

ΧΡΗΣΤΟΣ Δ. ΤΖΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΤΟΥ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ

ΤΟΜΟΣ Ι

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ - ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ - ΑΤΟΜΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

..... τῶν δ' ἀνθρώπων ραδίως ἄπασαν ἀρ-
δευόντων διά τινος μηχανῆς, ἣν ἐπενόησε
μέν Ἀρχιμήδης ὁ Συρακόσιος, ὀνομάζεται
δέ ἀπό τοῦ σχήματος κοχλίας.

Διόδωρος Σικελιώτης. 1ος π.Χ. αἰώνας

Ἡ ἐπιστήμη τῶν ἀρδεύσεων εἶναι πολύ παλιά καί στίς χώρες ὅπου ἀναπτύχ-
θηκε, παρουσιάστηκαν παράλληλα ὑψηλοί πολιτισμοί (Αἴγυπτος, Μεσοποτα-
μία, Ἰνδία κ.λ.π.). Ἡ Ἑλλάδα παρόλο πού ἀνάπτυξε στούς ἀρχαίους χρόνους
(ἱστορικούς καί προἱστορικούς) μεγάλο πολιτισμό, δέ φαίνεται νά εἶχε ἀνα-
πτύξει τήν ἐπιστήμη τῶν ἀρδεύσεων. Ὁ πιθανότερος λόγος εἶναι ὅτι στή
Νότια Ἑλλάδα καί Νησιά, πού ὑπάρχουν ἀποδεικτικά στοιχεῖα μεγάλων
πολιτισμῶν, δέν ὑπῆρχε ἄφθονο νερό πού θά ἐπέτρεπε τήν ἐφαρμογή τῶν
ἀρδεύσεων.

Ἡ πρώτη συστηματική προσπάθεια γιά τήν ἐφαρμογή ἐνός προγράμματος
ἐκτελέσεως μεγάλων παραγωγικῶν ἔργων σέ Κρατικό ἐπίπεδο ἔγινε στήν
Ἑλλάδα τό 1925. Τότε μετά τή Μικρασιατική καταστροφή ἦρθαν 1.500.000
πρόσφυγες, καί ἔπρεπε τό Κράτος (πιεζόμενο) νά βρεῖ ὅπωςδήποτε μιᾶ λύση
γιά τήν ἀποκατάσταση τῶν προσφύγων, πού σέ μεγάλο ποσοστό εἶχαν ἐγκα-
τασταθεῖ στή Μακεδονία. Ἐπειδή δέν ὑπῆρχε ἐμπειρία τῶν Ἑλλήνων Μηχα-
νικῶν σέ ἀνάλογα ἔργα, ἔγινε στίς 6 Ὀκτωβρίου 1925 μέ Ν.Δ. μιᾶ σύμβαση
μεταξύ τοῦ Ἑλληνικοῦ Δημοσίου καί τῶν ξένων Ἑταιρειῶν Φαουντέσιον καί
Μόνκς - Γιουδλεν γιά τήν ἐκτέλεση τῶν ἔργων τῆς Μακεδονίας. Τά ἔργα αὐτά
εἶχαν σάν σκοπό:

- α. Νά ἀποξηράνουν καί νά ἀποδόσουν στήν καλλιέργεια ἐκτάσεις πού κατα-
κλύζονταν μόνιμα ἀπό νερά.
- β. Νά προστατεύσουν ἀπό τίς πλημμύρες τίς ἐκτάσεις πού κατακλύζονταν
περιοδικά ἀπό τά νερά.
- γ. Νά βελτιώσουν τίς ὑγιεινές συνθῆκες, γιατί τόν καιρό ἐκεῖνο ἡ ἐλονοσία
ἀνέρχονταν σέ 50-90%.
- δ. Νά αὐξήσουν τό γεωργικό κλῆρο καί νά βελτιώσουν τίς κοινωνικές καί
δημογραφικές συνθῆκες.

Τά πρῶτα αὐτά ἔργα ἦταν πολύ ἐνθαρρυντικά, αὐξῆσαν κατακόρυφα τό γεωρ-
γικό εἰσόδημα καί ἀποτελέσαν τόν πυρήνα γιά τή μελλοντική πολιτική τῶν
ἀρδεύσεων στήν χώρα μας.

Σήμερα ή κατανάλωση νερού στη χώρα μας έχει ως εξής:

(Στοιχεία του έτους 1975 από τό Υπουργείο Συντονισμού*)

1. Ύδρευση	585	έκατ. m ³	/ έτος.
2. Βιομηχανία	75	»	»
3. Ενέργεια	40	»	»
4. Άρδευση	3.576	»	»

Δηλαδή, τό νερό πού ξοδεύεται γιά τήν άρδευση αποτελεί τό 83,6% του συνολικού νερού, καί από τό νερό αυτό τό 33, 4% θρίσκεται στη Μακεδονία.

Οί συλλογικές μέθοδοι άρδεύσεως, πού χρησιμοποιούνται σήμερα στην Έλλάδα είναι οί εξής:

- Έπιφανειακή άρδευση.
- Άρδευση μέ καταιονισμό.

Ή άρδευση μέ καταιονισμό άρχισε πειραματικά στη χώρα μας στις άρχές του 1970 καί επιβλήθηκε σάν ή κύρια μέθοδος άρδεύσεως εξαιτίας των πολλών πλεονεκτημάτων σέ σχέση μέ τήν επιφανειακή άρδευση.

