόβασης και είναι συνδεδεμένη με γραμμικά στραγγιστήρια.

Πιο αναλυτικά, ο ρόλος της στρώσης αποστράγγισης είναι να συμβάλλει στην ταχύτερη απομάκρυνση του διηθημένου νερού από το οδόστρωμα, ενώ παράλληλα δυσχεραίνει την πλευρική διείσδυση και την τριχοειδή ανύψωση νερού στα στρώματα του οδοστρώματος (Παπασπύρου 2011). Είναι κυρίως χρήσιμη όταν ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται ψηλά και το υφιστάμενο έδαφος παρουσιάζει ευαισθησία στην υγρασία.

Η στρώση στράγγισης πρέπει να έχει εγκάρσια κλίση τουλάχιστον 4%, η οποία μπορεί να κατασκευαστεί είτε μονοκλινής είτε αμφικλινής και πάχος συνήθως περί τα 15cm και κατά προτίμηση 20cm (McGuffey and Christopher 1997).

Κατά μήκος ενός οδικού άξονα, στα σημεία όπου η ύπαρξη αποστραγγιστικών στρώσεων δεν είναι πλέον αναγκαία, οι υφιστάμενες στρώσεις στράγγισης καταλήγουν υπό μορφή σφήνας επί μήκους 10m και κατά μήκους κλίσης 20% (ΓΤΣΥ-200 n.d.).

3.2 Υλικά κατασκευής

Η αποστραγγιστική στρώση οδοστρώματος πρέπει να εξασφαλίζει επαρκή διαπερατότητα για τον εκτοπισμό των υδάτων, καθώς και σταθερό όγκο κατά τη φόρτιση της οδού. Εξαιτίας αυτών η στρώση πρέπει να αποτελείται από υλικά με καλή αντοχή και σκληρότητα, χωρίς αργλικές προσμίξεις. Στα πετρώματα που χρησιμοποιούνται δίνεται βάση στο πόσο ανθεκτικά είναι στο νερό, στην κατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση και στην όσο το δυνατόν απουσία λεπτόκοκκου υλικού. Γενικά η στρώση αποτελείται από χονδρόκοκκο θραυστό αδρανές με μεγαλύτερη διαπερατότητα από το υλικό οδοστρωσίας και μικρότερη από αυτό της τελικής στρώσης χωματοργικών.

Η αντοχή ενός πετρώματος μπορεί να ελεγχθεί είτε με δοκιμή απομείωσης σε απότριψη κατά Los Angeles, είτε με δοκιμή απώλειας βάρους κατά τη δοκιμή υγείας (ΠΕΤΕΠ:08-03-02-00 2006).

Τα φίλτρα, που λειτουργούν ως σύστημα υπόγειας αποστράγγισης, πρέπει να αποτελούνται από υλικά μεγαλύτερης διαπερατότητας από τα περιβάλλοντα και παράλληλα τέτοιας διαβάθμισης που να μπορούν να συγκρατούν τα περιβάλλοντα υλικά. Τα υλικά αυτά συνηθίζεται να είναι πιο χονδρόκοκκα από το εδαφικό υλικό που τα περιβάλλει και παράλληλα τέτοιας διαβάθμισης ώστε να περιορίζουν την είσοδο λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών εντός του φίλτρου.

Ανάλογα με την κοκκομετρική διαβάθμισή του το υλικό της αποστραγγιστικής στρώσης είναι δυνατόν να είναι είτε μονοβάθμιο, είτε διβάθμιο. Αξίζει να σημειωθεί πως η διαβάθμισή του είναι αρκετά περιορισμένη και τα υλικά είναι σχεδόν ισόκοκκα, σε αντίθεση με αυτά των άλλων στρώσεων που επιδιώκουν όσο το δυνατόν μικρότερο ποσοστό κενών. Στη στρώση στράγγισης είναι αναγκαία η υψηλή διαπερατότητα και η ευστάθεια που επιτυγχάνεται από την καλή αντοχή και την ύπαρξη των ισόκοκκων υλικών (Λοΐζος και Πλατή 2021).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα όρια της κοκκομετρικής διαβάθμισης (Πίνακας 3-1).

Πίνακας 3-1 Κοκκομετρική διαβάθμιση υλικών φίλτρων Π.Τ.Π 0150

Ανοιγμα βροχίδας		ΟΡΙΑ Π.Τ.Π.	
		ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ	
in	mm	A	
3"	76,20	100	100
2"	50,80	65	100
1 1/2"	38,10		
1 1/4"	31,70		
1"	25,40	45	75
3/4"	19,10		
3/8"	9,52	30	60
No 4	4,76	25	50
No 10	2,00	20	40
No 40	0,42	10	25
No 200	0,074	3	10

Τα κριτήρια επιλογής υλικών φίλτρων εξασφαλίζονται από τις παρακάτω σχέσεις διαβάθμισης φίλτρου- εδαφικού υλικού σύμφωνα με την ΠΤΠ T-110 (ΦΕΚ 203 Β/67):

$$\diamond \frac{D_{15(\text{φίλτρου})}}{D_{85(\text{εδάφους})}} \leq 5$$

$$\diamond \frac{D_{15(\text{φίλτρου})}}{D_{15(\text{εδάφους})}} > 5$$

$$\diamond \frac{D_{50(\text{φίλτρου})}}{D_{50(\text{εδάφους})}} \leq 25$$

$$\diamond \frac{D_{60(\text{φίλτρου})}}{D_{10(\text{εδάφους})}} < 20$$

Όπου D_{xx} είναι η διάμετρος της οπής του κόσκινου από το οποίο διέρχεται το ΧΧ% (σε βάρος) του υλικού φίλτρου ή εδαφικού

Αξίζει να σημειωθεί πως οι παραπάνω σχέσεις εφαρμόζονται για μονοβάθμια φίλτρα. Για πολυβάθμια απαιτείται ανάλογη προσαρμογή (ΠΕΤΕΠ:08-03-02-00 2006) .

Για την εξασφάλιση της μόνιμης θέσης ενός φίλτρου κάτω από το επίπεδο ροής χρησιμοποιούνται φίλτρα από κοκκώδη υλικά ή γεωυφάσματα. Έτσι το φίλτρο προστατεύεται από την έκπλυση του υλικού του και από τη διέλευση και αποχέτευση ύδατος. Σε πολύ σταθερά εδάφη, όπως βραχώδη ή αργιλικά, καθώς και σε μη μόνιμα αποχετευτικά συστήματα δεν χρειάζονται τα παραπάνω.

3.3 Σχεδιασμός

Η διαστασιολόγηση της αποστραγγιστικής στρώσης πραγματοποιείται συνήθως μέσω ημιεμπειρικών νομογραφημάτων, σε συνάρτηση με την ένταση των βροχοπτώσεων και τη διαπερατότητα του υλικού. Η μέθοδος στηρίζεται στην παραδοχή ότι το οδόστρωμα είναι διαπερατό και το νερό διεισδύει μέσω ρωγμών, αρμών, ερεισμάτων και κατασκευαστικών αστοχιών.

Η στρώση στράγγισης τοποθετείται κάτω από το οδόστρωμα ή από την υπόβαση και σε συνδυασμό με την αντιπαγετική στρώση αποτελεί τμήμα της στρώσης έδρασης του οδοστρώματος. Ο σχεδιασμός της γίνεται κυρίως με βάση δύο μεθόδους, τη Moulton και τη Casagrande & Shannon.

- ❖ Στην πρώτη μέθοδο, αναγκαία συνθήκη αποτελεί το πάχος της στρώσης να είναι μεγαλύτερο ή ίσο του βάθους ροής, δηλαδή η χωρητικότητα σταθερής ροής της στρώσης να είναι μεγαλύτερη ή ίση του ρυθμού εισροής. Ακολουθούν οι ανάλογες εξισώσεις.

- Εάν $(S^2 - \frac{4xq}{k}) < 0$

$$H_1 = \sqrt{\frac{qi}{k}} \times L_R \times \left[\left(\frac{s}{\sqrt{\frac{4xqi}{k-S^2}}} \right) \times \left(\tan^{-1} \frac{s}{\sqrt{\frac{4xqi}{k-S^2}}} - \frac{\pi}{2} \right) \right] \quad (3.1)$$

- Εάν $(S^2 - \frac{4xq}{k}) = 0$

$$H_1 = \sqrt{\frac{qi}{k}} \times L_R^{-1} \quad (3.2)$$

- Εάν $(S^2 - \frac{4xq}{k}) > 0$

$$H_1 = \sqrt{\frac{qi}{k}} \times L_R \times \left[\left(\frac{s - \sqrt{S^2 - \frac{4xqi}{k}}}{s + \sqrt{S^2 - \frac{4xqi}{k}}} \right)^{\frac{2s}{\sqrt{S^2 - \frac{4xq}{k}}}} \right] \quad (3.3)$$

Όπου:

k=διαπερατότητα

S=κλίση

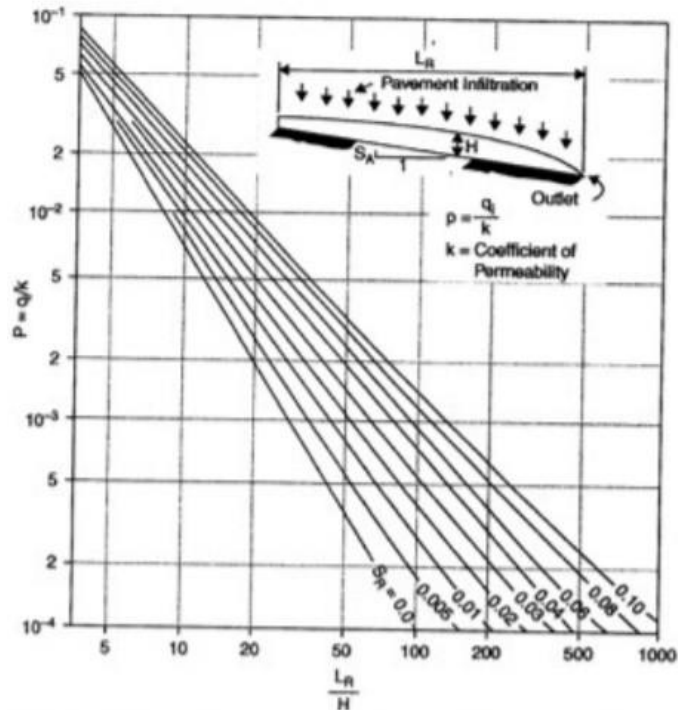
L_R=μήκος αποστράγγισης

qi= ρυθμός ομοιόμορφης εισροής

H₁=βάθος νερού στο άνω άκρο της διαδρομής ροής

Με την παραδοχή πως το H₁ ισούται με το μέγιστο βάθος ροής, είναι δυνατή η χρήση του παρακάτω νομογραφήματος για να επιλυθούν οι παραπάνω σχέσεις.

Παρακάτω ακολουθεί νομογράφημα (Εικόνα 3-1) με το οποίο προσδιορίζεται το μέγιστο βάθος ροής ή η απαιτούμενη διαπερατότητα, με την παραδοχή πως οι άλλες παράμετροι είναι δεδομένες (Moulton 1980).



Εικόνα 3-1 Νομογράφημα για επίλυση εξισώσεων Moulton

- ❖ Στη δεύτερη μεθοδολογία συμπεριλαμβάνεται ο χρόνος αποστράγγισης και ειδικότερα 50% αποστράγγιση σε διάστημα δέκα ημερών (Εικόνα 3-2) (Mallick and El-Korchy 2017).

Ακολουθούν οι ανάλογες εξισώσεις σχεδιασμού.

- Αν $U > 0.5$

$$T = \left(1.2 - \frac{0.4}{S_1^{1/3}}\right) \times \left[S_1 - S_1^2 \times \ln\left(\frac{S_1 + 1}{S_1}\right) + S_1 \times \ln\left(\frac{2 \times S_1 - 2 \times U \times S_1 + 1}{(2 - 2 \times U) \times (S_1 + 1)}\right) \right] \quad (3.4)$$

- Αν $U \leq 0.5$

$$T = \left(1.2 - \frac{0.4}{S_1^{1/3}}\right) \times \left[2 \times U \times S_1 - S_1^2 \times \ln\left(\frac{S_1 + 2 \times U}{S_1}\right) \right] \quad (3.5)$$

Όπου

U=ποσοστό αποστράγγισης (%)

S₁=συντελεστής κλίσης H/(LS)

H=πάχος αποστραγγιστικής στρώσης

L=πλάτος αποστραγγιστικής στρώσης

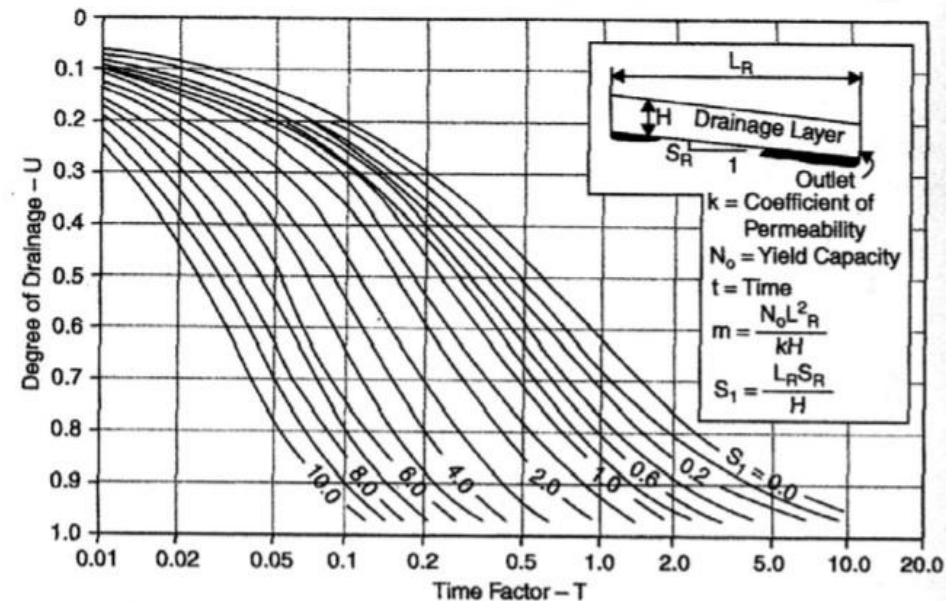
S=κλίση

T=συντελεστής χρόνου $t \times k \times H / n_o \times L^2$

t=χρόνος για αποστράγγιση U

k=διαπερατότητα

n_o =ενεργό πορώδες



Εικόνα 3-2 Νομογράφημα για την επίλυση εξισώσεων Casagrande&Shannon

3.4 Διαπερατότητα- Παροχτευτική ικανότητα

Η διαπερατότητα εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως από την κοκκομετρία και το πορώδες και πιο συγκεκριμένα από την καμπύλη κοκκομετρίας και τη μορφολογία των κόκκων, καθώς και από τον δείκτη πόρων (Feng, Hua and White May 1999). Ακόμη επηρεάζεται από τις στρώσεις του οδοστρώματος και τις ιδιότητες του υγρού, για παράδειγμα φύση υγρού, ροή κλπ. Πιο αναλυτικά αναφέρονται:

❖ Κοκκομετρική διαβάθμιση

Όσο μικρότερο μέγεθος έχουν οι κόκκοι του υλικού, τόσο μικρότερα κενά δημιουργούνται ανάμεσά τους με αποτέλεσμα την αυξημένη αντίσταση στη ροή του υγρού, δηλαδή τη μείωση της διαπερατότητας. Γενικά αποδεκτό θεωρείται ένα ποσοστό της τάξεως του 5-7% λεπτόκοκκου ($d \leq 0,074$ mm), περιεχόμενο σε αδρομερές και σχεδόν ισόκοκκο υλικό.

