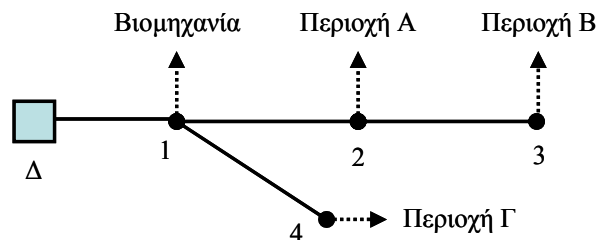


Στο σκαρίφημα απεικονίζονται οι κύριοι αγωγοί (HDPE, 10 atm) τροφοδοσίας των υδραυλικά ανεξάρτητων δικτύων διανομής των οικιστικών περιοχών Α, Β και Γ. Επιπλέον, ο κόμβος 1 τροφοδοτεί βιομηχανική μονάδα σταθερής παραγωγής, η οποία λειτουργεί 16 ώρες, τις εργάσιμες μέρες του έτους. Τα υψόμετρα εδάφους, οι παροχές εξόδου, για συνθήκες μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης, και οι απαιτήσεις ελάχιστης πίεσης των κόμβων, δίνονται στον Πίνακα 1. Η μεταφορά του νερού ως τη δεξαμενή Δ, κατώτατης στάθμης +245 m, γίνεται μέσω συστήματος αντλιοστασίου και καταθλιπτικού αγωγού, 20ωρης λειτουργίας. Το αντλιοστάσιο αποτελείται από τρεις όμοιες παράλληλες αντλίες, και μία ακόμη εφεδρική.

Πίνακας 1: Δεδομένα κόμβων δικτύου.

Κόμβος	Υψόμετρο εδάφους (m)	Παροχή εξόδου (L/s)	Απαιτούμενη πίεση (atm)
1	210	6.0	1.5
2	185	29.0	2.0
3	175	15.0	2.0
4	195	40.0	2.5



- (α) Υπολογίστε την μέγιστη ημερήσια παροχή και τις ετήσιες ανάγκες για τις δύο χρήσεις νερού (οικιακή, βιομηχανική), και τον πληθυσμό που μπορεί να εξυπηρετήσει το δίκτυο. Θεωρήστε συντελεστές ημερήσιας και ωριαίας αιχμής 1.5 και 2.0, αντίστοιχα, για οικιακή χρήση, και μέση κατά κεφαλή κατανάλωση 160 L/d.
- (β) Υπολογίστε την απαιτούμενη εγκαταστημένη ισχύ του αντλιοστασίου και την ετήσια δαπάνη άντλησης, θεωρώντας μανομετρικό ύψος 100 m, βαθμό απόδοσης 80% και κόστος ηλεκτρικού ρεύματος 0.08 €/kWh.
- (γ) Θεωρώντας ταυτόχρονη λειτουργία έως δύο κρουστών, ο καθένας με παροχή 5.0 L/s, διαμορφώστε τα δύο δυσμενέστερα σενάρια φόρτισης του δικτύου, και υπολογίστε τις διερχόμενες παροχές των αγωγών.
- (δ) Δεδομένου ότι ο αγωγός Δ-1 έχει μήκος 4000 m και διάμετρο  $\varnothing 400$  mm, ελέγξτε αν ικανοποιείται το ζητούμενο ύψος πίεσης στον κόμβο 1 και, εν συνεχεία, διαστασιολογήστε τον αγωγό 1-4, μήκους 5000 m.

### Ερώτημα (α)

Η συνολική μέγιστη ωριαία παροχή των μόνιμων κατοίκων (οικιακή κατανάλωση) ισούται με το άθροισμα των παροχών εξόδου των κόμβων 2, 3 και 4, δηλαδή  $Q_{\Omega} = 84.0$  L/s. Για συντελεστή  $\lambda_{\Omega} = 2.00$  προκύπτει ότι η αντίστοιχη μέγιστη ημερήσια παροχή είναι  $Q_H = 84.0 / 2.00 = 42.0$  L/s, ενώ για  $\lambda_H = 1.50$  προκύπτει μέση ημερήσια παροχή ίση με  $Q_E = 42.0 / 1.50 = 28.0$  L/s. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε ετήσιο όγκο νερού ίσο με  $V_a = 28.0 \times 86\,400 \times 365 / 1000 = 883\,006$  m<sup>3</sup>. Επιπρόσθετα, για μέση κατά κεφαλή κατανάλωση 160 L/d προκύπτει ότι ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός ανέρχεται σε  $\Pi = 28.0 \times 86\,400 / 160 = 15\,120$  άτομα.

