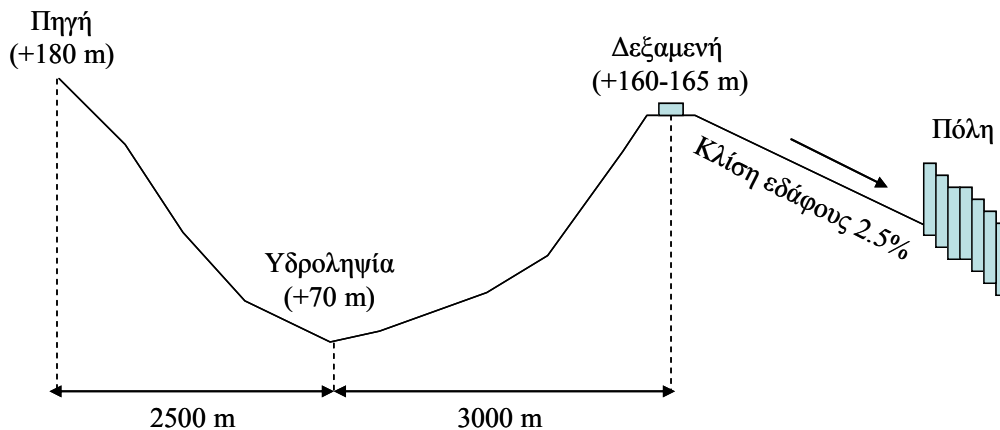


Στο σκαρίφημα απεικονίζεται η μηκοτομή του υδρευτικού συστήματος πόλης, ο πληθυσμός της οποίας εκτιμάται σε 6500 κατοίκους. Η πόλη υδροδοτείται από πηγή που βρίσκεται σε υψόμετρο +180.0 m, και πλαστικό αγωγό, μήκους 5.5 km, εσωτερικής διαμέτρου 240 mm και ονομαστικής αντοχής 12.5 atm. Η στάθμη της δεξαμενής ρύθμισης κυμαίνεται από +160.0 έως +165.0 m. Με βάση στοιχεία της τοπικής Δημοτικής Εταιρείας Ύδρευσης και Αποχέτευσης, το περασμένο έτος διατέθηκαν 400 000 m<sup>3</sup> για οικιακές και 80 000 m<sup>3</sup> για βιομηχανικές χρήσεις μικρής κλίμακας. Ακόμη, την ημέρα αιχμής, ο ρυθμός εισροής νερού στη δεξαμενή ανήλθε σε 80 m<sup>3</sup>/h. Σύμφωνα με αναθεωρημένη υδρογεωλογική μελέτη του υδροφορέα που τροφοδοτεί την πηγή, η παροχή των 80 m<sup>3</sup>/h αποτελεί και το μέγιστο όριο ασφαλούς απόληψης τη θερινή περίοδο. Προκειμένου να καλυφθούν τόσο οι άμεσες όσο και οι μελλοντικές ανάγκες της πόλης, εξετάζεται η κατασκευή ενός συμπληρωματικού έργου υδροληψίας από την κοίτη ποταμού, που βρίσκεται σε υψόμετρο +70.0 m και σε απόσταση 2.5 km από την υφιστάμενη πηγή, όπως φαίνεται στο σκαρίφημα.