Ο σκοπός πού γράφτηκε αυτό τό βιβλίο είναι κατά κύριο λόγο διδακτικός καί ή επιθυμία του γράφοντος είναι νά πάρουν οί φοιτητές όλα εκείνα τά στοιχεία πού θά τους κάνουν ικανούς νά μελετήσουν μόνοι τους τήν όργάνωση ενός άρδευτικού δικτύου μέ καταιονισμό. Θά μπορούσε όμως τό βιβλίο αυτό νά χρησιμοποιηθεί καί από τους συναδέλφους Μηχανικούς πού ασχολούνται μέ τή μελέτη των άρδευτικών δικτύων.

Ή όλη ύλη χωρίστηκε σέ δύο τόμους. Στόν πρώτο τόμο καί στό πρώτο κεφάλαιο εξετάζεται τό φαινόμενο τής εξατμισοδιαπνοής, καί δίνονται οί πιό γνωστές μέθοδοι πού ισχύουν διεθνώς καί στό τέλος γίνεται μιά κριτική αξιολόγηση των μεθόδων αυτών. Στό δεύτερο κεφάλαιο εξετάζονται οί σχέσεις εδάφους καί νερού, καί αναλύεται τό φαινόμενο τής διηθητικότητας του εδάφους σύμφωνα μέ τίς τελευταίες αντιλήψεις τής επιστήμης. Στό τρίτο κεφάλαιο δίνονται όλα τά χαρακτηριστικά στοιχεία ενός άτομικού δικτύου μέ καταιονισμό.

* ΥΕΕΤ. Τεχνική έκθεση άρ. 4.

ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΕΩΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ. ΑΘΗΝΑ 1980.

Στό δεύτερο τόμο, τό πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τίς προδιαγραφές γιά τήν ἐκπόνηση τῆς μελέτης ἑνός συλλογικοῦ δικτύου μέ καταιονισμό. Τό δεύτερο κεφάλαιο ἀσχολεῖται μέ τόν ὑπολογισμό τῶν παροχῶν μέσα σέ συλλογικά δίκτυα καί δίνονται τά βασικά στοιχεῖα τῆς μεθόδου τοῦ R. Clément. Στό τρίτο κεφάλαιο ἀκολουθεῖ ὁ ὑπολογισμός τῆς οἰκονομικῆς διαμέτρου τῶν σωληνωτῶν ἀγωγῶν ὑπό πίεση μέ μιά μαθηματική μέθοδο ἐλαχιστοποίησης τοῦ κόστους τῶν ἀγωγῶν. Στό τέταρτο κεφάλαιο ἀναπτύσσεται ἡ θεωρία τοῦ πλήγματος κριοῦ, ὅπου δίδονται κατ' ἀρχήν οἱ ἐξισώσεις τοῦ πλήγματος κριοῦ καί στή συνέχεια περιγράφονται διάφορες μέθοδοι ἐπιλύσεως τῶν ἐξισώσεων αὐτοῦ. Στό τέλος τοῦ κεφαλαίου περιγράφονται τά μέτρα προστασίας τῶν ἀγωγῶν ἀπό τό φαινόμενο τοῦ πλήγματος κριοῦ.

Τέλος, στό παράρτημα τοῦ δευτέρου τόμου, δίνονται τά τεχνικά ἔργα πού εἶναι ἀπαραίτητα γιά τή μελέτη καί κατασκευή ἑνός ἀρδευτικοῦ δικτύου:

- Ὑδροληψίες
- Σωληνώσεις - Εἰδικά τεμάχια
- Διαμόρφωση στροφῶν καί διακλαδώσεων μέ εἰδικά τεμάχια
- Διαβάσεις ἀγωγῶν κάτω ἀπό δρόμους
- Ἀγκυρώσεις σωληνωτῶν ἀγωγῶν
- Ἀερεξαγωγοί - Ἀντιπληγματικές θαλβίδες - Δικλεῖδες ἐκκενώσεως - Δικλεῖδες ἐλέγχου
- Ἀντλιοστάσιο - Γενική διάταξη, κάτοψη, κατά μήκος τομή, θάλαμος ἀναρροφήσεως.

Σέ ὅλους πού συνέβαλαν στήν τελική διαμόρφωση αὐτοῦ τοῦ συγγράμματος αἰσθάνομαι εὐγνωμοσύνη. Ἐπώνυμα θά ἤθελα νά εὐχαριστήσω τοὺς Συνεργάτες μου κ. Σ. Γιαννόπουλο γιά τήν κριτική διόρθωση του κειμένου, τῇ δ. Γ. Παπαδοπούλου πού ἀσχολήθηκε μέ ὅλα τά σχέδια καί τήν κ. Ἀλ. Παραφέστα-Ξυγαλά, ἡ ὁποία ἐκτός ἀπό τή δακτυλογράφηση τοῦ κειμένου ἔδωσε πολύτιμες συμβουλές γιά τήν καλύτερη γλωσσική παρουσίασή του.

