



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ  
ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ  
ΜΕ ΚΑΤΑΙΟΝΙΣΜΟ

ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΜΑΛΛΑΝΔΡΗΣ

Επιβλέπων:

Νικόλαος Μαλάμος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αμαλιάδα, 2022



# Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	5
Εισαγωγή .....	6
<b>Κεφάλαιο 1: Διήθηση του νερού στο έδαφος.....</b>	<b>10</b>
1.1 Περιγραφή και βασικές έννοιες .....	10
1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διηθητικότητα των αγρών .....	11
<b>Κεφάλαιο 2: Βασικές αρχές υδραυλικής.....</b>	<b>14</b>
2.1 Πίεση (P) ή φορτίο πίεσης (h).....	14
2.2 Στατική πίεση .....	17
2.3 Δυναμική πίεση .....	18
2.4 Χαρακτηριστικά ροής .....	19
2.5 Ροή και ταχύτητα ροής.....	19
2.6 Παροχή.....	20
2.7 Απώλειες πίεσης (ενέργειας) λόγω τριβών .....	22
2.8 Γραμμικές απώλειες .....	22
2.9 Τοπικές απώλειες .....	24
2.10 Υδραυλικό πλήγμα .....	26
<b>Κεφάλαιο 3: Άρδευση με κλασικό καταιονισμό.....</b>	<b>28</b>
3.1 Γενική περιγραφή.....	28
3.2 Δίκτυο εφαρμογής.....	33
<b>Κεφάλαιο 4: Εκτοξευτήρες .....</b>	<b>46</b>
4.1 Στατικοί εκτοξευτήρες .....	46
4.1.1 Υπόγειοι στατικοί αυτοανυψούμενοι εκτοξευτήρες (Pop-up).....	46
4.1.2 Υπέργειοι στατικοί εκτοξευτήρες.....	50
4.2 Δυναμικοί εκτοξευτήρες .....	51
4.2.1 Περιστροφικοί εκτοξευτήρες.....	51
4.2.2 Εκτοξευτήρες ταλάντωσης .....	55
4.3 Μικροεκτοξευτήρες .....	56
4.4 Ομοιομορφία κατανομής του νερού και επίδραση του ανέμου .....	58
<b>Κεφάλαιο 5: Πείραμα αξιολόγησης ομοιομορφίας δικτύου άρδευσης με καταιονισμό .....</b>	<b>62</b>
5.1 Εισαγωγή.....	62
5.2 Υλικά.....	62
5.3 Διαδικασία μετρήσεων .....	63

<b>Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα .....</b>	<b>75</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>77</b>
<b>Παράρτημα .....</b>	<b>78</b>
Φωτογραφίες από την πειραματική διαδικασία.....	78

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1. Ταξινόμηση των εδαφικών σωματιδίων.....	7
Πίνακας 2. Διορθώσεις γραμμικών απωλειών για αποκλίσεις από την καθορισμένη θερμοκρασία (20°C).....	23
Πίνακας 3. Αίτια τοπικών απωλειών και τιμές του συντελεστή K.....	25
Πίνακας 4. Τυπικές τιμές C ανά υλικό κατασκευής του αγωγού .....	39
Πίνακας 5. Διάμετρος σωλήνα και πάχος τοιχωμάτων .....	39
Πίνακας 6. Γραμμικές απώλειες (Hf) σε αγωγό αλουμινίου 9 m. Πάχους 1,27 mm. .	42
Πίνακας 7. Συντελεστής F για τον υπολογισμό των ολικών γραμμικών απωλειών αγωγών με πολλαπλούς εκτοξευτήρες.....	44
Πίνακας 8 Πληροφορίες ακροφυσίων των στατικών αυτοανυψούμενων εκτοξευτήρων PS της εταιρείας Hunter.....	49
Πίνακας 9 Πληροφορίες ακροφυσίων του γραναζωτού εκτοξευτήρα PGP της Hunter .....	54
Πίνακας 10 Μετρήσεις στατικών από την πειραματική εφαρμογή.....	66
Πίνακας 11. Αποτελέσματα μετρήσεων .....	68
Πίνακας 12 Μετρήσεις ρυθμιζόμενων από την πειραματική εφαρμογή.....	71
Πίνακας 13 Μετατροπή των μετρήσεων από ίντσες σε mm .....	73
Πίνακας 14 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων PGP.....	85
Πίνακας 15 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων PS- Hunter .....	86
Πίνακας 16 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων MP 1000 .....	87
Πίνακας 17 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων MP 2000 .....	88
Πίνακας 18 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων MP 3000 .....	89
Πίνακας 19 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων MP 3500 .....	90

## Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται, η ανάγκη γνώσης της ομοιομορφίας άρδευσης με καταιονισμό για το σωστό σχεδιασμό ενός αρδευτικού δικτύου, καθώς και την επιλογή του κατάλληλου τύπου εκτοξευτήρων. Επίσης περιγράφεται το πως βρίσκεται και αποτυπώνεται στο χαρτί η όλη διαδικασία εύρεσης των όρων που εκφράζουν αριθμητικά την ομοιομορφία μιας άρδευσης με καταιονισμό.

Για το λόγο αυτό, μελετήθηκε και κατασκευάστηκε μία πειραματική διάταξη με σκοπό να λαμβάνουμε μετρήσεις ομοιομορφίας άρδευσης με καταιονισμό, που θα μας βοηθήσουν στην εύρεση των παραμέτρων αξιολόγησης και τον χαρακτηρισμό των συστημάτων άρδευσης.

Η διάταξη δοκιμάστηκε με δύο τύπους εκτοξευτήρων και με βάση τις μετρήσεις εκτιμήθηκε η ομοιομορφία και στις δύο περιπτώσεις.

## Εισαγωγή

Το έδαφος είναι ένα σύνθετο σύστημα, αποτελεί ένα δυναμικό και ζωντανό οργανισμό, μια αποθήκη νερού από την οποία τα φυτά αντλούν την απαραίτητη υγρασία για την ανάπτυξη τους, αλλά και ένα μέσο στερέωσης των φυτών. Είναι μία αποθήκη θρεπτικών στοιχείων όπου αναπτύσσονται και δρουν πλήθος μικροοργανισμών.

Το έδαφος αποτελείται από ορυκτά, τα οποία είναι τεμαχίδια αποσπασμένων πετρωμάτων ή ιζηματογενή υλικά διαφόρων ειδών και προελεύσεων. Τα υλικά αυτά επηρεάζονται από την διάβρωση (χημική και φυσική διάβρωση). Η διάβρωση αποτελεί μια διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται μετακίνηση των υλικών και εναλλαγή των στρώσεων. Πρόκειται για μια φυσική διαδικασία η οποία επηρεάζει σε βάθος και πυκνότητα ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών, όπως και την κίνηση, την ανακατανομή και την αποθήκευση του νερού.

Η υφή και η δομή, αποτελούν τα βασικά φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Η υφή, ή αλλιώς εδαφική υφή όπως αποκαλείται, είναι η ποσοστιαία αναλογία των ορυκτών σωματιδίων που απαρτίζουν το έδαφος και έχουν διάφορα μεγέθη. Η εδαφική δομή σχετίζεται με τον τρόπο διάταξης των εν λόγω σωματιδίων για το σχηματισμό ομάδων ή συσσωματωμάτων. Η εδαφική υφή και δομή, καθορίζουν τον τρόπο εφοδιασμού και διακίνησης του νερού στο έδαφος.

Τα στερεά υλικά που έχουν διάμετρο τουλάχιστον 2mm, είναι τα εδαφικά σωματίδια, τα οποία ταξινομούνται με μηχανική ανάλυση. Οι τρόποι που γίνεται η ανάλυση αυτή είναι τυποποιημένη σε διεθνές επίπεδο. Η ταξινόμησή τους πραγματοποιείται με βάση την περιεκτικότητά τους σε άμμο, ιλύ και άργιλο και παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

**Πίνακας 1. Ταξινόμηση των εδαφικών σωματιδίων**

Χαρακτηρισμός σωματιδίων	Διάμετρος κόκκων (mm)	Αριθμός κόκκων ανά gr	Επιφάνεια κόκκων cm <sup>2</sup> /gr
Άμμος	2,00 – 0,05		
Πολύ χονδρή	2,00 – 1,00	90	11
Χονδρή	1,00 – 0,50	720	23
Ενδιάμεση	0,50 – 0,25	5700	45
Λεπτή	0,25 – 0,10	46000	91
Πολύ λεπτή	0,10 – 0,05	72200	227
Ίλύς	0,05 – 0,002	5776000	454
Άργιλος	< 0,002	90261000	8000000

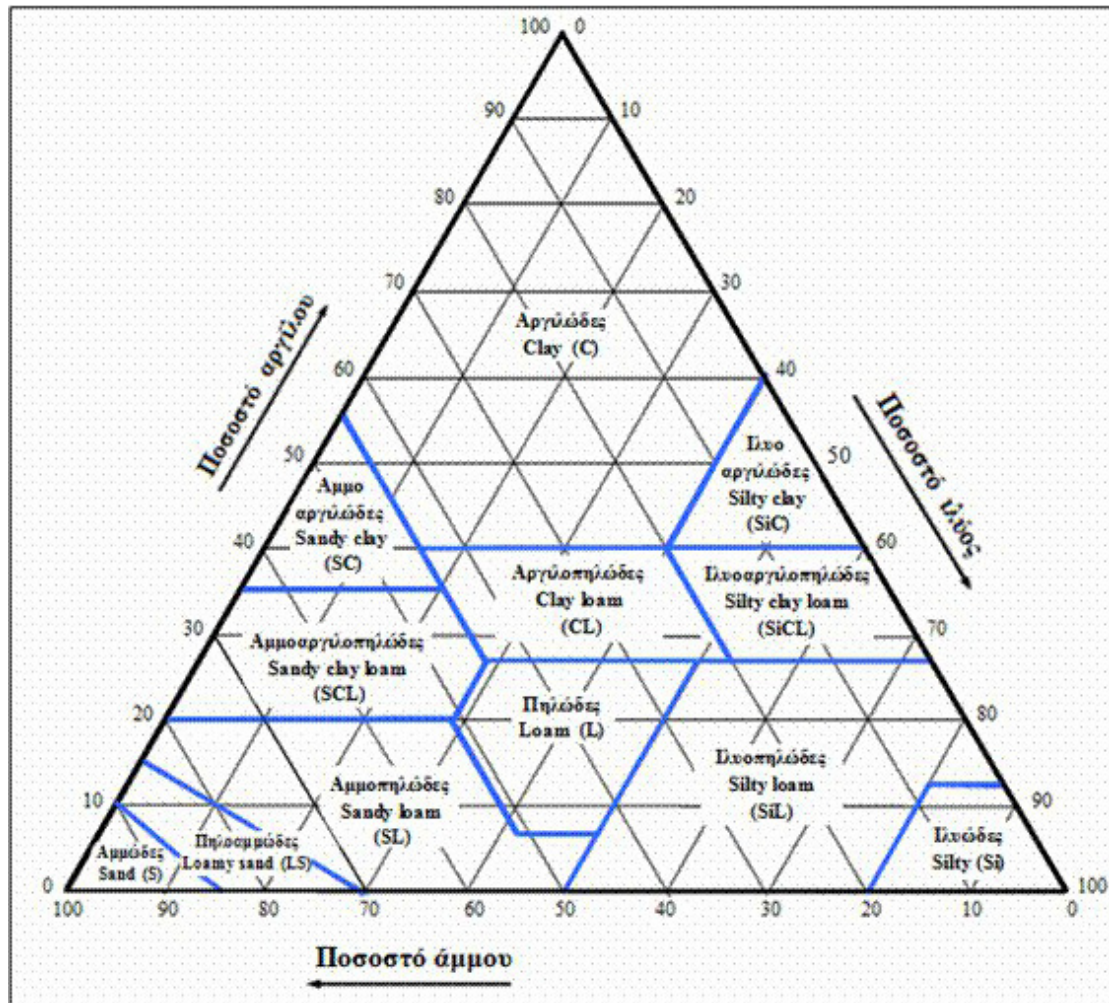
Μια καλή δομή εδάφους είναι σημαντική γιατί επιτρέπει τη διέλευση αέρα και του νερού στο έδαφος, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την υγιή ανάπτυξη των φυτών. Χωρίς μια καλή δομή, τα εδάφη θα υποφέρουν από έλλειψη οξυγόνου, υδάτων και θρεπτικών συστατικών, πράγμα που σημαίνει ότι τα φυτά δεν είναι σε θέση να απορροφήσουν θρεπτικά συστατικά από το έδαφος και τελικά να καταστραφούν. Η δομή του εδάφους μπορεί να είναι ομοιόμορφη ή να διαφέρει από ορίζοντα σε ορίζοντα, η οποία είναι και η πιο συνήθης κατάσταση. Κατά το USDA Handbook 18 (2017), οι βασικοί τύποι των εδαφών είναι 6 και είναι οι εξής:

- τα ελαφρά μονόκοκκα εδάφη επιτρέπουν, τα οποία την εύκολη διείσδυση και διακίνηση του νερού, στερούνται δομής και απαρτίζονται από σωματίδια με ομοιόμορφους κόκκους, της τάξεως της άμμου.
- τα βαρέα μονόκοκκα, όπου το νερό κινείται πολύ δύσκολα, οι κόκκοι δεν έχουν δομή, ανήκουν στην κατηγορία του αργίλου και μοιάζουν με συμπαγή άμορφη μάζα. Οι δύο παραπάνω τύποι αποτελούν τις ακραίες κατηγορίες εδαφών. Ανάμεσά τους υπάρχουν οι επόμενες 4 κατηγορίες.
- κυβικής μορφής εδάφη, όπου επιτρέπουν την καλή διακίνηση του νερού, διότι οι κόκκοι σχηματίζουν συσσωματώματα που έχουν την μορφή κύβων.
- τα πλακάδη, όπου εδώ η πλευρική κίνηση του νερού γίνεται εύκολα σε αντίθεση με την κατακόρυφη που γίνεται με δυσκολία και αποτελούνται από πλατιά συσσωματώματα.



- πρισματικά εδάφη, όπου έχουμε εύκολη και κατακόρυφη κίνηση του νερού, τα συσσωματώματα τους έχουν την μορφή πρισμάτων.
- τα κοκκώδη εδάφη, όπου επιτρέπουν την καλή κίνηση του νερού προς όλες τις κατευθύνσεις και *απαρτίζονται από σφαιρικά συσσωματώματα.*

Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η κατάταξη των εδαφών με βάση την ποσοστιαία αναλογία τους σε άμμο, ιλύ και άργιλο.



**Σχήμα 1. Ταξινόμηση εδαφών σε τύπους υφής, με βάση την ποσοστιαία αναλογία τους σε άμμο, ιλύ και άργιλο**

Στην επιφανειακή στρώση του εδάφους, η δομή μπορεί να αλλάξει προς το καλύτερο ή προς το χειρότερο με διάφορες επεμβάσεις, σε αντίθεση με την υφή που είναι πρακτικά αδύνατον να μεταβληθεί. Σοβαρή επίδραση στο έδαφος έχει το νάτριο, που προκαλεί αποσύνθεση των εδαφικών συσσωματωμάτων και μετατρέπει το έδαφος σε συμπαγή και άμορφη μάζα. Βασικός παράγοντας υποβάθμισης του εδάφους είναι η

περιεκτικότητα του αρδευτικού νερού σε άλατα, κυρίως όταν αυτό εφαρμόζεται σε βαρεία μέχρι μέσα εδάφη. Ευεργετική επίδραση στην δομή του εδάφους, έχει η μακροχρόνια καλλιέργεια ψυχανθών και η εναλλαγή ξερών και υγρών περιόδων. Αντίθετα, η χρήση καλλιεργητικών μηχανημάτων σε βαριά και υγρά εδάφη υποβαθμίζει τη δομή τους. Τα εδάφη που περιέχουν από 20% έως 95% οργανική ουσία, λέγονται οργανικά εδάφη και αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία. Σε οργανικά εδάφη στα οποία η αποσύνθεση είναι πολύ προχωρημένη και παρουσιάζουν άριστες συνθήκες κίνησης και αποθήκευσης του νερού, λέγονται χουμώδη, ενώ σε εδάφη που έγινε λίγο ή καθόλου αποσύνθεση της οργανικής τους ουσίας, λέγονται τυρφώδη και είναι πολύ προβληματικά σε σχέση με την κίνηση του νερού και την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των καλλιεργειών (Παπαζαφειρίου, 1998).

# Κεφάλαιο 1: Διήθηση του νερού στο έδαφος

## 1.1 Περιγραφή και βασικές έννοιες

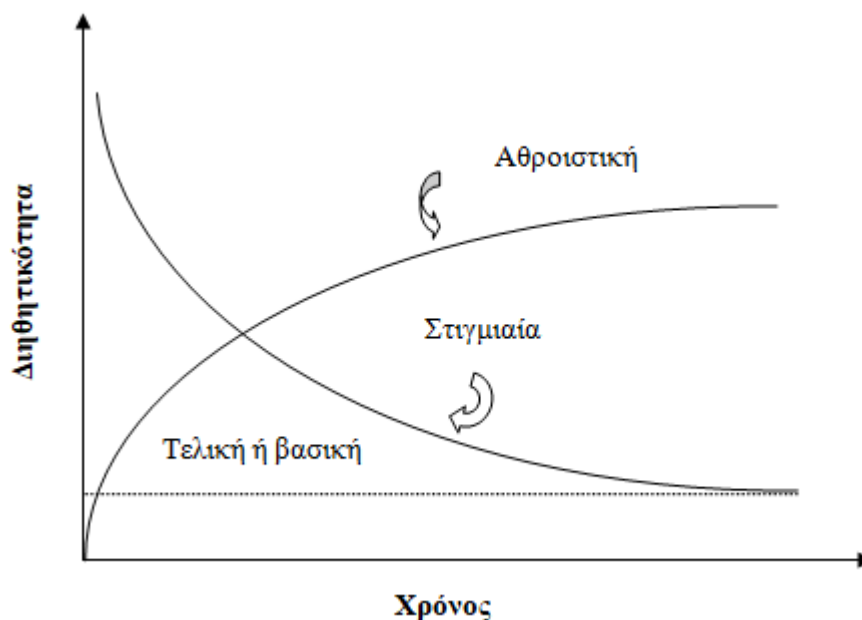
Το φαινόμενο της διήθησεως πραγματοποιείται, όταν το νερό διεισδύει μέσω της επιφάνειας του εδάφους προς βαθύτερα στρώματα κατά την διάρκεια μίας βροχής ή και της άρδευσης. Η διήθηση αυτή εξαρτάται, στο αρχικό στάδιο από την υγρασία του εδάφους, έπειτα από την κατάσταση που είναι η επιφάνεια του εδάφους, καθώς επίσης και από τη δομή, την υφή και την ομοιογένεια του σε βάθος.

Δύο ακόμη ορισμοί που θεωρείται σκόπιμο να δοθούν είναι το μέτωπο προσπελάσεως και η ζώνη μεταφοράς. Ως μέτωπο προσπελάσεως ονομάζουμε την επιφάνεια που δημιουργείται όταν σε ένα ξερό έδαφος που δέχεται νερό, διαμορφώνεται μία διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο έδαφος που έχει ήδη υγρανθεί και το νερό που έρχεται προς το έδαφος που είναι ακόμα ξερό. Ζώνη μεταφοράς λέγεται η υγρή περιοχή ανάμεσα στην επιφάνεια του εδάφους και το μέτωπο προσπελάσεως. Η ζώνη επιμηκύνεται συνέχεια όσο κρατάει η βροχή, έχει σταθερή περιεκτικότητα σε νερό με βαθμό κορεσμού 80-95 % και σταθερό και ελαφρά αρνητικό ύψος πίεσεως που κυμαίνεται από -5cm έως -25cm.

Η ταχύτητα με την οποία το νερό διηθείται στο έδαφος σε αρχικό στάδιο, λέγεται αρχική διηθητικότητα. Όταν το νερό πέφτει προς το έδαφος, έχει πολύ μεγάλη ταχύτητα και με την πάροδο του χρόνου ελαττώνεται μέχρι κάποιο όριο, όπου από εκεί και πέρα παραμένει σταθερή και η τιμή που παίρνει λέγεται βασική ή τελική διηθητικότητα. Η τιμή που παίρνει η ταχύτητα σε οποιαδήποτε στιγμή αν την μετρήσουμε κατά την διάρκεια του φαινομένου, λέγεται στιγμιαία διηθητικότητα. Τα σημεία από την αρχική και την τελική διηθητικότητα αποτελούν τις δύο οριακές τιμές της στιγμιαίας διηθητικότητας. Αν σε ένα διάγραμμα τοποθετήσουμε τιμές από πολλές στιγμιαίες διηθητικότητες τότε σχηματίζεται η καμπύλη της στιγμιαίας διηθητικότητας. Αθροιστική διηθητικότητα λέγεται η ποσότητα του νερού που διηθείται στο έδαφος από την αρχή του φαινομένου μέχρι κάποιο χρόνο. Η καμπύλη αθροιστικής διηθητικότητας σχηματίζεται αν τοποθετηθούν πολλές τιμές από αθροιστικές διηθητικότητες από διάφορους χρόνους σε ένα διάγραμμα. Ο ρυθμός

εφαρμογής του νερού κατά την διάρκεια της αρδεύσεως καθορίζεται με βάση τις τιμές της στιγμιαίας και της αθροιστικής διηθητικότητας.

Στο σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνονται τυπικές καμπύλες διηθητικότητας (Παπαζαφειρίου, 1998).



Σχήμα 2. Τυπικές καμπύλες στιγμιαίας και αθροιστικής διηθητικότητας ομογενών εδαφών

## 1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διηθητικότητα των αγρών

Η διήθηση του νερού προς το έδαφος, εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους, την κατάσταση που βρίσκεται η επιφάνεια του εδάφους και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του, ως προς τη δυνατότητα κίνησης του νερού. Εδάφη που έχουν σταθερή και ισχυρή δομή παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά διήθησης σε σχέση με εδάφη με αδύναμη και φυλλώδη δομή. Εδάφη με μικρότερο μέγεθος δομής (μικρότεροι πόροι) χαρακτηρίζονται από υψηλότερα ποσοστά διήθησης σε σχέση με αυτά που έχουν μεγαλύτερο μέγεθος δομής.

Στα χωράφια, όταν βρίσκονται υπό την επίδραση καλλιεργητικής και αρδευτικής πρακτικής δημιουργούνται συνθήκες τέτοιες ώστε μπορεί να βελτιώνουν ή να επιδεινώνουν την κατάσταση στην διηθητικότητα του εδάφους. Οι παράγοντες που συμβάλλουν προς αυτές τις συνθήκες είναι οι κάτωθι:

- ✓ Στεγανοποίηση της επιφανειακής στρώσης του εδάφους: η διαδικασία της στεγανοποίησης και της δημιουργίας επιφανειακής κρούστας, που περιορίζει δραστικά τη διήθηση, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του επιφανειακού εδάφους, τη δύναμη πρόσπτωσης των σταγόνων του νερού στην επιφάνεια, τη συγκέντρωση και το είδος των στερεών του αρδευτικού νερού που εφαρμόζεται στον αγρό. Η κρούστα μπορεί να καταστραφεί με ελαφρό σκάλισμα πριν την εφαρμογή αρδύσεως ή και να προληφθεί, αν όλη η επιφάνεια του εδάφους καλύπτεται από την καλλιέργεια.
- ✓ Η δημιουργία υπεδάφιας αδιαπέρατης στρώσης: κατά την εφαρμογή των εδαφοκαλλιεργητικών μηχανημάτων στα χωράφια, το έδαφος συμπιέζεται σε βάθος 10 με 15 εκατοστά και δημιουργείται μια συμπαγή στρώση που δρα ανασχετικά στην προς τα κάτω κίνηση του νερού. Αυτή η στρώση μπορεί να καταστραφεί με βαθιά άροση ή με χρήση υπεδαφοκαλλιεργητών, όπου με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται ευρείς πόροι που επιτρέπουν την άνετη κίνηση του νερού.
- ✓ Η προσθήκη οργανικών υλικών: η ύπαρξη φυτικού υλικού ζωντανού ή νεκρού στην επιφάνεια του εδάφους παίζει έναν ιδιαίτερο ρόλο στην ικανότητα διήθησης του νερού μέσα στο έδαφος. Το οργανικό υλικό που καλύπτει την επιφάνεια του εδάφους προστατεύει από τη διάσπαση και τον κατακερματισμό τα τεμαχίδια του εδάφους, αποτρέποντας αρχικά το φράξιμο των πόρων και επιτρέποντας τη διήθηση του νερού. Εμπλουτισμός οργανικού υλικού μπορεί να γίνει με εναλλαγή καλλιεργειών, όπως χόρτα ή ψυχανθή, των οποίων τα φυτικά υπολείμματα ανακατεύονται με το χώμα, με αποτέλεσμα να μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η διηθητικότητα ορισμένων συνεκτικών εδαφών.
- ✓ Οι εδαφοκαλλιεργητικές εργασίες εκτός από τον σχηματισμό της συμπαγής υπεδάφιας στρώσης και της επιφανειακής κρούστας, συμβάλλουν στη βελτίωση της διηθητικότητας, κάνοντας το έδαφος πιο χαλαρό. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες εργασίες μπορεί να έχουν και αρνητικό αποτέλεσμα, χειροτερεύοντας τη συνέχεια των φυσικών αγωγών της επιφανειακής στρώσης προς το έδαφος.
- ✓ Τα φερτά υλικά του αρδευτικού νερού: το αρδευτικό νερό μεταφέρει άργιλο και λεπτή ιλύ στο χωράφι. Το κατά πόσο είναι ωφέλιμο εξαρτάται από την ποσότητα, την χρονική διάρκεια, την υφή και την δομή του εδάφους. Περιοδικές αρδύσεις με κατάκλιση αμμωδών εδαφών, με νερό που μεταφέρει

σημαντικές ποσότητες από ιλύ και άργιλο, βελτιώνει τα χαρακτηριστικά του εδάφους και περιορίζει την πολύ γρήγορη διήθηση του νερού. Σε συνεκτικά εδάφη, άρδευση με τέτοιο νερό κάνει την επιφάνεια τους ακόμα πιο αδιαπέρατη στο νερό.

- ✓ Η διάβρωση του εδάφους: οφείλεται σε φυσικά αίτια ή σε μη σωστή εφαρμογή του νερού με επιφανειακές μεθόδους άρδευσης. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε διάβρωση στο επάνω μέρος του χωραφιού και απόθεση στο κάτω. Αν η μετακίνηση του εδάφους αποκαλύψει πιο συνεκτικό υπέδαφος, τότε η διηθητικότητα θα περιοριστεί, ενώ αν το υπέδαφος είναι πιο διαπερατό, οπότε η διηθητικότητα θα αυξηθεί. Ανάλογα, θα μεταβληθεί και η διηθητικότητα στις περιοχές των αποθέσεων.
- ✓ Η ισοπέδωση του εδάφους: η επίδρασή της στην διηθητικότητα είναι ανάλογη με αυτή της διάβρωσης.
- ✓ Η περιεκτικότητα του αρδευτικού νερού σε άλατα: τα άλατα εγκαθίστανται σταδιακά στο έδαφος με την πάροδο του χρόνου, όπου μεταβάλουν τα χαρακτηριστικά του, όσον αφορά την διηθητικότητα. Στα υγρά κλίματα τα άλατα αποπλένονται με το νερό της βροχής και έτσι το πρόβλημα περιορίζεται σημαντικά. Στα ξερά κλίματα όμως, που το σύνολο του νερού δίνεται με άρδευση, δημιουργείται σημαντικό πρόβλημα, που αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή κατά διαστήματα υπεράρδευσης. Αν το νερό περιέχει σημαντική συγκέντρωση από χλωριούχο, θειικό ή όξινο ανθρακικό νάτριο έχει καταστροφικά αποτελέσματα στην δομή του εδάφους μετατρέποντας τα σε άμορφη συμπαγή μάζα, ενώ νερό που μεταφέρει άλατα ασβεστίου και μαγνησίου κάτω από ορισμένες συνθήκες έχουν ευνοϊκή επίδραση στα χαρακτηριστικά του εδάφους και βελτιώνουν την αγωγιμότητα και την διηθητικότητά του.
- ✓ Η θερμοκρασία του νερού έχει εξίσου σημαντική επίδραση στην διηθητικότητα γιατί επηρεάζει δραστικά το ιξώδες του νερού. Το νερό σε χαμηλή θερμοκρασία έχει μεγαλύτερο ιξώδες και μικρότερη διηθητικότητα από το νερό με υψηλή θερμοκρασία (Παπαζαφειρίου, 1998).

