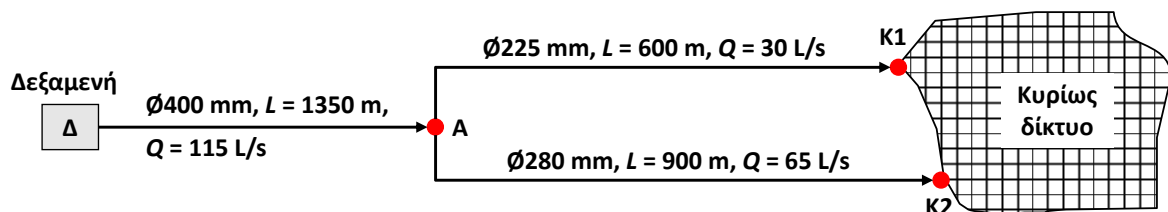


Σύνταξη άσκησης: Α. Ευστρατιάδης, Δ. Κουτσογιάννης, Χ. Μακρόπουλος

Επίλυση άσκησης: Α. Ευστρατιάδης

Στο σκαρίφημα απεικονίζεται ανάντη τμήμα δικτύου διανομής αστικής περιοχής που εξυπηρετεί οικιακές χρήσεις νερού, και περιλαμβάνει τον αγωγό Δ-Α και τους πρωτεύοντες κλάδους Α-Κ1 και Α-Κ2, οι οποίοι συνδέονται με το κυρίως δίκτυο. Στο σχήμα δίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των αγωγών (διάμετροι από HDPE 10 atm και μήκη) και οι παροχές τους, όπως προέκυψαν από την υδραυλική προσομοίωση, θεωρώντας συνθήκες μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης και πυρκαγιάς, στάθμη δεξαμενής ίση με την κατώτατη, ήτοι +155 m, και ισοδύναμη τραχύτητα αγωγών 1.0 mm. Στο σενάριο πυρκαγιάς θεωρήθηκε ενεργοποίηση δύο πυροσβεστικών κρουών, ονομαστικής παροχής 5 L/s, στους κόμβους Κ1 και Κ2, με υψόμετρα εδάφους +95 και +117 m, αντίστοιχα.



(α) Υπολογίστε την παροχή εξόδου των κόμβων Α, Κ1 και Κ2 για οικιακή χρήση, καθώς και την συνολική μέγιστη ημερήσια παροχή και ετήσια ζήτηση νερού της περιοχής (περιλαμβάνει και τον κόμβο Α), δεδομένου ότι η μελέτη των καταναλώσεων έγινε με την παραδοχή συντελεστών ημερήσιας και ωριαίας αιχμής 1.60 και 2.10.

(β) Ανάντη της δεξαμενής προβλέπεται η κατασκευή αντλιοστασίου, αποτελούμενου από τρεις όμοιες αντλίες σε παράλληλη διάταξη, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 120 kW. Την ημέρα αιχμής προβλέπεται η λειτουργία δύο αντλιών, για διάστημα 20 ωρών. Υπολογίστε την παροχή άντλησης και το μονομετρικό ύψος του αντλιοστασίου, εκτιμώντας προσεγγιστικά τον βαθμό απόδοσης, καθώς και την ετήσια δαπάνη ενέργειας, για τιμή ηλεκτρικού ρεύματος 0.09 €/kWh.

(γ) Υποθέτοντας ότι ο κλάδος Α-Κ1 τίθεται εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης, με συνέπεια όλη η παροχή του να διέρχεται από τον κλάδο Α-Κ2, διαμορφώστε το μαθηματικό μοντέλο του δικτύου Δ-Α-Κ2 για συνθήκες μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης (χωρίς πυρκαγιά), και εκτιμήστε το ύψος πίεσης που αναπτύσσεται στον κόμβο Κ2.

(δ) Ελέγξτε τις μέγιστες πιέσεις που αναπτύσσονται στους κόμβους εισόδου Κ1 και Κ2. Τι πρόβλημα σας δημιουργεί στο κυρίως δίκτυο η υψηλή πίεση; Προτείνετε τεχνικές λύσεις για τον περιορισμό των μέγιστων πιέσεων, όπου το κρίνετε αναγκαίο. Το ωφέλιμο ύψος της δεξαμενής είναι 4 m.

