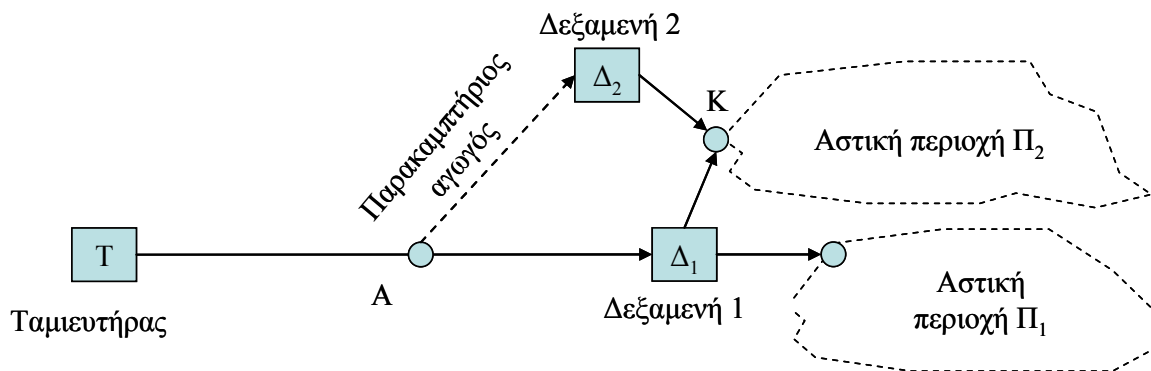


Η πόλη Π_1 υδρεύεται από τον ταμιευτήρα Τ, μέσω του χαλύβδινου αγωγού Τ- Δ_1 μήκους 12 km και διαμέτρου 350 mm, ο οποίος μεταφέρει νερό στη δεξαμενή Δ_1 , όπως φαίνεται στο σκαρίφημα. Η κατώτατη στάθμη υδροληψίας του ταμιευτήρα είναι στα +215 m, ενώ η ανώτατη στάθμη της δεξαμενής Δ_1 είναι στα +70 m. Το σύστημα εξυπηρετεί χωρίς προβλήματα την πόλη Π_1 , η μέγιστη ημερήσια παροχή της οποίας δεν προβλέπεται να ξεπεράσει τα 110 L/s (καθαρή ζήτηση, χωρίς απώλειες). Για το λόγο αυτό, διερευνάται η δυνατότητα αξιοποίησης των υφιστάμενων έργων για την υδροδότηση της παρακείμενης αστικής περιοχής Π_2 , με πληθυσμό σχεδιασμού 16 000 άτομα και καθαρή μέση κατά κεφαλή κατανάλωση 180 L/d/κάτοικο. Ειδικότερα, εξετάζονται δύο διατάξεις: (α) η απευθείας σύνδεση της δεξαμενής Δ_1 με το δίκτυο διανομής της περιοχής Π_2 , και (β) η κατασκευή παρακαμπτήριου αγωγού σε απόσταση 7.0 km κατάντη της υδροληψίας (σημείο Α, με υψόμετρο εδάφους +95 m), ο οποίος θα τροφοδοτεί μια ανεξάρτητη δεξαμενή Δ_2 .



(α) Εξετάστε αν οι υδατικοί πόροι επαρκούν για την υδροδότηση των δύο περιοχών, εφόσον το ετήσιο απολήψιμο δυναμικό του ταμιευτήρα, για επίπεδο αξιοπιστίας 99%, ανέρχεται σε 4 200 000 m³.

(β) Εξετάστε αν ο υφιστάμενος αγωγός βαρύτητας Τ- Δ_1 επαρκεί για την ταυτόχρονη υδροδότηση των δύο περιοχών, μέσω της δεξαμενής Δ_1 .

