

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ Α

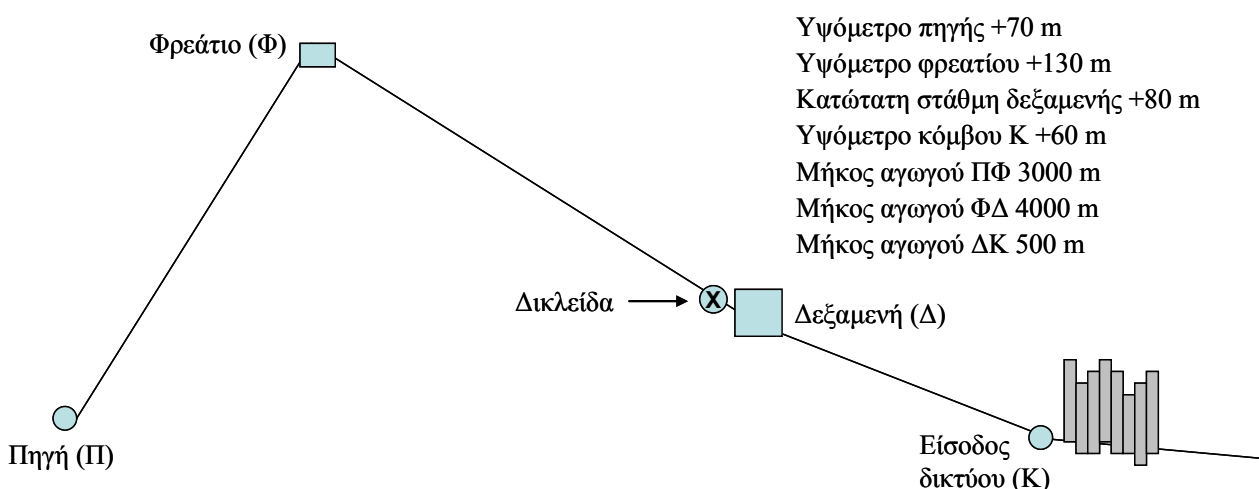
Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με -0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Αν σε αντλιοστάσιο τοποθετηθούν τέσσερις αντί δύο αντλίες σε παράλληλη διάταξη (για ίδια παροχή και μανομετρικό ύψος), τότε ο συντελεστής απόδοσης:
☐ **θα μειωθεί.**
☐ θα αυξηθεί.
☐ δεν θα επηρεαστεί.
2. Δίκτυο διανομής επεκτείνεται κατάντη ώστε να εξυπηρετεί 30% περισσότερο πληθυσμό, ενώ το συνολικό του μήκος αυξάνει κατά 50%. Στη μαθηματική προσομοίωση, οι παροχές εξόδου των κόμβων του αρχικού δικτύου:
☐ θα αυξηθούν κατά 30%.
☐ θα αυξηθούν κατά 50%.
☐ **θα παραμείνουν αμετάβλητες.**
3. Το γεγονός ότι ενίοτε, στη διάρκεια ισχυρών καταιγίδων, πλημμυρίζουν υπόγεια που βρίσκονται σε στάθμη χαμηλότερη του δικτύου ομβρίων, αποτελεί ένδειξη ότι:
☐ **υπάρχουν παράνομες συνδέσεις ομβρίων στους αγωγούς ακαθάρτων.**
☐ το δίκτυο ομβρίων είναι υποδιαστασιολογημένο.
☐ η γραμμή ενέργειας στον αγωγό ομβρίων ξεπερνά τη στάθμη του οδοστρώματος.
4. Ποια είναι (προσεγγιστικά) η μέγιστη διαφορά μεταξύ του ελάχιστου και μέγιστου υψομέτρου ενός οικισμού, το δίκτυο διανομής του οποίου υδροδοτείται από μοναδική δεξαμενή;
☐ 90 m.
☐ **60 m.**
☐ 30 m.
5. Για ποιο λόγο η μεταφορά νερού στην Αθήνα γίνεται, στο μεγαλύτερο μήκος της διαδρομής, με ανοιχτό κανάλι αντί για αγωγό υπό πίεση;
☐ **Για λόγους οικονομίας, επειδή ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός είναι πολύ μεγάλος.**
☐ Επειδή με τη δεύτερη λύση θα αναπτύσσονταν απαράδεκτα υψηλές πιέσεις, λόγω της πολύ μεγάλης υψομετρικής διαφοράς (>200 m) του ταμιευτήρα Μόρνου από τα διυλιστήρια της Αθήνας.
☐ Επειδή οι γεωλογικές συνθήκες είναι εξαιρετικά ευνοϊκές για την κατασκευή καναλιού.
6. Αν μια πόλη επεκταθεί κατάντη με επαύξηση κατά 30% της έκτασής της, τότε οι παροχές του δικτύου ομβρίων στο υφιστάμενο τμήμα:
☐ θα αυξηθούν σε ποσοστό > 30%.
☐ θα αυξηθούν κατά 30%.
☐ **δεν θα επηρεαστούν.**
7. Το απόθεμα ασφαλείας μιας γεμάτης δεξαμενής είναι:
☐ **μεγαλύτερο κατά τους χειμερινούς μήνες απ' όσο τους θερινούς.**
☐ σταθερό, καθώς καθορίζεται από τον σχεδιασμό της δεξαμενής.
☐ μεγαλύτερο τις βραδινές ώρες απ' όσο τις πρωινές.
8. Ποιο από τα παρακάτω μεγέθη αναμένεται να επηρεαστεί από μια αισθητή μεταβολή των τιμολογίων νερού;
☐ ο συντελεστής ωριαίας αιχμής, λ_{Ω} .
☐ **η μέση κατά κεφαλή κατανάλωση.**
☐ ο συντελεστής ημερήσιας αιχμής, λ_H .
9. Σε ορθογωνικό αγωγό ομβρίων με κλειστή διατομή πλάτους b και ύψους d η παροχή είναι μέγιστη όταν το βάθος ροής είναι:
☐ ίσο με d .
☐ ίσο με $2b$.
☐ **μικρότερο του d , τόσο ώστε να εξασφαλίζεται αερισμός.**
10. Αν κατά τη χάραξη αγωγού ακαθάρτων σε μηκοτομή χρειαστεί να βυθιστεί ο αγωγός κατά 1 m στη θέση Α, λόγω παρεμβολής εμποδίου, τότε:
☐ **στη θέση Α θα κατασκευαστεί φρεάτιο πτώσης.**
☐ θα αυξηθεί η κλίση του αγωγού ανάντη του Α ώστε να γίνει βαθμιαία η βύθιση του 1 m.
☐ στη θέση Α θα κατασκευαστεί αντλιοστάσιο για τη διέλευση του εμποδίου με καταθλιπτικό αγωγό.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ Παραλλαγή Α

Άσκηση υδρεύσεων (μονάδες 4)

Στο σκαρίφημα απεικονίζεται η μηκοτομή των έργων ύδρευσης μιας πόλης, από την πηγή Π μέχρι την πρώτη διακλάδωση Κ του δικτύου διανομής, και τα χαρακτηριστικά μεγέθη της (μήκη, υψόμετρα). Το εξωτερικό υδραγωγείο αποτελείται από δύο τμήματα, ΠΦ και ΦΔ, όπου Φ είναι φρεάτιο με ελεύθερη επιφάνεια. Οι δύο αγωγοί είναι χαλύβδινοι και έχουν ενιαία διάμετρο 250 mm. Το δίκτυο διανομής τροφοδοτείται από τη δεξαμενή Δ, ωφέλιμου ύψους 5.0 m, μέσω του αγωγού ΔΚ από HDPE 12.5 atm, ονομαστικής διαμέτρου 315 mm. Η διαστασιολόγηση του εσωτερικού δικτύου έχει γίνει για συντελεστή ωριαίας αιχμής $\lambda_{\Omega} = 2.0$, παροχή πυρκαγιάς 10.0 L/s, και ανάπτυξη τριώροφων, το πολύ, κτηρίων στην περιοχή του κόμβου Κ.



- Υπολογίστε τη μέγιστη ωριαία και μέγιστη ημερήσια παροχή της πόλης, με την υπόθεση ότι ο έλεγχος πιέσεων στον κόμβο Κ ικανοποιείται οριακά.
- Υπολογίστε την παροχή σχεδιασμού του αγωγού ΦΔ για 18ωρη λειτουργία του ημερησίως, καθώς και το συντελεστή τοπικών απωλειών της δικλείδας ανάντη της δεξαμενής.
- Τοποθετήστε το αναγκαίο αντλιοστάσιο στη μηκοτομή, και εκτιμήστε την εγκατεστημένη ισχύ και την κατανάλωση ενέργειας την ημέρα αιχμής. Θεωρήστε ότι το αντλιοστάσιο περιλαμβάνει τρεις παράλληλες αντλίες και μία εφεδρική.
- Χαράξτε την πιεζομετρική γραμμή στο τμήμα Π-Φ-Δ-Κ, για λειτουργία με τις παροχές σχεδιασμού.

© Α. Ευστρατιάδης & Δ. Κουτσογιάννης

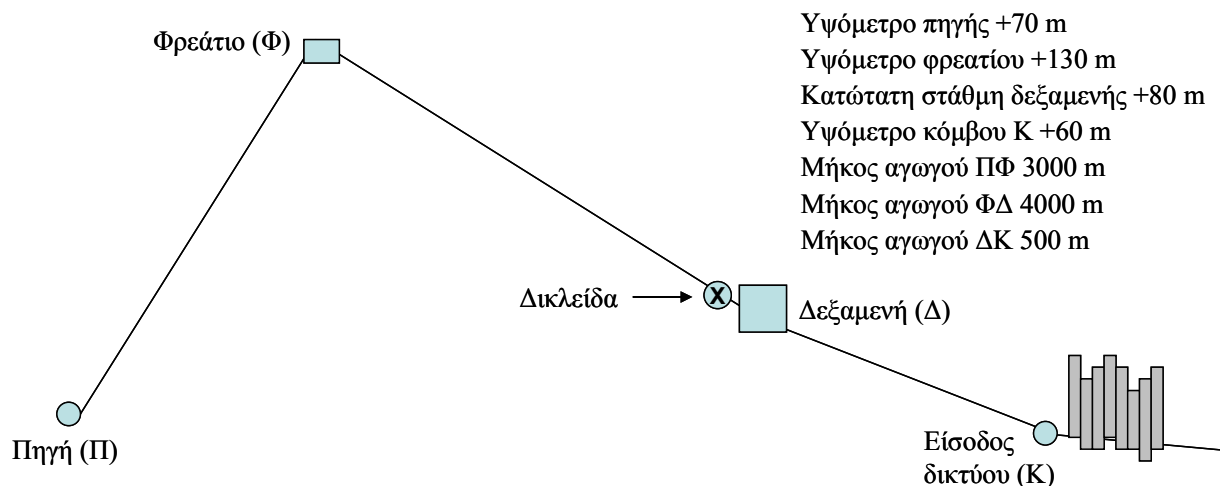
Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

Αγωγός ομβρίων διαμέτρου 0.80 m και κλίσης 1.0% αποχετεύει έκταση 8 ha. Το 25% αυτής της έκτασης είναι αστική με συντελεστή απορροής 60%, ενώ στο υπόλοιπο μη αστικό τμήμα της ο συντελεστής απορροής είναι 30%. Μελετάται επέκταση του πολεοδομικού σχεδίου με αστικοποίηση ενός επιπλέον 25% της έκτασης της υπόψη λεκάνης, η οποία θα επιφέρει μείωση του χρόνου συγκέντρωσης απορροής από 17 σε 14 min. Η όμβρια καμπύλη σχεδιασμού είναι $i = \alpha (T^{\kappa} - \zeta) / (1 + d/\theta)^{\eta}$ όπου i η ένταση βροχής (σε mm/h), T η περίοδος επαναφοράς (σε έτη), d η διάρκεια βροχής (σε h), $\alpha = 260$ mm/h, $\kappa = 0.15$, $\zeta = 0.60$, $\theta = 0.15$ h και $\eta = 0.75$. Ζητούνται:

- Η περίοδος επαναφοράς καταιγίδας που καλύπτει με επάρκεια, με ποσοστό πλήρωσης 70%, ο αγωγός πριν και μετά την επέκταση του πολεοδομικού σχεδίου.
- Η διάμετρος ενός παράλληλου ενισχυτικού αγωγού που θα χρειαστεί για να επανέλθει η περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού στο προ της επέκτασης επίπεδο.

© Δ. Κουτσογιάννης

Στο σκαρίφημα απεικονίζεται η μηκοτομή των έργων ύδρευσης μιας πόλης, από την πηγή Π μέχρι την πρώτη διακλάδωση Κ του δικτύου διανομής, και τα χαρακτηριστικά μεγέθη της (μήκη, υψόμετρα). Το εξωτερικό υδραγωγείο αποτελείται από δύο τμήματα, ΠΦ και ΦΔ, όπου Φ είναι φρεάτιο με ελεύθερη επιφάνεια. Οι δύο αγωγοί είναι χαλύβδινοι και έχουν ενιαία διάμετρο 250 mm. Το δίκτυο διανομής τροφοδοτείται από τη δεξαμενή Δ, ωφέλιμου ύψους 5.0 m, μέσω του αγωγού ΔΚ από HDPE 12.5 atm, ονομαστικής διαμέτρου 315 mm. Η διαστασιολόγηση του εσωτερικού δικτύου έχει γίνει για συντελεστή ωριαίας αιχμής $\lambda_{\Omega} = 2.0$, παροχή πυρκαγιάς 10.0 L/s, και ανάπτυξη τριώροφων, το πολύ, κτηρίων στην περιοχή του κόμβου Κ.