Ερώτημα (α)

Η παροχή εξόδου του κόμβου Α προκύπτει από την εξίσωση συνέχειας, ήτοι:

$$c_A = 115 - 30 - 65 = 20 \text{ L/s}$$

Η παροχή εξόδου για οικιακή χρήση στους κόμβους Κ1 και Κ2, που διοχετεύεται στο κυρίως δίκτυο, υπολογίζεται αφαιρώντας από την παροχή του ανάντη αγωγού την παροχή του αντίστοιχου πυροσβεστικού κρουνού, η οποία προσομοιώνεται ως σημειακή φόρτιση στον κόμβο, συνεπώς:

$$c_1 = 30 - 5 = 25 \text{ L/s}, c_2 = 65 - 5 = 60 \text{ L/s}$$

Η συνολική μέγιστη ωριαία παροχή για οικιακή χρήση είναι:

$$Q_\Omega = 115 - 10 = 105 \text{ L/s}$$

Η μέγιστη ημερήσια παροχή για οικιακή χρήση είναι:

$$Q_H = Q_\Omega / \lambda_\Omega = 105 / 2.10 = 50.0 \text{ L/s}$$

Η μέση ημερήσια παροχή για οικιακή χρήση είναι:

$$Q_E = Q_H / \lambda_H = 50 / 1.60 = 31.3 \text{ L/s}$$

Η ετήσια ζήτηση νερού της αστικής περιοχής είναι:

$$V_a = 31.3 \times 86\,400 \times 365 / 1000 = 985\,500 \text{ m}^3$$

Ερώτημα (β)

Η παροχή άντλησης, για 20ωρη λειτουργία του αντλιοστασίου είναι:

$$Q_A = Q_H \times 24 / T_A = 50 \times 24/20 = 60.0 \text{ L/s}$$

Η παροχή αυτή ισομοιράζεται στις δύο όμοιες παράλληλες αντλίες εν λειτουργία, συνεπώς η παροχή κάθε αντλίας είναι 30.0 L/s. Για την εν λόγω παροχή, ο βαθμός απόδοσης κάθε αντλίας εκτιμάται σε $\eta = 0.78$, με εφαρμογή της προσεγγιστικής εμπειρικής σχέσης:

$$n = n_{\infty} - \frac{1}{\sqrt[3]{1/n_{\infty}^3 + Q/\lambda}} \text{ όπου } n_{\infty} = 0.95 \text{ και } \lambda = 0.14 \text{ L/s}$$

(Εναλλακτικά μπορεί να θεωρηθεί ένας «αυθαίρετος» βαθμός απόδοσης από 0.70 έως 0.80, δεδομένου ότι η διερχόμενη παροχή είναι σχετικά μικρή).

Η ισχύς κάθε αντλίας είναι $120 / 3 = 40 \text{ kW}$ (τρεις όμοιες εγκατεστημένες αντλίες σε παράλληλη διάταξη), ενώ η ονομαστική ισχύς του αντλιοστασίου είναι 80 kW (δύο αντλίες σε λειτουργία).

Από τη σχέση $P = \gamma Q_A H_{\mu} / \eta$, επιλύοντας ως προς το μονομετρικό ύψος προκύπτει:

$$H_{\mu} = 80 \times 0.78 / (9.81 \times 0.060) = 106.4 \text{ m}$$

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας είναι:

$$E = \gamma V_a H_{\mu} / \eta = 9.81 \times 985\,500 \times 106.4 / 0.78 = 1314 \times 10^6 \text{ kJ ή } 365\,000 \text{ kWh (1 kWh = 3600 kJ, 1 J = 1 W s)}$$

Το αντίστοιχο ετήσιο κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος είναι:

$$365\,000 \times 0.09 = 32\,850 \text{ €}$$

Ερώτημα (γ)

Το μαθηματικό μοντέλο του δικτύου διανομής περιλαμβάνει δύο αγωγούς σε σειρά, ήτοι τον αγωγό ΔΑ, με παροχή σχεδιασμού $Q_{\Delta A} = Q_{\Omega} = 105 \text{ L/s}$, και τον ΑΚ₂, με παροχή σχεδιασμού $Q_{AK2} = c_1 + c_2 = 85 \text{ L/s}$ (από τον αγωγό διέρχεται η συνολική μέγιστη ωριαία ζήτηση του κυρίως δικτύου). Στον κόμβο Α, θεωρείται η ίδια παροχή εξόδου, $c_A = 20 \text{ L/s}$.

