Οἱ ἀπώλειες φορτίου καὶ οἱ παροχὲς σχεδιασμοῦ σὲ ἀκτινωτὰ ὑπὸ πίεση ἀρδευτικὰ δίκτυα μὲ ἐλεύθερη ζήτηση

Τοῦ **Λάζαρου Σ. Λαζαρίδη***

Περίληψη

Ἡ λειτουργία τῶν ἀκτινωτῶν ὑπὸ πίεση δικτύων ἀρδεύσεως μὲ ἐλεύθερη ζήτηση ἔχει πιθανοθεωρητικὸ χαρακτήρα. Οἱ ἀντίστοιχες ἀπώλειες φορτίου ἔχουν καὶ αὐτὲς πιθανοθεωρητικὸ χαρακτήρα, ὥστε γνωρίζοντας τὴν κατανομή τους κατὰ μῆκος μιᾶς ὁποιασδήποτε διαδρομῆς τοῦ νεροῦ ποὺ ὀνομάζεται «γραμμὴ μεταφορᾶς», νὰ μποροῦμε νὰ καθορίσουμε σὲ κάθε στάθμη πιθανότητας τὸ μέγεθος τῆς ἀντίστοιχης ἀπώλειας.

Μὲ κατάλληλη μαθηματικὴ ἐπεξεργασία καὶ μὲ τὴν ἀποδοχὴ ὁρισμένων λογικῶν προσεγγίσεων καὶ παραδοχῶν ποὺ ἀνταποκρίνονται στὴ μορφὴ τῆς γενικῆς διατάξεως τέτοιων δικτύων καταλήξαμε σὲ πολὺ χρήσιμα συμπεράσματα γιὰ τὸ σχεδιασμό. Ἔτσι γιὰ νὰ προσδιορίσουμε τὴν κατανομὴ ἀπώλειας φορτίου κατὰ μῆκος μιᾶς γραμμῆς μεταφορᾶς θὰ ἔχουμε

$$h = m + u.s$$

ὅπου m = *Ἡ μέση τιμὴ τῆς ἀπώλειας φορτίου*

s = *Ἡ τυπικὴ ἀπόκλιση τῆς ἀπώλειας φορτίου*

$u = \dfrac{h-m}{s}$ = *τυποποιημένη τιμὴ ἀπώλειας φορτίου.*

Σύμφωνα μὲ τὴν ἔρευνα ποὺ κάνουμε βρίσκουμε ὅτι οἱ παράμετροι m,ς *τῆς κατανομῆς τῆς ἀπώλειας φορτίου* h *ἐκφράζονται πολὺ ἁπλὰ μὲ σχέσεις ποὺ εὔκολα ὑπολογίζονται. Ἐπίσης ἡ* u *συμπίπτει μὲ τὴν* ε *ποὺ εἶναι ἡ τυποποιημένη τιμὴ κανονικῆς κατανομῆς.*

Μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο οἱ ἀπώλειες φορτίου θὰ εἶναι κατὰ μῆκος μιᾶς γραμμῆς μεταφορᾶς :

$$h = \Sigma K_i Q_i^a$$

ὅπου K_i = *Συντελεστὴς ποὺ ἐξαρτιέται ἀπὸ τὴ διάμετρο, τὸ μῆκος καὶ τὸ συντελεστὴ τραχύτητας στὸ τμῆμα* i *τῆς γραμμῆς μεταφορᾶς.*

Q_i = *Μέγεθος μὲ διαστάσεις παροχῆς ποὺ ὑπολογίζεται πολὺ εὔκολα.*

Τὸ παραπάνω μέγεθος Q_i *τὸ ὀνομάζουμε «ἰδεατὴ παροχὴ» καὶ μποροῦμε μὲ τὶς τιμὲς αὐτὲς τῶν ἰδεατῶν παροχῶν νὰ σχεδιάσουμε τὸ δίκτυο. Πραγματικὰ μὲ τὶς ἰδεατὲς παροχὲς μετατρέπουμε ἕνα πιθανοθεωρητικὸ πρόβλημα σὲ «ντετερμινιστικὸ» γιατὶ τοποθετώντας στὰ διάφορα τμήματα τῆς γραμμῆς μεταφορᾶς τὶς τιμὲς* Q_i, *οἱ ὁποῖες ἀνταποκρίνονται στὴν ἐπιθυμητὴ στάθμη πιθανότητας, παίρνουμε ἐκείνη τὴν ἀπώλεια φορτίου ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ στὴν ἐπιθυμητὴ στάθμη πιθανότητας ἢ ποιότητας λειτουργίας τοῦ δικτύου ὅπως ὀνομάζεται συνήθως.*

Μέσα στὴν ἐργασία ἐξετάζεται ἐπίσης καὶ τὸ θέμα τοῦ ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως, καὶ δίδονται σὲ πίνακα ὁδηγίες γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῶν ἰδεατῶν παροχῶν ὅταν τὰ ἐξυπηρετούμενα στόμια ὑδροληψίας εἶναι λιγότερα ἀπὸ 12.

Τὰ πιὸ πάνω συμπεράσματα ἐπαληθεύτηκαν καὶ μὲ τὴ μέθοδο τῆς ἐξομοιώσεως σὲ συγκεκριμένα παραδείγματα.

1. Εἰσαγωγὴ

1.1. Γενικὰ - Προϋπάρχουσες ἐργασίες

Ὁ μηχανικὸς ποὺ μελετᾶ ἀκτινωτὰ σωληνωτὰ ὑπὸ πίεση δίκτυα ἀρδεύσεως, τὰ ὁποῖα λειτουργοῦν μὲ ἐλεύθερη ζήτηση, εἶναι ὑποχρεωμένος πάντοτε νὰ καθορίσει τὶς ἀπώλειες φορτίου στὶς διάφορες διαδρομὲς τῆς ροῆς τοῦ νεροῦ. Αὐτὲς οἱ ἀπώλειες φορτίου συνηθίζεται νὰ συσχετίζονται μὲ κάποιες ἀντίστοιχες παροχὲς σχεδιασμοῦ ὥστε πάντοτε νὰ εἶναι συνάρτηση τῶν παροχῶν αὐτῶν. Οἱ παροχὲς σχεδιασμοῦ καὶ οἱ ἀπώλειες φορτίου εἶναι βασικὰ χαρακτηριστικὰ στοιχεῖα ποὺ ἀπαιτοῦνται γιὰ ὁποιανδήποτε ὑπολογιστικὴ διαδικασία —ἢ ἀλγόριθμο— βελτιστοποιήσεως τοῦ δικτύου. Ἑπομένως τὸ πρόβλημα αὐτὸ εἶναι πολὺ σοβαρὸ ἀφοῦ ἡ ὑπερεκτίμησή τους μειώνει τὴν ἀξία ὁποιασδήποτε, ἔστω καὶ ἀκριβοῦς μεθόδου βελτιστοποιήσεως, ὁπότε ὁ ὑπερσχεδιασμὸς τοῦ δικτύου εἶναι τότε ἀναπόφευκτος. Ὑποτίθεται στὴν παροῦσα ἐργασία ὅτι ἔχει καθοριστεῖ ἡ χάραξη τοῦ δικτύου σὲ ὁριζοντιογραφία καὶ μηκοτομὴ καὶ ἔχουν ἐπίσης καθοριστεῖ οἱ ἐλάχιστες τιμὲς πιεζομετρικοῦ φορτίου στὶς διάφορες θέσεις του, ὅπως καὶ οἱ σχετικοὶ περιορισμοὶ γιὰ τὶς ἐλάχιστες καὶ μέγιστες ταχύτητες σχεδιασμοῦ. Γιὰ τὴ βελτιστοποίηση βέβαια τοῦ δικτύου πρέπει ἐπιπρόσθετα νὰ ἔχει καθοριστεῖ καὶ τὸ κόστος τῶν σωλήνων σὲ συνάρτηση μὲ τὸ χρησιμοποιούμενο ὑλικὸ καὶ τὴ διάμετρό τους.

Πέρα ἀπὸ τὰ πιὸ πάνω στοιχεῖα στὰ δίκτυα τεχνητῆς βροχῆς θὰ πρέπει ἐπίσης νὰ εἶναι γνωστὸς ὁ βαθμὸς ἐλευθερίας τοῦ δικτύου ἀπὸ τὸ γεωργό. Ὁ βαθμὸς αὐτὸς προσδιορίζεται ἀπὸ τὴ μέση παροχὴ q ποὺ εἶναι ἀπαραίτητη γιὰ τὴν ἐξυπηρέτηση τοῦ κάθε ἀγροτεμαχίου κατὰ τὴν κρίσιμη ἡμέρα τῆς ἀρδευτικῆς περιόδου καὶ τὴν παροχὴ q_0 τῶν στομίων ὑδροληψίας δηλαδὴ $B = q_0/q$. Τὸ θέμα ὅμως τοῦ καθορισμοῦ τῶν μεγεθῶν q, q_0 καὶ B ἀποτελεῖ ἀντικείμενο ἰδιαίτερης μελέτης τῶν γεωργοτεχνικῶν κλπ. συνθηκῶν μιᾶς ὑπὸ ἄρδευση περιοχῆς. Ὅπως εἶναι γνωστὸ γιὰ νὰ ἐξασφαλιστεῖ πλήρως κατὰ 100% ἡ λειτουργία ἑνὸς δικτύου, θὰ πρέπει ὁ σχεδιασμός του νὰ πραγματοποιηθεῖ θεωρώντας ὅλα τὰ στόμια ἀνοιχτά, ὁπότε προκύπτει ἕνα πολὺ δαπανηρὸ δίκτυο, ἐνῶ μὲ τὴν παραδοχὴ ὅτι τὸ δίκτυο δὲ θὰ εἶναι ἱκανὸ σ' ἕνα μικρὸ ποσοστὸ ζητήσεων [1,2] νὰ ἀνταποκριθεῖ στὴν ἐξυπηρέτηση ὅλων τῶν στομίων προκύπτει ἕνα λογικὸ σχῆμα δικτύου ποὺ εἶναι οἰκονομικότερο καὶ ἱκανὸ νὰ ἀνταποκριθεῖ στὶς ἀνάγκες τῶν ἀγροτῶν.

Μὲ αὐτὴ τὴν παραδοχὴ ὅμως ἡ λειτουργία τῶν δικτύων τεχνητῆς βροχῆς ἔχει πιθανοθεωρητικὸ χαρακτήρα καὶ ἑπομένως τόσο οἱ παροχὲς σὲ κάθε θέση ὅσο καὶ οἱ ἀπώλειες φορτίου στὶς διάφορες δυνατὲς διαδρομὲς τῆς ροῆς ἔχουν ἐπίσης πιθανοθεωρητικὸ χαρακτήρα. Γι' αὐτὸ πρὶν προχωρήσουμε στὴν ἔρευνα γιὰ τὸν καθορισμὸ τῶν ἀπωλειῶν φορτίου καὶ τῶν παροχῶν σχεδιασμοῦ θὰ ἀναφέρουμε περιληπτικά, μερικὰ χρήσιμα σχετικὰ στοιχεῖα καὶ προϋπάρχουσες ἐργασίες.

Ἔτσι μὲ κάποια πιθανότητα p_λ, πλησίον τῆς μονάδας, ὅπως ἀπὸ R συνολικὰ στόμια ὑδροληψίας ποὺ ἐξυπηρετοῦνται ἀπὸ μία θέση τοῦ δικτύου, λειτουργοῦν τὸ πολὺ τὰ N στόμια ($N<R$) προκύπτει μέγιστη παροχὴ στὴ θεωρούμενη θέση ἴση πρὸς $N.q_0$, ἀρκετὰ μικρότερη ὅμως ἀπὸ τὴ $R.q_0$. Ἑπομένως ἔχει εἰσαχθεῖ ἡ ἔννοια τῆς ποιότητας λειτουργίας q ποὺ συμπίπτει μὲ τὴν πιὸ πάνω πιθανότητα p_λ.

Μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο μέχρι σήμερα ἔχουν ἀναζητηθεῖ, μὲ ὑδραυλικὸ κριτήριο τὴ ζητούμενη παροχή, οἱ συναρτήσεις κατανομῆς της γιὰ νὰ περιγραφεῖ ἡ λειτουργία ἑνὸς δικτύου.

Στὰ ἀρδευτικὰ δίκτυα ἡ πιθανότητα p λειτουργίας ἑνὸς στομίου θεωρεῖται σταθερὴ κατὰ τὴ διάρκεια τῆς κρίσιμης ἀρδευτικῆς ἡμέρας, ὁπότε ἡ ζητουμένη παροχὴ Q σὲ μιὰ θέση τοῦ δικτύου ἀκολουθεῖ διωνυμικὴ κατανομὴ (bernouilli) ἢ μὲ ἄλλα λόγια ἡ πιθανότητα φ νὰ ζητιέται παροχὴ $Q \leq N.q_0$ θὰ εἶναι :

* Διπλωματοῦχος Πολιτικὸς Μηχανικὸς Ε.Μ.Π. 1955. Ἐργάστηκε στὴ σεισμόπληκτη περιοχὴ Μαγνησίας, σὲ στρατιωτικὰ ἔργα, στὴν Μηχανικὴ Καλλιέργεια τοῦ Ὑπουργείου Γεωργίας καὶ τὴν Τ.Γ.Δ.Κ. Καρδίτσας. Ἀπὸ τὸ 1961 εἶναι μελετητὴς ὑδραυλικῶν ἔργων.

$$\varphi = \Sigma^{N}_{o} \binom{R}{N} P^{N}(1-P)^{R-N} \qquad (1)$$

ὅπου $\varphi =$ ἡ πιθανότης νὰ ζητιέται παροχὴ $Q \leq R.q_0$

$N =$ μέγιστο πλῆθος ἀνοικτῶν στομίων ὑδροληψιῶν γιὰ στάθμη πιθανότητας $\varphi (N \leq R)$

$R =$ Συνολικὸ πλῆθος στομίων ὑδροληψίας τοῦ δικτύου ποὺ ἐξυπηρετεῖται ἀπὸ τὴν ἐξεταζόμενη θέση

$P = \frac{1}{B} =$ πιθανότητα λειτουργίας κάθε στομίου (σταθερή).

Ἡ προσέγγιση τῆς διωνυμικῆς κατανομῆς ὅπως εἶναι γνωστὸ πραγματοποιεῖται ἱκανοποιητικὰ μὲ κατανομὲς πιὸ εὔχρηστες ὅπως ἡ κατανομὴ Poisson. Ἤδη ἔχουν χρησιμοποιηθεῖ τέτοιες κατανομὲς γιὰ τὴ μελέτη καὶ ὑπολογισμὸ τῶν παροχῶν σχεδιασμοῦ τόσο σὲ δίκτυα ὑδρεύσεως [9] ὅσο καὶ σὲ ἀρδευτικὰ δίκτυα.

Ὁ R. Clement [2] τὸ ἔτος 1955 χρησιμοποίησε τὴν κανονικὴ κατανομὴ γιὰ νὰ ὑπολογίσει τὶς παροχὲς σὲ ἀρδευτικὰ δίκτυα καὶ δέχτηκε ὅτι γιὰ τὶς ἐφαρμοζόμενες τιμὲς τῆς πιθανότητας P καὶ γιὰ πλῆθος στομίων μεγαλύτερο ἀπὸ **10 ÷ 12** ἡ παροχὴ ἀκολουθεῖ τὴν κανονικὴ κατανομὴ καὶ ἑπομένως:

$$Q = \mu + \varepsilon.\sigma \qquad (2)$$

ὅπου: $\mu =$ μέση τιμὴ τῆς παροχῆς $= R.P.q_0$

$\sigma =$ τυπικὴ ἀπόκλιση τῆς παροχῆς $= [R.P(1-P)]^{1/2}.q_0$

$\varepsilon =$ τυποποιημένη τυχαία μεταβλητὴ τῆς κανονικῆς κατανομῆς $(\mu = 0,\ \sigma = 1)$

Οἱ τιμὲς τῶν μ καὶ σ γιὰ στόμια ποὺ ἀνήκουν σὲ m ὁμάδες καὶ ἡ ὁμάδα i χαρακτηρίζεται ἀπὸ τὰ μεγέθη R_i, P_i, q_{oi}, θὰ εἶναι:

$$\mu = \Sigma_{i=1}^{i=m} (R_i.P_i q_{oi}) \qquad (3)$$

$$\sigma = \left[\Sigma_{i=1}^{i=m} R_i P_i (1-P_i).q_{oi}^2\right]^{1/2} \qquad (4)$$

Ὁ R. Clement τὸ 1966 παρουσίασε τὸ δεύτερο τύπο ζητήσεως [3] σὲ δεύτερη ἐργασία του, ὅπου ἐξέτασε τὴ λειτουργία τοῦ δικτύου σὰν μιὰ στοχαστικὴ ἀνέλιξη γεννήσεως καὶ θανάτου. Γιὰ τὴν παραδοχὴ αὐτὴ ἔχουν ἐκφραστεῖ διάφορες ἀπόψεις καὶ κυρίως κατὰ πόσο ἡ ἐφαρμογὴ ἑνὸς τέτοιου στοχαστικοῦ μοντέλου ἀνταποκρίνεται στὴ φύση καὶ τὸν τρόπο ἱκανοποιήσεως τῶν ἀρδευτικῶν ἀναγκῶν. Τελικά, ὅπως εἶναι γνωστό, ὁ πρῶτος τύπος (2) ἐφαρμόζεται γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς παροχῆς καὶ φαίνεται ὅτι δὲν ἀποτελεῖ λιγότερη βάσιμη παραδοχὴ γιὰ τὸν τρόπο λειτουργίας τοῦ δικτύου. Οἱ παροχὲς ποὺ προκύπτουν ἀπὸ τὴν πιὸ πάνω σχέση (2), δίνουν βέβαια μιὰ σωστὴ πληροφορία σὲ ὅτι ἀφορᾶ τὴ μέγιστη παροχὴ ποὺ ζητεῖται σὲ κάθε θέση τοῦ δικτύου, ἀλλὰ δὲν μποροῦν νὰ ἐφαρμοστοῦν ταυτόχρονα σὲ ὅλο τὸ δίκτυο καὶ νὰ θεωρηθοῦν παροχὲς σχεδιασμοῦ. Στὸ θέμα αὐτὸ ἔχουν γίνει μέχρι σήμερα ὁρισμένες ἐμπειρικὲς παραδοχὲς καὶ προσπάθειες γιὰ τὴν κατανομὴ τῆς maxQ ποὺ ζητεῖται στὴν κεφαλὴ τοῦ δικτύου γιὰ μιὰ στάθμη πιθανότητας (ἢ ποιότητας λειτουργίας) φ, χωρὶς τελικὰ τὸ πρόβλημα νὰ ἔχει λυθεῖ ὁριστικά.

Ἔτσι ὁ R. Clement πρότεινε τὴν κατανομὴ τῆς maxQ στὶς ὑδραυλικὰ δυσμενέστερες ὑδροληψίες τοῦ δικτύου. Στὴν περίπτωση αὐτὴ εἶναι φανερὸ ὅτι προκύπτει πολὺ μεγαλύτερη ποιότητα λειτουργίας τοῦ δικτύου ἀπὸ ἐκείνη ποὺ ἐπιζητοῦμε καὶ ἑπομένως ὑπερσχεδιασμὸς τοῦ ἔργου.

Μιὰ ἄλλη μέθοδος συνίσταται στὴν ἐφαρμογὴ τῆς σχέσεως (2) σ' ὅλα τὰ τμήματα τοῦ δικτύου. Μὲ τὴ μέθοδο αὐτὴ τὰ ἀποκτώμενα οἰκονομικὰ ἀποτελέσματα εἶναι εὐνοϊκότερα καὶ ἡ ποιότητα λειτουργίας θὰ εἶναι πλησίον τῆς ἐπιθυμητῆς σ' ὅλο τὸ δίκτυο [5]. Βέβαια ἡ μέθοδος αὐτὴ προτάθηκε ἐμπειρικὰ καὶ δὲν ἔχει θεωρητικὴ βάση, ἀλλὰ μὲ τὴν παροῦσα ἐργασία ἀποδεικνύεται ὅτι οἱ παροχὲς ποὺ δίνει ἡ σχέση (2) γιὰ ὅλα τὰ τμήματα τοῦ δικτύου εἶναι πάρα πολὺ κοντὰ στὶς προτεινόμενες **«ἰδεατὲς παροχὲς»** σχεδιασμοῦ ὅπως θὰ δοῦμε πιὸ κάτω.

Τὰ ὑπὸ πίεση ἀρδευτικὰ δίκτυα στὴ χώρα μας ὑπολογίζονται μὲ παροχὲς ποὺ καθορίζονται ἀπὸ σχετικὲς ὁδηγίες (14) τοῦ Ὑπουργείου Δημοσίων Ἔργων. Οἱ παροχὲς αὐτὲς δεσμεύονται ὅμως σὲ ὁρισμένες θέσεις ἀπὸ τὴ σχέση (2) καὶ ἐπίσης ὑποτίθεται [5] ὅτι ἡ ποιότητα λειτουργίας τοῦ ἀγωγοῦ ποὺ τροφοδοτεῖ τοὺς διάφορους κλάδους μειώνεται ὅσο αὐξάνεται ὁ ἀριθμὸς τῶν κλάδων. Ἔτσι, ὅσο προχωροῦμε πρὸς τὴν κεφαλὴ θεωρεῖται ὅτι ἡ ποιότητα λειτουργίας μειώνεται καὶ ἑπομένως θὰ πρέπει γιὰ τὴν περίπτωση 20 ἐφαρμογῶν τῆς σχέσεως (2), νὰ ὑπολογίζουμε μὲ $\varphi = 0{,}99$ ἢ γιὰ περισσότερες καὶ μέχρι 40 ἐφαρμογὲς τῆς (2) νὰ ὑπολογίζουμε μὲ $\varphi = 0{,}999$, ὁπότε ὑποτίθεται ὅτι ἐξασφαλίζουμε στὴν κεφαλὴ ποιότητα $\varphi = 0{,}90$. Μάλιστα οἱ σχετικὲς ὁδηγίες καθορίζουν ὅτι σὲ ἀγωγοὺς τελευταίας τάξεως εἶναι ὑποχρεωτικὴ ἡ ὑπόθεση τῆς λειτουργίας δώδεκα (12) στομίων τουλάχιστον γιὰ πλῆθος $R \geq 12$ ἐνῶ γιὰ $R' \leq 12$ στόμια λαμβάνεται $N = R$. Μὲ τὶς πιὸ πάνω μεθόδους εἶναι φανερὸ ὅτι κατὰ καιροὺς ἔμμεσα καταβλήθηκε προσπάθεια προσεγγίσεως τῶν πραγματικῶν ἀπωλειῶν μὲ τὸν καθορισμὸ ἀντίστοιχων παροχῶν σχεδιασμοῦ, οἱ ὁποῖες ἀνταποκρίνονται στὴν ἐπιθυμητὴ ποιότητα λειτουργίας. Βέβαια γιὰ λόγους ἀσφαλείας αὐτὲς οἱ ἀπώλειες φορτίου εἶναι αὐξημένες καὶ καλύπτουν τὶς περισσότερες φορὲς μὲ ἕνα σημαντικὸ περιθώριο ἀσφαλείας τὶς πραγματικές.

Τελικὰ σὲ ὅλες τὶς μεθόδους προκύπτει ἕνας ὑπερσχεδιασμὸς ποὺ πολλὲς φορὲς εἶναι σοβαρὸς καὶ φυσικὰ ἔχει καὶ ἀντίκτυπο στὴν οἰκονομία τοῦ ἔργου. Ἔτσι τὰ ἀρδευτικὰ δίκτυα ἐκτιμιέται ὅτι ὑπολογίζονται μὲ ποιότητα λειτουργίας ποὺ εἶναι μεγαλύτερη ἀπὸ 0,99.

Τελευταῖα ἔχει δημοσιευθεῖ μία ἐργασία τοῦ Δ. Χριστούλα [15] στὴν ὁποία σὰν χαρακτηριστικὸ μέγεθος λαμβάνεται ὄχι ἡ ζητούμενη παροχή, ἀλλὰ οἱ ἀπώλειες φορτίου μεταξὺ τῆς δεξαμενῆς ἢ τοῦ ἀντλιοστασίου καὶ τῶν στομίων. Ἡ ἀπώλεια φορτίου ἐξετάζεται σὰν τυχαία μεταβλητὴ καὶ μελετιέται ἡ κατανομή της ὥστε νὰ προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα.

Ἐπίσης τίθεται τὸ θέμα τοῦ καθορισμοῦ τῆς ποιότητας λειτουργίας σὲ διαφορετικὴ βάση ποὺ πρέπει νὰ θεωρηθεῖ ὅμως, ὅτι εἶναι ἡ σωστή. Καθορίζεται ἔτσι σὰν ποιότητα λειτουργίας φ τοῦ κάθε ἐξυπηρετούμενου στομίου ἐκείνη γιὰ τὴν ὁποία τὸ ὑψόμετρο τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς ἀμέσως ἀνάντη τοῦ στομίου παραμένει γιὰ τὴν στάθμη πιθανότητας φ, μεγαλύτερο ἢ ἴσο πρὸς τὸ ἀπαιτούμενο.

Βέβαια στὸ τέλος καθορίζονται οἱ σχέσεις οἱ ὁποῖες συνδέουν τὴν ὁλικὴ ἀπώλεια φορτίου μὲ τὶς ἄγνωστες διαμέτρους ποὺ ἀποτελοῦν καὶ τὶς μεταβλητὲς τοῦ συστήματος ποὺ προκύπτει γιὰ ὅλες τὶς γραμμὲς μεταφορᾶς (ὅπου γραμμὴ μεταφορᾶς ὀνομάζεται μιὰ γραμμὴ ποὺ συνδέει ἕνα σημεῖο τροφοδοσίας τοῦ κεντρικοῦ ἀγωγοῦ μὲ ἕνα ἀπώτατο σημεῖο ὑδροληψίας).

Οἱ ἰσοτικὲς αὐτὲς σχέσεις θὰ μποροῦσαν μὲ τοὺς ἀνισοτικοὺς περιορισμοὺς ποὺ ἐπιβάλλονται ἀπὸ τὶς ὁριακὲς ταχύτητες, νὰ ἐπιλύσουν τὸ πρόβλημα ἑνὸς βέλτιστου συνδυασμοῦ διαμέτρων, σὲ συνδυασμὸ μὲ τὴν διατήρηση τῆς ἐπιθυμητῆς ποιότητας λειτουργίας, ἀποφεύγοντας τοὺς ὑπερσχεδιασμοὺς ποὺ προκύπτουν ἀπὸ τὶς ἀκολουθούμενες μέχρι σήμερα μεθοδολογίες.

Οἱ προκύπτουσες ὅμως σχέσεις στὴν πιὸ πάνω ἐργασία [15] εἶναι δύσχρηστες καὶ δὲν παρέχουν ἄμεσες πληροφορίες, γιὰ νὰ μπορεῖ νὰ ἐφαρμοστεῖ κάποια γνωστὴ μέθοδος βελτιστοποιήσεως. Ἐπίσης γιὰ τὴν ἐξαγωγή τους θεωρήθηκε ὅτι οἱ γραμμικὲς ἀπώλειες σὲ σωλῆνες προκύπτουν ἀπὸ τὸν τύπο τοῦ Manning, πράγμα ποὺ δυσχεραίνει τὴ χρήση καὶ ἄλλων ἐμπειρικῶν ἢ ἡμιεμπειρικῶν σχέσεων ποὺ συνήθως ἐφαρμόζονται γιὰ τὶς γραμμικὲς ἀπώλειες. Τελικὰ προτείνεται στὴν πιὸ πάνω ἐργασία, μέχρι νὰ εὑρεθεῖ κάποιος ἀλγόριθμος γιὰ τὴν ἐπίλυση τοῦ προβλήματος, ἕνας τρόπος ἐμπειρικοῦ καθορισμοῦ τῆς παροχῆς σὲ κάθε θέση τοῦ δικτύου.

Σύμφωνα μ' αὐτὸ τὸν τρόπο ἡ μέση παροχὴ τοῦ κάθε τμήματος πολλαπλασιάζεται μὲ τὸ συντελεστὴ $\frac{maxQ}{\bar{Q}}$, ὅπου $maxQ =$ μέγιστη παροχὴ στὴν κεφαλὴ τοῦ δικτύου καὶ $\bar{Q} = \mu =$ μέση παροχὴ στὴν κεφαλή.

Στὴ συνέχεια βέβαια προτείνεται ἐμπειρικὰ ἡ διόρθωση τοῦ ὑψομέτρου κεφαλῆς καὶ μερικῶν διαμέτρων ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως ὥστε νὰ ἐπιτευχτεῖ μεγαλύτερη προσέγγιση.

