

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ & ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΑΘΗΜΑ:

ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ -

ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΕΙΣ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΝΟΤΗΤΑ:

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΓΙΑΝΝΗΣ Α. ΜΥΛΟΠΟΥΛΟΣ, Καθηγητής

ΕΛΠΙΔΑ Γ. ΚΟΛΟΚΥΘΑ, Λέκτορας

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΕΚΔΟΣΗ
ΤΜΗΜΑ ΕΚΔΟΣΕΩΝ
2010-2011**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ ΕΡΓΑ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	3
1.2 ΑΛΛΑΓΗ ΣΚΗΝΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	6
1.4 ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ.....	9
2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	10
2.1 ΔΙΚΤΥΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	10
2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.....	11
2.3 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.....	23
2.4 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	23
3. ΧΑΡΑΞΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	25
3.1 ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ	26
3.2 ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΦΟΡΤΙΟ ΠΙΕΣΗΣ ΜΙΑΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ.....	27
3.3 ΒΑΣΙΚΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ με καταιονισμό.....	27
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	30
4.1 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	30
4.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΩΡΟΛΟΓΙΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ Ή ΤΗΣ ΕΚ ΠΕΡΙΤΡΟΠΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	31
Μειονεκτήματα	32
Πλεονεκτήματα.....	32
4.2.1 ΜΕΓΕΘΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	32
4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ - CLEMENT	45
Μειονεκτήματα	46
Πλεονεκτήματα.....	46
4.3.1 ΜΕΓΕΘΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	46
Όμως	47
5. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.....	52
5.1 ΧΑΡΑΞΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ.....	52
5.2 ΚΡΙΣΙΜΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	52
5.3 ΔΙΚΤΥΟ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ.....	53
5.4 ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ.....	53
5.5 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	57
5.6 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	57

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ ΕΡΓΑ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα εγγειοβελτιωτικά έργα ή αλλιώς τα έργα εγγείων βελτιώσεων, (τα έργα δηλαδή που βελτιώνουν τη γη), από την αρχαία ακόμη εποχή, αποτελούσαν σημαντικό παράγοντα για την επιβίωση και την οικονομική ανάπτυξη του ανθρώπου.

Αρδευτικά, στραγγιστικά, αντιπλημμυρικά και αποξηραντικά έργα, έργα διευθέτησης ποταμών και χειμάρρων και έργα εξυγίανσης περιοχών, όπως και φράγματα συλλογής, αποθήκευσης και εκτροπής του νερού, συνδέθηκαν, σύμφωνα με την ιστορική εμπειρία, πάντοτε με την προσπάθεια του ανθρώπου να αξιοποιήσει τη φύση προς όφελός του. Η άρδευση, η στράγγιση και η αποξήρανση εδαφών, αλλά και η συλλογή, η αποθήκευση και διαχείριση του νερού μέσω φραγμάτων, αποτελούν παραδείγματα σχεδιασμού εγγειοβελτιωτικών έργων που συνέβαλαν καθοριστικά στην οικονομική ανάπτυξη και την ευημερία. Ακόμη, τα εγγειοβελτιωτικά έργα συνδέθηκαν με την προσπάθεια του ανθρώπου να προστατευθεί από τους κινδύνους της φύσης, αντιμετωπίζοντας για παράδειγμα μέσω του σχεδιασμού εγγειοβελτιωτικών έργων άλλοτε καταστροφικές πλημμύρες κι άλλοτε εκτεταμένες ασθένειες λόγω ελονοσίας, ή λόγω συσσώρευσης λυμάτων και αποβλήτων.

Ήδη από τη μυθολογία ακόμη, είναι φανερό η εναγώνια προσπάθεια του ανθρώπου να δαμάσει τη φύση. Ο άθλος του Ηρακλή με τη Λερναία Ύδρα, συμβολίζει την προσπάθεια αποξήρανσης της αρχαίας λίμνης Λέρνης στην Κορινθία και εξυγίανσης της εκτεταμένης ελώδους περιοχής, η οποία είχε καταδικάσει τους κατοίκους σε θάνατο λόγω ελονοσίας και την περιοχή σε φτώχεια και μαρασμό. Το τέρας της λίμνης με τα πολλά κεφάλια, (πολλά έλη), που τρομοκρατούσε και κατέστρεφε την περιοχή, το οποίο όταν του έκοβαν ένα κεφάλι έβγαιναν στη θέση του δύο, συμβολίζει ακριβώς την αδυναμία του ανθρώπου να αντιμετωπίσει με συμβατικές μεθόδους (θερισμός καλαμιώνων), τις βαλτώδεις και ελώδεις εκτάσεις. Μέχρι που ήρθε ο Ηρακλής, ο οποίος εφαρμόσε μια πρακτική αποξήρανσης της λίμνης, εντελώς αντίστοιχη με αυτές που εφαρμόζονται σήμερα. Πρώτα θέρισε τους βάλτους, (κόψιμο κεφαλιών) κι αμέσως μετά έκαψε τις ρίζες των καλαμιώνων, (κάψιμο, καυτηρίαση κεφαλιών της Λερναίας Ύδρας). Τέλος, μπάζωσε με ογκόλιθους τη λίμνη, (πετροβολισμός και ταφή του κεντρικού κεφαλιού του τέρατος).

Αλλά και ο καθαρισμός της κόπρου του Αυγεία, της κοπριάς δηλαδή από τους στάβλους του βασιλιά Αυγεία, συμβολίζει την αξιοποίηση των νερών ενός ποταμού για τον καθαρισμό των αποβλήτων της κτηνοτροφικής δραστηριότητας. Εκείνο που είναι χαρακτηριστικό σ' αυτόν τον άθλο του Ηρακλή και δείχνει την οικολογική κατεύθυνση στη σκέψη των αρχαίων, είναι η επαναφορά της κοίτης του ποταμού, η αποκατάσταση δηλαδή της εκτροπής του, μετά το πέρας της αποστολής.

Στην Ελλάδα, ο σχεδιασμός μεγάλων έργων εγγείων βελτιώσεων ξεκίνησε τη δεκαετία του 1930. Τότε κατασκευάστηκαν μεγάλα αρδευτικά και αποξηραντικά έργα, όπως της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης και της Κωπαΐδας, που επέτρεψαν την αύξηση της γεωργικής προσόδου στη χώρα. Τότε σχεδιάστηκαν μεγάλες διευθετήσεις ποταμών, όπως π.χ. του Γαλλικού και του Αξιού ποταμού, που προστάτευσαν τις παραποτάμιες περιοχές από τις πλημμύρες και επέτρεψαν την αγροτική ανάπτυξη εκτεταμένων περιοχών. Τότε ξεκίνησε και ο σχεδιασμός πολλών μεγάλων φραγμάτων που συνέβαλε στην ορθολογική αξιοποίηση των υδατικών πόρων, αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα της άνισης κατανομής τους στο χώρο (ορεινή-πεδινή Ελλάδα) και το χρόνο (εύκρατο κλίμα, με υγρούς χειμώνες και άνυδρα καλοκαίρια). Η τεχνητή λίμνη της Κερκίνης, η κατασκευή του φράγματος της οποίας συνέβαλε καθοριστικά στον έλεγχο και τη διαχείριση των υδάτων του διακρατικού ποταμού Στρυμόνα και βοήθησε σημαντικά στην αγροτική ανάπτυξη του κάμπου των Σερρών, όπως και η τεχνητή λίμνη Πλαστήρα, η οποία συνέβαλε στην αγροτική ανάπτυξη της Θεσσαλικής γης, αλλά και στην τουριστική ανάπτυξη της γύρω περιοχής, αποτελούν δύο εξαιρετικά παραδείγματα ταυτόχρονης οικονομικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής αναβάθμισης δύο σημαντικών περιοχών.

Δεν είχαν όμως όλα τα παραδείγματα σχεδιασμού εγγειοβελτιωτικών έργων ευεργετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στις περισσότερες των περιπτώσεων έγινε κατάχρηση της ανάπτυξης σε βάρος των ούτως ή άλλως περιορισμένων υδατικών αποθεμάτων και υπήρξε αδιαφορία για την οικολογική ισορροπία ευαίσθητων οικοσυστημάτων. Έτσι τα εγγειοβελτιωτικά έργα έγιναν αργότερα συνώνυμα με τη κατασπατάληση υδατικών πόρων, την εξάντληση υπόγειων υδροφορέων και την ύπαρξη προβλημάτων λειψυδρίας, ερημοποίησης, υποβάθμισης υγροτόπων και καταστροφής περιβαλλοντικών συστημάτων. Η λειψυδρία που αντιμετωπίζει σήμερα ο Θεσσαλικός κάμπος, αλλά και άλλες περιοχές της χώρας, η εκτεταμένη υφαλμύρωση σε όλο σχεδόν το μήκος της παράκτιας ζώνης και η υποβάθμιση

πολλών υγροτόπων, (π.χ. της λίμνης Κορώνειας), αποδίδονται στην, χωρίς πρόνοια για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κατασκευή έργων εγγείων βελτιώσεων.

Σήμερα ειδικά, όπου τα περιβαλλοντικά προβλήματα βρίσκονται πολύ ψηλά στην καθημερινή ατζέντα και όπου οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι της κλιματικής αλλαγής και των φαινομένων της ξηρασίας και της λειψυδρίας που εγκυμονεί για την περιοχή μας, είναι ορατοί, το μεγάλο αίτημα της αειφορικής ανάπτυξης, της ανάπτυξης δηλαδή με ισόρροπη συμμετοχή των στόχων της οικονομίας, της περιβαλλοντικής διατήρησης και της κοινωνικής συνοχής, αποκτά νέες διαστάσεις και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό των εγχειοβελτιωτικών έργων. Η εύρεση σημείων ισορροπίας και επιπέδων συμβατότητας μεταξύ ανάπτυξης και περιβάλλοντος, σε μια χώρα όπου το 85% του υδατικού της δυναμικού καταναλώνεται στις αγροτικές δραστηριότητες, (το ποσοστό της κατανάλωσης νερού από τον αγροτικό τομέα είναι 70% σε παγκόσμια κλίμακα), δημιουργεί νέα δεδομένα στο σχεδιασμό των μεγάλων έργων εγγείων βελτιώσεων. Κι αυτό γιατί τα εγχειοβελτιωτικά έργα τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη και την ποιότητα της ζωής στην ύπαιθρο, αποτελούν ταυτόχρονα σημαντικές παρεμβάσεις στη φύση, με σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τόσο στους υδατικούς πόρους, όσο και στα λοιπά οικοσυστήματα.

Τα ζητήματα λοιπόν της ανάπτυξης και εφαρμογής νέων μεθόδων άρδευσης που εξοικονομούν νερό, της εφαρμογής τεχνολογιών ελέγχου και μείωσης των διαρροών σε δίκτυα και μεγάλα εγχειοβελτιωτικά έργα, καθώς και της εκπόνηση μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την έγκαιρη πρόβλεψη, αλλά και για την αποκατάσταση βλαβών, αποτελούν τις καινούργιες προκλήσεις του σχεδιασμού σ' αυτήν την κατηγορία τεχνικών έργων. Έτσι λοιπόν η παραδοσιακή τεχνική, που ήθελε τον επιτυχή σχεδιασμό των τεχνικών έργων να στηρίζεται σ' ένα συνδυασμό τεχνικής αρτιότητας και οικονομικής αποδοτικότητας, συμπληρώνεται σήμερα με έναν ακόμη όρο, αυτόν της περιβαλλοντικής φροντίδας.

1.2 ΑΛΛΑΓΗ ΣΚΗΝΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Η προϊούσα κλιματική αλλαγή με την εμφάνιση τοπικών φαινομένων έντονης ξηρασίας, καθώς και οι ανθρωπογενείς επιπτώσεις στα νερά εξ' αιτίας των χρήσεων γης και των οικονομικών δραστηριοτήτων - οι οποίες έχουν οδηγήσει σε μη αντιστρεπτά φαινόμενα ρύπανσης, εξάντλησης αποθεμάτων λόγω υπεράντλησης και ερημοποίησης - αποτελούν τις βασικότερες αιτίες που η γεωργία σε διεθνές επίπεδο αντιμετωπίζει πλέον σοβαρούς κινδύνους που αφορούν στη βιωσιμότητα της παραγωγής τροφίμων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η πίεση από την παγκοσμιοποίηση της οικονομίας για μικρότερη υποστήριξη της γεωργίας των αναπτυγμένων κρατών, καθώς και η υποχρεωτική εφαρμογή της Νέας Κοινής Αγροτικής Πολιτικής της Ε.Ε. απ' όλα τα κράτη-μέλη, δημιουργούν ένα νέο σκηνικό στην αρδευόμενη γεωργία.

Η απάντηση στα νέα δεδομένα που αναπτύσσονται είναι ο εκσυγχρονισμός των αρδευτικών δικτύων, η μελέτη και η λειτουργία των δικτύων με βάση τις πραγματικές υδατικές ανάγκες, η αναδιάρθρωση των καλλιεργειών και η προσαρμογή τους στη διαθεσιμότητα του νερού, η επιλογή καλλιεργειών ανθεκτικών σε νερό χαμηλής ποιότητας, η υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών, η χρήση της τηλεμετρίας, δηλαδή η ηλεκτρονική παρακολούθηση και ο έλεγχος των απωλειών των υδραυλικών δικτύων, η πληροφόρηση και η επιμόρφωση των αγροτών, καθώς και η λειτουργία των αρδευτικών έργων ως μέρος ενός ευρύτερου πλαισίου μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Απαιτείται συστηματική εξέταση του θέματος που θα πρέπει να βασιστεί σε μελέτες διαχείρισης των υδατικών πόρων, εκπόνηση δηλαδή ισοζυγίων προσφοράς και ζήτησης του νερού, αλλά και σε μελέτες οικονομικής σκοπιμότητας σε ό,τι αφορά τις γεωργικές καλλιέργειες.