Θεσσαλονίκη, Ὀκτώβριος 1981

Χ. ΤΖΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

	Σελ.
1.1. Τό νερό μέσα στο φυτό	13
1.2. Έξατμισοδιαπνοή ή ύδατοκατανάλωση	14
1.3. Μέθοδος του ισοζυγίου ενέργειας	15
1.4. Ή μέθοδος του ισοζυγίου μάζας	29
1.5. Έμπειρικές μέθοδοι	30
1.5.1. Μέθοδος των Blaney-Griddle	30
1.5.2. Μέθοδος του Thornthwaite	33
1.5.3. Μέθοδος του Turc	36
1.6. Συμπεράσματα - Κρίσεις	37
1.7. Βιβλιογραφία	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ

	41
2.1. Γενικότητες	41
2.2. Μηχανική σύσταση του εδάφους	42
2.3. Κοκκομετρική ανάλυση ή μηχανική ανάλυση	45
2.4. Σχέσεις μεταξύ όγκου και μάζας	47
2.5. Συγκράτηση του νερού από τό έδαφος	50
2.5.1. Ύδατοϊκανότητα - Σημείο μαράνσεως	50
2.5.2. Δόση άρδεύσεως	55
2.5.3. Πρακτική δόση άρδεύσεως - Νερό εφαρμογής - Εϋρος άρδεύσεως	57
2.6. Διήθηση. Ή είσοδος του νερού μέσα στο έδαφος	59
2.6.1. Γενικότητες - Όρισμοί	59
2.6.2. Έξιτώσεις διηθητικότητας	62
2.6.3. Πρακτική αντιμετώπιση	64
2.7. Βιβλιογραφία	70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΤΟΜΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

	73
3.1. Σωληνες υπό πίεση	73
3.1.1. Γενικότητες	73
3.1.2. Απώλειες φορτίου	74

	Σελ.
3.1.3. Είδη σωληνωτών άγωγών	88
3.1.3.1. Μόνιμοι άγωγοί	89
3.1.3.2. Κινητοί άγωγοί	93
3.1.3.3. Εύκαμπτοι άγωγοί	98
3.2. Έκτοξευτήρες	102
3.2.1 Περιστροφικοί έκτοξευτήρες	102
3.2.1.1. Διάταξη των περιστροφικών έκτοξευτήρων	104
3.2.1.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά των περιστροφικών έκτοξευτήρων	104
3.2.1.3. Έξήγηση του φαινομένου του καταιονισμού	109
3.2.1.4. Βαλιστική θεωρία των έκτοξευτήρων	110
3.2.2. Κατανομή του νερού. Συντελεστής όμοιομορφίας	112
3.3. Διάφορες μέθοδοι άρδεύσεως με καταιονισμό	115
3.3.1. Γενικότητες	115
3.3.2. Διάταξη σε σχήμα Ρ	117
3.3.3. Διάταξη σε σχήμα L	119
3.3.4. Διάταξη σε σχήμα Η	121
3.3.5. Σύνδεση των έκτοξευτήρων στις γραμμές άρδεύσεως	122
3.3.6. Διάταξη με εύκαμπτα ύλικά	124
3.3.7. Παρατηρήσεις πάνω στη λειτουργία των εγκαταστάσεων	126
3.3.8. Ειδικές διατάξεις	127
3.3.9. Γενική κριτική των μεθόδων	129
Άριθμητική εφαρμογή	130
3.5. Βιβλιογραφία	147
3.4. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	149

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ἡ συλλογική ἄρδευση σημείωσε τὰ τελευταῖα χρόνια μιά πολύ σημαντική εξέλιξη καί ξεπέρασε τίς κλασσικές ἀντιλήψεις σέ ὅτι ἔχει σχέση μέ τήν ἄρδευση, μέ τή θεώρηση τῆς μεθόδου τοῦ καταιονισμοῦ. Ἔτσι, σήμερα οἱ μελέτες τῶν συλλογικῶν δικτύων ἀρδεύσεως χαρακτηρίζονται ἀπό τέσσερα βασικά στοιχεῖα σέ σχέση μέ τίς κλασσικές μεθόδους μελετῶν ἀρδεύσεως:

1. Ἡ συστηματική ἐφαρμογή τοῦ καταιονισμοῦ.
2. Ἡ μεταφορά τοῦ νεροῦ μέ ἀγωγούς ὑπό πίεση.
3. Ἡ διανομή τοῦ νεροῦ μέ ἐλεύθερη ζήτηση.
4. Ἡ πώληση τοῦ νεροῦ κατ' ὄγκο.

Τά πρῶτα συμπεράσματα ἀπό τήν ἐφαρμογή τῶν ἀρδευτικῶν δικτύων ἐπαλήθευσαν τίς προσδοκίες καί ἀπέδειξαν τὰ μεγάλα πλεονεκτήματα σέ σύγκριση μέ τίς παραδοσιακές τεχνικές τῶν ἀρδεύσεων. Ἡ νέα αὕτη τεχνική ἐξασφαλίζει καλύτερη ἐξυπηρέτηση στούς καλλιεργητές καί ἀποτελεῖ παραγωγική καί κοινωνική ἐπένδυση. Σήμερα, στή χώρα μας τείνει νά ἐγκαταλειφθεῖ ἡ παλιά κλασσική τεχνική μέ ἀνοιχτούς ἀγωγούς καί ὅλα τὰ νέα δίκτυα γίνονται πιά μέ καταιονισμό.

Στή Μακεδονία τό πρῶτο δίκτυο καταιονισμοῦ, πού τέθηκε σέ λειτουργία, ἦταν τό Ἀρδευτικό δίκτυο Καθασίλων, ὀλικῆς ἔκτασης 11.000 στρεμμάτων περίπου. Τό δίκτυο αὐτό, πού θεωρεῖται σάν πειραματικό δίκτυο, μελετήθηκε τό 1965, ἄρχισε νά κατασκευάζεται τό 1967 καί περατώθηκε τό 1971, ὅποτε καί ἄρχισε ἡ δοκιμαστική λειτουργία του. Σήμερα συνεχῶς καινούργια δίκτυα μέ καταιονισμό κατασκευάζονται σ' ὅλη τήν Ἑλλάδα, μετά τὰ πρῶτα ἐνθαρρυντικά ἀποτελέσματα.