- (α) Υπολογίστε την κατά κεφαλή κατανάλωση και το συντελεστή ημερήσιας αιχμής για αστική χρήση, θεωρώντας ότι οι βιομηχανικές μονάδες λειτουργούν μόνο τις εργάσιμες ημέρες του έτους.
- (β) Εκτιμήστε την επιπλέον παροχή που μπορεί να αντληθεί από τη νέα υδροληψία, με δεδομένο ότι η παροχή του ανάντη τμήματος δεν θα υπερβαίνει την ασφαλή απόδοση της πηγής και ότι δεν θα γίνει καμιά αλλαγή στο υδραγωγείο. Επίσης, εκτιμήστε τον πληθυσμό που θα μπορεί να εξυπηρετηθεί σε αυτή την περίπτωση, δεδομένου ότι δεν προβλέπεται περαιτέρω βιομηχανική ανάπτυξη στην περιοχή.
- (γ) Εξηγήστε (χωρίς υδραυλικούς υπολογισμούς) γιατί με την προσθήκη του έργου υδροληψίας θα μπορεί να εξυπηρετείται μεγαλύτερος πληθυσμός σε σχέση με την αρχική διάταξη, και χαράξτε την πιεζομετρική γραμμή για τις δύο αυτές περιπτώσεις.
- (δ) Υπολογίστε τη μέγιστη πίεση που αναπτύσσεται κατά μήκος του εξωτερικού υδραγωγείου σε συνθήκες μηδενικής κατανάλωσης, καθώς και σε συνθήκες μέγιστης κατανάλωσης, για την υφιστάμενη και την υπό μελέτη διάταξη έργων. Εξετάστε την επάρκεια του αγωγού για τη δυσμενέστερη περίπτωση.
- (ε) Για τον πληθυσμό που υπολογίστηκε στο ερώτημα (β), εκτιμήστε την απαιτούμενη παροχетеυτικότητα του τροφοδοτικού αγωγού που συνδέει τη δεξαμενή με το δίκτυο διανομής της πόλης, θεωρώντας παροχή πυρκαγιάς ίση με 10 L/s και 8ωρη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων.
- (στ) Υπολογίστε το ελάχιστο και μέγιστο υψόμετρο ανάπτυξης του δικτύου διανομής που θα μπορεί να εξυπηρετήσει η δεξαμενή, για εσωτερική διάμετρο τροφοδοτικού αγωγού 300 mm και πρακτικά σταθερή κλίση εδάφους 2.5%. Δίνεται ότι στην πόλη επιτρέπεται η δόμηση έως τετραώροφων κτηρίων.

### Ερώτημα (α)

Η ειδική (κατά κεφαλή) κατανάλωση για αστική (οικιακή) χρήση, με βάση την ετήσια κατανάλωση και τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό του περασμένου έτους εκτιμάται σε  $q = 400\ 000 / 6500 / 365 = 0.169\ \text{m}^3/\text{d}/\text{κάτ.}$ , δηλαδή περίπου  $170\ \text{L}/\text{d}/\text{κάτ.}$ , τιμή που είναι αντιπροσωπευτική για ελληνικές πόλεις. Η αντίστοιχη μέση ημερήσια παροχή υπολογίζεται σε  $Q_{E, \text{αστ.}} = 400\ 000 / 365 / 86\ 400 = 0.0127\ \text{m}^3/\text{s} = 12.7\ \text{L}/\text{s}$ .

Για την εκτίμηση του συντελεστή ημερήσιας αιχμής, υπολογίζεται αρχικά η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση των βιομηχανικών χρήσεων, η οποία ταυτίζεται με τη μέση (θεωρούμε ότι οι βιομηχανικές ανάγκες σε νερό δεν διαφοροποιούνται εποχιακά, δηλαδή  $\lambda_{H, \text{βιομ.}} = 1$ ). Με βάση την ετήσια κατανάλωση του περασμένου έτους και το χρόνο λειτουργίας των βιομηχανικών μονάδων (περίπου 250 εργάσιμες ημέρες ανά έτος), η παροχή αυτή εκτιμάται σε  $Q_{H, \text{βιομ.}} = 80\ 000 / 250 / 86\ 400 = 0.0037\ \text{m}^3/\text{s} = 3.7\ \text{L}/\text{s}$ . Η εν λόγω ποσότητα αφαιρείται από τη συνολική παροχή που μεταφέρθηκε από το εξωτερικό υδραγωγείο την ημέρα αιχμής, ήτοι  $80\ \text{m}^3/\text{h}$  ή  $80\ 000 / 3600 = 22.2\ \text{L}/\text{s}$  (με δεδομένο ότι το υδραγωγείο λειτουργεί με βαρύτητα, ο μέσος ωριαίος ρυθμός εισροής νερού στη δεξαμενή την ημέρα αιχμής της ζήτησης ταυτίζεται με τη μέγιστη ημερήσια παροχή της πόλης).

Συνεπώς, για αστική χρήση διατέθηκαν  $Q_{H, \text{αστ.}} = 22.2 - 3.7 = 18.5\ \text{L}/\text{s}$ , οπότε ο συντελεστής ημερήσιας αιχμής ανήλθε σε  $\lambda_H = 18.5 / 12.7 = 1.46$ , τιμή που επίσης είναι τυπική για ελληνικές πόλεις.