Τα περιθώρια εξοικονόμησης νερού στον τομέα των αρδεύσεων είναι ιδιαίτερα μεγάλα. Ήδη η διεθνής βιβλιογραφία αναφέρει ότι μόνον ο εκσυγχρονισμός των δικτύων κι η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών εξοικονόμησης νερού, θα μπορούσαν να μειώσουν τις απώλειες, από 70% περίπου που είναι σήμερα, στο μισό. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς τη σημασία που αποκτά η εξοικονόμηση νερού στις αρδεύσεις, τη στιγμή κατά την οποία μια εξοικονόμηση νερού της τάξεως μόνον του 10%, επειδή αναφέρεται στο 85% της κατανάλωσης των υδατικών μας αποθεμάτων,

θα μπορούσε να είναι ικανή να εξοικονομήσει νερό για την ύδρευση του διπλάσιου πληθυσμού από το σημερινό για τη χώρα μας! Χωρίς καν να εφαρμοστούν προγράμματα αναδιάρθρωσης καλλιεργειών, τα οποία ασφαλώς και θα ήταν πιο αποτελεσματικά.

1.3 ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Τα βασικότερα προβλήματα που παρουσιάζονται στη διαχείριση και λειτουργία των αρδευτικών έργων είναι:

- Τεχνικά προβλήματα που δημιουργούνται κατά το στάδιο της μελέτης, ή της κατασκευής
- Οι μεγάλες απώλειες των αρδευτικών μεθόδων και οι διαρροές των αρδευτικών δικτύων
- Η ανεπαρκής στελέχωση των τοπικών φορέων
- Η ανεπαρκής χρηματοδότηση της συντήρησης, σε αντίθεση με την κατασκευή
- Η δυσκολία γρήγορων και επί τόπου επισκευών
- Η ανυπαρξία συστημάτων διαχείρισης των δικτύων
- Η ανεξέλεγκτη χρήση των υδατικών πόρων
- Η δημιουργία δυσμενών συνθηκών για το περιβάλλον (Γ. Τσακίρης 2004)

1.4 ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ

Οι καλλιέργειες παίρνουν το νερό που τους χρειάζεται για την ανάπτυξή τους από τη βροχή, την ήδη αποθηκευμένη στο έδαφος υγρασία και την υγρασία που φτάνει στη ρίζα τους με τριχοειδή ανύψωση από τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

Σε μια χώρα σαν την Ελλάδα, η οποία χαρακτηρίζεται από εύκρατο κλίμα και η οποία ανήκει στην ξηροθερμική ζώνη, που σημαίνει ότι διαθέτει θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και υγρούς χειμώνες και με το δεδομένο ότι οι ελληνικές αγροτικές καλλιέργειες αναπτύσσονται κυρίως κατά τη θερινή περίοδο, το πρόβλημα της άνισης κατανομής του νερού στο χρόνο και τον χώρο, αποκτά ιδιαίτερα σημαντικές διαστάσεις για την άρδευση των καλλιεργειών.

Σκοπός των συλλογικών αρδευτικών έργων είναι να καλύψουν το κενό της ανισοκατανομής των υδατικών πόρων κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι καλλιέργειες να παίρνουν συμπληρωματικά και με τεχνικούς τρόπους το νερό που χρειάζονται, όταν αυτό δεν επαρκεί πλήρως για τις ανάγκες των καλλιεργειών.

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Ένα τυπικό αρδευτικό έργο αποτελείται από :

- Τα έργα συλλογής του νερού. Τα έργα αυτά μπορεί να είναι συστήματα γεωτρήσεων, φράγματα υδροσυλλογής, έργα υδρομάστευσης πηγών ή συλλογής επιφανειακών νερών, λιμνοδεξαμενές, ή και συνδυασμός αυτών.
- Τα έργα αποθήκευσης του νερού. Αυτά μπορεί να είναι ταμιευτήρες για την κάλυψη της εποχιακής ανισοκατανομής του νερού, ή και δεξαμενές 24ωρης εξισορρόπησης του νερού
- Το δίκτυο μεταφοράς του νερού. Παλιότερα ήταν συνήθως επιφανειακές διώρυγες μεταφοράς νερού. Σήμερα τα περισσότερα κατασκευάζονται κλειστά και υπό πίεση.
- Το δίκτυο διανομής του νερού. Κι αυτό σήμερα είναι δίκτυο κλειστών αγωγών υπό πίεση.
- Το σύστημα εφαρμογής του νερού στο έδαφος (εγκαταστάσεις, κατασκευές και όργανα που χρησιμοποιούνται επιτόπου για την άρδευση κάθε αρδευτικής μονάδας).

2.1 ΔΙΚΤΥΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Με τον όρο δίκτυο άρδευσης εννοούμε το σύνολο των έργων μεταφοράς, μέτρησης και διανομής του νερού που πρέπει να κατασκευαστούν ώστε το νερό ξεκινώντας από το σημείο διάθεσής του (ποτάμι, πηγή, γεώτρηση κτλ.) να καταλήγει σε κάθε αρδευτική μονάδα (αγροτεμάχιο) με την απαιτούμενη παροχή και το απαιτούμενο φορτίο στο χρόνο που χρειάζεται.

Τα δίκτυα άρδευσης ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του νερού διακρίνονται σε : ελεύθερης επιφάνειας (ανοικτών αγωγών) και υπό πίεση (κλειστών αγωγών).

Τα δίκτυα είτε ανοικτών είτε κλειστών αγωγών κατασκευάζονται σε ακτινωτή μορφή, δηλαδή τον πρωτεύοντα αγωγό ακολουθούν με διακλαδώσεις οι δευτερεύοντες και στη συνέχεια οι τριτεύοντες, χωρίς ποτέ να δημιουργείται κλειστός βρόχος. Το δίκτυο ξεκινά από την κεφαλή όπου βρίσκεται η δεξαμενή αποθήκευσης ή το αντλιοστάσιο (σε περίπτωση δικτύου κατάθλιψης) και καταλήγει στις υδροληψίες, οι οποίες έχουν γνωστές παροχές και ενεργειακά φορτία.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Μέθοδος άρδευσης είναι ο τρόπος με τον οποίο το νερό εφαρμόζεται στις καλλιέργειες. Για να είναι επιτυχής μια άρδευση πρέπει το νερό να εφαρμοστεί ομοιόμορφα σε όλο το αγροτεμάχιο και να παραμείνει τόσο χρόνο όσο χρειάζεται.

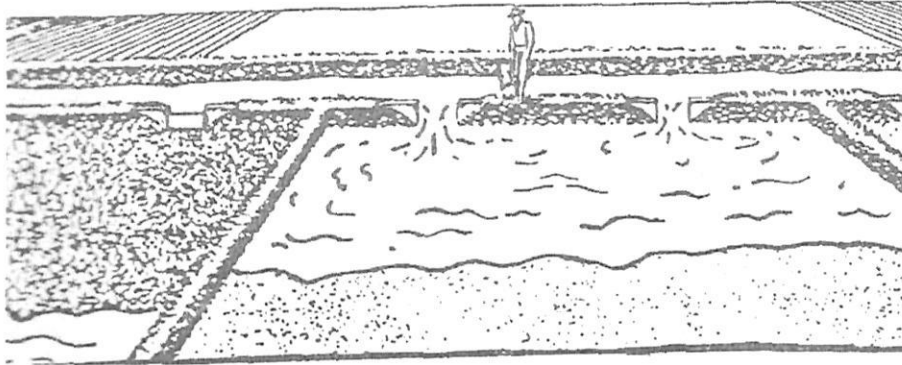
Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι άρδευσης είναι:

- Επιφανειακή άρδευση
 - a. Άρδευση με κατάκλυση
 - b. Άρδευση με λωρίδες
 - c. Άρδευση με αυλάκια
- Υπάρδευση ή υπόγεια άρδευση
- Άρδευση με καταιονισμό ή τεχνητή βροχή
- Τοπική άρδευση ή άρδευση με σταγόνες (στάγδην άρδευση)

➤ Επιφανειακή άρδευση

Είναι η πιο παλιά μέθοδος και γίνεται με τη χρήση συστήματος ανοικτών αγωγών. Διακρίνεται σε άρδευση με κατάκλυση ή με αυλάκια.

Η άρδευση με κατάκλυση απαιτεί περίπου οριζόντια επιφάνεια εδάφους. Η έκταση χωρίζεται σε λεκάνες, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, των οποίων το μέγεθος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και από την διατιθέμενη παροχή νερού.



Σχήμα 1: Άρδευση με κατάκλυση



Σχήμα 2: Σιφώνια που διοχετεύουν το νερό μέσω της αρδευτικής διώρυγας στο χωράφι.

Πλεονεκτήματα

1. Μικρές δαπάνες εγκατάστασης και συντήρησης
2. Εφαρμόσιμη σε δεντροκαλλιέργειες και καλλιέργειες ρυζιού

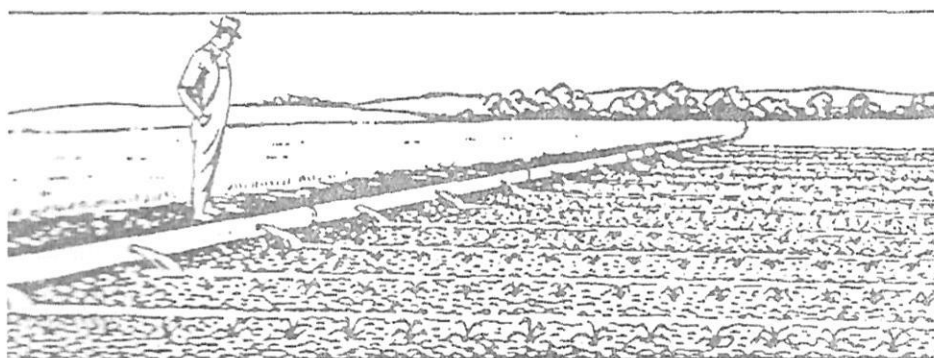
Μειονεκτήματα

1. Αδυναμία πλήρους αποστράγγισης
2. Ανεπαρκής αερισμός εδάφους
3. Δύσκολη κυκλοφορία μηχανημάτων

Η επιφανειακή άρδευση με αυλάκια εφαρμόζεται σε κεκλιμένα εδάφη. Κατά την άρδευση με αυλάκια το χωράφι χωρίζεται σε αυλάκια που είναι παράλληλα μεταξύ τους και συνήθως βαίνουν προς την κλίση του εδάφους. Οι αποστάσεις μεταξύ των αυλακίων κυμαίνονται από 0.5-1.80m. Το νερό παροχετεύεται σ' ένα ή περισσότερα σημεία στο άνω άκρο του χωραφιού όπου αφού διηθηθεί μια ποσότητα το υπόλοιπο κινείται προς τα κάτω με μειωμένη παροχή (σχ.4). Παράγοντες που διαμορφώνουν την προς τα κάτω ροή είναι η παροχή, το μήκος της διαδρομής, η διηθητικότητα του εδάφους, η κλίση του, καθώς και η τραχύτητα της επιφάνειας του χωραφιού.



Σχήμα 3: Άρδευση με αυλάκια



Σχήμα 4: Άρδευση με αυλάκια

Η επιφανειακή άρδευση με λωρίδες εφαρμόζεται σε εδάφη με μέση κλίση 0.2-2%
Η αρδευόμενη έκταση χωρίζεται σε λωρίδες, με την κατασκευή αναχωμάτων. Το πλάτος, και το μήκος των λωρίδων, η κλίση του εδάφους και η διαθέσιμη παροχή είναι τα βασικά μεγέθη που πρέπει να μελετηθούν κατά την εφαρμογή της μεθόδου. Η μέθοδος εφαρμόζεται για άρδευση πυκνά αναπτυσσόμενων καλλιεργειών, π.χ. μηδική, τριφύλλι. (Λατινόπουλος, Κρεστενίτης (2001)).

➤ **Υπόγειη ή υπόγεια άρδευση**

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή το νερό διοχετεύεται σε ανοικτές τάφρους και καταλήγει στο έδαφος μέσω πλευρικής διήθησης. Εφαρμόζεται ως συμπληρωματική κυρίως άρδευση και απαιτεί πολύ διαπερατά εδάφη. Η μέθοδος θεωρείται απαρχαιωμένη και έχει πλέον εγκαταληφθεί.

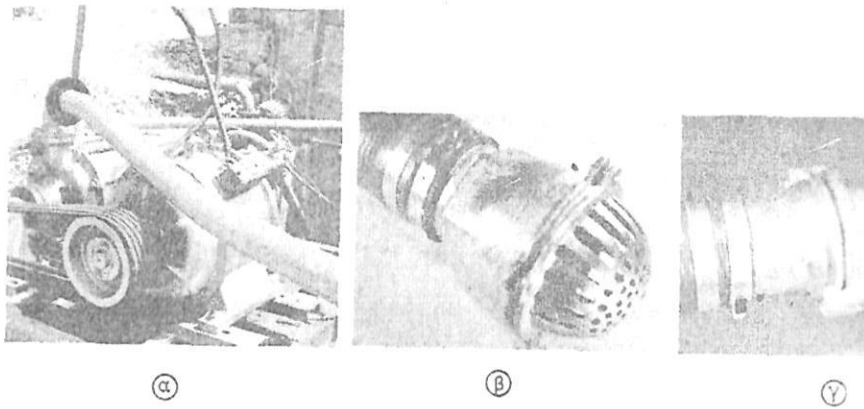
➤ **Άρδευση με καταιονισμό ή τεχνητή βροχή**

Το νερό εφαρμόζεται σε όλη την επιφάνεια του εδάφους, σαν τεχνητή απομίμηση της βροχής και διηθείται στο έδαφος κατακόρυφα υπό ακόρεστες συνθήκες ροής. Το κύριο εξάρτημα της μεθόδου είναι ο καταιονιστήρας που στέλνει το νερό στον αέρα με τη μορφή σταγόνων μέσω των ακροφυσίων του. Τα ακροφύσια ρυθμίζουν την παροχή, την ακτίνα καταιόνισης την κατανομή και το μέγεθος των σταγόνων. Η μεταφορά του νερού στους καταιονιστήρες γίνεται με σωληνώσεις, σταθερές ή μεταφερόμενες (σχ. 6).

