



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΑΜΜΟΠΑΓΙΔΩΝ ΓΗΠΕΔΩΝ GOLF



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
του φοιτητή **ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Σ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**

Εισηγητής: Ελμαλόγλου Σταμάτιος, Καθηγητής

Εξεταστική Επιτροπή: Ελμαλόγλου Σταμάτιος, Καθηγητής
Δέρκας Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής
Ψυχογιού Μαρία, Λέκτορας

ΑΘΗΝΑ 2011

Μεταπτυχιακή Διατριβή

του φοιτητή Δημητρίου Σ. Δημήτριου του Τμήματος

Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ
ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ
ΑΜΜΟΠΑΓΙΔΩΝ
ΓΗΠΕΔΩΝ GOLF**

Εξεταστική Επιτροπή:

Ελμαλόγλου Σταμάτιος

Καθηγητής (εισηγητής)

Δέρκας Νικόλαος

Επίκουρος Καθηγητής

Ψυχογιού Μαρία

Λέκτορας

ΑΘΗΝΑ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διατριβής μου, θέλω να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν κατά την διάρκεια της εκπόνησης της.

Το θέμα της διατριβής επιλέχτηκε από τον Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Καραντούνια Γεώργιο, τον οποίο θέλω να ευχαριστήσω τόσο για την ευκαιρία που μου έδωσε να μελετήσω το συγκεκριμένο θέμα όσο και για τη συνεχή καθοδήγηση του κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμότατα τον κ. Ελμαλόγλου Σταμάτιο, Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την επίβλεψη της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, για τις συμβουλές που μου παρείχε και για τη διάθεση του πολύτιμου χρόνου του κατά τη συγγραφή της διατριβής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Δέρκα Νικόλαο, Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για τη σημαντική βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διενέργεια του πειραματικού μέρους της μελέτης.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Ψυχογιού Μαρία, Λέκτορα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για την συμμετοχή της στην τριμελή επιτροπή και για τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχε σαν καθηγήτρια μου σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους μου, Βαμβακούλα Χρήστο και Πάντζαλη Δημήτριο, για τη συμβολή και τη βοήθεια τους κατά την πραγματοποίηση του πειράματος.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους εργαζόμενους του Εργαστηρίου Υδραυλικής, που με βοήθησαν κατά την παραμονή μου σε αυτό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΜΕΡΟΣ Ι: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΟ	9
1. Βασικοί Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Σχεδιασμό ενός Δικτύου Άρδευσης ή Στραγγίσης	9
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.2 Μηχανική σύσταση του εδάφους.....	10
1.3 Δομή του εδάφους.....	14
1.4 Πορώδες.....	16
1.5 Συσχετίσεις μεταξύ όγκου και μάζας των συστατικών του εδάφους.....	16
1.6 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας.....	20
2. Συνδεδειγμένα Μέρη Αρδευτικού Δικτύου (Μπαμπίλης, 2004)	23
2.1 Σωληνώσεις.....	23
2.2 Εξαρτήματα συνδεσμολογίας.....	26
2.3 Σταλάκτες.....	33
2.4 Βάνες.....	38
3. Εκχειλιστές	39
3.1 Ειδικές περιπτώσεις.....	40
4. Βασικές Αρχές των Στραγγίσεων των Εδαφών (Τερζίδης και Καραμούζης, 1986)	42
4.1 Εισαγωγή - Υπόγεια στάθμη.....	42
4.2 Έκφραση και πεδίο ισχύος του νόμου του Darcy.....	43
4.3 Υδραυλική αγωγιμότητα.....	45
4.4 Προσδιορισμός της Υδραυλικής αγωγιμότητας κορεσμένων εδαφών (K_s) στο Εργαστήριο.....	46
5. Βάθος Αγωγών Στραγγίσεων (Χαλκιάς, 1972)	50
5.1 Γενικά.....	50
6. Ισαποχή Αγωγών Στραγγίσεων	53
6.1 Σταθερή ροή σε ελεύθερα υδροφόρα στρώματα.....	53
6.2 Ανάλυση του Hooghoudt.....	57
6.3 Τύπος του Ernst.....	61
7. Αμμοπαγίδες	67
7.1 Ιστορική αναδρομή - Προέλευση.....	67
7.2 Περιγραφή αμμοπαγίδων.....	68
7.3 Σχεδιασμός αμμοπαγίδας.....	68
7.4 Επιλογή άμμου.....	78
7.5 Κατασκευή αμμοπαγίδων.....	82

ΜΕΡΟΣ ΙΙ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ	87
1. Γενικά – Σκοπός	87
2. Προετοιμασία Πειράματος	88
2.1 Δοχείο.....	88
2.2 Άρδευση	90
2.3 Αξιολόγηση και προσκόμιση υλικού	92
2.4 Ανύψωση δοχείου και τοποθέτηση σε βάση	94
2.5 Πλήρωση δοχείου.....	95
2.6 Κορεσμός του δοχείου.....	100
2.7 Κατασκευή συστήματος διάταξης χρωματισμού του νερού	102
3. Προκαταρκτικές Μετρήσεις Πειράματος	103
3.1 Παραμετροποίηση - Βαθμονόμηση Συστήματος Σταλακτών	103
3.2 Κοκκομετρική Ανάλυση	105
3.3 Υδραυλική αγωγιμότητα (K_s).....	116
3.4 Χαρακτηριστική Καμπύλη Υγρασίας.....	120
3.5 Διαδικασία παραμετροποίησης τριγωνικού εκχειλιστή	122
4. Υλοποίηση Πειράματος	126
4.1 Λειτουργία άρδευσης - Μέτρηση ροής - Ρύθμιση πίεσης	126
4.2 Μέτρηση απορροής του νερού	126
4.3 Προσδιορισμός και επαλήθευση του διαθέσιμου φορτίου	129
5. Συμπεράσματα	132
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	133

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή διερευνώνται πειραματικά στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής οι συνθήκες στράγγισης του νερού μιας αμμοπαγίδας γηπέδου Golf. Η υλοποίηση του παρόντος πειράματος πραγματοποιήθηκε με τη μορφή προσομοίωσης σε πειραματικό δοχείο από διαφανή φύλλα plexiglass, στον πυθμένα του οποίου είναι τοποθετημένος πλαστικός σωλήνας στράγγισης παρόμοιος με αυτόν που χρησιμοποιείται στις αμμοπαγίδες γηπέδων Golf. Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει σύστημα βροχόπτωσης. Η βροχόπτωση επιτυγχάνεται με δίκτυο σωληνώσεων στάγδην άρδευσης με διάφορες εντάσεις άρδευσης / βροχόπτωσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα που προκύπτουν συγκρίνονται με αντίστοιχα υπολογιστικά στοιχεία μέσω θεωρητικής επίλυσης. Τα πειράματα περιλαμβάνουν μετρήσεις των παρακάτω μεγεθών: 1) Μέτρηση παροχής άρδευσης / βροχόπτωσης, 2) Χρόνος Απορροής, 3) Καμπύλη απορροής συναρτήσει του χρόνου, 4) Προσδιορισμός του διαθέσιμου φορτίου του αποστραγγιστικού συστήματος.

ABSTRACT

The aim of this postgraduate thesis is to explore experimentally the conditions of water drainage in the bunkers in a Golf field in the Agricultural Hydraulics Laboratory of Agricultural University of Athens. The implementation of this experiment took the form of assimilation in an experimental tank made of transparent sheets of plexiglass, at the bottom of which, a plastic tube drainage similar to that used in Golf bunkers is mounted. The experimental setup includes a rainfall system. The precipitation is achieved by piping drip irrigation with various intensities of irrigation / rainfall. The experimental results obtained are compared with corresponding computer data through theoretical solution. The experiment procedure includes measurements of the following sizes: 1) Measurement of irrigation / rainfall, 2) Basin time, 3) Runoff – time curve, 4) Determining the available hydraulic head of the drainage system.

ΜΕΡΟΣ Ι: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

1. Βασικοί Παράγοντες που Επηρεάζουν τον Σχεδιασμό ενός Δικτύου Άρδευσης ή Στράγγισης.

1.1 Εισαγωγή

Οι παράμετροι που πρέπει να έχει υπόψη του ο μελετητής πριν από την έναρξη εργασιών της οποιαδήποτε μελέτης είναι οι πιο κάτω:

- Εξοικονόμηση νερού
- Απόδοση εξοπλισμού
- Τοπικές συνθήκες
- Κόστος εγκατάστασης

Ο αρδευτικός σχεδιασμός θα πρέπει να είναι ένας συνδυασμός όλων αυτών των παραγόντων. Το ποσοστό συμμετοχής του κάθε παράγοντα διαφέρει σε κάθε έργο. Ο ιδιοκτήτης του έργου θα πρέπει να είναι ενήμερος στο μέγιστο δυνατό βαθμό για τους αναγκαίους συμβιβασμούς, στην οποιαδήποτε λύση του προταθεί και είναι αυτός ο οποίος θα αποφασίσει για την λύση που θα εφαρμοσθεί. Το ανελαστικό κριτήριο που δεσμεύει τον μελετητή είναι μόνον η ισχύουσα νομοθεσία. Ο μελετητής υποχρεούται να συναποφασίσει με τον ιδιοκτήτη, ή τον εκπρόσωπο του, και να προσδιορίσουν το ποσοστό συμμετοχής των πιο πάνω κριτηρίων στην τελική λύση με στόχο την προστασία όλων των εμπλεκομένων.

Η άρδευση στα κηποτεχνικά έργα γίνεται με δύο μεθόδους. Αρδεύονται με τεχνητή βροχή όλα τα είδη των χλοοταπήτων και με στάγδην άρδευση όλα τα είδη των δέντρων και θάμνων. Για την άρδευση των χλοοταπών χρησιμοποιούνται εκτοξευτήρες νερού και για την άρδευση των δέντρων και θάμνων οι κατανεμητές - σταλάκτες. Και στις δύο μεθόδους όλα τα υπόλοιπα στοιχεία (σωλήνες, ηλεκτροβάνες, υλικά συνδεσμολογίας, φίλτρα κλπ) είναι κοινά.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας για ένα αποδοτικό και οικονομικό στη κατανάλωση νερού αρδευτικό δίκτυο για χλοοτάπητα είναι η ομοιομορφία διαβροχής η οποία εξασφαλίζει:

- α) την ομοιόμορφη κάλυψη των αναγκών που έχουν τα φυτά σε νερό, άρα και την ομοιόμορφη ανάπτυξη
- β) τη μείωση του κόστους κατανάλωσης του νερού,
- γ) τη μείωση του κόστους συντήρησης του αρδευτικού δικτύου,
- δ) την αύξηση της διάρκειας ζωής του αρδευτικού εξοπλισμού,
- ε) τη σωστή διαχείριση του νερού.

1.2 Μηχανική σύσταση του εδάφους

Η κατασκευή ενός δικτύου άρδευσης προϋποθέτει την κατανόηση βασικών γνώσεων και πληροφοριών που αφορούν τον παράγοντα «έδαφος». Δεν πρέπει να μας διαφεύγει ότι με την άρδευση δεν κατανέμουμε απλά νερό πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά, αποβλέποντας στην ευζωία των φυτικών οργανισμών που έχουμε να διαχειριστούμε, εφαρμόζουμε την απαραίτητη ποσότητα νερού στον κατάλληλο χρόνο.

Το **έδαφος** είναι ένας φυσικός σχηματισμός που αναπτύσσεται στην επιφάνεια της γης και **προσφέρει** στο φυτό τρεις ουσιώδεις παραμέτρους ζωής:

- ✚ στήριξη,
- ✚ θρεπτικά στοιχεία,
- ✚ νερό.

Αποτελείται από τρεις φάσεις: τη στερεά, την υγρή και την αέρια. Η στερεά φάση καταλαμβάνει περίπου το 50% του όγκου του. Τον υπόλοιπο όγκο καταλαμβάνουν ή υγρή και η αέρια φάση, δηλαδή το νερό και ο εδαφικός αέρας. Το άθροισμα του όγκου του νερού και του εδαφικού αέρα καλείται **«πορώδες»** του εδάφους.

Η στερεά φάση του εδάφους αποτελείται από **ανόργανα** και **οργανικά** συστατικά. Τα ανόργανα συστατικά του εδάφους καταλαμβάνουν το 90 - 98% του συνολικού όγκου της στερεάς φάσης και ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- α) **χάλικες** και **πέτρες** (με διάμετρο μεγαλύτερη από 2 mm).
- β) **λεπτή γη** (με διάμετρο μικρότερη από 2 mm).

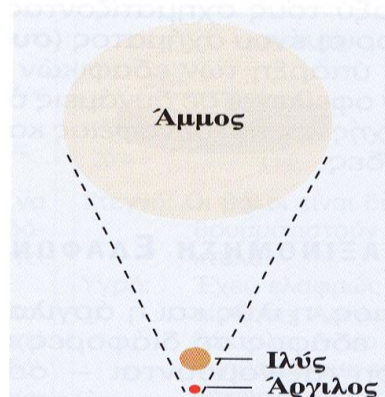
Οι χάλικες και οι πέτρες αποτελούν το **σκελετό** του εδάφους και συμβάλλουν ελάχιστα έως καθόλου στη θρέψη των φυτών. Η λεπτή γη αποτελείται από τρία κλάσματα:

- ✓ την **άμμο** (Sand)
- ✓ την **ιλύ** (Silt) και
- ✓ την **άργιλο** (Clay).

Μια συγκριτική απεικόνιση των κόκκων φαίνεται στην εικόνα 1.2.α.

Η **άμμος** αποτελείται από κόκκους με διάμετρο μεταξύ 0,05 mm και 2 mm. Χαρακτηριστικό σημείο της άμμου είναι η μεγάλη ταχύτητα διήθησης του νερού λόγω των μεγάλων πόρων που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων, κάτι που σημαίνει ότι το νερό διέρχεται μέσα από αυτήν με μεγάλη ταχύτητα. Συνεπώς στην άμμο επικρατούν καλές συνθήκες αερισμού και στράγγισης για την ανάπτυξη των φυτών.

Η **ιλύς** αποτελείται από κόκκους με διάμετρο από 0,002 έως 0,05 mm. Έχει μικρότερους πόρους σε σύγκριση με την άμμο, με αποτέλεσμα να προκαλούνται όχι και τόσο ευνοϊκές συνθήκες αερισμού για την ανάπτυξη των φυτών.



Εικόνα 1.2.α Συγκριτική απεικόνιση μεγέθους κόκκων άμμου - ιλύος - αργίλου.

Η **άργιλος** αποτελείται από κόκκους με διάμετρο μικρότερη από 0,002 mm. Έχει την ικανότητα να προσφέρει θρεπτικά στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Επειδή, όμως, έχει μικρούς πόρους το νερό κινείται αργά μέσα σ' αυτήν, με αποτέλεσμα να προκαλούνται δυσμενείς συνθήκες αερισμού για την ανάπτυξη των φυτών.

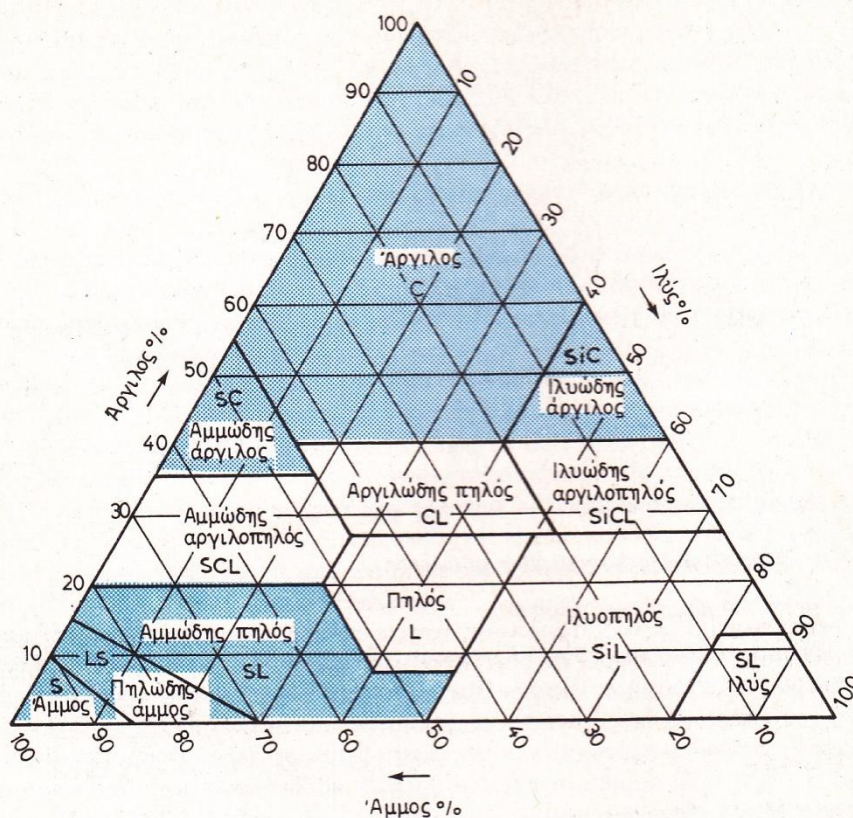
Τα περισσότερα εδάφη περιέχουν μείγμα άμμου, ιλύος και αργίλου.

Εάν σε αυτό το μείγμα επικρατούν οι κόκκοι της άμμου, το έδαφος ονομάζεται αμμώδες, εάν δε επικρατούν οι κόκκοι της αργίλου, τότε ονομάζεται αργιλώδες.

Οι κόκκοι της άμμου διακρίνονται με την αφή των δακτύλων και γίνονται ορατοί δια γυμνού οφθαλμού. Η ιλύς μόλις που διακρίνεται δια γυμνού οφθαλμού και έχει την εμφάνιση και την αίσθηση αλεύρου. Τα επιμέρους μόρια του κλάσματος της αργίλου, τα περισσότερα των οποίων είναι ανόργανα κολλοειδή, δεν διακρίνονται δια γυμνού οφθαλμού και σε ένα μεγάλο τμήμα αυτών είναι τόσο μικρά, ούτως ώστε να μην είναι ορατά ούτε μέσω του μικροσκοπίου. Το κλάσμα αυτό της αργίλου κάνει το έδαφος να διογκώνεται και να γίνεται κολλώδες, όταν βρέχεται, και να συστέλλεται και να γίνεται εύθραυστο όταν ξηραίνεται.

Οι διάφοροι τύποι της μηχανικής σύστασης του εδάφους βασίζονται σε διάφορους συνδυασμούς των εδαφικών κόκκων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου.

Η αναλογία με την οποία τα δομικά αυτά στοιχεία συνυπάρχουν μέσα σ' ένα δείγμα εδάφους καθορίζει τη λεγόμενη **μηχανική σύσταση** του εδάφους, η οποία εύκολα προσδιορίζεται με τη βοήθεια του τριγωνικού συστήματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2.β.



Εικόνα 1.2.β Τρίγωνο ταξινόμησης των εδαφών ανάλογα με τη κοκκομετρική σύσταση.

Στο τρίγωνο βλέπουμε ότι υπάρχουν 12 τύποι εδαφών, ανάλογα με τα δομικά στοιχεία που επικρατούν κάθε φορά στο εξεταζόμενο δείγμα. Τα λατινικά στοιχεία που αναγράφονται σε κάθε τύπο εδάφους, παριστάνουν το διεθνή συμβολισμό του.

Η προηγούμενη διάκριση των βασικών τύπων του εδάφους γίνεται εργαστηριακά. Πολύ συχνά όμως από πλευράς αρδεύσεως, θεωρείται σκόπιμος και πρακτικός ο διαχωρισμός των εδαφών σε ευρύτερες κατηγορίες. Παραδείγματος χάριν σε:

- α) **Αργιλώδη:** άργιλος (C), ιλυώδης άργιλος (SiC), αμμώδης άργιλος (SC).
- β) **Πηλώδη:** αμμώδης πηλός (SL), πηλός (L), ιλοσηλός (SiL), ιλύς (Si), αμμώδης αργιλοπηλός (SCL), αργιλώδης πηλός (CL), ιλυώδης αργιλοπηλός (SiCL).
- γ) **Αμμώδη:** άμμος (S), πηλώδης άμμος (LS), αμμώδης πηλός (SL).

Επομένως, τα εδάφη χωρίζονται γενικά σε αμμώδη, πηλώδη και αργιλώδη, στα οποία αντιστοιχούν οι βασικοί τύποι εδαφών, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 1.2.α Γενικές κατηγορίες εδαφών και οι αντίστοιχοι τύποι αυτών.

	Γενικές κατηγορίες εδαφών	Χαρακτηριστικά μηχανικής σύστασης	Αντίστοιχοι τύποι μηχανικής σύστασης
1.	Αμμώδη	Εδάφη χονδρόκοκκης σύστασης	Άμμος, πηλώδης άμμος
2.	Πηλώδη	Εδάφη μέσης σύστασης	Αμμώδης πηλός, πηλός, ιλοσηλός, ιλύς, αμμώδης αργιλοπηλός, αργιλώδης πηλός, ιλυώδης αργιλοπηλός
3.	Αργιλώδη	Εδάφη λεπτόκοκκης σύστασης	Αμμώδης άργιλος, ιλυώδης άργιλος, άργιλος

Για τις παραπάνω κατηγορίες πολύ συχνά, επίσης, γίνεται χρήση των χαρακτηρισμών: **λεπτόκοκκα**, **μέσης συστάσεως** και **χονδρόκοκκα** ή **αδρομερή εδάφη** ή αντιστοίχως **βαριά**, **μέσα** και **ελαφρά εδάφη**.

Στον πίνακα 1.2.β δίνονται οι διάφορες κατηγορίες εδαφών, ανάλογα με την κοκκομετρική σύσταση τόσο κατά το ευρωπαϊκό σύστημα ταξινόμησης εδαφών όσο και κατά το σύστημα του FAO.

Πίνακας 1.2.β Ταξινόμηση εδαφών (Ευρώπη - FAO).

Ταξινόμηση στην Ευρώπη	Ταξινόμηση κατά FAO
Χονδρόκοκκα εδάφη	Αμμώδη (S), πηλοαμμώδη (LS)
Μετρίως χονδρόκοκκα εδάφη	Αμμοπηλώδη (SL)
Μέσης σύστασης εδάφη	Πηλώδη (L), ιλοσηλώδη (SiL), ιλυώδη (Si)
Μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη	Αμμοαργιλοπηλώδη (SCL), Αργιλοπηλώδη (CL), Ιλοαργιλοπηλώδη (SiCL)
Λεπτόκοκκα εδάφη	Αμμοαργιλώδη (SC), Αργιλώδη (C), Ιλοαργιλώδη (SiC)

Η **υφή** αναφέρεται στην περιεκτικότητα και το μέγεθος των εδαφικών κόκκων. Μπορεί να αναλυθεί με μεγάλη ακρίβεια σε ένα εδαφολογικό Εργαστήριο. Εκφράζεται

με τρεις αριθμούς π.χ. 30 - 20 - 50 που σημαίνει 30% άργιλο, 20% ιλύ και 50% άμμο και μπορεί επίσης να διερευνηθεί πρακτικά με τη μέθοδο της αίσθησης της αφής. Φτιάχνουμε ένα μικρό σκληρό βόλο εδάφους με μια κουταλιά της σούπας έδαφος και 5 - 6 σταγόνες νερό. Πλάθουμε το βόλο με το δείκτη και τον αντίχειρα. Παρατηρούμε το βαθμό ταχύτητας και αίσθησης άμμου εξαιτίας των κλασμάτων της άμμου. Πιέζουμε δυνατά το βόλο με τα ίδια δάκτυλα και μετά προσπαθούμε να τα ξεχωρίσουμε. Παρατηρούμε την τάση συγκράτησης (συγκόλλησης) εξαιτίας των κλασμάτων της αργίλου. Προσθέτουμε δύο σταγόνες νερό και παρατηρούμε, αν προσπαθήσουμε να τον πλάσουμε, ότι η άργιλος αφήνει μια σαπωνοειδή αίσθηση στο δείκτη και τα δάκτυλα (βλέπε πίνακα 1.2.γ).

Τα σημαντικότερα φυσικά χαρακτηριστικά όπως καθορίζονται από την αίσθηση της αφής, είναι τα παρακάτω:

Χονδρόκοκκη υφή του εδάφους (αμμώδης). Δίνει την αίσθηση του χαλαρού και κοκκοποιημένου εδάφους. Οι μεμονωμένοι κόκκοι φαίνονται με το μάτι ή γίνονται αισθητοί με την αφή. Αν προσπαθήσουμε να πλάσουμε ενώ είναι ξηρό, για να φτιάξουμε ένα βόλο, θα αποτύχουμε. Αν σταματήσουμε να το πλάσουμε, θα διαλυθεί. Αν το πλάσουμε ενώ είναι υγρό, θα σχηματίσει ένα βόλος ο οποίος θα θρυμματιστεί όταν τον ακουμπήσουμε.

Μέση υφή του εδάφους (πηλώδης). Το μείγμα είναι απαλό με κάπως αμμώδη υφή, αλλά αρκετά μαλακό και εύπλαστο. Αν προσπαθήσουμε να το πλάσουμε ενώ είναι υγρό, θα δημιουργήσουμε ένα βόλο τον οποίο μπορούμε να χειριστούμε εύκολα χωρίς να σπάσει.

Λεπτή υφή (αργιλώδης). Συνήθως σχηματίζει σκληρούς βόλους (συσσωματώματα) όταν είναι ξηρό. Επίσης σε αυτή την κατάσταση κολλά και είναι αρκετά εύπλαστο. Όταν πιέσουμε υγρό δείγμα ανάμεσα στα δάκτυλα σχηματίζει μια εύκαμπη ταινία. Ένα αργιλώδες έδαφος αφήνει μια σαπωνοειδή αίσθηση στα δάκτυλα όταν τριφτεί και πιεστεί έντονα. Η άργιλος έχει την τάση να κρατά τα δάκτυλα ενωμένα λόγω της συγκολλητικής της ικανότητας.

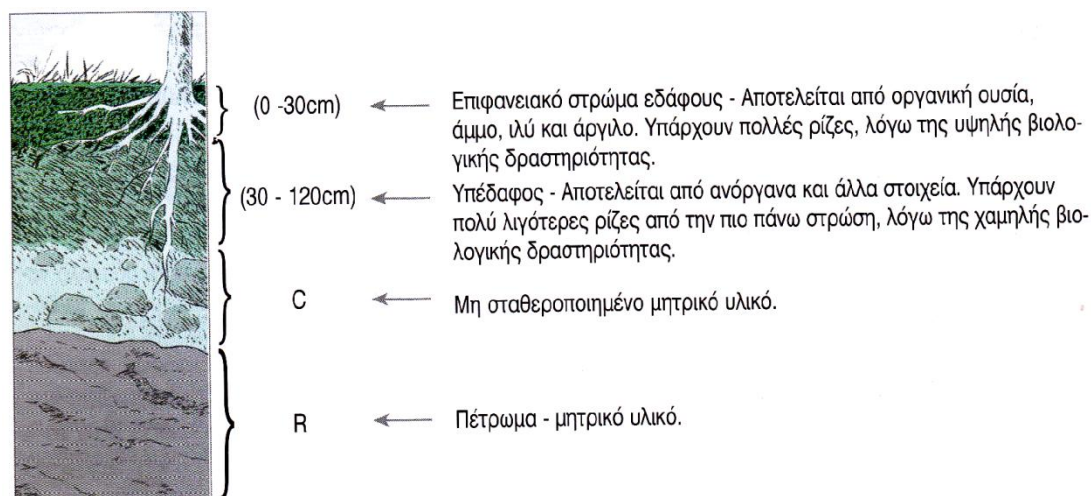
Ένα **ιδανικό έδαφος** για ανάπτυξη πρασίνου πρέπει να αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- **ανόργανα συστατικά** (άμμο, ιλύ και άργιλο),
- **οργανικά υλικά** (φυτική και ζωική ύλη),
- **ζωντανούς οργανισμούς** (βακτήρια, μύκητες, σκώληκες),
- αέρα,
- νερό.

Τα παραπάνω πέντε στοιχεία πρέπει να βρίσκονται σε άριστη αναλογία στα υψηλότερα 30 cm του εδάφους, που είναι η «**επιφανειακή εδαφική στρώση**». Σε αυτή τη στρώση παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου και οργανικής ουσίας,

καθώς επίσης και το μεγαλύτερο πλήθος των ριζών των φυτών. Η αεροχωρητικότητα μπορεί να φθάσει το 50%.

Στην εικόνα 1.2.γ απεικονίζονται σε μια εδαφοτομή οι στρώσεις ενός τυπικού εδάφους.



Εικόνα 1.2.γ Εδαφική κατατομή.

Το μέγεθος των εδαφικών κόκκων έχει σημαντική επίδραση στη ροή του εδαφικού νερού, στην κυκλοφορία του αέρα μέσα στο έδαφος καθώς και στο βαθμό των χημικών αντιδράσεων, οι οποίες έχουν μεγάλη σημασία για την ανάπτυξη και την επιβίωση των φυτών.

Η μηχανική σύσταση του εδάφους έχει γενικά μεγάλη επίδραση στην παραγωγή των διαφόρων καλλιεργειών, ειδικότερα όμως έχει ιδιαίτερη σημασία για αυτούς που ασχολούνται με τις αρδεύσεις καθότι επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το ύψος του νερού, το οποίο είναι δυνατό να αποθηκευτεί μέσα σε ορισμένο βάθος εδάφους και κατά συνέπεια επηρεάζει τη ποσότητα του νερού, η οποία πρέπει να εφαρμοσθεί για άρδευση.

1.3 Δομή του εδάφους

Όταν αναφερόμαστε στη **δομή του εδάφους** εννοούμε τον τρόπο με τον οποίο οι κόκκοι της άμμου, της ιλύος και της αργίλου είναι συνδεδεμένοι και τοποθετημένοι στο χώρο. Συγκεκριμένα οι κόκκοι συγκρατούνται μεταξύ τους σχηματίζοντας εδαφικές ομάδες ορισμένου σχήματος (συσσωματώματα). Η ύπαρξη των εδαφικών συσσωματωμάτων οφείλεται σε δυνάμεις όπως αυτές της *συνοχής* και της *συνάφειας* και αυξάνουν το πορώδες.

Η ταξινόμηση της δομής εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος, το σχήμα και τη φύση των μορίων από τα οποία εξαρτάται το εδαφικό υλικό.

Γενικά διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες δομής του εδάφους, η κοκκώδης και η συσσωμάτωση.

Στην κοκκώδη δομή τα περισσότερα κοκκία δεν συνδέονται μεταξύ τους με οποιαδήποτε συνδετική ύλη.

Στη συσσωμάτωση δομή η άργιλος είναι θρομβουμένη και όταν αναμειγνύεται με κόκκους άμμου σχηματίζει συσσωματώματα, τα οποία συντελούν στη δημιουργία

αυξημένου πορώδους, μέσω του οποίου διευκολύνεται η κυκλοφορία του νερού και του αέρα. Τα συσσωματώματα αυτά συντελούν στη δημιουργία ευνοϊκής δομής.

Η υπερβολική άρδευση ή άροση ή οποιαδήποτε άλλη διεργασία των αργιλωδών ή λεπτόκοκκων εδαφών, όταν αυτά είναι πολύ υγρά ή πολύ ξηρά, τείνει να διασπάσει τα συσσωματώματα του εδάφους και να καταστήσει τη δομή του ανεπαρκή για την ικανοποιητική κίνηση του νερού και του αέρα.

Η ευνοϊκή δομή του εδάφους θεωρείται απαραίτητη για την παραγωγικότητα του. Επαρκείς ποσότητες θρεπτικών ουσιών μέσα στο έδαφος, οι οποίες είναι απαραίτητες για την επίτευξη καλών αποδόσεων, δεν είναι δυνατό να εξασφαλίσουν ικανοποιητική ανάπτυξη των φυτών και καλή παραγωγή των καλλιεργειών, εάν η δομή του εδάφους δεν είναι ευνοϊκή.

Είναι δυνατό να ειπωθεί ότι η περατότητα του εδάφους στο νερό, στον αέρα και στις ρίζες των φυτών, είναι τόσο σημαντική για την ανάπτυξη των καλλιεργειών όσο και ο επαρκής εφοδιασμός του εδάφους με θρεπτικές ουσίες.

Για τη συντήρηση και βελτίωση της δομής των αρδευόμενων εδαφών συνιστώνται τα παρακάτω μέτρα:

- α) Άροση του εδάφους κάτω από τα συμπαγή του στρώματα πραγματοποιούμενη σε διάφορα βάθη κατά έτος.
- β) Αερισμός του εδάφους μετά την άροση, όσο αυτό είναι δυνατό στη πράξη πριν από τη σπορά ή από κάποια αναγκαία προάρδευση.
- γ) Προσθήκη στο έδαφος οργανικής ουσίας, η οποία θα συμβάλει στη διαμόρφωση συσσωματώδους δομής.
- δ) Κατάλληλη αμειψισπορά φυτών, η οποία έχει ως βάση τα ψυχανθή.
- ε) Ελάττωση στο ελάχιστο δυνατό τις εργασίες άροσης και γενικής κατεργασίας του εδάφους.
- στ) Εφαρμογή της χλωρής λίπανσης.
- ζ) Χρήση των κατάλληλων λιπασμάτων.
- η) Προσθήκη γύψου σε αλκαλιωμένα εδάφη και ασβέστου στα όξινα.
- θ) Εφοδιασμός του εδάφους για κατιόντα Ca και Mg.
- ι) Εφαρμογή των υδρολιπάνσεων κυρίως για τη βελτίωση της δομής των ελαφρών ή αμμωδών εδαφών.

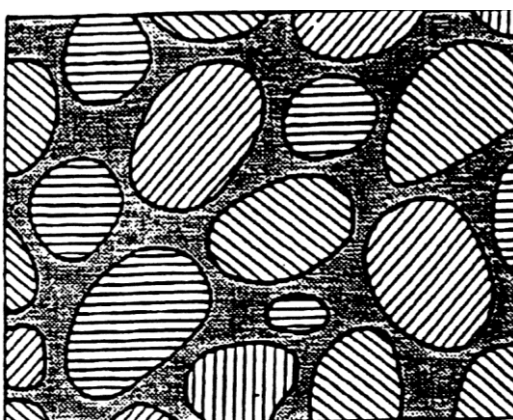
1.4 Πορώδες

Οι κενοί χώροι (πόροι) του όγκου του εδάφους που δεν καταλαμβάνεται από τα στερεά σωματίδια αποτελούν το πορώδες του εδάφους. Το πορώδες Π εκφράζεται ως η εκατοστιαία αναλογία του όγκου του εδάφους, ο οποίος δεν καταλαμβάνεται από τα στερεά συστατικά. Εξαρτάται από την υφή και τη δομή του εδάφους, κυμαίνεται από 0,30 σε αμμώδη εδάφη μέχρι 0,60 σε αργιλώδη εδάφη (30 - 60 % είναι αδιάστατοι δείκτες) δίνεται από την εξίσωση:

$$\Pi = \frac{V_{\pi}}{V_o} \quad (1.1)$$

όπου V_{π} είναι ο ολικός όγκος πόρων

V_o είναι ο ολικός όγκος του εδάφους στη φυσική του κατάσταση



Εικόνα 1.4 Κορεσμός.

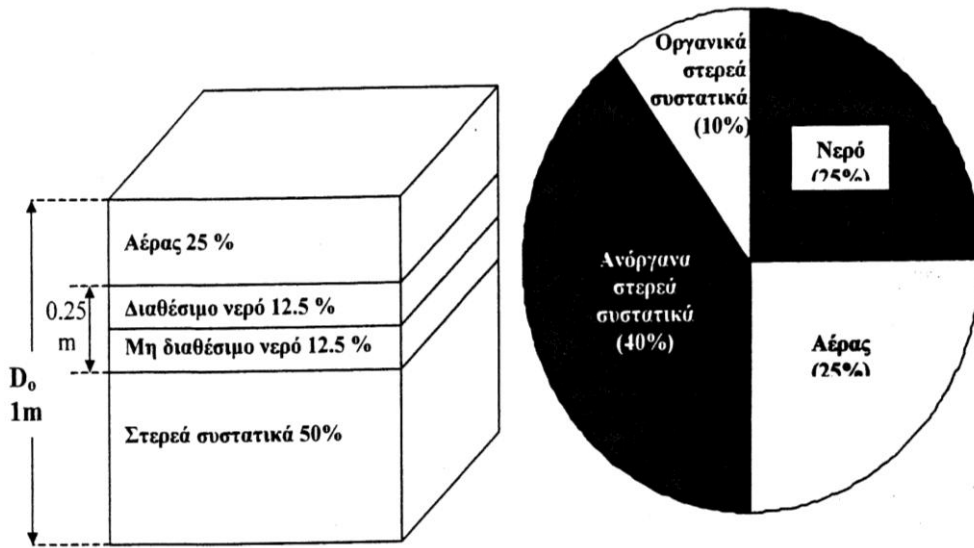
Το νερό ή ο αέρας μπορεί να εισχωρήσουν μόνο στους πόρους του πορώδους. Όταν όλοι οι πόροι του πορώδους ενός εδαφικού όγκου πληρωθούν με νερό λέμε ότι το έδαφος είναι κορεσμένο με νερό (εικόνα 1.4).

1.5 Συσχετίσεις μεταξύ όγκου και μάζας των συστατικών του εδάφους

Στην εικόνα 1.5.α φαίνεται σχηματικά η σύνθεση (κατ' όγκον) ενός μέσης μηχανικής σύστασης εδάφους, σε συνθήκες που θεωρούνται άριστες για την ανάπτυξη των φυτών. Τα στερεά συστατικά του εδάφους αποτελούν το 50% και το πορώδες το άλλο 50% του συνολικού όγκου του εδάφους. Το πορώδες φαίνεται να καλύπτεται εξίσου από νερό και αέρα. Τα βέλη δείχνουν ότι αυτή η σύνθεση (νερού και αέρα) μπορεί να αλλάξει κατά πολύ. Συγκεκριμένα μια αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της περιεκτικότητας σε αέρα και το αντίθετο. Το σύνολο: τα στερεά συστατικά, το νερό και ο αέρας αποτελούν τις τρεις φάσεις του συστήματος έδαφος.

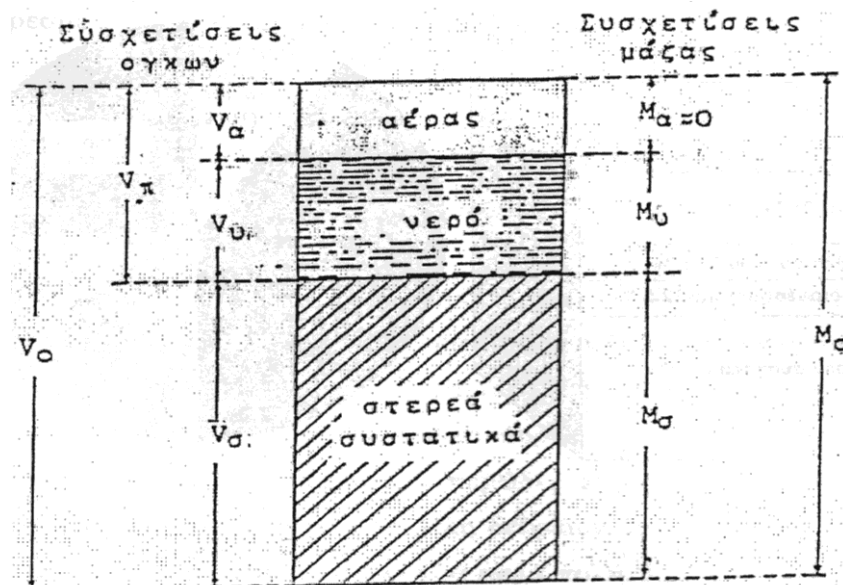
Επίσης στην εικόνα 1.5.β φαίνονται οι όγκοι και οι μάζες, τα ύψη των τριών φάσεων ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος εδάφους. Οι μάζες των φάσεων δείχνονται στη δεξιά πλευρά: η μάζα του αέρα, M_{α} , η οποία είναι μηδενική σε σύγκριση με

τις μάζες των στερεών και του νερού, η μάζα του νερού, M_v , η μάζα των στερεών συστατικών, M_σ και η συνολική μάζα του δείγματος, M_o .



Εικόνα 1.5.α Σύνθεση (κατ' όγκον) ενός μέσης μηχανικής σύστασης εδάφους.

Οι όγκοι δείχνονται στην αριστερή πλευρά του διαγράμματος: ο όγκος του αέρα V_a , ο όγκος του νερού, V_v , ο όγκος του πορώδους, $V_\pi = V_a + V_v$, ο όγκος των στερεών, V_σ και ο συνολικός όγκος του εδαφικού δείγματος V_o . Στην αριστερά πλευρά δείχνονται το ισοδύναμο ύψος νερού I και το βάθος του εδάφους D_o .



Εικόνα 1.5.β Αναπαράσταση όγκων και μαζών των τριών φάσεων (αέρα, νερού και στερεών συστατικών) ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος εδάφους.

Έτσι η συνολική μάζα του δείγματος του εδάφους, M_o είναι:

$$M_o = M_\sigma + M_v + M_\alpha \quad (1.2)$$

και ο συνολικός όγκος του V_o είναι:

$$V_o = V_\sigma + V_v + V_\alpha \quad (1.3)$$

α. Πραγματική πυκνότητα στερεών

Η μάζα της μονάδας του όγκου των στερεών ρ_σ συστατικών του εδάφους ονομάζεται πραγματική πυκνότητα στερεών και δίνεται από την εξίσωση:

$$\rho_\sigma = \frac{M_\sigma}{V_\sigma} \text{ gr/cm}^3 \quad (1.4)$$

Στα ανόργανα εδάφη είναι περίπου 2,6 - 2,7 gr/cm^3 . Εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία παρουσιάζουν μικρότερη πραγματική πυκνότητα.

Γενικά η πραγματική πυκνότητα εδαφών με χαμηλό ποσοστό οργανικής ουσίας κυμαίνεται ελάχιστα και έχει μέση τιμή περίπου ίση με 2,65 gr/cm^3 .

β. Φαινομενική πυκνότητα στερεών

Η μάζα (βάρος) της μονάδας του όγκου ενός ξηρού εδάφους στη φυσική του κατάσταση, δηλαδή συμπεριλαμβανομένων και των πόρων ονομάζεται φαινομενική πυκνότητα στερεών, ρ_ϕ και δίνεται από την εξίσωση:

$$\rho_\phi = \frac{M_\sigma}{V_o} \text{ gr/cm}^3 \quad (1.5)$$

Η φαινομενική πυκνότητα στερεών κυμαίνεται από 1,7 gr/cm^3 στα αμμώδη εδάφη μέχρι 1,0 gr/cm^3 στα αργιλώδη εδάφη, δηλαδή εξαρτάται από την μηχανική σύσταση του εδάφους.

Ο προσδιορισμός της φαινομενικής πυκνότητας στερεών μπορεί να γίνει εύκολα και σχετικά οικονομικά.

γ. Περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό

Σε έδαφος ξηρό σχεδόν όλος ο όγκος των κενών γεμίζει με αέρα. Σε υγρό έδαφος οι πόροι του εδάφους γεμίζουν με αέρα και νερό. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως όταν όλοι οι πόροι του εδάφους γεμίσουν με νερό λέμε ότι το έδαφος είναι κορεσμένο (όπως φαίνεται στην εικόνα 1.4).

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό μπορεί να εκφραστεί με πολλές σχέσεις που συνδέουν τη μάζα του νερού ή τον όγκο του με τις άλλες ποσότητες που αναγράφονται στις εξισώσεις (1.2) και (1.3). Οι πιο συνηθισμένες συσχετίσεις αναφέρονται παρακάτω:

i) Περιεκτικότητα σε νερό κατά μάζα (βάρος), ω

Είναι ο λόγος της μάζας του νερού προς τη μάζα στερεών του δείγματος εδάφους, δηλαδή:

$$\omega = \frac{M_v}{M_\sigma} \frac{gr \text{ νερού}}{gr \text{ εδάφους}} \quad (1.6)$$

κυμαίνεται σε κορεσμένα εδάφη από 0,25 μέχρι 0,60 (25 - 60% ξηρού βάρους εδάφους, είναι αδιάστατος δείκτης) ανάλογα με τη φαινομενική πυκνότητα των εδαφών. Συνήθως αυξάνεται όσο η υφή του εδάφους γίνεται λεπτότερη. Στα οργανικά εδάφη (τυρφώδη) είναι δυνατό να υπερβεί το 1 (100%).

ii) Περιεκτικότητα σε νερό κατ' όγκον, Θ

Είναι ο λόγος του όγκου του νερού, V_v , προς τον ολικό όγκο του εδάφους στη φυσική του κατάσταση, V_o .

$$\Theta = \frac{V_v}{V_o} \frac{cm^3 \text{ νερού}}{cm^3 \text{ εδάφους}} \quad (1.7)$$

Σε κορεσμένα εδάφη κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,3 μέχρι 0,6 (30 - 60% κατ' όγκον εδάφους, είναι αδιάστατος δείκτης) και αυξάνεται όσο τα εδάφη αποκτούν λεπτότερη υφή.

iii) Βαθμός κορεσμού, Θ_k

Εκφράζει τον όγκο του νερού προς τον ολικό όγκο των πόρων, V_π , του πορώδους, δηλαδή:

$$\Theta_k = \frac{V_v}{V_\pi} \quad \text{ή} \quad \Theta_k = \frac{V_v}{V_\alpha + V_\omega} \quad (1.8)$$

Κυμαίνεται μεταξύ 0 (σε τελείως ξηρά εδάφη) και 1 (ή 100%) σε εδάφη τελείως κορεσμένα με νερό. Βαθμός κορεσμού ίσος με 1 σπάνια παρατηρείται γιατί μέσα στο πορώδες σχεδόν πάντα εγκλωβίζεται μια ποσότητα αέρα.

δ. Λόγος κενών χώρων

Ο λόγος των κενών χώρων, ε , είναι ο όγκος των πόρων, V_π , προς τον όγκο των στερεών συστατικών του εδάφους, V_σ (αδιάστατος δείκτης).

$$\varepsilon = \frac{V_\pi}{V_\sigma} \quad \text{ή} \quad \varepsilon = \frac{V_v + V_\alpha}{V_\sigma} = \frac{V_n}{V_o - V_n} \quad (1.9)$$

Χρησιμοποιείται περισσότερο στη μηχανική του εδάφους. Πλεονεκτεί απέναντι στο πορώδες γιατί μεταβάλλεται μόνο ο αριθμητής της εξίσωσης όταν μεταβάλλεται ο όγκος των πόρων εξαιτίας μεταβολών πυκνότητας ή περιεκτικότητας σε νερό.

1.6 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας

Η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας είναι υψίστης σημασίας τόσο για τις υγρές όσο και για τις ξηρές περιοχές. Εξάλλου, στις αρδευόμενες περιοχές η ικανότητα των εδαφών για αποθήκευση νερού με τη χρήση του στα καλλιεργούμενα φυτά έχει πολύ ιδιαίτερη σημασία, καθώς και η ικανότητα αυτών των εδαφών εξαρτάται από το ύψος του εφαρμοζόμενου σε κάθε άρδευση νερού και τη συχνότητα των αρδεύσεων.

Η γνώση της ικανότητας των εδαφών για συγκράτηση νερού είναι ομοίως απαραίτητη για τον έλεγχο του βαθμού αποτελεσματικότητας των αρδεύσεων, χωρίς την οποία δεν είναι δυνατό να εφαρμοσθεί πλήρες πρόγραμμα αρδεύσεων και να αναμένονται με την εφαρμογή του ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Συνήθως στη πράξη, κυρίως στα μέρη μας, οι γεωργοί άλλοτε εφαρμόζουν ποσότητα νερού μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να συγκρατηθεί από το έδαφος μέσα στο κύριο ριζόστρωμα του, με αποτέλεσμα τη σπατάλη πολύτιμου νερού και τον κίνδυνο δημιουργίας προβλημάτων στράγγισης στα χαμηλότερα σημεία της αρδευόμενης έκτασης και άλλοτε πάλι χρησιμοποιούν μικρότερη ποσότητα νερού από αυτή που μπορεί να συγκρατηθεί, οπότε υπάρχει κίνδυνος μαράνσεως των φυτών λόγω έλλειψης νερού μέχρι την επανάληψη της άρδευσης.

Ο προσδιορισμός της διαθέσιμης υγρασίας του εδάφους είναι πρωταρχικής σημασίας για τη μελέτη ενός πλήρους προγράμματος αρδεύσεως εντός των αρδευόμενων δικτύων.

Για το σκοπό αυτό η περιοχή ενός αρδευτικού δικτύου είναι δυνατό να διαχωρίζεται σε εδαφικούς τύπους και να προσδιορίζεται η διαθέσιμη υγρασία για κάθε τύπο εδάφους. Όπως θα αναπτυχθεί και σε άλλο κεφάλαιο του παρόντος βιβλίου, εδάφη με μικρή διαθέσιμη υγρασία απαιτούν συχνότερη και μικρότερης δόσης άρδευση από εδάφη με μεγαλύτερη διαθέσιμη υγρασία.

Από τα παραπάνω γίνεται προφανές ότι η μέτρηση της υγρασίας του εδάφους αποτελεί ένα από τους σπουδαιότερους παράγοντες για την επιτυχή εφαρμογή των αρδεύσεων και για το λόγο αυτό, άλλωστε, οι ερευνητές προσπάθησαν να αναπτύξουν διάφορες μεθόδους μέτρησης της, ώστε τα δεδομένα των μετρήσεων να είναι ακριβή και ταυτόχρονα να επιτυγχάνονται με τον ευκολότερο δυνατό τρόπο.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέτρησης της εδαφικής υγρασίας:

1.6.1 Μέτρηση της υγρασίας σε δείγματα εδάφους

Υγρασία κατά μάζα (% ξηρής μάζας)

$$\frac{M_v}{M_s} \frac{gr \text{ νερού}}{gr \text{ εδάφους}} \times 100$$

Παίρνουμε δείγμα εδάφους, το οποίο τοποθετούμε σε ένα ειδικό και καλά καλυμμένο δοχείο για την αποφυγή κάθε πιθανής απώλειας υγρασίας λόγω εξάτμισης. Ζυγίζουμε το δοχείο μαζί με το δείγμα σε ζυγό ακριβείας και μετά το τοποθετούμε σε ξηραντήριο θερμοκρασίας 105⁰ C μέχρις ότου αποκτήσει σταθερή μάζα, αφού αφαιρέσουμε το κάλυμμα. Το βάρος πριν και μετά την ξήρανση του δείχνει το νερό που περιείχε το δείγμα. Η διαφορά αυτή σε μάζα διαιρούμενη με τη μάζα του ξηρού εδά-

φους και πολλαπλασιασμένη επί 100 δίνει την εκατοστιαία αναλογία της περιεχόμενης στο δείγμα υγρασίας κατά μάζα.

Εάν αντί της μάζας του νερού μετρηθεί ο όγκος του πριν και μετά την ξήρανση του και διαιρεθεί με τον όγκο του εδάφους, δίνεται η υγρασία του εδάφους κατ' όγκο. Η υγρασία κατ' όγκο μπορεί να ευρεθεί επίσης από την υγρασία κατά μάζα εάν πολλαπλασιασθεί με την φαινομενική πυκνότητα του εδάφους.

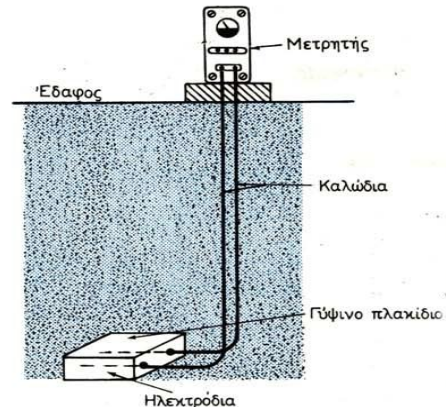
1.6.2 Μέτρηση της υγρασίας με τη μέθοδο Βουγιούκου

Η συσκευή Βουγιούκου (εικόνα) αποτελείται από ένα γύψινο πλακίδιο που φέρει δύο ανοξειδωτα χαλύβδινα ηλεκτρόδια και ένα μετρητή, στον οποίο καταλήγουν



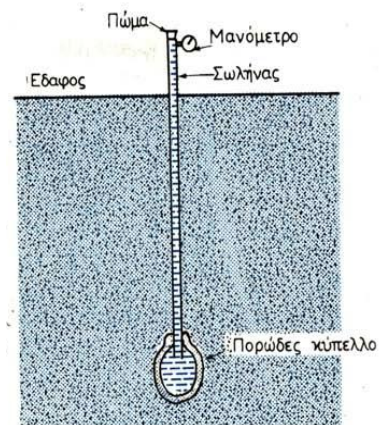
τα δύο καλώδια του γύψινου πλακιδίου. Η αρχή της μεθόδου συνίσταται στο γεγονός ότι το γύψινο πλακίδιο βρίσκεται με ικανοποιητική προσέγγιση στην ίδια υγρασία με το έδαφος που το περιβάλλει. Όσο πιο υγρό είναι το πλακίδιο, τόσο μικρότερη είναι η ηλεκτρική αντίσταση που παρουσιάζει. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η υγρασία του εδάφους μειώνεται, τότε η ηλεκτρική αντίσταση αυξάνεται.

Η μέτρηση αυτής της αντιστάσεως γίνεται από το μετρητή, ο οποίος λειτουργεί με πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος και έχει ρυθμιστεί έτσι, ώστε να δίνει απευθείας το ποσό της διαθέσιμης υγρασίας του εδάφους, δηλαδή της υγρασίας που μπορεί να προσληφθεί εύκολα από τα φυτά. Είναι φανερό ότι για μια μεγάλη καλλιεργούμενη και αρδευόμενη έκταση, τα γύψινα πλακίδια θα πρέπει να τοποθετούνται σε αντιπροσωπευτικές θέσεις και σε διάφορα βάθη, ανάλογα με την κατανομή του ριζικού συστήματος των καλλιεργούμενων φυτών. Επισημαίνεται ότι μόλις παρατηρηθούν αλλοιώσεις στην επιφάνεια των πλακιδίων, τα πλακίδια θα πρέπει να αντικατασταθούν.