- (α) Υπολογίστε τη μέγιστη ωριαία και μέγιστη ημερήσια παροχή της πόλης, με την υπόθεση ότι ο έλεγχος πιέσεων στον κόμβο Κ ικανοποιείται οριακά.
- (β) Υπολογίστε την παροχή σχεδιασμού του αγωγού ΦΔ για 18ωρη λειτουργία του ημερησίως, καθώς και το συντελεστή τοπικών απωλειών της δικλείδας ανάντη της δεξαμενής.
- (γ) Τοποθετήστε το αναγκαίο αντλιοστάσιο στη μηκοτομή, και εκτιμήστε την εγκατεστημένη ισχύ και την κατανάλωση ενέργειας την ημέρα αιχμής. Θεωρήστε ότι το αντλιοστάσιο περιλαμβάνει τρεις παράλληλες αντλίες και μία εφεδρική.
- (δ) Χαράξτε την πιεζομετρική γραμμή στο τμήμα Π-Φ-Δ-Κ, για λειτουργία με τις παροχές σχεδιασμού.

Ερώτημα (α)

Το απαιτούμενο ύψος πίεσης στον κόμβο Κ για την εξυπηρέτηση τριώροφων κτηρίων είναι 16.0 m, ήτοι ενεργειακό υψόμετρο $h_K = 60.0 + 16.0 = 76.0$ m. Για ΚΣΥ δεξαμενής +80 m προκύπτει ότι οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκους του τροφοδοτικού αγωγού ΔΚ δεν μπορούν να ξεπεράσουν τα 4.0 m, που αντιστοιχούν σε κλίση της πιεζομετρικής γραμμής $J_{\Delta K} = 4.0 / 500 = 0.0080$. Επιλύοντας τη γενικευμένη εξίσωση Manning προκύπτει ότι η παροχή που μπορεί να διοχετευτεί από τον αγωγό, με τρόπο ώστε να ικανοποιείται οριακά ο έλεγχος ελάχιστων πιέσεων, είναι $0.0629 \text{ m}^3/\text{s}$ ή 62.9 L/s (οι

υπολογισμοί γίνονται για ισοδύναμη τραχύτητα σχεδιασμού $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$ και εσωτερική διάμετρο $D = 268.6 \text{ mm}$, για αγωγό HDPE 12.5 atm, $\Phi 315 \text{ mm}$).

Η παραπάνω τιμή είναι η παροχή σχεδιασμού του κύριου τροφοδοτικού αγωγού του δικτύου διανομής της πόλης, που περιλαμβάνει και την παροχή πυρκαγιάς των 10.0 L/s . Η διαφορά των 52.9 L/s είναι η μέγιστη ωριαία παροχή της πόλης, ενώ η μέγιστη ημερήσια παροχή, για συντελεστή ωριαίας αιχμής $\lambda_\Omega = 2.0$, είναι $52.9 / 2.0 = 26.5 \text{ L/s}$.

Ερώτημα (β)

Το εξωτερικό υδραγωγείο περιλαμβάνει τους αγωγούς ΠΦ και ΦΔ, που προφανώς μεταφέρουν την ίδια παροχή (το ενδιάμεσο φρεάτιο Φ δεν έχει δυνατότητα αναρρύθμισης). Λόγω της τοπογραφίας, ο αγωγός ΠΦ θα είναι καταθλιπτικός, ενώ ο ΦΔ θα είναι αγωγός βαρύτητας. Η παροχή σχεδιασμού τους, για 18ωρη λειτουργία του υδραγωγείου (ήτοι 18 ώρες άντλησης) θα είναι η μέγιστη ημερήσια παροχή της πόλης, προσαυξημένη κατά 24/18, ήτοι 35.3 L/s .

Επιλύοντας τη γενικευμένη εξίσωση Manning προκύπτει ότι η, κοινή στα δύο τμήματα (λόγω ενιαίας διαμέτρου και παροχής), κλίση της πιεζομετρικής γραμμής είναι $J_{\Pi\Phi} = J_{\Phi\Delta} = 0.0031$ (οι υπολογισμοί γίνονται για ισοδύναμη τραχύτητα $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$ και διάμετρο $D = 250 \text{ mm}$, για χαλύβδινο αγωγό). Συνεπώς, από το φρεάτιο Φ (σημείο διέλευσης της πιεζομετρικής γραμμής) μέχρι τη δεξαμενή Δ, οι ενεργειακές απώλειες την ημέρα αιχμής εκτιμώνται σε $\Delta h_{\Phi\Delta} = 0.0031 \times 4000 = 12.2 \text{ m}$. Οι απώλειες αυτές είναι πολύ μικρότερες από το ενεργειακό διαθέσιμο¹, το οποίο ανέρχεται σε $130.0 - 85.0 = 45.0 \text{ m}$ (λαμβάνεται η ανώτατη στάθμη της δεξαμενής, για ωφέλιμο ύψος 5.0 m).

Συνεπώς, προκύπτει ένα πλεόνασμα ενέργειας $45.0 - 12.2 = 32.8 \text{ m}$, το οποίο πρέπει να καταστραφεί, ήτοι να διατεθεί σε τοπικές απώλειες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η δικλείδα αμέσως ανάντη της δεξαμενής, με άνοιγμα τέτοιο ώστε $h_t = 32.8 \text{ m}$, κατ' ελάχιστο². Οι τοπικές απώλειες δίνονται από τη σχέση $h_t = K_\delta V^2 / 2g$, όπου K_δ συντελεστής που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της δικλείδας και V η ταχύτητα του αγωγού, η οποία ισούται με $V = 4Q / \pi D^2 = 4 \times 0.0352 / (9.81 \times 0.250^2) = 0.72 \text{ m/s}$. Συνεπώς, ο ζητούμενος συντελεστής τοπικών απωλειών είναι $K_\delta = 2 \times 9.81 \times 32.8 / 0.72^2 = 1243$.

Ερώτημα (γ)

Το αντλιοστάσιο θα τοποθετηθεί αμέσως κατάντη της πηγής, ώστε να επιτυγχάνεται ανύψωση του νερού από τη στάθμη των $+70 \text{ m}$ και μεταφορά του στη στάθμη του φρεατίου ($+130 \text{ m}$).

Η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής στον καταθλιπτικό αγωγό είναι $J_{\Phi\Delta} = 0.0031$ (κοινή με τον αγωγό βαρύτητας), που αντιστοιχεί σε ενεργειακές απώλειες $\Delta h_{\Pi\Phi} = 0.0031 \times 3000 = 9.2 \text{ m}$. Συνεπώς, το ενεργειακό υψόμετρο στην είσοδο του καταθλιπτικού αγωγού είναι $h_{\Pi} = 130.0 + 9.2 = 139.2 \text{ m}$, που αντιστοιχεί σε μανομετρικό ύψος αντλιοστασίου $H_\mu = (139.2 - 70.0) = 69.2 \text{ m}$.

Για τον υπολογισμό της εγκατεστημένης ισχύος του αντλιοστασίου, λαμβάνεται υπόψη η διάταξη των αντλιών (τρεις παράλληλες και μία εφεδρική). Θεωρώντας όμοιες αντλίες, η παροχή σχεδιασμού $Q = 35.3 \text{ L/s}$ ισομοιράζεται δια του τρία, οπότε κάθε μεμονωμένη αντλία παροχετεύει, την ημέρα αιχμής, $Q_a = 11.8 \text{ L/s}$. Από την εμπειρική σχέση $n = 0.95 - (1.166 + Q_a / 0.14)^{-1/3}$, εκτιμάται ότι ο βαθμός απόδοσης κάθε αντλίας (και συνεπώς του αντλιοστασίου, λόγω της παράλληλης διάταξης) είναι $n =$

¹ Αυτό σημαίνει ότι έχει γίνει υπερδιαστασιολόγηση του αγωγού ΦΔ – δεν δικαιολογείται η μη εκμετάλλευση της διαθεσιμής, από την τοπογραφία, ενέργειας. Η τεχνικά και οικονομικά βέλτιστος σχεδιασμός θα προέβλεπε τη χρήση διαφορετικών διαμέτρων ανάντη και κατάντη του φρεατίου και τη συνδυαστική βελτιστοποίηση του συστήματος καταθλιπτικός αγωγός – αντλιοστάσιο (βλ. άσκηση ΥΣ1).

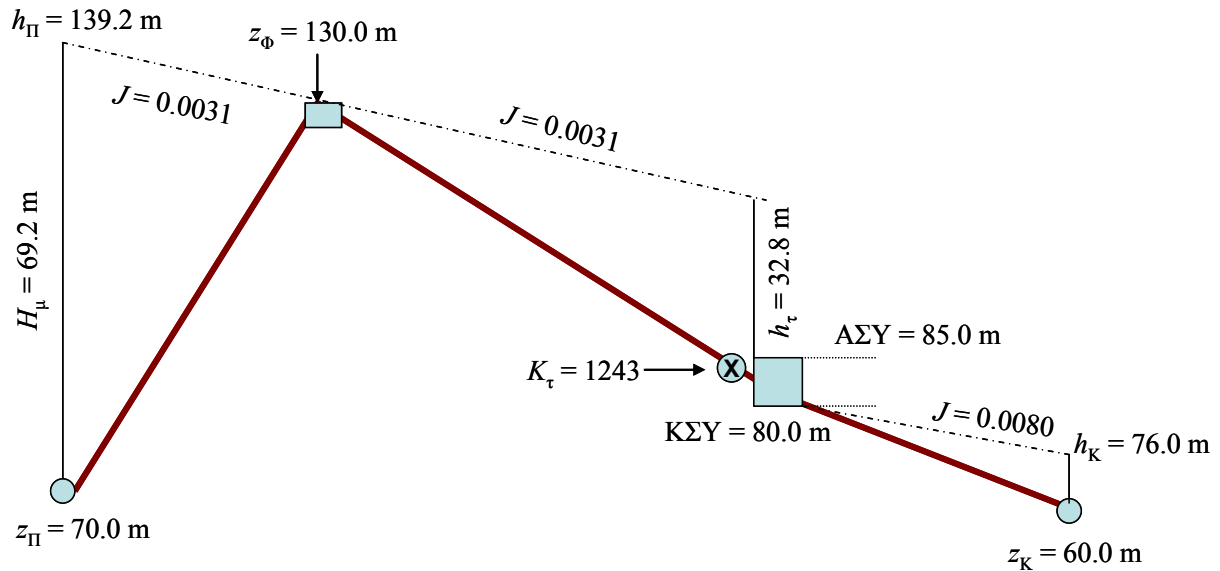
² Οι τοπικές απώλειες που υπολογίστηκαν είναι οι ελάχιστες αναμενόμενες, καθώς αφορούν στις δυσμενέστερες υδραυλικές συνθήκες, ήτοι στη μέγιστη ημερήσια παροχή, στην ανώτατη στάθμη νερού στη δεξαμενή και στη χρήση προσαυξημένου συντελεστή τραχύτητας, ώστε να λάβει, μεταξύ άλλων, υπόψη τη γήρανση του αγωγού.

0.72. Συνεπώς, η συνολική ισχύς του αντλιοστασίου την ημέρα αιχμής εκτιμάται σε $P = \gamma Q H_{\mu} / n = 33.1 \text{ KW}$, οπότε η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς ισούται με $P_{\text{εγκ}} = (4/3) \times 33.1 = 44.2 \text{ kW}$.

Η κατανάλωση ενέργειας την ημέρα αιχμής είναι $E = P t = 596 \text{ kWh}$ (για $t = 18 \text{ h}$ άντλησης).

Ερώτημα (δ)

Με βάση τους υπολογισμούς των προηγούμενων ερωτημάτων, δίνεται, σε μορφή σκαριφήματος, η υδραυλική μηκοτομή της διαδρομής Π-Φ-Δ-Κ.



	A	B	Γ	Δ
D (m)	0.8	1	1	0.8
J	1.0%	0.8%	0.9%	1.5%
A (ha)	8	14	15	9
π_αστ	25.0%	21.0%	22.0%	23.0%
C_αστ	0.60	0.62	0.64	0.66
C_μη_αστ	0.30	0.32	0.34	0.36
π'_αστ	25%	24%	24%	22%
τσ1 (min)	17	18	19	16
τσ2 (min)	14	14	15	13
α (mm/h)	260	250	240	230
κ	0.15	0.15	0.15	0.15
ζ	0.60	0.61	0.62	0.63
θ (h)	0.15	0.16	0.17	0.18
η	0.75	0.76	0.77	0.78
n0	0.015	0.015	0.015	0.015

Ερώτημα 1

y/D	0.70	0.70	0.70	0.70
Q/Q0	0.709	0.709	0.709	0.709
Q0 (m3/s)	1.146	1.859	1.971	1.404
Q (m3/s)	0.812	1.318	1.397	0.995

Προ

C	0.375	0.383	0.406	0.429
i = Q/(cA) (m/s)	2.7081E-05	2.457E-05	2.295E-05	2.577E-05
i (mm/h)	97.5	88.5	82.6	92.8
T^κ-ζ	0.831	0.790	0.774	0.820
T (έτη)	10.9	9.4	9.1	11.9
Έλεγχος (i, mm/h)	97.5	88.5	82.6	92.8

Μετά

C	0.450	0.455	0.478	0.495
i = Q/(cA) (m/s)	2.2568E-05	2.068E-05	1.949E-05	2.234E-05
i (mm/h)	81.2	74.5	70.2	80.4
T^κ-ζ	0.632	0.590	0.587	0.647
T (έτη)	4.0	3.4	3.5	5.1
Έλεγχος (i, mm/h)	81.2	74.5	70.2	80.4

Ερώτημα 2

T (έτη)	10.9	9.4	9.1	11.9
i (mm/h)	106.9	99.6	92.5	101.8
Q (m3/s)	1.069	1.763	1.843	1.260
DQ (m3/s)	0.256	0.445	0.445	0.264
y/D	0.70	0.70	0.70	0.70
Q/Q0	0.709	0.709	0.709	0.709
Q0 (m3/s)	0.362	0.628	0.628	0.373
D (m)	0.519	0.666	0.651	0.487
D (m)	0.60	0.70	0.70	0.50

Ακολουθούν οι έλεγχοι ταχυτήτων ...