❖ **Μορφολογία των κόκκων**

Το σχήμα των κόκκων έχει σημαντικό ρόλο στη διαπερατότητα του υλικού. Κόκκοι ακανόνιστης μορφής προκαλούν πιο ελικοειδείς διαδρομές ροής από τους σφαιρικούς κόκκους. Επίσης οι κόκκοι με τραχιά επιφάνεια δημιουργούν αντίσταση τριβής. Και οι δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις οδηγούν τελικά σε ελαττωμένη ταχύτητα ροής του υγρού στο υλικό, συνεπώς και μείωση της διαπερατότητάς του.

❖ **Βαθμός συμπίκνωσης**

Η συμπίκνωση του υλικού έχει αντίκτυπο στη διαπερατότητά του, εφόσον συρρικνώνει τα υπάρχοντα κενά. Για παράδειγμα με τη συμπίκνωση θραυστών υλικών πλήρους κοκκομετρικής διαβάθμισης επιτυγχάνεται αυξημένο φαινόμενο βάρος και μικρή διαπερατότητα.

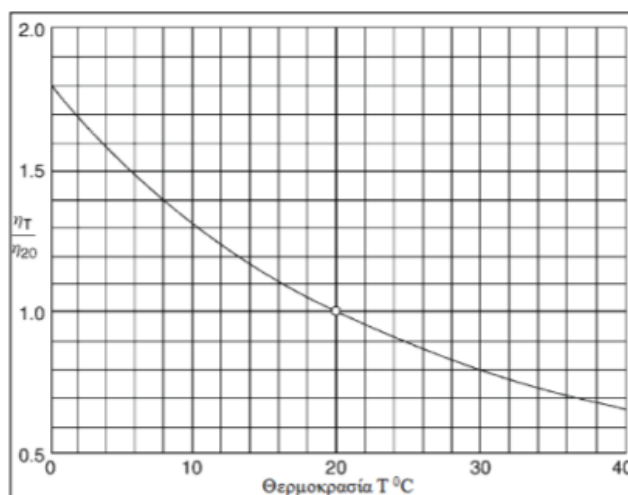
Η συμπίκνωση έχει μεγάλη σημασία, καθώς όπως προαναφέρθηκε η στρώση στράγγισης πρέπει να έχει σταθερό όγκο κατά τη φόρτιση. Μπορεί να αποφευχθεί ή έστω να περιοριστεί μόνο όταν τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ισόκοκκα ή βραχύδη προϊόντα. Η φραγή των πόρων που προκύπτει είναι πιθανό να περιοριστεί με σωστή κοκκομετρική διαβάθμιση και με αποφυγή χρήσης λεπτόκοκκου υλικού.

❖ **Δείκτης πόρων**

Ο λόγος του όγκου των κενών προς τον ολικό όγκο του υλικού εκφράζεται με το πορώδες n . Όταν το πορώδες είναι μεγάλο το υλικό είναι χαλαρά δομημένο, επομένως και η διαπερατότητα αυξημένη.

❖ **Ιδιότητες του υγρού**

Οι ιδιότητες που επηρεάζουν τη διαπερατότητα του υλικού είναι η πυκνότητα και το ιξώδες. Επειδή το υγρό το οποίο μελετάται είναι συνήθως το νερό, η πυκνότητά του δεν διαφέρει πολύ σε συνήθεις θερμοκρασίες (0-40 °C). Το ιξώδες, παρόλα αυτά, αυξάνεται σημαντικά όσο μειώνεται η θερμοκρασία (Εικόνα 3-3), δηλαδή για μία πτώση θερμοκρασίας από 20°C σε 10°C, το ιξώδες είναι αυξημένο κατά περίπου 30%.



Εικόνα 3-3 Σχέση ιξώδους και θερμοκρασίας (Kaye and Laby 1973)

Για καλύτερα αποτελέσματα, σε μία συνήθη εργαστηριακή δοκιμή, η θερμοκρασία υγρού επιλέγεται να είναι 20°C. Επιπλέον, υπάρχει και η εξίσωση που εκφράζει την αναλογία δυναμικού ιξώδους σε οποιαδήποτε θερμοκρασία. Αυτή είναι:

$$k_{20} = k_T \times \left(\frac{n_T}{n_{20}} \right) \quad (3.6)$$

Δηλαδή, αν μια δοκιμή διαπερατότητας που πραγματοποιείται σε T°C δίνει συντελεστή διαπερατότητας k_T μπορεί να προκύψει από την εξίσωση η τιμή του στους 20°C, k₂₀. Αντίστοιχα n_T είναι το δυναμικό ιξώδες σε μια οποιαδήποτε θερμοκρασία T°C, ενώ το n₂₀ το δυναμικό ιξώδες σε 20°C.

3.5 Συντελεστής διαπερατότητας k

3.5.1 Γενικά

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στον συντελεστή διαπερατότητας k, ο οποίος χαρακτηρίζει το υλικό. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του τόσο αυξάνεται και η παροχευτικότητα του εκάστοτε υλικού της αποστραγγιστικής στρώσης, δηλαδή η παροχή που θα διαπεράσει τη στρώση εάν τα υπόλοιπα μεγέθη διατηρηθούν σταθερά. Ο συντελεστής k είναι άμεσα εξαρτημένος από το ενεργό μέγεθος κόκκων D₁₀, το

πορώδες n και το διερχόμενο ποσοστό από κόσκινο μεγέθους 0.075mm. Εφόσον εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων του υλικού δεν θεωρείται ιδιότητα του υλικού, αλλά η τιμή του μεταβάλλεται σε σχέση με το βαθμό συμπύκνωσής του (Καββαδάς 2005). Προσδιορίζεται είτε με εργαστηριακές δοκιμές, είτε με επί τόπου μετρήσεις μικρής ή μεγάλης κλίμακας, είτε συχνότερα με εμπειρικούς τύπους, όπως οι σχέσεις Hazen και Moulton.

3.5.2 Εργαστηριακές μέθοδοι μέτρησης της διαπερατότητας

Ο συντελεστής διαπερατότητας προσδιορίζεται εργαστηριακά με διαπερατόμετρα είτε σταθερού φορτίου είτε μειούμενου φορτίου.

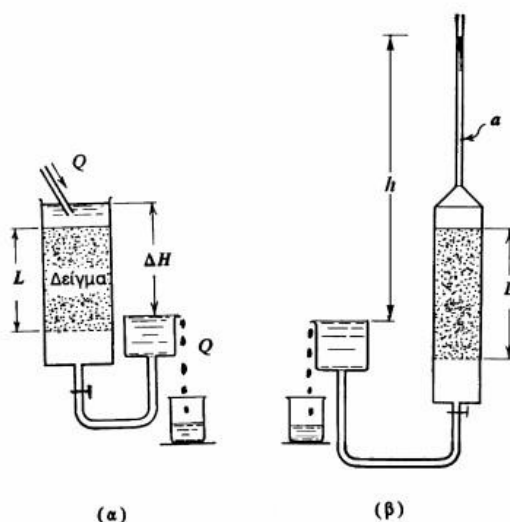
Σε εδάφη όπου η διαπερατότητα είναι μεγάλη, όπως χάλικες και άμμοι, προτιμάται η δοκιμή με διαπερατόμετρο σταθερού φορτίου, έτσι ώστε να μετράται ευκολότερα η παροχή. Κατά τη διαδικασία τοποθετούνται δύο σταθερές δεξαμενές με διαφορά υψομέτρων ΔH και πραγματοποιείται μέτρηση της σταθερής παροχής διήθησης Q , όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-4α (Καββαδάς 2005). Άρα σύμφωνα με το νόμο του Darcy:

$$k = \frac{QxL}{Ax\Delta H} \quad (3.7)$$

Όπου:

A = διατομή δείγματος του εδάφους

L =μήκος δείγματος του εδάφους



Εικόνα 3-4 (α) Διαπερατόμετρο σταθερού φορτίου, (β) Διαπερατόμετρο μειούμενου φορτίου (Καββαδάς 2005)

Όταν η διαπερατότητα του εδάφους είναι μικρή επιλέγεται συνήθως η μέθοδος του διαπερατόμετρου με μειούμενο φορτίο (Εικόνα 3-4β). Σε αυτή την περίπτωση, ενώ η χαμηλή στάθμη παραμένει σταθερή η υψηλή ελαττώνεται με ρυθμό που σχετίζεται με τη διηθούμενη παροχή Q (Καββαδάς 2005). Επομένως η σχέση υπολογισμού:

$$k = \frac{axL}{txA} x \ln \frac{h_o}{h} \quad (3.8)$$

Όπου:

h_o = η αρχική υψομετρική διαφορά των στάθμεων των δεξαμενών

h =η διαφορά τους μετά από χρόνο t

3.5.3 Επί τόπου δοκιμές

Η επί τόπου μέτρηση του συντελεστή διαπερατότητας πλεονεκτεί λόγω της εύκολης δειγματοληψίας και παρέχει πληροφορίες για όλη τη στρώση όχι μόνο για ένα διατιθέμενο δοκίμιο. Πιο δημοφιλείς είναι οι δοκιμές εισπίεσης νερού, που χαρακτηρίζονται από ταχύτητα εκτέλεσης και δυνατότητα πολλών επαναλήψεων.

Η πιο σημαντική, που αφορά χονδρόκοκκα υλικά είναι η δοκιμή Lefranc. Κατά την εκτέλεσή της η γεώτρηση τροφοδοτείται με νερό σταθερής ροής και ανά σύντομες περιόδους, μέσης διάρκειας ενός λεπτού, πραγματοποιείται καταγραφή της διηθούμενης παροχής. Ο συντελεστής k υπολογίζεται από τη σχέση (Dezert, et al. 2019):

$$k = \frac{q}{cxh} \quad (3.9)$$

Όπου:

q =διηθούμενη παροχή νερού (cm^3/s)

c =συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία του υπό δοκιμή τμήματος

h =το ύψος της φορτίζουσας στήλης σε cm

3.5.4 Εμπειρικοί τύποι υπολογισμού της διαπερατότητας

Ακολουθούν οι σχέσεις υπολογισμού κατά Hazen και κατά Moulton.

- ❖ Η σχέση υπολογισμού κατά Hazen (Huang 2004):

$$k = C_k \times D_{10} \quad (3.10)$$

Όπου:

k =διαπερατότητα (mm/s)

D_{10} =το μέγεθος των κόκκων του διερχόμενου 10%

C_k =ο συντελεστής κατά Hazen, που συνήθως παίρνει τιμές 8-12

Πίνακας 3-2 Τιμές του συντελεστή κατά Hazen C_k (Huang 2004)

Τιμές του συντελεστή κατά Hazen C_k		
Τύπος εδάφους	Εύρος D_{10} (mm)	C_k (1/mm-s)
Ομοιόμορφη άμμος	0.06-3.0	8-12
Καλά διαβαθμισμένη άμμος	0.003-0.6	5-8

- ❖ Η σχέση υπολογισμού κατά Moulton:

$$k = \frac{(6.214 \times 10^5) \times D_{10}^{1.478} \times n^{6.654}}{P_{200}^{0.597}} \quad (3.11)$$

Όπου:

n =ενεργό πορώδες

P_{200} =διερχόμενο ποσοστό από κόσκινο No200

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 3-3) περιλαμβάνει συντελεστές διαπερατότητας k (m/sec) ποικίλων υλικών που συναντώνται σε έργα οδοποιίας.

Πίνακας 3-3 Συντελεστές διαπερατότητας υλικών οδοποιίας (Carter και Bentley 1991)

Υλικά	k (σε m/sec)
Χονδρόκοκκα αδρανή, καλά διαβαθμισμένα	$4 \cdot 10^{-1}$ έως $4 \cdot 10^{-3}$
Αδρανή, καλά διαβαθμισμένα χωρίς λεπτόκοκκα	$4 \cdot 10^{-3}$ έως $4 \cdot 10^{-5}$
Άμμος σκυροδέματος με χαμηλή περιεκτικότητα παιπάλης	$7 \cdot 10^{-4}$ έως $7 \cdot 10^{-6}$
Άμμος σκυροδέματος με υψηλή περιεκτικότητα παιπάλης	$7 \cdot 10^{-6}$ έως $7 \cdot 10^{-8}$
Άμμος, ιλυώδης και αργιλώδης	10^{-7} έως 10^{-9}
Συμπυκνωμένη ιλύς	$7 \cdot 10^{-8}$ έως $7 \cdot 10^{-10}$
Συμπυκνωμένη άργιλος	$< 10^{-9}$
Ασφαλτικά σκυροδέματα ^{†)}	$4 \cdot 10^{-5}$ έως $4 \cdot 10^{-8}$
Σκυρόδεμα με τσιμέντο Portland	$< 10^{-10}$

^{†)} Σε πρόσφατα ασφαλτικά σκυροδέματα κλειστού τύπου, κυκλοφοριόπηκτα, έχουν καταγραφεί τιμές $k < 10^{-10}$ m/sec.

Είναι φανερό πως τα ύδατα που βρίσκονται στο έδαφος δεν απομακρύνονται όλα, αλλά ένα ποσοστό τους συγκρατείται δημιουργώντας μια λεπτή μεμβράνη. Η ποσότητα του νερού που είναι δυνατόν να απομακρυνθεί εκφράζεται με το ενεργό πορώδες, που συμπεριλαμβάνεται στις παραπάνω σχέσεις. Αντίθετα, η ποσότητα νερού που συγκρατείται στο εδαφικό υλικό εκφράζεται με το πορώδες.

Το πορώδες υπολογίζεται από τη σχέση:

$$n = \frac{V_V}{V_T} \quad (3.12)$$

Όπου:

V_T =συνολικός όγκος

V_V = όγκος κενών

Το ενεργό πορώδες υπολογίζεται από τη σχέση:

$$n_e = \frac{V_v - V_R}{V_T} = n - \frac{V_R}{V_T} \quad (3.13)$$

Όπου:

V_R =όγκος συγκρατούμενου στο έδαφος νερού

Εάν πραγματοποιείται δοκιμή υπό την επίδραση της βαρύτητας και για το υλικό είναι δεδομένος ο όγκος, τότε το ενεργό πορώδες δίδεται από τη σχέση:

$$n_e = \frac{V_e}{V_T} \quad (3.14)$$

Όπου:

V_e =όγκος αποστραγγιζόμενου νερού εξαιτίας της βαρύτητας

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

4.1 Συνοπτική περιγραφή

Για τη διερεύνηση και μελέτη της αποστραγγιστικής στρώσης οδού πραγματοποιήθηκε μια διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά ταξινομήθηκαν καταλλήλως για να διευκολυνθεί η επεξεργασία τους και να προκύψουν τα ανάλογα αποτελέσματα. Αφορούν κατά κύριο λόγο την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού της στρώσης στράγγισης, αλλά και άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη του όπως το βάρος του δείγματος, το ισοδύναμο άμμου, την υγρασία και τον συντελεστή Los Angeles. Ο συντελεστής διαπερατότητας k υπολογίζεται με τη σχέση του Hazen και στη συνέχεια οι τιμές του συσχετίζονται με τις τιμές των επιμέρους μεγεθών κατά αντιστοιχία. Από τη διαδικασία συσχέτισης προκύπτουν οι σχέσεις γραμμικής παλινδρόμησης που περιγράφουν καλύτερα τον συσχετισμό των υπό διερεύνηση μεγεθών σύμφωνα με τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 . Τέλος, γίνεται προσπάθεια προσδιορισμού της βέλτιστης τιμής διαπερατότητας.