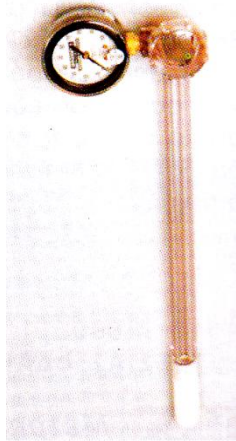


1.6.3 Μέτρηση της υγρασίας με τη βοήθεια τασιμέτρων

Το τασίμετρο (εικόνα) είναι ένας απλός σωλήνας του οποίου το κάτω άκρο καταλήγει σε πορώδες κύπελλο, ενώ το επάνω συνδέεται με ένα μανόμετρο βαθμονομημένο συνήθως σε cB (σεντιμπάρ) (1 Bar = 100 cB). Ο γεμάτος με νερό σωλήνας τοποθετείται μέσα στο έδαφος, με τρόπο ώστε το πορώδες κύπελλο να βρίσκεται στο βάθος που θέλουμε να γνωρίμε την υγρασία. Το κυρίως ενεργό μέρος του τασίμετρο είναι το πορώδες κύπελλο διαμέσου του οποίου επικοινωνεί το νερό του σωλήνα με το νερό του εδάφους.



Όταν το έδαφος αρδεύεται, η τάση της εδαφικής υγρασίας ελαττώνεται και η ένδειξη του μανόμετρου πλησιάζει προς το μηδέν όσο η υγρασία πλησιάζει τον κορεσμό. Λόγω όμως της εξατμισοδιαπνοής, το έδαφος προοδευτικά ξεραίνεται και το βρισκόμενο μέσα στο σωλήνα νερό βγαίνει από τα τοιχώματα του πορώδους κυπέλλου, οπότε μέσα στο σωλήνα δημιουργείται ανάλογο κενό που προκαλεί την μετακίνηση του δείκτη του οργάνου. Η ένδειξη του οργάνου δείχνει την επικρατούσα αρνητική τάση της εδαφικής υγρασίας. Όταν ο δείκτης βρίσκεται μεταξύ των ενδείξεων που έχουν προκαθοριστεί ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους, τότε πρέπει να γίνει άρδευση για να ξαναφτάσει το έδαφος την υδατοϊκανότητά του. Γενικά με μικρές αποκλίσεις, η ένδειξη του μανόμετρου στην υγρασία της υδατοϊκανότητας είναι περίπου 30 cB (σεντομπάρ). Τα τασίμετρα τοποθετούνται σε διάφορα βάθη, ανάλογα με το βάθος του κύριου ριζοστρώματος. Τα συνήθη βάθη στα οποία τοποθετούνται τα τασίμετρα είναι 15 cm, 30 cm, 60 cm και 90 cm. Οι ενδείξεις τους είναι ικανοποιητικές για πιέσεις μικρότερες των 0,8 atm.

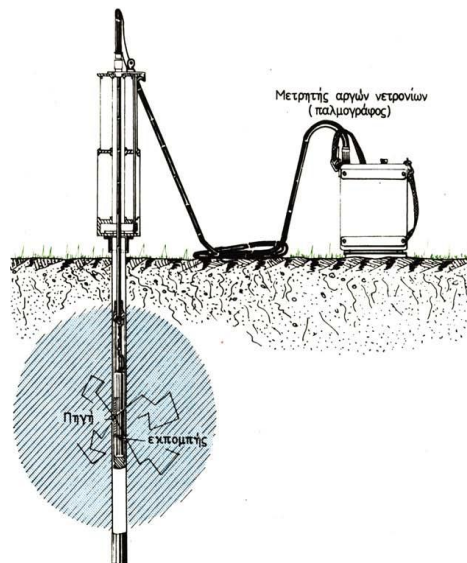


1.6.4 Μέτρηση της υγρασίας με τη συσκευή νετρονίων

Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής διανοίγεται μια οπή στο έδαφος στην οποία εισάγεται μεταλλικός κυλινδρικός σωλήνας για τη συγκράτηση του εδάφους. Ο σωλήνας είναι κλειστός στο κάτω άκρο του για να εμποδίζεται η είσοδος του νερού μέσα σ' αυτόν. Στο βάθος που θέλουμε να μετρήσουμε την υγρασία, τοποθετείται η πηγή ταχείων νετρονίων της συσκευής (μίγμα Βηρυλλίου με Πολώνιο ή με Ράδιο ή με Αμερίκιο). Τα ταχεία νετρόνια συγκρουόμενα με πυρήνες υδρογόνου χάνουν ένα μεγάλο μέρος από την ταχύτητά τους και μετατρέπονται έτσι σε αργά νετρόνια που καταγράφονται από ειδικό ανιχνευτή με τον οποίο είναι εξοπλισμένη η συσκευή. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των αργών νετρονίων που φθάνει στο μετρητή.

Η αρχή της μεθόδου συνίσταται στο γεγονός ότι το υδρογόνο είναι το κύριο που απορροφά τα ταχεία νετρόνια, ενώ το νερό είναι η κύρια πηγή υδρογόνου στο έδαφος. Έτσι υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της υγρασίας του εδάφους και του αριθμού των αργών νετρονίων που φθάνουν στο μετρητή. Η μέθοδος είναι ακριβής και γρήγορη, γιατί μπορούμε μετακινώντας απλώς την πηγή νετρονίων μέσα στο σωλήνα να μετρήσουμε την υγρασία του εδάφους σε διάφορα βάθη. Το μεγάλο μειονέκτημα όμως της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος της συσκευής.

Είναι φανερό αν ότι οι μεταλλικοί σωλήνες, μένουν μόνιμα μέσα στο έδαφος, τότε η εφαρμογή της μεθόδου είναι πάρα πολύ γρήγορη, γιατί συνίσταται σε απλή μετακίνηση της συσκευής νετρονίων (εικόνα) από θέση σε θέση.



2. Συνδεδειγμένα Μέρη Αρδευτικού Δικτύου (Μπαμπίλης, 2004)

Στο μέρος αυτό θα γνωρίσουμε τα υλικά (εξαρτήματα), δηλαδή τις σωληνώσεις, τα εξαρτήματα συνδεσμολογίας, τους σταλάκτες, τις βάνες, τους εκτοξευτήρες, τις καλωδιώσεις, τους προγραμματιστές και όλα τα παρελκόμενα εξαρτήματα, που χρησιμοποιούμε ως επί το πλείστον στα αρδευτικά δίκτυα.

2.1 Σωληνώσεις

2.1.1 Σωλήνες πολυαιθυλενίου (PE)

Σωλήνας είναι το κλειστό μέσο με το οποίο μεταφέρεται το νερό από εκεί που λαμβάνεται (υδροληψία) μέχρι και την τελευταία έξοδο του (σταλάκτης ή εκτοξευτήρας).

Ορίζουμε ως κεντρικό ή κύριο ή πρωτεύοντα σωλήνα το σωλήνα που ξεκινά από την κεντρική υδροληψία (δίκτυο πόλης ή δεξαμενή ή γεώτρηση) και μεταφέρει το νερό με τη βοήθεια των δευτερευόντων σωληνών στους πλευρικούς σωλήνες ή σωλήνες εφαρμογής. Οι κύριοι σωλήνες είναι πάντοτε μεγαλύτερης διατομής από τους δευτερεύοντες και μπορεί να είναι ένας ή περισσότεροι σε ένα δίκτυο, ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες του κήπου. Οι δευτερεύοντες μπορεί να τροφοδοτούν με νερό έναν αριθμό εκτοξευτήρων ή έναν αριθμό πλευρικών σωληνών ή σωληνών εφαρμογής.



Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου (PE), όπως φαίνεται στην εικόνα, είναι μαύροι, εύκαμπτοι, πλαστικοί σωλήνες, κυκλικής διατομής που τοποθετούνται επιφανειακά ή υπόγεια και μάλιστα σε αξιόλογο βάθος (30 cm), ώστε να προστατεύονται από ζημιές. Τα δίκτυα άρδευσης κήπων κατασκευάζονται στη χώρα μας αποκλειστικά σχεδόν από σωλήνα πολυαιθυλενίου.

Οι σωλήνες οι οποίοι παράγονται από οποιαδήποτε κατηγορία πολυαιθυλενίου, διακρίνονται για τα σημαντικά τους τεχνικά πλεονεκτήματα. Τα πιο σημαντικά είναι:

Μικρό βάρος. Συνέπεια αυτού είναι το μικρό κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης.

Εύκολη σύνδεση - εγκατάσταση. Οι σωλήνες παραδίδονται σε μεγάλα μήκη, τα οποία είναι συνάρτηση της διαμέτρου που έχουν και μπορούν να φθάσουν μέχρι 300 συνεχόμενα μέτρα. Οι τρόποι σύνδεσης είναι απλοί και πραγματοποιούνται με μεγάλη ταχύτητα.

Υψηλή χημική αντοχή στα πιο σημαντικά διαβρωτικά ρευστά. Ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές σε συνάρτηση με την κατηγορία του πολυαιθυλενίου από το οποίο παράγεται ο σωλήνας.

Σημαντικά μικρές απώλειες τριβών λόγω των λείων εσωτερικών τοιχωμάτων. Το λείο της εσωτερικής επιφάνειας και η χημική αδράνεια της πρώτης ύλης συντε-

λούν ώστε να μην εναποτίθενται άλατα (π.χ. ανθρακικά) στα τοιχώματα, όπως συμβαίνει σε σωλήνες από συμβατικά, μη πλαστικά υλικά (π.χ. χαλκός).

Υψηλή αντοχή στη γήρανση - αποσύνθεση, λόγω έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία και δράσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου.

Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου παράγονται και ελέγχονται με βάση διεθνείς προδιαγραφές για πιέσεις λειτουργίας 4, 6 και 10 atm στους 20°C.

Οι τύποι σωλήνων πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται, κατά διάμετρο και πίεση λειτουργίας, είναι LDPE και HDPE και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.1.α

Κατηγορίες πυκνότητας πολυαιθυλενίου (LDPE, HDPE) ανάλογα με τη διάμετρο και την πίεση λειτουργίας

Εξωτερική διάμετρος (mm)	Πίεση (atm)		
	4	6	10
12	LDPE	LDPE	
16	LDPE	LDPE	
20	LDPE	LDPE	
25	LDPE	LDPE	
32	LDPE	LDPE	HDPE
40	HDPE	HDPE	HDPE
50	HDPE	HDPE	HDPE
63	HDPE	HDPE	HDPE
75	HDPE	HDPE	HDPE
90	HDPE	HDPE	HDPE
110	HDPE	HDPE	HDPE

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 2.1.β) περιλαμβάνει τις διαμέτρους που παράγονται, το πάχος τοιχώματος και το βάρος ανά μέτρο σωλήνα για κάθε διάμετρο και για πιέσεις λειτουργίας 4,6, 10 atm.

Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου φέρουν τους χαρακτηριστικούς κωδικούς τους τυπωμένους πάνω στην εξωτερική επιφάνεια. Οι χαρακτηριστικοί κωδικοί περιλαμβάνουν τη διατομή (Φ), την ποιότητα (LD ή HD), την εταιρία παραγωγής και την πίεση αντοχής τους. Επίσης ορισμένες φορές φέρουν αρίθμηση ανά μέτρο μήκους.

Ο σωλήνας πολυαιθυλενίου διατίθεται σε (κουλούρες) 250m μέχρι τη διατομή Φ 25, 200m για τη διατομή Φ 32 και 100m για τις μεγαλύτερες διαμέτρους. Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος λόγω της ευκαμψίας των σωλήνων, αποφεύγεται ένας σημαντικός αριθμός ειδικών εξαρτημάτων. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται ώστε η κάμψη να γίνει στην ίδια διεύθυνση, που ήταν τυλιγμένος ο αγωγός. Διαθέτει στο υλικό του σταθεροποιητές υπεριωδών ακτινοβολιών, που τον κάνουν πιο ανθεκτικό στην ηλιακή ακτινοβολία έναντι των σωλήνων πολυβινυλοχλωριδίου (PVC). Επίσης, ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των σωλήνων πολυαιθυλενίου είναι η αντίσταση τους στη δημιουργία ρωγμών από την παγοποίηση του νερού.

Πίνακας 2.1.β

Προδιαγραφές σωλήνων πολυαιθυλενίου (PE) ως προς την εξωτερική διάμετρο, το πάχος και το βάρος τους.

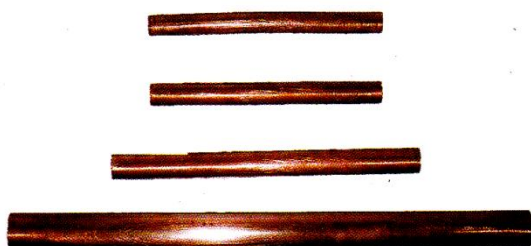
Εξωτερική διάμετρος (mm)	Επιτρεπτή δια- κύμανση διαμέτρου (mm)		Πάχος τοιχώματος (mm)			Βάρος (Kg/m)		
	Min	Max	4 atm	6 atm	10 atm	4 atm	6 atm	10 atm
12	12	12,4	1,3	1,5				
16	16	16,5	1,3	1,5			0,088	
20	20	20,5	2,0	2,0			0,124	
25	25	25,6	2,2	2,2		0,15	0,188	
32	32	32,7	2,2	2,8		0,19	0,310	0,28
40	40	40,4	2	2,3	3,7	0,248	0,285	0,43
50	50	50,5	2	2,9	4,6	0,314	0,44	0,666
63	63	63,6	2,5	3,6	5,8	0,494	0,688	1,05
75	75	75,7	2,9	4,3	6,9	0,675	0,976	1,48
90	90	90,9	3,5	5,1	8,2	0,978	1,39	2,12
110	110	111	4,3	6,3	10		2,08	3,14

Οι σωλήνες πρέπει να μεταφέρονται με κατάλληλο όχημα (εικόνα), με λείες επιφάνειες στο χώρο φόρτωσης, να φορτώνονται και να ξεφορτώνονται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται ζημιές κατά τη διάρκεια της μεταφοράς. Δεν πρέπει να σύρονται στο έδαφος ή να στοιβάζονται σε επιφάνειες βραχώδεις ή με ανωμαλίες ή με κοφτερές ακμές. Συνιστάται σε περίπτωση τραυματισμού σωλήνα, που ξεπερνά το 10% του πάχους του τοιχώματος του, να αντικαθίσταται το τμήμα αυτό. Οι σωροί των σωλήνων δεν πρέπει να υπερβαίνουν το μέγιστο ύψος, που είναι 1,5m.



Ο τόπος αποθήκευσης τους πρέπει να είναι επίπεδος και οι ρόλοι να αποθηκεύονται οριζόντια. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτούν τα άκρα των σωλήνων, ώστε να μην υποστούν φθορά και να είναι έτοιμα για σύνδεση. Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου (PE) δεν πρέπει να έρχονται σε επαφή με υλικά όπως το πετρέλαιο, η βενζίνη, διαλυτικά κλπ.

2.1.2 Άλλοι τύποι σωλήνων



Η χρήση σιδηροσωλήνων στα δίκτυα που αφορούν τα κηποτεχνικά έργα είναι πλέον ανύπαρκτη, λόγω υψηλού κόστους.

Ορισμένες φορές είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί χαλκοσωλήνας, αλλά και αυτό μόνο στο τμήμα του δικτύου

από την υδροληψία μέχρι την κεφαλή του δικτύου ή/και πολύ σπάνια σε άλλα σημεία του δικτύου. Οι χαλκοσωλήνες πλεονεκτούν έναντι των σιδηροσωλήνων, διότι είναι τελείως λείοι (άρα παρουσιάζουν λιγότερη αντίσταση στη ροή), είναι ελαφροί, αντέχουν σε υψηλές πιέσεις και συνδέονται εύκολα. Οι διατομές που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι $\Phi 10$, $\Phi 12$, $\Phi 15$, $\Phi 18$, $\Phi 22$, $\Phi 28$, $\Phi 35$ κλπ.

Η χρήση πλαστικών σωλήνων πολυβινιλοχλωριδίου (PVC) στη χώρα μας είναι πολύ μικρή, λόγω της επικράτησης του πολυαιθυλενίου (PE). Κυκλοφορούν στο εμπόριο σε μήκη 3m και 6m.

2.2 Εξαρτήματα συνδεσμολογίας

2.2.1 Εξαρτήματα πολυαιθυλενίου (PE)

Τα εξαρτήματα συνδεσμολογίας αποτελούν το συνδετικό μέσο όλου του αρδευτικού δικτύου. Αυτά συνδέουν αρδευτικούς σωλήνες ίδιων ή διάφορων διατομών και επιτρέπουν την προσθήκη ηλεκτροβαλβίδων, εκτοξευτήρων και άλλων αρδευτικών υλικών.

Περιγραφή των εξαρτημάτων

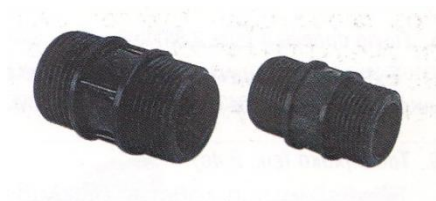
Τα εξαρτήματα συνδεσμολογίας χρησιμοποιούνται για να κάνουμε γωνίες (90°) και διακλαδώσεις (ταυ), να μειώνουμε τις διατομές, να κλείνουμε και να επισκευάζουμε σωλήνες. Επίσης μπορούμε να συνδέουμε τους εκτοξευτήρες και τις βαλβίδες με τους σωλήνες, όπως επίσης και να συνδέουμε σωλήνες μεταξύ τους.

Τα εξαρτήματα από πολυαιθυλένιο συνδέονται στους σωλήνες πολυαιθυλενίου με **στροφή** (κοχλίωση ή βίδωμα) ή με **σύσφιξη**.

Θα εξετάσουμε τώρα λεπτομερώς τα διάφορα εξαρτήματα και τους τρόπους με τους οποίους χρησιμοποιούνται. Τα εξαρτήματα καταρχήν διαχωρίζονται σε **υδραυλικά εξαρτήματα** και σε **εξαρτήματα σύνδεσης σωλήνων**.

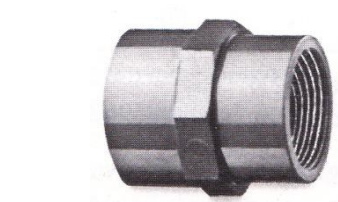
2.2.1.1 Υδραυλικά εξαρτήματα

Μαστός (εικόνα)



Φέρει αρσενική κοχλίωση (σπείρωμα) και στις δύο οπές του.

Μούφα (εικόνα)



Φέρει ίδιο θηλυκό σπείρωμα και στις δύο οπές του.

Γωνία θηλυκή (εικόνα)



Έχει μορφή γωνίας 90^ο και φέρει ίδιο θηλυκό σπείρωμα και στις δύο οπές του.

Γωνία θηλυκή - αρσενική (εικόνα)



Έχει μορφή γωνίας και φέρει αρσενικό σπείρωμα από τη μια οπή και θηλυκό από την άλλη.

Γωνία αρσενική (εικόνα)



Έχει μορφή γωνίας και φέρει ίδιο αρσενικό σπείρωμα και στις δύο οπές του.

Ταυ θηλυκό (εικόνα)



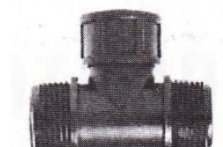
Είναι εξαρτήματα κάθετης διακλάδωσης, που φέρει θηλυκό σπείρωμα και στις τρεις οπές.

Ταυ αρσενικό (εικόνα)



Είναι εξάρτημα διακλάδωσης, που φέρει αρσενικό σπείρωμα και στις τρεις οπές.

Ταυ αρσενικό - θηλυκό - αρσενικό (εικόνα)



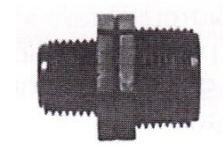
Είναι εξάρτημα διακλάδωσης, που φέρει θηλυκό σπείρωμα στην κεντρική οπή και αρσενικά σπείρωματα στις πλευρικές.

Μούφα συστολική (εικόνα)



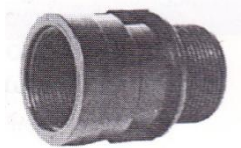
Φέρει θηλυκά σπείρωματα διαφορετικής διατομής.

Μαστός συστολικός (εικόνα)



Φέρει αρσενικά σπείρωματα διαφορετικής διατομής.

Συστολή Αμερικής (εικόνα)



Φέρει εξωτερικά αρσενικό σπείρωμα μιας διατομής και εσωτερικά θηλυκό σπείρωμα μικρότερης διατομής.

Τάπα αρσενική (εικόνα)



Απομονώνει ένα άλλο υδραυλικό εξάρτημα.

Τάπα θηλυκή (εικόνα)



Απομονώνει ένα άλλο υδραυλικό εξάρτημα.

Σωλήνες ανύψωσης – ορθοστάτες (εικόνα)



Είναι εξαρτήματα πάνω στα οποία προσαρμόζονται εκτοξευτήρες ή ακροφύσια. Είναι κατασκευασμένοι από σκληρό πολυαιθυλενίου ή πολυβινυλοχλωρίδιο και διατίθεται σε διάφορα μήκη. Τα σπειρώματα κατασκευάζονται στον τόπο του έργου με κατάλληλη τεχνική (σπειροτόμηση).

Τεφλόν (teflon) (εικόνα)



Είναι ταινία στεγανωτική που τυλίγεται πάνω στα αρσενικά σπειρώματα.

Μαστός μεταβλητός - σωληνομαστός (εικόνα)



Είναι ένας μαστός μεγάλου μήκους (20cm), ο οποίος μπορεί να κοπεί στο ύψος που θέλουμε.
(α) Σωληνομαστός,
(β) Σωληνομαστός τοποθετημένος.

2.2.1.2 Σύνδεση σωλήνων

Η σύνδεση σωλήνων PE μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Η χρήση εξαρτημάτων μηχανικής σύσφιξης (ρακόρ) είναι η πλέον διαδεδομένη για τα αρδευτικά δίκτυα των φυτοτεχνικών έργων. Άλλες μέθοδοι μη διαδεδομένες για αυτά τα έργα είναι η αυτογενής μετωπική συγκόλληση (butt fusion welding), η αυτογενής ηλεκτροσυγκόλληση (electrofusion welding), η μέθοδος με μεταλλικά ζιμπώ και η μέθοδος με φλάντζες.

2.2.1.2.1 Εξαρτήματα μηχανικής σύσφιξης (ρακόρ) τύπου lock

Χρησιμοποιούνται για συνδέσεις σωλήνων με διατομές από Φ12 - Φ32. Τοποθετούνται με ώθηση και σύσφιξη.

Ρακόρ lock - αρσενικό (εικόνα)



Συνδέει ένα σωλήνα με ένα υδραυλικό εξάρτημα θηλυκού σπειρώματος.

Σύνδεσμος lock (εικόνα)



Συνδέει σωλήνες ίδιας διαμέτρου.

Γωνία lock - θηλυκή (εικόνα)



Συνδέει σωλήνα με υδραυλικό εξάρτημα.

Γωνία lock - αρσενική (εικόνα)



Συνδέει σωλήνα με υδραυλικό εξάρτημα θηλυκού σπειρώματος, σε γωνία 90°.

Γωνία lock (εικόνα)



Συνδέει δύο σωλήνες ίδιας διαμέτρου, σε γωνία 90°.

Ταυ lock – θηλυκό

Συνδέει δύο σωλήνες ίδιας διαμέτρου με υδραυλικό εξάρτημα αρσενικού σπειρώματος.

Ταυ lock - αρσενικό (εικόνα)



Συνδέει δύο σωλήνες ίδιας διαμέτρου με υδραυλικό εξάρτημα θηλυκού σπειρώματος.

Ταυ lock - lock - lock (εικόνα)



Συνδέει τρεις σωλήνες ίδιας διαμέτρου.

Τάπα lock (εικόνα)



Απομονώνει ένα σωλήνα.

Stopper (εικόνα)



Κλείνει - απομονώνει ένα σωλήνα.

2.2.1.2.2 Εξαρτήματα μηχανικής σύσφιξης (ρακόρ) κοχλιωτά

Χρησιμοποιούνται για συνδέσεις σωλήνων με διατομή από $\Phi 25$ – $\Phi 110$. Τοποθετούνται με ώθηση και σύσφιξη.

Ρακόρ κοχλιωτό αρσενικό (εικόνα)



Συνδέει σωλήνα με υδραυλικό εξάρτημα θηλυκού σπειρώματος.

Ρακόρ κοχλιωτό θηλυκό (εικόνα)



Συνδέει σωλήνα με υδραυλικό εξάρτημα αρσενικού σπειρώματος.

Τάπα ρακόρ κοχλιωτή (εικόνα)



Κλείνει - απομονώνει σωλήνες.

Σύνδεσμος κοχλιωτός (εικόνα)



Συνδέει δύο σωλήνες ίδιας διατομής.

Γωνία κοχλιωτή θηλυκή (εικόνα)



Συνδέει σωλήνα με υδραυλικό εξάρτημα αρσενικού σπειρώματος, σε γωνία 90° .

Ταυ κοχλιωτό (εικόνα)



Συνδέει τρεις σωλήνες ίδιας διατομής.

Ταυ κοχλιωτό θηλυκό (εικόνα)



Συνδέει δυο σωλήνες ίδιας διατομής με υδραυλικό εξάρτημα αρσενικού σπειρώματος.

Γωνία κοχλιωτή (εικόνα)



Συνδέει δύο σωλήνες ίδιας διατομής, σε γωνία 90°.

Γωνία κοχλιωτή αρσενική

Συνδέει σωλήνα με υδραυλικό εξάρτημα θηλυκού σπειρώματος, σε γωνία 90°.

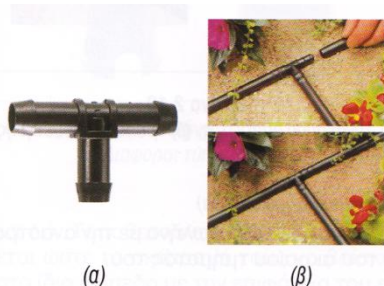
Ταυ κοχλιωτό αρσενικό

Συνδέει δύο σωλήνες ίδιας διατομής με υδραυλικό εξάρτημα θηλυκού σπειρώματος.

2.2.1.2.3 Εξαρτήματα με ακίδες (σπαρωτά - φικς)

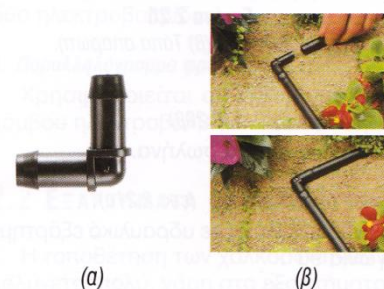
Χρησιμοποιούνται για σύνδεση σωλήνων με διατομές από Φ4 - Φ32 και τοποθετούνται με ώθηση.

Ταυ σπαρωτό (εικόνα)



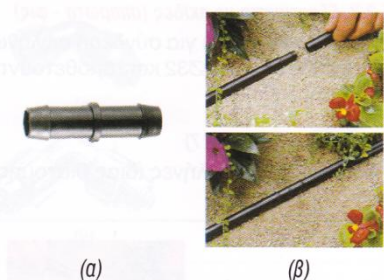
Συνδέει τρεις σωλήνες ίδιας διατομής.
(α) Ταυ σπαρωτό,
(β) Τρόπος τοποθέτησης.

Γωνία σπαρωτή (εικόνα)



Συνδέει δύο σωλήνες ίδιας διατομής, σε γωνία 90°.
(α) Γωνία σπαρωτή,
(β) Τρόπος τοποθέτησης.

Σύνδεσμος σπαρωτός (εικόνα)



Συνδέει δύο σωλήνες ίδιας διατομής.
(α) Σύνδεσμος σπαρωτός,
(β) Τρόπος τοποθέτησης.

Διόφθαλμο (εικόνα)



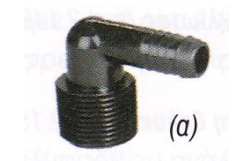
Απομονώνει ένα σωλήνα με την αναστροφή του ακραίου τμήματός του.

Τάπα σπαρρωτή (εικόνα)



Απομονώνει ένα σωλήνα.

Γωνία - ακροσωλήνιο (εικόνα)



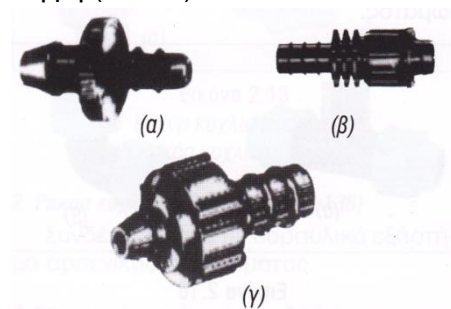
Συνδέει σωλήνα με υδραυλικό εξάρτημα, σε γωνία 90°.

Μαστός σπαρρωτός (εικόνα)



Συνδέει σωλήνα με υδραυλικό εξάρτημα.

Λήψη (εικόνα)

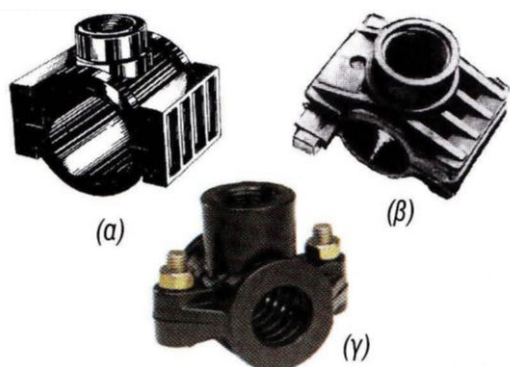


Είναι εξάρτημα με το οποίο κάνουμε διακλάδωση σε μικρότερης διατομής σωλήνα.
(α), (β), (γ) Διάφορες λήψεις.

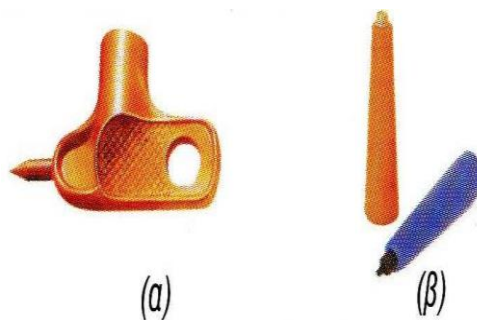
2.2.1.3 Σέλες

Χρησιμοποιούνται για την ασφαλή, από άποψη στεγανότητας, λήψη του νερού από τους σωλήνες. Προσαρμόζονται με διάφορους τρόπους πάνω σε αυτούς. Φέρουν διάφορα θηλυκά σπειρώματα, όπως 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2" κλπ. Πάνω στις σέλες προσαρμόζονται οι ηλεκτροβαλβίδες, οι εκτοξευτήρες, οι διάφοροι σωλήνες που χρειάζεται να πάρουν νερό και οι σωλήνες ανύψωσης. Οι σέλες (εικόνα 2.1) τοποθετούνται πάνω στο σωλήνα πολυαιθυλενίου (PE), στον οποίο διανοίγεται μια οπή με τη βοήθεια ειδικού διατρητικού εργαλείου («σγρόμπια») (εικόνα 2.2). Υπάρχουν διάφοροι τύποι σελών, όπως:

- Σέλα συρταρωτή
- Σέλα σφήνας
- Σέλα με βίδες
- Διπλή σέλα σταυρωτή



Εικόνα 2.1 (α) Σέλα συρταρωτή, (β) Σέλα σφήνας, (γ) Σέλα με βίδες.



Εικόνα 2.2 Σγρόμπιες.

2.3 Σταλάκτες

2.3.1 Γενική περιγραφή σταλάκτη

Σταλάκτες ονομάζονται οι διανεμητές νερού που χρησιμοποιούνται για τον εξοπλισμό των συστημάτων εντοπισμένης άρδευσης με σταγόνες. Τα συστήματα στάγδην άρδευσης χρησιμοποιούνται για την άρδευση δέντρων και θάμνων, όπως επίσης ποωδών και εποχικών φυτών, είτε αυτά βρίσκονται φυτεμένα στη γη είτε βρίσκονται φυτεμένα σε γλάστρες ή ζαρντινιέρες.

Κατασκευάζονται συνήθως από σκληρή πλαστική ύλη πολυπροπυλενίου ή πολυαιθυλενίου. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ειδών και τύπων σταλακτών (εικόνα δεξιά). Το κοινό χαρακτηριστικό τους είναι ότι επιτρέπουν την εκροή του νερού με τη μορφή ελεύθερων σταγόνων και λειτουργούν σε χαμηλή πίεση (1-2 atm).

Η εκροή του νερού με τη μορφή ελεύθερων σταγόνων επιτυγχάνεται με την απώλεια πίεσης, που προκαλείται κατά τη διέλευση του νερού μέσα από το σταλάκτη (εικόνα αριστερά). Η ονομαστική τους παροχή, για πίεση λειτουργίας 1 atm, κυμαίνεται από 0.3 – 12 l/h. Οι πιο συνηθισμένοι σταλάκτες έχουν ονομαστικές παροχές 2, 4, 6, 8 ή 10 l/h. Τελευταία στην αγορά έχουν κυκλοφορήσει σταλάκτες ρυθμιζόμενης παροχής από 0 l/h – 50 l/h (η παροχή 0 Lt σημαίνει ότι ο σταλάκτης μετά από κατάλληλη ρύθμιση είναι κλειστός).



Με τη χρήση των σταλακτών για άρδευση έχουμε τη δυνατότητα να εφαρμόσουμε την παροχή νερού στην περιοχή των κύριων ριζών των φυτών σε μικρές δόσεις και με αργό ρυθμό, επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο τη διατήρηση του εδάφους σε συνθήκες σταθερής υγρασίας. Ταυτόχρονα, ελαχιστοποιούνται οι απώλειες νερού από εξάτμιση, απορροή και διήθηση σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

Ένα άλλο σημαντικό όφελος της άρδευσης με σταλάκτες είναι η εξοικονόμηση του νερού.

Οι σταλάκτες, ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους, διακρίνονται σε σταλάκτες **μεγάλης** και **μικρής** διαδρομής.

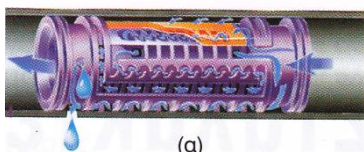
2.3.2 Σταλάκτες μεγάλης διαδρομής

Σε αυτούς το νερό περνά από διόδους πολύ μικρής διατομής, που έχουν συνολικό μήκος 1m περίπου. Με αυτό τον τρόπο προκαλείται απώλεια φορτίου. Στην ομάδα ανήκουν οι εξής τύποι σταλακτών:

α) Οι μικροσωλήνες

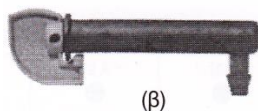
Οι μικροσωλήνες είναι λεπτοί σωληνίσκοι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο, με εσωτερική διάμετρο 0,5-1,1 mm και μήκος 0,25-1,5 m. Η παροχή τους κατά την άρδευση εξαρτάται από την πίεση λειτουργίας τους, την εσωτερική διάμετρο και το μήκος τους και δίνεται στους πίνακες αποδόσεων τους. Τοποθετούνται σε οπές, οι οποίες ανοίγονται με ειδικό εργαλείο («σγρόμπια») σε επιθυμητά διαστήματα πάνω στα τοιχώματα των πλευρικών σωλήνων.

β) Οι σταλάκτες με μαιανδρική διαδρομή (εικόνα)



Σε αυτούς το νερό περνά από εναλλασσόμενες διευρύνσεις και στενώσεις, που το σχήμα τους μοιάζει με μαϊάνδρο και οι δίοδοι του νερού μοιάζουν με ελικώσεις.

γ) Οι σταλάκτες ελικοειδούς διαδρομής (εικόνα)



Σε αυτούς οι δίοδοι του νερού μοιάζουν με ελικώσεις.

δ) Οι σταλάκτες μικτής διαδρομής (εικόνα)



Εικόνα 2.3 (α),(β),(γ),(δ) Σταλάκτες μικτής διαδρομής (Πηγή: Rainbird-NETAFIM),
(ε) Τρόπος τοποθέτησης σε σωλήνες $\Phi 16$ και $\Phi 4$.

Σε αυτούς οι δίοδοι του νερού είναι ελικοειδείς στην αρχή και ευθύγραμμοι στο τέλος.

2.3.3 Σταλάκτες μικρής διαδρομής

Στους σταλάκτες αυτούς το νερό εξέρχεται από μια οπή πολύ μικρής διατομής. Με αυτό τον τρόπο προκαλείται απώλεια πίεσης. Στην ομάδα αυτή ανήκουν οι εξής τύποι σταλακτών:

α) Οι σταλάκτες τύπου οπής

Οι σταλάκτες αυτοί, για την έξοδο του νερού, έχουν μια μικρή οπή με σχετικό κάλυμμα. Το νερό που εξέρχεται αρχικά από την οπή σε μορφή μικρού πίδακα, προσκρούει στο κάλυμμα και μετατρέπεται σε σταγόνες.

β) Οι σταλάκτες τύπου στροβίλου

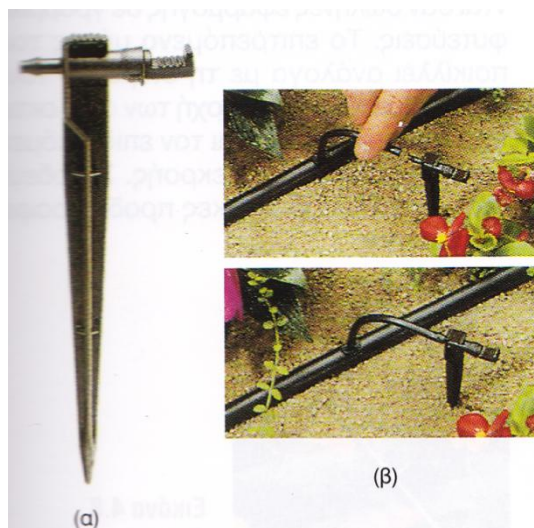
Σε αυτούς το νερό περνά αρχικά από μια οπή σε ένα θαλαμίσκο κυλινδρικού σχήματος, όπου με τη δημιουργία τυρβώδους κίνησης προκαλείται πτώση της πίεσης και στη συνέχεια ωθείται σε δεύτερο θαλαμίσκο από όπου εκρέει σε μορφή σταγόνων.

2.3.4 Κατάταξη σταλακτών ανάλογα με τη ρύθμιση της παροχής

Γενικά οι σταλάκτες ανάλογα με τη δυνατότητα ρύθμισης της παροχής τους διακρίνονται:

α) Σταλάκτες σταθερής παροχής (εικόνα)

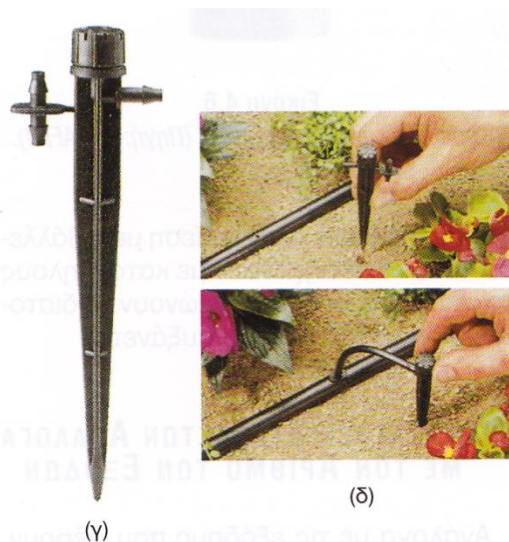
Οι σταλάκτες αυτοί διατηρούν την παροχή τους ορισμένη και σταθερή σε δεδομένη πίεση.



Εικόνα 2.4 (α) Σταλάκτης σταθερής παροχής με λόγχη, (β) Τρόπος τοποθέτησης (Πηγή: Claber).

β) Σταλάκτες ρυθμιζόμενης παροχής (εικόνα)

Οι σταλάκτες αυτοί για ορισμένη πίεση μεταβάλλουν την παροχή τους με ειδικό χειρισμό, είτε αυξάνοντας το μήκος της διαδρομής, είτε μειώνοντας τη διατομή της οπής εκροής.



Εικόνα 2.5 (γ) Σταλάκτης ρυθμιζόμενης παροχής με λόγχη, (δ) Τρόπος τοποθέτησης (Πηγή: Claber).

γ) Αυτορυθμιζόμενοι σταλάκτες (εικόνα)

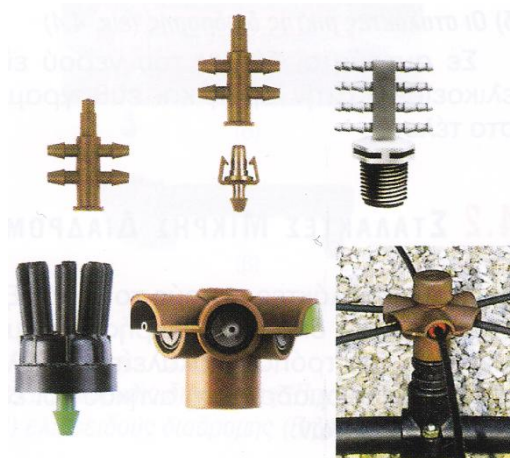
Οι σταλάκτες αυτοί διατηρούν την παροχή τους σταθερή, όταν η πίεση μεταβάλλεται. Αυτό το πετυχαίνουν με κατάλληλους μηχανισμούς, οι οποίοι μειώνουν τη διατομή εκροής όταν η πίεση αυξάνεται.



Εικόνα 2.6 Αυτορυθμιζόμενοι σταλάκτες (Πηγή: NETAFIM).

2.3.5 Κατάταξη σταλακτών ανάλογα με τον αριθμό των εξόδων

Ανάλογα με τις εξόδους που φέρουν, διακρίνονται σε σταλάκτες απλής και πολλαπλής εξόδου.



Εικόνα 2.7 Κεφαλές πολλαπλών εξόδων (Πηγή: NETAFIM).

2.3.6 Σταλακτοφόροι σωλήνες

Είναι σωλήνες από εύκαμπτο μαύρο πολυαιθυλένιο (εικόνα), με αντοχή σε πιέσεις 4-6 atm και εξωτερική διάμετρο 16-20mm, που φέρουν ενσωματωμένους σταλάκτες.

Χρησιμοποιούνται για να διανέμουν το νερό στην ένταση που πρόκειται να αρδευτεί. Η διανομή γίνεται μέσω των σταλακτών. Χρησιμοποιούνται σαν σωλήνες εφαρμογής σε γραμμικές φυτεύσεις. Το επιτρεπόμενο μήκος τους ποικίλλει ανάλογα με τη διάμετρο τους, τον αριθμό και την παροχή των σταλακτών που φέρουν, καθώς και τον επιδιωκόμενο βαθμό ομοιομορφίας εκροής. Συνοδεύονται πάντοτε από πίνακες προδιαγραφών λειτουργίας.



Οι σταλακτοφόροι σωλήνες τοποθετούνται πάντοτε κάθετα προς τους δευτερεύοντες σωλήνες και παράλληλα προς τις γραμμές φύτευσης (σειρές φυτών ή δένδρων). Έχουν χρώμα μαύρο για να είναι αδιαπέρατοι στο φως και να εμποδίζεται έτσι η ανάπτυξη μικροοργανισμών στο εσωτερικό τους, που μπορεί να προκαλέσουν εμφράξεις των σταλακτών. Τα άκρα των σωλήνων αυτών κλείνουν με ειδικό εξάρτημα (διόφθαλμο), ώστε να ανοίγονται κατά διαστήματα και να καθαρίζονται από τις ακαθαρσίες, που συγκεντρώνονται μέσα σε αυτούς.

Τα προβλήματα που δημιουργούνται στους σταλάκτες προέρχονται από τη συσσώρευση αλάτων τόσο στους μαιάνδρους, όσο και στις εκροές. Τελευταία στην αγορά υπάρχουν **ειδικοί σταλακτοφόροι** σωλήνες, οι οποίοι με παράλληλη χρήση επίσης ειδικών φίλτρων χρησιμοποιούνται για την υπόγεια άρδευση χλοοταπίτων. Πρόκειται για νέα μέθοδο άρδευσης για χλοοτάπητες, η οποία όμως υπόσχεται και προδιαγράφει πολλά για το μέλλον.

2.4 Βάνες

Βάνα είναι ένας μηχανισμός, ο οποίος συνδέεται σε ένα δίκτυο σωλήνων με προορισμό να ελέγχει την παροχή του δικτύου και να διακόπτει τη ροή του νερού, όταν χρειάζεται. Είναι φυσικό, λοιπόν οι βάνες να τοποθετούνται τόσο στην αρχή του δικτύου (κεντρική βάνα), όσο και στην αρχή των δευτερευόντων σωλήνων.

Η αποστολή μια βάνας σε ένα αρδευτικό δίκτυο είναι να επιτρέπει στο νερό να ρέει μέσα σε ένα τμήμα (κύκλωμα ή ζώνη) του αρδευτικού δικτύου με εντολή του προγραμματιστή ή έπειτα από χειροκίνητη ενέργεια.

Ένας βασικός διαχωρισμός έγκειται στον τρόπο λειτουργίας τους. Έτσι λοιπόν έχουμε:

2.4.1 Χειροκίνητες βάνες

Είναι βάνες (εικόνα 2.8) που για να λειτουργήσουν απαιτούν την ανθρώπινη παρουσία και επέμβαση. Είναι οι γνωστοί σε όλους μας κρουνοί ή σφαιρικοί διακόπτες ή σφαιρικές βάνες.



Εικόνα 2.8 Σφαιρικοί διακόπτες:
(α) Μεταλλικός, (β) Πλαστικός,
(γ) Διακόπτης για μικροσωλήνες.

Υπάρχουν σε διάφορες διατομές που ξεκινούν από ½" με αρσενικά ή θηλυκά ή αρσενικά και θηλυκά σπειρώματα.

2.4.2 Αυτόματες βάνες

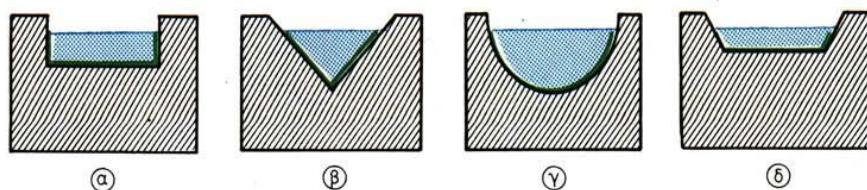
Είναι βάνες που επιτρέπουν ή διακόπτουν τη ροή του νερού μετά από εντολή του προγράμματος. Ονομάζονται και **διαφραγματικές βαλβίδες** και διακρίνονται σε **ηλεκτρικές** και **υδραυλικές** ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του σήματος λειτουργίας τους. Στις ηλεκτρικές βαλβίδες το σήμα μεταφέρεται με ηλεκτρικά καλώδια, ενώ στις υδραυλικές βαλβίδες το σήμα μεταφέρεται με σωληνίσκους νερού που διαβιβάζουν τις εντολές με διαφορές πίεσης που δημιουργούνται σε ένα υδραυλικό προγραμματιστή.

Στα αρδευτικά δίκτυα των έργων πρασίνου στη χώρα μας χρησιμοποιούνται ως επί των πλείστον οι διαφραγματικές ηλεκτρικές βαλβίδες, που ονομάζονται και ηλεκτροβαλβίδες, χωρίς να αποκλείεται και η χρήση υδραυλικών διαφραγματικών βαλβίδων που διασκευάζονται έτσι ώστε να δέχονται σωληνοειδή πηνία που δέχονται ηλεκτρικές εντολές, που παρεμβαίνουν στους σωληνίσκους.

3. Εκχειλιστές

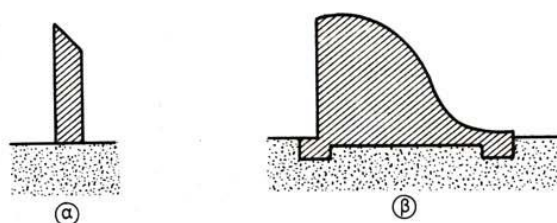
Οι εκχειλιστές είναι ειδικές κατασκευές πάνω στις οποίες η ροή γίνεται με υπερχειλίση. Χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της στάθμης του νερού σε μια τεχνητή λίμνη που σχηματίστηκε ύστερα από την κατασκευή ενός φράγματος, για τη ρύθμιση της στάθμης του νερού στο σύστημα διωρύγων ενός επιφανειακού δικτύου αρδεύσεως, για τη μέτρηση της παροχής μέσα σε διώρυγες κ.α.

Οι εκχειλιστές, ανάλογα με το σχήμα τους διακρίνονται σε ορθογωνικούς, ημικυκλικούς, τριγωνικούς, τραπεζοειδής, παραβολικούς κ.α.



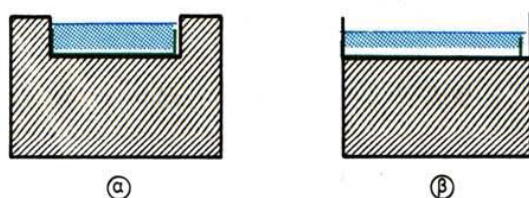
Σχήμα 3.1 Διάφοροι τύποι εκχειλιστών: (α) Ορθογωνικός, (β) Τριγωνικός, (γ) Ημικυκλικός, (δ) Τραπεζοειδής.

Ανάλογα με τη μορφή της στέψεως τους, οι εκχειλιστές διακρίνονται σε **εκχειλιστές αιχμηράς ή ευρείας στέψης** (σχήμα 3.2).



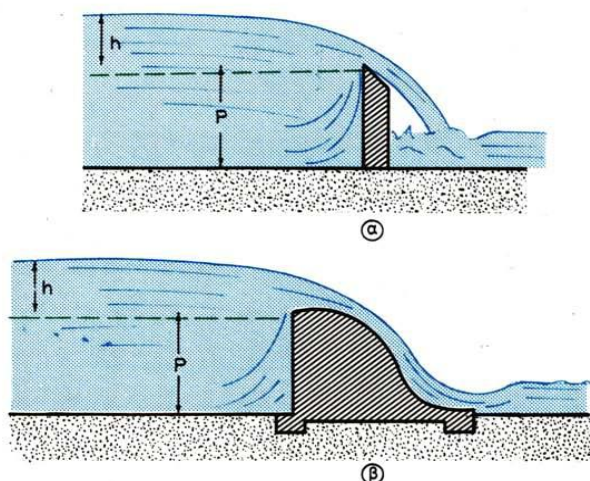
Σχήμα 3.2 Τυπικοί εκχειλιστές: (α) Αιχμηράς, (β) Ευρείας στέψης.

Αν η υπερχειλίση γίνεται απ' όλο το πλάτος του εκχειλιστή, τότε ο εκχειλιστής ονομάζεται **καθολικός** ή **χωρίς πλευρική συστολή**. Αν η υπερχειλίση γίνεται από ένα τμήμα του πλάτους του εκχειλιστή, τότε ονομάζεται **εκχειλιστής με πλευρική συστολή** (σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3 (α) Εκχειλιστής με πλευρική συστολή, (β) Εκχειλιστής χωρίς πλευρική συστολή ή καθολικός εκχειλιστής.

Η ροή πάνω από εκχειλιστές με αιχμηρή ή ευρεία στέψη φαίνεται ενδεικτικά στο σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4 (α) Ροή πάνω από εκχειλιστή αιχμηρής στέψεως, (β) Ροή πάνω από εκχειλιστή ευρείας στέψεως. P = ύψος του εκχειλιστή, h = φορτίο που προκαλεί ροή.

Το ύψος του φορτίου (h) λαμβάνεται αρκετά μακριά από τη στέψη του εκχειλιστή (συνήθως 4 - 5 φορές το P), για να μην επηρεάζεται από την πτώση της στάθμης που παρατηρείται λίγο πριν από τον εκχειλιστή.

3.1 Ειδικές περιπτώσεις

3.1.1 Ορθογωνικός εκχειλιστής χωρίς πλευρική συστολή με αιχμηρή στέψη

Στην περίπτωση αυτή η παροχή Q δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

όπου:

Q = η παροχή σε m^3/sec ή σε l/sec ,

μ = συντελεστής παροχής που δίνεται από πίνακες,

b = το πλάτος του εκχειλιστή και

h = το φορτίο.

3.1.2 Τριγωνικός εκχειλιστής

Στην περίπτωση αυτή (σχήμα 3.5) η παροχή Q δίνεται από τη σχέση:

$$Q = C \varepsilon \varphi \frac{\theta}{2} h^{5/2}$$

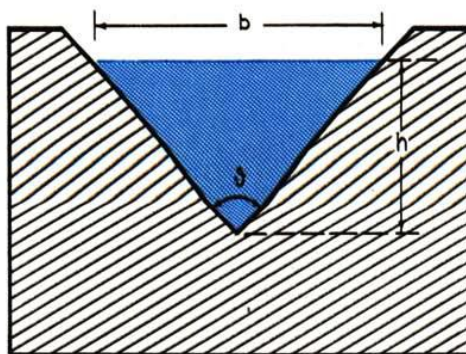
όπου,

C = ο συντελεστής αντίστασης της συσκευής (του συστήματος λεκάνης - υπερχειλιστή),

θ = η γωνία του ανοίγματος του υπερχειλιστή,

h = το ύψος από το επίπεδο στέψης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού μακριά και ανάντη από τον υπερχειλιστή,

Q = η παροχή σε m^3/sec .



Σχήμα 3.5 Τριγωνικός εκχειλιστής.

3.1.3 Τραπεζοειδής εκχειλιστής ή εκχειλιστής Cipolletti

Με τον εκχειλιστή αυτό η παροχή Q δίνεται από τη σχέση:

$$Q = 0,415 bh \sqrt{2gh} = 1,84 bh^{3/2}$$

όπου:

b = η κάτω (μικρή) βάση του ισοσκελούς τραπεζίου (m),

h = το φορτίο (m),

Q = η παροχή σε m³/sec.

