

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Υπό

ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ ΚΙΟΥΝΤΟΥΖΗ* — ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΤΣΑΚΙΡΗ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ύπολογισμός των διαμέτρων των σωλήνων σε ένα δίκτυο μεταφορᾶς και διανομῆς νεροῦ ὑπὸ πίεση ἀποτελεῖ τὸ σύνηθες πρόβλημα τοῦ ὑδραυλικοῦ μηχανικοῦ. Ἀπὸ τὰ δύο βασικὰ συστήματα διανομῆς τοῦ νεροῦ τὸ κυκλοφοριακὸ (βροχωτὸ) χρησιμοποιεῖται κυρίως στὰ δίκτυα ὑδρεύσεως ἐνῶ τὸ ἀνοικτὸ (ἀκτινωτὸ) χρησιμοποιεῖται στὰ συλλογικὰ ἀρδευτικὰ δίκτυα.

Τὰ βασικὰ δεδομένα γιὰ τὴν διαστασιολόγηση ἑνὸς ἀνοικτοῦ δικτύου εἶναι

- α) ἡ ὀριζοντιογραφία τοῦ δικτύου καὶ ἐπομένως τὸ μῆκος κάθε τμήματος σωληνώσεως
- β) ἡ παροχὴ σὲ κάθε τμήμα
- γ) τὸ ἐλάχιστο ἀπαιτούμενο πιεζομετρικὸ φορτίο σὲ κάθε σημεῖο τοῦ δικτύου καὶ
- δ) τὸ διαθέσιμο πιεζομετρικὸ φορτίο στὴν ἀρχὴ τοῦ δικτύου.

Ἀπὸ τὰ δεδομένα τοῦ προβλήματος γίνεται φανερὸ ὅτι διαφορετικοὶ συνδυασμοὶ διαμέτρων μποροῦν νὰ ἀποτελέσουν ὑδραυλικὴ λύση τοῦ προβλήματος μὲ διαφορετικὸ ὅμως συνολικὸ κόστος σωληνώσεων. Σ' αὐτὴ τὴν ἐργασία γίνεται ἡ ἐπιλογή τοῦ συνδυασμοῦ τῶν διαμέτρων, ποὺ ἱκανοποιεῖ τοὺς περιορισμοὺς τοῦ προβλήματος ἀλλὰ ἔχει τὸ μικρότερο δυνατὸ κόστος, μὲ τὴ χρήση γραμμικοῦ προγραμματισμοῦ.

* Πανεπιστήμιο Ἰωαννίνων.

** Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

Στό τέλος ἀναφέρονται παραδείγματα ἐφαρμογῆς τῆς μεθόδου καί διερευ-
νᾶται ἡ περίπτωση δικτύου μὲ ἀντλιοστάσιο. Ἀκόμη γίνεται σύγκριση τῶν ἀπο-
τελεσμάτων μὲ ἄλλες μεθόδους βελτιστοποιήσεως (συνεχῆς καί ἀσυνεχῆς μέ-
θοδος Labye) ὅπως ἐπίσης καί ἀνάλυση τῆς σχετικῆς εὐαισθησίας τῶν λύσεων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ἡ ἐφαρμογή τῶν μεθόδων βελτιστοποιήσεως στή περιοχή τῆς τεχνικῆς
τῶν ὑδάτινων πόρων στηρίζεται στό θεωρητικό περίγραμμα πού προσφέρουν οἱ
ἐπιστῆμες τῆς ὑδρολογίας, τῆς ὑδραυλικῆς, τῆς ἔδαφοφυσικῆς καί ἄλλων ἐφαρ-
μοσμένων ἐπιστημῶν ἀπό τή μιὰ πλευρά καί ἡ οἰκονομική τῶν κατασκευῶν ἀπό
τὴν ἄλλη. Ἐπί πλέον σπουδαῖο ρόλο στήν ἐπιλογή τῆς τελικῆς λύσης παίζουν
καί παράγοντες πού ἔχουν σχέση μὲ τίς τοπικὲς ἰδιομορφίες, συνήθειες, ἥθη καί
προτιμήσεις τῶν ἀνθρώπων πού καλοῦνται νά χρησιμοποιήσουν τὰ ἔργα. Χωρὶς
νά ὑποβαθμίζεται ὁ ρόλος τῶν διαφόρων μὴ «τεχνοκρατικῶν» παραγόντων ἡ
συμβολὴ τῶν μαθηματικῶν μεθόδων βελτιστοποιήσεως εἶναι βασικῆς σημασίας
στό προγραμματισμό, τὴ μελέτη καί τὴ λειτουργία τῶν ἔργων ἀξιοποιήσεως τῶν
ὑδάτινων πόρων.