1.2. Ἀπόψεις γιὰ τὴ λήψη τῆς ἀπώλειας φορτίου σὰν κριτηρίου σχεδιασμοῦ - Σκοπὸς καὶ ἀντικείμενο τῆς παρούσας ἐργασίας

Στὴν προηγούμενη παράγραφο ἀναφέρθηκε ποιὸς εἶναι ὁ σωστὸς τρόπος καθορισμοῦ τῆς ποιότητας λειτουργίας καὶ ὅτι ὁ μόνος σωστὸς τρόπος νὰ τὴν ἐξασφαλίσουμε εἶναι νὰ μελετήσουμε τὴν κατανομὴ τῆς ἀπώλειας φορτίου [15], παίρνοντας τὴν ἀπώλεια σὰν κριτήριο σχεδιασμοῦ. Πράγματι τὸ κριτήριο αὐτὸ θεωρεῖται ἀπόλυτα ὀρθὸ γιὰ τὸ σχεδιασμὸ τοῦ ἔργου, γιατὶ καθορίζεται ἔτσι ἡ ἱκανοποιητικὴ ἢ ὄχι λειτουργία τοῦ δικτύου μὲ τὸ γεγονὸς ἂν τὰ διαθέσιμα φορτία ὑπερβαίνουν ἢ δὲν ὑπερβαίνουν κάποια ἐπιθυμητὴ τιμὴ στὶς διάφορες ἐξεταζόμενες θέσεις τους καὶ φυσικὰ πάντοτε σὲ συνάρτηση μὲ μιὰ ἐπιθυμητὴ στάθμη πιθανότητας φ.

Κατ' αὐτὸ τὸν τρόπο θὰ μπορούσαμε νὰ γνωρίζουμε μὲ ποιὰ πιθανότητα ἐμφανίσεως πραγματοποιεῖται μιὰ τιμὴ ἀπώλειας φορτίου καὶ ἑπομένως γιὰ μιὰ ἐπιθυμητὴ ποιότητα λειτουργίας ποιὰ θὰ εἶναι ἡ μέγιστη τιμὴ ἀπώλειας φορτίου σὲ μιὰ ἐξεταζόμενη γραμμὴ μεταφορᾶς.

Ἔτσι προκύπτει ὅτι ἡ κατανομὴ τῆς ὁλικῆς ἀπώλειας φορτίου κατὰ μῆκος μιᾶς γραμμῆς μεταφορᾶς ποὺ ἐκφράζει ἀντίστοιχα καὶ τὴν κατανομὴ τοῦ πιεζομετρικοῦ φορτίου στὴν κεφαλὴ τῆς γραμμῆς (θέση τροφοδοτήσεως), δὲ συμπίπτει μὲ τὴν κατανομὴ τῆς παροχῆς ποὺ ζητεῖται ἀπὸ τὸ δίκτυο τὸ ὁποῖο τροφοδοτεῖται ἀπὸ τὴ γραμμὴ μεταφορᾶς. Πράγματι σὲ μιὰ ἐξεταζόμενη θέση ἡ τιμὴ τῆς ἀπώλειας φορτίου ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ μιὰ τιμὴ τῆς παροχῆς, ἡ ὁποία προκύπτει ἀπὸ δυσμενὴ διάταξη τῶν ἀνοιχτῶν ὑδροληψιῶν μέσα στὸ δίκτυο, εἶναι δυνατὸ νὰ εἶναι μεγαλύτερη ἀπὸ μιὰ ἄλλη τιμὴ τῆς ἀπώλειας ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ σὲ μεγαλύτερη παροχή, ἀλλὰ προκύπτει ἀπὸ εὐμενέστερη διάταξη τῶν ἀνοιχτῶν ὑδροληψιῶν.

Μὲ τὴν παραδοχὴ ὅτι ἡ κατανομὴ τῆς ἀπώλειας φορτίου ἀποτελεῖ τὸ ὀρθὸ κριτήριο σχεδιασμοῦ, ἐκπονήθηκε ἡ παρούσα ἐργασία μὲ σκοπὸ νὰ καθορίσει κατὰ τρόπο γενικὸ καὶ ὁριστικὸ τὶς ἀπώλειες φορτίου κατὰ μῆκος ὁποιασδήποτε διαδρομῆς τοῦ νεροῦ. Στὴ συνέχεια εἶναι εὔκολο νὰ καθοριστοῦν τὰ χαρακτηριστικὰ μεγέθη σχεδιασμοῦ ἑνὸς δικτύου καὶ νὰ δοθεῖ ἐπίσης ἕνας ἁπλὸς καὶ γρήγορος τρόπος ποὺ νὰ διευκολύνει τὴν παραπέρα διαδικασία ὑπολογισμοῦ τῶν διαμέτρων τῆς βέλτιστης λύσεως.

Ἔτσι :

α) Ἐξετάζεται ἡ κατανομὴ τῆς ἀπώλειας φορτίου καὶ οἱ παράμετροί της ἀλλὰ κατὰ τρόπο γενικό, ὥστε νὰ εἶναι δυνατὴ ἡ ἐφαρμογὴ τῶν ἐξισώσεων ποὺ προκύπτουν, γιὰ ὁποιεσδήποτε συνηθισμένες χρησιμοποιούμενες σχέσεις γραμμικῶν ἀπωλειῶν. Ἐπίσης καθορίζονται ποσοστιαῖα οἱ ἀποκλίσεις ποὺ προέρχονται ἀπὸ τὴν παράλειψη ὁρισμένων ὅρων στὸν ὑπολογισμὸ τῶν ἀπωλειῶν κι' ἔτσι δικαιολογεῖται ἡ παράλειψή τους ποὺ διευκολύνει ὅμως πολὺ τοὺς ὑπολογισμοὺς καὶ τὴ μαθηματικὴ ἐπεξεργασία ποὺ ἀκολουθεῖ. Γιὰ τὴν κατανομὴ τῆς πιθανότητας ἀπώλειας φορτίου ἐπίσης γίνεται προσπάθεια μιᾶς ὅσον τὸ δυνατὸ αὐστηρότερης ἐξετάσεως. Ἔτσι ἡ διατύπωση τῶν ἐξισώσεων κατὰ τρόπο γενικότερο καὶ ἡ ποσοτικὴ ἐκτίμηση τῶν προτεινόμενων προσεγγίσεων ποὺ ἀποτελεῖ καὶ βάσιμη δικαιολογία γι' αὐτές, σὲ συνδυασμὸ μὲ τὴν αὐστηρότερη ἐξέταση τῆς κατανομῆς τῆς πιθανότητας ἀπώλειας φορτίου (θέματα ποὺ μέχρι τώρα στὶς ὑπάρχουσες ἐργασίες δὲν ἐξετάσθηκαν γενικὰ ἀλλὰ μόνο σὲ εἰδικὲς περιπτώσεις), δίνουν τὴν εὐχέρεια μιᾶς εὐρείας χρησιμοποιήσεώς τους γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῶν διαμέτρων τῶν δικτύων τεχνητῆς βροχῆς.

β) Προσεγγίζεται πολὺ ἱκανοποιητικότερα τὸ πρόβλημα τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως σὲ ὅτι ἀφορᾶ τὶς ἀπώλειες φορτίου (σὲ συνάρτηση βέβαια μὲ τὴν ἐπιθυμητὴ ποιότητα λειτουργίας τους) σὲ σχέση μὲ τὶς ὑπάρχουσες μέχρι σήμερα σχετικὲς ἐργασίες.

Ἔτσι σὲ ἀγωγοὺς τελευταίας τάξεως καθορίζεται σὲ κάθε τμῆμα τους, ἀνάλογα μὲ τὸ πλῆθος τῶν ὑδροληψιῶν ποὺ ἐξυπηρετεῖ τὸ κάθε τμῆμα, τὸ πλῆθος (ἀκόμα δὲ καὶ ἡ θέση) τῶν ἀνοιχτῶν ὑδροληψιῶν ποὺ πρέπει νὰ γίνουν δεκτὲς ὥστε νὰ καθορισθοῦν οἱ «ἰδεατὲς παροχὲς» σχεδιασμοῦ. Μ' αὐτὸ τὸν τρόπο οὐσιαστικὰ μετατρέπεται ἕνα πιθανοθεωρητικὸ πρόβλημα σὲ αἰτιοκρατικὸ καὶ προσδιορίζεται ἡ ἀπώλεια φορτίου σὲ κάθε θέση ποὺ ὅμως ἀντιστοιχεῖ στὴν ἐπιθυμητὴ ποιότητα λειτουργίας.

Ἐπίσης μὲ τὸν πιὸ πάνω τρόπο εἶναι δυνατὸς καὶ ὁ καθορισμὸς τῆς σχέσεως ἀπώλειας φορτίου μὲ τὴν παροχὴ στὴν κεφαλὴ τοῦ ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως. Τελικὰ ἐπιτυγχάνεται ἕνας λογικὸς σχεδιασμὸς τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως ποὺ πάντοτε ὅμως ἔχει περιθώρια ἀσφαλείας, δηλαδὴ δίνει ἕνα λογικὸ ποσοστὸ αὐξημένης ποιότητας λειτουργίας. Πάντως ἀποφεύγεται ὁ συνηθισμένος μέχρι τώρα πραγματοποιούμενος ὑπερβολικὸς ὑπερσχεδιασμὸς τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως καὶ ἑπομένως προκύπτει μία σημαντικὴ οἰκονομία στὸ δίκτυο.

Εἰδικότερα στὸ θέμα τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως διατυπώνονται πολλὲς φορὲς ἀπόψεις γιὰ τὴ σκοπιμότητα ἑνὸς ὑπερσχεδιασμοῦ, ὁ ὁποῖος καλύπτει ἀστάθμητους παράγοντες. Παρὰ ὅμως πρέπει νὰ θεωρεῖται ἀπόλυτα ἀναγκαῖο ὅτι πρέπει νὰ καθορίζεται ἕνας σωστὸς τρόπος ὑπολογισμοῦ τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως ὥστε νὰ διατηρεῖται καὶ σ' αὐτοὺς ἡ ἐπιθυμητὴ ποιότητα λειτουργίας ἢ νὰ ὑπερβάλλεται λογικά. Ἀπὸ κεῖ καὶ πέρα κάθε ἐπιθυμητὸς ὑπερσχεδιασμὸς θὰ εἶναι δυνατὸς ἀλλὰ τουλάχιστο θὰ καθορίζεται καὶ τὸ μέγεθός του ἀπὸ μιὰ σωστὴ ἀφετηρία.

γ) Μὲ κάποιες ἱκανοποιητικὲς προσεγγίσεις ἢ μὲ ἄλλα λόγια μὲ κάποιες ἀνεκτὲς καὶ μικρὲς ἀποχές, ἀπὸ τὶς προκύπτουσες θεωρητικὰ ἐξισώσεις, καθορίζονται οἱ ὁριστικὲς ἐξισώσεις τῆς ἀπώλειας φορτίου, ποὺ ἔχουν μιὰ ἁπλὴ καὶ εὔχρηστη μορφὴ γιὰ τὶς ἐφαρμογές. Ἐκεῖνο ὅμως ποὺ εἶναι σημαντικό, εἶναι ὅτι μὲ τὴν ὁριστικὴ αὐτὴ ἁπλὴ μορφὴ τῶν ἐξισώσεων εἶναι δυνατὸς ἕνας ἁπλούστατος καθορισμὸς «ἰδεατῶν παροχῶν» ποὺ ἐφαρμοζόμενες στὰ διάφορα τμήματα ἢ θέσεις τοῦ δικτύου δίνουν ἀκριβῶς τὶς ἀπώλειες φορτίου ποὺ ἀντιστοιχοῦν σὲ κάποια ὁρισμένη ἐπιθυμητὴ ποιότητα λειτουργίας.

Μ' αὐτὸ τὸν τρόπο τελικὰ ἕνα πρόβλημα ποὺ ἔχει καθαρὰ πιθανοθεωρητικὸ χαρακτήρα καὶ ἐξαρτιέται ἀπὸ τυχαῖα φαινόμενα (ποὺ θὰ ἔπρεπε κάθε φορὰ νὰ ἐπιλύεται μὲ ἐξομοίωση ἢ μὲ τὴ χρήση τῶν ἐξισώσεων κατανομῆς τῆς ἀπώλειας φορτίου) καθίσταται πρόβλημα μὲ αἰτιοκρατικὸ χαρακτήρα (deterministic).

Ἔτσι θὰ εἶναι πολὺ εὔκολο σ' ἕνα δίκτυο νὰ καθορίζουμε γιὰ κάθε τμῆμα του τὶς «ἰδεατὲς παροχὲς» σχεδιασμοῦ καὶ σὲ συνέχεια νὰ ἐφαρμόζουμε γνωστὲς μεθοδολογίες ἢ ἀλγόριθμους βελτιστοποιήσεως γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῶν διαμέτρων.

Καταλήγουμε μ' αὐτὸ τὸν τρόπο νὰ ἀκολουθοῦμε τὴν κλασσικὴ διαδικασία ὑπολογισμοῦ διαμέτρων ἑνὸς δικτύου, ποὺ γνωρίζουμε τὶς παροχὲς σχεδιασμοῦ του καὶ φυσικὰ τὰ λοιπὰ στοιχεῖα τῆς χαράξεώς του ὅπως ἐπίσης καὶ τὶς δεσμεύσεις τοῦ προβλήματος. Ἐξυπακούεται βέβαια, ὅτι οἱ παροχὲς αὐτὲς εἶναι «ἰδεατὲς» καὶ δὲν πληροῦν τοὺς νόμους τῆς συνεχείας. Ἐπίσης σημειώνεται ὅτι γιὰ τὰ ἐξεταζόμενα θέματα ποὺ ἀποτελοῦν ἀντικείμενο τῆς παρούσας ἐργασίας ἔγινε ἐξαγωγὴ ἀποτελεσμάτων μὲ τὴ χρήση τῶν προτεινόμενων προσεγγιστικῶν ἐξισώσεων σὲ συγκεκριμένα ἁπλὰ ἀριθμητικὰ παραδείγματα. Τὰ ἀποτελέσματα αὐτὰ συγκρίθηκαν μὲ τὰ ἀποτελέσματα ποὺ προέκυψαν ἀπὸ ἐξομοίωση τῆς λειτουργίας τῶν γραμμῶν μεταφορᾶς ποὺ πάρθηκαν γιὰ παραδείγματα στὴν ἐφαρμογὴ τῶν πιὸ πάνω ἐξισώσεων. Ἀποδείχτηκε κατ' αὐτὸ τὸν τρόπο καὶ στὶς περιπτώσεις τῶν παραδειγμάτων ὅτι μὲ τὶς προτεινόμενες μεθόδους ὑπολογισμοῦ ἡ προσέγγιση εἶναι πολὺ ἱκανοποιητική.

Ἔτσι μὲ τὴν παρούσα ἐργασία λύνεται μὲ πολὺ ἁπλὸ τρόπο ὁριστικὰ τὸ πρόβλημα τοῦ ὀρθοῦ ὑπολογισμοῦ τῶν ἀρδευτικῶν δικτύων ποὺ λειτουργοῦν κατὰ ζήτηση καὶ ἐξασφαλίζεται ἡ ὁμοιόμορφη ποιότητα λειτουργίας τους, χάρη στὶς προτεινόμενες τιμὲς τῶν «ἰδεατῶν παροχῶν σχεδιασμοῦ». Ἀποφεύγεται ἑπομένως ἡ ἐφαρμογὴ αὐθαίρετων ἢ περίπου αὐθαίρετων παροχῶν σχεδιασμοῦ ποὺ ἔχει σὰν ἀποτέλεσμα στὶς περισσότερες περιπτώσεις νὰ δημιουργεῖ σοβαρὸ ὑπερσχεδιασμό.

Σημειώνεται πάντως τὸ γεγονὸς ὅτι μὲ τὴν ἐφαρμογὴ τῶν «ἰδεατῶν» παροχῶν δὲν ἀπαιτεῖται πλέον νὰ βρεθεῖ [15] ἕνας νέος ἀλγόριθμος βελτιστοποιήσεως γιὰ νὰ δώσει λύση στὸ πρόβλημα τοῦ βέλτιστου συνδυασμοῦ τῶν διαμέτρων. Ἔτσι μὲ τὶς καθοριζόμενες τιμὲς ἰδεατῶν παροχῶν σὰν παροχῶν σχεδιασμοῦ λύθηκε ὄχι μόνο ἕνα πιθανοθεωρητικὸ πρόβλημα ποὺ καθίσταται αἰτιοκρατικό, ἀλλὰ καὶ ἕνα πρόβλημα βελτιστοποιήσεως. Αὐτὸ εἶναι φανερὸ γιατὶ πλέον ἡ βελτιστοποίηση μπορεῖ νὰ γίνεται ἁπλὰ καὶ εὔκολα μὲ τοὺς χρησιμοποιούμενους σήμερα ἀλγορίθμους, π.χ. τῆς μεθόδου Y. Labye [7,8] ἐφαρμόζοντας σὰν παροχὲς τὶς «ἰδεατές». Τέλος, σημειώνεται ἰδιαίτερα τὸ γεγονὸς ὅτι μὲ τὴν ἐφαρμογὴ τοῦ προτεινόμενου τρόπου ύπολογισμοῦ ἑνὸς δικτύου καὶ φυσικὰ μὲ τὴν ἀποδοχὴ τῶν προτεινόμενων κριτηρίων σχεδιασμοῦ, ἀπὸ τὴ μιὰ μεριὰ διατηρεῖται ὁμοιόμορφη ποιότητα λειτουργίας καὶ ὄχι μικρότερη ἀπὸ τὴν ἐπιθυμητή, ἐνῶ ἀπὸ τὴν ἄλλη μεριὰ ἀποφεύγεται ὁ ὑπερσχεδιασμὸς τῶν ἀκτινωτῶν ὑπὸ πίεση δικτύων ἀρδεύσεως ποὺ λειτουργοῦν κατὰ ζήτηση. Ἐπίσης ὅπως εἶναι φανερό, ἐπειδὴ οἱ ἰδεατὲς παροχὲς σχεδιασμοῦ ποὺ προτείνονται γιὰ τὶς ἐφαρμογές, εἶναι μικρότερες ἀπὸ τὶς ἐφαρμοζόμενες σήμερα στὸ σχεδιασμὸ δικτύων τεχνητῆς βροχῆς, θὰ προκύψει μιὰ οἰκονομία στὶς δαπάνες κατασκευῆς των. Ἡ οἰκονομία αὐτὴ θὰ ποικίλει ἀπὸ ἕνα μικρὸ ἐλάχιστο ποσοστὸ τῆς τάξεως τοῦ 15% καὶ θὰ φθάνει ἐνδεχόμενα μέχρι καὶ τὸ 50% τῆς δαπάνης ποὺ ἀπαιτεῖται γιὰ τὸ σωστὸ σχεδιασμὸ ἑνὸς δικτύου (ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ στὶς ἰδεατὲς παροχὲς ποὺ προτείνονται ἐδῶ).

Στὸ κεφάλαιο 7 ἀπὸ ἕνα χαρακτηριστικὸ παράδειγμα καὶ τὰ σχετικὰ συμπεράσματα φαίνονται ὁρισμένα οἰκονομικὰ ἀποτελέσματα καὶ προκύπτει ὅτι τὸ ἀναμφισβήτητο ποσοστὸ οἰκονομίας στὶς δαπάνες σχεδιασμοῦ ποικίλλει ἀνάλογα μὲ τή, μορφὴ καὶ τὸ μέγεθος τοῦ δικτύου, τὸ ἀνάγλυφο τοῦ ἐδάφους, τὴ διάταξη τῶν ὑδροληψιῶν, τὸ κόστος τῶν σωλήνων κλπ.

Κατὰ ἕνα μέσο ὅμως στατιστικὸ ὅρο μπορεῖ νὰ ἐκτιμηθεῖ ὅτι, ὅπως σχεδιάζονται σήμερα τὰ δίκτυα στὴ χώρα μας δημιουργοῦνται δαπάνες ποὺ εἶναι ὁπωσδήποτε μεγαλύτερες σὲ σύγκριση μὲ τὶς δαπάνες ἑνὸς σωστοῦ σχεδιασμοῦ κατὰ 20 - 25% τουλάχιστο ἢ μὲ ἄλλα λόγια ἐφ' ὅσον τὰ δίκτυα σχεδιασθοῦν σωστὰ μπορεῖ νὰ ἐπιτυγχάνεται κατὰ μέσο ὅρο μιὰ οἰκονομία κατὰ ἐλάχιστο 20% ἐπὶ τοῦ ὁλικοῦ κόστους τῶν πραγματοποιουμένων σήμερα δαπανῶν γιὰ τὴν κατασκευή τους (σωλῆνες, χρωματουργικά, κ.λ.π.).

Τὸ οἰκονομικὸ αὐτὸ ἀποτέλεσμα εἶναι πάρα πολὺ σοβαρὸ καὶ προσθέτει ἀκόμα ἕνα σημαντικὸ στοιχεῖο ποὺ πρέπει νὰ λαμβάνεται ὑπόψη στὸ ὅλο θέμα τῆς ἐφαρμογῆς ἑνὸς σωστοῦ τρόπου σχεδιασμοῦ τῶν ἀρδευτικῶν δικτύων τεχνητῆς βροχῆς.

2. Οἱ Γραμμικὲς Ἀπώλειες

Ἡ γενικευμένη σχέση Darcy - Weisbach γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῶν ἀπωλειῶν ἐνεργείας σὲ ὁμοιόμορφη ροὴ μέσα σὲ κλειστοὺς κυκλικοὺς ἀγωγοὺς ὑπὸ πίεση (ποὺ καλοῦνται καὶ γραμμικὲς ἀπώλειες) εἶναι :

$$h = f.\frac{L}{D}.\frac{u^2}{2g} \tag{5}$$

Γιὰ σωλῆνες ἐμπορίου ὁ συντελεστὴς τριβῶν f δίδεται ἀπὸ τὴν ἡμιεμπειρικὴ σχέση τῶν Colebrook - White

$$\frac{1}{f^{1/2}} = 1{,}14 - 2.\lambda o\gamma\left(\frac{K_s}{D} + \frac{9{,}35}{N_R\, f^{1/2}}\right) \tag{6}$$

ὅπου N_R ὁ ἀριθμὸς Reynolds καὶ K_s/D ἡ σχετικὴ τραχύτητα [10]

Ἡ χρήση τῶν παραπάνω ἐξισώσεων εἶναι δυσχερὴς γιὰ τὴν ἐπίλυση διαφόρων προβλημάτων τῶν δικτύων διανομῆς ὕδατος. Γιαυτὸ συνήθως ἐφαρμόζονται ἐμπειρικοὶ τύποι ποὺ ἡ χρησιμοποίησή τους γίνεται δεκτή, ἀρκεῖ ὁ μηχανικὸς ποὺ τοὺς ἐφαρμόζει νὰ γνωρίζει τὸ πραγματικὸ πεδίο ἐφαρμογῆς τους.

Συνήθως οἱ τύποι αὐτοὶ παίρνουν τὴν ἑξῆς γενικὴ μορφὴ

$$\upsilon = C.R^x.S^y$$

ὅπου υ = μέση ταχύτης
C = συντελεστὴς ἀπωλειῶν
R = ὑδραυλικὴ ἀκτίνα = $D/4$
S = κλίση γραμμῆς ἐνεργείας = $\frac{\Delta h}{L}$
x, y = ἀριθμητικοὶ ἐκθέτες ποὺ εἶναι συνήθως $x = \frac{1}{2}$ ἕως $2/3$ καὶ $y = 0{,}50$ ἕως $0{,}57$ περίπου

Ἔτσι, ἂν λάβουμε ὑπόψη ὅτι $\upsilon = \frac{Q}{\pi.D^2/4}$, $R = D/4$ καὶ $S = \Delta h/L$ ἡ πιὸ πάνω σχέση παίρνει τὴν ἑξῆς μορφὴ ἂν ἐπιλύσουμε ὡς πρὸς τὴ μεταβολὴ (Δh) τοῦ φορτίου.

$$\Delta h = 4^{1/y}\left(\frac{1}{c.\pi} + 4^x\right).D^{-\left(\frac{2+x}{y}\right)}.Q^{1/y}.L$$

ὁπότε ἂν θέσουμε $4^{1/y}\left(\frac{1}{c.\pi} + 4^x\right) = C_0$ καὶ τὸ $\Delta h = h$

θὰ ἔχουμε $h = C_0.D^{-\left(\frac{2+x}{y}\right)}.Q^{1/y}.L$ (7)

π.χ. γιὰ τὸν τύπο τοῦ Manning ἡ σχέση (7) γιὰ $x = 2/3$ καὶ $y = 1/2$ γίνεται

$$h = C_0.D^{-16/3}.Q^2.L \tag{8}$$

ὅπου $C_0 = 10{,}3.n^2$ (n = συντελεστὴς τραχύτητας)

Γενικὰ οἱ τιμὲς τῶν ἐκθετῶν κυμαίνονται στὰ ἑξῆς ὅρια συνήθως :

$\alpha = \frac{1}{y}$ = ἀπὸ περίπου 1,76 ἕως 2,00

$\beta = \frac{2+x}{y}$ = ἀπὸ περίπου 4,71 ἕως $16/3 = 5{,}333$

Θέτοντας στὴ σχέση (7)

$$C_0 D^{-\left(\frac{2+x}{y}\right)} = C_0 D^{-\beta} = K_0 \tag{9}$$

$$K_0 L = K \tag{10}$$

$$\frac{1}{y} = \alpha \tag{11}$$

Θὰ ἔχουμε τελικὰ $h = K.Q^\alpha$ (12)

Ἡ σχέση (12) στὴν περίπτωση ἐφαρμογῆς τοῦ τύπου τοῦ Manning γίνεται

$$h = K.Q^2 \tag{12α}$$

ὅπου $K = K_0 L = C_0.D^{-16/3}.L$ (12β)

καὶ $C_0 = 10{,}3.n^2$

Ἡ σχέση (12) ἂν λάβουμε ὑπόψη τὴ σχέση (2) δηλαδὴ ὅτι $Q = \mu + \varepsilon.\sigma$ γίνεται

$$h = K.(\mu+\varepsilon\sigma)^\alpha = K\mu^\alpha\left(1+\frac{\varepsilon\sigma}{\mu}\right)^\alpha$$

ὅπου συνήθως $0 < \frac{\varepsilon\sigma}{\mu} = \varepsilon.C_v < 1$, $C_v = \frac{\sigma}{\mu}$ = συντελεστὴς μεταβολῆς παροχῶν.

Πράγματι ἐπειδὴ συνήθως $C_v \leqq 0{,}45$ καὶ $\varepsilon \leqq 1{,}65$ ἰσχύει ἡ πιὸ πάνω ἀνισότητα $\varepsilon.C_v < 1$. Ἀλλὰ ἀκόμη καὶ ὅταν $\varepsilon = 2{,}33$ ποὺ σπάνια συμβαίνει, καὶ μὲ ἕνα ἀκόμη τροφοδοτούμενο κλάδο ποὺ ἐξυπηρετεῖ τουλάχιστον 11 στόμια τὸ $C_v \leq 0{,}426$ ὁπότε πάλι $\varepsilon.C_v < 1$. Δηλαδὴ γενικὰ μποροῦμε νὰ δεχθοῦμε ὅτι $\varepsilon.C_v < 1$. Στὴ συνέχεια μὲ τὴ βοήθεια τοῦ τύπου τοῦ Taylor [11,12], ἂν ἀναπτύξουμε τὴ σχέση $h = K\mu^\alpha\left(1+\frac{\varepsilon\sigma}{\mu}\right)^\alpha = K\mu^\alpha(1+\varepsilon C_v)^\alpha$ ἔχουμε, λαμβάνοντας τοὺς τρεῖς πρώτους ὅρους ποὺ δίνουν ἱκανοποιητικὴ προσέγγιση, ὅτι

$$h + K\mu^\alpha + \left[1 + \alpha\left(\frac{\varepsilon\sigma}{\mu}\right) + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\left(\frac{\varepsilon.\sigma^2}{\mu}\right)\right] =$$

$$= K\left[\mu^\alpha + \alpha\mu^{\alpha-1}(\varepsilon\sigma) + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\mu^{\alpha-2}(\varepsilon\sigma)^2\right] \tag{13}$$

ἢ ἐπειδὴ $\frac{\sigma}{\mu} = C_v$

$$h = K\mu^\alpha\left[1 + \alpha.\varepsilon.C_v + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}.\varepsilon^2.C_v^2\right] \tag{13α}$$

Γιὰ $\alpha = 2{,}00$ (π.χ. τύπος τοῦ Manning) οἱ σχέσεις (13) καὶ (13α) γίνονται :

$$h = K(\mu^2 + 2\varepsilon\mu\sigma + \varepsilon^2\sigma^2) = K\mu^2\left(1 + 2\varepsilon C_v + \varepsilon^2 C_v^2\right) \qquad (14)$$

Μὲ τὶς σχέσεις (13) ἢ (14) ἔχουμε ἐκφράσει τὶς ἀπώλειες φορτίου (γραμμικὲς ἀπώλειες) σ' ἕνα τμῆμα τοῦ δικτύου ποὺ βρίσκεται μεταξὺ δύο κόμβων, κατὰ τρόπο ποὺ καθορίζεται ἀπὸ ἕνα πιθανοθεωρητικὸ σχῆμα ζητήσεως καὶ μάλιστα ὑποθέτοντας εἰδικότερα ὅτι, ἡ κατάντη ζήτηση ἀκολουθεῖ τὴν κανονικὴ κατανομή.