4. Βασικές Αρχές των Στραγγίσεων των Εδαφών (Τερζίδης και Καραμούζης, 1986)

4.1 Εισαγωγή - Υπόγεια στάθμη

Στραγγίσεις είναι η επιστήμη που ασχολείται με την απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού μιας περιοχής, είτε αυτό βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια ή μέσα στο έδαφος, με βασικό σκοπό να κάνει την περιοχή αυτή πιο κατάλληλη για τη χρησιμοποίησή της από τον άνθρωπο. Αν το νερό βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους η απομάκρυνσή του γίνεται συνήθως με ένα δίκτυο ανοικτών αγωγών (κανάλια ή τάφρους) και το δίκτυο αυτό λέγεται *αποστραγγιστικό*. Αν το πλεονάζον νερό βρίσκεται μέσα στο έδαφος και σχηματίζει υψηλή υπόγεια στάθμη, η απομάκρυνσή του μπορεί να γίνει με δίκτυα ανοικτών ή κλειστών αγωγών ή με συνδυασμό και των δυο και τα δίκτυα αυτά λέγονται *υποστραγγιστικά*. Επειδή πολύ σπάνια ένα δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την απομάκρυνση επιφανειακών νερών, στη συνέχεια όλα τα δίκτυα θα λέγονται απλά στραγγιστικά και οι αγωγοί θα λέγονται στραγγιστικοί. Συνήθως οι ανοικτοί στραγγιστικοί αγωγοί αναφέρονται ως τάφροι, οι δε κλειστοί στραγγιστικοί αγωγοί, όταν έχουν κυκλική διατομή, αναφέρονται ως στραγγιστικοί σωλήνες.

Βασικός σκοπός κάθε στραγγιστικού δικτύου στη γεωργία είναι να υποβιβάζει σε εύλογο χρόνο και να διατηρεί την στάθμη του υπόγειου νερού κάτω από τη ζώνη του ριζοστρώματος, έτσι που να εξασφαλίζεται ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών με λιγότερο κόστος και μεγαλύτερο κέρδος.

Το έδαφος κοντά και κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού δηλαδή όλοι οι πόροι του είναι γεμάτοι με νερό. Στο κορεσμένο έδαφος δεν υπάρχει οξυγόνο, γιατί καταναλίσκεται πολύ γρήγορα και δεν ανανεώνεται, με αποτέλεσμα να μη μπορεί να αναπτυχθεί το ριζικό σύστημα των φυτών και κάτω από αναερόβιες συνθήκες να σαπίζει.

Γενικά ο κορεσμός του εδάφους και οι αναερόβιες συνθήκες επιδρούν δυσμενώς στην ανάπτυξη των φυτών γιατί αλλοιώνουν το ρυθμό αποσύνδεσης της οργανικής ουσίας και της οξειδωσης των ορυκτών. Έχει βρεθεί ότι λίγες μέρες μετά τον κορεσμό ενός εδάφους οι συγκεντρώσεις ιόντων σιδήρου και θείου γίνονται τοξικές για τα φυτά. Επίσης στα κορεσμένα εδάφη η έλλειψη οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα ελαττώνει δραστικά και τη διαπνοή των φυτών.

Η υψηλή στάθμη του υπόγειου νερού έχει και άλλες δυσμενείς επιπτώσεις στο καλλιεργούμενο έδαφος, όπως π.χ. εμποδίζει τη χρήση των καλλιεργητικών μηχανημάτων, αυξάνει τη συμπίεση του εδάφους από τα μηχανήματα και τα ζώα, εμποδίζει τη θέρμανση του εδάφους την άνοιξη και καθυστερεί το φύτεμα των σπόρων, δημιουργεί συνθήκες ανάπτυξης διαφόρων ασθενειών των φυτών καθώς και την μετακίνηση και συγκέντρωση αλάτων στην περιοχή του ριζοστρώματος.

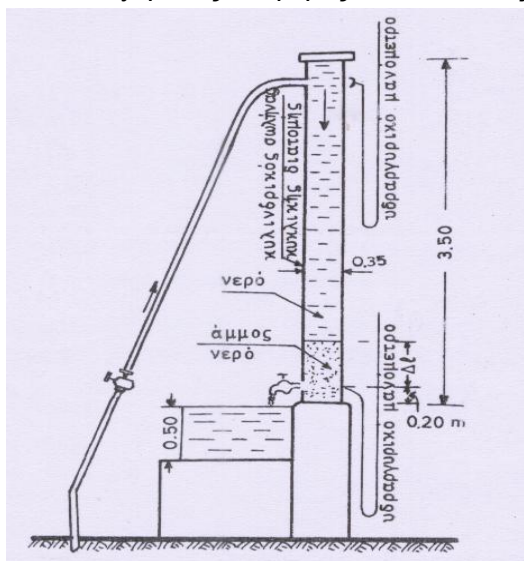
Η στάθμη του υπόγειου νερού μιας περιοχής μπορεί να ανέρχεται από τη διήθηση των νερών της βροχής ή της άρδευσης ή από την εισροή υπόγειου νερού από διπλανή υψηλότερη περιοχή, καθώς και από τη διαρροή ημίκλειστου υδροφόρου στρώματος που βρίσκεται κάτω από αρτεσιανές συνθήκες. Εμείς εδώ, ως στάθμη του υπόγειου νερού ή απλά υπόγεια στάθμη εννοούμε την επιφάνεια που διαχωρίζει

την κορεσμένη ζώνη από την ακόρεστη ζώνη και που έχει πίεση ίση με την ατμοσφαιρική.

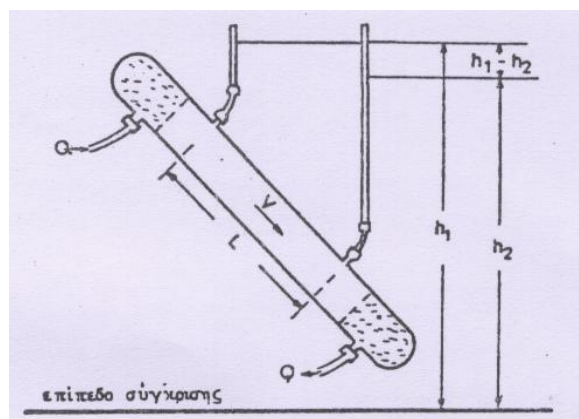
4.2 Έκφραση και πεδίο ισχύος του νόμου του Darcy

Βασική προϋπόθεση για το σχεδιασμό του στραγγιστικού δικτύου είναι ο προσδιορισμός του φορτίου στράγγισης, δηλαδή του όγκου εκροής του νερού, του υδραυλικού φορτίου, καθώς και της ταχύτητας διαστάλαξης του νερού.

Ο θεμελιώδης νόμος που περιγράφει την κίνηση του υπόγειου νερού μέσα στο έδαφος δόθηκε από τον H. Darcy το 1856. Στο σχήμα 4.1α φαίνεται η πειραματική συσκευή του Darcy και στο σχήμα 4.1β φαίνεται η συσκευή επαλήθευσης του νόμου του Darcy για τις διάφορες κατευθύνσεις.



Σχήμα 4.1α Πειραματική συσκευή του Darcy.



Σχήμα 4.1β Συσκευή επαλήθευσης του νόμου του Darcy για ροή σε διάφορες κατευθύνσεις.

Η μαθηματική διατύπωση του νόμου του Darcy είναι:

$$\frac{Q}{A} = V = -K \frac{h_2 - h_1}{\Delta l} \quad (4.1)$$

όπου Q η παροχή του νερού, A η επιφάνεια της διατομής του πορώδους μέσου, K ένας συντελεστής αναλογίας που αργότερα ονομάστηκε συντελεστής διαπερατότητας ή συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας, Δl το πάχος του πορώδους μέσου, h₂ και h₁ τα πιεζομετρικά φορτία κατάντη και ανάντη, αντίστοιχα, του διαπερώμενου πάχους του πορώδους μέσου. Ο λόγος Q/A = V, που είναι η παροχή ανά μονάδα επιφάνειας, έχει διαστάσεις ταχύτητας [L·T⁻¹] και καλείται *μακροσκοπική ταχύτητα* ή *ταχύτητα διαστάλαξης*. Το αρνητικό πρόσημο της εξίσωσης (4.1) δείχνει ότι η ροή λαμβάνει χώρα κατά την έννοια των ελαττωμένων πιεζομετρικών φορτίων.

Η γραμμική σχέση που περιγράφει τη ροή των ρευστών σε πορώδη μέσα και δίνεται από την εξίσωση (4.1) είναι γνωστή σα *Νόμος του Darcy* και αποτελεί τη βάση ενός ιδιαίτερου κλάδου της Μηχανικής των ρευστών, γνωστού σα *Ροή Μέσα από Πορώδες Υλικό*. Ενδιαφέρον είναι να σημειωθεί η ομοιότητα μεταξύ του νόμου του Darcy και άλλων νόμων της Φυσικής, όπως ο νόμος του *Ohm* στον Ηλεκτρισμό και ο νόμος του *Fourier* στη Θερμοδυναμική.

Μια σειρά από απλά πειράματα οδηγούν σε μια γενίκευση του νόμου του Darcy για ομογενή και ισότροπα πορώδη μέσα, η οποία μπορεί να εκφραστεί από τη διανυσματική εξίσωση:

$$\vec{V} = -K \cdot \text{grad } h \quad (4.2)$$

όπου \vec{V} ο όγκος εκροής του νερού ανά μονάδα επιφάνειας ανά μονάδα χρόνου [$L^3 L^{-2} T^{-1}$] ή η ταχύτητα διαστάλαξης, K ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας, που έχει διαστάσεις ταχύτητας [LT^{-1}], h το πιεζομετρικό ή υδραυλικό ύψος ή φορτίο [L] και $\text{grad } h$ η κλίση του πιεζομετρικού ύψους.

Από τη διανυσματική εξίσωση (4.2) και για ανισότροπο πορώδες μέσο μπορούμε να γράψουμε τις τρεις συνιστώσες ταχύτητες του νόμου του Darcy για οποιοδήποτε σύστημα συντεταγμένων. Έτσι για τις καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y, z) έχουμε:

$$V_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x}, \quad V_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y}, \quad V_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \quad (4.3\alpha, \beta, \gamma)$$

όπου K_x, K_y, K_z οι συντελεστές υδραυλικής αγωγιμότητας στις x, y, z διευθύνσεις. Επίσης για τις κυλινδρικές συντεταγμένες (r, φ, z) έχουμε:

$$V_r = -K_r \frac{\partial h}{\partial r}, \quad V_\varphi = -K_\varphi \frac{\partial h}{r \partial \varphi}, \quad V_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \quad (4.4\alpha, \beta, \gamma)$$

όπου K_r, K_φ, K_z οι συντελεστές υδραυλικής αγωγιμότητας στις r, φ, z διευθύνσεις.

Πολυάριθμα πειράματα, διαφόρων ερευνητών, έδειξαν ότι ο νόμος του Darcy έχει ορισμένα όρια εφαρμογής.

Ας ορίσουμε πρώτα έναν αριθμό *Reynolds* για τη ροή των ρευστών μέσα σε πορώδες υλικό:

$$R_e = \frac{Vd}{\nu} \quad (4.5)$$

όπου V είναι η ταχύτητα διαστάλαξης, d = μια χαρακτηριστική μέση διάμετρος των κόκκων του πορώδους υλικού και ν = το κινηματικό ιξώδες του ρευστού.

Από τα πειράματα προκύπτει ότι ο νόμος του Darcy ισχύει για $R_e < 3$ ως 10. Για $R_e > 10$ δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ παροχής και κλίσης υδραυλικού φορτίου και η απόκλιση αυτή από τον νόμο του Darcy αποδόθηκε αρχικά στην τυρβώδη δίαιτα της ροής. Νεότερες παρατηρήσεις έδειξαν ότι η τυρβώδης δίαιτα της ροής μέσα σε πορώδες υλικό αρχίζει για $R_e > 400$ ως 600 και κατά συνέπεια οι πρώτες αποκλίσεις από το νόμο του Darcy δεν οφείλονται στην τυρβώδη δίαιτα, αλλά στις δυνάμεις αδράνειας, που είναι σημαντικές για $R_e > 3$.

Για τη μεταβατική ζώνη ($10 < R_e < 600$) όπου η ροή είναι ταχύτερη ή οι κόκκοι του πορώδους υλικού αρκετά μεγάλοι, βρέθηκε από πειράματα ότι η σχέση μεταξύ της ταχύτητας V και της υδραυλικής κλίσης $\text{grad } h$ δεν είναι γραμμική. Οι πιο γνωστές μη γραμμικές σχέσεις είναι της μορφής:

$$\text{grad } h = A\vec{V} + B\vec{V}^2 \quad (4.6)$$

ή

$$\vec{V} = C \text{ grad } h^n \quad (4.7)$$

όπου A, B, C και n είναι σταθερές πειραματικά προσδιοριζόμενες.

Για πολύ μικρές ταχύτητες ο όρος $B\bar{V}^2$ είναι αμελητέος και η εξίσωση (4.6) ανάγεται στο νόμο του *Darcy*, που δίνεται από την εξίσωση (4.2).

Αν και δεν έχει προσδιορισθεί επακριβώς εν τούτοις πρέπει να υπάρχει και ένα κατώτερο όριο ισχύος του νόμου του *Darcy* για πάρα πολύ βραδεία ροή, όταν οι μοριακές δυνάμεις είναι σημαντικές.

Στην πράξη είμαστε επιφυλακτικοί ως προς την ισχύ του νόμου του *Darcy* σε υδροφόρα στρώματα από χαλίκια, σχιστογενή και καρστικά πετρώματα κλπ, λόγω ύπαρξης μεγάλων αγωγών πορώδους, καθώς και σε κανονικά υδροφόρα στρώματα στις περιοχές κοντά στα τοιχώματα των φρεατίων ή των στραγγιστικών τάφρων, όπου οι ταχύτητες είναι σχετικά μεγάλες λόγω της μεγάλης κλίσης του υδραυλικού φορτίου.

Όσον αφορά τη μεταβολή της ροής με το χρόνο, παραδεχόμαστε ότι ο νόμος του *Darcy* ισχύει για την ασταθή ή μη μόνιμη ροή, όπως και για τη μόνιμη ροή, με μόνο περιορισμό ότι η ροή πρέπει να είναι βραδεία, δηλαδή οι δυνάμεις αδράνειας να μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες σε σύγκριση με τις δυνάμεις τριβής. Η παραδοχή αυτή έχει επαληθευθεί πειραματικά και θεωρητικά.

Στην περίπτωση μη κορεσμένης ροής ο νόμος του *Darcy* ισχύει με τις παραπάνω μορφές, αλλά η υδραυλική αγωγιμότητα K δεν είναι σταθερή, αλλά μονοτονική συνάρτηση της περιεχόμενης υγρασίας ή του φορτίου πίεσης του εδαφικού νερού και για διάκριση ονομάζεται ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα.

4.3 Υδραυλική αγωγιμότητα

Για τα απλά πειράματα του *Darcy*, ο συντελεστής της υδραυλικής αγωγιμότητας K , της εξίσωσης (4.1) ή (4.3) είναι μια σταθερή αναλογίας, της οποίας η τιμή παραμένει αμετάβλητη για το ίδιο δείγμα πορώδους υλικού και εφ' όσον το ρευστό παραμένει αμετάβλητο, όπως για παράδειγμα το νερό σταθερής θερμοκρασίας, χωρίς φυσικοχημικές αλλοιώσεις.

Αν όμως μεταβάλλουμε τις ιδιότητες του ρευστού, όπως το ειδικό βάρος το ιξώδες αυτού, ή τις γεωμετρικές ιδιότητες του πορώδους υλικού, ο νόμος του *Darcy* εξακολουθεί να ισχύει με τη μορφή της εξίσωσης (4.3), όμως οι τιμές του K θα μεταβληθούν. Πράγματι αν στα πειράματα μεταβληθεί κατά σειρά ένας μόνο από τους παραπάνω παράγοντες και συγκριθεί η τιμή του K προς αυτόν, θα παρατηρήσουμε ότι η τιμή του K είναι: α) ανάλογη προς την τιμή του ειδικού βάρους γ του ρευστού, β) αντιστρόφως ανάλογη προς την τιμή του ιξώδους μ και γ) ανάλογη προς το τετράγωνο της μέσης διαμέτρου d των κόκκων του πορώδους υλικού. Εξυπακούεται ότι πρέπει να περιμένουμε και κάποια μεταβολή του K , που οφείλεται στο σχήμα των κόκκων, τον τρόπο διάστρωσης τους κλπ.

Τα παραπάνω πειραματικά δεδομένα μπορούν να εκφρασθούν με τη σχέση:

$$K = Cd^2 \frac{\gamma}{\mu} \quad (4.8)$$

όπου C καλείται *παράγοντας σχήματος*, είναι αδιάστατος και περιλαμβάνει τις επιδράσεις του σχήματος, της διάστρωσης και συσκευασίας των κόκκων, τις αποκλίσεις του μεγέθους αυτών από τη μέση διάμετρο, καθώς και τις επιδράσεις του πορώδους.

Ορίζοντας την απόλυτη η γεωμετρική διαπερατότητα του μέσου, k , που έχει διαστάσεις επιφάνειας L^2 , με τη σχέση:

$$k = C \cdot d^2 \quad (4.9)$$

και αντικαθιστώντας αυτήν στην εξίσωση (4.8), παίρνουμε:

$$K = k \frac{\gamma}{\mu} = k \frac{g}{\nu} \quad (4.10)$$

όπου g = η επιτάχυνση της βαρύτητας και ν = το κινηματικό ιξώδες.

Στα φυσικά εδάφη ο συντελεστής της υδραυλικής αγωγιμότητας επηρεάζεται επιπλέον και από άλλους παράγοντες, όπως είναι η ανισοτροπία και ανομοιογένεια αυτών, οι διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές, οι βιολογικές δραστηριότητες των μικροοργανισμών κλπ, οι οποίες δυστυχώς δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στη μαθηματική διατύπωση των παραπάνω εξισώσεων. Οπωσδήποτε όμως οι τιμές του K , οι οποίες λαμβάνονται από τις μετρήσεις στον αγρό περιλαμβάνουν και τις επιδράσεις των παραπάνω παραγόντων.

Ο συντελεστής της υδραυλικής αγωγιμότητας, K μετριέται με τις συνηθισμένες μονάδες μέτρησης της ταχύτητας όπως cm/sec, m/sec, m/ώρα ή και m/24ωρο.

4.4 Προσδιορισμός της Υδραυλικής αγωγιμότητας κορεσμένων εδαφών (K_s) στο Εργαστήριο

4.4.1 Εισαγωγή

Ο προσδιορισμός της Υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό K_s γίνεται με τη χρησιμοποίηση του νόμου του Darcy. Ο νόμος του Darcy για την κατακόρυφη διεύθυνση ροής γράφεται :

$$u = -K \cdot \frac{dh}{dz} \quad (4.11)$$

όπου u είναι η ταχύτητα ροής, K η υδραυλική αγωγιμότητα του πορώδους σώματος και $\frac{dh}{dz}$ η κλίση του υδραυλικού φορτίου h . Το αρνητικό σημείο υποδηλώνει το γεγονός ότι η κατεύθυνση της ταχύτητας ροής είναι αντίθετη προς την κατεύθυνση που αυξάνει το h .

Από την εξίσωση (4.11) φαίνεται ότι η υδραυλική αγωγιμότητα είναι ο αρνητικός λόγος της ταχύτητας ροής προς την υδραυλική κλίση, δηλαδή :

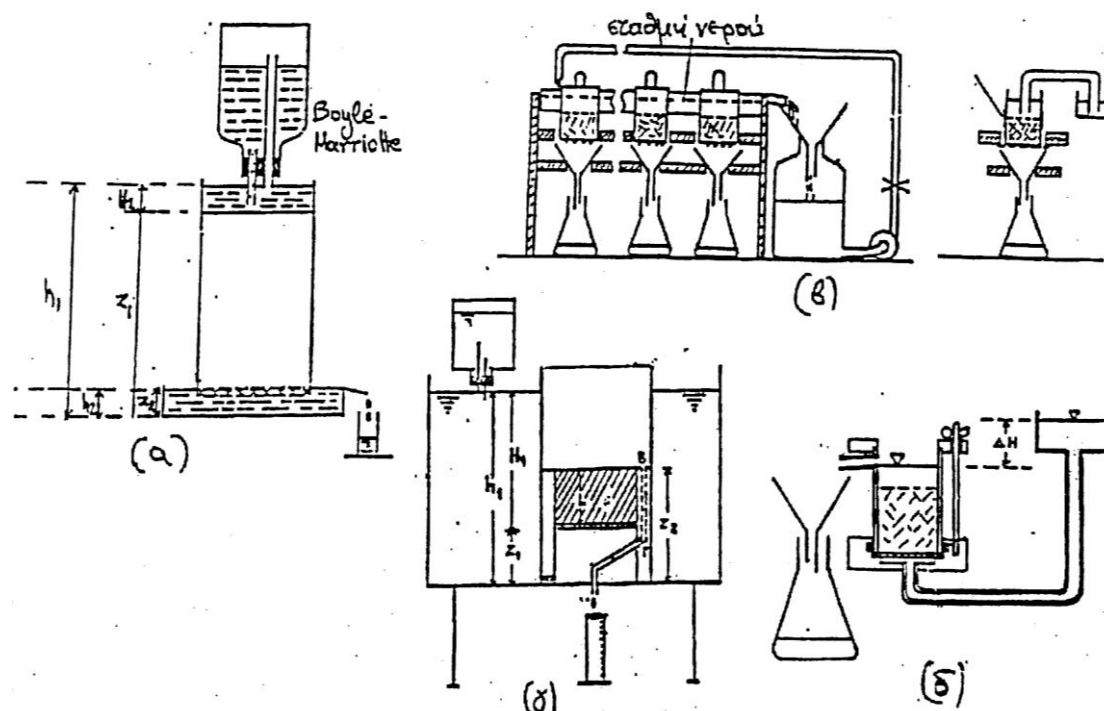
$$K = -\frac{u}{\frac{dh}{dz}} \quad (4.12)$$

Επομένως, για να προσδιορίσουμε την υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμένων εδαφών στο Εργαστήριο πρέπει να βρούμε έναν τρόπο :

- α) να μετρήσουμε το μέγεθος της ταχύτητας u και
- β) να μετρήσουμε το μέγεθος της κλίσης του υδραυλικού φορτίου.

4.4.2 Μέθοδος του περατόμετρου σταθερού φορτίου

Η μέθοδος βασίζεται στην απ' ευθείας εφαρμογή της εξίσωσης του Darcy σε μια κορεσμένη στήλη ομοιόμορφου εδάφους. Εφαρμόζουμε μια διαφορά υδραυλικού φορτίου στη στήλη και μετράμε το αποτέλεσμα της ροής. Τα σχήματα 4.2.α, 4.2.β, 4.2.γ και 4.2.δ δείχνουν συσκευές που χρησιμοποιούνται στο Εργαστήριο για τη μέθοδο αυτή.



Σχήμα 4.2 Υπολογισμός της κλίσης του υδραυλικού φορτίου $\frac{dh}{dz}$.

Παρατηρούμε ότι όλες οι συσκευές αποτελούνται από τα παρακάτω :

- α) την κορεσμένη στήλη με το πορώδες υλικό (δείγμα) του οποίου θα προσδιοριστεί η αγωγιμότητα στον κορεσμό (K_s). Η συγκράτηση του δείγματος στις διατάξεις του σχήματος 4.2.α και 4.2.β μπορεί να γίνει με ένα ύφασμα και ένα λάστιχο, σε πολύ λεπτότερα εδάφη μπορεί να χρησιμοποιηθεί λεπτότερο ύφασμα και σήτα. Η αγωγιμότητα του υφάσματος και της σήτας πρέπει να είναι πάρα πολύ μεγάλη έτσι ώστε οι απώλειες του φορτίου να είναι μηδενικές.
- β) την παροχή του νερού με μια συσκευή Boyle-Marriott για διατήρηση σταθερής της στάθμης του νερού στην είσοδο.
- γ) σύστημα διατήρησης σταθερής της στάθμης του νερού στην έξοδο και
- δ) δυνατότητα μέτρησης της παροχής του νερού στην έξοδο του από τη στήλη (ογκομετρικό σωλήνα και χρονόμετρο).

4.4.2.1 Πειραματική Διαδικασία

Τοποθετείται το κάτω άκρο του δείγματος που το καλύφθηκε με ύφασμα σε μια αβαθή λεκάνη με νερό. Το ύψος του νερού στη λεκάνη διατηρείται λίγο πιο κάτω από την ανώτερη επιφάνεια του δείγματος.

Αφήνεται το δείγμα στη λεκάνη να κορεστεί τουλάχιστον 12 ώρες.

Τοποθετείται στην πάνω επιφάνεια του δείγματος μια σήτα και προστίθεται λίγο νερό.

Μεταφέρεται το δείγμα σε μια αβαθή λεκάνη με νερό (σχήμα 4.2.α ή στη διάταξη του σχήματος 4.2.β).

Η στάθμη του νερού στη λεκάνη διατηρείται σταθερή και υπάρχει η δυνατότητα να μετρηθεί ο όγκος του νερού που διέρχεται δια μέσου της στήλης.

Προσαρμόζεται η συσκευή Marriotte στο πάνω άκρο του δείγματος έτσι ώστε να διατηρείται εκεί μια σταθερή στάθμη νερού μικρού ύψους.

Μόλις σταθεροποιηθεί η στάθμη του νερού τοποθετείται ένας ογκομετρικός κύλινδρος στην εκροή και μετρίεται ο όγκος του νερού V , ο οποίος διήλθε δια μέσου του δείγματος σε χρόνο t , καθώς και τη διαφορά του υδραυλικού φορτίου ($h_1 - h_2$).

4.4.2.2 Υπολογισμός της ταχύτητας ροής u

Έστω σε χρόνο t , ότι συγκεντρώνεται όγκος νερού V_t . Τότε η παροχή Q είναι :

$$Q = \frac{V_t}{t} \quad (4.13)$$

Επίσης η παροχή είναι :

$$Q = u \cdot A \quad (4.14)$$

όπου A , η επιφάνεια διατομής του δείγματος.

Από την (4.13) και την (4.14) έχουμε :

$$\frac{V_t}{t} = u \cdot A$$

και

$$u = \frac{V_t}{A \cdot t} \quad (4.15)$$

4.4.2.3 Υπολογισμός της κλίσης του υδραυλικού φορτίου dh/dz

Υπολογίζουμε τα υδραυλικά φορτία h_1 και h_2 στα δυο άκρα της στήλης του πορώδους υλικού. Το h_2 συνήθως αναφέρεται στο άκρο της στήλης που είναι η έξοδος του νερού και το h_1 στο άλλο άκρο της στήλης.

Η κλίση του υδραυλικού φορτίου είναι :

$$\frac{dh}{dz} = \frac{h_1 - h_2}{z_1 - z_2} \quad (4.16)$$

$$h_1 = H_1 + z_1 \quad h_2 = H_2 + z_2 \quad z_1 - z_2 = \ell$$

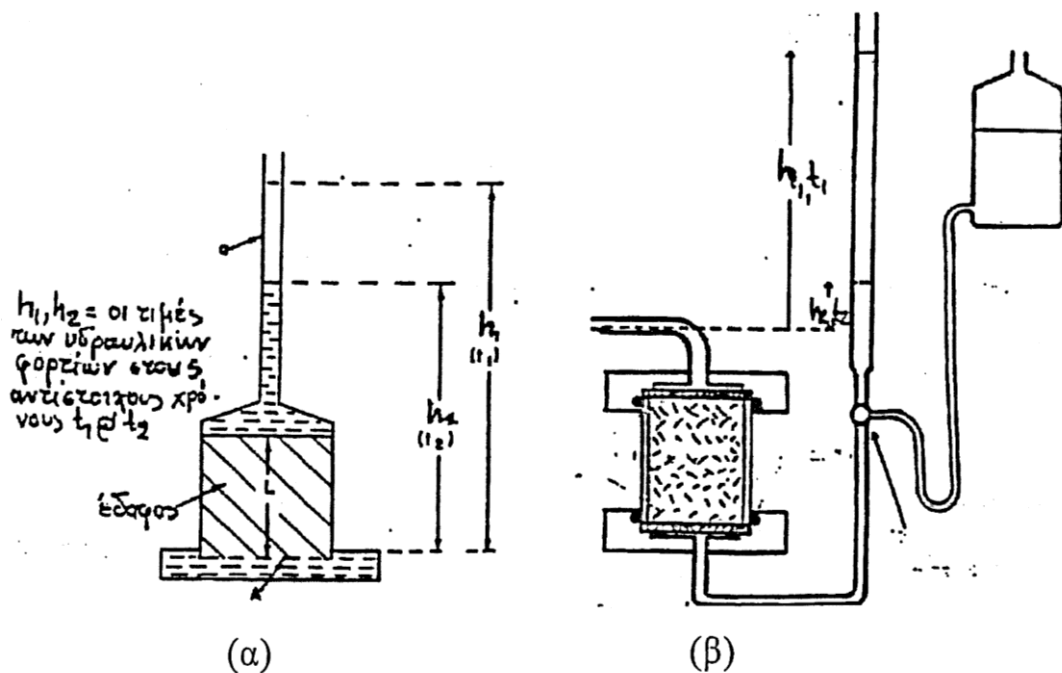
H και z είναι αντίστοιχα το φορτίο πίεσης και το φορτίο βαρύτητας στη μονάδα του βάρους, ℓ το μήκος της στήλης.

Άρα :

$$\frac{dh}{dz} = \frac{H_1 + z_1 - H_2 - z_2}{z_1 - z_2} = \frac{dH + (z_1 - z_2)}{z_1 - z_2} \Rightarrow \frac{dh}{dz} = \frac{dH}{\ell} + 1$$

4.4.3 Μέθοδος του περατόμετρου μεταβλητού φορτίου

Στις περιπτώσεις όπου η υδραυλική αγωγιμότητα του δείγματος είναι πάρα πολύ μικρή η παρατηρούμενη ταχύτητα ροής είναι πάρα πολύ μικρή στις μικρές κλίσεις του υδραυλικού φορτίου με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διάρκεια του πειράματος. Οπότε υπεισέρχονται σφάλματα στη μέτρηση, κυρίως λόγω απωλειών εξάτμισης.



Σχήμα 4.3 Περατόμετρο μεταβλητού φορτίου.

Στο σχήμα 4.3 φαίνονται οι διατάξεις, που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας στον κορεσμό με τη μέθοδο αυτή. Με διαφορά υδραυλικού φορτίου h (σχήμα 4.3.α) κατά μήκος του δείγματος ο όγκος dV , που περνά δια μέσου του δείγματος σε χρόνο dt δίνεται από την εξίσωση:

$$\frac{dV}{dt} = -K \cdot A \cdot \left(\frac{h}{\ell} \right)$$

ο διαφορικός όγκος dV μπορεί να αντικατασταθεί από το $a \cdot dh$ όπου a η επιφάνεια διατομής του στενού σωλήνα.

Ολοκληρώνοντας μεταξύ των ορίων t_1 , h_1 και t_2 , h_2 και λύνοντας ως προς K έχουμε:

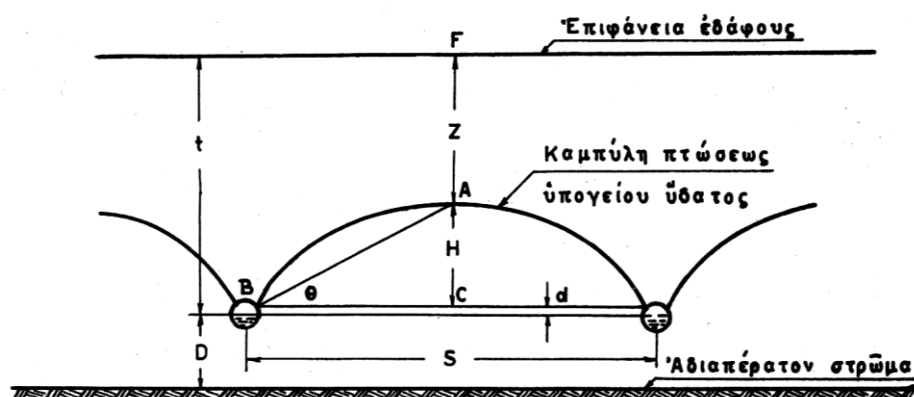
$$K = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \cdot \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

όπου A , η επιφάνεια διατομής του δείγματος.

5. Βάθος Αγωγών Στραγγίσεων (Χαλκιάς, 1972)

5.1 Γενικά

Οι αγωγοί στραγγίσεως συμβάλουν στην απομάκρυνση του υπόγειου ύδατος και στον υποβιβασμό της στάθμης αυτού στο επιθυμητό βάθος. Οι αγωγοί αυτοί συντελούν ώστε η υπόγεια στάθμη να μη σχηματίζει οριζόντια επιφάνεια αλλά να έχει σχήμα κυρτής επιφάνειας της οποίας η κάθετη τομή προς τον άξονα των αγωγών παρουσιάζει σχήμα ελλείψεως ή παραβολής και καλείται “καμπύλη πτώσεως” του υπόγειου νερού, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1 Εμφάνιση της “καμπύλης πτώσεως του υπόγειου νερού” κατά την στράγγιση.

Το υψηλότερο σημείο A της καμπύλης αυτής βρίσκεται πιο πάνω από το επίπεδο των αγωγών και σε ύψος H , του οποίου η τιμή είναι:

$$H = \frac{S}{2} \varepsilon \varphi \cdot \theta$$

όπου S = απόσταση μεταξύ αγωγών στραγγίσεως.

Όταν το υπόγειο νερό στραγγισθεί και δεν αναπληρωθεί είναι δυνατόν η τιμή του H να μηδενιστεί, οπότε η “καμπύλη πτώσεως” γίνεται ευθεία γραμμή. Παρόλα αυτά το υπόγειο νερό αναπληρώνεται μέσω των βροχών ή άλλες υπόγειες εισροές με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε η καμπύλη πτώσεων να ανυψώνεται προτού γίνει ευθεία.

Πίνακας 5.1

Τιμές $\varepsilon\varphi\theta$ ανάλογα με τη μηχανική σύσταση του εδάφους (A.A. Tcherkassov, 1950).

Μηχανική σύσταση εδάφους	$\varepsilon\varphi\theta$	Μηχανική σύσταση εδάφους	$\varepsilon\varphi\theta$
Άμμος	0,005-0,025	Πηλός	0,05-0,1
Πηλώδης άμμος	0,02-0,05	Άργιλος	0,06-0,12
Αμμώδης πηλός	0,03-0,07	Τύρφη	0,03-0,10

Σαν αρχική θέση της καμπύλης πτώσεως λαμβάνεται τέτοια ώστε η εφαπτόμενη της γωνίας θ να έχει για τα διάφορα εδάφη τις τιμές του πίνακα 5.1.

Το χαμηλότερο σημείο της “καμπύλης πτώσεως” του υπόγειου νερού, B, βρίσκεται πάνω από τη στάθμη του νερού μέσα στον αγωγό κατά d , και η οποία είναι η απαραίτητη διαφορά πίεσης για την έξοδο του εδαφικού αέρα ψηλότερα από τη στάθμη του ρέοντος νερού μέσα στον αγωγό.

Η τιμή του d είναι για τα μεν ελαφρά εδάφη ίση με 3 - 4 cm, ενώ για τα βαριά εδάφη ίση με 10 - 12 cm.

Για τον καθορισμό του βάθους, t , της στάθμης του νερού μέσα στους αγωγούς από την επιφάνεια του εδάφους πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι το έδαφος συμπυκνώνεται μετά την στράγγιση, οπότε παρατηρείται καθίζηση εδάφους, Δ , η οποία μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$\Delta = \beta \cdot t$$

όπου η τιμή του β για τα διάφορα εδάφη παίρνει τις ακόλουθες τιμές :

για τυρβώδη εδάφη : $\beta = 0,2 - 0,25$

για αργιλώδη εδάφη : $\beta = 0,1 - 0,15$

για πηλώδη εδάφη : $\beta = 0,05 - 0,1$

για αμμώδη εδάφη : $\beta < 0,05$

Από τα δεδομένα του σχήματος 5.1, βρίσκουμε ότι:

$$t - \Delta = t - t \cdot \beta = Z + H + d$$

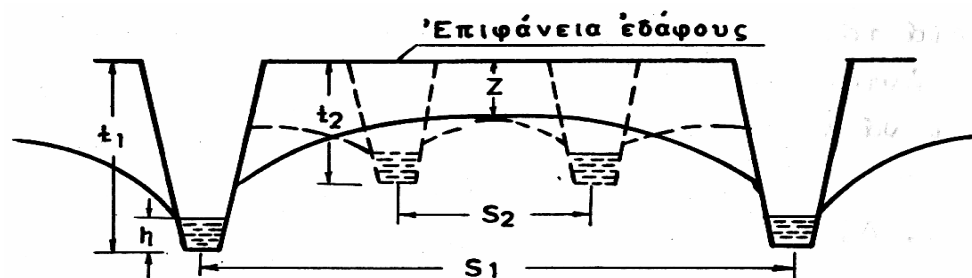
ή

$$t(1 - \beta) = Z + \frac{S}{2} \varepsilon \varphi \cdot \theta + d$$

γι' αυτό

$$t = \frac{Z + 0,5S \cdot \varepsilon \varphi \cdot \theta + d}{1 - \beta}$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι μεταξύ του βάθους t και της απόστασης S , υπάρχει γραμμική σχέση από την οποία βγαίνει το συμπέρασμα ότι η πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού είναι δυνατό να επιτευχθεί είτε με την αύξηση του βάθους t είτε με την ελάττωση της απόστασης S . Αυτό άλλωστε αποδεικνύεται και στο σχήμα 5.2, όπου επιτυγχάνεται αυτή η πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού για δύο διαφορετικούς συνδυασμούς t και S .



Σχήμα 5.2 Εμφάνιση αυτής της πτώσης της στάθμης του υπόγειου νερού η οποία επιτυγχάνεται με δύο διαφορετικούς συνδυασμούς βάθους και ισαποχής.

Για την επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ότι:

1) Η ταχύτητα της απαιτούμενης πτώσης της στάθμης του υπόγειου νερού έχει πολύ ιδιαίτερη σημασία για την απόδοση των διαφόρων καλλιεργειών. Δηλαδή, κατά την άνοιξη, όσο πιο γρήγορα επιτευχθεί το απαιτούμενο βάθος στραγγίσεως, τόσο νωρίτερα γίνεται να αρχίσει η σπορά. Αντίθετα, μια αργή απομάκρυνση των όμβριων υδάτων ή αργή πτώση τυχόν υψηλής στάθμης του υπόγειου νερού περιορίζει την κανονική ανάπτυξη του ριζοστρώματος των φυτών και μειώνει την απόδοση αυτών.

2) Η ταχύτητα υποβιβασμού της στάθμης του υπόγειου νερού είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ των αγωγών στραγγίσεων. Σε περιπτώσεις πολύ μικρών αποστάσεων το υπόγειο νερό απορρέει προς τους αγωγούς με μεγάλη ταχύτητα και έτσι εξαντλείται η ποσότητα νερού, η οποία είναι αναγκαία για την σπορά των διάφορων φυτών. Η απόδοση επομένως των καλλιεργειών ελαττώνεται τόσο στην περίπτωση πολύ μεγάλων αποστάσεων μεταξύ των αγωγών όσο και στην περίπτωση πολύ μικρών αποστάσεων.

Στο σχήμα 5.2 γίνεται αντιληπτό ότι όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές των t και S , τόσο ανομοιόμορφη γίνεται η στράγγιση.

Γενικά λέγεται ότι τα βάθη των αγωγών στραγγίσεων για υγρές περιοχές κυμαίνονται πρακτικώς μεταξύ 0,70 m και 1,50 m, πιο συνηθέστερα όμως μεταξύ 0,90 m και 1,20 m.

Παρόλο που για τον προσδιορισμό της ισαποχής των αγωγών στραγγίσεων αναπτύχθηκαν πολλοί τύποι, εντούτοις για τον υπολογισμό του βάθους των αγωγών στραγγίσεων έχουν αναπτυχθεί ελάχιστοι τύποι, με πιο γνωστό, τον τύπο του Neal.

Ο Neal ύστερα από στατιστική ανάλυση των δεδομένων του αγρού στην Minnesota στις Η.Π.Α., ανέπτυξε τον ακόλουθο εμπειρικό τύπο για τον προσδιορισμό του βάθους των αγωγών στραγγίσεων για επίπεδες επιφάνειες υγρών περιοχών:

$$B = \frac{5,337}{\sqrt{I\sigma}}$$

όπου,

B = βάθος σωληνωτών αγωγών στραγγίσεων, σε m.

I = μέσο ισοδύναμο υγρασίας επί τοις εκατό ξηρού βάρους εδάφους.

6. Ισαποχή Αγωγών Στραγγίσεων

Ο προσδιορισμός του βάθους και της ισαποχής των αγωγών στραγγίσεως αποτελεί ένα από τα πλέον δυσχερή προβλήματα για μια πλήρη μελέτη των δικτύων στραγγίσεως.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναπτύχθηκαν οι απόψεις πάνω στο απαιτούμενο βάθος στραγγίσεως, οι οποίες βασίζονται κατά κύριο λόγο στην εμπειρία. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθούν όσο το δυνατόν πιο εκτενέστερα οι απόψεις της ενδεδειγμένης ισαποχής των στραγγιστικών αγωγών, οι οποίες βασίζονται κυρίως στη μαθηματική ανάλυση και στη μελέτη της κίνησης του υπόγειου νερού διαμέσου του εδάφους προς τους αγωγούς στραγγίσεως.

Σε οποιοδήποτε στραγγιστικό σύστημα η ανάγκη προσδιορισμού της απαιτούμενης μεταξύ των αγωγών ισαποχής είναι κατ' εξοχήν σημαντική. Για το λόγο αυτό άλλωστε αναπτύχθηκαν κατά καιρούς διάφοροι τύποι μέσα από τους οποίους επιδιώκεται ο προσδιορισμός της πλέον ενδεδειγμένης ισαποχής κάτω από ορισμένες εδαφολογικές και υδρολογικές συνθήκες.

Οι περισσότεροι από τους τύπους αυτούς βασίζονται στην παραδοχή ότι οι συνθήκες ροής είναι σταθερές, λαμβάνοντας υπόψη ότι η βροχή ή η άρδευση είναι συνεχής και σταθερή, ότι αυτή παροχετεύεται στους αγωγούς στραγγίσεως με συνεχή και σταθερό τρόπο και ότι επομένως η στάθμη του υπόγειου ύδατος παραμένει σταθερή και αμετάβλητη μέσα στο χρόνο ή αλλιώς ότι υφίσταται μια κατάσταση ισορροπίας μεταξύ του εφαρμοζόμενου και του απομακρυνόμενου ύδατος από τους αγωγούς στραγγίσεως.

Εντούτοις, στην πράξη οι συνθήκες αυτές σπανίως παρατηρούνται, καθότι στις περισσότερες των περιπτώσεων συναντούνται συνθήκες ασταθούς ροής, όπου η στάθμη του υπόγειου ύδατος δε παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο. Τέτοιες συνθήκες ασταθούς ροής παρουσιάζονται πάντοτε στις αρδευόμενες εκτάσεις ή στις περιοχές με βροχές μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης, όπου όχι μόνο δεν υφίσταται ισορροπία, αλλά αντιθέτως παρουσιάζεται μέγιστη διαφορά ως προς την ένταση και τη διάρκεια μεταξύ του εφαρμοζόμενου ύδατος από την άρδευση ή τη βροχή και του παροχετευμένου ύδατος στους αγωγούς στραγγίσεως. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ισαποχή των αγωγών στραγγίσεων θα πρέπει να υπολογίζεται με τη βοήθεια τύπων, οι οποίοι βασίζονται σε συνθήκες ασταθούς ροής.

Από τα παραπάνω προκύπτει η ανάγκη να διακρίνουμε τους τύπους υπολογισμού της ισαποχής των αγωγών στραγγίσεων σε δύο κατηγορίες, σε αυτούς (α) της σταθερής ή μόνιμης ροής και σε αυτούς (β) της ασταθούς ή μη μόνιμης ροής.

6.1 Σταθερή ροή σε ελεύθερα υδροφόρα στρώματα

6.1.1 Γενικότητες

Ένα υδροφόρο στρώμα ονομάζεται *ελεύθερο* ή *φρεατικό* ή *μη αρτεσιανό* όταν η υπόγεια στάθμη του νερού αποτελεί την πάνω επιφάνεια της ζώνης κορεσμού. Με την έννοια αυτή στις στραγγίσεις των εδαφών έχουμε να αντιμετωπίσουμε σχεδόν πάντοτε την κίνηση του νερού σε ελεύθερα υδροφόρα στρώματα. Σ' αυτή την περίπτωση η υπόγεια στάθμη, η οποία βρίσκεται κάτω από ατμοσφαιρική πίεση, ποικίλλει κατά τη θέση και την κλίση, εξαρτώμενη από τις περιοχές εισροής και εκροής, την

άντληση από φρεάτια, τη θέση και την αποχετευτική ικανότητα των στραγγιστικών αγωγών κλπ, καθώς και από τη διαπερατότητα του υδροφόρου στρώματος. Στην υπόγεια ροή υπάρχει μία αλληλοεπίδραση μεταξύ του σχήματος της υπόγειας στάθμης και της κατανομής της ροής. Συγκεκριμένα το σχήμα της υπόγειας στάθμης καθορίζει την κατανομή της ροής, αλλά συγχρόνως η κατανομή της ροής διέπει το σχήμα της υπόγειας στάθμης. Γενικά τα προβλήματα της κίνησης του υπόγειου νερού σε ελεύθερα υδροφόρα στρώματα είναι δύσκολα και οι λύσεις τους είναι κατά προσέγγιση ακριβείς.

Για να απλοποιήσουμε τη μαθηματική ανάλυση και να πετύχουμε τις κατά προσέγγιση λύσεις των προβλημάτων της κίνησης του υπόγειου νερού σε ελεύθερα υδροφόρα στρώματα, χρησιμοποιούμε δύο βασικές παραδοχές οι οποίες είναι γνωστές στη βιβλιογραφία σαν *παραδοχές* (D-F) των Dupuit και Forchheimer και είναι :

- α. Η κλίση του υδραυλικού φορτίου είναι ίση με την κλίση της υπόγειας στάθμης.
- β. Η ροή είναι οριζόντια και ομοιόμορφη σε όλα τα σημεία μιας κατακόρυφης διατομής.

Οι παραδοχές αυτές ισχύουν όταν η κλίση της υπόγειας στάθμης είναι μικρή, αλλά είναι εσφαλμένες κοντά σε στραγγιστικές τάφρους, στραγγιστικούς σωλήνες κλπ, όπου οι γραμμές ροής είναι αρκετά καμπύλες.

6.1.2 Στράγγιση με σειρά παράλληλων τάφρων

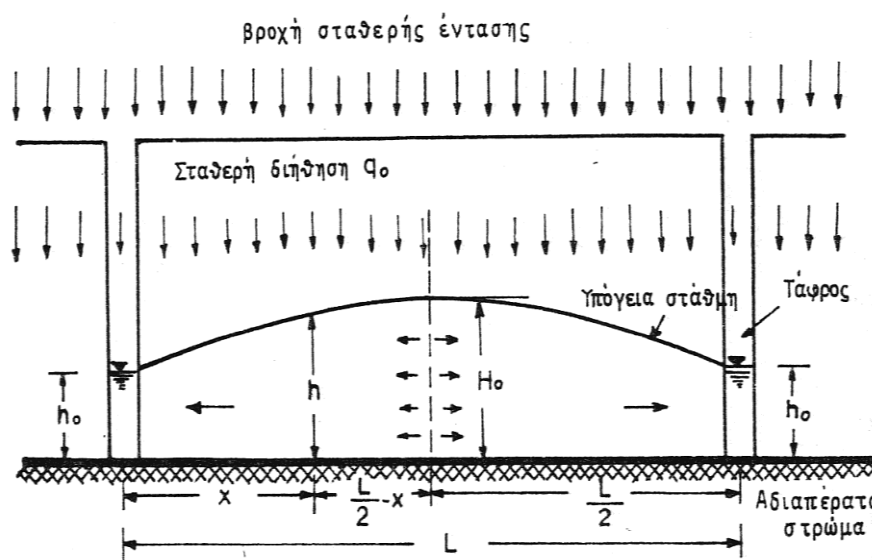
Οι συνθήκες της σταθερής ροής κατά τη στράγγιση των εδαφών με κλειστούς ή ανοικτούς αγωγούς συναντιούνται πολύ σπάνια στην πράξη, επειδή απαιτούν συνεχή και σταθερή παροχή από διήθηση του νερού της βροχής ή της άρδευσης και σταθερή αποχέτευση της παροχής αυτής με τους στραγγιστικούς αγωγούς. Πρακτικά σε κάθε τέτοια περίπτωση στράγγισης έχουμε συνθήκες ασταθούς ροής, που γίνονται αισθητές από την άνοδο ή κάθοδο της υπόγειας στάθμης. Γενικά η θέση της υπόγειας στάθμης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, από τους οποίους οι κυριότεροι είναι:

1. Η παροχή από διήθηση εξαιτίας βροχής ή άρδευσης.
2. Η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους.
3. Το βάθος και η ισαποχή των στραγγιστικών αγωγών.
4. Το βάθος του αδιαπέρατου υποστρώματος.
5. Η ανομοιογένεια και η ανισοτροπία του εδάφους.
6. Η εξάτμιση και η διαπνοή των φυτών.
7. Η βαθειά διήθηση.

Τόσο ο αριθμός και η φύση των παραπάνω παραγόντων, όσο και οι συνθήκες της ασταθούς ροής κάνουν τα προβλήματα των στραγγίσεων πολύπλοκα και είναι δύσκολη η μαθηματική ανάλυσή τους. Για να απλοποιήσουμε τη μαθηματική ανάλυση και να επιτύχουμε μια κατά προσέγγιση επίλυση των προβλημάτων στραγγίσεων,

με την εξαγωγή των διαφόρων τύπων, συνήθως παραλείπουμε ορισμένους από τους παραπάνω παράγοντες και παραδεχόμαστε συνθήκες σταθερής ροής.

Στο Σχήμα 6.1 φαίνεται ένα ελεύθερο υδροφόρο στρώμα, που κείται πάνω σε οριζόντιο αδιαπέρατο υπόστρωμα και διασχίζεται από σειρά παράλληλων τάφρων, των οποίων ο πυθμένας βρίσκεται πάνω στο αδιαπέρατο υπόστρωμα.



Σχήμα 6.1 Σταθερή στράγγιση με παράλληλες τάφρους.

Παραδεχόμαστε ότι:

1. Το έδαφος είναι ομογενές και ισότροπο με συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας K .
2. Η παροχή από διήθηση εξαιτίας βροχής ή άρδευσης είναι σταθερή και ομοιόμορφη και έχει τιμή ανά μονάδα επιφάνειας της οριζόντιας προβολής.
3. Η ισαποχή μεταξύ των τάφρων είναι L .
4. Η ροή είναι σταθερή και βραδεία, δηλαδή ισχύει ο νόμος του Darcy.
5. Η υπόγεια στάθμη δεν έχει μεγάλη καμπυλότητα, δηλαδή ισχύουν οι παραδοχές των D – F, και η θέση της μ' αυτές τις συνθήκες είναι σταθερή με μέγιστο βάθος H_0 και ελάχιστο βάθος h_0 , από το αδιαπέρατο υπόστρωμα.

Είναι φανερό ότι το κατακόρυφο επίπεδο, που διέρχεται από το μέσο της μεταξύ των τάφρων απόστασης είναι ένα διαχωριστικό επίπεδο του νερού. Το νερό που διηθείται δεξιά του επιπέδου αυτού ρέει προς τη δεξιά τάφρο, ενώ το διηθούμενο αριστερά του ρέει προς την αριστερή τάφρο. Ας θεωρήσουμε τώρα ένα κατακόρυφο επίπεδο σε απόσταση x από την αριστερή τάφρο, όπου το βάθος της υπόγεια στάθμης είναι h . Η ανά μονάδα πλάτους παροχή του υπόγειου νερού που διέρχεται από την επιφάνεια $h \cdot 1$ είναι:

$$Q_x = Kh \frac{dh}{dx} \quad (6.1)$$

Η παροχή αυτή είναι ίση με την παροχή, που διηθείται κατακόρυφα από την επιφάνεια $\left(\frac{L}{2} - x\right) \cdot 1$, δηλαδή έχουμε επίσης τη σχέση:

$$Q_x = q_o \left(\frac{L}{2} - x\right) \quad (6.2)$$

Από τις εξισώσεις (6.1) και (6.2) παίρνουμε:

$$Kh \frac{dh}{dx} = q_o \left(\frac{L}{2} - x\right)$$

ή

$$h \, dh = \frac{q_o L}{2K} dx - \frac{q_o}{K} x \, dx \quad (6.3)$$

Ολοκληρώνοντας την εξίσωση (6.3) για τις οριακές συνθήκες $x=0, h=h_o$ και x, h παίρνουμε:

$$\frac{h^2}{2} - \frac{h_o^2}{2} = \frac{q_o L}{K} x - \frac{q_o x^2}{2K} \quad (6.4)$$

Και αν βάλουμε $x = L/2$ και $h = H_o$, η εξίσωση (6.4) γίνεται:

$$\frac{H_o^2}{2} - \frac{h_o^2}{2} = \frac{q_o L^2}{8K} \quad (6.5)$$

ή

$$L^2 = \frac{4K}{q_o} (H_o^2 - h_o^2) \quad (6.6)$$

Η εξίσωση (6.6) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ισαποχής L μεταξύ των τάφρων όταν είναι γνωστά τα K, q_o, H_o και h_o (ή του H_o ή της υδραυλικής αγωγιμότητας K όταν τα υπόλοιπα είναι γνωστά).