## Κεφάλαιο 2: Βασικές αρχές υδραυλικής

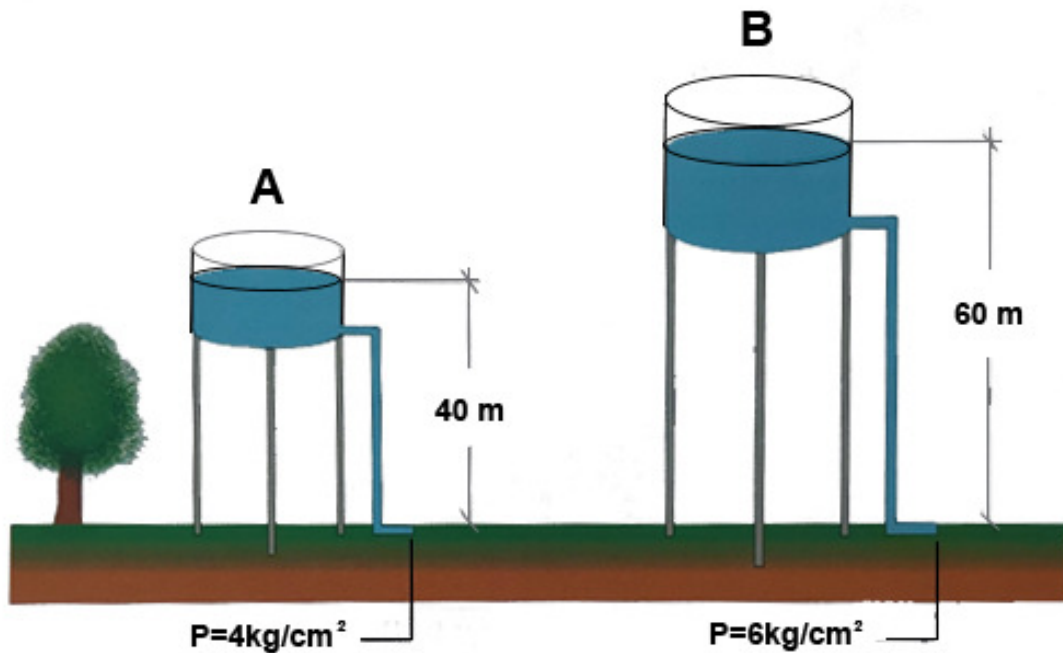
Η υδραυλική είναι η επιστήμη που μελετά την συμπεριφορά του νερού, είτε αυτό κινείται είτε αυτό είναι στάσιμο. Το νερό που κινείται σε κλειστούς αγωγούς, σε σωλήνες υπό πίεση χρησιμοποιείται για άρδευση των κηποτεχνικών έργων, έχει διαφορετική συμπεριφορά από αυτό που κινείται σε ανοικτά αυλάκια ή παραμένει ακίνητο.

Σε ένα καλά σχεδιασμένο δίκτυο άρδευσης, υπάρχουν δύο σημαντικοί παράγοντες, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και είναι, η πίεση και η παροχή του νερού. Σε ένα κακό σχεδιασμένο αρδευτικό δίκτυο μπορεί να προκύψουν πολλά προβλήματα που ξεκινούν από ελλιπή και ανομοιόμορφη άρδευση και μπορεί να φθάσουν στην πλήρη αστοχία του δικτύου. Με βάση τα παραπάνω θεωρείται σκόπιμο, στο παρόν κεφάλαιο να παραθέσουμε ορισμένες βασικές αρχές της υδραυλικής (Μπαμπίλης, 2004).

### 2.1 Πίεση (P) ή φορτίο πίεσης (h)

Πίεση είναι η δύναμη που ωθεί το νερό να κινηθεί μέσα στους σωλήνες. Αυτή η δύναμη μπορεί να δημιουργηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η βαρύτητα, ενώ ο δεύτερος τρόπος είναι η χρήση αντλίας.

Στην πρώτη περίπτωση, μέσω της βαρύτητας ισχύει η υπόθεση ότι, όσο πιο ψηλά βρίσκεται η πηγή από το σημείο κατανάλωσης τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση που ασκείται. Ο υδατόπυργος ο οποίος παρουσιάζεται και σε επόμενη εικόνα, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για τον τρόπο με τον οποίο η πίεση η οποία δημιουργείται από το ίδιο το βάρος του νερού επηρεάζεται από το ύψος. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του υδατόπυργου τόσο μεγαλύτερη θα είναι η τιμή της πίεσης.



Εικόνα 1. Δημιουργία πίεσης μέσω βαρύτητας σε υδατόπυργο

Η πίεση ( $P$ ) του νερού σε μία συγκεκριμένη θέση, αποτελεί τη δύναμη που προκαλείται από το βάρος της στήλης του νερού πάνω από αυτή την θέση και εκφράζεται με το γινόμενο της υψομετρικής διαφοράς του σημείου από την ελεύθερη επιφάνεια  $h$  ή του φορτίου πίεσης και του ειδικού βάρους του υγρού  $\gamma$ :

$$P=h*\gamma \quad (2.1)$$

όπου

- $P$  = η πίεση σε συγκεκριμένο σημείο,
- $h$  = η απόσταση του συγκεκριμένου σημείου από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού,
- $\gamma$  = το ειδικό βάρος του νερού.

Στο μετρικό σύστημα μονάδων η πίεση εκφράζεται σε μέτρα στήλης νερού (m), ή χιλιόγραμμα βάρους ανά τετραγωνικό εκατοστό ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), ή σε τόνους ανά τετραγωνικό μέτρο ( $\text{t}/\text{m}^2$ ). Στο αγγλοσαξονικό σύστημα μετριέται σε λίμπρες ανά τετραγωνική ίντσα (psi). Συχνά η πίεση αναφέρεται σε φυσικές ατμόσφαιρες (atm).

Γενικότερα, θα πρέπει να γνωρίζουμε ορισμένες βασικές αρχές, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- $1 \text{ m}^3$  νερού έχει μάζα 1000 kg
- $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l}$



- 1 at (τεχνική ατμόσφαιρα) = 1 kg/cm<sup>2</sup>
- 1 atm (φυσική ατμόσφαιρα) = 1.033 kg/cm<sup>2</sup>
- 1 kg/cm<sup>2</sup> = 14223 psi
- Η πίεση μιας στήλης νερού ύψους 10 m = 1 at = 1 kg/cm<sup>2</sup> = 1 t/m<sup>2</sup>

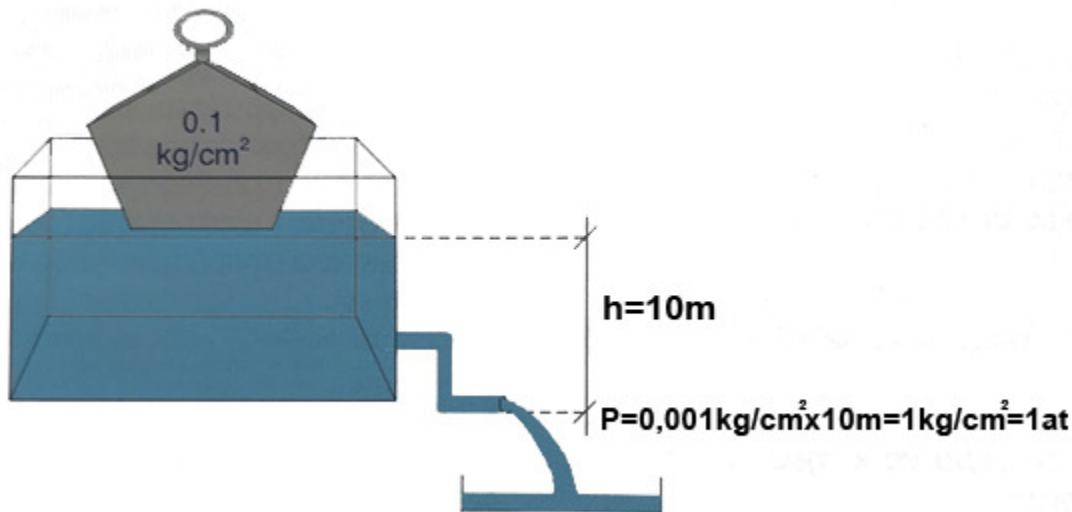
Επειδή στις αρδεύσεις διαχειριζόμαστε πάντα νερό με ειδικό βάρος  $\gamma=1\text{gr/cm}^3$ , η πίεση P και το φορτίο πίεσης h, συνδέονται με την εξής απλή σχέση:

$$P = h \quad (2.2)$$

Στις πρακτικές εφαρμογές, χρησιμοποιείται ο όρος τεχνική ατμόσφαιρα (at), ο οποίος ισοδυναμεί με την ακόλουθη σχέση:

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ m} \quad (2.3)$$

Το βάρος του νερού έχει άμεση σχέση με το ύψος της στήλης του νερού. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μία δεξαμενή ύδατος ύψους 10 m, όπου ασκείται δύναμη 0.1 kg/cm<sup>2</sup> από το βάρος του νερού στην βάση της δεξαμενής.



**Εικόνα 2. Συσχέτιση βάρους νερού και ύψους της στήλης νερού**

Σε μία δεξαμενή ύδατος, έστω η κατακόρυφη απόσταση από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού έως το σημείο που αρχίζει το νερό και τρέχει οριζόντια προς το έδαφος είναι 40 m και την πολλαπλασιάσουμε με την δύναμη του νερού, 0.1 kg/cm<sup>2</sup>, θα υπολογίσουμε την πίεση που υπάρχει στην βάση της δεξαμενής αυτής. Σε αυτή την περίπτωση η πίεση είναι 4 kg/cm<sup>2</sup>, ενώ για 60m ύψος η πίεση θα είναι στα 6 kg/cm<sup>2</sup>.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο δεύτερος τρόπος μέτρησης της πίεσης είναι μέσω της χρήσης αντλίας. Στην προκειμένη περίπτωση, μέσω της αντλίας μπορεί να διοχετευθεί νερό στο αρδευτικό δίκτυο που θα έχει όλες τις προδιαγραφές πίεσης και απαιτήσεις για την παροχή νερού. Μέσω της χρήσης αντλίας, η μέτρηση πίεσης πραγματοποιείται με μανόμετρα γλυκερίνης ή αέρος, τα οποία είναι βαθμονομημένα σε  $\text{kg/cm}^2$ , atm, bar, ή psi (Μπαμπίλης, 2004).

Τα μανόμετρα γλυκερίνης και αέρος παρουσιάζονται στην ακόλουθη εικόνα.



**Εικόνα 3. Μανόμετρα γλυκερίνης (επάνω) και μανόμετρα αέρος (κάτω) για τη μέτρηση της πίεσης**

## 2.2 Στατική πίεση

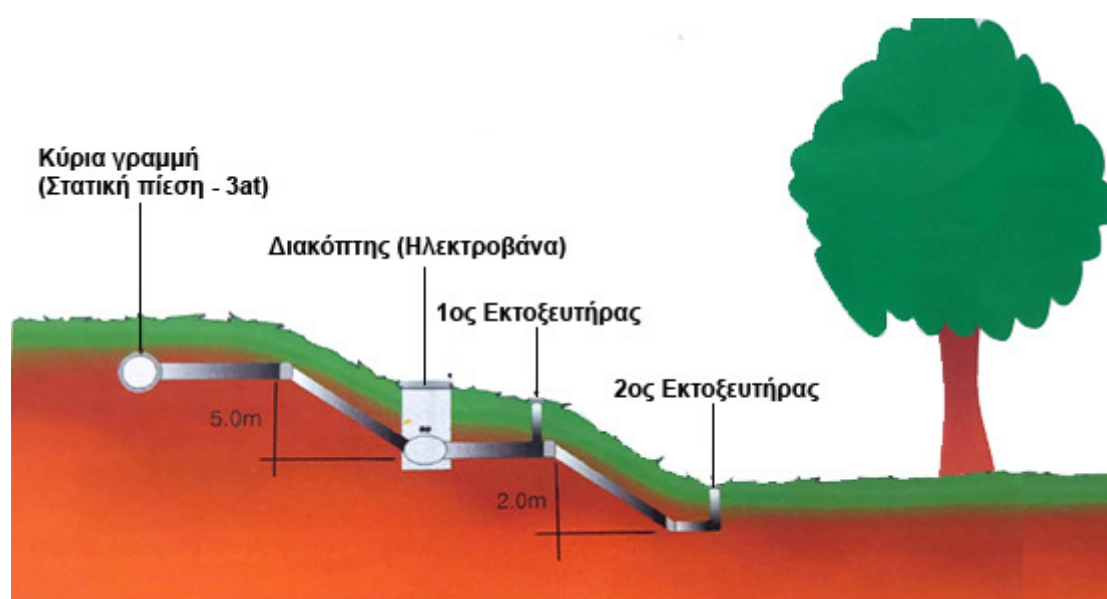
Η στατική πίεση μετριέται όταν το υγρό παραμένει ακίνητο, όπου απαιτείται μόνο ο υπολογισμός της πίεσης στον σωλήνα που προκαλείται από την υψομετρική διαφορά ή από μία αντλία. Μέσα από την επόμενη εικόνα μπορούμε να διαπιστώσουμε ένα υπόγειο σύστημα άρδευσης, το οποίο αποτελείται από μία κύρια γραμμή (σωλήνα), τον διακόπτη του νερού ή την ηλεκτροβαλβίδα και δύο εκτοξευτήρες νερού. Η κύρια

γραμμή πριν τον διακόπτη έχει σταθερή πίεση 3 at. Η πίεση στον διακόπτη λόγω υψομετρικής διαφοράς θα είναι μεγαλύτερη. Αν θέλουμε να υπολογίσουμε την πίεση στον διακόπτη θα πρέπει να γνωρίζουμε την υψομετρική διαφορά. Έστω για παράδειγμα η υψομετρική διαφορά από την κύρια γραμμή ως τον διακόπτη είναι 5 m. Στην περίπτωση αυτή έχουμε

$$5 \text{ m} * 0.1 \text{ at} = 0.5 \text{ at}$$

Επομένως, με πίεση 3 at στην κύρια γραμμή, η πίεση στην ηλεκτροβαλβίδα θα είναι:

$$3 \text{ at} + 0.5 \text{ at} = 3.5 \text{ at}$$



Εικόνα 4. Υπόγειο δίκτυο άρδευσης με ηλεκτροβαλβίδα και δύο εκτοξευτήρες

### 2.3 Δυναμική πίεση

Η μέτρηση της δυναμικής πίεσης ή πίεσης λειτουργίας ενός δικτύου, πραγματοποιείται όταν το νερό κινείται και καταλαμβάνει ολόκληρη τη διατομή του σωλήνα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η δυναμική πίεση αποτελεί τη δύναμη που ασκείται από το νερό σε οποιοδήποτε σημείο μέσα στον σωλήνα. Ωστόσο, λόγω των τοιχωμάτων του σωλήνα, η κίνηση των μορίων του νερού γίνεται πιο δύσκολη, με αποτέλεσμα να σημειώνονται απώλειες πίεσης. Επομένως, για τον υπολογισμό της δυναμικής πίεσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη δύο απώλειες πίεσης, δηλαδή αυτές που προέρχονται από την κίνηση του νερού μέσα στον σωλήνα και αυτές που

προέρχονται από τον διακόπτη και τα υπόλοιπα εξαρτήματα του δικτύου. Στην πρώτη περίπτωση αναφερόμαστε σε γραμμικές απώλειες πίεσης, ενώ στη δεύτερη περίπτωση πρόκειται για τοπικές απώλειες. Η δυναμική πίεση είναι πάντοτε μικρότερη από την στατική πίεση και οι απώλειες πίεσης ισοδυναμούν με την διαφορά στατικής πίεσης με την δυναμική πίεση (Μπαμπίλης, 2004).

## 2.4 Χαρακτηριστικά ροής

## 2.5 Ροή και ταχύτητα ροής

Ως ροή ορίζεται η κίνηση του νερού μέσα σε έναν σωλήνα. Η ταχύτητα ροής (U) αντικατοπτρίζει το πόσο γρήγορα περνά το νερό από ένα συγκεκριμένο σημείο των σωλήνων. Η ταχύτητα της ροής μετριέται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$U = Q / S \quad (2.4)$$

όπου

- Q = παροχή (m<sup>3</sup>/s)
- S = η επιφάνεια υγρής διατομής (m<sup>2</sup>)

Για τους κλειστούς αγωγούς κυκλικής διατομής, η επιφάνεια υγρής διατομής και η ταχύτητα της ροής προκύπτουν ως εξής:

$$S = (\pi * D^2) / 4 \quad (2.5)$$

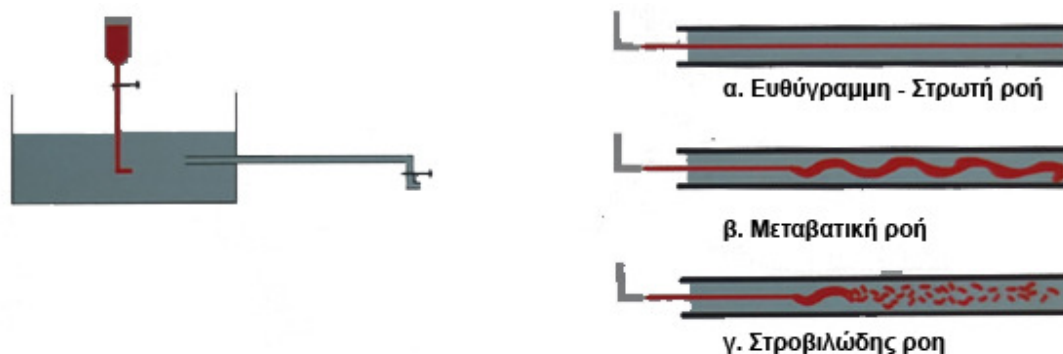
και

$$U = (4 * Q) / (\pi * D^2) \quad (2.6)$$

όπου, D είναι η εσωτερική διάμετρος του αγωγού.

Η ταχύτητα της ροής είναι ανάλογη της παροχής. Αν σε έναν σωλήνα έχουμε διπλάσια παροχή τότε θα έχουμε και διπλάσια ταχύτητα ροής. Το είδος της ροής του νερού μέσα στον σωλήνα μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τον όγκο του νερού που υπάρχει στην πηγή και την διατομή του σωλήνα. Έτσι, μπορεί να δημιουργηθούν δύο καταστάσεις ροής, α) η στρωτή ή παράλληλη ροή, όπου η ροή γίνεται κατά παράλληλες στρώσεις χωρίς ανάμειξή τους και β) η τυρβώδης ροή, όπου γίνεται ακανόνιστα και υπάρχει έντονη ανάμειξή των υγρών στρώσεων κατά την κίνησή τους. Η μελέτη της

ροής πραγματοποιήθηκε από τον Reynolds, ο οποίος μελέτησε την ροή μέσα σε γυάλινους σωλήνες, διαφόρων διατομών από τις οποίες έτρεχε νερό. Στην είσοδό τους άφηνε να τρέξει έγχρωμο υγρό (διάλυμα υπερμαγγανικού καλίου) το οποίο σε μικρές ταχύτητες ροής σχημάτιζε μία ευδιάκριτη ευθεία γραμμή σε όλο το μήκος του σωλήνα (στρωτή ροή). Όταν αύξανε την ταχύτητα ροής, με την βοήθεια της παροχής του νερού, η ευθεία γραμμή γινόταν κυματοειδής έως ότου ολόκληρη η ροή μέσα στο σωλήνα γινόταν έγχρωμη (στροβιλοειδής ροή). Η συγκεκριμένη μελέτη αποκαλείται συσκευή Reynolds και αποτυπώνεται στην επόμενη εικόνα (Μπαμπίλης, 2004).



Εικόνα 5. Συσκευή Reynolds

## 2.6 Παροχή

Η παροχή (Q) ορίζεται ως ο όγκος του νερού που διέρχεται από μία κάθετη προς τον άξονα ροής επιφάνεια (διατομή) στην μονάδα του χρόνου και μετριέται σε λίτρα ανά δευτερόλεπτο (l/s) ή κυβικά μέτρα ανά ώρα ( $m^3/h$ ). Για να υπολογίσουμε την διάμετρο των αγωγών εφόσον γνωρίζουμε την παροχή του δικτύου, έχουμε:

$$D = 15.35 \sqrt{Q} \quad (2.7)$$

όπου:

- D = η διάμετρος των αγωγών (mm)
- Q = η παροχή ( $m^3/h$ )

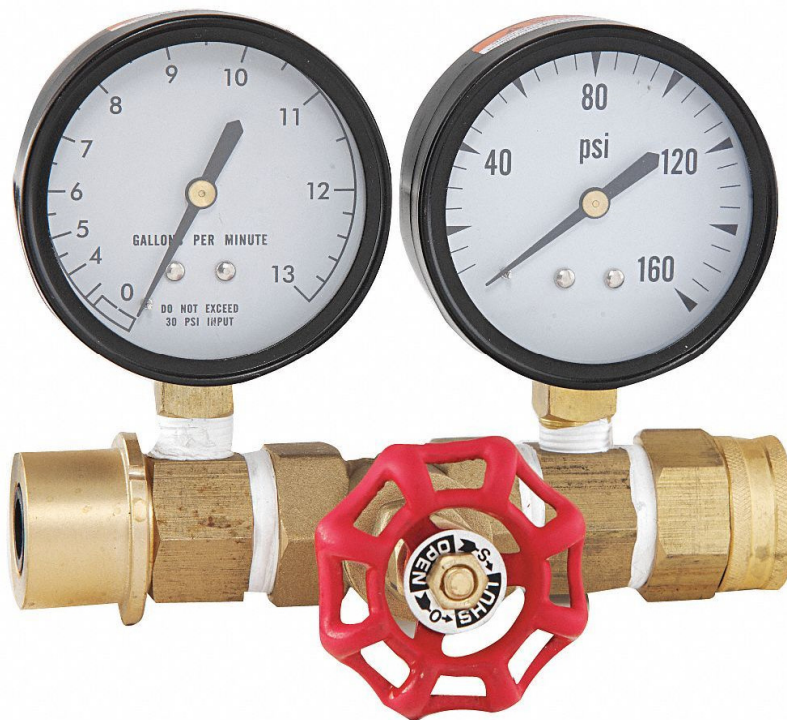
Η μέση ταχύτητα ροής του νερού μέσα σε ένα σωλήνα, υπολογίζεται με βάση τον τύπο :

$$U = (353.68 * Q) / D^2 \quad (2.8)$$

όπου:

- $U$  = η ταχύτητα ροής ( $m^3/s$ )
- $Q$  = η παροχή ( $m^3/h$ ) και
- $D$  = η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα (mm)

Ο συγκεκριμένος αυτός αφορά καινούργιους σωλήνες. Σε παλιούς σωλήνες δεν μπορούμε να μετρήσουμε την ταχύτητα ροής με αυτόν τον τύπο. Σε αυτήν την περίπτωση θεωρούμε ότι η ταχύτητα θα είναι μεγαλύτερη από την υπολογισμένη τιμή. Επιπλέον, εάν γνωρίζουμε την ταχύτητα ροής, με τον παραπάνω τύπο μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή, η οποία μετριέται με τα παροχόμετρα. Για να μετρήσουμε ένα ζεύγος πίεσης – παροχής θα πρέπει να συνδέουμε κατά σειρά, ένα μανόμετρο, μια βάνα και ένα παχόμετρο. Το εν λόγω όργανο μέτρησης της πίεσης - παροχής, παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



**Εικόνα 6. Όργανο μέτρησης ζεύγους πίεσης – παροχής**

## 2.7 Απώλειες πίεσης (ενέργειας) λόγω τριβών

Καθώς το νερό κινείται δημιουργούνται τριβές οι οποίες με τη σειρά τους δημιουργούν απώλειες ενέργειας. Οι τριβές που δημιουργούνται σχετίζονται με τριβές του νερού με τα τοιχώματα των σωληνώσεων, αλλά και μεταξύ των κινούμενων μορίων του υγρού, οι οποίες ονομάζονται γραμμικές απώλειες. Επιπλέον, παρατηρούνται και απώλειες, οι οποίες οφείλονται στα εξαρτήματα της συνδεσμολογίας των σωληνώσεων, τις στενώσεις αλλά και διευρύνσεις σωλήνων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι απώλειες που δημιουργούνται χαρακτηρίζονται ως τοπικές απώλειες.

Σε κάθε περίπτωση, οι απώλειες της πίεσης που οφείλονται στις τριβές, εκφράζονται σε κιλά ανά τετραγωνικό εκατοστό ( $\text{kg/cm}^2$ ). Στις δύο υποενότητες που ακολουθούν, περιγράφονται τόσο οι γραμμικές όσο και οι στατικές απώλειες.

## 2.8 Γραμμικές απώλειες

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι γραμμικές απώλειες οφείλονται σε τριβές εξαιτίας της κίνησης του νερού μέσα στους σωλήνες. Οι γραμμικές απώλειες εκδηλώνονται με μείωση πίεσης. Ο υπολογισμός τους γίνεται μέσα από τον απλοποιημένο συνδυασμό των εξισώσεων Darcy – Weisbach, ο οποίος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$H_f = \Sigma * \frac{1,063 \times 10^4 \times L \times Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (2.9)$$

όπου:

- $H_f$ = γραμμικές απώλειες πίεσης (m)
- $\Sigma = 7,779$
- $Q$ = παροχή σε  $\text{m}^3 / \text{h}$
- $L$ = το μήκος του αγωγού
- $D$ = εσωτερική διάμετρος του σωλήνα σε χιλιοστά (mm)

Σημειώνεται ότι, ο συγκεκριμένος τύπος ισχύει για θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$  και μπορεί να δεχθεί διόρθωση, είτε αντικαθιστώντας το  $\Sigma$  είτε πολλαπλασιάζοντας το τελικό αποτέλεσμα με τον συντελεστή διόρθωσης, ο οποίος αναγράφεται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 2. Διορθώσεις γραμμικών απωλειών για αποκλίσεις από την καθορισμένη θερμοκρασία (20°C)**

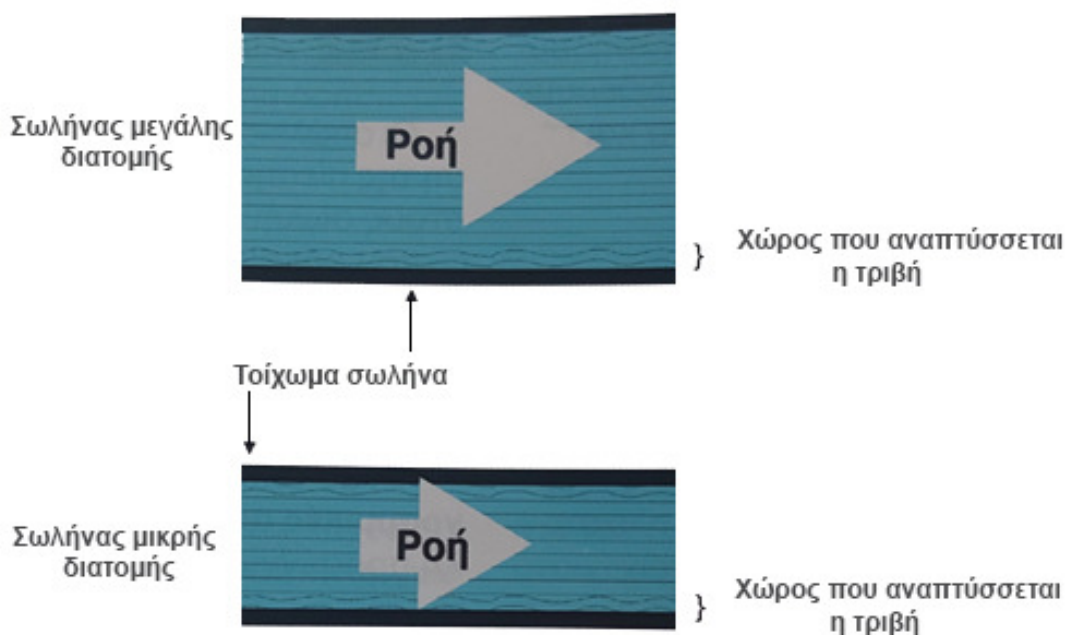
Απόκλιση (°C)	Συντελεστής διόρθωσης	Σ
-20	1,155	8,984
-15	1,109	8,629
-10	1,068	8,309
-5	1,032	8,030
0	1,000	7,779
+5	0,971	7,556
+10	0,945	7,352
+20	0,900	7,001
+30	0,862	6,703

Όσον αφορά την παροχή (Q), καθορίζεται από τη διατομή του αγωγού (S) και τη μέση ταχύτητα ροής του νερού ( $U_m$ ). Η σχέση που δίνει την παροχή, είναι η κάτωθι:

$$Q = U_m * S \quad (2.10)$$

Κατά τον προσδιορισμό των απωλειών θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη η εσωτερική διάμετρος των σωληνώσεων, διότι επηρεάζει τις απώλειες πίεσης, δραστικά. Στους σωλήνες με μεγαλύτερη διατομή έχουμε λιγότερες τριβές, άρα και απώλειες. Στους σωλήνες μικρότερης διατομής έχουμε το αντίστροφο, μεγαλύτερες τριβές, οπότε και μεγαλύτερες απώλειες. Λόγω των κατασκευαστικών ανοχών, σε μερικά είδη σωλήνων περιορίζονται σε χιλιοστά. Για παράδειγμα, η μέγιστη εσωτερική διάμετρος για σωλήνες Φ16 PE 6atm, μπορεί να είναι 13,5 mm και η ελάχιστη 13,0 mm, κατά 3,84% μεγαλύτερη, με μία ροή 15 l/min διαμέσου αυτού του σωλήνα, με μέγιστη εσωτερική διάμετρο 13,5mm. Οι απώλειες πίεσης σε αυτήν την περίπτωση θα είναι 0,30 kg/cm<sup>2</sup>, ενώ με την μικρότερη εσωτερική διάμετρο σωλήνα, 13,0mm, οι απώλειες θα είναι 0,365 kg/cm<sup>2</sup> δηλαδή 20% μεγαλύτερη. Ο χώρος που αναπτύσσονται οι τριβές ανάλογα με τη διάμετρο του σωλήνα, παρουσιάζεται και στην ακόλουθη εικόνα.





