

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΧΗΜΕΙΟΚΕΙΣ ΑΡΑΒΙΣΤΡΟΝ

Μ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ - ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ
ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

Βόλος, Ιανουάριος 2004



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος της άρδευσης με σταχόνες ή στάχδην άρδευσης (drip ή trickle irrigation), έχει παρουσιάσει τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμια κλίμακα μία αυξανόμενη τάση εφαρμογής. Η μέθοδος συνιστάται στην εφαρμογή νερού υπό μορφή σταχόνων στην περιοχή του ριζοστρώματος των φυτών με τη βοήθεια ειδικών σταλακτήρων, (drippers ή emitters), που είναι τοποθετημένοι σε ορισμένες αποστάσεις επάνω σε σωλήνες από πολυαιθυλένιο, πολύ μικρής διαμέτρου, οι οποίοι είναι απλωμένοι στο έδαφος κατά μήκος των γραμμών φύτευσης των φυτών.

Η πίεση του νερού στους σταλακτήρες είναι 0.2 ~ 2 ατμόσφαιρες και η παροχή τους πολύ μικρή γύρω στα 1 - 10 l / h / σταλακτήρα. Στο νερό πολλές φορές προσθέτονται λιπάσματα ή φάρμακα, η δε πίεσή του εξασφαλίζεται από κάποια αντλία ή σπανιότερα από δεξαμενή τοποθετημένη στο υψηλότερο τμήμα του αγρού. Τα ποτίσματα γίνονται με πολλή μικρή παροχή ανά σταλακτήρα έτσι ώστε να μην έχουμε επιφανειακό λίπασμα ή απορροή και με μεγάλη συχνότητα ώστε να διατηρείται η τάση του νερού στο έδαφος σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Ιστορικά, θα μπορούσε να πει κανείς, ότι η πρώτη παρατήρηση των πλεονεκτημάτων της άρδευσης με μικρές παροχές έγινε το 1860 στην Γερμανία, όταν οι γεωργοί χρησιμοποιούσαν ένα στραγγιστικό σύστημα από πηλοσωλήνες με ανοικτούς αρμούς για άρδευση και στράγγιση ταυτοχρόνα. Η απόδοση των καλλιεργειών στην περιοχή αυξήθηκε σημαντικά.

Το 1930 στην Αυστραλία οι παραγωγοί έχοντας στην διάθεσή τους πολύ μικρές ποσότητες νερού για άρδευση, κατασκεύασαν ένα σύστημα από χαλβανισμένους σωλήνες διαμέτρου 5cm, στους οποίους άνοιξαν οπές για την έξοδο του νερού, με σκοπό να ποτίσουν φυστικιές.

Το 1930 ένα Ισραηλινός μηχανικός ο Symch Blass, παρατήρησε ότι δίπλα σε μία κάνουλα που είχε διαρροή, η ανάπτυξη των φυτών ήταν μεγαλύτερη. Έτσι στην αρχή κατασκεύασε ένα υπόγειο σύστημα αγωγών στο οποίο ενσωμάτωσε διόδους νερού τύπου σπιδάη, αρκετού μήκους. Η τεχνική αυτή αρχότερα βελτιώθηκε από τον ίδιο και από άλλους κατασκευαστές, ιδίως μετά την εμφάνιση των πλαστικών σωλήνων, οπότε η τοποθέτηση των συστημάτων άρδευσης γινόταν στην επιφάνεια του εδάφους και τα δίκτυα ήταν μόνιμα.

Το 1960 πειραματιστές στο Ισραήλ σημείωσαν θεαματική επιτυχία όταν εφάρμοσαν τη μέθοδο στις ερήμους Negev και Arava. Στις περιοχές αυτές οι αγροί είχαν υποβαθμιστεί με την άρδευση με αυλάκια και τον καταιονισμό. Η κύρια αιτία ήταν ότι το νερό περιείχε άλατα. Στην

στάχθην άρδευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί νερό υψηλότερης αλατότητας από την επιτρεπτή σε άλλες μεθόδους άρδευσης, όπως θα αναφερθεί παρακάτω. Οι συνθήκες για την ανάπτυξη της γεωργίας στις ερήμους, ως γνωστό, δεν είναι ευνοϊκές. Το νερό είναι γεμάτο άλατα, οι θερμοκρασίες υψηλές, η σχετική πίεση μικρή, το έδαφος είναι αμμώδες. Σ' αυτές τις συνθήκες όμως η στάχθην άρδευση έφερε σημαντική βελτίωση στην ανάπτυξη των φυτών και αύξηση των αποδόσεων. Για παράδειγμα στην έρημο Arava οι αποδόσεις της χειμερινής τομάτας έφθασαν από 35,8 τόννους ανά εκτάριο (άρδευση με καταιονισμό), σε 58,3 τόννους ανά εκτάριο με στάχθην άρδευση.

Το 1976 η μέθοδος με σταχόνες σημείωσε μεγαλύτερη πρόοδο στο Ισραήλ, χάριν στην μελέτη της από τον Goldberg και στους συνεργάτες του. ---

Στις Η.Π.Α η στάχθην άρδευση αναφέρεται για πρώτη φορά κατά τους Dasberg & Bresler, στην εργασία του Reuther (1944), ο οποίος πρόσεξε τα σημαντικά πλεονεκτήματα της στα φοινικοδενδρα.

Η τεχνολογική της όμως ανάπτυξη επιτεύχθηκε μόνο με την "πληστική επανάσταση" μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο, οπότε και εμφανίστηκαν οι πληστικοί σωλήνες στην αγορά. Στην αρχή τα δίκτυα τοποθετήθηκαν υπό το έδαφος, αλλά ένεκα της συχνής απόφραξης τους απο το ριζικό σύστημα των φυτών μετακινήθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους. Έτσι άρχισε να εφαρμόζεται σε θερμοκήπια τομάτας στην Αγγλία το 1945 - 1948, όπου εχορηγείτο νερό στα φυτά δια μέσου σταλακτήρων βιδωτού τύπου, παροχής 1 - 2 l/h ή διαμέσου πολύ λιπτών σωληνίσκων διαμέτρου 1mm (σύστημα Volmatic στη Δανία). Η χρησιμοποίηση σπειροειδών σταλακτήρων από τον Blass στο αρχικό του σύστημα, είχε σκοπό αφενός την αποφυγή απόφραξης και αφετέρου την μείωση της πίεσης του νερού λόγω της επιμήκυνσης της διαδρομής του.

Η στάχθην άρδευση εφαρμόζεται σε ποικίλα εδάφη κάτω από ποικιλόμορφες τοπογραφικές συνθήκες, έτσι ώστε η σχεδίαση ενός συστήματος, με σκοπό να διατηρεί ομοιόμοφη παροχή, να έγκειται στην εμπειρία και ικανότητα του υδραυλικού μηχανικού.

Επειδή όμως η εγκατάσταση ενός δικτύου εξαρτάται και από την καλλιέργεια που θα αρδεύσει και από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες η καλλιέργεια αναπτύσσεται, είναι αναγκαία η συνεργασία με τους γεωπόρους.

Άρκετές μελέτες έχουν γίνει για τον προσδιορισμό των εξισώσεων που καθορίζουν το ποσοστό του νερού που καταναλώνεται από τα φυτά. Οι παράγοντες που υπεισέρχονται σ' αυτές τις εξισώσεις περιλαμβάνουν την φύση της εξατμίζουσας επιφάνειας του εδάφους, την επίδραση του ανέμου, της θερμοκρασίας, την ποιότητα του νερού και το ποσό της διαθεσίμου ενέργειας. Όταν προσδιοριστεί αυτό το ποσοστό του νερού,

συμπεριλαμβανομένου και του νερού που απαιτείται για την έκπλυση των αλάτων του εδάφους, είναι δυνατόν στη συνέχεια να προσδιοριστεί το νερό που θα διοχετευθεί στην καλλιέργεια, δια μέσου των σταλακτήρων.

Το νερό κινείται κάτω από το έδαφος δημιουργώντας μια υγρή ζώνη γύρω από το ριζικό σύστημα. Το μέγεθος και το σχήμα της ποικίλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τον ρυθμό με τον οποίο το φυτό προσλαμβάνει νερό με τις ρίζες του, τον αριθμό και την θέση των σταλακτήρων ανά φυτό. Από τους μεγαλύτερους πόρους του εδάφους το νερό της άρδευσης κινείται προς τα κάτω με τη βαρύτητα, ενώ από τους μικρότερους πόρους απλώνεται προς όλες τις διευθύνσεις με τα τριχοειδή. Στα λεπτόκοκκα εδάφη οι τριχοειδείς δυνάμεις είναι μεγαλύτερες από τη βαρύτητα και η διαβρεχόμενη περιοχή είναι περίπου σφαιρική. Στα αμμώδη εδάφη τα οποία δεν συκρατούν το νερό η περιοχή επιμηκώνεται προς τα κάτω. Γενικά το σχήμα του εδαφικού όγκου που διαβρέχει κάθε σταλακτήρας είναι από κώνο έως πολύ ακανόνιστο και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που είναι: μηχανική σύσταση του εδάφους, πορώδες, καλλιερχητική κατάσταση, συμπίεση, παρουσία ή όχι ριζών, παρουσία ή όχι εδαφικών στρώσεων, κλίση, παροχή σταλακτήρων, ισαποχή σταλακτήρων μεταξύ των κ.ά (Α. Γιακουμάκης, 1985).

Η άρδευση με σταχόνες κερδίζει συνεχώς όλο και περισσότερο έδαφος στην εφαρμογή της σε βάρος της τεχνητής βροχής και της επιφανειακής άρδευσης, η οποία περιορίζεται ακόμα περισσότερο εφαρμοζόμενη μόνο σε καλλιέργειες που δεν μπορούν να ποτιστούν με άλλο τρόπο. Στη χώρα μας η μέθοδος χρησιμοποιείται σε όλα σχεδόν τα διαμερίσματά της και ιδιαίτερα στην Κρήτη. Στην αρχή επεκτάθηκε στα θερμοκήπια ή σε εξαιρετικά αποδοτικές καλλιέργειες, αλλά λόγω της μείωσης του κόστους εξαιτίας της βιομηχανικής παραγωγής των σωληνώσεων και των διαφόρων εξαρτημάτων της, εφαρμόζεται και σε άλλες καλλιέργειες όπως αμπέλια, εσπεριδοειδή, ελαιώνες, λαχανικά.

Η μικρή απαίτηση της μεθόδου σε εργατικά ημερομίσθια τα οποία έχουν σημειώσει μεγάλη άνοδο και οι υψηλές αποδόσεις των καλλιεργειών όπου χρησιμοποιείται, τείνουν να καθύψουν το υψηλό κόστος της εγκατάστασης της και συντελούν στην περαιτέρω εξάπλωσή της.

2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Στα συστήματα επιφανειακής άρδευσης και άρδευσης με καταιογισμό, το νερό εφαρμόζεται ανά σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα ανάμεσα στις αρδεύσεις η εξατμισοδιαπνοή και η απορρόφηση του νερού από τα φυτά να δημιουργεί υδατικό έλλειμμα.

Κατά την άρδευση με σταχόνες το νερό εφαρμόζεται σε μικρές ποσότητες και υψηλές συχνότητες μόνο σε ένα ορισμένο ποσοστό της επιφάνειας του αγρού. Επίσης άλλα κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους είναι η συνολική ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού, το ποσοστό που εφαρμόζεται ανά μονάδα διαβρεχόμενης επιφάνειας, το νερό που χρησιμοποιείται από τα φυτά και η απόδοση του αγρού. Ειδικότερα αναριθμώντας τα πλεονεκτήματα της μεθόδου σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους μπορούν να αναφερθούν:

2.1. Έλεγχος

Επειδή η άρδευση με σταχόνες γίνεται δια μέσου ενός σταθερού συστήματος αγωγών, είναι ευκολότερος ο έλεγχος του νερού που δίδεται σε κάθε άρδευση. Δεν υπάρχουν διακοπές των αρδεύσεων λόγω ανέμου όπως συμβαίνει στον καταιογισμό. Επίσης δεν αρδεύεται ολόκληρη η έκταση του αγρού αλλά μόνο θηρίδες κοντά στα φυτά και έτσι μπορούν να χύγουν καθλιερχητικές ερχασίες όπως ψεκασμοί ή συσκομιδή, χωρίς να διακόπτεται η άρδευση. Επί πλέον η αυτοματοποίησή της είναι εφικτή διότι μία μόνο βαθίδα μπορεί να ελέγξει μία σχετικά μεγάλη αρδευόμενη περιοχή. Τελευταία η ύπαρξη υπολοχιστών στα δίκτυα με σταχόνες συντονίζει με μεγάλη επιτυχία τις αρδεύσεις. Έτσι ο βαθμός απόδοσής της φθάνει εύκολα τα 90% συγκρινόμενη με το 60 - 80% του καταιογισμού και το 50 - 60% της επιφανειακής άρδευσης.

2.2. Διατήρηση μικρών αρνητικών πιέσεων στο έδαφος

Η υγρασία στο έδαφος κατά την εφαρμογή της άρδευσης με σταχόνες παραμένει σχεδόν σταθερά διότι το νερό διοχετεύεται σε μικρές ποσότητες και πολύ συχνά. Έτσι η αρνητική πίεση του νερού στο έδαφος (η δύναμη με την οποία το νερό συγκρατείται από το έδαφος), παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Η καλύτερη υγρασία για τα φυτά θεωρείται η υδατοϊκανότητα, δηλαδή η υγρασία που παραμένει στο έδαφος αφού απομακρυνθεί με την στράγγιση το νερό της βαρύτητας, οπότε η αρνητική πίεση κυμαίνεται από 0 έως 3 ατμόσφαιρες.