Ἡ βέλτιστη χρησιμοποίηση τῶν ὑδάτινων, ἔδαφικῶν καί οἰκονομικῶν πό-
ρων ἀντιμετωπίζεται στήν ἐργασία αὐτὴ σὰν μιὰ σειρὰ διαδοχικῶν βελτιστοποιή-
σεων πού ἐνδέχεται νά ἀλληλοεπηρεάζονται. Πιὸ συγκεκριμένα ἡ βελτιστοποίηση
πού περιγράφεται στίς ἐπόμενες παραγράφους καί ἀναφέρεται στή διαστασιολό-
γηση τῶν ὑπὸ πίεση ἀνοικτῶν (ἀκτινωτῶν) ἀρδευτικῶν δικτύων ἀποτελεῖ ἓνα τμῆμα
μῆς διαδικασίας πού περιέχει τὰ ἑξῆς στάδια :

- α. Βέλτιστη κατανομὴ ἀρδευόμενης ἐκτάσεως ἀνά καλλιέργεια
- β. Βέλτιστη χάραξη τοῦ ἀρδευτικοῦ δικτύου
- γ. Βέλτιστη διαστασιολόγηση τοῦ ἀρδευτικοῦ δικτύου
- δ. Βέλτιστη στρατηγικὴ ἀρδεύσεως.

Λόγω συνήθως τῆς συνθετότητας ἑνὸς ἀρδευτικοῦ ἔργου καί τῆς ἀλληλοε-
πιδράσεως τῶν ἐπιμέρους σταδίων ὁ αὐστηρὸς προσδιορισμὸς τῆς τελικῆς βέλτι-
στης λύσης πρέπει νά προέρχεται ἀπὸ ἔλεγχο πού στηρίζεται σὲ ἀνακύκλωση
μεταξὺ τῶν σταδίων. Ἐτσι, γιὰ παράδειγμα, ἐνῶ ἡ βέλτιστη διαστασιολόγηση
τοῦ ἀρδευτικοῦ δικτύου καταιονισμοῦ, πού εἶναι συνήθως ἓνα ἀκτινωτὸ δίκτυο
ὑπὸ πίεση, προϋποθέτει τὴ βέλτιστη χάραξη τοῦ δικτύου, κρίνεται σκόπιμο νά
ἐλεγχθεῖ ἂν οἱ διάμετροι πού προσδιορίζονται στό γ' στάδιο δίνουν τὴν πράγματι
οἰκονομικότερη χάραξη (β' στάδιο).

Οί πιό γνωστές μέθοδοι πού έχουν χρησιμοποιηθεί για τόν προσδιορισμό του βέλτιστου συνδυασμού διαμέτρων στά άκτινωτά υπό πίεση άρδευτικά δί-κτυα είναι :

- α. Ή Συνεχής μέθοδος
- β. Ή Άσυνεχής μέθοδος Labye και
- γ. Ή μέθοδος Γραμμικού Προγραμματισμού.

Στή συνεχή μέθοδο^{3, 4, 5}, τó πρόβλημα μορφώνεται πάνω σέ αυστηρή μαθημα-τική βάση ελαχιστοποίησης του κόστους του δικτύου. Βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ή χρησιμοποίηση της διαμέτρου σάν συνεχούς μεταβλητής, ή δυσκολία εφαρμογής της μεθόδου για την επίλυση περίπλοκων άκτινωτών δικτύων, ή ανάγκη χρησιμοποίησης άπλοποιημένων εμπειρικών εξισώσεων για τόν ύπολογισμό των γραμμικών άπωλειών φορτίου και ή μειωμένη ακρί-βεια των άποτελεσμάτων. Κατά συνέπεια ή μέθοδος αυτή μπορεί νά εφαρμοζείται στά άρχικά στάδια μελέτης των παραπάνω δικτύων.

Ή άσυνεχής μέθοδος Labye^{1, 2} έχει σήμερα εύρεία εφαρμογή στις περι-πτώσεις άκτινωτών δικτύων. Σάν πιό ακριβής από την προηγούμενη και λόγω του γεγονότος ότι καταλήγει σέ διαμέτρους πού διατίθενται στο εμπόριο συνιστάται για χρησιμοποίηση στις όριστικές μελέτες των άρδευτικών δικτύων από τις άρ-μόδιες τεχνικές υπηρεσίες⁸.