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ Α

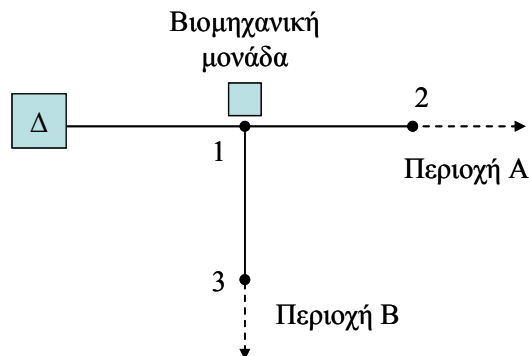
Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με -0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Από την προσομοίωση ενός δικτύου διανομής προέκυψαν μη αποδεκτές πιέσεις σε ορισμένους κόμβους. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτείνεται να αυξηθούν οι διάμετροι των αγωγών που εμφανίζουν:
 - ☐ χαμηλή ταχύτητα ροής.
 - ☒ **έντονη κλίση της πιεζομετρικής γραμμής.**
 - ☐ μεγάλο ισοδύναμο μήκος.
2. Σε ροή σε νέο κυκλικό αγωγό με βάθος ροής 50% της διαμέτρου, ο συντελεστής τραχύτητας κατά Manning είναι κατά 25% μεγαλύτερος σε σχέση με αυτόν σε ολική πλήρωση. Αν περιστρέψουμε κατά 180° τον αγωγό (γυρίσουμε τα πάνω κάτω) και κρατήσουμε το βάθος ροής στο 50%, ο συντελεστής τραχύτητας:
 - ☐ θα αυξηθεί.
 - ☐ θα μειωθεί.
 - ☒ **θα παραμείνει σταθερός.**
3. Η τοποθέτηση δικλείδας ανάντη της δεξαμενής επιβάλλεται:
 - ☒ **για τη ρύθμιση της παροχής.**
 - ☐ για τη ρύθμιση την πίεσης που παρέχεται στο δίκτυο διανομής.
 - ☐ για την αξιοποίηση των τοπικών απωλειών για παραγωγή ενέργειας.
4. Σε εξωτερικό υδραγωγείο, αρνητικές πιέσεις ύψους 15 m:
 - ☒ **είναι φυσικώς αδύνατες.**
 - ☐ είναι οικονομικά ασύμφορες.
 - ☐ είναι καλό να αποφεύγονται για λειτουργικούς λόγους.
5. Στο σχεδιασμό ενός υδρευτικού συστήματος, ποιο από τα παρακάτω μεγέθη θα μεταβληθεί αν μετατοπιστεί χρονικά το διάστημα λειτουργίας του αντλιοστασίου στη διάρκεια του 24ώρου, χωρίς αλλαγή των συνολικών ωρών άντλησης;
 - ☒ **Ο ρυθμιστικός όγκος της δεξαμενής.**
 - ☐ Η εγκατεστημένη ισχύς του αντλιοστασίου.
 - ☐ Η παροχή σχεδιασμού του καταθλιπτικού αγωγού.
6. Γιατί στον κεντρικό συλλεκτήρα ακαθάρτων μεγάλης πόλης ο συντελεστής αιχμής (P) είναι μικρότερος απ' ό,τι στους τριτεύοντες αγωγούς;
 - ☒ **Διότι, για στατιστικούς λόγους, ο μεγάλος πληθυσμός εξομαλύνει τις αιχμές.**
 - ☐ Διότι η ανά μονάδα επιφάνειας ποσότητα των παρασιτικών εισροών είναι φθίνουσα συνάρτηση της αποχετευόμενης έκτασης.
 - ☐ Διότι κατά κανόνα το πιο κατάντη τμήμα της πόλης, όπου τοποθετείται ο συλλεκτήρας, έχει μικρότερες κλίσεις.
7. Σε ποια περίπτωση το πρόβλημα υπολογισμού των παροχών των κλάδων ενός δικτύου διανομής είναι γραμμικό;
 - ☐ Σε καμία περίπτωση.
 - ☐ Όταν ο αριθμός των κλάδων του δικτύου είναι ακριβώς ίσος με τον αριθμό των κόμβων.
 - ☒ **Όταν το δίκτυο είναι ακτινωτό.**
8. Σε ποια περίπτωση θα προτιμήσουμε τετραγωνική κάτοψη φρεατίου επίσκεψης σε δίκτυο αποχέτευσης έναντι της κυκλικής;
 - ☒ **Όταν οι διατομές των συμβαλλόντων αγωγών είναι μεγάλες.**
 - ☐ Όταν οι κλίσεις των συμβαλλόντων αγωγών είναι μικρές.
 - ☐ Όταν το βάθος τοποθέτησης των αγωγών είναι μεγάλο.
9. Ποια κατάσταση ροής θα προκαλέσει ανάπτυξη έντονου εφελκυσμού στα τοιχώματα ενός αγωγού;
 - ☐ Ροή με πίεση 10 atm.
 - ☒ **Ροή με ελεύθερη επιφάνεια με πολύ μικρό βάθος ροής.**
 - ☐ Ανομοιόμορφη ροή με ελεύθερη επιφάνεια με σχηματισμό υδραυλικού άλματος.
10. Αν στο φρεάτιο Φ συμβάλλουν τρεις αγωγοί ομβρίων με χρόνους συγκέντρωσης 11, 13 και 15 min, αντίστοιχα, τότε η διάρκεια βροχής για το σχεδιασμό, με την ορθολογική μέθοδο, του αγωγού ομβρίων κατάντη του Φ θα ληφθεί:
 - ☐ 11 min.
 - ☐ 13 min.
 - ☒ **15 min.**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ Παραλλαγή Α

Άσκηση υδρεύσεων (μονάδες 4)

Μελετάται το ανάντη τμήμα δικτύου διανομής, που περιλαμβάνει τον κύριο τροφοδοτικό αγωγό Δ-1 και τις διακλαδώσεις 1-2 και 1-3, οι οποίες υδροδοτούν τις υδραυλικά ανεξάρτητες περιοχές Α και Β, όπως φαίνεται στο σκαρίφημα. Επιπλέον, το δίκτυο εξυπηρετεί και μια μικρή βιομηχανική μονάδα 12ωρης λειτουργίας, η οποία τροφοδοτείται απευθείας μέσω του κόμβου 1. Θέτοντας αρχικές τιμές διαμέτρων από HDPE 10.0 atm, έγινε επίλυση του δικτύου σε συνθήκες μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης (σενάριο κανονικής λειτουργίας), τα δεδομένα εισόδου και αποτελέσματα του οποίου δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:



Αγωγός	Μήκος (m)	Διάμετρος (mm)	Τραχύτητα (mm)	Παροχή (m ³ /s)	Υδραυλική κλίση (%)
Δ-1	1500	315	1.0	0.072	0.72
1-2	1000	250	1.0	0.030	0.43
1-3	1200	250	1.0	0.038	0.68

Η εκτίμηση της υδρευτικής ζήτησης βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές:

- Θεωρείται μόνιμος πληθυσμός 5200 και 3000 άτομα στις περιοχές Α και Β, αντίστοιχα, ενώ για την τουριστική χρήση θεωρούνται 4300 κλίνες αποκλειστικά στην περιοχή Β.
- Θεωρείται ειδική κατανάλωση 180 και 250 L/d ανά κάτοικο για οικιακή και τουριστική χρήση, αντίστοιχα.
- Θεωρείται συντελεστής ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.5$ και 1.1 για οικιακή και τουριστική χρήση, αντίστοιχα.

(α) Υπολογίστε τους συντελεστές ωριαίας αιχμής, λ_Q , για οικιακή, τουριστική και βιομηχανική χρήση, τις ημερήσιες υδατικές ανάγκες της βιομηχανικής μονάδας και την παροχή του εξωτερικού υδραγωγείου βαρύτητας.

(β) Διαμορφώστε τα δύο δυσμενέστερα σενάρια πυρκαγιάς, με ενεργοποίηση δύο πυροσβεστικών κρουνών, ονομαστικής παροχής 5.0 L/s, και υπολογίστε τα αντίστοιχα ενεργειακά υψόμετρα των κόμβων του δικτύου. Δίνεται ότι η κατώτατη στάθμη ύδατος στη δεξαμενή είναι +140.0 m.

(γ) Ελέγξτε τις πιέσεις στη κεφαλή των περιοχών Α και Β (κόμβοι 2 και 3) και, αν απαιτείται, τροποποιήστε τη διάμετρο ενός μόνο αγωγού. Δίνεται ότι στις περιοχές Α και Β αναπτύσσονται κτήρια 4 και 3 ορόφων, αντίστοιχα, ενώ τα υψόμετρα των κόμβων 2 και 3 είναι +106.0 και +101.0 m, αντίστοιχα.

© Α. Ευστρατιάδης & Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

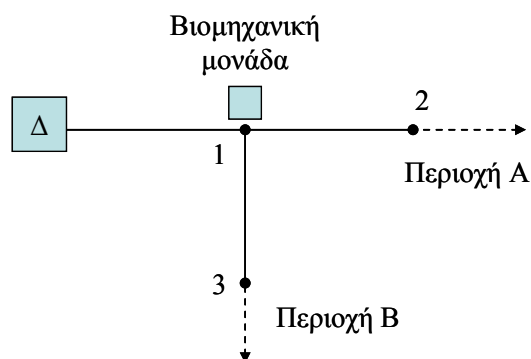
Στο τμήμα ΑΒ οδού κλίσης 1% περνούν οι αγωγοί ομβρίων και ακαθάρτων που αποχετεύουν την ανάντη αστική περιοχή έκτασης 10 ha και πυκνότητας πληθυσμού σχεδιασμού 120 κατοίκων ανά ha. Η μέγιστη ημερήσια παροχή ύδρευσης είναι 220 L/d ανά κάτοικο και οι παρασιτικές εισροές στο δίκτυο ακαθάρτων είναι 50% της παροχής αιχμής. Η όμβρια καμπύλη σχεδιασμού είναι $i = \alpha / (1 + d/\theta)^\eta$ όπου i η ένταση βροχής, $\alpha = 220$ mm/h, $\theta = 0.10$ h και $\eta = 0.80$, ενώ ο χρόνος συγκέντρωσης είναι 14 min και ο συντελεστής απορροής 0.60. Ζητούνται:

(α) ο λόγος της παροχής σχεδιασμού του αγωγού ομβρίων προς την παροχή σχεδιασμού του αγωγού ακαθάρτων, και

(β) ο λόγος της διαμέτρου του αγωγού ομβρίων προς τη διάμετρο του αγωγού ακαθάρτων.

© Δ. Κουτσογιάννης

Μελετάται το ανάντη τμήμα δικτύου διανομής, που περιλαμβάνει τον κύριο τροφοδοτικό αγωγό Δ-1 και τις διακλαδώσεις 1-2 και 1-3, οι οποίες υδροδοτούν τις υδραυλικά ανεξάρτητες περιοχές Α και Β, όπως φαίνεται στο σκαρίφημα. Επιπλέον, το δίκτυο εξυπηρετεί και μια μικρή βιομηχανική μονάδα 12ωρης λειτουργίας, η οποία τροφοδοτείται απευθείας μέσω του κόμβου 1. Θέτοντας αρχικές τιμές διαμέτρων από HDPE 10.0 atm, έγινε επίλυση του δικτύου σε συνθήκες μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης (σενάριο κανονικής λειτουργίας), τα δεδομένα εισόδου και αποτελέσματα του οποίου δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:



Αγωγός	Μήκος (m)	Διάμετρος (mm)	Τραχύτητα (mm)	Παροχή (m ³ /s)	Υδραυλική κλίση (%)
Δ-1	1500	315	1.0	0.072	0.72
1-2	1000	250	1.0	0.030	0.43
1-3	1200	250	1.0	0.038	0.68

Η εκτίμηση της υδρευτικής ζήτησης βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές:

- Θεωρείται μόνιμος πληθυσμός 5200 και 3000 άτομα στις περιοχές Α και Β, αντίστοιχα, ενώ για την τουριστική χρήση θεωρούνται 4300 κλίνες αποκλειστικά στην περιοχή Β.
- Θεωρείται ειδική κατανάλωση 180 και 250 L/d ανά κάτοικο για οικιακή και τουριστική χρήση, αντίστοιχα.
- Θεωρείται συντελεστής ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.5$ και 1.1 για οικιακή και τουριστική χρήση, αντίστοιχα.

(α) Υπολογίστε τους συντελεστές ωριαίας αιχμής, λ_Ω , για οικιακή, τουριστική και βιομηχανική χρήση, τις ημερήσιες υδατικές ανάγκες της βιομηχανικής μονάδας και την παροχή του εξωτερικού υδραγωγείου βαρύτητας.

(β) Διαμορφώστε τα δύο δυσμενέστερα σενάρια πυρκαγιάς, με ενεργοποίηση δύο πυροσβεστικών κρουνών, ονομαστικής παροχής 5.0 L/s, και υπολογίστε τα αντίστοιχα ενεργειακά υψόμετρα των κόμβων του δικτύου. Δίνεται ότι η κατώτατη στάθμη ύδατος στη δεξαμενή είναι +140.0 m.