Μια σχηματική διάταξη φαίνεται στα σχήματα 8α, 8β

Το ατομικό δίκτυο για την άρδευση με τεχνητή βροχή, αποτελείται από τα εξής μέρη:

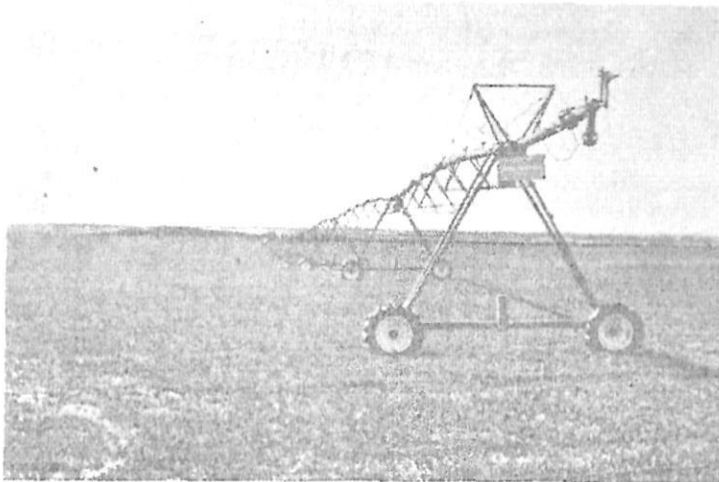
1. Το αντλητικό συγκρότημα



Σχήμα 5: α: αντλία , β: η άκρη του σωλήνα , γ: ταχύδεσμος ένωσης σωλήνων

2. Τις σωληνώσεις

Αποτελούνται από τις γραμμές διανομής που περιλαμβάνουν τους σωλήνες στην άκρη των οποίων υπάρχει φίλτρο, τους ταχυσυνδέσμους και ειδικά κομμάτια για την καλή λειτουργία του δικτύου.

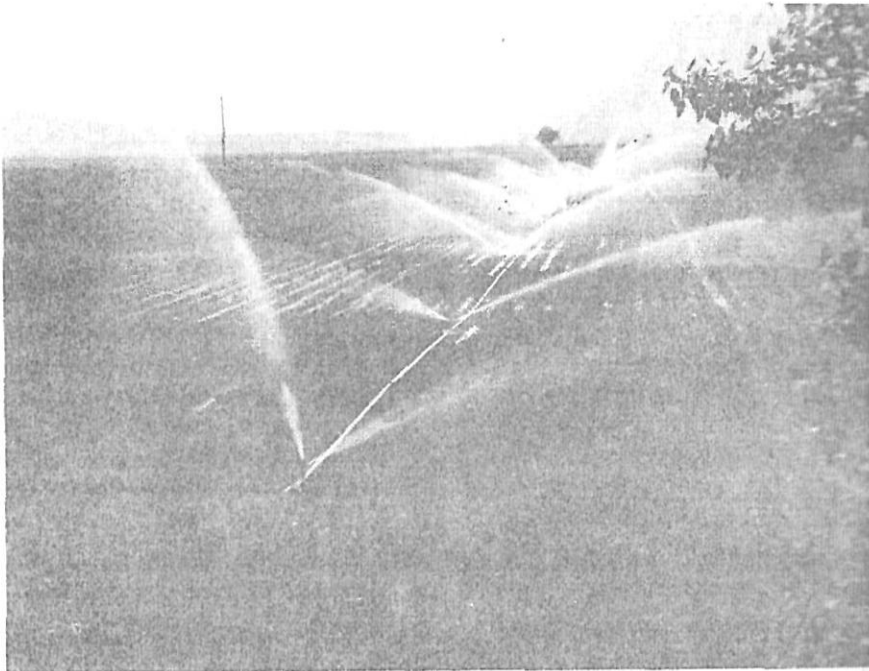


Σχήμα 6: Μετακινούμενες σωληνώσεις

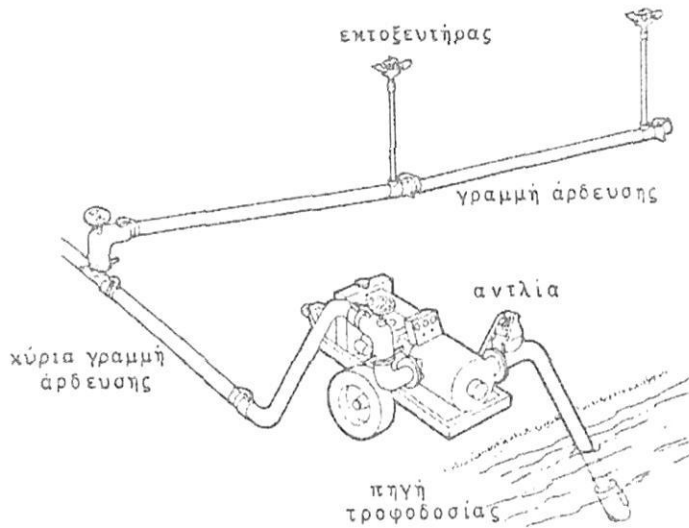
3. Τους εκτοξευτές (καταιονιστήρες) οι οποίοι διακρίνονται σε χαμηλής μέσης και υψηλής πίεσης (σχ. 7).



Σχήμα 7: Εκτοξευτής νερού



Σχήμα 8: Άρδευση με τη μέθοδο της τεχνητής βροχής



Σχήμα 8β: Σύστημα άρδευσης με τεχνητή βροχή

Πλεονεκτήματα

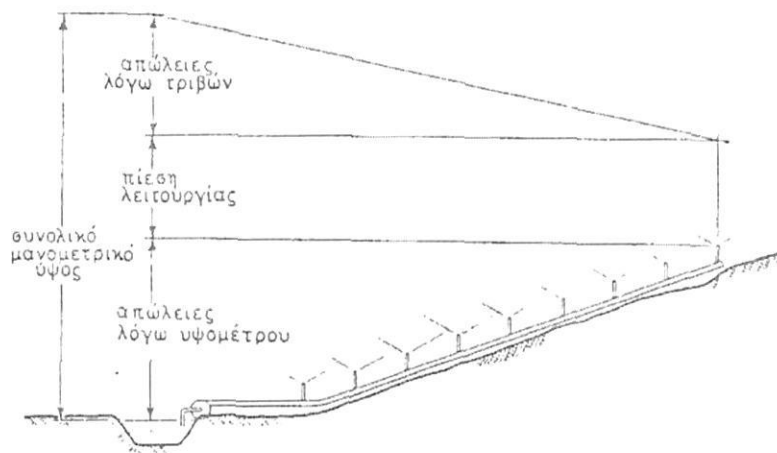
1. Εφαρμόζεται σε όλες τις καλλιέργειες και σε όλα τα εδάφη, ανεξάρτητα από τη διηθητικότητα και τις κλίσεις.
2. Γίνεται ποιοτικά καλύτερη εφαρμογή του νερού στο έδαφος.
3. Παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης πηγών με μικρότερες παροχές σε σχέση με την επιφανειακή άρδευση, μια και οι κλειστοί αγωγοί εξασφαλίζουν μικρότερες απώλειες μεταφοράς και άρα καλύτερη οικονομία νερού σε σχέση με τις επιφανειακές μεθόδους.
4. Η ανάγκη εργατικών χεριών είναι σημαντικά μειωμένη σε σχέση με την επιφανειακή άρδευση.
5. Με την τοποθέτηση σωληνωτών αγωγών στο έδαφος γίνεται σημαντική οικονομία καλλιεργήσιμης γης σε σχέση με τις επιφανειακές αρδεύσεις (10-15% καλλιεργήσιμης γης χάνεται εξ αιτίας της κατασκευής τάφρων, διωρύγων αυλακιών κλπ)

Μειονεκτήματα

1. Μεγάλες αρχικές δαπάνες εγκατάστασης, σε σχέση με τις επιφανειακές μεθόδους

2. Μεγάλες λειτουργικές δαπάνες, κυρίως σε ενέργεια και σημαντικές δαπάνες συντήρησης
3. Αδυναμία άρδευσης σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους
4. Ανάπτυξη ασθενειών σε ορισμένες καλλιέργειες λόγω διαβροχής των φυλλωμάτων
5. Μεγάλες απώλειες σε εξάτμιση, επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση, κατά την εφαρμογή του νερού στο έδαφος

Απαιτούμενες Πιέσεις Συστήματος Τεχνητής Βροχής

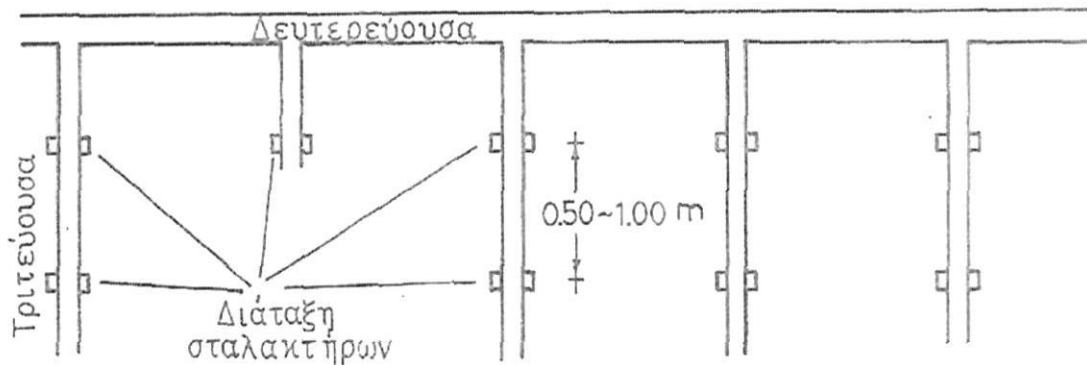


Σχήμα 9: Οι πιθανές απαιτούμενες πιέσεις σε ένα σύστημα τεχνητής βροχής

Το συνολικό μανομετρικό φορτίο προκύπτει ως άθροισμα της απαιτούμενης πίεσης για τη λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος τεχνητής βροχής, (κυμαίνεται μεταξύ 2-3,5 atm), πλέον των γραμμικών και τοπικών απωλειών. Στην περίπτωση που η υδροληψία βρίσκεται σε διαφορετικό υψόμετρο από τους υδατικούς πόρους, τότε συνυπολογίζεται και η υψομετρική διαφορά μεταξύ υδροληψίας και πηγών νερού.

➤ Στάγδην άρδευση ή τοπική άρδευση ή άρδευση με σταγόνες

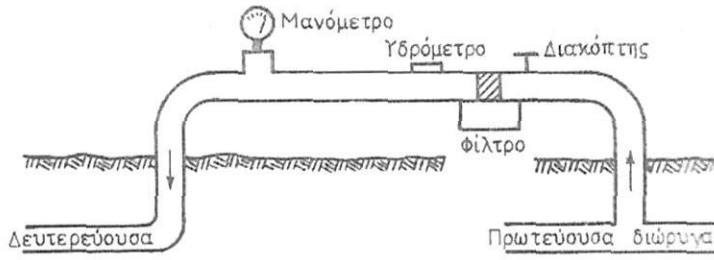
Η άρδευση με σταγόνες είναι μία μέθοδος κατά την οποία το νερό εφαρμόζεται στην καλλιέργεια τοπικά, σε μικρές ποσότητες με τη μορφή σταγόνων, με σκοπό κάθε φυτό να παίρνει την απαραίτητη υγρασία για την κάλυψη των αναγκών της εξατμισοδιαπνοής. Κύριο εξάρτημα της μεθόδου είναι οι σταλλακτήρες (διανεμητές νερού) στην έξοδο των οποίων το νερό εμφανίζεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα με τη μορφή σταγόνων, που διοχετεύουν νερό με παροχή 2-15 λίτρα / ώρα και πίεση λειτουργίας 1-1.5 atm. Η μεταφορά του νερού στους σταλλακτήρες γίνεται με σύστημα σωληνώσεων με εξωτερική διάμετρο 12-32 mm και αντοχή πίεσης 4-6 atm.



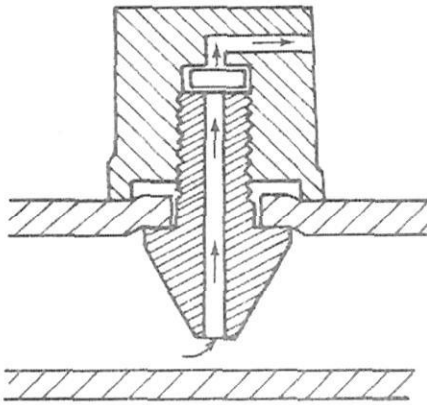
Σχήμα 10: Διάταξη δικτύου άρδευσης με σταγόνες

Η εγκατάσταση παροχής όπως φαίνεται στο σχήμα 11 αποτελείται από μια δικλείδα που διακόπτει ή διοχετεύει το νερό, το φίλτρο, το υδρόμετρο, το μανόμετρο και στο τέλος δοχείο που περιέχει λίπασμα διαλυμένο στο νερό.