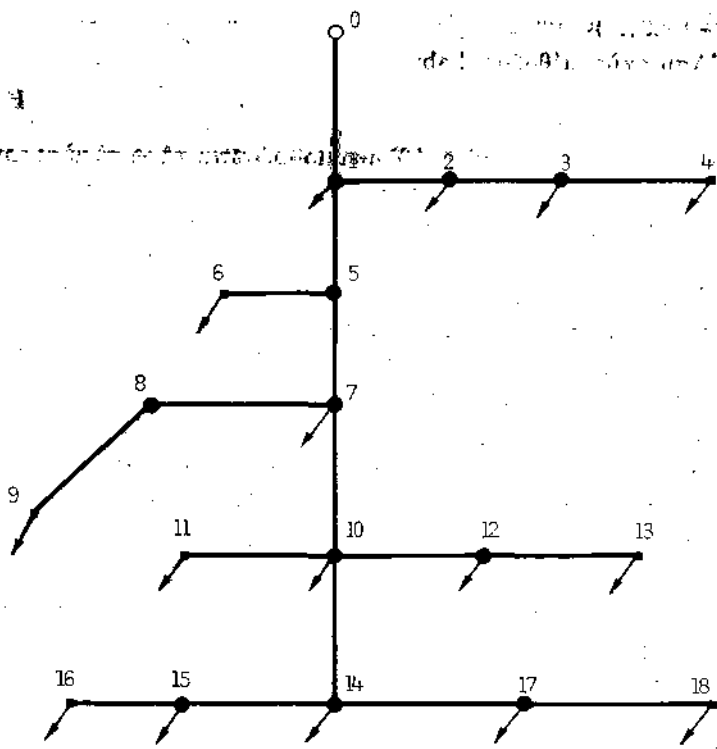
Στήν έργασία αυτή σάν μέθοδος βελτιστοποίησης χρησιμοποιείται ή μέθο-δος του Γραμμικού Προγραμματισμού. Ή κριτική παρουσίαση της μεθόδου καθώς και οι συγκρίσεις πού γίνονται με τή χρησιμοποίηση άριθμητικών παραδειγμά-των έχουν σάν σκοπό νά διερευνήσουν τή δυνατότητα χρησιμοποίησης της με-θόδου αυτής σάν έναλλακτικής της μεθόδου Labye στις όριστικές μελέτες των άκτινωτών δικτύων.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Όρισμοί

Ένα τυπικό άκτινωτό δίκτυο άρδέυσεως φαίνεται στο Σχήμα 1.

Άπό την ύδροληψία 0 τó νερό διανέμεται σέ πολλά ύδροστόμια πού συμβο-λίζονται με βέλη. Στο σχήμα διακρίνονται επίσης οι άπολήξεις (4, 6, 9, 11, 13, 16, 18) πού όνομάζονται πέρατα του δικτύου και φέρουν τó αντίστοιχο σύμβολο. Κάθε σημείο εκτός από τά πέρατα στο όποιο ύπάρχει ύδροστόμιο ή διακλάδωση άγωγού με άλλους (όπως 1, 2, 3, 5, 7, 8, κτλ.) όνομάζεται κόμβος του δικτύου. Τά τμήματα άγωγών έν σειρά μεταξύ δύο κόμβων ή ένός κόμβου και ένός πέ-



Σχ. 1. Ἀκτινωτὸ δίκτυο ἀρδεύσεως.

ρατος ονομάζονται κλάδοι τοῦ δικτύου. Οἱ κόμβοι καὶ τὰ πέρατα ἀριθμοῦνται διαδοχικὰ ἀπὸ ἀνάτη πρὸς κατάντη. Κάθε κλάδος χαρακτηρίζεται μὲ τὸν ἀριθμὸ τοῦ δευτέρου σὲ σειρά κόμβου ἢ πέρατος τοῦ κλάδου. Ὁ συνολικὸς ἀριθμὸς τῶν κλάδων τοῦ δικτύου εἶναι ἴσος μὲ τὸ ἄθροισμα τοῦ ἀριθμοῦ τῶν κόμβων καὶ τῶν περάτων τοῦ δικτύου.

Δεδομένα

Τὰ βασικὰ δεδομένα γιὰ τὴ διαστασιολόγησι ἐνὸς ἀκτινωτοῦ ἀρδευτικοῦ δικτύου εἶναι :

- α. Ἡ χάραξι τοῦ δικτύου. Ἐπομένως οἱ θέσεις καὶ τὰ ὑψόμετρα τῶν κόμβων καθὼς καὶ τὰ μήκη τῶν κλάδων τοῦ δικτύου εἶναι γνωστά.