4.2 Δεδομένα

Τα απαραίτητα δεδομένα για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας συλλέχτηκαν ύστερα από επικοινωνία με πληθώρα ελληνικών λατομείων, καθώς και από εργοτάξια κατασκευαστικών εταιριών. Αναζητήθηκαν αναλυτικά στοιχεία για το υλικό που αποτελεί τη στρώση στράγγισης οδού και προέκυψαν πληροφορίες για 28 διαφορετικά δοκίμια υλικού. Οι ονομασίες των έργων έχουν κωδικοποιηθεί με κεφαλαία γράμματα της ελληνικής αλφαβήτου από το Α έως και το Ο. Κάθε διαφορετικό γράμμα αντιστοιχεί σε διαφορετικό έργο. Κωδικές ονομασίες που περιέχουν γράμμα και αριθμό, όπως για παράδειγμα Α1, Α2 κλπ αναφέρονται σε υλικά της ίδιας οδού, που όμως έχουν συλλεχθεί από διαφορετική χιλιομετρική θέση της και επομένως παρουσιάζουν διαφορές. Από τα δοκίμια που εξετάστηκαν 15 αφορούν υλικά από υφιστάμενες οδούς και 13 υλικά από αποθήκες λατομείων.

Για κάθε υλικό δίνεται το βάρος του δείγματος μετά το πλύσιμο και την ξήρανση σε γραμμάρια, ενώ για 11 από αυτά δίνεται και το αρχικό βάρος δείγματος μετά την ξήρανση σε γραμμάρια. Επίσης για 18 δοκίμια διατίθεται το ισοδύναμο άμμου που προέκυψε στο εργαστήριο μετά την ανάλογη δοκιμή και για 12 η περιεχόμενη υγρασία σε ποσοστό επί τις εκατό. Ακόμα, σε 7 υλικά, πραγματοποιήθηκε δοκιμή Los

Angeles και δόθηκε ο αντίστοιχος συντελεστής. Τέλος, συλλέχθηκαν αναλυτικά δεδομένα για την κοκκομετρία όλων των διαθέσιμων υλικών και το διερχόμενο ποσοστό τους από τα διάφορα μεγέθη κοσκίνων. Τα κόσκινα που περιλαμβάνονται είναι τα 3, 2, 1, 3/4, 1/2, 3/8, No4, No10, No40, No200.

Το σύνολο των δεδομένων, όπως αυτά ταξινομήθηκαν και κωδικοποιήθηκαν, παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4-1, 4-2).

Πίνακας 4-1 Δεδομένα που αφορούν Βάρος δείγματος, Ισοδύναμο άμμου, Υγρασία και συντελεστή κατά Los Angeles

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (μετά την ξήρανση)(g)	ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (μετά το πλύσιμο και την ξήρανση)(g)	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΑΜΜΟΥ	ΥΓΡΑΣΙΑ(%)	LOS ANGELES(%)
A1	11023	10105			
A2	10335	9440			
A3	13321	12218			
A4	11203	10478			
A5	18936	18337			
A6	10852	10043			
B		7642,8			
Γ	12314	11496	57		34
Δ	13808	12979	69		28
Ε		10900	71		29
ΣΤ	10233	10014	67		28
Z	10619,8	9936,7	71		26
H		17869			
Θ		15248,3			
I		15314,7			
K		14021,5	36	2,3	23,6
Λ1		7876,8	52	3,5	
Λ2		6619	67	4,4	
Λ3		7118,2	59	3,7	
Λ4		7107,2	64	2,9	
M1		15622,4	74	2,8	
M2		15132,3	73	3,5	
N1		13618,7	67	3,6	
N2		14933,8	69	3,7	
N3		13954,9	69	3,4	
Ξ		13333	68	3,2	
O		6798,9	80		23,9
Π	7839,8	7250,4	62	2,7	

Πίνακας 4-2 Δεδομένα που αφορούν την κοκκομετρική διαβάθμιση των υλικών

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	3	2	1	3/4	1/2	3/8	No 4	No 10	No 40	No200
A1	100		97,6	92,3	82,5	76,5	57,5	38,1	16,1	8,4
A2	100		96,9	91,8	79,8	72,8	53,5	35,1	15,8	8,8
A3	100		95,8	87,1	74,8	65,6	51,6	35,7	18,6	8,4
A4	100		98,7	89,8	76	57,2	41,4	28	16,5	6,6
A5	100		95,8	91,3	80,4	71,6	48,5	29,9	12,1	5
A6	100		97,6	86	75,4	61,4	45,7	29,6	15,8	7,6
B	100	74,9	49,4			32,3	28	23,5	12,6	3,1
Γ		100	96,7	89,2	73,7	69,6	53,2	36,9	19,5	6,7
Δ		100	98,3	92,6	75,3	67,1	44,3	25,2	11,1	6,1
E		100		85	67	64	50	34	22	8,2
ΣΤ		100	97	83	74	65	44	27	12	5,3
Z		100		92	68	63	45	30	13	6
H		100	95	89,9		68,3	48,4	28,2	13,8	6,9
Θ			94	88,6		70,8	51,6	30,4	14,3	6,9
I			94,3	89,6		66	47,1	30,1	14,5	7,1
K	100	100	100	92,9		65,3	44,1	25,3	10,2	6
Λ1		100		98,3		79,6	49,4	39,3	20,2	8,3
Λ2		100	100	100		77,5	50,4	38,4	19,1	8,4
Λ3		100	100	100		82	44,5	32,1	16,1	7,2
Λ4		100	100	100		83,9	52,5	36,5	16,8	7,3
M1		100	95,5	86,3		72,5	45,8	28,1	14,3	6,7
M2		100	94,8	89		73,1	48,3	28,3	14,2	7,3
N1		100	96,5	88,9		72,8	49,8	30,1	14,3	7,1
N2		100	98,9	91,4		71,3	48,7	29,9	14,4	6,2
N3		100	97,6	88,9		74,8	47,1	27,4	14,7	7,3
Ξ	100	100	98,5	91,5		66,8	45	28,6	14,3	7,2
O		100	91,7	78,7	55,5	43,3	26,1	12,4	3,1	1,7
Π			100	100	74,8	51,2	42,4	31,8	16,6	7,7

4.3 Διαδικασία επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων

Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιείται υπολογισμός του συντελεστή διαπερατότητας k με τη σχέση Hazen, η οποία αναφέρθηκε παραπάνω. Από τον Πίνακα 3-2 φαίνεται πως ο συντελεστής κατά Hazen C_k παίρνει τιμές από 5-8 για καλά διαβαθμισμένες άμμους και από 8-12 για ομοιόμορφες άμμους. Στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε απλοποιητικά ίσος με 8, τιμή που επιλέχθηκε καθώς περιλαμβάνεται και στις δύο κατηγορίες εδαφών που αναφέρθηκαν. Επόμενο βήμα αποτελεί ο προσδιορισμός του διερχόμενου D_{10} , δηλαδή το μέγεθος κόκκων που αντιστοιχεί σε ποσοστό διερχόμενου 10%. Για τον ακριβή υπολογισμό του χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση:

$$\log D_x = \log D_a + \frac{x - a}{b - a} \times \log \frac{D_b}{D_a} \quad (4.1)$$

Όπου a και b είναι οι τιμές από το διερχόμενο ποσοστό επί τις εκατό για δύο μεγέθη κόκκων D_a και D_b και D_x το μέγεθος για κάθε διερχόμενο ποσοστό x μεταξύ των a και b .

Αφού υπολογιστεί το ζητούμενο D_{10} σε mm, υψώνεται στο τετράγωνο και πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή C_k σύμφωνα με τη σχέση 3.7, για να προκύψει τελικά ο συντελεστής διαπερατότητας k σε mm/sec. Οι τιμές του συντελεστή αυτού έχουν ιδιαίτερη σημασία για την αποτελεσματικότητα της στρώσης στράγγισης της οδού.

Επόμενο βήμα αποτελεί η μελέτη πιθανής εξάρτησης των τιμών του συντελεστή διαπερατότητας με καθένα από τα διαθέσιμα στοιχεία, με σκοπό την αξιολόγηση της επίδρασης ποικίλων παραγόντων στη διαπερατότητα της στρώσης. Ο τρόπος επίλυσης του προβλήματος αυτού είναι η δημιουργία εξαρτήσεων με χρήση γραμμών τάσεως.

Οι τιμές της διαπερατότητας ταξινομήθηκαν με σειρά από τη μικρότερη προς τη μεγαλύτερη, και αντίστοιχα ταξινομήθηκαν και τα υπόλοιπα δεδομένα. Η διαπερατότητα τοποθετήθηκε σε ανάλογα διαγράμματα με το βάρος του δείγματος, το ισοδύναμο άμμου, το ποσοστό υγρασίας, τον συντελεστή Los Angeles και όλα τα μεγέθη κοσκίνων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στα διαγράμματα των τιμών στον άξονα X τοποθετούνται οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας και στον Y τα υπόλοιπα μεγέθη αντίστοιχα. Στη συνέχεια επιλέγεται η κατάλληλη λογαριθμική ή εκθετική γραμμή τάσης που περιγράφει όσο το δυνατόν καλύτερα τα αποτελέσματα μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή προσδιορισμού R^2 . Ο συντελεστής αξιοπιστίας λαμβάνει τιμές από το 0 έως το 1, με τιμές που προσεγγίζουν το 1 να φανερώνουν τέλεια προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα, ενώ αυτές που προσεγγίζουν το 0 να υποδεικνύουν απουσία συσχέτισης δεδομένων.

Γραμμή τάσης είναι μια ευθεία ή καμπύλη γραμμή που προσεγγίζει τα δεδομένα μέσω μιας εξίσωσης παλινδρόμησης. Για την προσέγγιση χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Αξίζει να σημειωθεί πως η λογαριθμική προσέγγιση προτιμάται όταν ο ρυθμός μεταβολής των δεδομένων παρουσιάζει αρχικά ταχεία αύξηση ή μείωση, αλλά στην πορεία παρατηρείται σχετική σταθεροποίηση. Από την άλλη η εκθετική γραμμή τάσης είναι κατάλληλη όταν οι τιμές αυξάνονται ή μειώνονται με συγκεκριμένο ρυθμό. Αν τα δεδομένα περιέχουν αρνητικές ή μηδενικές τιμές δεν είναι δυνατόν να επιλεγεί η εκθετική προσέγγιση.

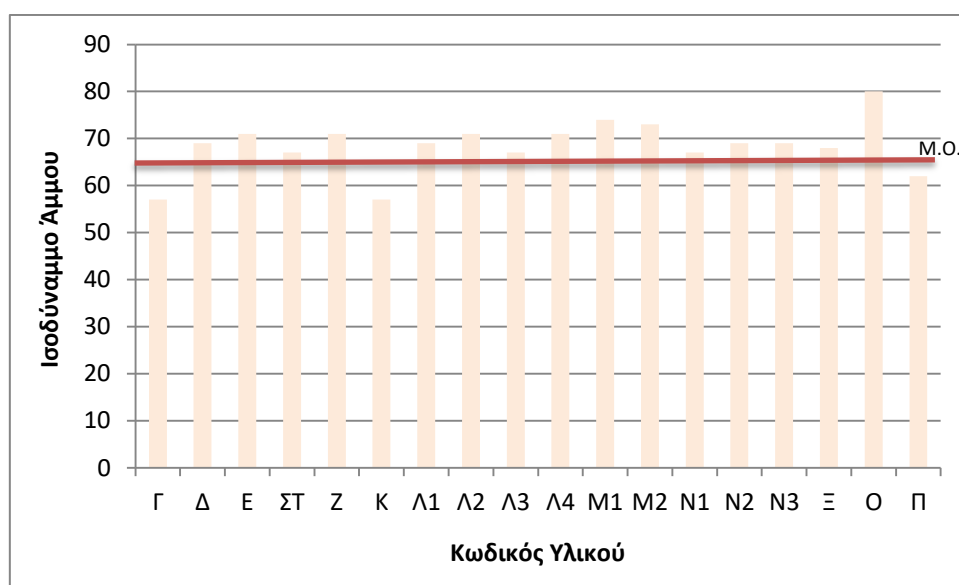
Μετά την κατασκευή των διαγραμμάτων, επιλέγονται τα καλώς συσχετισμένα δείγματα και παρατηρούνται οι περιοχές τιμών των παραγόντων που δίνουν καλή διαπερατότητα. Μια καλή τιμή του συντελεστή k για την παρούσα έρευνα θεωρήθηκε από 0,3mm/sec και άνω. Χρησιμοποιώντας, λοιπόν, αυτές τις περιοχές τιμών και λαμβάνοντας υπόψη τα επιτρεπόμενα όρια και της διαπερατότητας και του εκάστοτε

παράγοντα, γίνεται πρόβλεψη για τα ιδανικά χαρακτηριστικά υλικού με σκοπό την επίτευξη μέγιστου δυνατού συντελεστή k .

5 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

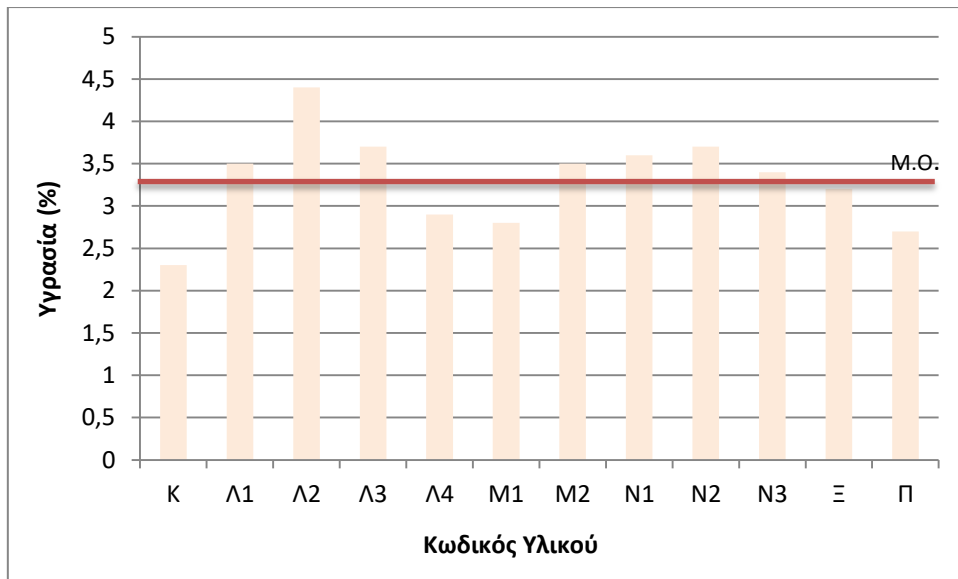
5.1 Ανάλυση δεδομένων

Όσον αφορά τα διαθέσιμα δεδομένα, προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα σε σχέση με το σχεδιασμό και τα χαρακτηριστικά της αποστραγγιστικής στρώσης οδοστρώματος. Αρχικά τα δοκίμια που εξετάζονται, ύστερα από πλύσιμο και ξήρανση, έχουν βάρος που κυμαίνεται από 7-15kg, με μέσο όρο περίπου τα 11kg. Το ισοδύναμο άμμου των εξεταζομένων υλικών παρουσιάζει εύρος τιμών 52-80, με τις περισσότερες τιμές να προσεγγίζουν το 60-70 (Εικόνα 5-1).