**Εικόνα 7. Η ροή του νερού μέσα στο σωλήνα και τα σημεία που αναπτύσσονται τριβές**

Για κάθε είδος σωλήνα μπορούμε να χρησιμοποιούμε μία μέση τιμή εσωτερικής διαμέτρου, όπου εξασφαλίζει ικανοποιητική ακρίβεια στον υπολογισμό των απωλειών πίεσης. Επίσης αν χρησιμοποιήσουμε σωλήνες από λείο υλικό και αυξήσουμε την διατομή του σωλήνα και μειώσουμε την ταχύτητα ροής του νερού, μπορούμε να μειώσουμε τις απώλειες. Από τα εργοστάσια παραγωγής σωλήνων, υπάρχει ένας πίνακας υπολογισμού των απωλειών ενέργειας, για κάθε τύπο σωλήνα Έτσι ανάλογα με την παροχή, εύκολα υπολογίζουμε την διατομή του αγωγού που απαιτείται. Για παράδειγμα, με βάση τον συγκεκριμένο πίνακα, εάν έχουμε μία παροχή νερού  $Q=10\text{m}^3/\text{h}$ , όπου διοχετεύεται σε μία σωλήνα πολυαιθυλενίου (PE) με  $\Phi 63$ , 6atm, τότε οι απώλειες ενέργειας, λόγω τριβών ανά 100m σωλήνα υπολογίζονται σε 2,1m δηλαδή 0,21at (Μπαμπίλης, 2004).

## 2.9 Τοπικές απώλειες

Οι ελάχιστονες ή τοπικές απώλειες είναι πολύ μικρότερες από τις γραμμικές και είναι αυτές που προκαλούνται από τοπικά αίτια, όπως για παράδειγμα από απότομες διευρύνσεις και στενώσεις του αγωγού, από αλλαγή κατεύθυνσης της ροής του νερού, από παρουσία εξάρσεων και εξαρτημάτων του αγωγού, κ.λπ. Εκτενέστερα, τα αίτια

των τοπικών απωλειών αναγράφονται στον ακόλουθο πίνακα. Όσον αφορά τον τύπο μέσω του οποίου υπολογίζονται οι τοπικές απώλειες, δίνεται από την κάτωθι σχέση:

$$H_f = K \times \frac{U^2}{2g} \quad (2.11)$$

όπου:

- K = λαμβάνει διάφορες τιμές ανάλογα με το αίτιο που προκαλεί τις απώλειες,
- U = η ταχύτητα ροής

**Πίνακας 3. Αίτια τοπικών απωλειών και τιμές του συντελεστή K**

Αίτια απωλειών	Συντελεστής K
<b>Έξοδος από δεξαμενή</b>	
Προεκτεινόμενη στο εσωτερικό	0,78
Σε ορθή γωνία	0,50
Ελαφρά καμπυλωτή	0,23
Κωνική	0,04
<b>Αλλαγή κατεύθυνσης</b>	
Απότομη αλλαγή 90°	1,50
Απότομη αλλαγή 60°	1,20
Απότομη αλλαγή 30°	0,90
Ομαλή αλλαγή 90°	0,25
Ομαλή αλλαγή 60°	0,20

Για την περίπτωση της διευρύνσεως και της στένωσης του αγωγού, το K υπολογίζεται από τους εξής τύπους:

(α) περίπτωση διεύρυνσης

$$K = \left[ 1 - \frac{D_1^2}{D_2^2} \right]^2 \quad (2.12)$$

(β) περίπτωση στένωσης

$$K = \left[ \frac{1}{C} - 1 \right] \quad (2.13)$$

όπου:

- $C=0,585+0,415[D_2/D_1]^2$  για την περίπτωση της στένωσης, και
- $D_1, D_2$ , οι διάμετροι του στενού και ευρύ τμήματος του αγωγού αντίστοιχα.

## 2.10 Υδραυλικό πλήγμα

Το υδραυλικό πλήγμα, είναι ένα φαινόμενο που δεν είναι μόνιμο. Εμφανίζεται σε όλο το αρδευτικό δίκτυο και σε όλη την υδραυλική εγκατάσταση, σε περιπτώσεις που δημιουργούνται μεγάλες υποπίεσεις και υπερπίεσεις εξαιτίας της μεγάλης μεταβολής της ταχύτητας της ροής του νερού. Επίσης, το υδραυλικό πλήγμα μπορεί να προκληθεί από καταστάσεις όπως: α) ο εγκλωβισμένος αέρας που μπορεί να υπάρχει σε εκτεταμένα δίκτυα, β) το μεγάλο μήκος του δικτύου, γ) η μεγάλη ταχύτητα ροής του νερού κυρίως σε άδειους αγωγούς, δ) το απότομο κλείσιμο μιας βάνας, ε) από την έναρξη λειτουργίας της αντλίας που τροφοδοτεί το δίκτυο, στ) από την αναστροφή της ροής που δημιουργείται μετά την παύση λειτουργίας της αντλίας, κλπ.

Το υδραυλικό πλήγμα κάνει αισθητή την παρουσία σε όλο το αρδευτικό δίκτυο αλλά και σε όλη την υδραυλική εγκατάσταση και μπορεί να προκαλέσει σοβαρές μεταβολές στην πίεση, σχετικά μικρής διάρκειας, ή ακόμη και ζημιές στα όργανα ελέγχου και μέτρησης που είναι συνδεδεμένα σε αυτό. Το μέγεθος του υδραυλικού πλήγματος εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- ❖ Το μήκος, η διατομή και η ελαστικότητα των αγωγών.
- ❖ Η ταχύτητα ροής.
- ❖ Η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας της ηλεκτροβαλβίδας ειδικά κατά το τελευταίο διάστημα (25%) του ύψους λειτουργίας της μεμβράνης.
- ❖ Η διακύμανση της ταχύτητας ροής κατά την διάρκεια διακοπής λειτουργίας της ηλεκτροβαλβίδας.

Για την προστασία από το υδραυλικό πλήγμα, έχουν προταθεί σε βιβλιογραφικό επίπεδο, ορισμένα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται και είναι τα εξής:

- i. Η τοποθέτηση ειδικών αντιπληγματικών συσκευών, όπως είναι η δεξαμενή εκτόνωσης και ο αεροκόδωνας.
- ii. Μέσω της χρήσης ενός πιεστικού δοχείου. Για παράδειγμα, σε ένα κατακόρυφο καταθλιπτικό αγωγό αντλίας σε ένα σύστημα σωληνώσεων, μετά την παύση λειτουργίας της αντλίας, εξαιτίας της κίνησης του νερού και λόγω της βαρύτητας, η κίνηση θα αναστραφεί και η ροή της θα σταματήσει από την ανεπίστροφη βαλβίδα με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί υδραυλικό πλήγμα. Σε αυτήν την περίπτωση, για παροχή ως  $50\text{m}^3/\text{h}$ , αν τοποθετούσαμε ένα πιεστικό δοχείο 50l με πίεση αερίου 70% της πραγματικής πίεσης λειτουργίας, θα

περιοριζόταν το υδραυλικό πλήγμα. Για παροχές μεγαλύτερες των 50m<sup>3</sup>/h θα πρέπει να τοποθετηθεί ένα μεγαλύτερο πιεστικό δοχείο, 100L, με την ίδια πίεση αερίου, ίση με το 70%.

- iii. Προτείνεται η συχνότητας κατά την εκκίνηση της αντλίας, να φτάνει από 25Hz σε 50Hz σε τουλάχιστον 30 δευτερόλεπτα.
- iv. Το όριο της ταχύτητας ροής ενδείκνυται να είναι από 1,51 m/s έως 2,1 m/s.
- v. Σε κατασκευαστικό επίπεδο, προτείνεται η σταθεροποίηση του δικτύου των αγωγών, ιδιαίτερα στα σημεία που το νερό αλλάζει κατεύθυνση, όσο και στα σημεία που υπάρχουν βάνες αλλά και στα άκρα των αγωγών. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση σκυροδέματος μεταξύ του εξαρτήματος και της πορείας του χαντακιού, καθώς και στην πλευρά που θα δεχθεί την πιθανή φόρτιση.
- vi. Η χρήση αντιπληγματικών βαλβίδων, κυρίως όταν εφαρμόζοντας όλες τις άλλες λύσεις το πρόβλημα επιμένει.
- vii. Σε άδειους σωλήνες, όταν η βάνα ανοίγει, η ταχύτητα της ροής του νερού μπορεί να γίνει ανεξέλεγκτη και μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές την ώρα που γεμίζει ο σωλήνας ή την ώρα που ανοίγει η ηλεκτροβαλβίδα. Στην προκειμένη περίπτωση, η λύση είναι να ανοίγουν και να κλείνουν οι ηλεκτροβαλβίδες με κάποια βραδύτητα. Επίσης, το άδειασμα των σωλήνων μπορεί να γίνει σε δύο περιπτώσεις: σε περιοχές που υπάρχει έντονος παγετός, σαν αντιπαγετική προστασία και όταν υπάρχει ένας τουλάχιστον εκτοξευτήρας όπου βρίσκεται σε χαμηλότερο σημείο από του υπόλοιπους. Ως λύση προτείνεται επίσης και η τοποθέτηση αντιστραγγαλιστικών βαλβίδων στην βάση των χαμηλότερων εκτοξευτήρων.
- viii. Σε μεγάλου μήκους σωλήνες, δημιουργούνται στα σημεία καμπής, θύλακες αέρα, οι οποίοι δημιουργούν μεγάλες απώλειες πίεσης αντίστοιχες με την επιλογή μικρότερης διατομής αγωγό. Όσο αυξάνεται η ποσότητα του αέρα, τόσο αυξάνουν και οι απώλειες. Η προσθήκη αυτόματων εξαεριστικών βαλβίδων, στα υψηλότερα σημεία των χωραφιών, εκεί που δημιουργούνται οι θύλακες, αποτελεί μια λύση για την προστασία από υδραυλικό πλήγμα (Μπαμπίλης, 2004).

## Κεφάλαιο 3: Άρδευση με κλασικό καταιονισμό

### 3.1 Γενική περιγραφή

Ο καταιονισμός αποτελεί μια μέθοδο για άρδευση του αγρού. Η μέθοδος εφαρμογής του νερού σε όλη την επιφάνεια του αγρού, υπό την μορφή ψεκασμού, προσομοιάζει τις φυσικές βροχοπτώσεις και ονομάζεται άρδευση με καταιονισμό. Σε πολλές περιοχές της Ευρώπης άρχισε να εφαρμόζεται στις αρχές του αιώνα. Σε όλο τον κόσμο, η ανάπτυξη της μεθόδου ήρθε μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Ιδιαίτερη ανάπτυξη παρατηρήθηκε την δεκαετία του 1960, όπου στην Ελλάδα είχαμε αλματώδη αύξηση, με την μελέτη και την κατασκευή συλλογικών αρδευτικών δικτύων με καταιονισμό.

Η μεταφορά και διανομή του νερού, γίνεται με δίκτυο κλειστών σωληνωτών αγωγών, αλλά και δίκτυο ανοικτών αγωγών με την χρήση αντλητικών συγκροτημάτων για την λειτουργία των εκτοξευτήρων. Στη μέθοδο του καταιονισμού απαιτείται υδραυλικό φορτίο για την λειτουργία των εκτοξευτήρων και την εφαρμογή αρδευτικού νερού. Αυτή είναι η διαφορά σε σχέση με τις άλλες επιφανειακές μεθόδους άρδευσης. Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου, είναι τα εξής:

- i. Επιτυγχάνεται ποιοτικότερη εφαρμογή του αρδευτικού νερού και καλύτερος βαθμός ομοιομορφίας της κατανομής.
- ii. Ο έλεγχος εφαρμογής του αρδευτικού νερού, είναι πιο αποτελεσματικός, δίνοντας τη δυνατότητα εφαρμογής μικρών δόσεων νερού αλλά και το ύψος που απαιτείται. Τα δύο προαναφερθέντα πλεονεκτήματα αποκτούν ιδιαίτερη βαρύτητα σε εκτάσεις που μπορούν να εφαρμοστούν και οι δύο μέθοδοι άρδευσης, τόσο με καταιονισμό, όσο και με επιφανειακές μεθόδους άρδευσης. Με την μέθοδο όμως του καταιονισμού, θα έχουμε σημαντική οικονομία στο αρδευτικό νερό αλλά και καλύτερο βαθμό απόδοσης.
- iii. Παρέχεται δυνατότητα άρδευσης σε περιοχές που δεν μπορεί να εφαρμοστεί η επιφανειακή άρδευση, όπως χωράφια με μεγάλες κλίσεις και ανώμαλη τοπογραφία αλλά και σε χωράφια με εδάφη με μεγάλη διηθητικότητα, χωρίς να είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί ισοπέδωση.
- iv. Υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης μικρών παροχών νερού.

- v. Η μέθοδος του καταιονισμού δίνει τη δυνατότητα χρήσης του δικτύου για άλλους σκοπούς, όπως για παράδειγμα η αντιπαγετική προστασία.

Στον κλασικό καταιονισμό, αν το σύστημα σχεδιαστεί σωστά, η κατανομή του νερού στο χωράφι είναι αρκετά ομοιόμορφη σε όλη την επιφάνεια του χωραφιού και διηθείται στο έδαφος κατακόρυφα υπό ακόρεστες συνθήκες ροής, χωρίς να παρατηρείται λίμνασμα, γεγονός που συμβάλλει ώστε η επιφανειακή απορροή να είναι μηδενική. Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ένα σύστημα καταιονισμού σε καλλιεργήσιμο έδαφος.



**Εικόνα 8. Σύστημα καταιονισμού σε καλλιέργεια**

Η μέθοδος του καταιονισμού, μπορεί να εφαρμοστεί για άρδευση στην πλειοψηφία των καλλιεργειών. Επιπρόσθετα, η εφαρμογή της μεθόδου δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από το έδαφος, μιας και αποδίδει αποτελεσματικά σε πολύ μεγάλη ποικιλία εδαφών. Ιδιαίτερα, σε αγρούς με ανομοιόμορφα εδάφη, αβαθή, πολύ διαπερατά, με υψηλή υπόγεια στάθμη, μεγάλη κλίση και ανώμαλη τοπογραφία, η μέθοδος της άρδευσης μέσω καταιονισμού μπορεί να εφαρμοστεί ακόμα και όταν η διατιθέμενη παροχή είναι σχετικά μικρή.

Όσον αφορά τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου, ένα από τα κυριότερα είναι το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, μιας και η αρχική εγκατάσταση, αλλά και η διασφάλιση της λειτουργίας του συστήματος, απαιτούν αρκετούς οικονομικούς πόρους. Τα ιδιαίτερα υψηλά κόστη, οφείλονται κυρίως στο κόστος της ενέργειας το οποίο είναι εξίσου υψηλό, καθώς και στην αδυναμία άρδευσης

όταν υπάρχει δυνατός άνεμος με μεγάλη ταχύτητα, όταν το νερό περιέχει φερτά υλικά, ή ακόμη και σε βλάβες που προκαλούνται σε μερικές καλλιέργειες με την διαβροχή των φυλλωμάτων τους.

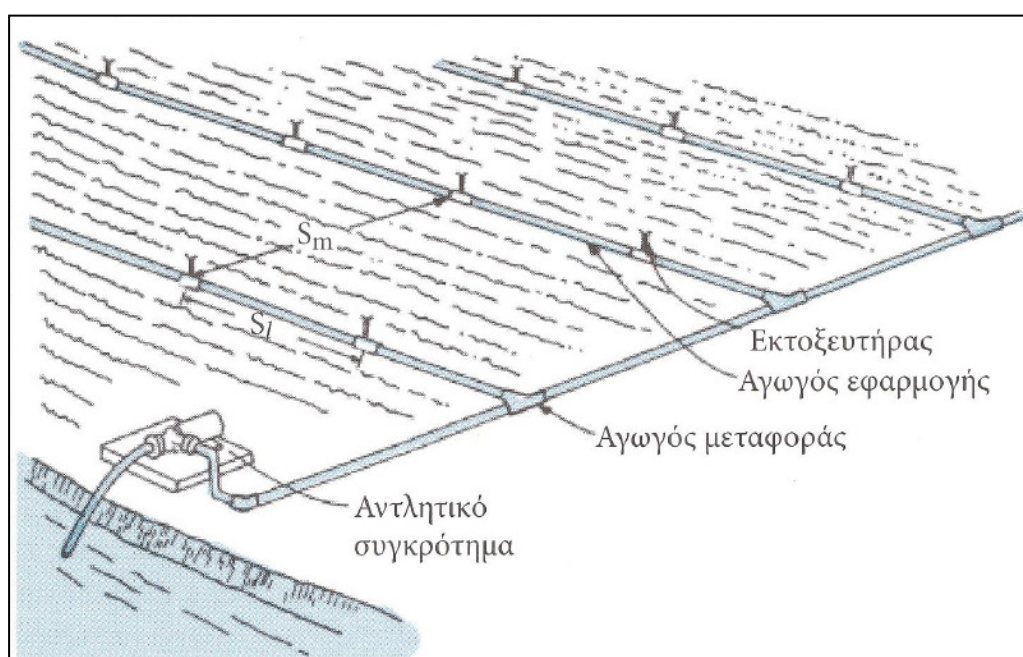
Ένα ολοκληρωμένο σύστημα καταιονισμού αποτελείται από τρία βασικά σημεία, τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- a. Το αντλητικό συγκρότημα, που περιέχει έναν κινητήρα και την αντλία που εξασφαλίζει την παροχή και την πίεση για την σωστή λειτουργία του αρδευτικού δικτύου.
- b. Το δίκτυο μεταφοράς, δηλαδή οι αγωγοί μεταφοράς του νερού, οι οποίοι κατασκευάζονται από χάλυβα, αλουμίνιο, πλαστικό PVC ή πλαστικό PE , μεταφέροντας το νερό με την απαιτούμενη πίεση σε όλες τις υδροληψίες των αγωγών εφαρμογής.
- c. Το δίκτυο εφαρμογής, το οποίο έχει σκοπό την ομοιόμορφη κατανομή του νερού με την βοήθεια των εκτοξευτήρων και αποτελείται από σωλήνες που ήταν κατασκευασμένοι, ως επί το πλείστον από αλουμίνιο τα παλαιότερα χρόνια, ενώ τώρα το μεγαλύτερο ποσοστό είναι από πλαστικούς σωλήνες πολυαιθυλενίου και σε μικρότερο ποσοστό από πλαστικό (PVC). Συνήθως από PVC σωλήνες έχουμε του πρωτεύοντες και δευτερεύοντες αγωγούς, αγωγοί οι οποίοι θάβονται γιατί το PVC είναι υλικό που πολυμερίζεται εύκολα και γρήγορα από τον ήλιο. Σημειώνεται ότι το PVC σαν υλικό είναι φθηνότερο του PE και του αλουμινίου.

Μέσα από τα ακροφύσια των εκτοξευτήρων ρυθμίζεται η παροχή, η κατανομή, το μέγεθος των σταγόνων και η ακτίνα εκτόξευσης, με την οποία στέλνουν το νερό στον αέρα. Υπάρχουν διάφορα είδη εκτοξευτήρων, όπως είναι οι εκτοξευτήρες μικρής και μεγάλης πίεσης. Στην πρώτη περίπτωση, οι εκτοξευτήρες λειτουργούν με πιέσεις 0,8 – 2 atm και οι παροχές που έχουν είναι από 35 έως 400 L/h. Οι εκτοξευτήρες μικρής πίεσης παρέχουν ομοιόμορφη κατανομή του νερού στο 70% της ακτίνας εκτόξευσης η οποία διακρίνεται από 1,5 έως 5m. Στην δεύτερη περίπτωση, οι εκτοξευτήρες υψηλής πίεσης είναι περιστροφικού τύπου με ένα ή δύο ακροφύσια και λειτουργούν με πιέσεις από 3 έως 7 atm. Η παροχή τους κυμαίνεται από 20 έως 150 m<sup>3</sup>/h, και μπορούν να δώσουν ομοιόμορφη κατανομή του νερού στο 70 – 80% της ακτίνας εκτόξευσης, η οποία κυμαίνεται από 30 έως 80m. Τέλος, υπάρχει και ο εκτοξευτήρας μέσης πίεσης, περιστροφικού τύπου βραδείας περιστροφής, ο οποίος διαθέτει ένα ή δύο ακροφύσια και λειτουργεί με πιέσεις από 1,5 έως 3 atm. Η παροχή των εκτοξευτήρων μέσης πίεσης

κυμαίνεται από 0,5 έως 5 m<sup>3</sup>/h. Κατά κανόνα, η κατανομή του νερού που εξασφαλίζουν είναι τριγωνική, με το μεγαλύτερο ύψος στην θέση του εκτοξευτήρα. Αυτός ο τύπος εκτοξευτήρα είναι που χρησιμοποιείται κυρίως στα δίκτυα καταιονισμού και έχει σαν στόχο την ομοιόμορφη άρδευση όλης της επιφάνειας των χωραφιών. Οι εκτοξευτήρες τοποθετούνται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, και το ύψος τους μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος της καλλιέργειας, μέσα από την εγκατάσταση σωλήνων ανύψωσης, το ύψος των οποίων διαφοροποιείται ανάλογα με την περίπτωση (0,2 – 2,5m).

Ένα τυπικό σύστημα καταιονισμού παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.



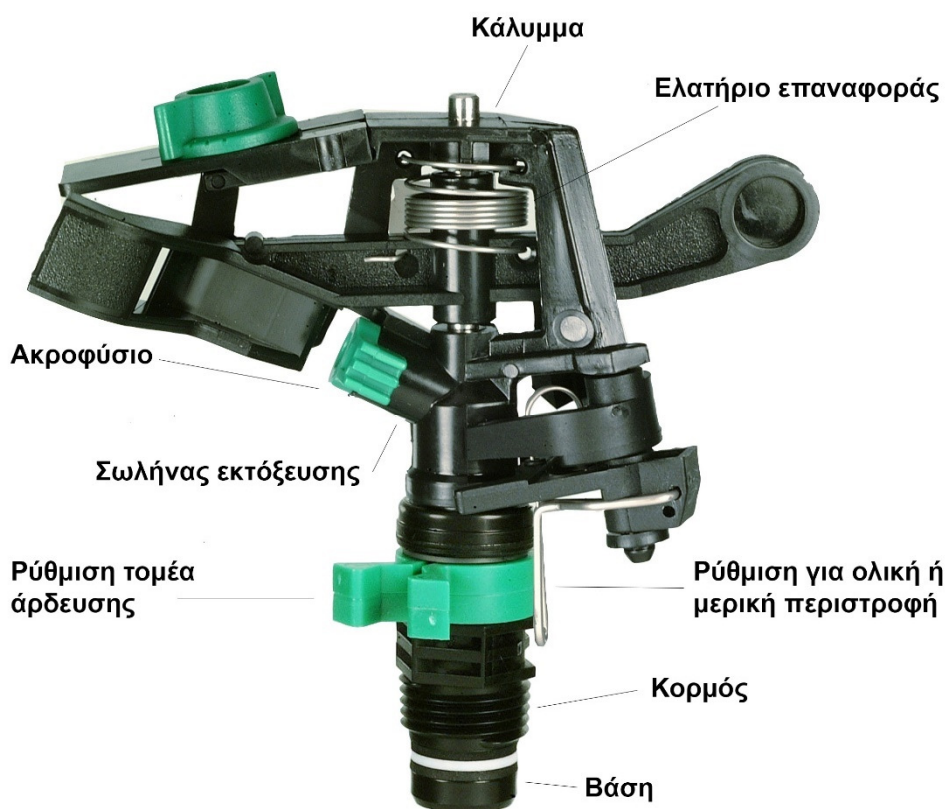
**Εικόνα 9. Τυπικό σύστημα καταιονισμού**

Τα συστήματα καταιονισμού διακρίνονται σε μόνιμα, ημιμόνιμα και μεταφερόμενα ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης και λειτουργίας τους. Τα μόνιμα συστήματα, χαρακτηρίζονται από τη δαπανηρή εγκατάστασή τους και χρησιμοποιούνται σε άρδευση καλλιεργειών μεγάλης αξίας και χλοοταπής. Επιπλέον χαρακτηριστικό των μόνιμων συστημάτων είναι ότι οι αγωγοί εφαρμογής και μεταφοράς είναι κατά κανόνα μόνιμοι και υπόγειοι και οι εκτοξευτήρες σε σταθερή θέση. Τα ημιμόνιμα συστήματα χρησιμοποιούνται για άρδευση οπωρώνων, οι αγωγοί εφαρμογής είναι μεταφερόμενοι και οι μεταφοράς μόνιμοι και υπόγειοι. Τέλος, τα μεταφερόμενα συστήματα χρησιμοποιούνται για άρδευση πολλών ετήσιων

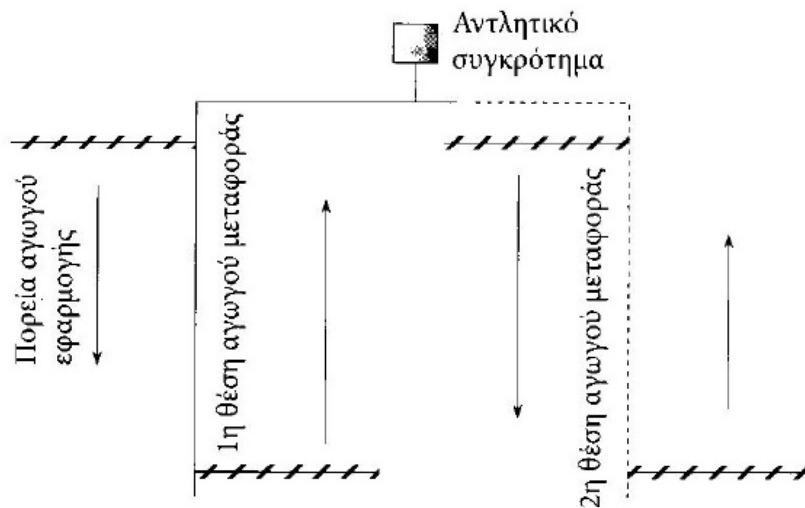


καλλιεργειών και χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι, όλα τα τμήματα τους μπορούν να μεταφερθούν είτε σε διάφορα σημεία στο ίδιο χωράφι, ή ακόμα και από χωράφι σε χωράφι.