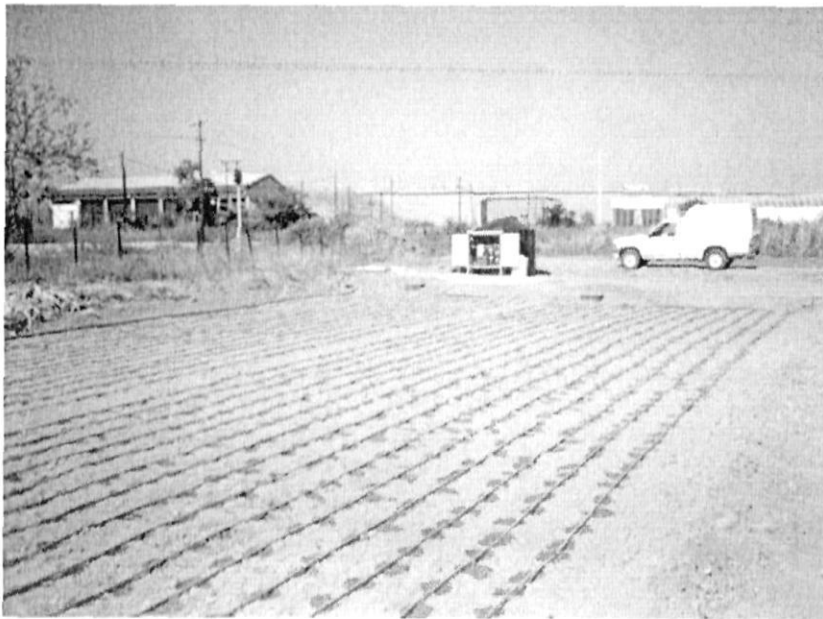
Όταν το υδρόμετρο δείξει ότι το χωράφι απέκτησε την απαιτούμενη υγρασία, τότε η δικλείδα κλείνει.



Σχήμα 11: Εγκατάσταση παροχής



Σχήμα 12: Τομή σταλλακτήρα



Σχήμα 13: Έλεγχος ομοιομορφίας του συστήματος στάγδην άρδευσης (Εργαστήριο γεωργικής Υδραυλικής, σημ. Γ. Τσακίρη)

Πλεονεκτήματα

1. Εξασφαλίζει μεγάλη οικονομία στο αρδευτικό νερό μια και ελαχιστοποιεί τις απώλειες εφαρμογής του νερού στο έδαφος. (20-30% πιο οικονομική από την τεχνητή βροχή και πάνω από 50% από τις επιφανειακές μεθόδους)
2. Εξασφαλίζει οικονομία στην ενέργεια, μια και απαιτούνται χαμηλές πιέσεις
3. Μείωση κόστους εργατικών ημερομισθίων, λόγω της αυτόματης λειτουργίας ενός μόνιμα εγκατεστημένου στο έδαφος συστήματος
4. Εκτέλεση εργασιών ακόμη και κατά τη διάρκεια της άρδευσης, αφού το νερό χορηγείται πολύ τοπικά, ώστε η επιφάνεια του εδάφους να παραμένει στεγνή
5. Δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για την άρδευση, την ανάπτυξη και την απόδοση των φυτών, (20-25% για δένδρα και 20-70% για κηπευτικά), εξ αιτίας του αργού και συνεχούς ρυθμού χορήγησης του νερού, που διατηρεί την εδαφική υγρασία κοντά στην τιμή της υδατοϊκανότητας, καθώς και της μη διαβροχής των φυλλωμάτων των καλλιεργειών
6. Χαμηλές δαπάνες λειτουργίας λόγω **μικρών παροχών και πιέσεων**

Μειονεκτήματα

1. Μεγάλο κόστος αρχικής εγκατάστασης
2. Μεγάλη πιθανότητα εμφράξεων στους σταλακτήρες είτε από στερεά σωματίδια (μηχανικές), είτε από χημικά ιζήματα (χημικές), είτε από ανάπτυξη βακτηρίων και μικροοργανισμών (βιολογικές)
3. Κίνδυνος συγκέντρωσης αλάτων στο έδαφος, οπότε απαιτούνται εκπλύσεις του εδάφους με επιπρόσθετες αρδεύσεις
4. Δυσκολία εφαρμογής σε όλες τις καλλιέργειες (ξεκίνησε σε οπωρώνες, θερμοκήπια κηπευτικών και ανθοκομικών φυτών, αλλά διαρκώς επεκτείνεται)
5. Δυσκολία στην εξοικείωση των καλλιεργητών λόγω των συνεχών ελέγχων καλής λειτουργίας των σταλακτήρων

Περισσότερες λεπτομέρειες για τη μελέτη και εφαρμογή των μεθόδων άρδευσης μπορούν να αναζητηθούν στα συγγράμματα *Παπαζαφειρίου και Παπαμιχαήλ (1996)*, *Γ.Τσακίρης (1991)*, *Λατινόπουλου, Κρεστενίτη (2001)*.

2.3 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Το ποσοστό από το σύνολο του νερού που δίνεται για άρδευση, το οποίο αποθηκεύεται στο έδαφος στη ζώνη του ριζοστρώματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την καλλιέργεια, λέγεται αποδοτικότητα άρδευσης.

2.4 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ένα αρδευτικό δίκτυο διακρίνεται στο σύστημα διανομής του νερού και το σύστημα εφαρμογής του. Για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας του δικτύου βασικά μεγέθη είναι:

α). η αποδοτικότητα δικτύου διανομής (E_d) που ορίζεται ως ο λόγος του νερού που φτάνει στα όρια των αγροτεμαχίων προς το νερό που παροχτεύεται στην αρχή του δικτύου,

β) η αποδοτικότητα εφαρμογής άρδευσης (E_f) που ορίζεται ως ο λόγος του νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος στη ζώνη του ριζοστρώματος των καλλιεργειών και είναι πλήρως διαθέσιμος για την κάλυψη των αναγκών της εξατμισοδιαπνοής, προς το νερό που εφαρμόζεται στο χωράφι.

Η αποδοτικότητα ενός αρδευτικού δικτύου στο σύνολο της προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των επιμέρους αποδοτικότητων. Η γνώση της συνολικής αποδοτικότητας του δικτύου είναι απαραίτητη.

ΤΥΠΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (E_d)
Επιφανειακό	Πολύ καλή μέχρι άριστη	0,60-0,75
	Ικανοποιητική	0,50-0,60
	Ελλιπής	0,35-0,50
	Κακή	0,20-0,35
Υπό πίεση	Ικανοποιητική μέχρι άριστη	0,80-0,95
ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ		ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (E_f)
Κατάκλυση (λεκάνες)		0,06-0,80
Αυλάκια		0,50-0,75
Καταιονισμός: Κλασσικό σύστημα		0,60-0,80
Αυτοκινούμενος εκτοξευτήρας		
υψηλής πίεσης (καρούλι)		0,55-0,75
Αυτοκινούμενη γραμμή άρδευσης		0,75-0,90
Περιστρεφόμενο σύστημα (Pivot)		0,75-0,90
Στάγδην		0,80-0,95

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές αποδοτικότητας δικτύου σε οργανωμένα αρδευτικά δίκτυα : $E_f * E_d$

(Πηγή: Ζ.Παπαζαφειρίου (1999), Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών)

3. ΧΑΡΑΞΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Βασικός σκοπός της χάραξης είναι η κατά το δυνατόν συντομότερη διοχέτευση του νερού από τη θέση όπου βρίσκονται οι υδατικοί πόροι, στις υδροληψίες των αρδευτικών μονάδων της περιοχής που πρόκειται ν' αρδευτεί.

Στη θέση όπου βρίσκονται οι υδατικοί πόροι γίνονται έργα για την ασφαλή συλλογή του νερού. Εάν χρησιμοποιείται νερό από πηγές τότε γίνονται έργα υδρομάστευσης των πηγών. Εάν χρησιμοποιείται νερό από ποτάμι ή χείμαρρο, τότε σε κατάλληλη θέση, γίνεται φράγμα. Εάν χρησιμοποιούνται υπόγεια νερά ανοίγονται πηγάδια γεωτρήσεις, για την άντληση του νερού στην επιφάνεια του εδάφους. Το νερό στη συνέχεια μεταφέρεται σε ταμιευτήρες αποθήκευσης ή δεξαμενές εικοσιτετράωρης εξισορρόπησης.

Το νερό από τη θέση των υδατικών πόρων μεταφέρεται με τον κύριο αγωγό μεταφοράς στην αρχή (κεφαλή) του δικτύου διανομής.

Εάν η κεφαλή του δικτύου βρίσκεται σε υψόμετρο χαμηλότερο των αρδευόμενων εκτάσεων, ή σε υψόμετρο υψηλότερο, αλλά όχι αρκετό για την εξασφάλιση των πιέσεων σε όλες τις υδροληψίες, τότε απαιτείται αντλιοστάσιο για την ενίσχυση του υδραυλικού φορτίου της κεφαλής.

Το δίκτυο διανομής αποτελείται από τον πρωτεύοντα αγωγό που ξεκινά από την κεφαλή του δικτύου. Ο πρωτεύων αγωγός διακλαδίζεται σε δευτερεύοντες και αυτοί σε τριτεύοντες αγωγούς, οι οποίοι και καταλήγουν στις υδροληψίες.

Το δίκτυο θεωρείται ικανοποιητικό από πλευράς σχεδιασμού, όταν:

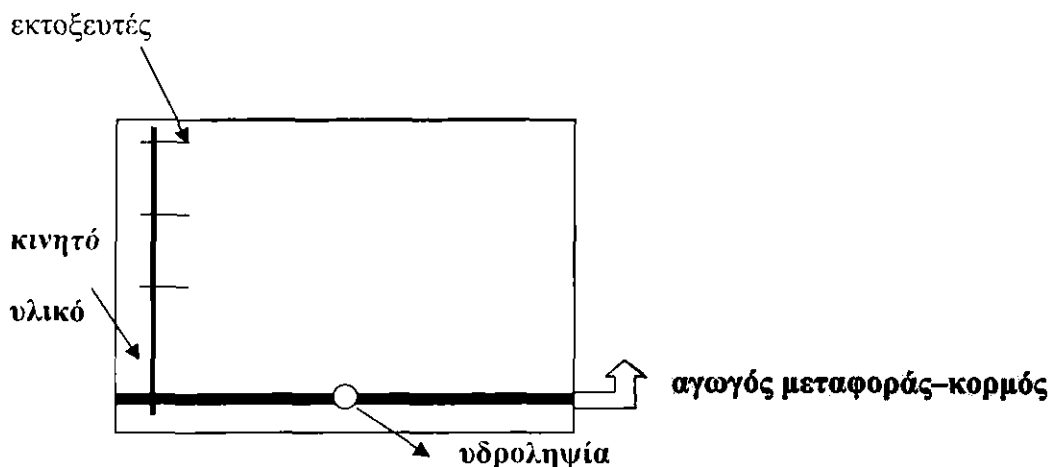
- επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση του μήκους των αγωγών, ώστε να εξασφαλίζεται η οικονομικότερη επιλογή από πλευράς μήκους δικτύου
- οι αγωγοί περνούν από τα όρια των αρδευτικών μονάδων, δεν κόβονται δηλαδή ιδιοκτησίες στη μέση,
- γίνεται εύκολα η τοποθέτηση των αγωγών (συνήθως **κατά μήκος των υφιστάμενων δρόμων ή στα όρια των ιδιοκτησιών**),
- δεν **απαιτούνται** πολλά τεχνικά έργα,

- οι αγωγοί έχουν ακτινωτή μορφή και
- οι παροχές σχεδιασμού είναι οι μικρότερες δυνατές

3.1 ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Ένα αγρόκτημα προκειμένου να αρδευτεί με συλλογικό δίκτυο, χωρίζεται σε επιμέρους ενότητες, τις αρδευτικές μονάδες. Κάθε μια από τις αρδευτικές μονάδες, εξυπηρετείται από μια και μόνον υδροληψία, απ' όπου το νερό μεταφέρεται και ποτίζει τις καλλιέργειες της συγκεκριμένης μονάδας. Η υδροληψία, για λόγους οικονομικού σχεδιασμού και ελαχιστοποίησης των απωλειών του κινητού υλικού εντός της αρδευτικής μονάδας, τοποθετείται συνήθως στο μέσο της μεγαλύτερης πλευράς της. Η συνηθισμένη παροχή εμπορίου των υδροληψιών στη χώρα μας, είναι 6, 9 ή 12 l/s. Συνήθως τοποθετούνται υδροληψίες με ένα στόμιο με περιοριστή παροχής, ώστε να μην επιτρέπεται η διέλευση παροχής μεγαλύτερης της προκαθορισμένης ακόμη και αν το στόμιο είναι ανοικτό για μεγαλύτερες παροχές. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται οι σπατάλες. Επίσης κάθε υδροληψία έχει ρυθμιστή πίεσης για τη σωστή λειτουργία των καταιονιστήρων καθώς και σύστημα προστασίας από παγετό και υδρόμετρο.

Το αρδευτικό υλικό μέσα στην αρδευτική μονάδα είναι κινητό προκειμένου να μπορεί να μεταφέρεται από την μια μονάδα στην άλλη και επίσης να αποσύρεται και ν' αποθηκεύεται ασφαλώς στο τέλος της αρδευτικής περιόδου.



3.2 ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΦΟΡΤΙΟ ΠΙΕΣΗΣ ΜΙΑΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ

Προκύπτει ως άθροισμα των εξής επιμέρους φορτίων:

1. Απαραίτητη λειτουργική πίεση του εκτοξευτήρα, (περίπου 20-35 μ)
2. Γραμμικές και τοπικές απώλειες στον αγωγό εφαρμογής (πτέρυγα), στον αγωγό μεταφοράς (κορμός) και στα διάφορα εξαρτήματα του κινητού αρδευτικού υλικού (περίπου 6-10 μ)
3. Τοπικές απώλειες μέσα στην υδροληψία εξαιτίας της ύπαρξης περιοριστή παροχής
4. Τέλος, σε περιπτώσεις μη οριζόντιων αρδευτικών μονάδων, προσμετράται η υψομετρική διαφορά μεταξύ του υψομέτρου της υδροληψίας και του υψομέτρου του ακραίου, (δυσμενέστερου) εκτοξευτήρα.