- β. Το ελάχιστο απαιτούμενο πιεζομετρικό φορτίο σε κάθε κόμβο ή πέρασ του δικτύου. Για κόμβους ή πέρατα με υδροστόμιο, το απαιτούμενο πιεζομετρικό φορτίο προκύπτει από τη λειτουργία της μονάδας άρδευσεως (π.χ. γραμμή άρδευσεως) ενώ για κόμβους ή πέρατα χωρίς υδροστόμια προκύπτει από την ανάγκη εξασφαλίσεως της πιεζομετρικής γραμμής πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.
- γ. Το υψόμετρο της πιεζομετρικής γραμμής στην αρχή του δικτύου. Στην περίπτωση που το δίκτυο λειτουργεί με κατάθλιψη το υψόμετρο αυτό αποτελεί μία ακόμη μεταβλητή του προβλήματος.
- δ. Οι παροχές σε κάθε κλάδο του δικτύου. Οι παροχές των κλάδων του δικτύου υπολογίζονται με βάση την κατάντη άρδευόμενη έκταση την ειδική παροχή άρδευσεως (ή όποια εκφράζει τις μέγιστες ανάγκες των καλλιεργειών εκφρασμένες σε αντίστοιχη συνεχή παροχή ανά μονάδα εκτάσεως), το χρόνο λειτουργίας του δικτύου, καθώς επίσης και από το σύστημα διανομής του άρδευτικού νερού. Για τον καθορισμό των παροχών των κλάδων των άρδευτικών δικτύων ο αναγνώστης παραπέμπεται στη σχετική βιβλιογραφία ^{6, 7, 8}.

Εκτός από τα παραπάνω δεδομένα, για τη διαστασιολόγηση του δικτύου απαιτούνται στοιχεία κόστους των σωληνώσεων καθώς και σχέσεις που να συνδέουν τις διαμέτρους που εξετάζονται σε κάθε κλάδο με το ύψος των γραμμικών απωλειών φορτίου.

Κόστος άγωγών

Για την άπλοποίηση του προβλήματος ως θεωρήσουμε την περίπτωση ενός δικτύου βαρύτητας. Η ανά μέτρο μήκους δαπάνη των άγωγών σ' αυτή την περίπτωση περιλαμβάνει το κόστος αγοράς, μεταφοράς στο εργοτάξιο των σωλήνων, των ειδικών τεμαχίων, κόστος έκσκαφής, διαστρώσεως, κόστος συνδέσεως και επιχώσεως των σωλήνων.

Όπως είναι φανερό ή συνολική δαπάνη αγοράς και εγκαταστάσεως εξαρτάται από τη διάμετρο, το υλικό, και την άντοχή του άγωγού σε πίεση. Επίσης εξαρτάται και από τις τοπικές συνθήκες που σχετίζονται με τη φύση του εδάφους τον τρόπο εργασίας (π.χ. μηχανικά μέσα) και το εργατικό κόστος. Σαν παράδειγμα υπολογισμού του συνολικού κόστους ανά μέτρο μήκους άγωγού χρησιμοποιήθηκε άγωγός από άμιαντοσιμέντο με τα εξής χαρακτηριστικά :

Όνομαστική πίεση λειτουργίας : 10 Atm

Βάθος έκσκαφής : 1.20 m

Τύπος εδάφους : Γαιώδες

Τρόπος έκσκαφής : Με μηχανικά μέσα

Οί τιμές πού προέκυψαν για τις διάφορες διαμέτρους του έμπορίου από την 'Ανάλυση Τιμών 'Υδραυλικών Έργων με τη χρήση τής Γ' Τιμαριθμικής 1980 παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Οί τιμές αυτές θα χρησιμοποιηθοϋν στη διατύπωση του παραδείγματος πού περιγράφεται παρακάτω.

ΠΙΝΑΞ 1

Συνολικό κόστος ανά μέτρο μήκους άγωγού

Έσωτ. Διάμετρος(mm)	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
Συνολικό κόστος (δρχ/m)	350	439	541	639	740	859	1124	1476	1924	2357

Γραμμικές άπώλειες φορτίου

Για τον ύπολογισμό των γραμμικών άπωλειών φορτίου h_f στην έργασία αυτή χρησιμοποιείται ή γενική έξίσωση των Darcy - Weisbach.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

όπου : L είναι τó μήκος του άντιστοίχου τμήματος

V είναι ή μέση ταχύτητα

D είναι ή έσωτερική διάμετρος και

f είναι ένας άδιάστατος συντελεστής τριβών.