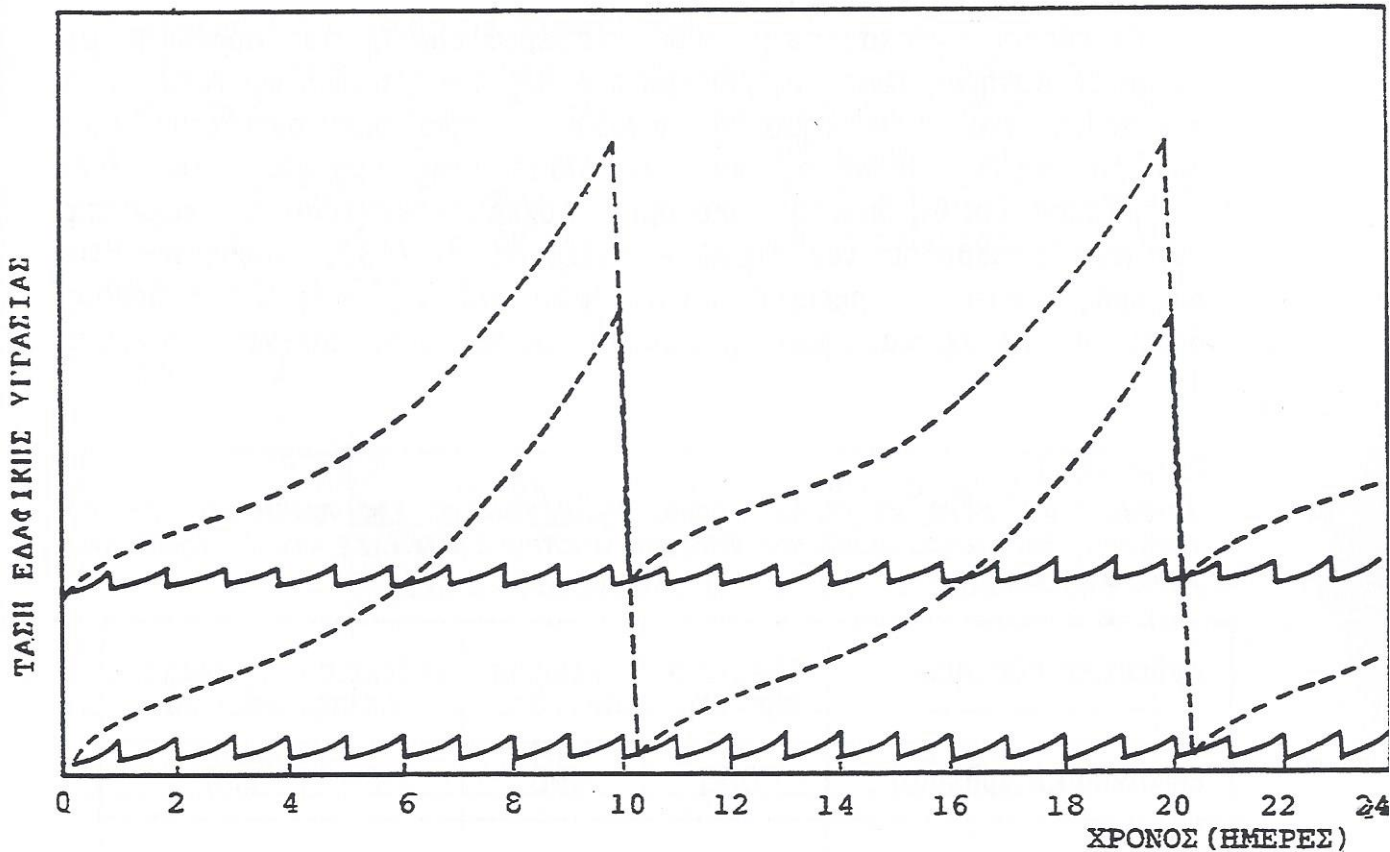
Με την στάχθη άρδευση ο παραγωγός μπορεί να ρυθμίσει την παροχή έτσι ώστε η υγρασία να βρίσκεται διαρκώς σ' αυτά τα επίπεδα. Έτσι τα φυτά αναπτύσσονται χωρίς stress σε ένα ιδανικό περιβάλλον υγρασίας.

Με τις άλλες μεθόδους άρδευσης στα διαστήματα ανάμεσα στις άρδευσεις το νερο χάνεται με την εξατμισοδιαπονή και εκείνο που παραμένει στο έδαφος συκκρατείται με τέτοιες δυνάμεις (μεγάλες αρνητικές πιέσεις), ώστε δύσκολα τα φυτά μπορούν να το παραλάβουν. (Σχ. 1). Εάν δε κάποια άρδευση καθυστερήσει αδικαιολόγητα οι συνέπειες που δημιουργούνται στα φυτά από το stress που θα υποστούν είναι δυσμενείς στην ανάπτυξη και απόδοσή τους.

2.3. Πρωίμηση της παραγωγής

Ένα απο τα ευνοϊκότερα αποτελέσματα της έλλειψης stress στα φυτά με την άρδευση με σταγόνες είναι ότι αναπτύσσονται ομοιόμορφα και φθάνουν έτσι στην ωρίμανση ενωρίτερα από εκείνα που ποτίζονται με άλλες μεθόδους.

Έτσι επιτυγχάνεται και πρωίμηση και αύξηση των αποδόσεων.



Σχ. 1. Άρνητική πίεση εδαφικού νερού (κατά Κ. Shoji) που δημιουργείται στο έδαφος κατά την άρδευση με σταγόνες (συνεχής γραμμή) και επιφανειακή άρδευση ή καταιονισμό (διακεκομμένη γραμμή). Κατά την στάγδην άρδευση το νερό εφαρμόζεται καθημερινά. Η πίεση αυξάνει ελάχιστα κατά την 12η έως 18η ώρα κάθε ημέρας. Με τις άλλες μεθόδους όπου οι άρδευσεις γίνονται μετα ορισμένα χρονικά διαστήματα (μέρες), η πίεση αυξάνεται σημαντικά μεταξύ των άρδευσεων. Οι επάνω διακεκομμένες παριστούν άρδευση με αλατούχο νερό, ενώ οι κάτω με καθαρό.

Μία πρώτη συζκομιδή πωλείται σε υψηλότερες τιμές, συνδυαζόμενη δε και με υψηλές αποδόσεις οι οποίες επιτυγχάνονται λόγω της ομοιόμορφης ανάπτυξης, μπορεί να δώσει το υψηλότερο επιθυμητό οικονομικό αποτέλεσμα.

2.4. Οικονομία νερού

Το σύστημα παρουσιάζει τον μικρότερο βαθμό απωλειών τόσο κατά την μεταφορά του νερού όσο και κατά την εφαρμογή του. Η εξοικονόμηση νερού είναι κατά 25% μεγαλύτερη από την άρδευση με καταιοτισμό και 50% από τις επιφανειακές μεθόδους άρδευσης (Κ. Κων/γίδης 1985). Σ' αυτό συντελεί η μείωση των απωλειών από επιφανειακή απορροή (γιατί η παροχή των σταλακτήρων είναι μικρότερη της διήθησης) και από βαθειά διήθηση.

2.5. Οικονομικά και ενεργειακά οφέλη

Το κόστος εγκατάστασης ενός σταθερού συστήματος άρδευσης με σταχόνες συνήθως είναι υψηλότερο από τις άλλες μεθόδους. Αυτό είναι οπωσδήποτε ένα μειονέκτημα της μεθόδου το οποίο όμως αντισταθμίζεται από το κόστος άντλησης και το κόστος της εργασίας που είναι χαμηλότερα. Επειδή όμως η οικονομική σύγκριση δυσχεραίνεται λόγω της συνεχούς μεταβολής των τιμών ο Batty et al (1975) σύγκριναν τις διαφορές στην ενεργειακή κατανάλωση για τις διάφορες μεθόδους άρδευσης, που σχεδιάστηκαν για φάρμα 64 ha, όπως δείχνει ο πίνακας 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.

Συνολικά δεδομένα σε MJ/ha (συμπεριλαμβανομένης της προετοιμασίας του εδάφους), για πέντε αρδευτικά συστήματα και για απαίτηση νερού 915mm και μηδενική ανύψωση

Αρδευτικό σύστημα	Ενέργεια εχκ/σης	ενέργεια αντ/σης	ενέργεια εργασίας	Συνολική ενέργεια
Επιφανειακή άρδευση	1858	498	3.9	2361
Σταθερή με κατ/σμό	5102	7958	0.8	13060
Χειροκίνητη με κατ/σμό	1649	8309	5.0	10008
Κανόνι βροχής	4014	8929	0.8	12943
Στάχδην	5493	4839	0.8	10323

Από τον πίνακα 1 φαίνεται η υπεροχή της στάχδην άρδευσης ως προς την κατανάλωση ενέργειας άντλήσης έναντι του καταιονισμού. Στο προτέρημα αυτό προστίθεται και ο μεγάλος βαθμός απόδοσης κατά την άρδευση με σταχόνες. Μεγαλύτερη κατανάλωση εργασίας γίνεται στην επιφανειακή και στην άρδευση με φορητό καταιονισμό. Μελέτες σύγκρισης μεταξύ στάχδην και άρδευσης με μετακινούμενο κανόνι βροχής για συμπληρωματικές αρδεύσεις σε οπωρώνες, έδειξαν όμοιο κόστος στην εργασία, αλλά οι συνολικές δαπάνες νερού, εκκατάσταση, και άντληση ήταν λιγότερες από τις μισές δαπάνες για την άρδευση με κανόνι βροχής.

2.6. Χρήση χαμηλής ποιότητας αρδευτικού νερού

Κατά την άρδευση με υφάλμηρο νερό με τις άλλες μεθόδους, η συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος αυξάνει καθώς το έδαφος ξηραίνεται μεταξύ των διαδοχικών ποτισμάτων. Στην περίπτωση αυτή η τάση της συγκράτησης του νερού από το έδαφος αυξάνει διότι προστίθεται η ωσμωτική πίεση, με συνέπεια τα φυτά να δυσκολεύονται περισσότερο να αποσπασουν το νερό από το έδαφος. Τα άλατα διαδοχικά συσσωρεύονται με αποτέλεσμα η καλλιέργεια να εξασθενίζει.

Με την στάχδην άρδευση η συγκέντρωση των αλάτων ελέγχεται λόγω της διαρκούς εκηύσεως. Τα άλατα απωθούνται προς την περιφέρεια της περιβρεχόμενης περιοχής. Τα φυτά μπορούν να πάρουν νερό από το κέντρο της ζώνης διαβροχής όπου η τάση είναι χαμηλή. Στον πίνακα 2 (Γιακουμάκης, 1975) φαίνονται αυτές οι διαφορές στην παραγωγή τομάτας σε τόννους ανά στρέμμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Μέθοδος ποτίσματος	Παραγωγή σε τόννους ανά στρέμμα	
	Καλή ποιότητα νερού (E.C. = 400μhos/cm)	Αθιατούχο νερό (E.C. = 300μhos/cm)
Σταχόνες	6.67	6.50
Τεχνητή βροχή	5.20	3.92

2.7. Μερική διαβροχή του εδάφους

Με την στάχδην άρδευση το νερό εφαρμόζεται τοπικά στην καλλιέργεια με αποτέλεσμα μόνο ένα τμήμα του εδάφους να διαβρέχεται.

Το πλεονέκτημα στην περίπτωση αυτή είναι ότι περιορίζεται σημαντικά η εξάτμιση από έδαφος, περιορίζεται η ανάπτυξη των ζιζανίων, διευκολύνεται η μετακίνηση στις ξηρές περιοχές των μηχανημάτων για φεκασμούς, συγκομιδή και άλλες καθημερινές εργασίες.

2.8. Διατήρηση Ξηρού φυλλώματος

Το Ξηρό φύλλωμα καθυστερεί την ανάπτυξη ποσικών παθογόνων μικροοργανισμών στα φυτά. Η στάχδην άρδευση δεν διαβρέχει τα φύλλα και έτσι δεν εκπλύνονται τα φυτοφάρμακα από την επιφάνεια τους. Επί πλείον δεν παρατηρείται κάψιμο του υπέρχειου τμήματος των φυτών από αλλοιούχο αρδευτικό νερό.

2.9. Εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων

Κατά την άρδευση με σταχόνες είναι δυνατόν να προστεθούν στο νερό άρδευσης λιπάσματα, διαδικασία η οποία έχει διάφορα προτερήματα έναντι των άλλων μεθόδων ως προς την οικονομία χρήματος και εργατικών χεριών. Επί πλείον η εφαρμογή τους είναι πιο ακριβής διότι γίνεται απ' ευθείας στη ζώνη διαβροχής και έτσι απορροφάται χρήσιμα από τα φυτά. Εν τούτοις τα λιπάσματα πρέπει να είναι πλήρως διαλυτά προς αποφυγή απόφραξης των σταλακτήρων. Η στάχδην άρδευση ενδείκνυται ιδιαίτερα για προσθήκη φυτοφαρμάκων κατά των ασθενειών εδάφους διότι αυτά είναι πιο αποδοτικά σε μικρές δοσολογίες.

2.10. Εφαρμογή σε δύσκολα εδάφη

Ένα από τα πλεονεκτήματα της άρδευσης με σταχόνες είναι ότι μπορούν να αρδευθούν περιοχές στις οποίες οι άλλες μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν. Τα αβοκάντος αναπτύσσονται με επιτυχία στο Σαν Ντιένγκο σε απότομες βραχώδεις περιοχές με στάχδην άρδευση. Πολλή διαπερατά εδάφη, όπως τα αμμώδη, ερημικές ή τροπικές περιοχές με μεγάλη έκληση, έχουν χόνιμες χάρην σ' αυτή την μέθοδο.

2.11. Προστασία στο περιβάλλον

Αποφεύγεται η πιθανή ρύπανση των επιφανειακών ή υπογείων υερών από λιπάσματα ή φυτοφάρμακα που υπάρχουν στο έδαφος, γιατί δεν έχουμε βαθιά διήθηση ή επιφανειακή απορροή.

Επίσης έχει βρεθεί (Oron et al, 1979) ότι κατά την στάχδην άρδευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και νερό αποχετεύσεων μετά από την δεύτερη κατεργασία και κατάλληλο φιλτράρισμα.

2.12. Άρδευση μεγαλύτερων εκτάσεων

Με την πολύ μικρή παροχή που απαιτείται για την άρδευση ποτίζονται συγχρόνως με μία δεδομένη παροχή αναλογικά μεγαλύτερες εκτάσεις απ' ό,τι στα άλλα συστήματα. Επι πλείον είναι χρησιμοποιήσιμες παροχές μέχρι $5\text{m}^3/\text{h}/\text{στρ.}$ κατ' ευθείαν, ενώ στα άλλα συστήματα θα χρειαζόταν δεξαμενές αποταμίευσης.