Τά βασικά στοιχεῖα ἐνός συλλογικοῦ ἔργου ἀρδεύσεως μέ καταιονισμό εἶναι:

1. Ένα έργο ύδροληψίας πού κατασκευάζεται στην περιοχή ενός ποταμού ή μιās λίμνης (φυσικής ή τεχνητής) ή δίπλα σ' ένα φρέαρ.
2. Μιά διάταξη άγωγών υπό πίεση, ή όποία μπορεί νά εξασφαλιστεί:
 - είτε μέ θαρύτητα όταν ή τοπογραφική θέση της φυσικής πηγής προσφέρει αυτή τή δυνατότητα
 - είτε μέ άντληση πού είναι ή συχνότερη περίπτωση.
3. Μιά διάταξη ρυθμίσεως (μιά δεξαμενή) πού παρεμβάλλεται συνήθως μεταξύ της ύδροληψίας καί των άντλιοστασίων.
4. Ένα δίκτυο από μόνιμους υπόγειους άγωγούς πού μεταφέρουν τό νερό υπό πίεση.
5. Ύδροληψίες πού βρίσκονται στην είσοδο των άγροτεμαχίων καί οι όποιες λειτουργούν μέ μιά σταθερή κατά τό δυνατό πίεση καί μιά σταθερή παροχή. Οι ύδροληψίες αυτές είναι έφοδιασμένες μέ μετρητές καί επιτρέπουν τήν άπευθείας χρησιμοποίηση του κινητού συγκροτήματος έκτοξευτήρων.
6. Άτομικό δίκτυο καταιονισμού πού άποτελείται από:
 - Κινητή διάταξη σωληνώσεων (ταχυσύνδετοι σωλήνες ή σέ συνδυασμό μέ εύκαμπτους πλαστικούς).
 - Έκτοξευτήρες τοποθετημένους άνω στή γραμμή άρδεύσεως.

Ύπάρχουν όρισμένες περιπτώσεις έδαφών, πού επιβάλλεται ή χρησιμοποίηση δικτύων μέ καταιονισμό καί άλλες περιπτώσεις, όπου δέν επιβάλλεται, αλλά χρησιμοποιείται σέ εύρεία κλίμακα, εξαιτίας των μεγάλων πλεονεκτημάτων, πού προσφέρει ή τεχνική αυτή.

Οί περιπτώσεις στίς όποιες επιβάλλεται ό καταιονισμός είναι:

- α. Όταν τό άνάγλυφο του έδάφους είναι έλαφρώς άνώμαλο χωρίς γενική κλίση ή μέ έντονη κλίση.
- β. Όταν δέν επιτρέπεται ή ίσοπέδωση, γιατί υπάρχει κίνδυνος ν' άποκαλυφθεί μή καλλιεργήσιμο έδαφος.
- γ. Όταν τό νερό είναι λιγοστό.
- δ. Όταν τό έδαφος είναι πολύ διαπερατό ή πολύ άδιαπέρατο.

Οί περιπτώσεις πού δέν επιτρέπεται ό καταιονισμός είναι σπάνιες:

- α. Όταν ό άέρας έχει ταχύτητα μεγαλύτερη από 4 ή 5m/s.
- β. Όταν ό άέρας είναι πολύ ξερός καί υπόκειται σέ έντατική ήλιακή άκτινοβολία.

- γ. Όταν τό νερό ἀρδεύσεως εἶναι πολύ ἄλμυρό καί προκαλεῖ ἐγκαύματα στά φύλλα.
- δ. Όταν τό νερό ἀρδεύσεως περιέχει μεγάλη ποσότητα φερτῶν ὑλῶν, πού προκαλοῦν φθορές στούς καταιονιστήρες.

Τά βασικότερα πλεονεκτήματα τῆς μεθόδου ἀρδεύσεως μέ καταιονισμό εἶναι:

1. Ἐλεύθερη ἄρδευση τῶν ἀγροτεμαχίων χωρίς νά προηγηθεῖ καμιά ἰσοπέδωση.
2. Δυνατότητα ἀρδεύσεων μέ μικρές καί ἐπαναλαμβανόμενες δόσεις.
3. Δυνατότητα χρησιμοποίησης μικρῶν παροχῶν τῆς τάξεως τῶν λίγων λίτρων τό δευτερόλεπτο, ἐνῶ οἱ ἄλλες μέθοδοι ἀπαιτοῦν πρακτικά τουλάχιστο 20 l/s.
4. Ἀπλότητα στήν ἐφαρμογή τῆς ἀρδεύσεως καί ταχύτητα στήν ἐκμάθησή της ἀκόμα καί ἀπό ἀγρότες πού δέν ἔχουν ἀρδευτική παράδοση.
5. Οἰκονομία στό νερό πού ὀφείλεται στήν καλή ἐπιφανειακή κατανομή καί στήν ἐλάττωση τῶν ἀπωλειῶν ἀπορροῆς καί βαθειᾶς διηθήσεως. Ἡ οἰκονομία αὐτή ἀνέρχεται τουλάχιστο σέ 20% τῆς καταναλώσεως σέ σχέση μέ τίς συνηθισμένες μεθόδους καί ὑπερβαίνει τά 60% σέ δύσκολα ἐδάφη (ἐδάφη ἐλαφρά κ.λ.π.).
6. Ἡ χάραξη τοῦ δικτύου δέν εἶναι ἐξαρτημένη ἀπό τά ὅρια τῶν ἀγροτεμαχίων καί κατά συνέπεια ἔχει πολύ μικρότερο μήκος ἀπό τό ἀντίστοιχο τῶν ἀρδευτικῶν δικτύων μέ ἀνοιχτές διώρυγες.
7. Ἡ χάραξη τοῦ δικτύου δέν ἐξαρτιέται ἀπό τό ἀνάγλυφο τοῦ τοπίου. Οἱ ἀγωγοί χαράζονται ἀνεξάρτητα ἀπό τίς κλίσεις τοῦ ἐδάφους, ἐνῶ οἱ διώρυγες ἀκολουθοῦν κατ' ἀνάγκη τίς ἰσοῦψεῖς. Ἐτσι, στήν περίπτωση αὐτή καί ὅταν τό ἀνάγλυφο τοῦ τοπίου εἶναι ἀνώμαλο, τό μήκος τῆς χαράξεως εἶναι μεγάλο καί δαπανηρό γιά τίς ἀνοιχτές διώρυγες.
8. Οἱ ἀγωγοί τοποθετοῦνται ὑπόγεια καί δέν ἐμποδίζουν τήν καλλιέργεια, ἐνῶ οἱ διώρυγες καί τά συναφή τεχνικά ἔργα καταλαμβάνουν περισσότερο ἀπό 10% τῆς ἀρδεύσιμης ἐπιφάνειας.
9. Τό δίκτυο δέ δημιουργεῖ νέα διαίρεση ἀγροτεμαχίων καί δέν ἐμποδίζει τόν ἀναδασμό ἢ τήν ἀναδιοργάνωση τῆς ἐγγείου ἰδιοκτησίας σέ μεταγενέστερο χρόνο.
10. Οἱ ἀπώλειες τοῦ νεροῦ κατά τή μεταφορά εἶναι πολύ περιορισμένες