Ο συντελεστής τριβών f ύπολογίζεται για σωληνες του έμπορίου από την ήμ εμπειρική σχέση Colebrook - White (με την ύπόθεση ότι ó αριθμός του Reynolds Re είναι μεγαλύτερος του 2.000), ή όποία έχει την ακόλουθη μορφή :

$$1/\sqrt{f} = -2 \log_{10} (K/3.7D + 2.51/Re \sqrt{f}) \quad (2)$$

όπου K είναι τó άπόλυτο ύψος τραχύτητας πού έξαρτάται από τó ύλικό του άγωγού.

Ο τρόπος διατυπώσεως του προβλήματος βελτιστοποιήσεως διευκολύνει τη χρησιμοποίηση τής παραπάνω γενικής έξίσώσεως έπειδή οί ανά μέτρο μήκους

απώλειες μπορούν να υπολογίζονται μία φορά στην αρχή του προγράμματος για κάθε εξεταζόμενη διάμετρο. Έτσι ο υπολογισμός των γραμμικών απωλειών φορτίου γίνεται ανεξάρτητα από τη διαδικασία βελτιστοποιήσεως.

Το συνολικό ύψος απωλειών φορτίου h_f περιλαμβάνει εκτός των γραμμικών και τις τοπικές απώλειες που για άπλοποίηση περιλαμβάνονται σαν ένα ποσοστό των γραμμικών απωλειών.

Το πρόβλημα

Μετά από την παραπάνω ανάλυση το πρόβλημα της διαστασιολογήσεως ενός ακτινωτού δικτύου μπορεί να διατυπωθεί ως εξής :

Νά ευρεθεί ο συνδυασμός διαμέτρων του δικτύου που καθιστά το συνολικό κόστος του δικτύου ελάχιστο κάτω από τους περιορισμούς ότι α) τα υψόμετρα της πιεζομετρικής γραμμής είναι μεγαλύτερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα στους κόμβους και τα πέρατα του δικτύου και β) η πιεζομετρική γραμμή που προκύπτει βρίσκεται πάντα πάνω από το έδαφος.

ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Όπως εύκολα προκύπτει, τόσο το κόστος όσο και οι απώλειες φορτίου δέν είναι γραμμικές συναρτήσεις της διαμέτρου. Η τεχνική που ακολουθήθηκε για τη μετατροπή των παραπάνω συναρτήσεων σε γραμμικές είναι η εξής :

α. Για κάθε τμήμα ελέγχεται ένας αριθμός αποδεκτών διαμέτρων που προκύπτει από τους περιορισμούς ταχυτήτων που συνήθως τίθενται. Οι περιορισμοί ταχυτήτων αναφέρονται στη μέγιστη οριακή ταχύτητα για μείωση των κινδύνων από τη δημιουργία υδραυλικού πλήγματος και στην ελάχιστη οριακή ταχύτητα για μείωση των κινδύνων καθιζήσεως των φερτών υλών. Αναλυτικές οδηγίες για τους περιορισμούς ταχυτήτων αναφέρονται στη σχετική εγκύκλιο του Υπουργείου Δημοσίων Έργων⁸.

β. Το μήκος της σωληνώσεως με διαφορετική διάμετρο παίρνεται σαν μεταβλητή. Συνεπώς το ύψος απωλειών φορτίου και το συνολικό κόστος είναι ανάλογα του μήκους που εξετάζεται.

Για διευκόλυνση της διατύπωσεως του προβλήματος οι διάμετροι που επελέγησαν για κάθε τμήμα διατάσσονται σε σειρά και αριθμούνται διαδοχικά από τον πρώτο ως τον τελευταίο κλάδο. Τα μήκη των σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται συμβολίζονται με τον αντίστοιχο δείκτη που υποδηλώνει την παραπάνω επιλογή διαμέτρου.

Το πρόβλημα τής επιλογής του βέλτιστου συνδυασμού διαμέτρων μπορεί τώρα να διατυπωθεί σαν ένα τυπικό πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού όπου σαν μεταβλητές αποφάσεως x_i , $i = 1 (1)n$ είναι τὰ ἐπὶ μέρους μήκη σωληνώσεως μετὰ τὶς ἀντίστοιχες διαμέτρους. Προφανῶς ἡ ἐπανεμφάνιση τῆς ἴδιας διαμέτρου σὲ διαφορετικὸ κλάδο δὲν συνεπάγεται καὶ τὶς ἴδιες τιμὲς τῆς μεταβλητῆς x_i .