Εικόνα 5-1 Ραβδόγραμμα Ισοδύναμμου Άμμου- Υλικών με Μέσο Όρο Τιμών

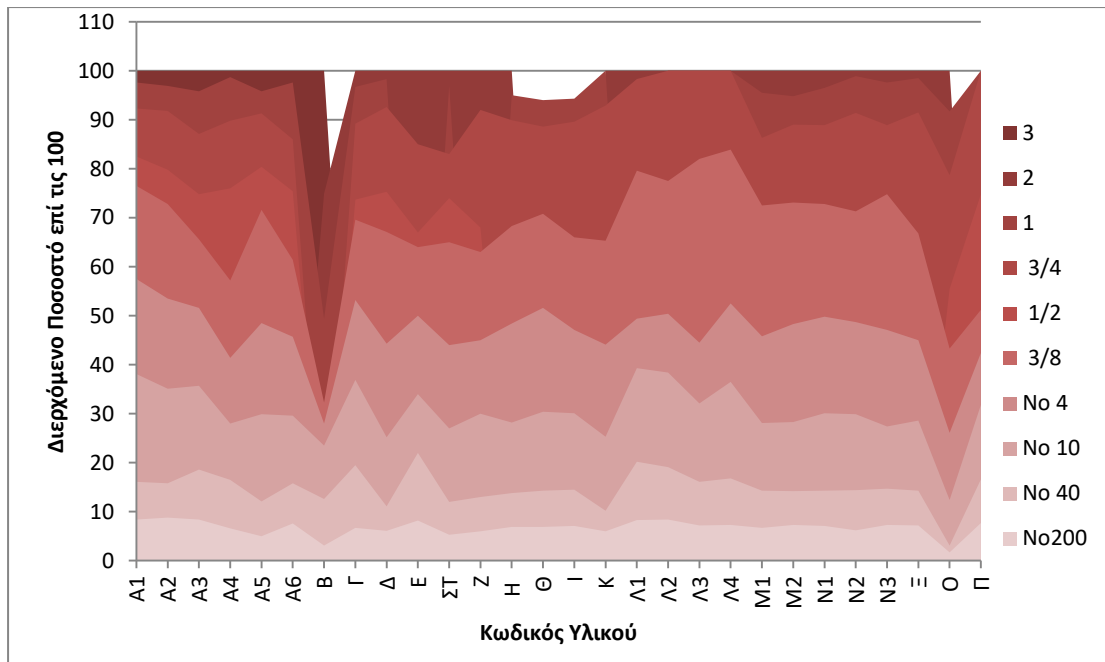
Επιπλέον οι τιμές της ποσοστιαίας περιεχόμενης υγρασίας είναι συγκεντρωμένες στο 2,3-4,4%, με τις ακραίες τιμές να έχουν μικρή συχνότητα εμφάνισης, ενώ η τιμή που κυριαρχεί είναι περίπου το 3,3% (Εικόνα 5-2).



Εικόνα 5-2 Ραβδόγραμμα Ποσοστού Υγρασίας- Υλικών με Μέσο Όρο Τιμών

Τέλος, οι δεδομένες τιμές του δείκτη Los Angeles είναι ναί μεν λίγες σε αριθμό, αλλά κυμαίνονται μεταξύ 23-34% με μέσο όρο 27,5%.

Σχετικά με τα διερχόμενα ποσοστά στα διάφορα κόσκινα (Εικόνα 5-3) παρατηρείται πως σχεδόν όλα τα υλικά διέρχονται με ποσοστό 100% από τα κόσκινα με αριθμό 3 (άνοιγμα 76,20mm) και 2 (άνοιγμα 50,80mm). Στο κόσκινο με αριθμό 1 (άνοιγμα 25,40mm) ο μέσος όρος διερχόμενου είναι το 95%, ενώ στο 3/4 (άνοιγμα 19,10mm) το 91%. Οι τιμές στα δύο αυτά κόσκινα είναι όλες συγκεντρωμένες πολύ κοντά στο μέσο όρο. Αντίθετα στο κόσκινο αριθμού 1/2 (άνοιγμα 12,50mm) παρουσιάζει αρκετά μεγάλο εύρος τιμών με ποσοστά από 55-83%. Μέσος όρος είναι το 74%. Στα υπόλοιπα κόσκινα τα ποσοστά διερχόμενου είναι παρόμοια για τα διάφορα υλικά με μέσους όρους κατά σειρά μεγέθους κόσκινου από το μεγαλύτερο στο μικρότερο άνοιγμα 67%, 47%, 30% 15% και περίπου 7% στο τελευταίο.



Εικόνα 5-3 Διάγραμμα Διερχόμενου (%) από κάθε κόσκινο για κάθε υλικό

5.2 Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Σε πρώτο επίπεδο φαίνεται ο αναλυτικός υπολογισμός του συντελεστή διαπερατότητας k , όπως αυτός περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4 και στη συνέχεια διαγράμματα με τη συσχέτιση του συντελεστή k με το κάθε χαρακτηριστικό μέγεθος των υλικών της αποστραγγιστικής στρώσης. Στα διαγράμματα αυτά επιλέγεται η γραμμή τάσης που προσεγγίζει καλύτερα τις τιμές τους και προσδιορίζεται ο συντελεστής αξιοπιστίας R^2 , που υποδεικνύει την εγγύτητα της γραμμής τάσης με τα διαθέσιμα δεδομένα, τον συσχετισμό δηλαδή των μεγεθών.

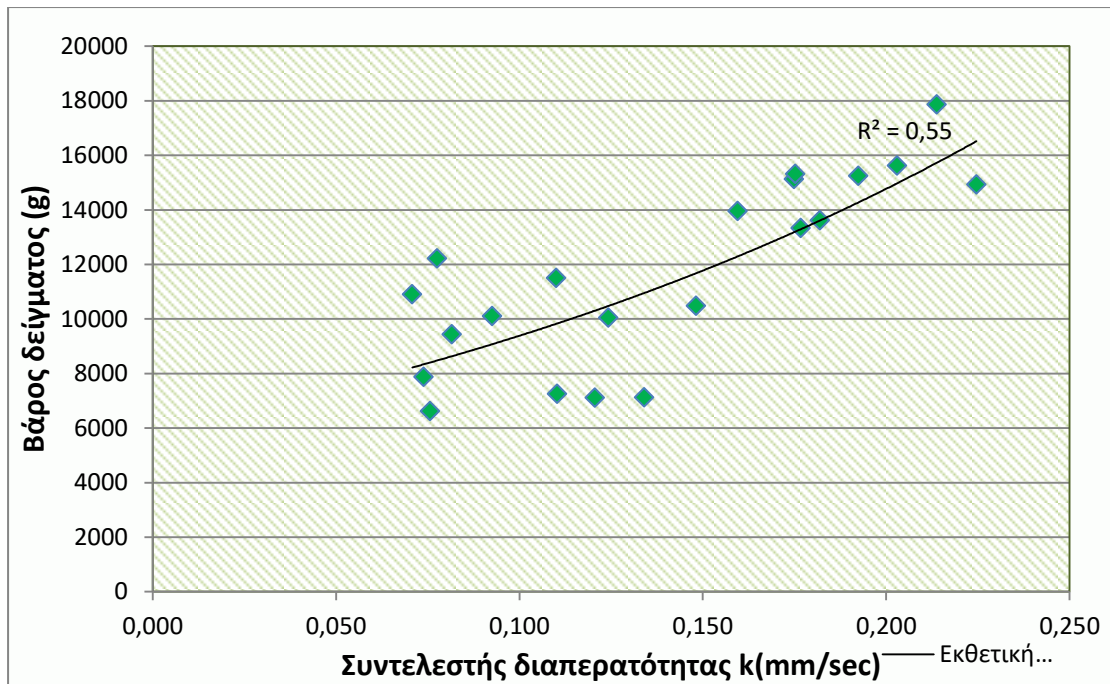
Στον Πίνακα 5-1 φαίνονται οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για κάθε δοκίμιο υλικού που, όπως είναι φανερό από τη σχέση Hazen, αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση του διερχόμενου D_{10} . Αυτό πρακτικά σημαίνει πως όσο πιο χονδρόκοκκο το υλικό, τόσο μεγαλύτερη και η διαπερατότητά του.

Πίνακας 5-1 Πίνακας αναλυτικών υπολογισμών του συντελεστή διαπερατότητας k

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	Ck	LogD10	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ D10 (mm)	k(mm/s)
A1	8	-0,97	0,11	0,093
A2	8	-1,00	0,10	0,082
A3	8	-1,01	0,10	0,078
A4	8	-0,87	0,14	0,148
A5	8	-0,59	0,25	0,518
A6	8	-0,90	0,12	0,124
B	8	-0,58	0,26	0,559
Γ	8	-0,93	0,12	0,110
Δ	8	-0,54	0,29	0,674
E	8	-1,03	0,09	0,071
ΣΤ	8	-0,60	0,25	0,513
Z	8	-0,69	0,20	0,327
H	8	-0,79	0,16	0,214
Θ	8	-0,81	0,16	0,192
I	8	-0,83	0,15	0,175
K	8	-0,41	0,39	1,225
Λ1	8	-1,02	0,10	0,074
Λ2	8	-1,01	0,10	0,076
Λ3	8	-0,89	0,13	0,134
Λ4	8	-0,91	0,12	0,121
M1	8	-0,80	0,16	0,203
M2	8	-0,83	0,15	0,175
N1	8	-0,82	0,15	0,182
N2	8	-0,78	0,17	0,225
N3	8	-0,85	0,14	0,160
Ξ	8	-0,83	0,15	0,177
Ο	8	0,13	1,34	14,387
Π	8	-0,93	0,12	0,110

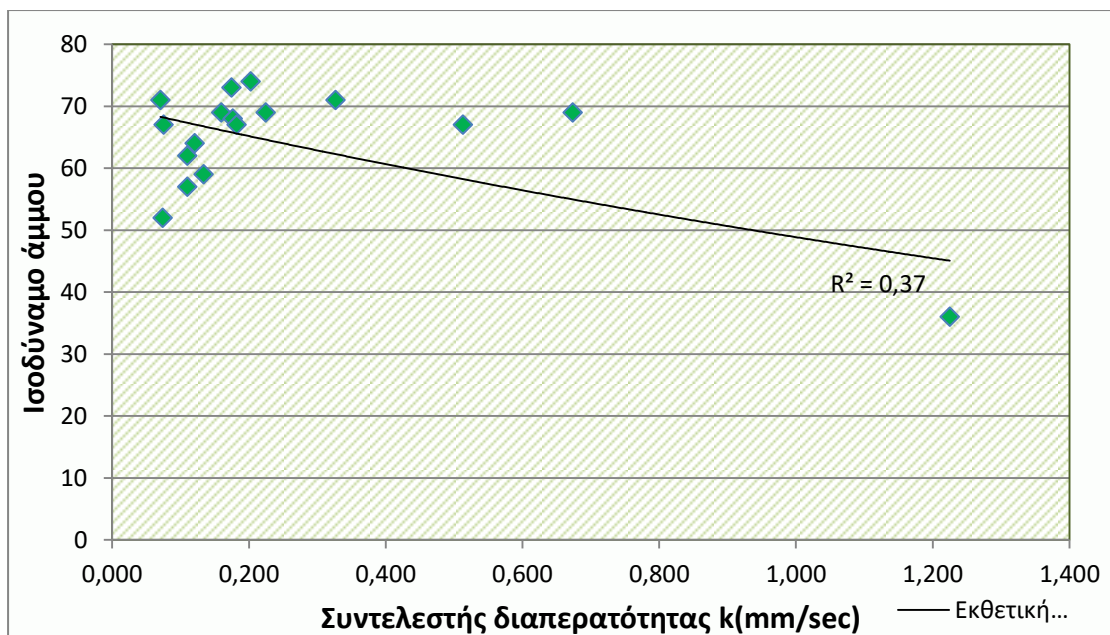
Με βάση τις τιμές του συντελεστή διαπερατότητας του Πίνακα 5-1 προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα που απεικονίζουν τη σχέση συντελεστή k και ποικίλων χαρακτηριστικών των διαθέσιμων υλικών και συγκεκριμένα το βάρος του δείγματος, το ισοδύναμο άμμου, την υγρασία, τον συντελεστή Los Angeles, και το διερχόμενο ποσοστό από τα κόσκινα με αριθμό 3, 2, 1, 3/4, 1/2, 3/8, καθώς και τα Νο4, Νο10, Νο40 και Νο200.

Το πρώτο διάγραμμα (Εικόνα 5-4) αφορά τη σχέση μεταξύ βάρους δείγματος και συντελεστή διαπερατότητας. Αρχικά παρατηρείται μια ανοδική τάση των τιμών, δηλαδή η αύξηση του συντελεστή συνοδεύεται με αύξηση του βάρους του δείγματος. Η γραμμή τάσης που βρέθηκε να περιγράφει καλύτερα την εξίσωση είναι η εκθετική με τιμή $R^2=0,55$, δηλαδή οι τιμές περιγράφονται σε έναν ικανοποιητικό βαθμό. Παρατηρείται πως το διάγραμμα έχει κατασκευαστεί για τιμές διαπερατότητας έως περίπου 0,25mm/sec. Για μεγαλύτερες τιμές η εκθετική καμπύλη φάνηκε να μην περιγράφει ικανοποιητικά τα δεδομένα.



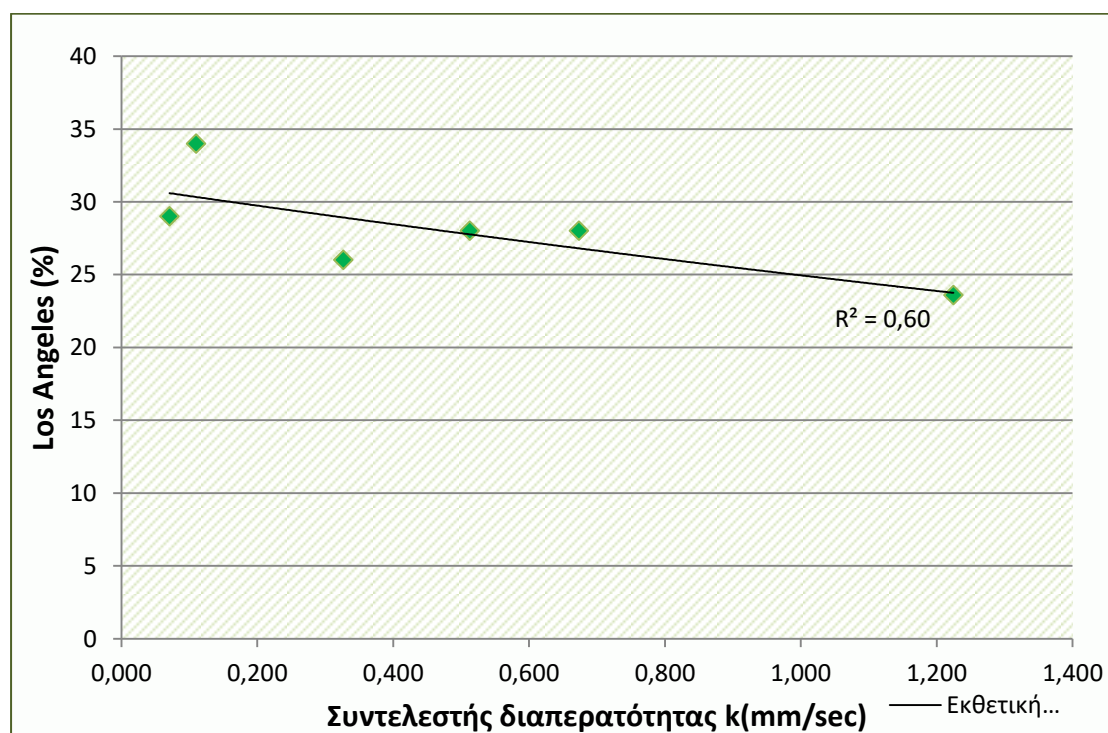
Εικόνα 5-4 Συσχέτιση βάρους δείγματος με συντελεστή διαπερατότητας

Ακολουθεί το διάγραμμα ισοδύναμου άμμου- συντελεστή k (Εικόνα 5-5). Εδώ οι τιμές είναι τοποθετημένες χωρίς συγκεκριμένο μοτίβο, γεγονός που καθιστά φανερό πως δεν περιγράφονται ικανοποιητικά από κάποια γραμμή τάσης και ενώ έχει επιλεγεί ως καλύτερη η εκθετική, ο συντελεστής R^2 είναι σχετικά χαμηλός με τιμή περί το 0,37. Δεν παρατηρείται, επομένως, κάποια σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών.