Αφαιρώντας την εξίσωση (6.5) από την εξίσωση (6.6) και ανακατατάσσοντας τους όρους παίρνουμε:

$$h^2 + \frac{q_o}{K} \left(x^2 - Lx + \frac{L^2}{4} \right) = H_o^2$$

ή

$$\frac{h^2}{H_o^2} + \frac{\left(x - \frac{L}{2}\right)^2}{\frac{KH_o^2}{q_o}} = 1 \quad (6.7)$$

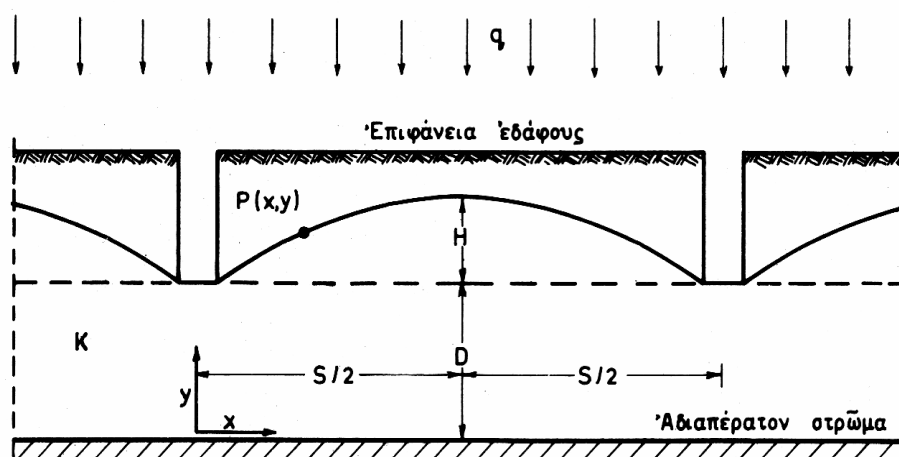
που είναι μια εξίσωση έλλειψης.

6.2 Ανάλυση του Hooghoudt

6.2.1 Ανάπτυξη του τύπου του Hooghoudt

Ο Hooghoudt (1940), κατά την ανάλυση του προβλήματος ροής του υπόγειου νερού προς τους αγωγούς στραγγίσεως που έγινε από τον ίδιο, θεώρησε τη στάθμη του υπόγειου ύδατος σε ισορροπία προς το νερό της βροχής ή της άρδευσης. Η ανάλυση του παραπάνω προβλήματος έχει ως εξής:

Έστω έδαφος ομοιόμορφο γνωστής υδατοπερατότητας, το οποίο στραγγίζεται



Σχήμα 6.2 Διάγραμμα που δείχνει τα σύμβολα του τύπου του Hooghoudt.

με παράλληλες τάφρους, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2. Για την απλοποίηση ολόκληρου του προβλήματος, γίνονται οι εξής παραδοχές:

- η βροχή ή η άρδευση είναι σταθερής έντασης q .
- η υδραυλική κλίση σε οποιοδήποτε σημείο είναι ίση με τη κλίση της στάθμης του υπόγειου νερού άνωθεν αυτού του σημείου, dy/dx . Η παραδοχή αυτή γνωστή ως παραδοχή των Dupuit - Forchheimer σημαίνει ότι η ροή του νερού μέσα στο έδαφος είναι οριζόντια.
- οι αγωγοί στραγγίσεως είναι κενοί.
- η απόσταση μεταξύ των αγωγών είναι ομοιόμορφη, S .
- το αδιαπέρατο στρώμα βρίσκεται σε ορισμένο βάθος, D , κάτω από τους αγωγούς στραγγίσεως.

Θεωρούμε τη ροή για ένα κάθετο επίπεδο από το σημείο P της στάθμης του υπόγειου στρώματος, προς το αδιαπέρατο στρώμα. Το εμβαδό της επιφάνειας του επιπέδου για πάχος εδάφους ίσο με τη μονάδα είναι ίσο με $(S/2 - x) \cdot 1$. Εάν q είναι η ποσότητα νερού εισερχομένου εντός της μονάδος επιφάνειας του εδάφους, τότε η ολική ποσότητα ροής, q_x , για το επίπεδο θα είναι:

$$q_x = \left(\frac{S}{2} - x \right) \cdot q \quad (6.8)$$

Εάν θεωρήσουμε ότι ισχύει ο γνωστός νόμος του Darcy, το q_x είναι δυνατό να δοθεί και από τη σχέση:

$$q_x = K \cdot y \cdot \frac{dy}{dx} \quad (6.9)$$

Επομένως,

$$\left(\frac{S}{2} - x\right) \cdot q = K \cdot y \cdot \frac{dy}{dx} \quad (6.10)$$

Με πολλαπλασιασμό όλων των μελών της εξίσωσης αυτής με dx έχουμε:

$$\left(\frac{S}{2} - x\right) \cdot q \cdot dx = K \cdot y \cdot dy$$

ή

$$\frac{q \cdot S}{2} \cdot dx - q \cdot x \cdot dx = K \cdot y \cdot dy \quad (6.11)$$

Με ολοκλήρωση και με όρια για $x \left(0, \frac{S}{2}\right)$ και $y \left(D, D+H\right)$, παίρνουμε:

$$\int_0^{S/2} \frac{q \cdot S}{2} \cdot dx - \int_0^{S/2} q \cdot x \cdot dx = \int_D^{D+H} K \cdot y \cdot dy \quad (6.12)$$

Άρα,

$$\begin{aligned} \left[\frac{q \cdot S}{2} \cdot x\right]_0^{S/2} - \left[\frac{q \cdot x^2}{2}\right]_0^{S/2} &= \left[\frac{K \cdot y^2}{2}\right]_D^{D+H} \\ \frac{-q \cdot S^2}{8} &= \frac{-K H^2 + 2DH}{2} \\ S^2 &= \frac{4K H^2 + 8KDH}{q} \end{aligned}$$

ή

$$S^2 = \frac{4KH^2}{q} + \frac{8KDH}{q} \quad (6.13)$$

Έτσι καταλήγουμε στην εξίσωση του Hooghoudt για τον υπολογισμό της ισαποχής τόσο των ανοικτών τάφρων, όσο και των υπόγειων σωλήνων στραγγίσεως για εδάφη που αποτελούνται από ένα ομοιόμορφο στρώμα.

Εάν το έδαφος αποτελείται από δύο στρώματα και αν K_1 η υδατοπερατότητα του στρώματος πάνω από το πυθμένα της τάφρου και K_2 η υδατοπερατότητα κάτω από αυτόν, η εξίσωση (6.13) γίνεται:

$$S^2 = \frac{4K_1H^2}{q} + \frac{8K_2DH}{q} \quad (6.14)$$

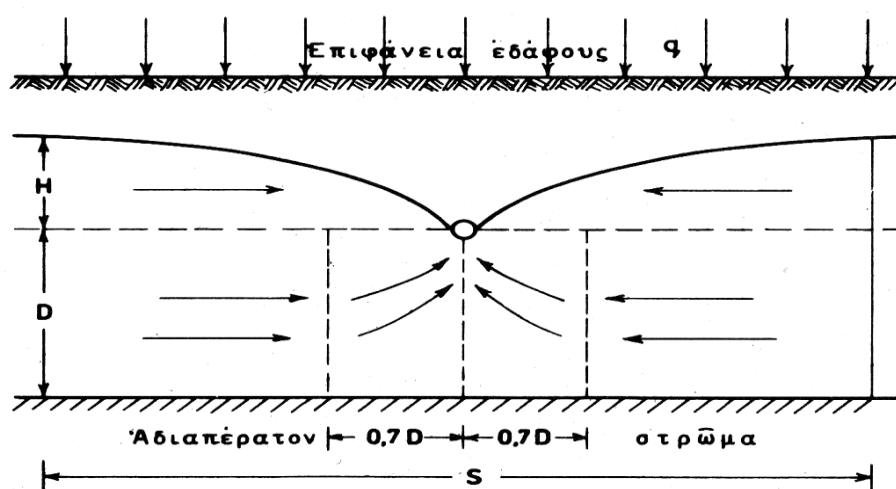
6.2.2 Ανάλυση στοιχείων του τύπου του Hooghoudt

α) Η έννοια του ισοδύναμου βάθους

Όπως ήδη αναφέραμε, ο Hooghoudt για την απλοποίηση του προβλήματος της ροής του υπόγειου νερού προς τους αγωγούς στραγγίσεως, παραδέχτηκε ότι η ροή του νερού εντός του εδάφους είναι οριζόντια. Στην πραγματικότητα όμως η παραδοχή αυτή είναι εσφαλμένη, κυρίως κοντά στους αγωγούς στραγγίσεως, όπου η ροή είναι ακτινωτή. Εξαιτίας αυτού ο Hooghoudt έκανε ιδιαίτερη ανάλυση για τη ροή του νερού κάτω από τους αγωγούς στραγγίσεως. Για μια κατεξοχήν εμπειριστατωμένη μελέτη κατέληξε στην γενική αρχή ότι η ροή του υπόγειου νερού προς τους αγωγούς στραγγίσεως είναι δυνατόν να αναλυθεί με οριζόντια ροή καθώς και με ακτινωτή και

ότι η μεν οριζόντια ροή εκτείνεται μέχρι απόστασης $0,7D$ από τους αγωγούς, η δε ακτινωτή από το σημείο που λήγει η οριζόντια ροή μέχρι τους αγωγούς στραγγίσεως. Από αυτά προκύπτει ότι προφανώς ότι το πλάτος της ζώνης εντός της οποίας λαμβάνει χώρα η οριζόντια ροή είναι ίσο με $S - 1,4D$ όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3.

Στη συνέχεια ο Hooghoudt καθορίζει ότι το άθροισμα της οριζόντιας αντιστάσεως Rh της ροής του νερού προς τους αγωγούς στραγγίσεως και της ακτινωτής αντιστάσεως Rr είναι δυνατόν να ληφθεί ίσο με την οριζόντια αντίσταση, εφόσον η τελευταία υπολογίζει εξ' ολοκλήρου την ισαποχή S , αλλά μέσα σε ένα στρώμα εδάφους βάθους " d ", το οποίο καλείται "ισοδύναμο βάθος".



Σχήμα 6.3 Γενική αρχή του τύπου του Hooghoudt.

Οι τιμές του ισοδύναμου βάθους d του Hooghoudt πρέπει να αντικαταστήσουν το D , δηλαδή το βάθος του αδιαπέρατου στρώματος κάτω από τους αγωγούς στραγγίσεως, για την εξίσωση (6.14), η οποία γίνεται:

$$S^2 = \frac{4K_1 H^2}{q} + \frac{8K_2 d H}{q} \quad (6.15)$$

Οι τιμές αυτές είναι δυνατόν να ληφθούν με πίνακες ή διαγράμματα, τα οποία δίνουν το ισοδύναμο βάθος d , συναρτήσεως της ισαποχής S , της ακτίνας των αγωγών στραγγίσεως r και του βάθους του αδιαπέρατου στρώματος κάτω από τους αγωγούς στραγγίσεως D .

Έτσι, στον πίνακα 6.1, δίνονται οι τιμές του d για $r = 0,05$ m και στον πίνακα 6.2 οι τιμές του d για $r = 0,10$ m.

Ο Hooghoudt συνέταξε πλήρες πίνακα για το ισοδύναμο βάθος d για όλες τις συνθήκες. Εφόσον όμως οι πίνακες αυτοί δεν υπάρχουν ο υπολογισμός του d είναι δυνατόν να γίνει με μεγάλη προσέγγιση με την παρακάτω μέθοδο.

Πίνακας 6.1

Τιμές του ισοδύναμου βάθους d του Hooghoudt για ακτίνα αγωγών r= 0,05 m.

S μ.	5	7,50	10	15	20	25	30	35	40	45	50	S μ.	50	75	100	150	200	250	300					
D μ.	0,50	0,40	0,43	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,50							
	0,75	0,49	0,56	0,61	0,65	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	1	0,92	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99					
	1,00	0,54	0,64	0,71	0,78	0,83	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92	2	1,62	1,73	1,79	1,86	1,89	1,91	1,93					
	1,25	0,56	0,69	0,78	0,89	0,96	1,01	1,06	1,07	1,08	1,09	3	2,12	2,35	2,49	2,64	2,72	2,77	2,81					
	1,50	0,73	0,83	0,98	1,08	1,15	1,20	1,24	1,26	1,28	1,30	4	2,48	2,84	3,06	3,32	3,47	3,57	3,63					
	1,75	0,75	0,88	1,05	1,18	1,26	1,32	1,37	1,42	1,45	1,47	5	2,73	3,23	3,54	3,92	4,15	4,30	4,40					
	2,00	0,91	1,11	1,25	1,35	1,43	1,50	1,55	1,59	1,62		6	2,92	3,53	3,94	4,45	4,76	4,97	5,00					
	2,25	0,93	1,16	1,32	1,44	1,54	1,61	1,68	1,72	1,77		7	3,06	3,78	4,27	4,91	5,31	5,60	5,78					
	2,50	0,94	1,19	1,38	1,52	1,63	1,72	1,80	1,85	1,89		8	3,17	3,97	4,55	5,32	5,81	6,15	6,40					
	2,75				1,22	1,42	1,58	1,70	1,81	1,90	1,96	9	3,24	4,13	4,79	5,68	6,26	6,67	6,97					
	3,00				1,24	1,46	1,63	1,76	1,88	1,97	2,05	10	3,31	4,26	4,98	6,00	6,67	7,15	7,51					
	3,25				1,26	1,49	1,68	1,83	1,96	2,06	2,15	12,50		4,49	5,35	6,63	7,52	8,18	8,68					
	3,50				1,28	1,52	1,72	1,88	2,01	2,13	2,22	15		4,64	5,63	7,11	8,20	9,02	9,67					
	3,75				1,29	1,54	1,75	1,92	2,07	2,20	2,30	17,50		4,72	5,79	7,48	8,74	9,72	10,50					
	4,00					1,56	1,79	1,96	2,13	2,26	2,37	20			5,91	7,76	9,16	10,30	11,20					
	4,50					1,59	1,84	2,03	2,22	2,37	2,50	25				6,06	8,12	9,79	11,20	12,30				
	5,00					1,61	1,87	2,09	2,28	2,45	2,60	30					8,36	10,20	11,80	13,10				
	5,50						1,90	2,13	2,34	2,52	2,69	35						8,48	10,50	12,20	13,70			
	6,00							2,17	2,39	2,58	2,76	40							10,70	12,50	14,20			
	7,00							2,21	2,46	2,68	2,87	45								10,90	12,80	14,60		
	8,00								2,53	2,75	2,96	50									11,00	13,10	14,80	
	9,00									2,79	3,02	60										13,20	15,20	
	10,00										2,82	3,09	3,31										13,30	15,60
∞	0,57	0,76	0,95	1,29	1,62	1,94	2,24	2,54	2,84	3,12	3,41		3,41	4,78	6,08	8,59	11,00	13,30	15,60					

Πίνακας 6.2

Τιμές του ισοδύναμου βάθους d του Hooghoudt για ακτίνα αγωγών r= 0,10 m.

S μ.	5	7,50	10	15	20	25	30	35	40	45	50	S μ.	50	75	100	150	200	250	300					
D μ.	0,50	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50					0,50	0,50											
	0,75	0,60	0,65	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,76	0,76	1	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99					
	1,00	0,67	0,75	0,80	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,96	2	1,72	0,80	1,85	1,90	1,92	1,94	1,95					
	1,25	0,70	0,82	0,89	1,00	1,05	1,09	1,12	1,13	1,14	1,14	3	2,29	2,49	2,60	2,72	2,79	2,83	2,85					
	1,50	0,88	0,97	1,11	1,19	1,25	1,28	1,31	1,34	1,35	1,36	4	2,71	3,04	3,24	3,46	3,58	3,66	3,71					
	1,75	0,91	1,02	1,20	1,30	1,39	1,45	1,49	1,52	1,55	1,57	5	3,02	3,49	3,78	4,12	4,31	4,43	4,52					
	2,00		1,08	1,28	1,41	1,50	1,57	1,62	1,66	1,70	1,72	6	3,23	3,85	4,23	4,70	4,97	5,15	5,27					
	2,25		1,13	1,34	1,50	1,69	1,69	1,76	1,81	1,84	1,86	7	3,43	4,14	4,62	5,22	5,57	5,81	5,98					
	2,50			1,38	1,57	1,69	1,79	1,87	1,94	1,99	2,02	8	3,56	4,38	4,95	5,68	6,13	6,43	6,65					
	2,75				1,42	1,63	1,76	1,88	1,98	2,05	2,12	9	3,66	4,57	5,23	6,09	6,63	7,00	7,27					
	3,00				1,45	1,67	1,83	1,97	2,08	2,16	2,23	10	3,74	4,74	5,47	6,45	7,09	7,53	7,85					
	3,25				1,48	1,71	1,88	2,04	2,16	2,26	2,35	12,50		5,02	5,92	7,20	8,06	8,68	9,15					
	3,50				1,50	1,75	1,93	2,11	2,24	2,35	2,45	15		5,20	6,25	7,77	8,84	9,64	10,30					
	3,75				1,52	1,78	1,97	2,17	2,31	2,44	2,54	17,50		5,30	6,44	8,20	9,47	10,40	11,20					
	4,00					1,81	2,02	2,22	2,37	2,51	2,62	20			6,60	8,54	9,97	11,10	12,00					
	4,50					1,85	2,08	2,31	2,50	2,63	2,76	25			6,79	8,99	10,70	12,10	13,30					
	5,00					1,88	2,15	2,38	2,58	2,75	2,89	30				9,27	11,30	12,90	14,20					
	5,50						2,20	2,43	2,65	2,84	3,00	35				9,44	11,60	13,40	15,00					
	6,00							2,48	2,70	2,92	3,09	40					11,80	13,80	15,50					
	7,00								2,54	2,81	3,03	45						12,00	13,80	15,90				
	8,00									2,57	2,85	50							12,10	14,30	16,30			
	9,00										2,89	60								14,60	16,70			
	10,00											∞	3,88	5,38	6,82	9,55	12,20	14,70	17,20					
∞	0,71	0,93	1,14	1,53	1,89	2,24	2,58	2,91	3,24	3,56	3,88													

β) Υπολογισμός του ισοδύναμου βάθους d .

Η ροή του υπόγειου ύδατος προς τους αγωγούς στραγγίσεως είναι να δυνατόν να εκφραστεί και με τον παρακάτω γενικό τύπο:

$$H = q \cdot S \cdot R \quad (6.16)$$

όπου,

H = διαθέσιμο υδραυλικό φορτίο

q = ποσότητα στραγγιζόμενου ύδατος

S = ισαποχή αγωγών στραγγίσεως

qS = ποσότητα ρέοντος νερού στη μονάδα μήκους αγωγού

R = ολική αντίσταση = οριζόντια και ακτινωτή αντίσταση

Η ακτινωτή αντίσταση Rr , δίνεται από τον Hooghoudt με έναν μακροσκελή τύπο, στον οποίο, ο πρώτος όρος $\frac{1}{\pi} \log_e \left(0,7 \frac{D}{r} \right)$ δίνει πολύ μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τους υπόλοιπους όρους, οι οποίοι όμως για διευκόλυνση, παραλείπονται. Έτσι λοιπόν, έχουμε:

$$Rr = \frac{1}{\pi} \log_e \left(0,7 \frac{D}{r} \right) \quad (6.17)$$

Η οριζόντια αντίσταση Rh υπολογίζεται από το Hooghoudt σε απόσταση $0,7D$ από τους στραγγιστικούς αγωγούς και δίνεται από τον τύπο:

$$Rh = \frac{S - 1,4D^2}{8DS} \quad (6.18)$$

ενώ το “ισοδύναμο βάθος” d από τον τύπο:

$$d = \frac{S}{8 Rh + Rr} \quad (6.19)$$

Το σφάλμα που προκύπτει από την παράλειψη των υπόλοιπων όρων της Rr είναι μηδαμινό.

6.3 Τύπος του Ernst

6.3.1 Γενικά

Ο L. F. Ernst τα έτη 1956 και 1962 δημοσίευσε μια προσεγγιστική μέθοδο για τον υπολογισμό της ισαποχής μεταξύ των στραγγιστικών αγωγών (τάφρων ή σωλήνων), οι οποίοι βρίσκονται σε εδάφη δύο στρώσεων με διαφορετικούς συντελεστές υδραυλικής αγωγιμότητας. Στη μέθοδο αυτή του Ernst, οι στραγγιστικοί αγωγοί δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται πάνω στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρώσεων όπως είναι στις προηγούμενες μεθόδους του Hooghoudt, Kirkham, Dagan και Τερζίδη. Η μέθοδος του Ernst είναι ειδικά χρήσιμη όταν η πάνω στρώση έχει πολύ μικρότερο συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας απ’ ότι η κάτω στρώση.

Ο Ernst παραδέχτηκε ότι η υπόγεια ροή προς τους στραγγιστικούς αγωγούς μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις συνιστώσες ροές: α) στην κατακόρυφη ροή, β) στην οριζόντια ροή και γ) στην ακτινική ροή. Επίσης παραδέχτηκε ότι το άθροισμα των υδραυλικών υψών των τριών συνιστωσών ροών ισούται με το συνολικό υδραυλικό

ύψος. Με τις παραδοχές αυτές και με ισχύουσες τις παραδοχές των D - F και το νόμο του Darcy, βρήκε την εξίσωση:

$$H_o = h_v + h_h + h_r = q \frac{D_v}{K_v} + q \frac{L^2}{8 \Sigma KD_h} + q \frac{L}{\pi K_r} \ln \frac{\alpha D_r}{u} \quad (6.20)$$

όπου οι δείκτες v , h και r υποδηλώνουν κατακόρυφη, οριζόντια και ακτινική διεύθυνση αντίστοιχα και

H_o = το συνολικό υδραυλικό ύψος και το ύψος της υπόγειας στάθμης πάνω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών στο μεσοδιάστημα τους (σε m)

q = η ειδική παροχή επαναπλήρωσης ανά μονάδα επιφανείας (σε m/day)

L = η ισαποχή μεταξύ των στραγγιστικών αγωγών (σε m)

K_r = ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας στην περιοχή της ακτινικής ροής (σε m/day)

K_v = ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας για την κατακόρυφη ροή (σε m/day)

D_v = το πάχος της περιοχής στην οποία θεωρείται ότι υπάρχει κατακόρυφη ροή (σε m)

ΣKD_h = ο συντελεστής διοχετευτικότητας των στρώσεων στις οποίες θεωρείται ότι υπάρχει οριζόντια ροή (σε m²/day)

u = η βρεχόμενη περίμετρος του στραγγιστικού αγωγού (σε m)

α = ο γεωμετρικός παράγοντας για την ακτινική ροή, ο οποίος εξαρτάται από τις συνθήκες ροής.

Οι τιμές των D_v , ΣKD_h , D_r , α και u προσδιορίζονται σύμφωνα με το προφίλ του εδάφους και τη σχετική θέση και το μέγεθος των στραγγιστικών αγωγών. Οι καλύτερες τιμές εξάγονται από τα παρακάτω δεδομένα, τα οποία χαρακτηρίζουν τις ειδικές συνθήκες στράγγισης:

D_1 = το μέσο πάχος κάτω από την υπόγεια στάθμη της πάνω στρώσης που έχει συντελεστή αγωγιμότητας K_1

D_2 = το πάχος της κάτω στρώσης με συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας K_2

D_o = το πάχος κάτω από το επίπεδο της ελεύθερης επιφάνειας του νερού των στραγγιστικών αγωγών της στρώσης στην οποία είναι τοποθετημένοι οι στραγγιστικοί αγωγοί

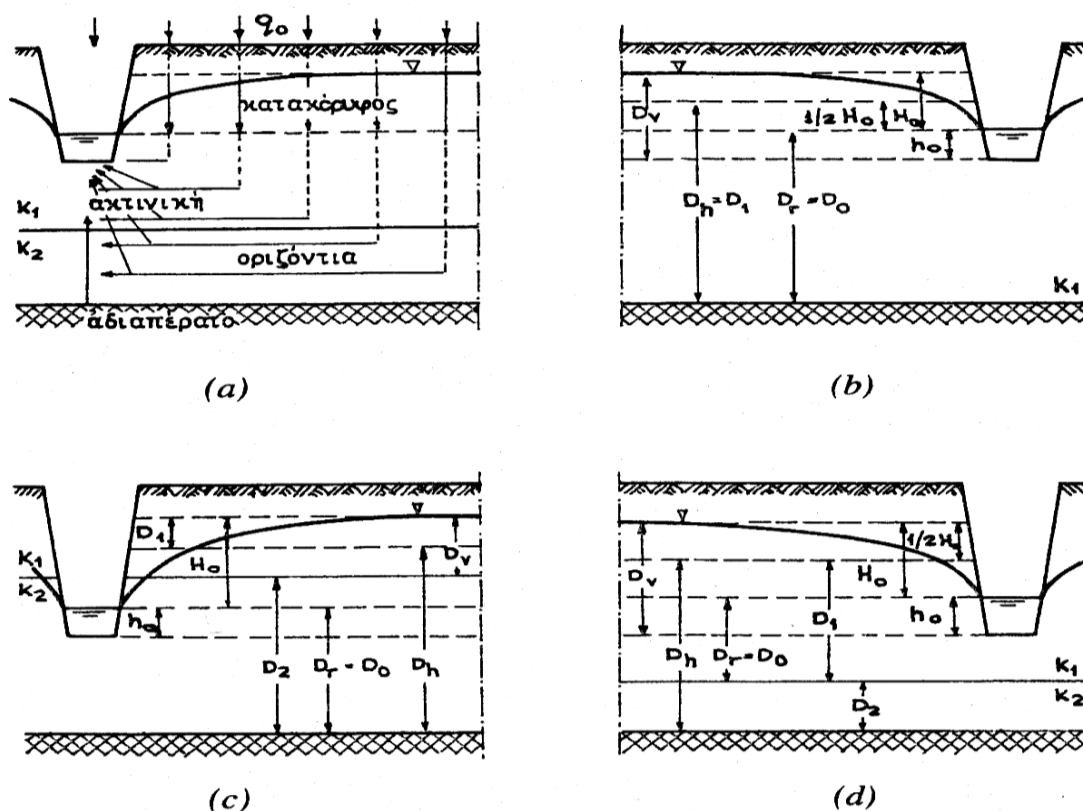
H_o = το ύψος της υπόγειας στάθμης πάνω από το επίπεδο της ελεύθερης επιφάνειας του νερού των στραγγιστικών αγωγών στο μεσοδιάστημα

h_o = το βάθος του νερού της τάφρου. Για τους στραγγιστικούς σωλήνες έχουμε $h_o = 0$, γιατί η ακτίνα είναι σχετικά πολύ μικρή

Οι τιμές των D_v , ΣKD_h , D_r , α και u μπορούν τώρα να εξετασθούν με κάποια λεπτομέρεια, με τη βοήθεια του σχήματος 6.4 (α) ως (d).

Η κατακόρυφη ροή λαμβάνει χώρα στη στρώση μεταξύ της μέγιστης υπόγειας στάθμης στο μεσοδιάστημα και του πυθμένα των στραγγιστικών αγωγών. Συνήθως το πάχος της στρώσης για κατακόρυφη ροή μπορεί να παρθεί σαν $D_v = h_o + H_o$ για τις τάφρους και $D_v = H_o$ για τους στραγγιστικούς σωλήνες. Στη πραγματικότητα αυτά πρέπει να είναι $D_v = h_o + \frac{1}{2}H_o$ και $D_v = \frac{1}{2}H_o$ αντίστοιχα, αλλά στη πράξη αυτός ο παράγοντας δεν είναι πολύ σημαντικός.

Η οριζόντια ροή λαμβάνει χώρα σ' όλο το πάχος του υδροφόρου στρώματος, δηλαδή $\Sigma KD_h = K_1D_1 + K_2D_2$. Αν το βάθος του αδιαπέρατου υποστρώματος αυξάνει, η τιμή του K_2D_2 επίσης αυξάνει, κάνοντας το ΣKD_h να τείνει στο άπειρο και την υδραυλική αντίσταση στο μηδέν. Για να αποφευχθεί αυτό, το συνολικό πάχος της στρώσης κάτω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών D_o ή $D_o + D_2$ περιορίζεται στο $L/4$ όταν το αδιαπέρατο υπόστρωμα είναι βαθύτερα του $L/4$ κάτω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών.



Σχήμα 6.4 (α) Γεωμετρία διαδιάστατης ροής προς στραγγιστικούς αγωγούς κατά τον Ernst (1962). (b) Για ομογενές έδαφος. (c) Για έδαφος δύο στρώσεων με τους στραγγιστικούς αγωγούς στην κάτω στρώση. (d) Για έδαφος δύο στρώσεων με τους στραγγιστικούς αγωγούς στην πάνω στρώση.

Η ακτινική ροή λαμβάνεται υπόψη στη στρώση κάτω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών, δηλαδή $D_r = D_o$, με τον περιορισμό και πάλι ότι το D_r δεν είναι μεγαλύτερο του $L/4$, όπως και στην περίπτωση της οριζόντιας ροής.

Ως προς τις τιμές του οριζόντιου παράγοντα α οι παρακάτω περιπτώσεις μπορούν να θεωρηθούν:

✚ Ομογενή εδάφη

Σ' ένα ομογενές έδαφος ($D_2 = 0$, σχήμα 6.4.b), λαμβάνεται $\alpha = 1$. Επιπλέον έχουμε $D_v = h_o + H_o$, $\Sigma KD_h = K_1 D_1$, $K_r = K_1$ και $D_r = D_o$.

Έτσι η εξίσωση (6.20) γίνεται:

$$H_o = q_o \frac{h_o + H_o}{K_1} + q_o \frac{L^2}{8K_1 D_1} + q_o \frac{L}{\pi K_1} \ln \frac{D_o}{u} \quad (6.21)$$

Στα ομογενή εδάφη η κατακόρυφη αντίσταση είναι συνήθως αμελητέα. Επιπλέον στις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις $H_o \ll D_o$ και το D_1 μπορεί να ληφθεί σαν ίσο προς το D_o , παραλείποντας την οριζόντια ροή πάνω από το επίπεδο των στραγγιστικών αγωγών.

Αν το βάθος από το πυθμένα των στραγγιστικών αγωγών μέχρι το αδιαπέρατο υπόστρωμα D_o , είναι μεγαλύτερο του $L/4$, τότε θεωρείται ότι η ροή δεν ξεπερνά το βάθος $L/4$. Επειδή όμως η ισαποχή L των στραγγιστικών αγωγών δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων, αυτή η συνθήκη πρέπει να ελέγχεται εκ των υστέρων, δηλαδή μετά τη λύση. Στην πράξη, οι υπολογισμοί θα οδηγήσουν στα ίδια αποτελέσματα όταν το D_o είναι μεταξύ του $L/4$ και $L/2$. Έξω απ' αυτά τα όρια, όμως, η ισαποχή που θα υπολογισθεί θα είναι πολύ μικρότερη.

✚ Εδάφη με διαστρώσεις

Αν οι στραγγιστικοί αγωγοί είναι τοποθετημένοι στην κάτω στρώση ενός εδάφους δύο στρώσεων (σχήμα 6.4.c) και $K_1 \ll K_2$, η κατακόρυφη αντίσταση στη δεύτερη στρώση μπορεί να παραληφθεί σε σύγκριση μ' αυτήν της πρώτης στρώσης.

Από το σχήμα 6.4.c μπορεί να φανεί το πάχος της στρώσης, στην οποία λαμβάνει χώρα κατακόρυφη ροή, είναι $D_v = 2D_1$.

Για τη συνιστώσα της οριζόντιας ροής έχουμε στην περίπτωση αυτή $\Sigma KD_h = K_1 D_1 + K_2 D_2$. Επειδή όμως $K_1 \ll K_2$ και $D_1 \ll D_2$, ο πρώτος όρος συνήθως παραλείπεται και

$$\Sigma KD_h \cong K_2 D_2$$

Η ακτινική ροή υπολογίζεται στη στρώση $D_r = D_o$.

Υπενθυμίζεται ότι για την οριζόντια και την ακτινική ροή ισχύει ο περιορισμός ότι το πάχος D_o δεν πρέπει να ξεπερνά το $L/4$. Η εξίσωση η οποία ισχύει σ' αυτή τη περίπτωση είναι:

$$H_o = q_o \frac{2D_1}{K_1} + q_o \frac{L^2}{8K_2 D_2} + q_o \frac{L}{\pi K_2} \ln \frac{D_o}{u} \quad (6.22)$$

Αν οι στραγγιστικοί αγωγοί είναι τοποθετημένοι στην πάνω στρώση του εδάφους δύο στρώσεων (σχήμα 6.4.d), τότε πρέπει να γίνει διάκριση των παρακάτω τριών περιπτώσεων ως προς το γεωμετρικό παράγοντα α :

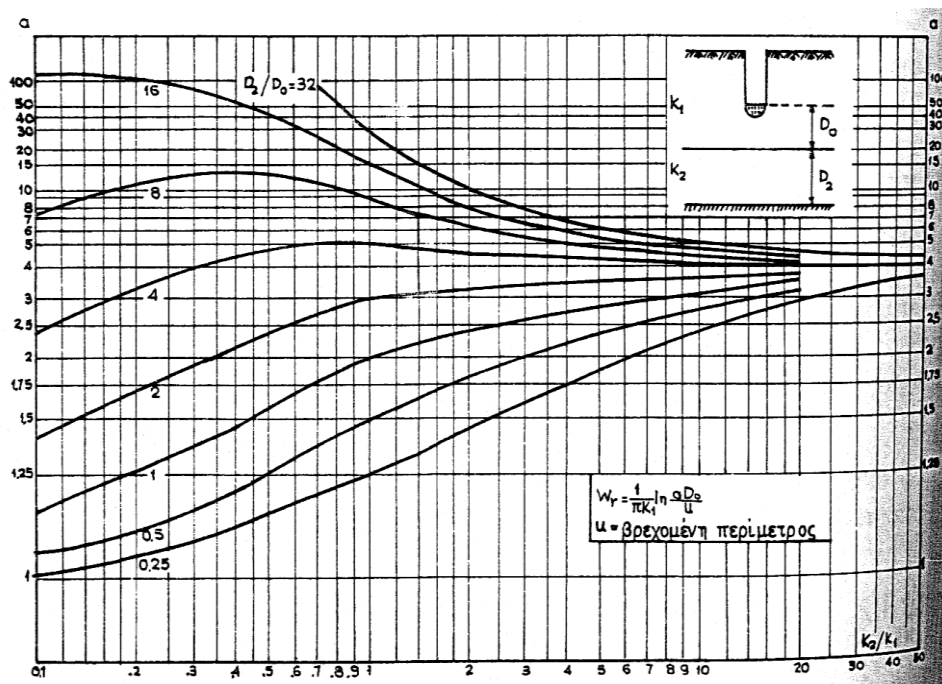
(α) $K_2 > 20K_1$

Ο γεωμετρικός παράγοντας $\alpha = 4$ και η εξίσωση (6.23) γίνεται:

$$H_o = q_o \frac{H_o + h_o}{K_1} + q_o \frac{L^2}{8 K_1 D_1 + K_2 D_2} + q_o \frac{L}{\pi K_1} \ln \frac{4D_o}{u} \quad (6.23)$$

(β) $0,1K_1 < K_2 < 20K_1$

Ο γεωμετρικός παράγοντας α πρέπει να προσδιορισθεί από το νομογράφημα του σχήματος 6.5 και να εισαχθεί στην εξίσωση (6.20).



Σχήμα 6.5 Νομογράφημα προσδιορισμού του γεωμετρικού παράγοντα α στην εξίσωση Ernst (Van Beers, 1965).

(γ) $0,1K_1 > K_2$

Η κάτω στρώση μπορεί να θεωρηθεί αδιαπέρατη και η περίπτωση αυτή γίνεται ίδια με τη περίπτωση του ομογενούς εδάφους πάνω σε αδιαπέρατο στρώμα και ισχύει η εξίσωση (6.21).

Στις παραπάνω εξισώσεις η βρεχόμενη περίμετρος u του στραγγιστικού αγωγού είναι:

Για τις τάφρους:

$$u = b + 2h_o \sqrt{m^2 + 1} \quad (6.24)$$

όπου, b = το πλάτος του πυθμένα της τάφρου

h_o = το βάθος του ελεύθερου νερού της τάφρου

m = η κλίση πρανών της τάφρου (οριζόντιο/κατακόρυφο)

Για στραγγιστικούς σωλήνες, που τοποθετούνται σε χανδάκια και περιβάλλονται από διαπερατά υλικά, είναι πολύ δύσκολο να προσδιορισθεί ακριβώς το u . Σε κανονικές συνθήκες η βρεχόμενη περίμετρος λαμβάνεται:

$$u = b + 2 \cdot 2r_o \quad (6.25)$$

όπου, b = το πλάτος του χανδακιού

r_o = η ακτίνα του στραγγιστικού σωλήνα ($2r_o$ = διάμετρος).

Αν χρησιμοποιούνται υλικά φίλτρου, συνιστάται να χρησιμοποιείται το ύψος του φίλτρου αντί της διαμέτρου.

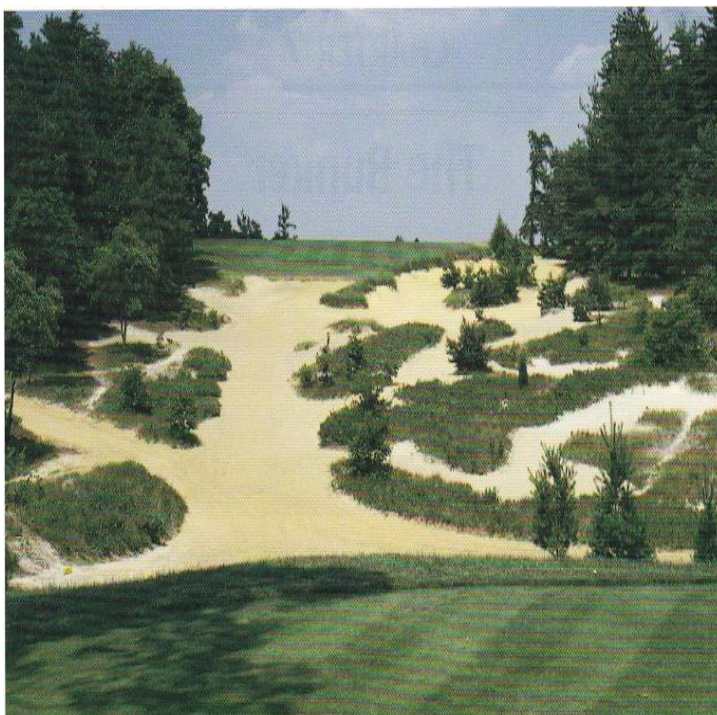
7. Αμμοπαγίδες

7.1 Ιστορική αναδρομή - Προέλευση

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι οι αμμοπαγίδες (bunkers) δημιουργήθηκαν κάτω από κάποιες συνθήκες και περιστάσεις που συνδέονται με τις παραλίες της Σκωτίας, εκεί όπου αναπτύχθηκε το γκολφ, όπως ξέρουμε σήμερα. Οι ισχυροί, ψυχροί άνεμοι που κατευθύνονται από τη Βόρεια Θάλασσα ανάγκασαν τα πρόβατα κατά τη βοσκή να κάνουν τρύπες στο αμμώδες έδαφος, αναζητώντας προστασία. Ο συνδυασμός του συνεχούς τρυπήματος του εδάφους από τα πρόβατα καθώς και η διάβρωση από τον αέρα προκάλεσε μικρά βαθουλώματα για να διευρυνθούν σε αυτά που είναι τώρα γνωστά ως **αμμοπαγίδες**.

Η αμμοπαγίδα ερμηνεύεται στους Κανόνες του γκολφ ως «ένα εμπόδιο», δηλαδή μια διαμορφωμένη κοιλότητα (βαθούλωμα) του εδάφους, από την οποία ο χλοοτάπητας ή το χώμα έχει αφαιρεθεί και έχει αντικατασταθεί με άμμο ή κάτι παρόμοιο. Η καλυμμένη με χλόη περιοχή του εδάφους που οριοθετεί μια αμμοπαγίδα δεν είναι μέρος της αμμοπαγίδας. Τα όρια (περιθώρια) της αμμοπαγίδας απλώνονται κάθετα προς τα κάτω, αλλά όχι και προς τα πάνω. Κατά συνέπεια, οι κοιλότητες (βαθουλώματα) με χλοοτάπητα, δεν είναι κίνδυνοι. Ο όρος «grass bunker» (αμμοπαγίδα χλόης) είναι μια λανθασμένη διατύπωση για μια κοιλότητα του εδάφους με χλοοτάπητα και δεν είναι ένα «εμπόδιο» του παιχνιδιού. Πολλοί παίκτες αναφέρονται στις bunkers με την κυριολεξία τους: «παγίδες άμμου». Δυστυχώς, αυτή η χρήση έχει διαδοθεί, αν και η λέξη «παγίδα» δεν υπάρχει στους Κανόνες του παιχνιδιού. Επίσης υπάρχει ο όρος «waste area» (**έρμη περιοχή**), η οποία αποτελείται από μια πολύ μεγάλη έκταση, τυπικά πάνω από τέσσερα στρέμματα (0,4 εκτάρια) χωρίς χλοοτάπητα, η οποία αντίθετα από μια αμμοπαγίδα, δεν ανασκάπτεται τακτικά και δεν θεωρείται ως «εμπόδιο» (όπως φαίνεται στην εικόνα). Κατά συνέπεια, το μπαστούνι του γκολφ μπορεί να κάνει χτύπημα σε μια τέτοια περιοχή.

Οι αμμοπαγίδες είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα της στρατηγικής του γκολφ, της αισθητικής και της συντήρησης του γηπέδου γκολφ. Η αρχιτεκτονική και το ύψος ενός γηπέδου γκολφ μπορούν να διαπιστωθούν μέσω μιας μελέ-



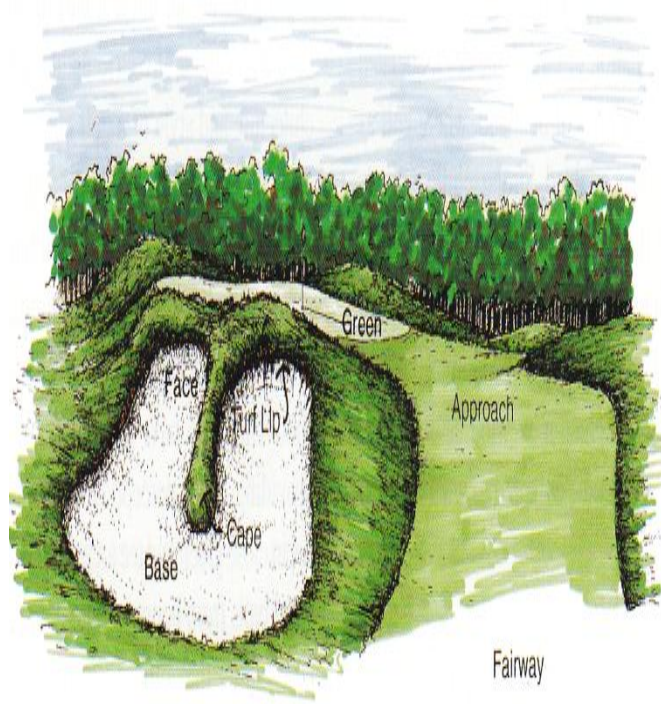
της σχεδιασμού και χρήσης των αμμοπαγίδων. Οι αρχιτέκτονες χρησιμοποιούν τις αμμοπαγίδες για να καθορίσουν την επιδιωκόμενη γραμμή του παιχνιδιού, για να προκαλέσουν ενδιαφέρον στο παιχνίδι και για να επιβάλουν ποινές στους παίκτες που έχουν άστοχες βολές. Οι αμμοπαγίδες επίσης, έχουν σκοπό:

- (α) να παρέχουν (δίνουν) την αντίληψη του βάθους,
- (β) να προστατεύσουν τους παίκτες του γκολφ να παγιδευτούν μέσα σε κλειστές ή σε ανωφερείς περιοχές του εδάφους, εμποδίζοντας την αναπήδηση των βολών μέσα σε αυτές,
- (γ) να προλάβουν τις αδέσποτες βολές που θα μπορούσαν να οδηγήσουν τους παίκτες σε χαμένες μπαλιές, ανεπιθύμητες ποινές ή ακόμα και στην έξοδο τους από το παιχνίδι και
- (δ) στην καθοδήγηση σχεδιασμού της κυκλοφορίας των παικτών και των ειδικών αυτοκινήτων.

Η ιδιαίτερη προσοχή που δίνεται στο σχεδιασμό, στην κατασκευή, στην ανακατασκευή και συντήρηση των αμμοπαγίδων έχει αυξηθεί αισθητά από το τέλος της δεκαετίας του '80.

7.2 Περιγραφή αμμοπαγίδων

Τα κύρια συστατικά μιας αμμοπαγίδας παρουσιάζονται στην εικόνα. Η **βάση**



είναι το σχετικά επίπεδο τμήμα μιας αμμοπαγίδας που αποτελείται από άμμο. Κάτω από τη βάση είναι ένα σχετικά άνισο, στεγανό υπέδαφος που καλείται **πυθμένας** της αμμοπαγίδας. Η **πλευρική επιφάνεια** είναι το επικλινές τμήμα της αμμοπαγίδας που είναι κοντά στον χλοοτάπητα και αποτελείται από άμμο. Η επιφάνεια αυτή υποστηρίζεται από το "πρανές" της αμμοπαγίδας, που είναι σχετικά σταθερής κατασκευής και μερικές φορές με ένα επίπεδο υπόβαθρο στο χαμηλότερο τμήμα της που καλείται «**ράφι**» επάνω στο οποίο γίνεται η δόμηση της άμμου, μέσω κατάλληλου δονητού. Το «turf-lip» είναι το κατακόρυφο άκρο μεταξύ της επιφάνειας και του γηπέδου (χλοοτάπητα) και του πρανούς της αμμοπαγίδας. Οι δύο βασικοί τύποι αμμοπαγίδων καλούνται «greenside» και «fairway», οι οποίοι είναι αυτό-επεξηγηματικοί και χαρακτηρίζονται γενικά από την γεινίαση τους με τα αντίστοιχα τμήματα του γηπέδου ("greenside") ή τους διαδρόμους κυκλοφορίας ("fairway"). Υπάρχει ακόμη ο τύπος «turfed fore slope» που αφορά αμμοπαγίδες με (πλευρική) επιφάνεια καλυμμένη με χλοοτάπητα.

Η **βάση** είναι το σχετικά επίπεδο τμήμα μιας αμμοπαγίδας που αποτελείται από άμμο. Κάτω από τη βάση είναι ένα σχετικά άνισο, στεγανό υπέδαφος που καλείται **πυθμένας** της αμμοπαγίδας. Η **πλευρική επιφάνεια** είναι το επικλινές τμήμα της αμμοπαγίδας που είναι κοντά στον χλοοτάπητα και αποτελείται από άμμο. Η επιφάνεια αυτή υποστηρίζεται από το "πρανές" της αμμοπαγίδας, που είναι σχετικά σταθερής κατασκευής και μερικές φορές με ένα επίπεδο υπόβαθρο στο χαμηλότερο τμήμα της που καλείται «**ράφι**» επάνω στο οποίο γίνεται η δόμηση της άμμου, μέσω κατάλληλου δονητού. Το «turf-lip» είναι το κατακόρυφο άκρο μεταξύ της επιφάνειας και του γηπέδου (χλοοτάπητα) και του πρανούς της αμμοπαγίδας. Οι δύο βασικοί τύποι αμμοπαγίδων καλούνται «greenside» και «fairway», οι οποίοι είναι αυτό-επεξηγηματικοί και χαρακτηρίζονται γενικά από την γεινίαση τους με τα αντίστοιχα τμήματα του γηπέδου ("greenside") ή τους διαδρόμους κυκλοφορίας ("fairway"). Υπάρχει ακόμη ο τύπος «turfed fore slope» που αφορά αμμοπαγίδες με (πλευρική) επιφάνεια καλυμμένη με χλοοτάπητα.

7.3 Σχεδιασμός αμμοπαγίδας

Δεν υπάρχει κανένα καθορισμένο όριο για το μέγεθος και τη μορφή των αμμοπαγίδων. Στην πραγματικότητα, η παραλλαγή αυτών αυξάνει το ενδιαφέρον. Οι συ-

γκεκριμένες διαστάσεις είναι αποτέλεσμα της καλλιτεχνικής αισθητικής και της φαντασίας του αρχιτέκτονα των γηπέδων γκολφ συνδυασμένες με τις επιθυμητές λειτουργίες της αμμοπαγίδας. Η αρχική λειτουργία της αμμοπαγίδας είναι να επιβληθεί ποινή για μια άστοχη βολή, η οποία μερικές φορές υπολογίζεται ως ενάμιση χτύπημα. Επομένως, μια οδηγία στον σχεδιασμό και τη διαμόρφωση είναι ότι οι αμμοπαγίδες πρέπει να έχουν ικανοποιητικό βάθος ώστε να εμποδίζουν τους παίκτες να βγάζουν εύκολα τις μπαλιές απ' αυτές.

Οι αμμοπαγίδες κυμαίνονται σε μέγεθος από αυτές που καλούνται «rot bunkers» μέχρι σχετικά μεγάλες εκτάσεις. Στις αμμοπαγίδες rot bunkers είναι αρκετά δύσκολο να παίξουν οι παίκτες επειδή είναι χαρακτηριστικά μικρές, απότομες και πολύ βαθιές. Εκτός από τη στρατηγική και τη σημασία τους, οι αμμοπαγίδες γοητεύουν το τοπίο μέσω της εντυπωσιακής αντίθεσης στο χρώμα μεταξύ της άμμου και του περιβάλλοντος χλοοτάπητα. Οι αρχιτέκτονες ποικίλλουν το μέγεθος σχεδιασμού των αμμοπαγίδων, καθώς επίσης και τη μορφή και το πλήθος τους, για να παρέχουν μεγαλύτερη ποικιλία και περισσότερο ενδιαφέρον.

Το μέγεθος, η μορφή, και ο αριθμός των αμμοπαγίδων μπορούν να ποικίλουν πολύ, ανάλογα με:

- (α) τη σχεδιαστική άποψη του αρχιτέκτονα,
- (β) τον διαθέσιμο προϋπολογισμό για την κατασκευή και τη συντήρηση και
- (γ) τα φυσικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής, όπως το έδαφος, η τοπογραφία, και η φυσική βλάστηση.

Το αρχικό σχέδιο θα εξαρτηθεί εν μέρει από την ποιότητα και την ποσότητα του προβλεπόμενου παιχνιδιού. Η ταχύτητα του παιχνιδιού και οι λειτουργικές του δαπάνες μπορεί να αποτελούν αρχικά το κύριο μέλημα στα Δημόσιας χρήσης γήπεδα. Σε αυτή τη περίπτωση, η χρήση αμμοπαγίδων μπορεί να περιοριστεί σε καίριες περιοχές του γηπέδου, προκειμένου να περιοριστεί το “αργό” παιχνίδι και να αυξηθεί η ασφάλεια του. Ένα ιδιωτικό γήπεδο γκολφ με καθορισμένο αριθμό μελών ή ένα γήπεδο που αρχικά σχεδιάζεται για να φιλοξενεί πρωταθλήματα, μπορεί να είναι σπαρμένο σε κάθε σημείο με αμμοπαγίδες για να δώσει έμφαση στον στρατηγικό σχεδιασμό και για να εντείνει την οπτική γοητεία του. Σ' αυτή την περίπτωση ο οικονομικός παράγων είναι συνήθως δευτερεύουσας σημασίας.

Η τοπογραφία μιας περιοχής είναι ένας σημαντικός καθοριστικός παράγοντας στη χρήση και στη διαμόρφωση των αμμοπαγίδων. Το επίπεδο έδαφος, με ή χωρίς βλάστηση, στερείται την τρισδιάστατη γοητεία που έχει μια λοφώδης περιοχή. Μεγάλες, λοφώδεις αμμοπαγίδες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να σπάσει τη μονοτονία και να δημιουργηθούν στρατηγικής σημασίας βολές που θα έλειπαν χωρίς αυτές. Αντίθετα, οι ανώμαλες επιφάνειες είναι όχι μόνο πιο ενδιαφέρουσες, αλλά απαιτούν βολές μεγαλύτερης επιδεξιότητας λόγω των υψομετρικών αλλαγών και του τρόπου κτυπήματος της μπάλας. Οι μεγάλες αμμοπαγίδες που κατασκευάζονται στα λοφώδη εδάφη έχουν πιο απότομες κλίσεις και υπόκεινται σε μεγαλύτερες φθορές εξ' αιτίας της διάβρωσης. Επίσης, οι απότομες ορεινές περιοχές είναι πιθανόν να είναι βραχώδεις και ως εκ τούτου η διαμόρφωση των αμμοπαγίδων είναι δύσκολη και δαπανηρή. Γι' αυτό το λόγο, τα γήπεδα του γκολφ στη Φλόριντα έχουν πολυάριθμες μεγάλες αμ-

μποπαγίδες, ενώ γήπεδα στις απότομες βορειοανατολικές περιοχές χαρακτηρίζονται από αμμοπαγίδες μικρότερου μεγέθους.