Στις δύο εικόνες που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα εξαρτήματα ενός εκτοξευτήρα, καθώς και ένα μεταφερόμενο σύστημα καταιονισμού.



**Εικόνα 10. Εξαρτήματα εκτοξευτήρα**



**Εικόνα 11. Μεταφερόμενο σύστημα καταιονισμού**

Στα ημιμόνιμα συστήματα και στα μεταφερόμενα συστήματα καταιονισμού, η σύνδεση των σωλήνων στο δίκτυο μεταφοράς πραγματοποιείται με την εφαρμογή ταχυσυνδέσμων. Οι ταχυσυνδέσμοι προσφέρουν γρήγορη σύνδεση των αγωγών. Για να μπορεί όμως να συμβεί κάτι τέτοιο, θα πρέπει να είναι ελαστικοί, έτσι ώστε να επιτρέπεται η προσαρμογή τους σε τυχόν δυσμορφίες του χωραφιού, αλλά και να εξασφαλίζουν επαρκή στεγανότητα.



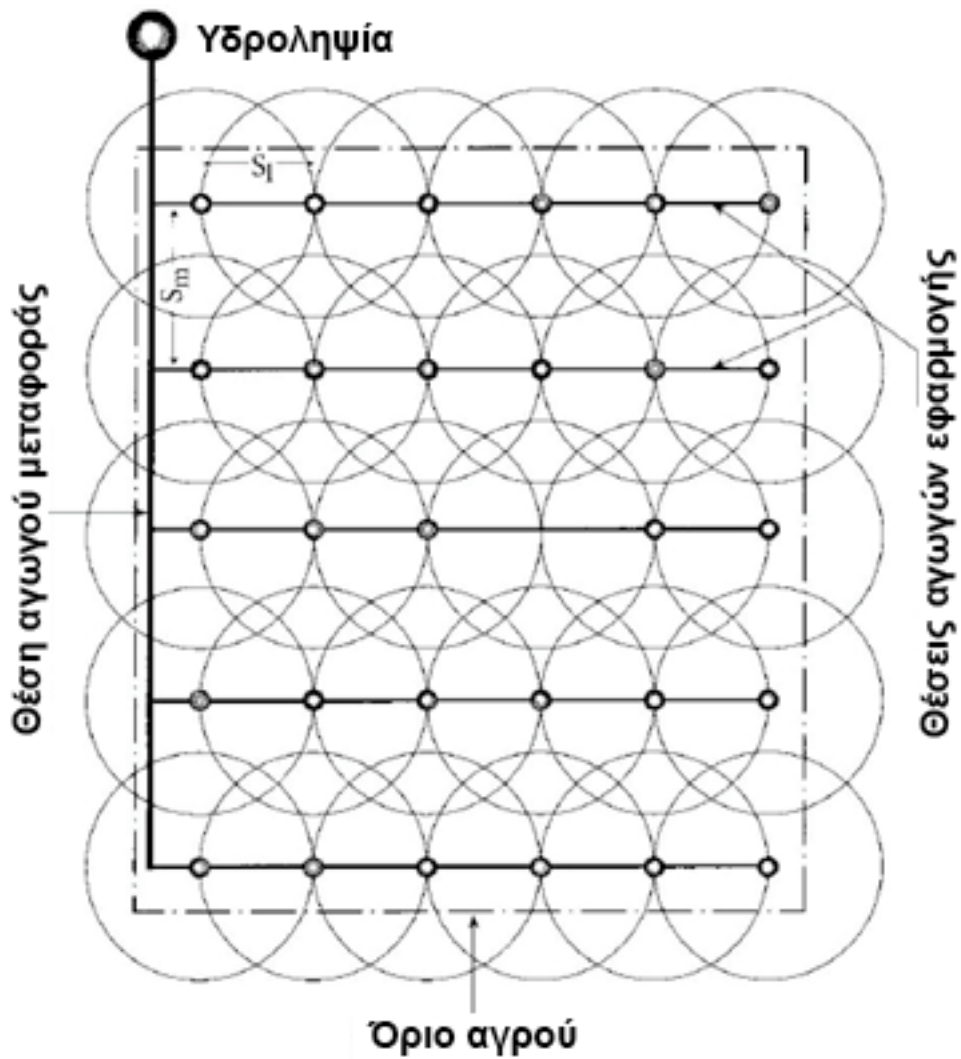
**Εικόνα 12. Σωλήνες ταχείας συνδέσεως**

### **3.2 Δίκτυο εφαρμογής**

Το δίκτυο εφαρμογής αποτελείται από τους αγωγούς και τους εκτοξευτήρες και μας εξασφαλίζει ομοιομορφία κατανομής του νερού σε όλο τον αγρό. Το μήκος των

αγωγών είναι ίσο με το μήκος του χωραφιού, ενώ πάνω στους αγωγούς τοποθετούνται οι εκτοξευτήρες. Ο αριθμός των εκτοξευτήρων που χρειάζονται σε ένα δίκτυο εφαρμογής καθορίζεται από την παροχή τους και την ακτίνα εκτόξευσης του νερού. Τα στοιχεία, δεν λαμβάνονται υπόψη κατ' εκτίμηση από τον χρήστη, αλλά δίνονται από τους κατασκευαστές των εκτοξευτήρων. Η ομοιομορφία κατανομής του νερού είναι συνάρτηση του αριθμού των εκτοξευτήρων και της διάταξης τους. Με άλλα λόγια, η ομοιόμορφη κατανομή του νερού σε έναν αγρό, συσχετίζεται με την απόσταση των εκτοξευτήρων πάνω στους αγωγούς εφαρμογής ( $S_i$ ), καθώς και από την απόσταση μεταξύ των αγωγών ( $S_m$ ). Η ομοιομορφία της κατανομής του νερού επηρεάζεται επίσης σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του ανέμου. Υψηλές ταχύτητες ανέμου, προκαλούν μεγάλες παραμορφώσεις – ανομοιόμορφη κατανομή του νερού, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη διακοπή της άρδευσης, ειδικότερα όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει τα 16km/h. Όσον αφορά τη διάταξη των εκτοξευτήρων σε ένα δίκτυο εφαρμογής, αυτή μπορεί να είναι, είτε σε ορθογώνιο σχήμα, είτε σε τετράγωνο σχήμα, ή ακόμη και σε τριγωνική διάταξη.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα δίκτυο εφαρμογής για καταιονισμό, με ορθογώνια διάταξη των εκτοξευτήρων.



Εικόνα 13. Ορθογώνια διάταξη δικτύου άρδευσης με καταιονισμό

Στην επιφάνεια του χωραφιού δεν πρέπει να λιμνάζει νερό, για το λόγο αυτό θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο ύψος του νερού που εφαρμόζεται στο χωράφι ανά ώρα, δηλαδή στον ρυθμό εφαρμογής του νερού ή ένταση βροχής ( $Pr$ ). Ο ρυθμός αυτός είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών του εδάφους έτσι όπως αυτά αντιπροσωπεύονται από την διηθητικότητα του. Σκοπός θα πρέπει να είναι ο μηδενισμός της επιφανειακής απορροής και η εξασφάλιση συνθηκών ακόρεστης ροής του νερού στο έδαφος. Ο ρυθμός εφαρμογής θα πρέπει να είναι πάντα το πολύ ίσος με τη διηθητικότητα του εδάφους που αντιστοιχεί σε χρόνο ίσο με την διάρκεια άρδευσης. Η επιλογή του καταλληλότερου εκτοξευτήρα γίνεται πάντοτε με βάση το ρυθμό εφαρμογής.

Η εκτίμηση της ποιότητας των αρδεύσεων έχει αποτελέσει αντικείμενο αρκετών μελετών (π.χ. Christiansen 1942, Wilcox & McDougald 1955, Benami & Hore 1964, Culver & Sinker 1966), η οποία μπορεί να επιτευχθεί μέσα από την αξιολόγηση της κατανομής των υψών του αρδευτικού νερού σε μια αντιπροσωπευτική έκταση. Ως αντιπροσωπευτική έκταση σε δίκτυο άρδευσης με καταιονισμό, θεωρείται αυτή που περιλαμβάνει 4 εκτοξευτήρες.

Η ομοιομορφία εφαρμογής στην διαδικασία σχεδιασμού άρδευσης με εκτοξευτήρες, είναι μια βασική υπόθεση θα λέγαμε πρωταρχική. (Keller-Bliesner 1990)

Για τον υπολογισμό των δικτύων άρδευσης έχουν προταθεί αρκετοί όροι ομοιομορφίας, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται σύγκριση ως προς τη διάταξη αλλά και μέτρηση της αποδοτικότητας των εκάστοτε συστημάτων.

Ένας χρήσιμος όρος για την έκφραση αριθμητικά της ομοιομορφίας στην αγροτική άρδευση είναι ο όρος ομοιομορφία διαβροχής DU (Distribution Uniformity) (Keller and Merriam, 1978)

Ο DU μας υποδεικνύει την ομοιομορφία της άρδευσης καθ' όλη την διάρκεια και έκταση της.

Δίδεται από την σχέση:

$$DU = \frac{\text{Μέσος όρος } \frac{1}{4} \text{ χαμηλότερων μετρήσεων}}{\text{Μέσος όρος όλων των μετρήσεων}} * 100$$

Ο μέσος όρος των  $\frac{1}{4}$  χαμηλότερων μετρήσεων που βρέθηκαν στα δοχεία παρατήρησης όπου και κάθε τιμή αντιπροσωπεύει και μια επιφάνεια είναι ο αριθμητής της παραπάνω φόρμουλας.

Ένας από τους πιο γνωστούς όρους που παρουσιάζεται στην παρούσα πτυχιακή εργασία είναι ο συντελεστής ομοιομορφίας Christiansen (Cu). Για τον υπολογισμό του συγκεκριμένου συντελεστή θα πρέπει σε πρώτη φάση να γίνει χάραξη παράλληλων και κάθετων γραμμών στην επιφάνεια προς μελέτη, ώστε να σχηματιστούν τετράγωνα. Στην κορυφή των τετραγώνων θα πρέπει να τοποθετηθεί ένα βροχόμετρο ή ένα δοχείο που συλλέγει το νερό που πέφτει σε αυτά τα σημεία για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Έστω ότι το ύψος του νερού που συλλέγεται σε κάθε δοχείο, συμβολίζεται με  $X_i$ . Ο μέσος όρος των  $X_i$  θα συμβολίζεται με  $\bar{X}$ . Εάν ο αριθμός των βροχόμετρων ισούται με  $n$ , τότε ο συντελεστής Christiansen  $C_u$  δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$C_u = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right] \quad (3.1)$$

Αποδεκτή θεωρείται η διάταξη στην οποία ο συντελεστής ομοιομορφίας  $C_u$  υπολογίστηκε τουλάχιστον 85%, οπότε και εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ομοιομορφία της κατανομής είναι καλή και η διάταξη του δικτύου άρδευσης, αποδοτική. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για τον υπολογισμό του συντελεστή  $C_u$ , η διάταξη επιλέγεται με βάση τα στοιχεία που δίνουν οι κατασκευαστές. Στα εν λόγω στοιχεία περιλαμβάνονται χαρακτηριστικά όπως η λειτουργική πίεση των εκτοξευτήρων, η παροχή, η ακτίνα εκτόξευσης του νερού και το μέσο ύψος νερού που εφαρμόζεται ανά ώρα.

Με βάση τα παραπάνω, η επιλογή της διάταξης όταν απουσιάζουν τα στοιχεία για τον συντελεστή ομοιομορφίας, γίνεται με τα ακόλουθα εμπειρικά κριτήρια:

- a) Για ορθογώνια διάταξη, ισχύει  $S_i \leq R$  και  $S_m \leq 1,5R$  και
- b) Για τετράγωνη διάταξη, ισχύει  $S_i = S_m \leq R\sqrt{2}$

όπου:

- $R$  = η ακτίνα εκτόξευσης για κανονική πίεση λειτουργίας και λαμβάνεται από τους πίνακες των κατασκευαστών
- $S_i$  = η απόσταση μεταξύ των εκτοξευτήρων επί του αγωγού εφαρμογής σε  $m$  και
- $S_m$  = η απόσταση μεταξύ των αγωγών εφαρμογής.

Η αποδοτικότητα της εφαρμογής του νερού ( $E_a$ ) τόσο στις επιφανειακές μεθόδους όσο και στην μέθοδο του καταιονισμού, δεν μπορεί να φτάσει το 100%. Η διάταξη, ο τύπος του εκτοξευτήρα, ο ρυθμός εφαρμογής και η ταχύτητα του ανέμου, αποτελούν παράγοντες που καθορίζουν πόσο μεγάλη θα είναι η αποδοτικότητα της εφαρμογής του νερού, η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ομοιομορφία κατανομής του νερού πάνω στο έδαφος.

Για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας της εφαρμογής του νερού ( $E_a$ ) συλλέγονται στοιχεία ανάλογα με αυτά που συγκεντρώνονται για τον υπολογισμό του

συντελεστή ομοιομορφίας. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι, η άρδευση θα πρέπει να διαρκεί μέχρις ότου το ύψος του νερού να φτάσει ή να ξεπεράσει το καθαρό ύψος νερού της άρδευσης, στο 90% των θέσεων παρατήρησης.

Η παροχή των εκτοξευτήρων, σε μία ορθογώνια διάταξη, υπολογίζεται σε συνάρτηση με τις μεταξύ τους αποστάσεις και τον ρυθμό εφαρμογής του νερού που υπολογίστηκε με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Οι σχέσεις για τον υπολογισμό της παροχής των εκτοξευτήρων είναι οι εξής:

$$q = \frac{S_i S_m J}{3600} \text{ l/s} \quad \text{ή} \quad q = \frac{S_i S_m J}{1000} \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.2)$$

όπου:

- $S_i$  και  $S_m$  οι αποστάσεις μεταξύ εκτοξευτήρων και αγωγών αντίστοιχα, σε m και
- $J$  = ο ρυθμός εφαρμογής σε mm/h.

Η παροχή στην αρχή ενός αγωγού εφαρμογής ( $Q_i$ ) είναι ίση με το γινόμενο του αριθμού των εκτοξευτήρων ( $N$ ) που φέρει επί την παροχή τους ( $q$ ). Δηλαδή,

$$Q_i = Nq \quad (3.3)$$

όπου:

- $Q_i$  και  $q$  μετρούνται σε  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Η παροχή  $Q_i$  μειώνεται προοδευτικά μετά από κάθε εκτοξευτήρα μέχρι το τέλος του αγωγού, όπου η παροχή γίνεται ίση με  $q$ . Για να είναι ομοιόμορφη η κατανομή του νερού σε όλο το μήκος του αγωγού, η πίεση και η παροχή στην θέση του εκτοξευτήρα θα πρέπει να είναι σταθερή. Κάτι τέτοιο όμως δεν μπορεί να συμβεί στην πραγματικότητα, λόγω των απωλειών φορτίου που οφείλονται στην τριβή του νερού όταν αυτό κινείται μέσα στους αγωγούς. Για το λόγο αυτό υπάρχει μια διακύμανση στην παροχή και στο φορτίο μεταξύ των εκτοξευτήρων. Ως αποδεκτή διακύμανση θεωρείται αυτή που δεν υπερβαίνει το 10% της παροχής των εκτοξευτήρων. Στην πράξη, αυτό επιτυγχάνεται όταν η διακύμανση του φορτίου στον αγωγό δεν υπερβαίνει το 20% περίπου της λειτουργικής πίεσης των εκτοξευτήρων.

Στην περίπτωση των κλειστών αγωγών υπάρχουν γραμμικές και τοπικές απώλειες. Η πιο γνωστή σχέση που χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι γραμμικές απώλειες, για σωλήνες κατασκευασμένους από διάφορα υλικά είναι η σχέση των Hazen – Williams, η οποία είναι αναγράφεται στη συνέχεια:

$$H_f = 1,13 * 10^{11} \left( \frac{Q_i}{C} \right)^{1,852} D^{-4,87} \quad (3.4)$$

όπου:

- $H_f$  = οι γραμμικές απώλειες και εκφράζεται σε m/100m αγωγού
- $Q_i$  = η παροχή του νερού σε  $m^3/h$
- $D$  = η εσωτερική διάμετρος του αγωγού σε mm
- $C$  = σταθερά της οποίας η τιμή εξαρτάται από το υλικό που έχει κατασκευαστεί ο αγωγός.

Τυπικές τιμές του  $C$  παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 4.

**Πίνακας 4. Τυπικές τιμές  $C$  ανά υλικό κατασκευής του αγωγού**

Υλικό αγωγού	$C$
Πλαστικοί σωλήνες με $D > 76.2\text{mm}$ (3in)	150
Πλαστικοί σωλήνες με $D \leq 76.2\text{mm}$ (3in)	140
Σωλήνες αλουμινίου μήκους 9m με ταχυσυνδέσμους	130
Χαλυβδοσωλήνες καινούργιοι	130
Χαλυβδοσωλήνες ηλικίας 15 ετών	100
Αμιαντοσωλήνες	140

Στην περίπτωση που οι αγωγοί είναι από αλουμίνιο, το μήκος τους είναι τυποποιημένο από τους κατασκευαστές και είναι ίσο με 6m (στην ελληνική αγορά) και συνδέονται μεταξύ τους με ταχυσυνδέσμους. Στους συγκεκριμένους σωλήνες για να υπολογιστούν οι γραμμικές απώλειες θα πρέπει η σχέση των Hazen-Williams να πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1,07. Στο εμπόριο όλοι οι σωλήνες αναφέρονται με την εξωτερική διάμετρο και προκειμένου να εκτιμηθεί η εσωτερική διάμετρος, θα πρέπει να γίνει γνωστό το πάχος των τοιχωμάτων, το οποίο επίσης δίνεται από τους κατασκευαστές. Η συσχέτιση της διαμέτρου του σωλήνα με το πάχος των τοιχωμάτων, αποτυπώνεται στον επόμενο πίνακα 5.

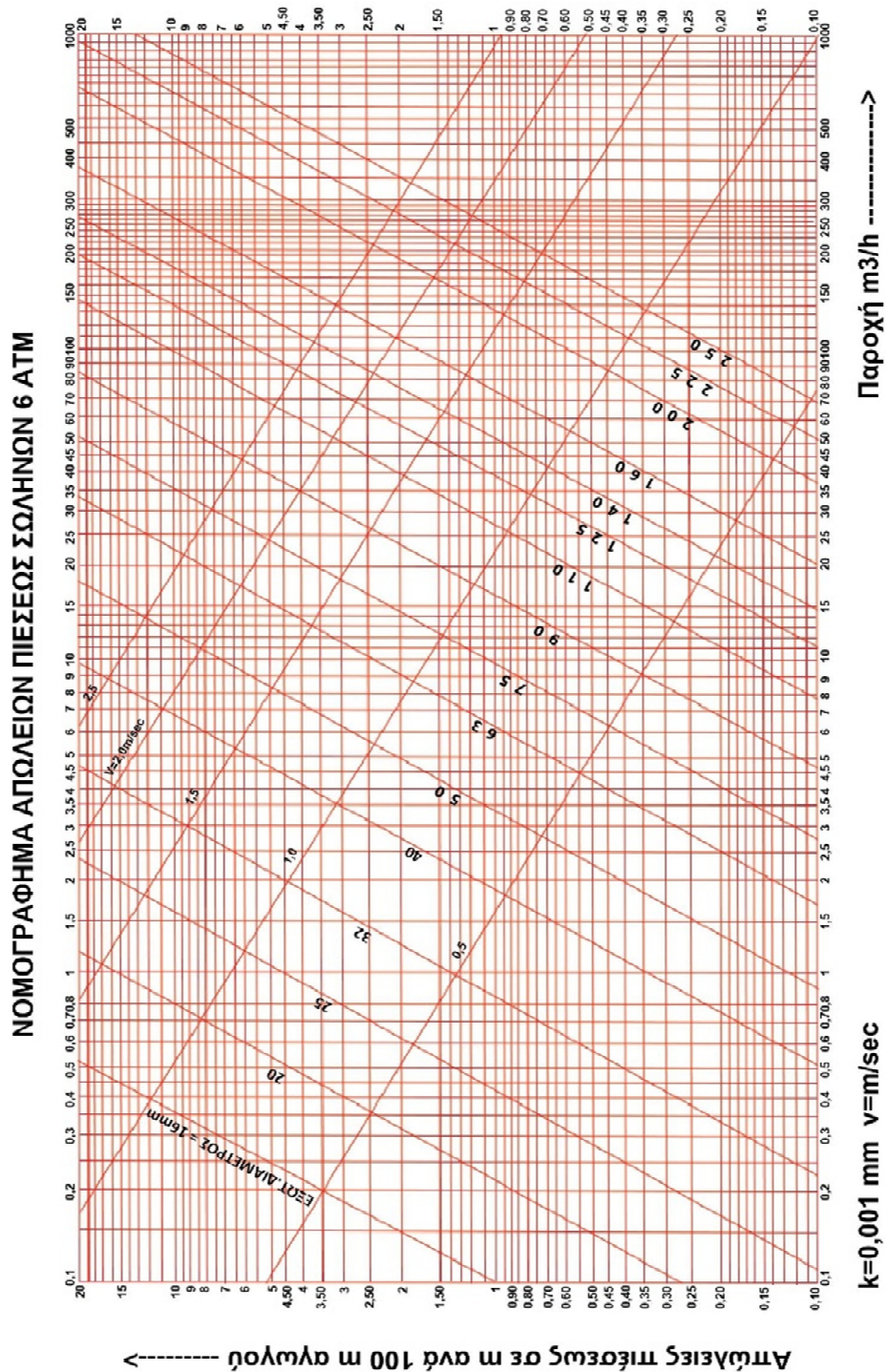
**Πίνακας 5. Διάμετρος σωλήνα και πάχος τοιχωμάτων**

Διάμετρος Σωλήνα σε mm	Πάχος τοιχωμάτων σε mm
$\leq 127$ (5in)	1,27
152,4 (6in)	1,45
203,2 (8in)	1,85
254 (10in)	2,50
304,2 (12in)	2,50

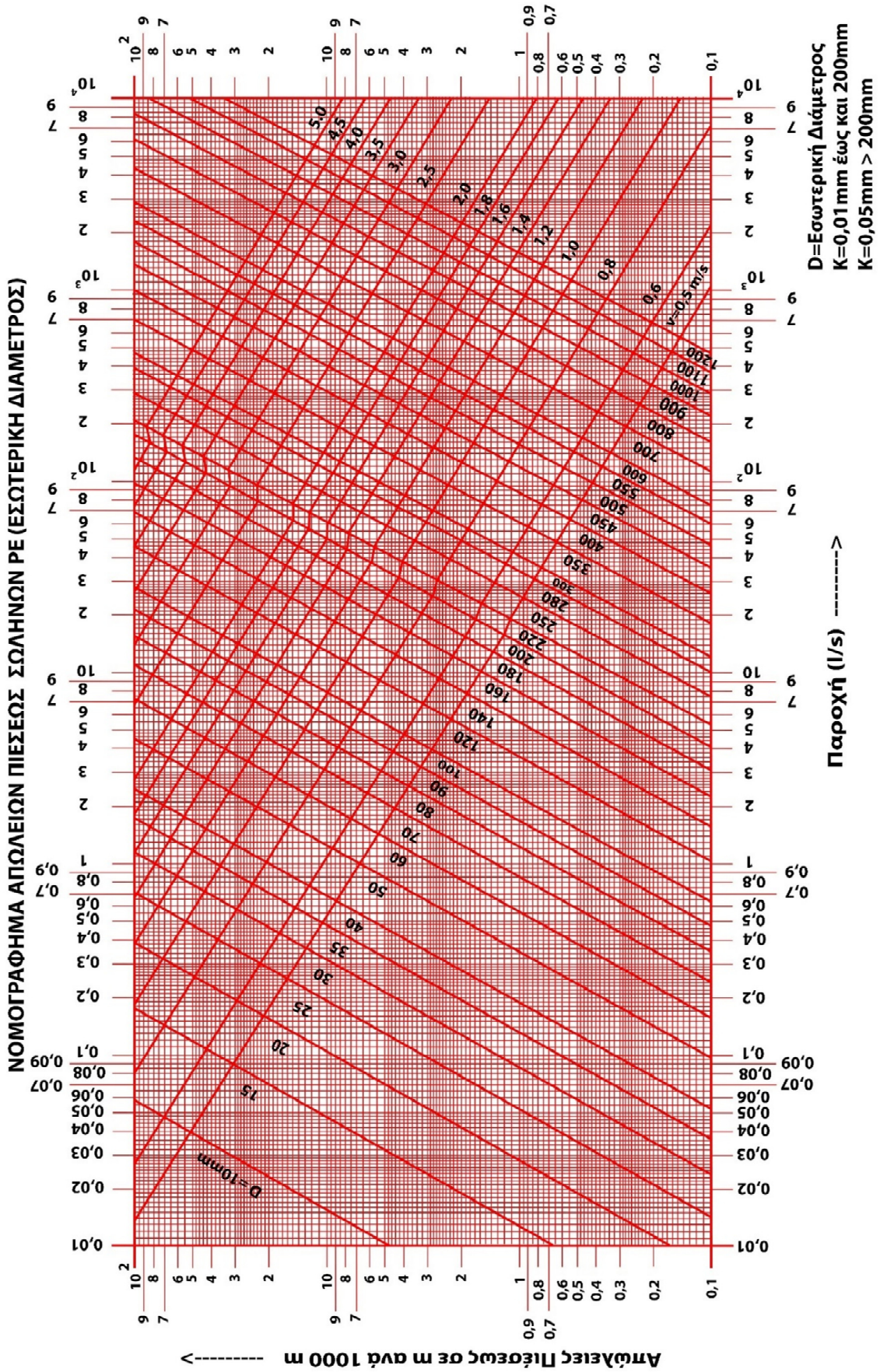


Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι, οι παραπάνω σχέσεις εφαρμόζονται μόνο για τον έλεγχο της ακρίβειας των στοιχείων, μιας και οι κατασκευαστές υποχρεούνται να αποδίδουν τις απώλειες των αγωγών. Οι γραμμικές απώλειες, για αγωγούς από αλουμίνιο με πάχος τοιχωμάτων 1,27mm, μήκος 9m και ύπαρξη ταχυσυνδέσμων, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Σχήμα 3. Νομογράφημα απωλειών πίεσης αγωγών πολυαιθυλενίου



Σχήμα 4. Νομογράφημα απωλειών πίεσης σωλήνων πολυαιθυλενίου 6 atm



Πίνακας 6. Γραμμικές απώλειες (Hf) σε αγωγό αλουμινίου 9 m. Πάχους 1,27 mm.

Παροχή Αγωγού		Εξωτερική διάμετρος αγωγού			
l/s	m <sup>3</sup>	D= 50,8mm 2 in	D=76,2mm 3in	D=101,6mm 4in	D=127mm 5in
0,63	2,27	0,4	0,05		
1,26	4,54	1,44	0,18		
1,89	6,81	3,05	0,39		
2,52	9,08	5,2	0,66	0,15	
3,15	11,35	7,85	1	0,23	
3,78	13,63	11,01	1,4	0,33	
4,42	15,9	14,65	1,87	0,44	
5,05	18,17	18,76	2,39	0,57	0,19
5,68	20,44	23,33	2,98	0,7	0,23
6,31	22,71	28,36	3,62	0,85	0,28
7,57	27,25		5,07	1,2	0,39
8,83	31,79		6,74	1,59	0,52
10,09	36,34		8,64	2,04	0,67
11,35	40,88		10,74	2,54	0,83
12,62	45,42		13,06	3,08	1,01
13,88	46,96		15,58	3,68	1,21
15,14	54,5		18,3	4,32	1,42
16,4	59,05		21,22	5,01	1,65
17,66	63,59		24,35	5,75	1,89
18,92	68,13			6,54	2,15
20,19	72,67			7,37	2,42
21,45	77,21			8,24	2,71
22,71	81,76			9,16	3,01
23,97	86,3			10,13	3,33
25,23	90,84			11,14	3,66
26,49	95,38			12,19	4,01
27,76	99,92			13,28	4,37
29,02	104,47			14,42	4,75
30,28	109,01			15,61	5,14
31,54	113,55			18,83	5,54

Για τον υπολογισμό των τοπικών απωλειών, χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (3.5)$$

όπου:

- $K_L$  = ο συντελεστής τοπικών απωλειών
- $V$  = η μέση ταχύτητα ροής στο πιο μικρό τμήμα διατομής του αγωγού που γειτνιάζει με το σημείο που παρατηρούνται οι τοπικές απώλειες.