καί ἔτσι προκύπτει σημαντική οἰκονομία νεροῦ.

11. Ἡ συντήρηση τοῦ δικτύου μέ ὑπόγειους σωλήνες εἶναι λιγότερο δαπανηρή σέ σχέση μέ τή συντήρηση τοῦ δικτύου μέ διώρυγες.
12. Ἡ διαχείριση τοῦ δικτύου εἶναι λιγότερο δαπανηρή, γιατί ἐπέρχεται μεγάλη ἐλάττωση στά ἐργατικά χέρια. Στά σύγχρονα συγκροτήματα καταιονισμοῦ ἡ παρακολούθηση τῆς πορείας τοῦ νεροῦ εἶναι περιττή ἐργασία καί ἔτσι ἡ δαπάνη ἐργατικῶν τείνει νά μηδενιστεῖ.

Στά μειονεκτήματα θά πρέπει κανεῖς νά περιλάβει τά ἀκόλουθα :

1. Ἡ ἐπίδραση τοῦ ἀέρα εἶναι δυσμενῆς πάνω στήν ὁμοιόμορφη κατανομή τῆς βροχῆς.
2. Οἱ δαπάνες ἐγκατάστασης ἐμφανίζονται σάν πιά ἀυξημένες σέ σχέση μέ τίς δαπάνες τοῦ δικτύου μέ διώρυγες. Σήμερα ὅμως αὐτό τό μειονέκτημα τείνει νά ἐξαλειφτεῖ, γιατί τό μέν κόστος τῶν ζωνῶν ἀπαλλοτριώσεως τῶν ἀνοιχτῶν διωρύγων ἀυξάνει συνέχεια, ἐνῶ ἡ προκατασκευή τῶν ἀγωγῶν ἔχει μικρό κόστος καί ἔτσι ἡ διαφορά τῆς δαπάνης ἐγκαταστάσεως συνέχεια ἐλαττώνεται.
3. Αὐξημένες δαπάνες λειτουργίας τῶν ἀντλητικῶν συγκροτημάτων. Στά περισσότερα δίκτυα καταιονισμοῦ ἡ πίεση λειτουργίας τῶν ἐκτοξευτῶν προσφέρεται μέ ἀντλητικά συγκροτήματα καί ὄχι μέ βαρύτητα, ἐνῶ στά δίκτυα μέ ἀνοιχτές διώρυγες ἡ ἄρδευση γίνεται μέ τήν ἀποκλειστική βοήθεια τῆς βαρύτητας.

1.1 Τό νερό μέσα στο φυτό

Τό νερό πού εισέρχεται μέσα στο φυτό, είτε συγκρατείται, είτε εξατμίζεται. Τό μικρότερο μέρος του νερού αυτού, πού ονομάζεται νερό συστατικό (*eau de constitution*), παραμένει μέσα στο φυτό, ενώ τό μεγαλύτερο μέρος του αποβάλλεται μέ εξάτμιση καί ονομάζεται νερό βλαστήσεως (*eau de vegetation*). Ή εξάτμιση του νερού βλαστήσεως καλείται διαπνοή. Τό συστατικό νερό αποτελεί καί τό μεγαλύτερο ποσοστό σέ βάρος των φυτών, όπως φαίνεται καί από τόν παρακάτω πίνακα:

Δένδρα	60 %	σέ βάρος
Δημητριακά	75 %	σέ βάρος
Λαχανικά	90 %	σέ βάρος
Φρούτα	90 %	σέ βάρος

Τό νερό της βλαστήσεως χρησιμεύει γιά τήν κυκλοφορία των διαφόρων αλάτων, πού τό φυτό τά παίρνει μέ τίς ρίζες του από τή γή, καί τά μεταφέρει μέ τό νερό της βλαστήσεως στά διάφορα μέρη του, καί στή συνέχεια τό αποβάλλει μέ εξάτμιση. Ύπάρχει δέ μία συνεχής κίνηση του νερού της βλαστήσεως από τίς ρίζες πρός τά φύλλα καί τήν ατμόσφαιρα. Γιά νά είναι δυνατή ή διακίνηση των αλάτων από τό έδαφος στό φυτό, θά πρέπει τά άλατα νά βρίσκονται διαλυμένα μέσα στό νερό καί έπομένως θά πρέπει νά ύπάρχουν στό έδαφος ίκανές ποσότητες νερού διαθέσιμες καί σταθερές.