### Ερώτημα (β)

Για να βρεθεί η επιπλέον παροχή που μπορεί να αντληθεί από τη νέα υδροληψία πρέπει να υπολογιστεί η παροχευτικότητα του κατάντη (μετά την υδροληψία) τμήματος του υδραγωγείου, η οποία εξαρτάται από το ενεργειακό υψόμετρο στο σημείο υδροληψίας. Το υψόμετρο αυτό θα υπολογιστεί θεωρώντας ότι στο ανάντη τμήμα η διερχόμενη παροχή ταυτίζεται με αυτή που μεταφέρθηκε την ημέρα αιχμής του περασμένου έτους, ήτοι  $22.2\ \text{L}/\text{s}$  (όπως αναφέρεται, αυτή αποτελεί το μέγιστο όριο ασφαλούς απόληψης από την πηγή τη θερινή περίοδο). Εφαρμόζοντας τη γενικευμένη σχέση Manning για παροχή  $0.0222\ \text{m}^3/\text{s}$ , διάμετρο  $0.240\ \text{m}$  και τραχύτητα  $1.0\ \text{mm}$  (τυπική τιμή ασφαλείας για αγωγούς ύδρευσης), η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής υπολογίζεται σε  $J_{\Pi-Y} = 0.0015$ . Συνεπώς, οι ενεργειακές απώλειες μέχρι τη θέση υδροληψίας  $Y$  ανέρχονται σε  $0.0015 \times 2500 = 3.8\ \text{m}$ , οπότε το ενεργειακό υψόμετρο ισούνται με  $H_Y = 180.0 - 3.7 = 176.2\ \text{m}$ .<sup>1</sup>

Θεωρώντας, για λόγους ασφαλείας, τη δεξαμενή στην ανώτατη στάθμη (+165.0 m), η διαθέσιμη κλίση της γραμμής ενέργειας στο κατάντη τμήμα του υδραγωγείου εκτιμάται σε  $J_{Y-\Delta} = (176.2 - 165.0) / 3000 = 0.0037$ . Διατηρώντας ίδια διάμετρο αγωγού και επιλύοντας τη γενικευμένη σχέση Manning ως προς την παροχή<sup>2</sup>, υπολογίζεται ότι μπορούν να μεταφερθούν  $0.0351\ \text{m}^3/\text{s}$ , ήτοι  $0.0129\ \text{m}^3/\text{s}$  περισσότερα σε σχέση με το ανάντη τμήμα. Συνεπώς, η επιπλέον παροχή που μπορεί να δοθεί μέσω του έργου υδροληψίας στο ποτάμι ισούται με  $12.9\ \text{L}/\text{s}$ , και μπορεί να διατεθεί στο σύνολό της για αστική χρήση, καθώς δεν προβλέπεται αύξηση των βιομηχανικών αναγκών της πόλης. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται αύξηση της διαθέσιμης ποσότητας νερού για αστική κατανάλωση σχεδόν κατά 70% ( $12.9 / 18.5 = 0.695$ ), που σημαίνει ότι, αν η ειδική κατανάλωση μείνει αμετάβλητη, ο συνολικός πληθυσμός που θα μπορεί να εξυπηρετείται από το νέο σχήμα έργων υπολογίζεται σε  $1.70 \times 6500 \approx 11\ 000$  άτομα.