(γ) Εφόσον ο αγωγός στο ερώτημα (β) επαρκεί, μελετήστε το τυχόν περιθώριο παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας (διατιθέμενη ισχύς). Διαφορετικά, μελετήστε τη δυνατότητα ενίσχυσης του αγωγού Τ- Δ_1 , με την τοποθέτηση αντλιοστασίου 24ωρης λειτουργίας αμέσως κατάντη του ταμιευτήρα, και εκτιμήστε προσεγγιστικά τα χαρακτηριστικά του μεγέθη (μανομετρικό ύψος, ισχύς, ετήσια κατανάλωση ενέργειας).

(δ) Εξετάστε αν με τη δεύτερη διάταξη είναι εφικτή η υδροδότηση των δύο περιοχών χωρίς καμιά μεταβολή στον αγωγό Τ- Δ_1 , και εκτιμήστε τον ωφέλιμο όγκο της δεξαμενής Δ_2 .

(ε) Για κάθε διάταξη σχεδιάστε την πιεζομετρική γραμμή κατά μήκος του Τ- Δ_1 και περιγράψτε, συνοπτικά, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθώς και τη διαδικασία οικονομικής αποτίμησης των δύο λύσεων.

(στ) Αν η κατώτατη στάθμη της δεξαμενής Δ_2 τοποθετηθεί στα +65 m, υπολογίστε τη διάμετρο του αγωγού Δ_2 -Κ, μήκους 400 m, που θα συνδέει τη δεξαμενή με τον ανάντη κόμβο του δικτύου, που τοπογραφικά είναι ο υψηλότερος της πόλης και υδραυλικά ο δυσμενέστερος από πλευράς ελάχιστων πιέσεων. Δίνεται ότι το υψόμετρο εδάφους στο Κ είναι +45 m και ότι στην περιοχή αναπτύσσονται 3ώροφα κτήρια.

Υπόδειξη: Στους υδραυλικούς ελέγχους υποθέστε διαρροές στη μεταφορά και διανομή του νερού ύψους 20%, ενώ θεωρήστε (όπου απαιτείται) συνολική παροχή πυρκαγιάς ίση με 10 L/s.

Ερώτημα (α)

Εκτιμούμε την ετήσια ζήτηση κάθε περιοχής, προσαυξάνοντας τις θεωρητικές ανάγκες κατά 20% ώστε να λάβουμε υπόψη τις απώλειες λόγω διαρροών κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού. Για την περιοχή 1

δίνεται ότι η μέγιστη ημερήσια παροχή $Q_H^{(1)}$ δεν θα ξεπεράσει τα 110 L/s (132.0 L/s, μαζί με τις απώλειες λόγω διαρροών). Θεωρώντας συντελεστή ανομοιομορφίας $\lambda_H = 1.5$ προκύπτει ότι η αντίστοιχη μέση ημερήσια παροχή ανέρχεται σε $Q_E^{(1)} = 132.0 / 1.5 = 88.0$ L/s. Για την αστική περιοχή 2 δίνονται η ειδική κατανάλωση και ο πληθυσμός σχεδιασμού, οπότε η μέση ημερήσια παροχή, μαζί με τις απώλειες, εκτιμάται σε $Q_E^{(2)} = 180 \times 16\,000 \times 1.20 / 86\,400 = 40.0$ L/s (οπότε η αντίστοιχη μέγιστη ημερήσια παροχή θα είναι $Q_H^{(2)} = 1.5 \times 40.0 = 60.0$ L/s). Συνεπώς, ο ζητούμενος ετήσιος όγκος νερού για τις δύο περιοχές εκτιμάται σε $V_E = (88.0 + 40.0) \times 365 \times 86\,400 / 1000 = 4\,036\,608$ m³, ήτοι μικρότερος από το ασφαλές απολήψιμο δυναμικό του ταμιευτήρα. Συνεπώς, οι υφιστάμενοι υδατικοί πόροι επαρκούν για τη συνδυασμένη ύδρευση των δύο περιοχών, με επίπεδο αξιοπιστίας 99%.