Οί παράγοντες πού επηρεάζουν τήν εξάτμιση ή διαπνοή του νερού της βλαστήσεως, είναι:

— Τό φῶς καί ἡ θερμότητα, πού μποροῦν νά μεταβάλλουν τή διαπνοή σέ ἀναλογίες ἀπό 1 μέχρι 60.

— Ὁ ἀέρας καί ὁ βαθμός ὑγρασίας τοῦ ἀέρα. Ὁ ξερὸς ἀέρας αὐξάνει τή διαπνοή.

— Ἡ διάρκεια τῆς βλαστήσεως.

— Ἡ συγκέντρωση τῶν ἀλάτων στό ἔδαφος.

— Ἡ πυκνότητα καί τό εἶδος τοῦ φυλλώματος.

Συνήθως ὅταν ὁμιλοῦμε γιά κατανάλωση νεροῦ γιά τὰ φυτά ἀναφερόμαστε στό νερό τῆς βλαστήσεως, θεωρώντας σάν ἀμελητέο τό συστατικό νερό.

1.2 Ἐξατμισοδιαπνοή ἢ ὕδατοκατανάλωση

Ἡ *ἐξατμισοδιαπνοή ἢ ὕδατοκατανάλωση* εἶναι ἄθροισμα δύο παραγόντων.

— Τῆς *διαπνοῆς* δηλαδή τοῦ νεροῦ, πού παίρνει τό φυτό ἀπό τό ἔδαφος καί στή συνέχεια τό ἀποβάλλει πρὸς τόν ἀτμοσφαιρικό ἀέρα.

— Τῆς *ἐξατμίσεως* πού ἐκφράζει τό νερό τό ὁποῖο ἐξατμίζεται κατευθείαν ἀπό τήν ἐπιφάνεια τοῦ ἐδάφους ἢ χρησιμεύει ἐπίσης καί γιά τήν ἀνάπτυξη ἄλλων ἐπιβλαβῶν καλλιιεργειῶν.

Εἴτε ὅμως πρόκειται γιά ἐξάτμιση ἀπό τήν ἐπιφάνεια τῆς βλαστήσεως (διαπνοή), εἴτε πρόκειται γιά ἐξάτμιση ἀπό τήν ἐπιφάνεια τοῦ ἐδάφους, ἀπαιτεῖται μιὰ ὀρισμένη ποσότητα θερμότητας (λανθάνουσα θερμότητα) γιά τή μετατροπή μιᾶς ὀρισμένης ποσότητας νεροῦ σέ ὕδρατμους, πού θά φύγει πρὸς τήν ἀτμόσφαιρα. Σήμερα λοιπόν οἱ δύο παραπάνω διεργασίες μελετιοῦνται ἀπό κοινοῦ καί τό ὅλο φαινόμενο λέγεται *ἐξατμισοδιαπνοή ἢ ὕδατοκατανάλωση*.

Ὅρίζουμε *δυνατή ἐξατμισοδιαπνοή* E_p τήν ποσότητα τοῦ νεροῦ πού μπορεῖ νά μεταφερθεῖ πρὸς τήν ἀτμόσφαιρα, ὅταν ἡ ἐπιφάνεια τῆς γῆς ἔχει τή δυνατότητα νά καλύψει σέ νερό τίς ἀτμοσφαιρικές ἀπαιτήσεις. Σέ ἀντιδιαστολή εἰσάγουμε τόν ὅρο πραγματική ἐξατμισοδιαπνοή E_a , πού παριστάνει τήν πραγματική ποσότητα τοῦ νεροῦ, πού μεταφέρεται πρὸς τήν ἀτμόσφαιρα ἀπό τήν ἐπιφάνεια τοῦ ἐδάφους κάτω ἀπό τίς ἴδιες ἀτμοσφαιρικές συνθήκες. Ἔτσι, π.χ. κάτω ἀπό ὀρισμένες ἀτμοσφαιρικές συνθήκες θά ἔπρεπε νά ἐξατμίζονται ἀπό μιὰ ἐπιφάνεια ἐδάφους 4 mm νεροῦ ἡμερησίως (E_p), ἡ ἐπιφάνεια ὅμως αὕτη ἔχει τήν δυνατότητα νά

μεταφέρει προς τήν ατμόσφαιρα μόνο 2 mm νερού ήμερησίως (E_a).

Έπειδή ή ποσότητα του νερού, πού καταναλώνει μιά καλλιεργημένη επιφάνεια, είναι από τά πιο σοβαρά προβλήματα στην περιοχή των άρδεύσεων, θά πρέπει ό Μηχανικός, πού μελετά μιά περιοχή, νά είναι ιδιαίτερα προσεκτικός στην επιλογή της μεθόδου ύπολογισμού της ύδατοκαταναλώσεως. Η ποσότητα αυτή θά επιδράσει στην έκλογή των διαστάσεων των άγωγών του άρδευτικού δικτύου καί έπομένως θά επηρεάσει τό όλικό κόστος κατασκευής του άρδευτικού δικτύου.

Γιά τή μέτρηση της έξατμισοδιαπνοής υπάρχουν σήμερα οί ακόλουθες μέθοδοι:

1. Η μέθοδος του ίσοζυγίου ενέργειας.
2. Η μέθοδος του ίσοζυγίου μάζας.
3. Πειραματικές μέθοδοι.