Ἄν τὸ ἀκτινωτὸ δίκτυο ἔχει k συνολικὰ κλάδους τότε τὸ γραμμικὸ πρόγραμμα ἔχει τὴν ἐξῆς μορφή :

Νὰ ἐλαχιστοποιηθεῖ ἡ συνάρτηση φ ὅπου

$$\varphi = c' x \quad (3)$$

κάτω ἀπὸ τοὺς περιορισμοὺς

$$A \cdot x = d \quad (\text{περιορισμοὶ μήκους}) \quad (4)$$

$$S \cdot x \leq h_e \quad (\text{περιορισμοὶ ἀπωλειῶν φορτίου}) \quad (5)$$

$$x \geq 0 \quad (6)$$

ὅπου c' = ἓνα $(1 \times n)$ διάνυσμα πού παριστάνει τὸ συνολικὸ κόστος ἀνά μέτρο μήκους σωληνώσεως

x = ἓνα $(n \times 1)$ διάνυσμα μετὰ τὰ ἐπὶ μέρους μήκη σωληνώσεως

d = ἓνα $(k \times 1)$ διάνυσμα μετὰ τὰ μήκη τῶν κλάδων

h_e = ἓνα $(m \times 1)$ διάνυσμα μετὰ τὰ ἐπιτρεπόμενα ὕψη ἀπωλειῶν φορτίου

A = ἓνας $(k \times n)$ πίνακας μετὰ στοιχεῖα 0 ἢ 1.

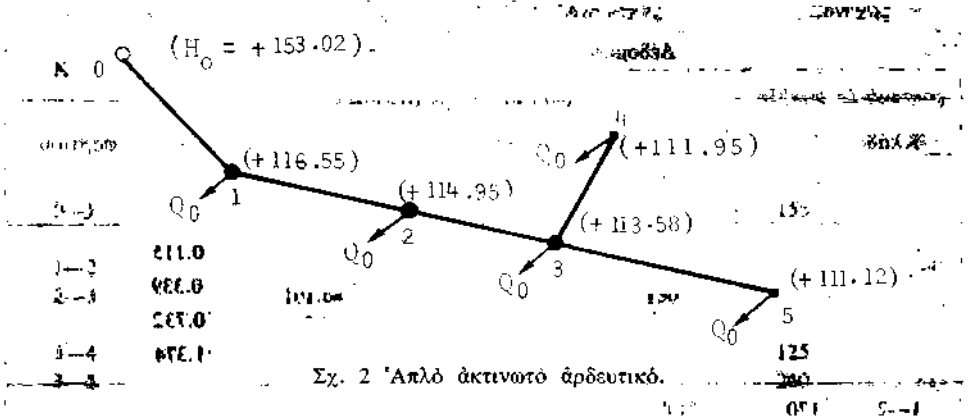
S = ἓνας $(m \times n)$ πίνακας πού τὰ στοιχεῖα του παριστάνουν τὸ ὕψος ἀπωλειῶν φορτίου ἀνά μέτρο μήκους ἀγωγοῦ.

m = ὁ ἀριθμὸς τῶν σημείων στὰ ὁποῖα ἐλέγχεται τὸ πιεζομετρικὸ φορτίο.

ΕΠΙΛΥΣΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Γιὰ τὴν καλύτερη κατανόηση τῆς παραπάνω μεθοδολογίας μελετᾶται τὸ ἀπλὸ

άκτινωτό δίκτυο βαρύτητας που φαίνεται στο Σχήμα 2. Στην άρχή του δικτύου (σημείο 0) δίνεται το υψόμετρο στάθμης του νερού στην δεξαμενή. Στους κόμβους και στα πέρατα του άγωγού που υπάρχουν υδροστόμια το υψόμετρο της πιε-



ζομετρικής γραμμής πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το υψόμετρο του εδάφους (που φαίνεται σε παρένθεση) αυξημένα κατά ένα πιεζομετρικό φορτίο που εξαρτάται από την απαίτηση της γραμμής άρδευσεως. Στο παράδειγμα το απαιτούμενο πιεζομετρικό φορτίο είναι 35.0 m για όλους τους κόμβους και πέρατα. Οι παροχές όλων των υδροστομιών είναι $Q_0 = 5.3 \text{ lt/sec}$. Τα μήκη των κλάδων καθώς και οι παροχές υπολογισμένες για το παράδειγμα με το σύστημα συνεχούς ροής παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Χρησιμοποιώντας τους περιορισμούς της ταχύτητας ροής $V_{min} = 0.5 \text{ m/sec}$ και $V_{max} = 2 \text{ m/sec}$ προκύπτουν οι άποδεκτές διαμέτροι κατά κλάδο του δικτύου. Οι άποδεκτές διαμέτροι καθώς και η κλίση άπωλειών φορτίου προσαυξημένη κατά 10% για τις τοπικές άπώλειες τριβών και την μη ερθόγραμμη τοποθέτηση των άγωγών δίνονται επίσης στον πίνακα 2. Για τον υπολογισμό της κλίσεως άπωλειών φορτίου χρησιμοποιήθηκε υποπρόγραμμα βασισμένο στις Έξ. 1 και 2 με απόλυτο ύψος τραχύτητας $K = 0.015 \text{ mm}$ και συντελεστή κινηματικής συνεκτικότητας του νερού $\nu = 0.011 \text{ cm}^2/\text{sec}$. Η συνολική δαπάνη ανά μέτρο μήκους άγωγού από άμιαντοσιμέντο δίνεται στον Πίνακα 1.