(γ) Ελέγξτε τις πιέσεις στη κεφαλή των περιοχών Α και Β (κόμβοι 2 και 3) και, αν απαιτείται, τροποποιήστε τη διάμετρο ενός μόνο αγωγού. Δίνεται ότι στις περιοχές Α και Β αναπτύσσονται κτήρια 4 και 3 ορόφων, αντίστοιχα, ενώ τα υψόμετρα των κόμβων 2 και 3 είναι +106.0 και +101.0 m, αντίστοιχα.

Ερώτημα (α)

Ο συντελεστής ωριαίας αιχμής για οικιακή χρήση εκτιμάται με βάση τα στοιχεία καταναλώσεων της περιοχής Α. Συγκεκριμένα, για πληθυσμό 5200 άτομα, ειδική κατανάλωση 180 L/d ανά κάτοικο και

συντελεστή ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.5$ προκύπτει μέγιστη ημερήσια ζήτηση 16.3 L/s. Η αντίστοιχη μέγιστη ωριαία ζήτηση ταυτίζεται με την παροχή του αγωγού 1-2, ήτοι 30.0 L/s. Συνεπώς, ο ζητούμενος συντελεστής είναι $\lambda_Q = 30.0 / 16.3 = 1.85$, τιμή εύλογη για τη συγκεκριμένη χρήση νερού.

Για την εκτίμηση του συντελεστή λ_Q για τουριστική χρήση, εφαρμόζουμε την ίδια διαδικασία, με βάση τα στοιχεία την περιοχής Β, η μέγιστη ωριαία ζήτηση της οποίας είναι 38.0 L/s (παροχή αγωγού 1-3). Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να αφαιρέσουμε την ποσότητα που δίνεται για οικιακή χρήση, η οποία ανέρχεται σε 17.3 L/s (με την εύλογη υπόθεση ότι εφαρμόζεται ο ίδιος συντελεστής ωριαίας αιχμής). Συνεπώς, για 4300 κλίνες, ειδική κατανάλωση 250 L/d ανά κλίνη και συντελεστή ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.1$, η μέγιστη ημερήσια ζήτηση για τουριστική χρήση ανέρχεται σε 13.7 L/s, ενώ η μέγιστη ωριαία σε $38.0 - 17.3 = 20.7$ L/s. Από τα παραπάνω προκύπτει συντελεστής ωριαίας αιχμής $\lambda_Q = 20.7 / 13.7 = 1.51$, τιμή επίσης εύλογη για τη συγκεκριμένη χρήση νερού.

Όσον αφορά στη βιομηχανική κατανάλωση, η μέγιστη ωριαία τιμή της υπολογίζεται από την εξίσωση συνέχειας του κόμβου 1 σε $72.0 - 30.0 - 38.0 = 4.0$ L/s. Για 12ωρη λειτουργία, ο συντελεστής ωριαίας αιχμής είναι ίσος με $\lambda_Q = 24 / 12 = 2$, οπότε η μέγιστη ημερήσια παροχή είναι $4.0 / 2.0 = 2.0$ L/s. Η παροχή αυτή μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά σταθερή για όλες τις ημέρες λειτουργίας της βιομηχανίας ($\lambda_H = 1$), οπότε οι ημερήσιες ανάγκες της εν λόγω μονάδας ανέρχονται σε $0.002 \times 86400 = 172.8 \text{ m}^3$.

Τέλος, η παροχή σχεδιασμού του εξωτερικού υδραγωγείου βαρύτητας ισούται με το άθροισμα των μέγιστων ημερήσιων παροχών των τριών χρήσεων νερού, και υπολογίζεται σε 41.3 L/s.

Ερώτημα (β)

Στο συγκεκριμένο δίκτυο, μπορούν να διαμορφωθούν διάφορα σενάρια πυρκαγιάς, ενεργοποιώντας από έναν έως δύο κρουνοί στους κόμβους 1, 2 και 3. Τα πλέον δυσμενή είναι αυτά για τα οποία μεγιστοποιείται η παροχή των κλάδων του δικτύου, και αφορούν στην ταυτόχρονη ενεργοποίηση δύο κρουνών, συνολικής παροχής 10.0 L/s, είτε στην περιοχή Α (σενάριο 1) ή στην περιοχή Β (σενάριο 2).

Σε κάθε περίπτωση, η παροχή του κύριου τροφοδοτικού αγωγού Δ-1 θα είναι 82.0 L/s, ενώ οι παροχές των άλλων δύο κλάδων θα είναι εναλλάξ προσαυξημένες κατά 10.0 L/s, σε σχέση με το σενάριο κανονικής λειτουργίας. Για τις παραπάνω παροχές, υπολογίζονται οι ενεργειακές απώλειες των τριών κλάδων για τα δύο σενάρια πυρκαγιάς και, ακολούθως, τα ενεργειακά υψόμετρα των τριών κόμβων.

Για σταθερή διάμετρο, διαιρώντας τη γενικευμένη εξίσωση Manning κατά μέλη, προκύπτει ότι:

$$J_1 / J_2 = h_{f1} / h_{f2} = (Q_1 / Q_2)^{2/(1+\gamma)}$$

όπου $\gamma = 0.013$ για $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$. Συνεπώς, με γνωστή την κλίση της πιεζομετρικής γραμμής J_1 και την παροχή Q_1 σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας, και γνωστή της παροχή Q_2 σε συνθήκες πυρκαγιάς, υπολογίζεται η νέα κλίση της πιεζομετρικής γραμμής, και οι αντίστοιχες ενεργειακές απώλειες h_{f2} . Τα αποτελέσματα για τα δύο σενάρια συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί¹:

Αγωγός	Μήκος (m)	Κανονική λειτουργία			Πυρκαγιά Α		Πυρκαγιά Β	
		$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$	$J \text{ (‰)}$	$h_f \text{ (m)}$	$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$	$h_f \text{ (m)}$	$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$	$h_f \text{ (m)}$
Δ-1	1500	0.072	0.72	10.8	0.082	14.0	0.082	14.0
1-2	1000	0.030	0.43	4.3	0.040	7.6	0.030	4.3
1-3	1200	0.038	0.68	8.2	0.038	8.2	0.048	13.0

¹ Ο υπολογισμός των ενεργειακών απωλειών μπορεί να γίνει και με απευθείας εφαρμογή της γενικευμένης εξίσωσης Manning (ή της Darcy-Weisbach), εισάγοντας τις εσωτερικές διαμέτρους των αγωγών (στον πίνακα δίνονται οι διάμετροι εμπορίου) και τις κατάλληλες παραμέτρους, για συντελεστή τραχύτητας $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$. Για τη χρήση άλλης, λιγότερο ακριβούς, σχέσης υδραυλικών απωλειών, πρέπει να γίνει κατάλληλη αντιστοίχιση του συντελεστή απωλειών με την παραπάνω τιμή της ισοδύναμης τραχύτητας. Για παράδειγμα, ο συντελεστής C της σχέσης Hazen-Williams (η οποία, πάντως, δεν συστήνεται) πρέπει να τεθεί ίσος με ~85 (και όχι 130, που είναι η εργαστηριακή τιμή για HDPE), ώστε να ληφθούν υπόψη η γήρανση των αγωγών και οι τοπικές απώλειες.

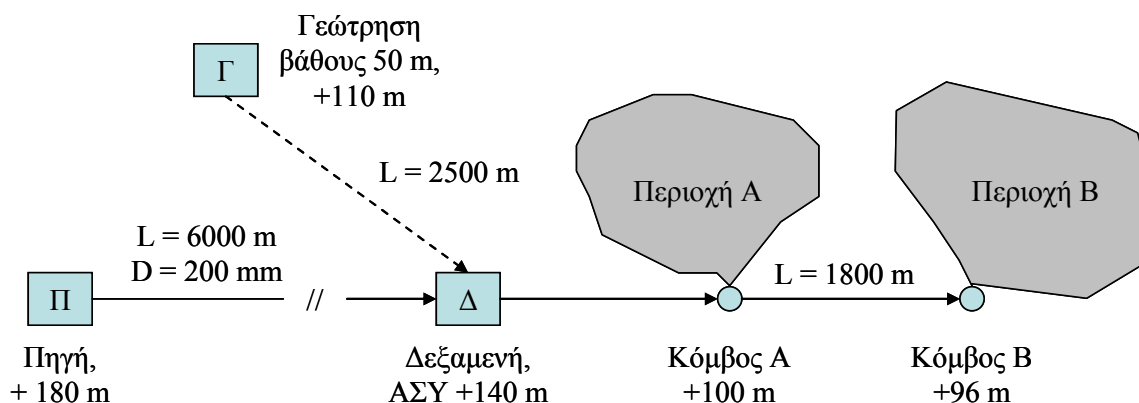
Τα δυσμενέστερα (ελάχιστα) ενεργειακά υψόμετρα των κόμβων, για τα οποία γίνεται ο έλεγχος πιέσεων, υπολογίζονται με οριακή συνθήκη την κατώτατη στάθμη της δεξαμενής, ήτοι 140.0 m. Ανεξαρτήτως σεναρίου, για τον κόμβο 1 είναι $h_1 = 140.0 - 14.0 = 126.0$ m. Για το κόμβο 2 είναι $h_2 = 126.0 - 7.6 = 118.5$ m για το σενάριο πυρκαγιάς στην περιοχή Α, ενώ για τον κόμβο 3 είναι $h_3 = 126.0 - 13.0 = 113.0$ m, για το σενάριο πυρκαγιάς στην περιοχή Β.

Ερώτημα (γ)

Ο έλεγχος πιέσεων γίνεται για τα ελαχιστοποιημένα ενεργειακά υψόμετρα των κόμβων 2 και 3, που εκτιμήθηκαν σε 118.5 και 113.0 m, αντίστοιχα. Για τα δεδομένα υψόμετρα εδάφους, το διαθέσιμο ύψος πίεσης στην κεφαλή των περιοχών Α και Β ανέρχεται σε $118.5 - 106.0 = 12.5$ m (κόμβος 2) και $113.0 - 101.0 = 12.0$ m (κόμβος 3). Οι δύο κόμβοι εξυπηρετούν 4όροφα και 3όροφα κτήρια, αντίστοιχα, οπότε οι ελάχιστες απαιτούμενες πιέσεις είναι 20.0 και 16.0 m, αντίστοιχα. Συνεπώς, και στις δύο περιπτώσεις προκύπτει έλλειμμα πίεσης, ήτοι 7.5 m στον κόμβο 2 και 4.0 m στον κόμβο 3.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα με αλλαγή της διαστασιολόγησης ενός μόνο αγωγού, θα πρέπει να αυξηθεί η διάμετρος του τροφοδοτικού κλάδου Δ-1 έτσι ώστε οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκος του να μειωθούν κατά 7.5 m. Συνεπώς, για παροχή $Q = 0.082$ m³/s, η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής πρέπει να μειωθεί σε $J = (14.0 - 7.5) / 1500 = 0.0043$. Επιλύοντας τη γενικευμένη εξίσωση Manning ως προς τη διάμετρο προκύπτει θεωρητική τιμή 0.322 m, που στρογγυλεύεται στην αμέσως επόμενη διαθέσιμη διάμετρο εμπορίου (Φ400 mm, με εσωτερική διάμετρο 352.6 mm).

Στο σκαρίφημα απεικονίζεται η γενική διάταξη των υδρευτικών έργων των περιοχών Α και Β, οι οποίες παρουσιάζουν έντονη οικιστική ανάπτυξη. Οι περιοχές υδροδοτούνται από την πηγή Π, σε υψόμετρο +180 m, και χαλύβδινο αγωγό βαρύτητας, μήκους 6000 m και διαμέτρου 200 mm, που μεταφέρει νερό στη δεξαμενή Δ, ανώτατης στάθμης +140 m. Προκειμένου να καλυφθούν οι αυξημένες υδατικές ανάγκες της θερινής περιόδου, εξετάζεται η κατασκευή γεώτρησης στη θέση Γ (υψόμετρο εδάφους +110 m), με μέγιστο βάθος άντλησης 50 m. Η απόληψη και μεταφορά νερού στη δεξαμενή θα γίνεται μέσω αντλιοστασίου και καταθλιπτικού αγωγού HDPE 12.5 atm, μήκους 2500 m. Στα υπό μελέτη έργα ενίσχυσης περιλαμβάνεται, ακόμη, η αντικατάσταση του κατάντη τμήματος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού (αγωγός ΑΒ), μήκους 1800 m, με αγωγό HDPE 10.0 atm. Δίνεται ότι ο πληθυσμός σχεδιασμού της περιοχής Α είναι 5500 μόνιμοι κάτοικοι, ενώ της περιοχής Β είναι 3000 μόνιμοι κάτοικοι και 5000 τουρίστες.