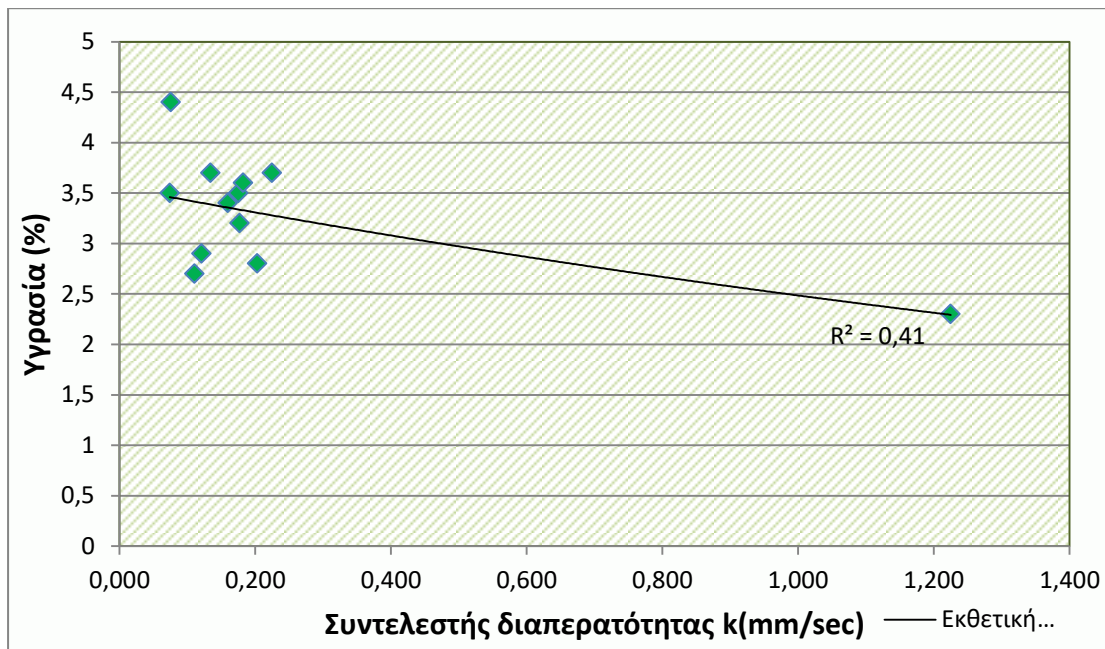
Εικόνα 5-5 Συσχέτιση ισοδύναμου άμμου με συντελεστή διαπερατότητας

Στο τρίτο διάγραμμα (Εικόνα 5-6) συσχετίζεται ο συντελεστής Los Angeles με τον συντελεστή διαπερατότητας. Με μία πρώτη ματιά παρατηρείται καθοδική τάση στις τιμές, δηλαδή με αύξηση του συντελεστή k μειώνεται ο αντίστοιχος του Los Angeles. Κατάλληλη καμπύλη τάσης αποτελεί και σε αυτή την περίπτωση η εκθετική, με συντελεστή προσδιορισμού ίσο με 0,60. Η τιμή αυτή δηλώνει σχετική εγγύτητα της γραμμής τάσης στις τιμές των δεδομένων που φαίνεται να συσχετίζονται μεταξύ τους. Παρόλα αυτά οι διαθέσιμες τιμές δεν είναι πολλές, με αποτέλεσμα η σχέση που παρατηρήθηκε να χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.



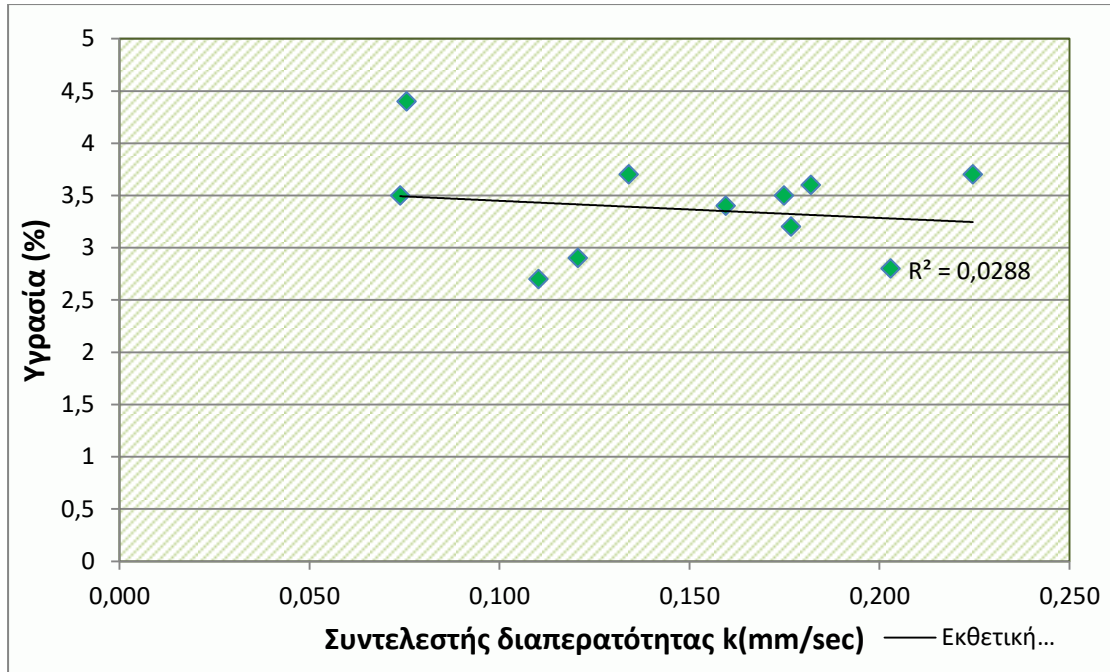
Εικόνα 5-6 Συσχέτιση Los Angeles με συντελεστή διαπερατότητας

Το επόμενο διάγραμμα (Εικόνα 5-7) περιγράφει τη συσχέτιση υγρασίας και συντελεστή διαπερατότητας. Δεν φαίνεται να παρουσιάζουν κάποια σχέση μεταξύ τους, καθώς η βέλτιστη τιμή συντελεστή προσδιορισμού που παρατηρήθηκε είναι περίπου 0,41.



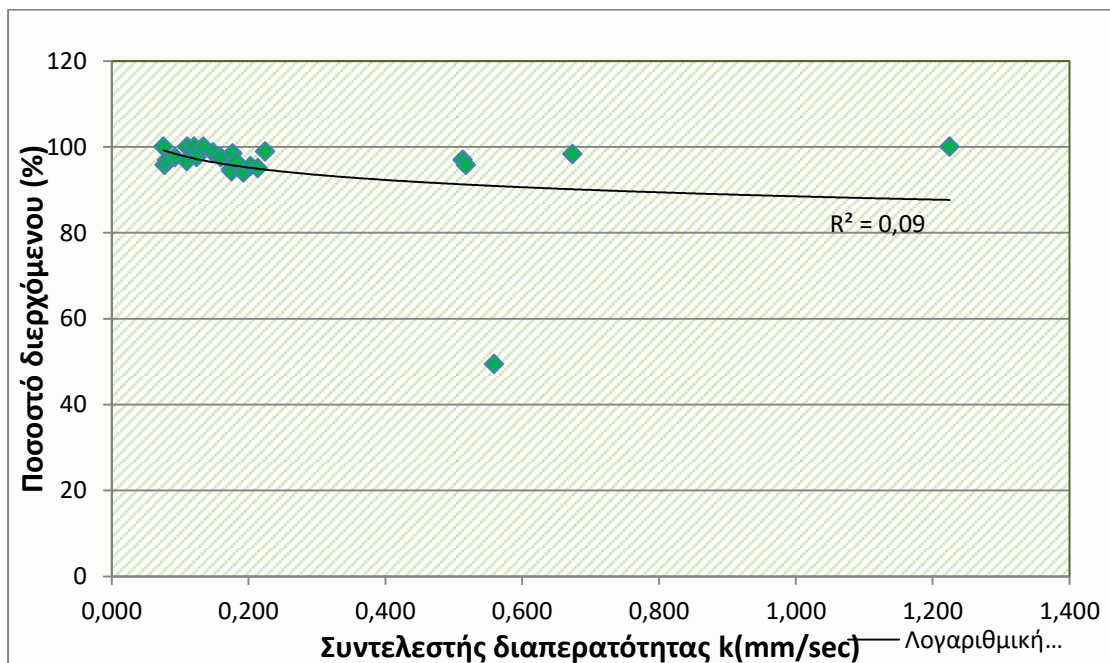
Εικόνα 5-7 Συσχέτιση υγρασίας με συντελεστή διαπερατότητας

Μπορεί η παραπάνω τιμή να μην είναι μια πολύ χαμηλή τιμή, αλλά παρατηρώντας κανείς εκτενέστερα το διάγραμμα παρατηρεί πως οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην τιμή της υγρασίας για $k=1,225$. Αν αυτή εξαιρεθεί η τιμή του R^2 προσεγγίζει το μηδέν (Εικόνα 5-8).

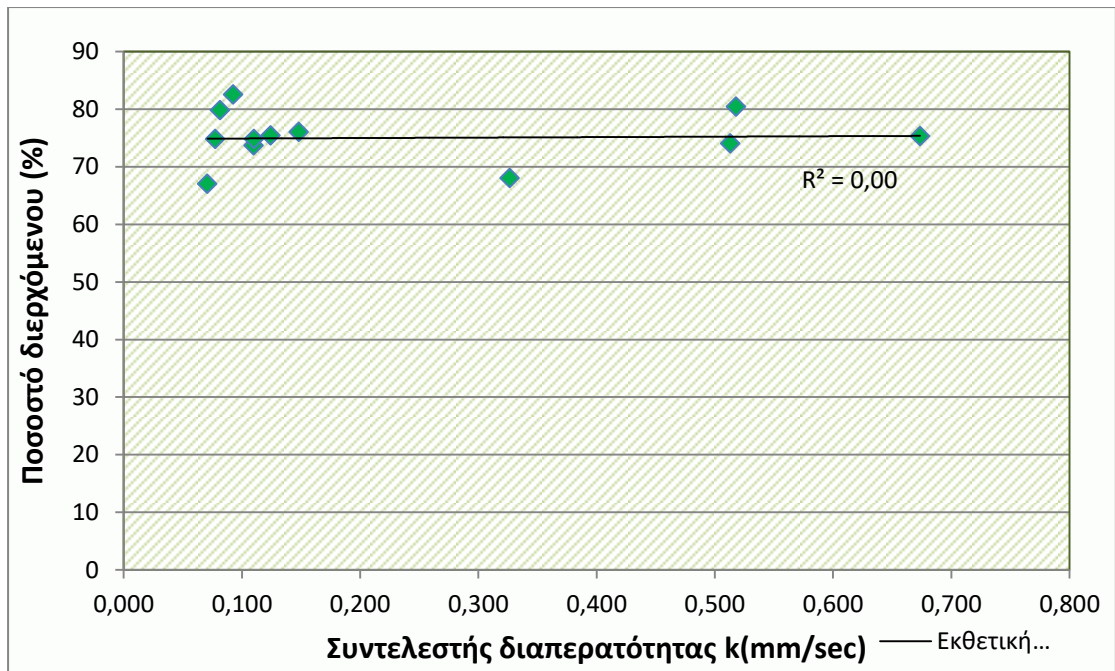


Εικόνα 5-8 Συσχέτιση υγρασίας με συντελεστή διαπερατότητας (πλην αναφερόμενης τιμής)

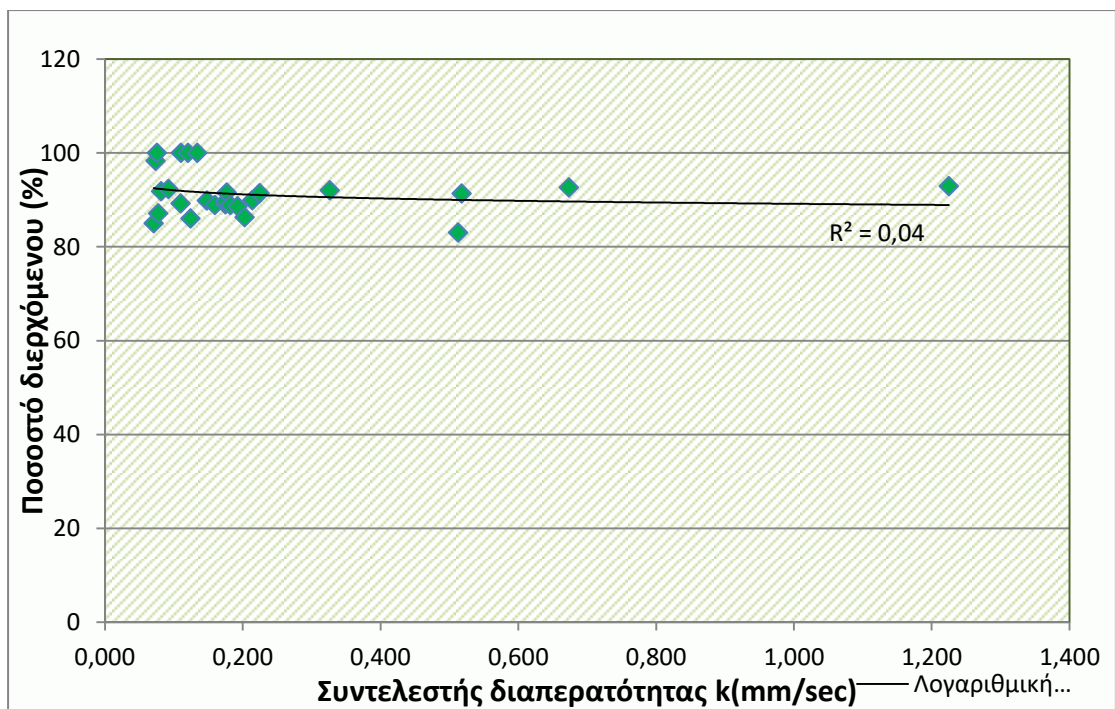
Ακολουθούν τα διαγράμματα συσχέτισης του συντελεστή διαπερατότητας και του ποσοστού διερχόμενου υλικού από τα επιμέρους ανοίγματα κόσκινων, με σειρά από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο άνοιγμα (Εικόνες 5-9 έως 5-16).