Ἔτσι ἀπὸ κάθε ἐξεταζόμενο τμῆμα ἢ κλάδο ἑνὸς ἀγωγοῦ μεταφορᾶς θὰ πρέπει νὰ ἐξυπηρετεῖται τουλάχιστον ἕνας ἀγωγὸς τελευταίας τάξεως, ποὺ θὰ ἔχει ἐπίσης τουλάχιστο 10 στόμια ὑδροληψίας, ὥστε ἡ παροχὴ στὴν κεφαλή του νὰ ἀκολουθεῖ τὴν κανονικὴ κατανομή.

Παρατηροῦμε τέλος, ὅτι οἱ διάφορες τοπικὲς ἀπώλειες δὲν ἐξετάζονται ἰδιαίτερα, ἀλλὰ γενικὰ συμπεριλαμβάνονται μέσα στὶς γραμμικές. Γι' αὐτὸ ἂν ὑπάρχει ἀνάγκη γίνεται προσαύξηση τῶν γραμμικῶν π.χ. μὲ ποσοστιαία προσαύξηση τοῦ συντελεστοῦ C_0 τῆς σχέσεως (7). Αὐτὸ διευκολύνει ἰδιαίτερα τὴ μαθηματικὴ καὶ ὑπολογιστικὴ ἐπεξεργασία τῶν σχετικῶν προβλημάτων καὶ δὲ δημιουργεῖ κανένα θέμα στὰ προκύπτοντα ἀποτελέσματα, πολὺ μάλιστα περισσότερο ποὺ οἱ τοπικὲς ἀπώλειες εἶναι συνήθως πολὺ μικρὲς σὲ σχέση μὲ τὶς γραμμικές.

3. Οἱ παράμετροι τῆς κατανομῆς ἀπώλειας φορτίου.

Γιὰ τὴ μελέτη τῆς κατανομῆς τῆς ὁλικῆς ἀπώλειας φορτίου σὲ μιὰ γραμμὴ μεταφορᾶς, ὅπως ὀνομάσαμε τὴ γραμμὴ ποὺ συνδέει ἕνα σημεῖο τροφοδοσίας καὶ ἕνα ἀπώτατο σημεῖο ὑδροληψίας, ἔχουμε διατυπώσει τὶς σχέσεις (13), (13α) καὶ (14), γιὰ τὸ τμῆμα ἢ τὸν κλάδο i τῆς γραμμῆς.
Ἔτσι ἡ ὁλικὴ ἀπώλεια θὰ εἶναι γιὰ ὅλη τὴ γραμμή :

$$h = \Sigma h_i = \Sigma K_i \mu_i^{\alpha}\left[1 + \alpha\varepsilon_i c_{vi} + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\,\varepsilon_i^2 c_{vi}^2\right. \qquad (15)$$

Ἡ συνάρτηση (15) καθορίζει τὴν κατανομὴ πιθανότητας τῆς τυχαίας μεταβλητῆς h ὅπου :

$$h = m + u.S \qquad (16)$$

m = μέση τιμὴ ἀπώλειας φορτίου

β = τυπικὴ ἀπόκλιση φορτίου

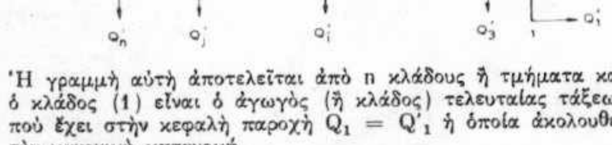
$\mu = \dfrac{h-m}{S}$ = τυποποιημένη τιμὴ τῆς ἀπώλειας φορτίου

Τὰ K, μ, C_v, ε καὶ α καθορίστηκαν στὰ προηγούμενα κεφάλαια. Ἔτσι, ἂν $u(\varphi)$ εἶναι ἡ τιμὴ τῆς u γιὰ στάθμη πιθανότητας φ τότε ὁ ἀγωγὸς τελευταίας τάξεως, τὸν ὁποῖο περιλαμβάνει ἡ ἐξεταζόμενη γραμμὴ μεταφορᾶς, θὰ χαρακτηρίζεται ἀπὸ ποιότητα λειτουργίας φ ἂν τὸ ὑψόμετρο τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς (ἢ κατὰ προσέγγιση τὸ ὑψόμετρο τῆς γραμμῆς ἐνεργείας) εἶναι στὴν κεφαλὴ Α (σχ. 3.1) ἴσο πρός :

$$H_{\Delta} = m + u_{(\varphi)}.S + H_o \qquad (17)$$

ὅπου H_0 εἶναι τὸ ἀπαιτούμενο ὑψόμετρο τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς στὸ ἀπώτατο ἐξυπηρετούμενο σημεῖο.

Γιὰ τὴ διεξαγωγὴ τῶν παραπέρα μαθηματικῶν μετασχηματισμῶν δίδουμε στὸ σχ. 3.1 τὴν εἰκόνα μιᾶς γραμμῆς μεταφορᾶς.



Ἡ γραμμὴ αὐτὴ ἀποτελεῖται ἀπὸ n κλάδους ἢ τμήματα καὶ ὁ κλάδος (1) εἶναι ὁ ἀγωγὸς (ἢ κλάδος) τελευταίας τάξεως ποὺ ἔχει στὴν κεφαλὴ παροχὴ $Q_1 = Q'_1$ ἡ ὁποία ἀκολουθεῖ τὴν κανονικὴ κατανομή.

Ἀντίστοιχες παροχὲς μὲ κανονικὴ κατανομὴ ζητοῦνται στοὺς κόμβους 2,3,...., i, ..., j, ..., n γιὰ τὴν ἐξυπηρέτηση ἀγωγῶν ἢ κλάδων τελευταίας ἢ μεγαλυτέρας τάξεως.

Ἀπὸ τὴ σχέση (15) μποροῦμε νὰ βροῦμε τὴ μέση τιμὴ τῆς τυχαίας μεταβλητῆς, ὁπότε θὰ ἔχουμε :

$$m = E(h) = \Sigma K_i \mu_i^{\alpha}\left[1 + \alpha C_{vi}\,.\,E(\varepsilon_i) + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\,C_{vi}^2\,.\,E(\varepsilon_i^2)\right] \qquad (18)$$

καὶ ἐπειδὴ $E(\varepsilon_i) = 0$, $E(\varepsilon_i^2) = 1$ βρίσκουμε

$$m = \Sigma K_i\,\mu_i^{\alpha}\left[1 + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\,C_{vi}^2\right] \qquad (19)$$

ἢ

$$m = \Sigma K_i\left[\mu_i^{\alpha} + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\,\mu_i^{\alpha-2}.\,\sigma_i^2\right] \qquad (19\alpha)$$

Γιὰ τὴ διακύμανση τῆς ἀπώλειας φορτίου ἔχουμε [6,13]

$$Var.h = S^2 \quad \text{ὅπου } h = \Sigma h_i$$

Θὰ εἶναι $Var.h = \Sigma Var.h_i + 2\Sigma Cov(h_i, h_j)$ (20)

$$j > i$$

ὅπου $Cov.(h_i, h_j)$ = συνδιακύμανση τῶν h_i, h_j

Ἂν καλέσουμε $\dfrac{\alpha(\alpha-1)}{2} = \gamma$ ἡ σχέση (20) γίνεται

$$Var.h = S^2 = \Sigma K_i^2 \mu_i^2 \alpha^2 C_{vi}^2.Var.(\varepsilon_i) + \Sigma K_i^2.\mu_i^2.\gamma^2.C_{vi}^2.Var.(\varepsilon_i^2) + 2\Sigma Cov.(h_i, h_j) \qquad (21)$$

Ἀλλά :

$$2\Sigma Cov(h_i, h_j) = 2\sum_{j>i} Cov\left[\left[K_i \mu_i^{\alpha}(1 + \alpha\varepsilon_i C_{vi} + \gamma\varepsilon_i^2 C_{vi}^2)\right],\ \left[K_j \mu_j^{\alpha}(1 + \alpha\varepsilon_j.C_{vj} + \gamma\varepsilon_j^2 C_{vj}^2\right]\right] \qquad (22)$$

ἢ ἂν λάβουμε ὑπόψη ὅτι μποροῦμε νὰ θέσουμε

$$Q_j = Q_i + Q_\rho$$

ὅπου Q_ρ ἡ παροχὴ ποὺ συμβάλλει μεταξὺ τῶν σημείων i καὶ j (σχ. 3.1) καὶ ἡ ὁποία ἀκολουθεῖ τὴν κανονικὴ κατανομή.
Προκύπτει τότε ὅτι $= \mu_j + \varepsilon_j\sigma_j = (\mu_i + \varepsilon_i\sigma_i) + (\mu_\rho + \varepsilon_\rho.\sigma_\rho)$
Ἐπειδὴ ὅμως $\mu_j = \mu_i + \mu_\rho$ προκύπτει τελικὰ ὅτι

$$\varepsilon_j = \varepsilon_i\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_j}\right) + \varepsilon_\rho\left(\frac{\sigma_\rho}{\sigma_j}\right) \qquad (23)$$

ὁπότε ἡ σχέση (22) μὲ ἀντικατάσταση τοῦ ε_j ἀπὸ τὴν (23) θὰ γίνει :

$$2Cov.(h_i, h_j) = 2\sum_{j>i} Cov\left\{\left[K_i\mu_i^{\alpha}(1 + \alpha\varepsilon_i C_{vi} + \gamma\varepsilon_i^2 C_{vi})\right],\ \left[K_j\mu_j^{\alpha}\left(1 + \alpha C_{vj}\left(\varepsilon_i\frac{\sigma_i}{\sigma_j} + \varepsilon_\rho.\frac{\sigma_\rho}{\sigma_j}\right) + \gamma C_{vj}^2\left(\varepsilon_i^2\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_j}\right)^2 + \varepsilon_\rho^2\left(\frac{\sigma_\rho}{\sigma_j}\right)^2 + 2\varepsilon_i\varepsilon_\rho\left(\frac{\sigma_i.\sigma_\rho}{\sigma_j^2}\right)\right)\right]\right\} \qquad (24)$$

Παρατηροῦμε ὅτι τὰ ε_i, ε_ρ εἶναι ἀνεξάρτητες μεταβλητὲς καὶ ἑπομένως ὅλες οἱ συνδιακυμάνσεις τους θὰ εἶναι μηδενικές. Οἱ ὑπόλοιπες μορφὲς συνδιακυμάνσεων θὰ εἶναι :

$$Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_i^2) \quad , \quad Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_i\varepsilon_\rho) \quad , \quad Cov(\varepsilon_i^2, \varepsilon_i)$$

$$Cov(\varepsilon_i^2, \varepsilon_i^2) \quad , \quad Cov(\varepsilon_i^2, \varepsilon_i\varepsilon_\rho) \quad , \quad Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_i)$$

Στὴ συνέχεια ἂν λάβουμε ὑπόψη ὅτι γιὰ δυὸ ὁποιεσδήποτε τυχαῖες μεταβλητὲς x καὶ y ἰσχύει ἡ σχέση.

$$Cov(x, y) = E(xy) - E(x).E(y) \qquad (25)$$

Τότε $Cov.(\varepsilon_i, \varepsilon_i^2 = E(\varepsilon_i^2) - E(\varepsilon_i)E(\varepsilon_i^2) = 0$

$$Cov.(\varepsilon_i^2, \varepsilon) = E(\varepsilon_i^3) - E(\varepsilon_i^2)E(\varepsilon_i) = 0$$

$$Cov.(\varepsilon_i, \varepsilon_i, \varepsilon_\rho) = E(\varepsilon_i^2, \varepsilon_\rho) - E(\varepsilon_i).E(\varepsilon_i, \varepsilon_\rho) = E(\varepsilon_i^2).E(\varepsilon_\rho) - E(\varepsilon_i)E(\varepsilon_i.\varepsilon_\rho) = 0$$

$$\mathrm{Cov.}(\varepsilon_i^2, \varepsilon_i . \varepsilon_\rho) = E(\varepsilon_i^3 . \varepsilon_\rho) - E(\varepsilon_i^2).E(\varepsilon_i . \varepsilon_\rho) =$$
$$= E(\varepsilon_i^3)E(\varepsilon_\rho) - E(\varepsilon_i^2)E(\varepsilon_i)E(\varepsilon_\rho) = 0$$

'Επομένως ἡ σχέση (24) γίνεται ἀφοῦ λάβουμε ὑπόψη τὶς παραπάνω τιμὲς τῶν συνδιακυμάνσεων ποὺ προέκυψαν μὲ ἐφαρμογὴ τῆς σχέσης (25) καὶ ἐπὶ πλέον ὅτι $\mathrm{Cov}_i.(\varepsilon_j, \varepsilon_i) = \mathrm{Cov}(\varepsilon_i^2, \varepsilon_i^2) = 1$

$$2\Sigma \mathrm{Cov.}(h_i, h_j) = 2\left[\sum_{j>i} K_i K_j \mu_i^\alpha \mu_j^\alpha \cdot C_{vi}.C_{vj}.\alpha^2 \frac{\sigma_i}{\sigma_j} + \right.$$
$$\left. + \sum_{j>i} K_i K_j \mu_i^\alpha \mu_j^\alpha . \gamma^2 C_{vi} . C_{vj} \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_j}\right)^2\right] \qquad (26)$$

Τελικὰ ἡ σχέση (21) γίνεται ἂν λάβουμε ὑπόψη ὅτι

$$\mathrm{Var.}(\varepsilon_i) = 1 \text{ καὶ } \mathrm{Var.}(\varepsilon_i^2) = 2$$

$$S = \left[\Sigma K_i^2 \mu_i^{2\alpha} C_{vi}^2 (\alpha^2 + 2\gamma^2 C_{vi}^2) + \right.$$
$$+ 2\sum_{j>i} K_i K_j \mu_i^\alpha \mu_j^\alpha C_{vi} C_{vj} \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_j}\right)$$
$$\left. . \left[\alpha^2 + \gamma^2 C_{vi} C_{vj} \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_j}\right)\right]\right]^{1/2} \qquad (27)$$

'Η σχέση (27) στὴν περίπτωση ποὺ $\alpha = 2{,}00$ ὁπότε ἀντίστοιχα $\gamma = 1{,}00$ γίνεται:

$$S = 2\left[\Sigma(K_i \mu_i \sigma_i)^2 + 2\sum_{j>i} K_i K_j \mu_i \mu_j \sigma_i^2 + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{2}\sum_{j>i}(K_i^2 \sigma_i^4 + K_i K_j \sigma_i^4)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (28)$$

'Επίσης ἡ σχέση (27) ἂν λάβουμε ὑπόψη ὅτι $C_v = \dfrac{\sigma}{\mu}$ μπορεῖ νὰ λάβει καὶ τὴν ἑξῆς μορφή:

$$S = \alpha\left[\Sigma(K_i \mu_i^{\alpha-1} \sigma_i)^2 + 2\sum_{j>i}(K_i K_j \mu_i^{\alpha-1} \mu_j^{\alpha-1} \sigma_i^2) + \right.$$
$$+ 2\left(\frac{\gamma}{\alpha}\right)^2 (\Sigma K_i^2 \mu_i^{2(\alpha-2)} . \sigma_i^4 +$$
$$\left. + \sum_{j>i} K_i K_j \mu_i^{\alpha-2} \mu_j^{\alpha-2} . \sigma_i^4)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (29)$$

'Επειδὴ ὅμως ὁ συντελεστὴς μεταβολῆς τῶν παροχῶν εἶναι

$$C_v = \left[\frac{1-P}{R . P}\right]^{1/2}$$

ὁπότε γιὰ μιὰ λογικὰ περίπου κατώτερη τιμὴ $P = \dfrac{1}{3}$ καὶ $R = 10$ στόμια προκύπτει $\max C_v = 0{,}45$ ἢ $\mu_i \geq \dfrac{1}{0{,}45} . \sigma$. ἢ $\mu_i \geq 2{,}222\, \sigma_i$ ἢ $\mu_i^2 \geq = 5\sigma_i^2$ περίπου.

'Αποδεικνύεται τότε ὅτι ἡ παράλειψη τῶν δύο τελευταίων ὅρων τῆς ἐξισώσεως (29) —ἡ ὁποία ἀπόδειξη δὲ δίδεται στὴν παρούσα δημοσίευση— μειώνει τὴν τιμὴ τῆς ἀποκλίσεως τῆς ἀπώλειας φορτίου, κατὰ ποσοστὸ ποὺ εἶναι μικρότερο ἀπὸ 3,20%. Στὴν πραγματικότητα βέβαια ἐπειδὴ τὸ ἀποτέλεσμα ἔχει προκύψει μὲ δυσμενεῖς παραδοχὲς εἶναι πολὺ μικρότερο, π.χ. ἐκτιμᾶμε ὅτι εἶναι πάντοτε μικρότερο τοῦ 1%.

Ἔτσι ἡ ἐξίσωση (17) ποὺ ἐκφράζει τὴν ἀπώλεια φορτίου κατὰ μῆκος μιᾶς γραμμῆς μεταφορᾶς γίνεται σὲ συνδυασμὸ μὲ τὶς (19α), καὶ (29)

$$H_\Delta = \Sigma K_i\left(\mu_i^\alpha + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\mu_i^{\alpha-2} . \sigma_i^2\right) +$$
$$+ \alpha . u_{(\varphi)}\left[\Sigma(K_i \mu_i^{\alpha-1} \sigma_i)^2 + \right.$$
$$\left. + 2\sum_{j>i} K_i K_j \mu_i^{\alpha-1} \mu_j^{\alpha-1} \sigma_i^2\right]^{1/2} + H_0 \qquad (30)$$

ὅπου $\alpha = 1{,}76$ ἕως $2{,}00$

Γιὰ $\alpha = 2{,}00$ ἡ σχέση (35) γίνεται

$$H_\Delta = K_i(\mu_i^2 + \sigma_i^2) + 2 . u_{(\varphi)}\left[\Sigma(K_i \mu_i \sigma_i)^2 + \right.$$
$$\left. + 2\sum_{j>i} K_i K_j \mu_i \mu_j \sigma_i^2\right]^{1/2} + H_0 \qquad (31)$$

Στὶς πιὸ πάνω σχέσεις $u_{(\varphi)}$ = ἡ τιμὴ τῆς μεταβλητῆς u τῆς σχέσεως (16) γιὰ στάθμη πιθανότητας φ.

Στὴ συνέχεια παρατηροῦμε ὅτι ἡ ἀπόκλιση

$$S = \alpha\left[\Sigma(K_i \mu_i^{\alpha-1} \sigma_i)^2 + 2\sum_{j>i} K_i K_j \mu_i^{\alpha-1} \mu_j^{\alpha-1} \sigma_i^2\right]^{1/2} <$$
$$< \alpha . \left[(\Sigma K_i \mu_i^{\alpha-1} \sigma_i)^2\right]^{1/2} = \alpha . (\Sigma K_i \mu_i^{\alpha-1} \sigma_i) \qquad (32)$$

καὶ τοῦτο γιατὶ

$$(\Sigma K \mu_i^{\alpha-1} \sigma_i)^2 = \Sigma(K_i \mu_i^{\alpha-1} \sigma_i)^2 +$$
$$+ 2\sum_{j>i} K_i K_j \mu_i^{\alpha-1} \mu_j^{\alpha-1} \sigma_i \sigma_j > \Sigma(K_i \mu_i^{\alpha-1} \sigma_i)^2 +$$
$$+ 2\sum_{j>i} K_i K_j \mu_i^{\alpha-1} \mu_j^{\alpha-1} \sigma_i^2 \; (= S^2)$$

τὸ ὁποῖο ἰσχύει γιατὶ πάντοτε $\sigma_j > \sigma_i$

Ἄρα ἂν ὀνομάσουμε σὰν $S' = \alpha . \Sigma(K_i \mu_i^{\alpha-1} \sigma_i)$ (33)

ὁπότε θὰ εἶναι πάντοτε $S' > S$ καὶ θέσουμε

$$u_{(\varphi)} . S = u'_{(\varphi)} . S' \qquad (34)$$

θὰ ἔχουμε τὴν τελικὴ ἔκφραση τῶν ἐξισώσεων (30) καὶ (31)

$$H_\Delta = \Sigma K_i\left(\mu_i^\alpha + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\mu_i^{\alpha-2} \sigma_i^2\right) +$$
$$+ u'_{(\varphi)} . \alpha(\Sigma K_i \mu_i^{\alpha-1} \sigma_i) + H_0 \qquad (35)$$

καὶ γιὰ $\alpha = 2{,}00$

$$H_\Delta = \Sigma K_i(\mu_i^2 + \sigma_i^2) + 2 . u'_{(\varphi)} . \Sigma K_i \mu_i \sigma_i) + H_0 \qquad (36)$$

Δηλαδὴ ἡ σχέση (17) παίρνει τὴ μορφὴ $H_\Delta =$
$= m + u'_{(\varphi)} . S' + H_0$

Οἱ ἐξισώσεις (35) καὶ (36) ὅπως θὰ δοῦμε στὸ κεφάλαιο 5 εἶναι πολὺ ἐνδιαφέρουσες, ἀρκεῖ νὰ καθορίσουμε μιὰ σχέση τῶν S καὶ S' ποὺ θὰ μπορεῖ νὰ μᾶς δώσει τελικὰ τὴν κατανομὴ τῆς $u'_{(\varphi)}$ ἡ ὁποία εἶναι $u'_{(\varphi)} = u_{(\varphi)} . \dfrac{S}{S'}$ S' $u'_{(\varphi)} < u_{(\varphi)}$

Πράγματι ἐφόσον ἐπιτύχουμε αὐτὸ θὰ ἔχουμε ἐκφράσει τὴν ἀπώλεια φορτίου μ' ἕναν πολὺ ἁπλὸ τρόπο τῆς μορφῆς

$$h = \Sigma K_i Q_i^\alpha \qquad (37)$$

ὅπου ἡ $Q_i = Q_i(\mu_i, \sigma_i)$ θὰ εἶναι μιὰ «ἰδεατὴ παροχὴ» γιὰ κάθε τμῆμα (i) ὁποιουδήποτε ἀγωγοῦ τοῦ δικτύου ποὺ ὅταν ἐφαρμοστεῖ σὲ ὅλα τὰ τμήματα $i = 1,2,\ldots,n$ μιᾶς γραμμῆς μεταφορᾶς θὰ ἐπαληθεύει τὶς ἐξισώσεις (35) ἢ (36) καὶ κατὰ συνέπεια τὶς (30) καὶ (31).

Ἔτσι μ' αὐτὸ τὸν ἁπλὸ τρόπο θὰ ἐπιλύεται γρήγορα τὸ πρόβλημα τοῦ καθορισμοῦ τῶν παροχῶν σχεδιασμοῦ καὶ σὲ συνέχεια τὸ πρόβλημα τοῦ ὀρθοῦ καθορισμοῦ τῶν διαμέτρων τοῦ δικτύου, ὥστε νὰ ἀποφεύγεται ὁ πραγματοποιούμενος σήμερα ἀρκετὰ αὐθαίρετος καθορισμὸς τῶν παροχῶν σχεδιασμοῦ καὶ ὁ ὑπερσχεδιασμὸς τοῦ δικτύου. Σημειώνεται τέλος, ὅτι μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο θὰ μποροῦμε, ὅπως ἀναφέραμε καὶ στὴν εἰσαγωγή, νὰ μετατρέπουμε τὸ πιθανοθεωρητικὸ πρόβλημα σ' ἕνα κλασικὸ «ντετερμινιστικὸ» γιὰ τὸν καθορισμὸ τῶν διαμέτρων τοῦ δικτύου γνωρίζοντας τὶς παροχὲς οἱ ὁποῖες ἐδῶ θὰ εἶναι «ἰδεατὲς» καὶ φυσικὰ ὄχι πραγματικές.

4. Ἡ κατανομὴ τῆς πιθανότητας ἀπώλειας φορτίου.

Ἡ ἀπώλεια φορτίου ἐκφράστηκε ἀπὸ τὴ σχέση (15) δηλαδὴ

$$h = \Sigma K_i \mu_i^\alpha\left[1 + \alpha\varepsilon_i C_{vi} + \gamma . \varepsilon_i^2 C_{vi}^2\right]$$

ὅπου $\gamma = \dfrac{\alpha(\alpha-1)}{2}$

α = 1,76 περίπου ἕως 2,00

$C_{vi} = \sigma_i/\mu_i$ = συντελεστὴς μεταβολῆς τῶν παροχῶν

ε_i = τυποποιημένη κανονικὴ κατανομὴ (0,1)

Ἂν λάβουμε ὑπόψη (σχ. 3.1) ὅτι ἡ παροχὴ στὸν κλάδο θὰ εἶναι $Q_n = Q_n' + Q_{n-1}' + \ldots\ldots + Q_j' + \ldots\ldots +$

$$+ Q_i' + \ldots\ldots + Q_2' + Q_1' \qquad (38)$$

μὲ τὴ βοήθεια τῶν σχέσεων

$$Q_i' = \mu_i' + \varepsilon_i \sigma_i$$

$$\mu_i = \mu_{(i-1)} + \mu_{(i-2)} + \ldots\ldots + \mu_2 + \mu_1$$

μποροῦμε νὰ πάρουμε μιὰ ἔκφραση τῆς ε_n, ποὺ ἀντιστοιχεῖ στὸ τμῆμα n σὰν συνάρτηση ὅλων τῶν $\varepsilon_i(0,1)$ ποὺ ἀντιστοιχοῦν στὰ κατάντη τοῦ n τμήματος ἢ κλάδους καὶ ποὺ συμβάλλουν στὴ θεωρούμενη γραμμὴ μεταφορᾶς. Οἱ τυχαῖες αὐτὲς μεταβλητὲς ε_i εἶναι φανερὰ ἀνεξάρτητες.