Οι μικρές παροχές επίσης αποτρέπουν την άνοδο του υπόγειου ορίζοντα όπου υπάρχει παρόμοιο πρόβλημα. Επίσης δεν παρασύρρεται το νερό από τον άνεμο κατά την άρδευση.

3. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

3.1. Κόστος εγκατάστασης

Οποσδήποτε το κόστος της πρώτης εγκατάστασης είναι υψηλό, οι παρατηρούμενες όμως υψηλές αποδόσεις των καλλιεργειών σε συνδυασμό με το μικρό ποσοστό εργατικών χερών που απαιτεί η μέθοδος και χάρη στην μείωση του κόστους λόγω της βιομηχανικής παραγωγής των σωληνώσεων και άλλων εξαρτημάτων, τείνουν να εμφανίσουν αμελητέο το εν λόγω μειονέκτημα.

3.2. Εμφράξεις σταλακτήρων

Διακρίνονται σε

- Μηχανικές εμφράξεις.

Οφείλονται στην παρουσία στερεών σωματιδίων στο νερό άρδευσης.

Οι σταλακτήρες έχουν διάμετρο από 0.5 - 1mm και μπορούν να βουλώσουν εύκολα από άμμο, διεύδυση ριζών (μόνο στα υπόγεια δίκτυα) ή σωματίδια αρχιλλίου. Η προστασία συνίσταται στη χρησιμοποίηση καταλλήλων φίλτρων, που καθαρίζονται συχνά.

- Χημικές εμφράξεις

Οφείλονται σε ιζήματα σιδήρου ή ασβεστίου, καθίζηση ανθρακικών αλάτων τα οποία συσσωρεύονται με τη βοήθεια βακτηρίων.

Αποφεύγονται με χημική κατεργασία του νερού (χλωρίωση κ.λπ.)

- Βιολογικές ή οργανικές εμφράξεις.

Οφείλονται στην ανάπτυξη μικροοργανισμών στους σωλήνες (βακτήρια, μύκητες, άλγη, πρωτόζωα), οι οποίοι υπό μορφή αποικιών φράζουν τους σταλακτήρες. Η καταπολέμησή τους είναι δύσκολη. Καλό είναι να γίνεται πλύσιμο του δικτύου 1 - 3 φορές στην αρδευτική περίοδο.

3.3. Συσσώρευση αλάτων

Τα άλατα όπως αναφέρθηκε συσσωρεύονται στην περιφέρεια της υγρής ζώνης. Αυτά μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στις επόμενες καλλιεργείες εάν αρδευθούν με μία άλλη μέθοδο άρδευσης κυρίως σε ξηρές περιοχές όπου οι βροχές δεν είναι αρκετές για να εκπλύνουν τα άλατα. Το πρόβλημα ελαττώνεται αν γίνει άρδευση με καταιονισμό ή επιφανειακή ή αν η επόμενη καλλιεργεία αρδύεται πάλι με σταχόνες στα ίδια σημεία.

3.4. Μηχανικές ζημιές

Προκαλούνται από τα καλλιεργητικά μηχανήματα ή τα ζώα (τρικτικά, πτηνά, θηλαστικά).

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Μέθοδοι άρδευσης ονομάζονται οι διάφοροι τρόποι εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο έδαφος.

Οι μέθοδοι αυτές εξαρτώνται από τις εδαφικές, κλιματικές και υδρολογικές συνθήκες, την τοπογραφική διαμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους, το είδος της καλλιέργειας και γενικά από την γεωρχοτεχνική ανάπτυξη στον τομέα των άρδευσεων.

Για να είναι επιτυχής μία άρδευση πρέπει:

1. να εφοδιάζει το χωράφι με τόσο νερό ώστε η υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος να φθάσει στην υδατοϊκανότητα, δηλαδή να εφοδιάσει το έδαφος με νερό ίσο με την ωφέλιμη υγρασία.
2. να περιορίσει στο ελάχιστο τις επιφανειακές απώλειες από την βαθείά διήθηση, ώστε η αποδοτικότητα εφαρμογής να φθάνει την μονάδα.
3. να εφαρμόζεται το νερό ομοιόμορφα στην επιφάνεια του αγρού επί όσο χρόνο χρειάζεται για να διηθηθεί στο έδαφος ποσότητα ίση με την ωφέλιμη υγρασία.

Οι μέθοδοι άρδευσης διακρίνονται, ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής του νερού, σε επιφανειακές μεθόδους, καταιογισμό και στάχδη άρδευση.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Κατά την επιφανειακή άρδευση το νερό εφαρμόζεται στον αγρό έτσι ώστε να διηθηθεί κατά την διάρκεια της ροής ή κατά την παραμονή του εναυτού.

Στην πρώτη περίπτωση η επιφάνεια του αγρού παρουσιάζει κάποια κλίση χιαυτό η άρδευση που εφαρμόζεται λέχεται κεκλιμένη άρδευση. Το νερό ρέει είτε συγκεντρωμένο σε αυτιάκια είτε διαχέεται μέσα σε λωρίδες και ρέει επάνω σ' αυτές διηθούμενο συγχρόνως στο έδαφος.

Στην δεύτερη περίπτωση, η επιφάνεια του χωραφιού πρέπει πρακτικά να είναι οριζόντια, χιαυτό η άρδευση που εφαρμόζεται λέχεται οριζόντια άρδευση. Στην περίπτωση αυτή το νερό παροχετεύεται σε λεκάνες, όπου παραμένει μέχρι να διηθηθεί το απαιτούμενο για την άρδευση ύψος νερού.

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Μία μονάδα άρδευσης με σταχόγες αποτελείται από τα εξής μέρη:

4.1. Κεφαλή

Η κεφαλή η μονάδα ελέγχου συνδέεται με την υδροληψία ή το αντλητικό συγκρότημα. Αποτελείται από διάφορα μέρη όπως φαίνεται στο Σχ. 2 (Γιακουμάκης, 1985).

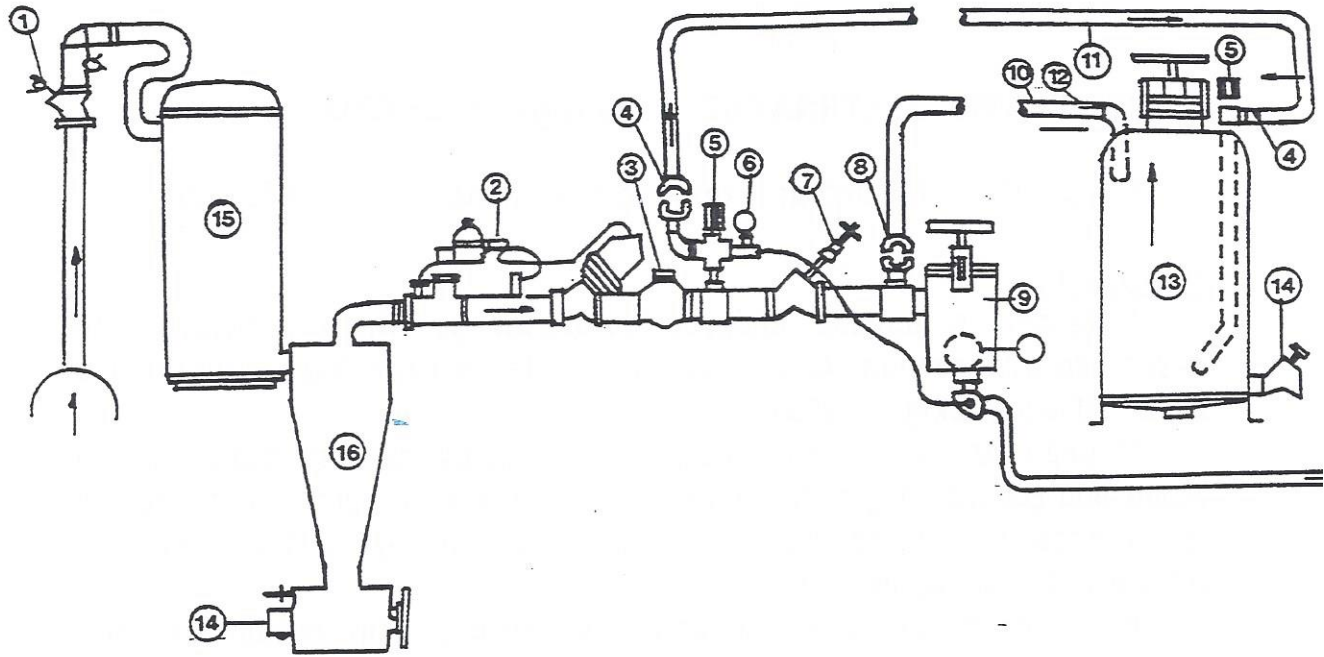
Τα μέρη αυτά είναι : ένα υδρόμετρο που καταγράφει την ποσότητα του νερού που ξοδεύεται για την χρέωση και μπορεί να ρυθμιστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε το συγκρότημα να διακόπτει την παροχή ύστερα από την διέλευση της επιθυμητής ποσότητας νερού.

Μπορεί να περιλαμβάνονται επίσης ανάλοχα με την καθαρότητα του νερού μηχανισμοί για την συγκράτηση φερτών υλών μεγαλύτερου ειδικού βάρους από το νερό (υδροκυκλώνας) ή φίλτρα για τη συγκράτηση ελαφρύτερων υλικών (φίτρα χαλικών η σίτας). Ο υδροκυκλώνας είναι μεταλλικό δοχείο το οποίο λειτουργεί με την φυγόκεντρο, οπότε στη βάση του συσσωρεύεται η άμμος. Το φίλτρο χαλικιών είναι μεταλλικό δοχείο που περιέχει στρώματα χαλικιών διαφόρων διαμέτρων και στη μέση ένα στρώμα χονδρής άμμου. Τα φίλτρα σίτας περιέχουν ομόκεντρους κυλίνδρους διάτρητους καθυμένους με σίτα με αριθμό mesh πολύ μικρότερο από το άνοιγμα των σταλακτήρων. Κάτι ανάλοχο με τα φίλτρα σίτας είναι και τα φίλτρα δίσκων. Τα δύο τελευταία είδη φίλτρων χρησιμοποιούνται για φερτά υλικά μικρής διαμέτρου ενώ τα φίλτρα χαλικών για μεγάλο όγκο ελαφρών φερτών υλικών (άλη). Τα φίλτρα χρειάζονται καθάρισμα γιατί βουλώνουν. Καλό είναι να υπάρχουν μετρητές πιέσεων πριν και μετά το φίλτρο ώστε να εκτιμάται μέχρι ποίου σημείου το φίλτρο έχει βουλώσει. Σήμερα στο εμπόριο υπάρχουν και φίλτρα αυτοκαθαριζόμενα.

Η κεφαλή μπορεί να είναι εφοδιασμένη και με δοχείο λίπανσης μέσα στο οποίο τοποθετείται η ποσότητα του λιπάσματος, από το οποίο το νερό που περνάει μέσα από το δίκτυο παίρνει την επιθυμητή ποσότητα λιπάσματος. Ο τρόπος αυτός λέγεται υδρολίπανση και έχει το πλεονέκτημα ότι γίνεται οικονομία σε ποσότητα λιπάσματος που διατίθεται στα φυτά και οικονομία σε εργατικά χέρια.

Η σύνδεση του υδρολίπαντήρα γίνεται στον κύριο αγωγό με δύο σωληνώσεις εισαγωγής - εξαγωγής. Η εισαγωγή του λιπάσματος στον κύριο αγωγό γίνεται ή με διαφορετική πίεση ή με άντληση.

Κατά την πρώτη μέθοδο μεταξύ των σωληνώσεων εισαγωγής - εξαγωγής επάνω στον κύριο αγωγό υπάρχει βάννα στραγγαλισμού της παροχής η οποία βοηθάει τον στραγγαλισμό της παροχής και δημιουργεί μία διαφορά της τάξης $1/2 \text{ atm}$ έτσι ώστε με ευκολία να περνάει το νερό μέσα από το δοχείο και να διαλυτοποιεί το λίπασμα. Τη θέση της βάννας μπορεί να



Σχ. 2. Κεφαλή ή μονάδα ελέγχου.

1. Γενική βάννα
2. Αυτόματος ογκομετρικός διακόπτης με υδρόμετρα
3. Βαλβίδα αντεπιστροφής
4. Ταχυσύνδεσμος για τροφοδοσία με νερό του υδρολιπαντήρα
5. Βαλβίδα εξαερισμού
6. Μανόμετρο επί ρουμπινέτου (4/στομο)
7. Βάννα στραγγαλισμού
8. Ταχυσύνδεσμος για τροφοδοσία του συστήματος με διάλυμα λιπάσματος
9. Φίλτρο
10. Γραμμή νερού από υδρολιπαντήρα στο σύστημα
11. Γραμμή νερού από το σύστημα στον υδρολιπαντήρα
12. Έξοδος διαλύματος λιπάσματος
13. Υδρολιπαντήρας
14. Βάννα αδιάσματος
15. Φίλτρο
16. Υδροκυκλώνας



αντικαταστήσει ένας σωλήνας venturi. Πρέπει να σημειωθεί ότι όλη τα λιπάσματα δεν είναι κατάλληλα λόγω περιορισμένης διαλυτότητός στο νερό. Επίσης μπορεί στο διάλυμα να χρησιμοποιηθούν και ζιζανιοκτόνα, μυκητοκτόνα ή νηματοκτόνα φάρμακα.

4.2. Δίκτυο μεταφοράς

Το δίκτυο μεταφοράς αποτελείται από τους κύριους και τους δευτερεύοντες αγωγούς. Οι κύριοι μεταφέρουν το νερό από την πηγή του στους δευτερεύοντες αγωγούς. Οι κύριοι είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο (PE) ή άκαμπτο χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) ή χαλβανισμένο ατσάλι. Οι δευτερεύοντες είναι από πολυαιθυλένιο ή άκαμπτο ή εύκαμπτο PVC. Οι δευτερεύοντες αγωγοί μεταφέρουν το νερό από τους κύριους-αγωγούς στους αγωγούς εφαρμοχής. Το δίκτυο μεταφοράς μπορεί να είναι υπέργειο (PE) ή υπόγειο (PVC). Στην δεύτερη περίπτωση η μετακίνηση των μηχανημάτων είναι ευκολότερη.