Άρα συνήθως το ελάχιστο απαιτούμενο φορτίο πίεσης μιας τυπικής υδροληψίας κυμαίνεται μεταξύ 40-50 μ (περίπου 5 ATM).

Το ελάχιστο απαιτούμενο ενεργειακό φορτίο είναι ένα μέγεθος πολύ σημαντικό καθώς όλο το δίκτυο μεταφοράς και διανομής του νερού πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε σε κάθε υδροληψία να εξασφαλίζεται όχι μόνο η απαιτούμενη παροχή q_v , αλλά και το απαιτούμενο φορτίο πίεσης, για να είναι δυνατή η λειτουργία των καταιονιστήρων.

3.3 ΒΑΣΙΚΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΑΤΑΙΟΝΙΣΜΟ

Οποιαδήποτε μέθοδος άρδευσης κι αν χρησιμοποιηθεί, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός ορισμένων βασικών υδραυλικών μεγεθών.

Το μέγεθος που εκφράζει την ανάγκη μιας καλλιέργειας σε νερό, με τη μορφή της συνεχούς παροχής που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο μήνα για την άρδευση ενός στρέμματος της καλλιέργειας, ονομάζεται **ειδική παροχή άρδευσης q** , και μετριέται σε l/sec/στρ. Αυτή η τιμή υπολογίζεται σε μηνιαία βάση και συνήθως εφαρμόζεται η

τιμή της για το μήνα αιχμής. Κρίσιμοι μήνες για την Ελλάδα θεωρούνται ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Η ειδική παροχή άρδευσης συνήθως υπολογίζεται από την γεωργοτεχνική μελέτη, η οποία συντάσσεται από γεωπόνο πριν από τη διαδικασία εκπόνησης της τεχνικής μελέτης του αρδευτικού δικτύου. Η πραγματική ή απλώς η ειδική παροχή άρδευσης q που αντιστοιχεί στον χρόνο πραγματικής λειτουργίας ενός δικτύου, που είναι 16 ή 18 ώρες, υπολογίζεται από την θεωρητική, ή αλλιώς τη συνεχή 24ωρη ειδική παροχή, q_0 με τη σχέση:

$$q = q_0 / r$$

όπου

q_0 : η θεωρητική, δηλαδή η 24ωρη ειδική παροχή άρδευσης (l/sec / στρ.)

r : ημερήσια χρονική απόδοση της χρήσης του δικτύου ανάλογα με τον ημερήσιο χρόνο λειτουργίας του, ($r = t_f / 24$)

t_f : ώρες λειτουργίας του δικτύου (16 ή 18 συνήθως)

Εύρεση πλήθους υδροληψιών, v

Προφανώς το πλήθος των υδροληψιών ενός αγροκτήματος, είναι ίσιο με το πλήθος των αρδευτικών μονάδων του και υπολογίζεται αν είναι γνωστά η συνολική έκταση του αγροκτήματος, E και το εμβαδόν της τυπικής αρδευτικής μονάδας, A , από τη σχέση:

$$v = E / A$$

όπου

E : Η συνολική έκταση του προς άρδευση αγροκτήματος

A: Η έκταση της τυπικής αρδευτικής μονάδας

• **ΔΕΞΑΜΕΝΗ 24ΩΡΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΙΣΗΣ**

Οι υδατικοί πόροι διατίθενται σε 24ωρη βάση ενώ το δίκτυο λειτουργεί λιγότερες ώρες (συνήθως το ημερήσιο πότισμα διαρκεί είτε 16 είτε 18 ώρες). Για λόγους λοιπόν εξοικονόμησης και αποθήκευσης του νυκτερινού νερού, κατασκευάζεται η δεξαμενή εξισορρόπησης. Η δεξαμενή χρησιμεύει για την αποθήκευση του νερού που αντλείται κατά τις νυκτερινές ώρες, με σκοπό την χρησιμοποίησή του κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Στην περίπτωση που το δίκτυο θα είναι με βαρύτητα, μια αρχική εκτίμηση για τη θέση που θα τοποθετηθεί η δεξαμενή, η κατ' αρχήν δηλαδή εύρεση του απαιτούμενου υψόμετρου της κεφαλής, υπολογίζεται ως εξής:

- Εντοπίζονται οι πιθανές κρίσιμες διαδρομές, δηλαδή εκείνες που χαρακτηρίζονται είτε από μεγάλα μήκη, είτε από μεγάλες παροχές σχεδιασμού ,ή κυρίως από μεγάλες υψομετρικές διαφορές μεταξύ κεφαλής και ακραίας υδροληψίας.
- Επιλέγονται κατ' εκτίμηση διάμετροι εμπορίου για τους διάφορους αγωγούς και υπολογίζονται οι γραμμικές απώλειες για κάθε διαδρομή.
- Για κάθε διαδρομή, προστίθεται το υψόμετρο της ακραίας υδροληψίας συν το απαιτούμενο φορτίο πίεσης μιας υδροληψίας, συν τις γραμμικές απώλειες σε όλο το μήκος της διαδρομής. Το μεγαλύτερο, (δυσμενέστερο) από αυτά τα αθροίσματα, δίνει με αρκετά καλή προσέγγιση το απαιτούμενο φορτίο κεφαλής και άρα το απαραίτητο υψόμετρο για την δεξαμενή κεφαλής δικτύου.

Ο ακριβής υπολογισμός θα γίνει στη φάση των τελικών υδραυλικών υπολογισμών, όταν δηλαδή θα έχουν επιλεγεί οι διάμετροι και θα έχει ολοκληρωθεί ο οικονομικός σχεδιασμός του δικτύου.

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

- Η μέθοδος της συνεχούς ροής

Δεν χρησιμοποιείται καθώς είναι ασύμφορη.

- Η μέθοδος του ωρολογίου προγράμματος ή της εκ περιτροπής ζήτησης

- Η μέθοδος της ελεύθερης ζήτησης (Clement)

4.1 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

- Τοπογραφικός χάρτης της προς άρδευση περιοχής σε κλίμακα 1:5000 όπου αποτυπώνεται η συνολική αρδευόμενη έκταση
- Η μέση ειδική παροχή q (l/s/στρ.) για τον μήνα αιχμής και το μέσο ημερήσιο χρόνο άρδευσης
- Η παροχή υδροληψίας q_v (6, 9, 12 l/s).
- Το εμβαδόν A (σε στρέμματα) της τυπικής αρδευτικής μονάδας
- Το εύρος άρδευσης m (σε ημέρες)
- Η ταχύτητα ροής στους αγωγούς σε (m/s)
- Το απαιτούμενο φορτίο πίεσης για τη λειτουργία των υδροληψιών

4.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΩΡΟΛΟΓΙΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ Ή ΤΗΣ ΕΚ ΠΕΡΙΤΡΟΠΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Η μέθοδος στηρίζεται στην αρχή ότι δεν λειτουργούν ταυτόχρονα όλες οι υδροληψίες. Ορίζεται λοιπόν συγκεκριμένο ωρολόγιο πρόγραμμα, που περιγράφει με σαφήνεια την εκ περιτροπής λειτουργία τους. Ποιες δηλαδή από αυτές λειτουργούν και πότε. Η ύπαρξη του προγράμματος είναι υποχρεωτική για τους καλλιεργητές και δεν μπορούν να το παραβούν, μια και υπάρχουν ειδικοί υδρονόμοι, επιφορτισμένοι με την υποχρέωση να ανοίγουν και να κλείνουν τις δικλίδες του δικτύου, ανάλογα με το πρόγραμμα. Γεγονός που σημαίνει ότι η παροχή του νερού γίνεται εκ περιτροπής. Κάθε μια αρδευτική μονάδα, παίρνει νερό αποκλειστικά για το διάστημα που προβλέπεται από το ωρολόγιο πρόγραμμα.

Το εύρος της άρδευσης m , χωρίζεται σε n διαστήματα διάρκειας m/n το καθένα. Σε κάθε τέτοιο διάστημα, λειτουργεί μία υδροληψία κάθε φορά. Όταν ο χρόνος αυτού του διαστήματος τελειώσει, σταματά η λειτουργία αυτής της υδροληψίας και αρχίζει η λειτουργία της επόμενης στη σειρά.

Προφανώς η μέθοδος είναι δεσμευτική για τους καλλιεργητές, αφού τους ορίζει αυστηρά ποιες μέρες μέσα στο εύρος της άρδευσης θα μπορούν ν' αρδεύουν. Από την άλλη όμως μεριά είναι οικονομική για το δίκτυο, αφού η παροχή σχεδιασμού, αλλά και οι επιμέρους παροχές στους κλάδους του δικτύου, είναι το $1/n$ αυτών που θα ήταν, αν ίσχυε η μέθοδος της συνεχούς ροής.

Οδηγίες σχεδιασμού

Ο χωρισμός του αγροκτήματος σε αρδευτικές μονάδες γίνεται κατά τρόπο που να επιτρέπει την ταξινόμησή τους κατά ομάδες των n , όπου n το πρόγραμμα άρδευσης. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται ο οικονομικότερος σχεδιασμός του δικτύου, αφού οι τριτεύοντες αγωγοί που οδηγούν στις ομάδες των n υδροληψιών, θα έχουν ο καθένας την ελάχιστη για το δίκτυο δυνατή παροχή, ίση με την παροχή της υδροληψίας, q_n .

Αυτό συμβαίνει γιατί σε κάθε ομάδα, ανά χρονικά διαστήματα ίσα με m/n , (m το εύρος της άρδευσης), θα λειτουργεί εκ περιτροπής, μία και μόνο κάθε φορά, από τις n υδροληψίες.

Μειονεκτήματα

1. Ο περιορισμός που υφίστανται οι χρήστες του νερού
2. Η διανομή του νερού γίνεται σε ορισμένη μέρα και ώρα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη χρονική μεταβλητότητα των αναγκών σε νερό
3. Η διατιθέμενη παροχή είναι σταθερή και δε λαμβάνει υπόψη της τη μεταβολή των αρδευτικών δόσεων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους και το βάθος του ριζοστρώματος.
4. Οι αγρότες έχουν την τάση να χρησιμοποιούν όσο νερό έχουν στη διάθεσή τους. Έτσι, άλλοτε υπάρχει έλλειμμα και άλλοτε πλεόνασμα νερού. Συνήθως γίνεται σπατάλη.

Πλεονεκτήματα

1. Οικονομία στο κόστος κατασκευής του δικτύου (Μικρότερες παροχές σχεδιασμού – Μικρότερες διαμέτροι αγωγών)

4.2.1 ΜΕΓΕΘΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

- m : εύρος άρδευσης
 n : πρόγραμμα άρδευσης
 v : πλήθος υδροληψιών

- v^* : max πλήθος υδροληψιών που λειτουργούν ταυτόχρονα
- q_v : παροχή υδροληψίας
- Q : παροχή σχεδιασμού του δικτύου
- E : συνολική έκταση του προς άρδευση αγροκτήματος
- A : έκταση αρδευτικής μονάδας
- q_0 : θεωρητική (24ωρη) ειδική παροχή άρδευσης
- q : πραγματική (16ωρη ή 18ωρη) ειδική παροχή άρδευσης

$$Q = v^* \cdot q_v \text{ (παροχή σχεδιασμού του δικτύου)}$$

$$q = q_0 \cdot (24 / 18) \text{ (πραγματική ειδική παροχή άρδευσης)}$$

$$A = q_v / (n \cdot q) \text{ (εμβαδόν τυπικής αρδευτικής μονάδας)}$$

$$E = v \cdot A$$

$$v^* = v / n$$

Αυστηρό Ωρολόγιο Πρόγραμμα

1. Ισοεμβαδικές αρδευτικές μονάδες
2. $E / A = v$ ακέραιος
3. v πολλαπλάσιο του n
 - Τις πρώτες m/n ημέρες ενεργοποιούνται οι v/n υδροληψίες
 - Κάθε τριτεύων αγωγός έχει παροχή q_v (οικονομική διαστασιολόγηση)
 - Κάθε τριτεύων αγωγός οδηγεί σε ομάδα των n υδροληψιών

Ελαστικό ωρολόγιο πρόγραμμα

Το ελαστικό πρόγραμμα είναι μια εκδοχή του αυστηρού, που ισχύει όταν ισχύει μια από τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Οι αρδευτικές μονάδες δεν είναι ισοεμβαδικές (απόκλιση $> 10\%$ από A)
2. $E / A = v$ όχι ακέραιος
3. v όχι πολλαπλάσιο του n

Και πάλι ισχύουν οι ίδιες με πριν αρχές σχεδιασμού:

- Κάθε τριτεύων αγωγός έχει παροχή q_v (οικονομική διαστασιολόγηση)
- Κάθε τριτεύων αγωγός οδηγεί σε ομάδα των n υδροληψιών

Η διαφορά είναι ότι τώρα, κάθε υδροληψία δεν λειτουργεί χρόνο αυστηρά ίσο με των άλλων, αλλά τα χρονικά διαστήματα αυξομειώνονται, ώστε να καλυφθεί η διαφορά της έκτασης των αρδευτικών μονάδων. Δίνεται δηλαδή η δυνατότητα σε μεγάλες αρδευτικές μονάδες να λειτουργήσουν περισσότερο, ενώ στις μικρότερες να λειτουργήσουν λιγότερο, ώστε να πάρουν ακριβώς την ποσότητα του νερού που χρειάζονται, ανάλογα με το μέγεθος του εμβαδού τους. Το εύρος της άρδευσης δηλαδή δεν χωρίζεται σε n ίσα μέρη, αλλά σε n το πλήθος μέρη, που είναι ανάλογα των εμβαδών των αντίστοιχων αρδευτικών μονάδων.