1.3 Μέθοδος του ίσοζυγίου ενέργειας

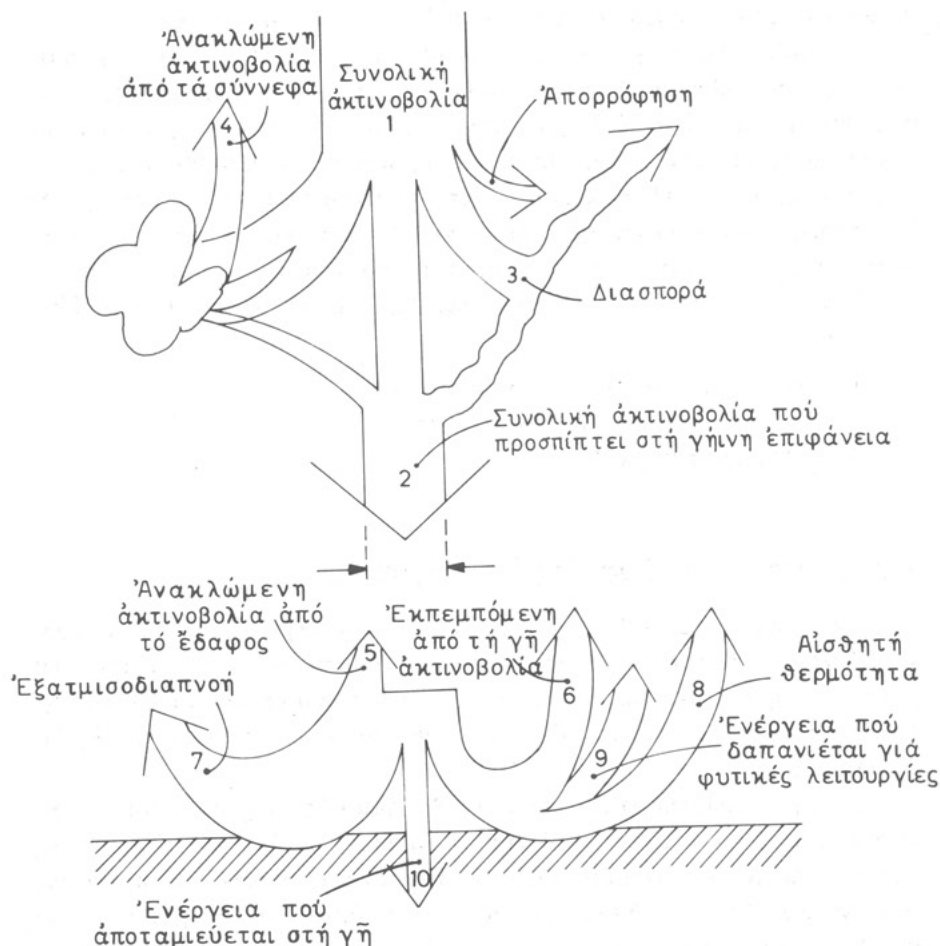
Έάν υπάρχει μεταβολή του δυναμικού του νερού μέσα στό έδαφος καί συνεπώς κίνηση του νερού, αυτό συνεπάγεται ότι υπάρχει συνεχώς μιά προσφορά ενέργειας, στή φάση του νερού πού βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια της γής. Η ενέργεια αυτή είναι ήλιακής προελεύσεως ως επί τό πλείστον.

Τό σχ. 1 δείχνει τήν κατανομή της ήλιακής ενέργειας μεταξύ της κορυφής της ατμόσφαιρας καί της επιφάνειας του έδάφους. Ένα μέρος της προσπίπτουσας ήλιακής ακτινοβολίας ανακλάται προς τά πάνω από τά σύννεφα. Ένα μικρό μέρος απορροφείται άπευθείας καί μετατρέπεται σέ θερμότητα. Τά σύννεφα καί ό άέρας διαχέουν καί διασπείρουν όμοίως ένα μέρος της ήλιακής ακτινοβολίας, πού προσπίπτει στή γή.

Η διαφορά μεταξύ της ακτινοβολίας όλων των κυμάτων, πού διευθύνεται προς τό έδαφος καί της ακτινοβολίας όλων των κυμάτων, πού προέρχονται από τό έδαφος καί διευθύνονται προς τόν ουρανό, ονομάζεται καθαρή ακτινοβολία (*net radiation*). Γενικά ή καθαρή ακτινοβολία είναι θετική (διευθύνεται προς τή γή) κατά τή διάρκεια της ήμέρας καί άρνητική τή νύκτα, μηδενίζεται δέ τό πρωί καί τό βράδυ.

Σύμφωνα μέ τόν Slatyer [4] τό μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας έχει μήκος κύματος (0.3 ~ 3 μ).

Αυτή ή καθαρή άντινοβολία αποτελεί τή ροή της ενέργειας, πού



Σχήμα 1. Ίσοζύγιο ενέργειας στην επιφάνεια του εδάφους ($albedo = 5/2$).

χρησιμοποιείται στο επίπεδο του εδάφους. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας μετέχει στη θέρμανση της γης, ένα άλλο μέρος μετέχει στη θέρμανση του αέρα, ένα μέρος δαπανιέται για όρισμένες φυτικές λειτουργίες και τέλος το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για τη διαδικασία της ύδατοκαταναλώσεως δηλαδή να μετατρέψει μία ποσότητα από το νερό που υπάρχει στην επιφάνεια της γης σε υδρατμούς.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να γράψουμε την εξίσωση διατηρήσεως της ενέργειας ως εξής:

$$R_n = H + LE + G + aA, \quad (1.1)$$

όπου:

$R_n = R_s (1 - r) - R_l$ = καθαρή ακτινοβολία.