4.3. Δίκτυο εφαρμοχής

Αποτελείται από αγωγούς μικρότερης εξωτερικής διαμέτρου (12-32mm). Μεταφέρουν το νερό από τους δευτερεύοντες αγωγούς στους σταλακτήρες. Είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο ή εύκαμπτο PVC. Πρέπει να είναι μη διαβρώσιμοι, ανθεκτικοί στην ηλιακή ενέργεια και στην θερμοκρασία και εύχρηστοι. Αντέχουν σε πίεση 4 - 6atm. Είναι μαύρου χρώματος για να εμποδίζουν την διέλευση του φωτός προς ανάπτυξη μικροοργανισμών. Είναι κάθετοι προς τους δευτερεύοντες και παράλληλοι προς τις ισούψεις στα εδάφη με κλίση. Είναι υπέργειοι ή μπορεί να κρεμαστούν σε ύψος 30 - 50cm στις περιπτώσεις που αρδεύουν δενδρώνες σε σχήμα παλμέτας.

Οι σταλακτήρες τοποθετούνται είτε εν σειρά είτε σε σύνδεση επί της γραμμής εφαρμοχής. Στην πρώτη περίπτωση ο σταλακτήρας συνδέει δύο τμήματα σωλήνα ίσα με την απόσταση μεταξύ των σταλακτήρων (Σχ. 3, Παπαζαφειρίου 1977). Στην περίπτωση αυτή η θέση των σταλακτήρων δεν μπορεί να αλλιάξει και οι σταλακτήρες είναι ορισμένου τύπου (με μακρύ διάδρομο διαδρομής). Στην δεύτερη περίπτωση οι σταλακτήρες τοποθετούνται με διάτρηση επί του αγωγού μεταφοράς (Σχ. 4). Οι σταλακτήρες μπορούν να μετακινούνται κατά βούληση, και είναι ή σταλακτήρες με επιστόμιο, με διάφραγμα ή τύποι με μακρύ διάδρομο ροής.

Οι αχρωχοί εφαρμογής τοποθετούνται με διάφορους τρόπους όπως π.χ. απλή ευθεία, διπλή ευθεία, απλή ευθεία με σταλακτήρα πολλαπλής εξόδου, ζικ-ζάκ, μικτή ευθεία - κυκλική. (Σχ. 5).

Ο τρόπος διάταξης της γραμμής εφαρμογής εξαρτάται από τις αποστάσεις φύτευσης, το έδαφος, το ποσοστό του εδάφους που πρέπει να διαβραχεί, το κόστος. (Παναζαφειρίου, 1984). Στο Σχ. 6 τέλος δίνεται μία απλή διάταξη ενός συστήματος άρδευσης με σταχόνες.

Πολλές φορές η πίεση κυμαίνεται λόγω του αναχλύφου του αχρού. Σ' αυτές της περιπτώσεις τοποθετούνται ρυθμιστές πίεσης οι οποίοι μειώνουν μία υψηλότερη της επιθυμητής πίεσης εισόδου και διατηρούν μία σταθερή προκαθορισμένη πίεση εξόδου.

4.4. Σταλακτήρες

Οι σταλακτήρες αποτελούν το βασικό στοιχείο της άρδευσης με σταχόνες. Συνδέονται με το δίκτυο εφαρμογής και διοχετεύουν το νερό υπό μορφή σταχόνων στο έδαφος. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκμηδένιση της πίεσης του νερού που ρέει στον αχρωχο εφαρμογής λόγω των απηλειών ενέργειας κατά την διέλευσή του από τον σταλακτήρα. Οι παροχές των σταλακτάρων κυμαίνονται από 1 - 10 l/h σε πίεση 0,2 ~ 2 atm.

Κατασκευάζονται από σκληρή πλαστική ύλη, συνήθως από πολυπροπυλένιο, είναι μαύρου χρώματος και διαφόρου σχήματος ή μεγέθους. Στην αγορά συναντώνται σε διάφορους τύπους όπως θα αναφερθεί παρακάτω. Οποιοδήποτε τύπου και αν είναι πρέπει να παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά (Παναζαφειρίου, 1985):

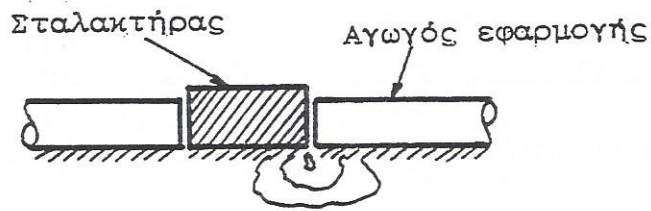
- Να εξασφαλίζουν σταθερή και ομοιόμορφη παροχή η οποία να μη μεταβάλλεται σημαντικά από περιορισμένες μεταβολές πίεσης στον αχρωχο εφαρμογής.
- Να μη εμψράζονται εύκολα. Αυτό περιορίζεται αν η διατομή εκροής του νερού είναι σχετικά μεγάλη.
- Να έχουν χαμηλό κόστος.
- Να τοποθετούνται εύκολα στις γραμμές άρδευσης.

Κάθε σταλακτήρας αποτελείται από το σώμα του που περιλαμβάνει τον μηχανισμό της πτώσης πίεσης και τον συνδετήρα με τον αχρωχο με την παρεμβολή του στο σωλήνα.

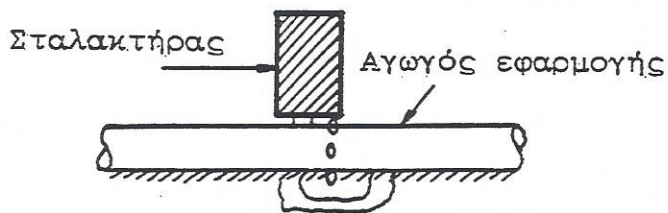
Οι σταλακτήρες αποτελούν το 1/3 του συνολικού κόστους ενός συστήματος άρδευσης με σταχόνες.

4.4.1. Τύποι σταλακτάρων

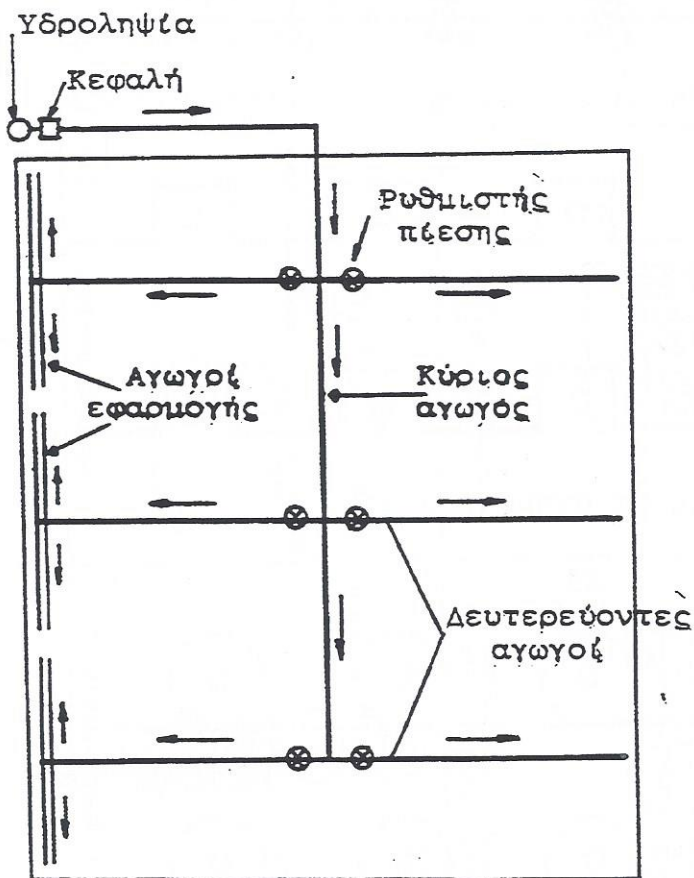
Πολλοί τύποι σταλακτάρων υπάρχουν στην αγορά, καθένας με τις δικές του ιδιότητες. Μερικοί από αυτούς φαίνονται στο Σχ. 7. Μπορεί να καταταχούν ανάλογα με τα ακόλουθα κριτήρια:



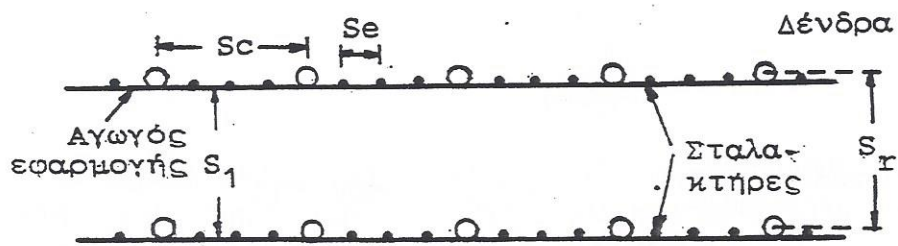
Σχήμα 3. Σύνθεση σταλακτιήρων εν σειρά



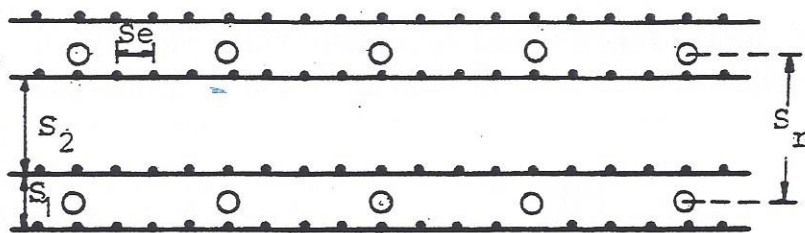
Σχήμα 4. Σύνθεση σταλακτιήρων επί της γραμμής



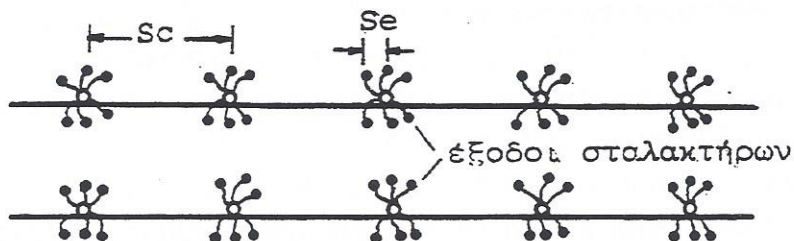
Σχ. 6 Διάταξη συστήματος άρδευσης με σταλακτιήρωνες



α. Διάταξη σε απλή ευθεία για κάθε σειρά δένδρων.



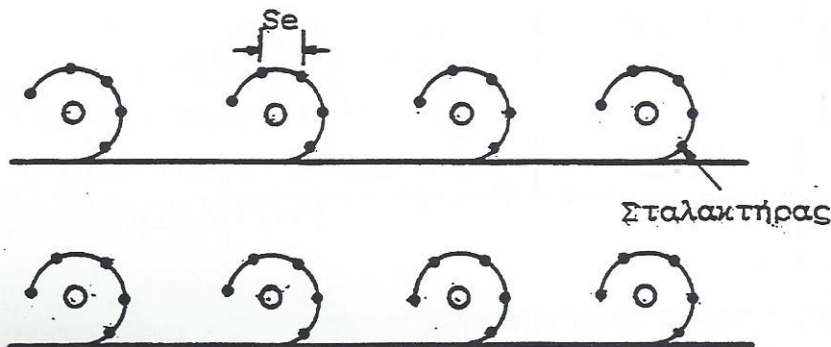
β. Διάταξη διπλής ευθείας για κάθε σειρά δένδρων.



γ. Διάταξη με σταλακτιήρες πολλαπλών εξόδων.



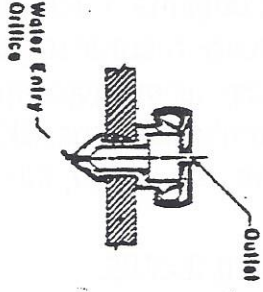
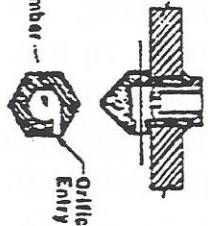


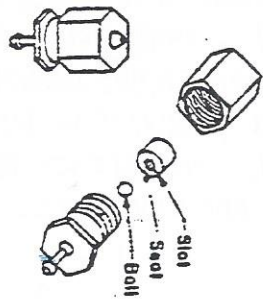
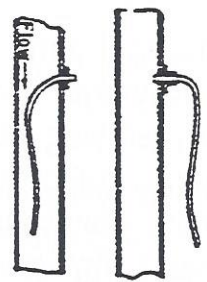
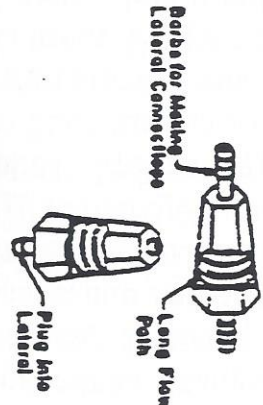
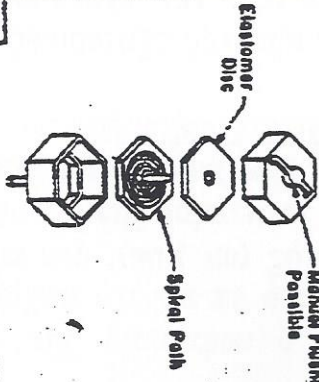
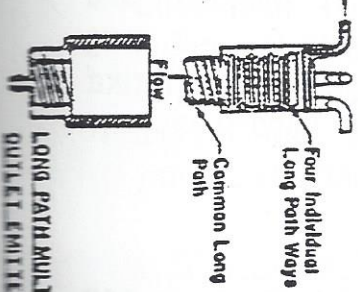
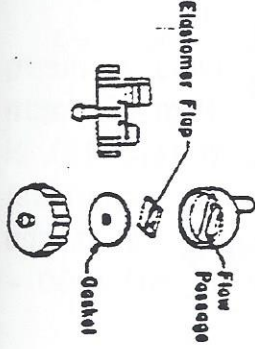
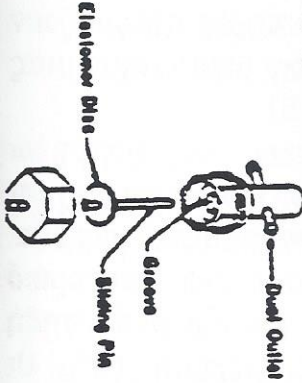
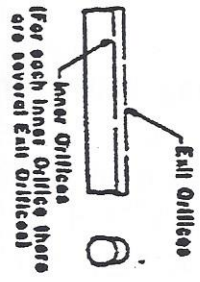
δ. Διάταξη με σχήμα ζίκ-ζακ.