### Ερώτημα (γ)

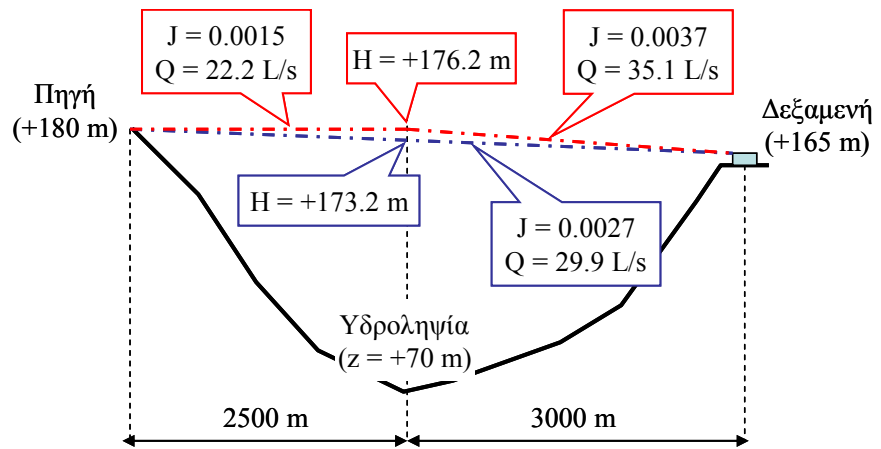
Η μέγιστη παροχή που θα μπορούσε να μεταφερθεί από το υδραγωγείο (αν δεν υπήρχε ο υδρογεωλογικός περιορισμός της πηγής) εξαρτάται από τη διαθέσιμη κλίση ενέργειας μεταξύ της πηγής και της δεξαμενής, η οποία ισούται με  $J_{\Pi-\Delta} = (180.0 - 165.0) / 5000 = 0.0027$ . Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από την υδραυλική κλίση του ανάντη τμήματος ( $J_{\Pi-Y} = 0.0015$ ), το οποίο μεταφέρει την ασφαλή απόληψη από την πηγή (80

<sup>1</sup> Προφανώς, για να εισαχθεί το νερό του ποταμού από τα +70.0 m στον αγωγό και να τεθεί σε ενεργειακό υψόμετρο +176.2 m., θα απαιτηθεί άντληση (για την οποία δεν ζητούνται υπολογισμοί).

<sup>2</sup> Παρατήρηση: Αν η διάμετρος και η τραχύτητα δύο αγωγών είναι ίδιες, διαιρώντας τη γενικευμένη σχέση Manning κατά μέλη προκύπτει η σχέση αναλογίας  $J_1 / J_2 = (Q_1 / Q_2)^{2/(1+\gamma)}$ .

$\text{m}^3/\text{h}$  ή  $22.2 \text{ L/s}$ ), αλλά μικρότερη από αυτή του κατόντη ( $J_{Y-\Delta} = 0.0037$ ), στο οποίο εισάγεται και η παροχή μέσω του έργου υδροληψίας (συνολικά  $35.1 \text{ L/s}$ ). Συνεπώς, με το νέο σχήμα θα μπορεί να εξυπηρετείται μεγαλύτερος αριθμός κατοίκων σε σχέση με την αρχική διάταξη – κάτι που θα ίσχυε σε οποιοδήποτε σημείο και αν τοποθετούσαμε το έργο υδροληψίας.<sup>1</sup>

Η πιεζομετρική γραμμή, με βάση τον αρχικό και το νέο σχεδιασμό, απεικονίζεται στο σκαρίφημα, όπου δίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των δύο διατάξεων (κλίση γραμμής ενέργειας, παροχή, ενεργειακό υψόμετρο υδροληψίας). Το ενεργειακό υψόμετρο στη θέση υδροληψίας για την αρχική διάταξη ισούται με σε  $180.0 - 0.0027 \times 2500 = 173.2 \text{ m}$ .



#### Ερώτημα (δ)

Η θεωρητικά μέγιστη πίεση στο εξωτερικό υδραγωγείο αναπτύσσεται στις θεωρητικές συνθήκες μηδενικής παροχής, ήτοι οριζόντιας πιεζομετρικής γραμμής, και παρουσιάζεται στο χαμηλότερο σημείο της μηκοτομής του αγωγού, δηλαδή στη θέση υδροληψίας. Η εν λόγω πίεση ισούται με  $180.0 - 70.0 = 110.0 \text{ m}$  ή περίπου  $11.0 \text{ atm}$ . Κατά συνέπεια, ο αγωγός των  $12.5 \text{ atm}$  είναι επαρκής ως προς τη στατική πίεση.

Για την αρχική διάταξη του συστήματος, η μέγιστη πίεση που αναπτύσσεται την ημέρα αιχμής ισούται με  $173.2 - 70.0 = 103.2 \text{ m}$ , ενώ για τη νέα διάταξη η εν λόγω πίεση ισούται με  $176.2 - 70.0 = 106.2 \text{ m}$ .