Ζώνη είναι μια ομάδα n γειτονικών αρδευτικών μονάδων, άνισων εμβαδών, συνολικού όμως εμβαδού $n * A$. Οι χρήστες (επιμέρους αρδευτικές μονάδες) εναλλάσσονται μεταξύ τους με χρόνους εντός του εύρους άρδευσης m , ανάλογους των εμβαδών των αρδευτικών μονάδων.

Καμία από τις n γειτονικές Α.Μ. δεν ποτίζεται ταυτόχρονα με μια άλλη Α.Μ. της ίδιας ζώνης.

Επειδή οι αρδευτικές μονάδες δεν έχουν το ίδιο εμβαδόν, επιδιώκεται να τοποθετούνται στις ζώνες μικρές και μεγάλες μονάδες μαζί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το συνολικό εμβαδόν των n μονάδων κάθε ζώνης, να αποκλίνει από το συνολικό εμβαδόν της «τυπικής» ζώνης ($n \cdot A$), κατά 10% το πολύ.

Ο χρόνος του ποτίσματος μιας αρδευτικής μονάδας σε ώρες, προκύπτει:

(Εύρος άρδευσης $m \times$ ημερήσιος χρόνος ποτίσματος) \times εμβ. Α.Μ. / συνολικό εμβαδόν της ζώνης

- **ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ Α.Μ. ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ**

Τόσες γραμμές όσες οι Α.Μ.

No Α.Μ.	Εμβαδόν (στρ.)	Χρόνος ποτίσματος (ώρες)	Ομάδα αρδ.μονάδων που ποτίζονται μαζί	Χρώμα υδροληψίας
---------	-------------------	--------------------------------	--	---------------------

Στην περίπτωση ελαστικού προγράμματος οι Α.Μ. αναγράφονται κατά ζώνες και αθροίζονται τα εμβαδά και οι χρόνοι ποτίσματος .

Με ένα χρώμα σχεδιάζουμε την περίμετρο των αρδευτικών εκτάσεων, με άλλο τα όρια των Α.Μ. και με τρίτο τα όρια των ζωνών.

- **ΣΧΕΣΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

$$Q_{\text{υ.π.}} \geq \omega / 24 Q_{\text{σχ.}} \quad (\text{όπου } \omega : \text{ώρες που λειτουργεί το δίκτυο την ημέρα})$$

• **ΣΧΕΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΙΣΗΣ**

$$V_{εξ.} = (24-ω) * 60 * 60 * Q_{υ.π.} / 1000 \quad (\text{σε } m^3)$$

προσαυξημένο κατά 10% για κάλυψη από υπερχειλίση

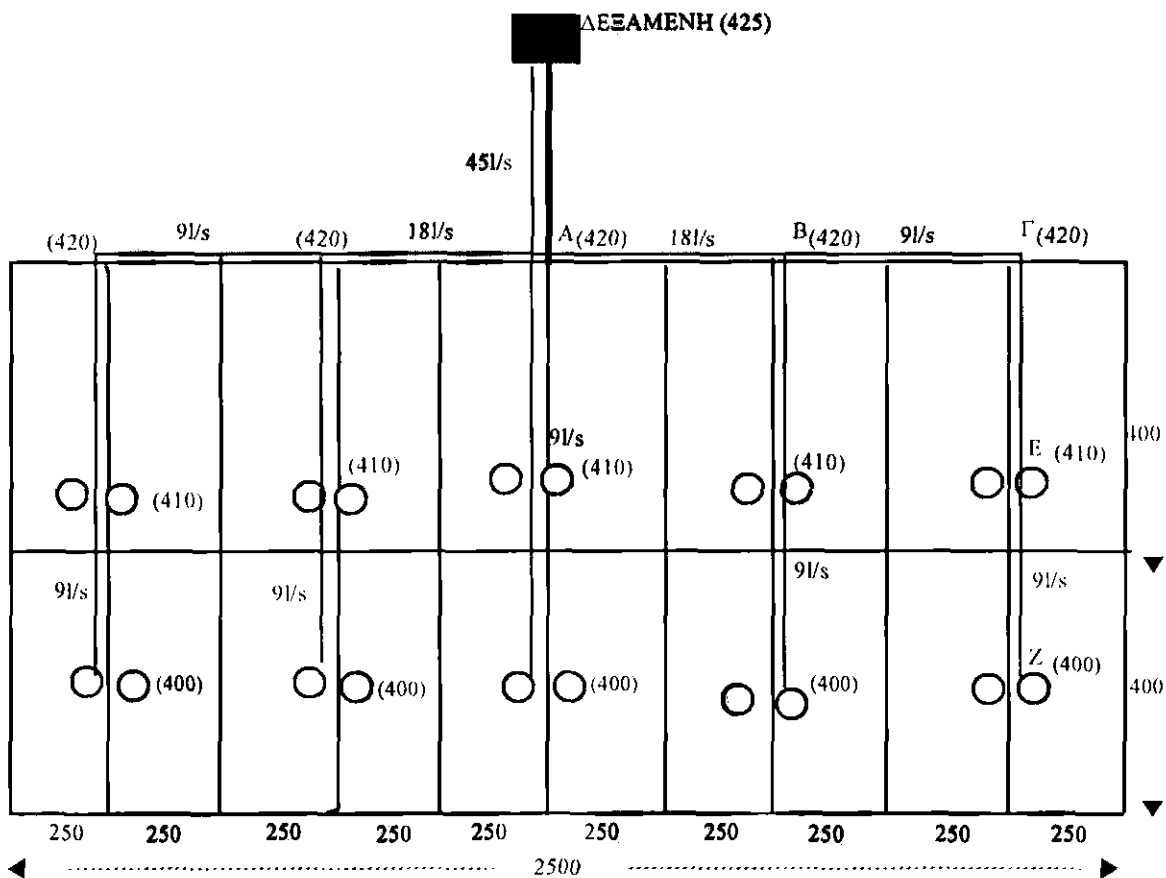
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Αγρόκτημα συνολικής έκτασης $E = 2.000$ στρεμμάτων έχει χωριστεί σε 20 αρδευτικές μονάδες και πρόκειται να αρδευτεί με τεχνητή βροχή, με τη μέθοδο της εκ περιτροπής ζήτησης του νερού. Η θεωρητική ειδική παροχή άρδευσης για τις συγκεκριμένες καλλιέργειες στην υπό εξέταση περιοχή δίνεται ίση με $q_0 = 0.016875$ l/s/στρ. Η παροχή των υδροληψιών που πρόκειται να εγκατασταθούν είναι 9 l/s, το εύρος της άρδευσης 12 ημέρες και η ημερήσια διάρκεια ποτίσματος 18 ώρες.

A. Να υπολογιστεί και να περιγραφεί το πρόγραμμα του ποτίσματος, να υπολογιστούν η παροχή σχεδιασμού και η παροχή των λοιπών κλάδων του δικτύου, καθώς και η ελάχιστη παροχή των υδατικών πόρων και η χωρητικότητα της δεξαμενής εξισορρόπησης.

B. Να γίνει επιλογή των διαμέτρων των αγωγών κατά τρόπο που να εξασφαλίζει το ελάχιστο δυνατό κόστος κατασκευής του δικτύου και να υπολογιστεί το μανομετρικό φορτίο που απαιτείται στην κεφαλή του δικτύου. Το φορτίο πίεσης που πρέπει να εξασφαλίζεται κατάντι των υδροληψιών είναι 50 μέτρα, ενώ η ταχύτητα ροής στους αγωγούς θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 1.5 m/s.

Γ. Να υπολογιστεί η ισχύς της αντλίας.



ΛΥΣΗ

Ερώτημα Α

$$A = E / 20 \quad \Rightarrow \quad A = 2000 / 20 = 100 \text{ στρ.}$$

$$A = q_v / n * q \quad (1)$$

$$\text{όμως } q = q_0 * 24 / 18 \quad \Rightarrow \quad q = 0.016875 * 24 / 18 = 0.0225 \text{ l/s / στρ.}$$

$$\text{Άρα από την (1) : } n = q_v / (A * q) = 9 / (100 * 0,0225) = 4$$

Πρόγραμμα 1:4

Άρα θα υπάρχουν $20 / 4 = 5$ ομάδες των 4 υδροληψιών. Σε κάθε ομάδα θα λειτουργεί 1 στις 4 υδροληψίες και γι' αυτό οι τριτεύοντες αγωγοί που δίνουν νερό στις ομάδες των 4 υδροληψιών, θα έχουν παροχή 9l/s.

Η παροχή σχεδιασμού θα είναι : $Q_{σχ.} = (20 / 4) * q_v = 45 \text{ l/s}$

Το πρόγραμμα που θα εφαρμοστεί είναι αυστηρό. Κάθε υδροληψία θα λειτουργεί $12 / 4 = 3$ ημέρες

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ			
1-3 μέρες	4-6 μέρες	7-9 μέρες	10-12 μέρες
11	12	13	14
21	22	23	24
31	32	33	34
41	42	43	44
51	52	53	54

Η ελάχιστη παροχή των υδατικών πόρων θα είναι :

$$Q_{υ.π.} \geq 18 / 24 Q_{σχ.} = 18 / 24 * 45 = 33.75 \text{ l/s}$$

Αυτή είναι η ελάχιστη παροχή των υδατικών πόρων προκειμένου να ικανοποιείται η ειδική παροχή άρδευσης.

$$V_{δεξ.} \geq (24-18) * 60 * 60 / 1000 \geq 72,9 \text{ m}^3$$

Συνήθως κάνουμε μια προσαύξηση 10% για λόγους υπερχειλίσης άρα

$$V_{δεξ.} = 80 \text{ m}^3$$

Ερώτημα Β

Το ελάχιστο κόστος κατασκευής του δικτύου υπολογίζεται επιλέγοντας τις διαμέτρους των αγωγών που αντιστοιχούν στη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα δηλαδή 1.5 m/s σύμφωνα με τον τύπο:

$$D^2 = 4Q / \pi * v$$

Q (l/s)	Dυπ. (m)	Δεμπ. (mm)
9	0.087	100
18	0.0123	125
45	0.0195	200

Οι διάμετροι των αγωγών που κυκλοφορούν στο εμπόριο μέχρι D₂₅₀ αλλάζουν ανά 25 mm (D₁₀₀, D₁₂₅, D₁₅₀ κτλ.) ενώ από 250 και πάνω ανά 50 mm (D₂₅₀, D₃₀₀ κτλ.).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

	Q(l/s)	D(mm)	V(m/s)	J(m/k)	L(m)	Δh(m)
Δεξ-Α	45	200	1.43	12	1000	12
ΑΒ	18	125	1.47	20	500	10
ΒΓ	9	100	1.42	35	500	17.5
ΓΕ	9	100	1,42	35	200	7
ΕΖ	9	100	1,42	35	400	14

ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΙΕΣΕΩΝ

A/a	αρχή	πέρας	Απώλειες Φορτίου αγωγού (m)	Υψομ. Εδάφους πέρατος (m)	Απαιτ. Φορτίο πέρατος (m)	Υψομ. Πιεζ. Γραμμής πέρατος (m)	Φορτίο πίεσης πέρατος (m)
δεξαμενή				425		510,5	85,5
1	Δ	A	12	420	50	498,5	78,5
2	A	B	10	420	50	488,5	68,5
3	B	Γ	17,5	420	50	471	51
4	Γ	E	7	410	50	464	54
5	E	Z	14	400	50	450	50

H_{man} = 85,5 m

Ερώτημα Γ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Θεωρούμε συντελεστή απόδοσης της αντλίας $n = 80\%$

$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ (ειδ. βάρος νερού)

οπότε από τον τύπο:

$$P = \gamma \cdot q \cdot h_{man} / 75 n = 1000 \cdot 0,045 \cdot 85,5 / 75 \cdot 0,8 = \mathbf{64,125 \text{ HP}}$$

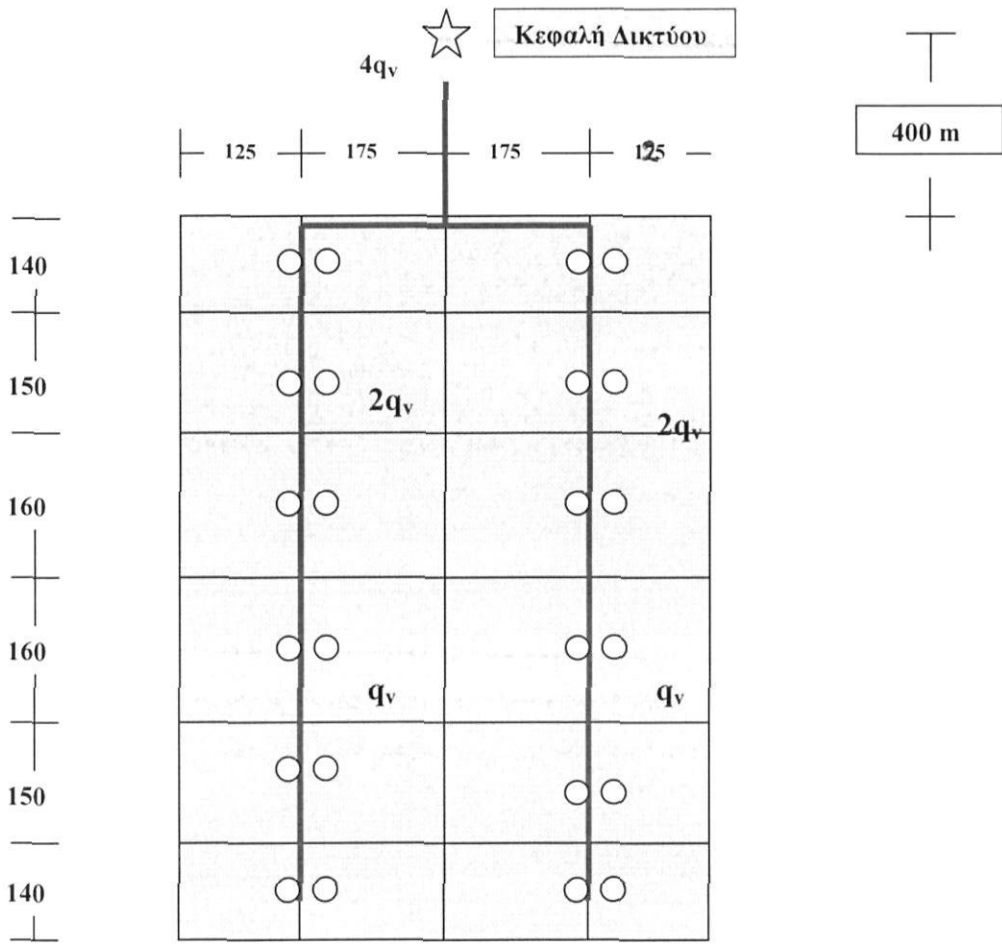
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Το αγρόκτημα του σχήματος διαστάσεων 600 X 900 m, πρόκειται να αρδευτεί με τεχνητή βροχή, με τη μέθοδο της εκ περιτροπής ζήτησης του νερού. Οι διαστάσεις των αρδευτικών μονάδων φαίνονται στο σχήμα. Η παροχή των υδατικών πόρων είναι ίση με 24 l/s. Το δίκτυο λειτουργεί 16 ώρες το 24ωρο, το εύρος της άρδευσης είναι 24 ημέρες και η παροχή των υδροληψιών που πρόκειται να εγκατασταθούν θα είναι 9 l/s.