Ἔχουμε λοιπὸν $\varepsilon_n = \dfrac{\sigma_1'}{\sigma_n}\varepsilon_1 + \ldots\ldots + \dfrac{\sigma_n'}{\sigma_n}\varepsilon_n$ (39)

εἶναι δὲ $\sigma_n = (\sigma_1'^2 \ldots\ldots + \sigma_n'^2)^{1/2}$

ἢ $\sigma_n^2 = \sigma_1'^2 + \ldots\ldots + \sigma_n'^2$

Καταλήγουμε ἔτσι μὲ σχετικὲς ἀντικαταστάσεις ἀπὸ τὶς σχέσεις (38) στὴ σχέση (15) καὶ μὲ κατάλληλους σχετικοὺς στοιχειώδεις μετασχηματισμοὺς νὰ πάρουμε τὴ σχέση :

$$h = \sum_{i=1}^{n} K_i\mu_i^{\alpha} + \alpha \sum_{i=1}^{n} \alpha_i\,(\varepsilon_i') + \sum_{i=1}^{n} \beta_i\,(\varepsilon_i'^2) +$$

$$+ 2\sum_{j>i} \gamma_i\,\varepsilon_i'\,\varepsilon_j' \qquad (40)$$

ὅπου $\alpha_i = \sigma_i'\left[K_i\,\mu_i^{\alpha-1} + \right.$

$\left. + \ldots\ldots + K_n\mu_n^{\alpha-1}\right]^{(i\,=\,1,2,\ldots\ldots n)}$ καὶ $j>i$

$$\beta_i = \gamma(K_i + \ldots\ldots + K_n)\mu_i^{\alpha-2}\,\sigma_i'^2$$

$$\gamma_i = \gamma(K_j + \ldots\ldots + K_n)\mu_i^{\alpha-2}\,\sigma_i'\,\sigma_j'$$

Παρατηροῦμε ὅτι γιὰ α = 2,0 οἱ σχέσεις (46) γίνονται

$$h = \Sigma K_i\mu_i^2 + 2\Sigma\alpha_i\varepsilon_i' + \Sigma\beta_i\varepsilon_i'^2 + 2\sum_{j>i}\gamma_i\varepsilon_i'\,\varepsilon_j' \qquad (41)$$

ὅπου $\alpha_i = \sigma_i'(K_1\mu_1 + \ldots\ldots + K_i\mu_i)$

$\beta_i = (K_i + \ldots\ldots + K_n)\sigma_i'^2$

$\gamma_i = (K_j + \ldots\ldots K_n)\sigma_i'\sigma_j'$

Ἔτσι βλέπουμε γιὰ τὸν ὅρο $2\Sigma\gamma_i\,\varepsilon_i'\,\varepsilon_j'$ τῶν σχέσεων (40) ἢ (41) ὅτι τὰ ε_i' καὶ ε_j' εἶναι ἀνεξάρτητες τυχαῖες μεταβλητὲς (καὶ μάλιστα ἐδῶ εἶναι τυποποιημένης κανονικῆς κατανομῆς $\mu = 0$, $\sigma = 1$) καὶ ἐπὶ πλέον ὅτι :

Γενικὰ γιὰ τὶς ἀνεξάρτητες τυχαῖες μεταβλητὲς x, y [6] καὶ ἂν $E(x) = \mu_x$, $E(y) = \mu_y$, $Var(x) = \sigma_x^2$, $Var(y) = \sigma_y^2$ τότε ἡ μέση τιμὴ καὶ ἡ διακύμανση τῆς συναρτήσεως

$$Z = g(x,y)$$

δίδονται κατὰ προσέγγιση ἀπὸ τὶς παρακάτω συναρτήσεις (μὲ τὴ βοήθεια τοῦ τύπου τοῦ Taylor)

$$E(Z) = g(\mu_x, \mu_y) + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2}\,\sigma_x^2 + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2}\,\sigma_y^2\right)$$

$$Var.(Z) = (\Delta Z) = \left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2.\sigma_x^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2.\sigma_y^2$$

ὅπου οἱ μερικὲς παράγωγοι ὑπολογίζονται στὴ θέση (μ_x, μ_y)

Ἔτσι εἶναι εὔκολο νὰ βροῦμε γιὰ τὴ συνάρτηση

$$Z = g(x,y) = x,y \quad \text{ὅτι } E(Z) = 0 \text{ καὶ } Var.(Z) = 0$$

Ποὺ σημαίνει ὅτι γιὰ τὶς συναρτήσεις $2\gamma_i\,\varepsilon_i'\,\varepsilon_j'$ θὰ εἶναι ἡ μέση τιμή τους καὶ ἡ ἀπόκλισή τους μηδὲν δηλαδὴ ὅτι ὁ ὅρος $2\Sigma\gamma_i\,\varepsilon_i\,\varepsilon_j$ μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ ἀμελητέος καὶ νὰ τεθεῖ

$$2\Sigma\gamma_i\,\varepsilon_i\,\varepsilon_j \approx 0$$

Τὸ θέμα αὐτῆς τῆς ἀμελητέας συμβολῆς τοῦ παραπάνω ὅρου, ἐξετάσθηκε καὶ στὴν ἐργασία [15] τοῦ Δ. Χριστούλα μὲ τὴ θεώρηση τῶν συναρτήσεων κατανομῆς $\varepsilon_i\left(1 + \dfrac{2\gamma_i}{\alpha_i}\varepsilon_j'\right)\varepsilon_i'\chi$ καὶ ε_i καὶ τὴ σύγκριση τιμῶν τῆς ὁλικῆς πιθανότητας σὲ ὁρισμένες θέσεις τῆς τυχαίας μεταβλητῆς.

Μετὰ ἀπὸ τὴν πιὸ πάνω ἐξέταση τοῦ προβλήματος τῆς κατανομῆς καὶ μετὰ τὴν ἀπόδειξη ποὺ ἔγινε γιὰ τὴν ἀσήμαντη ἐπιρροὴ τοῦ ὅρου $2\Sigma\gamma_i\,\varepsilon_i\,\varepsilon_j$ τῆς σχέσεως (40), αὐτὴ ἡ σχέση καταλήγει ὡς ἐξῆς :

$$h = \sum_{i=1}^{i=n} K_i\,\mu_i^{\alpha} + \alpha\sum_{i=1}^{i=n}\alpha_i\,(\varepsilon_i') + \sum_{i=1}^{i=n}\beta_i\,(\varepsilon_i)^2 \qquad (42)$$

δηλαδὴ ἡ ὁλικὴ ἀπώλεια φορτίου κατὰ μῆκος μιᾶς γραμμῆς μεταφορᾶς ἐκφράζεται σὰν ἄθροισμα ἀνεξαρτήτων τυχαίων μεταβλητῶν.

Ἔτσι σύμφωνα μὲ τὸ κεντρικὸ ὁριακὸ θεώρημα [6,15] ἡ κατανομὴ τῆς ἀπώλειας φορτίου h θὰ τείνει πρὸς τὴν κανονικὴ κατανομὴ ὅσο τὸ πλῆθος τῶν κλάδων (ἢ τμημάτων) αὐξάνει καὶ ἑπομένως ἡ μεταβλητὴ u τῆς σχέσεως (16) θὰ τείνει νὰ λάβει τὴν τιμὴ $u = u_{(\varphi)} = \varepsilon$ τῆς τυποποιημένης κανονικῆς κατανομῆς γιὰ τὴν ἐξεταζόμενη στάθμη πιθανότητας φ.

5. Οἱ ὁριστικὲς ἐξισώσεις τῆς ἀπώλειας φορτίου καὶ οἱ ἰδεατὲς παροχὲς σχεδιασμοῦ.

5.1. Ἀναζήτηση τῆς ἐφαρμόσιμης τιμῆς τῆς μεταβλητῆς u'

Στὸ κεφάλαιο 3 ἔχουμε ἐκφράσει τὴν ἀπώλεια φορτίου κατὰ μῆκος μιᾶς γραμμῆς μεταφορᾶς μὲ τὶς ἐξισώσεις (30) καὶ (31), δηλαδή :

$$h = \Sigma K_i\left[\mu_i^{\alpha} + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\,\mu_i^{\alpha-2}.\sigma_i^2\right] +$$

$$+ \alpha.u_{(\varphi)}\left[\Sigma(K_i\,\mu_i^{\alpha-1}\sigma_i)^2 + 2\sum_{j>i}K_iK_j\mu_i^{(\alpha-1)}\,\mu_j^{(\alpha-1)}.\sigma_i^2\right]^{1/2}$$

ὅπου α = περίπου 1,76 ἕως 2,00

$u_{(\varphi)}$ = ἡ τιμὴ τῆς τυποποιημένης κατανομῆς γιὰ στάθμη πιθανότητας φ.

Ἡ πιὸ πάνω σχέση γιὰ α = 2,0 γίνεται

$$h = \Sigma K_i(\mu_i^2 + \sigma_i^2) + 2u_{(\varphi)}\left[\Sigma(K_i\mu_i\sigma_i)^2 + 2\sum_{i>i}K_iK_j\mu_i\mu_j\sigma_i^2\right]^{1/2}$$

Ἐπίσης μὲ τὶς ἐξισώσεις (35) καὶ (36) τοῦ κεφ. 3 ἔχουμε ἐκφράσει τὴν ἀπώλεια φορτίου κατὰ ἕνα τρόπο πιὸ ἁπλὸ καὶ χρήσιμο γιὰ τὶς ἐφαρμογὲς δηλαδή :

$$h = \Sigma K_i\left[(\mu_i^{\alpha} + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\,\mu_i^{\alpha-2}.\sigma_i^2\right] +$$

$$+ \alpha.u_{(\varphi)}\left[\Sigma(K_i\,\mu_i^{\alpha-1}\sigma_i)\right]$$

ἢ γιὰ α = 2,0

$h = \Sigma K_i(\mu_i^2 + \sigma_i^2 + 2u_{(\varphi)}\mu_i\sigma_i)$ ὅπου $u_{(\varphi)} = u_{(\varphi)}\cdot\dfrac{S}{S'}$

καὶ S = ἀπόκλιση ἀπώλειας φορτίου, $S' = \alpha.\,K_i\,u_i^{\alpha-1}\sigma_i$

Ἀπομένει τώρα νὰ προβοῦμε σὲ μιὰ ἔστω καὶ κατὰ προσέγγιση συσχέτιση, τῶν S καὶ S' ὥστε νὰ μπορέσουμε νὰ ἐκφράσουμε ὁριστικὰ τὴ σχέση (35) ἢ (36) καθορίζοντας τὴ μεταβλητὴ u' καὶ συγχρόνως μιὰ σχέση μεταξὺ τῶν $u_{(\varphi)}$ καὶ $u'_{(\varphi)}$.

Στὴ συνέχεια θέτουμε γιὰ εὐκολία καὶ συντόμευση τῶν ὑπολογισμῶν τὰ ἑξῆς :

$$(K_i\,\mu_i^{\alpha-1}.\sigma_i) = x_i \qquad (43)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{\sigma_i}{\sigma_j} < 1 \quad (j>i \text{ καὶ } \sigma_j>\sigma_i) \qquad (43\alpha)$$

$$y_i = \frac{x_i}{x_1} = \frac{K_i\,\mu_i^{\alpha-1}.\sigma_i}{K_1\,\mu_1^{\alpha-1}\,\sigma_1} \leq 1 \qquad (43\beta)$$

'Εὰν n = τὸ πλῆθος τῶν κλάδων ἢ τμημάτων σ' ἕνα ἀγωγὸ μεταφορᾶς

θέτουμε $$f(x) = \sum_{i=1}^{i=n} x_i^2 + 2\sum_{j>i} x_i\, x_j\, \alpha_{ij} \qquad (43\gamma)$$

$$F(x) = (x_1 + \ldots\ldots + x_n)^2 = (\sum_{i=1}^{i=n} x_i)^2 \qquad (43\delta)$$

$$g(y) = \frac{f(x)}{F(x)} = \leq 1 \qquad (43\varepsilon)$$

Εἶναι φανερὸ τότε ὅτι:

$$\left(\frac{S}{\alpha}\right)^2 = f(x) = \Sigma(K_i \mu_i^{\alpha-1}\sigma_i)^2 +$$
$$+ 2\sum_{j>i} K_i\, K_j\, \mu^{\alpha-1}\, \mu_j^{\alpha-1}\, \sigma_i^2 \qquad (43\sigma\tau)$$

$$\left(\frac{S'}{\alpha}\right)^2 = F(x) = (\Sigma K_i\, \mu_i^{\alpha-1}\sigma_i)^2 \qquad (43\zeta)$$

$$\left(\frac{S}{S'}\right)^2 = \frac{f(x)}{F(x)} = g(y) \qquad (43\eta)$$

Ἔτσι τὸ τελικό μας ἐνδιαφέρον συγκεντρώνεται στὴν εὕρεση τῆς $g(y)$ ἢ τουλάχιστον στὸν καθορισμὸ κάποιας κατώτερης ὁριακῆς τιμῆς, της, ἡ ὁποία συνήθως παρατηρεῖται στὸ πεδίο ἐφαρμογῆς τῶν x_i ἢ τῶν ἀντίστοιχων $y_i = \frac{x_i}{x_1}$.

Πράγματι θὰ ἔχουμε

$$g(y) = \frac{f(x)}{F(x)} = \frac{\Sigma x_i^2 + 2\sum_{j>i} x_i\, x_j \alpha_{ij}}{(\Sigma x_i)^2} =$$
$$= \frac{\Sigma y_i^2 + 2\sum_{j>i} \alpha_{ij}\, y_i\, y_j}{(\Sigma y_i)^2} \qquad (44)$$

ὅπου $y_1 = 1$

Ἂν θέσουμε ἔπειτα

$$y = \begin{bmatrix} 1 \\ y_2 \\ \\ y_n \end{bmatrix} \qquad \varepsilon = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ . \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (45)$$

$$A_\alpha = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_{12} & \alpha_{1n} \\ \alpha_{12} & 1 & \alpha_{2n} \\ & & \\ \alpha_{1n} & \alpha_{2n} & 1 \end{bmatrix} \quad A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ & & \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \qquad (45\alpha)$$

καὶ ἐπειδὴ $(\Sigma y_i)^2 = \Sigma y_i^2 + 2\sum_{j>i} y_i\, y_j$ ἡ σχέση (44) μπορεῖ νὰ γραφεῖ σὲ μητρικὴ μορφή.

$$g(y) = \frac{f(x)}{F(x)} = \frac{f(y)}{F(y)} = \frac{y \,.\, A_\alpha \,.\, y^T}{y \,.\, A_1 \,.\, y^T} < 1 \qquad (46)$$

ὅπου οἱ $f(y)$ καὶ $F(y)$ εἶναι τετραγωνικὲς μορφὲς [4,11] καὶ y^T = ἡ ἀνάστροφος μήτρα τῆς y (βλ. σχέση 46).

Ἡ πιὸ πάνω σχέση (46) ἐπιτρέπει ἐνδεχομένως τὴ θεωρητικὴ ἀναζήτηση τῶν ὁριακῶν τιμῶν τῆς $g(y)$ γιὰ τὸ πεδίο ἐφαρμογῆς τῶν y_i, καὶ εἶναι δυνατὸ νὰ καθοριστεῖ μὲ κάποια προσέγγιση ὥστε νὰ περιλαμβάνει τὶς περισσότερες τιμὲς τῶν y_i ποὺ συναντιένται στὶς ἐφαρμογές.

Πάντως ἐδῶ ἡ ἀναζήτηση θὰ γίνει τελικὰ σὲ ὁρισμένες χαρακτηριστικὲς ὁριακὲς περιπτώσεις ἀφοῦ πρῶτα γίνουν καὶ ὁρισμένοι χρήσιμοι ἀλγεβρικοὶ μετασχηματισμοὶ τῆς (43ε) καὶ ἔτσι θὰ ἐξάγουμε σχετικὰ συμπεράσματα γιὰ τὴν ἐλάχιστη τιμὴ τῆς $g(y)$. Μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο καὶ μὲ τὸν ἔλεγχο ποὺ θὰ γίνει μὲ συγκεκριμένα ἀριθμητικὰ παραδείγματα θὰ δεχθοῦμε στὴ συνέχεια μιὰ κατώτερη ὁριακὴ τιμὴ τῆς $g(y)$ ποὺ συνήθως παρουσιάζεται στὶς ἐφαρμογές. Ἔτσι θὰ ἔχουμε πρακτικὰ καταλήξει στὸ ἐπιθυμητὸ συμπέρασμα καὶ μάλιστα μὲ ἀρκετὰ περιθώρια ἀσφαλείας, τὰ ὁποῖα θὰ ἐπιδιώξουμε, ὥστε τελικὰ νὰ μὴν εἶναι ἀπόλυτα ἀναγκαία ἡ ἀκριβὴς θεωρητικὴ ἀναζήτηση τῆς κατώτερης ὁριακῆς τιμῆς τῆς $g(y)$.

Ἐὰν θέσουμε $y = y = \varepsilon$ δηλαδὴ $y_i = 1$

τότε $$(\Sigma y_i)^2 = n^2 \text{ καὶ } y \,.\, A_\alpha \,.\, y^T = n + 2\sum_{j>i} \alpha_{ij}$$

$$\text{καὶ } g(y) = g(\varepsilon) = g(1) = \frac{n + 2\Sigma\alpha_{ij}}{n^2} \qquad (47)$$

Ἐπίσης ἂν θέσουμε $y_2, \ldots . y_n = 0$ τότε $g(y) = g(0) = 1$ (48)

Ἀπὸ τὶς σχέσεις (47) καὶ (48) προκύπτει ὅτι

$$g(\varepsilon) - g(0) = \frac{2\Sigma\alpha_{ij} - (n^2 - n)}{n^2}$$

Ἀπὸ τὶς σχέσεις (44) καὶ (47) θὰ ἔχουμε

$$g(y) - g(1) = \frac{\Sigma y_i^2 + 2\Sigma\alpha_{ij}\, y_i\, y_j}{(\Sigma y_i)^2} - \frac{n + 2\Sigma\alpha_{ij}}{n^2} =$$

$$= \frac{\Sigma y_i^2 + 2\Sigma\alpha_{ij}\, y_i\, y_j}{(\Sigma y_i)^2} + \frac{-n^2 + \frac{2n(n-1)}{2} - 2\Sigma\alpha_{ij}}{n^2} =$$

$$= \frac{\Sigma y_i^2 + 2\Sigma\alpha_{ij}\, y_i\, y_j}{(\Sigma y_i)^2} - 1 - \left(\frac{2}{n^2}\right)\Sigma(\alpha_{ij} - 1) \qquad (49)$$

Στὴ σχέση (49) τὸ πλῆθος α_{ij} εἶναι $\frac{n(n-1)}{2}$

Ἐπίσης ἡ σχέση (49) γράφεται ἂν θέσουμε $\frac{\Sigma y_i^2}{\Sigma y_i^2} = 1$ καὶ λάβουμε ὑπόψη ὅτι $(\Sigma y_i)^2 = y_i^2 + 2\sum_{j>i} y_i y_j$

$$g(y) - g(1) = \frac{2\Sigma y_i\, (\alpha_{ij}\, 1) \,.\, y_j}{(\Sigma y_i)^2} - \frac{2}{n^2}\Sigma(\alpha_{ij} - 1) \qquad (50)$$

Ἐπειδὴ ὅμως $y_i \leq 1$ καὶ $(\Sigma y_i)^2 \leq n^2$

ἡ σχέση (50) γίνεται $$g(y) - g(1) \geq \frac{2}{n^2}\sum_{j>i}(\alpha_{ij} - 1)(y_i\, y_j - 1)$$
$$(i = 1 \ldots\ldots n) \qquad (51)$$

Ἀπὸ τὶς σχέσεις (51) καὶ (52) ἔχουμε

$$g(y) - g(1) \geq \frac{2}{n^2}\Sigma(\alpha_{ij} - 1)(y_i y_j - 1) \qquad (52)$$

ἢ ἐπειδὴ $\alpha_{ij} - 1 < 0$ καὶ $y_i y_j - 1 < 0$ θὰ εἶναι

$$g(y) - g(1) \geq \frac{2}{n^2}\Sigma(1 - \alpha_{ij})\,(1 - y_i y_j) \qquad (52\alpha)$$

Τέλος ἐπειδὴ $g(y) \leq 1$ καὶ $g(0) = 1$ θὰ ἔχουμε τελικὰ ἂν λάβουμε ὑπόψη καὶ τὴν (52α).

$$1 \geq g(y) \geq g(1) + \frac{2}{n^2}\Sigma(1 - \alpha_{ij})(1 - y_i y_j) \qquad (53)$$

ὅπου ἡ $g(1) = \frac{n + 2\Sigma\alpha_{ij}}{n^2}$ σύμφωνα μὲ τὴ σχέση (47.)

Ἀπὸ τὴν πιὸ πάνω σχέση (53) μποροῦμε νὰ βροῦμε σὲ χαρακτηριστικὲς ὁριακὲς περιπτώσεις ἢ καὶ σὲ διάφορες χαρακτηριστικὲς τιμὲς τοῦ διανύσματος $y(1, y_1, \ldots . y_n)$ τὶς ἐλάχιστες τιμὲς τῆς $g(y)$. Μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο μποροῦμε γιὰ τὸ συνηθισμένο πεδίο τῶν τιμῶν y ποὺ παρουσιάζεται στὶς ἐφαρμογὲς τὴν ἀντίστοιχη συνηθισμένη διακύμανση τῆς $g(y)$ καὶ ἑπομένως νὰ καθορίσουμε καὶ μιὰ κατὰ ἱκανοποιητικὴ προσέγγιση κατώτερη ὁριακὴ τιμή της.

Στὴ συνέχεια γιὰ τὸ σκοπὸ αὐτὸ ὑποθέτουμε μερικὲς συνηθισμένες ὁριακὲς τιμὲς τόσο τῶν α_{ij} ὅσο καὶ τῶν y_i σὲ συνάρτηση βέβαια μὲ τὶς ἀποδεκτὲς ὁριακὲς ταχύτητες στὰ δίκτυα ἀρδεύσεως (ἀπὸ τὶς ὁποῖες ἐξαρτιένται τὰ παραπάνω μεγέθη ποὺ εἶναι συναρτήσεις τῶν διαμέτρων καὶ παροχῶν).

Ἔτσι βρίσκουμε στὶς πιὸ κάτω πέντε χαρακτηριστικὲς περιπτώσεις (α), (β), (γ), (δ), (ε) διάτορες κατώτερες ὁριακὲς τιμὲς τῆς $g(y)$ ἐνῶ στὴν ἕκτη (στ) περίπτωση δίνουμε μερικὲς συνηθισμένες μέσες χαρακτηριστικὲς τιμὲς τῶν μεγεθῶν Q, u, D, y_i, α_{ij}, κλπ. ποὺ συχνὰ συναντιένται στὰ δίκτυα ἀρδεύσεως.

α) Γιὰ ἀριθμὸ $n = 2$ κλάδων

$$g(y) \geq \frac{2 + 2\alpha_{12}}{4} + \frac{2}{4}(1-\alpha_{12})(1-y_1 y_2)$$

καὶ ἐπειδὴ $y_1 = 1{,}0$ $g(y) \geq \frac{1+\alpha_{12}}{2} + \frac{1}{2}(1-\alpha_{12})(1-y_2)$

(ι) Ἐὰν $y_2 = y_1 = 1{,}0$ ὁπότε τὸ σ_1 θὰ διαφέρει ἐλάχιστα τοῦ σ_2 δηλαδὴ $\alpha_{12} \approx 1{,}0$ ἢ ἔστω $\alpha_{12} \approx 0{,}90$ ἢ $0{,}95$, τότε $g(y) \geq 0{,}95$ ἢ $0{,}975$

(ιι) Ἐὰν τὸ $y_1 \ll y_2$, δηλαδὴ $\sigma_1 \ll \sigma_2$ τότε τὸ α_{12} θὰ εἶναι πολὺ μικρό, π.χ. σὲ μιὰ ὁριακὴ περίπτωση ποὺ μπορεῖ συνήθως νὰ ἐμφανιστεῖ σὲ ἐφαρμογὲς εἶναι $\alpha_{12} \approx 0{,}10$.

Βρίσκουμε τότε ὅτι $y_2 = \frac{K_2\mu_2\sigma_2}{K_1\mu_1\sigma_1}\left(\text{ἢ } \frac{K_2\mu_2^{\alpha-1}\sigma_2}{K_1\mu_1^{\alpha-1}\sigma_1}\right)$ ὁπότε γιὰ

$$\alpha = 2{,}0 \; y_2 = \frac{K_2\mu_2\sigma_2}{K_1\mu_1\sigma_1} = \frac{K_2(100\mu_1)(10\sigma_1)}{K_1\mu_1\sigma_1} = 1000\frac{K_2}{K_1} =$$

$$= 1000\frac{l_2}{l_1}\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{16/3} < 1000\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{16/3} <$$

$$< \text{συνήθως } (1000) \times (1{,}0 \times 10^{-4}) = 0{,}10$$

Αὐτὸ συμβαίνει γιατὶ συνήθως πάντοτε $l_2 < l_1$ (l_1 = τὸ μῆκος τοῦ ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως) καὶ γιὰ τὴν περίπτωση αὐτὴ εἶναι $D_1/D_2 < 0{,}178$ δηλαδὴ

$$(D_1/D_2)^{16/3} < 1{,}0 \times 10^{-4} \text{ (βλ. σχετ. διάγρ. 5.1)}$$

Ἐπομένως μὲ τὶς τιμὲς αὐτὲς θὰ εἶναι

$$g(y) > \frac{1 + 0{,}10}{2} + \frac{1}{2}(1-0{,}10)(1-0{,}10) = 0{,}955$$

(ιιι) Γιὰ μιὰ ἐνδιάμεση τιμή, π.χ. $\alpha_{12} = 0{,}707$ $g(y) > \frac{1+0{,}707}{2} =$

$= 0{,}853$

ὅταν $y_2 = y_1$ ἐνῶ ἂν $y_2 < y_1$, π.χ. $y_2 = 0{,}8$ τότε ἡ $g(y)$ εἶναι ἀκόμα μεγαλύτερη, π.χ. $g(y) = 0{,}882$

β) Γιὰ ἀριθμὸ $n = 3$ κλάδων

$$g(y) \geq \frac{3 + 2(\alpha_{12}+\alpha_{13}+\alpha_{23})}{9} + \left(\frac{3}{9}\right).$$

$$.[(1-\alpha_{12})(1-y_2) + (1-\alpha_{13})(1-y_3) + (1-\alpha_{23})(1-y_2 y_0)]$$

Εὔκολα βρίσκουμε ὅτι

(ι) Γιὰ $\alpha_{12} \simeq \alpha_{13} \simeq 0{,}10$ ὁπότε $\alpha_{23} \simeq 0{,}95$ καὶ ἂν θεωρήσουμε ὅτι τουλάχιστο y_2, $y_3 < 0{,}50$ προκύπτει ὅτι $g(y) > 0{,}818$

(ιι) Ἂν ὑποθέσουμε μετὰ ὅτι τὰ α_{12}, α_{13}, α_{23} εἶναι τὰ μεγαλύτερα δυνατὰ δηλαδή, π.χ. $\alpha_{12} = 0{,}707$, $\alpha_{13} = 0{,}58$ καὶ $\alpha_{23} = 0{,}82$ καὶ ὅτι γενικὰ τὰ y_2 εἶναι κοντὰ στὴ μονάδα, δηλαδή, π.χ. y_1, $y_2 = 0{,}95$ καὶ $y_3 = 0{,}90$, ποὺ εἶναι ὁπωσδήποτε μιὰ δυσμενὴς παραδοχή, καταλήγουμε

$$g(y) > 0{,}811$$

γ) Ἐκτὸς ἀπὸ τὶς πιὸ πάνω περιπτώσεις $n = 2$ καὶ 3 κλάδων λαμβάνουμε γιὰ ἐξέταση καὶ μιὰ περίπτωση μὲ περισσότερους κλάδους, π.χ. $n = 10$ ὅπου ἐξετάζουμε μάλιστα τὶς ἑξῆς ὑποπεριπτώσεις :

(ι) Ἂν θεωρήσουμε σὰν ὁριακὴ περίπτωση τὸ $\alpha_{1\,2}, \alpha_{1\,3} \cdots \cdots \alpha_{1\,10} = 0{,}10$ δηλαδὴ πολὺ μικρὰ τότε ὅλα τὰ ὑπόλοιπα $\alpha_{ij} > 0{,}95$ θὰ εἶναι κοντὰ στὴ μονάδα.

Σ' αὐτὴ τὴν περίπτωση λοιπὸν ἂν τελικὰ δεχθοῦμε $\alpha_{1,j} = 0{,}10$ καὶ $\alpha_{ij} = 0{,}95$ $(i \neq 1)$ καὶ ἐπὶ πλέον δώσουμε συντηρητικὲς τιμὲς στὰ $y_2, \ldots\ldots, y_{10} = 0{,}50$ καταλήγουμε σὲ μιὰ τιμὴ τῆς $g(y) > 0{,}91$

(ιι) Μιὰ ἄλλη περίπτωση θὰ εἶναι νὰ δεχθοῦμε τὶς ἑξῆς τιμὲς γιὰ τὰ $\alpha_{1j} = {}^1/(j)^{1/2}$:

Δηλαδὴ $\alpha_{1,2} = 0{,}707$, $\alpha_{1,3} = 0{,}577$, $\alpha_{1,4} = 0{,}500$, $\alpha_{1,5} = 0{,}447$
$\alpha_{1,6} = 0{,}408$, $\alpha_{1,7} = 0{,}378$, $\alpha_{1,8} = 0{,}354$, $\alpha_{1,9} = 0{,}333$,
$\alpha_{1\cdot 10} \cdot 0{,}316$ ὁπότε προσδιορίζονται τὰ ὑπόλοιπα
$\alpha_{i,j} = (i/j)^{1/2}$

Βρίσκουμε τότε γιὰ τὴν

$$g(y) > \frac{10 + 2\Sigma\alpha_{ij}}{100} + \frac{2}{100}[\Sigma(1-\alpha_{ij})(1-y_i y_j)]$$

ἂν λάβουμε ὑπόψη ὅτι $\Sigma\alpha_{ij} = 30{,}742$ καὶ ὅτι μόνο μὲ τὸν πρῶτο ὅρο τῆς πιὸ πάνω σχέσεως ἔχουμε $g(y) > 0{,}715$, ἂν δὲ δεχθοῦμε ἔστω καὶ μερικὰ ἀπὸ τὰ $y \neq 1$, π.χ. $y_6 \cdots\cdots, y_{10} = 0{,}70$ (ἐνῶ $y_2 \cdots\cdots y_5 = 1{,}0$ πράγμα ποὺ εἶναι δυσμενὲς) θὰ ἔχουμε $g(y) > 0{,}75$.