R_s = όλική προσπίπτουσα ακτινοβολία.

$R_s (1-r)$ = ή καθαρή ροή τών βραχέων κυμάτων.

r = τό *albedo* της έπιφανείας (λόγος της ανακλώμενης ακτινοβολίας πρós την προσπίπτουσα).

R_l = ή καθαρή ροή τών μακρών κυμάτων (όλες οί ροές θετικές πρós την έπιφάνεια της γής).

H = ή ένέργεια πού δαπανιέται για τή θέρμανση του άέρα (αίσθητή θερμότητα - *sensible heat*).

LE = ή ένέργεια πού δαπανιέται για τήν εξατμισοδιαπνοή (λανθάνουσα θερμότητα - *latent heat*).

G = ή ένέργεια πού δαπανιέται για τή θέρμανση της γής.

aA = ή ένέργεια πού δαπανιέται για διάφορες φυτικές λειτουργίες.

Στήν εξίσωση (1.1) L καί a είναι ή λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως του νερού ($\sim 590 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$) καί ό συντελεστής άποθηκεύσεως χημικής ένέργειας ($\sim 3.600 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$) αντίστοιχα.

Γενικά στήν εξίσωση (1.1) σύμφωνα μέ τόν *Slatyer* ή φωτοσυνθετική συνεισφορά aA σπάνια υπερβαίνει τό 2 - 3 % της προσπίπτουσας ακτινοβολίας εκτός από όρισμένες βραχείες περιόδους. Έπίσης σύμφωνα μέ τόν *Bowen* [2] ή ποσότητα ένέργειας, πού άποταμιεύεται στό έδαφος G , είναι μικρή καί έτσι ή εξίσωση (1.1) γράφεται:

$$R_n = H + LE \quad (1.2)$$

Όταν δέν διαθέτουμε μετρήσεις της καθαρης ακτινοβολίας, ό *Penman* [5] εισάγει τόν τύπο του *Brunt* για τήν εκτίμηση της ποσότητας αυτής :

$$\begin{aligned} R_n &= R_s (1 - r) - R_l = \\ &= R_s (1 - r) - \sigma T_a^4 (0.56 - 0.092 \sqrt{e_d}) \cdot (0.1 + 0.9 I) \end{aligned} \quad (1.3)$$

όπου:

σ = σταθερά του *Boltzmann* ($1.38054 \times 10^{23} \text{ JK}^{-1}$).

T_a = θερμοκρασία του άέρα.

σT_a^4 = θεωρητική ακτινοβολία του μαύρου σώματος στήν θερμοκρασία T_a .

e_d = μερική πίεση του υδρατμού του αέρα.

$$I = \frac{n}{N} = \frac{\text{πραγματική διάρκεια ήλιοφάνειας}}{\text{μεγίστη δυνατή διάρκεια ήλιοφάνειας}} = \text{σχετική ήλιοφάνεια (insolation)}.$$

Μπορούμε νά εκτιμήσουμε τό R_s εμπειρικώς από τόν ακόλουθο τύπο:

$$R_s = R_A (a + bI) \quad (1.4)$$

όπου R_A είναι ή συνολική ακτινοβολία (1) στό σχ. 1 καί a , b εμπειρικές σταθερές, πού παίρνουν τίς τιμές $a = 0.20$, $b = 0.54$ γιά εϋκρατα κλίματα καί $a = 0.28$, $b = 0.48$ γιά τροπικά κλίματα. Τό R_A δίνεται από πίνακες σά συνάρτηση του μήνα καί του γεωγραφικού πλάτους γιά περίοδο 10 ήμερών.

Ο *Penman* τροποποίησε λίγο τόν παραπάνω τύπο (1.3) καί πρότεινε [2] τό 1948 γιά τό R_l τόν εμπειρικό τύπο

$$R_l = 118 \cdot 10^{-9} (273 + T_a)^4 (0.47 - 0.077 \sqrt{e_d}) (0.2 + 0.8 I) \quad (1.5)$$

όπου T_a είναι ή θερμοκρασία σέ $^{\circ}\text{C}$ σέ ύψος 2 m καί e_d ή πίεση τών υδρατμών σέ ύψος 2 m σέ mmHg.

Σέ ό,τι αφορά τήν τιμή του *albedo* r είναι συνάρτηση τής γωνίας προσπτώσεως καί του μήκους κύματος. Γιά τούς ύπολογισμούς σύμφωνα μέ τόν *Kijne* [2] μπορεί νά χρησιμοποιηθεῖ μιά μέση τιμή 0.03 ~ 0.06.

Θεωρούμε τώρα σύμφωνα μέ τούς *Pennam et al* [8] ότι οί έξισώσεις μεταφοράς τής θερμότητας καί τών υδρατμών δίνονται από τίς παρακάτω σχέσεις:

$$H = -\rho c K_H \frac{\partial T}{\partial z} \quad (\text{cal cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}),$$

$$LE = -K_v L \frac{\partial x}{\partial z} \quad (\text{cal cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}),$$

όπου ρ είναι ή πυκνότητα του αέρα, c ή ειδική θερμότητα του αέρα, K_H καί K_v είναι αντίστοιχα οί συντελεστές τυρβώδους διαχύσεως γιά θερμότητα καί υδρατμό. Έπειδή στήν πράξη μετράμε συνήθως τήν πίεση τών ατμών e , πού συνδέεται μέ τήν απόλυτη υγρασία x ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) του