Η μέγιστη ωριαία παροχή για βιομηχανική χρήση ισούται με την παροχή εξόδου του κόμβου 1, δηλαδή  $Q_{\Omega} = 6.0$  L/s. Η βιομηχανική μονάδα λειτουργεί 16 ώρες ημερησίως, με σταθερή παραγωγή, οπότε ο σχετικός συντελεστής ωριαίας αιχμής ισούται με  $\lambda_{\Omega} = 24 / 16 = 1.50$ . Συνεπώς, η μέγιστη ημερήσια παροχή για τη συγκεκριμένη χρήση νερού ισούται με  $Q_H = 6.0 / 1.50 = 4.0$  L/s. Δεδομένου ότι η βιομηχανική παραγωγή είναι σταθερή (δεν εξαρτάται π.χ. από τις κλιματικές συνθήκες), δεν υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ της μέσης και της μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης, δηλαδή  $Q_E \approx Q_H = 4.0$  L/s ( $\lambda_H \approx 1.00$ ). Η παροχή αυτή απαιτείται τις εργάσιμες ημέρες του έτους (περίπου 250 ημέρες), οπότε η αντίστοιχη ετήσια ζήτηση νερού εκτιμάται σε  $V_a = 4.0 \times 86\,400 \times 250 / 1000 = 86\,400$  m<sup>3</sup>.

Συνεπώς, η συνολική μέγιστη ημερήσια παροχή του συστήματος ισούται με  $Q_H = 46.0$  L/s, ενώ οι συνολικές ετήσιες υδρευτικές ανάγκες ανέρχονται σε  $V_a = 969\,408$  m<sup>3</sup>  $\approx 970\,000$  m<sup>3</sup>

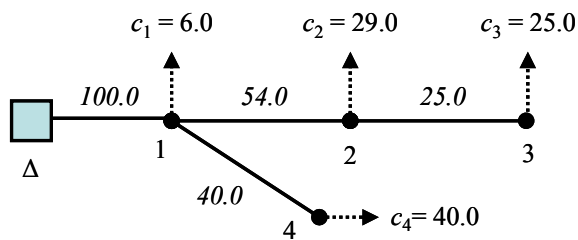
### Ερώτημα (β)

Η συνολική ισχύς που απαιτείται την ημέρα αιχμής ισούται με  $P = \gamma H_{\mu} Q_A / \eta$ , όπου  $Q_A$  η συνολική παροχή του αντλιοστασίου. Αφού το αντλιοστάσιο λειτουργεί 20 ώρες ημερησίως, η  $Q_A$  ισούται με τη μέγιστη ημερήσια παροχή της υδρευόμενης περιοχής, προσαυξημένη με βάση τις ώρες άντλησης, δηλαδή  $Q_A = 46.0 \times 24 / 20 = 55.2$  L/s ή  $0.0552$  m<sup>3</sup>/s. Για μανομετρικό ύψος  $H_{\mu} = 100$  m και βαθμό απόδοσης  $\eta = 0.80$ , η απαιτούμενη ισχύς του συστήματος ισούται με  $P = 9.81 \times 100 \times 0.0552 / 0.80 = 67.7$  kW. Η παραπάνω ισχύς (ομοίως και η παροχή), ισομοιράζεται στις τρεις παράλληλες αντλίες. Για τον υπολογισμό της εγκατεστημένης ισχύος θεωρείται μία ακόμα παράλληλη εφεδρική αντλία, ίδιας ισχύος με τις υπόλοιπες. Κατά συνέπεια, η εγκατεστημένη ισχύς του αντλιοστασίου ισούται με  $P_{\text{εγκ}} = (4 / 3) \times 67.7 = 90.3$  kW.

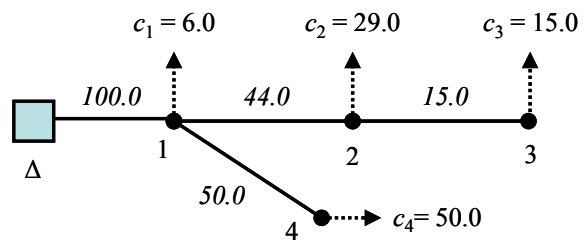
Για την εκτίμηση του ετήσιου κόστους άντλησης απαιτείται ο υπολογισμός της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας, που ισούται με  $E_a = \gamma H_{\mu} V_a / \eta$ , όπου  $V_a$  ο ετήσιος αντλούμενος όγκος νερού, δηλαδή  $969\,408$  m<sup>3</sup>. Η ενέργεια αυτή ανέρχεται σε  $E_a = 9.81 \times 100 \times 969\,408 / 0.80 / 3600 = 330\,205$  kWh (1 kW×s = 1/3600 kWh = 1 Joule). Για κόστος ηλεκτρικού ρεύματος 0.08 €/kWh, προκύπτει ετήσια δαπάνη 26 416 €.