Η διατύπωση του μαθηματικού προτύπου γίνεται εύκολα με βάση τα δεδομένα του υποδείγματος και σύμφωνα με τις σχέσεις 3, 4, 5.

Το αντίστοιχο γραμμικό πρόγραμμα λύθηκε με τη μέθοδο Simplex στον ηλεκτρονικό υπολογιστή Univac 1100 του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Για λόγους συγκρίσεως στον ίδιο

πίνακα παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από χρησιμοπο ηση της άσυνεχούς και της συνεχούς μεθόδου Labye.

ΠΙΝΑΞ 2

Δεδομένα κατά κλάδο του δικτύου

Κλάδος	Μήκος (m)	Παροχή (lt. sec)	Αποδεκτές διαμέτροι (mm)	Συνολικές απώλειες φορτίου (m/100m)
0—1	155	26.5	250	0.115
			200	0.339
			175	0.732
			150	1.374
1—2	170	21.2	200	0.226
			175	0.431
			150	0.912
			125	2.222
2—3	145	15.9	200	0.134
			175	0.256
			150	0.539
			125	1.310
3—4	125	5.3	100	0.525
			80	1.547
3—5	260	5.3	100	0.525
			80	1.547

Εύκολα γίνεται φανερό ότι η μέθοδος του Γραμμικού Προγραμματισμού δίνει συνολική δαπάνη μικρότερη των άλλων μεθόδων. Με την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων σε διάφορα παραδείγματα βρέθηκε ότι η διαφορά δαπάνης μεταξύ της προτεινομένης μεθόδου του Γραμμικού Προγραμματισμού και της άσυνεχούς μεθόδου κυμαίνεται από 1 - 5% της δαπάνης. Επίσης διαπιστώθηκε ότι η διαφορά δαπάνης γίνεται μεγαλύτερη σε περιπτώσεις που το δίκτυο αποτελείται από κλάδους εν σειρά.

Γενικά αναμένεται ότι το γραμμικό πρόγραμμα θα δίνει πάντοτε δαπάνη μι-

ΠΙΝΑΞ 3

Συγκρίσεις αποτελεσμάτων

Κλάδος	Γραμμικός Προγραμματισμός		Άσυνεχής		Συνεχής	
	Μήκος	Διάμετρος	Μήκος	Διάμετρος	Μήκος	Διάμετρος
0—1	102.75 52.25	175 150	155	175	155	175 (154)
1—2	170	150	170	150	170	150 (144)
2—3	101.64 43.36	150 125	145	150	145	150 (132)
3—4	125	80	125	80	125	100 (84)
3—5	123.13 136.86	100 80	98.33 161.67	100 80	260	100 (88)
Συν. δαπάνη	452170 δρχ.		459486 δρχ.		485000 δρχ.	

κρότερη ή ίση από την αντίστοιχη δαπάνη που προκύπτει με τη χρήση της άσυνεχούς μεθόδου. Αυτό είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι η άσυνεχής μέθοδος στηρίζεται σε εύρετικό αλγόριθμο. Η Συνεχής μέθοδος δίνει σχεδόν πάντα λύση με μεγαλύτερη συνολική δαπάνη λόγω κυρίως της αδήξσεως της διαμέτρου για να συμπέσει με την αντίστοιχη διάμετρο του έμπορίου.