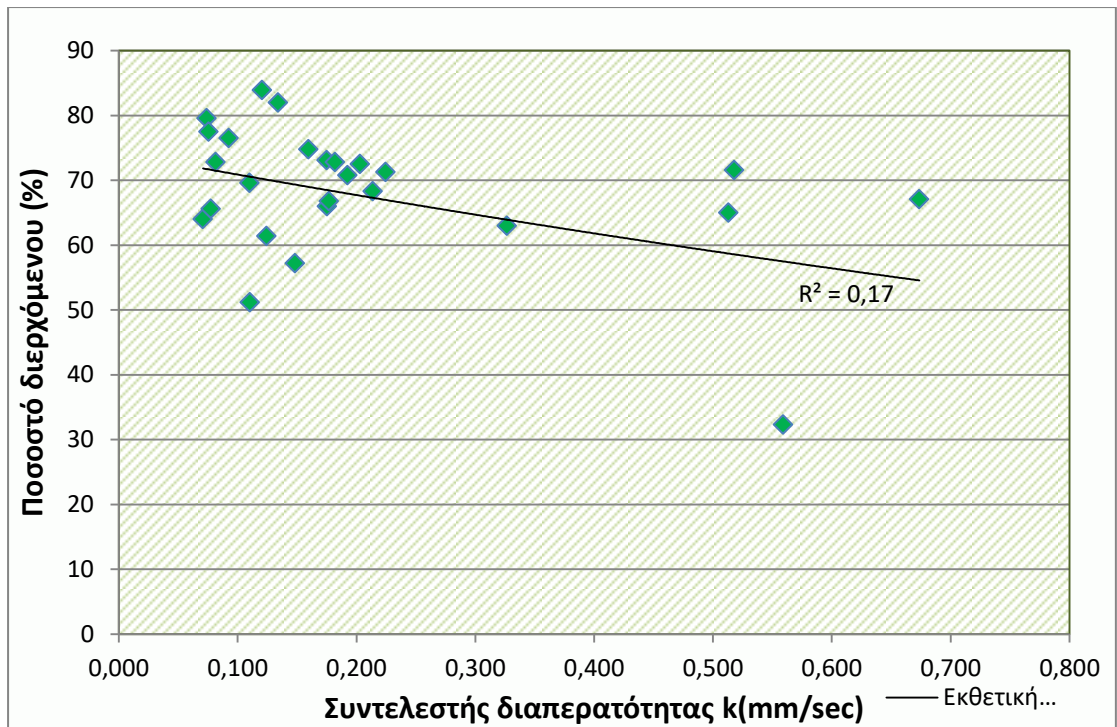
Εικόνα 5-9 Συσχέτιση ποσοστού διερχόμενου με συντελεστή διαπερατότητας με αριθμό κόσκινου 1



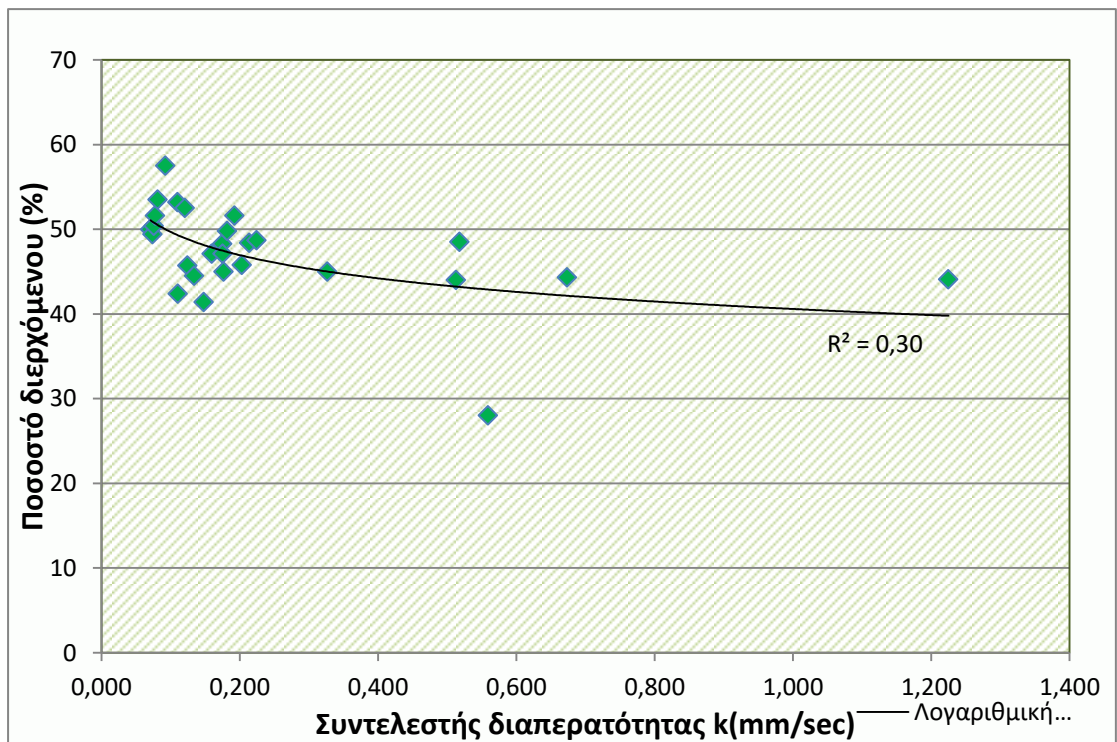
Εικόνα 5-10 Συσχέτιση ποσοστού διερχόμενου με συντελεστή διαπερατότητας με αριθμό κόσκινου 1/2



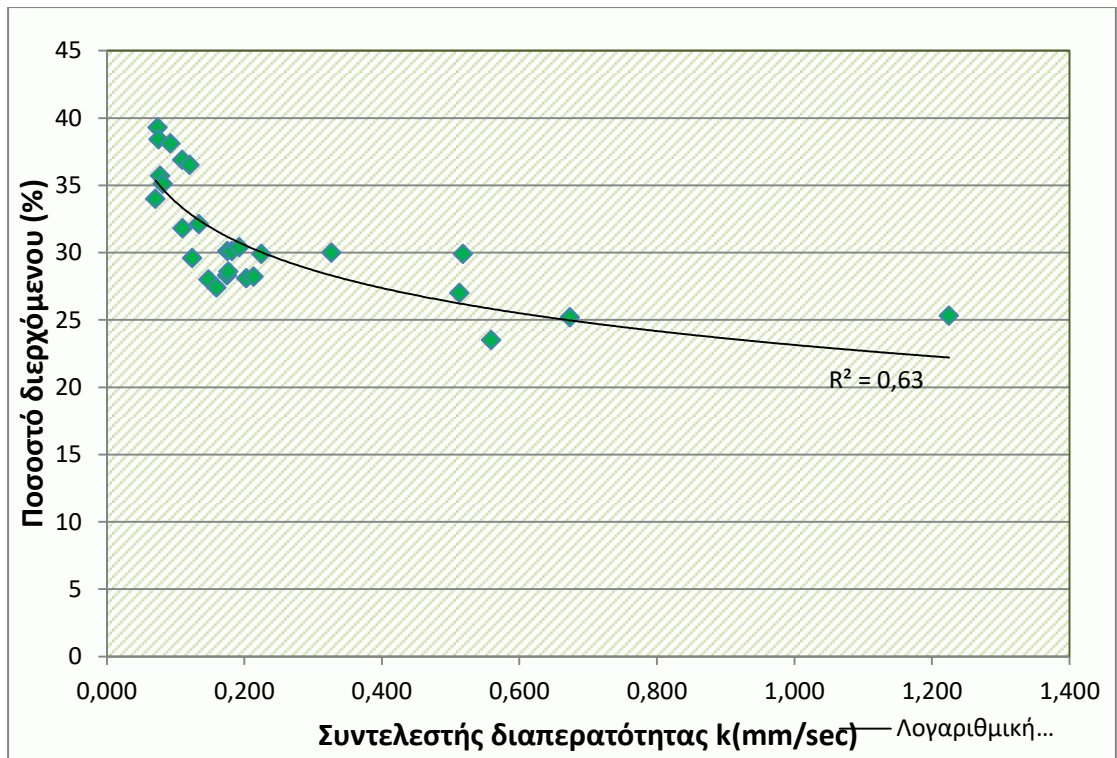
Εικόνα 5-11 Συσχέτιση ποσοστού διερχόμενου με συντελεστή διαπερατότητας με αριθμό κόσκινου 3/4



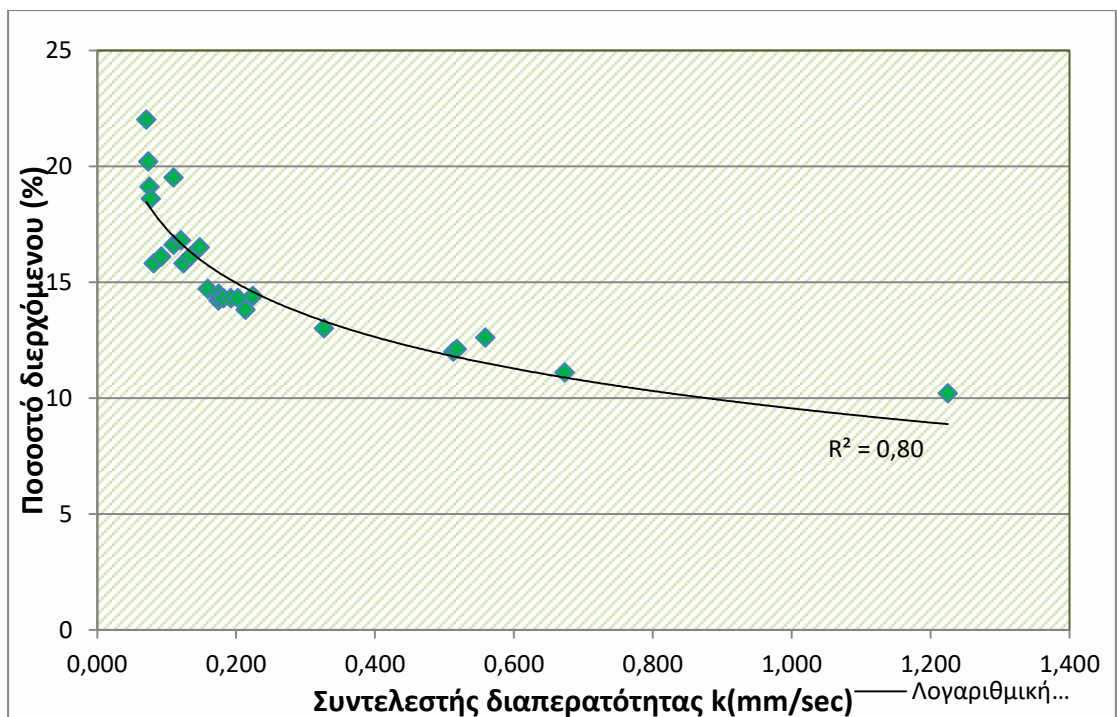
Εικόνα 5-12 Συσχέτιση ποσοστού διερχόμενου με συντελεστή διαπερατότητας με αριθμό κόσκινου 3/8



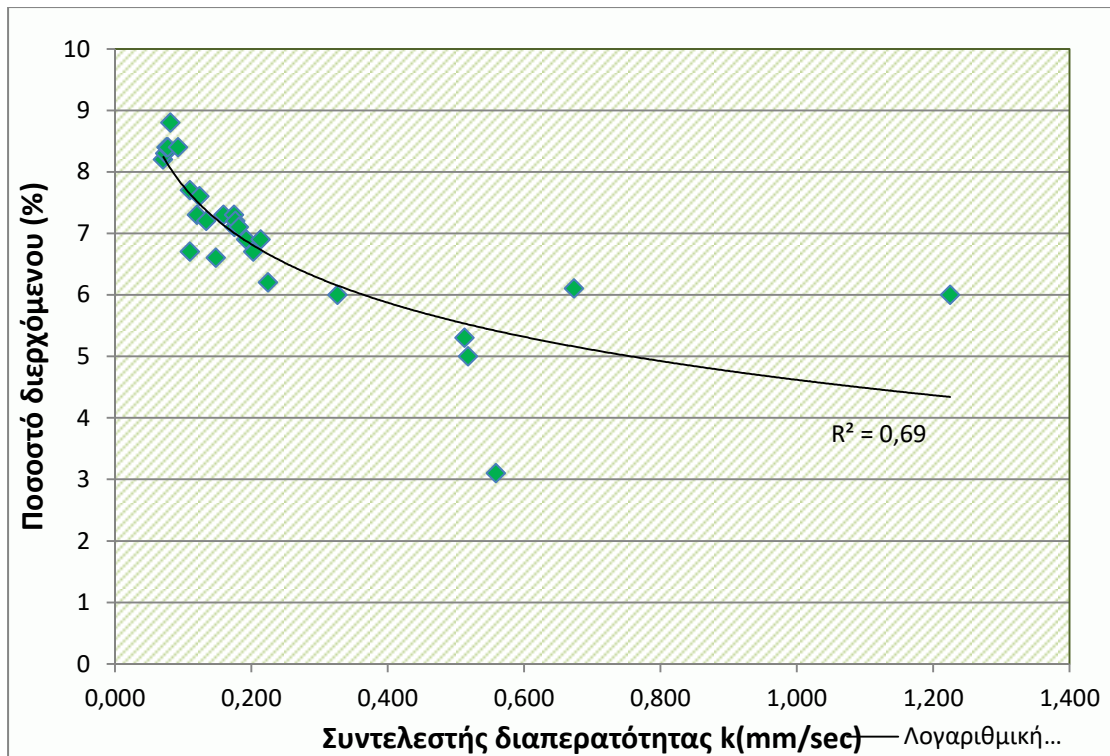
Εικόνα 5-13 Συσχέτιση ποσοστού διερχόμενου με συντελεστή διαπερατότητας για κόσκινο Νο4



Εικόνα 5-14 Συσχέτιση ποσοστού διερχόμενου με συντελεστή διαπερατότητας για κόσκινο Νο10



Εικόνα 5-15 Συσχέτιση ποσοστού διερχόμενου με συντελεστή διαπερατότητας για κόσκινο Νο40



Εικόνα 5-16 Συσχέτιση ποσοστού διερχόμενου με συντελεστή διαπερατότητας για κόσκινο No200

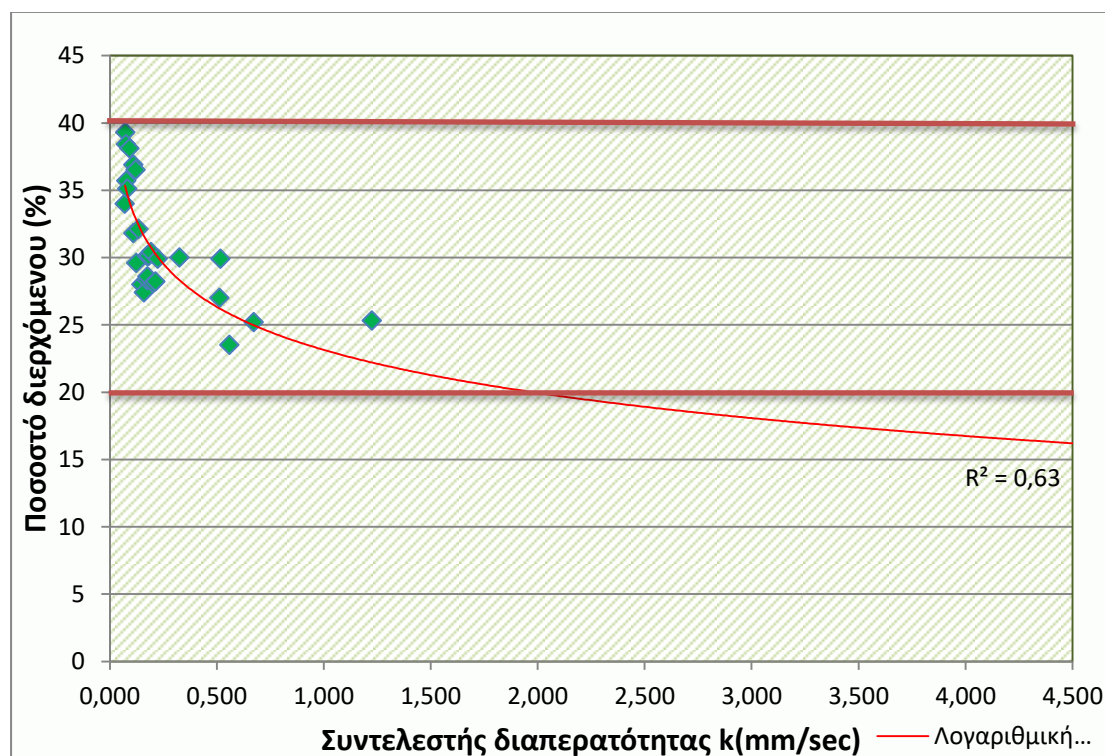
Παρατηρείται πως τα κόσκινα με μεγαλύτερο άνοιγμα, με αριθμό από 1 έως 3/8, παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές συντελεστή συσχέτισης R^2 , οι οποίες προσεγγίζουν το 0. Στο κόσκινο No4 το R^2 ισούται περίπου με 0,30, τιμή όχι ιδιαίτερα υψηλή, αλλά φανερά βελτιωμένη από τα προηγούμενα διαγράμματα. Στα τρία τελευταία διαγράμματα η συσχέτιση είναι αρκετά αυξημένη, καθώς οι συντελεστές προσδιορισμού είναι άνω του 0,60, με βέλτιστο αυτόν του κόσκινου No40 (Εικόνα 5-15), με τιμή περίπου 0,80. Η συσχέτιση των δεδομένων περιγράφεται από τη λογαριθμική καμπύλη. Οι υψηλές συσχετίσεις στα τρία αυτά κόσκινα είναι αναμενόμενες, καθώς το διερχόμενο D10, που συμμετέχει στον υπολογισμό του συντελεστή διαπερατότητας, βρίσκεται ανάμεσα στο κόσκινο No40 και στο No200, επομένως είναι φανερό πως τα κόσκινα αυτά είναι έμμεσα συσχετισμένα με τον συντελεστή k. Τέλος, από τα διαγράμματα προκύπτει πως από το κόσκινο No10 (Εικόνα 5-14) και στα κόσκινα με μικρότερα ανοίγματα, όσο ο συντελεστής διαπερατότητας αυξάνεται τόσο το ποσοστό διερχομένου υλικού (%) μειώνεται.