δ) Στὶς παραπάνω εἰδικὲς ὁριακές, ὅπως θὰ μπορούσαμε νὰ ποῦμε κατὰ ἕνα τρόπο, περιπτώσεις μέσα στὶς ὁποῖες κινοῦνται συνήθως τὰ μεγέθη α_{ij} καὶ y_i, στὶς ἐφαρμογὲς γιὰ δίκτυα ποὺ ἔχουν περίπου μέχρι 10 κλάδους τελευταίας ἢ καὶ ἀνωτέρας τάξεως, ἡ ἐξέταση ποὺ ἔγινε ἔδειξε ὅτι γενικὰ $g(y) > 0{,}75$ περίπου καὶ μάλιστα γιὰ ἕνα εὐρὺ πεδίο τιμῶν, π.χ. $0{,}10 \leqslant \alpha_{ij} \leqslant 0{,}95$ καὶ y_i μὲ ἀντίστοιχες τιμὲς ἀλλὰ ποὺ πάρθηκαν πολὺ δυσμενεῖς.

Γενικότερα μάλιστα θὰ μπορούσαμε νὰ ἐπεκτείνουμε τὶς παραπάνω σκέψεις μας κατὰ κάποιο ἐπαγωγικὸ τρόπο δηλαδὴ ἀντὶ γιὰ $n = 10$ κλάδους νὰ θεωρήσουμε περισσότερους, ἔτσι :

(ι) Π.χ. γιὰ n κλάδους ὅταν $\alpha_{1,j} \approx 0{,}10$ καὶ τὰ ὑπόλοιπα

$$\alpha_{ij} = 0{,}95 \text{ τότε } g(y) = \frac{n + 0{,}10 . n + 0{,}95(n^2 - 2n)}{n^2} =$$

$$= 0{,}95 - \frac{0{,}80}{n} \text{ ποὺ γιὰ } n > 10 \text{ προκύπτει } g(y) > 0{,}87$$

(ιι) Ὅμοια ὅπως καὶ προηγούμενα, στὴν περίπτωση $n = 10$, ἂν δεχθοῦμε τὶς μέγιστες τιμὲς τῶν $\alpha_{1,j} = (1/j)^{1/2}$ μποροῦμε νὰ ἐξετάσουμε ἕνα μεγαλύτερο πλῆθος π.χ. $n = 50$, δεχόμενοι ἀντίστοιχες τιμὲς τῶν y_i δυσμενεῖς, π.χ. γιὰ τὴν πρώτη δεκάδα τῶν $y_i = y_2, \ldots\ldots, y_{10} = 0{,}80$ ἕως $1{,}00$, γιὰ τὴ δεύτερη δεκάδα τῶν $y_i = y_{11} \cdots\cdots y_{20} \leqslant 0{,}70$, γιὰ τὴν τρίτη $0{,}40$ ἕως $0{,}50$ κ.ο.κ. ὁπότε θὰ βροῦμε γιὰ τὴ $g(y) > 0{,}75$.

Γενικότερα παρατηροῦμε ὅτι στὶς πιὸ κάτω περιπτώσεις ἐξετάσαμε γραμμὲς μεταφορᾶς ποὺ ἐξυπηρετοῦν κλάδους σχετικὰ ὁμοιόμορφους ὅπως καὶ στὸ παράδειγμα 5.1 στὸ ὁποῖο μάλιστα βρίσκουμε ὅτι ἡ $g(y) \geqq 0{,}81$.

ε) Παρατηροῦμε ὅμως ὅτι οἱ τιμὲς $g(y)$ μποροῦν σὲ εἰδικὲς περιπτώσεις, ὅπως, π.χ. στὸ παράδειγμα 5.2 νὰ κατεβοῦν καὶ σὲ χαμηλότερα ἀπὸ τὰ κατώτερα ὅρια ποὺ προσδιορίζονται πιὸ πάνω, ἀλλὰ στὴν περίπτωση αὐτὴ ἡ τιμὴ τοῦ ὅρου $\alpha.u'S'$ σὲ σχέση μὲ τὸ συνολικὸ h μικραίνει ὥστε τελικὰ ἡ ποσοστιαία συμμετοχὴ αὐτοῦ $\left(\text{δηλαδὴ ὁ ὅρος } \frac{\alpha.u'S'}{h}\right)$ νὰ μὴν αὐξάνει.

Σχετικά, μάλιστα, ἀναφερόμαστε πιὸ κάτω ἐκτενέστερα τόσο στὴν ἐξέταση τοῦ ὅρου $\lambda = \frac{\alpha.u'.S'}{h}$ καὶ τὴ διακύμανσή του ἀνάλογα μὲ τὸ πλῆθος τῶν στομίων R τὸ συντελεστὴ C_v μεταβολῆς τῆς παροχῆς καὶ τὴν τιμὴ τῆς $u'_{(\varphi)}$, ὅσο καὶ στὶς συγκεκριμένες τιμὲς τῆς $g(y)$ στὸ ἀριθμητικὸ παράδειγμα 5.2. ὅπου τελικὰ παρὰ τὸ γεγονὸς ὅτι ἡ $g(y) = 0{,}593$ ἐπειδὴ τὸ λ μικραίνει σημαντικά, ἡ αὔξηση τοῦ h παραμένει μέσα στὰ περιθώρια ποὺ καθορίζουμε πιὸ κάτω.

στ) Θὰ δώσουμε στὴ συνέχεια μερικὲς συνηθισμένες τιμὲς παροχῶν, διαμέτρων κλπ. ποὺ ἀπαντιένται στὰ ἀρδευτικὰ δίκτυα ἀνάλογα μὲ τὸ πλῆθος τῶν στομίων ὑδροληψίας ποὺ ἐξυπηρετοῦν (Διάγραμμα Δ.5.1). Ἀπὸ αὐτὲς θὰ ἐκτιμήσουμε τὶς ἀντίστοιχες μέσες τιμὲς τῶν μεγεθῶν y_i καὶ $\alpha_{1,i} = \sigma_1/\sigma_i$ ὥστε νὰ ἀποκτήσουμε μιὰ ἀντίληψη τοῦ μεγέθους τῶν y_i καὶ $\alpha_{1,i}$.

Θεωρώντας ἔτσι ἕναν ἀγωγὸ μεταφορᾶς ποὺ τροφοδοτεῖ ἑκατὸ κλάδους τελευταίας τάξεως ποὺ ὁ καθένας πάλι ἐξυπηρετεῖ 10 στόμια καὶ δίδοντας τιμὲς ἀπὸ $P = \frac{1}{3}$ ἕως $P = 2/3$ βρίσκουμε ἂν δεχτοῦμε εἰδικὴ παροχὴ ἀρδεύσεως γιὰ 18ωρο λειτουργία δικτύου $0{,}082$ /λ/δλ/στρεμ., ὅτι ἡ παροχὴ q_0 κάθε στομίου γιὰ ἐπιφάνεια ἀγροτεμαχίου 25 στρεμ. θὰ κυμαίνεται ἀπὸ q_0 = 3,08 ἕως 6,15 λ/δλ καὶ ἀντίστοιχα γιὰ 45 στρεμ. ἀπὸ q_0 = 5,54 ἕως 11.07 λ/δλ.

'Αντίστοιχα ἡ διακύμανση τῆς παροχῆς γιὰ ἕνα κλάδο τελευταίας τάξεως μὲ R = 10 στόμια καὶ ποιότητες λειτουργίας, π.χ. φ = 0,90 — 0,95 — 0,99 μπορεῖ νὰ ὑπολογιστεῖ εὔκολα μὲ τὶς σχέσεις (3) καὶ (4) τοῦ κεφαλ. 1 ἐφαρμόζοντας σὰν ἀκραῖες ὁριακὲς τιμές, τὶς πιὸ πάνω τιμὲς τῆς q_0. Βρίσκουμε ἔτσι τὰ διαστήματα μέσα στὰ ὁποῖα βρίσκεται συνήθως ἡ τιμὴ τῆς παροχῆς σὲ συνάρτηση μὲ τὸ πλῆθος τῶν στομίων R. Μετὰ ἐκτιμᾶμε τὴν ἀντίστοιχη διακύμανση τῆς διαμέτρου, μὲ ὁριακὲς ταχύτητες αὐτὲς ποὺ ἀναφέρονται στὸ κεφάλαιο 7 καὶ τέλος δεχόμαστε μέσες τιμὲς γιὰ τὴ διάμετρο D_i, οἱ ὁποῖες εἶναι τελείως ἐνδεικτικὲς καὶ ἁπλῶς ἐκφράζουν κατὰ προσέγγιση μιὰ τάξη μεγέθους διαμέτρου ποὺ μπορεῖ νὰ ποῦμε ὅτι εἶναι καὶ ἕνας κατὰ κάποιο τρόπο μέσος στατιστικὸς ὅρος τῶν μεγεθῶν D_i ποὺ παρουσιάζονται σὲ ἐφαρμογές. Στὴ συνέχεια μὲ τὶς διαμέτρους αὐτὲς σὰ βάση ἐκτιμοῦμε τὶς τιμὲς y_j ($j = 2,\ldots\ldots,i$) καὶ $\alpha_{1,j}$ ἀπὸ τὶς σχέσεις:

$$y_j = \frac{K_j\mu_j\sigma_j}{K_1\mu_1\sigma_1} = \left(\frac{R_j}{R_1}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{K_j}{K_1}\right) = \left(\frac{R_j}{R_1}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{D_1}{D_j}\right)^{16/3} j = 2,\ldots i$$

καὶ $\alpha_{1,i} = \dfrac{\sigma_1}{\sigma_i}$; R_1 = 10 στόμια

$\mu = R.p.q_0$ καὶ $\sigma = [R.p.(1-p)]^{1/2}.q_0$

Τὰ ἀποτελέσματα ποὺ βγῆκαν μὲ κάποιες προσεγγίσεις ἐμφανίζονται στὸ διάγραμμα Δ5.1.

Βλέπουμε ἀπ' τὸ διάγραμμα αὐτὸ ὅτι οἱ τιμὲς ποὺ χρησιμοποιήθηκαν πιὸ πάνω στὶς εἰδικὲς περιπτώσεις (α) ἕως (δ) γιὰ τὰ y καὶ α_{1j}, ὥστε νὰ ὑπολογιστεῖ μιὰ λογικὰ κατώτερη τιμὴ τῆς συναρτήσεως $g(y)$ βρίσκονται μέσα σὲ πιθανὰ ὅρια, ἄσχετα ἂν γιὰ λόγους δυσμενέστερους πάρθηκαν σὲ ὁρισμένες περιπτώσεις σχετικὰ συντηρητικά.

Οἱ τιμὲς τῶν y καὶ α_{1j} τοῦ διαγράμματος Δ.5.1 καλύπτουν κατὰ προσέγγιση ἐκτάσεις ποὺ φθάνουν περίπου μέχρι 45.000 στρέμματα. Τέτοιες ἐκτάσεις δὲν παρατηροῦνται εὔκολα σὲ μιὰ μόνο ἑνιαία ζώνη ἀρδεύσεως καὶ πολὺ περισσότερο σὲ μιὰ μόνο γραμμὴ μεταφορᾶς. Πράγματι στὶς συνηθισμένες περιπτώσεις τῶν ἀρδευτικῶν δικτύων οἱ γραμμὲς μεταφορᾶς μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ ὅτι οἱ περισσότερες θὰ ἐξυπηρετοῦν μέχρι 100 στόμια καὶ μερικὲς μέχρι 400 ἢ 500 τὸ πολύ.

Τέλος ἀπ' τὸ διάγραμμα Δ.5.1 βλέπουμε τὴ μεγάλη μείωση τῶν τιμῶν y_i μὲ τὴν αὔξηση τοῦ ἀριθμοῦ τῶν στομίων ποὺ δείχνουν ὅτι ἡ συνάρτηση $g(y)$ πράγματι διατηρεῖται σὲ σχετικὰ ὑψηλὲς τιμές.

5.2. Συμπεράσματα ἀπὸ τὶς πιὸ πάνω διερευνήσεις καὶ ἀναζητήσεις γιὰ τὴν u'

Μποροῦμε τελικὰ μετὰ ἀπὸ ὅλες τὶς πιὸ πάνω ἐξετάσεις ποὺ ἔγιναν γιὰ νὰ ἐκτιμηθεῖ μιὰ κατώτερη ὁριακὴ τιμὴ τῆς $g(y)$ ποὺ συνήθως παρουσιάζεται στὶς ἐφαρμογές, καὶ στὴ συνέχεια μιὰ κατάλληλη τιμὴ τῆς $u' = u.\dfrac{S}{S'} = u[g(y)]^{1/2}$ νὰ δεχθοῦμε ὅτι:

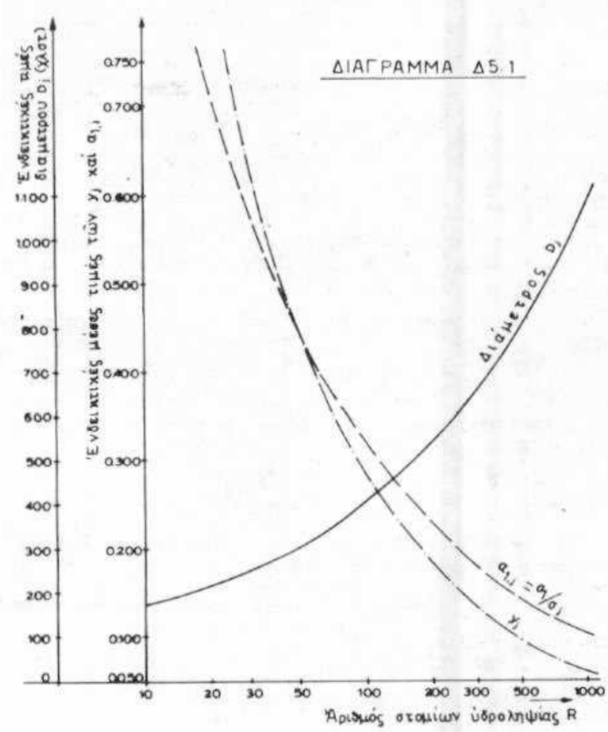
$$g(y) > 0{,}64 \text{ ἕως } 0{,}70 \text{ περίπου}$$

ἢ ἐπειδὴ $g(y) = \dfrac{f(x)}{F(x)} = \left(\dfrac{S}{S'}\right)^2$ θὰ εἶναι

$$\frac{S}{S'} = [g(y)]^{1/2} > 0{,}80 \text{ ἕως } 0{,}84 \text{ περίπου}$$

Στὶς ἐξισώσεις ὅμως (35) ἢ (36) θὰ εἶναι γιὰ κάθε κλάδο i τὸ ποσοστὸ συμμετοχῆς τοῦ δεύτερου ὅρου $\alpha.u'.S'$ ἢ $2u'.S'$ σὲ σχέση πρὸς τὸ σύνολο τῆς ἀπώλειας φορτίου ἴσο πρὸς

$$\lambda = \frac{\alpha.u'_{(\varphi)}.\mu_i^{\alpha-1}.\sigma_i}{\mu_i^{\alpha} + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\mu_i^{\alpha-2}\sigma_i^2 + \alpha.u'_{(\varphi)}.\mu_i^{\alpha-1}.\sigma_i} =$$



$$= \frac{\alpha.u_{(\varphi)}.C_{vi}}{1 + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}C_{vi}^2 + \alpha u_{(\varphi)}C_{vi}} \quad (54)$$

ἢ γιὰ α = 2,0

$$\lambda = \frac{2u_{(\varphi)}C_{vi}}{1 + C_{vi}^2 + 2u_{(\varphi)}C_{vi}} \quad (55)$$

'Η σχέση (61) ἂν λάβουμε ὑπόψη ὅτι $C_{vi} = \left(\dfrac{1-p}{R.p}\right)^{1/2}$ καὶ θεωρήσουμε ὅτι τὸ ἐλάχιστο R_i = 10 στόμια θὰ δώσει τὶς ἑξῆς τιμὲς στὸ λ γιὰ $u_{(\varphi)}$ = 1,28, 1,65 καὶ 2,33 $\left(p = \dfrac{1}{3} \text{ ἕως } 2/3\right)$

			Γιὰ u = 1,28	= 1,65	= 2,33
P = 1/3	R=10	C_v=0,447	0,488	0,550	0,580
	R=20	C_v=0,316	0,424	0,487	0,515
P = 2/3	R=10	C_v=0,224	0,353	0,413	0,498
	R=20	C_v=0,158	0,283	0,337	0,418
	R=30	C_v=0,129	0,245	0,295	0,371

'Απὸ τὶς πιὸ πάνω τιμὲς τοῦ λ βγαίνει τὸ συμπέρασμα γιὰ τὶς συνηθισμένες περιπτώσεις $\varphi \leq 0{,}95$ καὶ $R > 10$ ὅτι $\lambda \leq 0{,}50$. Βέβαια σὲ ἀκραῖες περιπτώσεις ὅπου $R \leq 10$ καὶ τὸ $C_v \geq 0{,}45$ τὸ λ μπορεῖ νὰ πάρει καὶ μεγαλύτερες τιμές. Αὐτὸ ὅμως ἂν συμβεῖ θὰ εἶναι τελείως περιορισμένο σὲ κάποια εἰδικὴ γραμμὴ μεταφορᾶς ἑνὸς δικτύου.

Μὲ τὴν εὐκαιρία μάλιστα δίδουμε καὶ τὸ συντελεστὴ μεταβολῆς ἀπώλειας φορτίου $C_{vh} = \dfrac{2\mu_i\sigma_i}{\mu_i^2 + \sigma_i^2} = \dfrac{2^2 C_{vi}}{1 + C_{vi}^2}$ ὅπου πάρθηκε α = 2,0 καὶ C_{vi} εἶναι ὁ συντελεστὴς μεταβολῆς τῶν παροχῶν. Γιὰ C_{vi} = 0,45 ἔχουμε C_{vh} = 0,75 ποὺ εἶναι συνήθως καὶ μιὰ μέγιστη τιμή.

'Επανερχόμενοι μετὰ ἀπὸ ὅλα τὰ πιὸ πάνω στὸ θέμα τῆς ἀπώλειας φορτίου h ποὺ προκύπτει ἀπὸ τὴν ἐξίσωση (35) ἢ (36) βλέπουμε ὅτι αὐτὴ θὰ εἶναι αὐξημένη τὸ πολὺ κατὰ 8 ἕως 10% ἀπὸ τὴν ἀπώλεια h ποὺ ἐξάγεται μὲ τὴν ἐφαρμογὴ τῶν ἐξισώσεων (30) ἢ (31). Μάλιστα ἂν λάβουμε ὑπόψη ὅτι ἤδη ἔχουμε παραλείψει δυὸ ὅρους ἀπὸ τὶς ἐξισώσεις (28) ἢ (29) ποὺ ἀντιπροσωπεύουν καὶ αὐτοὶ ἔστω καὶ ἕνα μικρὸ ποσοστὸ (π.χ. 1,0%) τῆς ἀπώλειας h τότε πραγματικὰ ἡ αὔξηση 8 ἕως 10% θὰ εἶναι ἡ μέγιστη δυνατὴ ποὺ θὰ παρατηρεῖται στὴν h ὅταν ἐφαρμοσθοῦν οἱ ἐξισώσεις (35) ἢ (36).

Ἀκόμη μάλιστα καὶ σὲ εἰδικὲς περιπτώσεις ὅπου ἡ $g(y)<0{,}64$ ἢ $g(y)^{1/2}<0{,}80$, ἐπειδὴ τότε μειώνεται ὁ ὅρος αu'S' σὲ σχέση πρὸς τὸ συνολικὸ h, πάλι ἡ αὔξηση τοῦ h δὲ θὰ περνάει τὸ ποσοστὸ 9 ἕως 10% ποὺ ἐκτιμήθηκε πιὸ πάνω. Σχετικὰ ἀριθμητικὰ δεδομένα μπορεῖ νὰ δεῖ κανεὶς στὸ παράδειγμα 5.2 ποὺ ἀκολουθεῖ.

Ἡ πιὸ πάνω ποσοστιαία αὔξηση τοῦ h (3 ἕως 10%) εἶναι φανερὸ ὅτι ἀντιστοιχεῖ σὲ αὔξηση τῆς ἀντίστοιχης παροχῆς σχεδιασμοῦ ποὺ εἶναι περίπου 3%.

Οἱ τιμὲς τῆς h ποὺ ἐφαρμόζονται στὶς σχέσεις (30) ἢ (31) κυμαίνονται μέσα σὲ σχετικὰ περιορισμένα διαστήματα τὰ ὁποῖα εἶναι περισσότερο περιορισμένα ὅσο χαμηλότερη εἶναι ἡ στάθμη πιθανότητας φ.

Γιὰ τὴν τυχαία μεταβλητὴ u ἔχουν προταθεῖ (15) οἱ ἑξῆς τιμές:

Γιὰ $\varphi = 0{,}90$ $\quad u = 1{,}33$
Γιὰ $\varphi = 0{,}95$ $\quad u = 1{,}85$

Πάντως μιὰ ἐξομοίωση [15] σὲ μιὰ γραμμὴ μεταφορᾶς μὲ δέκα κλάδους ἔδωσε γιὰ $\varphi = 0{,}95$ τιμὲς τῆς $u = 1{,}70$. Τελικὰ ἡ τιμὴ τῆς u' εἶναι $u' = u.\frac{S}{S'}$ ὅπως προκύπτει ἀπὸ τὴ σχέση (34). Ἀλλὰ ὑπολογίσθηκε ὅτι μποροῦμε νὰ δεχθοῦμε ὅτι σχεδὸν πάντοτε στὶς ἐφαρμογὲς θὰ εἶναι $0{,}80$ ἕως $0{,}84 < \frac{S}{S'} < 1{,}0$ πράγμα ποὺ σημαίνει ὅτι $u'<u$.

Ἔτσι προτείνεται ἡ μείωση τῆς τιμῆς u (ποὺ ἡ τιμή της ὅπως εἴδαμε πιὸ πάνω κυμαίνεται σὲ διαστήματα στὰ ὁποῖα τὸ κατώτερο ὅριο συμπίπτει μὲ τὴν τιμὴ τῆς ε) κατὰ μέσο ποσοστὸ 8 ἕως 10%, ὥστε νὰ προσεγγίσουμε στὶς τιμὲς τῆς u', ἡ ὁποία πρακτικῶς τότε μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ ὅτι συμπίπτει σχεδὸν μὲ τὴν τυποποιημένη τυχαία μεταβλητὴ τῆς κανονικῆς κατανομῆς, δηλαδὴ τὴν ε.

Μάλιστα κάνοντας δεκτὸ ὅτι $u' = \varepsilon$, ἐνδεχόμενα κάνουμε κάποια μικρὴ ὑπερεκτίμηση ἢ ὑποτίμηση τοῦ h, αὐτὴ ὅμως εἶναι πολὺ μικρὴ ἂν λάβουμε ὑπόψη ὅτι ὁ ὅρος α u' S' σὲ σχέση μὲ τὸ συνολικὸ h εἶναι πάντοτε μικρότερος τοῦ 0,50h καὶ πρακτικῶς τὶς περισσότερες φορὲς πέφτει συνήθως κάτω ἀπὸ τὴν τιμὴ 0,33h.

Αὐτὸ πάντως ἐπαληθεύεται καὶ στὰ παραδείγματα ποὺ ἀκολουθοῦν (παραδ. 5.1 καὶ 5.2) στὸ τέλος τοῦ κεφαλαίου.

Καταλήγουμε ἔτσι νὰ προτείνουμε τὶς ἑξῆς τιμὲς γιὰ τὴν τυποποιημένη τιμὴ τῆς ἀπώλειας φορτίου u'.

Γιὰ $\varphi = 0{,}90$ $\quad u' = 1{,}28$
» $\varphi = 0{,}95$ $\quad u' = 1{,}65$ Δηλαδὴ γενικὰ $u' = \varepsilon$
» $\varphi = 0{,}99$ $\quad u' = 2{,}33$....(καὶ μερικὲς φορὲς ἴσως μέχρι 2,40)

ὅπου ε = τυποποιημένη τυχαία μεταβλητὴ κανονικῆς κατανομῆς.

5.3. Ὁριστικὴ ἔκφραση τῶν ἐξισώσεων ἀπώλειας φορτίου.

Ἔτσι οἱ ὁριστικὲς ἐξισώσεις ποὺ ἐκφράζουν τὴν ἀπώλεια φορτίου δηλαδὴ οἱ ἐξισώσεις (35) καὶ (36) γράφονται μὲ τὴν πιὸ πάνω κάτω μορφή:

$$h = (H_\Delta - H_0) = \Sigma h_i = \Sigma K_i \left[\mu_i^\alpha + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\, \mu_i^{\alpha-2}\, \sigma_i^2 + \alpha.\varepsilon.\mu_i^{\alpha-1}\, \sigma_i \right] \qquad (56)$$

καὶ γιὰ $\alpha = 2{,}0$

$$h = \Sigma K_i \left[\mu_i^2 + \sigma_i^2 + 2.\varepsilon.\mu_i\sigma_i \right] \qquad (57)$$

Στὴ συνέχεια ἂν ὀνομάσουμε

$$\mu_i^\alpha \left[+ \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\, \mu_i^{\alpha-2}\, \sigma_i^2 + \alpha.\varepsilon.\mu_i^{\alpha-1}\, \sigma_i \right]^{1/\alpha} = Q_i \qquad (58)$$

ἢ γιὰ $\alpha = \alpha = 2{,}0$

$$\left[\mu_i^2 + \sigma_i^2 + 2\varepsilon\mu_i\sigma_i \right]^{1/2} = Q_i \qquad (59)$$

Οἱ ἐξισώσεις (56) καὶ (57) ἂν λάβουμε ὑπόψη καὶ τὶς (58), (59) γίνονται:

$$h = \Sigma K_i\, Q_i^\alpha \qquad (60)$$
$$(i = 1, \ldots\ldots n)$$

ἢ γιὰ $\alpha = 2{,}0$

$$h = \Sigma K_i Q_i^2 \qquad (61)$$
$$(i = 1 \ldots\ldots n)$$

Στὶς πιὸ πάνω ἐξισώσεις ὑπενθυμίζουμε ὅτι:

ε = τυποποιημένη τυχαία μεταβλητὴ κανονικῆς κατανομῆς
α = 1,76 περίπου ἕως 2,00
μ_i, σ_i = μέση τιμὴ καὶ τυπικὴ ἀπόκλιση τῆς παροχῆς στὸν κλάδο i, ποὺ ὑπολογίζονται ἐφαρμόζοντας τὶς σχέσεις (3) καὶ (4)

5.4. Οἱ «ἰδεατὲς παροχὲς» σχεδιασμοῦ

Πιὸ πάνω στὶς σχέσεις (58) καὶ (59) ὀνομάσαμε μὲ Q_i μιὰ ποσότητα μὲ διαστάσεις παροχῆς.

Τὸ μέγεθος αὐτὸ ἀπὸ δῶ καὶ πέρα θὰ τὸ ὀνομάζουμε «ἰδεατὴ παροχὴ» τοῦ κλάδου ἢ τοῦ τμήματος τοῦ ἀγωγοῦ μεταφορᾶς.

Εἶναι φανερὸ ὅτι ἂν θεωρήσουμε τὶς πιὸ πάνω «ἰδεατὲς παροχὲς» σὰν παροχὲς σχεδιασμοῦ, θὰ ἰσχύουν οἱ ἐξισώσεις (56) ἢ (57) καὶ κατὰ συνέπεια θὰ καλύπτονται οἱ ἀπαιτήσεις γιὰ τὴ διατήρηση μιᾶς ἐλάχιστης ποιότητας λειτουργίας φ σὲ κάθε γραμμὴ μεταφορᾶς. Σχετικὰ παρατηροῦμε ὅτι οἱ ἰδεατὲς παροχὲς δὲν ἐκπληρώνουν τὸ νόμο τῆς συνεχείας καὶ ἑπομένως τὸ ἀλγεβρικό τους ἄθροισμα σὲ κάθε κόμβο (ὅπου θεωρεῖται θετικὴ ἡ προσερχόμενη παροχὴ καὶ ἀρνητικὴ ἡ ἀπερχόμενη) δὲ θὰ εἶναι μηδέν.

