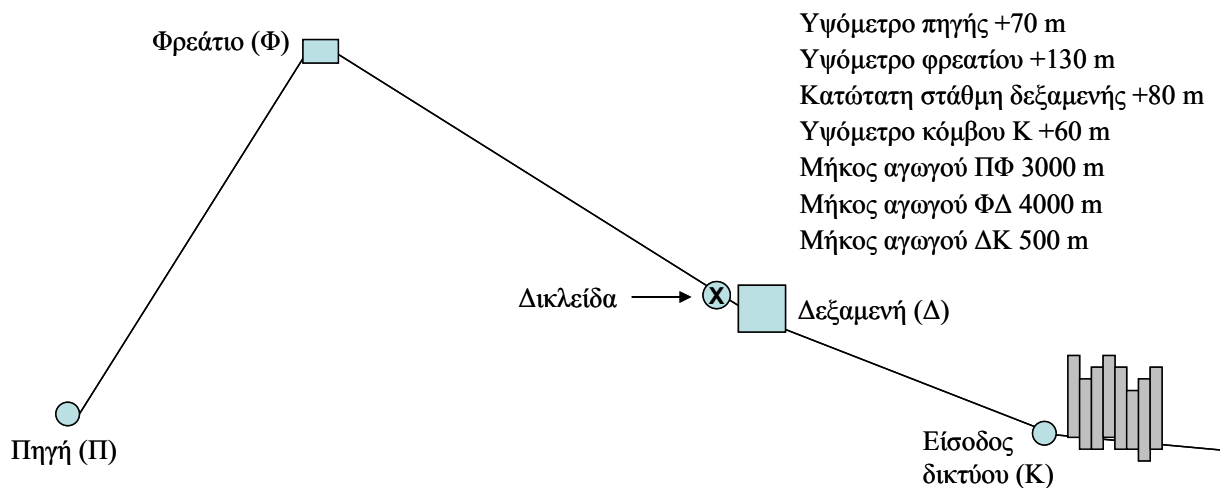


Στο σκαρίφημα απεικονίζεται η μηκοτομή των έργων ύδρευσης μιας πόλης, από την πηγή Π μέχρι την πρώτη διακλάδωση Κ του δικτύου διανομής, και τα χαρακτηριστικά μεγέθη της (μήκη, υψόμετρα). Το εξωτερικό υδραγωγείο αποτελείται από δύο τμήματα, ΠΦ και ΦΔ, όπου Φ είναι φρεάτιο με ελεύθερη επιφάνεια. Οι δύο αγωγοί είναι χαλύβδινοι και έχουν ενιαία διάμετρο 250 mm. Το δίκτυο διανομής τροφοδοτείται από τη δεξαμενή Δ, ωφέλιμου ύψους 5.0 m, μέσω του αγωγού ΔΚ από HDPE 12.5 atm, ονομαστικής διαμέτρου 315 mm. Η διαστασιολόγηση του εσωτερικού δικτύου έχει γίνει για συντελεστή ωριαίας αιχμής $\lambda_{\Omega} = 2.0$, παροχή πυρκαγιάς 10.0 L/s, και ανάπτυξη τριώροφων, το πολύ, κτηρίων στην περιοχή του κόμβου Κ.



- (α) Υπολογίστε τη μέγιστη ωριαία και μέγιστη ημερήσια παροχή της πόλης, με την υπόθεση ότι ο έλεγχος πιέσεων στον κόμβο Κ ικανοποιείται οριακά.
- (β) Υπολογίστε την παροχή σχεδιασμού του αγωγού ΦΔ για 18ωρη λειτουργία του ημερησίως, καθώς και το συντελεστή τοπικών απωλειών της δικλείδας ανάντη της δεξαμενής.
- (γ) Τοποθετήστε το αναγκαίο αντλιοστάσιο στη μηκοτομή, και εκτιμήστε την εγκατεστημένη ισχύ και την κατανάλωση ενέργειας την ημέρα αιχμής. Θεωρήστε ότι το αντλιοστάσιο περιλαμβάνει τρεις παράλληλες αντλίες και μία εφεδρική.
- (δ) Χαράξτε την πιεζομετρική γραμμή στο τμήμα Π-Φ-Δ-Κ, για λειτουργία με τις παροχές σχεδιασμού.