Εφόσον έχουν βρεθεί οι γραμμές τάσης που περιγράφουν με καλή ακρίβεια τα ποσοστά επί τις εκατό του διερχόμενου υλικού στα κόσκινα No10, No40 και No200 είναι δυνατόν να γίνει πρόβλεψη για το ποσοστό διερχόμενου από τα παραπάνω

κόσκινα που θα μπορούσε να συνδεθεί με τη μέγιστη πιθανή διαπερατότητα. Σύμφωνα με τον Πίνακα 3-3 και τα διαθέσιμα δεδομένα είναι προφανές ότι τα υλικά της αποστραγγιστικής στρώσης εντάσσονται στην κατηγορία «Αδρανή, καλά διαβαθμισμένα χωρίς λεπτόκοκκα» με συντελεστή διαπερατότητας από 0,04 έως 4mm/sec. Επομένως, για αυτή την κατηγορία, η ανώτερη δυνατή τιμή διαπερατότητας είναι τα 4mm/sec.

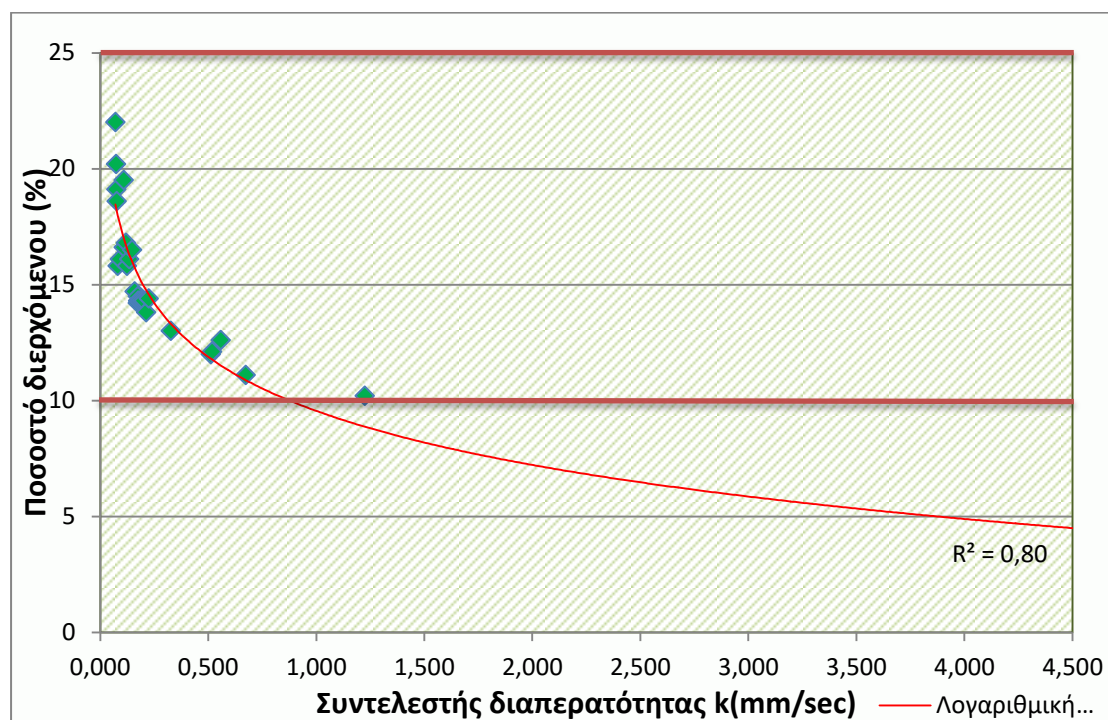
Ο παραπάνω προσδιορισμός της μέγιστης τιμής του k μπορεί να επιτευχθεί προεκτείνοντας την υπάρχουσα γραμμή τάσης. Παράλληλα, όμως, είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη τα όρια κατά Π.Τ.Π 0150 για την κοκκομετρική διαβάθμιση των υλικών του Πίνακα 3-1, αφού αυτά έχουν ληφθεί υπόψη και στα δεδομένα που συλλέχθηκαν. Έτσι προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα για τη μέγιστη διαπερατότητα που μπορεί να επιτευχθεί με την κατάλληλη κοκκομετρία στα τρία αυτά κόσκινα.

Για το κόσκινο Νο10, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-17, με ποσοστό διερχομένου 20% επιτυγχάνεται διαπερατότητα περίπου 2mm/sec. Τα όρια διερχόμενο ποσοστού των προδιαγραφών είναι 20-40%.



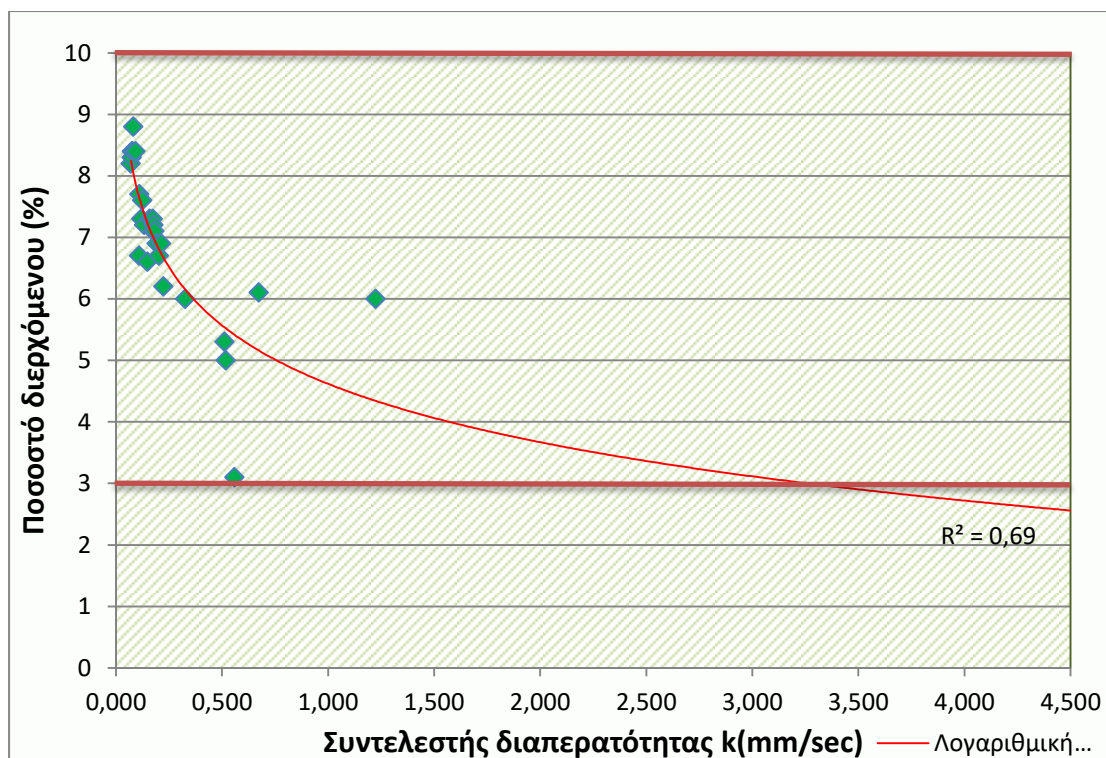
Εικόνα 5-17 Διάγραμμα προσδιορισμού μέγιστης διαπερατότητας στο κόσκινο Νο10

Στο κόσκινο Νο40, μετά την εφαρμογή των ορίων κοκκομετρίας (10-25%), με ποσοστό διερχομένου 10% επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή διαπερατότητα κοντά στο 1mm/sec (Εικόνα 5-18).



Εικόνα 5-18 Διάγραμμα προσδιορισμού μέγιστης διαπερατότητας στο κόσκινο Νο40

Τέλος, όσον αφορά το κόσκινο Νο200, προσεγγίζοντας το κατώτερο όριο των προδιαγραφών για το διερχόμενο ποσοστό υλικού (3-10%), δηλαδή το 3%, επιτυγχάνεται η βέλτιστη διαπερατότητα με τιμή ίση με 3mm/sec (Εικόνα 5-19).



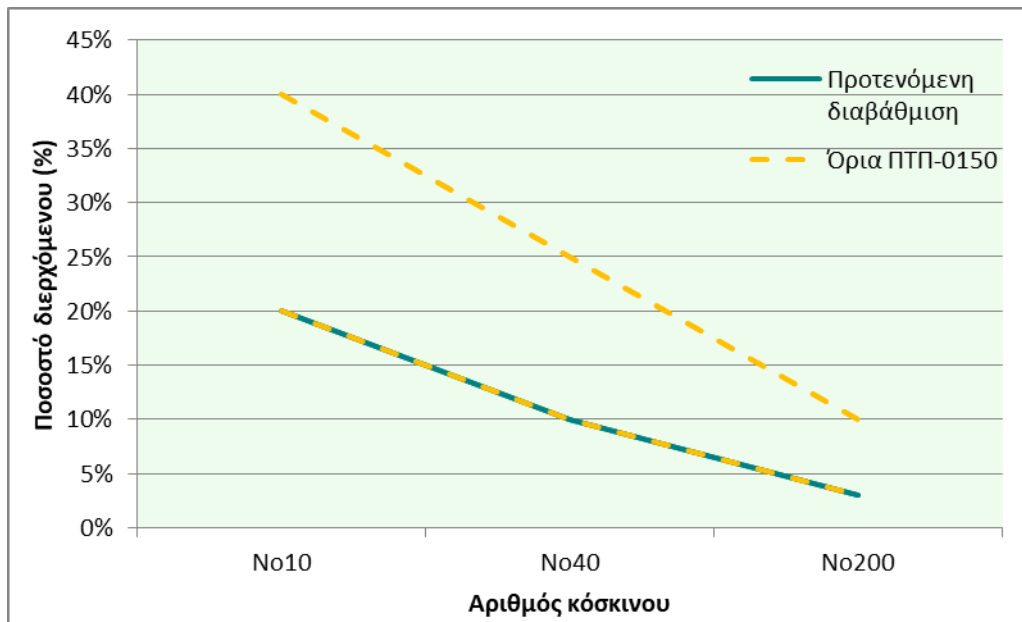
Εικόνα 5-19 Διάγραμμα προσδιορισμού μέγιστης διαπερατότητας στο κόσκινο No200

Από τα παραπάνω αποτελέσματα θα μπορούσε να προκύψει μια προτεινόμενη κοκκομετρική διαβάθμιση που αφορά τα κόσκινα No10, No40, No200 (Πίνακας 5-2).

Πίνακας 5-2 Προτεινόμενη κοκκομετρική διαβάθμιση για τα κόσκινα No10, No40, No200

ΚΟΣΚΙΝΟ	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΟΙΣ ΕΚΑΤΟ
No10	20%
No40	10%
No200	3%

Από το κόσκινο No10 διέρχεται υλικό με ποσοστό 20%, στο κόσκινο No40 το ποσοστό διερχόμενου υλικού που προτείνεται είναι 10% και στο κόσκινο No200 το αντίστοιχο ποσοστό έχει τιμή 3%. Φαίνεται πως η προτεινόμενη κοκκομετρική καμπύλη συμπίπτει με τα κατώτερα όρια της κοκκομετρικής διαβάθμισης κατά τις ΠΤΠ 0150 (Εικόνα 5-20).



Εικόνα 5-20 Προτεινόμενη κοκκομετρική καμπύλη για τα κόσκινα No10, No40, No200

Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς μικρότερο ποσοστό διερχόμενου υλικού από τα τρία αυτά κόσκινα, σημαίνει πιο χονδρόκοκκο υλικό με λιγότερο ποσοστό λεπτόκοκκου, το οποίο είναι και το ζητούμενο για την επίτευξη της μέγιστης διαπερατότητας της αποστραγγιστικής στρώσης.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση των γενικότερων χαρακτηριστικών της στρώσης στράγγισης του οδοστρώματος, αλλά και των παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαπερατότητά της. Μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αναδείχθηκαν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της στρώσης αποστράγγισης και ιδίως οι σχέσεις υπολογισμού του συντελεστή διαπερατότητας. Στη συνέχεια συγκεντρώθηκαν, ταξινομήθηκαν και αναλύθηκαν δεδομένα που αφορούν ορισμένα χαρακτηριστικά μεγέθη των υλικών αποστραγγιστικής στρώσης από υφιστάμενες οδούς και από λατομεία στην Ελλάδα. Για κάθε δεδομένο υλικό υπολογίστηκε ο συντελεστής διαπερατότητάς του και ύστερα πραγματοποιήθηκε προσπάθεια συσχέτισμού του κάθε μεγέθους ξεχωριστά με τον υπολογισμένο συντελεστή διαπερατότητας των υλικών. Από την παραπάνω διαδικασία προέκυψαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα.

Συγκεκριμένα, από τον υπολογισμό των τιμών του συντελεστή διαπερατότητας k προέκυψε το αποτέλεσμα ότι ο k παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών από 0,07 έως 1,23mm/sec, με μέση τιμή 0,25mm/sec. Σε ένα από τα δεδομένα υλικά η τιμή του k προέκυψε ίση με 14,40mm/sec που θεωρήθηκε εσφαλμένη και εξαιρέθηκε από τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν στη συνέχεια.

Σχετικά με τα δείγματα των δεδομένων παρατηρήθηκε πως το ισοδύναμο άμμου των υλικών της αποστραγγιστικής στρώσης κυμαίνεται κυρίως μεταξύ τιμών από 60 έως 70, ενώ η υγρασία κυρίως περί το 3,5%. Οι τιμές του συντελεστή Los Angeles παρουσίασαν μεγαλύτερο εύρος περίπου 20-35%, με δεδομένο όμως και το μικρό πλήθος τους. Η κοκκομετρική διαβάθμιση των υλικών φαίνεται να παρουσιάζει σχετική ομοιομορφία, καθώς τα ποσοστά διερχόμενου από κάθε κόσκινο ήταν παρόμοια και κυρίως στα κόσκινα με μεγάλο ή με πολύ μικρό άνοιγμα. Φαίνεται, λοιπόν, πως τα υλικά επιλέγονται με καθορισμένη κοκκομετρική διαβάθμιση και το διερχόμενο D_{10} , σημαντικό για τον υπολογισμό του συντελεστή διαπερατότητας, βρίσκεται σχεδόν πάντα μεταξύ των κοσκίνων No40 και No200.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν διαγράμματα συσχέτισης κάθε επιμέρους χαρακτηριστικού μεγέθους των υλικών με τον συντελεστή διαπερατότητας και προστέθηκαν οι γραμμές τάσεων που περιγράφουν καλύτερα τη σχέση των δεδομένων του κάθε διαγράμματος. Αξίζει να σημειωθεί πως καθώς τα δεδομένα έχουν προέλθει από εργαστηριακές δοκιμές υλικών και ο αριθμός δείγματος είναι

περιορισμένος, παρουσιάζεται αυξημένη δυσκολία συσχέτισμού των στοιχείων. Επομένως τιμές του συντελεστή R^2 μεγαλύτερες του 0,50 θεωρείται πως εκφράζουν καλή συσχέτιση, παρόλο που μπορεί να μην είναι ιδιαίτερα υψηλές.