### Ερώτημα (γ)

Τα δύο δυσμενέστερα σενάρια φόρτισης του δικτύου, με τα οποία μεγιστοποιείται η διερχόμενη παροχή των αγωγών του δικτύου, αναφέρονται στην ταυτόχρονη λειτουργία δύο πυροσβεστικών κρουνών είτε στην περιοχή Β (δυσμενέστερο σενάριο για τους κλάδους Δ-1, 1-2 και 2-3) είτε στην περιοχή Γ (δυσμενέστερο σενάριο για τους κλάδους Δ-1 και 1-4). Η συνολική παροχή πυρκαγιάς των 10.0 L/s προστίθεται στην παροχή εξόδου του κόμβου 3 και 4, αντίστοιχα, όπως φαίνεται στα αντίστοιχα σκαριφήματα. Ο υπολογισμός των παροχών των αγωγών γίνεται εύκολα, με βάση τις εξισώσεις συνέχειας των κόμβων, δεδομένου ότι το δίκτυο είναι ακτινωτό (διαφορετικά θα ήταν αναγκαία η υδραυλική επίλυση του δικτύου).



Παροχές εξόδου κόμβων και παροχές κλάδων (σε L/s) για το σενάριο λειτουργίας δύο κρουνών στον κόμβο 3



Παροχές εξόδου κόμβων και παροχές κλάδων (σε L/s) για το σενάριο λειτουργίας δύο κρουνών στον κόμβο 4

### Ερώτημα (δ)

Ο έλεγχος επάρκειας πίεσης στον κόμβο 1 γίνεται για τις συνθήκες δυσμενέστερης φόρτισης του δικτύου, δηλαδή για παροχή του κύριου τροφοδοτικού αγωγού Δ-1 ίση με 100.0 L/s. Από τη γενικευμένη σχέση Manning, για παροχή  $Q = 0.100$  m<sup>3</sup>/s, εσωτερική διάμετρο  $D = 0.3526$  m (για HDPE 10 atm, Ø400 mm) και ισοδύναμη τραχύτητα  $\varepsilon = 1.0$  mm, προκύπτει κλίση ενέργειας ίση με  $J_{\Delta-1} = 0.0039$ . Συνεπώς, οι ενεργειακές απώλειες στον κλάδο Δ-1, μήκους 4000 m, ανέρχονται σε  $h_f = 0.0039 \times 4000 = 15.7$  m. Θεωρώντας τη δεξαμενή στην κατώτατη στάθμη (+245 m), προκύπτει ότι το ενεργειακό υψόμετρο του κόμβου 1 ισούται με  $h_1 = 245.0 - 15.7 = 229.3$  m, που αντιστοιχεί σε ισοδύναμο ύψος πίεσης  $p / \gamma = 229.3 - 210.0 = 19.3$  m ή περίπου 2.0 atm (1 atm = 9.81 m ύψους πίεσης). Συνεπώς, για το σενάριο μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης με ταυτόχρονη εκδήλωση πυρκαγιάς, ικανοποιείται η απαίτηση ελάχιστης πίεσης των 1.5 atm ( $\approx 15.0$  m).

Για τη διαστασιολόγηση του αγωγού 1-4, θεωρείται το σενάριο φόρτισης στο οποίο ενεργοποιούνται δύο πυροσβεστικοί κρουνοί στον κόμβο 4. Για το σενάριο αυτό, έχει ήδη υπολογιστεί το ενεργειακό υψόμετρο του κόμβου 1 ( $h_1 = 229.3$  m). Με βάση την απαίτηση ελάχιστης πίεσης στον κόμβο 4 (2.5 atm  $\approx 25.0$  m) και το υψόμετρο εδάφους (195.0 m), προκύπτει ελάχιστο ενεργειακό υψόμετρο  $h_4 = 220.0$  m, οπότε η διαθέσιμη κλίση ενέργειας στον αγωγό 1-4 είναι  $J_{1-4} = (229.3 - 220.0) / 5000 = 0.0019$ . Για την παραπάνω κλίση και παροχή σχεδιασμού  $Q = 0.050$  m<sup>3</sup>/s (η οποία αναφέρεται στο δυσμενέστερο σενάριο πυρκαγιάς), επιλύεται η γενικευμένη σχέση Manning, απ' όπου προκύπτει ότι η ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος στον αγωγό είναι 0.3134 m. Τελικά, επιλέγεται αγωγός Ø355 mm (HDPE 10 atm), με εσωτερική διάμετρο 0.3128 m, η οποία επαρκεί οριακά.