Ερώτημα (α)

Το απαιτούμενο ύψος πίεσης στον κόμβο Κ για την εξυπηρέτηση τριώροφων κτηρίων είναι 16.0 m, ήτοι ενεργειακό υψόμετρο $h_K = 60.0 + 16.0 = 76.0$ m. Για ΚΣΥ δεξαμενής +80 m προκύπτει ότι οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκους του τροφοδοτικού αγωγού ΔΚ δεν μπορούν να ξεπεράσουν τα 4.0 m, που αντιστοιχούν σε κλίση της πιεζομετρικής γραμμής $J_{\Delta K} = 4.0 / 500 = 0.0080$. Επιλύοντας τη γενικευμένη εξίσωση Manning προκύπτει ότι η παροχή που μπορεί να διοχετευτεί από τον αγωγό, με τρόπο ώστε να ικανοποιείται οριακά ο έλεγχος ελάχιστων πιέσεων, είναι $0.0629 \text{ m}^3/\text{s}$ ή 62.9 L/s (οι

υπολογισμοί γίνονται για ισοδύναμη τραχύτητα σχεδιασμού $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$ και εσωτερική διάμετρο $D = 268.6 \text{ mm}$, για αγωγό HDPE 12.5 atm, $\Phi 315 \text{ mm}$).

Η παραπάνω τιμή είναι η παροχή σχεδιασμού του κύριου τροφοδοτικού αγωγού του δικτύου διανομής της πόλης, που περιλαμβάνει και την παροχή πυρκαγιάς των 10.0 L/s . Η διαφορά των 52.9 L/s είναι η μέγιστη ωριαία παροχή της πόλης, ενώ η μέγιστη ημερήσια παροχή, για συντελεστή ωριαίας αιχμής $\lambda_{\Omega} = 2.0$, είναι $52.9 / 2.0 = 26.5 \text{ L/s}$.

Ερώτημα (β)

Το εξωτερικό υδραγωγείο περιλαμβάνει τους αγωγούς ΠΦ και ΦΔ, που προφανώς μεταφέρουν την ίδια παροχή (το ενδιάμεσο φρεάτιο Φ δεν έχει δυνατότητα αναρρύθμισης). Λόγω της τοπογραφίας, ο αγωγός ΠΦ θα είναι καταθλιπτικός, ενώ ο ΦΔ θα είναι αγωγός βαρύτητας. Η παροχή σχεδιασμού τους, για 18ωρη λειτουργία του υδραγωγείου (ήτοι 18 ώρες άντλησης) θα είναι η μέγιστη ημερήσια παροχή της πόλης, προσαυξημένη κατά 24/18, ήτοι 35.3 L/s .

Επιλύοντας τη γενικευμένη εξίσωση Manning προκύπτει ότι η, κοινή στα δύο τμήματα (λόγω ενιαίας διαμέτρου και παροχής), κλίση της πιεζομετρικής γραμμής είναι $J_{\Pi\Phi} = J_{\Phi\Delta} = 0.0031$ (οι υπολογισμοί γίνονται για ισοδύναμη τραχύτητα $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$ και διάμετρο $D = 250 \text{ mm}$, για χαλύβδινο αγωγό). Συνεπώς, από το φρεάτιο Φ (σημείο διέλευσης της πιεζομετρικής γραμμής) μέχρι τη δεξαμενή Δ, οι ενεργειακές απώλειες την ημέρα αιχμής εκτιμώνται σε $\Delta h_{\Phi\Delta} = 0.0031 \times 4000 = 12.2 \text{ m}$. Οι απώλειες αυτές είναι πολύ μικρότερες από το ενεργειακό διαθέσιμο¹, το οποίο ανέρχεται σε $130.0 - 85.0 = 45.0 \text{ m}$ (λαμβάνεται η ανώτατη στάθμη της δεξαμενής, για ωφέλιμο ύψος 5.0 m).