Ζητούνται:

A. Να σχεδιαστεί το αρδευτικό δίκτυο κατά τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο και να υπολογιστούν το πρόγραμμα της εκ περιτροπής ζήτησης του νερού και οι παροχές των αγωγών του δικτύου.

B. Να καθοριστεί και να περιγραφεί το ωρολόγιο πρόγραμμα λειτουργίας των υδροληψιών.



ΛΥΣΗ

Ερώτημα Α

$$E = 600 \cdot 900 = 5400000 \text{ m}^2 = 540 \text{ στρ.}$$

$$Q_{\text{υδ.πορ.}} = 16/24 \cdot Q_{\text{σχ.}} \rightarrow Q_{\text{σχ.}} = 24 / 16 \cdot 24 = 36 \text{ l/s}$$

$n^* = 36 / 9 = 4$ το πολύ υδροληψίες μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα στο δίκτυο.

$$n = 24 / 4 = 6 \text{ άρα το πρόγραμμα είναι } \mathbf{1: 6}$$

Θα έχω 4 ομάδες των 6 υδροληψιών.

Η πιο οικονομική λύση προκύπτει αν ένας τριτεύων αγωγός παροχετεύει 6 υδροληψίες με το μικρότερο μήκος και τη μικρότερη δυνατή διατομή. Ο αριθμός των τριτευόντων είναι ίδιος με τον αριθμό των υδροληψιών που λειτουργούν ταυτόχρονα.

Επειδή οι αρδευτικές μονάδες δεν είναι ισοεμβαδικές, **το ωρολόγιο πρόγραμμα που θα εφαρμοστεί είναι ελαστικό**. Χωρίζεται σε ζώνες περίπου ισοεμβαδικές και οι χρόνοι ποτίσματος προκύπτουν ανάλογοι των εμβαδών των αρδευτικών μονάδων.

$$540 / 4 = 135 \text{ στρ. ανά ζώνη}$$

$$\text{Συνολικό εμβαδόν ζώνης: } (140 \cdot 125) + (140 \cdot 175) + (150 \cdot 125) + (150 \cdot 175) + (160 \cdot 125) + (160 \cdot 175) = 135000 \text{ m}^2 = \mathbf{135 \text{ στρ.}}$$

$$\text{Σύνολο ωρών στο εύρος άρδευσης: } 16 \cdot 24 = \mathbf{384 \text{ ώρες.}}$$

$$1^{\text{η}} \text{ A.M. : } 17,5/135 \cdot 384 = \mathbf{49,77 \text{ ώρες}}$$

$$2^{\text{η}} \text{ A.M. : } 24,5/135 \cdot 384 = \mathbf{69,69 \text{ ώρες}}$$

$$3^{\text{η}} \text{ A.M. : } 18,75/135 \cdot 384 = \mathbf{53,33 \text{ ώρες}}$$

$$4^{\text{η}} \text{ A.M. : } 26,25/135 \cdot 384 = \mathbf{74,67 \text{ ώρες}}$$

$$5^{\text{η}} \text{ A.M. : } 20/135 \cdot 384 = \mathbf{56,89 \text{ ώρες}}$$

6^η Α.Μ. : $28/135 \cdot 384 = 79,64$ ώρες

Ερώτημα Β

Πρόγραμμα Λειτουργίας Κάθε Ζώνης

A.Μ.	$\frac{\beta}{\alpha}$	100 Ωρες	150 Ωρες	200 Ωρες	250 Ωρες	300 Ωρες	350 Ωρες	384 Ωρες
1								
2								
3								
4								
5								
6								

4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ - CLEMENT

Μέθοδος στοχαστική-πιθανολογική. Στηρίζεται και πάλι στην αρχή ότι ποτέ δεν θα λειτουργούν ταυτόχρονα όλες οι υδροληψίες του δικτύου, αλλά δεν ορίζεται εξ αρχής με αυστηρό τρόπο ποιες ακριβώς θα λειτουργούν. Ορίζεται όμως μια πιθανότητα να λειτουργεί μια υδροληψία και ο υπολογισμός των παροχών των κλάδων του δικτύου, επιτυγχάνεται με εφαρμογή ενός στοχαστικού αριθμητικού αλγόριθμου, γνωστού από το όνομα του εμπνευστή του Γάλλου μηχανικού ως τύπος του Clement, ο οποίος υπολογίζει κάθε φορά όχι ποιες ακριβώς, αλλά τον μέγιστο αριθμό των υδροληψιών, που σύμφωνα με τα δεδομένα θα λειτουργούν ταυτόχρονα.

ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

- Άρδευση με κλειστούς αγωγούς / Διαίρεση σε Α.Μ./ Μία υδροληψία σε κάθε Α.Μ.
- Ισοεμβαδικές Α.Μ.
- Υδροληψίες ίδιας παροχής. Παροχή λειτουργίας υδροληψίας αρκετά μεγάλη, ώστε να μη χρειάζεται να λειτουργεί συνέχεια προκειμένου να καλυφθεί η ανάγκη της Α.Μ. σε νερό. Το νερό που απαιτείται μπορεί να δοθεί σε μικρό χρονικό διάστημα (υποσύνολο του εύρους άρδευσης).
-

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Επίπεδο αξιοπιστίας λειτουργίας του δικτύου
- Ελεύθερη επιλογή χρόνου άρδευσης από τους καλλιεργητές
- Ελεύθερη επιλογή όγκου νερού που θα χρησιμοποιηθεί.
- Θεωρείται απίθανο να λειτουργούν όλες οι υδροληψίες του δικτύου ταυτόχρονα.

Μειονεκτήματα

1. Κακή κατανομή της ζήτησης του νερού στο χρόνο. Συνήθως όλοι οι αγρότες χρησιμοποιούν το δίκτυο τις ίδιες ώρες της ημέρας, καθώς αποφεύγουν τις πρωινές και τις βραδινές. Έτσι στη διάρκεια των ωρών αιχμής η ζήτηση συχνά υπερβαίνει την παροχή σχεδιασμού.
2. Μεγάλο κόστος δικτύου

Πλεονεκτήματα

1. Ο αγρότης δίνει μόνος του μια ορθολογική λύση στο πρόβλημα της οικονομίας του νερού, αφού έχει τη δυνατότητα να επιλέγει πότε και πόσο νερό θα χρησιμοποιήσει. Άλλωστε η χρέωση γίνεται με βάση την πραγματική κατανάλωση.
2. Δίνεται η ελευθερία στον αγρότη να αποφασίζει μόνος του και να αξιολογεί με τον καλύτερο τρόπο το χρόνο του.

4.3.1 ΜΕΓΕΘΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

q: Η πραγματική (16ωρη ή 18ωρη) ειδική παροχή άρδευσης (l/s/στρ.)

$$(q = q_{\text{θεωρ.}} / r)$$

Q₀: Η θεωρητική συνεχής παροχή του δικτύου (l/s)

$$(Q_0 = q_{\text{θεωρ.}} * E)$$

Q: Η μέση παροχή λειτουργίας του δικτύου (l/s)

$$(Q = q * E = Q_0 / r)$$

Q_R: Η μέγιστη παροχή του δικτύου (l/s)

$$(Q_R = R \cdot q_v)$$

$$Q_0 < Q < Q_R$$

E: συνολικά αρδευόμενη έκταση (στρ.)

r : ημερήσια χρονική απόδοση δικτύου ($r = t_f / 24$)

t_f : ώρες λειτουργίας του δικτύου (16 ή 18 συνήθως)

R: συνολικός αριθμός υδροληψιών

q_v : παροχή υδροληψιών (l/sec)

$q_{\text{θεωρ.}}$: θεωρητική ειδική παροχή άρδευσης (l/sec/ στρ.)

$$p = q_{\text{θεωρ.}} \cdot E / r \cdot R \cdot q_v$$

ή

$$p = Q_0 / (r \cdot Q_R) = Q / Q_R$$

Όμως

$$q_0 \cdot E / (r \cdot q_v) = q \cdot E / q_v = v^*$$

είναι η μέση τιμή των εν λειτουργία υδροληψιών v^*

Άρα

$$p = v^* / R$$

Άρα η μέση τιμή των εν λειτουργία υδροληψιών:

$$v^* = R \cdot p$$

N : ο μέγιστος αριθμός των υδροληψιών που λειτουργούν ταυτόχρονα σύμφωνα με το επίπεδο αξιοπιστίας του δικτύου.

R: συνολικός αριθμός εγκατεστημένων υδροληψιών

p: η πιθανότητα λειτουργίας μιας υδροληψίας

P_λ : (%) πιθανότητα να λειτουργούν N στις R υδροληψίες (ποιότητα λειτουργίας του δικτύου)

$U(P_\lambda)$: Συντελεστής ποιότητας λειτουργίας του δικτύου

Ανάλογα με το P_λ από πίνακα το $U(P_\lambda)$ (πιν. 1)

$1-p$: βαθμός ελευθερίας του δικτύου. Όσο μικρότερη η δυνατότητα να λειτουργήσει μια υδροληψία τόσο πιο ελεύθερος ο καλλιεργητής να ποτίσει όποτε θέλει.

Βαθμός Ελευθερίας: $BE = 1 / p = r \cdot Q_R / Q_0 = r \cdot R \cdot q_v / Q_0$

Ο μέγιστος αριθμός υδροληψιών N που λειτουργούν σε κάθε κλάδο του δικτύου, δίνεται από τη σχέση του Clement ως:

$$N = R \cdot p + U(P_\lambda) \cdot [R \cdot p (1-p)]^{1/2}$$

$R > 12$. Αλλιώς $N = R$

Όσο πιο μικρό είναι το δίκτυο, τόσο λιγότερο αντιπροσωπευτικός είναι ο νόμος των πιθανοτήτων. Γι' αυτό ως min αριθμός υδροληψιών για την εφαρμογή της μεθόδου, θεωρείται εμπειρικά το 12.

P_λ (%)	$U(P_\lambda)$
99.99	3.719
99.90	3.090
99.00	2.326
97.00	1.881
95.00	1.645
90.00	1.282

Πίνακας 1: Τιμές του Συντελεστή Ποιότητας Λειτουργίας

ΠΑΡΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑ *Clement*

$$Q_N = N * q_v$$

N : ο αριθμός των υδροληψιών που λειτουργούν ταυτόχρονα

q_v : παροχή υδροληψιών (l/sec)

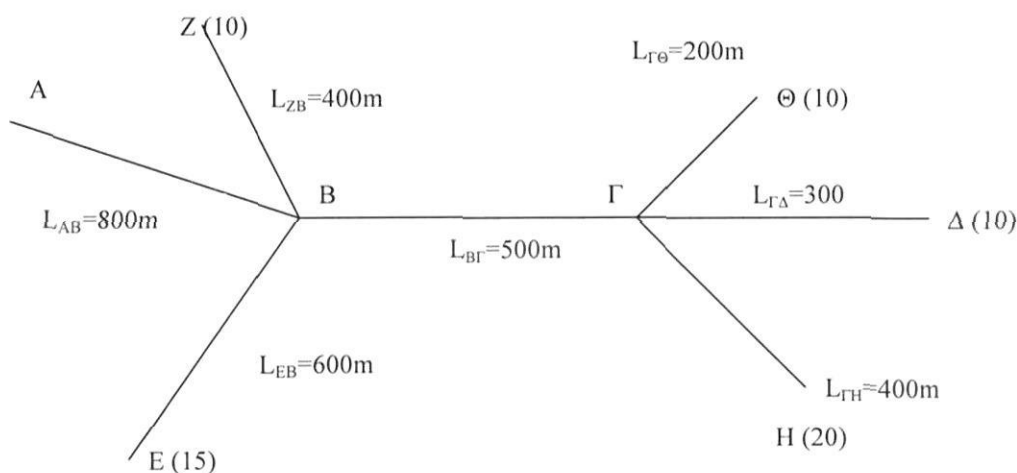
$$Q < Q_N < Q_R$$

ΣΧΕΣΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΤΑ *Clement*

$$Q_N \geq \omega / 24 Q_N \quad (\text{όπου } \omega : \text{ώρες που λειτουργεί το δίκτυο την ημέρα})$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Το αρδευτικό δίκτυο του σχήματος λειτουργεί με ελεύθερη ζήτηση. Η ποιότητα λειτουργίας του είναι 99,99% . Η ειδική παροχή άρδευσης είναι $q = 0.08$ l/s/στρ., η έκταση της αρδευτικής μονάδας είναι 30 στρ. , παροχή υδροληψίας $q_v = 12$ l/s και το δίκτυο λειτουργεί 18 ώρες την ημέρα. Να υπολογιστούν οι παροχές του δικτύου. Ο αριθμός των υδροληψιών φαίνεται στην παρένθεση.