- Υπολογίστε τις υδατικές ανάγκες του συστήματος την ημέρα αιχμής, λαμβάνοντας ειδική κατανάλωση 180 και 250 L/κ/d για οικιακή και τουριστική χρήση, αντίστοιχα. (1 μονάδα)
- Υπολογίστε την παροχή που μπορεί να διοχετευτεί μέσω του υφιστάμενου συστήματος πηγής-αγωγού βαρύτητας ΠΔ, με δεδομένο ότι η ελάχιστη εγγυημένη θερινή ροή της πηγής είναι 90 m³/h. (2 μονάδες)
- Υπολογίστε την παροχή σχεδιασμού του καταθλιπτικού αγωγού ΓΔ, για 16ωρη λειτουργία του αντλιοστασίου, και προτείνετε (χωρίς βελτιστοποίηση) εύλογη διάμετρο εμπορίου. (1 μονάδα)
- Για την παραπάνω διάμετρο του καταθλιπτικού αγωγού, υπολογίστε τα χαρακτηριστικά μεγέθη του αντλιοστασίου (μανομετρικό ύψος, συνολική ισχύς) και την κατανάλωση ενέργειας την ημέρα αιχμής, θεωρώντας βαθμό απόδοσης 80%. (2 μονάδες)
- Εξετάστε αν θα μεταβληθεί η κατανάλωση ενέργειας την ημέρα αιχμής, εφόσον οι ώρες άντλησης αυξηθούν σε 20. (1 μονάδα)
- Υπολογίστε την παροχή εξόδου των κόμβων Α και Β, για διάφορα σενάρια έκτακτης λειτουργίας του συστήματος διανομής, και εκτιμήστε την παροχή σχεδιασμού των κλάδων ΔΑ και ΑΒ. Δίνεται ότι οι δύο περιοχές είναι εξοπλισμένες με ικανό αριθμό πυροσβεστικών κρουνών, ονομαστικής παροχής 5.0 L/s, ενώ για τη διαμόρφωση των σεναρίων θεωρείται ταυτόχρονη ενεργοποίηση δύο κρουνών. (2 μονάδες)
- Επιλέξτε μια κατάλληλη διάμετρο εμπορίου του αγωγού ΑΒ, με δεδομένο ότι στον κόμβο Α εξασφαλίζεται οριακά επαρκής πίεση κατά την ώρα αιχμής. Δίνεται ότι στην περιοχή Α αναπτύσσονται έως τετράωροφα κτήρια, ενώ στην περιοχή Β έως τριώροφα, ενώ τα υψόμετρα των κόμβων εισόδου Α και Β είναι +100 και +96 m, αντίστοιχα. (2 μονάδες)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΖΗΤΗΣΗΣ

Μόνιμος πληθυσμός (Α)	5500	5000	4500	4000
Μόνιμος πληθυσμός (Β)	3000	3500	4000	4500
Μόνιμος πληθυσμός (Α+Β)	8500	8500	8500	8500
Ειδική κατανάλωση (L/p/d)	180	170	160	150
Μέση ημερήσια παροχή (L/s)	17.7	16.7	15.7	14.8
Συντελεστής λΗ	1.5	1.5	1.5	1.5
Μέγιστη ημερήσια παροχή	26.6	25.1	23.6	22.1
Τουρίστες (Β)	5000	4500	5500	6000
Ειδική κατανάλωση (L/p/d)	250	240	230	220
Μέση ημερήσια παροχή (L/s)	14.5	12.5	14.6	15.3
Συντελεστής λΗ	1.1	1.1	1.1	1.1
Μέγιστη ημερήσια παροχή	15.9	13.8	16.1	16.8
Μέγιστη ημερήσια παροχή (σύνολο)	42.5	38.8	39.7	38.9

ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Υδροληψία πηγής (m)	180.0	190.0	200.0	210.0
ΑΣΥ δεξαμενής (m)	140.0	145.0	150.0	155.0
Μήκος υφιστάμενου αγωγού (m)	6000	6500	7000	7500
Διάμετρος εμπορίου (mm)	200	200	200	200
Εσωτερική διάμετρος (m)	0.200	0.200	0.200	0.200
Τραχύτητα (mm)	1.0	1.0	1.0	1.0
$\varepsilon^* = \varepsilon/\varepsilon_0$	20.0	20.0	20.0	20.0
β	0.310	0.310	0.310	0.310
γ	0.013	0.013	0.013	0.013
N	0.012	0.012	0.012	0.012
Κλίση Π.Γ.	0.0067	0.0069	0.0071	0.0073
Παροχευετικότητα αγωγού (m ³ /s)	0.0290	0.0296	0.0300	0.0304
Παροχευετικότητα αγωγού (L/s)	29.0	29.6	30.0	30.4
Θερινή παροχή πηγής (m ³ /h)	90.0	85.0	80.0	75.0
Θερινή παροχή πηγής (L/s)	25.0	23.6	22.2	20.8
Ικανότητα υφιστάμενου συστήματος (L/s)	25.0	23.6	22.2	20.8

ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Βάθος γεώτρησης (m)	50.0	55.0	60.0	65.0
Υψόμετρο γεώτρησης (m)	110.0	120.0	130.0	140.0
Υλικό αγωγού	HDPE 12.5 atm	HDPE 12.5 atm	HDPE 12.5 atm	HDPE 12.5 atm
Μήκος αγωγού (m)	2500	2000	3000	3500
Βαθμός απόδοσης αντλιοστασίου	0.80	0.80	0.80	0.80
Υπολειπόμενη παροχή (L/s)	17.5	15.2	17.5	18.1
Ωρες άντλησης	16	20	16	20
Παροχή σχεδιασμού (L/s)	26.2	18.3	26.2	21.7
Τυπική ταχύτητα (m/s)	1.0	1.0	1.0	1.0
Τυπική διατομή (m ²)	0.026	0.018	0.026	0.022
Τυπική διάμετρος (m)	0.183	0.153	0.183	0.166
Διάμετρος εμπορίου (mm)	Φ225	Φ180	Φ225	Φ200
Εσωτερική διάμετρος (m)	0.1918	0.1534	0.1918	0.1706
Κλίση Π.Γ.	0.0068	0.0108	0.0068	0.0087
Μανομετρικό ύψος (m)	97.0	106.9	97.0	101.7
Ισχύς αντλιοστασίου (kW)	31.2	23.9	31.2	27.1
Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh)	499	479	500	542

Ωρες άντλησης	20	16	20	16
Παροχή σχεδιασμού για 20ωρη άντληση	21.0	22.8	21.0	27.2
Εσωτερική διάμετρος (m)	0.1918	0.1534	0.1918	0.1706
Κλίση Π.Γ.	0.0044	0.0167	0.0044	0.0135
Μανομετρικό ύψος (m)	90.9	121.8	91.0	113.7
Ισχύς αντλιοστασίου (kW)	23.4	34.1	23.4	37.9
Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh)	468	546	468	606

ΠΑΡΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Συντελεστής λΩ (μόνιμοι)	2.0	2.0	2.0	2.0
Συντελεστής λΩ (τουρίστες)	1.5	1.5	1.5	1.5
Μέγιστη ωριαία παροχή (μόνιμοι)	53.1	50.2	47.2	44.3
Μέγιστη ωριαία παροχή (τουρίστες)	23.9	20.6	24.2	25.2
Μέγιστη ωριαία παροχή (Α)	34.4	29.5	25.0	20.8
Μέγιστη ωριαία παροχή (Β)	42.6	41.3	46.4	48.6
Παροχή πυρκαγιάς	10.0	10.0	10.0	10.0
Παροχή σχεδιασμού αγωγού ΔΑ	87.0	80.8	81.4	79.5
Παροχή σχεδιασμού αγωγού ΑΒ	52.6	51.3	56.4	58.6

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΓΩΓΟΥ ΑΒ

Υλικό αγωγού	HDPE 10.0 atm	HDPE 10.0 atm	HDPE 10.0 atm	HDPE 10.0 atm
Μήκος αγωγού (m)	1800	1700	1600	1500
Υψόμετρο εδάφους κόμβου Α (m)	100	105	110	115
Υψόμετρο εδάφους κόμβου Β (m)	96	98	100	102
Οροφοί περιοχής Α	4	4	4	4
Οροφοί περιοχής Β	3	3	3	3
Ελάχιστο ενεργειακό υψόμετρο Α (m)	120	125	130	135
Ελάχιστο ενεργειακό υψόμετρο Β (m)	112	114	116	118
Ενεργειακό διαθέσιμο (m)	8.0	11.0	14.0	17.0
Κλίση Π.Γ.	0.004	0.006	0.009	0.011
Παροχή σχεδιασμού αγωγού ΑΒ	0.053	0.051	0.056	0.059
Θεωρητική διάμετρος (m)	0.270	0.249	0.244	0.236
Διάμετρος εμπορίου (mm)	Φ315	Φ280	Φ280	Φ280
Εσωτερική διάμετρος (m)	0.2776	0.2468	0.2468	0.2468

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ Α

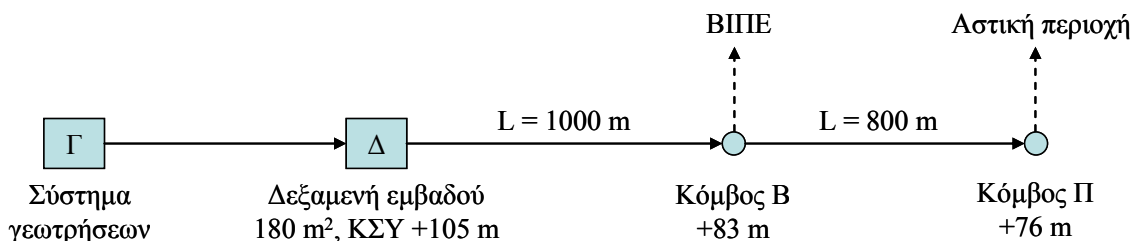
Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με -0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Τα πολύ υψηλά κτήρια (ουρανοξύστες) μιας μεγάλης πόλης υδροδοτούνται:
 - ☐ από ξεχωριστό δίκτυο διανομής που τροφοδοτείται από ειδική δεξαμενή, τοποθετημένη σε μεγάλο υψόμετρο.
 - ☐ από τοπικά αντλιοστάσια που συνδέονται με το κοινό δίκτυο διανομής.
 - ☐ από κοντινούς υδατόπυργους.
2. Για πολύ μεγάλο βάθος ροής y σε κυκλικό αγωγό αποχέτευσης η υδραυλική ακτίνα R τείνει να γίνει ίση με:
 - ☐ y .
 - ☐ $y/2$.
 - ☐ $y/4$.
3. Για τη μεταφορά του νερού σε μικρής κλίμακας πόλη προτιμάται η λύση του εξωτερικού υδραγωγείου υπό πίεση, έναντι αγωγού ελεύθερης επιφάνειας, επειδή, μεταξύ άλλων, η δεύτερη λύση:
 - ☐ είναι δυσχερέστερη ως προς τον έλεγχο της ροής.
 - ☐ έχει εξαιρετικά αυξημένες απαιτήσεις ως προς την επεξεργασία του νερού.
 - ☐ οδηγεί σε σημαντικές απώλειες από εξάτμιση.
4. Οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκος ενός δικτύου διανομής εξαρτώνται, μεταξύ άλλων, από:
 - ☐ τα ύψη των εξυπηρετούμενων κτηρίων.
 - ☐ τις κλίσεις των αγωγών του δικτύου.
 - ☐ τις καταναλώσεις στο δίκτυο.
5. Η εγκατάσταση δύο παράλληλων αντλιών κανονικής λειτουργίας και μιας εφεδρικής είναι συνήθως οικονομικότερη από τη χρήση μιας κανονικής και μιας εφεδρικής, γιατί στην πρώτη περίπτωση:
 - ☐ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρότερη.
 - ☐ ο υποδιπλασιασμός της παροχής αυξάνει το συντελεστή απόδοσης της αντλίας.
 - ☐ η διάμετρος του καταθλιπτικού αγωγού είναι μικρότερη.
6. Η ποσότητα των παρασιτικών εισροών στο δίκτυο ακαθάρτων σχετίζεται, μεταξύ άλλων, με:
 - ☐ την ποσότητα των διαρροών στο υδρευτικό δίκτυο.
 - ☐ την αποτελεσματικότητα επιτήρησης του αποχετευτικού δικτύου.
 - ☐ τα στερεά υλικά που μεταφέρονται από τη ροή.
7. Οι αγωγοί που συνδέουν πυροσβεστικούς κρουνούς πρέπει να έχουν:
 - ☐ ελάχιστη ονομαστική αντοχή 16.0 atm.
 - ☐ ελάχιστη διάμετρο Φ125 mm.
 - ☐ μέγιστη κλίση τοποθέτησης 1%.
8. Η κατασκευή φρεατίων σε σημεία ευθυγραμμίας που δεν αποτελούν κόμβους συμβολής του δικτύου ακαθάρτων:
 - ☐ πρέπει να αποφεύγεται.
 - ☐ είναι αναπόφευκτη όταν η ευθυγραμμία έχει μεγάλο μήκος.
 - ☐ είναι απαραίτητη για την βελτίωση των συνθηκών ροής.
9. Μια ξαφνική πτώση της πίεσης σε εκτεταμένες περιοχές ενός δικτύου διανομής, χωρίς πλήρη διακοπή της παροχής, μπορεί να οφείλεται σε:
 - ☐ βλάβη κάποιου κεντρικού αγωγού του δικτύου.
 - ☐ βλάβη του εξωτερικού υδραγωγείου.
 - ☐ οριακή επάρκεια του ρυθμιστικού όγκου της δεξαμενής.
10. Ο σχεδιασμός ενός συλλεκτήριου αγωγού ομβρίων βασίζεται στην αρχή ότι:
 - ☐ ο αγωγός δεν πρέπει ποτέ να αστοχήσει υδραυλικά στη διάρκεια της περιόδου σχεδιασμού.
 - ☐ οι υπερχειλίσεις του αγωγού πρέπει να είναι σπάνιες, π.χ. μια φορά τη δεκαετία.
 - ☐ ο αγωγός επιτρέπεται να υπερχειλίζει στη διάρκεια των ισχυρότερων βροχών κάθε έτους (π.χ. 2-3 φορές το χρόνο).