Μερικά άλλα πλεονεκτήματα της προτεινομένης μεθόδου μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω :

1. Η διατύπωση του μαθηματικού προτύπου δεν παρουσιάζει δυσκολίες.
2. Η εύκολία προσδιορισμού ύπάρξεως ή όχι άλλων βέλτιστων συνδυασμών διαμέτρων με την ίδια συνολική δαπάνη.
3. Η δυνατότητα χρησιμοποίησης έτοιμων προγραμμάτων για την επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού σε ηλεκτρονικό υπολογιστή κάθε μεγέθους. Ο απαιτούμενος χρόνος για την επίλυση με την υπάρχουσα στάθμη τεχνολογίας είναι πολύ μικρός.
4. Η επέκταση του δικτύου με επιπλέον κλάδους έχει σαν αποτέλεσμα απλώς

την προσθήκη των αντίστοιχων μεταβλητών και περιορισμών χωρίς να διαταράσσεται ή γενική μορφή του προγράμματος.

5. Η επέκταση της μεθόδου για την περίπτωση καταθλίψεως επιτυγχάνεται με την προσθήκη μιᾶς ακόμα μεταβλητής x_0 , που αντιπροσωπεύει τὸ ὕψος καταθλίψεως (πιεζομετρικὸ φορτίο ἀμέσως μετὰ τὸ ἀντλιοστάσιο). Ἐτσι στὴ περίπτωση καταθλίψεως τὸ γραμμικὸ πρόγραμμα ἔχει τὴν ἑξῆς μορφή :

$$\text{Νὰ ἐλαχιστοποιηθεῖ ἡ συνάρτηση } \varphi = c_1' x + c_0 x_0$$

κάτω ἀπὸ τοὺς περιορισμοὺς

$$(21) \quad A_x = d \quad (\text{περιορισμοὶ μήκους})$$

$$(22) \quad x_0 = S_x \geq h$$

$$x_0 \geq 0, \quad x \geq 0$$

ὅπου C_0 εἶναι τὸ ἀνά μονάδα ὕψους καταθλίψεως ἐπικαιροποιημένο κόστος ἀντλήσεως. Τὸ κόστος αὐτὸ ἐκτὸς ἀπὸ τὴν δαπάνη ἀγορᾶς καὶ ἐγκαταστάσεως τοῦ ἀντλιοστασίου, περιλαμβάνει καὶ τὴν παρούσα τιμὴ τῶν ἐξόδων λειτουργίας καὶ συντηρήσεως κατὰ τὴν διάρκειά ζωῆς τοῦ ἀντλιοστασίου

ἢ h ἔνα (mxl) διάνυσμα μετὰ τὰ ὑψόμετρα τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς στοὺς κόμβους ἢ πέρατα τοῦ δικτύου.

Σὰν συμπέρασμα τῆς παραπάνω ἀναλύσεως προκύπτει ὅτι ἡ μέθοδος τοῦ Γραμμικοῦ Προγραμματισμοῦ ἐνδείκνυται γιὰ τὴν ἐπιλογή τοῦ βέλτιστου συνδυασμοῦ διαμέτρων τῶν ὑπὸ πίεση ἀκτινωτῶν ἀρδευτικῶν δικτύων σὲ ὁποιοδήποτε στάδιο μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bonnal, C. «Manuel d'irrigation collective par aspersion «Publication de l'O.C.D.E. No. 15756/Juin 1963, France.
2. Labye, Y. «Methodes Permettant de déterminer le caractéristiques optimales d'un réseau de distribution d'eau-Methode discontinue Bulletin Technique du génie Rural, No 50, April 1961.

3. Labye, Y. & Lechapt, G. «Methodes permettant de déterminer les caractéristiques optimales d'un réseau de distribution d'eau» Service Cent de l'Hydraulique, Bulletin Technique du Génie Rural No 50, April 1961.
4. Mandry, J. E. «Design of Pipe Distribution Systems for Sprinkler Projects» Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the ASCE, Sept. 1967, pp. 243-257.
5. Νουτσόπουλος, Γ. Κ. «Τὸ πρόβλημα τῆς οικονομικῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς ἀκτινωτῶν δικτύων βαρῦτητος». Τεχνικά Χρονικά, Ὀκτ. 1969, σελ. 662 - 676.
6. Svehlik, Z. «Estimation of Irrigation System Capacity». In «Irrigation Development Planning» edited by Rydzewski, J. R., Southampton University 1977, pp. 104 - 115.
7. Τσακίρης, Γ. Π. «Μαθήματα Ἑγγειοβελτιωτικῶν Ἔργων» Α' τεύχος, Ξάνθη 1980.
8. Ἐπιχειρηματικὸ Διεύθυνση Δημοσίων Ἔργων «Ἀρχαὶ διέπουσαι τὴν ἐφαρμογὴν τῆς ἀσυνεχοῦς μεθόδου Labye...» Ἐγκύκλιος Δ. 24714/20.10.1969.