Οι αμμοπαγίδες είναι συχνά μεγαλύτερες και πιο εντυπωσιακές στις ανοικτές περιοχές απ' ό τι είναι στις δασώδεις περιοχές, όπου οι διάδρομοι του γηπέδου είναι στενότεροι. Μεγάλες, λοφώδεις αμμοπαγίδες συνήθως χρησιμοποιούνται στις άδεντρες κοιλότητες για να καθορίζονται οπτικά με σαφήνεια καθώς και για την χρήση τους ως εμπόδια στο παιχνίδι. Σε κάποιες τοποθεσίες με περιορισμένη επιφάνεια, οι αμμοπαγίδες επίσης χρησιμεύουν ως μια μορφή φυσικού διαχωρισμού μεταξύ των γειτονικών κοιλοτήτων. Το γνωστό γήπεδο στο Pinehurst Country Club, στη βόρεια Καρολίνα, είναι δασώδες, αλλά η επαρκής επιφάνεια του επέτρεψε δημιουργία μεγάλων διαδρομών για να διευκολύνει ευρέως το πέρασμα από κάθε πλευρά καθώς και πολυάριθμες και μεγάλες αμμοπαγίδες. Τα σύγχρονα γήπεδα με λιγότερη επιφάνεια έχουν διάδρομους οι οποίοι εκτείνονται μεταξύ δύο δεντροστοιχιών. Κατά συνέπεια, οι διάδρομοι των αμμοπαγίδων είναι μικρότεροι και συνήθως προσανατολισμένοι παράλληλα με την κοιλότητα. Στις περιπτώσεις πυκνών δασωδών περιοχών, ο σχεδιασμός βασίζεται στα ήδη υπάρχοντα δέντρα παρά στην κατασκευή μεγάλου αριθμού αμμοπαγίδων σαν στρατηγική του παιχνιδιού.

Τα μεγέθη των αμμοπαγίδων μπορούν να κυμανθούν από 96 - 370 m², με μερικούς διαδρόμους αμμοπαγίδων με έκταση μεγαλύτερη από 2320 m² και άλλες αμμοπαγίδες τύπου pot bunkers που είναι τόσο μικρές ώστε σπάνια υπάρχει αρκετός χώρος για να σταθεί ένας παίκτης. Οι αμμοπαγίδες σε πολλά σύγχρονα γήπεδα είναι σχετικά μεγάλες και επίπεδες, έτσι αυτές μπορούν να συντηρηθούν στοιχειωδώς με μηχανοκίνητο σαρωτή αμμοπαγίδων, ειδικά εφόσον υπάρχει ανάλογος προϋπολογισμός. Αντίθετα, σε γήπεδα γκολφ με υψηλούς προϋπολογισμούς ή τα σημαντικά φιλοξενούμενα πρωταθλήματα μπορεί η συντήρηση να γίνεται χειροκίνητα. Τα περισσότερα σύγχρονα γήπεδα γκολφ με 18 τρύπες κατασκευάζονται με 40 έως 80 αμμοπαγίδες. Πολλές φορές, μετά την κατασκευή του γηπέδου, προστίθενται ή αφαιρούνται αμμοπαγίδες ή ισοπεδώνεται εκ νέου ο χώρος, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του παιχνιδιού ή της αισθητικής.

7.3.1 Πλευρική επιφάνεια αμμοπαγίδων

Η (πλευρική) επιφάνεια των αμμοπαγίδων σχετίζεται με την κλίση της άμμου που είναι υπό κανονικές συνθήκες ορατή σε έναν παίκτη γκολφ κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Εξ' ορισμού η επιφάνεια της άμμου είναι μέρος της αμμοπαγίδας και για το λόγο αυτό δεν είναι σκεπασμένη με χλόη. Η επιφάνεια αποτελείται από την άμμο και υποστηρίζεται από το πρηνές του τοιχώματος. Γενικά είναι το επικλινές μέρος των αμμοπαγίδων fairway καθώς και των αμμοπαγίδων greenside που βρίσκεται κοντά στη θέση της επίπεδης επιφάνειας του γηπέδου. Επίσης, οι αμμοπαγίδες fairway και οι πλάγιες αμμοπαγίδες greenside, ανάλογα με τα σχετικά αναχώματα, έχουν την επιφάνεια τους από τους άλλους διαδρόμους μακριά αλλά παράλληλα με αυτούς ή με τη χλόη. Βασικά, η θέση της πλευράς καθορίζεται από τη λειτουργική φύση της αμμοπαγίδας ή τις επιθυμίες του αρχιτέκτονα.

Η πραγματική λειτουργία της επιφάνειας ήταν να φτιαχτεί έτσι ώστε να δυσκολέψει αρκετά τον παίκτη για να βγάλει την μπάλα από την αμμοπαγίδα. Εντούτοις, η ιδέα της τοποθέτησης άμμου κατέστησε τέτοιες επανορθωτικές βολές εύκολες, ειδικά

από το τμήμα γύρω από την τρύπα όπου η απόσταση δεν είναι ένας παράγοντας. Μια ορισμένη επιφάνεια μεταξύ του παίκτη γκολφ και του χλοοτάπητα μπορεί ακόμα να είναι ένα σοβαρό εμπόδιο στις αμμοπαγίδες τύπου fairway, δεδομένου ότι ο παίκτης γκολφ μπορεί να αναγκαστεί να εγκαταλείψει την ελπίδα να επανέλθει στον χλοοτάπητα και να είναι απαραίτητο να εκτελέσει ένα χτύπημα προς τα πάνω.

Με πρόσφατη έμφαση στο στρατηγικό σχεδιασμό του παιχνιδιού, μια βασική λειτουργία της επιφάνειας της αμμοπαγίδας είναι να προειδοποιείται ο παίκτης του γκολφ για το εμπόδιο και έτσι η βολή του να μπορεί να προγραμματιστεί αναλόγως. Αυτό είναι μια πολύ σημαντική διάκριση μεταξύ της στρατηγικής σχεδιασμού των γηπέδων γκολφ, όπου τα εμπόδια είναι ευδιάκριτα και παλαιότερης φιλοσοφίας, κατά την οποία πολλές αμμοπαγίδες ήταν κρυμμένες από την θέα του ανυποψίαστου παίκτη.

Το ύψος της επιφάνειας προς την πλευρά του χλοοτάπητα στις αμμοπαγίδες τύπου fairway ποικίλλει, ανάλογα με το έδαφος και τις απαιτήσεις της επανορθωτικής βολής, που προβλέφθηκε από τον αρχιτέκτονα. Οι αμμοπαγίδες τύπου greenside κανονικά κατασκευάζονται με υψηλότερες και πιο απότομες πλευρές από εκείνες των αμμοπαγίδων τύπου fairway. Κλίσεις υπό γωνία 35° ή λιγότερο συντηρούνται ευκολότερα, ενώ πιο απότομες πλευρές είναι μεν περισσότερο εντυπωσιακές, παρουσιάζουν όμως συνήθως δυσκολότερη πρόκληση για τους παίκτες. Οι αμμοπαγίδες με απότομες πλευρές είναι δαπανηρότερες για να συντηρηθούν επειδή υπόκεινται σε διάβρωση και εδαφική ρύπανση. Τέλος, η άμμος της πλευράς δεν πρέπει να είναι τόσο μαλακή ή μεγάλου βάρους γιατί το μπαλάκι θα θάβεται ή θα χάνεται.

Αμμοπαγίδα με κάλυψη πρανούς από χλοοτάπητα (“turfed fore slope”).



Σύμφωνα με το νέο ύψος σχεδιασμού προωθούνται μορφές αμμοπαγίδων με ελάχιστη ή καθόλου πλευρική επιφάνεια. Η επιφάνεια του γηπέδου με χλοοτάπητα (greenside) που περιβάλλει την αμμοπαγίδα, επεκτείνεται προς τα κάτω, σε μια σχετικά πλατιά επικλινή λωρίδα της επιφάνειας της αμμοπαγίδας. Πολλά Αμερικανικά γήπεδα από νωρίς σχεδίασαν μερικές αμμοπαγίδες σε αυτό το ύψος. Μερικοί ιδιώτες θεωρούν αυτό το ύψος ευκολότερο στην συντήρηση δεδομένου ότι περιορίζεται η πλευρική επιφάνεια της αμμοπαγίδας που διατηρείται και το μεγαλύτερο τμήμα της άμμου μπορεί να σωθεί με την χρήση μηχανοκίνητων μέσων. Ωστόσο, η κοπή του χλοοτάπητα στα κεκλιμένα τμήματα του πρανού, μέσα στην αμμοπαγίδα πρέπει να γίνεται με χειροκίνητες μηχανές και οι καλυμμένες με χλοοτάπητα πλάγιες πλευρές ξηραίνονται συχνότερα, απαιτώντας ειδική άρδευση και συχνή αντικατάσταση.

Επιχωμάτωση πρανών. Μερικά ιστορικά γήπεδα στη Σκωτία έχουν χρησιμοποιήσει την πρακτική της επιχωμάτωσης στην κατασκευή της πλευράς των αμμοπαγίδων (όπως φαίνεται στην εικόνα). Η επιχωμάτωση πραγματοποιείται με λωρίδες από χλοοτάπητα τοποθετούμενες διαδοχικά η μια πάνω από την άλλη σε στρώσεις για την διαμόρφωση μιας απότομης επιφάνειας αλλά σταθερής επικλινούς. Πίσω από την επιφάνεια του πρανούς που καλύπτεται με χλοοτάπητα προβλέπεται η κατασκευή συστήματος στράγγισης με άμμο, πάχους 0,60 m για την μείωση των προβλημάτων. Η ζώνη στράγγισης θα εκτείνεται καθ' όλο το μήκος και ύψος της επιχωμάτωσης και θα καταλήγει σε στραγγιστικό δίκτυο κατά μήκος της βάσης. Η τελική διαμόρφωση της επιφάνειας μετά την επιχωμάτωση γίνεται έτσι ώστε να μη δημιουργείται χείλος στο υψηλό άκρο της πλευράς καθώς επίσης και η επιφάνεια της άμμου στην πλευρά να μην είναι στο ίδιο επίπεδο με την επιφάνεια του χλοοτάπητα. Η επιχωμάτωση είναι χρήσιμη σε αμμώδη εδάφη την σταθεροποίηση των πρανών της πλευράς αμμοπαγίδας έναντι του κινδύνου διάβρωσης εξ' αιτίας του ανέμου. Η λιτότητα στην κατασκευή της επιχωμάτωσης της επιφάνειας, αναγκάζει πολλούς παίκτες του γκολφ να παίξουν τις επανορθωτικές βολές τους πλαγίως, ή μερικές φορές προς τα πίσω. Το ύψος κατασκευής των αμμοπαγίδων είναι τόσο εντυπωσιακό στην θέα όσο και να παίζεται. Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιχωμάτωση των αμμοπαγίδων πρέπει να ανακατασκευάζεται κάθε λίγα χρόνια.



Κατασκευές εισόδου. Στα πρώτα γήπεδα της Σκωτίας υπήρχαν ξύλινοι διάδρομοι σε ένα τμήμα της πλευράς σε μια απότομη αμμοπαγίδα. Η πρακτική αυτή έχει μειωθεί, δεδομένου ότι πρόσθετες κατασκευές αυτού του είδους θέτουν σε πιθανό κίνδυνο τον παίκτη σε περίπτωση αναπήδησης της μπάλας προς τα πίσω. Επιπλέον, η Αμερικανική Ένωση ατόμων με κινητικά προβλήματα (ADA) απαιτεί εξασφάλι-

ση αποτελεσματικής πρόσβασης στο παιχνίδι από όλα τα άτομα. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητες οι αλλαγές στον σχεδιασμό, όπως η κατασκευή κεκλιμένων ραμπών ή διαδρόμων στην πίσω πλευρά των αμμοπαγίδων για την βοήθεια των αναπήρων παικτών, όπου η περίμετρος είναι απότομη και ψηλή.

7.3.2 Χείλος αμμοπαγίδας

Οι παίκτες γκολφ δεν πρέπει να είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν συρτό κτύπημα από τις αμμοπαγίδες επάνω στην πράσινη επιφάνεια του γηπέδου. Κατά συνέπεια, η πλευρά των αμμοπαγίδων έχει ένα τυπικό εμπόδιο ή χείλος στο ψηλότερο μέρος της. Το χείλος αυτό που είναι καλυμμένο με χλοοτάπητα είναι το κατακόρυφο άκρο του χλοοτάπητα του γηπέδου που προσαρμόζεται στην αμμοπαγίδα. Το χείλος της αμμοπαγίδας έχει ύψος κανονικά 50 - 100 mm. Όπως προαναφέρθηκε, το καλυμμένο με χλοοτάπητα χείλος καθώς και το επίπεδο του χλοοτάπητα του γηπέδου, στη συνέχεια, πρέπει να ευρίσκονται ψηλότερα από το επίπεδο της άμμου στην πλευρά της αμμοπαγίδας. Το συγκεκριμένο ύψος του χείλους αμμοπαγίδας που επιλέγεται ποικίλλει με τα διάφορα είδη χλοοτάπητα. Το χείλος μιας αμμοπαγίδας εξυπηρετεί τέσσερις κυρίως σκοπούς:

- (α) να εμποδίσει τους παίκτες του γκολφ να πραγματοποιήσουν συρτό χτύπημα από τις αμμοπαγίδες τύπου greenside,
- (β) να εμποδίσει τις μπαλιές που προσγειώνονται στην αμμοπαγίδα να κυλήσουν έξω,
- (γ) να καθορίσουν με σαφήνεια τα όρια του εμποδίου για την ακριβή εφαρμογή των κανόνων παιχνιδιού και
- (δ) να σταθεροποιήσουν τα άκρα των αμμοπαγίδων.

Το χείλος αμμοπαγίδας χρησιμοποιείται κανονικά μόνο από την πράσινη πλευρά (greenside) του γηπέδου που είναι τοποθετημένη η αμμοπαγίδα τύπου greenside.

Το άκρο της αμμοπαγίδας που βρίσκεται στην πλευρά, μακριά από το greenside δεν είναι ανάγκη να έχει ευδιάκριτο χείλος, αλλά πρέπει να έχει ένα οριοθετημένο άκρο. Οι αμμοπαγίδες τύπου fairway κατασκευάζονται κανονικά χωρίς χείλη. Στην περίπτωση αυτή προβλέπεται προσεκτικό άπλωμα της άμμου των διαδρόμων μέχρι το όριο της αμμοπαγίδας.

Ο χαρακτήρας του χείλους αμμοπαγίδας επιβάλλει τον σαφή καθορισμό του. Η ανάπτυξη ενός υπερβολικού πλευρικού όγκου από το χείλος προς το εσωτερικό της αμμοπαγίδας δημιουργεί μια απροσδιόριστη ζώνη. Κατά συνέπεια, το χείλος πρέπει να συντηρείται περιοδικά και συγκεκριμένα να αρμολογείται και να κουρεύεται. Αυτή είναι βέβαια, μια ακριβή και χρονοβόρα λειτουργία (όπως βλέπουμε και στη παραπάνω εικόνα). Τα χείλη συχνά αφαιρούνται στις αμμοπαγίδες τύπου fairway. Σε αυτήν την περίπτωση, απαιτείται αρμολόγημα 1 - 2 φορές το χρόνο στο όριο της λωρίδας χλοοτάπητα που έχει εισχωρήσει εσωτερικά της αμμοπαγίδας. Η εργασία αυτή μπορεί να απαιτηθεί συχνότερα ανάλογα με την εποχή, με το κλίμα της περιοχής ή την ύπαρξη ζιζανίων στον χλοοτάπητα, που αναπτύσσονται σε πιο γρήγορους ρυθμούς.



7.3.3 Τοποθέτηση αμμοπαγίδων

Η τοποθέτηση των αμμοπαγίδων είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα του σχεδίου του γηπέδου και γι' αυτό το λόγο είναι ευθύνη του σχεδιαστή. Η τοποθέτηση εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο ο αρχιτέκτονας προβλέπει την ροή του παιχνιδιού και ποιος βαθμός δυσκολίας πρόκειται να επιβληθεί στην διαδικασία αυτού. Η τοποθέτηση αμμοπαγίδων τύπου fairway είναι γενικά στρατηγικής φύσης, δεδομένου ότι πρέπει να αναγκάσει τον παίκτη γκολφ να σκεφτεί την κατάλληλη κατεύθυνση ενός κτυπήματος έτσι ώστε να αποφύγει το πρόβλημα και να προχωρήσει στην επόμενη βολή. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο σχεδιαστής του γηπέδου μπορεί να προσθέσει μια αμμοπαγίδα σε μη στρατηγική θέση εφόσον η τοπογραφία το επιβάλλει ή εάν η αισθητική του γηπέδου δίνει αυτό το δικαίωμα. Εντούτοις, σε μια περίοδο αυξανόμενου κόστους συντήρησης, η χρήση τέτοιων δευτερευουσών αμμοπαγίδων πρέπει να ελαχιστοποιηθεί εκτός αν ενισχύουν πολύ το τύπο και την αισθητική ενός γηπέδου. Κανονικά η θέση των αμμοπαγίδων τύπου fairway καθορίζεται από την απόσταση από τις πίστες (tees) του γηπέδου στην μέση ή πίσω. Ο σχεδιασμός των απομακρυσμένων μεταξύ τους ή πολλαπλών πιστών (tees) προσθέτει άλλη/ές αμμοπαγίδα/ες στο παιχνίδι για όλα τα επίπεδα των παικτών. Σε παιχνίδι 5 τρυπών τοποθετούνται αμμοπαγίδες που συνδέονται με το δεύτερο επίπεδο για να προκαλούν τον καλύτερο παίκτη και δεν τοποθετούνται σε θέσεις που να δημιουργούν προβλήματα για τους παίκτες χαμηλού επιπέδου.

Η θέση των αμμοπαγίδων μπορεί επίσης να εξαρτηθεί από τα χαρακτηριστικά στράγγισης της περιοχής. Οι αμμοπαγίδες απαιτούν πολύ καλή επιφανειακή και υπεδάφια στράγγιση. Δεν υπάρχει τίποτα χειρότερο είτε για τους παίκτες είτε για τον συντηρητή του γηπέδου από αμμοπαγίδες γεμάτες με νερό. Σε επίπεδες περιοχές ή σε άλλες περιοχές όπου η απορροφητικότητα του εδάφους είναι μικρή, ο πυθμένας της

αμμοπαγίδας πρέπει να ανυψωθεί επάνω από το επίπεδο στράγγισης του περιβάλλοντος χώρου για να γίνεται ικανοποιητική στράγγιση. Εκεί όπου η επιφανειακή στράγγιση είναι καλή και μπορεί να εξασφαλιστεί ικανοποιητική υπεδάφια στράγγιση ή σε αμμώδη εδάφη με καλή απορροφητικότητα, οι αμμοπαγίδες μπορούν να κατασκευαστούν κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η ενδεχόμενη απορροή του επιφανειακού νερού από τις παρακείμενες κλίσεις ή από τον χλοοτάπητα ή από άλλο υποδοχέα θα πρέπει να μελετηθεί κατά την εγκατάσταση ή την κατασκευή των αμμοπαγίδων, έτσι ώστε να μην οδηγείται στις αμμοπαγίδες μεγάλη ποσότητα νερού, ούτε να συγκεντρώνεται επάνω ή μέσα στον χλοοτάπητα.

Από την άποψη των απαιτήσεων συντήρησης, οι αμμοπαγίδες τύπου greenside δεν πρέπει να τοποθετούνται πιο κοντά από 3 - 3,7 m από την επιφάνεια του παιχνιδιού (των τρυπών). Αυτή η απόσταση επιτρέπει την λειτουργία μεγάλων κουρευτικών μηχανών (του χλοοτάπητα) ελαχιστοποιώντας κατά συνέπεια το κόστος συντήρησης και ελαχιστοποιεί επίσης τις ριπές άμμου επάνω στην επιφάνεια του παιχνιδιού.

Η διάταξη των αμμοπαγίδων γύρω από ένα χώρο παιχνιδιού μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην κυκλοφορία μεταξύ της περιοχής του χώρου στάθμευσης των οχημάτων συντήρησης, στην είσοδο στον χώρο παιχνιδιού καθώς και στην διαδρομή εξόδου για την επόμενη πίστα. Αυτό με την σειρά του επηρεάζει την ποιότητα του χλοοτάπητα και την συμπύκνωση του εδάφους γύρω από την περιοχή. Ο αρχιτέκτονας πρέπει να αξιολογήσει τον πιο αποτελεσματικό σχεδιασμό και αισθητική εμφάνιση, σε συνδυασμό με την πιο πρακτική και οικονομική συντήρηση. Εκεί όπου το έντονο παιχνίδι θα είναι κύριος παράγοντας, πρέπει να αποφευχθεί μια μεγάλη αμμοπαγίδα τύπου greenside εφόσον αυτή θα εμποδίζει τη φυσική είσοδο ή την έξοδο από το χώρο παιχνιδιού στην επόμενη πίστα. Στις περιπτώσεις αυτές οι αμμοπαγίδες προκαλούν κυκλοφοριακή συμφόρηση σε μια στενή περιοχή ή αναγκάζουν τους παίκτες να βγουν έξω από τον χώρο παιχνιδιού και να πάρουν την κατεύθυνση των επερχόμενων παικτών. Μια καλύτερη λύση θα ήταν να δημιουργηθούν δύο ή περισσότερες ξεχωριστές αμμοπαγίδες με μια πλατιά έκταση με χλοοτάπητα ανάμεσα τους. Η ταχύτητα του παιχνιδιού αυξάνεται όταν η είσοδος και η έξοδος από τον χώρο παιχνιδιού γίνεται ευκολότερα. Ενώ μειώνονται με τη σειρά τους τα προβλήματα στο χώρο παιχνιδιού (greenside) που οφείλονται στην υπερβολική χρήση, την συμπίεση του εδάφους και της μείωσης πυκνότητας του χλοοτάπητα.

7.3.4 Βάθος άμμου

Ένας καλός κανόνας είναι να τοποθετηθεί η άμμος στο ελάχιστο δυνατό βάθος, προκειμένου να περιοριστούν τα προβλήματα τύπου «fried-egg lies». Μια σειρά οδηγιών του βάθους της άμμου παρουσιάζεται στον πίνακα 7.1. Το διαμορφωμένο βάθος της άμμου στον πυθμένα των αμμοπαγίδων τύπου greenside πρέπει να είναι τουλάχιστον 100 mm, με προτίμηση τα 100 - 150 mm. Ένα βάθος των 50 - 100 mm προτείνεται για το ανώτερο τμήμα της (πλευρικής) επιφάνειας, ενώ προτιμάται 75 mm εάν ο σχεδιασμός των αμμοπαγίδων απαιτεί μεγάλη και απότομη κλίση. Ένα πιο ρηχό βάθος στο ανώτερο τμήμα της επιφάνειας αυξάνει τη συντήρηση και την επιδεξιότητα του παιχνιδιού, καθώς, όταν η μπάλα χτυπήσει μια σχετικά απότομη, πλευρική επιφάνεια άμμου βάθους 75 mm, αυτό δε θα θαφτεί, αλλά θα κυλήσει προς τα κά-

τω στον επίπεδο πυθμένα. Κατά συνέπεια, ελαχιστοποιείται η ανάγκη διαμόρφωσης της άμμου και επιδιόρθωσης της επιφάνειας της αμμοπαγίδας επειδή ο παίκτης δεν είναι υποχρεωμένος να αναρριχηθεί για να κάνει ένα κτύπημα. Πρόσθετο κέρδος από αυτό είναι η βελτιωμένη ταχύτητα του παιχνιδιού και το μικρότερο κόστος αντικατάστασης της άμμου.

Πίνακας 7.1

Προτεινόμενα εγκατεστημένα βάθη άμμου για διάφορες αμμοπαγίδες, υποθέτοντας ότι η άμμος της επιθυμητής κοκκομετρικής σύνθεσης επιλέγεται με κόκκους αιχμηρούς και τραχείς.

Αμμοπαγίδα		Προτεινόμενο βάθος άμμου σε mm	
Τύπος	Θέση	Εύρος κατασκευής	Προτεινόμενες τιμές
Greenside	Βάση	100 - 200	125 - 150
Greenside	Πλευρά με απότομη κλίση	50 - 100	75
Greenside	Πλευρά με μέτρια κλίση	75 - 125	75 - 100
Fairway	Βάση	100 - 150	125

Το βάθος της άμμου των αμμοπαγίδων τύπου fairway είναι πιο ρηχό από αυτό των αμμοπαγίδων τύπου greenside, έχοντας συνήθως πάχος 100 - 150 mm. Το πιο ρηχό βάθος εξασφαλίζει μια στερεή επιφάνεια για τις μακρινές βολές καθώς και τις μειωμένες δαπάνες αγοράς της άμμου. Τα προτεινόμενα βάθη στον πίνακα 7.1 βασίζονται στην υπόθεση ότι η άμμος της επιθυμητής κοκκομετρικής σύνθεσης επιλέγεται με κόκκους αιχμηρούς και τραχείς. Εάν χρησιμοποιείται άμμος γνωστών προδιαγραφών, αυτό επιτρέπει ένα μεγαλύτερο πάχος άμμου με λιγότερα προβλήματα διάβρωσης και ρύπανσης και πιο αποτελεσματική χρήση μηχανοκίνητων οχημάτων σάρωσης.

Η πυκνότητα της άμμου για ένα βάθος 75 mm είναι ισοδύναμη με $0,66\text{m}^3/10\text{m}^2$, ενώ ένα βάθος 125 mm είναι ισοδύναμο με $1,1\text{ m}^3/10\text{ m}^2$. Η προβλεπόμενη διαμόρφωση στο τελικό βάθος είναι λιγότερη από 10%.

7.3.5 Περιμετρικά πλαίσια αμμοπαγίδων

Τα πλαίσια (surrounds) αμμοπαγίδων αναφέρονται στην καλυμμένη με χλοοτάπητα περιοχή που περιβάλλουν άμεσα την αμμοπαγίδα. Συνήθως περιλαμβάνει σχετικά απότομες κλίσεις, ειδικά στις αμμοπαγίδες τύπου greenside και fairway. Είναι προτιμότερο η βάση και η κλίση του περιγράμματος που συνδέεται με τις αμμοπαγίδες να σχεδιαστούν έτσι ώστε η πλειοψηφία των πλαισίων να μπορεί να κουρεύεται με ένα μηχανοκίνητο εργαλείο. Ανάλογα με το σχέδιο και την τοποθέτηση των αμμοπαγίδων από τον αρχιτέκτονα, μπορεί ένα τμήμα των περιμετρικών πλαισίων της αμμοπαγίδας να είναι απαραίτητο να κουρεύονται με χειροκίνητο εργαλείο. Η συχνότητα κουρέματος των περιμετρικών πλαισίων των αμμοπαγίδων πρέπει να είναι σε μικρότερα διαστήματα απ' ότι ο κύριος χλοοτάπητας επειδή τα πλαίσια έχουν πιο έντονη άρδευση.

Οι απότομες κλίσεις που έχουν πολλές αμμοπαγίδες, σε συνδυασμό με την εσωτερική περιοχή ξηράς άμμου, έχουν σαν αποτέλεσμα την αυξανόμενη πίεση του νερού στον γειτονικό χλοοτάπητα, ειδικά κατά τη διάρκεια της ξηράς περιόδου του θέρους. Κατά συνέπεια, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό ενός ειδικού συστήματος άρδευσης που να έχει ικανότητα παροχής της κατάλληλης ποσότητας νερού με χρονικό προγραμματισμό και συγχρόνως την διαρροή νερού μέσα στην αμμοπαγίδα, κατά το δυνατό. Όπως είναι γνωστό χρησιμοποιούνται διαφορετικές ποιότητες χλοοτάπητα στα (περιμετρικά) πλαίσια των αμμοπαγίδων, με σκοπό να υπάρχει ευδιάκριτη ζώνη διαχωρισμού της περιοχής του παιχνιδιού (greenside) από τα περιμετρικά πλαίσια των αμμοπαγίδων. Για το λόγο αυτό, η άρδευση των πλαισίων θα γίνεται με κεφαλές διαφορετικού τύπου, που θα ελέγχονται ανεξάρτητα. Δηλαδή μια πρώτη ζώνη με εμβέλεια 180° παροχής κατάλληλης ποσότητας νερού στην (πράσινη) επιφάνεια του παιχνιδιού, ενώ η δεύτερη ζώνη εμβέλειας 180° παροχής νερού στα πλαίσια πρασίνου της αμμοπαγίδας.

Επίσης υπάρχουν περιπτώσεις όπου ένα τρίτο ευδιάκριτο ανεξάρτητο συμπληρωματικό σύστημα άρδευσης απαιτείται στις απότομες κλίσεις χλοοτάπητα είτε σε μικρές στενές λωρίδες πρασίνου που επεκτείνονται μέσα στην αμμοπαγίδα. Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει τη χρήση μικρής διαμέτρου, κεφαλών ψεκασμού με μικρή παροχή νερού που ελέγχονται ανεξάρτητα μέσω αυτόματης ή χειρονακτικής βαλβίδας.

Η κατασκευή αμμοπαγίδων σύμφωνα με τους κανονισμούς περιλαμβάνει συνήθως την δημιουργία ενισχυμένης ζώνης από επαρκή ποσότητα κατάλληλου υλικού πλήρωσης, έτσι ώστε ο πυθμένας της αμμοπαγίδας να διαμορφώνεται σε στάθμη ανώτερη της αντίστοιχης στάθμης επιφανείας του γηπέδου. Το εδαφολογικό υλικό που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση των κλίσεων και των αναχωμάτων που περιβάλλουν την αμμοπαγίδα είναι χαρακτηριστικά χαμηλής ποιότητας. Συνεπώς, είναι σημαντικό ότι το βάθος της ριζικής ζώνης της επιφανείας πλαισίου αμμοπαγίδας πάχους 150 - 200 mm πρέπει να κατασκευασθεί από καλής ποιότητας φυτόχωμα κατά προτίμηση από αργιλικής έως αργιλικής/αμμώδους σύστασης. Αυτή η κατασκευή είναι σημαντική για την εξασφάλιση μακροπρόθεσμης συντήρησης των πλαισίων των αμμοπαγίδων όπου οι απότομες κλίσεις, οι συνθήκες ξηρασίας και οι συγκεντρωμένες περιοχές έντονης κυκλοφορίας αυξάνουν σημαντικά τη δυσκολία στη διατήρηση του χλοοτάπητα.

7.4 Επιλογή άμμου

Τα κριτήρια που εξετάζονται για την επιλογή της άμμου για τις αμμοπαγίδες περιλαμβάνουν:

- (α) μέγεθος κοκκομετρικής κατανομής,
- (β) σχήμα κόκκων,
- (γ) χρώμα,
- (δ) σύνθεση,
- (ε) καθαρότητα και
- (στ) μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα.

Επισημαίνεται ότι οι παίκτες στα ιδιωτικά γήπεδα έχουν προσωπικές προτιμήσεις ως προς τα χαρακτηριστικά της άμμου των αμμοπαγίδων, τα οποία βέβαια μπορούν να ποικίλουν. Κατά συνέπεια, είναι ενδεχόμενο, κάποιες ποιότητες άμμου που πληρούν τις προδιαγραφές και παρουσιάζονται σε αυτό το κείμενο, είναι δυνατό να μη γίνονται αποδεκτές από ορισμένες ομάδες παικτών.

7.4.1 Μέγεθος κόκκων άμμου

Η επιλογή του σωστού μεγέθους κοκκομετρικής κατανομής της άμμου είναι μια σημαντική απόφαση, δεδομένου ότι έχει επιπτώσεις στην ποιότητα του παιχνιδιού από τις αμμοπαγίδες όπως και η συντήρηση των αμμοπαγίδων. Κατά συνέπεια, η απόφαση πρέπει να βασιστεί εν μέρει από την φυσική ανάλυση του μεγέθους των κόκκων της άμμου, που διεξάγεται από ένα αξιόπιστο, αναγνωρισμένο Εργαστήριο δοκιμών. Η άμμος του προτιμώμενου μεγέθους κοκκομετρικής κατανομής προσφέρεται για μεγάλη ποικιλία “καθισμάτων” της μπάλας ανάλογα με τη γωνιά εισόδου και τη δύναμη της μπάλας στη πρόσκρουση. Η προτεινόμενη κατανομή για την άμμο αμμοπαγίδων, με αιχμηρή και τραχεία μορφή κόκκων παρουσιάζεται στον πίνακα 7.2. Η άμμος που προτείνεται για βολές στις αμμοπαγίδες πρέπει να περάσει μέσω ενός φίλτρου, διαμετρήματος 16-mesh και να διατηρηθεί σε ένα φίλτρο διαμετρήματος 150-mesh. Ένα μεγάλο ποσοστό κατ’ ελάχιστο 75%, πρέπει να είναι διάστασης κόκκου 0,25 - 1 mm. Η άμμος αυτών των χαρακτηριστικών ικανοποιεί κατά τον καλύτερο τρόπο το παιχνίδι, όσον αφορά:

- (α) το “κάθισμα” της μπάλας,
- (β) την σταθερότητα του πατήματος,
- (γ) το ελάχιστο πάχος επιφανειακού φλοιού,
- (δ) την εσωτερική στράγγιση του νερού,
- (ε) ευκολία συντήρησης.

Ιδανικά, η άμμος εξασφαλίζει την επιθυμητή θέση της μπάλας στις αμμοπαγίδες τύπου greenside όταν η μπάλα είναι ελαφρώς πιεσμένη στο αποτύπωμα της (όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα). Η άμμος που συγκρατεί τη μπάλα αρκετά σφιχτά, δίνει λίγους ή καθόλου βαθμούς ποινής, ενώ η άμμος που είναι πάρα πολύ μαλακή συχνά οδηγεί σε ένα εγκιβωτισμό της μπάλας σε μια κοιλότητα.

Η άμμος με κυκλικό σχήμα ή μικρού μεγέθους κοκκομετρικής σύνθεσης είναι ανεπιθύμητη επειδή παραμένει πάρα πολύ χαλαρή. Κατά συνέπεια προτιμώνται ποιότητες άμμου που χαρακτηρίζονται από ευδιάκριτα μεγέθη κόκκων που κατανέμονται στην προτεινόμενη κατανομή, δεδομένου ότι αποδεικνύονται πιο σταθερές. Επίσης, η άμμος της προτεινόμενης κοκκο-



μετρικής κατανομής δημιουργεί ελάχιστα προβλήματα συντήρησης όταν εκτινάζεται πάνω στην επιφάνεια του παιχνιδιού, καθώς οι κόκκοι πέφτουν εύκολα στο φύλλωμα του χλοοτάπητα. Πέτρες και κόκκοι άμμου μεγέθους πάνω από 1 mm πρέπει να κοσκινίζονται εκ νέου ή να απορριφθούν δεδομένου ότι:

- (α) μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στο μηχάνημα κοπής χλοοτάπητα,
- (β) δεν μπορούν να αφαιρεθούν από την αμμοπαγίδα από έναν παίκτη, όταν για παράδειγμα μια πέτρα βρίσκεται δίπλα στη μπάλα, επειδή αυτό θεωρείται ποιινή, (εκτός κι αν τροποποιείται από κάποιο άλλο τοπικό κανονισμό και
- (γ) μπορεί να επιβραδύνει το παιχνίδι λόγω του χρόνου που θα χρειαστούν οι παίκτες για να μαζέψουν τα ορατά σωματίδια από τη γραμμή βολής (putting line).

Η άμμος των αμμοπαγίδων στο προτεινόμενο εύρος κατανομής περιλαμβάνεται στην ανάλογη κατανομή μεγέθους κόκκων που προτείνεται για την τοποθέτηση του πράσινου μείγματος ριζικού υποβάθρου (πίνακας 7.2). Κατά συνέπεια, η μικρή συγκέντρωση άμμου στον χλοοτάπητα του γηπέδου, που προέρχεται από εκτινάξεις κατά τη διάρκεια των βολών, δημιουργούν ελάχιστα προβλήματα στην ανάπτυξη του ριζικού υποβάθρου.

Μετακίνηση από τον άνεμο. Η σημαντικότερη ένσταση στην παρούσα έρευνα είναι στις περιοχές όπου οι υψηλής ταχύτητας άνεμοι, αποτελούν επαναλαμβανόμενο πρόβλημα. Το προσωπικό των γηπέδων του γκολφ μπορεί να αναγκαστεί να χρησιμοποιήσει άμμο με διάμετρο μεγαλύτερη από 1 mm σε κλιματολογικές περιοχές όπου οι ταχύτητες του αέρα είναι αρκετά μεγάλες για να φυσήξουν λεπτότερους κόκκους άμμου από τις αμμοπαγίδες. Ο καθορισμός του απαιτούμενου μεγέθους κόκκων άμμου για να επιτύχει σταθερότητα, έναντι της διάβρωσης των αμμοπαγίδων από τον άνεμο για μια δεδομένη κλιματολογική περιοχή θα προκύψει μέσω πειραματικής διαδικασίας. Η παρουσία ενός μικρού κλάσματος λεπτόκοκκης άμμου μπορεί επίσης να είναι ευεργετική. Το πρόβλημα μετακίνησης από τον άνεμο μπορεί να ανακουφιστεί μερικώς εάν ο αρχιτέκτονας σχεδιάζει βαθιές αμμοπαγίδες ή αμμοπαγίδες που προστατεύονται καλά από τα περιβάλλοντα αναχώματα. Η χρήση διάφορων μικρότερων αμμοπαγίδων αντί μιας ενιαίας μεγάλης έκτασης είναι επίσης ενδεδειγμένη σε εκτεθειμένες σε ανέμους περιοχές.

Πίνακας 7.2

Προτεινόμενη κοκκομετρική κατανομή άμμου αμμοπαγίδας
(για άμμο με αιχμηρούς και τραχείς κόκκους)

Προτεινόμενα μεγέθη κοκκομετρικής κατανομής					Τοποθέτηση πράσι- νου μείγματος ριζι- κού υποβάθρου	
	ASTM ¹	U.S. Series (NBS ²)	Διάμετρος κόκκων (mm)	Άνοιγμα κόσκινου (inch)		
	4	4	4,75	0,187		
	5	-	4,00	0,157		
	6	6	4,36	0,132		
	7	-	2,83	0,111		
	8	8	2,38	0,0937		
	9	10	2,00	0,0787		
	10	12	1,68	0,0661		
	12	14	1,41	0,0555		
	14	16	1,19	0,0469		
Εύρος κατα- νομής για χρήση αμμο- παγίδων	16	18	1,00	0,0394	Εύρος κα- τανομής ριζικού υ- ποβάθρου	Χοντρό
	20	20	0,84	0,0331		
	24	-	0,71	0,0278		
	28	30	0,59	0,0234		
	32	35	0,50	0,0197		
	35	40	0,42	0,0176	Μέτριο	
	42	45	0,35	0,0139		
	48	50	0,30	0,0117		
	60	60	0,25	0,0098		
		65	70	0,21	0,0083	Λεπτό
		80	80	0,18	0,0070	
		100	100	0,15	0,0059	
	115	120	0,13	0,0049		
	150	140	0,11	0,0041		
	170	170	0,09	0,0035		
	200	200	0,07	0,0029		
	250	230	0,06	0,0025		
	270	270	0,05	0,0021		
	325	325	0,04	0,0017		

¹Αμερικανική Εταιρεία Υλικών

²Αμερικανικός Εθνικός Οργανισμών Προτύπων

7.4.2 Μορφή άμμου

Οι αιχμηροί και τραχείας μορφής κόκκοι άμμου προτιμώνται για τη χρήση αμμοπαγίδων δεδομένου ότι αυτοί συνδέονται μεταξύ τους καλύτερα σε σχέση με κόκκους στρογγυλού σχήματος με λείες ακμές και αποτελούν σταθερότερες επιφάνειες για παιχνίδι. Οι στρογγυλού σχήματος λείοι κόκκοι έχουν τάση να μετατοπίζονται πάνω στο έδαφος. Υπάρχει επίσης, μεγάλη πιθανότητα η μπάλα να παραμείνει, κατά την πτώση της θαμμένη στην άμμο της αμμοπαγίδας, εάν αυτή συντίθεται από ομοιόμορφους μεγέθους στρογγυλού σχήματος λείους κόκκους. Η σταθερότητα σύνθεσης άμμου αυτής της ποιότητας, σε αποδεκτά επίπεδα, επέρχεται με την πάροδο μακρού χρόνου που κυμαίνεται από μερικούς μήνες μέχρι μερικά χρόνια. Μια μαλακή άμμος που προέρχεται από στρογγυλεμένους κόκκους και περιορισμένη κατανομή μεγεθών, θα σταθεροποιηθεί τελικά, καταλήγοντας να γίνει σκληρή, μέσω ανάλογης διάβρωσης από την σκόνη οργανικών ουσιών και από την ανάμειξη της με άλλα στοιχεία από το έδαφος της αμμοπαγίδας.

7.4.3 Χρώμα άμμου

Οι ανοιχτού χρώματος κόκκοι της άμμου, όπως το καστανόχρυσο ή το ανοικτό γκρι, προτιμώνται σε σχέση με τα ανοιχτόχρωμα. Τα ανοιχτού χρώματος κόκκοι άμμου δημιουργούν αισθητή αντίθεση με τον περιβάλλοντα πράσινο χλοοτάπητα, παρέχοντας έτσι ένα πιο οπτικά αισθητικό δέσιμο. Βέβαια το μέγεθος και η μορφή της άμμου είναι αυτά στα οποία πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη προτεραιότητα απ' ότι στο χρώμα. Παραδείγματος χάριν, εάν η μοναδική άμμος που διατίθεται είναι η λευκή, η οποία δεν πληροί τις προδιαγραφές ως προς το σχήμα και το μέγεθος και η σκουρόχρωμη που βρίσκεται στα πλαίσια των προτεινόμενων οδηγιών, πρέπει να επιλέγει η δεύτερη. Η λευκή άμμος ή αντανάκλαστική προκαλεί έντονη θάμβωση, η οποία είναι απαράδεκτη και γι' αυτό το λόγο πρέπει να αποφεύγεται διότι δυσκολεύει την θέα της μπάλας και τις βολές.

7.4.4 Σύνθεση άμμου

Οι ποιότητες της άμμου ποικίλλουν στη σύνθεση. Άμμος σκληρή, πυριτική είναι προτιμητέα από τις μαλακές, ασβεστούχες άμμους όπως η κοραλλίσια ή η ασβεστολιθική άμμος. Η σταθερότερη σύνθεση είναι η καλύτερη επιλογή. Οι μαλακότερες άμμοι καταρρέουν κάτω από τη συνεχή διάβρωση και κατά συνέπεια οι κόκκοι τείνουν να κολλήσουν μεταξύ τους, και για να ξεκολλήσουν στη συνέχεια απαιτείται καθημερινή σάρωση για να απομακρύνει το απαράδεκτο επικάλυμμα. Η αλλοίωση αυτή απαιτεί συχνότερες και δαπανηρότερες αντικαταστάσεις απ' ότι συμβαίνει στη περίπτωση της σταθερότερης άμμου πυριτίου.

7.4.5 Καθαρότητα άμμου

Η άμμος που επιλέγεται πρέπει να είναι απαλλαγμένη από ξένα υλικά, το οποίο εξασφαλίζεται από την πλύση. Τα δυσάρεστα ξένα υλικά περιλαμβάνουν:

(α) άργιλο, λάσπη, και οργανική ουσία τα οποία τείνουν να σταθεροποιήσουν την άμμο, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ανεπιθύμητης επικάλυψης και μειωμένη ικανότητα στράγγισης,

(β) αμμοχάλικο ή άλλα θρυμματισμένα πετρώματα, που υπεισέρχονται συνήθως από τα φορτηγά μεταφοράς και

(γ) βιώσιμοι σπόροι ή άλλες φυτικές ουσίες που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα από ζιζάνια στην άμμο.

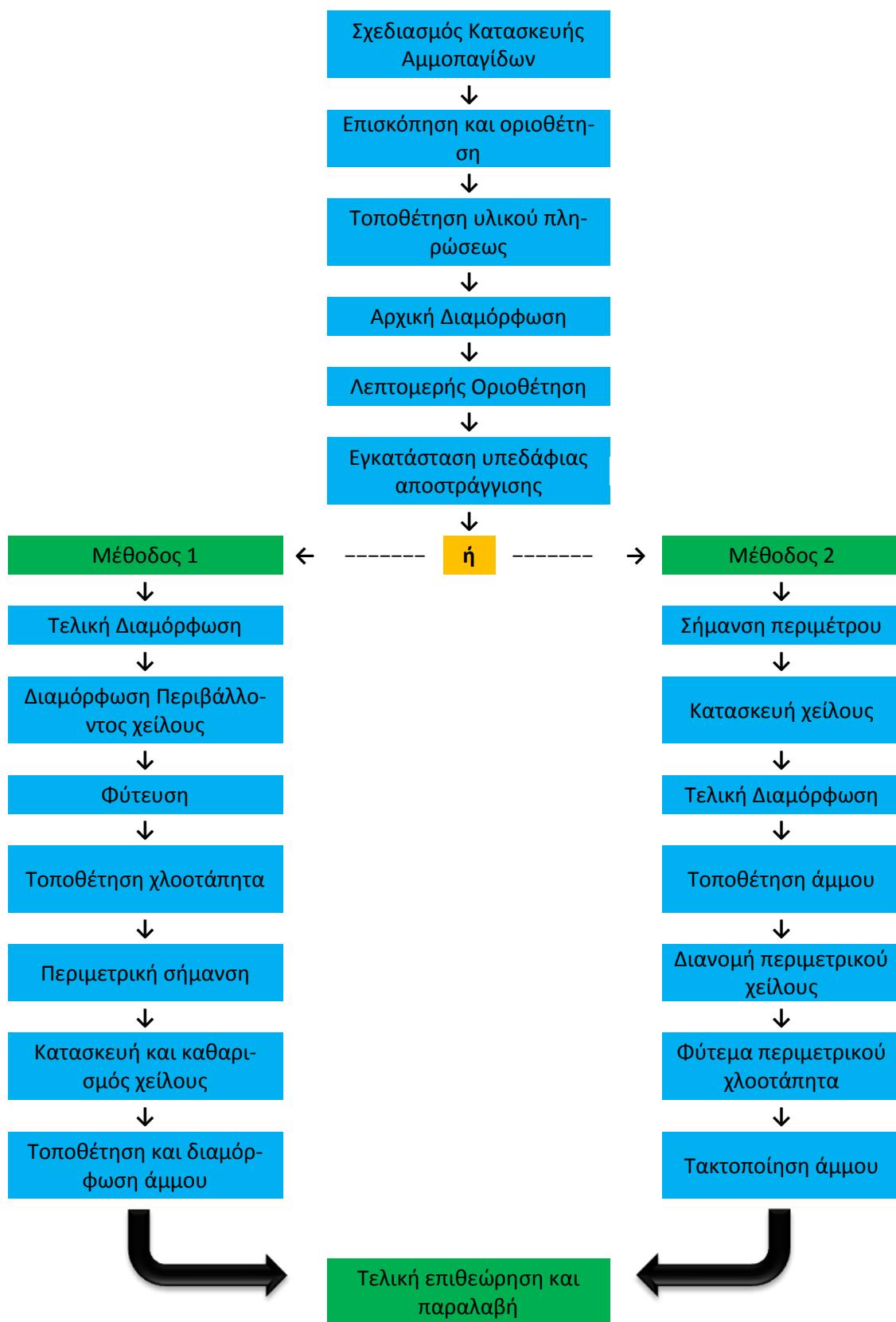
Για το λόγο αυτό επιβάλλεται επιθεώρηση σε κάθε φορτηγό που διανέμει πλυμένη άμμο για να εξασφαλίζεται ότι η άμμος του έχει την καθαρότητα που προδιαγράφεται καθώς και την ανάλογη ποιότητα προτού αυτή γίνει αποδεκτή.

7.5 Κατασκευή αμμοπαγίδων

Το πρώτο κριτήριο για την καλή κατασκευή αμμοπαγίδων είναι η ικανοποιητική στράγγιση, συμπεριλαμβανομένης της επιφανειακής και της υπεδάφιας στράγγισης. Ο απώτερος σκοπός στην επιφανειακή στράγγιση των περιμετρικών πλαισίων (surrounds) των αμμοπαγίδων είναι η απομάκρυνση του επιφανειακού νερού, έτσι ώστε να μην εισχωρήσει στην αμμοπαγίδα, και προκαλέσει διάβρωση της άμμου, ειδικά στην επιφάνεια. Το να αντικαταστήσουμε τη διαβρωμένη άμμο στις αμμοπαγίδες είναι μια από τις πιο δαπανηρές διαδικασίες εργασίας σε ένα γήπεδο γκολφ. Η κακή στράγγιση δεν επιφέρει μόνο το χρονοβόρο και δαπανηρό έργο της αντικατάστασης της άμμου, αλλά δημιουργεί και πρόσθετα προβλήματα στην άμμο που αποχρωματίζεται και μολύνεται με τη διαβρωμένη λάσπη, τον άργιλο, και άλλα οργανικά υλικά. Η εγκατάσταση συστήματος στράγγισης καθώς και η κατασκευή διαμόρφωσης του χείλους της αμμοπαγίδας θα πρέπει να ολοκληρώνονται πριν από το γέμισμα της άμμου. Ένα διάγραμμα ροής για την κατασκευή των αμμοπαγίδων με δύο μεθόδους παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα 7.5.

7.5.1 Τοποθέτηση και οριοθέτηση

Το πρώτο βήμα της κατασκευής είναι να τοπογραφηθεί και να περιφραχθεί κάθε θέση που θα φτιαχτεί αμμοπαγίδα σύμφωνα με το σχέδιο του αρχιτέκτονα. Οι θέσεις των αμμοπαγίδων τύπου fairway θα σημειωθούν με σαφήνεια στο σχέδιο. Οι αμμοπαγίδες τύπου greenside είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι ολόκληρου του σχεδίου του γηπέδου και ως εκ τούτου προσκολλώνται σ' αυτό η περιοχή κανονικά σαν πλήρεις μονάδες. Οι θέσεις και τα υψόμετρα συνήθως αναφέρονται στις στάθμες του γενικού σχεδίου. Οι αμμοπαγίδες οριοθετούνται αφότου έχει ολοκληρωθεί ο καθαρισμός και το σκάψιμο τους και προτού πραγματοποιηθούν η αρχική εξομάλυνση και τα γενικά χωματουργικά έργα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά κατασκευής των περισσότερων αμμοπαγίδων απαιτούν πλήρωση με χώμα και γι' αυτό το λόγο πρέπει να οριοθετηθούν για να φανεί η θέση απόθεσης των υλικών.



Σχήμα 7.5 Διάγραμμα ροής δύο μεθόδων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή αμμοπαγίδων.

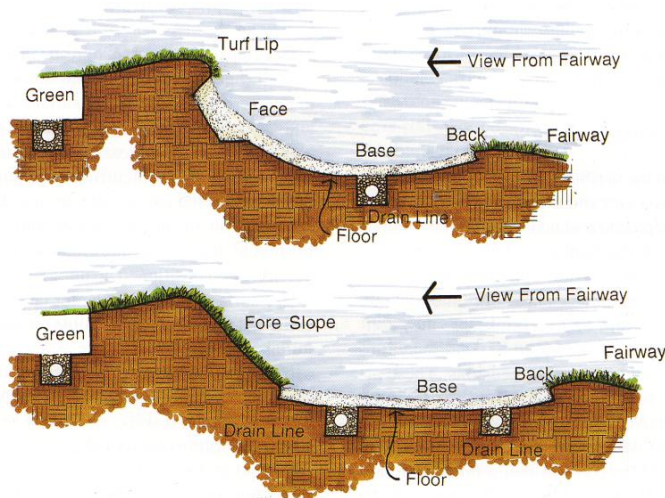
7.5.2 Αρχική διαμόρφωση

Για την αρχική διαμόρφωση των αμμοπαγίδων συνήθως χρησιμοποιείται ένας μικρός εκσκαφέας. Μετά από τη διαμόρφωση ο αρχιτέκτονας μπορεί να ελέγξει και να εγκρίνει την αμμοπαγίδα (εικόνα). Σε περιπτώσεις μικρών αμμοπαγίδων που κατασκευάζονται με απότομες κλίσεις ή λόγω της παρουσίας μεγάλων βράχων, συνήθως χρησιμοποιείται ο εκσκαφέας για να σκάψει την αμμοπαγίδα. Δεδομένου ότι η σύγχρονη τάση σχεδιασμού είναι η κατασκευή ευδιάκριτων αμμοπαγίδων, τις περισσότερες φορές είναι απαραίτητο το γέμισμα με κατάλληλο υλικό στη θέση κάθε προτεινόμενης αμμοπαγίδας. Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται για την κάλυψη του πυθμένα των αμμοπαγίδων, των περιμετρικών πλαισίων και



της πλευρικής επιφάνειας. Η χρήση γεμίματος για να ανυψωθεί η αμμοπαγίδα, ειδικά σε επίπεδα εδάφη, βοηθά επίσης στη διασφάλιση επαρκούς αποστράγγισης των αμμοπαγίδων. Το γέμισμα δεν είναι απαραίτητο να δημιουργήσει ορατότητα όπου οι αμμοπαγίδες πρόκειται να χαραχθούν σε μια υπάρχουσα επικλινή επιφάνεια ή στην πλευρά του πρασίνου. Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να αφαιρεθεί από ολόκληρη την περιοχή κατασκευής της αμμοπαγίδας η υπάρχουσα επιφανειακή βλάστηση και να παραμείνει ως απόθεμα για την ανακατανομή της μόλις κατασκευαστεί η αμμοπαγίδα.

Πολλές αμμοπαγίδες κατασκευάζονται έτσι ώστε η “πλάτη”, δηλαδή η πλευρά που βρίσκεται κοντά στο ύψωμα, να ευρίσκεται στο υπάρχον επίπεδο εδάφους, ενώ η “πρόσθια πλευρά”, δηλαδή η πλευρά που βρίσκεται κοντά στην πράσινη περιοχή του παιχνιδιού, ανυψώνεται για να δημιουργήσει μια ορατή επιφάνεια (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα). Το ύψος αυτής της επιφάνειας εξαρτάται από την ανάγκη για ορατότητα και την διατήρηση του αρχιτεκτονικού ύφους, καθώς επίσης και από τους βαθμούς της επιδιωκόμενης ποιής. Γενικά, οι επιφάνειες των αμμοπαγίδων τύπου fairway δεν είναι σαφείς



και επιτρέπουν στον παίκτη γκολφ να προωθήσει την μπάλα σε μια αξιόλογη απόσταση, ίσως ακόμη και μέχρι την περιοχή πρασίνου με εξαιρετική εκτέλεση. Οι πλευρικές επιφά-

και επιτρέπουν στον παίκτη γκολφ να προωθήσει την μπάλα σε μια αξιόλογη απόσταση, ίσως ακόμη και μέχρι την περιοχή πρασίνου με εξαιρετική εκτέλεση. Οι πλευρικές επιφά-

νιες των αμμοπαγίδων τύπου greenside είναι συχνά ψηλές, δεδομένου ότι η απόσταση από την περιοχή του χλοοτάπητα δεν λειτουργεί σαν ένας αποτρεπτικός παράγοντας. Στις μεγάλου μήκους αμμοπαγίδες τύπου fairway, μπορεί να δημιουργηθούν αναχώματα με χλοοτάπητα κατά μήκος της πλευράς των αμμοπαγίδων για την δημιουργία τρισδιάστατου ανάγλυφου. Η άμμος ισοπεδώνεται με την επιφάνεια αυτών των αναχωμάτων ενισχύοντας έτσι την οπτική γοητεία.