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ Παραλλαγή Α

Άσκηση υδρεύσεων (μονάδες 4)

Στο σκαρίφημα απεικονίζεται η γενική διάταξη και χαρακτηριστικά μεγέθη των έργων υδροδότησης της αστικής περιοχής Π, που περιλαμβάνουν το σύστημα γεωτρήσεων Γ, τον καταθλιπτικό αγωγό ΓΔ, τη δεξαμενή Δ και τον κύριο τροφοδοτικό αγωγό ΔΠ. Κατάντη της δεξαμενής, εξετάζεται η υδροδότηση της βιομηχανικής περιοχής (ΒΠΕ) από τη θέση Β. Οι ημερήσιες ανάγκες της ΒΠΕ εκτιμώνται σε 800 m^3 , για 12ωρη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων (από τις 6:00 έως τις 18:00). Για το σκοπό αυτό, μελετώνται οι αναγκαίες παρεμβάσεις για την ενίσχυση του υφιστάμενου συστήματος.



1. Να εκτιμηθεί ο συντελεστής ωριαίας αιχμής (λ_{Ω}) της αστικής περιοχής Π, λαμβάνοντας υπόψη ότι την πρόσφατη θερινή περίοδο, η παραγωγή των γεωτρήσεων την ημέρα αιχμής ανήλθε σε 2100 m^3 (για 18ωρη λειτουργία του καταθλιπτικού αγωγού από τις 6:00 έως τις 24:00 με σταθερή παροχή), ενώ την ώρα αιχμής της ζήτησης καταγράφηκε μείωση της στάθμης νερού στη δεξαμενή κατά 0.35 m . (0.5 μονάδα)
2. Να εκτιμηθούν οι παροχές σχεδιασμού των αγωγών ΓΔ, ΔΒ και ΒΠ, μετά την προσθήκη της ΒΠΕ στο σύστημα, θεωρώντας ότι δεν θα μεταβληθούν οι ανάγκες της αστικής περιοχής και οι ώρες άντλησης. Στα σενάρια έκτακτης λειτουργίας του δικτύου, θεωρήστε ταυτόχρονη λειτουργία δύο πυροσβεστικών κρουνών, συνολικής παροχής 10 L/s . (1.0 μονάδα)
3. Να εκτιμηθεί ο απαιτούμενος ρυθμιστικός όγκος για την εξυπηρέτηση της ΒΠΕ και να σχεδιαστούν τα αντίστοιχα αθροιστικά διαγράμματα εισροών-εκροών. (0.5 μονάδα)
4. Να ελεγχθεί αν ο υφιστάμενος κύριος τροφοδοτικός αγωγός από PVC 10.0 atm , διαμέτρου $\Phi 315 \text{ mm}$, μπορεί να εξασφαλίσει ύψος πίεσης 20 m στους κόμβους Β και Π, και αν όχι να προτείνετε (χωρίς υπολογισμούς) τρόπο ενίσχυσής του. (2.0 μονάδες)

© Α. Ευστρατιάδης & Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

Στη μελέτη αποχέτευσης ομβρίων οικισμού, προβλεπόταν ότι στην ευθυγραμμία ΑΒ μήκους 200 m , όπου η κατά μήκος κλίση της οδού είναι 1.0% , θα τοποθετηθεί αγωγός διαμέτρου 80 cm σε βάθος (μετρούμενο από την άντυγα) 1.0 m κάτω από το έδαφος, στον οποίο το βάθος ροής για την παροχή σχεδιασμού είναι 0.50 m . Στο στάδιο της κατασκευής αποκαλύφτηκε εγκάρσιο εμπόδιο στο μέσο Μ του τμήματος ΑΒ, το οποίο υποχρεώνει στην εκβάθυνση κατά 0.50 m για την απρόσκοπτη διάβαση του αγωγού. Ζητούνται:

1. Η παροχή σχεδιασμού του αγωγού, καθώς και η εξυπηρετούμενη έκταση, αν η ένταση βροχής σχεδιασμού είναι 87.0 mm/h και ο συντελεστής απορροής 0.70 .
2. Η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος του αγωγού ΜΒ σε τρόπο ώστε να μην αλλάξει, σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό, το βάθος τοποθέτησης στο κατάντη σημείο Β.
3. Η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος του αγωγού ΜΒ σε τρόπο ώστε να μην αλλάξει, σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό, η διάμετρος. Ποιο θα είναι το βάθος τοποθέτησης στο σημείο Β σε αυτή την περίπτωση και σε πόσο επιπλέον μήκος, μετά το σημείο Β, θα τροποποιηθεί η μηκοτομή του αγωγού, αν η κλίση του εδάφους συνεχίζει να είναι η ίδια όπως στο ΑΒ;

© Δ. Κουτσογιάννης

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

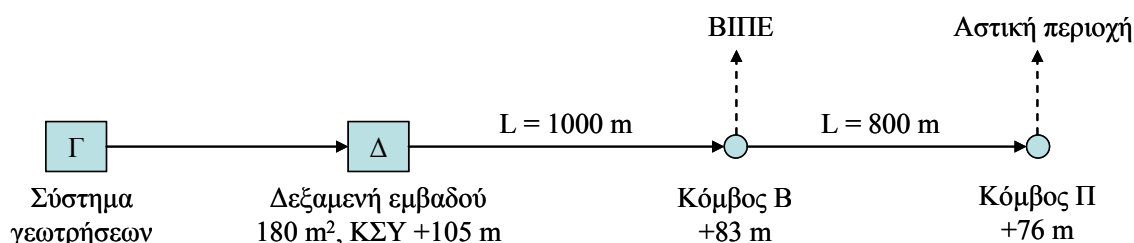
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ Α

Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με -0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Τα πολύ υψηλά κτήρια (ουρανοξύστες) μιας μεγάλης πόλης υδροδοτούνται:
 - ☐ από ξεχωριστό δίκτυο διανομής που τροφοδοτείται από ειδική δεξαμενή, τοποθετημένη σε μεγάλο υψόμετρο.
 - ☐ από τοπικά αντλιοστάσια που συνδέονται με το κοινό δίκτυο διανομής.
 - ☐ από κοντινούς υδατόπυργους.
2. Για πολύ μεγάλο βάθος ροής y σε κυκλικό αγωγό αποχέτευσης η υδραυλική ακτίνα R τείνει να γίνει ίση με:
 - ☐ y .
 - ☐ $y/2$.
 - ☐ $y/4$.
3. Για τη μεταφορά του νερού σε μικρής κλίμακας πόλη προτιμάται η λύση του εξωτερικού υδραγωγείου υπό πίεση, έναντι αγωγού ελεύθερης επιφάνειας, επειδή, μεταξύ άλλων, η δεύτερη λύση:
 - ☐ είναι δυσχερέστερη ως προς τον έλεγχο της ροής.
 - ☐ έχει εξαιρετικά αυξημένες απαιτήσεις ως προς την επεξεργασία του νερού.
 - ☐ οδηγεί σε σημαντικές απώλειες από εξάτμιση.
4. Οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκος ενός δικτύου διανομής εξαρτώνται, μεταξύ άλλων, από:
 - ☐ τα ύψη των εξυπηρετούμενων κτηρίων.
 - ☐ τις κλίσεις των αγωγών του δικτύου.
 - ☐ τις καταναλώσεις στο δίκτυο.
5. Η εγκατάσταση δύο παράλληλων αντλιών κανονικής λειτουργίας και μιας εφεδρικής είναι συνήθως οικονομικότερη από τη χρήση μιας κανονικής και μιας εφεδρικής, γιατί στην πρώτη περίπτωση:
 - ☐ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρότερη.
 - ☐ ο υποδιπλασιασμός της παροχής αυξάνει το συντελεστή απόδοσης της αντλίας.
 - ☐ η διάμετρος του καταθλιπτικού αγωγού είναι μικρότερη.
6. Η ποσότητα των παρασιτικών εισροών στο δίκτυο ακαθάρτων σχετίζεται, μεταξύ άλλων, με:
 - ☐ την ποσότητα των διαρροών στο υδρευτικό δίκτυο.
 - ☐ την αποτελεσματικότητα επιτήρησης του αποχετευτικού δικτύου.
 - ☐ τα στερεά υλικά που μεταφέρονται από τη ροή.
7. Οι αγωγοί που συνδέουν πυροσβεστικούς κρουνούς πρέπει να έχουν:
 - ☐ ελάχιστη ονομαστική αντοχή 16.0 atm.
 - ☐ ελάχιστη διάμετρο Φ125 mm.
 - ☐ μέγιστη κλίση τοποθέτησης 1%.
8. Η κατασκευή φρεατίων σε σημεία ευθυγραμμίας που δεν αποτελούν κόμβους συμβολής του δικτύου ακαθάρτων:
 - ☐ πρέπει να αποφεύγεται.
 - ☐ είναι αναπόφευκτη όταν η ευθυγραμμία έχει μεγάλο μήκος.
 - ☐ είναι απαραίτητη για την βελτίωση των συνθηκών ροής.
9. Μια ξαφνική πτώση της πίεσης σε εκτεταμένες περιοχές ενός δικτύου διανομής, χωρίς πλήρη διακοπή της παροχής, μπορεί να οφείλεται σε:
 - ☐ βλάβη κάποιου κεντρικού αγωγού του δικτύου.
 - ☐ βλάβη του εξωτερικού υδραγωγείου.
 - ☐ οριακή επάρκεια του ρυθμιστικού όγκου της δεξαμενής.
10. Ο σχεδιασμός ενός συλλεκτήριου αγωγού ομβρίων βασίζεται στην αρχή ότι:
 - ☐ ο αγωγός δεν πρέπει ποτέ να αστοχήσει υδραυλικά στη διάρκεια της περιόδου σχεδιασμού.
 - ☐ οι υπερχειλίσσεις του αγωγού πρέπει να είναι σπάνιες, π.χ. μια φορά τη δεκαετία.
 - ☐ ο αγωγός επιτρέπεται να υπερχειλίζει στη διάρκεια των ισχυρότερων βροχών κάθε έτους (π.χ. 2-3 φορές το χρόνο).

Στο σκαρίφημα απεικονίζεται η γενική διάταξη και χαρακτηριστικά μεγέθη των έργων υδροδότησης της αστικής περιοχής Π, που περιλαμβάνουν το σύστημα γεωτρήσεων Γ, τον καταθλιπτικό αγωγό ΓΔ, τη δεξαμενή Δ και τον κύριο τροφοδοτικό αγωγό ΔΠ. Κατάντη της δεξαμενής, εξετάζεται η υδροδότηση της βιομηχανικής περιοχής (ΒΠΠΕ) από τη θέση Β. Οι ημερήσιες ανάγκες της ΒΠΠΕ εκτιμώνται σε 800 m^3 , για 12ωρη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων (από τις 6:00 έως τις 18:00). Για το σκοπό αυτό, μελετώνται οι αναγκαίες παρεμβάσεις για την ενίσχυση του υφιστάμενου συστήματος.



1. Να εκτιμηθεί ο συντελεστής ωριαίας αιχμής (λ_Ω) της αστικής περιοχής Π, λαμβάνοντας υπόψη ότι την πρόσφατη θερινή περίοδο, η παραγωγή των γεωτρήσεων την ημέρα αιχμής ανήλθε σε 2100 m^3 (για 18ωρη λειτουργία του καταθλιπτικού αγωγού από τις 6:00 έως τις 24:00 με σταθερή παροχή), ενώ την ώρα αιχμής της ζήτησης καταγράφηκε μείωση της στάθμης νερού στη δεξαμενή κατά 0.35 m .
2. Να εκτιμηθούν οι παροχές σχεδιασμού των αγωγών ΓΔ, ΔΒ και ΒΠ, μετά την προσθήκη της ΒΠΠΕ στο σύστημα, θεωρώντας ότι δεν θα μεταβληθούν οι ανάγκες της αστικής περιοχής και οι ώρες άντλησης. Στα σενάρια έκτακτης λειτουργίας του δικτύου, θεωρήστε ταυτόχρονη λειτουργία δύο πυροσβεστικών κρουών, συνολικής παροχής 10 L/s .
3. Να εκτιμηθεί ο απαιτούμενος ρυθμιστικός όγκος για την εξυπηρέτηση της ΒΠΠΕ και να σχεδιαστούν τα αντίστοιχα αθροιστικά διαγράμματα εισροών-εκροών.
4. Να ελεγχθεί αν ο υφιστάμενος κύριος τροφοδοτικός αγωγός από PVC 10.0 atm , διαμέτρου $\Phi 315 \text{ mm}$, μπορεί να εξασφαλίσει ύψος πίεσης 20 m στους κόμβους Β και Π, και αν όχι να προτείνετε (χωρίς υπολογισμούς) τρόπο ενίσχυσής του.

Ερώτημα 1

Ο συντελεστής λ_Ω ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης ωριαίας παροχής (Q_Ω) προς τη μέγιστη ημερήσια (Q_H). Την ώρα αιχμής (κατά την οποία προφανώς λειτουργούσε ο καταθλιπτικός αγωγός), εισήλθαν στη δεξαμενή $2100 / 18 = 116.7 \text{ m}^3$ (ο αγωγός λειτουργεί με σταθερή παροχή), ενώ υπήρξε μείωση του αποθηκευμένου όγκου της δεξαμενής κατά $0.35 \times 180 = 63.0 \text{ m}^3$. Συνεπώς, ο όγκος εκροής προς το δίκτυο διανομής ήταν $116.7 + 63.0 = 179.7 \text{ m}^3$, που αντιστοιχεί σε ωριαία παροχή $Q_\Omega = 179.7 / 3600 = 0.0499 \text{ m}^3/\text{s}$ ή 49.9 L/s . Η μέγιστη ημερήσια ζήτηση ταυτίζεται με την παραγωγή των γεωτρήσεων, οπότε η αντίστοιχη παροχή ισούται με $Q_H = 2100 / 86400 = 0.0243 \text{ m}^3/\text{s}$ ή 24.3 L/s . Συνεπώς, $\lambda_\Omega = 49.9 / 24.3 = 2.05$, τιμή που κρίνεται εύλογη για αστική περιοχή με οικιακές χρήσεις.