ε. Διατάξη κυκλική με βοηθητικούς αγωγούς.

Σχ. 5. Διάφορες διατάξεις σταλακτιήρων.

Σχ. 7 Τύποι σταθρακίπων

<p>A</p> <p>ORIFICE EMITTER</p>  <p>Water Entry Orifice Outlet</p>	<p>B</p> <p>ORIFICE-VORTEX EMITTER</p>  <p>Vortex Chamber Orifice Water Entry</p>	<p>C</p> <p>EMITTER USING FLEXIBLE ORIFICES IN SERIES</p>  <p>Orifices Flow Diaphragm</p>	<p>D</p> <p>CONTINUOUS FLOW PRINCIPLE OF MULTIPLE FLEXIBLE ORIFICES</p> 
<p>E</p> <p>BALL AND SIGHTED SEAL EMITTER</p>  <p>Sight Seal Ball</p>	<p>F</p> <p>LONG PATH EMITTER: SMALL TUBE</p>  <p>FLOW</p>	<p>G</p> <p>LONG PATH EMITTERS</p>  <p>Barbs for Making Lateral Connections Long Flow Path Plug into Lateral</p>	<p>H</p> <p>COMPENSATING LONG PATH EMITTER</p>  <p>Elastomer Disc Spiral Path Manual Flushing Possible</p>
<p>I</p> <p>LONG PATH MULTIPLE ORIFICE EMITTER</p>  <p>Four Individual Long Path Ways Common Long Path Flow</p>	<p>J</p> <p>GROOVE AND FLAP SHORT PATH EMITTER</p>  <p>Flow Passage Gasket Elastomer Flap</p>	<p>K</p> <p>GROOVE AND DISC SHORT PATH EMITTER</p>  <p>Dual Outlet Groove Gasket Pin Elastomer Disc</p>	<p>L</p> <p>TWIN-WALL EMITTER LATERAL</p>  <p>Exit Orifices Inner Orifices (For each inner Orifice there are several Exit Orifices)</p>

α. Παροχή ή φορτίο και απόκλιση

Κάθε σταλακτήρας έχει μία ορισμένη ονομαστική παροχή. Χαρακτηρίζεται από τη μέση τιμή της σε κανονική πίεση λειτουργίας και από τον συντελεστή της τυπικής απόκλισης από τον μέσο όρο που δίδεται από το εργοστάσιο κατασκευής. Ο συντελεστής μπορεί να ποικίλει από 0,02 για τους σπειράλι σταλακτήρες μακράς διαδρομής έως 0,4 για τους σταλακτήρες τύπου πορώδη σωλήνα. Ο συντελεστής επηρεάζει σημαντικά την απόδοση άρδευσης. Η παροχή επηρεάζεται από την πίεση και την θερμοκρασία του νερού, και φυσικά από την απόφραξη.

β. Απόσβεση πίεσης

Η απόσβεση της πίεσης στους σταλακτήρες γίνεται με την δίοδο του νερού από μικρές οπές. Όσο μικρότερη είναι η οπή του σταλακτήρα, τόσο μικρότερη είναι η παροχή αλλά τόσο μεγαλώνει ο κίνδυνος απόφραξης. Έτσι έχουν κατασκευασθεί:

1. οι σταλακτήρες με μακρύ διάδρομο ροής (εικ. 1G), όπου η πίεση αποσβένυται με τη ροή του νερού σε μακρύ στενό σωλήνα. Η απλούστερη κατασκευή είναι ο μικροσωλήνας ή σωλήνας τύπου σπαγγέτι (εικ. 1F). Η απώλεια φορτίου σε σταλακτήρες μακράς διαδρομής μπορεί να μειωθεί με τη χρησιμοποίηση σωληνίσκων ελικοειδούς διαδρομής ή τύπου λαβυρίνθου (εικ. 1I) Οι διάμετροι των σωληνίσκων κυμαίνονται από 0,60 ~ 1,0 mm.

2. Στους σταλακτήρες με επιστόμιο ή οπή η πίεση αποσβένυται με τη ροή δια μέσου οπής 0,4 - 0,6 mm (εικ. 1A). Αυτοί οι σταλακτήρες αποφράζουν εύκολα. Η διάμετρος της οπής μπορεί να αυξηθεί με τη δημιουργία μιάς δίνης στην ροή, που αυξάνει την αντίσταση ροής (εικ. 1B).

3. Μερικές φορές αντί για σταλακτήρες χρησιμοποιούνται διάτρητοι σωλήνες (μικρές οπές στον σωλήνα εφαρμογής). Το σύστημα αυτό αν και είναι απλό έχει διακυμάνσεις στις παροχές και αποφράσσεται εύκολα. Μερικοί πιο σύγχρονοι τύποι σταλακτήρων αποτελούνται από ένα εσωτερικό ή εξωτερικό σωληνίσκο (εικ. 1F), ο οποίος λειτουργεί με σχετικά υψηλή πίεση και ενώνεται με τον σωλήνα εφαρμογής με μεγάλη οπή. Οι σταλακτήρες με διπλά τοιχώματα (εικ. 1L) έχουν εσωτερικές οπές, σε κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχούν αρκετές εξωτερικές οπές.

γ. Τρόπος σύνδεσης στον σωλήνα εφαρμογής

1. Σταλακτήρες εν σειρά (in line), οι οποίοι είναι μέρος του σωλήνα εφαρμογής.

2. Σταλακτήρες επί της γραμμής (on line), που εισέρχονται στον σωλήνα εφαρμογής.

δ. Ικανότητα αυτοκαθαρισμού

Μερικοί σταλακτήρες είναι ειδικά εφοδιασμένοι με ένα σύστημα αυτοκαθαρισμού όπου η οπή μεγαλώνει στις χαμηλές πιέσεις και στις υψηλές πιέσεις μικραίνει με κάποιο ελαστικό διάφραγμα (εικ. 1Η). Με τον τρόπο αυτό αυτοκαθαρίζονται και οι οπές των σταλακτήρων, οι οποίοι είναι πιο ακριβοί από τους άλλους και λιγότερο αξιόπιστοι μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα.

ε. Μορφή ροής του νερού

Η μορφή ροής του νερού (στρωτή η τυρβώδης) χαρακτηρίζεται από τον αριθμό Reynolds ο οποίος για ροή σε κυλινδρικό σωλήνα δίδεται:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{4q}{\nu d} \quad (1)$$

όπου q = παροχή του σταλακτήρα (m^3/s) και $q = VA$

V = ταχύτητα νερού στον σταλακτήρα (m/s)

d = διάμετρος της υγρής διατομής (m) (οπής η μικροσωλήνα)

ν = κινηματικό ιξώδες του νερού (m^2/s)

Οι τρεις κυριότερες μορφές ροής είναι η στρωτή, η μερικά τυρβώδης ή ασταθής ροή και η τυρβώδης ροή.

ι *Στρωτή ροή* ($Re \leq 2000$). Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν οι μικροσωλήνες. Η παροχή τους q για οποιαδήποτε διάμετρο και μήκος ροής και φορτίο εισόδου δίδεται από την εξίσωση των Hagen - Poiseuille:

$$q = \frac{\pi g d^4 H}{128 \nu l} \quad (2)$$

όπου H = το υδραυλικό φορτίο στην εισόδο του σταλακτήρα

l = το μήκος του σωλήνα διαδρομής

g = επιτάχυνση της βαρύτητας.

Η εξίσωση (2) δείχνει ότι για τη στρωτή ροή η παροχή είναι ανάλογη του φορτίου H και της διαμέτρου d και αντιστρόφως ανάλογη της διαδρομής l .

Στη στρωτή ροή ο συντελεστής τριβής στον σωλήνα είναι $f = 64/Re$.

Εάν στην εξίσωση 2 αντικαταστήσουμε τον συντελεστή τριβών για την στρωτή ροή παίρνουμε με βάση την εξίσωση (1) τον τύπο των Darcy - Weisbach:

$$H = f \frac{8lQ^2}{\pi^2 g d^5} \quad (3)$$

ii. *Ασταθής (μερικώς τυρβώδης) ροή* ($2000 \leq Re \leq 4500$).

Στην περίπτωση αυτή η παροχή είναι ασταθής και είναι δύσκολο να υπολογιστεί ο συντελεστής τριβής f , ο οποίος μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά εξαιτίας μιά μικρής απόφραξης ή μικρής μεταβολής της τραχύτητας των τοιχωμάτων. Στην περίπτωση αυτή ανήκουν οι σταλακτήρες με μακρύ διάδρομο ροής τύπου σπειράλι ή λαβύρινθου. Κάθε τύπος σταλακτήρα έχει μία σχέση φορτίου H , παροχής q .

iii. *Τυρβώδους ροή* ($Re \geq 4500$).

Στους λείους σωλήνες ο συντελεστής τριβών f είναι ανεξάρτητος από την τραχύτητα και ελαττώνεται με τον Re . Στη ροή σε τραχεία τοιχώματα, αν $Re \geq 5000$ ο συντελεστής f έχει σταθερή τιμή που εξαρτάται μόνο από την τραχύτητα του σωλήνα και είναι ανεξάρτητος του Re . Αυτή είναι η περίπτωση της ροής από σταλακτήρες με οπή, όπου η παροχή q είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του φορτίου (και επομένως εξαρτάται λιγότερο από την παροχή):

$$q = Kd^2 \sqrt{2gH} \quad (4)$$

όπου K = συντελεστής που εξαρτάται από τον τύπο της οπής.

Ένας γενικός εμπειρικός τύπος που ισχύει για μία μικρή περιοχή λειτουργικής πίεσης είναι :

$$q = aH^b \quad (5)$$

όπου a, b = είναι σταθερές χαρακτηριστικές του σταλακτήρα και της μορφής ροής αντίστοιχα.

Για μικροσωλήνες με στρωτή ροή $\beta = 1$, για τύπο σπειράλι $\beta = 0,7$, για

σταλακτήρες με οπή και πλήρως τυρβώδη ροή $\beta = 0,5$, για σταλακτήρες με δίνη $\beta = 0,4$ και για αυτορυθμιζόμενους $\beta = 0,0$. Οι τιμές των β και b στη σχέση (5) συνήθως δίνονται από τον κατασκευαστή.

στ. Επίδραση της θερμοκρασίας

Στη στρωτή ροή η παροχή εξαρτάται αντιστρόφως ανάλοχα από το ιξώδες του νερού (εξίσ. 2). Εντούτοις βρέθηκε ότι η παροχή αλληιάζει κατά 2,8% ανά βαθμό Κελσίου (Parchomchuk, 1976), στους σταλακτήρες με στρωτή ροή.

Ο ίδιος ερευνητής βρήκε ότι για τους σταλακτήρες μακράς διαδρομής αυξάνεται η παροχή κατά 1,4% μέχρι μιάς ορισμένης θερμοκρασίας πέραν της οποίας η ροή γίνεται στροβιλωδής.

Στους ελικοειδείς (spiral) σταλακτήρες βρέθηκε αύξηση της παροχής κατά 1,2% $^{\circ}\text{C}$ μέχρι τους 29 $^{\circ}\text{C}$ πέραν της οποίας δεν σημειώθηκε αισθητή μεταβολή.

Για τους σταλακτήρες με επιστόμιο η ροή θεωρητικά είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας, αλλά για μερικούς τύπους βρέθηκε αύξηση 1 - 4% στη ροή για θερμοκρασία από 7 - 38 $^{\circ}\text{C}$.

Στους σταλακτήρες με δίνη βρέθηκε 8% ελάττωση της παροχής με αύξηση της θερμοκρασίας από 8 - 38 $^{\circ}\text{C}$.

Επίσης συνέπειες έχει και η μεταβολή της θερμοκρασίας στους σωλήνες εφαρμογής. Βρέθηκε ότι η διαφορά θερμοκρασίας κατά 16 $^{\circ}\text{C}$ μεταξύ της αρχής και του τέλους 20 - 90m μακρους σωλήνα, αύξησε την παροχή κατά 11% σε σταλακτήρες spiral και κατά 22% σε σταλακτήρες με μικροσωλήνα.

5. ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΕΦΡΜΟΓΗΣ

Το μέγεθος της επιθυμητής επιφάνειας διαβροχής του εδάφους σε σχέση με την οθική, εξαρτάται από την πυκνότητα φύτευσης και την κατηγορία εδάφους. Συμβολίζεται με το γράμμα P και συνήθως χονδρικά λαμβάνεται $P = 1$ για τα λαχανικά και $P = 0,3$ για τις δενδροβόειες καλλιέργειες. Τα ποσοστά αυτά ανάλογα με την καλλιέργεια εξασφαλίζουν μία συνεχή υγρή θωρίδα εδάφους εκατέρωθεν των φυτών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Ποσοστό % διαβροχής (P) του εδάφους σε σχέση με τον τύπο του εδάφους και την παροχή του σταλακτήρα για απλή ευθύγραμμη διάταξη:

Παροχή σταλακτήρα. l/hr	Κατηγορία εδάφους	S_e , m	S_l , m									
			0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1,5	Ελαφρό	0,2	38	33	25	20	15	12	10	8	6	5
	Μέσο	0,5	88	70	58	47	35	28	23	18	14	12
	Βαρύ	0,9	100	100	92	73	55	44	37	28	22	18
2,0	Ελαφρό	0,3	50	40	33	26	20	16	13	10	8	7
	Μέσο	0,7	100	80	67	53	40	32	26	20	16	14
	Βαρύ	1,0	100	100	100	80	60	48	40	30	24	20
4,0	Ελαφρό	0,6	100	80	67	53	40	32	26	20	16	14
	Μέσο	1,0	100	100	100	80	60	48	40	30	24	20
	Βαρύ	1,3	100	100	100	100	80	64	53	40	32	27
8,0	Ελαφρό	1,0	100	100	100	80	60	48	40	30	24	20
	Μέσο	1,3	100	100	100	100	80	64	53	40	32	27
	Βαρύ	1,7	100	100	100	100	100	80	67	50	40	34
12,0	Ελαφρό	1,3	100	100	100	100	80	64	53	40	32	27
	Μέσο	1,6	100	100	100	100	100	80	67	50	40	34
	Βαρύ	2,0	100	100	100	100	100	100	80	60	48	40

Εάν πρόκειται να γίνει μία λεπτομερέστερη έρευνα για την εύρεση του ποσοστού διαβροχής (Παπαζαφειρίου, 1977), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο

Πίνακας 3 των Keller και Karmeli, ο οποίος κατ' αρχήν έγινε για την εκτίμηση του P σε απλό ευθύ αγωγό εφαρμογής για κάθε σειρά δένδρων, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για όλες τις άλλες διατάξεις.

Σύμφωνα με τον πίνακα υπολογίζεται το ποσοστό διαβροχής για τους τρεις βασικούς εδαφικούς τύπους και για διάφορες παροχές και αποστάσεις των σταλακτήρων επί (Se) και μεταξύ (S1) των γραμμών εφαρμογής. Επίσης εάν θέλουμε να πετύχουμε ένα συγκεκριμένο ποσοστό διαβροχής για δεδομένο εδαφικό τύπο ο πίνακας βοηθάει για την επιλογή της παροχής των σταλακτήρων και τον τρόπο διάταξής τους στο χωράφι.

Πολλές φορές στους οπωρώνες για την επίτευξη υψηλότερων ποσοστών υγρανσεως χρησιμοποιούνται διπλοί αγωγοί εφαρμογής για κάθε σειρά δένδρων (Σχ. 5,β). Η εκτίμηση του ποσοστού υγρανσεως σε μία τέτοια διάταξη γίνεται με την βοήθεια του πίνακα 3 και της σχέσης:

$$p = \frac{p_1 s_1 + p_2 s_2}{s_r} \quad (6)$$

- s_1 = Το στενό διάστημα ανάμεσα στα ζευγάρια των αγωγών εφαρμογής που πρέπει να είναι τόσο ώστε να δίνει $p = 100\%$.
- s_2 = το ευρύ διάστημα ανάμεσα στους αγωγούς
- p_2 = ποσοστό διαβροχής που ευρίσκεται από τον πίνακα 3 σαν αντίστοιχο του s_2
- s_r = απόσταση αναμεσα στις σειρές των δένδρων.

Παράδειγμα

Για άρδευση οπωρώνα χρησιμοποιείται διάταξη διπλών αγωγών εφαρμογής. Η απόσταση μεταξύ των σειρών των δένδρων είναι $s_r = 7,2$ m η παροχή των σταλακτήρων 4 l/h, και το έδαφος μέσο. Να προσδιοριστεί το εμβαδόν διαβροχής του εδάφους.

Από τον πίνακα 3 για $q = 4$ l/h, και μέσο έδαφος (M) βρίσκουμε απόσταση μεταξύ σταλακτήρων $s_e = 1$ m. Επίσης για $P_1 = 100\%$ έχουμε μέγιστο $s_1 = 1,2$ m. Επειδή $s_2 = s_r - s_1 \rightarrow s_2 = 7,2 - 1,2 = 6$ m. Από τον πίνακα 3 για $s_2 = 6$, $q = 4$ l/h, $s_e = 1$ m παίρνουμε $p_2 = 20\%$.

Από τη σχέση (5) προκύπτει:

$$p = \frac{100 \times 1,2 + 20 \times 6}{7,2} = 33\%$$

Δηλαδή το ποσοστό υγρανσεως του εδάφους του οπωρώνα θα είναι 33%.
 Άλλες διατάξεις είναι: με τους σταλακτήρες πολλαπλών εξόδων, η διάταξη σε σχήμα ζικ - ζάκ, η κυκλική διάταξη με βοηθητικούς αγωγούς όπως φαίνεται στα σχήματα 5γ, 6, ε. Στις διατάξεις αυτές για την επίτευξη της μέγιστης αποδοτικότητας των σταλακτήρων, οι αποστάσεις ανάμεσα στα σημεία ενστάλαξης του νερού πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες χωρίς να αφήνουν ξερές επιφάνειες μεταξύ τους. Το ποσοστό διαβροχής του εδάφους δίδεται από την σχέση (7).

$$p = \frac{100nS_e S_w}{S_r S_c} \quad (7)$$

όπου n είναι ο αριθμός των σταλακτήρων που αντιστοιχεί σε κάθε δένδρο, S_w το μέσο πλάτος της διαβρεχόμενης ζώνης σε m, το οποίο ισούται με τη μέγιστη τιμή του S_l που δίνει ο πίνακας 3 για την οποία αντιστοιχεί ποσοστό ύγρανσης $p = 100\%$ για την δοθείσα παροχή q του σταλακτήρα.

S_c = απόσταση μεταξύ των δένδρων επί της σειράς και

S_r = απόσταση μεταξύ των σειρών των δένδρων

Παράδειγμα

Να προσδιοριστεί το ποσοστό διαβροχής σε οπωρώνα ο οποίος αρδεύεται με στάχδην άρδευση της διάταξης του σχήματος 5, ε, όταν αντιστοιχούν 11 σταλακτήρες σε κάθε δένδρο, παροχής εκάστου $q = 4$ l/h. Το έδαφος είναι μέσο και η διάταξη ορθογωνική 7×7 m.

Απο τον πίνακα 3 βρίσκουμε ότι για $q = 4$ l/h, έδαφος μέσο οπότε $S_e = 1$ m, $p = 100\%$ $S_w = 1,2$ m οπότε,

$$p = \frac{100 \times 11 \times 1 \times 1,2}{7 \times 7} = 27\%$$

6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (ΕΤ)

Στην στάχδην άρδευση οι απώλειες λόγω εξάτμισης από το έδαφος ή διαπνοής από ζιζάνια, όπως συμβαίνει με τις άηλες μεθόδους άρδευσης, δεν γίνεται διότι η υγραή ζώνη περιορίζεται μόνο κατά μήκος του αχχωρού εφαρμογής. Επομένως η διαπνοή καλύπτει σχεδόν το σύνολο της καταναλώσεως του νερού. Γι' αυτό το λόγο οι μέχρι τώρα γνωστές μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής που ισχύουν για τις άηλες μεθόδους άρδευσης μας δίδουν μία μέγιστη τιμή της ΕΤ η οποία τροποποιείται όπως φαίνεται από την εξίσωση (8) ως εξής, σύμφωνα με έρευνες του Ινστιτούτου Εργείων βελτιώσεων (ΙΕΒ),

$$ET = E_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \text{ (mm/ημ.)} \quad (8)$$

όπου E_0 = η τιμή της μέγιστης δυνατής αναλήσεως νερού E_0 της υπό μελέτης περιοχής όπως δίδεται στον πίνακα 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 (E_0)

Μέγιστη δυνατή ανάληψη νερού κατά περιοχές			
Περιοχή	Μέση μέγιστη ημερήσια ανάληψη νερού E_0 mm/ημέρα		
	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
ΑΛΙΑΡΤΟΣ	6,2	7,0	5,8
ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	5,8	6,7	6,0
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	6,0	7,0	6,1
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	6,5	7,8	7,0
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	5,9	7,1	6,0
ΚΟΜΟΤΙΝΗ	5,8	6,5	5,7
ΛΑΡΙΣΑ	6,2	7,1	6,1
ΣΕΡΡΕΣ	6,0	6,5	5,9
ΤΥΜΠΑΚΙ	6,3	7,3	6,4
ΧΑΝΙΑ	6,0	6,8	5,5

Η τιμή της μέγιστης δυνατής ανάληψης νερού πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή f_1 του οποίου η τιμή εξαρτάται από την καλλιέργεια και

δίδεται στον πίνακα 5.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Συντελεστής καθιέρχεται f_1 για φυτά σε πλήρη ανάπτυξη

Καλλιέργεια	f_1	Καλλιέργεια	f_1
Μπανάνα	0,8	Αμπεισοειδή	0,9
Εσπεριδοειδή	0,7	Κηπευτικά	0,9
Ελιτά	0,6	Τομάτες	1,0
Οπωροφόρα	0,9	Αραβόσιτος	1,0

ο διορθωτικός συντελεστής f_2 σχετίζεται με το ποσοστό φυτοσκιάσεως και δίδεται στον πίνακα 6.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6

Διορθωτικός συντελεστής f_2 σε συνάρτηση της φυτοσκιάσεως			
Ποσοστό % Φυτοσκιάσεως GC	Διορθωτικός Συντελεστής f_2	Ποσοστό % Φυτοσκιάσεως GC	Διορθωτικός Συντελεστής f_2
10%	0,55	60%	0,80
20%	0,60	70%	0,85
30%	0,65	80%	0,90
40%	0,70	90%	0,95
50%	0,75	100%	1,00

7. ΔΟΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Η θεωρητική δόση άρδευσης δίδεται από την σχέση (9):

$$I_d = \Delta Y \times h \times c \times p \quad (9)$$

όπου ΔY = η διαθέσιμη υγρασία και $\Delta Y = H_f - H_f$
 H_f = υδατοϊκανότητα, H_f = σημείο μόνιμης μάρανσης.
 C = όριο εξάντλησης της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας
 P = ποσοστό διαβροχής του εδάφους.

Όριο εξάντλησης της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας: Κάθε καλλιέργεια δίνει το μέγιστο της παραγωγής της όταν η εδαφική υγρασία δεν πέσει κάτω από ορισμένα όρια τα οποία είναι διαφορετικά για κάθε φυτό. Τα όρια αυτά δίδονται στον πίνακα 7.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7

Ανώτερο όριο εξάντλησης της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας σε διάφορα εδάφη και καλλιέργειες.

Καλλιέργεια	Ανώτερο όριο εξάντλησης της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας για κάθε κατηγορία εδαφικής		
	Βαρύ	Μέσο	ελαφρύ
Αβοκάντο	0,30	0,40	0,50
Ελιτά	0,35	0,45	0,60
Μπανάνα	0,20-0,40	0,25-0,60	0,35-0,80
Κηπευτικά	0,30	0,40	0,50
Λεμονιά	0,20	0,30	0,40
Ντομάτα	0,35	0,55	0,65
Οπωροφόρα	0,35	0,45	0,55
Πορτοκάλια	0,30	0,40	0,50
Πεπόνια-καρπούζι	0,20	0,25	0,35
Αμπέλι πριν από την ωρίμανση του καρπού	0,30	0,40	0,50
Αμπέλια κατά την ωρίμανση του καρπού	0,40	0,60	0,80
Φράουλες	0,15	0,25	0,35

Η πρακτική δόση άρδευσης δίδεται από την σχέση (10):

$$I_{da} = \frac{I_d}{E_a} \quad (10)$$

όπου E_a είναι ο βαθμός εφαρμογής του νερού (Παπαζαφειρίου, 1984):

$$E_a = TR \cdot EU \quad (11)$$

όπου TR είναι το μέρος εκείνο του νερού που διηθήθηκε στο έδαφος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα από την καλλιέργεια και EU είναι η ομοιομορφία ενστάλαξης του νερού. Το TR για τις ελληνικές συνθήκες είναι ίσο με 0,95. Το EU έχει σχέση με την σταθερότητα της παροχής των σταλακτήρων και υπολογίζεται πειραματικά από την σχέση:

$$EU = \frac{q_n}{q_m} \quad (12)$$

όπου q_m είναι η μέση παροχή ενός ποσοστού 5 - 10% από τους συνολικούς σταλακτήρες και q_n η μέση παροχή που αντιστοιχεί στο 1/4 των σταλακτήρων αυτών με τις μικρότερες παροχές. Το EU κυμαίνεται από 0,90 έως 0,95.

8. ΕΥΡΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Το εύρος άρδευσης δίδεται από την σχέση :

$$li = \frac{I_d}{ET} \quad (13)$$

I_d = θεωρητική δόση άρδευσης (εξ. 9)

ET = ημερήσια εξατμισοδιαπνοή (εξ. 8)

9. ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Η διάρκεια άρδευσης υπολογίζεται από την σχέση:

$$t = \frac{I_{da} \times S_c \times S_r}{q \cdot n} \quad (14)$$

I_{da} = η πρακτική δόση άρδευσης

S_c = η απόσταση μεταξύ των δένδρων επί της σειράς

S_r = η απόσταση μεταξύ των σειρών δένδρων

q = η παροχή του σταλακτήρα

n = ο αριθμός των σταλακτήρων ανά δένδρο, ο οποίος βρίσκεται από τη σχέση $n = S_l / S_e$, όπου S_l η απόσταση των αγωγών εφαρμογής μεταξύ τους, S_e η ισάποχή των σταλακτήρων επί του αγωγού.