Συνεπώς, προκύπτει ένα πλεόνασμα ενέργειας $45.0 - 12.2 = 32.8 \text{ m}$, το οποίο πρέπει να καταστραφεί, ήτοι να διατεθεί σε τοπικές απώλειες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η δικλείδα αμέσως ανάντη της δεξαμενής, με άνοιγμα τέτοιο ώστε $h_{\tau} = 32.8 \text{ m}$, κατ' ελάχιστο². Οι τοπικές απώλειες δίνονται από τη σχέση $h_{\tau} = K_{\delta} V^2 / 2g$, όπου K_{δ} συντελεστής που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της δικλείδας και V η ταχύτητα του αγωγού, η οποία ισούται με $V = 4Q / \pi D^2 = 4 \times 0.0352 / (9.81 \times 0.250^2) = 0.72 \text{ m/s}$. Συνεπώς, ο ζητούμενος συντελεστής τοπικών απωλειών είναι $K_{\delta} = 2 \times 9.81 \times 32.8 / 0.72^2 = 1243$.

Ερώτημα (γ)

Το αντλιοστάσιο θα τοποθετηθεί αμέσως κατάντη της πηγής, ώστε να επιτυγχάνεται ανύψωση του νερού από τη στάθμη των $+70 \text{ m}$ και μεταφορά του στη στάθμη του φρεατίου ($+130 \text{ m}$).

Η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής στον καταθλιπτικό αγωγό είναι $J_{\Phi\Delta} = 0.0031$ (κοινή με τον αγωγό βαρύτητας), που αντιστοιχεί σε ενεργειακές απώλειες $\Delta h_{\Pi\Phi} = 0.0031 \times 3000 = 9.2 \text{ m}$. Συνεπώς, το ενεργειακό υψόμετρο στην είσοδο του καταθλιπτικού αγωγού είναι $h_{\Pi} = 130.0 + 9.2 = 139.2 \text{ m}$, που αντιστοιχεί σε μανομετρικό ύψος αντλιοστασίου $H_{\mu} = (139.2 - 70.0) = 69.2 \text{ m}$.

Για τον υπολογισμό της εγκατεστημένης ισχύος του αντλιοστασίου, λαμβάνεται υπόψη η διάταξη των αντλιών (τρεις παράλληλες και μία εφεδρική). Θεωρώντας όμοιες αντλίες, η παροχή σχεδιασμού $Q = 35.3 \text{ L/s}$ ισομοιράζεται δια του τρία, οπότε κάθε μεμονωμένη αντλία παροχετεύει, την ημέρα αιχμής, $Q_a = 11.8 \text{ L/s}$. Από την εμπειρική σχέση $n = 0.95 - (1.166 + Q_a / 0.14)^{-1/3}$, εκτιμάται ότι ο βαθμός απόδοσης κάθε αντλίας (και συνεπώς του αντλιοστασίου, λόγω της παράλληλης διάταξης) είναι $n =$

¹ Αυτό σημαίνει ότι έχει γίνει υπερδιαστασιολόγηση του αγωγού ΦΔ – δεν δικαιολογείται η μη εκμετάλλευση της διαθέσιμης, από την τοπογραφία, ενέργειας. Η τεχνικά και οικονομικά βέλτιστος σχεδιασμός θα προέβλεπε τη χρήση διαφορετικών διαμέτρων ανάντη και κατάντη του φρεατίου και τη συνδυαστική βελτιστοποίηση του συστήματος καταθλιπτικός αγωγός – αντλιοστάσιο (βλ. άσκηση ΥΣ1).

² Οι τοπικές απώλειες που υπολογίστηκαν είναι οι ελάχιστες αναμενόμενες, καθώς αφορούν στις δυσμενέστερες υδραυλικές συνθήκες, ήτοι στη μέγιστη ημερήσια παροχή, στην ανώτατη στάθμη νερού στη δεξαμενή και στη χρήση προσαυξημένου συντελεστή τραχύτητας, ώστε να λάβει, μεταξύ άλλων, υπόψη τη γήρανση του αγωγού.

0.72. Συνεπώς, η συνολική ισχύς του αντλιοστασίου την ημέρα αιχμής εκτιμάται σε $P = \gamma Q H_{\mu} / n = 33.1 \text{ KW}$, οπότε η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς ισούται με $P_{\text{εγκ}} = (4/3) \times 33.1 = 44.2 \text{ kW}$.

Η κατανάλωση ενέργειας την ημέρα αιχμής είναι $E = P t = 596 \text{ kWh}$ (για $t = 18 \text{ h}$ άντλησης).

Ερώτημα (δ)

Με βάση τους υπολογισμούς των προηγούμενων ερωτημάτων, δίνεται, σε μορφή σκαριφήματος, η υδραυλική μηκοτομή της διαδρομής Π-Φ-Δ-Κ.