Η κλίση της βάσης των αμμοπαγίδων πρέπει να ταιριάζει ομαλά με τις πλευρικές επιφάνειες τους προς την πρόσθια πλευρά. Οι μεγάλες ελεύθερης μορφής αμμοπαγίδες μπορούν να έχουν περισσότερες από μια διευθύνσεις κλίσεων, ανάλογα με τη μορφή και το σχήμα τους. Το επίπεδο της επιφάνειας της άμμου στη πλάτη ή στις πλευρές της αμμοπαγίδας είναι συνεπίπεδο με το παρακείμενο έδαφος. Αυτό απομακρύνει την παρουσία του κατακόρυφου χείλους που επηρεάζει την κίνηση για χτύπημα ενός παίκτη γκολφ. Και θα μπορούσε να αναγκάσει έναν παίκτη γκολφ να παίξει από πλάγια θέση προκειμένου να προωθηθεί τη μπάλα προς την τρύπα με μεγαλύτερη πιθανότητα.

7.5.3 Εγκατάσταση αποστράγγισης

Στις περιπτώσεις όπου η συνολική μορφή του εδάφους παρουσιάζει κλίση μέσα στην αμμοπαγίδα, απαιτούνται χαρακτηριστικά στοιχεία σχεδιασμού. Η αποτυχία συγκράτησης των επιφανειακών όμβριων υδάτων στην αμμοπαγίδα και απομάκρυνσης της από αυτήν, μετά την βροχή θα δημιουργήσει προβλήματα διάβρωσης της άμμου, πρόωρη διάβρωση και μόλυνση από άργιλο και λάσπη καθώς και συνεχή ανάγκη για πολυδάπανη αντικατάσταση της διαβρωμένης άμμου (όπως παρατηρείται στην παρακάτω εικόνα). Η παγίδευση του επιφανειακού νερού από την αμμοπαγίδα μπορεί να επιτευχθεί μέσω ενός μικρού καναλιού ή μιας μικρής τάφρου εκτροπής τοποθετημένης με ανάποδη κλίση από την αμμοπαγίδα. Αυτά τα κανάλια συλλογής των επιφανειακών νερών μπορούν να κατασκευαστούν από έναν μικρό εκσκαφέα κατά την διάρκεια της αρχικής διαμόρφωσης της αμμοπαγίδας. Σε εδάφη με μικρή απορροφητικότητα απαιτείται πρόσθετη κατασκευή ενός υπόγειου αποστραγγιστικού δικτύου συλλογής νερού τοποθετούμενου παράλληλα και κάτω από το κέντρο αυτού του στραγγιστικού καναλιού.

Το εσωτερικό κάθε αμμοπαγίδας πρέπει να έχει κλίση 2-3% κατά μήκος ούτως ώστε να κατευθύνει το νερό μέσα σε ένα αποστραγγιστικό αγωγό για να εξασφαλίσει επαρκή εσωτερική αποστράγγιση. Οι μεγάλης έκτασης αμμοπαγίδες με τις πολλαπλές κλίσεις χρειάζονται περισσότερους από έναν αποστραγγιστικούς σωλήνες ενώ είναι ενδεδειγμένη η πρόβλεψη πρόσθετου αποστραγγιστικού κλάδου σε σχήμα «ψαροκόκαλου». Κανονικά, χρη-



σιμοποιούμε διάτρητο πλαστικό σωλήνα διαμέτρου 75-100mm γι' αυτά τα αποστραγγιστικά δίκτυα. Για την αποφυγή πιθανών προβλημάτων απόφραξης, οι στραγγιστικοί αγωγοί μπορούν να προστατεύονται με κατάλληλα υλικά όπως είναι τα περισσότερα μη βιοδιασπώμενα πλαστικά, ίνες υάλου ή γαιούφασματα, τα οποία τοποθετούνται επί τόπου είτε προσκομίζονται έτοιμοι. Η εγκατάσταση κατακόρυφου τύπου θυρίδων επίσκεψης είναι η αποτελεσματική μέθοδος ελέγχου και συντήρησης του δικτύου. Το σύστημα απορροής του αποστραγγιστικού σωλήνα πρέπει κατά προτίμηση να επεκτείνεται σε ένα φίλτρο άμμου που βρίσκεται στο δευτερεύον επίπεδο του γηπέδου.

Το νερό της βροχής συνήθως συγκεντρώνεται στο χαμηλότερο σημείο κατά τη διάρκεια της κατασκευής μιας αμμοπαγίδας. Είναι πολύ σημαντικό να έχει προνοηθεί μια έξοδος για αυτό το νερό. Πριν από την εγκατάσταση των αποστραγγιστικών σωλήνων, μπορεί να ανοιχτεί μια προσωρινή επιφανειακή έξοδος νερού στον περιβάλλοντα χώρο γηπέδου μετά την εγκατάσταση του στραγγιστικού δικτύου, πρέπει οπωσδήποτε να προβλεφθεί μια επαρκούς διατομής έξοδος. Αυτή η έξοδος θα μπορεί να συνδέεται με έναν κοντινό κύριο αποστραγγιστικό αγωγό, ή σε κατάλληλο φρεάτιο απορροής ξηρού τύπου, που απορρέει, κατά προτίμηση σε μια περιοχή καλυμμένη με χλοοτάπητα, στο δευτερεύον επίπεδο του γηπέδου. Οι κύριοι αποστραγγιστικοί σωλήνες κάθε αμμοπαγίδας τύπου greenside μπορούν να μοιράζονται κοινό δίκτυο απορροής με το σύστημα αποστράγγισης του κυρίως χώρου παιχνιδιού. Κατά την διάρκεια της κατασκευής και πριν την τοποθέτηση της άμμου στην αμμοπαγίδα, την διαμόρφωση των περιμετρικών πλαισίων και την τοποθέτηση του χλοοτάπητα εμφανίζεται επανειλημμένη ρύπανση των δικτύων, που έχει σαν αποτέλεσμα την απόφραξη αποστραγγιστικών σωλήνων με χώμα. Επομένως, είναι απαραίτητο να καθορίζεται στο συμβόλαιο της κατασκευής του γηπέδου ή στο προσωπικό του γηπέδου να γίνεται καθαρισμών των εδαφών των αποστραγγιστικών σωλήνων των αμμοπαγίδων πριν την έναρξη λειτουργίας του γηπέδου. Εξαιτίας αυτού του ενδεχομένου απόφραξης, είναι προτιμητέο να εγκατασταθούν οι έξοδοι αποστράγγισης για τις αμμοπαγίδες τύπου fairway μετά την τοποθέτηση του χλοοτάπητα.

ΜΕΡΟΣ II: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ

1. Γενικά – Σκοπός

Ο σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος ήταν η πραγματοποίηση μελέτης στράγγισης μίας αμμοπαγίδας ενός γηπέδου Golf στο Εργαστήριο. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε δοχείο διαστάσεων 1,80 m × 0,35 m × 0,42 m από plexiglass στο οποίο κάθετα τοποθετήθηκε αποστραγγιστικός σωλήνας Φ90 από plexiglass. Στο δοχείο τοποθετήθηκαν χαλίκια και άμμος, σύμφωνα με τους κανόνες στράγγισης που τηρούνται για την κατασκευή αποστραγγιστικού συστήματος στις αμμοπαγίδες των γηπέδων Golf.

Στο υπάρχον πείραμα δεν γινόταν να έχουμε βροχόπτωση όπως συμβαίνει στη πραγματικότητα σ' ένα γήπεδο Golf. Από τη Στατιστική Υπηρεσία συγκεντρώθηκαν πίνακες από τις βροχοπτώσεις για την περιοχή της Πύλου. Στους συγκεκριμένους πίνακες αναζητήθηκαν τα ακραία ύψη βροχής, δηλαδή ακραίες βροχοπτώσεις για τα έτη 2007, 2008 και 2009, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1.1

Ακραίες στιγμιαίες τιμές ρυθμού βροχόπτωσης για διάφορα έτη

Έτη	2007	2008	2009
mm	473,6	343,0	477,6

Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε σύστημα στάγδην άρδευσης με 26 σταλάκτες των 12 Lt/h οι οποίοι κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα πάνω από το δοχείο και έπαιξαν το ρόλο της βροχόπτωσης. Με αυτό τον τρόπο υπήρχε η δυνατότητα ανά πάσα στιγμή να είναι γνωστή η βροχόπτωση που έπεφτε μέσα στο δοχείο. Παρατηρήθηκε λοιπόν, ότι επετεύχθη μέσω του συστήματος στάγδην άρδευσης που δημιουργήθηκε, να εισέρχεται στο δοχείο τόσο νερό, όσο ήταν και το ακραίο ύψος βροχής.

Στη συνέχεια, αφότου κατασκευάστηκε το σύστημα άρδευσης, το οποίο λειτουργούσε σα βροχόπτωση, τοποθετήθηκε ένα ροόμετρο και ένα πιεζόμετρο για να υπολογίζεται ανά πάσα στιγμή επακριβώς η παροχή και η πίεση (bar).

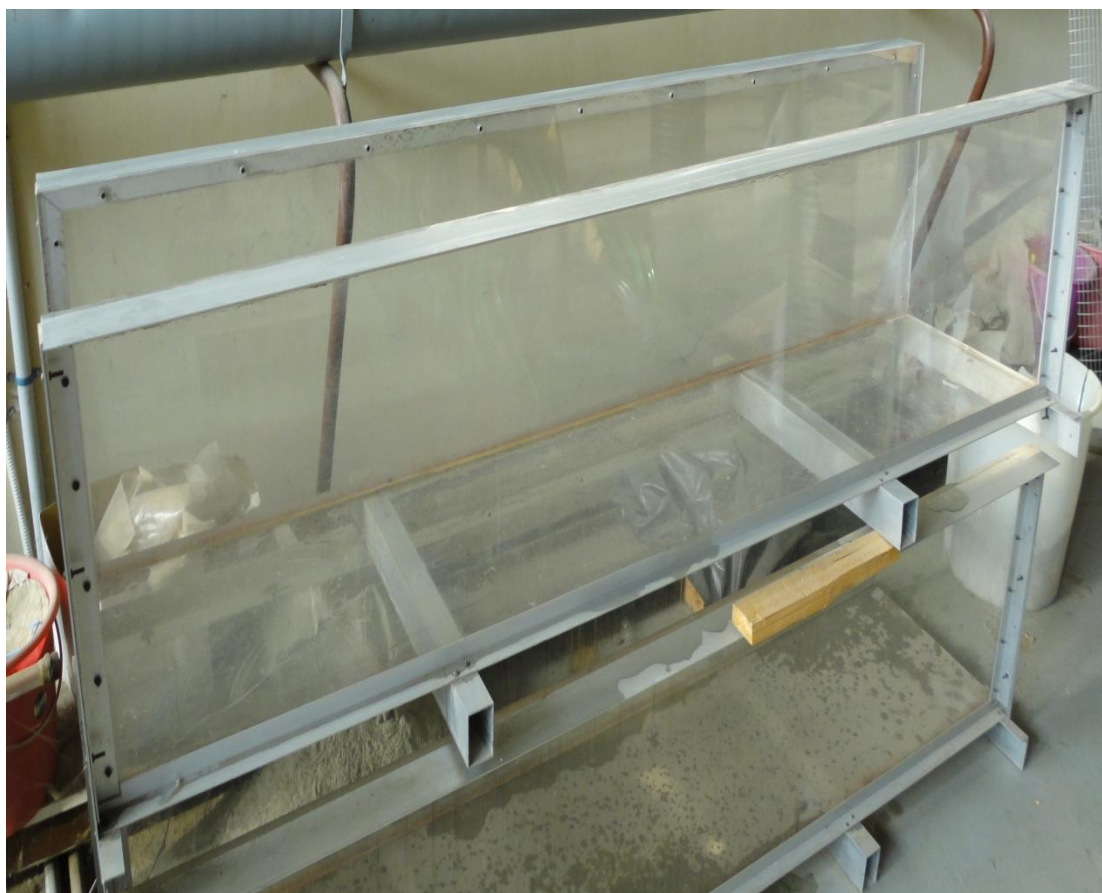
Εν συνεχεία ακολούθησαν διαδοχικές πειραματικές μετρήσεις στο Εργαστήριο:

- ➔ κοκκομετρική ανάλυση άμμου, χαλικιών και εύρεση αναγκαιότητας ή μη τοποθέτησης γαιοϋφάσματος στο υπάρχον πείραμα (μέσα από πίνακα «Κανόνας Φίλτρου»),
- ➔ υπολογισμός υδραυλικής αγωγιμότητας (Ks) της άμμου, των χαλικιών και της αλληλουχίας (άμμου - χαλικιών),
- ➔ μέτρηση της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας (διάγραμμα),
- ➔ μέτρηση απορροής του νερού μέσω εκχειλιστή και καταγραφή σε διαγράμματα,
- ➔ μέτρηση και παραστατική απεικόνιση της τιμής του διαθέσιμου υδραυλικού φορτίου και επαλήθευση μέσω θεωρητικών υπολογισμών αυτής της τιμής.

2. Προετοιμασία Πειράματος

2.1 Δοχείο

Το δοχείο έχει διαστάσεις 1,80 m μήκος το οποίο ήταν κλεισμένο με plexiglass και 0,35 m πλάτος που ήταν ανοικτό. Για την πραγματοποίηση του υπάρχοντος πειράματος, ήταν απαραίτητο να κλειστεί το δοχείο περιμετρικά, να στεγανοποιηθεί για να μη φεύγει το νερό που θα βρισκόταν εντός, καθώς και να ενισχυθεί για να μην ανοίξει με την ποσότητα άμμου και χαλικιών που θα γεμιζόταν. Επίσης, στο υπάρχον δοχείο έπρεπε να τοποθετηθεί κατά πλάτος διάτρητος αποστραγγιστικός σωλήνας διαμέτρου $\Phi 90$, όπως συνηθίζεται να τοποθετείται στην στράγγιση αμμοπαγίδων των γηπέδων Golf.



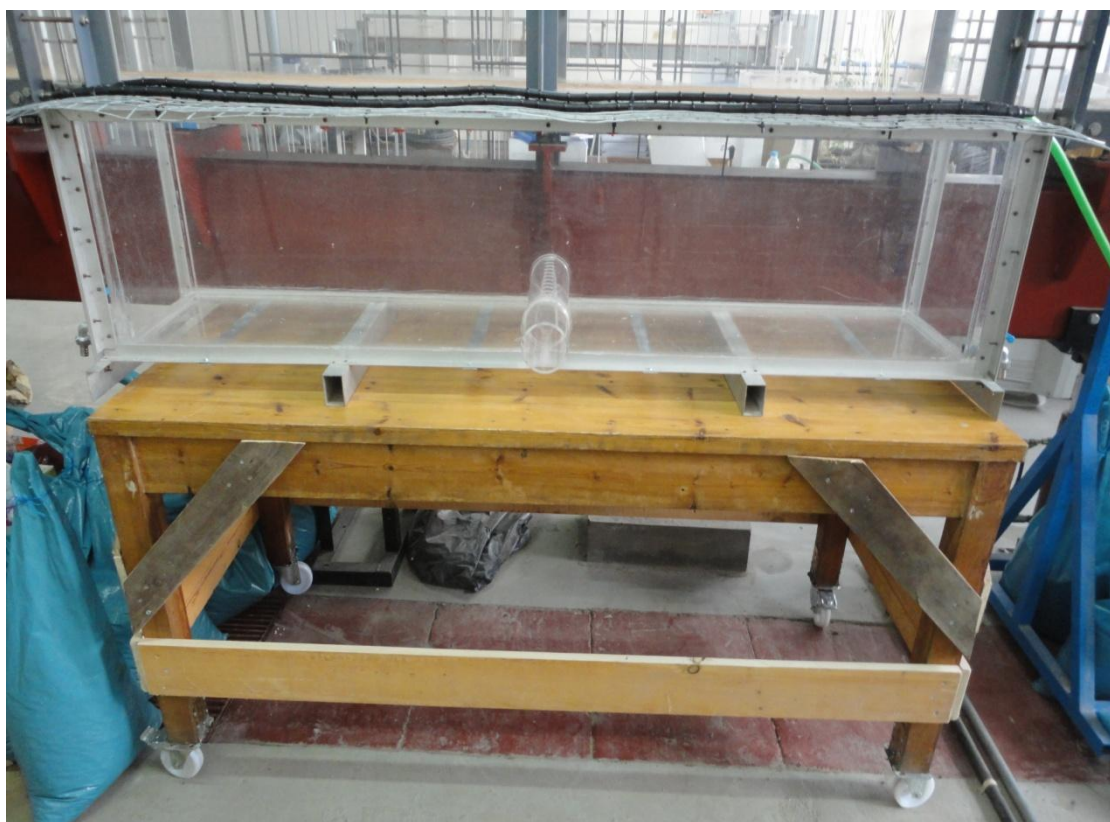
Εικόνα 2.1.α Δοχείο πειράματος – Κατάσταση όπως παρελήφθη.

Για το λόγο αυτό, δόθηκε το δοχείο σε ειδικό τεχνικό, που ασχολείται με τη κατασκευή αντικειμένων από plexiglass. Ο τεχνικός πραγματοποίησε τις παρακάτω εργασίες:

- ➔ Έκλεισε τις δύο πλευρές του δοχείου που ήταν ανοικτές με plexiglass.
- ➔ Σε κάθε μία από αυτές τις πλευρές τοποθετήθηκε στη στάθμη του πυθμένα, έξοδος εκκένωσης με κρουνό ορυχάλκινο $\Phi 15$, για να μπορεί να αδειάσει το νερό, εάν χρειαζόταν.
- ➔ Ενίσχυσε τον πυθμένα περιμετρικά με μια λεπτή φέτα από plexiglass (12mm) και έδεσε τις άκρες του δοχείου μεταξύ τους με ειδικά σίδερα σε πολλά του σημεία.



Εικόνα 2.1.β Δοχείο μετά τις ενισχύσεις, την στεγανοποίηση και την τοποθέτηση αποστραγγιστικού σωλήνα.



Εικόνα 2.1.γ Δοχείο - τελική μορφή, μετά την τοποθέτηση της βάσης και την ενίσχυσή της.

- ➔ Στεγανοποίησε το δοχείο, βάζοντας σε κάποια σημεία που υπήρχε φόβος να φύγει το νερό, (από τοποθέτηση βιδών) σιλικόνη.
- ➔ Τοποθέτησε κάθετα στο μέσο του μήκους έναν αγωγό $\Phi 90$ από plexiglass, στον οποίο είχε κάνει μικρές οπές (τρύπες) στα $2/3$ του σωλήνα, έχοντας σαν πρότυπο τους αυθεντικούς πλαστικούς διάτρητους σωλήνες που χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες περιπτώσεις. Αυτόν τον σωλήνα τον τοποθέτησε μέσα στο δοχείο και κάθετα στο μέσο του μήκους, κοντά στον πυθμένα, με τη μια άκρη του να την κολλάει στη πλάτη του δοχείου και την άλλη να περνάει (τρύπαι) το plexiglass και να βγαίνει 10 cm, έξω από τη μπροστινή μεριά του δοχείου. Αρκεί να σημειωθεί ότι, η πλευρά του σωλήνα με τις οπές, τοποθετήθηκε προς τα επάνω (οροφή του δοχείου) ούτως ώστε να εισχωρεί το νερό καθώς πέφτει μέσα στο σωλήνα, ενώ η πλευρά χωρίς οπές τοποθετήθηκε προς τα κάτω (πυθμένα του δοχείου). Οι λόγοι για τους οποίους δεν τοποθετήθηκαν οι αυθεντικοί διάτρητοι πλαστικοί σωλήνες είναι οι ακόλουθοι:
 - A. δεν ήταν εύκολο να ενωθεί πλαστικό με plexiglass, διότι υπήρχε περίπτωση ένα τέτοιο κόλλημα να οδηγούσε σε αποτυχία,
 - B. ο πλαστικός αυτός σωλήνας είχε σπειρώματα και σε ορισμένα σημεία είχε διάμετρο 90 mm ενώ σε άλλα 80 mm. Αυτό είχε δυσκολία στο να καταφέρει ο τεχνικός να στεγανοποιήσει το σωλήνα στο σημείο εκείνο που θα έκοβε το plexiglass και θα έβγαине στην μπροστινή μεριά του δοχείου.

Επομένως, η χρησιμοποίηση αποστραγγιστικού σωλήνα από plexiglass, ήταν περισσότερο λύση ανάγκης, παρά θέληση μας.

Στις παραπάνω εικόνες (2.1.α, 2.1.β, 2.1.γ) απεικονίζονται οι απαραίτητες ενέργειες που έπρεπε να πραγματοποιηθούν στο δοχείο, για να είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί στο υπάρχον πείραμα. Παρατηρούνται τα στάδια βελτίωσης του δοχείου από την αρχική στην τελική του μορφή, μέσω των ενισχύσεων, των στεγανοποιήσεων αλλά και της τοποθέτησης του σε ειδική βάση.

2.2 Άρδευση

Όπως ειπώθηκε παραπάνω, η άρδευση παίζει το ρόλο της βροχόπτωσης. Η επιθυμητή τιμή της βροχόπτωσης ήταν γύρω στα 480 mm/h. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκαν 26 σταλάκτες σταθερής παροχής 12 Lt/h, όπως παρουσιάζονται στην εικόνα 2.2 και στο σκαρίφημα 2.2.

Για παράδειγμα το δοχείο έχει διαστάσεις 1,80 m \times 0,35 m ποτίζεται από πάνω με 26 σταλάκτες των 0,012 m³/h, επομένως, η ολική ποσότητα νερού που θα εισέρχεται στο δοχείο, δηλαδή η αντίστοιχη βροχόπτωση που θα έπεφτε εντός του δοχείου είναι:

$$\frac{26 \times 0,012 \text{ m}^3/\text{h}}{1,80 \text{ m} \times 0,35 \text{ m}} = 0,49 \text{ m/h} = 490 \text{ mm/h}$$



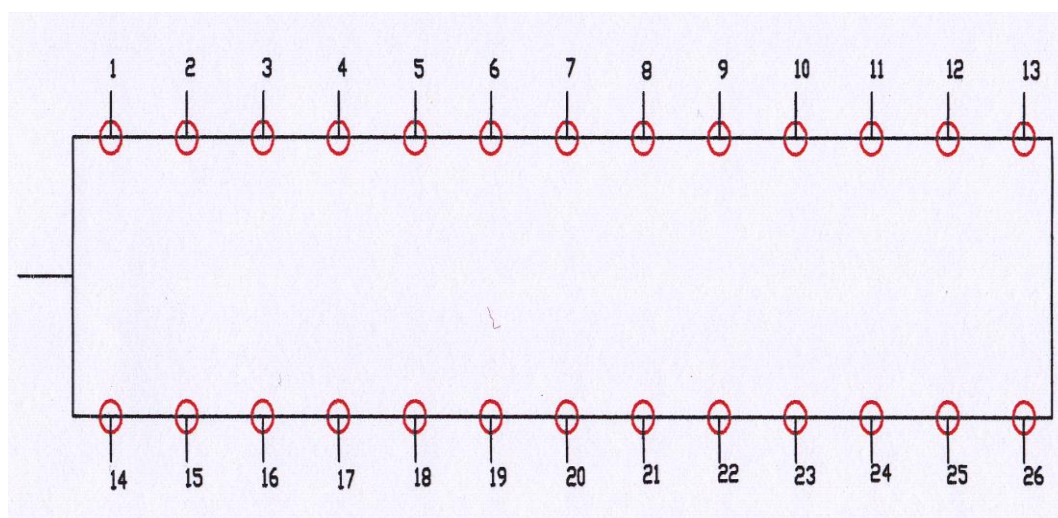
Εικόνα 2.2 Σύστημα Άρδευσης με 26 σταλάκτες σταθερής παροχής 12 Lt/h, οι οποίοι ισοκατανέμονται στο δοχείο.

Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι επετεύχθη μέσω του συστήματος στάγδην άρδευσης που δημιουργήθηκε, να εισέρχεται στο δοχείο τόσο νερό όσο ήταν περίπου και τα ακραία ύψη βροχής.

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, για τη κατασκευή του συστήματος άρδευσης χρησιμοποιήθηκαν:

- ➔ Είκοσι-έξι (26) σταλάκτες σταθερής παροχής 0,012 m³/h, ισραηλινής προέλευσης, οι οποίοι δίνουν μέγιστη παροχή (δηλαδή 0,012 m³/h) όταν η πίεση είναι 2,5 bar και πάνω.

Έγινε προσπάθεια να ισοκατανεμεθεί η ποσότητα νερού (όπως φαίνεται στο σχήμα) που πέφτει στο δοχείο, όπως θα γινόταν σε περίπτωση που το δοχείο βρισκόταν σε ανοικτό χώρο και επικρατούσαν συνθήκες βροχόπτωσης (το νερό δε θα έπεφτε μόνο σε ένα συγκεκριμένο σημείο του δοχείου, αλλά θα απλωνόταν σε όλη την έκταση του).



Σκαρίφημα 2.2 Σχεδιασμός Συστήματος Στάγδην Άρδευσης και απαρίθμηση σταλακτών.

- Σωλήνας πολυαιθυλενίου (PE), διατομής $\Phi 16$, ο οποίος τοποθετήθηκε ακριβώς πάνω από το δοχείο και ο οποίος τρυπήθηκε με ειδικό εργαλείο (σγρόμπι-α) για να συνδεθούν οι 26 σταλάκτες $0,012 \text{ m}^3/\text{h}$ το καθένα.
- Ένα ταυ σπαρωτό, το οποίο ένωσε αρχικά μεταξύ του το σωλήνα πολυαιθυλενίου στο τελείωμα του (δημιουργώντας ένα παραλληλόγραμμο) και εν συνεχεία το σωλήνα με την παροχή του νερού από τη βρύση.
- Τέσσερις γωνίες σπαρωτές, οι οποίες σύνδεσαν η καθεμία το σωλήνα πολυαιθυλενίου σε κάθε πλευρά δημιουργώντας το παραλληλόγραμμο σχήμα που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.
- Ένα ροόμετρο, για την ακριβή μέτρηση της παροχής η οποία πρέπει να είναι ίση $0,012 \text{ m}^3/\text{h} \times 26 \text{ σταλάκτες} = 0,312 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Μια χειροκίνητη ορειχάλκινη βάνα (ball valve), η οποία τοποθετείται ακριβώς πριν από το ροόμετρο.
- Ένας μαστός συστολικός και ένα ρακόρ θηλυκό τα οποία χρειάζονται για να συνδέσουν το ροόμετρο με τον σωλήνα πολυαιθυλενίου.
- Ένα μανόμετρο αέρα, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της πίεσης του νερού. Εφόσον η μέγιστη παροχή των σταλακτών πραγματοποιείται από κάποια πίεση και πάνω, (δηλαδή, αν η μέγιστη παροχή των σταλακτών 8 Lt/h είναι 3 bar και η πίεση που έχει το σύστημα είναι 2 bar , τότε ο κάθε σταλάκτης θα δίνει παροχή μικρότερη των 8 Lt/h . Επίσης, η γνώση της πίεσης ανά πάσα στιγμή είναι απαραίτητη διότι θα πρέπει να γίνεται έλεγχος των εξαρτημάτων που λαμβάνουν μέρος στο σύστημα άρδευσης (όπως ο σωλήνας πολυαιθυλενίου, εξαρτήματα συνδεσμολογίας) τα οποία από κάποια τιμή πίεσης και πάνω δε λειτουργούν και έχουν σαν αποτέλεσμα την καταστροφή του συστήματος.
- Πολλά είδη ρακόρ (κοχλιωτά ή lock) στα διάφορα σημεία μεταξύ βρύσης – ροόμετρου, ροόμετρου – πιεζόμετρου, πιεζόμετρου – σταλακτών, πιεζόμετρου – φίλτρου, φίλτρου – σταλακτών.
- Ταινία τεφλόν για τη στεγάνωση του δικτύου.

Αξίζει να σημειωθεί, πως για όλα τα παραπάνω εξαρτήματα συνδεσμολογίας δεν γίνεται επιπλέον αναφορά, διότι υπάρχει εκτενής ανάλυση αυτών στο Μέρος I, Κεφάλαιο 2.

2.3 Αξιολόγηση και προσκόμιση υλικού

Ιδιαίτερη σημασία και προσοχή δόθηκε στο να βρεθούν τα κατάλληλα υλικά, τα οποία θα χρησιμοποιούνταν στο υπάρχον πείραμα. Ανατρέχοντας στη θεωρία, έγινε σαφές ότι τα κριτήρια που εξετάζονται από την επιλογή της άμμου των αμμοπαγίδων ήταν:

- (α) μέγεθος κοκκομετρικής κατανομής,
- (β) σχήμα κόκκων,
- (γ) χρώμα,
- (δ) σύνθεση,
- (ε) καθαρότητα και
- (στ) μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα.

Επίσης, στη θεωρία έγινε λόγος για γαιοϋφασμα, του οποίου τη θέση στο πείραμα πήραν τα χαλίκια. Αυτό συνέβη διότι:

(1) τα τεχνικά χαρακτηριστικά αποστραγγιστικών συστημάτων γηπέδων Golf που μελετήθηκαν, έκαναν λόγο για κάλυψη του αποστραγγιστικού σωλήνα με μια στρώση από χαλίκια και εν συνεχεία από πάνω τοποθετούσαν την άμμο,

(2) το γαιοϋφασμα από τη μία καθυστερούσε το χρόνο στράγγισης, ενώ από την άλλη είχε μικρή διάρκεια ζωής και η αλλαγή του θα ήταν επίπονη και χρονοβόρα και

(3) η θεωρία των αμμοπαγίδων πάρθηκε από την Αμερική όπου έχουν περισσότερα γήπεδα Golf και έχουν μεγαλύτερη εμπειρία στην κατασκευή. Όμως οι βροχοπτώσεις εκεί δεν είναι τόσο έντονες, όσο είναι στη χώρα μας, πόσο μάλλον όταν το πείραμα διαδραματίζεται σε συνθήκες ακραίων βροχοπτώσεων. Ως εκ τούτου, θα ήταν πρό-
πον να τοποθετηθεί το υλικό εκείνο που θα στραγγίζει πιο γρήγορα το νερό.

Έγινε λοιπόν προσπάθεια να βρεθούν τα επιθυμητά κριτήρια (που παρουσιά-
στηκαν παραπάνω) τόσο στην άμμο όσο και στα χαλίκια ούτως ώστε να βοηθήσουν σημαντικά στην πραγματοποίηση ικανοποιητικής στράγγισης του δοχείου. Ακολού-
θησε εκτενής αναζήτηση σε πολλά μαγαζιά (μάντρες) που πουλούσαν οικοδομικά υλικά ψάχνοντας αυτά τα είδη άμμου και χαλικιών. Τα αποτελέσματα δεν ήταν τόσο απογοητευτικά, ωστόσο υπήρξε μεγάλη αμφιβολία στο κατά πόσο θα γινόταν η επι-
λογή των σωστών υλικών (άμμου και χαλικιών) μίας και οι ίδιοι οι πωλητές δε γνώρι-
ζαν για τη χρήση αυτών των υλικών σε μία τόσο πρωτόγνωρη γι' αυτούς κατασκευή και μελέτη.

Η λύση δόθηκε ύστερα από ένα τηλέφωνο που έγινε στους υπεύθυνους κατα-
σκευής του γηπέδου Golf στη Πύλο (Costa Navarino), οι οποίοι προσφέρθηκαν να βοηθήσουν στέλνοντας 500 kg άμμου και 500 kg χαλικιών (εικόνες 2.3.α και 2.3.β) για την πραγματοποίηση του πειράματος. Τα υλικά που απέστειλαν, είναι ιδανικά, διότι πρόκειται για τα ίδια υλικά που χρησιμοποιούν για την κατασκευή των αμμοπα-
γίδων. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι οι ίδιοι δεν βάζουν γαιοϋφάσματα. Επομένως, το υλικό που τοποθετήθηκε στο δοχείο ήταν χωρίς αμφιβολία το καλύτερο δυνατό.



Εικόνα 2.3.α Παραλαβή άμμου από το γήπεδο Golf της Πύλου.



Εικόνα 2.3.β Παραλαβή χαλικιού από το γήπεδο Golf της Πύλου.

2.4 Ανύψωση δοχείου και τοποθέτηση σε βάση

Η ανύψωση του δοχείου και η τοποθέτηση του σε βάση ήταν πραγματικά πολύ ιδιαίτερη διαδικασία για τους παρακάτω λόγους:

- ➔ Το δοχείο ήταν αναγκαίο να βρεθεί σε κάποιο ύψος διότι ο αποστραγγιστικός σωλήνας που βρισκόταν περίπου στον πυθμένα του δοχείου έπρεπε να απέχει μια σημαντική απόσταση από το έδαφος. Αυτό θα συνέβαινε για να υπάρξει αρκετός χώρος έτσι ώστε να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες μετρήσεις κάτω από το σωλήνα.



Εικόνα 2.4 Ανύψωση δοχείου και τοποθέτηση σε ενισχυμένη βάση.

- ➔ Για να βρεθεί το δοχείο σε κάποιο ύψος, ήταν απαραίτητη η εύρεση ή η κατασκευή ενός τραπεζιού ή μίας βάσης. Αυτό όμως σήμαινε ότι η βάση αυτή οφείλει να έχει υψηλή αντοχή για να αντέξει:
 - (α) το βάρος του δοχείου, με τον αποστραγγιστικό σωλήνα,
 - (β) το βάρος της άμμου που τοποθετήθηκε στο δοχείο,
 - (γ) το βάρος του χαλικιού που επίσης τοποθετήθηκε στο δοχείο,
 - (δ) το βάρος του νερού που θα εισερχόταν στο δοχείο.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η ανύψωση του δοχείου και η τοποθέτηση του σε βάση ήταν απαραίτητη αλλά έχριζε μεγάλης προσοχής. Έπρεπε να γίνουν όλες οι μετρήσεις του βάρους όλων όσων αναφέρθηκαν παραπάνω και να βρισκόταν μία βάση που να άντεχε το ολικό βάρος.

Ιδιαίτερη προσοχή έπρεπε να δοθεί στην επιλογή της βάσης διότι αν δεν άντεχε το ολικό βάρος, υπήρχε περίπτωση σπασίματος της βάσης και κατά συνέπεια καταστροφής του δοχείου και κατ' επέκταση του πειράματος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανύψωση και τοποθέτηση του δοχείου σε βάση έπρεπε να γίνει προτού ξεκινήσει η πλήρωση του δοχείου με το υλικό (άμμο και χαλίκια). Ο λόγος είναι ότι έχοντας στο δοχείο τα υλικά αυτά θα ήταν δύσκολο έως ακατόρθωτο να μπορεί να μεταφερθεί από το βάρος του.

2.5 Πλήρωση δοχείου

Έπειτα από την ανύψωση του δοχείου και την τοποθέτηση του σε βάση, πραγματοποιήθηκε η πλήρωση του δοχείου. Η συγκεκριμένη εργασία έχει μεγάλη σημασία γιατί:

- (α) πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ακολουθούνται στη στράγγιση αμμοπαγίδων γηπέδων Golf και
- (β) η τοποθέτηση του υλικού γύρω από τον στραγγιστικό αγωγό είναι επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.

Κατά τεκμήριο, η κατασκευή ενός στραγγιστικού δικτύου γίνεται με εγκιβωτισμό των αποστραγγιστικών σωλήνων στο πυθμένα της λεκάνης. Αυτό συμβαίνει για τη σταθεροποίηση τους καθώς και για την αποφυγή διαρροής του νερού σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτούς. Στο συγκεκριμένο πείραμα, δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί εγκιβωτισμός του αγωγού με σκυρόδεμα στο δοχείο και για τον λόγο αυτό, αποφασίστηκε το γέμισμα του δοχείου με χαλίκια μέχρι την στάθμη του άξονα του σωλήνα. Σε αυτή τη περίπτωση, όμως, πρέπει η μέτρηση του χρόνου στράγγισης να αρχίζει εφόσον η στάθμη του νερού φθάσει στον άξονα εγκιβωτισμού.

Τα κριτήρια στράγγισης που ακολουθήθηκαν βασίστηκαν τόσο στις πρότυπες τεχνικές αποστράγγισης του Υπουργείου (Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων) όσο και στα τεχνικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν στην στράγγιση των αμμοπαγίδων του ήδη υπάρχοντος γηπέδου Golf της Πύλου (Costa Navarino). Αυτά τα κριτήρια είναι τα ακόλουθα:

- (1) Το υλικό φίλτρου των στραγγιστηρίων αποτελείται από αμμοχάλικο και από σκύρα απαλλαγμένα οπωσδήποτε από προσμίξεις αργίλου και οργανικών ουσιών.
- (2) Το σώμα του φίλτρου κατασκευάζεται απλής διαβάθμισης ή πολλαπλής διαβάθμισης. Μεταξύ των στραγγιστικών στρώσεων του φίλτρου, καθώς και μεταξύ αυτού και του περιβάλλοντος εδαφικού υλικού είναι δυνατό να τοποθετηθεί γαιοϋφασμα ως φίλτρο διαχωρισμού.
- (3) Η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού φίλτρου των στραγγιστηρίων πρέπει να είναι αντικείμενο τεχνικής μελέτης. Εφόσον δεν χρησιμοποιείται γαιοϋφα-

σμα διαχωρισμού, η στραγγιστική στρώση πρέπει απαραίτητως να πληροί τον κανόνα του φίλτρου του πίνακα 200.2-1 κατωτέρω, γεγονός που θα επιβεβαιώνεται ρητά στην υπόψη τεχνική μελέτη.

- (4) Το υλικό φίλτρου πρέπει να είναι αφενός πιο χονδρόκοκκο από το προς αποστράγγιση περιβάλλον εδαφικό υλικό, αφετέρου τόσο λεπτόκοκκο ώστε κατά την αποστράγγιση του ύδατος τα λεπτά σωματίδια του εδάφους να μην εισχωρούν εντός του φίλτρου. Η απόπλυση του εδάφους από τα λεπτά σωματίδια είναι δυνατό να προκαλέσει καθιζήσεις στις γειτονικές κατασκευές καθώς η έμφραξη του φίλτρου και άρα παύση της λειτουργίας του.
- (5) Μια στρώση φίλτρου είναι αποτελεσματική όταν το διερχόμενο νερό κατά την κατεύθυνση ροής του δια των διαφόρων στρώσεων υλικών αυξανόμενης διαπερατότητας, εξέρχεται καθαρό (απαλλαγμένο λεπτών σωματιδίων). Προς τούτο ο συντελεστής διαπερατότητας κάθε επόμενης στρώσης δεν πρέπει να διαφέρει του συντελεστή της προηγούμενης περισσότερο από το 100πλάσιο.
- (6) Για τεχνικούς λόγους, το ελάχιστο πάχος στραγγιστικής στρώσης, τόσο στα φίλτρα απλής όσο και στα φίλτρα πολλαπλής διαβάθμισης, ορίζεται σε 0,15 m και κατά προτίμηση σε 0,20 m. Όταν το υλικό του φίλτρου τοποθετείται σε υγρές συνθήκες τότε το πάχος των στραγγιστικών στρώσεων δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 0,30 m.
- (7) Ειδικότερα για το υλικό κατασκευής των «στρώσεων αντιπαγετικής προστασίας» ισχύουν οι απαιτήσεις της παραγράφου 4.4.2.1.07.5 της ΠΤΠ Τα-110.

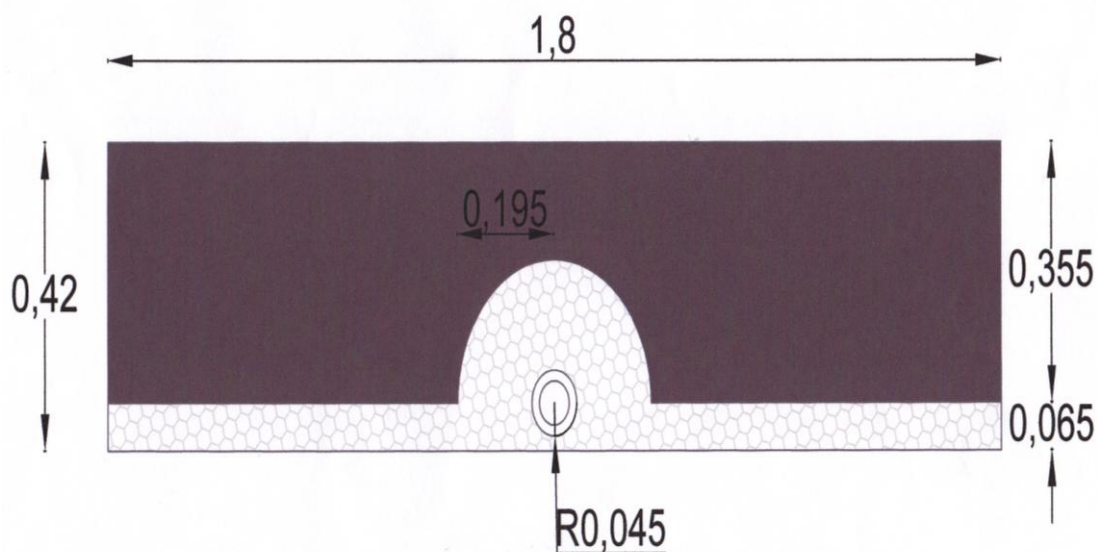
Πίνακας 200.2-1 Κανόνας Φίλτρου

#	Λόγοι διαμέτρων οπών κόσκινου	Συνθήκη
1	2	3
1	$\frac{D_{15} \text{ υλικού αποστράγγισης (φίλτρο)}}{D_{85} \text{ υλικού υπεδάφους (έδαφος)}}$	≤ 5
2	$\frac{D_{15} \text{ υλικού αποστράγγισης (φίλτρο)}}{D_{15} \text{ υλικού υπεδάφους (έδαφος)}}$	≥ 5
3	$\frac{D_{50} \text{ υλικού αποστράγγισης (φίλτρο)}}{D_{50} \text{ υλικού υπεδάφους (παρακείμενης ζώνης)}}$	≤ 25
4	$\frac{D_{15} \text{ χαλικιών}}{D_{85} \text{ άμμου}}$	≤ 5
5	$\frac{D_{15} \text{ χαλικιών}}{D_{15} \text{ άμμου}}$	≥ 5
6	$\frac{D_{85} \text{ υλικού αποστράγγισης (χαλικιών)}}{D \text{ οπής σωλήνα αποστράγγισης (ή άνοιγμα αρμού)}}$	> 1
7	$\frac{D_{60} \text{ υλικού φίλτρου}}{D_{10} \text{ υλικού φίλτρου}}$	≤ 20

Πηγή: παρ. 4.4..2.1.01 της ΠΤΠ Τ-110 (ΦΕΚ 203 Β/67)

(1) π.χ. D_{15} = Η διάμετρος του κόσκινου, δια του οποίου διέρχεται το 15% (κατά βάρος) του υλικού.

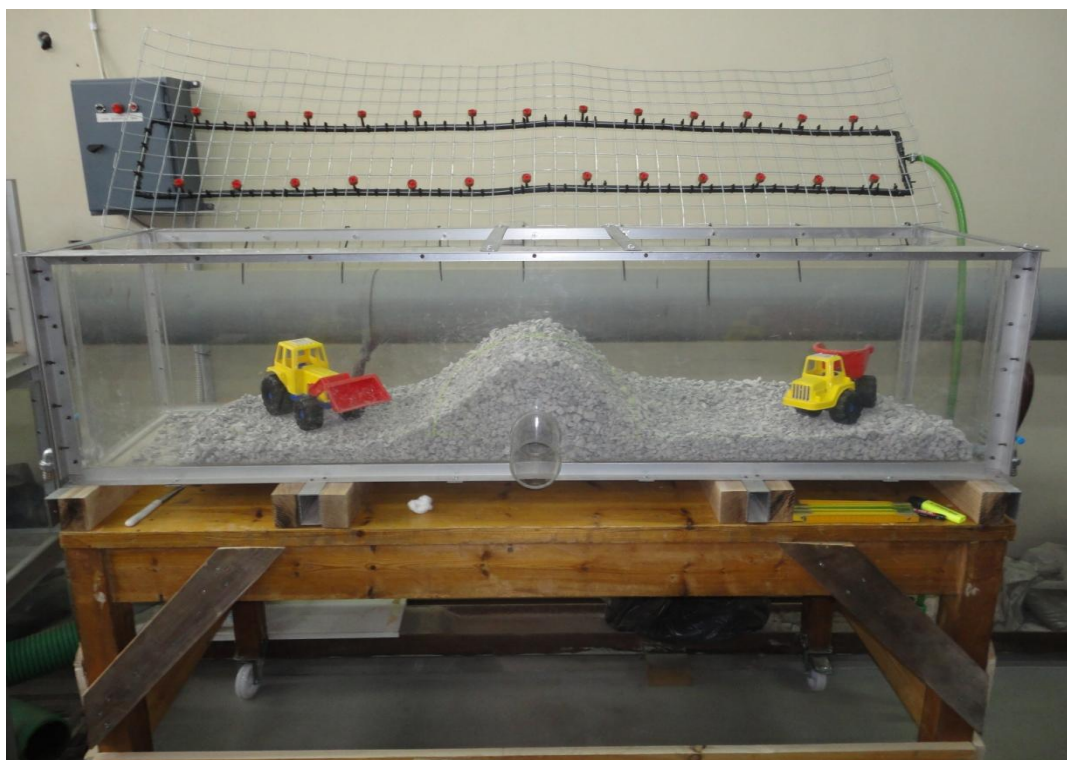
Τα παραπάνω κριτήρια τηρήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη και τις δυνατότητες που υπήρχαν στο συγκεκριμένο πείραμα (όπως το ύψος του δοχείου) και η τοποθέτηση των υλικών στο δοχείο πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το σκαρίφημα 2.5.



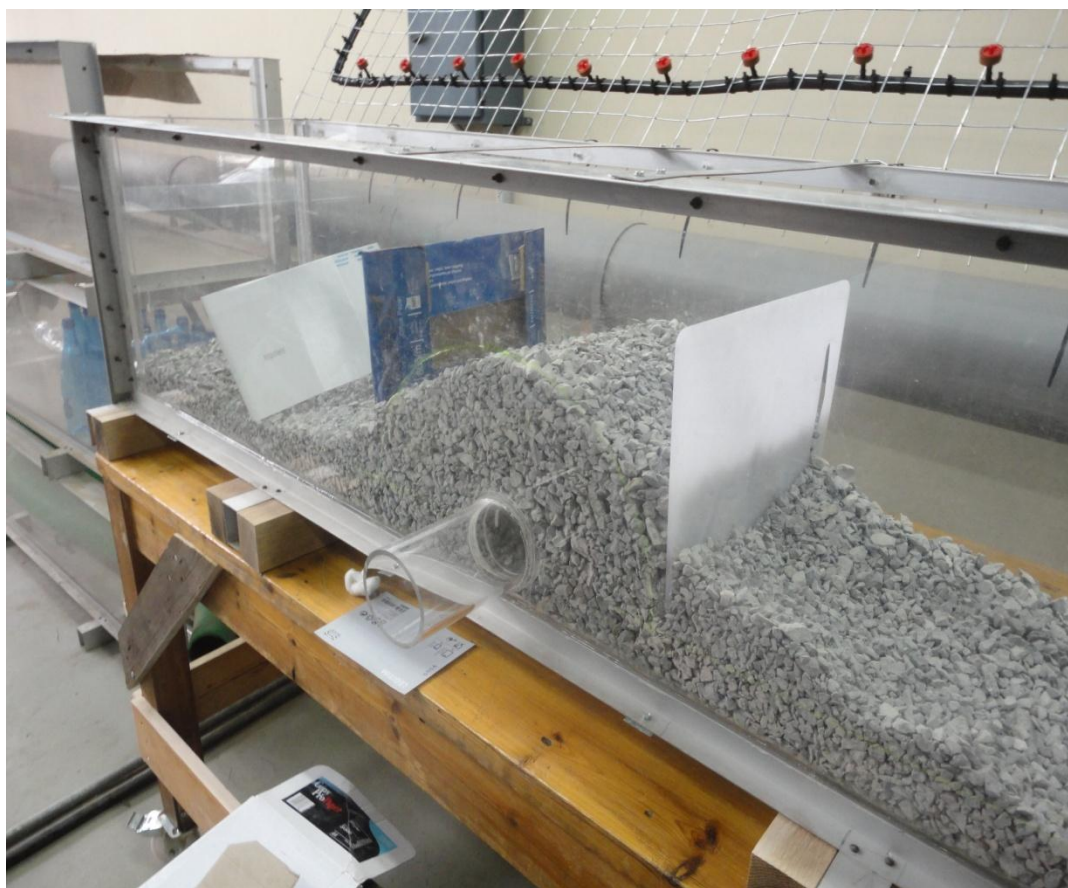
Σκαρίφημα 2.5 Σχεδιασμός τοποθέτησης υλικών μέσα στο δοχείο.

Η πλήρωση του δοχείου, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, έγινε ως εξής:

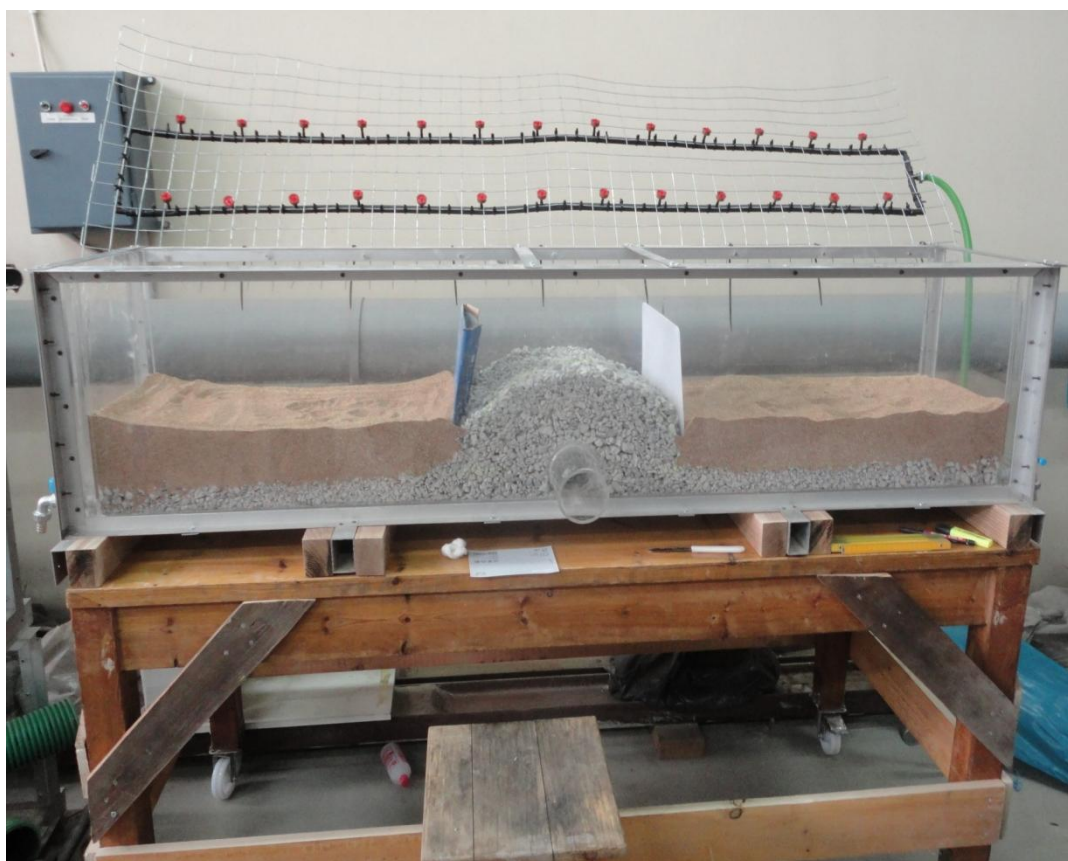
- ➔ Αρχικό γέμισμα με χαλίκια μέχρι τον άξονα του αποστραγγιστικού σωλήνα, όπως προαναφέρθηκε, το οποίο είχε την έννοια του εγκιβωτισμού. (εικόνα 2.5.α)



Εικόνα 2.5.α Πρώτη φάση πλήρωσης δοχείου με χαλίκια.



Εικόνα 2.5.β Δεύτερη φάση πλήρωσης.



Εικόνα 2.5.γ Τρίτη φάση πλήρωσης.



Εικόνα 2.5.δ Τελική μορφή δοχείου.

- ➔ Εν συνεχεία, γέμισμα 16cm πάνω από τον άξονα του αποστραγγιστικού σωλήνα, σχηματίζοντας μια ημικυλινδρική επιφάνεια, ακτίνας 16cm. (εικόνα 2.5.β)
- ➔ Τέλος, τοποθέτηση άμμου σε όλο το υπόλοιπο δοχείο μέχρι το επάνω χείλος του. (εικόνα 2.5.γ και 2.5.δ)

Για την ευκολία πλήρωσης του δοχείου αλλά και την μέτρηση του συνολικού βάρους των επιμέρους υλικών, η άμμος και τα χαλίκια τοποθετήθηκαν σε πλαστικούς σάκους, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5.ε.



Εικόνα 2.5.ε Πλαστικοί σάκοι άμμου και χαλικιών.