Παράδειγμα

Έστω οπωρώνας με ροδακινιές στον οποίο η διάταξη των δένδρων είναι $S_c \ S_r = 4 \times 4 \text{ m}$ και το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος 80 cm έχει υδατοϊκανότητα εδάφους 25% και σημείο μάρανσης 12% κ.β.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους είναι 1,4 και το ποσοστό φυτοσκίασης 60%. Το έδαφος είναι μέσο και η επιθυμητή διαβροχή εδάφους 0,30. Το σύστημα άρδευσης λειτουργεί σωστά και TR υπολογίζεται ίσο με 0,95. Από πειραματικά δεδομένα βρέθηκε ότι $q_m = 4,01 \text{ l/hr}$ και $q_n = 3,84 \text{ l/hr}$. Να ευρεθεί η πρακτική δόση άρδευσης, το εύρος άρδευσης και η διάρκεια άρδευσης κατά τον μήνα Ιούλιο:

Μέγιστη δυνατή ανάληψη νερού κατά τον Ιούλιο (πιν. 4) : $E_0 = 7 \text{ mm/ημ.}$

Συντελεστής που εξαρτάται από την καλλιέργεια (πιν. 5) : $f_1 = 0,9$

Συντελεστής που εξαρτάται από την φυτοσκίαση (πιν. 6) : $f_2 = 0,8$

Η ET κατά τον μήνα Ιούλιο είναι :

$$ET = E_0 \cdot f_1 \cdot f_2 = 7 \times 0,9 \times 0,8 = 5,04 \text{ mm/ημ} \sim 5 \text{ mm/ημ.}$$

Παροχή σταλακτήρα (πιν. 6) για μέσο έδαφος $q = 4 \text{ l/h}$

Ισάποχή σταλακτήρων : (πιν. 6) $S_e = 1 \text{ m}$

Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό $n = S_l / S_e = 4 / 1 = 4$

Διαθέσιμη υγρασία $\Delta.Y = (H_r - H_f) \times \Phi \cdot E \cdot B = (0,25 - 0,12) \times 1,4 = 0,182$

Εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας (πιν. 7) $= 0,45$

Ομοιομορφία ενστάθλαξης του νερού:

$$EU = q_n / q_m = 3,84/4,01 = 0,96$$

Βαθμός εφαρμοχής του νερού:

$$E_a = TR \cdot EU = 0,95 \times 0,96 = 0,91$$

Θεωρητική δόση άρδευσης:

$$I_d = \Delta \cdot \Psi \times h \times C \times P = 0,182 \times 800 \times 0,45 \times 0,30 = 19,6 \text{ mm ή } 19,6 \text{ m}^3/\text{στρ.}$$

Πρακτική δόση άρδευσης :

$$I_{da} = I_d / E_a = 19,6 / 0,91 = 21,5 \text{ mm ή m}^3/\text{στρ.}$$

Εύρος άρδευσης :

$$I_i = I_d / ET = 19,6 / 5 = 4 \text{ ημέρες}$$

Διάρκεια άρδευσης:

$$I_t = (I_{da} \times S_c \times S_r) / q \cdot n = (21,5 \times 4 \times 4) / (4 \times 4) = 21,5 \text{ h}$$

10. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το δίκτυο εφαρμογής είναι οι αγωγοί που φέρουν τους σταλακτήρες, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια. Συνήθως είναι εξωτερικής διαμέτρου 4 - 16mm και σε ακραίες περιπτώσεις 32mm. Η πίεση την οποία αντέχουν είναι από 4 - 6 atm. Η παροχή τους δίδεται από τη σχέση:

$$Q = nq \quad (15)$$

όπου n = αριθμός σταλακτήρων

q = η παροχή κάθε σταλακτήρα

Το μήκος του αγωγού εφαρμογής είναι:

$$L = nSe \quad (16)$$

Η διαφορά της παροχής μεταξύ δύο οποιονδήποτε σταλακτήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10% της κανονικής, δηλαδή η διαφορά πίεσεως μεταξύ δύο τυχαίων σημείων του αγωγού δεν πρέπει να υπερβαίνει το 10% της λειτουργικής πίεσης των σταλακτήρων εάν η ροή είναι στρωτή και του 20% εάν η ροή είναι στροβιλωδής.

Οι απώλειες πίεσης επικράτησε να δίδονται από τον τύπο των Hazen - Williams:

$$H_f = 100\Delta H/L = 1,21 \times 10^{12} [Q/C]^{1,852} D^{-4,87} \quad (17)$$

όπου H_f = οι απώλειες πίεσης σε m ανά 100m αγωγού
 ΔH = οι απώλειες πίεσης στο εξεταζόμενο μήκος σε m
 L = μήκος του σωλήνα σε m
 Q = παροχή αγωγού σε l/s
 C = συντελεστής τριβής (= 150 για πλαστικούς σωλήνες)
 D = εσωτερική διάμετρος του αγωγού σε mm

Με τη σχέση (17) μπορούν να υπολογιστούν οι απώλειες και στους δευτερεύοντες και στους κύριους αγωγούς, όπως θα αναφερθεί πιο κάτω.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8

Τιμές του συντελεστή F ανάλογα με τον αριθμό των υδροληφιών (η σταλακτήρων) ενός αγωγού.

Αριθμός υδροληφιών	F	Αριθμός υδροληφιών l	F
(1)	(2)	(1)	(2)
1	1.000	14	0.387
2	0.639	16	0.382
3	0.535	18	0.379
4	0.486	20	0.376
5	0.457	25	0.371
6	0.435	30	0.368
8	0.415	40	0.364
10	0.402	50	0.361
12	0.394	100	0.356

Επειδή για τη σωστή λειτουργία του αγωγού εφαρμογής πρέπει η πίεση μεταξύ της αρχής και του τέλους του αγωγού να μη υπερβαίνει το 10% για στρωτή ροή και το 20% για στροβιλωδή ροή στους σταλακτήρες, της λειτουργικής τους πίεσης, η πίεση (P_1) στην αρχή του αγωγού πρέπει να είναι:

$$P_1 = P_a + 0,77 P_f \pm \Delta E/2 \quad (20)$$

όπου P_a = λειτουργική πίεση του σταλακτήρα σε m

P_f = ολική απώλεια φορτίου σε m

ΔE = διαφορά υψομέτρου μεταξύ της αρχής και του τέλους του αγωγού σε m με θετικό πρόσημο όταν ο αγωγός έχει διεύθυνση αντίθετη προς την κλίση του εδάφους και αρνητικό όταν ακολουθεί την κλίση.

Η πίεση στο τέλος του αγωγού (P_2) πρέπει να είναι:

$$P_2 = P_a - (0,23P_f \pm \Delta E/2) = P_1 - (P_f \pm \Delta E) \quad (21)$$

Συνήθως το μήκος των αγωγών εφαρμογής φθάνει τα $50 \approx 60\text{m}$.

Παράδειγμα

Αγωγός εφαρμογής από PVC διαμέτρου $\Phi 16$ (εσωτερική 12mm) έχει μήκος 44m και φέρει 44 σταλακτήρες με απόσταση μεταξύ τους 1m . Η παροχή τους είναι 4l/hr και η λειτουργική τους πίεση 10m . Η υψομετρική διαφορά των άκρων του αγωγού είναι 3m . Να βρεθεί αν η διαφορά πίεσης στα άκρα του αγωγού είναι επιτρεπτή, όταν οι σταλακτήρες είναι μαιανδρικής διαδρομής (στροβιλώδης ροή), και η διεύθυνση του αγωγού ακολουθεί την κλίση του εδάφους.

Παροχή αγωγού

$$Q = n \cdot q = 44 \times 4/3600 = 0,049 \text{ l/s}$$

Απώλειες πίεσης ανά 100m αγωγού

$$H_f = 1,21 \times 10^{12} [Q/C]^{1,854} \cdot D^{-4,87} = 1,21 \times 10^2 [0,049/150]^{1,854} \cdot 12^{-4,87} \\ = 2,4\text{m}/100\text{m}$$

Συντελεστής $F = 0,363$

Συντελεστής $C_d = [C/C_n]^{1,852} = [150/90]^{1,852} = 2,58$

Συνολικές απώλειες φορτίου

$$P_f = H_f \cdot L \cdot F \cdot C_d / 100 = 2,4 \times 44 \times 0,363 \times 2,58 / 100 = 1\text{m}$$

Πίεση στην αρχή του αγωγού

$$P_f = P_a + 0,77P_f - \Delta E/2 = 10 + 0,77 \times 1 - 1,5 = 9,27 \text{ ή}$$

$$P_2 = P_a - (0,23P_f - \Delta E/2) = 10 - (0,23 - 1,5) = 11,27$$

Πίεση στο τέλος του αγωγού:

$$P_1 - P_2 = 9,27 - 11,27 = -2 \text{ ήτοι το } 20\% \text{ της λειτουργικής πίεσης των σταλακτήρων το οποίο είναι στο όριο του επιτρεπομένου ποσοστού } 20\%.$$

11. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Το δίκτυο μεταφοράς αποτελείται από τους κύριους αγωγούς οι οποίοι παίρνουν το νερό από την υδροληψία, και από τους δευτερεύοντες οι οποίοι παίρνουν νερό από τους κύριους και τροφοδοτούν τους πλευρικούς. Οι δευτερεύοντες αγωγοί τοποθετούνται παράλληλα προς την κλίση του εδάφους (κάθετα προς τις ισοϋψείς), επιτρέποντας έτσι τους αγωγούς εφαρμοχής να τοποθετούνται παράλληλα προς τις ισοϋψείς, και συνήθως είναι διαμέτρου Φ 25 - 40 mm.

11.α. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΕΣ ΑΓΩΓΟΙ

Μία διαδικασία υπολογισμού των στοιχείων των αγωγών αυτών δίνεται από τον Παπαζαφειρίου (1977, 1984), σύμφωνα με την οποία η παροχή Q_m τους είναι:

$$Q_m = NQ \quad (22)$$

όπου N = είναι ο αριθμός των αγωγών εφαρμοχής
και Q = η παροχή κάθε αγωγού εφαρμοχής
Το μήκος τους (L) είναι :

$$L = NS_1 \quad (23)$$

όπου S_1 είναι η απόσταση μεταξύ των αγωγών εφαρμοχής. Οι συνολικές απώλειες φορτίου δίδονται από την σχέση:

$$P_f = H_f \cdot L \cdot F / 100 \quad (24)$$

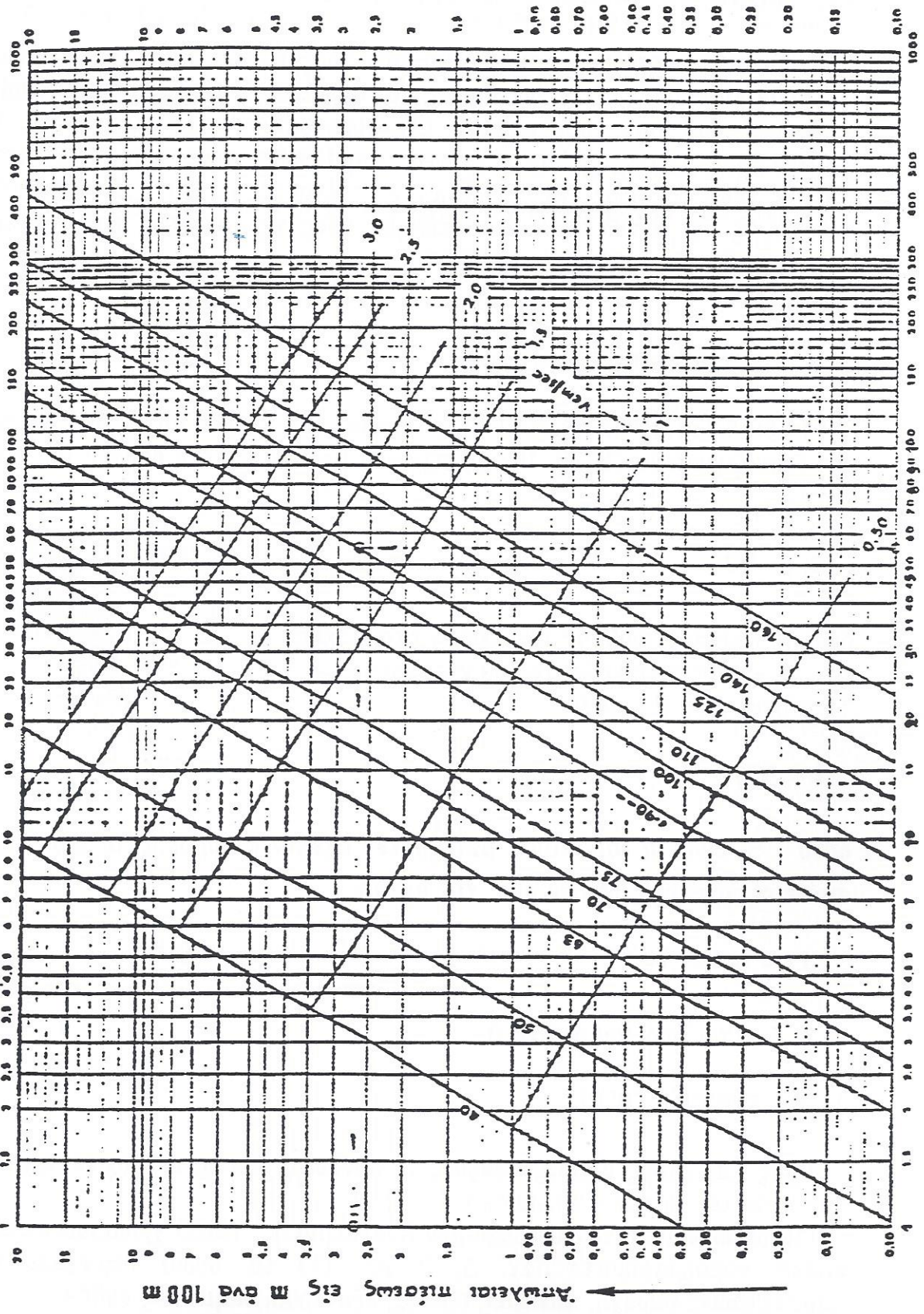
το F δίδεται από τον πίνακα θ.