#### Ερώτημα (ε)

Για τη νέα διάταξη έργων, η μέγιστη ημερήσια παροχή για αστική χρήση ισούται με  $18.5 + 12.9 = 31.4 \text{ L/s}$ , ενώ για τη βιομηχανική χρήση διατηρείται σε  $3.7 \text{ L/s}$ . Η απαιτούμενη παροχή σχεδιασμού του τροφοδοτικού αγωγού προκύπτει αθροίζοντας τη μέγιστη ωριαία παροχή των δύο παραπάνω χρήσεων νερού και την παροχή πυρκαγιάς. Ειδικότερα, η μέγιστη ωριαία παροχή για αστική χρήση εκτιμάται λαμβάνοντας την τυπική τιμή του σχετικού συντελεστή ανομοιομορφίας ( $\lambda_{\Omega} = 2.0$ ), ενώ η παροχή για βιομηχανική χρήση προκύπτει άμεσα, με βάση τις ώρες λειτουργίας των βιομηχανικών μονάδων, σε  $\lambda_{\Omega} = 24 / 8 = 3.0$ . Συνεπώς, η απαιτούμενη παροχетеυτικότητα του αγωγού εκτιμάται σε  $2.0 \times 31.4 + 3.0 \times 3.7 + 10.0 = 83.9 \text{ L/s}$ .

#### Ερώτημα (στ)

Το ελάχιστο υψόμετρο ανάπτυξης του δικτύου διανομής προκύπτει από τον περιορισμό μέγιστων πιέσεων, ήτοι  $70 \text{ m}$  κατά μέγιστο. Θεωρώντας μηδενική κατανάλωση και τη δεξαμενή στην ανώτατη στάθμη της, υπολογίζεται ότι το χαμηλότερο τοπογραφικό υψόμετρο που μπορεί να τροφοδοτήσει με ασφάλεια η δεξαμενή (χωρίς να απαιτείται χωρισμός του δικτύου σε πιεζομετρικές ζώνες) είναι  $165 - 70 = 95 \text{ m}$ .

Αντίστοιχα, το μέγιστο υψόμετρο προκύπτει με βάση τον περιορισμό ελάχιστων πιέσεων, ο οποίος εξετάζεται σε συνθήκες μέγιστης κατανάλωσης και κατώτατης στάθμης δεξαμενής ( $+160 \text{ m}$ ). Έστω  $z$  το εν λόγω υψόμετρο, το οποίο βρίσκεται σε απόσταση  $L$  από τη δεξαμενή. Θεωρώντας σταθερή κλίση εδάφους  $2.5\%$ , ισχύει  $z = 160.0 - 0.025 L$  (εξίσωση 1). Στο σημείο αυτό, το απαιτούμενο ύψος πίεσης για τετραώροφα κτήρια, με βάση τον περιορισμό  $p/\gamma \geq 4(n + 1)$ , ισούται με  $20.0 \text{ m}$ , οπότε το ελάχιστο ενεργειακό υψόμετρο ισούται με  $z + 20.0 \text{ m}$ . Για δεδομένη παροχή, διάμετρο και τραχύτητα του κύριου τροφοδοτικού αγωγού ( $Q = 0.0839 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $D = 0.300 \text{ m}$ ,  $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$ ), η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής

<sup>1</sup> Αν γίνουν οι σχετικοί υπολογισμοί, η παροχетеυτικότητα του υδραγωγείου χωρίς την παρεμβολή του έργου υδροληψίας ισούται με  $29.9 \text{ L/s}$ , με την οποία θα μπορούσαν να υδροδοτηθούν έως  $9200$  άτομα

κατά μήκος του αγωγού υπολογίζεται σε 0.0065. Κατά συνέπεια, οι ενεργειακές απώλειες μεταξύ της δεξαμενής και του πλέον ανάντη κόμβου είναι ίσες με  $160.0 - (z + 20.0) = 0.0065 L$  (εξίσωση 2). Από τις εξισώσεις (1) και (2) προκύπτει  $z = 133.0$  m,  $L = 1080$  m.

Συνεπώς, η ανάπτυξη του δικτύου διανομής της πόλης, με διατήρηση της υφιστάμενης δεξαμενής, μπορεί να γίνει μεταξύ των υψομέτρων +95 έως +133 m.