Πριν τη πλήρωση του δοχείου έγινε μέτρηση των σάκων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3

Πλαστικοί σάκοι	Άμμος (kg)	Χαλίκια (kg)
1	20,4	18,7
2	18,1	24,5
3	21	20,6
4	17	25
5	17,6	21,8
6	25,6	20,4
7	19,9	18,3
8	23,5	17,7
9	20,7	20,2
10	21,3	18,2
11	25,1	1,7
12	22	2,4
13	20,2	
14	1,3	
Σύνολο	273,7	209,5

Συνολικά φορτώθηκαν στο δοχείο 14 σακούλες άμμου, συνολικού βάρους 273,7 kg και 12 σακούλες χαλικιών συνολικού βάρους 209,5 Kg.

2.6 Κορεσμός του δοχείου

Η πρώτη διαδικασία που πρέπει να πραγματοποιηθεί μετά την πλήρωση του δοχείου είναι ο κορεσμός του μείγματος, ώστε όλοι οι πόροι του να γεμίσουν με νερό. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για την διεξαγωγή των μετρήσεων γιατί σε αντίθετη περίπτωση τα αποτελέσματα των μετρήσεων δε θα ήταν ακριβή. Η συνήθης πρακτική για την υλοποίηση τέτοιων μειγμάτων στο Εργαστήριο είναι η σταθερή διοχέτευση με νερό μικρής παροχής από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Η διαδικασία ολοκληρώνεται μόλις η επιφάνεια του μείγματος γεμίσει με νερό σε κατάσταση υπερκορεσμού.

Για τις ανάγκες του πειράματος η παροχέτευση του νερού έγινε από την έξοδο εκκένωσης στο πυθμένα, ενώ απαιτήθηκε η στεγανοποίηση στην έξοδο του αποστραγγιστικού σωλήνα. Για το σκοπό αυτό έγινε διερεύνηση αγοράς για την προμήθεια ανάλογου πώματος που να εξασφαλίζει αφενός τη στεγανοποίηση και αφετέρου την αντοχή στην υδροστατική πίεση που αναπτύσσεται.

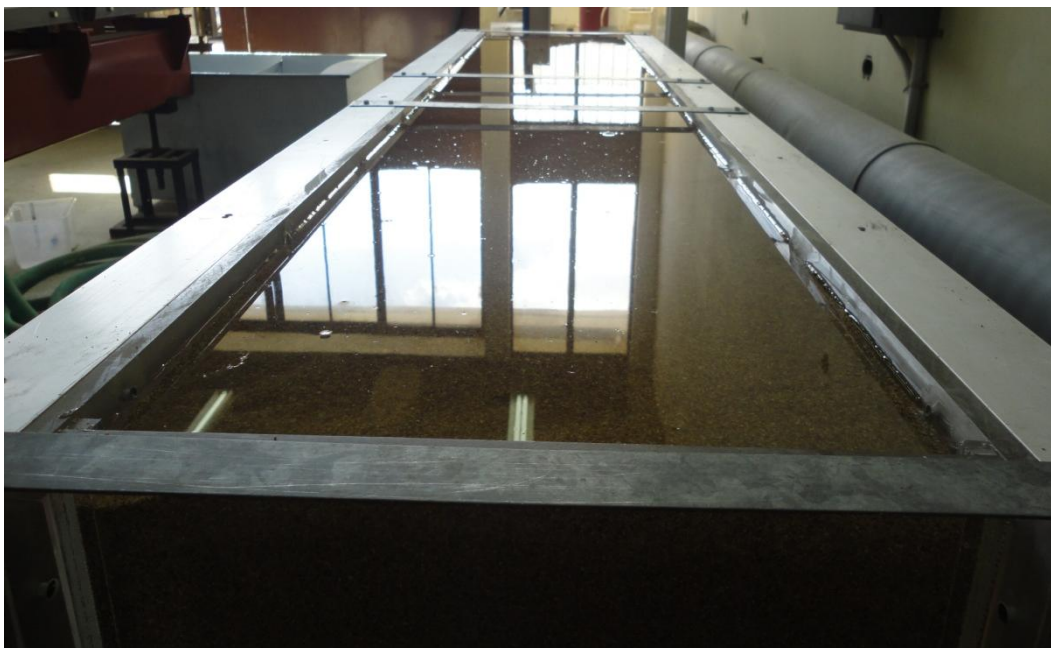
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε (όπως παρουσιάζεται στις εικόνες 2.6.α και 2.6.β) είναι η παρακάτω:

- ➔ Τοποθετήθηκε και στεγανοποιήθηκε το πώμα στην έξοδο του αποστραγγιστικού σωλήνα.

- Συνδέθηκε η παροχή του δικτύου στον έναν από τους δυο κρουνοί εκκένωσης στον πυθμένα του δοχείου.
- Άρχισε η παροχέτευση του νερού στο δοχείο η οποία ολοκληρώθηκε αφού η επιφάνεια του μείγματος του δοχείου έφθασε σε κατάσταση υπερκορεσμού, οπότε διακόπηκε η παροχή του νερού.
- Η διαδικασία πλήρωσης διήρκησε 3 ώρες.
- Το νερό στο δοχείο παρέμεινε στην κατάσταση αυτή για διάστημα 12 ωρών και εν συνεχεία άρχισε η διαδικασία εκκένωσης.
- Επαναλήφθηκε η διαδικασία άλλη μια φορά.



Εικόνα 2.6.α Παροχέτευση του νερού εντός του δοχείου.



Εικόνα 2.6.β Το δοχείο σε κατάσταση υπερκορεσμού.

Η διαδικασία κορεσμού αποτέλεσε ουσιαστικά και μια πρώτη δοκιμή του συστήματος, αφού έλαβαν μέρος σε αυτήν όλοι σχεδόν οι παράμετροι του πειράματος:

- Ελέγχθηκε η στατική αντοχή του δοχείου.
- Ελέγχθηκε η στεγανότητα του δοχείου.
- Ελέγχθηκε η επιτυχής λειτουργία του φίλτρου αφού το εξερχόμενο νερό από τον αποστραγγιστικό σωλήνα ήταν διαυγές.

Εφόσον αυτή η διαδικασία ολοκληρώθηκε με επιτυχία, δεν υπήρξε περαιτέρω ανησυχία για την συνέχεια των κύριων πειραματικών μετρήσεων.

2.7 Κατασκευή συστήματος διάταξης χρωματισμού του νερού

Με σκοπό την πιο έντονη παραστατική απεικόνιση της καμπύλης στάθμης του υπόγειου νερού, τοποθετήθηκε διάταξη χρωματισμού του νερού παροχής. Πρόκειται για μια ιδιοκατασκευή η οποία προσαρμόστηκε εν σειρά στο δίκτυο άρδευσης και αποτελείται από ένα ορειχάλκινο φίλτρο νερού ονομαστικής διαμέτρου 1,5" μέσα στο οποίο τοποθετήθηκε διάτρητη αμπούλα με χρωστική ουσία. Το νερό κατά την είσοδο του στο δοχείο περνάει μέσα από το φίλτρο και την αμπούλα και χρωματίζεται, αφήνοντας κατά αυτό τον τρόπο το αποτύπωμα του έγχρωμο στις πλευρές του δοχείου.

Όπως έχει αναπτυχθεί παραπάνω, η μέγιστη τιμή του ύψους H_0 (διαθέσιμου φορτίου) επιτυγχάνεται μετά από αρκετό χρονικό διάστημα. Για το λόγο αυτό, η τοποθέτηση του συστήματος χρωματισμού κατασκευάστηκε με διάταξη by-pass, στο δίκτυο άρδευσης με την χρήση κατάλληλων εξαρτημάτων (ταυ, λυόμενους συνδέσμους) και ανάλογες βάνες πριν και μετά το σύστημα, έτσι ώστε να υπάρχει ευελιξία στο χρόνο επιλογής του χρωματισμού του νερού.



Εικόνα 2.7 Σύστημα διάταξης χρωματισμού του νερού.

3. Προκαταρκτικές Μετρήσεις Πειράματος

3.1 Παραμετροποίηση - Βαθμονόμηση Συστήματος Σταλακτών

Με την ολοκλήρωση της κατασκευής του συστήματος άρδευσης και της τοποθέτησης των 26 σταλακτών, ήταν σημαντικό να επιβεβαιωθεί η ονομαστική παροχή του κάθε σταλάκτη. Για το λόγο αυτό έγιναν μετρήσεις καθενός από τους 26 σταλάκτες, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1 Αναπαράσταση ελέγχου του χρόνου σε δοχείο σταθερού όγκου 1 Lt.

Η διαδικασία περιελάμβανε την μέτρηση του χρόνου πλήρωσης βαθμονομημένων δοχείων του 1 Lt τα οποία τοποθετήθηκαν κάτω από κάθε ένα σταλάκτη. Μετρήθηκε ο χρόνος πλήρωσης του δοχείου για κάθε σταλάκτη, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1 και εξήχθη η τιμή μέσου όρου του χρόνου πλήρωσης.

Πίνακας 3.1

Πειραματική μέτρηση σταλακτών σταθερής παροχής.

Σταλάκτες (No)	Δοχείο 1 Lt	Χρόνος (min)
1	→	5,42
2	→	5,14
3	→	5,39
4	→	5,24
5	→	6,05
6	→	5,34
7	→	5,34
8	→	5,26
9	→	5,29
10	→	5,25
11	→	5,25
12	→	5,47
13	→	5,17
14	→	5,42
15	→	5,27
16	→	5,32
17	→	5,27
18	→	5,45
19	→	5,39
20	→	5,17
21	→	5,14
22	→	5,35
23	→	5,56
24	→	5,33
25	→	5,15
26	→	6,15
Άθροισμα	→	145,00
Μέσος Όρος	→	5,58

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές των σταλακτών, ο κάθε ένας έχει ονομαστική παροχή 12 Lt/h. Αυτό σημαίνει ότι ο κάθε σταλάκτης παρέχει 12 Lt σε διάστημα 1 h, δηλαδή: 1 Lt σε 5 min.

Στους συγκεκριμένους σταλάκτες του πειράματος, διαπιστώθηκε ότι ο μέσος όρος των 26 σταλακτών γεμίζουν 1 Lt σε 5' 58". Η απόκλιση των προδιαγραφών με τις πειραματικές μετρήσεις είναι:

$$\frac{0,58 \text{ min}}{5 \text{ min}} = 11,6\%$$

Η απόκλιση αυτή (11,6%) θεωρείται λογική και αποδεκτή και οφείλεται σε:

- α) διακυμάνσεις της πίεσης του δικτύου,
- β) ενδεχόμενη αστοχία του υλικού και
- γ) σφάλματα των μετρήσεων.

3.2 Κοκκομετρική Ανάλυση

3.2.1 Κοκκομετρική Ανάλυση εδάφους

α) Σκοπός και Σύνομη Περιγραφή της Μεθόδου

Η γνώση της κοκκομετρικής συστάσεως των εδαφών είναι σημαντική για την μελέτη της γενέσεως μορφολογίας και ταξινόμησης των εδαφών, τον σχεδιασμό χρήσης γης, την στράγγιση, τον έλεγχο της διάβρωσης των εδαφών κλπ.

Κατά τη μέθοδο αυτή το εδαφικό δείγμα, γνωστού ξηρού βάρους, διασπείρεται σε μια στήλη ύδατος και η πυκνότητα του αιωρήματος μετράει σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Επειδή τα περισσότερα χονδρόκοκκα υλικά καθιζάνουν ταχύτερα απ' ότι τα λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά (Νόμος Stokes) επιλέγονται οι χρόνοι μετρήσεως της πυκνότητας έτσι ώστε να έχουν καθιζάνει η άμμος και δεύτερον η άμμος και η ιλύς (η άργιλλος παραμένει σε αιώρηση). Κατόπιν υπολογίζεται η εκατοστιαία αναλογία άμμου, ιλύος και αργίλλου στο έδαφος.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα πυκνόμετρο (υδρόμετρο Βουγιούκου) για την μέτρηση της πυκνότητας του αιωρήματος εδάφους - ύδατος. Η πυκνότητα εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αιωρούμενων εδαφικών στερεών στο βάθος μετρήσεως. Η ταχύτητα καθιζήσεως των εδαφικών υλικών και συνεπώς ο χρόνος μετρήσεως καθορίζεται από την εξίσωση Stokes:

$$V = \frac{2r^2 d_1 - d_2 g}{9n}$$

όπου V = η ταχύτητα πτώσεως των εδαφικών υλικών (cm/sec)

d_1 = η πυκνότητα των εδαφικών υλικών (2,65 g/cm³)

d_2 = η πυκνότητα του υγρού (0,998 g/cm³)

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας (980 cm/sec²)

r = η ακτίνα των εδαφικών τεμαχιδίων (cm)

n = το απόλυτο ιξώδες του υγρού (poises)

Η μέθοδος του υδρομέτρου εφαρμόζεται σε εδαφικά υλικά που έχουν ισοδύναμο διάμετρο μικρότερη από 0,2mm και μεγαλύτερη από 0,002mm. Εδαφικοί κόκκοι μεγαλύτεροι από 0,2mm καθιζάνουν με μεγαλύτερη ταχύτητα και προκαλούν ανατάραξη του αιωρήματος. Εδαφικοί κόκκοι μικρότεροι από 0,002mm δεν μετρούνται λόγω της κινήσεως του BROWN.

β) Απαραίτητες Συσκευές

- Ηλεκτρικός αναμείκτης μηχανικής αναλύσεως.
- Κύλινδρος καθιζήσεως Βουγιούκου.
- Πλαστικά πώματα κυλίνδρων καθιζήσεως Βουγιούκου.
- Θερμόμετρο.
- Χωνί Buchner και διηθητικό χαρτί.
- Σειρά κοσκίνων μηχανικής αναλύσεως διαμέτρων 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,1 mm, και 0,05 mm.
- Ποτήρι ζέσεως 400 ml.

γ) Αντιδραστήρια

- Υπεροξείδιο του υδρογόνου, συγκέντρωση 30%
- 0,1 N HCl
- Μεταφωσφορικό νάτριο και ανθρακικό νάτριο (διάλυσε 102g NaPO_3)₆ και 21g Na_2CO_3 σε 1 Lt απεσταγμένου ύδατος (διάλυμα διασποράς)
- Αμυλική αλκοόλη.

δ) Μεθοδολογία

Για κάθε εδαφικό δείγμα (διαμέτρου εδαφικών κόκκων μικρότερη από 2,00 mm) ζύγισε δυο ξεχωριστά αεροξηραθέντα δείγματα των 50 g έκαστο (100 g εάν το έδαφος είναι πηλοαμμώδες ή αμμώδες). Ξήρανε ένα από τα εδαφικά δείγματα σε θερμοκρασία 105° για την διόρθωση της εδαφικής υγρασίας. Εάν το εδαφικό δείγμα έχει μικρή ποσότητα οργανικής ύλης (<1%) συνέχισε στο στάδιο διασποράς, διαφορετικά απομάκρυνε την οργανική ύλη.

ε) Απομάκρυνση της Οργανικής Ύλης

Τοποθέτησε το εδαφικό δείγμα (επανάλαβε το ίδιο για το εδαφικό δείγμα διόρθωσης της εδαφικής υγρασίας) σε 400 ml ποτήρι ζέσεως και πρόσθεσε 50 ml απεσταγμένου ύδατος και 20 ml H_2O_2 30% και ανάδευσε. Αφού η αντίδραση έχει σταματήσει, πρόσθεσε επιπλέον 20 ml H_2O_2 και θέρμανε ελαφρώς για την επιτάχυνση της αντιδράσεως. Εάν η οργανική ύλη δεν έχει καταστραφεί, πρόσθεσε άλλα 20 ml H_2O_2 και βράσε ελαφρώς το αιώρημα μέχρι διακοπής της αντιδράσεως. Σε εδάφη που περιέχουν MnO_2 είναι απαραίτητο να προστεθούν μερικές σταγόνες οξείκου οξέος πριν από την μεταχείριση με H_2O_2 , επειδή το MnO_2 προκαλεί αυθόρμητη διάσπαση του H_2O_2 . Εάν παρατηρούνται πολλές φυσαλίδες ικανές να απομακρύνουν το δείγμα από το ποτήρι, πρόσθεσε μερικές σταγόνες αμυλικής αλκοόλης.

στ) Απομάκρυνση Ανθρακικών Αλάτων

Σε ασβεστούχα εδάφη, εάν είναι απαραίτητη η απομάκρυνση των ανθρακικών αλάτων, πρόσθεσε 25 ml 0,1 N HCl, ανάδευσε και άφησε σε ηρεμία για 2 λεπτά. Διήθησε το αιώρημα και επανάλαβε το ίδιο δύο φορές με 25 ml HCl και 3 φορές με απεσταγμένο νερό.

ζ) Διασπορά Εδαφικού Δείγματος

Ποσοτικά μετέφερε το εδαφικό δείγμα στο ποτήρι του ηλεκτρικού αναμείκτη. Γέμισε το ποτήρι μέχρι 5 cm από την κορυφή με απεσταγμένο νερό και 50 ml διαλύματος διασποράς και ανάδευσε τον αναμείκτη για 5 λεπτά. Ξέπλυνε το περιεχόμενο μέσα στο κύλινδρο Βουγιούκου με απεσταγμένο νερό. Γέμισε τον κύλινδρο με απεσταγμένο νερό μέχρι την κατάλληλη χαραγή με το υδρόμετρο μέσα (κατώτερη χαραγή για 50 g εδαφικού δείγματος, ανώτερη χαραγή για 100 g δείγματος ή χάραξε τον κύλινδρο έτσι ώστε να περιέχει 1000 ml νερού και το δείγμα, 1020 ml για 50 g εδάφους και 1040 ml για 100 g εδάφους). Γέμισε έναν άλλο κύλινδρο Βουγιούκου με απεσταγμένο νερό και 50 ml διαλύματος διασποράς και έλεγξε το υδρόμετρο. Αφαίρεσε αυτή την ανάγνωση από την ανάγνωση του υδρομέτρου με το εδαφικό δείγμα.

η) Μέτρηση των Αιωρούμενων Στερεών

Με το πλαστικό πώμα στον κύλινδρο, ανάμειξε το περιεχόμενο για 1 λεπτό (ανέστρεψε τον κύλινδρο αρκετές φορές για καλή ανάμειξη). Κατόπιν τοποθέτησε ταχέως τον κύλινδρο σε σταθερό μέρος και σημείωσε αμέσως τον χρόνο.

Τοποθέτησε το υδρόμετρο μέσα στο αιώπημα και μέτρησε την ένδειξη σε 40 δευτερόλεπτα μετά την ανάμειξη. Αυτή η ένδειξη δίδει τους εδαφικούς κόκκους μέχρι 0,05 mm που είναι σε αιώρηση, η άμμος έχει καθιζήσει.

Απομάκρυνε προσεκτικά το υδρόμετρο, ξέπλυνε καθαρά με απεσταγμένο νερό. Μέτρησε την θερμοκρασία του αιωρήματος και άφησε το αιώρημα σε ηρεμία. Μετά από δύο ώρες από την ανάμειξη, τοποθέτησε πάλι το υδρόμετρο μέσα στον κύλινδρο Βουγιούκου και μέτρησε την ένδειξη του υδρομέτρου και την θερμοκρασία. Εδαφικοί κόκκοι με διάμετρο μεγαλύτερη από 0,002 mm (δηλαδή άμμος και ιλύς) έχουν καθιζήσει ενώ η άργιλλος είναι σε αιώρηση.

Απομάκρυνε το μεγαλύτερο μέρος του υπερκειμένου αιωρήματος και μετέφερε το υπόλοιπο υλικό που έχει καθιζήσει σε κόσκινο μεγέθους 0,05 mm.

Ξέπλυνε την άμμο με άφθονο νερό βρύσης, μετέφερε την άμμο σε δίσκο, ξήρανε σε 105° και ζύγισε σαν ολική άμμο. Εάν το κλάσμα της άμμου υπερβαίνει το 5% του ολικού εδαφικού δείγματος, πέρασε την ξηρή άμμο από μια σειρά κοσκίνων μηχανικής αναλύσεως με διαστάσεις 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,1 mm, και 0,05 mm. Ξήρανε και ζύγισε τα δείγματα της άμμου με ακρίβεια μέχρι 0,1 g. Ένας τρόπος είναι να ζυγισθούν τα κόσκινα πριν και μετά την προσθήκη της άμμου. Η ανακίνηση της άμμου με τα κόσκινα πρέπει να διαρκέσει 5 λεπτά ή μέχρι ολικού διαχωρισμού των κλασμάτων της άμμου.

θ) Υπολογισμοί**Ιλύς και Άργιλλος (0,05 - 0,000 mm)**1) Υπολογισμός της διορθωμένης ενδείξεως του υδρομέτρου στα 40 δευτερόλεπτα.

- i) Διόρθωση ενδείξεως υδρομέτρου λόγω θερμοκρασίας, $\Delta = (\text{θερμοκρασία αιωρήματος} - 20^{\circ}\text{C}) \times 0,3$.
- ii) Διορθωμένη ένδειξη υδρομέτρου = πραγματική ένδειξη υδρομέτρου + Δ - ένδειξη υδρομέτρου χωρίς δείγμα.

2) Υπολογισμός ιλύος και αργίλλου.

- i) Διαίρεσε την διορθωμένη ένδειξη του υδρομέτρου με το βάρος του εδάφους ξηρασθέντος σε 105°C.
- ii) Πολλαπλασίασε το αποτέλεσμα (2.i.) με 100.

Άμμος (2,00 - 0,05 mm)

- 1) Αφαίρεσε την ποσότητα της ιλύος και αργίλλου (2.i.) από 100. Αυτό δίδει την ολική άμμο. Η τιμή αυτή θα πρέπει να προσεγγίζει την ολική άμμο που μεταφέρθηκε με τα κόσκινα.
- 2) Υπολόγισε τα βάρη των διαφορετικών κλασμάτων της άμμου και κάνε αναγωγή αυτών επί του ξηρού βάρους του εδάφους.

Άργιλλος (0,002 - 0,000 mm)

Ακολούθησε τον ίδιο υπολογισμό όπως για την ιλύ και άργιλλο, αλλά αντικατέστησε την ένδειξη του υδρομέτρου και της θερμοκρασίας με τις τιμές που μετρήθηκαν στο τέλος των δυο ωρών.

Ιλύς (0,05 - 0,002 mm)

Αφαίρεσε την εκατοστιαία ποσότητα αργίλλου και άμμου από 100. Εάν οι υπολογισμοί έχουν γίνει σωστά, μια αντίστοιχη τιμή υπολογίζεται από την αφαίρεση της αργίλλου από την άργιλλο και ιλύ.

Η οργανική ύλη δεν λαμβάνεται υπ' όψη στους ανωτέρω υπολογισμούς, εκτός εάν το ξηρό βάρος έχει διορθωθεί για το ποσοστό της οργανικής ύλης.

1) *Συστάσεις και Προφυλάξεις σχετικά με:*

- το έδαφος:

- 1) Το έδαφος πρέπει να έχει αποξηρανθεί ή να είναι υγρό. Έδαφος που έχει ξηρανθεί στο κλίβανο δεν διασπείρεται πάντοτε.
- 2) Η άμμος φαίνεται ότι υφίσταται απόξεση όταν αναδεύεται περισσότερο από 5 λεπτά.
- 3) Σε οργανικά εδάφη reats και mucks η μέθοδος του υδρομέτρου δεν εφαρμόζεται.

- το υδρόμετρο

- 1) Απομάκρυνε το υδρόμετρο μετά από κάθε μέτρηση.
- 2) Το υδρόμετρο πρέπει να είναι καθαρό πριν από κάθε μέτρηση.
- 3) Εάν το αιώρημα είναι αφρώδες, πρόσθεσε μια σταγόνα αμυλικής αλκόολης αμέσως μετά την ανάμειξη. Η μια πλευρά του τοιχώματος του κυλίνδρου πρέπει να είναι καθαρή ώστε να μπορεί να αναγνωσθεί το υδρόμετρο.

- το θερμομέτρο

Η διόρθωση της θερμοκρασίας 0,3 για κάθε βαθμό Κελσίου είναι μια προσέγγιση. Ακραίες θερμοκρασίες 30°C ή 10°C θα πρέπει να αποφεύγονται. Είναι καλύτερα η μέτρηση του υδρομέτρου να γίνεται σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας (>20° C).

- την στήλη αιωρήματος

- 1) Προσοχή να μην ανακινηθεί η στήλη του αιωρήματος κατά την τοποθέτηση και απομάκρυνση του υδρομέτρου και θερμομέτρου.

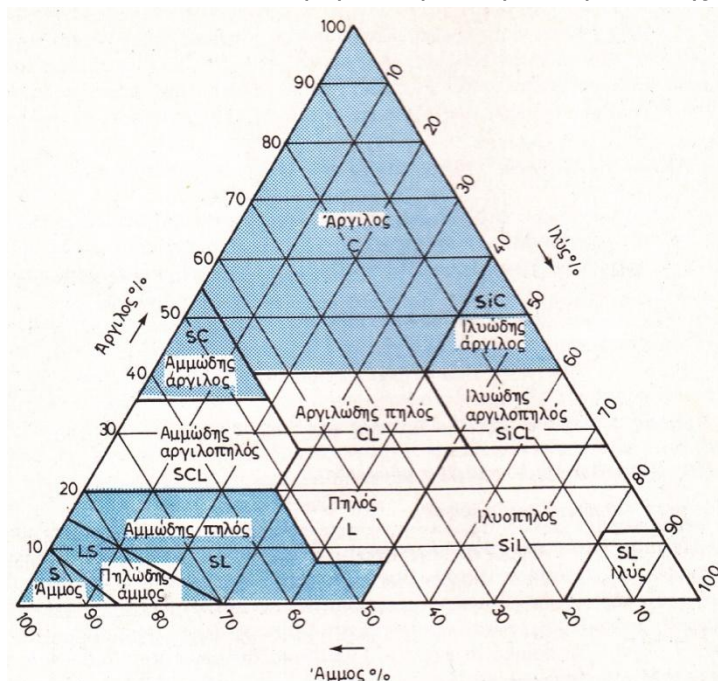
- τον μηχανικό αναμείκτη

- 1) Είναι σημαντικό η έλικα του αναμείκτη να μην έχει υποστεί φθορά.

Τα αποτελέσματα που έβγαλε η ακόλουθη διαδικασία ήταν τα κάτωθι:

$$\rightarrow 4,92\% \text{ ιλύς και άργιλος } \left\{ \begin{array}{l} 1,64\% \text{ ιλύς} \\ 3,28\% \text{ άργιλος} \end{array} \right.$$

Στο τρίγωνο βλέπουμε ότι υπάρχουν 12 τύποι εδαφών, ανάλογα με τα δομικά στοιχεία που επικρατούν κάθε φορά στο δείγμα. Παρατηρείται λοιπόν ότι εκ των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν παραπάνω και από το σχήμα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το δείγμα που μελετήθηκε ανήκε στην κατηγορία της άμμου (sand).



Εικόνα 3.1 Τρίγωνο ταξινόμησης των εδαφών ανάλογα με τη κοκκομετρική σύσταση.

3.2.2 Κοκκομετρική Ανάλυση με κόσκινα

Η κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα είναι η ανάλυση που γίνεται στα αδρανή υλικά και η οποία μας παρέχει το ποσοστό επί τοις εκατό της σύνθεσης του αδρανούς σε κόκκους διαφόρων μεγεθών.

Η δοκιμή κοκκομετρικής αναλύσεως χρησιμοποιείται στα πλαίσια ταξινόμησης των εδαφών για να καθορίσει τα ποσοστά της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων του εδάφους και εκτελείται με τη βοήθεια κοσκίνων για μεγέθη κόκκων μεγαλύτερα από 0,075mm και με τη βοήθεια του πυκνόμετρου για μεγέθη κόκκων μικρότερα από 0,075mm. Το μέγεθος των κοσκίνων εξαρτάται από την διάμετρο του προς ανάλυση υλικού.

Επειδή στο Εργαστήριο η εξέταση μιας μεγάλης ποσότητας δείγματος είναι πρακτικά δύσκολη, από το δείγμα των αδρανών που προσκομίστηκε στο Εργαστήριο, επιλέγεται μια μικρότερη ποσότητα - αντιπροσωπευτική όμως του όλου δείγματος (εικόνες 3.2.α και 3.2.β). Η επιλογή του αντιπροσωπευτικού αυτού δείγματος γίνεται με δύο τρόπους:

- (α) συσκευές διαχωρισμού δειγμάτων (sample splitter) και
- (β) τετραμερισμό.

Όσον αφορά την ποσότητα του δείγματος, πρακτικά η ελάχιστη ποσότητα για την κοκκομετρική ανάλυση είναι:

- ➔ 500 g για την άμμο
- ➔ 1kg για σκύρα μέγιστου κόκκου 30 mm

Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ξήρανση του δείγματος η οποία μπορεί να γίνει είτε σε φούρνο, είτε σε ρεύμα θερμού αέρα. Πρακτικά όμως και η έκθεση του δείγματος στον ήλιο είναι αρκετή για την ξήρασή του.



Εικόνα 3.2.α Κοσκίνισμα άμμου για ποσότητα δείγματος 1000g.



Εικόνα 3.2.β Κοσκίνισμα χαλικιών για ποσότητα δείγματος 1000g.



Εικόνα 3.3.α Σειρά πρότυπων κοσκίνων με κάλυμμα επάνω από το πρώτο κόσκινο και συλλέκτη κάτω από το τελευταίο.



Εικόνα 3.3.β Σειρά κοσκίνων στη συσκευή δονήσεως.

Ο Εργαστηριακός εξοπλισμός που απαιτείται για την κοκκομετρική ανάλυση, είναι:

- (α) γουδί και γουδοχέρι,
- (β) βούρτσα για την απομάκρυνση των κόκκων από τις οπές των κοσκίνων,
- (γ) σειρά προτύπων κοσκίνων με κάλυμμα επάνω από το πρώτο κόσκινο και συλλέκτη κάτω από το τελευταίο (εικόνα 3.3.α)
- (δ) συσκευή δονήσεως των κοσκίνων (εικόνα 3.3.β)
- (ε) ζυγός ακριβείας 0,1 g
- (στ) κλίβανος ξηράσεως 110°C



Εικόνα 3.4 Η ελάττωση των διαμέτρων των οπών των κοσκίνων έχει αποτέλεσμα να εγκλωβίζονται προοδευτικά περισσότεροι κόκκοι στους βρόγχους.



Εικόνα 3.5 Δείγμα άμμου και χαλικιών.

Η διαδικασία εκτέλεσης γίνεται με τους ακόλουθες ενέργειες:

- ➔ Καθαρίζονται τα κόσκινα και ο συλλέκτης από κόκκους και σκόνη (εικόνα 3.4), ζυγίζονται με ακρίβεια 0,1g και καταγράφεται το βάρος τους.
- ➔ Από το ξηραμένο στον κλίβανο έδαφος λαμβάνεται με τη χρησιμοποίηση της συσκευής διαχωρισμού δειγμάτων αντιπροσωπευτικό δείγμα (εικόνα 3.5) τουλάχιστον 500g για τις άμμους και τους λεπτούς χάλικες, ενώ για πιο χονδρόκοκκα το βάρος εξαρτάται από τη διάμετρο των κόκκων (Πίνακας 3.2).
- ➔ Τοποθετούνται τα κόσκινα και ο συλλέκτης στη συσκευή δονήσεως με τις διαμέτρους των οπών ελαττούμενες από επάνω προς τα κάτω. Ρίχνεται προσεκτικά το δείγμα στο επάνω κόσκινο (εικόνα 3.6) και κλίνεται το καπάκι.
- ➔ Υποβάλλεται η σειρά των κοσκίνων σε δόνηση έτσι ώστε το υλικό να βρίσκεται σε συνεχή κίνηση επάνω στην επιφάνεια του κόσκινου επί 10 λεπτά.
- ➔ Στο τέλος της δονήσεως απομακρύνονται τα κόσκινα και ο συλλέκτης, ζυγίζονται και καταγράφεται το βάρος τους με το συγκρατούμενο έδαφος. Το άδειασμα του περιεχόμενου των κοσκίνων (εικόνα 3.7) προς ζύγιση ενέχει τον κίνδυνο να παραμείνουν κόκκοι στους βρόγχους και να απολεσθεί το πραγματικό περιεχόμενο.

Πίνακας 3.2

Ελάχιστο βάρος του προς εξέταση δείγματος.

Ονομαστικό μέγιστο μέγεθος κόκκου σε cm	Ελάχιστο βάρος δείγματος σε g
0,965	1.000
1,270	2.500
1,930	5.000
2,540	10.000
3,810	15.000
5,080	20.000
6,350	25.000
7,620	30.000
8,890	35.000



Εικόνα 3.6 Το προς ανάλυση υλικό τοποθετείται στο επάνω κόσκινο.



Εικόνα 3.7 Το άδειασμα του περιεχομένου των κοσκίων για ζύγιση πρέπει να αποφεύγεται.

Η ποσότητα του υλικού που παραμένει σε κάθε κόσκινο καλείται **συγκρατούμενο** και αυτή που πέρασε **διερχόμενο**.

Τα συγκρατούμενα σε κάθε κόσκινο ζυγίζονται με ακρίβεια και το βάρος τους καταγράφεται στο **δελτίο κοκκομετρικής ανάλυσης** του δείγματος. Στη συνέχεια με υπολογισμούς βρίσκουμε το **διερχόμενο βάρος και το % ποσοστό του διερχόμενου**.

Ο υπολογισμός του % διερχόμενου στο κόσκινο i δίνεται από τη σχέση:

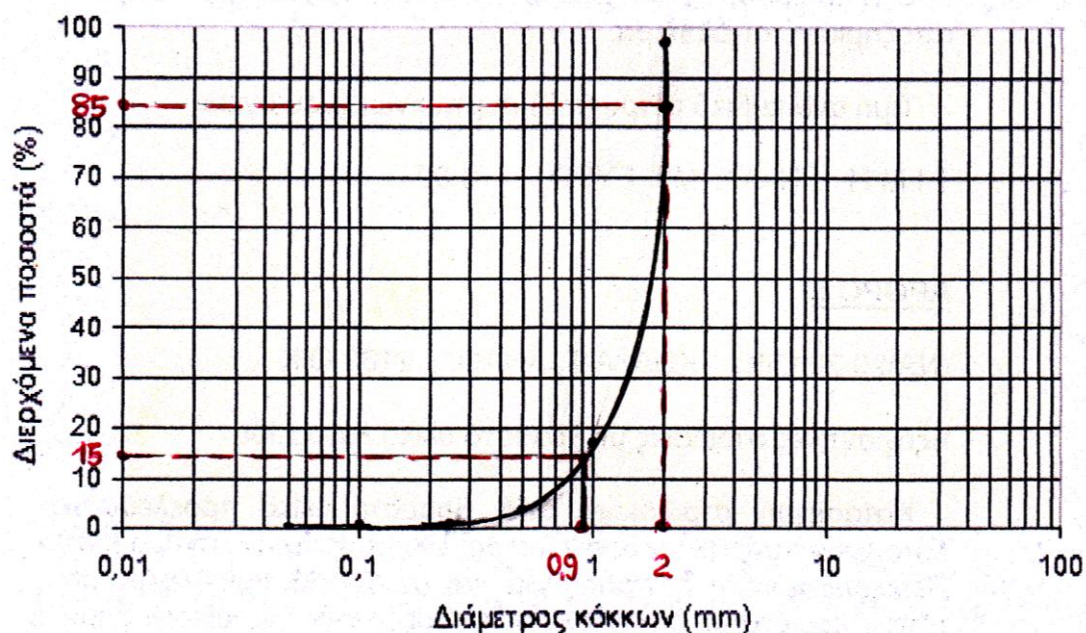
$$\text{διερχόμενο \% στο κόσκινο } i = \frac{\text{διερχόμενο κόσκινο } i}{\text{αρχικό βάρος δείγματος}} \times 100$$

Επομένως τα δελτία και τα διαγράμματα της κοκκομετρικής ανάλυσης τόσο για την άμμο όσο και για τα χαλίκια, παρουσιάζονται παρακάτω:

1) Για την άμμο:

Δελτίο κοκκομετρικής ανάλυσης						
Είδος δείγματος:		ΑΜΜΟΣ				
Βάρος δείγματος (g):		1000				
Πρότυπο μέγεθος κοσκίνου (mm)	Βάρος κοσκίνου (g)	Βάρος κοσκίνου + εδάφους (g)	Συγκρατούμενο βάρος (g)	Αθροιστικά συγκρατούμενο βάρος (g)	Συγκρατούμενα ποσοστά (%)	Διερχόμενα ποσοστά (%)
2	362,53	375,24	12,71	12,71	1,3	98,7
1	336,26	1141,73	805,47	818,18	81,8	18,2
0,5	306,80	456,38	149,58	967,76	96,8	3,2
0,25	278,63	305,00	26,37	994,13	99,4	0,6
0,1	250,87	254,03	3,16	997,29	99,7	0,3
0,05	250,96	251,31	0,35	997,64	99,8	0,2
Συλλέκτης	103,36	103,56	0,2	997,84	99,8	0,2

Διάγραμμα Κοκκομετρικής Αναλύσεως



Από το διάγραμμα κοκκομετρικής αναλύσεως για την άμμο, προκύπτει ότι:

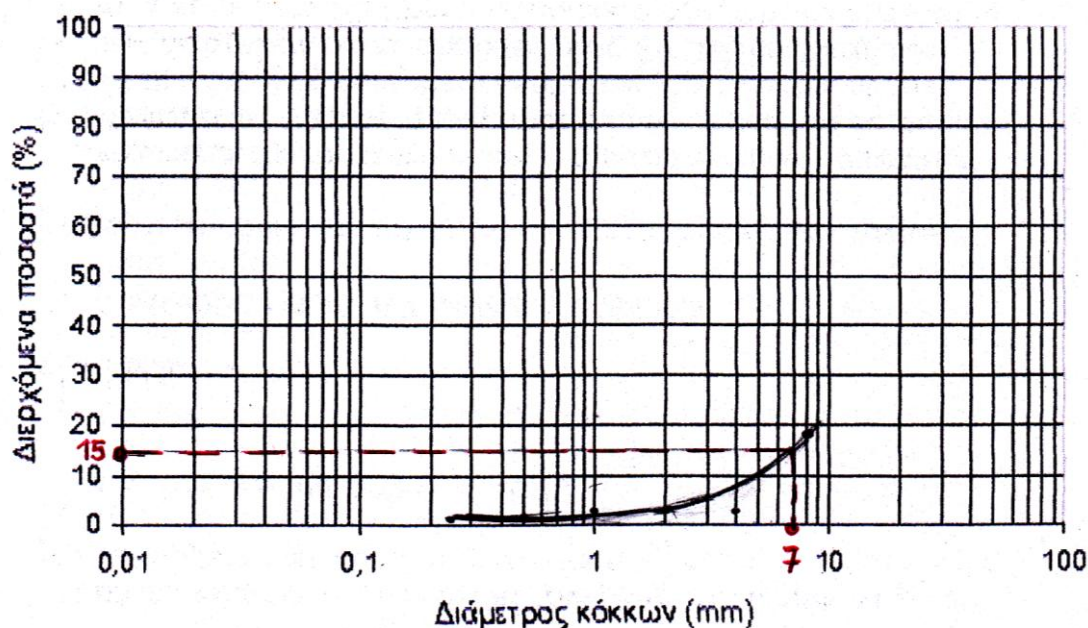
$$D_{85} \text{ άμμου} = 2 \text{ mm}$$

$$D_{15} \text{ άμμου} = 0,9 \text{ mm}$$

2) Για τα χαλίκια:

Δελτίο κοκκομετρικής ανάλυσης						
Είδος δείγματος:		ΧΑΛΙΚΙΑ				
Βάρος δείγματος (g):		1000				
Πρότυπο μέγεθος κοσκίνου (mm)	Βάρος κοσκίνου (g)	Βάρος κοσκίνου + εδάφους (g)	Συγκρατούμενο βάρος (g)	Αθροιστικά συγκρατούμενο βάρος (g)	Συγκρατούμενα ποσοστά %	Διερχόμενα ποσοστά %
8	443,40	1256,88	813,48	813,48	81,3	18,7
4	427,08	610,47	183,39	996,87	99,7	0,3
2	362,53	362,96	0,43	997,3	99,7	0,3
1	336,32	336,40	0,08	997,38	99,7	0,3
0,5	306,84	307,00	0,16	997,54	99,8	0,2
0,25	278,65	278,98	0,33	997,87	99,8	0,2
Συλλέκτης	103,4	105,64	2,24	1000,11	100,0	0,0

Διάγραμμα Κοκκομετρικής Αναλύσεως



Από το διάγραμμα κοκκομετρικής αναλύσεως για τα χαλίκια, προκύπτει ότι:

$$D_{15} \text{ χαλικιού} = 7 \text{ mm}$$

Όπως παρατηρείται μέσα από τα διαγράμματα κοκκομετρικής αναλύσεως (τόσο για την άμμο όσο και για τα χαλίκια) μπορεί να βρεθεί η διάμετρος των κόκκων για τα διερχόμενα ποσοστά που ζητούνται. Επομένως, είναι εφικτό να επιβεβαιωθεί αν πρέπει ή δεν πρέπει να τοποθετηθεί γαιούφασμα στο υπάρχον πείραμα. Σύμφωνα

με τους “Κανόνες Φίλτρου” που αναφέρθηκε στο Μέρος II , Κεφάλαιο 2.4, πρόκειται για έναν πίνακα που συμπεριλαμβάνεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Μέσω αυτού μπορεί να γίνει εκτίμηση των υλικών που τοποθετούνται εντός του δοχείου (φίλτρου) και της αναγκαιότητας ή μη του γαιούφασματος.

Πίνακας 200.2-1 Κανόνες Φίλτρου.

#	Λόγοι διαμέτρων οπών κόσκινου	Συνθήκη
1	2	3
1	$\frac{D_{15} \text{ υλικού αποστράγγισης (φίλτρο)}}{D_{85} \text{ υλικού υπεδάφους (έδαφος)}}$	≤ 5
2	$\frac{D_{15} \text{ υλικού αποστράγγισης (φίλτρο)}}{D_{15} \text{ υλικού υπεδάφους (έδαφος)}}$	≥ 5
3	$\frac{D_{50} \text{ υλικού αποστράγγισης (φίλτρο)}}{D_{50} \text{ υλικού υπεδάφους (παρακείμενης ζώνης)}}$	≤ 25
4	$\frac{D_{15} \text{ χαλικιών}}{D_{85} \text{ άμμου}}$	≤ 5
5	$\frac{D_{15} \text{ χαλικιών}}{D_{15} \text{ άμμου}}$	≥ 5
6	$\frac{D_{85} \text{ υλικού αποστράγγισης (χαλικιών)}}{D \text{ οπής σωλήνα αποστράγγισης (ή άνοιγμα αρμού)}}$	> 1
7	$\frac{D_{60} \text{ υλικού φίλτρου}}{D_{10} \text{ υλικού φίλτρου}}$	≤ 20

Πηγή: παρ. 4.4..2.1.01 της ΠΤΠ Τ-110 (ΦΕΚ 203 Β/67)

(1) π.χ. D_{15} = Η διάμετρος του κόσκινου, δια του οποίου διέρχεται το 15% (κατά βάρος) του υλικού.

Όπως λοιπόν φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, οι κατηγορίες που αναφέρονται στα υλικά του πειράματος είναι η # 4 και η # 5. Κρίθηκε αναγκαίο να γίνουν μετρήσεις και για τις δύο κατηγορίες, ώστε να επιβεβαιωθούν και επαληθευτούν τα αποτελέσματα.

Οπότε, έχουμε:

→ Κατηγορία # 4:

$$\frac{D_{15} \text{ χαλικιού}}{D_{85} \text{ άμμου}} = \frac{0,07}{0,02} = 3,5 \leq 5 \quad \underline{\text{Επαληθεύεται}}$$

→ Κατηγορία # 5:

$$\frac{D_{15} \text{ χαλικιού}}{D_{15} \text{ άμμου}} = \frac{0,07}{0,009} = 7,77 \geq 5 \quad \underline{\text{Επαληθεύεται}}$$

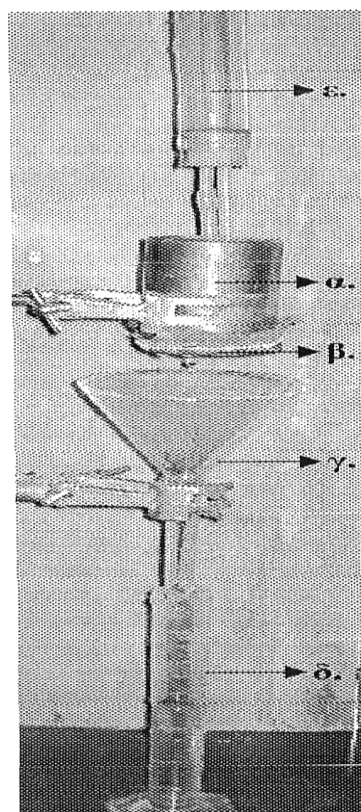
Εφόσον πληρούνται οι περιορισμοί (κανόνες) του Φίλτρου και για τις δύο κατηγορίες υλικών (άμμου και χαλικιών), δεν είναι αναγκαίο να τοποθετηθεί γαιούφασμα στο υπάρχον πείραμα.

3.3 Υδραυλική αγωγιμότητα (K_s)

Η μέθοδος βασίζεται στην απ' ευθείας εφαρμογή της εξίσωσης του Darcy σε μια κορεσμένη στήλη ομοιόμορφου εδάφους. Εφαρμόζεται μια διαφορά υδραυλικού φορτίου στη στήλη και μετριέται το αποτέλεσμα της ροής.

Για να υπολογιστεί η υδραυλική αγωγιμότητα K_s στο Εργαστήριο, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- 1) Τοποθετείται το πορώδες υλικό (δείγμα) σε περατόμετρο σταθερού φορτίου.
- 2) Γίνεται συγκράτηση του δείγματος στο περατόμετρο με ύφασμα ή σε πολύ λεπτότερα εδάφη μπορεί να χρησιμοποιηθεί λεπτότερο ύφασμα και σήτα.
- 3) Τοποθετείται το κάτω άκρο του δείγματος που το καλύψαμε με ύφασμα σε μια αβαθή λεκάνη με νερό. Το ύψος του νερού στη λεκάνη διατηρείται λίγο πιο κάτω από την ανώτερη επιφάνεια του δείγματος.
- 4) Αφήνεται το δείγμα στη λεκάνη να κορεστεί τουλάχιστον 12 ώρες.
- 5) Τοποθετείται στην πάνω επιφάνεια του δείγματος μια σήτα και προσθέτουμε λίγο νερό.
- 6) Μεταφέρεται το δείγμα σε μια αβαθή λεκάνη με νερό.
- 7) Η στάθμη του νερού στη λεκάνη διατηρείται σταθερή και υπάρχει η δυνατότητα να μετρηθεί ο όγκος του νερού που διέρχεται μέσω της στήλης.



Εικόνα 3.8 Περατόμετρα σταθερού φορτίου, όπου (α) αδιατάρακτο εδαφικό μείγμα, (β) σήτα, (γ) χωνί, (δ) ογκομετρικός κύλινδρος, (ε) φιάλη Mariotte.

- 8) Προσαρμόζεται η συσκευή Marriotte στο πάνω άκρο του δείγματος έτσι ώστε να διατηρείται εκεί μια σταθερή στάθμη νερού μικρού ύψους.
- 9) Μόλις σταθεροποιηθεί η στάθμη του νερού τοποθετείται ογκομετρικός κύλινδρος στην εκροή και μετρείται ο όγκος του νερού V , ο οποίος διήλθε μέσω του δείγματος σε χρόνο t (με τη βοήθεια χρονομέτρου), καθώς και η διαφορά του υδραυλικού φορτίου ($h_1 - h_2$), όπως φαίνεται στην εικόνα 3.8.

Αυτές οι αρχικές διενέργειες πραγματοποιούνται πάντοτε, με τον ίδιο τρόπο, για όλα τα υλικά που γίνεται υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας (είτε πρόκειται για την άμμο, είτε για τα χαλίκια, είτε για την αλληλουχία (άμμου - χαλικιών). Κατόπιν αυτών των ενεργειών, γίνεται μέτρηση του όγκου του νερού που εκρέει από το δείγμα σε ορισμένο χρόνο.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ο υπολογισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας (K_s) της άμμου και της αλληλουχίας (άμμου - χαλικιών) του μείγματος. Τέλος, γίνεται μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας (K_s) των χαλικιών με τη βοήθεια εμπειριστατών τύπων που ισχύουν σε ομογενείς και ισότροπες κατατομές.

3.3.1 Υδραυλική αγωγιμότητα (K_s) άμμου

Για την εκτέλεση του υπάρχοντος πειράματος, χρησιμοποιήθηκε περατόμετρο σταθερού φορτίου, στο οποίο ήταν αναγκαίο να γνωρίζουμε τα παρακάτω δεδομένα, για την εύρεση της υδραυλικής αγωγιμότητας και έγιναν με τη σειρά τα ακόλουθα:

- 1) Διάμετρος δείγματος: $D = 12 \text{ cm}$
Μήκος δείγματος: $L = 20,8 \text{ cm}$
Διατομή δείγματος: $A = 113,097 \text{ cm}^2$
- 2) Φορτίο πίεσης στην άνω επιφάνεια του δείγματος: $H_1 = 4 \text{ cm}$
Φορτίο πίεσης στην κάτω επιφάνεια του δείγματος: $H_2 = 0 \text{ cm}$
Φορτίο βαρύτητας στην άνω επιφάνεια του δείγματος: $Z_1 = 20,8 \text{ cm}$
Φορτίο βαρύτητας στην κάτω επιφάνεια του δείγματος: $Z_2 = 0 \text{ cm}$
Υδραυλικό φορτίο στην άνω επιφάνεια του δείγματος: $h_1 = 24,8 \text{ cm}$
Υδραυλικό φορτίο στην κάτω επιφάνεια του δείγματος: $h_2 = 0 \text{ cm}$
- 3) Με τη βοήθεια του ογκομετρικού κυλίνδρου και του χρονομέτρου μετρήθηκε ο όγκος V_{t_i} σε cm^3 του νερού που εκρέει από το δείγμα σε ορισμένο χρόνο t_i :
$$t_i = 1 \text{ min}$$
- 4) Εφαρμόζοντας το Νόμο του Darcy στο περατόμετρο σταθερού φορτίου για να υπολογιστεί η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό (K_s) της άμμου σε cm/min .
- 5) Γίνεται επανάληψη της μέτρησης για 5 φορές και συμπληρώνεται ο παρακάτω πίνακας:

i	V _{ti} (cm ³)	t _i (min)	K _{si} (cm/min)
1	488	1	3,62
2	480	1	3,56
3	492	1	3,65
4	490	1	3,63
5	490	1	3,63

- 6) Επομένως, είναι δυνατό να βρεθεί η μέση υδραυλική αγωγιμότητα $\overline{K_s}$ της άμμου που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα:

$$\overline{K_s} = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5}{5} \Rightarrow \overline{K_s} = 3,62 \text{ cm/min} \Rightarrow \overline{K_s} = 217,1 \text{ cm/h}$$

3.3.2 Ισοδύναμη κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα (K_s) της αλληλουχίας (άμμου - χαλικιών)

Για την εκτέλεση του υπάρχοντος πειράματος, χρησιμοποιήθηκε περατόμετρο σταθερού φορτίου, στο οποίο ήταν αναγκαίο να γνωρίζουμε τα παρακάτω δεδομένα, για την εύρεση της υδραυλικής αγωγιμότητας και έγιναν με τη σειρά τα ακόλουθα:

- 1) Διάμετρος δείγματος: $D = 12 \text{ cm}$
Μήκος δείγματος: $L = 22 \text{ cm}$
Διατομή δείγματος: $A = 113,097 \text{ cm}^2$
- 2) Φορτίο πίεσης στην άνω επιφάνεια του δείγματος: $H_1 = 2,8 \text{ cm}$
Φορτίο πίεσης στην κάτω επιφάνεια του δείγματος: $H_2 = 0 \text{ cm}$
Φορτίο βαρύτητας στην άνω επιφάνεια του δείγματος: $Z_1 = 22 \text{ cm}$
Φορτίο βαρύτητας στην κάτω επιφάνεια του δείγματος: $Z_2 = 0 \text{ cm}$
Υδραυλικό φορτίο στην άνω επιφάνεια του δείγματος: $h_1 = 24,8 \text{ cm}$
Υδραυλικό φορτίο στην κάτω επιφάνεια του δείγματος: $h_2 = 0 \text{ cm}$
- 3) Με τη βοήθεια του ογκομετρικού κυλίνδρου και του χρονομέτρου μετρήθηκε ο όγκος V_{t_i} σε cm³ του νερού που εκρέει από το δείγμα σε ορισμένο χρόνο t_i :
$$t_i = 1 \text{ min}$$
- 4) Εφαρμόζοντας το Νόμο του Darcy στο περατόμετρο σταθερού φορτίου για να υπολογιστεί η υδραυλική αγωγιμότητα στον κορεσμό (K_s) της αλληλουχίας (άμμου - χαλικιών) σε cm/min.