11.β ΚΥΡΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ

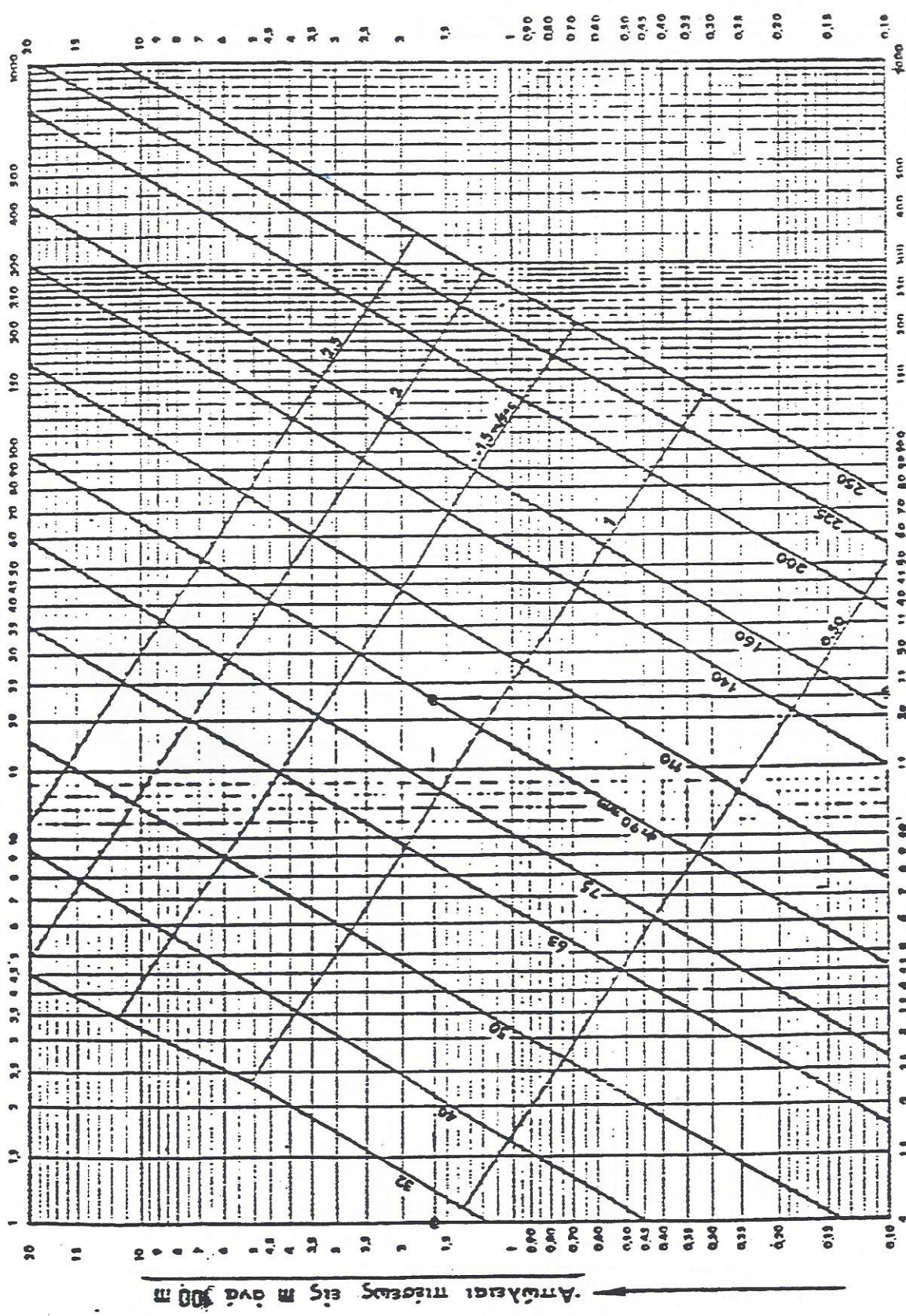
Όπως και στους άλλους αγωγούς οι απώλειες πίεσης υπολογίζονται από τον τύπο των Hazen - Williams (εξ. 17).

Για διευκόλυνση των υπολογισμών (Γιακουμάκης, 1985) χρησιμοποιούνται ειδικά νομογραφήματα (Σχ. 8, 9, 10, 11) τα οποία περιέχουν τις παραμέτρους: παροχή, απώλειες πίεσης, εξωτερική διάμετρος σωλήνα:

Σχήμα 8. ΝΥΜΦΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΟΛΕΙΟΝ ΠΙΕΣΕΩΣ ΣΩΛΗΝΩΝ PVC 6



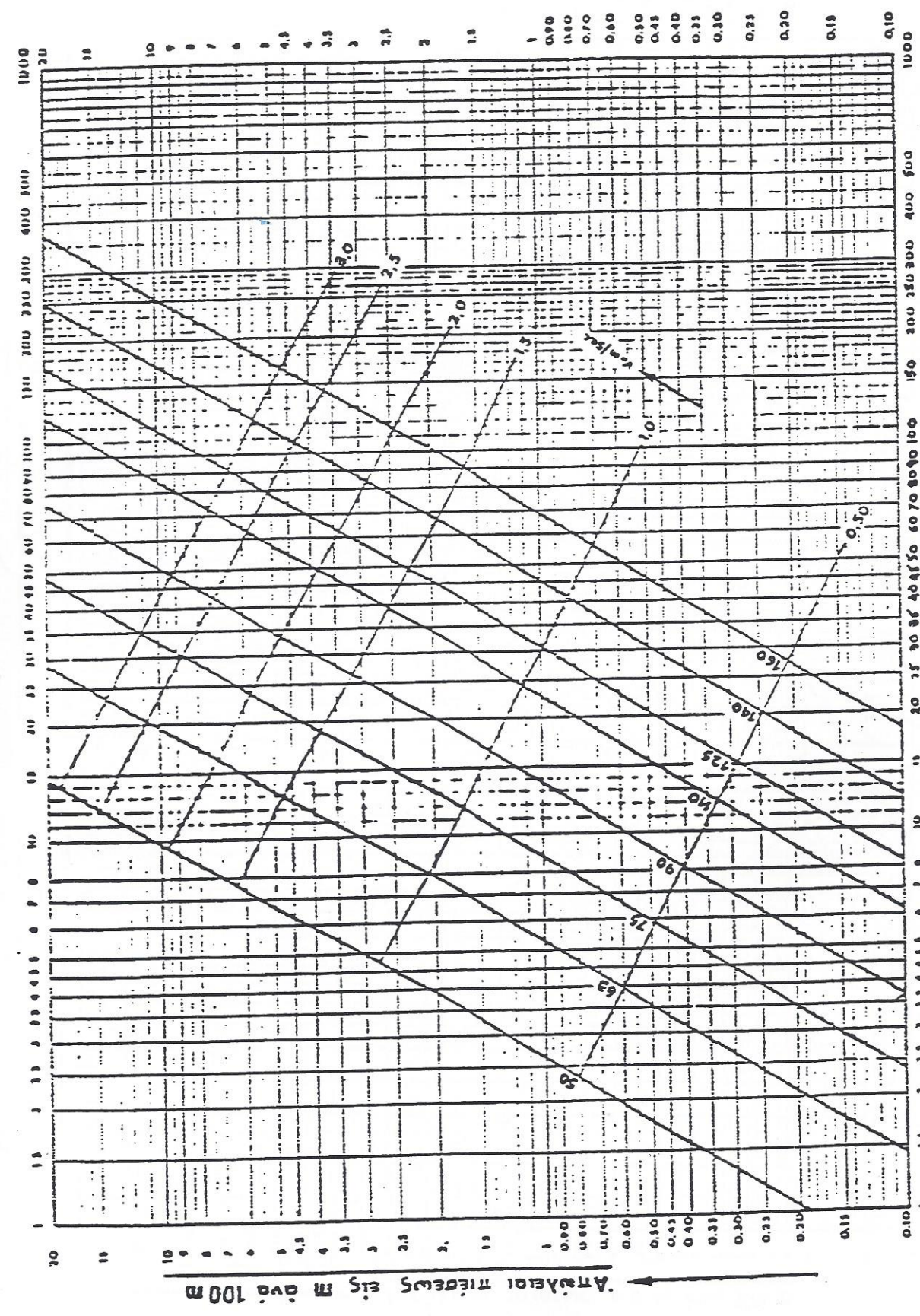
Σχήμα 9. ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΠΙΕΣΕΩΣ ΣΤΑΘΗΝΩΝ Ρ V C 10 Ατμ.



Απώλειες πίεσης εἰς m ανά 100 m

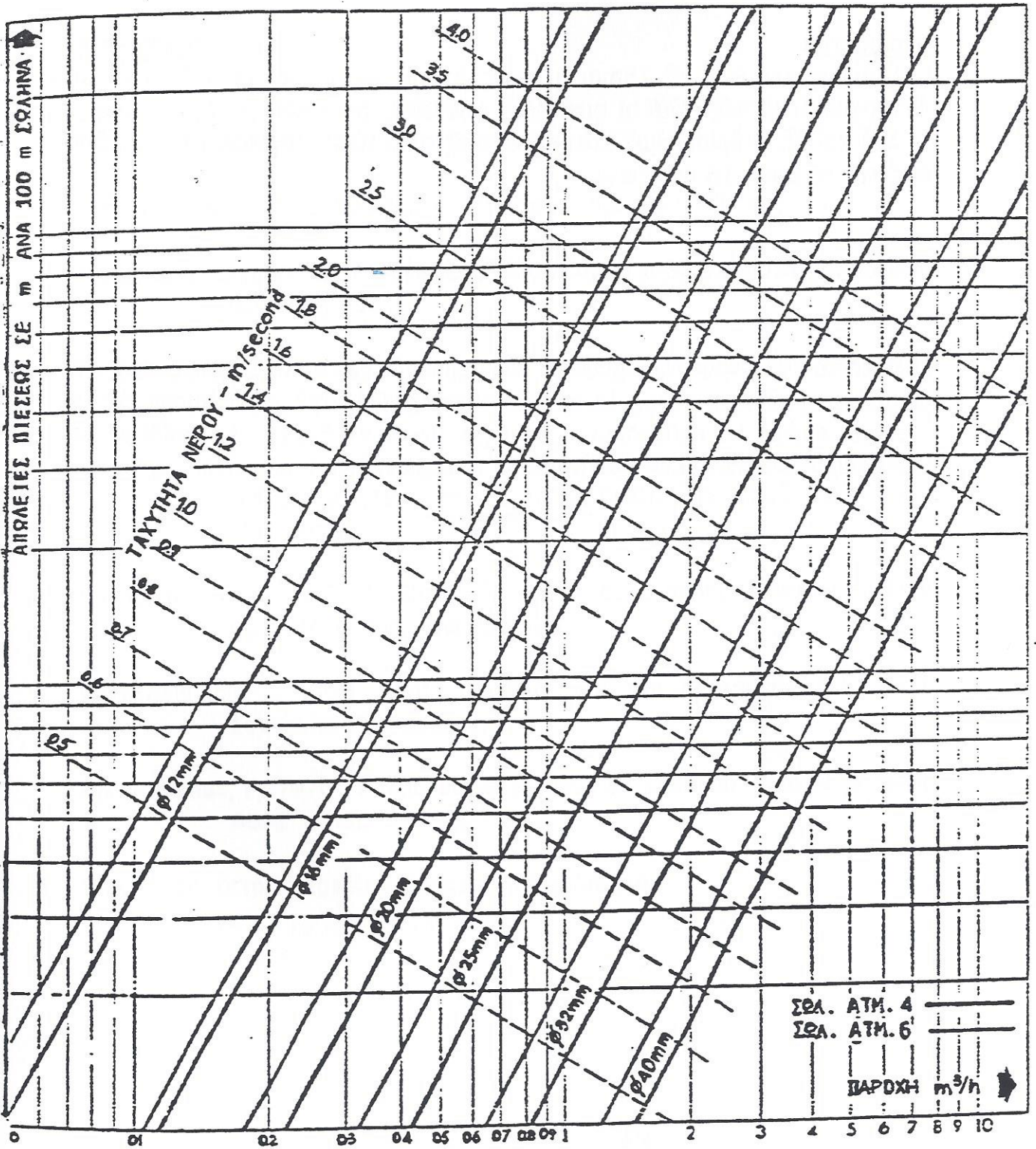
Παροχή m³/h

Σχήμα .10. ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΟΛΕΙΩΝ ΠΙΕΣΕΩΣ ΣΩΛΗΝΩΝ Ρ V C 16 Λ.Π.Π.



Παροχή m³/h

ΔΤ (Απώλειες πίεσης εις m ανά 100 m)



Σχῆμα 41. ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΠΙΕΣΕΩΣ ΣΩΛΗΝΩΝ Ρ Ε 4 & 6 Atm.

Παράδειγμα

Σωλήνας από ΡΥC Φ 75mm μήκους 250m μεταφέρει νερό $20\text{m}^3/\text{h}$ με πίεση 9 atm. Ποιές είναι οι συνοδικές απώθειες;

Από το Σχ. 9 βρίσκουμε ότι οι απώθειες ανά 100m αγωγού $H_f = 3,25\text{m}$. Από την εξίσωση 16 προκύπτει:

$$\Delta H = H_f \cdot L / 100 = 3,25 \times 250 / 100 = 8,13\text{m}$$

Κατά τον ίδιο τρόπο μπορούν να υπολογιστούν με τα νομογραφήματα και οι απώθειες πίεσης στους δευτερεύοντες αγωγούς, με τη διαφορά ότι η τιμή ΔH πρέπει να πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή F , ανάλογα με τον αριθμό των πλευρικών σωλήνων που τροφοδοτούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Batty, J. Clair, Hammad, S.N. and Keller, J. 1975. Energy inputs to irrigation. J. Irrig Drain. Div, ASCE, 101 (1R4): 293 - 307.

Γιακουμάκης, Ε. 1985. Πότισμα με σταχόνες. ΙΕΒ. Θεσσαλονίκη.

Ινστιτούτο Εργείων Βελτιώσεων (Ι.Ε.Β): Μελέτη άρδευσης με σταχόνες. Θεσ/νίκη 1981.

Κωνσταντινίδης Κ. 1985. Άρδευση και συστήματα άρδευσεων. Εκδοτικός οίκος Σάκκουλα. Θεσσαλονίκη.

Oron, G., Shelef, G. and Turzynski, Berta. 1979. Trickle irrigation using treated wastewaters, J. Irrig. Drain. Div. ASCE, 105 (1R2) : 175 - 187.

Παπαζαφειρίου, Ζ. 1977. Σχεδίαση και υπολογισμός αρδευτικών συστημάτων με σταλακτήρες. Θεσσαλονίκη.

Παπαζαφειρίου, Ζ. 1984. Αρχές και πρακτική των αρδύσεων. Εκδ. οίκος Σάκκουλα. Θεσσαλονίκη.

Parhomchuk, P. 1976. Temperature effects on emitter discharge rates ASAE. Trans. 19: 690 - 692.

Shoji Kobe, Drip Irrigation. Ενημερωτικό φυλλάδιο.