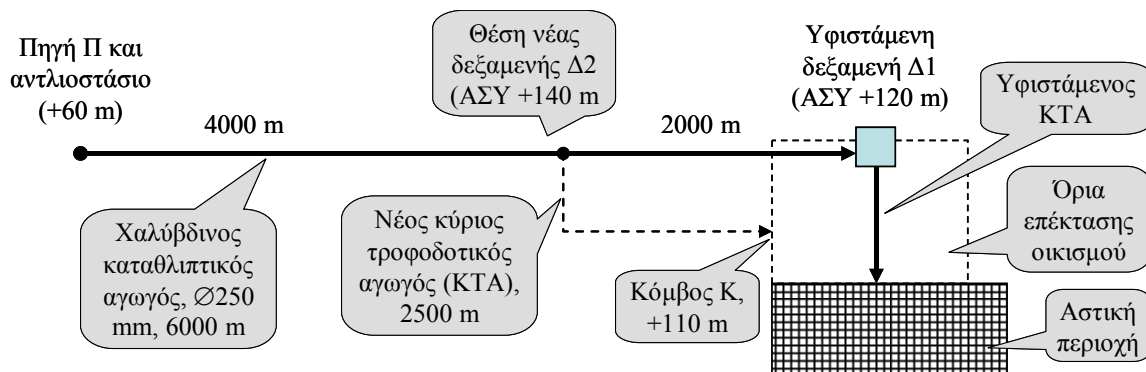


Η αστική περιοχή του σκαριφήματος υδροδοτείται από την πηγή Π, σε στάθμη άντλησης +60 m, μέσω χαλύβδινου καταθλιπτικού αγωγού, μήκους 6000 m και διαμέτρου $\varnothing 250$ mm, που μεταφέρει νερό στη δεξαμενή Δ1, ανώτατης στάθμης ύδατος (ΑΣΥ) +120 m. Το αντλιοστάσιο έχει εγκατεστημένη ισχύ 60 kW και αποτελείται από 4 όμοιες παράλληλες αντλίες. Τις ημέρες αιχμής της θερινής περιόδου, λειτουργούν οι τρεις από τις τέσσερις αντλίες επί 20 ώρες ημερησίως, αντλώντας το νερό σε μανομετρικό ύψος 83 m. Τα υφιστάμενα έργα καλύπτουν οριακά τις ανάγκες του σημερινού πληθυσμού, που ανέρχεται σε 10 000 άτομα. Μελλοντικά, προβλέπεται αύξηση του πληθυσμού της αστικής περιοχής κατά 20%, καθώς και η ανάπτυξη ενός νέου παραθεριστικού οικισμού στις παρυφές της. Στα πλαίσια αυτά μελετώνται: (α) η αντικατάσταση της δεξαμενής Δ1 από τη Δ2, που θα τοποθετηθεί σε μεγαλύτερο υψόμετρο (ΑΣΥ +140 m) και σε απόσταση 4000 m από την πηγή, (β) η αύξηση της ισχύος του αντλιοστασίου, με διατήρηση του τμήματος Π-Δ2 του καταθλιπτικού αγωγού, και (γ) η κατασκευή νέου κύριου τροφοδοτικού αγωγού, μήκους 2500 m, που θα συνδέει τη δεξαμενή Δ2 με το δίκτυο διανομής στη θέση Κ (ο υφιστάμενος ΚΤΑ και η Δ1 καταργούνται).



- (α) Εκτιμήστε την παροχή που μεταφέρει ο καταθλιπτικός αγωγός Π-Δ1 την θερινή περίοδο αιχμής, τον πραγματικό βαθμό απόδοσης η του αντλιοστασίου, με βάση την εγκατεστημένη ισχύ του. Ελέγξτε αν ο εν λόγω βαθμός απόδοσης είναι εύλογος για τη συγκεκριμένη παροχή και διάταξη αντλιών.
- (β) Υπολογίστε τους συντελεστές λ_H και λ_Q , δεδομένου ότι η ετήσια κατανάλωση νερού του υφιστάμενου πληθυσμού ανέρχεται σε 700 000 m³, ενώ η ζήτηση την ώρα αιχμής ανέρχεται σε 280 m³.
- (γ) Εκτιμήστε τη μέγιστη ημερήσια και μέγιστη ωριαία παροχή του νέου παραθεριστικού οικισμού, στον οποίο προβλέπεται να οικοδομηθούν διώροφες εξοχικές κατοικίες σε έκταση 120 ha.
- (δ) Εκτιμήστε την παροχή σχεδιασμού του καταθλιπτικού αγωγού Π-Δ2, για 20ωρη άντληση, και το μανομετρικό ύψος του αναβαθμισμένου αντλιοστασίου. Με βάση την εμπειρία σας, εξηγήστε γιατί η λύση που προτείνεται (διατήρηση του αγωγού $\varnothing 250$ mm) δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα.
- (ε) Εξηγήστε γιατί είναι αναγκαία η υψομετρική μετατόπιση της δεξαμενής και προτείνετε κατάλληλες επεμβάσεις στο δίκτυο διανομής, δεδομένου ότι το χαμηλότερο υψόμετρο της υδροδοτούμενης περιοχής είναι +55 m.
- (στ) Εκτιμήστε τον ωφέλιμο όγκο της νέας δεξαμενής Δ2, με υπόθεση 4ωρης βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου. Σχεδιάστε σε σκαρίφημα την τομή και κάτοψη τη δεξαμενής, δεδομένου ότι στη θέση κατασκευής της διατίθεται οικόπεδο διαστάσεων 35 × 25 m².
- (ζ) Επιλέξτε κατάλληλο υλικό, αντοχή και διάμετρο του νέου κύριου τροφοδοτικού αγωγού Δ2-Κ, ώστε να εξασφαλίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση για την υδροδότηση της περιοχής γύρω από την κεφαλή του δικτύου διανομής (κόμβος Κ, υψόμετρο +110 m). Εξηγήστε, συνοπτικά, κάτω από ποιες προϋποθέσεις με τη διάμετρο αυτή θα εξασφαλίζεται επάρκεια πιέσεων σε όλο το δίκτυο διανομής.

Ερώτημα (α)

Οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκος του καταθλιπτικού αγωγού Π-Δ1, με θεώρηση της δεξαμενής Δ1 στην ΚΣΥ, είναι ίσες με $h_f = z_{\Pi} - z_{\Delta 1} + h_M = 60 - 120 + 83 = 23$ m. Συνεπώς, η παροχή που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός εκτιμάται σε $Q = 0.0396$ m³/s (χρησιμοποιείται η γενικευμένη σχέση Manning, για διαθέσιμη κλίση ενέργειας $J = 23 / 6000 = 0.0038$, διάμετρο $D = 0.250$ m και ισοδύναμη τραχύτητα 1.0 mm).

Η εγκατεστημένη ισχύς του αντλιοστασίου είναι 60 kW, οπότε η ισχύς κάθε μίας από τις τέσσερις ίδιες αντλίες ισούται με 15 kW. Τις ημέρες αιχμής λειτουργούν οι 3 από τις 4 αντλίες, με ισχύ $P = 3 \times 15 = 45$ kW, ανυψώνοντας παροχή $Q = 0.0396$ m³/s σε μανομετρικό ύψος 83 m. Συνεπώς, ο πραγματικός βαθμός απόδοσης του συστήματος ανέρχεται σε:

$$\eta = \gamma Q h_M / P = 9.81 \times 0.0396 \times 23 / 45 = 0.717$$

Η θεωρητικά μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης μπορεί να εκτιμηθεί από την εμπειρική σχέση:

$$\eta_{\theta} = 0.95 - (1.166 + Q_a / 0.14)^{-1/3}$$

όπου Q_a η παροχή κάθε μεμονωμένης αντλίας, σε L/s (= παροχή καταθλιπτικού αγωγού, που ισομοιράζεται στις τρεις αντλίες που λειτουργούν). Η εν λόγω τιμή του η_{θ} ανέρχεται σε 0.731, συνεπώς ο βαθμός απόδοσης που υπολογίστηκε παραπάνω είναι εύλογος για τη συγκεκριμένη παροχή και διάταξη αντλιών.

Ερώτημα (β)

Η μέση ημερήσια παροχή της αστικής περιοχής, για ετήσια κατανάλωση 700 000 m³, εκτιμάται σε:

$$Q_E = 700\,000 / (365 \times 86.4) = 22.2 \text{ L/s}$$

Η παροχή αυτή αντιστοιχεί σε ειδική κατά κεφαλή κατανάλωση $q = 22.2 \times 86\,400 / 10\,000 = 192$ L/d, που είναι εύλογη για αστική περιοχή.

Δεδομένου ότι τις ημέρες αιχμής της θερινής περιόδου καλύπτονται οριακά οι ανάγκες του υφιστάμενου πληθυσμού, και δεδομένου ότι ο καταθλιπτικός αγωγός μεταφέρει παροχή $Q = 0.0396$ m³/s λειτουργώντας 20 ώρες ημερησίως, προκύπτει ότι η μέγιστη ημερήσια ζήτηση της αστικής περιοχής ανέρχεται σε

$$V_H = 0.0396 \times 20 \times 3600 = 2853 \text{ m}^3$$

που αντιστοιχεί σε μέγιστη ημερήσια παροχή $Q_H = 2853 / 86.4 = 33.0$ L/s. Συνεπώς, ο συντελεστής ημερήσιας αιχμής εκτιμάται σε $\lambda_H = 33.0 / 22.2 = 1.49$, τιμή που επίσης είναι εύλογη την περιοχή.

Όσον αφορά στην μέγιστη ωριαία παροχή, αυτή υπολογίζεται με βάση τον αντίστοιχο όγκο $V_{\Omega} = 280$ m³, που αντιστοιχεί σε παροχή $Q_{\Omega} = 280 / 3.6 = 77.9$ L/s. Συνεπώς, ο συντελεστής ωριαίας αιχμής εκτιμάται σε $\lambda_{\Omega} = 77.9 / 33.0 = 2.36$, τιμή που και πάλι είναι εύλογη για αστική περιοχή.

Ερώτημα (γ)

Η εκτίμηση του πληθυσμού και, κατ' επέκταση, των υδρευτικών αναγκών της νέας παραθεριστικής περιοχής βασίζεται στα διαθέσιμα πολεοδομικά στοιχεία. Δίνεται ότι στην περιοχή, έκτασης 120 ha, θα οικοδομηθούν διώροφες εξοχικές κατοικίες. Θεωρώντας πυκνότητα πληθυσμού 100 άτομα / ha και πλήρη ανάπτυξη της περιοχής στο πέρας της περιόδου σχεδιασμού των νέων έργων, προκύπτει ότι ο αριθμός των παραθεριστών θα φτάσει τα 12 000 άτομα. Λαμβάνοντας τις τυπικές τιμές της ειδικής κατανάλωσης και των συντελεστών ανομοιομορφίας για παραθεριστικούς οικισμούς, ήτοι $q = 250$ L/d, $\lambda_H = 1.20$ και $\lambda_{\Omega} = 1.50$, εκτιμώνται η μέγιστη ημερήσια και ωριαία παροχή του νέου οικισμού σε $Q_H = 41.7$ L/s και $Q_{\Omega} = 62.5$ L/s, αντίστοιχα.

Ερώτημα (δ)

Η μελέτη του αναβαθμισμένου συστήματος γίνεται με βάση τις προσαυξημένες ανάγκες της υφιστάμενης αστικής περιοχής, καθώς και τις ανάγκες του νέου παραθεριστικού οικισμού. Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι στο πέρας της περιόδου σχεδιασμού προβλέπεται αύξηση του πληθυσμού της αστικής περιοχής κατά 20%, και με την υπόθεση διατήρησης της υφιστάμενης ειδικής κατανάλωσης και των υφιστάμενων συντελεστών ανομοιομορφίας, θεωρούμε ισόποση αύξηση της μέγιστης ημερήσιας παροχής της αστικής περιοχής. Συνεπώς, η συνολική μέγιστη ημερήσια παροχή στο πέρας της περιόδου σχεδιασμού εκτιμάται σε:

$$Q_H = 1.20 \times 33.0 + 41.7 = 81.3 \text{ L/s.}$$

Θεωρώντας 20ωρη άντληση, η παροχή σχεδιασμού του τμήματος Π-Δ2 του υφιστάμενου καταθλιπτικού αγωγού ανέρχεται σε $Q_K = 81.3 \times (24 / 20) = 97.5$ L/s. Παρατηρείται ότι, σε σχέση με τις σημερινές συνθήκες, η παροχή σχεδιασμού του αγωγού υπερδιπλασιάζεται (ενώ η ταχύτητα του αγωγού αυξάνει ακόμα περισσότερο, από 0.81 σε 1.99 m/s).

Από τη γενικευμένη σχέση Manning, για διάμετρο $D = 0.250$ m και ισοδύναμη τραχύτητα 1.0 mm προκύπτει κλίση ενέργειας $J = 0.0227$ (έναντι 0.0038, σήμερα), που για μήκος 4000 m αντιστοιχεί σε ενεργειακές απώλειες 91 m. Κατά συνέπεια, προκειμένου να καλυφθεί η υψομετρική διαφορά της πηγής (+60 m) από τη ΑΣΥ της νέας δεξαμενής Δ2 (+140 m) θα απαιτηθεί μανομετρικό ύψος $h_M = 140 - 60 + 91 = 171$ m, σημαντικά δηλαδή μεγαλύτερο από το υφιστάμενο.

Μια τόσο μεγάλη αύξηση του μανομετρικού ύψους δεν κρίνεται οικονομικά συμφέρουσα, καθώς θα απαιτήσει σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος του αντλιοστασίου αλλά και σημαντική αύξηση του κόστους των αντλήσεων. Αντίθετα, αν αντικατασταθεί ο υφιστάμενος αγωγός $\varnothing 250$ mm από έναν νέο αγωγό αρκετά μεγαλύτερης διαμέτρου (ενδεικτικά $\varnothing 400$ mm, με ταχύτητα ροής 0.78 m/s), έτσι ώστε να περιοριστούν σημαντικά οι απώλειες ενέργειας, το όφελος που θα προκύψει από τη μείωση τόσο του πάγιου όσο και του λειτουργικού κόστους του αντλιοστασίου αναμένεται να υπερκαλύψει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του νέου αγωγού. Η επιλογή της κατάλληλης διαμέτρου του καταθλιπτικού αγωγού και η διαστασιολόγηση του αντλιοστασίου προϋποθέτει μια διαδικασία οικονομικής βελτιστοποίησης.

Ερώτημα (ε)

Σε κάθε περίπτωση, η αντικατάσταση (ή έστω ενίσχυση) της δεξαμενής Δ1 είναι αναγκαία προκειμένου να αυξηθεί η ωφέλιμη χωρητικότητά της, ώστε να εξυπηρετεί τις μελλοντικές ανάγκες του συστήματος (αστική περιοχή και παραθεριστικός οικισμός). Ωστόσο, πέρα από την αύξηση του όγκου είναι απαραίτητη και η υψομετρική μετατόπιση της δεξαμενής (στην προκειμένη περίπτωση κατά 20 m), ώστε να εξασφαλίζονται οι απαιτούμενες πιέσεις στο δίκτυο διανομής του νέου παραθεριστικού οικισμού, που, όπως φαίνεται στο σκαρίφημα, θα κατασκευαστεί ανάντη της υφιστάμενης αστικής περιοχής (και μάλιστα θα επεκταθεί ως την περιοχή της υφιστάμενης δεξαμενής Δ1). Παρατηρείται ότι η ΑΣΥ της νέας δεξαμενής Δ2 είναι στα +140 m, ενώ το υψόμετρο του κόμβου εισόδου του νέου δικτύου είναι στα +110 m. Η υψομετρική διαφορά των 30 m κρίνεται καταρχήν ικανοποιητική, δεδομένης της χαμηλής δόμησης (διώροφα κτήρια) στον παραθεριστικό οικισμό (η διαφορά των 30 m είναι επιβεβλημένη, λόγω του σχετικά μεγάλου μήκους του νέου ΚΤΑ).

Ωστόσο, με την νέα θέση της δεξαμενής δεν ικανοποιείται πλέον ο έλεγχος μέγιστων πιέσεων, δεδομένου ότι το χαμηλότερο υψόμετρο της υδροδοτούμενης περιοχής είναι +55 m (η υψομετρική διαφορά από την ΑΣΥ της Δ2 μέχρι το σημείο αυτό είναι 85 m). Για τον λόγο αυτό, θα χρειαστεί ο διαχωρισμός του δικτύου σε δύο πιεζομετρικές ζώνες. Μια πιθανή επιλογή είναι η αξιοποίηση της υφιστάμενης δεξαμενής Δ1, για τον έλεγχο των πιέσεων της χαμηλής ζώνης.

Ερώτημα (στ)

Ο ωφέλιμος όγκος της νέας δεξαμενής περιλαμβάνει τον όγκο ρύθμισης και τον όγκο ασφαλείας. Ο πρώτος εκτιμάται ως ποσοστό 30% επί του μέγιστου ημερήσιου όγκου του συστήματος στο πέρας της περιόδου σχεδιασμού. Για $V_H = 81.3 \times 86.4 = 7023$ m³, προκύπτει $V_P = 0.30 \times 7023 = 2107$ m³. Ο όγκος ασφαλείας εκτιμάται για τετράωρη βλάβη του καταθλιπτικού αγωγού, που για παροχή σχεδιασμού 97.5 L/s αντιστοιχεί σε απόθεμα νερού ίσο με $V_A = 97.5 \times 4 \times 3.6 = 1405$ m³. Συνεπώς, ο ωφέλιμος όγκος της δεξαμενής Δ2 θα είναι ίσος με 3512 m³. Θεωρώντας ότι εξαντλούμε όλη την έκταση του διαθέσιμου οικοπέδου ($35 \times 25 = 875$ m²), προκύπτει ωφέλιμο ύψος $3512 / 875 = 4.01$ m (στρογγυλεύουμε στα 4.0 m).

Συμπερασματικά, η νέα δεξαμενή θα έχει διαστάσεις $35 \times 25 \times 4$ m, και θα διαχωριστεί σε τουλάχιστον δύο ίσους θαλάμους. Για το δεδομένο υψόμετρο της ΑΣΥ (+140 m), η υδροληψία θα τοποθετηθεί στα +136.0 m (κατώτατη στάθμη ύδατος), ο πυθμένας στα +135.7 m και η οροφή στα +140.5 m.

Ερώτημα (ζ)

Ο νέος κύριος τροφοδοτικός αγωγός Δ2-Κ διαστασιολογείται θεωρώντας οριακή ικανοποίηση της ελάχιστης απαιτούμενης πίεσης στον κόμβο Κ (12.0 m για διώροφα κτήρια), και τη δεξαμενή Δ2 στην ΚΣΥ (+136.0 m). Συνεπώς, οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκος του αγωγού ανέρχονται σε $136.0 - (110.0 + 12.0) = 14.0$

m, που αντιστοιχούν σε κλίση ενέργειας $J = 14.0 / 2500 = 0.0056$. Η παροχή σχεδιασμού του ΚΤΑ εκτιμάται σε 165.8 L/s. Η τιμή αυτή προκύπτει θεωρώντας αύξηση κατά 20% της υφιστάμενης μέγιστης ωριαίας παροχής της αστικής περιοχής, στην οποία προστίθενται η μέγιστη ωριαία παροχή του παραθεριστικού οικισμού (62.5 L/s) και η τυπική παροχή πυρκαγιάς (10 L/s). Από τη γενικευμένη σχέση Manning, για ισοδύναμη τραχύτητα 1.0 mm, προκύπτει θεωρητική διάμετρος $D = 0.369$ m. Επιλέγουμε αγωγό $\varnothing 400$ mm από PVC 10 atm, με εσωτερική διάμετρο 361.8 mm.

Η παραπάνω διαδικασία διαστασιολόγησης βασίζεται στην υπόθεση ότι ο κόμβος Κ είναι ο δυσμενέστερος του δικτύου διανομής, από πλευρά ελάχιστων πιέσεων. Συνεπώς, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη ελάχιστη πίεση στον συγκεκριμένο κόμβο θεωρούμε ότι θα ικανοποιούνται οι ελάχιστες πιέσεις σε όλο το υπόλοιπο δίκτυο. Η υπόθεση αυτή είναι εύλογη μόνο όταν η εξυπηρετούμενη περιοχή έχει σχετικά μεγάλη κλίση, οπότε η είσοδος του δικτύου βρίσκεται σαφώς ψηλότερα από τους υπολοίπους κόμβους του δικτύου. Όταν το ανάγλυφο παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις ή/και όταν διαφοροποιείται η δόμηση (και συνεπώς οι απαιτήσεις σε ύψος πίεσης), ενδεχομένως να υπάρχουν περιοχές του δικτύου που είναι πιο δυσμενείς (π.χ. επειδή είτε είναι απομακρυσμένες είτε βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο είτε εξυπηρετούν πολύ ψηλά κτήρια είτε συγκεντρώνουν μεγάλες καταναλώσεις). Για την «ανύψωση» της πιεζομετρικής γραμμής στις περιοχές αυτές απαιτείται πιθανόν αύξηση της διαμέτρου του ΚΤΑ, έτσι ώστε να μειωθούν οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκος του, αυξάνοντας ισόποσα τις πιέσεις σε όλο το δίκτυο.