Ερώτημα (β)

Ελέγχουμε αν η παροχεταιυτικότητα του αγωγού βαρύτητας T-Δ₁ επαρκεί για την μεταφορά της μέγιστης ημερήσιας παροχής των δύο περιοχών (μαζί με τις διαρροές), ήτοι 132.0 + 60.0 = 192.0 L/s ή 0.192 m³/s. Οι υπολογισμοί γίνονται για διάμετρο $D = 350$ mm (στους χαλύβδινους αγωγούς η υπολογιστική διάμετρος ταυτίζεται με την ονομαστική), ισοδύναμη τραχύτητα $\varepsilon = 1.0$ mm (ασφαλής τιμή για σχεδιασμό) και υποθέτοντας την ελάχιστη διαθέσιμη κλίση της πιεζομετρικής γραμμής, ήτοι $J = (215 - 70) / 12\,000 = 0.012$. Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι η παροχή που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός είναι 0.173 m³/s, η οποία δεν επαρκεί για να καλύψει την αθροιστική μέση παροχή των δύο οικισμών κατά την ημέρα αιχμής.

Ερώτημα (γ)

Για την ενίσχυση της παροχεταιυτικότητας του αγωγού τοποθετείται αντλιοστάσιο αμέσως κατάντη του ταμιευτήρα. Για $D = 350$ mm, $\varepsilon = 1.0$ mm και $Q = 0.192$ m³/s (αφού το αντλιοστάσιο λειτουργεί συνεχώς), προκύπτει ότι η απαιτούμενη κλίση της πιεζομετρικής γραμμής είναι ίση με 0.015 (προφανώς μεγαλύτερη από την έως τώρα διαθέσιμη, ήτοι 0.012). Για την παραπάνω κλίση, οι γραμμικές απώλειες ενέργειας σε μήκος $L = 12\,000$ m υπολογίζονται σε 177.7 m, οπότε το ενεργειακό υψόμετρο στη θέση του αντλιοστασίου θα είναι στα 70.0 + 177.7 = 247.7 m, άρα το μανομετρικό ύψος του θα ανέρχεται σε $H_\mu = 247.7 - 215.0 = 32.7$ m. Ο θεωρητικά μέγιστος συντελεστής απόδοσης προκύπτει από το σχετικό προσεγγιστικό/εμπειρικό τύπο ίσος με 0.86. Στρογγυλεύουμε για λόγους ασφαλείας προς τα κάτω στην τιμή $\eta = 0.80$. Ειδικότερα, η απαιτούμενη ισχύς εκτιμάται από τη σχέση $P = \rho g Q H_\mu / \eta = 9.81 \times 1000 \times 0.192 \times 32.7 / 0.80 = 76\,988$ W ≈ 77 kW, ενώ η καταναλισκόμενη ενέργεια ανά έτος, για όγκο άντλησης 4 036 608 m³, εκτιμάται από τη σχέση $E = \rho g V_E H_\mu / \eta = 9.81 \times 1000 \times 4\,036\,608 \times 32.7 / 0.80 = 1619 \times 10^9$ J, η οποία αντιστοιχεί σε $(1619 \times 10^9) / (3.6 \times 10^6) \approx 450\,000$ kWh.

Ερώτημα (δ)

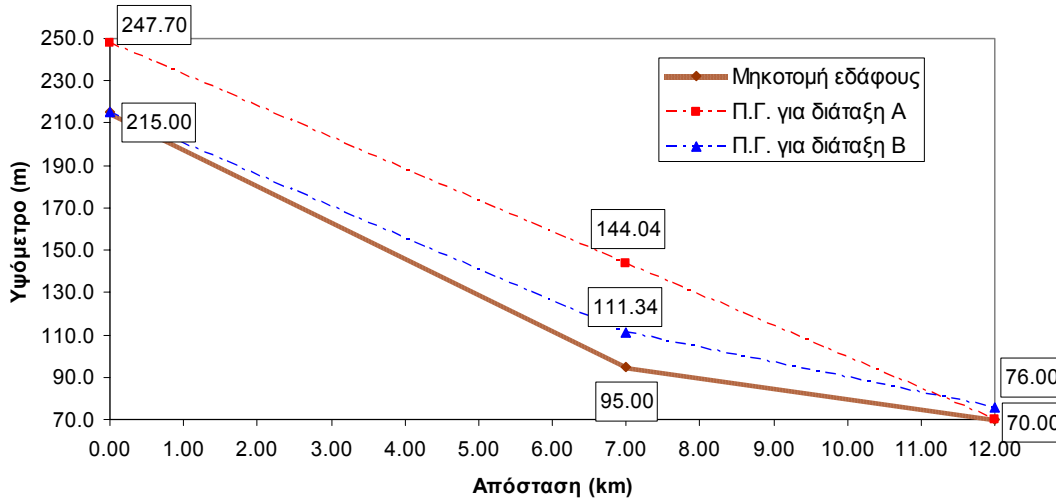
Με τη δεύτερη διάταξη, μεταφέρεται η αθροιστική παροχή αιχμής των 0.192 m³/s στο τμήμα TA, μήκους 7000 m, και η επιμέρους μέγιστη ημερήσια παροχή της περιοχής Π₁ (ήτοι 0.132 m³/s) στο τμήμα ΑΔ₁, μήκους 5000 m. Στο ανάντη τμήμα, η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής είναι η ίδια με την πρώτη διάταξη ($J_{T-A} = 0.015$), οπότε οι ενεργειακές απώλειες ανέρχονται σε $0.015 \times 7000 = 103.66$ m, ενώ το ενεργειακό υψόμετρο στη θέση διακλάδωσης Α ισούται με $h_A = 215.00 - 103.66 = 111.34$ m (σημαντικά μεγαλύτερο από το υψόμετρο εδάφους, που σημαίνει ότι δεν προκαλούνται προβλήματα υποπίεσεων). Στο κατάντη τμήμα, υπολογίζουμε την κλίση της πιεζομετρικής γραμμής για $D = 350$ mm, $\varepsilon = 1.0$ mm και $Q = 0.132$ m³/s, η οποία ισούται με $J_{A-\Delta_1} = 0.007$ (προφανώς μικρότερη). Συνεπώς, το ενεργειακό υψόμετρο στο πέρας του αγωγού ανέρχεται σε $h_{\Delta_1} = 111.34 - 0.007 \times 5000 = 76.00$ m, ήτοι μεγαλύτερο από +70.00 m που είναι η ανώτερη στάθμη της δεξαμενής Δ₁. Συνεπώς, η διάταξη Β επαρκεί για την υδροδότηση των δύο περιοχών, και μάλιστα υπάρχει ένα μικρό περιθώριο αύξησης της διατιθέμενης παροχής, καθώς στη θέση Δ₁ υπάρχει περίσσεια ενέργειας 6.00 m, που πρέπει να καταναλωθεί σε τοπικές απώλειες, με την τοποθέτηση δικλείδας.

Ο ωφέλιμος όγκος της δεξαμενής Δ₂ περιλαμβάνει το όγκο ρύθμισης και τον όγκο ασφαλείας. Ο πρώτος εκτιμάται ως το 30% του μέγιστου ημερήσιου όγκου, ήτοι $0.30 \times 60.0 \times 86\,400 / 1000 = 1555$ m³. Ο όγκος ασφαλείας είναι ο δυσμενέστερος μεταξύ του όγκου βλάβης του ανάντη αγωγού και του όγκου πυρκαγιάς.

Με την υπόθεση τετράωρης διακοπής λειτουργίας του αγωγού ΑΔ₂, ο όγκος βλάβης ισούται με $60.0 \times 4 \times 3600 / 1000 = 864 \text{ m}^3$, ενώ για τετράωρη πυρκαγιά με παροχή 10 L/s προκύπτει όγκος ασφαλείας $10.0 \times 4 \times 3600 / 1000 = 144 \text{ m}^3$. Συνεπώς, η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής είναι $1555 + 864 = 2419 \text{ m}^3$.