Σε συνήθεις συνθήκες, οι τοπικές απώλειες αναλογούν σε ποσοστό 10% των γραμμικών απωλειών. Στην προκειμένη περίπτωση, ο τύπος για τις συνολικές απώλειες είναι :

$$H_{ol}=1.10*H_f \quad (3.6)$$

Επειδή όμως στα δίκτυα εφαρμογής η παροχή μειώνεται μετά από κάθε εκτοξευτήρα, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνονται και οι απώλειες κατά μήκος του αγωγού. Η μείωση των απωλειών υπολογίζεται, με την βοήθεια ενός συντελεστή  $F$ , και δίνεται από την σχέση:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \quad (3.7)$$

Αν ο πρώτος εκτοξευτήρας απέχει από την αρχή του αγωγού απόσταση ίση με  $S/2$ , τότε, ο συντελεστής  $F$  υπολογίζεται ως εξής:

$$F = \left( \frac{2N}{2N-1} \right) \left( \frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right) \quad (3.8)$$

όπου:

- $m = 1,852$  είναι ο εκθέτης του όρου  $(Q/C)$  στη σχέση των Hazen-Williams
- $N$  = ο αριθμός των εκτοξευτήρων του αγωγού εφαρμογής.

Στον επόμενο πίνακα δίνονται οι τιμές του συντελεστή περιορισμού  $F$  για  $m=1,852$  και ανάλογα με τον αριθμό των εκτοξευτήρων.

**Πίνακας 7. Συντελεστής F για τον υπολογισμό των ολικών γραμμικών απωλειών αγωγών με πολλαπλούς εκτοξευτήρες**

Αριθμός εκτοξευτήρων	F(+)	F(-)	Αριθμός εκτοξευτήρων	F(+)	F(-)
N			N		
-1	-2	-3	-1	-2	-3
1	1	1	12	0,393	0,367
2	0,639	0,519	14	0,387	0,364
3	0,534	0,441	16	0,382	0,363
4	0,485	0,412	18	0,379	0,361
5	0,457	0,396	20	0,376	0,36
6	0,438	0,387	25	0,371	0,358
7	0,425	0,381	30	0,367	0,357
8	0,416	0,377	35	0,365	0,356
9	0,408	0,373	40	0,363	0,355
10	0,402	0,371	>40	0,36	0,355

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, οι ολικές απώλειες  $P_f$  σε έναν αγωγό εφαρμογής με ορισμένο μήκος αγωγού  $L$  και εκτοξευτήρες  $N$ , προκύπτουν μέσα από τη σχέση:

$$P_f = L \cdot H_{ol} \cdot F / 100 \quad (3.9)$$

όπου:

- $P_f$  και  $L$  σε m
- $H_{ol}$  σε m/100

Στην περίπτωση που ένας αγωγός δεν έχει κλίση, οι μέγιστες απώλειες που θεωρούνται επιθυμητές ανέρχονται σε 20% ως προς τη συνολική λειτουργική πίεση του εκτοξευτή. Οι εν λόγω απώλειες υπολογίζονται από την ακόλουθη σχέση:

$$H_{max} = 100 \frac{0,2Pa \pm \Delta Z}{LF} \quad (3.10)$$

όπου:

- $H_{max}$  μετριέται m/100m αγωγού
- $Pa$  και  $L$  σε m
- $\Delta Z$  = η υψομετρική διαφορά μεταξύ των άκρων του αγωγού εφαρμογής σε m.

Για να υπολογίσουμε την διάμετρο του αγωγού εφαρμογής χρησιμοποιούμε είτε τον πίνακα γραμμικών απωλειών, με  $H_{ol} \leq H_{max}$ , είτε με τη βοήθεια της παραπάνω

σχέσης, ή της σχέσης  $H_{ol}=1.10 \cdot H_f$ . Υπολογίζουμε τις μέγιστες επιτρεπόμενες απώλειες  $H_{max}$  από την σχέση με λειτουργική πίεση  $P_a$  των εκτοξευτήρων. Έπειτα, εφόσον  $H_{ol}=H_{max}$ , προκύπτει το  $H_f$ .

Από την σχέση:

$$H_f = 1,13 * 10^{11} \left( \frac{Q_i}{C} \right)^{1,852} D^{-4,87}$$

εφόσον γνωρίζουμε το  $H_f$ , λύνουμε ως προς  $D$ , οπότε προκύπτει η εσωτερική διάμετρος του αγωγού εφαρμογής και τελικά επιλέγεται η πλησιέστερη μεγαλύτερη διάμετρος που υπάρχει στο εμπόριο. Γνωρίζοντας το  $H_f$ , το μήκος του αγωγού  $L$  και το  $F$ , μπορούν να υπολογιστούν και οι ολικές απώλειες του αγωγού,  $P_f$ .

Όσον αφορά το φορτίο που χρειάζεται στην αρχή του αγωγού εφαρμογής ( $P_m$ ), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_m = P_a + 0,75P_f + P_r \pm 0,5\Delta Z \quad (3.11)$$

όπου:

- $P_m$  σε m
- $P_a$  είναι η λειτουργική πίεση των εκτοξευτήρων σε m
- $P_f$  σε m
- $P_r$  είναι το ύψος του σωλήνα ανύψωσης σε m και
- $\Delta Z$  είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ των άκρων του αγωγού εφαρμογής σε m.

Το  $\Delta Z$  θα έχει αρνητικό πρόσημο σε περιπτώσεις που το έδαφος είναι κεκλιμένο και ο αγωγός εφαρμογής έχει αντίθετη διεύθυνση προς την κλίση του εδάφους. Σε αντίθετη περίπτωση (θετική κλίση), το  $\Delta Z$  θα έχει θετικό πρόσημο, ενώ σε περίπτωση που ο αγωγός έχει μηδενική κλίση τότε η υψομετρική διαφορά μεταξύ των άκρων του αγωγού εφαρμογής θα ισούται με μηδέν. Στα μεταφερόμενα και ημιμόνιμα συστήματα, οι αγωγοί εφαρμογής έχουν ενιαία διάμετρο, γεγονός το οποίο ισχύει σε όλη την παραπάνω διαδικασία.

## Κεφάλαιο 4: Εκτοξευτήρες

Οι εκτοξευτήρες αποτελούν μηχανισμούς των συστημάτων άρδευσης οι οποίοι εκτοξεύουν νερό σε μία έκταση, καλλιέργεια ή σε ένα χωράφι. Η εκτόξευση του νερού πραγματοποιείται με τη μορφή σταγονιδίων. Τα είδη των εκτοξευτήρων, τα οποία αναλύονται και στο παρόν κεφάλαιο είναι δύο και είναι οι στατικοί και οι δυναμικοί εκτοξευτήρες.

### 4.1 Στατικοί εκτοξευτήρες

#### 4.1.1 Υπόγειοι στατικοί αυτοανυψούμενοι εκτοξευτήρες (Pop-up)

Ο συγκεκριμένος τύπος εφαρμόζεται κυρίως σε μικρούς κήπους και μερικές φορές σε παρτέρια με θάμνους. Οι υπόγειοι στατικοί αυτοανυψούμενοι εκτοξευτήρες αποτελούνται από τα εξής μέρη:



Εικόνα 14. Υπόγειος στατικός αυτοανυψούμενος εκτοξευτήρας

Η τοποθέτησή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε το επάνω μέρος να είναι στο ίδιο επίπεδο με την επιφάνεια του εδάφους. Οι εν λόγω εκτοξευτήρες λειτουργούν με χαμηλή πίεση και εκτοξεύουν το νερό σε μικρές αποστάσεις, συνήθως έως 5m, σε κύκλους, σε ορθογώνια μικρά σχήματα ή και σε λωρίδες. Όταν το δίκτυο είναι σε λειτουργία, ο εκτοξευτήρας ανυψώνεται εξαιτίας της πίεσης του νερού. Το τμήμα που ανυψώνεται είναι το έμβολο, ενώ για να μπορέσει να ανυψωθεί ασκείται δύναμη από το ελατήριο. Στην άκρη του εμβόλου είναι το ακροφύσιο, το οποίο εκτοξεύει το νερό. Με τη διακοπή της λειτουργίας του δικτύου η πίεση του νερού χάνεται, οπότε το έμβολο επανέρχεται στην αρχική του θέση μέσω του ελατηρίου επαναφοράς.

Η διάμετρος του ακροφυσίου μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τους διαφορετικούς εκτοξευτήρες, ωστόσο το άνοιγμά του είναι κοινό και έχει κυκλική διατομή και εκφράζεται σε χιλιοστά. Οι εκτοξευτήρες υπάρχουν σε διάφορα μεγέθη, ενώ δύναται να αποκτηθούν χωρίς το ακροφύσιο. Ορισμένα από τα πιο συνηθισμένα μεγέθη εκτοξευτήρων είναι τα εξής:

- 2' (50,8mm) για χαμηλού ύψους κήπους, χλοοτάπητα και συνήθως τοποθετούνται σε σημεία που δεν μπορούμε να έχουμε ικανοποιητικό βάθος εκσκαφής.
- 3' (76,2mm) είναι για χαμηλού ύψους χλοοτάπητα και για άρδευση κάτω από το φύλλωμα ψηλών θάμνων.
- 4' (101,6mm) για ψηλότερα είδη χλοοτάπητα και για χαμηλά παρτέρια. Είναι και το πιο διαδεδομένο μέγεθος.
- 5' (127,0mm) για ψηλό χλοοτάπητα και παρτέρια.
- 6' (152,4mm) ψηλό χλοοτάπητα και παρτέρια. Συνήθως διαθέτουν και δεύτερη πάγια οπή εισόδου του νερού.

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζονται και ορισμένα μεγέθη υπόγειων αυτοανυψούμενων εκτοξευτήρων.





**Εικόνα 15. Διάφορα μεγέθη υπόγειων στατικών αυτοανυψούμενων εκτοξευτήρων**

Η ακτίνα διαβροχής ενός εκτοξευτήρα είναι η απόσταση που μπορεί να εκτοξεύσει το νερό. Στους στατικούς εκτοξευτήρες η συγκεκριμένη απόσταση κυμαίνεται από 0,8 έως 5m. Κάθε κατασκευαστής παράγει αρκετές σειρές ακροφύσιων, τα οποία τοποθετούνται πάνω στο έμβολο και διαχωρίζονται με βάση την ταχύτητα εφαρμογής τους. Ως εκ' τούτου, κάθε σειρά εκτοξευτήρων φέρει διαφορετικές προδιαγραφές και αποδόσεις ανάλογα με το ακροφύσιο που βιδώνεται σε αυτούς. Ο πίνακας αποδόσεων των ακροφυσίων για ορισμένα μεγέθη υπόγειων αυτοανυψούμενων εκτοξευτήρων, παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

**Πίνακας 8 Πληροφορίες ακροφυσίων των στατικών αυτοανυψούμενων εκτοξευτήρων PS της εταιρείας Hunter**



**8A**

**10A**

**12A**

**15A**

**17A**

Γωνία	Πίεση		Ακτίνα		Παροχή		Ακτίνα		Παροχή		Ακτίνα		Παροχή		Ακτίνα		Παροχή	
	bar	kPa	m	m <sup>3</sup> /hr	l/min	m	m <sup>3</sup> /hr	l/min	m	m <sup>3</sup> /hr	l/min	m	m <sup>3</sup> /hr	l/min	m	m <sup>3</sup> /hr	l/min	
45°	1.0	100	2.0	0.04	0.62	2.6	0.04	0.68	3.2	0.04	0.73	4.0	0.08	1.27	4.6	0.10	1.68	
	1.5	150	2.2	0.04	0.72	2.8	0.05	0.80	3.4	0.06	0.97	4.3	0.09	1.51	4.9	0.12	1.94	
	2.1	210	2.4	0.05	0.83	3.0	0.06	0.94	3.7	0.07	1.23	4.6	0.11	1.79	5.2	0.13	2.23	
	2.5	250	2.6	0.05	0.91	3.2	0.06	1.06	3.9	0.09	1.44	4.9	0.12	2.00	5.5	0.15	2.46	
	3.0	300	2.9	0.06	1.01	3.5	0.07	1.18	4.1	0.10	1.68	5.2	0.14	2.25	5.8	0.16	2.72	
90°	1.0	100	2.0	0.07	1.24	2.6	0.08	1.35	3.2	0.09	1.46	4.0	0.15	2.53	4.6	0.20	3.36	
	1.5	150	2.2	0.09	1.44	2.8	0.10	1.61	3.4	0.12	1.93	4.3	0.18	3.03	4.9	0.23	3.88	
	2.1	210	2.4	0.10	1.65	3.0	0.11	1.89	3.7	0.15	2.46	4.6	0.21	3.57	5.2	0.27	4.45	
	2.5	250	2.6	0.11	1.82	3.2	0.13	2.11	3.9	0.17	2.88	4.9	0.24	4.01	5.5	0.30	4.92	
	3.0	300	2.9	0.12	2.02	3.5	0.14	2.37	4.1	0.20	3.36	5.2	0.27	4.50	5.8	0.33	5.44	
120°	1.0	100	2.0	0.10	1.66	2.6	0.11	1.80	3.2	0.12	1.94	4.0	0.20	3.38	4.6	0.27	4.48	
	1.5	150	2.2	0.11	1.92	2.8	0.13	2.14	3.4	0.15	2.58	4.3	0.24	4.03	4.9	0.31	5.17	
	2.1	210	2.4	0.13	2.20	3.0	0.15	2.52	3.7	0.20	3.28	4.6	0.29	4.76	5.2	0.36	5.94	
	2.5	250	2.6	0.15	2.43	3.2	0.17	2.82	3.9	0.23	3.84	4.9	0.32	5.34	5.5	0.39	6.56	
	3.0	300	2.9	0.16	2.69	3.5	0.19	3.16	4.1	0.27	4.48	5.2	0.36	6.00	5.8	0.43	7.25	
180°	1.0	100	2.0	0.15	2.49	2.6	0.16	2.71	3.2	0.17	2.91	4.0	0.30	5.07	4.6	0.40	6.71	
	1.5	150	2.2	0.17	2.87	2.8	0.19	3.21	3.4	0.23	3.86	4.3	0.36	6.05	4.9	0.47	7.75	
	2.1	210	2.4	0.20	3.30	3.0	0.23	3.78	3.7	0.30	4.92	4.6	0.43	7.14	5.2	0.53	8.91	
	2.5	250	2.6	0.22	3.65	3.2	0.25	4.23	3.9	0.35	5.76	4.9	0.48	8.02	5.5	0.59	9.83	
	3.0	300	2.9	0.24	4.03	3.5	0.28	4.73	4.1	0.40	6.71	5.2	0.54	9.00	5.8	0.65	10.87	
240°	1.0	100	2.0	0.20	3.32	2.6	0.22	3.61	3.2	0.23	3.88	4.0	0.41	6.76	4.6	0.54	8.95	
	1.5	150	2.2	0.23	3.83	2.8	0.26	4.28	3.4	0.31	5.15	4.3	0.48	8.07	4.9	0.62	10.34	
	2.1	210	2.4	0.26	4.40	3.0	0.30	5.03	3.7	0.39	6.56	4.6	0.57	9.52	5.2	0.71	11.88	
	2.5	250	2.6	0.29	4.86	3.2	0.34	5.64	3.9	0.46	7.68	4.9	0.64	10.69	5.5	0.79	13.11	
	3.0	300	2.9	0.32	5.38	3.5	0.38	6.31	4.1	0.54	8.95	5.2	0.72	12.00	5.8	0.87	14.50	
270°	1.0	100	2.0	0.22	3.73	2.6	0.24	4.06	3.2	0.26	4.37	4.0	0.46	7.60	4.6	0.60	10.07	
	1.5	150	2.2	0.26	4.31	2.8	0.29	4.82	3.4	0.35	5.80	4.3	0.54	9.08	4.9	0.70	11.63	
	2.1	210	2.4	0.30	4.95	3.0	0.34	5.66	3.7	0.44	7.38	4.6	0.64	10.71	5.2	0.80	13.36	
	2.5	250	2.6	0.33	5.47	3.2	0.38	6.34	3.9	0.52	8.65	4.9	0.72	12.03	5.5	0.89	14.75	
	3.0	300	2.9	0.36	6.05	3.5	0.43	7.10	4.1	0.60	10.07	5.2	0.81	13.50	5.8	0.98	16.31	
360°	1.0	100	2.0	0.30	4.97	2.6	0.32	5.41	3.2	0.35	5.83	4.0	0.61	10.13	4.6	0.81	13.43	
	1.5	150	2.2	0.34	5.75	2.8	0.39	6.43	3.4	0.46	7.73	4.3	0.73	12.10	4.9	0.93	15.51	
	2.1	210	2.4	0.40	6.61	3.0	0.45	7.55	3.7	0.59	9.84	4.6	0.86	14.28	5.2	1.07	17.82	
	2.5	250	2.6	0.44	7.29	3.2	0.51	8.45	3.9	0.69	11.53	4.9	0.96	16.03	5.5	1.18	19.67	
	3.0	300	2.9	0.48	8.07	3.5	0.57	9.47	4.1	0.81	13.43	5.2	1.08	18.00	5.8	1.30	21.75	

Σημειώνεται ότι, υπάρχουν στατικοί εκτοξευτήρες με ακροφύσια, σταθερής γωνίας (90°, 120°, 150°, 180°, 240°, 270°, 360°), αλλά και μεταβλητής γωνίας. Σημειώνεται ότι, τα ακροφύσια φέρουν ρυθμιστή στο ανώτατο σημείο τους για να μπορούμε να μειώσουμε την ακτίνα διαβροχής μέχρι και +- 25%. Στους περισσότερους εκτοξευτήρες υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης Αντιστραγγιστικής βαλβίδας, η οποία εμποδίζει το νερό του σωλήνα να διέλθει μέσα από τον εκτοξευτήρα όταν σταματήσει να λειτουργεί (Μπαμπίλης, 2004).

#### 4.1.2 Υπέργειοι στατικοί εκτοξευτήρες

Στους υπέργειους εκτοξευτήρες μπορούν να τοποθετηθούν διάφορες προεκτάσεις-ορθοστάτες διαστάσεων από 30 εκατοστά έως 1 μέτρο και με τον κατάλληλο προσαρμογέα μπορούν να δεχτούν ακροφύσια που χρησιμοποιούνται στους υπόγειους αυτοανυψούμενους στατικούς εκτοξευτήρες. Οι συγκεκριμένοι εκτοξευτήρες χαρακτηρίζονται ως εκτοξευτήρες ερασιτεχνικού τύπου, μιας και δεν έχουν περιστρεφόμενα τμήματα, ενώ συνήθως δεν φέρουν πίνακες αποδόσεων των ακροφυσίων. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι υπέργειοι στατικοί εκτοξευτήρες λειτουργούν με ένα ακροφύσιο, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται η ύπαρξη τύπων που λειτουργούν με περισσότερα ακροφύσια (Μπαμπίλης, 2004).

Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι υπέργειοι εκτοξευτήρες, καθώς και ο προσαρμογέας του ακροφυσίου.



**Εικόνα 16. Υπέργειοι στατικοί εκτοξευτήρες (αριστερά) και ο προσαρμογέας ακροφυσίου (δεξιά)**

## 4.2 Δυναμικοί εκτοξευτήρες

### 4.2.1 Περιστροφικοί εκτοξευτήρες

Οι δυναμικοί εκτοξευτήρες διακρίνονται ανάλογα με τη μορφή της κίνησης. Η πρώτη κατηγορία είναι οι περιστροφικοί εκτοξευτήρες, ενώ η δεύτερη κατηγορία είναι οι εκτοξευτήρες ταλάντωσης.

Οι περιστροφικοί εκτοξευτήρες χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε έργα πρασίνου μέσης και μεγάλης επιφάνειας, όπως για παράδειγμα γήπεδα, αθλητικοί χώροι, κ.λπ. Οι περιστροφικοί εκτοξευτήρες ανάλογα με τον μηχανισμό περιστροφής που διαθέτουν διακρίνονται στις ακόλουθες επιμέρους κατηγορίες:

- ✓ Κρουστικοί εκτοξευτήρες (υπόγειοι αυτοανυψούμενοι κρουστικοί εκτοξευτήρες, υπέργειοι εκτοξευτήρες),
- ✓ Γραναζωτοί εκτοξευτήρες,
- ✓ Εκτοξευτήρες αντίδρασης.

Οι κρουστικοί εκτοξευτήρες διακρίνονται σε υπόγειους δυναμικούς αυτοανυψούμενους και υπέργειους. Είναι χαμηλής ή μέσης πίεσης και φέρουν μια σειρά από ακροφύσια. Κατά την λειτουργία τους μπορούν να φέρουν ένα ή δύο ακροφύσια. Οι κρουστικοί εκτοξευτήρες αποτελούνται από το μοχλό παλινδρόμησης και το ελατήριο επαναφοράς. Ο μοχλός παλινδρόμησης βρίσκεται στο επάνω μέρος του κατακόρυφου άξονα, πραγματοποιώντας περιστροφές όταν βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας. Το άκρο του μοχλού προεκτείνεται πάνω από το ακροφύσιο δημιουργώντας ένα λοξό επίπεδο, από όπου ξεκινά η διαδικασία της περιστροφής. Το ελατήριο επαναφοράς είναι τοποθετημένο γύρω από τον άξονα περιστροφής, με σκοπό να επαναφέρει το μοχλό στην αρχική του θέση. Με τον τρόπο αυτό, ο σωλήνας εκτόξευσης δέχεται ένα χτύπημα και προωθείται σε μία άλλη θέση. Το λοξό επίπεδο πέφτει στην δέσμη του νερού και προκαλεί παροδική διάσπαση της δέσμης, κατανέμοντας έτσι τη βροχή στα πιο κοντινά σημεία της ακτίνας διαβροχής. Η εν λόγω διαδικασία αποτελεί μια ολοκληρωμένη κίνηση του μοχλού που επαναλαμβάνεται συνέχεια. Σημειώνεται ότι, η αποτελεσματικότερη λειτουργία του εκτοξευτήρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την καλή ποιότητα του ελατηρίου.

Οι υπόγειοι εκτοξευτήρες έχουν ένα κέλυφος, τον εκτοξευτήρα και το προστατευτικό κάλυμμα. Φέρουν συνήθως θηλυκό σπείρωμα στην είσοδό τους  $\frac{3}{4}$ ". Οι συγκεκριμένοι εκτοξευτήρες βρίσκονται μέσα στο έδαφος, με το προστατευτικό

κάλυμμα να είναι στο ίδιο επίπεδο με αυτό, όταν δεν λειτουργούν. Σε κατάσταση λειτουργίας και εξαιτίας της πίεσης του νερού, ανυψώνονται και παραμένουν για ισόποσο χρονικό διάστημα που λειτουργεί και το δίκτυο. Διαθέτουν σειρά ακροφύσιων (με διάφορα χρώματα ή κωδικούς), που προδιαγράφουν την ακτίνα και την ταχύτητα εφαρμογής του σε συγκεκριμένες τιμές πίεσης και παροχής. Το βασικό μειονέκτημα των υπόγειων εκτοξευτήρων είναι ο θόρυβος που προκαλούν κατά την λειτουργία τους.

Οι υπέργειοι εκτοξευτήρες έχουν ακτίνα διαβροχής από 4 έως 10m, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται η ύπαρξη εκτοξευτήρων με μεγαλύτερη ακτίνα. Οι υπέργειοι εκτοξευτήρες μπορεί να είναι είτε πλαστικοί, είτε μεταλλικοί και η χρήση τους δεν ενδείκνυται για επαγγελματικούς σκοπούς. Τέλος, σημειώνεται ότι σε αντίθεση με τους υπόγειους εκτοξευτήρες, στους υπέργειους εκτοξευτήρες δεν υπάρχει πίνακας απόδοσης.

Στην παρακάτω εικόνα, αποτυπώνεται ένας υπόγειος αυτοανυψούμενος εκτοξευτήρας και δύο υπέργειοι εκτοξευτήρες (πλαστικός και μεταλλικός).



**Εικόνα 17. Κρουστικοί εκτοξευτήρες: υπόγειος δυναμικός αυτοανυψούμενος (επάνω) και πλαστικός και μεταλλικός υπέργειος (κάτω)**

Όσον αφορά τους γριναζωτούς εκτοξευτήρες, αυτοί αποτελούνται από τα ακόλουθα μέρη:

- σώμα,
- έμβολο με γριναζωτό μηχανισμό,
- ακροφύσιο,
- φίλτρο,
- άνω κάλυμμα,
- ελατήριο επαναφοράς.

Η ακτίνα διαβροχής των γριναζωτών εκτοξευτήρων κυμαίνεται από 5 έως 35m. Στο εσωτερικό του εμβόλου υπάρχει μια σειρά από γριναζία και όταν περνά το νερό, αυτά περιστρέφονται με αποτέλεσμα να περιστρέφεται και ο εκτοξευτήρας. Σημειώνεται ότι, η περιστροφή του εκτοξευτήρα είναι αργή και αθόρυβη, παράγοντας πολύ σημαντικό ιδιαίτερα για τις κατοικημένες περιοχές.

Σε κατάσταση λειτουργίας, ο γριναζωτός εκτοξευτήρας προεξέχει από το έδαφος έως και 100mm, ανάλογα το μέγεθος τους. Οι γριναζωτοί εκτοξευτήρες συνοδεύονται από πίνακες αποδόσεων και σειρά ακροφύσιων, όπως αποτυπώνεται και από τον παρακάτω πίνακα.