ΛΥΣΗ

$$p = q_0 * E / r * R * q_v$$

$$E = R * A$$

$$r = t_f / 24$$

$$\text{Άρα } p = 0.08 * 30 / 0.75 * 12 = \mathbf{0.27}$$

Για επίπεδο αξιοπιστίας $P_\lambda = 99.99\%$ από τον πίνακα $U(P_\lambda) = 3,719$

Για τις διάφορες τιμές του R σύμφωνα με την εφαρμογή των τύπων (1) & (2)

$$N = R \cdot p + U(P_\lambda) \cdot [R \cdot p (1-p)]^{1/2} \quad (1)$$

$$Q_N = N \cdot q_v \quad (2)$$

προκύπτει ο παρακάτω πίνακας

	R	N	Q _N (l/s)
ΓΔ	10	10	120
ΓΗ	20	13	156
ΓΘ	10	10	120
ΒΓ	40	18	216
ΒΖ	10	10	120
ΒΕ	15	12	144
ΑΒ	65	26	312

5. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

5.1 ΧΑΡΑΞΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

Με τη χάραξη της χαρακτηριστικής καμπύλης επιτυγχάνεται η οικονομική βελτιστοποίηση του δικτύου, υπολογίζοντας το μικρότερο συνολικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας του. Αναφερόμαστε σε κλειστό δίκτυο αγωγών υπό πίεση. Η χάραξη της χαρακτηριστικής καμπύλης σημαίνει πολλαπλή οικονομική επίλυση του δικτύου για διάφορα ενεργειακά φορτία.

Η χαρακτηριστική καμπύλη προκύπτει από τη σύνθεση δύο επιμέρους διαγραμμάτων, αυτό του κόστους κατασκευής του δικτύου, που είναι μια φθίνουσα καμπύλη συνάρτησης, και μιας αύξουσας γραμμικής που απεικονίζει το κόστος λειτουργίας, που αντιστοιχεί στο κόστος του ρεύματος της αντλίας. Τετμημένες είναι το εκάστοτε ενεργειακό φορτίο (H_{man}), ενώ τεταγμένες το αντίστοιχο ελάχιστο ολικό κόστος του δικτύου (κόστος κατασκευής & λειτουργίας).

Η χαρακτηριστική καμπύλη δίνει το μέγιστο και το ελάχιστο κόστος και τις τιμές που αυτά επιτυγχάνονται. Δείχνει δηλαδή το εύρος μεταβολής του φορτίου κεφαλής καθώς επίσης και τη μεταβολή του ελάχιστου κόστους του δικτύου σε σχέση με διάφορα φορτία κεφαλής.

Για $\min K_{κατ.}$ \Rightarrow $\max K_{λειτ.}$

Για $\max K_{κατ.}$ \Rightarrow $\min K_{λειτ.}$

5.2 ΚΡΙΣΙΜΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Κρίσιμη διαδρομή είναι εκείνη η διαδρομή του δικτύου όπου παρουσιάζεται το δυσμενέστερο H_{man} . Αυτή μπορεί να προκύψει είτε:

- λόγω μεγάλου μήκους των αγωγών μιας διαδρομής (μεγάλες γραμμικές απώλειες),
- λόγω μεγάλων υψομετρικών διαφορών (μεγάλη διαφορά υψομέτρου κεφαλής – υψομέτρου υδροληψιών)
- λόγω μεγάλων παροχών σχεδιασμού

5.3 ΔΙΚΤΥΟ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Η χάραξη της χαρακτηριστικής καμπύλης δεν είναι αναγκαία όταν έχουμε δίκτυο βαρύτητας, καθώς τότε το κόστος λειτουργίας είναι μηδενικό, λόγω μη ύπαρξης αντλίας. Το ελάχιστο κόστος κατασκευής ενός κλειστού αρδευτικού δικτύου υπολογίζεται επιλέγοντας τις μικρότερες διαμέτρους των αγωγών, εκείνες δηλαδή που αντιστοιχούν στη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα ροής. Η ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ 0.5-2.0 m/sec. Εάν η ταχύτητα είναι πάνω από 2.0 m/sec υπάρχει κίνδυνος υπερπιέσεων στο δίκτυο ενώ σε αντίθετη περίπτωση, εάν δηλαδή το όριο αυτό είναι κάτω από 0.5 m/sec δημιουργούνται υποπίεσεις και το νερό δεν κυκλοφορεί σωστά.. Οι κατάλληλες διαμέτροι υπολογίζονται από τον τύπο:

$$Q=v \cdot A$$

$$A= \pi D^2/4 \text{ (αγωγοί κυκλικής διατομής)}$$

$$D = (4Q / \pi v)^{1/2}$$

Όπου v: η επιτρεπόμενη ταχύτητα ροής

5.4 ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ

Η χαρακτηριστική καμπύλη σε περίπτωση δικτύου κατάθλιψης προκύπτει από την σύνθεση των δύο επιμέρους διαγραμμάτων, αυτό του κόστους κατασκευής και αυτό

του κόστους λειτουργίας. Για την χάραξη της χαρακτηριστικής καμπύλης ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Χρειαζόμαστε το λιγότερο 6 σημεία προκειμένου να χαράξουμε την καμπύλη. Ξεκινάμε να χαράξουμε την χαρακτηριστική καμπύλη από το πρώτο σημείο που είναι το β .

Το κάτω όριο της καμπύλης (σημείο β) προκύπτει αντίστοιχα αν βάλουμε σε όλους τους αγωγούς του δικτύου D_{min} . Προφανώς το σημείο K_{min} αντιστοιχεί στο μέγιστο ενεργειακό φορτίο κεφαλής.

Το πάνω όριο της καμπύλης, (σημείο α) προκύπτει εάν βάλουμε σε κάθε αγωγό του δικτύου την D_{max} στην κρίσιμη διαδρομή και D_{min} στους αγωγούς του υπόλοιπου δικτύου. Το σημείο α αντιστοιχεί στο ελάχιστο ενεργειακό φορτίο κεφαλής.

Τα υπόλοιπα ενδιάμεσα σημεία προκύπτουν από συνδυασμούς διαμέτρων που μπαίνουν τμηματικά στην εκάστοτε κρίσιμη διαδρομή και υπολογίζονται έτσι τα αντίστοιχα φορτία κεφαλής. Η κρίσιμη διαδρομή δεν είναι απαραίτητα ίδια για κάθε σημείο της χαρακτηριστικής.

Προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας πρέπει να γίνεται έλεγχος όλων των διαδρομών του δικτύου καθώς μια τμηματική αλλαγή διαμέτρου μπορεί να διαφοροποιήσει την κρίσιμη διαδρομή. Έτσι η επόμενη αλλαγή πρέπει να γίνει **στη νέα κρίσιμη διαδρομή, αυτή δηλαδή πάντα με το δυσμενέστερο μανομετρικό φορτίο.**

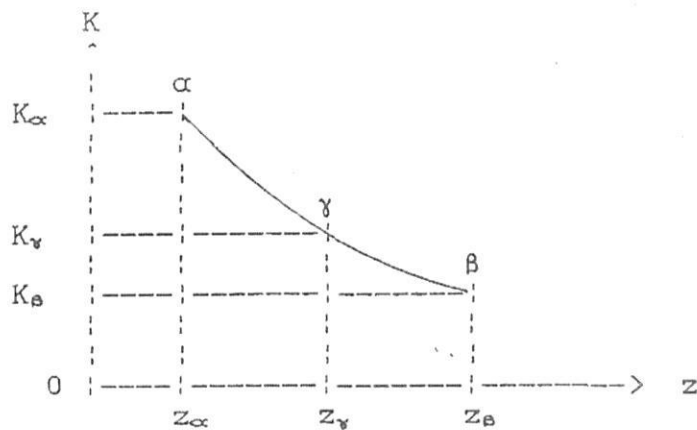
Κατασκευάζουμε τους πίνακες με τα παρακάτω στοιχεία και τα υπολογίζουμε για όλες τις διαδρομές :

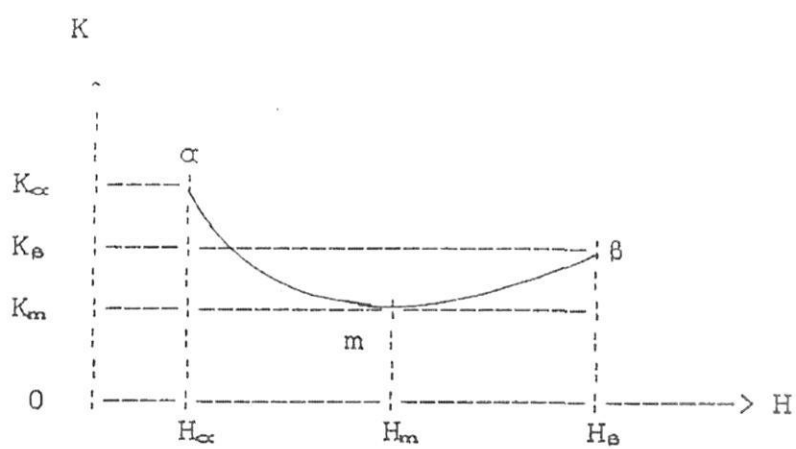
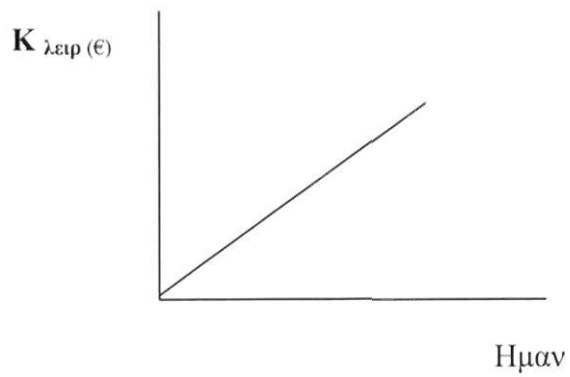
Διαδρομές	Q (l/s)	D (mm)	L(m)	J	$\Delta h = L*J$	v (m/s)

Διαδρ.	Αρχή	Τέλος	Δh (m)	Υψ. τέλους	Απαιτ. Φορτίο πίεσης υδρολ.	Υψομ. Π.Γ. τέλους	Φορτίο πίεσης	Διορθ.

Αν το φορτίο πίεσης που υπολογίζεται είναι μικρότερο από το ζητούμενο φορτίο πίεσης της υδροληψίας γίνεται διόρθωση. Προσθέτουμε τη διαφορά σε όλα τα σημεία.

Π.χ. Αν το απαιτούμενο φορτίο προκύψει 48,2μ ενώ από την εκφώνηση έχει δοθεί ότι το απαιτούμενο φορτίο της υδροληψίας είναι 50 μ τότε πρέπει να προστεθεί παντού +1,8 μ





$$K_{\text{συν}} = K_{\text{κατ}} + K_{\text{λειρ}}$$

Η οικονομικότερη λύση σε ότι αφορά στο συνολικό κόστος του δικτύου βρίσκεται στο κατώτατο σημείο αλλαγής *m* της καμπής της σύνθετης καμπύλης.

5.5 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το κόστος λειτουργίας της αντλίας υπολογίζεται από τον τύπο :

$$K_{\text{λειτ.}} = \beta * \omega * P$$

Όπου

β : η τιμή της KWH για αγροτική χρήση που καθορίζεται ως εξής

<300 KWH 0.06 € / KWH

>300 KWH 0.05 € / KWH

ω : ώρες λειτουργίας αντλιοστασίου σε 1 χρόνο

$\omega = 7 \text{ μήνες άρδευσης} * 30 \text{ μέρες /μήνα} * \text{ώρες λειτουργίας του δικτύου}$

$$P = \gamma * Q * H_{\text{man}} / 1000 * n$$

Όπου

P: ισχύς του αντλιοστασίου

H_{man} : μανομετρικό αντλίας

$$\gamma = 9810 \text{ kg/m}^2/\text{sec}$$

Q : παροχή σχεδιασμού σε m^3/sec

n: συντελεστής απόδοσης αντλίας ίσο με 0.7

5.6 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για να υπολογιστεί το κόστος κατασκευής του δικτύου χρειάζεται αρχικά να αναχθούν οι τιμές στο ισοδύναμο ετήσιο κόστος κατασκευής. Αυτό υπολογίζεται από τον τύπο του τοκοχρεωλύσιου :

$$X = A * \tau / 1 - (1 + \tau)^{-v}$$

Όπου :

v: χρόνος ζωής του έργου v=50 χρόνια

τ : επιτόκιο απόσβεσης έργων που κυμαίνεται μεταξύ 5-6 %

A: κόστος αγωγών σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί:

D(mm)	Κόστος ευρώ / m
100	73
125	81
150	88
175	95
200	103
225	112
250	123
300	144
350	173
400	205
450	241
500	279
550	320
600	356
650	415
700	467

Πίνακας 2: Κόστος αγωγών €/m

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ζ. Παπαζαφειρίου, Παπαμιχαήλ (1996), «Συστήματα αρδεύσεων», ΑΠΘ
2. Γ. Τσακίρης (1991), «Μαθήματα Εγγειωβελτιωτικών έργων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
3. Π. Λατινόπουλος, Γ. Κρεστενίτης (2001) «Εγγειωβελτιωτικά έργα», σημειώσεις φοιτητών Τμήματος Πολ.Μηχανικών, ΑΠΘ
4. Ζ. Παπαζαφειρίου (1999), « Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό», ΑΠΘ
5. Γ. Τσακίρης (2004), Σημειώσεις φοιτητών «Διαχείριση υδατικών πόρων» ΔΤΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία υδατικών πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο