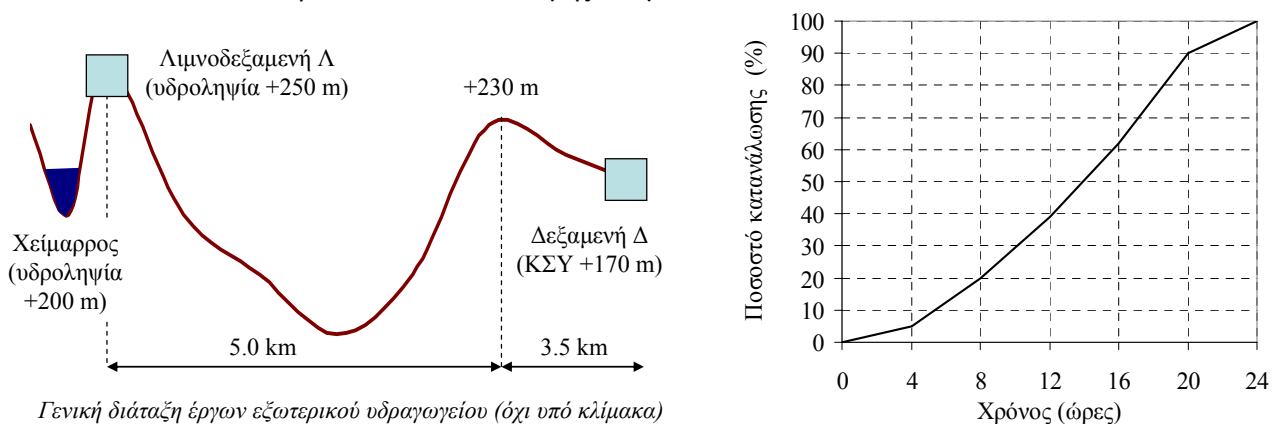


Στο σκαρίφημα απεικονίζονται τα υδρευτικά έργα πόλης, που περιλαμβάνουν λιμνοδεξαμενή Λ, με στάθμη υδροληψίας +250 m και στάθμη υπερχειλίσσης +260 m, χαλύβδινο αγωγό βαρύτητας, διαμέτρου $\varnothing 350$ mm και μήκους 8.5 km, και ρυθμιστική δεξαμενή Δ, κατώτατης στάθμης +170 m και ωφέλιμου ύψους 5 m. Η υδροδότηση γίνεται από κοντινό χείμαρρο, χωρίς ροή κατά τη θερινή περίοδο, στην κοίτη του οποίου έχει διαμορφωθεί ένα μικρό έργο υδροληψίας, σε στάθμη +200 m. Το νερό αντλείται στη λιμνοδεξαμενή μέσω αντλιοστασίου, με συντελεστή απόδοσης 85%, και καταθλιπτικού αγωγού, με ενεργειακές απώλειες 5.0 m. Το δίκτυο διανομής της πόλης εξυπηρετεί οικιακές και βιομηχανικές χρήσεις νερού. Η βιομηχανική ζήτηση, η οποία αναφέρεται μόνο στις εργάσιμες ημέρες του έτους, ανέρχεται σε 1500 m^3 ημερησίως, ενώ το ποσοστό των απωλειών νερού στο δίκτυο διανομής εκτιμάται σε 20%.



Γενική διάταξη έργων εξωτερικού υδραγωγείου (όχι υπό κλίμακα)

- Υπολογίστε την μέγιστη παροχή που μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια ο χαλύβδινος αγωγός, δεδομένου ότι σε απόσταση 5.0 km από τη λιμνοδεξαμενή παρεμβάλλεται λόφος, με μέγιστο υψόμετρο +230 m.
- Σχεδιάστε την υδραυλική μηκοτομή του τμήματος Λ-Δ, εξηγήστε γιατί πρέπει να τοποθετηθεί δικλείδα αμέσως ανάντη της δεξαμενής και υπολογίστε τον συντελεστή τοπικών απωλειών της.
- Εκτιμήστε τον αριθμό των οικιακών καταναλωτών που μπορεί να εξυπηρετήσει το σύστημα, θεωρώντας μέση ημερήσια κατά κεφαλή κατανάλωση 180 L/d και συντελεστή ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.50$.
- Εκτιμήστε τον ετήσιο όγκο άντλησης από τον χείμαρρο και την αντίστοιχη κατανάλωση ρεύματος.
- Με βάση την αθροιστική καμπύλη εκροών του διαγράμματος δεξιά, εκτιμήστε τον ρυθμιστικό όγκο της δεξαμενής Δ, καθώς και τον συνολικό ωφέλιμο όγκο της, με την υπόθεση βωρης βλάβης του αγωγού Λ-Δ.

Ερώτημα (α)

Γενικά, η παροχетеυτικότητα του εξωτερικού υδραγωγείου εκτιμάται με βάση τις ελάχιστες διαθέσιμες ενεργειακές απώλειες, που υπολογίζονται θεωρώντας την ελάχιστη στάθμη ανάντη (στάθμη υδροληψίας λιμνοδεξαμενής, +250 m) και τη μέγιστη στάθμη κατόντη (ΑΣΥ δεξαμενής, +175 m). Για μήκος 8.5 km, προκύπτει κλίση ενέργειας 8.82 m/km . Ωστόσο, παρατηρείται ότι για την κλίση αυτή, η πιεζομετρική γραμμή τέμνει εμφανώς τον ορεινό όγκο, δημιουργώντας μη αποδεκτές υποπίεσεις. Συγκεκριμένα, στην απόσταση των 5.0 km, στην οποία παρεμβάλλεται η κορυφή Α (+230 m), προκύπτει ενεργειακό υψόμετρο $250 - 8.82 \times 5.0 = 205.9 \text{ m}$, που συνεπάγεται έντονα αρνητικό ύψος πίεσης, ήτοι $205.9 - 230.0 = -24.1 \text{ m}$ (το μέγεθος είναι θεωρητικό, καθώς δεν μπορεί να υπάρξει ροή σε τέτοιες συνθήκες).

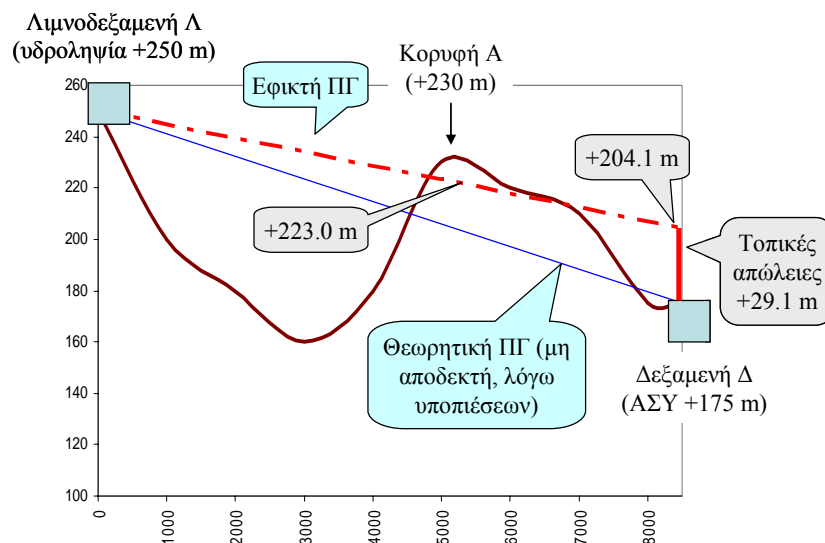
Για τον λόγο αυτό, η παροχетеυτικότητα του εξωτερικού υδραγωγείου καθορίζεται κατά προτεραιότητα από τον περιορισμό ελάχιστης πίεσης στη συγκεκριμένη θέση, που γενικά λαμβάνεται -7.0 m (για περαιτέρω ασφάλεια, θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι η ΠΓ διέρχεται ακριβώς από την κορυφή Α, δηλαδή στα +230 m). Στην περίπτωση αυτή, το ελάχιστο επιτρεπόμενο ενεργειακό υψόμετρο στο δυσμενέστερο (υψηλότερο) σημείο της μηκοτομής είναι $230.0 - 7.0 = +223 \text{ m}$, που αντιστοιχεί σε κλίση ενέργειας ίση με $(250 - 223) / 5.0 = 5.40 \text{ m/km}$. Για εσωτερική διάμετρο 0.350 m (χαλύβδινος αγωγός) και ισοδύναμη τραχύτητα $\epsilon = 1.0$

mm, από την γενικευμένη σχέση Manning προκύπτει παροχή $0.1042 \text{ m}^3/\text{s}$. Η ποσότητα αυτή θεωρείται ότι μπορεί να διοχετευτεί με ασφάλεια την ημέρα αιχμής, αντιστοιχεί δηλαδή στη μέγιστη ημερήσια παροχή του συστήματος ($Q_H = 104.2 \text{ L/s}$).

Ερώτημα (β)

Για την κλίση που υπολογίστηκε στο ερώτημα (α), οι απώλειες ενέργειας από την κορυφή Α μέχρι τη δεξαμενή Δ ανέρχονται σε $5.40 \times 3.5 = 18.9 \text{ m}$, οπότε το ενεργειακό υψόμετρο στη θέση της δεξαμενής είναι $223.0 - 18.9 = 204.1 \text{ m}$. Θεωρώντας τη δεξαμενή στην ανώτατη στάθμη, προκύπτει περίσσεια ενέργειας $204.1 - 175.0 = 29.1 \text{ m}$, η οποία πρέπει να καταναλωθεί σε τοπικές απώλειες. Για το σκοπό αυτό, τοποθετείται δικλείδα αμέσως ανάντη της δεξαμενής, η οποία δεν είναι ποτέ πλήρως ανοιχτή. Το άνοιγμα της δικλείδας στις συνθήκες ροής της ημέρας αιχμής καθορίζεται από τον συντελεστή απωλειών της δικλείδας, που υπολογίζεται από τη σχέση $K = 2g h_T / V^2$. Αντικαθιστώντας για $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, $h_T = 29.1 \text{ m}$ και $V = 1.08 \text{ m/s}$ (ταχύτητα ροής, για παροχή $0.1042 \text{ m}^3/\text{s}$ και διάμετρο 0.350 m), προκύπτει $K = 487$.

Η υδραυλική μηκοτομή του τμήματος ΛΑΔ απεικονίζεται στο σκαρίφημα.



Ερώτημα (γ)

Η μέγιστη ημερήσια παροχή του συστήματος είναι 104.2 L/s , ωστόσο το 20% της εν λόγω ποσότητας, ήτοι 20.8 L/s , δεν είναι διαθέσιμο στους καταναλωτές, εξαιτίας των απωλειών στο δίκτυο διανομής. Ακόμη, οι ημερήσιες ανάγκες της βιομηχανίας είναι 1500 m^3 , που αντιστοιχούν σε παροχή $1500 / 86.4 = 17.4 \text{ L/s}$ (σταθερή όλες τις εργάσιμες ημέρες, άρα και την ημέρα αιχμής). Με τις παραπάνω υποθέσεις, η μέγιστη ημερήσια παροχή για οικιακή και χρήση ανέρχεται σε $104.2 - 20.8 - 17.4 = 66.0 \text{ L/s}$. Για συντελεστή αιχμής $\lambda_H = 1.50$, η μέση παροχή των μόνιμων κατοίκων εκτιμάται σε $66.0 / 1.50 = 44.0 \text{ L/s}$. Θεωρώντας μέση ημερήσια κατά κεφαλή κατανάλωση 180 L/d , προκύπτει ότι ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός ανέρχεται σε $44.0 \times 86\,400 / 180 = 21\,115$ άτομα.

Ερώτημα (δ)

Οι ετήσιες υδρευτικές ανάγκες για οικιακή χρήση ανέρχονται σε $0.044 \times 365 \times 86\,400 = 1\,387\,261 \text{ m}^3$, ενώ για βιομηχανική χρήση (για 250 ημέρες λειτουργίας των βιομηχανικών μονάδων) ανέρχονται σε $1500 \times 250 = 375\,000 \text{ m}^3$, ήτοι σύνολο $1\,762\,261 \text{ m}^3$. Η ποσότητα αυτή προσαυξάνεται, ώστε να ληφθούν υπόψη και οι απώλειες στο δίκτυο διανομής, οπότε ο όγκος νερού που αντλείται ετησίως από το χείμαρρο εκτιμάται σε:

$$V_a = 1\,762\,261 / (1 - 0.20) = 2\,202\,826 \text{ m}^3 \text{ (περίπου } 2.2 \text{ hm}^3)$$

Η εκτίμηση της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται με βάση τη σχέση:

$$E = \gamma V_a H_\mu / \eta$$

Το μανομετρικό ύψος H_μ υπολογίζεται ως άθροισμα της μέγιστης υψομετρικής διαφοράς και των απωλειών στον καταθλιπτικό αγωγό, οι οποίες δίνονται ίσες με 5.0 m (στην πραγματικότητα υπολογίζονται αναλυτικά, με βάση τη μέγιστη παροχή άντλησης και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού). Η υψομετρική διαφορά υπολογίζεται από τη στάθμη άντλησης ($+200 \text{ m}$) ως τη στάθμη υπερχειλίσσης της λιμνοδεξαμενής ($+260 \text{ m}$). Κατά συνέπεια, το μανομετρικό ύψος του αντλιοστασίου υπολογίζεται σε $260 - 200 + 5 = 65 \text{ m}$.

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση, για βαθμό απόδοσης 85% (ο βαθμός αυτός επίσης εξαρτάται από την παροχή, καθώς και τη διάταξη των αντλιών), προκύπτει ότι η ετήσια κατανάλωση ρεύματος ανέρχεται σε περίπου 460 000 kWh (για τη μετατροπή των kJ σε kWh, η παραπάνω σχέση διαιρείται με 3600).

Ερώτημα (ε)

Στο γράφημα της αθροιστικής ποσοστιαίας καμπύλης εκροών απεικονίζουμε την αντίστοιχη καμπύλη εισροών, η οποία ταυτίζεται με τη διαγώνιο, δεδομένου ότι ο ρυθμός εισροής είναι σταθερός όλο το 24ωρο.

Πάνω στο γράφημα, εντοπίζουμε τη μέγιστη περίσσεια νερού, που παρατηρείται στις 4:00 το πρωί και ανέρχεται σε 13.3%, και το αντίστοιχο μέγιστο έλλειμμα, που παρατηρείται στις 8:00 το βράδυ και ανέρχεται σε 6.7%. Αθροίζοντας τα δύο ποσοστά κατ' απόλυτη τιμή προκύπτει ότι το απαιτούμενο ρυθμιστικό απόθεμα της δεξαμενής ισούται με το 20% του όγκου που εισέρχεται στη δεξαμενή την ημέρα αιχμής, ήτοι $0.20 \times 104.2 \times 86.4 = 1800 \text{ m}^3$. Εξάλλου, με την υπόθεση 6ωρης βλάβης του αγωγού ΛΔ, προκύπτει η ανάγκη διατήρησης ενός επιπλέον όγκου ασφαλείας ίσου με $104.2 \times 6 \times 3600 / 1000 = 2250 \text{ m}^3$.

Αθροίζοντας τα δύο μεγέθη, ο ωφέλιμος όγκος της δεξαμενής υπολογίζεται σε 4050 m^3 .