Ερώτημα 2

Αρχικά εκτιμώνται τα χαρακτηριστικά μεγέθη ζήτησης της ΒΙΠΕ. Η μέγιστη ημερήσια παροχή της ισούται με $Q_H = 800 / 86400 = 0.0093 \text{ m}^3/\text{s}$ ή 9.3 L/s (δεν υπάρχουν εποχιακές διακυμάνσεις της ζήτησης), ενώ η μέγιστη ωριαία παροχή της ισούται με $Q_\Omega = (24 / 12) \times Q_H = 18.5 \text{ L/s}$ (λαμβάνεται 12ωρη λειτουργία των βιομηχανιών).

Η παροχή σχεδιασμού του εξωτερικού υδραγωγείου ΓΔ ισούνται με τη συνολική (για την πόλη και τη ΒΙΠΕ) μέγιστη ημερήσια παροχή, προσαυξημένη με βάση τις ώρες λειτουργίας του καταθλιπτικού αγωγού, ήτοι $Q_{\Gamma\Delta} = (24 / 18) \times (24.3 + 9.3) = 44.8 \text{ L/s}$.

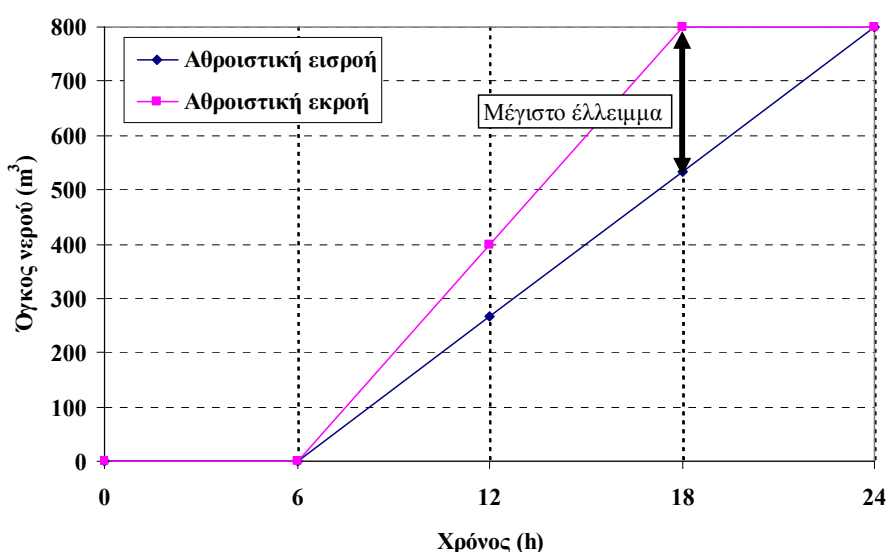
Η παροχή σχεδιασμού του κύριου τροφοδοτικού αγωγού ΔΒ (από τη δεξαμενή μέχρι τον κόμβο τροφοδοσίας της ΒΙΠΕ) ισούνται με τη συνολική (για την πόλη και τη ΒΙΠΕ) μέγιστη ωριαία παροχή, στην οποία προστίθεται η παροχή πυρκαγιάς, ήτοι $Q_{\Delta\text{B}} = 49.9 + 18.5 + 10.0 = 78.4 \text{ L/s}$ (θεωρείται ότι ενεργοποιούνται δύο κρουνοί, είτε σε μία μόνο περιοχή είτε από έναν σε κάθε περιοχή).

Τέλος, το κατάντη τμήμα ΒΠ σχεδιάζεται για το δυσμενές σενάριο μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης στην πόλη και ενεργοποίησης δύο πυροσβεστικών κρουνών, ήτοι $Q_{\Delta\text{B}} = 49.9 + 10.0 = 59.9 \text{ L/s}$.

Ερώτημα 3

Ο καταθλιπτικός αγωγός καλείται να μεταφέρει την ημερήσια ζήτηση των 800 m^3 από τις 6:00 έως τις 24:00 (συνολικά 18 ώρες) με σταθερό ρυθμό, ενώ η βιομηχανική κατανάλωση πραγματοποιείται στο διάστημα από τις 6:00 έως τις 18:00 (συνολικά 12 ώρες), επίσης με σταθερό ρυθμό. Ο υπολογισμός του όγκου ρύθμισης μπορεί να γίνει αναλυτικά, μέσω του πίνακα χρονικής κατανομής των εισροών και εκροών, με βάση τον οποίο προκύπτει ένα μέγιστο έλλειμμα νερού 266.7 m^3 . Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουμε γραφικά, από το διάγραμμα αθροιστικών εισροών και εκροών, με το οποίο προκύπτει ότι το έλλειμμα ισούται με $(18 - 12) / 18 \times 800 = 0.333 \times 800 = 266.7 \text{ m}^3$.

Χρονικό διάστημα	Εισροή (m^3)	Αθροιστική εισροή (m^3)	Εκροή (m^3)	Αθροιστική εκροή (m^3)	Διαφορά (m^3)
0:00 – 6:00	0	0	0	0	0
6:00 – 12:00	266.7	266.7	400.0	400.0	-133.3
12:00 – 18:00	266.7	533.3	400.0	800.0	-266.7
18:00 – 24:00	266.7	800.0	0	800.0	0



Ερώτημα 4

Με γνωστές τις παροχές σχεδιασμού των αγωγών ΔΒ και ΒΠ (0.0784 και 0.0599 m³/s, αντίστοιχα), επιλύεται η γενικευμένη εξίσωση Manning για διάμετρο 0.285 m (για PVC 10.0 atm, Φ315 mm) και συντελεστή τραχύτητας 1.0 mm, οπότε η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής των δύο τμημάτων ισούται με $J_{\Delta B} = 0.0074$ και $J_{B\Pi} = 0.0044$, αντίστοιχα. Συνεπώς, οι ενεργειακές απώλειες στον αγωγό ΔΒ είναι $h_{f\Delta B} = 0.0074 \times 1000 = 7.4$ m, ενώ στον αγωγό ΒΠ είναι $h_{fB\Pi} = 0.0044 \times 800 = 3.5$ m. Θεωρώντας την δεξαμενή στην κατώτατη στάθμη (+105 m), και αφαιρώντας τις απώλειες από ανάντη προς κατάντη, προκύπτουν τα ενεργειακά υψόμετρα των δύο κόμβων, ήτοι $H_B = 105.0 - 7.4 = 97.6$ m και $H_{\Pi} = 97.6 - 3.5 = 94.1$ m. Αφαιρώντας το υψόμετρο εδάφους, προκύπτουν τα αντίστοιχα ύψη πίεσης, ήτοι $P_B = 97.6 - 83.0 = 14.6$ m και $P_{\Pi} = 94.1 - 76.0 = 18.1$ m. Και οι δύο τιμές υπολείπονται της ζητούμενης πίεσης των 20 m, με το έλλειμμα πίεσης να ανέρχεται σε 5.4 m στον κόμβο Π και σε 1.9 m στον Β.

Επειδή μεταξύ των δύο κόμβων κρισιμότερος είναι ο ανάντη (κόμβος Β, από τον οποίο τροφοδοτείται η ΒΠΠΕ), αρκεί να εξασφαλιστεί οριακή επάρκεια πίεσης στον εν λόγω κόμβο προκειμένου να ικανοποιείται ο έλεγχος στον κατάντη κόμβο Π. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ενίσχυση του τμήματος ΔΠ, είτε με αλλαγή διαμέτρου είτε (τεχνικά και οικονομικά προτιμότερο, αν ο υφιστάμενος αγωγός δεν είναι πολύ παλιός) με την προσθήκη παράλληλου ανακουφιστικού αγωγού.

ΑΣΚΗΣΗ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009

Παραλλαγή	A	B	Γ	Δ
L (m)	200	200	200	200
JAB	1.0%	1.2%	0.9%	1.5%
D (cm)	80	60	100	50
h (m)	1	1	1	1
y (m)	0.5	0.38	0.55	0.32
Δh (m)	0.5	0.6	0.7	0.4
i (mm/h)	87	90	85	82
C	0.7	0.65	0.6	0.55
n0	0.015	0.015	0.015	0.015
1				
D (m)	0.800	0.600	1.000	0.500
(y/D)A	0.625	0.633333	0.55	0.64
Q/Q0	0.590	0.603	0.473	0.613
Q0 (m3/s)	1.1460	0.5829	1.9713	0.4008
Q (m3/s)	0.6757	0.3514	0.9332	0.2458
A (m2)	39945	21625	65870	19624
A (ha)	3.99	2.16	6.59	1.96
2				
L (m)	100.0	100.0	100.0	100.0
Δz εδαφ (m)	1.0000	1.2000	0.9000	1.5000
Δz αγωγ (m)	0.5000	0.6000	0.2000	1.1000
J	0.0050	0.0060	0.0020	0.0110
y/D	0.700	0.700	0.700	0.700
Q/Q0	0.709	0.709	0.709	0.709
Q0 (m3/s)	0.9532	0.4957	1.3163	0.3468
D (m)	0.850	0.643	1.139	0.502
D (m) (στρογγ)	0.900	0.700	1.200	0.600
Έλεγχος				
Q0 (m3/s)	1.1094	0.6218	1.5111	0.5581
Q/Q0	0.609	0.565	0.618	0.440
y/D	0.637	0.609	0.643	0.528
V0 (m/s)	1.744	1.616	1.336	1.974
V/V0	0.906	0.885	0.909	0.822
V (m/s)	1.579	1.431	1.215	1.623
V10% (m/s)	0.942	0.872	0.721	1.066
3				
L (m)	100.0	100.0	100.0	100.0
D (m)	0.800	0.600	1.000	0.500
y/D	0.7	0.7	0.7	0.7
Q/Q0	0.709	0.709	0.709	0.709
Q0 (m3/s)	0.953	0.496	1.316	0.347
J	0.006917807	0.008677	0.004013	0.01123
Δz αγωγ (m)	0.691780681	0.867683	0.401304	1.122984
Δz εδαφ (m)	1.0000	1.2000	0.9000	1.5000
ΔhB (m)	0.1918	0.2677	0.2013	0.0230
ΔL (m)	62.22	80.55	40.37	6.10
Έλεγχος				
V0 (m/s)	1.896325827	1.753141	1.675994	1.766182
V/V0	0.94814688	0.948147	0.948147	0.948147
V (m/s)	1.797995415	1.662235	1.589088	1.6746
V10% (m/s)	1.024015946	0.946696	0.905037	0.953738

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ Α

Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με -0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Από την επίλυση ενός δικτύου διανομής προέκυψαν αρνητικές παροχές σε ορισμένους αγωγούς. Αυτό σημαίνει ότι στους συγκεκριμένους αγωγούς:
 - ☐ δεν θα υπάρξει κανένα πρόβλημα—απλώς στο μοντέλο του δικτύου έχουν σημειωθεί φορές ροής αντίθετες των πραγματικών.
 - ☐ δεν είναι δυνατή η ροή, λόγω πολύ μικρών διαμέτρων.
 - ☐ δεν είναι δυνατή η διανομή νερού, λόγω αρνητικών πιέσεων.
2. Ο παραλιακός αποχετευτικός αγωγός ακαθάρτων που αναπτύσσεται κατά μήκος παράκτιου οικιστικού μετώπου μήκους αρκετών χιλιομέτρων:
 - ☐ θα έχει κλίσεις της τάξης του 1‰ και κατά τόπους αντλιοστάσια.
 - ☐ θα έχει κλίσεις της τάξης του 1% και κατά τόπους φρεάτια πτώσης.
 - ☐ θα είναι παράλληλος με το έδαφος.
3. Αν κάποια μέρα λόγω ιδιαίτερων συνθηκών αυξημένης ζήτησης υδρευτικού νερού δεν επαρκεί το ρυθμιστικό απόθεμα της δεξαμενής:
 - ☐ είναι βέβαιο ότι για κάποιο χρονικό διάστημα θα υπάρξει διακοπή της τροφοδοσίας του δικτύου διανομής.
 - ☐ είναι πιθανό να καλυφθεί η αυξημένη ζήτηση από το απόθεμα ασφαλείας της δεξαμενής.
 - ☐ θα πρέπει να καλυφθεί η αυξημένη ζήτηση με περιορισμό των διαρροών του δικτύου διανομής.
4. Σε κυκλικούς αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια, το γεγονός ότι ο συντελεστής τραχύτητας n στον τύπο του Manning δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται με τη μεταβολή του βάθους ροής, οφείλεται στο ότι:
 - ☐ ο τύπος του Manning είναι προσεγγιστικός και δεν αποδίδει με ακρίβεια τη ροή οποιασδήποτε γεωμετρίας.
 - ☐ σε διαφορετικά βάθη η τραχύτητα έχει διαφορετικές τιμές λόγω της μορφής των αποθέσεων φερτών ή αλάτων.
 - ☐ η ροή αναδύει διαλυμένα αέρια (π.χ. H_2S , O_2) με ρυθμό που εξαρτάται από το βάθος ροής.
5. Ο βαθμός απόδοσης μιας τυπικής φυγοκεντρικής αντλίας του εμπορίου:
 - ☐ είναι σταθερός, ανεξάρτητος της παροχής λειτουργίας της αντλίας.
 - ☐ είναι αντιστρόφως ανάλογος της παροχής λειτουργίας της αντλίας.
 - ☐ μεγιστοποιείται για μια χαρακτηριστική τιμή της παροχής λειτουργίας της αντλίας.
6. Μεγάλες ταχύτητες ροής σε τμήμα υδρευτικού δικτύου διανομής συνεπάγονται ότι στους αντίστοιχους αγωγούς:
 - ☐ πραγματοποιούνται μεγάλες ενεργειακές απώλειες.
 - ☐ υπάρχει πιθανότητα σημαντικών διαρροών νερού.
 - ☐ υπάρχει κίνδυνος χημικής διάβρωσης των σωλήνων.
7. Αν το δίκτυο διανομής μιας αστικής περιοχής επεκταθεί σε μεγαλύτερα υψόμετρα κατά 50 m σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό, τότε οι νέες ανάγκες θα καλυφθούν με:
 - ☐ αύξηση της χωρητικότητας της υφιστάμενης δεξαμενής.
 - ☐ επιπρόσθετη δεξαμενή ανάντη της υφιστάμενης και χωρισμό του δικτύου σε πιεζομετρικές ζώνες.
 - ☐ κατασκευή υδατόπυργων στα χαμηλά σημεία του δικτύου.
8. Στο τμήμα AB του υδρευτικού δικτύου διανομής η φορά ροής καθορίζεται από:
 - ☐ τα ενεργειακά ύψη στα σημεία A και B.
 - ☐ την κλίση του εδάφους μεταξύ των σημείων A και B.
 - ☐ την κλίση του αγωγού AB.
9. Αν κατά τη διάρκεια ισχυρής καταιγίδας σηκωθούν καπάκια φρεατίων σε αγωγό ακαθάρτων και υπάρξουν υπερχειλίσσεις στο οδόστρωμα, αυτό θα σημαίνει ότι:
 - ☐ η περίοδος επαναφοράς της συγκεκριμένης βροχής είναι μεγαλύτερη από την περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού του δικτύου ομβρίων.
 - ☐ οι αρμόδιες υπηρεσίες αμέλησαν τον καθαρισμό των φρεατίων υδροσυλλογής.
 - ☐ υπάρχουν παράνομες συνδέσεις ομβρίων στο δίκτυο ακαθάρτων.
10. Η παροχή σχεδιασμού του κατάντη αγωγού ακαθάρτων ΓΔ είναι μικρότερη από το άθροισμα των παροχών των ανάντη αγωγών ΑΓ και ΒΓ που συμβάλλουν στο φρεάτιο Γ, για το λόγο ότι:
 - ☐ η εξίσωση συνέχειας ισχύει μόνο για καθαρό νερό και όχι για ακάθαρτα.
 - ☐ στο φρεάτιο Γ υπάρχουν διαρροές.
 - ☐ δεν συμπίπτουν οι χρόνοι πραγματοποίησης των παροχών αιχμής στους τρεις αγωγούς.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ Παραλλαγή Α