Ἐδῶ κάνουμε μιὰ διευκρίνιση σχετικὰ μὲ τὸν ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως ποὺ ἀνήκει σὲ μιὰ ἐξεταζόμενη γραμμὴ μεταφορᾶς, καὶ ἐξυπηρετεῖ λιγότερο ἀπὸ 10 ἢ 12 στόμια ὑδροληψίας. Στὴν περίπτωση αὐτὴ οἱ ἰδεατὲς παροχὲς Q_i γιὰ τὸ σχεδιασμὸ τοῦ ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως προκύπτουν ἀπὸ τὴν ἄθροιση τῶν παροχῶν ποὺ δίνουν τὰ θεωρούμενα στὸν κλάδο ἀνοιχτὰ στόμια, τὰ ὁποῖα καθορίζονται μὲ σχετικὲς ὁδηγίες τοῦ κεφαλαίου 6.

Ἐπανερχόμενοι στὶς τιμὲς ποὺ δίνουν οἱ σχέσεις (58) καὶ (59) εἶναι εὔκολο νὰ διαπιστώσουμε ὅτι αὐτὲς βρίσκονται πολὺ κοντὰ καὶ ἔτσι γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῆς «ἰδεατῆς παροχῆς» θὰ εἶναι δυνατὸ νὰ χρησιμοποιοῦμε πάντοτε τὴ σχέση (58).

Τὴ σχετικὴ ἀπόδειξη τὴν παραλείπουμε γιὰ ἐξοικονόμηση χώρου ἀλλὰ αὐτὴ εἶναι εὔκολη ἂν λάβουμε ὑπόψη $\alpha = 1{,}76 \div 2{,}00$ καὶ $C_v = 0{,}45$.

Τὴ σύμπτωση σχεδὸν τῶν παροχῶν ποὺ δίδουν οἱ σχέσεις (58) καὶ (59) μποροῦμε νὰ τὴ δοῦμε καὶ στὰ ἀριθμητικὰ ἀποτελέσματα τοῦ παραδείγματος τοῦ κεφαλαίου 7, ὅπου μάλιστα παρατίθενται καὶ οἱ τιμὲς $Q_i = \mu_i + \varepsilon\sigma_i$ ποὺ δίδει ἡ σχέση (2) τοῦ R. Clement ὥστε νὰ καταφανεῖ ἡ μεγάλη προσέγγιση ποὺ πραγματοποιεῖται στὶς Q_i τῆς σχέσεως (2) καὶ τῆς (59) ὅσο αὐξάνει ὁ ἀριθμὸς τῶν στομίων R ποὺ ἐξυπηρετοῦνται ἀπὸ τὸν κλάδο i καὶ ἑπομένως μικραίνει ἡ τιμὴ τοῦ συντελεστοῦ C_v.

Ἔτσι τελικὰ ὡς «ἰδεατὴ παροχὴ» σχεδιασμοῦ λαμβάνεται ἡ

$$Q_i = \left(\mu_i^2 + \sigma_i^2 + 2\varepsilon\mu_i\sigma_i \right)^{1/2} \text{ ἢ } Q_i = \mu_i\left(1 + C_{vi} + 2\varepsilon C_{vi}\right)^{1/2} \qquad (62)$$

ὅπου C_{vi} = ὁ συντελεστὴς μεταβολῆς τῶν παροχῶν στὸν κλάδο i.

Ἐπειδὴ τὸ C_{vi}^2 εἶναι πολὺ μικρὸ σὲ σύγκριση μὲ τὴν ὅλη Q_i ἰδίως ὅταν ὁ κλάδος ἐξυπηρετεῖ ἀρκετὰ στόμια μποροῦμε νὰ θέσουμε $Q_i \approx \mu_i(1+2\varepsilon C_{vi})$ (63)

Αὐτὸ εἶναι μάλλον σκόπιμο τὶς περισσότερες φορὲς στὶς ἐφαρμογὲς γιατὶ ὅπως εἴπαμε ἤδη οἱ ἰδεατὲς παροχὲς τῆς σχέσεως (62) δίδουν ἕνα μικρὸ ποσοστὸ αὐξημένης ἀπώλειας φορτίου.

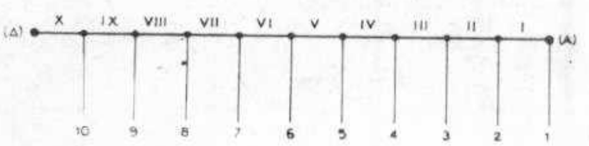
Καταλήγουμε στὸ ἑξῆς συμπέρασμα μετὰ ἀπὸ ὅλη τὴν πιὸ πάνω ἐπεξεργασία τοῦ προβλήματος.

Γιὰ νὰ σχεδιάσουμε ἕνα ὑπὸ πίεση ἀκτινωτὸ δίκτυο ἀρδεύσεως ἐξασφαλίζοντας σ' αὐτὸ ὁμοιόμορφα μιὰ ἐπιθυμητὴ ποιότητα λειτουργίας φ, θὰ πρέπει νὰ ὑπολογίσουμε τὶς ἀπώλειές του κατὰ μῆκος ὅλων τῶν γραμμῶν μεταφορᾶς μὲ ἰδεατὲς παροχές, ποὺ ὑπολογίζονται ἀπὸ τὶς πιὸ πάνω σχέσεις (62) καὶ (63). Τελικὰ βλέπουμε ὅτι οἱ ἐξισώσεις (60) ἢ (62) δηλ. $h = \Sigma K_i Q_i^{\alpha}$ ἢ $\Sigma K_i Q_i^2$ καὶ οἱ ἐξισώσεις (62) ἢ (63) προσδιορίζουν ἀκριβῶς ἐκεῖνες τὶς ἀπώλειες φορτίου ποὺ ἀντιστοιχοῦν σὲ μιὰ ποιότητα λειτουργίας φ τοῦ δικτύου. Ἔτσι ἐπιλύεται ἁπλὰ καὶ γρήγορα τὸ πρόβλημα ποὺ ὑπῆρχε μέχρι σήμερα γιὰ τὸ σωστὸ σχεδιασμὸ ἑνὸς ὑπὸ πίεση ἀρδευτικοῦ δικτύου. Παρατηροῦμε πάντως, ὅτι γιὰ τὸν ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως οἱ ἰδεατὲς παροχὲς ὅταν τὰ στόμια $R<10$ ἢ 12 θὰ ὑπολογίζονται μὲ τὶς ὁδηγίες τοῦ κεφαλαίου 6.

Στὴ συνέχεια καὶ πρὶν κλείσουμε τοῦτο τὸ κεφάλαιο γιὰ νὰ δοῦμε τὰ ἀποτελέσματα ποὺ προκύπτουν ἀπὸ τὴν ἐφαρμογὴ τῶν ἐξισώσεων (60) ἢ (61) καὶ (62) ἢ (63), δίδουμε τὸ παράδειγμα 5.1 στὸ ὁποῖο ἐξάγουμε σχετικὰ ἀποτελέσματα καὶ τὰ συγκρίνουμε μὲ τὰ ἀποτελέσματα ποὺ προέκυψαν ἀπὸ σχετικὴ ἐξομοίωση (15) τοῦ ἀγωγοῦ τοῦ ἴδιου παραδείγματος. Βλέπουμε πάντως ὅτι τὰ ἀποτελέσματα ποὺ προκύπτουν ἀπὸ τὰ παραδείγματα 5.1 καὶ 5.2 εἶναι πάρα πολὺ ἱκανοποιητικὰ καὶ δικαιολογοῦν ἀπόλυτα τὶς γενόμενες παραδοχὲς καὶ προσεγγίσεις.

Παράδειγμα 5.1.

Γιὰ τὸ δίκτυο (γραμμὴ μεταφορᾶς Δ-Α) τοῦ σχήματος 5.1 ποὺ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἕνα ἀγωγὸ μὲ δέκα τμήματα I, II, ... X καὶ ἐξυπηρετεῖ δέκα ἀγωγοὺς τελευταίας τάξεως δίδονται τὰ πιὸ κάτω στοιχεῖα :



Σχ. 5.1

Βαθμὸς ἐλευθερίας B = 2,60

$$P = \frac{1}{B} = 0{,}385$$

Γιὰ τοὺς ἀγωγοὺς τελευταίας τάξεως 1,3,6,7 καὶ 9 :
$q_0 = 13$ λ/δλ, $\mu = 50$ λ/δλ, $\sigma = 20$ λ/δλ

Γιὰ τοὺς ἀγωγοὺς τελευταίας τάξεως 2,4,5,8 καὶ 10 :
$q_0 = 7{,}80$ λ/δλ, $\mu = 30$ λ/δλ, $\sigma = 12$ λ/δλ

Ἄρα γιὰ τὶς τιμὲς τῶν μ καὶ σ σὲ λ/δλ τῶν τμημάτων I.....X θὰ ἔχουμε :

$\mu_1 = 50$, $\mu_2 = 80$, $\mu_3 = 130$, $\mu_4 = 160$, $\mu_5 = 190$, $\mu_6 = 240$
$\mu_7 = 290$, $\mu_8 = 320$, $\mu_9 = 370$, $\mu_{10} = 400$
$\sigma_1 = 20$, $\sigma_2 = 23{,}32$, $\sigma_3 = 30{,}72$, $\sigma_4 = 32{,}98$, $\sigma_5 = 35{,}10$
$\sigma_6 = 40{,}40$. $\sigma_7 = 45{,}08$, $\sigma_8 = 46{,}65$, $\sigma_9 = 50{,}75$, $\sigma_{10} = 52{,}15$

Στὴ συνέχεια βρίσκουμε τὶς τιμὲς τῶν ἰδεατῶν παροχῶν σὲ λ/δλ γιὰ τὰ τμήματα I,......,X μὲ τὴν ἐφαρμογὴ τῆς σχέσεως (62)

$Q_i = [\,\mu_i^2 + \sigma_i^2 + 2\varepsilon\mu_i\sigma_i\,]$ γιὰ φ = 0,95 δηλαδὴ μὲ ε = 1,65

ὁπότε :

$Q_1 = 78{,}74$, $0_{,2} = 114{,}46$ $Q_3 = 176{,}13$ $Q_4 = 210{,}00$ $Q_5 = 243{,}60$
$Q_6 = 302{,}04$ $Q_7 = 359{,}55$ $Q_5 = 392{,}22$ $Q_9 = 448{,}82$ $Q_{10} = 481{,}20$

Ὑποθέτοντας ὅτι $h = \Sigma K_i Q_i^2$ καὶ λαμβάνοντας ὑπόψη τὶς ἑξῆς τιμὲς γιὰ τὶς διαμέτρους D σὲ χλστ. τὰ μήκη L σὲ μέτρα καὶ κατὰ συνέπεια τοῦ K (σὲ δλ².μ⁻⁵ μὲ τιμὴ n = 0,0115).

Τμῆμα	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
D	250	300	350	400	450	500	500	600	600	600
L	180	180	180	220	300	300	180	360	300	240
K	400,0	151,0	64,0	39,0	29,0	16,2	9,8	7,4	6,2	4,9

Καταλήγουμε σὲ συνολικὴ ἀπώλεια h = 16,15 μετρ. (φ = 0,95)

Χρησιμοποιώντας τὴν προσεγγιστικὴ ἔκφραση τῆς σχέσεως (62) $Q_i = (\mu_i + 2\varepsilon\mu^2\sigma_i)^{1/2}$ προκύπτει γιὰ τὴν ἴδια πιὸ πάνω γραμμὴ μεταφορᾶς (Δ—Α) h = 15,63 μετρ.

Μὲ τὰ ἴδια πιὸ πάνω δεδομένα ἀλλὰ μὲ φ = 0.90 προκύπτει γιὰ ε = 1,28, h = 14,71 ἐνῶ γιὰ φ = 0,99, ε = 2,33 καὶ h = 18,80

Ἡ ἐξομοίωση τῆς λειτουργίας τοῦ ἴδιου ἀγωγοῦ (γραμμῆς μεταφορᾶς) (Δ-Α) τοῦ σχήματος 5.1 ἔδωσε τὶς ἑξῆς τιμὲς [15], ποὺ σημειώνουμε ἀμέσως παρακάτω, τοποθετώντας γιὰ σύγκριση καὶ τὶς τιμὲς ποὺ βρήκαμε μὲ τὴν ἐφαρμογὴ τῶν σχέσεων (60) καὶ (62) φ = 0,90 μὲ ἐξομοίωση h = 14,10 μ., ἐνῶ μὲ τὴν ἐφαρμογὴ ἰδεατῶν παροχῶν h = 14,71. Ἐπίσης γιὰ φ = 0,95 μὲ ἐξομοίωση h = 15,40 μ. ἐνῶ μὲ τὴν ἐφαρμογὴ ἰδεατῶν παροχῶν h = 16,15 (ἢ 15,83). Τέλος γιὰ φ = 0,99 μὲ ἐξομοίωση h = 18,90 μ., ἐνῶ μὲ τὴν ἐφαρμογὴ ἰδεατῶν παροχῶν h = 18,80

Βλέπουμε ἔτσι πράγματι μιὰ πάρα πολὺ ἱκανοποιητικὴ προσέγγιση τῶν ἀποτελεσμάτων τῆς ἐξομοιώσεως μὲ τὰ ἀποτελέσματα ποὺ δίδει ἡ μέθοδος ἐφαρμογῆς «ἰδεατῶν παροχῶν». Γιὰ τὸ συγκεκριμένο παράδειγμα τοῦ σχήματος 5.1, ὑποθέτοντας σὰν $K_1 = 400$ (δηλαδὴ τὸ K τοῦ ἀγωγοῦ 1 τελευταίας τάξεως) βρίσκεται ὅτι $S/S' = 0{,}90$. Συνήθως ὅμως τὸ K_1 εἶναι πάντοτε ἀρκετά, μεγαλύτερο γιατὶ οἱ διάμετροι τοῦ ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως εἶναι μικρότερες καὶ ἔτσι στὶς ἐφαρμογὲς τὸ S/S' αὐξάνει σημαντικά.

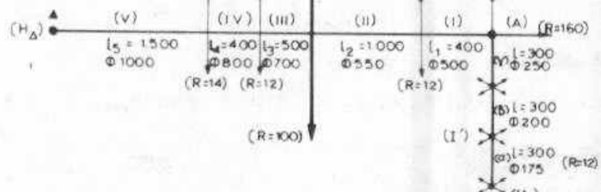
Εἶναι εὔκολο μὲ κάποια λογικὴ αὔξηση τοῦ K_1 νὰ βροῦμε εὔκολα ὅτι ὁ λόγος S/S' στὴν ἴδια πιὸ πάνω περίπτωση σχεδὸν πλησιάζει τὴ μονάδα.

Ἔτσι προκύπτει ὅτι μὲ τὶς ἁπλοποιημένες προσεγγιστικὲς ἐξισώσεις (60) ἢ (61) καὶ (62) ἢ (63) προκύπτουν τὰ ἴδια ἀποτελέσματα σχεδὸν ποὺ δίδουν οἱ ἀπόλυτα σωστὲς (16), (29) καὶ (27) ἢ ἀκόμα καὶ οἱ (30) ἢ (31).

Παράδειγμα 5.2.

Στὸ πιὸ κάτω σχῆμα 5.2 σημειώνεται μιὰ γραμμὴ μεταφορᾶς (Δ-Α-A_0). Ἡ γραμμὴ μεταφορᾶς αὐτὴ δὲν ἐξυπηρετεῖ ἀγωγοὺς μόνο τελευταίας τάξεως ὅπως στὸ προηγούμενο παράδειγμα 5.1 ἀλλὰ τροφοδοτεῖ καὶ ἀγωγο'ς μὲ σημαντικὲς παροχές. Ἐπίσης τὰ μήκη τῶν διαφόρων τμημάτων τοῦ ἀγωγοῦ μεταφορᾶς διαφέρουν σημαντικὰ μεταξύ τους καὶ τὸ πέρας τῆς γραμμῆς μεταφορᾶς καταλήγει σὲ ἕνα ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως μὲ 12 στόμια ὑδροληψίας ὅπως περίπου συμβαίνει στὶς ἐφαρμογές.

Μέσα σὲ παρενθέσεις στὸ σχῆμα 5.2 δίδουμε μὲ τὴν ἔνδειξη R τὸν ἀριθμὸ τῶν στομίων ποὺ ἐξυπηρετεῖ κάθε πλευρικὴ παροχή, ποὺ ἐξυπηρετεῖται ἀπὸ τὴ γραμμὴ μεταφορᾶς, ἐκτὸς ἀπὸ τὸν ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως Α-A_0 στὸν ὁποῖο σημειώνονται λεπτομερειακὰ τὰ 12 στόμια.



Σχ. 5.2

Γίνεται δεκτὸ ὅτι $B = 3{,}00$, $p = \frac{1}{3}$, $q_0 = 6{,}0$ λ/δλ, $\varphi = 0{,}95$ ὁπότε μὲ $\varepsilon = 1{,}65$ ὑπολογίζουμε τὶς μέσες τιμὲς μ_i καὶ τὶς τυπικὲς ἀποκλίσεις σ_i σὲ λ/δλ τῶν παροχῶν στὰ τμήματα I,......,V τοῦ τμήματος (Δ-Α) τῆς γραμμῆς μεταγορᾶς δηλαδή :

$\mu_1 = 368$, $\mu_2 = 412$, $\mu_3 = 772$, $\mu_4 = 828$, $\mu_5 = 888$
$\sigma_1 = 38{,}36$, $\sigma_2 = 40{,}6$, $\sigma_3 = 55{,}57$, $\sigma_4 = 57{,}55$, $\sigma_5 = 59{,}6$

Γιὰ τὸν ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως ὑπολογίζουμε στὴν κεφαλή του (τμῆμα γ) $\mu_1' = 24{,}0$, $\sigma_1' = 9{,}8$ λ/δλ.

'Εφαρμόζοντας τὶς ὁδηγίες τοῦ κεφαλαίου 6 βρίσκουμε γιὰ τὰ μήματα (α), (β), (γ) τοῦ ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως (Α-A_0) ἢ (I') τὶς ἑξῆς τιμὲς $Q_{1\alpha} = 18$ δ/λδ. $Q_{1\beta} = 30$ λ/δλ καὶ $Q_{1\gamma} = 40{,}17$ λ/δλ (ἢ δυσμενέστερα 42 λ/δλ).

Γιὰ τὸν ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως(Α-A_0) προτιμᾶμε νὰ δώσουμε μία ἀνηγμένη τιμὴ K' γιὰ ὅλα τὰ τμήματά του (α), (β) καὶ (γ), τὴν $K_1' = \frac{1}{49}[9.K_{1\alpha} + 25K_{1\beta} + 49K_{1\gamma}] = 2595$ ὅπου δεχθήκαμε $K_{1\alpha} = 4452$ $K_{1\beta} = 2184$ $K_{1\gamma} = 663$ καὶ ἀνοιχτὰ στόμια στὰ τμήματα (α), (β), (γ) ἀντίστοιχα 3,5 καὶ 7, ὑποθέτοντας ἐπὶ πλέον ὅτι

$$K = 10{,}3.n^2.D^{-16}.L.$$

"Ετσι καταλήξαμε νὰ ἔχουμε ἀντὶ τῆς γραμμῆς μεταφορᾶς Δ-Α-A_0 μὲ ὀκτὼ τμήματα, μιὰ γραμμὴ πάλι Δ — Α-A_0 ἀλλὰ μὲ ἕξι τμήματα I',I,......,V στὴν ὁποία ἀντιστοιχοῦν τὰ παρακάτω στοιχεῖα

Τμῆμα	Παροχὴ (λ/δλ) Κατὰ Clement	Τιμὴ τοῦ K δλ².μ
I'	40,17 (ἢ 42)	2595,00
I	431,29	22,00
II	479,00	33,00
III	863,69	4,55
IV	922,96	1,80
V	986,34	2,05

'Εφαρμόζοντας τὴ σχέση (19) γιὰ $\alpha = 2{,}0$ βρίσκουμε ὅτι

$$m = \Sigma K_i(\mu_i^2 + \sigma_i^2) = 15{,}99 \text{ μετρ.}$$

καὶ στὴ σχέση (28)

$$S^2 = 4\left[\Sigma(K_i\mu_i\sigma_i)^2 + \underset{j>i}{2\Sigma K_i K_j \mu_i \mu_j \sigma_i^2} + \frac{1}{2}\underset{j>i}{\Sigma}(K_i^2\sigma_i^4 + K_i K_j \sigma_i^4)\right] \text{ βρίσκουμε}$$

ὅτι $\Sigma(K_i\mu_i\sigma_i)^2 + \underset{j>i}{\Sigma K 2_i K_j \mu_i \mu_j \sigma_i^2} = 2{,}046$

καὶ $\frac{1}{2}[\Sigma K_i^2\sigma_i^4 + \Sigma K_i K_j K_j \sigma_i^4] = 3{,}61X10^{-3}$

'Απὸ τὰ παραπάνω ἀποτελέσματα φαίνεται ἡ ἀσήμαντη ἐπιρροὴ τοῦ παραλειπόμενου ὅρου στὴν ἐξίσωση (28) $\frac{1}{2}(\Sigma K_i^2\sigma_i^4 + \Sigma K_i K_j \sigma_i^4)$.

'Η παράλειψη τοῦ ὅρου αὐτοῦ μειώνει τὴν τιμὴ τοῦ S μόνο κατὰ 0,8%.

"Αν λάβουμε ὑπόψη μετὰ ὅτι $S'^2 = \Sigma(K_i\mu_i\sigma_i)^2$ θὰ ἔχουμε :

$$S = 2(2{,}046)^{1/2} = 2{,}861$$

$$S' = 2X1{,}857 = 3{,}714$$

$$\text{ἢ } S/S' = 0{,}77 \text{ καὶ } g(y) = (S/S')^2 = 0{,}593$$

'Επειδὴ ὅμως $\frac{\varepsilon S'}{h} = \frac{1{,}65X3{,}714}{15{,}993 + 1{,}65X3{,}714} = 0{,}277\ (= 0{,}28)$ δηλαδὴ ἡ ποσοστιαία συμμετοχὴ τοῦ ὅρου εS' στὸ ὅλο h μικραίνει σημαντικὰ (ὅπως γράφτηκε στὴν προηγούμενη παράγραφο 5.1ε καὶ στὴν ἀρχὴ τῆς παρούσας) παρ' ὅλο ποὺ ἡ τιμὴ τοῦ λόγου S/S' ἢ ἀντίστοιχα τῆς $g(y) = (S/S')^2$ ξεφεύγει κάπως ἀπὸ τὰ συνηθισμένα περιθώρια διακυμάνσεως ποὺ δεχθήκαμε, ἐντούτοις μὲ τὴν ἐφαρμογὴ τῆς προσεγγιστικῆς σχέσεως (63) ἡ τιμὴ τοῦ h δὲν ξεφεύγει τελικὰ ἀπὸ τὰ περιθώρια ποὺ προσδιορίσαμε γιὰ τὴ διακύμανσή της.

"Ετσι ἡ τιμὴ τοῦ $h = n + \varepsilon.S' = 22{,}12$ μέτρα, ἐνῶ ἡ σωστὴ τιμὴ $h = m + u.S = 21{,}28$ μ. ὅπου πάρθηκε $u = 1{,}85$, δηλαδὴ ἡ αὔξηση τοῦ h εἶναι τελικὰ σύμφωνα μὲ τὶς σχέσεις (61) καὶ (63) μόνο 3,95% ποὺ σημαίνει ὅτι βρίσκεται μέσα στὰ ὅρια 8 ἕως 10% ποὺ δεχθήκαμε ὅτι κυμαίνεται στὶς συνηθισμένες περιπτώσεις ἐφαρμογῶν.

'Επίσης ἀπὸ τὸ παραπάνω ἀριθμητικὸ παράδειγμα προκύπτει ὅτι ὀρθὰ ἔχει μειωθεῖ ἡ τιμὴ τοῦ u σὲ $u' = \varepsilon = 1{,}65$, στὴν περίπτωση ποὺ χρησιμοποιοῦμε ἀντὶ τῆς S τὴν S'. Μάλιστα, ἴσως θὰ ἔπρεπε σὲ πολλὲς περιπτώσεις νὰ μειωθεῖ καὶ περισσότερο ἀλλὰ μὲ αὐτὸ δὲν κερδίζουμε παρὰ μικρὸ ποσοστὸ ἀπώλειας καὶ μόνο σὲ ὁρισμένες περιπτώσεις, ἐνῶ σὲ ἄλλες ἴσως θὰ ἔπρεπε νὰ αὐξηθεῖ ὅπως, π.χ. σὲ μεγάλες ποιότητες λειτουργίας $\varphi = 0{,}99$ κλπ.

"Ετσι, ἐπειδὴ μὲ τὶς τιμὲς $u' \approx \varepsilon$ καλύπτουμε ἕνα μέσο ὅρο τιμῶν ἐφαρμογῆς τῆς $u' = u.S/S'$ γιὰ τὶς διάφορες γραμμὲς μεταφορᾶς καὶ διάφορες τιμὲς τῆς ποιότητας λειτουργίας, δεχόμαστε πάντοτε σὰν σωστὴ τὴν ἀποδοχὴ τῆς $u' = \varepsilon$.

'Επίσης ἐπισημαίνουμε ὅτι ἡ παράλειψη τῶν δύο ὅρων τῆς ἐξισώσεως (28) $\frac{1}{2}(\Sigma K_i^2\sigma_i^4 + 2\Sigma K_i K_j K_j \sigma_i^4)$ εἶναι ἀπόλυτα δικαιολογημένη ἐπειδὴ τὸ μέγεθός τους εἶναι ἀσήμαντο.

6. 'Ο ἀγωγὸς τελευταίας τάξεως.

'Ο σχεδιασμὸς τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως μὲ τὶς ἀποδεκτὲς σήμερα δυσμενεῖς παραδοχὲς ὑπολογισμοῦ, εἶναι ἕνα θέμα ποὺ φαίνεται κατ' ἀρχὴ ὅτι δὲν εἶναι δυνατὸ νὰ δημιουργήσει σοβαρὸ ὑπερσχεδιασμὸ στὸ ὅλο δίκτυο καὶ ἔτσι ἀντιμετωπίζεται συνήθως, ἐνῶ κανονικὰ θὰ πρέπει νὰ ἐξετάζεται μὲ ἰδιαίτερη προσοχὴ καὶ πάντοτε μέσα στὰ πλαίσια τῶν γενικῶν παραδοχῶν ὑπολογισμοῦ, γιατὶ τὸ μῆκος τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως εἶναι κατὰ κανόνα πολὺ μεγάλο σὲ σύγκριση μὲ τὸ ὑπόλοιπο δίκτυο.

Βέβαια πολλὲς φορὲς διατυπώνονται ἀπόψεις ὅπως, π.χ. ὅτι ὁ πραγματοποιούμενος ὑπερσχεδιασμὸς εἶναι καὶ ἐπιθυμητὸς καὶ σκόπιμος, διότι ἡ πραγματοποιούμενη ἀντίστοιχη αὔξηση τῆς ποιότητας λειτουργίας στοὺς ἀγωγοὺς τελευταίας τάξεως καλύπτει ἀπρόβλεπτους παράγοντες.

Νομίζουμε ὅμως, ὅτι καὶ ἂν ἀκόμη ὑπάρχουν ἀστάθμητοι παράγοντες γιὰ τοὺς ὁποίους θὰ πρέπει νὰ γίνεται ὑπερσχεδιασμὸς τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως, θὰ ἦταν ἀπόλυτα σωστὸ νὰ γνωρίζουμε κατ' ἀρχὴ ἀκριβῶς ἢ μὲ ἱκανοποιητικὴ προσέγγιση τὶς παραδοχὲς καὶ τὰ ἀποτελέσματα ἑνὸς σωστοῦ σχεδιασμοῦ. "Ετσι θὰ ἦταν δυνατὸ ὁ σχεδιασμὸς τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως νὰ γίνει μέσα στὰ πλαίσια τῶν γενικῶν παραδοχῶν μὲ τὶς ὁποῖες ὑπολογίζεται τὸ ὅλο δίκτυο καὶ ἑπομένως νὰ διατηρεῖται καὶ σ' αὐτοὺς ἡ ἴδια (ἢ περίπου ἡ ἴδια) ποιότητα λειτουργίας μὲ τὴν ὁποία σχεδιάζεται καὶ τὸ ὑπόλοιπο δίκτυο.

'Εὰν βέβαια στὴ συνέχεια θέλουμε νὰ αὐξήσουμε τὴν ποιότητα λειτουργίας τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως γιὰ ὁποιοδήποτε λόγο, μποροῦμε νὰ τὸ κάνουμε ἀλλὰ τουλάχιστον νὰ γνωρίζουμε ἀπὸ ποιὰ βάση θὰ ξεκινήσουμε καὶ ποιὸ θὰ εἶναι τὸ ποσοστὸ αὐξήσεως ποὺ ἐνδεχόμενα θὰ δεχθοῦμε.