## Πίνακας 9 Πληροφορίες ακροφυσίων του γραναζωτού εκτοξευτήρα PGP της

### Hunter

Ακροφύσιο	Πίεση		Ακτίνα m	Παροχή		ύψος βροχής mm/hr		Ακροφύσιο	Πίεση		Ακτίνα m	Παροχή		ύψος βροχής mm/h	
	bar	kPa		m <sup>3</sup> /hr	l/min	■	▲		bar	kPa		m <sup>3</sup> /hr	l/min	■	▲
1 ●	1.7	170	8.2	0.10	1.7	3	3	8 ●	1.7	170	11.0	0.66	11.0	11	13
	2.0	200	8.5	0.11	1.8	3	3		2.0	200	11.3	0.71	11.8	11	13
	2.5	250	8.5	0.13	2.1	4	4		2.5	250	11.6	0.79	13.2	12	14
	3.0	300	8.8	0.15	2.4	4	4		3.0	300	11.9	0.87	14.5	12	14
	3.5	350	8.8	0.16	2.7	4	5		3.5	350	12.5	0.94	15.6	12	14
	4.0	400	9.1	0.18	2.9	4	5		4.0	400	12.5	1.00	16.6	13	15
4.5	450	9.1	0.19	3.2	5	5	4.5	450	12.8	1.05	17.6	13	15		
2 ●	1.7	170	8.5	0.14	2.4	4	5	9 ●	1.7	170	11.3	0.73	12.2	11	13
	2.0	200	8.8	0.16	2.6	4	5		2.0	200	11.6	0.80	13.4	12	14
	2.5	250	8.8	0.17	2.9	4	5		2.5	250	11.6	0.92	15.4	14	16
	3.0	300	9.1	0.19	3.2	5	5		3.0	300	12.5	1.05	17.5	13	16
	3.5	350	9.1	0.21	3.5	5	6		3.5	350	13.4	1.15	19.2	13	15
	4.0	400	9.4	0.22	3.7	5	6		4.0	400	13.4	1.25	20.9	14	16
4.5	450	9.4	0.23	3.9	5	6	4.5	450	13.7	1.35	22.4	14	17		
3 ●	1.7	170	8.8	0.18	3.0	5	5	10 ●	2.0	200	12.2	1.14	19.0	15	18
	2.0	200	9.1	0.20	3.3	5	5		2.5	250	12.8	1.29	21.4	16	18
	2.5	250	9.1	0.22	3.7	5	6		3.0	300	13.4	1.44	24.0	16	18
	3.0	300	9.4	0.25	4.1	6	6		3.5	350	14.0	1.56	26.1	16	18
	3.5	350	9.4	0.27	4.5	6	7		4.0	400	14.3	1.68	28.0	16	19
	4.0	400	9.8	0.29	4.8	6	7		4.5	450	14.3	1.79	29.9	17	20
4.5	450	9.8	0.31	5.1	6	7	5.0	500	14.6	1.90	31.7	18	21		
4 ●	1.7	170	9.4	0.24	4.1	5	6	11 ●	2.0	200	12.8	1.55	25.9	19	22
	2.0	200	9.8	0.27	4.4	6	6		2.5	250	13.7	1.73	28.7	18	21
	2.5	250	9.8	0.30	5.0	6	7		3.0	300	14.0	1.90	31.7	19	22
	3.0	300	10.1	0.34	5.6	7	8		3.5	350	14.6	2.05	34.1	19	22
	3.5	350	10.1	0.37	6.2	7	8		4.0	400	14.9	2.18	36.3	20	23
	4.0	400	10.4	0.40	6.6	7	9		4.5	450	15.2	2.30	38.4	20	23
4.5	450	10.4	0.43	7.1	8	9	5.0	500	15.5	2.42	40.4	20	23		
5 ●	1.7	170	10.1	0.33	5.5	7	8	12 ●	2.0	200	12.8	2.03	33.8	25	29
	2.0	200	10.4	0.36	5.9	7	8		2.5	250	13.4	2.26	37.7	25	29
	2.5	250	10.4	0.39	6.5	7	8		3.0	300	14.3	2.51	41.8	24	28
	3.0	300	11.0	0.43	7.2	7	8		3.5	350	14.6	2.70	45.0	25	29
	3.5	350	11.6	0.46	7.7	7	8		4.0	400	14.9	2.88	48.1	26	30
	4.0	400	11.6	0.49	8.1	7	8		4.5	450	15.2	3.06	50.9	26	30
4.5	450	11.6	0.51	8.6	8	9	5.0	500	15.8	3.22	53.7	26	30		
6 ●	1.7	170	10.1	0.42	6.9	8	10	7 ●	1.7	170	10.1	0.54	9.0	11	12
	2.0	200	10.4	0.45	7.5	8	10		2.0	200	10.4	0.58	9.7	11	12
	2.5	250	10.7	0.51	8.5	9	10		2.5	250	11.0	0.65	10.8	11	12
	3.0	300	11.0	0.57	9.4	9	11		3.0	300	11.6	0.72	12.0	11	12
	3.5	350	11.6	0.61	10.2	9	11		3.5	350	12.2	0.78	12.9	10	12
	4.0	400	11.6	0.66	10.9	10	11		4.0	400	12.2	0.83	13.8	11	13
4.5	450	11.9	0.70	11.6	10	11	4.5	450	12.2	0.88	14.6	12	14		



Η τελευταία κατηγορία είναι οι εκτοξευτήρες αντίδρασης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο σωλήνας εκτόξευσης τίθεται σε περιστροφική κίνηση, εξαιτίας των ακροφύσιων που είναι έτσι προσανατολισμένα ώστε η δέσμη του νερού να δημιουργεί ζεύγος δυνάμεων αντίθετης φοράς. Οι εκτοξευτήρες αντίδρασης είναι ερασιτεχνικού

τύπου και η χρήση τους περιορίζεται σε μεσαίας επιφάνειας χλοοτάπητες (Μπαμπίλης, 2004).

Στην επόμενη εικόνα φαίνονται μερικοί εκτοξευτήρες αντίδρασης.



**Εικόνα 18. Εκτοξευτήρες αντίδρασης**

#### **4.2.2 Εκτοξευτήρες ταλάντωσης**

Οι εν λόγω εκτοξευτήρες τοποθετούνται στην παροχή του δικτύου μέσω σωλήνων που συνδέονται μεταξύ τους με ταχυσυνδέσμους και στην είσοδο τους υπάρχουν σπειρώματα  $\frac{3}{4}$ '' ή  $\frac{1}{2}$ '' . Οι εκτοξευτήρες ταλάντωσης έχουν την ιδιότητα να μετακινούν τη δέσμη νερού κατά την λειτουργία τους. Αποτελούνται από έναν ευθύγραμμο σωλήνα ή από σωλήνα με μορφή τόξου, κατά μήκος του οποίου είναι τοποθετημένα ακροφύσια διαμέτρου μέχρι 1,5mm.

Η ταλάντωση της δέσμης νερού γίνεται μέσα από ένα έμβολο, το οποίο είναι τοποθετημένο στην αρχή του σωλήνα και λειτουργεί με την πίεση του νερού. Σημειώνεται ότι, ο σωλήνας και τα ακροφύσια, κατά τη λειτουργία τους δεν πραγματοποιούν πλήρη περιστροφή, αλλά τμηματική. Τα ακροφύσια που μπορούν να



έχουν είναι αρκετά, μιας και ένας εκτοξευτήρας μπορεί να διαθέτει έως και 20, ενώ ως προς την έκταση που μπορούν να εξυπηρετήσουν, υπολογίζεται από 100 έως 300m<sup>2</sup>. Προκειμένου οι εκτοξευτήρες ταλάντωσης να μπορέσουν να λειτουργήσουν, απαιτείται πίεση έως 2,5atm (Μπαμπίλης, 2004).

Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι εκτοξευτήρες ταλάντωσης με ευθύγραμμο τμήμα και τόξο, κατά τη λειτουργία τους.



**Εικόνα 19. Εκτοξευτήρες ταλάντωσης με ευθύγραμμο τμήμα (επάνω) και τόξο (κάτω)**

### **4.3 Μικροεκτοξευτήρες**

Οι μικροεκτοξευτήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση σε παρτέρια με θάμνους. Προκειμένου να λειτουργήσουν δεν απαιτείται ιδιαίτερα υψηλή πίεση του

νερού, μιας και έχει υπολογιστεί ότι λειτουργούν με πιέσεις από 1 έως 3atm. Οι μικροεκτοξευτήρες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους περιστρεφόμενους και τους στατικούς, ανάλογα με το εάν διαθέτουν ή όχι σύστημα περιστροφής. Και στις δύο περιπτώσεις, η ακτίνα που μπορούν να εκτοξεύσουν το νερό ανέρχεται μέχρι 6m περίπου και δίνουν παροχές από 20 έως 300l/h.

Οι περιστρεφόμενοι εκτοξευτήρες διαθέτουν ένα κινητό τμήμα που περιστρέφεται και εκτοξεύει το νερό κυκλικά. Αντιθέτως, οι στατικοί εκτοξευτήρες δεν πραγματοποιούν κάποια κίνηση και εκτοξεύουν το νερό μονίμως σε κυκλικό ή ημικυκλικό σχήμα. Προκειμένου να λειτουργήσουν οι μικροεκτοξευτήρες, θα πρέπει να τοποθετηθούν επάνω σε σωλήνες, οι οποίοι διαθέτουν ειδικές εύκαμπτες διατομές Φ4-Φ7, έτσι ώστε να μεταφέρεται το νερό από τον πλευρικό σωλήνα στον μικροεκτοξευτήρα (Μπαμπίλης, 2004).

Στην εικόνα που ακολουθεί αποτυπώνονται τόσο οι περιστροφικοί, όσο και οι στατικοί μικροεκτοξευτήρες.



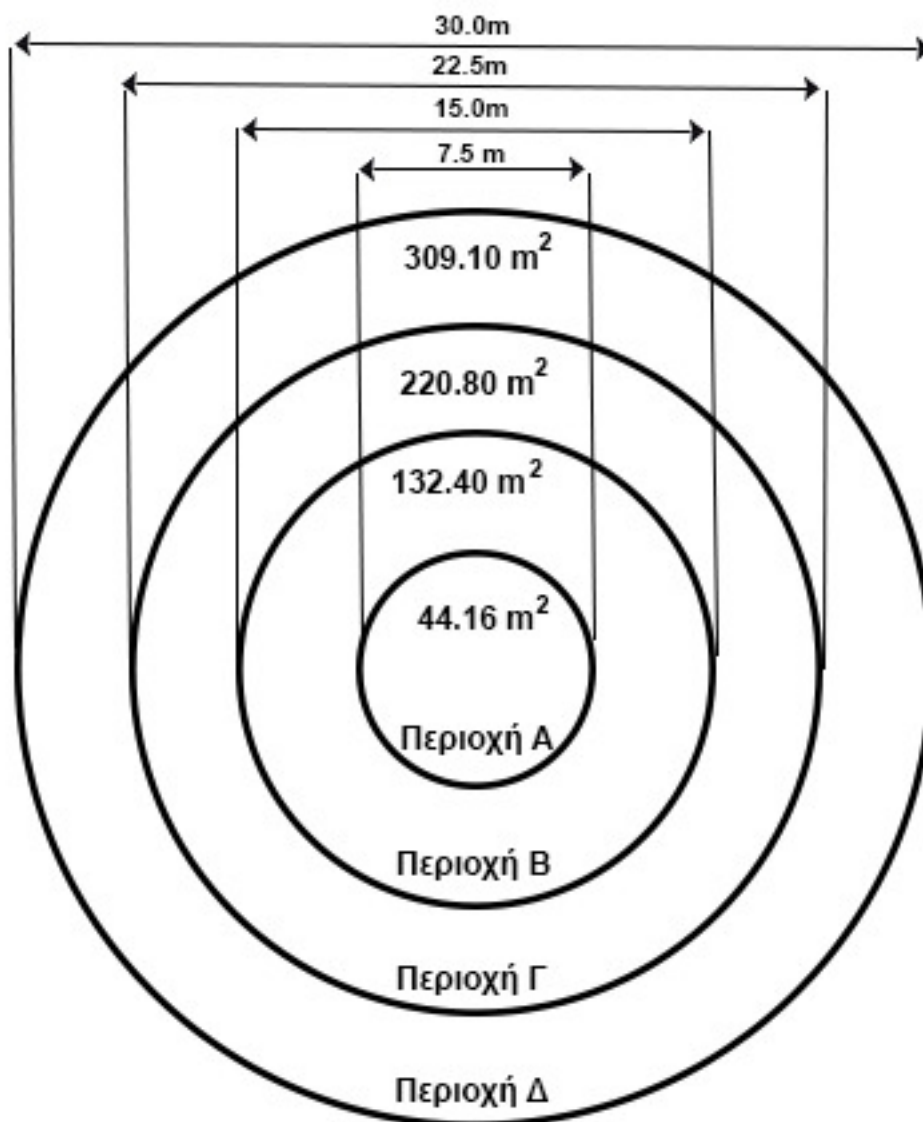
**Εικόνα 20. Περιστροφικοί (επάνω) και στατικοί (κάτω) μικροεκτοξευτήρες**

#### 4.4 Ομοιομορφία κατανομής του νερού και επίδραση του ανέμου

Το κατά πόσο αποτελεσματικό θα είναι ένα αρδευτικό σύστημα εξαρτάται από την μελέτη και τον σχεδιασμό, όπου θα πρέπει ο μελετητής να μεριμνήσει για όλους του παράγοντες και τις διάφορες συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, και οι οποίοι μπορεί να επηρεάζουν την απόδοση των εκτοξευτήρων, την εγκατάσταση και την συντήρηση του συστήματος. Η εφαρμογή του νερού, ανεξάρτητα από τον τύπο του εξοπλισμού, δεν μπορεί να είναι ίδια σε κάθε τετραγωνικό μέτρο της καλυπτόμενης επιφάνειας. Τα χαρακτηριστικά κάλυψης και εφαρμογής του νερού από τους εκτοξευτήρες είναι αυτά που καθορίζουν την ομοιομορφία κατανομής του νερού. Τα εν λόγω χαρακτηριστικά κάλυψης διαφέρουν και συνοψίζονται ως εξής:

- a. Η γεωμετρική κατανομή ή κατατομή της υγρασίας στην διάμετρο διαβροχής (υγρασία κατά βάθος).
- b. Ο άνεμος ο οποίος παραμορφώνει την κατανομή εφαρμογής του νερού και της κάλυψης.
- c. Η χωροθέτηση των εκτοξευτήρων.
- d. Η πίεση λειτουργίας των εκτοξευτήρων.
- e. Η ταχύτητα περιστροφής, σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται περιστροφικοί εκτοξευτήρες.

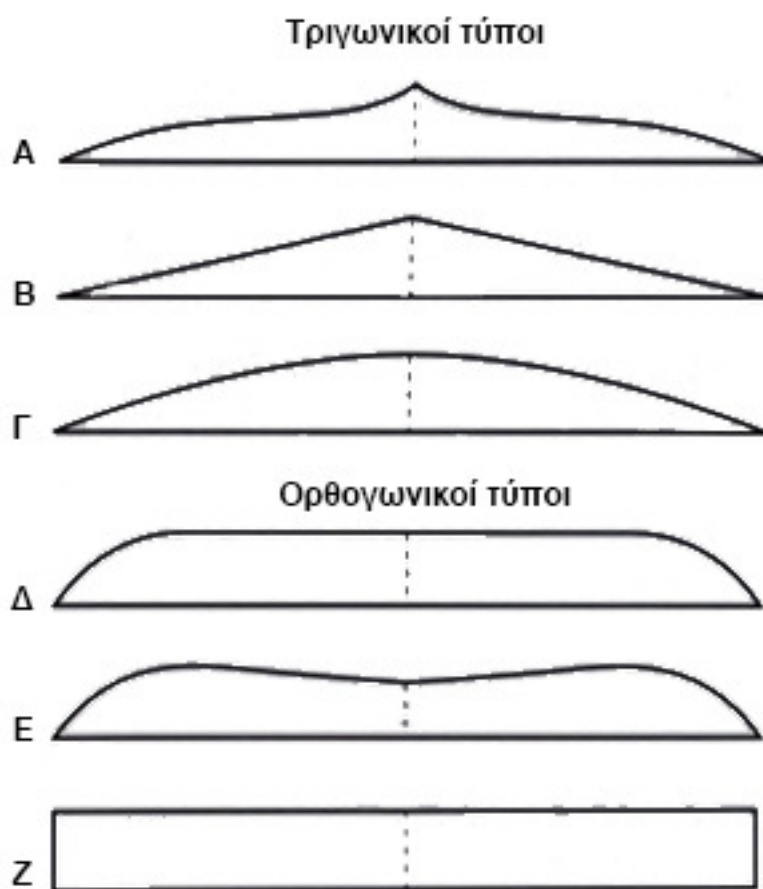
Σε έναν στατικό εκτοξευτήρα, διαμέτρου 3mm και ακτίνα διαβροχής 4m, αν παρατηρήσουμε το στόμιο στο ακροφύσιο ημικυκλικής κάλυψης, το νερό διασκορπίζεται από ένα στόμιο με εμβαδόν διατομής περίπου  $7\text{mm}^2$  σε μία έκταση  $25\text{m}^2$ , δηλαδή 3.500.000 φορές μεγαλύτερη από το στόμιο εκροής. Όπως παρατηρείται από την επόμενη εικόνα, υπάρχουν τέσσερις περιοχές εντός του κύκλου με διάμετρο 30m. Το συνολικό εμβαδόν του κύκλου υπολογίζεται σε  $706,5\text{ m}^2$ . Η περιοχή Α έχει εμβαδόν  $44,16\text{m}^2$ , βρίσκεται πιο κοντά στο κέντρο του κύκλου και αντιπροσωπεύει περίπου το 6% της συνολικής έκτασης. Η αύξηση της διαμέτρους έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του εμβαδόν και επομένως, την αύξηση της επιφάνειας ως προς το ποσοστό της συνολικής έκτασης. Στην περιοχή Β το εμβαδόν είναι  $132,4\text{ m}^2$  και αντιπροσωπεύει το 19% της συνολικής έκτασης, ενώ στην περιοχή Γ η έκταση είναι  $220,8\text{ m}^2$ , αντιπροσωπεύοντας το 31% της συνολικής έκτασης. Τέλος, στην περιοχή Δ, η έκταση αποτελεί το 44% επί του συνόλου, με εμβαδόν  $309,1\text{ m}^2$ .



**Εικόνα 21. Σύγκριση κυκλικών επιφανειών**

Εάν υποθέσουμε πως έχουμε έναν περιστροφικό εκτοξευτήρα, όπου η δέσμη νερού κατανέμεται ισόποσα σε όλο το μήκος της επιφάνειας, θα διαπιστωθεί ότι μέσα από την περιστροφή η ποσότητα του νερού διαρκώς θα μειώνεται, όσο απομακρύνεται από το κέντρο. Έτσι, η κατανομή νερού στο έδαφος θα είναι τριγωνικής μορφής. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου η δέσμη του νερού έχει μια διαρκώς αυξανόμενη ποσότητα νερού σε αντιστοιχία με το εμβαδόν, η περιστροφή της δέσμης θα κατανείμει ίση ποσότητα νερού από τον εκτοξευτήρα προς όλη την έκταση. Στην περίπτωση αυτή, η κατανομή του νερού στο έδαφος θα έχει ορθογώνια διάταξη.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα θεωρητικά σχήματα κατανομής του νερού στο έδαφος, μέσα από εκτοξευτήρες. Η οριζόντια γραμμή των σχημάτων αντικατοπτρίζει την ακτίνα εκτόξευσης νερού του εκτοξευτήρα, ενώ η κατακόρυφη γραμμή δείχνει το ύψος του εφαρμοζόμενου νερού. Με την προϋπόθεση ιδανικών συνθηκών (άπνοια, σταθερή παροχή και πίεση), παρατηρούμε τόσο ομοιόμορφες κατανομές του νερού (π.χ. σχήμα Z), όσο και ανομοιόμορφες θεωρητικές κατανομές του νερού σε όλες τις περιοχές κάλυψης (σχήματα A-E).



**Εικόνα 22. Θεωρητικά σχήματα κατανομής του νερού**

Ένας σημαντικός παράγοντας που δεν μπορεί να ελεγχθεί από τους κατασκευαστές των εκτοξευτήρων και μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την απόδοσή τους επομένως την ομοιόμορφη κατανομή του νερού, είναι ο άνεμος. Η ταχύτητα, η διεύθυνση και η σταθερότητα του ανέμου επηρεάζουν την κατανομή του νερού, με διάφορες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα:

- ✓ Προκαλούν μείωση της ακτίνας κάλυψης από την πλευρά που ο εκτοξευτήρας προβάλλεται από τον άνεμο.
- ✓ Μείωση του όγκου του νερού που εφαρμόζεται κάτω από τη δέσμη, λόγω της μεταφοράς μέρους του όγκου του, του από τον άνεμο. Βέβαια το νερό που εκτοξεύεται από την πλευρά που φυσάει ο άνεμος ωθείται προς τα πίσω από τον εκτοξευτήρα και εναποτίθεται στην πλευρά του εκτοξευτήρα που δεν προσβάλλεται από τον άνεμο.
- ✓ Μείωση του μήκους της δέσμης του νερού, όταν ο εκτοξευτήρας περιστρέφεται και εκτοξεύει το νερό κάθετα προς την διεύθυνση του ανέμου.

Ένας περιστροφικός εκτοξευτήρας, όταν περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα, θεωρητικά θα δώσει μια συμμετρική κατανομή του νερού ως προς το κέντρο, σε συνθήκες άπνοιας. Ως πλήρη άπνοια θεωρούμε όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη των 5km/h. Επειδή η επίδραση του ανέμου δεν είναι ισόποσα ανάλογη προς όλες τις κατευθύνσεις από τον εκτοξευτήρα, για την μελέτη του δικτύου άρδευσης δεν έχει πολύ μεγάλη σημασία.

Σημειώνεται ότι, τα δίκτυα άρδευσης με εκτοξευτήρες σχεδόν πάντοτε λειτουργούν με συνθήκες αέρα και όχι άπνοιας, επομένως, θα πρέπει κατά το σχεδιασμό του δικτύου να λαμβάνονται υπόψη οι συνθήκες ανέμου, ώστε να γίνεται ο βέλτιστος δυνατός προσδιορισμός των αποστάσεων μεταξύ των εκτοξευτήρων.

Επίσης, η κατανομή του νερού δεν σχετίζεται μόνο με την ταχύτητα του ανέμου, αλλά και με το μέγεθος των σταγονιδίων. Σε μεγάλα σταγονίδια, η τροχιά τους επηρεάζεται λιγότερο από τον άνεμο. Ωστόσο, τα μεγάλα σταγονίδια έχουν την τάση να πέφτουν στα εξωτερικά όρια της διαβρεχόμενης περιοχής, ενώ τα μικρότερα σταγονίδια πέφτουν κοντά στον εκτοξευτήρα. Σε σταγονίδια διαφορετικού μεγέθους, παρατηρείται διασπορά του νερού σε όλες τις περιοχές κάλυψης. Γενικότερα, όταν ο άνεμος έχει ταχύτητα 16km/h η κατανομή του νερού είναι τόσο ανομοιόμορφη και θεωρείται σκόπιμη η διακοπή της άρδευσης

Ένας τελευταίος παράγοντας που επηρεάζει την κατανομή του νερού, είναι η πίεση λειτουργίας του δικτύου. Όταν η πίεση είναι πολύ μεγάλη ή όταν έχουμε υπερβολική μείωση της πίεσης τότε παρατηρούμε μείωση της καλυπτόμενης επιφάνειας από τους εκτοξευτήρες (Μπαμπίλης, 2004).

## Κεφάλαιο 5: Πείραμα αξιολόγησης ομοιομορφίας δικτύου άρδευσης με καταιονισμό

### 5.1 Εισαγωγή

Αναφέροντας πόσο σημαντικό είναι να ξέρουμε σε μία άρδευση την ομοιομορφία της και την αποδοτικότητα της, μελετήσαμε την κατασκευή μιας διάταξης ώστε να μπορούμε να ελέγχουμε διάφορους εκτοξευτήρες, εξάγοντας τα απαραίτητα συμπεράσματα για την άρδευση που κάνουν

Η διάταξη που καταλήξαμε είναι ο σχεδιασμός ενός πλαισίου από σκληρούς σωλήνες, τύπου PVC, σε διάταξη 3x3 m και με την δυνατότητα αύξησης των διαστάσεων αυτών. Κατασκευάστηκαν δύο τέτοια πλαίσια στην διάσταση 3x3 m και ελέγξαμε την λειτουργικότητα τους μετρώντας δύο διαφορετικούς εκτοξευτήρες της εταιρίας Hunter:

- Τους στατικούς PS 10A
- Τους MP Rotator 2000

### 5.2 Υλικά

Ο δοκιμαστικός έλεγχος των δύο εκτοξευτήρων της Hunter έγινε για να ελέγξουμε την αρτιότητα της κατασκευής την δυνατότητα χρήση της καθώς και να κατανοήσουμε όλες τις έννοιες που προαναφέραμε για την ομοιομορφία της άρδευσης.

Η αξιολόγηση ενός μέσου άρδευσης για την παρεχόμενη άρδευση που προσφέρει σε συγκεκριμένες συνθήκες, καθορίζεται από τα μεγέθη: ομοιομορφία διαβροχής DU, συντελεστής ομοιομορφίας CU και ένταση διαβροχής ή ρυθμός εφαρμογής.

Εξάγοντας μετρήσεις από την κατασκευή μας και επεξεργάζοντας αυτές αξιολογούμε την άρδευση από τους μελετούμενους εκτοξευτήρες.

Προτού περιγράψουμε την πειραματική διαδικασία, θα πρέπει να γίνει μια αναφορά στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία είναι τα εξής:

#### ➤ Υλικά πλαισίων

1. PVC σωλήνας Φ25/16 atm
2. PVC γωνίες Φ25 κολλητές

3. PVC Tay  $\Phi 25$  κολλητές
4. PVC Ρακορ  $\Phi 25 \times \frac{3}{4}$  αρσενικό
5. PVC Μαστος  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$  16 atm
6. PVC Μαστος  $\frac{3}{4}$  16 atm
7. PVC Μούφες  $\frac{3}{4}$
8. PP Σύνδεσμος φρεατίου αρσενικό θηλυκό  $\frac{3}{4}$
9. PP τάπα θηλυκή  $\frac{1}{2}$  για προστασία
10. Για στεγανοποίηση χρησιμοποιήθηκαν τεφλόν και PVC κόλλα

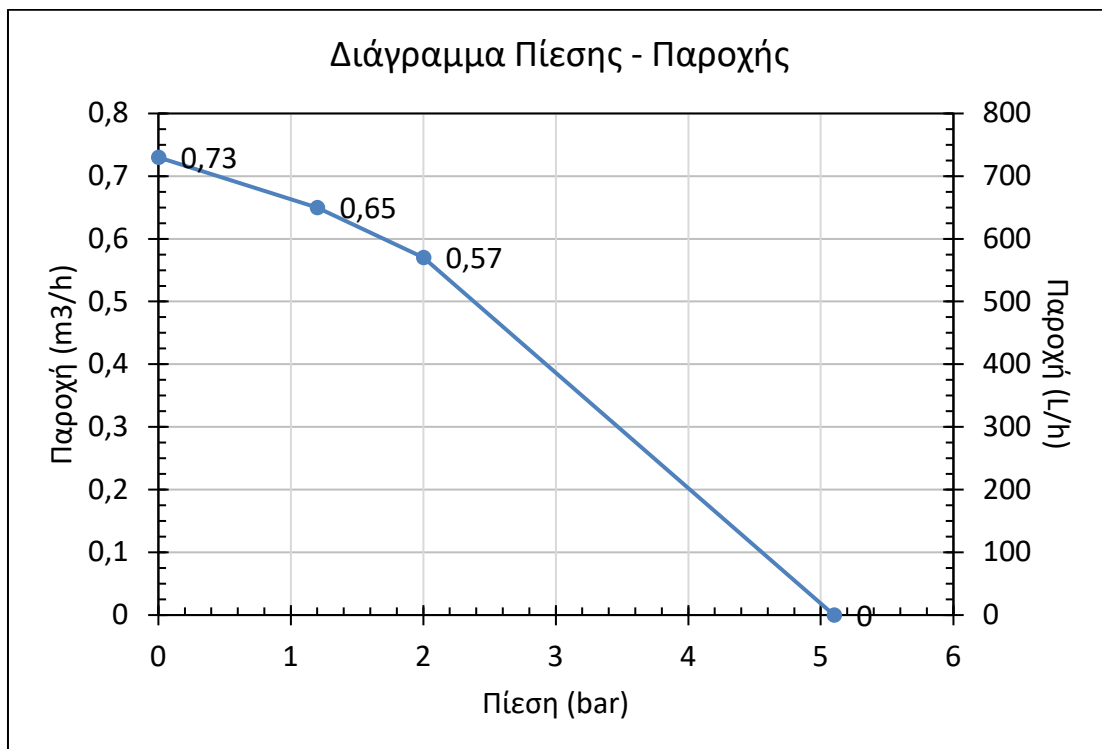
➤ **Για το συλλέκτη**

1. Για την μεταφορά νερού χρησιμοποιήθηκε σωλήνας  $\Phi 15 \times 25$  mm PE 80 16 atm πόσιμου νερού
2. Ρακορ  $\Phi 15 \times 2,5$  μεταλλικό για
3. Tay  $\frac{1}{2}$  θηλυκό ορειχάλκινο
4. Βανάκι μανομέτρου  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{8}$
5. Μανόμετρο γλυκερίνης 0-6 atm
6. Μαστος μεταλλικός  $\frac{1}{2}$
7. Βάνα μεταλλική ballvalve  $\frac{1}{2}$
8. Ρακορ βρύσης πλαστικό  $\frac{3}{4}$
9. Ταχυσύνδεσμος πλαστικός για γρήγορες συνδέσεις

### 5.3 Διαδικασία μετρήσεων

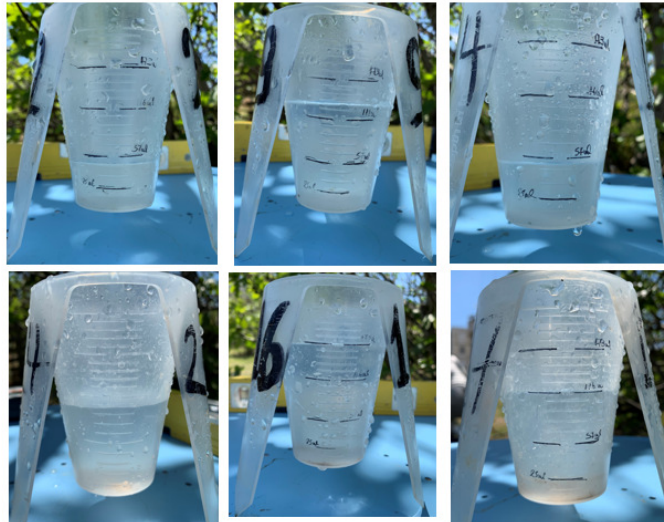
Αφού κόψαμε τους σωλήνες PVC σε 8 κομμάτια του μέτρου, τοποθετήσαμε τις γωνίες προκειμένου να σχηματιστούν τα τετράγωνα και τα κολλήσαμε για να γίνει η στεγανοποίηση τους. Στη συνέχεια, έγινε αποθήκευση σε ξερό και σκιερό μέρος τα υλικά για 24 ώρες προκειμένου να μην υπάρξει κάποια ζημιά στα σημεία όπου υπήρχε η κόλλα. Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήσαμε έναν δοχείο όπου πήραμε το απόβαρο του (439,5 gr) και έπειτα πραγματοποιήσαμε μετρήσεις για να βρούμε την παροχή σε διάφορες πιέσεις. Στις 0 atm, δηλαδή με την βρύση τέρμα ανοιχτή, πήραμε 10.389 gr σε 51 sec. Στις 1,2atm πήραμε 11235 gr σε χρόνο 62sec. Και στις 2 atm πήραμε 9908 gr σε χρόνο 63 sec (να σημειωθεί ότι η σχέση βάρους/όγκου του νερού είναι 1/1).