5) Επαναλαμβάνεται η μέτρηση 5 φορές και συμπληρώνεται ο παρακάτω πίνακας:

i	V_{ti} (cm^3)	t_i (min)	K_{si} (cm/min)
1	548	1	4,30
2	540	1	4,24
3	544	1	4,27
4	556	1	4,36
5	546	1	4,28

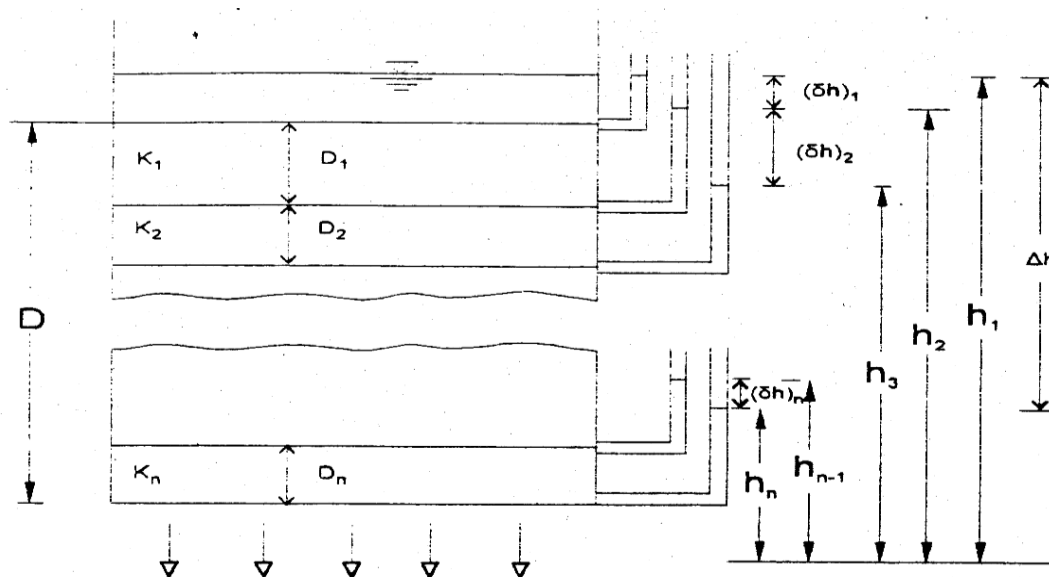
6) Επομένως, είναι δυνατό να βρεθεί η μέση υδραυλική αγωγιμότητα $\overline{K_s}$ της αλληλουχίας (άμμου - χαλικιών) που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα:

$$\overline{K_s} = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5}{5} \Rightarrow \overline{K_s} = 4,29 \text{ cm/min} \Rightarrow \overline{K_s} = 257,3 \text{ cm/h}$$

3.3.3 Υδραυλική αγωγιμότητα (K_s) χαλικιών

Όσον αφορά τη μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας (K_s) των χαλικιών, πραγματοποιήθηκαν οι διαδικασίες που παρακολουθήσαμε παραπάνω και πιο συγκεκριμένα, ακολουθήθηκαν στην άμμο και στην αλληλουχία (άμμου - χαλικιών), όμως η ροή του νερού που έκρευε μέσα από τα χαλίκια ήταν τόσο πολύ γρήγορη, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να βγουν ορθά αποτελέσματα.

Για τον λόγο αυτό, ακολουθήθηκε άλλη μέθοδος, μέσω της οποίας ήταν δυνατό να βρεθεί η υδραυλική αγωγιμότητα (K_s) μιας στρώσης, μόνο και μόνο εάν ήταν γνωστές οι υδραυλικές αγωγιμότητες των υπολοίπων στρώσεων. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου πειράματος, γνωρίζοντας την υδραυλική αγωγιμότητα (K_s), της άμμου και του αλληλουχίας, ήταν εφικτό να υπολογιστεί η υδραυλική αγωγιμότητα (K_s) των χαλικιών.



Σχήμα 3.1 Κατακόρυφη ροή δια μέσου στρώσεων με ιδιαίτερα υδραυλικά χαρακτηριστικά.

Πολλές φορές φυσικοί πορώδες σχηματισμοί ιδιαίτερα σε αλλουβιακές πεδιάδες εμφανίζουν διάστρωση οφειλόμενη στη διαδικασία του σχηματισμού τους, δηλαδή εμφανίζουν στρώσεις με ιδιαίτερα υδραυλικά χαρακτηριστικά. Η ανισοτροπία αυτή χαρακτηρίζεται ως διαστρωσιγενής. Στην περίπτωση που όλες οι στρώσεις της κατανομής του μέσου είναι ομογενείς και ισότροποι, τότε όλη η κατανομή μπορεί να αναχθεί σε μια μόνο ομογενή και ανισότροπη στρώση. Αν με K_i , d_i δηλωθούν η υδραυλική αγωγιμότητα και το πάχος κάθε στρώσης με το δείκτη i να παίρνει τις τιμές $i = 1, 2, 3, \dots, n$ καθορίζοντας έτσι διαδοχικά τις στρώσεις και θεωρώντας ότι έχουμε κατακόρυφη προς τα κάτω ροή (όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1), τότε:

$$u_z = K_1 \frac{\delta h_1}{d_1} = K_2 \frac{\delta h_2}{d_2} = \dots = K_n \frac{\delta h_n}{d_n} = K_z \frac{\Delta h}{D}$$

οπού K_z η ισοδύναμη υδραυλική αγωγιμότητα για κατακόρυφη ροή, ή

$$K_z = \frac{u_z D}{\Delta h} = \frac{u_z D}{u_z \frac{d_1}{K_1} + u_z \frac{d_2}{K_2} + \dots + u_z \frac{d_n}{K_n}} = \frac{D}{\sum_{i=1}^n d_i / K_i} \Rightarrow K_z = \frac{u_z D}{u_z \frac{d_1}{K_1} + u_z \frac{d_2}{K_2}}$$

απαλείφονται τα u_z και με δεδομένα τα εξής:

$$K_1 = 3,62 \text{ cm/min}, K_2 = 4,29 \text{ cm/min}, d_1 = 17 \text{ cm}, d_2 = 5 \text{ cm}, D = 22 \text{ cm}$$

λύνοντας ως προς K_2 και έχουμε την υδραυλική αγωγιμότητα των χαλικιών ίση με:

$$K_2 = 11,57 \text{ cm/min} \Rightarrow K_2 = 694,2 \text{ cm/h}.$$

3.4 Χαρακτηριστική Καμπύλη Υγρασίας

Μέθοδος στήλης σε ισορροπία με σταθερή στάθμη ελεύθερου νερού

Για την μέτρηση της χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας ακολουθήθηκαν με προσοχή τα παρακάτω βήματα (όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4):

- 1) Τεμαχίστηκαν σωλήνες plexiglass μήκους 1 m σε τεμάχια των 10 cm. Ήταν δυνατό να επιλεγεί σωλήνας οποιασδήποτε διαμέτρου. Στο Εργαστήριο επελέγη σωλήνας εσωτερικής διαμέτρου 12 mm.
- 2) Συναρμολογήθηκαν τα τεμάχια σε σωλήνα με τη βοήθεια ταινίας συσκευασίας. Προσοχή: η εξασφάλιση στεγανότητας ήταν απαραίτητη.
- 3) Στο ένα άκρο του σωλήνα τοποθετήθηκε σήτα και πώμα στο κέντρο του οποίου υπήρχε οπή με μικρότερης διαμέτρου σωληνάκι.
- 4) Ακολούθησε το πακετάρισμα του αμμώδους εδάφους μέσα στο σωλήνα.
- 5) Αφού συνδέθηκε το σωληνάκι της βάσης με τη συσκευή Marriotte, άρχισε να ανεβαίνει σιγά - σιγά η στάθμη του υπόγειου νερού μέχρι το πάνω άκρο της στήλης. Εν συνεχεία άφησε το σύστημα σ' αυτή τη θέση μέχρι τον πλήρη κορεσμό.
- 6) Κατέβηκε η στάθμη του νερού στο κάτω άκρο της στήλης και αφέθηκε το σύστημα να φθάσει σε ισορροπία. Δηλαδή να μη στραγγίζεται νερό από τη στήλη της άμμου.

Προσοχή: καλύπτοντας κατάλληλα τη στήλη της άμμου ούτως ώστε να αποφευχθεί η εξάτμιση.

- 7) Έγινε έλεγχος αν η στήλη είχε φτάσει σε ισορροπία.
- 8) Μετρήθηκε με μέτρο η κάθετη απόσταση του μέσου κάθε τεμαχίου της στήλης από τη στάθμη του νερού και σημειώθηκε στη στήλη (2).
- 9) Τεμαχίστηκε προσεκτικά η στήλη. Προσοχή: Υπολογίστηκε με ακρίβεια το ύψος του 1^{ου} και 10^{ου} δείγματος (πιθανόν να είναι μικρότερου μήκους των 10cm). Συμπληρώθηκε στη στήλη (3).
- 10) Τοποθετήθηκε κάθε δείγμα σε ταψάκι και ζυγίστηκε εκείνη την ώρα (συμπληρώθηκε στη στήλη (4)).
- 11) Τοποθετήθηκαν τα δείγματα για ξήρανση στον κλίβανο στους 105°C για 24 ώρες τουλάχιστον.

Πίνακας 3.4

Διαδικασία μέτρησης χαρακτηριστικής καμπύλης υγρασίας.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α/α	Z = - H	Ύψος δείγματος (cm)	Βάρος ΠΡΙΝ	Βάρος ΜΕΤΑ την ξήρανση	Από-βαρο	V _υ	r	Όγκος δείγματος (V _ο) (cm ³)	Υγρασία % κατ' όγκο Θ
1	-4,4	8,8	75,27	60,55	14,72	14,72	1,2	39,81	0,370
2	-13,2	10	76,12	66,3	9,82	9,82	1,2	45,24	0,217
3	-23,8	10	73,49	66,22	7,27	7,27	1,2	45,24	0,161
4	-33,8	10	71,55	64,72	6,83	6,83	1,2	45,24	0,151
5	-43,8	10	72,77	66,03	6,74	6,74	1,2	45,24	0,149
6	-53,8	10	71,77	65,28	6,49	6,49	1,2	45,24	0,143
7	-63,8	10	67,88	61,99	5,89	5,89	1,2	45,24	0,130
8	-73,8	10	72,43	66,26	6,17	6,17	1,2	45,24	0,136
9	-83,8	10	72,31	66,48	5,83	5,83	1,2	45,24	0,129
10	-92,8	8	60,18	55,40	4,78	4,78	1,2	36,19	0,132

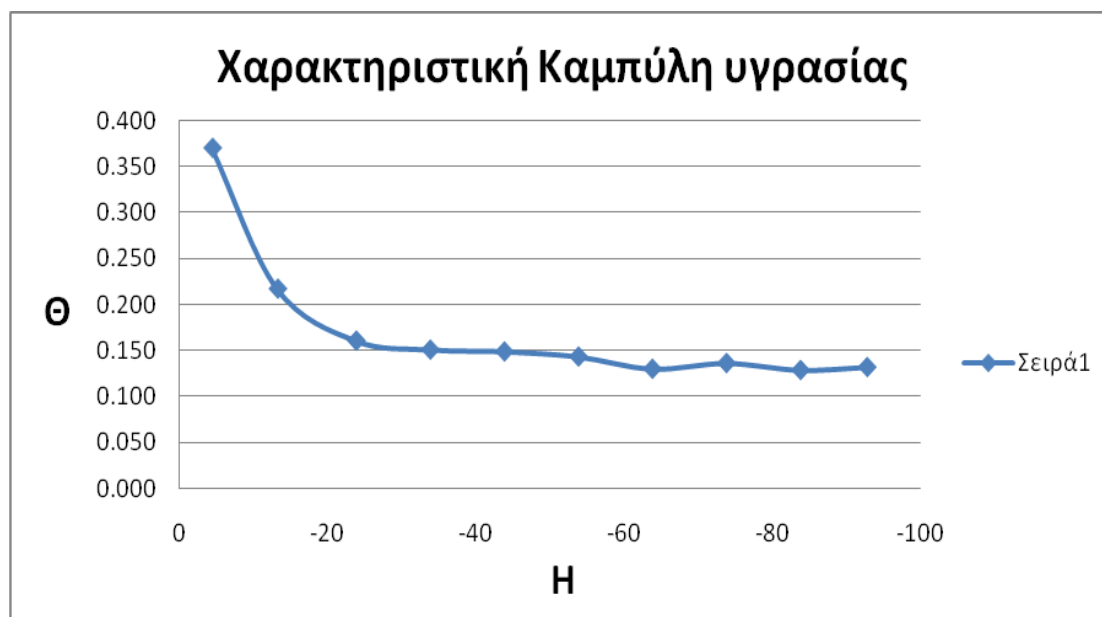
- 12) Έπειτα από 24 ώρες, βγήκαν τα δείγματα από τον κλίβανο και τοποθετήθηκαν σε χώρο (γυάλινο σκεύος) με ανθρακασβέστιο (ψυγείο) μέχρι ότου να φτάσουν στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου. Το ανθρακασβέστιο διατήρησε το χώρο ξηρό γιατί απορροφούσε την υγρασία.
- 13) Ζυγίστηκαν τα δείγματα. Συμπληρώθηκε στη στήλη (5).
- 14) Υπολογίζοντας την κατ' όγκο υγρασία Θ κάθε δείγματος.

$$\Theta = \frac{V_v}{V_o}$$

$$V_v : \text{Στήλη (4)} - \text{Στήλη (5)}$$

$$V_o : \text{Στήλη (9)}$$

- 15) Σε σύστημα αξόνων μεταφέρθηκαν οι τιμές της στήλης (2) και (10). Η καμπύλη που προέκυψε Z(Θ) ήταν η κατανομή της υγρασίας της στήλης του εδάφους. Επειδή $z = -H$ η ίδια η καμπύλη μας έδωσε τη συνάρτηση Θ(H), που αντιπροσωπεύει την χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας (κλάδος αποστράγγισης) του εδάφους.



3.5 Διαδικασία παραμετροποίησης τριγωνικού εκχειλιστή

Προτού πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε μέτρηση τις απορροής, έγινε παραμετροποίηση του εκχειλιστή για τον προσδιορισμό της τιμής του συντελεστή αντίστασης της συσκευής.

Η διαδικασία της παραμετροποίησης του εκχειλιστή ήταν από τις πρώτες ενέργειες που έπρεπε να πραγματοποιηθούν, ούτως ώστε να είναι σίγουρο ότι τα αποτελέσματα που θα εξάγονται από αυτόν, θα είναι ακριβή και σωστά. Όπως ειπώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η παροχή Q του τριγωνικού εκχειλιστή, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q = C \varepsilon \varphi \frac{\theta}{2} h^{5/2} \quad (3.5)$$

όπου,

C = ο συντελεστής αντίστασης της συσκευής (του συστήματος λεκάνης - υπερχειλιστή),

θ = η γωνία του ανοίγματος του υπερχειλιστή,

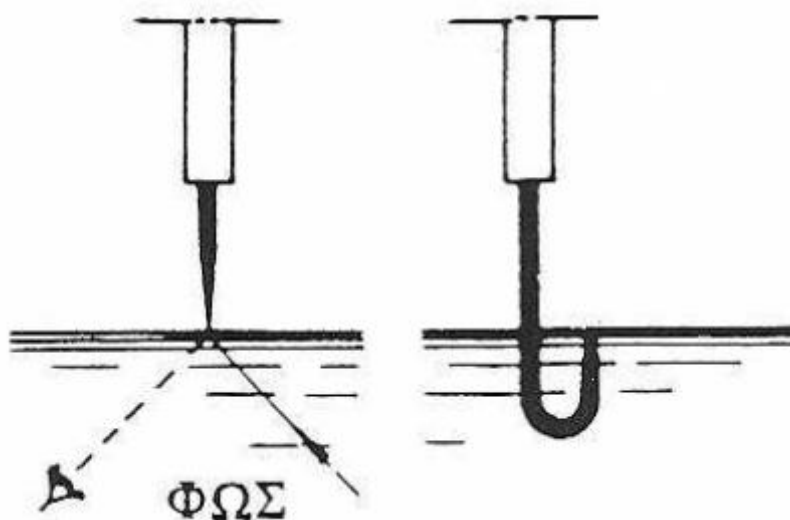
h = το ύψος από το επίπεδο στέψης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού μακριά και ανάντη από τον υπερχειλιστή,

Q = η παροχή σε m^3/sec .

Ο συντελεστής αντίστασης της συσκευής, C , είναι διαφορετικός σε κάθε εκχειλιστή και εξαρτάται από τα γεωμετρικά και κατασκευαστικά στοιχεία του εκχειλιστή. Στη θεωρητική βιβλιογραφία του είχε δοθεί η τιμή 1,40. Επειδή, στον συγκεκριμένο εκχειλιστή που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα, υπήρχε αμφιβολία ως προς την ισχύουσα τιμή του συντελεστή C (λόγω παλαιότητας και κατασκευαστικών ατελειών), κρίθηκε σκόπιμο να υπολογιστεί εκ νέου.

Για την πραγματοποίηση της παραμετροποίησης του τριγωνικού εκχειλιστή ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- 1) Έγινε οριζοντίωση της συσκευής (λεκάνης) πάνω στην υδραυλική τράπεζα.
- 2) Τοποθετήθηκε στην κατάλληλη υποδοχή (αναμονή) της συσκευής ο τριγωνικός εκχειλιστής, ο οποίος ευθυγραμμίστηκε.
- 3) Μηδενίστηκε το σταθμήμετρο (εικόνα 3.9) ως εξής: τοποθετήθηκε η κορυφή του αγκίστρου του σταθμημέτρου στην επιφάνεια του νερού στο θάλαμο (που συγκοινωνεί υδραυλικά με το νερό τις λεκάνης) και μηδενίστηκε η ένδειξη του βερνιέρου. Γενικά, πρέπει να μηδενιστεί η ένδειξη του βερνιέρου και αν αυτό δεν είναι δυνατόν τότε σημειώνεται μια ένδειξη που βολεύει – καλύτερα ακέραιη – ώστε να αφαιρεθεί από τις μετρήσεις που θα παρθούν. Η μέτρηση αυτή είναι η αφετηρία μέτρησης του ύψους h_o της στάθμης του νερού ανάντη του εκχειλιστή (φορτίο του υπερχειλιστή). Στο υπάρχον πείραμα επιλέχθηκε ύψος στάθμης αναφοράς $h_o = 0 \text{ mm}$.



Εικόνα 3.9 Σταθμήμετρα με ακίδα ή με άγκιστρο.

- 4) Συνδέθηκε ο σωλήνας της εξόδου της παροχής (του πειράματος) με την εισροή της λεκάνης του εκχειλιστή. Με τη βοήθεια βάνας (η οποία βρισκόταν στην είσοδο της παροχής) ρυθμίστηκαν διαφορετικές κάθε φορά παροχές. Για να καταγραφεί κάθε μιας από αυτές έπρεπε να σταθεροποιηθεί η στάθμη του νερού ανάντη του υπερχειλιστή.
- 5) Καταγράφηκαν σε πίνακα (πίνακας 3.5.α) τα αποτελέσματα των h_i των μετρήσεων και υπολογίστηκε η αντίστοιχη του παροχή Q_i , η οποία ήταν η θεωρητική παροχή $Q_{\text{θεωρ}}$.

Πίνακας 3.5.α

Υπολογισμός $Q_{\theta\epsilon\omega\rho}$ σύμφωνα με την εξίσωση 3.5

Μετρήσεις	$\epsilon\phi(15)$	h (m)	$h^{5/2}$ (m)	$Q_{\theta\epsilon\omega\rho}$ (m^3/sec)	$Q_{\theta\epsilon\omega\rho}$ (Lt/sec)
1	0,26795	0,054	0,00068	0,000182	0,18157
2	0,26795	0,051	0,00059	0,000157	0,15739
3	0,26795	0,046	0,00045	0,000122	0,12160
4	0,26795	0,039	0,00030	0,000080	0,08048
5	0,26795	0,031	0,00017	0,000045	0,04534
6	0,26795	0,021	0,00006	0,000017	0,01712

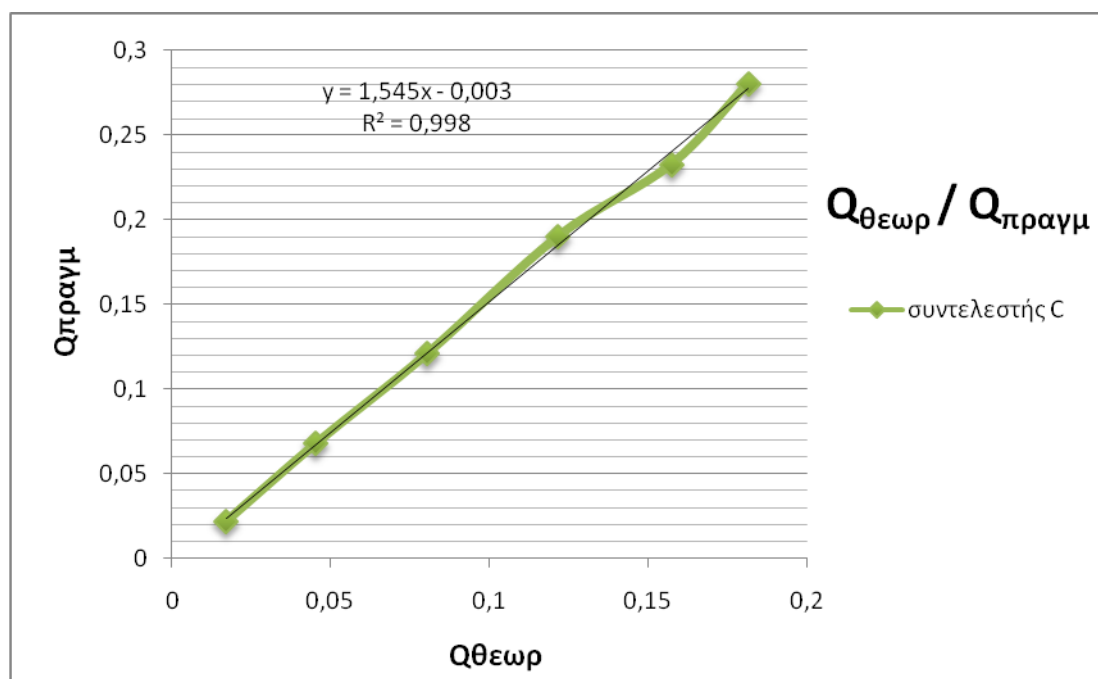
- 6) Κατά την απορροή του νερού από το δοχείο, το εξερχόμενο νερό συγκεντρωνόταν σε βαθμονομημένα δοχεία (των 2, 5 και 10 Lt) και γινόταν μέτρηση του όγκου του νερού στο χρόνο (με τη βοήθεια χρονομέτρου).
- 7) Καταγράφηκαν σε πίνακα (πίνακας 3.5.β) τα αποτελέσματα των χρόνων απορροής t_i για τους αντίστοιχους όγκους V_i , από τα οποία προκύπτει η πραγματική παροχή $Q_{\text{πραγμ}}$.

Πίνακας 3.5.β

Υπολογισμός $Q_{\text{πραγμ}}$ σε Lt/sec

Μετρήσεις	Όγκος (Lt)	Χρόνος (sec)	$Q_{\text{πραγμ}}$ (Lt/sec)	$\bar{Q}_{\text{πραγμ}}$ (Lt/sec)
1	2	7	0,28571	0,28042328
	5	18	0,27778	
	10	36	0,27778	
2	2	9	0,22222	0,23280423
	5	21	0,23810	
	10	42	0,23810	
3	2	10	0,20000	0,19012346
	5	27	0,18519	
	10	54	0,18519	
4	2	16	0,12500	0,12103175
	5	42	0,11905	
	10	84	0,11905	
5	2	30	0,06667	0,06788432
	5	73	0,06849	
	10	146	0,06849	
6	2	90	0,02222	0,02190016
	5	230	0,02174	
	10	460	0,02174	

- 8) Επαναλήφθηκαν τα βήματα 4 -7 για διαφορετικές κάθε φορά παροχές.
- 9) Εν συνεχεία, συγκρίθηκαν οι δυο τιμές και προέκυψε ο συντελεστής C ως η κλίση της ευθείας $Q_{\text{θεωρ}}/Q_{\text{πραγμ}}$. Όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα έχει γίνει γραμμική παρεμβολή.



Η απόκλιση της τιμής του συντελεστού C , συντελεστή αντίστασης της συσκευής, (7%) που προκύπτει από τις παραπάνω μετρήσεις από την αντίστοιχη θεωρητική τιμή, είναι αποδεκτή με δεδομένο τις λειτουργικές ατέλειες του εκχειλιστή που προαναφέρθηκαν.

4. Υλοποίηση Πειράματος

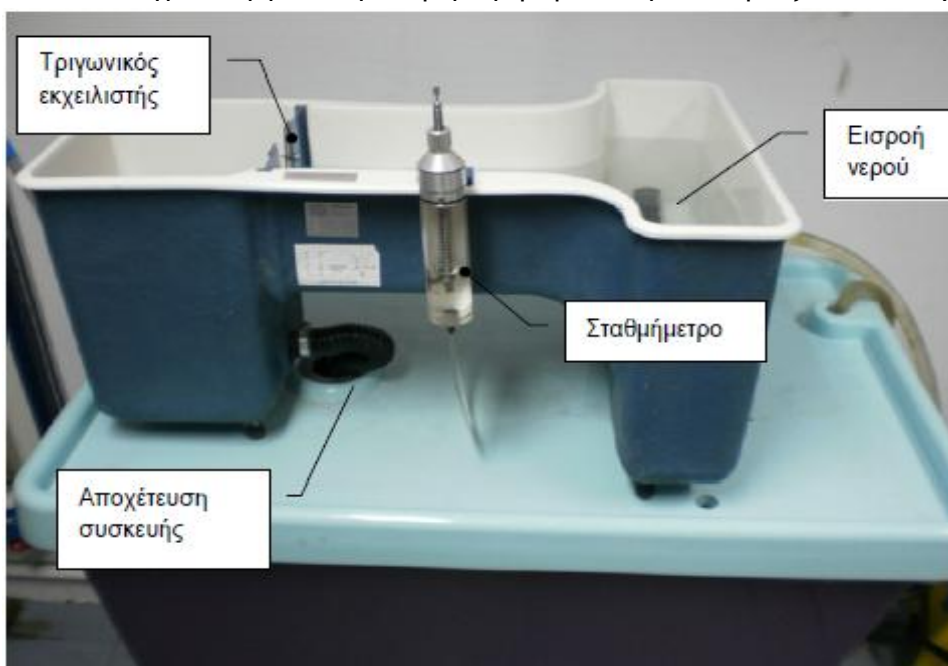
Η υλοποίηση περιλαμβάνει τις παρακάτω διαδικασίες:

4.1 Λειτουργία άρδευσης - Μέτρηση ροής - Ρύθμιση πίεσης

- ➔ Ενεργοποίηση του δικτύου άρδευσης / βροχοπτώσης.
- ➔ Μέτρηση της ροής του νερού με τη βοήθεια του ροόμετρου.
- ➔ Ρύθμιση της πίεσης με τις βάνες εισόδου - εξόδου.
- ➔ Διακοπή της παροχής του δικτύου (μέσω του διακόπτη παροχής), μετά την ολοκλήρωση του πειράματος.

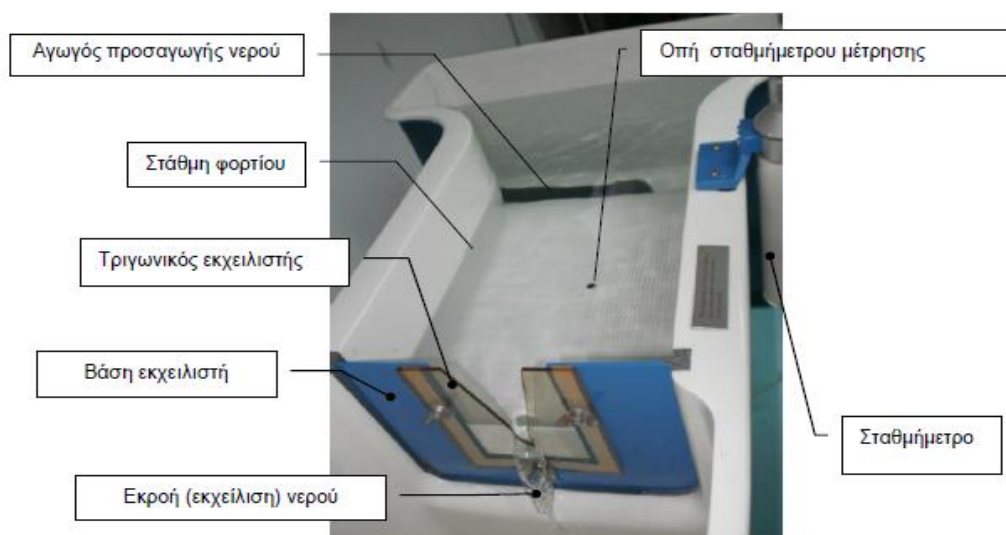
4.2 Μέτρηση απορροής του νερού

Για την μέτρηση της απορροής του νερού από το δοχείο, χρησιμοποιήθηκε ως βοηθητικό μέσο, ένα σύστημα λεκάνης - εκχειλιστή. Η συσκευή αυτή, τριγωνικής διάταξης με γωνία $\theta = 30^\circ$, προϋπήρχε στο Εργαστήριο Υδραυλικής και θεωρήθηκε ως το πλέον ενδεδειγμένο εργαλείο για την μέτρηση του νερού στην έξοδο του δοχείου.



Εικόνα 4.1.α Εξωτερική πλάγια όψη του συστήματος λεκάνης – εκχειλιστή τοποθετημένου πάνω στην υδραυλική τράπεζα. Η ροή του νερού πραγματοποιείται από το δεξί δοχείο στο αριστερό.

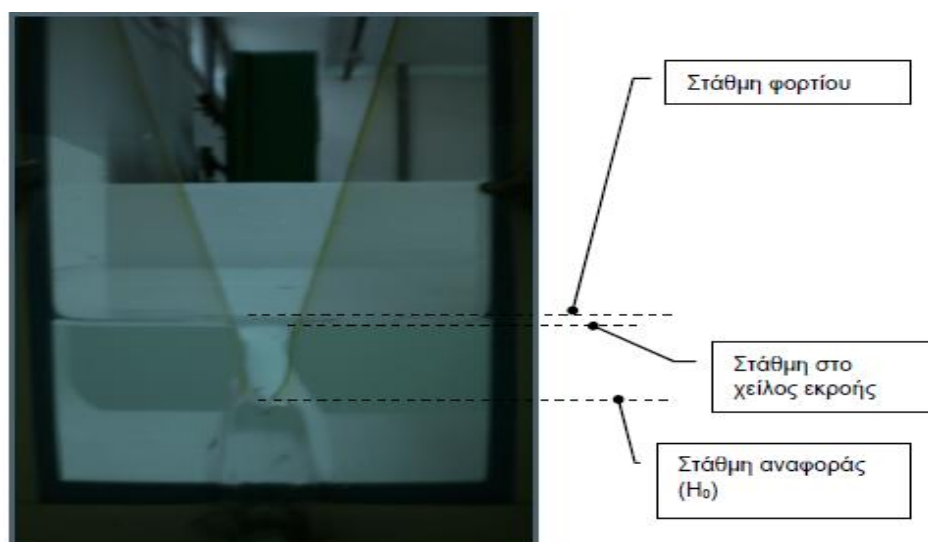
Όπως έχει προαναφερθεί (Μέρος *I* - Κεφάλαιο 3.1.2), οι εκχειλιστές είναι κατασκευές στις οποίες η μέτρηση του νερού γίνεται με τη μέθοδο της υπερχείλισης. Αποτελούνται από το δοχείο εισόδου, το σταθμήμετρο, το αφαιρούμενο διάφραγμα εκχείλισης και το δοχείο εξόδου. Το νερό εισέρχεται στο δοχείο εισόδου και παραμένει εκεί μέχρι η στάθμη του να φτάσει στο χείλος εκροής του εκχειλιστή, το οποίο ορίζει τη στάθμη αναφοράς. Η περαιτέρω άνοδος της στάθμης μετράται με τη βοήθεια του σταθμημέτρου και καθορίζει την παροχή του νερού. Λεπτομερής ανάλυση της συσκευής από πλάγια όψη και από κάτοψη, παρουσιάζονται στις εικόνες 4.1.α, 4.1.β και 4.1.γ αντίστοιχα.



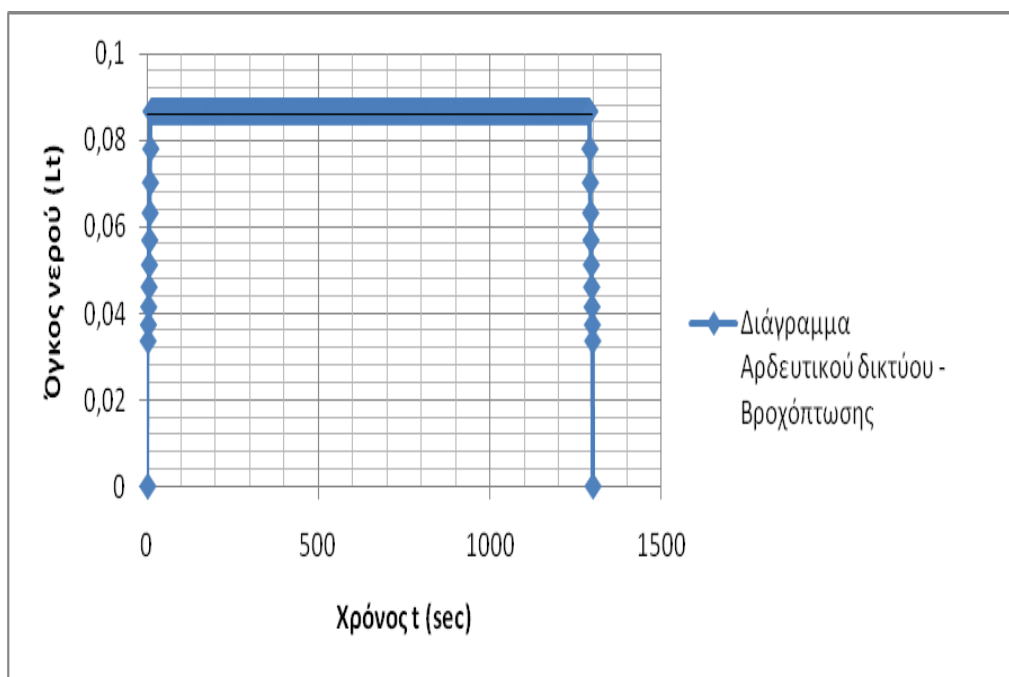
Εικόνα 4.1.β Κάτοψη του συστήματος λεκάνης – εκχειλιστή. Η ροή του νερού γίνεται από δεξιά προς τα αριστερά. Υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης εκχειλιστών διαφορετικής γεωμετρίας (ορθογώνιοι, παραβολικοί κλπ) σε κατάλληλη βάση.

Στα πλαίσια του παρόντος πειράματος πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις:

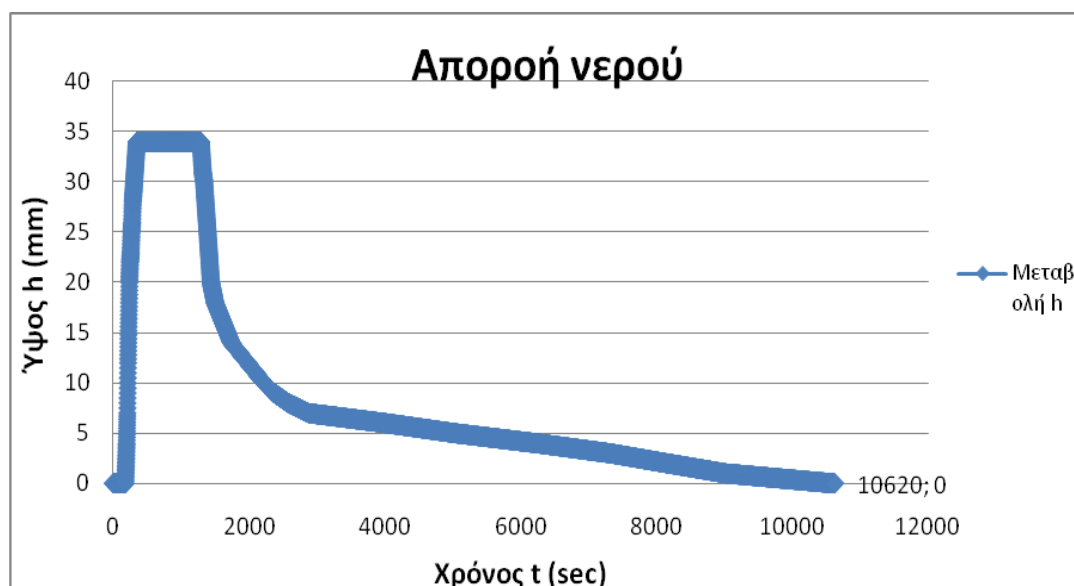
- (α) υπολογίστηκε η παροχή του νερού που απορρέει από το δοχείο στη διάρκεια του χρόνου για διάρκεια 22 min.
- (β) μετρήθηκε η εξερχόμενη ποσότητα του νερού (σε Lt) από το δοχείο (μέσω του εκχειλιστή) και συγκρίθηκε με την αντίστοιχη ποσότητα του εισερχομένου νερού στο δοχείο για τον ίδιο χρόνο.
- (γ) οι παραπάνω μετρήσεις καταγράφηκαν σε ανάλογα διαγράμματα που αποτυπώνουν την εισροή και εκροή του νερού από και προς το δοχείο συναρτήσει του χρόνου.



Εικόνα 4.1.γ Κατάντη άποψη του εκχειλιστή. Στο εμπρόσθιο μέρος της εικόνας διακρίνεται η φλέβα εκροής του νερού. Επίσης, στην κάτω κορυφή του τριγωνικού εκχειλιστή επισημαίνεται η στάθμη αναφοράς για την μέτρηση των σταθμών φορτίου.



Διάγραμμα 4.2.α Διάγραμμα (εισοχής) Αρδευτικού δικτύου – Βροχόπτωσης προς το δοχείο.



Διάγραμμα 4.2.β Διάγραμμα (εκροής) Αποροής του νερού από το δοχείο.

4.3 Προσδιορισμός και επαλήθευση του διαθέσιμου φορτίου

Στα πλαίσια του παρόντος πειράματος έγινε:

- (α) μέτρηση και παραστατική απεικόνιση της τιμής του διαθέσιμου φορτίου και
- (β) επαλήθευση των θεωρητικών υπολογισμών αυτής.

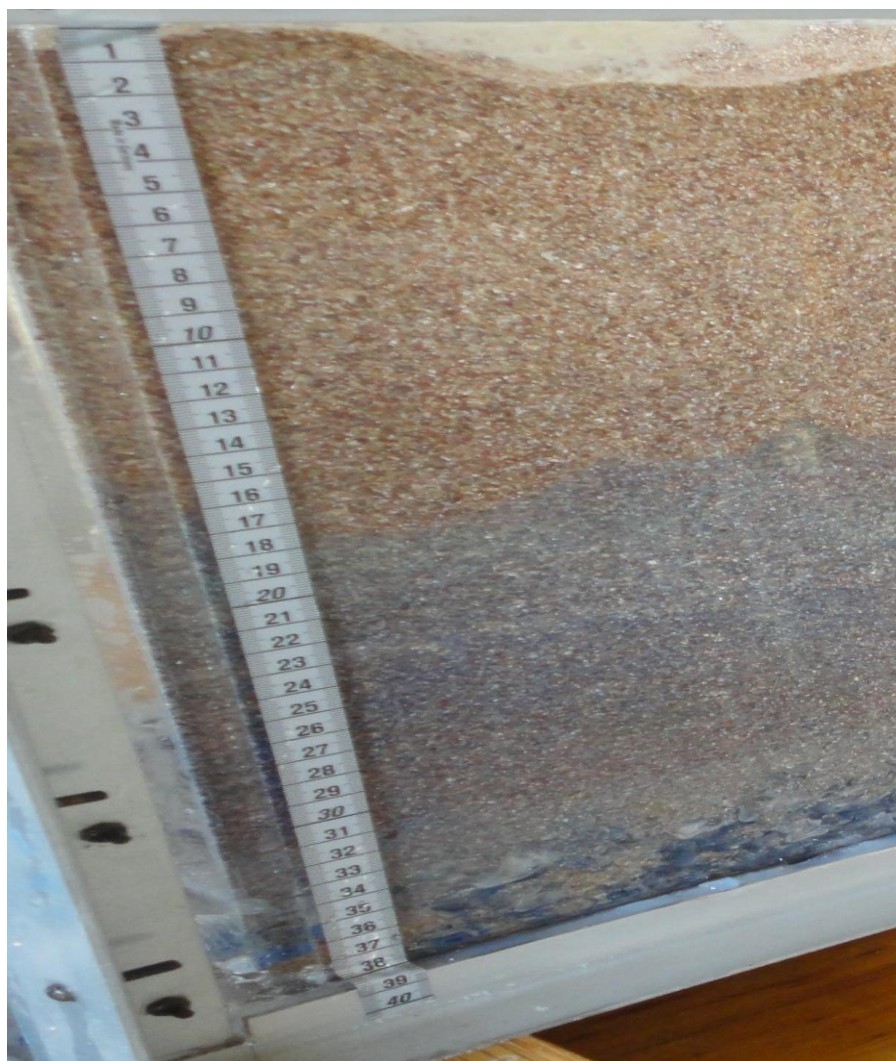
Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν δύο βαθμονομημένοι κανόνες που τοποθετήθηκαν σταθερά στις δύο ακραίες πλευρές του δοχείου. Για την παραστατική απεικόνιση χρησιμοποιήθηκε η διάταξη χρωματισμού του νερού που περιγράφεται στο Μέρος II, Κεφάλαιο 2.7.



Εικόνα 4.3.α Χρωματισμός του νερού μέσω των σταλακτών.



Εικόνα 4.3.β Χρωματισμός της καμπύλης στάθμης του υπόγειου νερού.



Εικόνα 4.3.γ Μέτρηση του διαθέσιμου φορτίου (H_o).

Η τιμή του διαθέσιμου φορτίου που μετρήθηκε είναι $H_o = 0,21 \text{ m}$.

Η επαλήθευση της τιμής του διαθέσιμου φορτίου που μετρήθηκε στο πείραμα, όπως αναλύθηκε παραπάνω, έγινε με την αντίστοιχη τιμή που προκύπτει από τους θεωρητικούς υπολογισμούς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Ernst (6.22, Κεφάλαιο 6, Παράγραφος 6.3, Σελίδα 64) για στραγγιστικό αγωγό τοποθετημένο στην κάτω στρώση ενός εδάφους δύο στρώσεων (σχήμα 4.3.α) και $K_1 < K_2$. Η εξίσωση είναι:

$$H_o = q_o \frac{2D_1}{K_1} + q_o \frac{L^2}{8K_2 D_2} + q_o \frac{L}{\pi K_2} \ln \frac{D_o}{u}$$

όπου

$$q_o = 0,312 \text{ m}^3 / \text{sec} \Rightarrow q_o = \frac{0,312}{1,80 \cdot 0,35} \frac{\text{m}}{\text{h}} \Rightarrow q_o = 0,49 \text{ m/h}$$

$$L = 1,80 \text{ m}$$

$$D_o = 0,045 + 0,020 \Rightarrow D_o = 0,065 \text{ m}$$

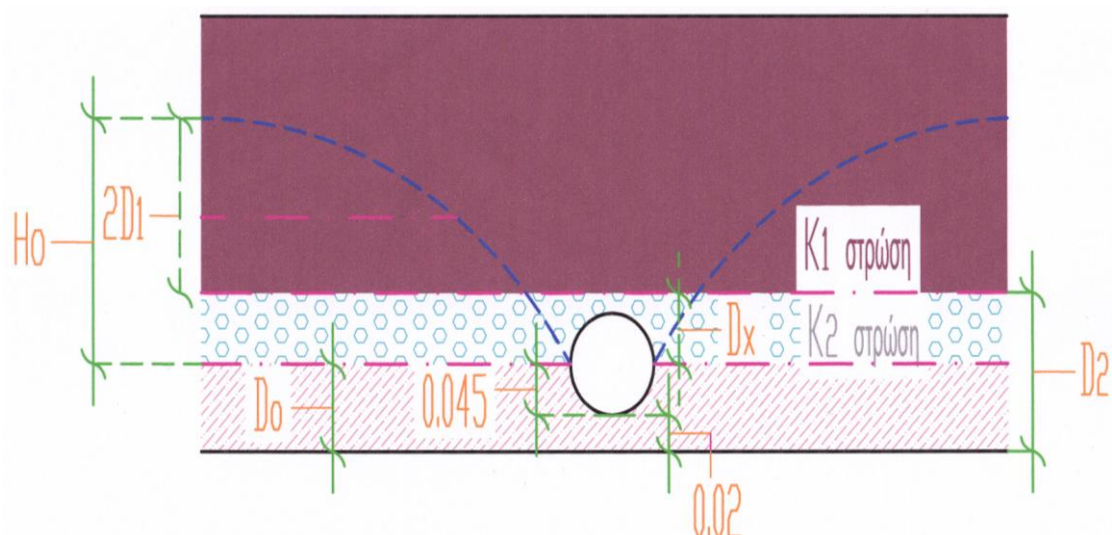
$$D_1 = \frac{H_o - D_x}{2} \Rightarrow D_1 = \frac{H_o - 0,05}{2}$$

$$D_2 = 0,02 + 0,045 + D_x \Rightarrow D_2 = 0,115 \text{ m}$$

$$u = \pi \cdot D \Rightarrow u = 3,14 \cdot 0,045 \Rightarrow u = 0,1413 \text{ m}$$

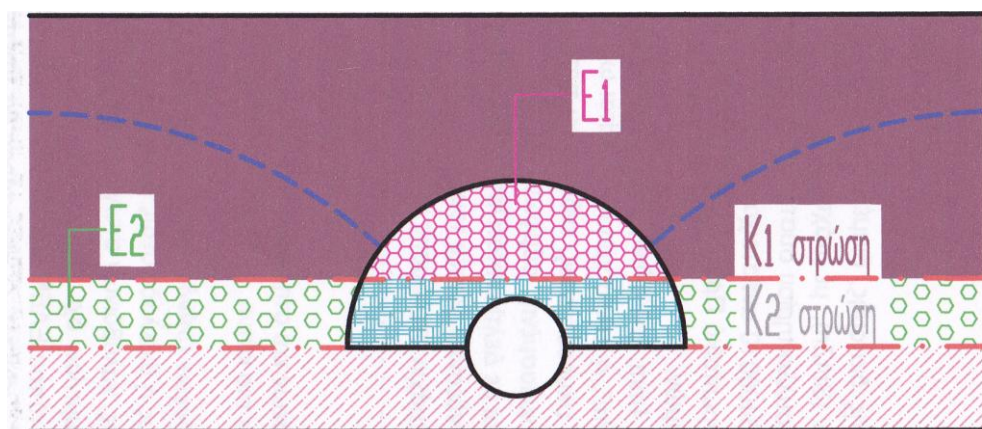
$$K_1 = 217,1 \text{ cm/h} \Rightarrow K_1 = 2,171 \text{ m/h}$$

$$K_2 = 694,2 \text{ cm/h} \Rightarrow K_2 = 6,942 \text{ m/h}$$



Σχήμα 4.3.α Έδαφος δυο στρώσεων με τον στραγγιστικό αγωγό στην κάτω στρώση.

Επομένως υπολογίστηκε το διαθέσιμο φορτίο $H_o = 0,27 \text{ m}$, δηλαδή παρουσιάστηκε απόκλιση 22%, η οποία λόγω των περιορισμένων διαστάσεων του δοχείου θεωρείται αποδεκτή.



Σχήμα 4.3.β Προσδιορισμός του ισοδύναμου πάχους της στρώσης K_2 .

* Η τιμή του πάχους D_x της στρώσης των χαλικιών E_2 προέκυψε ως το ισοδύναμο πάχος D'_x της στρώσης E_1 με βάση τα γεωμετρικά δεδομένα του δοχείου (σχήμα 4.3.β).

5. Συμπεράσματα

Από την αξιολόγηση των μετρήσεων του πειράματος, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1) Η μορφή της καμπύλης απορροής που προέκυψε από τις μετρήσεις έχει την τυπική μορφή ενός μοναδιαίου αδιάστατου υδρογραφήματος. Η διαφορά που παρουσιάζεται ως προς το χρόνο ανόδου και τη συνολική διάρκεια της εκροής μπορεί να εξηγηθεί αφενός λόγω του περιορισμένου μήκους του δοχείου (μικρή ισαποχή) και αφετέρου λόγω της υψηλής τιμής της υδραυλικής αγωγιμότητας (K_s) των υλικών. Για τους ίδιους λόγους, ο χρόνος απορροής είναι σχετικά μικρός.
- 2) Το γεγονός ότι ο χρόνος διάρκειας της μέγιστης απορροής είναι σχετικά μεγάλος και ταυτίζεται σχεδόν με τη διάρκεια του χρόνου εισροής (άρδευσης) εξηγείται από την υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα (K_s) των υλικών του πειράματος, το οποίο είναι και το ζητούμενο, αφού η βασική απαίτηση (προδιαγραφή) του υλικού της αμμοπαγίδας είναι η άμεση κατά το δυνατόν στράγγιση.
- 3) Η ποσότητα του νερού εκροής από το δοχείο μετρήθηκε ότι είναι σχεδόν ίση με την αντίστοιχη ποσότητα του εισερχόμενου νερού. Η μικρή απόκλιση που σημειώθηκε είναι αποδεκτή και οφείλεται σε πιθανές αστοχίες μετρήσεων είτε στο δίκτυο εισροής, είτε στο δίκτυο εκροής.
- 4) Η μορφή της καμπύλης στάθμης του υπόγειου νερού επαληθεύτηκε σύμφωνα με την παραστατική απεικόνιση. Η απόκλιση που παρουσιάζεται μεταξύ των τιμών της μετρηθείσας και της υπολογισμένης τιμής του διαθέσιμου φορτίου σε ποσοστό 22% είναι δικαιολογημένη και αποδεκτή.

Σαν γενικό συμπέρασμα μπορεί να διατυπωθεί ότι οι μετρήσεις του πειράματος απέδειξαν ότι το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι ποιότητας σύμφωνης με τις προδιαγραφές για την κατασκευή αμμοπαγίδων σε γήπεδο Golf.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Barrett, J., Vinchesi, B., Dobson, R., Roche, P., Zoldoske, D. **(2003)** *Golf Course Irrigation, Environmental Design and Management Practices*, JOHN WILEY & SONS, INC.
- Beard, J.B. **(2002)** *Turf Management for Golf Courses*, Second Edition, USGA.
- Companiotte, J. **(2006)** *Golf Rules & Etiquette Simplified*, The McGraw-Hill Companies, INC.
- Fitzgerald, J. and Gould, D. **(1998)** *Precision Wedge and Bunker Shots*, Human Kinetics.
- Israelsen O.W. and Hansen V.E. **(1968)** *Αρδεύσεις - Βασικές Αρχές και Μέθοδοι*, Μόσχος Γκιούρδας, Αθήνα.
- Kenna, M.P. and Pira, E.S. **(1994)** *Wastewater Reuse for Golf Course Irrigation*, USGA.
- Owens, D. and Bunker, L.K. **(1995)** *Golf: Steps to success*, Second Edition, Human Kinetics Publishers, INC.
- Pira, E.S. **(1997)** *A Guide to Golf Course Irrigation System Design and Drainage*, JOHN WILEY & SONS, INC.
- Richardson, F.L. and Fine, M.K. **(2006)** *Bunkers, Pits & Other Hazards GUIDE TO Golf Course Irrigation System Design and Drainage*, JOHN WILEY & SONS, INC.
- Schumann, G.L., Vittum, P.J., Elliott, M.L., Cobb, P.P. **(2002)** *IPM Handbook for Golf Courses*, JOHN WILEY & SONS, INC.
- Skaggs, R.W. and Schilgaarde J. **(1999)** *Agricultural Drainage*, Number 38 in the series Agronomy, American Society of Agronomy, Inc.
- White, C.B. **(2000)** *Turf Managers' Handbook for Golf Course Construction, Renovation and Grow-In*, Sleeping Bears Press.
- Αργυροκαστρίτης, Ι.Γ. **(2003)** *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσικής Εδάφους και Αρδεύσεων*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Γιασόγλου, Ν.Ι. **(1992)** *Μαθήματα Γεωργικής Χημείας - Εδαφολογία*, Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

- Γιασόγλου, Ν.Ι. **(1995)** *Μαθήματα Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας*, Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Ελμαλόγλου, Σ. **(1997)** *Συμπληρωματικές Σημειώσεις Στραγγίσεων*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθηνά.
- Καρακατσούλης, Π.Γ. **(1995)** *Αρδεύσεις - Στραγγίσεις*, ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα.
- Καρακατσούλης, Π.Γ. **(1995)** *Αρδεύσεις, Στραγγίσεις και Προστασία Εδαφών*, ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα.
- Κωνσταντινίδης, Κ.Α. **(1986)** *Έγχειρες Βελτιώσεις*, Εκδόσεις Σάκκουλα, Αθήνα - Θεσσαλονίκη.
- Λιακόπουλος, Α. **(1984)** *Μαθήματα Γεωργικής Υδραυλικής και Εγχειοβελτιωτικών Έργων*, τεύχος 6^ο (Άρδευση και Στράγγιση των Εδαφών), εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Μιχελάκης, Ν. **(1988)** *Συστήματα Αυτόματης Άρδευσης - Άρδευση με Σταγόνες*, Εκδοτική Αγροτεχνική ΕΑΕ.
- Μπαμπίλης, Δ.Ι. **(2004)** *Αρδευτικά Δίκτυα Πρασίνου*, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Μπούμπουκα - Σάσσαλου, Α. **(2005)** *Σημειώσεις Εργαστηρίου Φυσικής Εδάφους*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Πουλοβασίλης, Α.Α. **(2010)** *Εισαγωγή στις Αρδεύσεις*, Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.
- Πουλοβασίλης, Α.Α. **(1986)** *Σημειώσεις Γεωργικής Υδραυλικής - Αρδεύσεις*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Πουλοβασίλης, Α.Α. **(1986)** *Σημειώσεις Γεωργικής Υδραυλικής - Στραγγίσεις*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Σακκάς, Ι.Γ. **(2004)** *Τεχνική Υδρολογία*, τόμος 1 - Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, εκδόσεις Αϊβάζη, Θεσσαλονίκη.
- Τερζίδης, Γ.Α. και Καραμούζης, Δ.Ν. **(1986)** *Στραγγίσεις γεωργικών εδαφών*, εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Χαλκιάς, Ν.Α. **(1968)** *Αρδεύσεις και Συστηματοποιήσεις Γαιών*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Χαλκιάς, Ν.Α. **(1972)** *Στραγγίσεις Γαιών*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.