Από την υδραυλική επίλυση του αγωγού ΔΑ, εσωτερικής διαμέτρου 352.6 mm (για HDPE 10 atm), προκύπτει κλίση ενέργειας $J_{\Delta A} = 0.0043$, συνεπώς οι απώλειες ενέργειας είναι $\Delta h_{\Delta A} = 0.0043 \times 1350 = 5.8 \text{ m}$. Ομοίως, από την επίλυση του αγωγού ΑΚ₂, εσωτερικής διαμέτρου 238.8 mm, προκύπτει κλίση ενέργειας $J_{AK2} = 0.0220$, συνεπώς οι απώλειες ενέργειας είναι $\Delta h_{AK2} = 0.0220 \times 900 = 19.8 \text{ m}$ (οι υδραυλικοί υπολογισμοί έγιναν με τη γενικευμένη σχέση Manning, για ισοδύναμη τραχύτητα 1.0 mm, και παραμέτρους $\beta = 0.3101$, $\gamma = 0.0133$ και $N = 0.0120$, που είναι βέλτιστες για μικρές διαμέτρους και ταχύτητες).

Θεωρώντας τη δεξαμενή στην κατώτατη στάθμη, το ενεργειακό υψόμετρο στον κόμβο Κ₂ είναι:

$$h_{K2} = 155.0 - 5.8 - 19.8 = 129.4 \text{ m}$$

Αφού το τοπογραφικό υψόμετρο του κόμβου είναι στα +117 m, προκύπτει ύψος πίεσης:

$$(p/\gamma)_{K2} = 129.4 - 117.0 = 10.4 \text{ m}$$

(Σημείωση: Η πίεση αυτή πρακτικά επαρκεί μόνο για ισόγεια κτήρια, καθώς για κτήρια δύο ορόφων απαιτούνται τουλάχιστον 12 m πίεσης. Ωστόσο, επειδή το σενάριο που εξετάζεται αφορά σε ένα μάλλον ακραίο περιστατικό βλάβης, κατά το οποίο τίθεται εκτός λειτουργίας ένας από τους δύο τροφοδότες της αστικής περιοχής, και μάλιστα σε συνθήκες μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης, σε μια μελέτη σχεδιασμού θα μπορούσε να θεωρηθεί αποδεκτό).

Ερώτημα (δ)

Για ασφάλεια, οι μέγιστες πιέσεις ενός δικτύου διανομής συνήθως ελέγχονται σε συνθήκες υδροστατικής πίεσης, ήτοι οριζόντιας πιεζομετρικής γραμμής (μηδενική κατανάλωση), με τη δεξαμενή στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας της (ΑΣΥ = 155 + 4 = 159 m). Με την υπόθεση αυτή, προκύπτουν στον κόμβο Κ₁ ύψος πίεσης 159 – 95 = 64 m, ενώ στον κόμβο Κ₂ το θεωρητικά μέγιστο ύψος πίεσης είναι 159 – 119 = 40 m.

Αν και δεν μας δίνονται άλλα στοιχεία για την τοπογραφία του κυρίως δικτύου, είναι αρκετά πιθανό να υπάρχουν περιοχές αρκετά χαμηλότερες από τον κόμβο Κ₁, όπου το μέγιστο αναπτυσσόμενο ύψος πίεσης θα υπερβαίνει το επιθυμητό άνω όριο των 70 m. Συνεπώς, θα πρέπει να εξεταστεί είτε ο διαχωρισμός του δικτύου σε πιεζομετρικές ζώνες είτε η τοποθέτηση μειωτή πίεσης κατάντη του κόμβου Κ₁. Αντίθετα, δεν φαίνεται να δημιουργεί πρόβλημα το ύψος πίεσης που αναπτύσσεται στον κόμβο Κ₂.