Μα βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων συσχέτισμού προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ❖ Ο συντελεστής διαπερατότητας παρουσιάζει ανοδική πορεία όσο το βάρος του δείγματος μετά το πλύσιμο και τη ξήρανση μετρημένο σε γραμμάρια αυξάνεται. Η εκθετική καμπύλη φαίνεται να περιγράφει καλύτερα τη μεταξύ τους σχέση με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,55$, τιμή όχι ιδιαίτερα υψηλή, που δείχνει όμως έναν αποδεκτό συσχέτισμό μεταξύ των δύο μεγεθών.
- ❖ Το ισοδύναμο άμμου και η υγρασία σε ποσοστό επί τοις εκατό δεν φαίνεται να παρουσιάζουν κάποια συγκεκριμένη σχέση με τον συντελεστή διαπερατότητας, καθώς οι τιμές του R^2 είναι και στις δύο περιπτώσεις κάτω από 0,50.
- ❖ Στην περίπτωση του συντελεστή Los Angeles, η εκθετική γραμμή τάσης περιγράφει τη σχέση του με τον συντελεστή k με $R^2=0,60$. Παρουσιάζεται μια καθοδική τάση του Los Angeles με την αύξηση του k . Παρόλα αυτά, λόγω του περιορισμένου πλήθους διαθέσιμων τιμών, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.
- ❖ Τέλος, όσον αφορά το ποσοστό διερχόμενου υλικού από τα διάφορα μεγέθη κόσκινων, σε αυτά με άνοιγμα 1,1/2, 3/4mm, δηλαδή στα μεγαλύτερα, δεν παρουσιάζεται καμία συσχέτιση με τον συντελεστή διαπερατότητας και οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού προσεγγίζουν το 0. Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και για το μέγεθος 3/8mm. Όσο το άνοιγμα κοσκίνων μειώνεται, τα αποτελέσματα βελτιώνονται. Το διερχόμενο από το κόσκινο No4 παρουσιάζει R^2 περίπου στο 0,30, τιμή σχετικά χαμηλή αλλά αρκετά απομακρυσμένη από το 0. Τα κόσκινα No10, No40 και No200 φαίνεται να παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση με τον συντελεστή διαπερατότητας, η οποία περιγράφεται από τη λογαριθμική γραμμή τάσης, με R^2 που ξεπερνά το 0,60. Μεγαλύτερη συσχέτιση παρατηρείται στην περίπτωση του κόσκινου No40 όπου ο συντελεστής φτάνει περίπου το 0,80. Όσο αυξάνεται ο συντελεστής διαπερατότητας τόσο μειώνεται το ποσοστό του διερχόμενου από το κόσκινο. Οι υψηλές τιμές του R^2 στα τελευταία κόσκινα είναι αναμενόμενες καθώς σε αυτά τα μεγέθη βρίσκεται το D10, που συμμετέχει στον υπολογισμό του k .

Τονίζεται επίσης ότι ο ρόλος της στρώσης αποστράγγισης στο οδόστρωμα είναι να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διαπερατότητα. Έτσι, με δεδομένα τα

παραπάνω αποτελέσματα και λαμβάνοντας υπόψη το διερχόμενο ποσοστό από τα κόσκινα στα οποία παρατηρείται καλή συσχέτιση με το συντελεστή διαπερατότητας, μπορούν να προκύψουν ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με την ιδανική κοκκομετρική διαβάθμιση. Αρχικά, στο κόσκινο No10, παρατηρείται πως οι ανώτερες τιμές παρουσιάζονται για ποσοστό διερχόμενου υλικού 24-30% με τις βέλτιστες να εμφανίζονται περί το 25%, όπου η διαπερατότητα ξεπερνά τα 0,6 mm/sec (Εικόνα 5-13). Όσον αφορά το κόσκινο No40, ευνοϊκότερο φαίνεται το ποσοστό διερχόμενου 10-13% με τις μεγαλύτερες τιμές διαπερατότητας να παρατηρούνται στο 10-11%. Τέλος, για το κόσκινο No200 προτιμάται ποσοστό διερχόμενου 3-6% με ιδανικό περίπου στο 6%. Με αντίστοιχη διαδικασία είναι δυνατόν να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα και για τον ιδανικότερο συντελεστή Los Angeles, εφόσον και αυτός παρουσιάζει καλή συσχέτιση με τη διαπερατότητα της στρώσης. Βέλτιστα αποτελέσματα διαπερατότητας παρουσιάζει ο συντελεστής L.A. περίπου από 24 έως 27%, με καλύτερη τιμή το 24% (Εικόνα 5-6).

Τα παραπάνω αποτελέσματα αφορούν τα υφιστάμενα δεδομένα που συλλέχθηκαν για την διεξαγωγή της παρούσας έρευνας. Πραγματοποιήθηκε, όμως, προσπάθεια να αξιοποιηθούν και για περαιτέρω έρευνα. Λήφθηκαν υπόψη τα κόσκινα στα οποία το διερχόμενο ποσοστό είναι σε καλό βαθμό συσχετισμένο με τη διαπερατότητα, δηλαδή τα No10, No40, No200. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη το όριο της διαπερατότητας των υλικών αποστραγγιστικής στρώσης (Πίνακας 3-3), αλλά και τα επιτρεπόμενα όρια διερχόμενου υλικού από κάθε κόσκινο σύμφωνα με τις ανάλογες προδιαγραφές (Πίνακας 3-1) προέκυψαν προτεινόμενες κοκκομετρικές και μέγιστες τιμές διαπερατότητας.

Γενικά, παρατηρείται πως τα κατώτερα επιτρεπόμενα όρια διερχόμενου υλικού για κάθε κόσκινο (Πίνακας 3-1) δίνουν τις μέγιστες δυνατές τιμές συντελεστή k . Συγκεκριμένα τα προτιμώμενα ποσοστά είναι 3%, 10% και 20% για τα κόσκινα No200, No40, No10 αντίστοιχα. Οι μέγιστες τιμές του συντελεστή που επιτεύχθηκαν κυμαίνονται από 1 έως 3mm/sec και είναι ιδιαίτερος υψηλές, δεδομένου του ότι θεωρήθηκε καλή τιμή του συντελεστή k από 0,3 mm/sec και άνω.

Από τα παραπάνω φαίνεται η σημασία της επιλογής των κατάλληλων υλικών για τη στρώση αποστράγγισης και επιβεβαιώνεται πως η διαπερατότητά της, που αποτελεί και βασικό χαρακτηριστικό της, εξαρτάται και από άλλους παράγοντες πέραν αυτών που συμμετέχουν στη σχέση υπολογισμού της. Επομένως, ως περαιτέρω έρευνα, θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθούν εκτενέστερα ορισμένα

χαρακτηριστικά υλικού, όπως ο συντελεστής Los Angeles, που φάνηκαν να μπορούν να προσφέρουν χρήσιμα συμπεράσματα για τη διαπερατότητα, αλλά κάτι τέτοιο δεν εξακριβώθηκε καθώς το διαθέσιμο δείγμα ήταν μικρό. Συμπληρωματικά θα μπορούσε να δοθεί και μια προτεινόμενη τιμή του συντελεστή L.A. η οποία να δίνει τη μέγιστη δυνατή διαπερατότητα. Μια ακόμη πρόταση για περαιτέρω διερεύνηση θα μπορούσε να είναι η ενασχόληση με άλλα χαρακτηριστικά υλικών που αποτελούν τη στρώση αποστράγγισης, όπως για παράδειγμα ο δείκτης CBR. Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία θα είχε η μεταφορά της παρούσας έρευνας σε πειραματικό περιβάλλον, έτσι ώστε να παρατηρηθεί η πραγματική συμπεριφορά της διαπερατότητας διαφόρων υλικών με την προτεινόμενη κοκκομετρία που έχει προκύψει. Τέλος, ενδιαφέρον θα είχε και η αντίστοιχη διερεύνηση της αποστραγγιστικής στρώσης σε άλλους τύπους οδοστρωμάτων, όπως για παράδειγμα στα δύσκαμπτα οδοστρώματα.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AASHTO. *Guide for design of pavement structures*. Washington D. C.: American Association of State Highway and Transportation Officials,, 1993.
- AASHTO T 193. «Standard Method of Test for the California Bearing Ratio.» 2003.
- Adorjányi, K. «Effect of capping layers on the improvment of subgrade bearing capacity.» Bratislava: 11th International Scientific Conference MOBILITA'11, 2011.
- Arika, C. N., D. J. Canelon, και J. I. Nieber. «Subsurface Drainage Manual for Pavements in Minnesota.» Final Report, Research Services Section, Minnesota Department of Transportation, Minnesota, 2009.
- Carter, M., και S. P. Bentley. *Correlations of soil properties*. London: PENTECH PRESS, 1991.
- Collins H.J., Hart C.A. *Principles of Road Engineering*. London, U.K.: Edward Arnold Publishers Ltd, 1936.
- Dawson, Andrew. *Water in Road Structures- Movement, Drainage & Effects*. University of Nottingham, UK: Springer, 2009.
- Dezert, T, Y. Fargier, S.P. Lopes, και P. Cote. «Geophysical and Geotechnical methods for fluvial levee investigation: A review.» *Engineering Geology*, 2019: 18 p. 10.1016/j.enggeo.2019.105206ff. fahal-02961618f.
- Diafenderfer, Brian K., Khaled Galal, και David W. Mokarem. *Effect of subsurface drainage on the structural capacity of flexible pavement*. Final Report, Virginia Transportation Research, 2005.
- FAA. *Airport Pavement Design and Evaluation*. U.S. Department of Transportation, AC No: 150/5320-6G, 2021.
- Feng, Aiwen, Jianfeng Hua, και Thomas D. White. *Flexible Pavement Drainage Monitoring, Performance and Stability*. West Lafayette, Indiana 47907: Indiana Department of Transportation, Purdue University, May 1999.

- Forsyth, R. A., G. K. Wells, και J. H. Woodstrom. «Economic Impact of Pavement Subsurface Drainage.» *Transportation Research Board, Record No.1121*, 1987: 77-85.
- Huang, Yang H. *Pavement Analysis and Design*. 2nd Edition. Pearson Prentice Hall, 2004.
- Kaye, G.W.C, και T.H. Laby. *Tables of Physical and Chemical Constants*. Longman, London, 1973.
- Mallick, Rajib B., και Tahar El-Korchi. *Pavement Engineering: Principles and Practice*. Τόμ. Third Edition. CRC Press, 2017.
- McGuffey, Verne C., και Barry R. Christopher. *Pavement Subsurface Drainage Systems*. Washington D. C.: National Academy Press, 1997.
- Moulton, L. K. *Highway Subdrainage Design*. Washington D. C.: Federal Highway Administration, 1980.
- Papagiannakis, A. T., και E. A. Masad. *Pavement Design and Materials*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.
- Rokade, Siddhartha, P. K. Agarwal, και Rajnish Shrivastava. «Drainage and Flexible Pavement Performance.» *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, April 2012: p. 1308-1311.
- Smiles, S. *Lives of the Engineers - Metcalfe-Telford*. London, U.K.: John Murray, 1904.
- Yoder, E. J., και M. W. Witzak. *Principles of Pavement Design*. 2nd Edition. John Wiley & Sons, 1975.
- Βραχίμης, Σάββας. *Στοιχεία Οδοποιίας: Εύκαμπτα, ημιδύσκαμπτα και άκαμπτα οδοστρώματα*. Επιστημονικό Τεχνικό Επιμελητήριο Κύπρου, 2017.
- Γαλάνης, Αθανάσιος. *ΟΔΟΠΟΙΙΑ II: 13 η Διάλεξη Έργα Αποστράγγισης Οδών & Οχετοί*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, 2016.
- ΓΤΣΥ-200. *Αποστράγγιση*. n.d. www.hellaskps.gr.
- Εγνατία Οδός Α.Ε. «Υλικά και Κατασκευή Εξυγιαντικής Στρώσης, Άρθρο 2Α.» Τ.Σ.Υ, Μάρτιος 1998.

- ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-03-00. *Στρώσεις οδοστρώματος από ασύνδετα αδρανή υλικά*.
Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης Α.Ε., 2009.
- Καββαδάς . *Στοιχεία Εδαφομηχανικής*. Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείου, 2005.
- Καλτσούνης, Αντώνης. «Οδοποιία, Ιστορική αναδρομή.» *Τεχνικά Χρόνια*, 2007:
http://library.tee.gr/digital/techr/2007/techr_2007_3_kaltsounis.pdf.
- Κανελλαΐδης, Γ., Γ. Μαλέρδος, Φ. Μερτζάνης, και Γ. Γλαρός . *Σημειώσεις Οδοποιίας
I*. Αθήνα: Τμήμα Μεταφορών & Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών
Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2016.
- Κυριαζόπουλος, Α. *Τεχνικά Έργα Οδοποιίας, 9η Διάλεξη- Έργα Αποστράγγισης
Οδών*. Αθήνα: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής,
2021.
- Λοΐζος , Α., και Χ. Πλατή . *Σημειώσεις για το μάθημα "Κατασκευή Οδών"*. Αθήνα:
Εργαστήριο Οδοποιίας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο
Πολυτεχνείο, 2021.
- Λοΐζος , Α., και Χ. Πλατή. *Σημειώσεις για το μάθημα "Σχεδιασμός Οδοστρωμάτων
Οδών και Αεροδρομίων"*. Αθήνα: Εργαστήριο Οδοποιίας, Σχολή Πολιτικών
Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2018.
- Μαρσέλλος, Ν. «Δοκιμές PROCTOR, CBR, φόρτισης πλάκας, συμπίκνωσης.»
Σεμινάριο: Νεότερες Εξελίξεις στην Κατασκευή Οδοστρωμάτων. Τεχνικό
Επιμελητήριο Ελλάδας, 1990.
- Μουρατίδης, Α.Κ. *Οδοποιία, Η Διαχείριση των Οδικών Έργων*. Θεσσαλονίκη:
University Studio Press, 2008.
- Νικολαΐδης, Α. *Οδοποιία, Οδοστρώματα- Υλικά, Έλεγχος ποιότητας*. Θεσσαλονίκη:
Μ.Τριανταφύλλου, 1996.
- Νικολαΐδης, Αθανάσιος. *Εύκαμπτα οδοστρώματα*. 2005.
- ΟΕΜΚ-Β-9. «Εγχειρίδιο ελέγχων και ταξινόμησης φθορών οδοστρωμάτων.» n.d.
- ΟΜΟΕ 11. «Οδοστρώματα, Άρθρο 6.» n.d.
- ΟΜΟΕ. «Τεύχος 8: Αποχέτευση- Στράγγιση- Υδραυλικά Έργα Οδών (ΟΜΟΕ-
ΑΣΥΕΟ).» ΥΠΕΧΩΔΕ, ΓΓΔΕ, 2013.

Παπασπύρου, Σπύρος. *Στρώσεις Εξυγίανσης και Βοηθητικές Στρώσεις*. Αθήνα, 2011.

ΠΕΤΕΠ 05-03-11-04. «Ασφαλτικές στρώσεις κλειστού τύπου.» Μάιος 2006.

ΠΕΤΕΠ:08-03-02-00. «Διαβαθμισμένο υλικό στραγγιστηρίων.» Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, 2006.

Σακελλαρίου Μ. *Εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής*. Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2003.