**Σχήμα 5. Διάγραμμα πίεσης - παροχής**

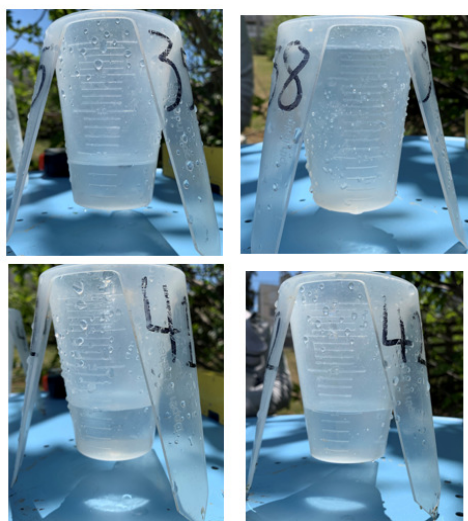
Έγινε χάραξη παράλληλων και κάθετων γραμμών στο χωράφι, ώστε να σχηματιστούν τετράγωνα. Ύστερα, με την βοήθεια του μέτρου, ενός ξύλινου διαβήτη και ενός σπάγκου, χωρίσαμε την μελετώμενη επιφάνεια 3x3 σε ίσα μέρη των 50 εκατοστών και τοποθετήσαμε τα βροχόμετρα (δοχεία παρατήρησης). Μετρήσαμε την στατική πίεση και στην συνέχεια ανοίξαμε την βρύση προκειμένου να ξεκινήσει το πείραμα. Κάθε μέτρηση που πραγματοποιήθηκε είχε διάρκεια 30 λεπτών. Στην πρώτη φάση του πειράματος μετρήσαμε τα pop-up, με τα στατικά ακροφύσια. Δόθηκε έναρξη στις 12:16 και τελείωσε στις 12:36. Μετά το πέρας των μετρήσεων, συλλέξαμε τα βροχόμετρα και καταγράψαμε τις ενδείξεις τους που φαίνονται στα παρακάτω κύπελα:



**Εικόνα 23. Δοχεία 2, 9, 14, 15, 16, 17**



**Εικόνα 24. Δοχεία 18, 20, 24, 27, 28, 29**



**Εικόνα 25. Δοχεία 35, 38, 41, 42**

Στον πίνακα που φαίνεται παρακάτω, στην πρώτη στήλη παρουσιάζονται τα δοχεία παρατήρησης του πειράματος με αύξουσα σειρά. Στην δεύτερη στήλη, αναγράφονται οι μετρήσεις των δοχείων (που έχουμε βρει από το πείραμα) σε ίντσες.

Στην τρίτη στήλη, αναφέρονται οι μετατροπές των ιντσών σε χιλιοστά (όπου 1 ίντσα ισούται 25,4 χιλιοστά).

Η μετατροπή αυτή γίνεται, διότι η μονάδα μέτρησης του ύψους του νερού μετριέται σε χιλιοστά.

**Πίνακας 10 Μετρήσεις στατικών από την πειραματική εφαρμογή**

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ	ΥΨΟΣ(ΙΝΤΣΕΣ)	$X_i$ (mm)
2	0,4	10,16 = $x_1$
9	1,2	30,48 = $x_2$
14	0,48	12,19 = $x_3$
15	0,42	10,66 = $x_4$
16	1,5	38,10 = $x_5$
17	0,85	21,59 = $x_6$
18	1	25,40 = $x_7$

20	0,6	15,24 = x <sub>8</sub>
24	0,89	22,60 = x <sub>9</sub>
27	0,85	21,59 = x <sub>10</sub>
28	1	25,40 = x <sub>11</sub>
29	0,49	12,44 = x <sub>12</sub>
35	0,4	10,16 = x <sub>13</sub>
38	2	50,80 = x <sub>14</sub>
41	0,5	12,70 = x <sub>15</sub>
42	0,51	12,95 = x <sub>16</sub>

Προκειμένου να υπολογίσουμε τον συντελεστή ομοιομορφίας Cu, θα πρέπει να υπολογιστούν πρώτα

- το άθροισμα των υψών στα δοχεία παρατήρησης,
- ο μέσος όρος των υψών,
- το άθροισμα της διαφοράς των υψών από το μέσο ύψος.

Το άθροισμα των υψών στα δοχεία ισούται με

$$\sum_{i=1}^{16} X_i = 332,90 \text{ mm}$$

Ο μέσος όρος των υψών των δοχείων υπολογίζεται ως εξής:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{16}}{16}$$

Άρα,

$$\bar{X} = \frac{332,46}{16} = 20,89 \text{ mm}$$

Το άθροισμα της απόλυτης διαφοράς της κάθε τιμής του χ από το μέσο είναι:

$$\sum_{i=1}^{16} |X_i - \bar{X}| = |(10,16-20,8)|+|(30,48-20,8)|+\dots+(12,95-20,8)|\Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^{16} |X_i - \bar{X}| = 139.46$$

Επομένως,

$$C_u = 100 \left[ 1 - \frac{139,46}{16 * 20,8} \right] = 59\%$$

Στην συνέχεια, πρέπει να υπολογιστεί ο ρυθμός εφαρμογής Pr του πειράματός μας, βάση των μετρήσεων που πήραμε. Ο τύπος του ρυθμού εφαρμογής είναι:

$$Pr = \frac{Q}{A}$$

Όπου

- Pr= mm/hr
- Q= m<sup>2</sup> / min
- A= m<sup>2</sup>

Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφτεί :

$$Pr = \frac{0,002548 * V * d^2}{t} \text{ mm/hr}$$

Όπου:

- V σε ml
- t σε min
- d σε mm
- 0,002548 σταθερά

Οι ενδείξεις μας μετατρέπονται ως εξής:

**Πίνακας 11. Αποτελέσματα μετρήσεων**

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ	ΥΨΟΣ(ΙΝΤΣΕΣ)	Αντιστοιχία σε ml	Ένταση καταιονισμού (PR)	Μον.Μετρ
2	0,4	43,8	19,8	mm/h
9	1,2	131,4	59,5	mm/h
14	0,48	52,6	23,8	mm/h
15	0,42	46,0	20,8	mm/h
16	1,5	164,3	74,3	mm/h
17	0,85	93,1	42,1	mm/h
18	1	109,5	49,6	mm/h
20	0,6	65,7	29,7	mm/h
24	0,89	97,5	44,1	mm/h
27	0,85	93,1	42,1	mm/h
28	1	109,5	49,6	mm/h

29	0,49	53,7	24,3	mm/h
35	0,4	43,8	19,8	mm/h
38	2	219,0	99,1	mm/h
41	0,5	54,8	24,8	mm/h
42	0,51	55,8	25,3	mm/h

Συνεπώς, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει ότι:

$$\bar{P}_r = \frac{19,8+59,5+23,8+\dots+25,3}{16} = 40.6 \text{ mm/h}$$

Η παροχή των εκτοξευτήρων, σε μία ορθογώνια διάταξη, υπολογίζεται σε συνάρτηση με τις μεταξύ τους αποστάσεις και τον ρυθμό εφαρμογής του νερού που υπολογίστηκε με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Οι σχέσεις για τον υπολογισμό της παροχής των εκτοξευτήρων είναι οι εξής:

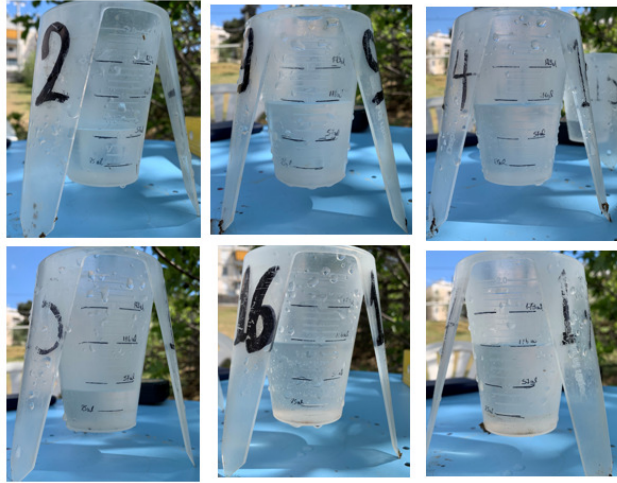
$$q = \frac{S_i S_m \bar{P}_r}{1000} \text{ m}^3/\text{h}$$

όπου:

- $S_i$  και  $S_m$  οι αποστάσεις μεταξύ εκτοξευτήρων και αγωγών αντίστοιχα, σε m και
- $\bar{P}_r$  ο ρυθμός εφαρμογής σε mm/h.

Κάνοντας τις αντικαταστάσεις, έχουμε:  $q = 3 * 3 * \frac{40.6}{1000} = 0.3654 \text{ m}^3/\text{h}$

Στην συνέχεια, αφού αδειάσαμε τα βροχόμετρα από το νερό, τα επανατοποθετήσαμε στα σημεία τους ώστε να επαναλάβουμε την διαδικασία με τον άλλο τύπο εκτοξευτήρων. Αλλάξαμε τους εκτοξευτήρες και τοποθετήσαμε αυτούς με τα ακροφύσια mp rotator. Πήραμε μέτρηση της ώρας και ανοίξαμε τη βάνα με το νερό. Η μέτρηση αυτή ήταν για 30 λεπτά και ξεκίνησε στις 14:14 και έληξε στις 15:44. Μετά το πέρας του μισάωρου συλλέξαμε ξανά τα βροχόμετρα και σημειώσαμε τις ενδείξεις που έδειχναν. Όπως και προηγουμένως, στην συνέχεια παρουσιάζονται οι μετρήσεις και αποτελέσματα που προέκυψαν.



**Εικόνα 26. Δοχεία 2, 9, 14, 15, 16, 17**



**Εικόνα 27. Δοχεία 18, 20, 24, 27, 28, 29**



**Εικόνα 28. Δοχεία 35, 38, 41, 42**

Αφού λοιπόν συλλέξαμε όλα τα δεδομένα, προχωρήσαμε στους υπολογισμούς. Προκειμένου να βρούμε το συντελεστή ομοιομορφίας κατά Christiansen. Έπρεπε αρχικά να μετατρέψουμε τις ίντσες σε χιλιοστά. Επειδή στην Αμερική η μονάδα μέτρησης του ύψους του νερού είναι σε ίντσες, έπρεπε να γίνει μετατροπή σε χιλιοστά. Από το παγκόσμιο σύστημα γνωρίζουμε ότι 1 ίντσα ισούται με 25,4 mm. Επομένως, οι μετατροπές φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

**Πίνακας 12 Μετρήσεις ρυθμιζόμενων από την πειραματική εφαρμογή**

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ	ΥΨΟΣ( ΙΝΤΣΕΣ)	Xi(mm)
2	0.59	14,98 = $x_1$
9	0.95	24,13 = $x_2$
14	0.92	23,36 = $x_3$
15	0.4	10,16 = $x_4$
16	0.95	24,13 = $x_5$
17	1.05	26,70 = $x_6$
18	1	25,40 = $x_7$
20	1	25,40 = $x_8$
24	0.9	22,86 = $x_9$
27	1	25,40 = $x_{10}$
28	0.9	22,86 = $x_{11}$
29	0.75	19,05 = $x_{12}$
35	0.35	8,89 = $x_{13}$
38	0.95	24,13 = $x_{14}$
41	0.86	21,84 = $x_{15}$
42	0.61	15,49 = $x_{16}$



Προκειμένου να υπολογιστεί ο συντελεστής ομοιομορφίας  $C_u$ , έπρεπε αντίστοιχα να υπολογιστούν τα κάτωθι:

- το άθροισμα των υψών στα δοχεία,
- ο μέσος όρος των υψών,
- το άθροισμα της διαφοράς των υψών από το μέσο ύψος.

Για το άθροισμα των υψών σε όλα τα δοχεία ισχύει:

$$\sum_{i=1}^{16} X_i = 334,78 \text{ mm}$$

Για τον μέσο όρο των υψών των δοχείων έχουμε:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{16}}{16}$$

Άρα,

$$\bar{X} = \frac{334,78}{16} = 20,92 \text{ mm}$$

Το άθροισμα της απόλυτης διαφοράς της κάθε τιμής του  $x$  από το μέσο είναι:

$$\sum_{i=1}^{16} |X_i - \bar{X}| = |(14,98-19,96)|+|(24,13-19,96)|+\dots+|(23,36-19,96)|\Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^{16} |X_i - \bar{X}| = 72,12$$

Επομένως, έχουμε

$$C_u = 100 \left[ 1 - \frac{72,12}{16 * 20,92} \right] = 78,5\%$$

Στην συνέχεια, πρέπει να υπολογιστεί ο ρυθμός εφαρμογής  $Pr$  του πειράματός μας, βάση των μετρήσεων που πήραμε. Ο τύπος του ρυθμού εφαρμογής είναι:

$$Pr = \frac{Q}{A}$$

Όπου:

- $Pr$ : mm/h
- $Q$ :  $m^2 / h$
- $A$ :  $m^2$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφεί και επίσης :

$$Pr = \frac{0,002548 \cdot V \cdot d^2}{t} \text{ mm/h}$$

Όπου:

- V σε ml
- t σε min
- d σε mm
- 0,002548 σταθερά

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μετατροπή των μετρήσεων από ίντσες σε mm.

**Πίνακας 13 Μετατροπή των μετρήσεων από ίντσες σε mm**

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΧΕΙΟΥ	ΥΨΟΣ(ΙΝΤΣΕΣ)	Αντιστοιχία σε ml	Ένταση καταιονισμού (PR)	Μον.Μετρ
2	0,59	64,6	29.2	mm/h
9	0,95	104,0	47	mm/h
14	0,92	100,7	45.6	mm/h
15	0,4	43,8	19.8	mm/h
16	0,95	104,0	47	mm/h
17	1,05	115,0	52	mm/h
18	1	109,5	49.6	mm/h
20	1	109,5	49.6	mm/h
24	0,9	98,6	44.6	mm/h
27	1	109,5	49.6	mm/h
28	0,9	98,6	44.6	mm/h
29	0,75	82,1	37.2	mm/h
35	0,35	38,3	17.4	mm/h
38	0,95	104,0	47	mm/h
41	0,86	94,2	42.6	mm/h
42	0,61	66,8	30.2	mm/h

Συνεπώς, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει ότι:

$$\bar{P}_r = \frac{29.2+47+45.6+..+30.2}{16} = 40.8 \text{ mm/h}$$

Η παροχή των εκτοξευτήρων, σε μία ορθογώνια διάταξη, υπολογίζεται σε συνάρτηση με τις μεταξύ τους αποστάσεις και τον ρυθμό εφαρμογής του νερού που υπολογίστηκε με βάση τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Οι σχέσεις για τον υπολογισμό της παροχής των εκτοξευτήρων είναι οι εξής:

$$q = \frac{S_i S_m \bar{P}_r}{1000} \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{όπου:}$$

- $S_i$  και  $S_m$  οι αποστάσεις μεταξύ εκτοξευτήρων και αγωγών αντίστοιχα, σε m και
- $\bar{P}_r$  ο ρυθμός εφαρμογής σε mm/h.

Κάνοντας τις αντικαταστάσεις, έχουμε:  $q = 3 * 3 * \frac{40.8}{1000} = 0.3672 \text{ m}^3/\text{h}$

## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία παρουσιάσαμε πόσο σημαντικό είναι για την άρδευση ενός αγροτεμαχίου ο υπολογισμός της ομοιομορφίας της. Έχουμε καταφέρει να φτιάξουμε μια πειραματική διάταξη σε αρκετά ικανοποιητικό μέγεθος, ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί για δοκιμές διάφορων τύπων εκτοξευτήρων.

Μέσα από την δοκιμή των δυο εκτοξευτήρων με την βοήθεια της κατασκευής μας παρατηρούμε τις διαφορές στην ομοιομορφία που έχουν δυο εκτοξευτήρες που κατασκευάστηκαν για τον ίδιο σκοπό και από την ίδια εταιρεία.

Παρατηρείται ότι οι εκτοξευτήρες με τα στατικά ακροφύσια έχουν μικρότερη ομοιομορφία παρόλο που την ώρα διεξαγωγής μετρήσεων επικρατούσαν χαμηλοί έως μηδενικοί άνεμοι. Ο συντελεστής CU κατά Christiansen βρέθηκε πολύ χαμηλός στα στατικά ακροφύσια. Ο ίδιος συντελεστής στα MP ROTATOR βρέθηκε πολύ υψηλότερος και πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διεξαγωγή μετρήσεων αυτών υπήρχε αρκετός αέρας. Ανάλογη διαφορετικότητα υπήρχε και στον συντελεστή ομοιομορφίας διανομής.

Η ομοιόμορφη κατανομή του νερού σε ένα έργο πρασίνου ή σε μια καλλιέργεια, μας βοηθάει να μειώσουμε τις απώλειες νερού μέσω στράγγισης ή επιφανειακής απορροής και να σχεδιάσουμε εύκολα και καλύτερα πιο αποτελεσματικότερα δίκτυα άρδευσης. Αυτό έχει σαν αντίκτυπο σε οικονομικότερα αρδευτικά δίκτυα ως προς το κόστος κτήσης αλλά και την χρήση τους.

Λιγότερη αλλά αποτελεσματικότερη ποσότητα νερού σημαίνει μικρότερο κόστος νερού, μικρότερο κόστος ενέργειας, μικρότερο κόστος λιπασμάτων και φαρμάκων, μιας και οι σύγχρονες καλλιεργητικές μέθοδοι, θέλουν την εφαρμογή υδρολίπανσης και κάποιων φαρμάκων μέσω των αρδύσεων. Αρκετοί είναι αυτοί που ρίχνουν εντομοκτόνα στον χλοοτάπητα για την καταπολέμηση της κάμπιας αγροτίδα ή καραφατμέ όπου βγαίνει τις βραδινές ώρες.

Μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε την διαφορετικότητα των δυο εξεταζόμενων ακροφυσίων και τα δυσμενή αποτελέσματα ειδικά στο κόστος νερού όπου στο αστικό πράσινο είναι πολύ ακριβό. Ο βασικός λόγος της διαφορετικότητας της ομοιομορφίας των δυο ακροφυσίων είναι ότι τα MP ROTATOR είναι ακροφύσια κατά πολύ νεότερης κατασκευής περίπου της τελευταίας 20ετίας. Η αρχική κατασκευάστρια εταιρεία

NELSON WALLA WALLA προσπάθησε να λύσει το πρόβλημα της μικρής ομοιομορφίας των ρυθμιζόμενων στατικών ακροφυσίων καθώς και την μεγάλη παροχή λειτουργίας που απαιτούν και το κατάφεραν αρκετά καλά.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι και στα δύο εξεταζόμενα ακροφύσια η υπολογιζόμενη ομοιομορφία βρέθηκε να μεν διαφορετική αλλά και τις δυο περιπτώσεις χαμηλή κάτω από την αποδεκτή minimum CU 85% για ντελικάτα φυτά ή φυτά χαμηλού ριζικού βάθους. Ένας συντελεστής CU ανάμεσα στο 75% και 83% είναι γενικά επαρκής για βαθύρριζα φυτά, όπως βάμβακι, καλαμπόκι και άλλα. (Keller-Bliesner, 1990).

Αυτό που πιθανολογείται είναι ότι η πίεση λειτουργίας κατά την μέτρησή δεν ήταν η απαιτούμενη. Δυστυχώς όμως η διαθέσιμη παροχή και πίεση της ΕΥΔΑΠ στην συγκεκριμένη περιοχή ήταν χαμηλή.

## Βιβλιογραφία

- Μπαμπίλης, Δ. (2004). *Αρδευτικά δίκτυα πρασίνου*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.
- Παπαμιχαήλ Μ.Δ., Μπαμπατζιμόπουλος Σ.Χ., (2014). *Εφαρμοσμένη γεωργική υδραυλική*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Παπαζαφειρίου, Ζ. (1998). *Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Keller J., and Bliesner D.R., (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. ISBN 0-442-24645-5
- Merriam, J.L. and Keller, J. (1978) *Farm Irrigation System Evaluation: A Guide to Management*. Utah State University, Logan, Utah.
- USDA Handbook 18 (2017). *Soil survey manual*. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). Government Printing Office, Washington, D.C.

## Παράρτημα

### 8.1 Φωτογραφίες από την πειραματική διαδικασία



Εικόνα 29. Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την αρδευτική διάταξη