Ερώτημα (ε)

Στο Σχήμα απεικονίζονται η μηκοτομή του εδάφους και η πιεζομετρική γραμμή για τις δύο διατάξεις, με βάση τους υπολογισμούς των δύο προηγούμενων ερωτημάτων.



Συγκρίνονται τις δύο διατάξεις, επισημαίνουμε τα ακόλουθα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Με τη διάταξη Α, ήτοι τη χρήση αντλιοστασίου, δεν απαιτείται η κατασκευή νέου αγωγού, ενώ θα πρέπει να ενισχυθεί η υφιστάμενη δεξαμενή ώστε να μπορεί να καλύψει τις αυξημένες ανάγκες των δύο περιοχών. Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι εισάγεται κόστος λειτουργίας του εξωτερικού υδραγωγείου, λόγω κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, επειδή πρόκειται για Η/Μ εξοπλισμό, το σύστημα είναι πιο ευάλωτο έναντι βλαβών. Η διάταξη Β απαιτεί την κατασκευή νέου αγωγού και νέας δεξαμενής, αλλά έχει μηδενικό κόστος ενέργειας. Ακόμη, όπως υπολογίστηκε στο ερώτημα (δ) υπάρχει μικρή περίσσεια ενέργειας, που σημαίνει ότι μπορεί να μεταφερθεί επιπλέον παροχή από το σύστημα ή ακόμη και να παραχθεί ενέργεια (με μικρό υδροηλεκτρικό έργο) σε περιόδους που η στάθμη νερού στον ταμιευτήρα είναι αρκετά μεγαλύτερη από την κατώτατη.

Για την οικονομική αποτίμηση των δύο λύσεων, πρέπει να υπολογιστούν τα μεγέθη κόστους των δύο διατάξεων, και να αναχθούν σε ετήσια δαπάνη με βάση κατάλληλο επιτόκιο. Συγκεκριμένα, για τη διάταξη Α πρέπει να υπολογιστούν το κόστος αγοράς και αντικατάστασης των αντλιών (περιλαμβανομένης και μίας τουλάχιστον εφεδρικής αντλίας), το ετήσιο κόστος κατανάλωσης ενέργειας και το κόστος επέκτασης της υφιστάμενης δεξαμενής. Για τη διάταξη Β πρέπει να υπολογιστούν το κόστος κατασκευής του παρακαμπτήριου αγωγού Α-Δ₂ και της νέας δεξαμενής Δ₂ (περιλαμβανομένων και τυχόν απαλλοτριώσεων).

Ερώτημα (στ)

Η διαστασιολόγηση του αγωγού θα γίνει για το δυσμενέστερο σενάριο λειτουργίας του δικτύου διανομής, που αφορά στη μέγιστη ωριαία κατανάλωση και την ταυτόχρονη εκδήλωση πυρκαγιάς. Η εν λόγω παροχή, θεωρώντας συντελεστή ανομοιομορφίας $\lambda_\Omega = 2.0$ ισούται με $Q = 2.0 \times 60.0 + 10.0 = 130.0 \text{ L/s}$ ή $0.130 \text{ m}^3/\text{s}$. Το ελάχιστο απαιτούμενο ύψος πίεσης στον ανάντη κόμβο του δικτύου (που είναι και ο πλέον δυσμενής) εκτιμάται από τη σχέση $p/\gamma = 4(n + 1) \text{ m}$. Για τριώροφα κτήρια προκύπτει $p/\gamma = 16.0 \text{ m}$, οπότε το αντίστοιχο ενεργειακό υψόμετρο ισούται με $16.0 + 45.0 = 61.0 \text{ m}$. Συνεπώς, η ελάχιστη διαθέσιμη κλίση ενέργειας κατά μήκος του αγωγού Δ₂-Κ ανέρχεται σε $J = (65.0 - 61.0) / 400 = 0.010$. Θεωρώντας τραχύτητα $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$, υπολογίζεται ότι η ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρός του είναι 0.326 m . Για αγωγούς HDPE, η αμέσως μεγαλύτερη διάμετρος εμπορίου είναι η Φ400 mm.