'Η μέχρι τώρα ἐφαρμοζόμενη τακτικὴ εἶναι ἡ ἐπιβάρυνση τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως τόσο μὲ ἐπὶ πλέον παροχὴ ὅσο καὶ μὲ δυσμενὴ συγκέντρωσή της στὰ τέρματά τους. "Ετσι ἔχουμε παρατηρήσει ὅτι ὁ ὑπερσχεδιασμὸς ἀπὸ πλευρᾶς δαπάνης εἶναι σὲ πολλὲς περιπτώσεις πολὺ σημαντικός.

"Οπως ἀναφέρθηκε ὅμως σχετικὰ καὶ στὴν εἰσαγωγὴ (Κεφ. 1) στὴ χώρα μας μὲ ὁδηγίες τοῦ 'Υπουργείου Δημοσίων "Εργων [14] σὲ ἕνα ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως πρέπει νὰ δεχόμαστε πάντοτε τὴν ταυτόχρονη λειτουργία τουλάχιστον δώδεκα στομίων ἐφόσον $R>12$ ἐνῶ γιὰ $R \leqq 12$ θεωροῦμε ὅτι $N = R$. Γιὰ τὶς περιπτώσεις μάλιστα ποὺ εἶναι συνηθισμένες στὶς ἐφαρμογὲς καταλήγουμε σχεδὸν πάντοτε νὰ θεωροῦμε ὅτι εἶναι ἀνοικτὰ ὅλα τὰ στόμια καὶ συγκεντρωμένα μάλιστα στὸ τέρμα τοῦ ἀγωγοῦ. Αὐτὸ εἶναι εὔλογο γιατὶ τὸ πλῆθος τῶν στομίων δὲν ξεπερνᾶ εὔκολα τὸν ἀριθμὸ $R = 20$ συνήθως καὶ μάλιστα ἂν λάβουμε ὑπόψη ὅτι γιὰ πιθανότητες $p = \frac{1}{3}$ ἕως $\frac{2}{3}$

σπάνια προκύπτει ἀριθμὸς ἀνοιχτῶν στομίων N μεγαλύτερος ἀπὸ δώδεκα.

Τελευταῖα προτείνεται [15] ὅπως ἡ ζητούμενη παροχὴ ἀπὸ ἕνα ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως κατανέμεται στὰ πλέον ἀπομακρυσμένα στόμια τοῦ ἀγωγοῦ καὶ μὲ ὅμοιο τρόπο ποὺ κατανέμεται ἡ μέγιστη ζητούμενη παροχὴ ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ στὴν ἐπιθυμητὴ ποιότητα λειτουργίας φ.

Μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο, προκύπτουν βέβαια λογικότερα ἀποτελέσματα ἀλλὰ πάλι δὲν ἀποφεύγεται ἕνας σχετικὰ σημαντικὸς ὑπερσχεδιασμός.

Γίνεται φανερὸ ἀπὸ τὰ πιὸ πάνω, ποὺ ἀναφέρονται σὲ ὅσα ἐφαρμόζονται ἢ προτείνονται γιὰ ἐφαρμογὴ μέχρι σήμερα, ὅτι χωρὶς νὰ μειωθεῖ καθόλου ἡ ποιότητα λειτουργίας τοῦ ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως κάτω ἀπὸ τὴν ἐπιθυμητή, εἶναι δυνατὸ νὰ μειώσουμε τόσο τὸν ἀριθμὸ τῶν θεωρούμενων σὰν ἀνοιχτῶν στομίων ὅσο καὶ νὰ ἀποφύγουμε τὴ συγκέντρωσή τους στὸ πέρας τοῦ ἀγωγοῦ.

Ἔτσι, ἂν πετύχουμε, τὸν ὁρισμένο ἀριθμὸ N τῶν ἀνοιχτῶν στομίων ποὺ εὔκολα ὑπολογίζεται, νὰ τὸν κατανείμουμε κατάλληλα σὲ κάθε ἐξεταζόμενη περίπτωση ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως, ὥστε νὰ διατηροῦμε ποιότητα λειτουργίας ἴση ἢ λογικὰ μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ἐπιθυμητή, ἔχουμε πετύχει τὸ στόχο μας ποὺ βασικὰ εἶναι ἡ ἐπίτευξη ἑνὸς πιὸ λογικοῦ καὶ σωστοῦ σχεδιασμοῦ τοῦ ἀγωγοῦ.

Πράγματι τὰ θεωρούμενα σὰν ἀνοιχτὰ στόμια καθορίζουν ἕνα αἰτιοκρατικὸ (determistic) σχῆμα ζητήσεως ποὺ ἀντιστοιχεῖ καὶ καλύπτει τὸ πραγματικὸ πιθανοθεωρητικὸ σχῆμα λειτουργίας τοῦ ἀγωγοῦ, σὲ ἕνα προκαθορισμένο ποσοστὸ περιπτώσεων ζητήσεως ποὺ καθορίζεται ἀπὸ μία ἀντίστοιχη προκαθορισμένη ποιότητα λειτουργίας. Φυσικὰ μ' αὐτὸ τὸν τρόπο καταλήγουμε πάλι νὰ προσδιορίζουμε γιὰ κάθε τμῆμα τοῦ ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως μιὰ «ἰδεατὴ παροχὴ» ποὺ προκύπτει ἀπὸ τὸ πλῆθος τῶν θεωρούμενων ἀνοιχτῶν στομίων κατάντη τοῦ ἐξεταζόμενου τμήματος.

Στὴ συνέχεια ἐξετάσαμε διάφορες περιπτώσεις ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως μὲ 1,2,3,4,5 καὶ 10 στόμια μὲ γενικὸ τρόπο ἢ μὲ ἐξομοίωση τῆς λειτουργίας κάποιου συγκεκριμένου ἀγωγοῦ ὥστε νὰ πάρουμε ἀποτελέσματα σχετικὰ μὲ τὴν κατανομὴ τῆς ἀπώλειας φορτίου.

Τὴν ἔρευνα αὐτὴ ὅμως δὲ τὴ δίδουμε ἐδῶ, μὲ σκοπὸ νὰ περιορίσουμε τὴν ἔκταση τῆς δημοσιεύσεως. Σὲ μιὰ μελλοντικὴ ἐνδεχομένως δημοσίευση θὰ δώσουμε ὅλα τὰ λεπτομερῆ στοιχεῖα τῆς ἔρευνας. Στὴ συνέχεια διατυπώνουμε μόνο συμπεράσματα καὶ τὸν τρόπο ἐφαρμογῆς.

Ἔτσι σὰν τελικὸ συμπέρασμα ἀπὸ ὅλες τὶς πιὸ πάνω εἰδικὲς περιπτώσεις, ποὺ εἶναι ὅμως χαρακτηριστικές, βρήκαμε ὅτι ἡ ἀπώλεια φορτίου σὲ ἕνα ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως, ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ μιὰ στάθμη πιθανότητας (ἢ ποιότητας λειτουργίας) φ, ποὺ συνήθως βρίσκεται κοντὰ ἢ μέσα στὸ διάστημα 0,90 ἕως 0,95 καὶ ἐξυπηρετεῖ μέχρι 10 στόμια, μπορεῖ πάντοτε νὰ ὑπολογίζεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$h' = \Sigma K_i Q_i^{\alpha} \tag{64}$$

ὅπου Q_i = ἰδεατὲς παροχὲς = $N.\,q_0$

καὶ N = ὁ ἀριθμὸς τῶν ἀνοιχτῶν στομίων ποὺ ὑπολογίζονται γιὰ κάθε τμῆμα τοῦ ἀγωγοῦ ἀπὸ ἕνα πίνακα διωνυμικῆς κατανομῆς γιὰ τὴν ἐπιθυμητὴ φ, τὴν δεδομένη P καὶ τὸ συνολικὸ πλῆθος R τῶν στομίων ποὺ ἐξυπηρετοῦνται ἀπὸ τὸ παραπάνω τμῆμα.

α = 1,76 περίπου ἕως 3,00

Συνήθως ἡ τιμὴ τοῦ $h'_\varphi > h_\varphi$ ἀλλὰ ὁ πραγματοποιούμενος ὑπερσχεδιασμὸς εἶναι λογικὸς καὶ ὁπωσδήποτε ἀνεκτός. Ἔτσι καταλήγουμε νὰ ἔχουμε πάντοτε μιὰ εὐμενέστερη διάταξη ἀνοιχτῶν στομίων, σὲ σύγκριση μὲ τὶς μέχρι σήμερα ἐφαρμοζόμενες ἢ προτεινόμενες διατάξεις, καὶ ἑπομένως εὐνοϊκότερη τιμὴ ἀπώλειας φορτίου ποὺ ἔχει σὰν ἄμεσο ἀποτέλεσμα τὴν μικρότερη οἰκονομικὴ ἐπιβάρυνση τοῦ δικτύου.

Πάντως ὅσο μικρότερη εἶναι ἡ τιμὴ τῆς P π.χ. πλησίον στὴ τιμὴ $^1/_3$ (καὶ φ = 0,90 ἕως 0,95) τόσο μεγαλύτερη ἀξία ἔχει ἡ ἐξεύρεση τῆς σωστῆς διατάξεως τῶν ἀνοιχτῶν στομίων γιὰ τὴν ἀποφυγὴ σημαντικοῦ ὑπερσχεδιασμοῦ.

Στὴ συνέχεια δίδουμε στὸν πίνακα 6.1 γιὰ διάφορες τιμὲς τῆς P = 0,25 ἕως 0,65 καὶ γιὰ φ=0,90 — 0,95 — 0,99 τὸ πλῆθος τῶν ἀνοιχτῶν στομίων N μὲ τὰ ὁποῖα θὰ πρέπει νὰ ὑπολογίζονται οἱ ἰδεατὲς παροχὲς σὲ ἀγωγοὺς τελευταίας τάξεως ποὺ ἐξυπηρετοῦν μέχρι 12 στόμια ὑδροληψίας, γιατὶ ὅπως εἴπαμε πιὸ πάνω γιὰ περισσότερα ἀπὸ 10 ἕως 12 στόμια μποροῦμε νὰ ἐφαρμόζουμε τὶς σχέσεις (62) ἢ (63) τοῦ κεφαλαίου 5.

Μὲ τὸν πίνακα 6.1 καλύπτονται ὅλες οἱ περιπτώσεις ποὺ συνήθως παρουσιάζονται στὶς ἐφαρμογές.

Ἡ χρήση τοῦ πίνακα 6.1 εἶναι ἁπλούστατη γιατὶ γιὰ κάθε τμῆμα ἀγωγοῦ, ἀπὸ τὸ ὁποῖο ἐξυπηρετοῦνται R<10 ἢ 12 στόμια καὶ γιὰ δεδομένες τιμὲς τῆς φ καὶ P βρίσκουμε τὸ πλῆθος N καὶ ἑπομένως τὴν ἀντίστοιχη ἰδεατὴ παροχὴ Q = $N.q_0$. Τέλος σημειώνουμε τὸ γεγονὸς ὅτι μ' αὐτὸ τὸν τρόπο γίνεται εὔκολα καὶ συσχετισμὸς τῆς ἀπώλειας φορτίου μὲ τὴν παροχὴ κεφαλῆς τοῦ ἐξεταζόμενου ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως

Μπορεῖ ἔτσι νὰ καθοριστεῖ καὶ μιὰ σχέση

$$h = K'.Q^2 \ (\text{ἢ } K'Q^{\alpha}) \tag{65}$$

$$\text{ὅπου} \quad K' = \frac{1}{Q^2} \cdot \left(\Sigma K_i Q_i^2 \right) . \text{ ἢ } \left(= \frac{1}{Q^{\alpha}} \Sigma K_i Q_i^{\alpha} \right) \tag{66}$$

Q = παροχὴ κεφαλῆς

καὶ $K_i Q_i$ = οἱ ἀντίστοιχες τιμὲς τῶν K καὶ Q γιὰ τὰ διάφορα τμήματα τοῦ ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως.

Ἔτσι εἶναι εὔκολο καὶ μποροῦμε σὲ μιὰ γραμμὴ μεταφορᾶς, ἂν θέλουμε στὸ τέρμα της (ὅπου συνήθως καταλήγει σὲ ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως) νὰ ἀντικαταστήσουμε τὸν ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως, μὲ ἕνα ἰδεατὸ τμῆμα ποὺ θὰ ἔχει χαρακτηριστικὰ στοιχεῖα K' καὶ Q. Αὐτὸ πολλὲς φορὲς ἐνδεχομένως μπορεῖ νὰ διευκολύνει τοὺς ὑπολογισμοὺς καὶ νὰ μειώσει ἐπίσης καὶ τὸν ὄγκο τους.

Γιὰ νὰ μὴ γίνει σύγχυση στὴ χρήση τοῦ Πίνακος 6.1 τονίζουμε τὰ ἑξῆς:

Ὅταν θέλουμε νὰ βροῦμε ὄχι μόνο τὸν ἀριθμὸ τῶν ἀνοιχτῶν στομίων ἀλλὰ καὶ τὴ διάταξή τους, ξεκινᾶμε ἀπὸ τὰ τελευταῖο τμῆμα τοῦ ἐξεταζόμενου ἀγωγοῦ βλέποντας ἔτσι τὸν ἀριθμό, π.χ. N_1 στὸ τέρμα του. Στὴ συνέχεια μεταβαίνουμε στὸ ἑπόμενο προτελευταῖο τμῆμα του ὅπου παίρνουμε ἕνα νέο ἀριθμὸ N_2, ὁπότε τὴ διαφορὰ $N_2—N_1$ τὴν τοποθετοῦμε στὸν προτελευταῖο κόμβο. Ἐργαζόμενοι μὲ τὸν ἴδιο τρόπο φθάνουμε στὴν κεφαλὴ πετυχαίνοντας ἔτσι καὶ μιὰ σωστὴ διάταξη κατανομῆς τοῦ συνολικοῦ ἀριθμοῦ N ἀνοιχτῶν στομίων.

7. Χαρακτηριστικὸ παράδειγμα βελτιστοποιήσεως.

Στὸ παράδειγμα ποὺ ἀκολουθεῖ δίδουμε ἕνα χαρακτηριστικὸ δίκτυο ποὺ ἔχει σὰν κύριο κορμὸ 10 τμήματα στὴ σειρά, ὁ ὁποῖος ἐξυπηρετεῖ 13 ἀγωγοὺς τελευταῖς τάξεως. Ἀπὸ τὸ δίκτυο αὐτὸ ἐξυπηρετοῦνται συνολικὰ 120 στόμια ὑδροληψία καὶ ἔκταση τῆς τάξεως τῶν 4.800 στρεμμάτων.

Ἡ μορφὴ τοῦ δικτύου ἐμφανίζεται στὸ σχῆμα 7.1 ποὺ ἀκολουθεῖ καὶ τὰ δεδομένα δίδονται πιὸ κάτω.

Οἱ παροχὲς ὑπολογίστηκαν σὲ δυὸ περιπτώσεις δηλαδὴ στὴν περίπτωση A ὅπου ὑπολογίστηκαν μὲ τὶς ὁδηγίες τοῦ Ὑπουργείου Δημοσίων Ἔργων καὶ στὴν περίπτωση B μὲ τὶς ὁδηγίες τῶν κεφαλαίων 5 καὶ 6. Στὴν περίπτωση B καταρχὴ δίδονται ξεχωριστὰ οἱ παροχὲς ποὺ δίδουν οἱ σχέσεις (58) καὶ (59) ὅπως καὶ ἡ σχέση τοῦ R. Clement (2) γιὰ νὰ φανεῖ ἡ διαφορὰ ἡ ὁποία ὅπως εἴπαμε εἶναι πολὺ μικρὴ γιὰ τὶς σχέσεις (58, 59) ἀλλὰ καὶ γιὰ τὴ σχέση (2) εἶναι πάλι σχετικὰ μικρή. Βέβαια τελικὰ στὴν περίπτωση B ἐφαρμόζονται οἱ παροχὲς ποὺ προκύπτουν μὲ ἐφαρμογὴ τῆς σχέσεως (59) ἢ (63).

Στὴ συνέχεια μὲ διατήρηση τῶν ἰδίων δεδομένων (μήκη, ὑψόμετρα κλπ., γεωμετρικὰ στοιχεῖα) στὸ δίκτυο καὶ μὲ ἀλλαγὴ μόνο τῶν παροχῶν σχεδιασμοῦ προβαίνουμε στὴ βελτιστοποίησή του τόσο στὴν περίπτωση A ὅσο καὶ στὴ B, γιὰ νὰ ἐλαχιστοποιήσουμε τὸ κόστος μὲ κατάλληλη ἐκλογὴ τῶν διαμέτρων. Ἡ βελτιστοποίηση ἔγινε μὲ τὴ μέθοδο τοῦ Y. Labye καὶ μὲ πρόγραμμα τοῦ συνάδελφου I. Εὐθυμιάτου σὲ ἠλεκτρονικὸ ὑπολογιστή. Τὰ ἀποτελέσματα ποὺ ἀφοροῦν τὶς διαμέτρους κλπ. βασικὰ στοιχεῖα ἐμφανίζονται πιὸ κάτω τόσο στὴν περίπτωση A ὅσο καὶ στὴ B.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1

Γιά τόν καθορισμό τοῦ ἀριθμοῦ N ἀνοιχτῶν στομίων σέ ἀγωγούς τελευταίας τάξεως.

Ἐξυπηρετούμενο πλῆθος στομίων	Ἀριθμός N ἀνοιχτῶν στομίων																													
	P = 0.25			P = 0.30			P = 1/3			P = 0.35			P = 0.40			P = 0.45			P = 0.50			P = 0.55			P = 0.60			P = 0.65		
	φ			φ			φ			φ			φ			φ			φ			φ			φ			φ		
R	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	2	3	3	2	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4	4	3	4-	5	4	4	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	3	3	4	3	4	5	3	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	3	4	5	4	4	5	4	4	5	4	5	5	4	5	6	5	5	6	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	4	4	5	4	5	6	4	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	7	6	6	7	7	8	8	7	8	8	7	8	8
9	4	4	5	4	5	6	5	5	6	5	6	7	5	6	7	6	6	7	6	7	8	8	9	9	8	9	9	8	9	9
10	4	5	6	5	5	7	5	5	7	5	6	7	6	7	8	6	7	8	7	8	8	9	9	10	9	9	10	9	10	10
11	5	5	6	5	6	7	6	6	7	6	7	8	6	7	8	6	7	8	7	8	9	10	11	11	10	10	11	10	11	11
12	5	6	7	6	6	7	6	6	8	6	7	8	7	8	9	8	8	9	8	8	9	10	11	11	10	11	12	11	12	12

Τμῆμα κύριου ἀγωγοῦ (i)	Πλῆθος ἐξυπ. στομίων R	Μέση τιμή μ λ/δλ	Ἀπόκλιση σ λ/δλ	Παροχές Q_i (λ/δλ) γιά ε = 1.28, φ = 0,90: $Q_i = \left(\mu_i^2 + \sigma_i^2 + 2\varepsilon\mu_i\sigma_i\right)^{1/2}$	$Q_i = \left[\mu_i^\alpha + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}\mu_i^{\alpha-2}\sigma_i^2 + \alpha\varepsilon\mu_i^{\alpha-1}\sigma_i\right]^{1/2}$ α = 1,786	$Q_i = \mu_i + \varepsilon\sigma_i$
36 - 30	18	43,2	15,55	61,87	62,14	63,10
30 - 25	36	86,4	22,0	113,20	114,24	114,56
25 - 21	50	120,0	25,92	151,77	152,07	153,18
21 - 18	62	148,8	3,87	184,31	184,61	185,75
18 - 14	72	172,8	31,11	211,16	211,45	212,62
14 - 11	84	201,6	33,60	243,13	243,60	244,61
11 - 8	92	220,8	35,16	264,32	264,60	265,80
8 - 4	100	240,0	36,66	285,43	285,71	286,92
4 - 1	112	268,8	38,80	316,95	317,24	318,46
1 - Δ_0	120	288,0	40,16	337,88	338,20	339,40

Πρῶτα, ὅπως εἴπαμε, δίδουμε τίς ἰδεατές παροχές γιά τήν περίπτωση B μέ τίς σχέσεις (59), (58) καί (2).

Ἀπό τίς παραπάνω παροχές ἐφαρμόζουμε στρογγυλευμένες στό πρῶτο δεκαδικό ψηφίο, τίς παροχές $Q_i = \left(\mu_i^2 + \sigma_i^2 + 2\varepsilon\mu_i\sigma_i\right)^{1/2}$. Οἱ ὑπόλοιπες παροχές τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως βρίσκονται πολύ εὔκολα ἀπό τόν πίνακα 6.1 γιά φ = 0,90 καί p = 0,30.

Τά βασικά δεδομένα τοῦ δικτύου τοῦ σχήματος 8.2 εἶναι:

p = 0,30 $\qquad q_0 = 8{,}0$ λ/δλ

Ἀπώλειες στούς σωλῆνες $h = KQ^\alpha$ ὅπου τό h δίδεται σέ μ/χλμ. καί τό Q σέ λ/δλ. τό δέ K σέ συνάρτηση μέ τή διάμετρο D. Σημειώνουμε ὅτι γιά χαλυβδοσωλῆνες δεχθήκαμε τό α = 1,96 καί γιά ἀμιαντοσιμεντοσωλῆνες α = 1,786.

Οἱ μέγιστες ταχύτητες εἶναι ἐκεῖνες πού σημειώνονται στόν πίνακα πού ἀκολουθεῖ (πρόκειται γιά ταχύτητες λίγο ἐλαττωμένες σέ σχέση μέ αὐτές πού δίδει ἡ σχετική ἐγκύκλιος τοῦ Ὑπουργείου), ἐνῶ γιά ἐλάχιστη ταχύτητα ἔγινε δεκτή ἡ τιμή 0,50 μ/δλ.

Τό κόστος γιά τήν προμήθεια καί ἐγκατάσταση τῶν σωλήνων δίδεται ἐπίσης σέ συνάρτηση μέ τή διάμετρο.

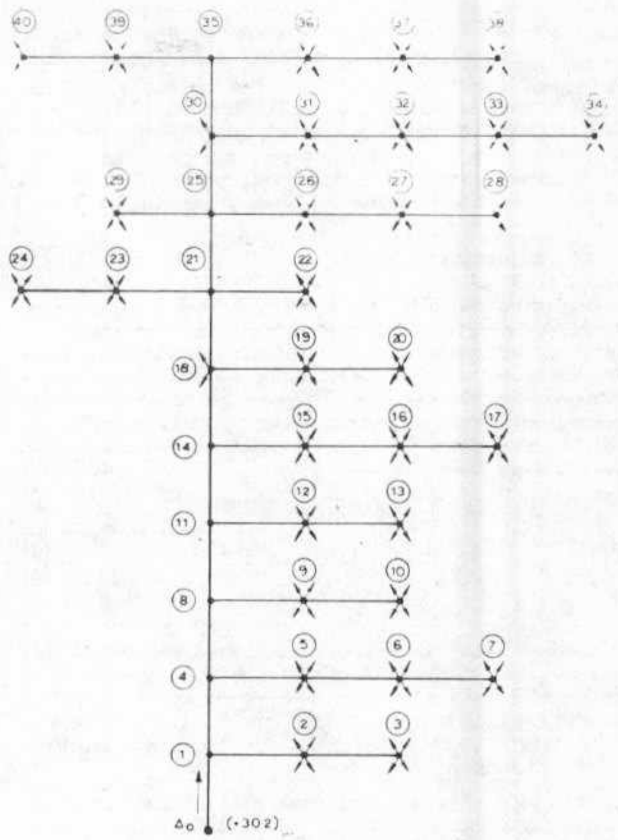
Τά γενικά δεδομένα δίδονται ἀμέσως πιό κάτω μαζί μέ τούς περιορισμούς τῶν ταχυτήτων.

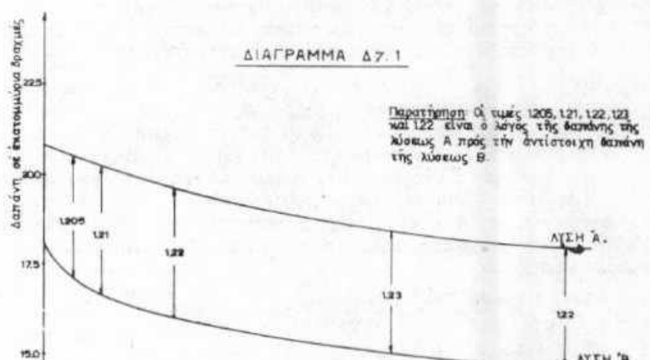
Διάμετρος χλστ.	Κόστος σὲ δρχ/μ..	Τιμὴ τοῦ Κ	Τιμὴ τοῦ α	Ταχύτητες	
				Μέγιστες	'Ελάχιστες
1200	11330	0,0000007164	1,960	2,50	0,50
1100	9800	0,0000011254	»	»	»
1000	8380	0,0000018452	»	2,40	»
900	7010	0,0000031888	»	»	»
800	5705	0,0000059761	»	2,30	»
700	4460	0,0000117500	»	»	»
600	3615	0,0000261530	»	2,20	»
500	3120	0,0001548660	1,786	»	»
450	2600	0,0002564400	»	2,10	»
400	2095	0,0004505600	»	»	»
350	1645	0,0008536700	»	2,00	»
300	1250	0,0017852000	»	»	»
250	920	0,0042724000	»	»	»
200	680	0,0124300000	»	1,00	
175	565	0,0235510000	»	1,70	»
150	465	0,0492540000	»	1,60	»
125	370	0,1178700000	»	1,40	»
100	315	0,3429300000	»	1,20	»
80	245	0,9977491300	»	1,00	»

Στὴ συνέχεια δίδονται τὰ γεωμετρικὰ στοιχεῖα τοῦ δικτύου καὶ οἱ παροχὲς σχεδιασμοῦ στὶς δυὸ περιπτώσεις Α καὶ Β ποὺ ἐξετάζονται. (Σχ. 7.1)

'Ονομασία κλάδου	Μῆκος (μετρ.)	'Υψόμετρο		'Εγκατεστημένα στόμια	Παροχὲς (λ/δλ)	
		"Εδαφος	'Ελάχιστο πιεζ. γραμμῆς		Περίπτωση	
					Α	Β
1	1000	+266	+276	120	391,6	337,9
2	200	263	298	8	64,0	32,0
3	400	260	295	4	32,0	16,0
4	400	263	273	112	381,6	316,9
5	200	262	297	12	96,0	45,1
6	400	261	296	8	64,0	32,00
7	420	259	294	4	32,0	16,0
8	380	260	270	100	235,4	285,4
9	220	258	293	8	64,0	32,0
10	400	257	292	4	32,0	16,0
11	400	258	263	92	325,4	264,3
12	180	257	292	8	64,0	32,0
13	420	255	290	4	32,0	16,0
14	400	255	265	84	279,9	243,1
15	200	255	290	12	96,0	45,1
16	400	254	289	8	64,0	32,0
17	400	254	289	4	32,0	16,0
18	450	251	283	72	279,9	211,2
19	200	250	285	8	64,0	32,0
20	420	250	285	4	32,0	16,0
21	450	248	258	62	216,1	184,3
2	220	248	283	4	32,0	16,0
23	200	249	284	8	64,0	32,0
24	400	250	285	4	32,0	16,0
25	420	245	255	50	216,1	151,8
26	220	243	273	10	80,0	40,0
27	400	242	272	6	36,0	24,0
28	420	242	274	2	16,0	16,0
29	200	246	281	4	32,0	16,0
30	400	244	276	36	137,7	113,2
31	180	243	278	16	96,0	56,0
32	380	242	277	12	96,0	45,1
33	400	241	276	8	64,0	32,0
34	380	240	275	4	32,0	16,0
35	450	240	255	18	132,0	61,9
36	200	240	275	12	96,0	45,1
37	380	240	275	8	64,0	32,0
38	400	239	274	4	32,0	16,0
39	220	241	276	6	36,0	24,6
40	400	241	273	2	16,0	16,0

Σχ. 7.1





Συνοπτικὰ συμπεράσματα γιὰ τὴ μείωση τοῦ κόστους

Μὲ τὸ πιὸ πάνω χαρακτηριστικὸ παράδειγμα ἀποκτήσαμε μιὰ ἀντίληψη τῆς τάξεως μεγέθους τῆς οἰκονομίας ποὺ ἐπιτυγχάνεται σὲ ἀρδευτικὰ δίκτυα ἂν τὰ σχεδιάσουμε σωστὰ ἐφαρμόζοντας τὶς «ἰδεατὲς παροχές».