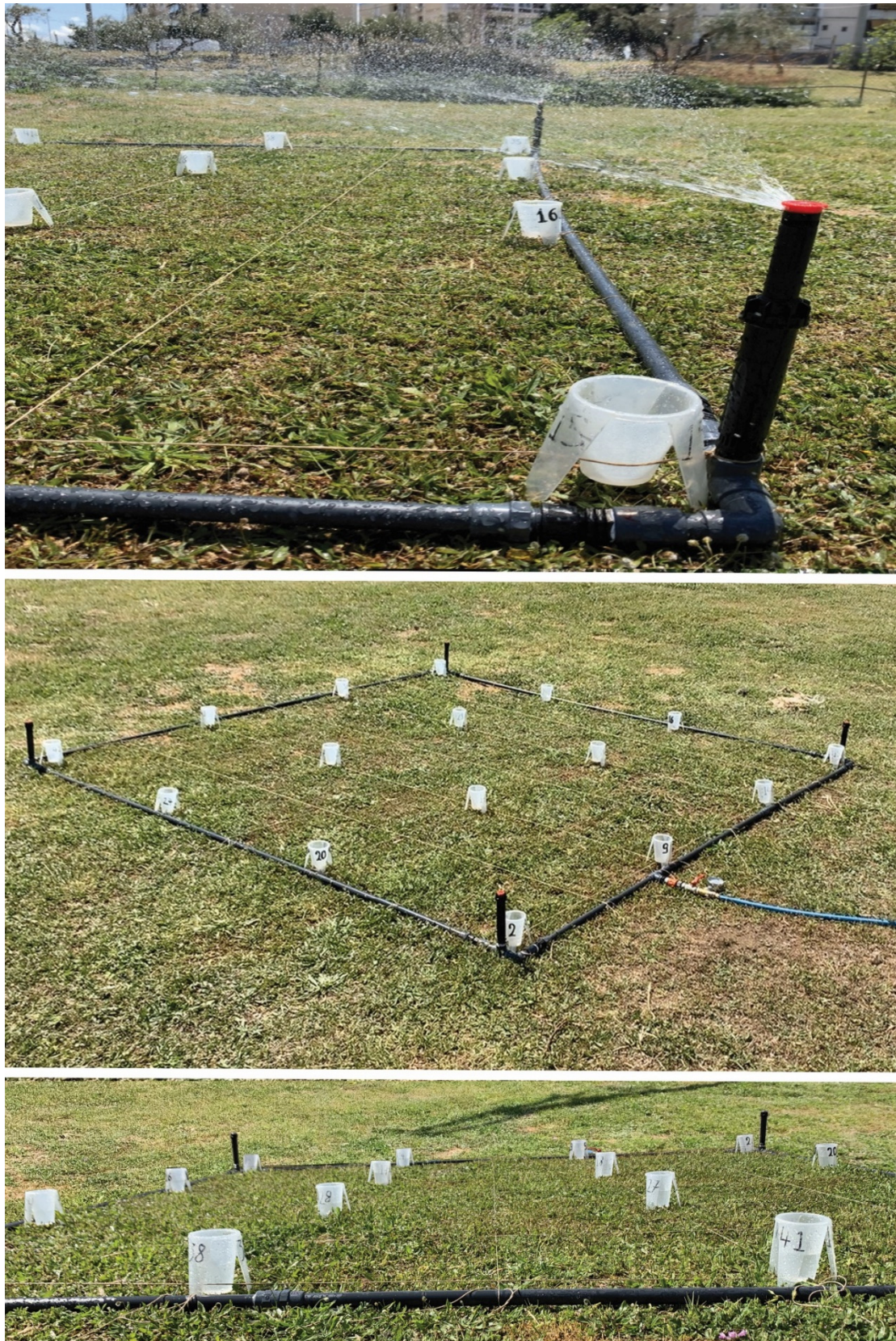


**Εικόνα 30. Διαχωρισμός της επιφάνειας μελέτης 3x3 σε ίσα μέρη των 50 cm με τη βοήθεια διαβήτη**



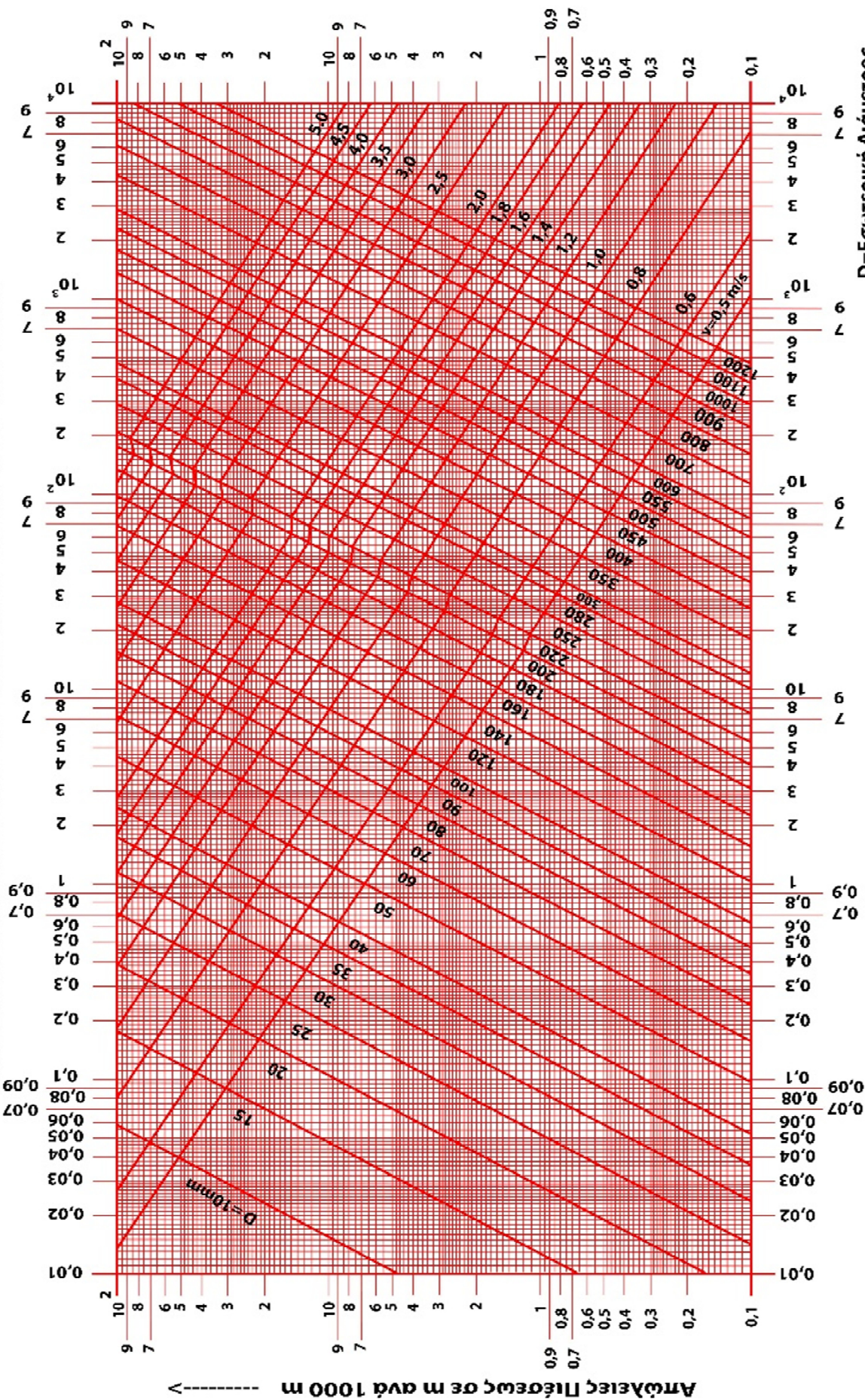


**Εικόνα 31. Τοποθέτηση των δοχείων παρατήρησης στα σημεία που ισαπέχουν στη διάταξη**



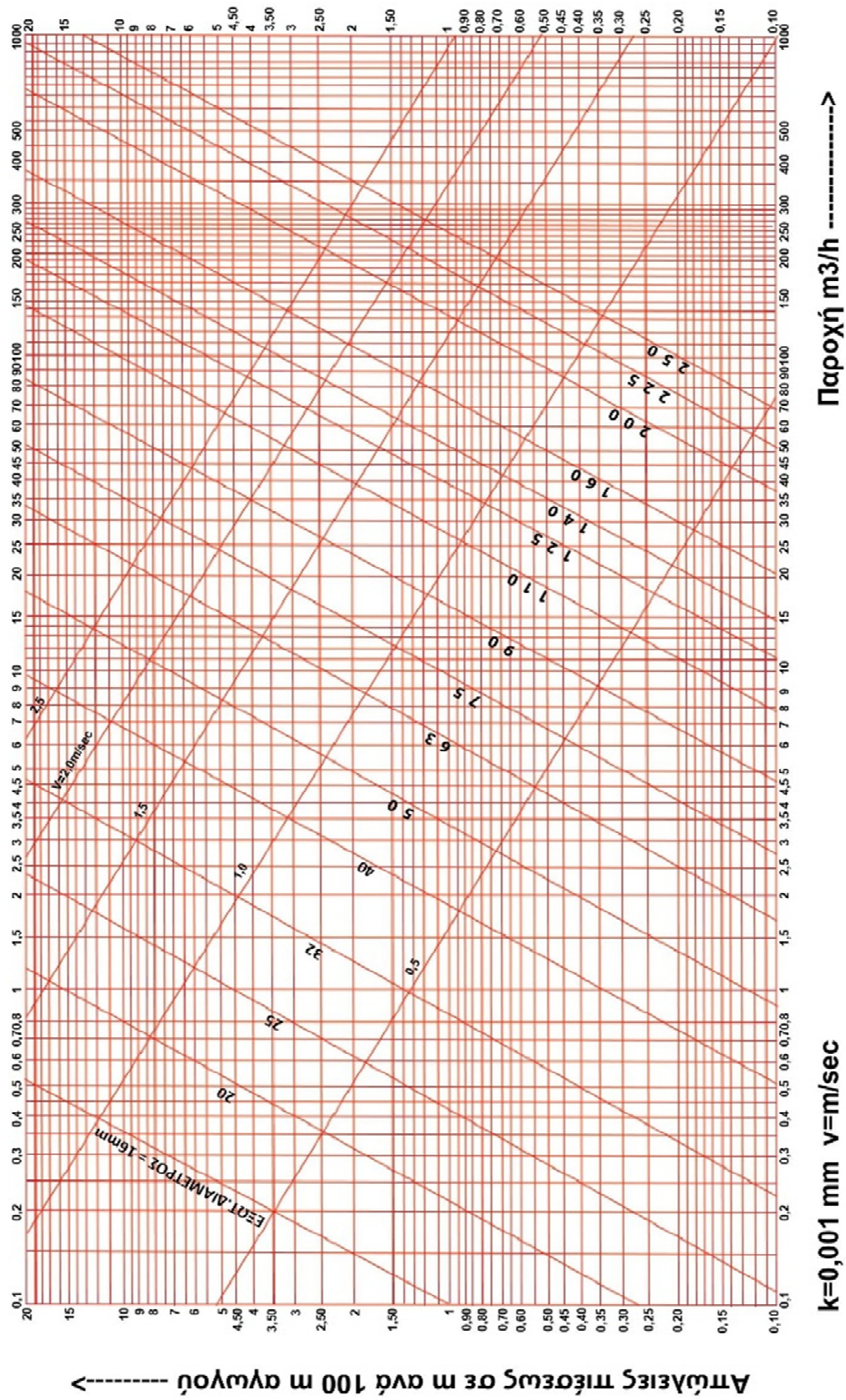
**Εικόνα 32. Έναρξη λειτουργίας αρδευτικής διάταξης**

**ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΠΙΕΣΗΣ ΣΩΛΗΝΩΝ ΡΕ (ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ)**



$D$  = Εσωτερική Διάμετρος  
 $K=0,01 \text{ mm}$  έως και  $200 \text{ mm}$   
 $K=0,05 \text{ mm}$  >  $200 \text{ mm}$

### ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΠΙΕΣΕΩΣ ΣΩΛΗΝΩΝ 6 ΑΤΜ



## ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

### ΠΑΡΟΧΗ

Μετρικό Σύστημα		Αγγλικό Σύστημα	
Lt/hr	m <sup>3</sup> /hr	g/hr	ft <sup>3</sup> /sec
1	0,001	0,264	0,0000098
60	0,06	15,9	0,00059
1000	1	264	0,0098
3,79	0,0038	1	0,000037
227	0,227	60	0,0022
101941	102	29630	1

### ΠΙΕΣΗ

Μετρικό Σύστημα			Αγγλικό Σύστημα		
kPa	μέτρα (H <sub>2</sub> O)	bar	p.s.i	feet	inch (Hg)
1	0,102	0,01	0,145	0,336	0,296
9,81	1	0,098	1,42	3,3	2,9
100	10,2	1	14,5	33,6	29,6
6,9	0,73	0,069	1	2,32	2,04
2,97	0,303	0,0297	0,43	1	0,88
3,38	0,344	0,0338	0,49	1,14	1

### ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Μετρικό Σύστημα			Αγγλικό Σύστημα		
m <sup>2</sup>	εκτάρια	km <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	acres	mil <sup>2</sup>
1	0,0001	0,000001	10,8	0,000247	
10000	1	0,01	107639	2,47	0,00386
1000000	100	1	10763910	247	0,386
0,0929	0,000009		1	0,000023	
4047	0,4047	0,004	43560	1	0,0156
2589988	259	2,59	27878400	640	

### ΜΗΚΟΣ

Μετρικό Σύστημα			Αγγλικό Σύστημα		
m	cm	mm	feet	inch	yd
1	100	1000	3,281	39,4	1,094
0,1	1	10	0,0328	0,394	0,0109
0,001	0,1	1	0,00328	0,0394	0,00109
0,305	30,5	305	1	12	0,33
0,0254	2,54	25,4	0,083	1	0,028
0,914	91,4	914	3	36	1

**Πίνακας 14 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων RGP**

Ακροφύσιο	Πίεση		Ακτίνα m	Παροχή		ύψος βροχής mm/hr		Ακροφύσιο	Πίεση		Ακτίνα m	Παροχή		ύψος βροχής mm/h	
	bar	kPa		m <sup>3</sup> /hr	l/min	■	▲		bar	kPa		m <sup>3</sup> /hr	l/min	■	▲
<b>1</b> ●	1.7	170	8.2	0.10	1.7	3	3	<b>8</b> ●	1.7	170	11.0	0.66	11.0	11	13
	2.0	200	8.5	0.11	1.8	3	3		2.0	200	11.3	0.71	11.8	11	13
	2.5	250	8.5	0.13	2.1	4	4		2.5	250	11.6	0.79	13.2	12	14
	3.0	300	8.8	0.15	2.4	4	4		3.0	300	11.9	0.87	14.5	12	14
	3.5	350	8.8	0.16	2.7	4	5		3.5	350	12.5	0.94	15.6	12	14
	4.0	400	9.1	0.18	2.9	4	5		4.0	400	12.5	1.00	16.6	13	15
<b>2</b> ●	4.5	450	9.1	0.19	3.2	5	5	4.5	450	12.8	1.05	17.6	13	15	
	1.7	170	8.5	0.14	2.4	4	5	<b>9</b> ●	1.7	170	11.3	0.73	12.2	11	13
	2.0	200	8.8	0.16	2.6	4	5		2.0	200	11.6	0.80	13.4	12	14
	2.5	250	8.8	0.17	2.9	4	5		2.5	250	11.6	0.92	15.4	14	16
	3.0	300	9.1	0.19	3.2	5	5		3.0	300	12.5	1.05	17.5	13	16
	3.5	350	9.1	0.21	3.5	5	6		3.5	350	13.4	1.15	19.2	13	15
4.0	400	9.4	0.22	3.7	5	6	4.0		400	13.4	1.25	20.9	14	16	
<b>3</b> ●	4.5	450	9.4	0.23	3.9	5	6	4.5	450	13.7	1.35	22.4	14	17	
	1.7	170	8.8	0.18	3.0	5	5	<b>10</b> ●	2.0	200	12.2	1.14	19.0	15	18
	2.0	200	9.1	0.20	3.3	5	5		2.5	250	12.8	1.29	21.4	16	18
	2.5	250	9.1	0.22	3.7	5	6		3.0	300	13.4	1.44	24.0	16	18
	3.0	300	9.4	0.25	4.1	6	6		3.5	350	14.0	1.56	26.1	16	18
	3.5	350	9.4	0.27	4.5	6	7		4.0	400	14.3	1.68	28.0	16	19
4.0	400	9.8	0.29	4.8	6	7	4.5		450	14.3	1.79	29.9	17	20	
<b>4</b> ●	4.5	450	9.8	0.31	5.1	6	7	5.0	500	14.6	1.90	31.7	18	21	
	1.7	170	9.4	0.24	4.1	5	6	<b>11</b> ●	2.0	200	12.8	1.55	25.9	19	22
	2.0	200	9.8	0.27	4.4	6	6		2.5	250	13.7	1.73	28.7	18	21
	2.5	250	9.8	0.30	5.0	6	7		3.0	300	14.0	1.90	31.7	19	22
	3.0	300	10.1	0.34	5.6	7	8		3.5	350	14.6	2.05	34.1	19	22
	3.5	350	10.1	0.37	6.2	7	8		4.0	400	14.9	2.18	36.3	20	23
4.0	400	10.4	0.40	6.6	7	9	4.5		450	15.2	2.30	38.4	20	23	
<b>5</b> ●	4.5	450	10.4	0.43	7.1	8	9	5.0	500	15.5	2.42	40.4	20	23	
	1.7	170	10.1	0.33	5.5	7	8	<b>12</b> ●	2.0	200	12.8	2.03	33.8	25	29
	2.0	200	10.4	0.36	5.9	7	8		2.5	250	13.4	2.26	37.7	25	29
	2.5	250	10.4	0.39	6.5	7	8		3.0	300	14.3	2.51	41.8	24	28
	3.0	300	11.0	0.43	7.2	7	8		3.5	350	14.6	2.70	45.0	25	29
	3.5	350	11.6	0.46	7.7	7	8		4.0	400	14.9	2.88	48.1	26	30
4.0	400	11.6	0.49	8.1	7	8	4.5		450	15.2	3.06	50.9	26	30	
<b>6</b> ●	4.5	450	11.6	0.51	8.6	8	9	5.0	500	15.8	3.22	53.7	26	30	
	1.7	170	10.1	0.42	6.9	8	10	<b>7</b> ●	1.7	170	10.1	0.54	9.0	11	12
	2.0	200	10.4	0.45	7.5	8	10		2.0	200	10.4	0.58	9.7	11	12
	2.5	250	10.7	0.51	8.5	9	10		2.5	250	11.0	0.65	10.8	11	12
	3.0	300	11.0	0.57	9.4	9	11		3.0	300	11.6	0.72	12.0	11	12
	3.5	350	11.6	0.61	10.2	9	11		3.5	350	12.2	0.78	12.9	10	12
4.0	400	11.6	0.66	10.9	10	11	4.0		400	12.2	0.83	13.8	11	13	
<b>7</b> ●	4.5	450	11.9	0.70	11.6	10	11	4.5	450	12.2	0.88	14.6	12	14	



Πίνακας 15 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων PS- Hunter



8A

10A

12A

15A

17A

Γωνία	Πίεση		Ακτίνα			Ακτίνα			Ακτίνα			Ακτίνα			Ακτίνα		
	bar	kPa	m	Παροχή m <sup>3</sup> /hr	l/min	m	Παροχή m <sup>3</sup> /hr	l/min	m	Παροχή m <sup>3</sup> /hr	l/min	m	Παροχή m <sup>3</sup> /hr	l/min	m	Παροχή m <sup>3</sup> /hr	l/min
45° 	1.0	100	2.0	0.04	0.62	2.6	0.04	0.68	3.2	0.04	0.73	4.0	0.08	1.27	4.6	0.10	1.68
	1.5	150	2.2	0.04	0.72	2.8	0.05	0.80	3.4	0.06	0.97	4.3	0.09	1.51	4.9	0.12	1.94
	2.1	210	2.4	0.05	0.83	3.0	0.06	0.94	3.7	0.07	1.23	4.6	0.11	1.79	5.2	0.13	2.23
	2.5	250	2.6	0.05	0.91	3.2	0.06	1.06	3.9	0.09	1.44	4.9	0.12	2.00	5.5	0.15	2.46
	3.0	300	2.9	0.06	1.01	3.5	0.07	1.18	4.1	0.10	1.68	5.2	0.14	2.25	5.8	0.16	2.72
90° 	1.0	100	2.0	0.07	1.24	2.6	0.08	1.35	3.2	0.09	1.46	4.0	0.15	2.53	4.6	0.20	3.36
	1.5	150	2.2	0.09	1.44	2.8	0.10	1.61	3.4	0.12	1.93	4.3	0.18	3.03	4.9	0.23	3.88
	2.1	210	2.4	0.10	1.65	3.0	0.11	1.89	3.7	0.15	2.46	4.6	0.21	3.57	5.2	0.27	4.45
	2.5	250	2.6	0.11	1.82	3.2	0.13	2.11	3.9	0.17	2.88	4.9	0.24	4.01	5.5	0.30	4.92
	3.0	300	2.9	0.12	2.02	3.5	0.14	2.37	4.1	0.20	3.36	5.2	0.27	4.50	5.8	0.33	5.44
120° 	1.0	100	2.0	0.10	1.66	2.6	0.11	1.80	3.2	0.12	1.94	4.0	0.20	3.38	4.6	0.27	4.48
	1.5	150	2.2	0.11	1.92	2.8	0.13	2.14	3.4	0.15	2.58	4.3	0.24	4.03	4.9	0.31	5.17
	2.1	210	2.4	0.13	2.20	3.0	0.15	2.52	3.7	0.20	3.28	4.6	0.29	4.76	5.2	0.36	5.94
	2.5	250	2.6	0.15	2.43	3.2	0.17	2.82	3.9	0.23	3.84	4.9	0.32	5.34	5.5	0.39	6.56
	3.0	300	2.9	0.16	2.69	3.5	0.19	3.16	4.1	0.27	4.48	5.2	0.36	6.00	5.8	0.43	7.25
180° 	1.0	100	2.0	0.15	2.49	2.6	0.16	2.71	3.2	0.17	2.91	4.0	0.30	5.07	4.6	0.40	6.71
	1.5	150	2.2	0.17	2.87	2.8	0.19	3.21	3.4	0.23	3.86	4.3	0.36	6.05	4.9	0.47	7.75
	2.1	210	2.4	0.20	3.30	3.0	0.23	3.78	3.7	0.30	4.92	4.6	0.43	7.14	5.2	0.53	8.91
	2.5	250	2.6	0.22	3.65	3.2	0.25	4.23	3.9	0.35	5.76	4.9	0.48	8.02	5.5	0.59	9.83
	3.0	300	2.9	0.24	4.03	3.5	0.28	4.73	4.1	0.40	6.71	5.2	0.54	9.00	5.8	0.65	10.87
240° 	1.0	100	2.0	0.20	3.32	2.6	0.22	3.61	3.2	0.23	3.88	4.0	0.41	6.76	4.6	0.54	8.95
	1.5	150	2.2	0.23	3.83	2.8	0.26	4.28	3.4	0.31	5.15	4.3	0.48	8.07	4.9	0.62	10.34
	2.1	210	2.4	0.26	4.40	3.0	0.30	5.03	3.7	0.39	6.56	4.6	0.57	9.52	5.2	0.71	11.88
	2.5	250	2.6	0.29	4.86	3.2	0.34	5.64	3.9	0.46	7.68	4.9	0.64	10.69	5.5	0.79	13.11
	3.0	300	2.9	0.32	5.38	3.5	0.38	6.31	4.1	0.54	8.95	5.2	0.72	12.00	5.8	0.87	14.50
270° 	1.0	100	2.0	0.22	3.73	2.6	0.24	4.06	3.2	0.26	4.37	4.0	0.46	7.60	4.6	0.60	10.07
	1.5	150	2.2	0.26	4.31	2.8	0.29	4.82	3.4	0.35	5.80	4.3	0.54	9.08	4.9	0.70	11.63
	2.1	210	2.4	0.30	4.95	3.0	0.34	5.66	3.7	0.44	7.38	4.6	0.64	10.71	5.2	0.80	13.36
	2.5	250	2.6	0.33	5.47	3.2	0.38	6.34	3.9	0.52	8.65	4.9	0.72	12.03	5.5	0.89	14.75
	3.0	300	2.9	0.36	6.05	3.5	0.43	7.10	4.1	0.60	10.07	5.2	0.81	13.50	5.8	0.98	16.31
360° 	1.0	100	2.0	0.30	4.97	2.6	0.32	5.41	3.2	0.35	5.83	4.0	0.61	10.13	4.6	0.81	13.43
	1.5	150	2.2	0.34	5.75	2.8	0.39	6.43	3.4	0.46	7.73	4.3	0.73	12.10	4.9	0.93	15.51
	2.1	210	2.4	0.40	6.61	3.0	0.45	7.55	3.7	0.59	9.84	4.6	0.86	14.28	5.2	1.07	17.82
	2.5	250	2.6	0.44	7.29	3.2	0.51	8.45	3.9	0.69	11.53	4.9	0.96	16.03	5.5	1.18	19.67
	3.0	300	2.9	0.48	8.07	3.5	0.57	9.47	4.1	0.81	13.43	5.2	1.08	18.00	5.8	1.30	21.75

## Πίνακας 16 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων MP 1000

### MP ROTATOR ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ

#### MP1000






Ακτίνα: 2.5 έως 4.5 m

Ρυθμιζόμενου τομέα και πλήρους κύκλου

Μπορνιτώ: 90° έως 210°

Γαλάζιο: 210° έως 270°

Λαδί: 360°

Γωνία	Πίεση			Ακτίνα	Παροχή		Ύψος βροχής mm/hr	
	bar	kPa			m	m <sup>3</sup> /hr	l/min	■
 90°	1.7	170		-	-	-	-	-
	2.0	200		3.7	0.04	0.64	11	13
	2.5	250		4	0.04	0.72	11	13
	2.8	280		4.1	0.05	0.8	11	13
	3.0	300		4.3	0.05	0.87	11	13
	3.5	350		4.5	0.06	0.95	11	13
	3.8	380		4.5	0.06	1.02	12	14
 180°	1.7	170		-	-	-	-	-
	2.0	200		3.7	0.08	1.29	11	13
	2.5	250		4	0.09	1.44	11	13
	2.8	280		4.1	0.1	1.59	11	13
	3.0	300		4.3	0.1	1.67	11	13
	3.5	350		4.5	0.12	1.9	11	13
	3.8	380		4.5	0.12	1.93	12	13
 210°	1.7	170		-	-	-	-	-
	2.0	200		3.7	0.09	1.52	12	13
	2.5	250		4	0.1	1.71	11	13
	2.8	280		4.1	0.11	1.86	11	13
	3.0	300		4.3	0.12	1.93	11	13
	3.5	350		4.5	0.13	2.16	11	13
	3.8	380		4.5	0.14	2.24	11	13
 270°	1.7	170		-	-	-	-	-
	2.0	200		3.7	0.11	1.82	11	12
	2.5	250		4	0.12	2.01	10	12
	2.8	280		4.1	0.14	2.39	11	13
	3.0	300		4.3	0.15	2.54	11	13
	3.5	350		4.5	0.17	2.73	11	13
	3.8	380		4.5	0.17	2.84	11	13
 360°	1.7	170		-	-	-	-	-
	2.0	200		3.7	0.16	2.62	12	13
	2.5	250		4	0.18	2.92	11	13
	2.8	280		4.1	0.19	3.18	11	13
	3.0	300		4.3	0.2	3.34	11	13
	3.5	350		4.5	0.23	3.71	11	13
	3.8	380		4.5	0.23	3.83	11	13



## Πίνακας 17 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων MP 2000

### MP2000

Ακτίνα: 4.0 έως 6.4 m  
 Ρυθμιζόμενου τομέα και  
 πλήρους κύκλου  
 Μαύρα: 90° έως 210°  
 Πράσινα: 210° έως 270°  
 Κόκκινα: 360°

Γωνία	Πίση				Ακτίνα m	Παροχή		Ύψος βροχής mm/hr	
	bar	kPa				m <sup>3</sup> /hr	l/min	■	▲
90°	1.7	170	■	■	5.2	0.08	1.29	12	13
	2.0	200			5.5	0.09	1.44	12	13
	2.5	250			5.8	0.09	1.52	11	13
	2.8	280			6.1	0.1	1.63	11	12
	3.0	300			6.4	0.11	1.74	10	12
	3.5	350			6.4	0.11	1.78	11	12
	3.8	380			6.4	0.11	1.82	11	12
180°	1.7	170	■	■	4.9	0.14	2.27	11	13
	2.0	200			5.2	0.15	2.43	11	13
	2.5	250			5.5	0.16	2.69	11	12
	2.8	280			5.8	0.18	2.92	11	12
	3.0	300			6.1	0.2	3.22	11	12
	3.5	350			6.4	0.21	3.45	10	12
	3.8	380			6.4	0.22	3.6	11	12
210°	1.7	170	■	■	4.9	0.17	2.73	12	14
	2.0	200			5.2	0.17	2.84	11	13
	2.5	250			5.5	0.19	3.07	11	12
	2.8	280			5.8	0.2	3.26	10	12
	3.0	300			6.1	0.21	3.45	10	11
	3.5	350			6.4	0.23	3.71	9	11
	3.8	380			6.4	0.23	3.83	10	11
270°	1.7	170	■	■	4.9	0.2	3.3	11	13
	2.0	200			5.2	0.22	3.6	11	12
	2.5	250			5.5	0.24	3.9	10	12
	2.8	280			5.8	0.25	4.17	10	12
	3.0	300			6.1	0.27	4.43	10	11
	3.5	350			6.4	0.28	4.66	9	11
	3.8	380			6.4	0.3	4.93	10	11
360°	1.7	170	■	■	4.9	0.28	4.55	11	13
	2.0	200			5.2	0.29	4.85	11	13
	2.5	250			5.5	0.32	5.19	10	12
	2.8	280			5.8	0.34	5.61	10	12
	3.0	300			6.1	0.36	5.95	10	11
	3.5	350			6.4	0.39	6.37	9	11
	3.8	380			6.4	0.4	6.59	10	11

## Πίνακας 18 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων MP 3000

### MP3000

Ακτίνα: 6.7 έως 9.1 m  
 Ρυθμιζόμενου τομέα  
 και πλήρους κύκλου  
 Μπλε: 90° έως 210°  
 Κίτρινο: 210° έως 270°  
 Γκρι: 360°

Γωνία	Πίεση				Ακτίνα m	Παροχή		Ύψος βροχής mm/hr	
	bar	kPa				m <sup>3</sup> /hr	l/min	■	▲
90°	1.7	170	■	■	7.6	0.16	2.69	11	13
	2.0	200			8.2	0.17	2.88	10	12
	2.5	250			8.5	0.19	3.11	10	12
	2.8	280			9.1	0.2	3.26	10	11
	3.0	300			9.1	0.21	3.41	10	12
	3.5	350			9.1	0.22	3.6	11	12
	3.8	380			9.1	0.23	3.83	11	13
180°	1.7	170	■	■	7.6	0.33	5.46	11	13
	2.0	200			8.2	0.36	5.99	11	12
	2.5	250			8.5	0.39	6.44	11	12
	2.8	280			9.1	0.42	6.9	10	12
	3.0	300			9.1	0.44	7.31	11	12
	3.5	350			9.1	0.47	7.73	11	13
	3.8	380			9.1	0.49	8.07	12	14
210°	1.7	170	■	■	7.6	0.39	6.37	11	13
	2.0	200			8.2	0.42	6.97	11	12
	2.5	250			8.5	0.46	7.54	11	13
	2.8	280			9.1	0.49	8.03	10	12
	3.0	300			9.1	0.52	8.53	11	12
	3.5	350			9.1	0.55	8.98	11	13
	3.8	380			9.1	0.57	9.44	12	14
270°	1.7	170	■	■	7.6	0.5	8.3	12	13
	2.0	200			8.2	0.55	8.98	11	12
	2.5	250			8.5	0.59	9.66	11	12
	2.8	280			9.1	0.63	10.35	10	12
	3.0	300			9.1	0.66	10.95	11	12
	3.5	350			9.1	0.7	11.6	11	13
	3.8	380			9.1	0.74	12.2	12	14
360°	1.7	170	■	■	7.6	0.66	10.92	11	13
	2.0	200			8.2	0.72	11.94	11	12
	2.5	250			8.5	0.78	12.89	11	12
	2.8	280			9.1	0.84	13.8	10	12
	3.0	300			9.1	0.89	14.63	11	12
	3.5	350			9.1	0.94	15.43	11	13
	3.8	380			9.1	0.98	16.18	12	14

## Πίνακας 19 Τεχνικές πληροφορίες ακροφυσίων MP 3500

### MP3500

Ακτίνα: 9.4 έως 10.7 m

Ρυθμιζόμενου τομέα

Ανοιχτό καρτέ: 90° μέχρι 210°

Γωνία	Πίεση		Ακτίνα	Παροχή		Ύψος βροχής mm/hr	
	bar	kPa		m	m <sup>3</sup> /hr	l/min	■ ▲
90°	1.7	170	10.1	0.24	3.94	9	11
	2.0	200	10.4	0.26	4.28	10	11
	2.5	250	10.4	0.28	4.58	10	12
	2.8	280	10.7	0.29	4.84	10	12
	3.0	300	10.7	0.31	5.22	11	13
	3.5	350	10.7	0.33	5.41	11	13
	3.8	380	10.7	0.34	5.68	12	14
180°	1.7	170	10.1	0.50	8.36	10	11
	2.0	200	10.4	0.51	8.48	9	11
	2.5	250	10.4	0.60	10.03	11	13
	2.8	280	10.7	0.65	10.83	11	13
	3.0	300	10.7	0.70	11.73	12	14
	3.5	350	10.7	0.73	12.15	13	15
	3.8	380	10.7	0.75	12.41	13	15
210°	1.7	170	10.1	0.59	9.80	10	12
	2.0	200	10.4	0.65	10.75	10	12
	2.5	250	10.4	0.70	11.66	11	13
	2.8	280	10.7	0.75	12.45	11	13
	3.0	300	10.7	0.80	13.40	12	14
	3.5	350	10.7	0.85	14.23	13	15
	3.8	380	10.7	0.90	14.91	13	16
270°	1.7	170					
	2.0	200					
	2.5	250					
	2.8	280					
	3.0	300					
	3.5	350					
	3.8	380					
360°	1.7	170					
	2.0	200					
	2.5	250					
	2.8	280					
	3.0	300					
	3.5	350					
	3.8	380					

Συνιστώμενη πίεση λειτουργίας 2.8 bar