Ἔτσι βλέπουμε ὅτι ἡ ἐλάχιστη οἰκονομία ποὺ ἐπιτυγχάνεται εἶναι τῆς τάξεως τοῦ 20% περίπου ἐπὶ τοῦ κόστους γιὰ σωστὸ σχεδιασμό. Τὸ ποσοστὸ αὐτὸ ἀντιστοιχεῖ σὲ ἐδάφη ποὺ ἔχουν μικρὲς κλίσεις καὶ ἔτσι μὲ τὴν τοποθέτηση τετραπλῶν ὑδροληψιῶν μειώνεται τὸ μῆκος τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως.

Ἐπίσης ἀπὸ παραδείγματα ποὺ δὲν ἐμφανίζονται στὴν παροῦσα ἐργασία διαπιστώθηκε ὅτι σὲ εἰδικὲς περιπτώσεις τὰ πιὸ πάνω ποσοστὸ μπορεῖ νὰ αὐξηθεῖ μέχρι καὶ 50% περίπου. Αὐτὸ βέβαια θὰ συμβεῖ σὲ περιπτώσεις ἐδαφῶν μὲ ἐντονότερες κλίσεις ὅπου τοποθετοῦνται διπλὲς ὑδροληψίες καὶ κατὰ συνέπεια τὸ μῆκος τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως εἶναι πάρα πολὺ μεγάλο σὲ σύγκριση μὲ τὸ μῆκος τῶν ἀγωγῶν ἀνωτέρας τάξεως. Ἐπομένως ρόλο στὴ διακύμανση τοῦ ποσοστοῦ οἰκονομίας παίζει ἡ μορφολογία τοῦ ἐδάφους, ἡ γενικὴ διάταξη τοῦ δικτύου καὶ τῶν ὑδροληψιῶν κλπ.

Τελικὰ μπορεῖ νὰ γίνει δεκτὸ ὅτι τὸ ποσοστὸ οἰκονομίας ποὺ ἐπιτυγχάνεται ἐπὶ τοῦ κόστους ἑνὸς δικτύου ποὺ σχεδιάζεται σωστά, μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ κατὰ ἐλάχιστο σὲ 20 ἕως 25%. Τὸ ποσοστὸ αὐτὸ βέβαια πρέπει νὰ θεωρεῖται ὅτι ἀποτελεῖ ἕνα μέσο στατιστικὸ ὅρο τῶν διαφόρων περιπτώσεων ποὺ μπορεῖ νὰ παρουσιαστοῦν στὶς ἐφαρμογὲς καὶ ἀναφέρεται στὸ συνολικὸ κόστος τῶν δικτύων (σωλῆνες, χωματουργικὰ κ.λ.π.).

8. Συμπεράσματα

α) Οἱ πληροφορίες ποὺ δίνει ἡ σχέση (2) γιὰ τὶς ζητούμενες παροχὲς σὲ μιὰ θέση θεωροῦνται ἀρκετὰ ἱκανοποιητικὲς γιὰ τὸν ὑδραυλικὸ σχεδιασμὸ ἑνὸς ἀρδευτικοῦ δικτύου. 'Η σχέση αὐτὴ ποὺ εἶναι γνωστὴ σὰν «1ος τύπος τοῦ R. Clement» προκύπτει ἀπὸ τὴν παραδοχὴ τῆς λειτουργίας κάθε στομίου ὑδροληψίας μὲ σταθερὴ πιθανότητα ἐντὸς τῆς ἀρδευτικῆς ἡμέρας χωρὶς νὰ λαμβάνεται ὑπόψη τὸ ἱστορικὸ τῆς λειτουργίας τοῦ ὅλου δικτύου.

Ἔτσι μ' αὐτὲς τὶς πληροφορίες τῆς σχέσεως (2) $Q = \mu + \varepsilon.\sigma$ ἢ $N = R.p + \varepsilon[Rp(1-p)]^{1/2}$ ποὺ θεωροῦνται χρήσιμες καὶ σωστὲς γιὰ τὸ σχεδιασμὸ ἑνὸς δικτύου, εἶναι δυνατὸ γιὰ μιὰ ἐπιθυμητὴ ποιότητα λειτουργίας φ, νὰ ὑπολογίσουμε τὴ μέγιστη παροχὴ ποὺ ζητιέται στὴν κεφαλὴ ἢ καὶ σὲ ἄλλες θέσεις.

Προκειμένου ὅμως νὰ προχωρήσουμε στὸν ὑπολογισμὸ τῶν διαμέτρων τοῦ δικτύου, δὲν εἶναι σωστὸ νὰ ἀθροίσουμε τὶς παροχὲς αὐτὲς οἱ ὁποῖες εἶναι οἱ μέγιστες ποὺ παρουσιάζονται στὶς διάφορες θέσεις γιὰ καθορισμένες τιμὲς τῆς ποιότητας λειτουργίας φ, τῆς πιθανότητας λειτουργίας κάθε στομίου p καὶ τῆς παροχῆς q_0 τῶν στομίων ὑδροληψίας.

Μέχρι τώρα οἱ σχετικὲς προτάσεις γιὰ τὸν καθορισμὸ τῶν παροχῶν σχεδιασμοῦ βασίζονται σὲ ἀμφισβητήσιμες προτάσεις ἢ ἐμπειρικὲς καὶ περίπου αὐθαίρετες κατανομὲς τῆς ὅλης παροχῆς κεφαλῆς ἢ τῶν ἐπὶ μέρους παροχῶν τῶν διαφόρων κλάδων. Οἱ κατανομὲς αὐτὲς δὲν ἀνταποκρίνονται στὴν πραγματικότητα καὶ συνήθως καταλήγουν σὲ ὑπερσχεδιασμό.

β) Στὴν παροῦσα ἐργασία λαμβάνοντας ὑπόψη τὸν σωστὸ καθορισμὸ τῆς ποιότητας λειτουργίας τοῦ δικτύου ποὺ εἶναι ἡ ποιότητα τῆς λειτουργίας τῶν ἐξυπηρετούμενων στομίων (δηλαδὴ ἕνα στόμιο ἔχει ποιότητα λειτουργίας φ, ἂν τὸ ὑψόμετρο τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς ἀμέσως ἀνάντη αὐτοῦ παραμένει γιὰ στάθμη πιθανότητας φ, μεγαλύτερο ἢ ἴσο πρὸς τὸ ἀπαιτούμενο), καταλήξαμε στὴ μελέτη τῆς κατανομῆς τῆς ἀπώλειας φορτίου κατὰ μῆκος τῶν διαφόρων γραμμῶν μεταφορᾶς.

'Η μελέτη τῆς κατανομῆς τῆς ἀπώλειας φορτίου πραγματοποιήθηκε μὲ τὴν ἔκφραση (12).

$$h = \Sigma.K_i.Q_i^{\alpha}$$

ὅπου Q_i εἶναι οἱ παροχὲς ποὺ ζητοῦνται σὲ κάθε κλάδο τῆς γραμμῆς μεταφορᾶς καὶ K_i οἱ ἀντίστοιχες συναρτήσεις ποὺ δίνουν οἱ σχέσεις (9) καὶ (10).

Γιὰ τὴ μαθηματικὴ ἐπεξεργασία γίνεται δεκτὸ ὅτι κάθε ἀγωγὸς τελευταίας τάξεως ἐξυπηρετεῖ τουλάχιστον 10 στόμια, ὁπότε εἶναι δυνατὸ νὰ ὑποτεθεῖ ὅτι οἱ παροχὲς στὴν κεφαλὴ τῶν ἀγωγῶν τελευταίας τάξεως ἀκολουθοῦν τὴν κανονικὴ κατανομή. Πάντως καὶ ἂν ἀκόμα ἐξυπηρετοῦνται ἀπὸ τοὺς ἀγωγοὺς τελευταίας τάξεως λιγότερα ἀπὸ 10 στόμια, πάλι ἐφαρμόζονται τὰ συμπεράσματα τῆς παρούσης ἐργασίας. Τὴ λειτουργία τοῦ ἀγωγοῦ τελευταίας τάξεως ποὺ ἐξυπηρετεῖ μέχρι 10 ἢ τὸ πολὺ 12 στόμια ἔχουμε ἐξετάσει στὸ κεφάλαιο 6 καὶ ἔχουμε καταλήξει σὲ συμπεράσματα. Σύμφωνα λοιπὸν μὲ τὰ συμπεράσματα αὐτὰ εἶναι δυνατὸ πάντοτε νὰ ἀπεικονίζουμε τὴ λειτουργία του μὲ ἕνα αἰτιοκρατικὸ σχῆμα ζητήσεως τὸ ὁποῖο προκύπτει θεωρώντας ὁρισμένα ἀπὸ τὰ στόμιά του σὰν ἀνοιχτά. Τὸ πλῆθος καὶ ἡ θέση αὐτῶν τῶν στομίων προσδιορίζονται μὲ ἕνα τρόπο ποὺ εἶναι ἁπλός.

Ἔτσι εἶναι δυνατὸ σὲ κάθε τμῆμα του νὰ προσδιορίζεται μιὰ παροχὴ σχεδιασμοῦ ποὺ ὀνομάζεται «ἰδεατὴ παροχὴ σχεδιασμοῦ» ἡ ὁποία δίνει τὶς ἀπώλειες φορτίου ποὺ ἀντιστοιχοῦν στὴν ἐξεταζόμενη θέση γιὰ στάθμη πιθανότητας (ποιότητας λειτουργίας) φ ἢ τὶς ὑπερβάλλει κατὰ λογικὸ ποσοστὸ μικρῆς τάξεως. 'Επίσης εἶναι εὔκολο νὰ βρεθεῖ καὶ ἡ σχέση ἀπώλειας φορτίου καὶ παροχῆς κεφαλῆς τοῦ ἀγωγοῦ ἢ ἄλλης ἐξεταζόμενης θέσεώς του.

'Η εὕρεση τῶν ἀνοιχτῶν στομίων γίνεται μὲ τὴ βοήθεια τοῦ πίνακα 6.1 σὲ συνάρτηση μὲ τὸ πλῆθος R τῶν στομίων ποὺ ἐξυπηρετεῖ κάθε τμῆμα τοῦ ἀγωγοῦ, μὲ τὴν πιθανότητα p λειτουργίας τοῦ κάθε στομίου καὶ τὴν ἐπιθυμητὴ ποιότητα λειτουργίας φ. Γιὰ τιμὲς ἐκτὸς τοῦ πίνακα μπορεῖ κανεὶς νὰ χρησιμοποιήσει ἕνα πίνακα διωνυμικῆς κατανομῆς σύμφωνα μὲ τὶς ὁδηγίες τοῦ κεφαλαίου 6. Γιὰ περισσότερα ἀπὸ 10 ἢ τὸ πολὺ 12 στόμια ὁπότε ἡ παροχὴ ἀκολουθεῖ τὴν κανονικὴ κατανομὴ ἐφαρμόζονται οἱ σχέσεις (62) ἢ (63) τοῦ κεφαλαίου 5 ποὺ δίνουν τὶς «ἰδεατὲς παροχὲς» στοὺς ὑπόλοιπους ἀγωγοὺς ἀνωτέρας τάξεως.

'Εκτὸς ἀπὸ τὶς «ἰδεατὲς παροχὲς σχεδιασμοῦ» ποὺ ἀναφέραμε στὸν ἀγωγὸ τελευταίας τάξεως καὶ ποὺ καθορίζονται γιὰ ἀγωγοὺς ποὺ ἐξυπηρετοῦν λιγότερα ἀπὸ 10 ἢ 12 στόμια μὲ τὴ βοήθεια τοῦ πίνακα 6.1 τοῦ κεφαλαίου 6, καθορίζονται ἐπίσης μὲ βάση τὶς σχέσεις (62) ἢ (63) καὶ οἱ «ἰδεατὲς παροχὲς σχεδιασμοῦ» στοὺς ἀγωγοὺς ἀνωτέρας τάξεως, οἱ ὁποῖες εἶναι :

$$Q_i = \left[\mu_i^2 + \sigma_i^2 + 2\varepsilon.\mu_i.\sigma_i \right]^{1/2} = \mu_i \left((1 + Cv_i^2 + 2\varepsilon.Cv_i \right)^{1/2}$$

ἢ μὲ μικρὴ ὑποτίμηση τῶν ἀπωλειῶν :

$$Q_i = \left(\mu_i^2 + 2\varepsilon.\mu_i.\sigma_i \right)^{1/2} = \mu_i (1 + 2\varepsilon.Cv_i^{1/2}$$

ἐνῶ μὲ μικρὴ ὑπερτίμιση τῶν ἀπωλειῶν :

$$Q_i = \mu_i + \varepsilon.\sigma_i = \mu_i.(1 + \varepsilon.Cv_i)$$

ποὺ εἶναι ἡ σχέση (2) τοῦ R. Clement.

Σημειώνουμε ὅτι :

Q_i = ἰδεατὴ παροχὴ σχεδιασμοῦ τοῦ κλάδου i
μ_i, σ_i = μέση τιμὴ καὶ τυπικὴ ἀπόκλιση τῆς παροχῆς στὸν κλάδο i ποὺ δίδονται ἀπὸ τὶς σχέσεις (3) καὶ (4)
Cv_i = συντελεστὴς μεταβολῆς παροχῶν τοῦ κλάδου ἢ τμήματος (i)
ε = τυποποιημένη τυχαία μεταβλητὴ κανονικῆς κατανομῆς

Τὸ σημαντικὸ εἶναι, ὅτι οἱ πιὸ πάνω σχέσεις ἐφαρμόζονται πάντοτε, ὁποιαδήποτε σχέση τοῦ κεφ. 2 καὶ ἂν δεχθοῦμε γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῶν ἀπωλειῶν.

Οἱ σχέσεις (62) προέκυψαν ἀπὸ τὴ μελέτη τῆς σχέσεως (12) μετὰ ἀπὸ λογικὲς καὶ ἀνεκτὲς προσεγγίσεις γιὰ τὸ πεδίο ἐφαρμογῆς τῶν σχέσεων (30) καὶ (31). 'Επίσης ἀπὸ τὴ μελέτη τῆς ἀπώλειας h προέκυψε τὸ συμπέρασμα ὅτι ἡ κατανομή της μπορεῖ μὲ μεγάλη προσέγγιση νὰ θεωρηθεῖ ὅσο αὐξάνουν οἱ κλάδοι, ὅτι τείνει πρὸς τὴν κανονικὴ καὶ οἱ τυποποιημένες τιμὲς τῆς $u = \frac{h-m}{s}$ τείνουν πρὸς τὶς τιμὲς τῆς τυποποιημένης κανονικῆς κατανομῆς.

'Η μέση τιμὴ καὶ ἡ ἀπόκλιση τῆς ἀπώλειας φορτίου εἶναι :

$$m = \Sigma.K.\left(\mu_i^2 + \sigma_i^2 \right) \text{ ἢ } \Sigma K_i.\left[\mu_i^{\alpha} + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2}.\mu^{\alpha-1}.\sigma_i^2 \right]$$

$s \approx 2\Sigma.K_i \mu_i.\sigma_i$ ἢ $\left(\alpha\Sigma.K_i.\mu^{\alpha-1}.\sigma_i \right)$, $\alpha =$ περίπου 1,76 ἕως 2,00

Τελικὰ δεχθήκαμε τὶς ἑξῆς τιμὲς τῆς u ποὺ τὶς χαρακτηρίσαμε μὲ τὸ ε τῆς τυποποιημένης κανονικῆς κατανομῆς.

$u = \varepsilon = 1{,}28$	γιὰ $\varphi = 0{,}90$
$u = \varepsilon = 1{,}65$	γιὰ $\varphi = 0{,}95$
$u = \varepsilon = 2{,}33$ (ἕως 2,40)	γιὰ $\varphi = 0{,}99$

Δηλαδὴ δεχόμεθα τὶς τιμὲς τῆς τυχαίας μεταβλητῆς τυποποιημένης κανονικῆς κατανομῆς.

Τὰ συμπεράσματα πάντως τῆς παρούσας ἐργασίας καὶ τὰ ἀποτελέσματα ἀπὸ τὴν ἐφαρμογὴ τῶν «ἰδεατῶν παροχῶν» σχεδιασμοῦ, ἔχουν ἐπαληθευτεῖ σὲ συγκεκριμένες περιπτώσεις γραμμῶν μεταφορᾶς (τελευταίας ἢ ἀνωτέρας τάξεως) μὲ τὴν μέθοδο τος ἐξομοιώσεως.

γ) Στὸ θέμα τῆς ποιότητας λειτουργίας ἔγινε πιὸ πάνω ἀποδεκτὸς ὁ καθορισμὸς τῆς ποιότητας λειτουργίας τῶν ἐξυπηρετουμένων στομίων.

Θὰ μπορούσαμε ὅμως μὲ τὰ συμπεράσματα ποὺ πήραμε ἀπὸ τὴν πιὸ πάνω σωστὴ ἀποδοχὴ τοῦ καθορισμοῦ τῆς ποιότητας λειτουργίας. νὰ δεχθοῦμε καὶ σὰν ταυτόσημο τὸν ἑξῆς καθορισμὸ τῆς ποιότητας λειτουργίας, τοῦ δικτύου «ὅτι ποιότητα λειτουργίας φ τοῦ δικτύου θὰ εἶναι ἡ πιθανότητα ὅπως $Q \leqq Q_i$ γιὰ κάθε τμῆμα ἢ κλάδο του καὶ ὅπου Q_i εἶναι ἡ ἀντίστοιχη ἰδεατὴ παροχή», δηλαδὴ $p(Q \leqq Q_i) = \varphi$.

Πάντως μετὰ τὸν καθορισμὸ τῶν σχέσεων (62) ποὺ δίνουν τὶς ἰδεατὲς παροχὲς σχεδιασμοῦ οὐσιαστικὰ λύθηκε καὶ τὸ πρόβλημα τῆς βελτιστοποιήσεως γιατὶ ἀπὸ τὴ στιγμὴ ποὺ στὸ δίκτυο καθορίζονται γιὰ κάθε τμῆμα ἢ κλάδο του οἱ παροχὲς καὶ τὰ ὅρια διακυμάνσεως τῶν ταχυτήτων, μποροῦμε νὰ ἐφαρμόσουμε μιὰ ἀπὸ τὶς γνωστὲς μεθόδους ὅπως. π.χ. τὴν ἀσυνεχὴ μέθοδο τοῦ Y. Labye.

δ) Ὅπως ἔγινε φανερὸ μὲ τὸν καθορισμὸ τῶν σωστῶν κριτηρίων σχεδιασμοῦ ἑνὸς ἀρδευτικοῦ δικτύου ἐπιτυγχάνεται μιὰ σημαντικὴ οἰκονομία ποὺ, ὅπως ἀναφέρθηκε στὸ κεφάλαιο 8, ξεπερνᾶ συνήθως κατὰ μέσο ὅρο τὸ 20 % σὲ σύγκριση μὲ τὰ οἰκονομικὰ ἀποτελέσματα ποὺ δίνει ἡ ἐφαρμοζόμενη μεθοδολογία στὴ χώρα μας σήμερα.

Θεωροῦμε ὅτι αὐτὸ τὸ οἰκονομικὸ ἀποτέλεσμα ἀποτελεῖ ἕνα σημαντικὸ παράγοντα ποὺ πρέπει νὰ λαμβάνεται ὑπόψη ἀπὸ δῶ καὶ πέρα στὸ σχεδιασμὸ τῶν ὑπὸ πίεση ἀρδευτικῶν δικτύων.
ε) Σημειώνεται καὶ πάλι ἰδιαίτερα τὸ γεγονὸς ὅτι μὲ τὴν ἐφαρμογὴ τῶν ἰδετατῶν παροχῶν ὄχι μόνο δὲν ἀπαιτεῖται νὰ βρεθεῖ ἕνας νέος ἀλγόριθμος βελτιστοποιήσεως ἀλλὰ τουναντίον ἡ εὕρεση καὶ ἡ ἐφαρμογὴ τῶν παροχῶν αὐτῶν εἶναι ἁπλούστατη καὶ ταχύτατη γιὰ τὴ χρησιμοποίηση σὲ συνέχεια κάποιας γνωστῆς μεθόδου βελτιστοποιήσεως. Ἐπίσης τονίζεται τὸ γεγονὸς ὅτι μὲ τὶς ἰδεατὲς παροχὲς ἐπιτυγχάνεται ὁμοιόμορφη σχεδὸν ποιότητα λειτουργίας σὲ ὅλο τὸ δίκτυο καὶ μετατρέπεται ἕνα πιθανοθεωρητικὸ πρόβλημα σὲ αἰτιοκρατικό.

9. Βασικὰ Σύμβολα

Q, q, q_0	= παροχή, μέση παροχὴ ἀρδεύσεως ἀγροτεμαχίου, ὀνομαστικὴ παροχὴ στόμιου ὑδροληψίας
B	= βαθμὸς ἐλευθερίας $= \frac{q_0}{q}$
φ	= ποιότητα λειτουργίας $= \frac{1}{B}$
N	πλῆθος ἀνοιχτῶν στομίων ὑδροληψίας
R	= συνολικὸ πλῆθος στομίων ὑδροληψίας ποὺ ἐξυπηρετεῖται ἀπὸ μιὰ ἐξεταζόμενη θέση-Ὑδραυλικὴ ἀκτίνα
p	= πιθανότητα λειτουργίας στομίου ὑδροληψίας
μ	= μέση τιμὴ παροχῆς
σ	= τυπικὴ ἀπόκλιση τῆς παροχῆς
ε	= τυποποιημένη τυχαία μεταβλητὴ κανονικῆς κατανομῆς
h	= ἀπώλειες ἐνέργειας σὲ κλειστοὺς σωληνωτοὺς ἀγωγούς
f	= συντελεστὴς τριβῶν
u	= μέση ταχύτητα μέσα στοὺς σωληνωτοὺς ἀγωγούς
C, C_0, K, γ	= συντελεστές
D	= ἐσωτερικὴ διάμετρος σωληνωτοῦ ἀγωγοῦ
S	= κλίση γραμμῆς ἐνεργείας
L, l	= μήκη ἀγωγῶν
x, y	= ἐκθέτες ἢ ἄγνωστες μεταβλητές
N	= ἀριθμὸς Reynolds
n	= συντελεστὴς τραχύτητας
α, β	= ἀριθμητικοὶ ἐκθέτες
$P(X \leqq x)$	= πιθανότητα ὅπως $X \leqq x$
$P(X = x)$	= $p(x)$ = πιθανότητα ὅπως $X = x$
C_v	= συντελεστὴς μεταβολῆς παροχῶν
$u, u(\varphi)$	= τυποποιημένη τιμὴ τῆς ἀπώλειας φορτίου $= \frac{h-m}{s}$ —τιμὴ τυποποιημένης κατανομῆς ποὺ ἀντιστοιχεῖ στὴν τιμὴ φ
m	= μέση τιμὴ ἀπώλειας φορτίου
H	= ὑψόμετρο
$F(x), g(y), f(x)$	= συναρτήσεις τῶν x_i ἢ x_i
Δ, δ	= δαπάνες ἀγωγῶν
A	= μήτρα ἢ σταθεροὶ συντελεστὲς ἢ συνάρτηση τῶν K_i, μ_i, σ_i
B	= σταθερὸς συντελεστὴς ἢ συνάρτηση

10. Βιβλιογραφία

1. Bonnal C. «Ἐγχειρίδιον συλλογικῆς ἀρδεύσεως διὰ καταιονισμοῦ». Πολυγραφημένη ἔκδοση Ὑπουργείου Δημ. Ἔργων, 1966.
2. Clement R. «Le calcul des débits dans les canalisations d'irrigation» Association amicate d'ingenieurs du Genie Rural - Journees d'ètudes sur d'irrigation, Ἰούνιος 1955.
3. Clement R. «Calcul de dèbits dans les reseaux d' irrigation fonctionnant a la demande» La Houille Blanche No 5, 1966.
4. Δασκαλόπουλος Δ. «Ἐφηρμοσμένη γραμμικὴ ἄλγεβρα» Ἀθῆναι, 1973.
5. Εὐστρατιάδης Γρ. «Ἐπὶ τοῦ τρόπου ὑπολογισμοῦ τῶν ἀρδευτικῶν δικτύων διὰ σωλήνων ὑπὸ πίεσιν κατὰ τὴν μέθοδον Clement» Τεχνικὰ Χρονικὰ No 6, 1960.
6. Κάκουλος Θ. «Θεωρία πιθανοτήτων καὶ στοχαστικῶν ἀνελίξεων» Ἀθῆναι, 1970.
7. Labye Y. «Méthodes Permettant de determiner les caracteristiques optimales d'un reseau de distribution d'eau - Méthodé discontinue» Bulletin Technique du Genie Rural, No 50.
8. Λειβαδίτης Ε. «Ἡ ἀσυνεχὴς μέθοδος Labye διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τοῦ οἰκονομικοῦ συνδυασμοῦ διαμέτρων σωληνωτῶν δικτύων ἀρδεύσεως» Τεχνικὰ Χρονικὰ No 5, 1972.
9. Manas: «National Plumbing Code Handbook» Mc Graw - Hill, Company, 1960.
10. Νουτσόπουλος Γ. «Μαθήματα Θεωρητικῆς καὶ Ἐφηρμοσμένης Ὑδραυλικῆς» τεῦχος Β'. Ροὴ εἰς κλειστοὺς ἀγωγοὺς ὑπὸ πίεσιν, Ἀθῆναι 1973.
11. Παντελίδης Γ. «Μαθηματικὴ ἀνάλυσις» Τόμοι I καὶ II, Ἀθῆναι 1972, 1974.
12. Sokolnikoff and Redheffer «Mathematics of Physics and Modern Engineering» Mc Graw Hill Book Company inc., 1966.
13. Wonnacot T. - Wonnacot R. «Introductory Statistics» J. Willey 1972.
14. Ὑπουργεῖο Δημοσίων Ἔργων «Ὁδηγίες γιὰ τὸν ἔλεγχο μελετῶν σωληνωτῶν ἀρδευτικῶν δικτύων» Ἐγκύκλιος Δ. 22200/30 - 7 - 1977.
15. Χριστούλας Δ. «Ἡ πιθανοθεωρία στὸν ὑδραυλικὸ σχεδιασμὸ τῶν ὑπὸ πίεση ἀρδευτικῶν δικτύων, Τεχνικὰ Χρονικὰ τεῦχ. 1/1977.

Hydraulic head losses and discharges determination for radial irrigation networks under pressure with fluctuating demand

By L. Lazaridis*

Summary

The function of radial irrigation networks under pressure with fluctuating demand follows a probabilistic trend. Thus the corresponding head losses follow a probabilistic trend in such a way that knowing their distribution along the flow direction of the water, which is called 'conveyance line', to enable ourselves to define for every probalbiity level the magnitude of the corresponding head loss.

The proper mathematical treatment of the problem and the acceptance of some logic approximations and assumptions, which correspond to the general layout of such networks, helped to end up in very use ful conclussions for the design purposes.

The distribution of the head losses along the 'conveyance line' is defined as follows,

$$h = m + u.s,$$

where m is the average value of the head loss s is the standard deviation of the head loss and $u = \frac{h-m}{s}$ is a standardizee value of the head loss.

According to the research having being done, the parameters m, s characterising the distribution of the head loss, h, are expressed by simple equations, which are easily formed and estimated. Additionally, the s value coincides with the e which is the standardized value of the normal distribution.

The head losses along the 'conveyance line' are,

$$h = k_i \ Q_i^x$$

where k_i is a coefficient depended on the diameter, the length andthe roughness in the section i of the 'conveyance line'

Q_i is a characteristic magnitude, expressed in dimensions of discharge, being equal to $(\mu_i^2 + \sigma_i^2 + 2.\varepsilon.\mu_i\sigma_i)^{1/2}$ where μ_i and σ_i are the average value and the standard deviation of the discharge in the section i of the network, respectively.

This mentioned characteristic Q_i is called 'ideal discharge' and the values of this 'ideal discharge' contribute in the correct design of the network.

Considering the values of the 'ideal discharge' , the probabilistic problem is transformed to a deterministic problem, because applying the values Q_i, reflecting to a desirable probability level, on the different sections of the 'conveyance line', that head loss is produced, which correspond to a desirable probability level or function quality level, as otherwise named.

In this work the problem of least conduit has been investigated and suggestions for the determination of the 'ideal discharge', when the serviced outlets for water supply are less than 12, have been tabulated.

The above conclusions have been come true by simulation technique applied in concrete examples.

* Civil engineer of National Technical University of Athens 1955. He was engaged in the veconstruction of the Magnesia region which suffered severe earthquake activity, in the military works, in land Reclamation servise of ministry of Agriculture and in technical department of municipalities and communities of Kardissa. Since 1961 as an engineering consultat in the hydraulics works field.