Άσκηση υδρεύσεων (μονάδες 4)

Αστική περιοχή υδροδοτείται από χαλύβδινο αγωγό, μήκους 6000 m και διαμέτρου 250 mm, που μεταφέρει νερό από πηγή σε υψόμετρο +175 m, σε δεξαμενή ανώτατης στάθμης +165 m. Ο αγωγός είχε σχεδιαστεί ώστε να εξυπηρετεί 7500 κατοίκους, με ειδική κατανάλωση (μέση ημερήσια) 190 L/d/κ. Επειδή η περιοχή παρουσιάζει ραγδαία ανάπτυξη, αποφασίστηκε η ενίσχυση του συστήματος, ώστε να εξυπηρετεί 50% περισσότερο πληθυσμό σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό, χωρίς διαφοροποίηση της ειδικής κατανάλωσης και των μεγεθών χρονικής διακύμανσης της ζήτησης. Για το σκοπό αυτό εξετάζονται δύο εναλλακτικές διατάξεις: (1) η κατασκευή αντλιοστασίου αμέσως κατάντη της πηγής, με χρήση του υφιστάμενου αγωγού ως καταθλιπτικού, ή (2) η κατασκευή ανακουφιστικού αγωγού βαρύτητας από HDPE 16 atm, παράλληλα στον υφιστάμενο.

(α) Να εκτιμηθεί ο συντελεστής ημερήσιας αιχμής (λ_H) με βάση τον οποίο διαστασιολογήθηκε ο αγωγός. (1 μονάδα)

(β) Να εκτιμηθούν οι παροχές σχεδιασμού και τα χαρακτηριστικά μεγέθη των δύο διατάξεων, ήτοι: (1) για την πρώτη διάταξη το μανομετρικό ύψος, η εγκατεστημένη ισχύς και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας του αντλιοστασίου (θεωρήστε παράλληλη λειτουργία δύο αντλιών επί 18 ώρες ημερησίως, με βαθμό απόδοσης 80%), και (2) για τη δεύτερη διάταξη η διάμετρος του παράλληλου ανακουφιστικού αγωγού. (2 μονάδες)

(γ) Να υπολογιστούν τα κόστη των δύο διατάξεων, ώστε να επιλεγεί η πιο οικονομική από τις δύο. Θεωρήστε ωφέλιμη διάρκεια ζωής έργων Π/Μ 40 έτη και έργων Η/Μ 20 έτη, επιτόκιο αναγωγής 4.0%, κόστος προμήθειας και εγκατάστασης αγωγών 60×10^3 €/m, όπου D η διάμετρος εμπορίου σε m), κόστος προμήθειας και εγκατάστασης αντλιών 800 €/kW, κόστος ενέργειας με τις επιβαρύνσεις 0.08 €/kWh. (1 μονάδα)

© Α. Ευστρατιάδης & Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

Στην οδό Α προγραμματίζεται υπόγεια διάβαση πεζών, η οποία θα επιφέρει αλλαγές στα υφιστάμενα υπόγεια δίκτυα κοινής ωφέλειας. Μεταξύ άλλων, για τον αγωγό αποχέτευσης ακαθάρτων, εξετάζεται η δυνατότητα προσωρινής εκτροπής του προς παρακείμενο αγωγό στην οδό Β, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής παροχέτευση των ακαθάρτων της ανάντη περιοχής μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή της τροποποιημένης διάταξης στην Α. Η προσωρινή εκτροπή, εφόσον είναι εφικτή, θα γίνει την επόμενη χειμερινή περίοδο και θα έχει διάρκεια 2 μηνών το πολύ. Οι εσωτερικές διαμέτροι των αγωγών στις οδούς Α και Β είναι 240 και 303 mm, αντίστοιχα, ενώ οι κατά μήκος κλίσεις των αγωγών είναι 1.8% και 1.0%, αντίστοιχα. Τη φετινή θερινή περίοδο πραγματοποιήθηκαν συστηματικές μετρήσεις στους δύο αγωγούς, από τις οποίες προέκυψε ότι, σε περιοχές ομοιόμορφης ροής, τα ποσοστά πλήρωσης στους αγωγούς των οδών Α και Β έφτασαν μέχρι 45% και 46%, αντίστοιχα. Να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά ροής στον αγωγό της οδού Β, αν τη χειμερινή περίοδο εκτραπεί προς αυτόν ο αγωγός της οδού Α, και να ελεγχθεί αν είναι εφικτή η εκτροπή. Θεωρήστε ότι οι μέγιστες παροχές της χειμερινής περιόδου είναι κατά 30% μικρότερες από αυτές της θερινής, ενώ ο ετεροχρονισμός στην πραγματοποίηση των παροχών αιχμής στους δύο αγωγούς επιτρέπει μια περαιτέρω απομείωση 10% της εκτρεπόμενης παροχής πριν αυτή προστεθεί στην κανονική παροχή του αγωγού της οδού Β.

© Δ. Κουτσογιάννης

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ Α

Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με -0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Από την επίλυση ενός δικτύου διανομής προέκυψαν αρνητικές παροχές σε ορισμένους αγωγούς. Αυτό σημαίνει ότι στους συγκεκριμένους αγωγούς:
 - ☐ **δεν θα υπάρξει κανένα πρόβλημα—απλώς στο μοντέλο του δικτύου έχουν σημειωθεί φορές ροής αντίθετες των πραγματικών.**
 - ☐ δεν είναι δυνατή η ροή, λόγω πολύ μικρών διαμέτρων.
 - ☐ δεν είναι δυνατή η διανομή νερού, λόγω αρνητικών πιέσεων.
2. Ο παραλιακός αποχετευτικός αγωγός ακαθάρτων που αναπτύσσεται κατά μήκος παράκτιου οικιστικού μετώπου μήκους αρκετών χιλιομέτρων:
 - ☐ **θα έχει κλίσεις της τάξης του 1‰ και κατά τόπους αντλιοστάσια.**
 - ☐ θα έχει κλίσεις της τάξης του 1‰ και κατά τόπους φρεάτια πτώσης.
 - ☐ θα είναι παράλληλος με το έδαφος.
3. Αν κάποια μέρα λόγω ιδιαίτερων συνθηκών αυξημένης ζήτησης υδρευτικού νερού δεν επαρκεί το ρυθμιστικό απόθεμα της δεξαμενής:
 - ☐ είναι βέβαιο ότι για κάποιο χρονικό διάστημα θα υπάρξει διακοπή της τροφοδοσίας του δικτύου διανομής.
 - ☐ **είναι πιθανό να καλυφθεί η αυξημένη ζήτηση από το απόθεμα ασφαλείας της δεξαμενής.**
 - ☐ θα πρέπει να καλυφθεί η αυξημένη ζήτηση με περιορισμό των διαρροών του δικτύου διανομής.
4. Σε κυκλικούς αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια, το γεγονός ότι ο συντελεστής τραχύτητας n στον τύπο του Manning δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται με τη μεταβολή του βάθους ροής, οφείλεται στο ότι:
 - ☐ **ο τύπος του Manning είναι προσεγγιστικός και δεν αποδίδει με ακρίβεια τη ροή οποιασδήποτε γεωμετρίας.**
 - ☐ σε διαφορετικά βάθη η τραχύτητα έχει διαφορετικές τιμές λόγω της μορφής των αποθέσεων φερτών ή αλάτων.
 - ☐ η ροή αναδύει διαλυμένα αέρια (π.χ. H_2S , O_2) με ρυθμό που εξαρτάται από το βάθος ροής.
5. Ο βαθμός απόδοσης μιας τυπικής φυγοκεντρικής αντλίας του εμπορίου:
 - ☐ είναι σταθερός, ανεξάρτητος της παροχής λειτουργίας της αντλίας.
 - ☐ είναι αντιστρόφως ανάλογος της παροχής λειτουργίας της αντλίας.
 - ☐ **μεγιστοποιείται για μια χαρακτηριστική τιμή της παροχής λειτουργίας της αντλίας.**
6. Μεγάλες ταχύτητες ροής σε τμήμα υδρευτικού δικτύου διανομής συνεπάγονται ότι στους αντίστοιχους αγωγούς:
 - ☐ **πραγματοποιούνται μεγάλες ενεργειακές απώλειες.**
 - ☐ υπάρχει πιθανότητα σημαντικών διαρροών νερού.
 - ☐ υπάρχει κίνδυνος χημικής διάβρωσης των σωλήνων.
7. Αν το δίκτυο διανομής μιας αστικής περιοχής επεκταθεί σε μεγαλύτερα υψόμετρα κατά 50 m σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό, τότε οι νέες ανάγκες θα καλυφθούν με:
 - ☐ αύξηση της χωρητικότητας της υφιστάμενης δεξαμενής.
 - ☐ **επιπρόσθετη δεξαμενή ανάντη της υφιστάμενης και χωρισμό του δικτύου σε πιεζομετρικές ζώνες.**
 - ☐ κατασκευή υδατόπυργων στα χαμηλά σημεία του δικτύου.
8. Στο τμήμα AB του υδρευτικού δικτύου διανομής η φορά ροής καθορίζεται από:
 - ☐ **τα ενεργειακά ύψη στα σημεία A και B.**
 - ☐ την κλίση του εδάφους μεταξύ των σημείων A και B.
 - ☐ την κλίση του αγωγού AB.
9. Αν κατά τη διάρκεια ισχυρής καταιγίδας σηκωθούν καπάκια φρεατίων σε αγωγό ακαθάρτων και υπάρξουν υπερχeilίσεις στο οδόστρωμα, αυτό θα σημαίνει ότι:
 - ☐ η περίοδος επαναφοράς της συγκεκριμένης βροχής είναι μεγαλύτερη από την περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού του δικτύου ομβρίων.
 - ☐ οι αρμόδιες υπηρεσίες αμέλησαν τον καθαρισμό των φρεατίων υδροσυλλογής.
 - ☐ **υπάρχουν παράνομες συνδέσεις ομβρίων στο δίκτυο ακαθάρτων.**
10. Η παροχή σχεδιασμού του κατάντη αγωγού ακαθάρτων ΓΔ είναι μικρότερη από το άθροισμα των παροχών των ανάντη αγωγών ΑΓ και ΒΓ που συμβάλλουν στο φρεάτιο Γ, για το λόγο ότι:
 - ☐ η εξίσωση συνέχειας ισχύει μόνο για καθαρό νερό και όχι για ακάθαρτα.
 - ☐ στο φρεάτιο Γ υπάρχουν διαρροές.
 - ☐ **δεν συμπίπτουν οι χρόνοι πραγματοποίησης των παροχών αιχμής στους τρεις αγωγούς.**

Αστική περιοχή υδροδοτείται από χαλύβδινο αγωγό, μήκους 6000 m και διαμέτρου 250 mm, που μεταφέρει νερό από πηγή σε υψόμετρο +175 m, σε δεξαμενή ανώτατης στάθμης +165 m. Ο αγωγός είχε σχεδιαστεί ώστε να εξυπηρετεί 7500 κατοίκους, με ειδική κατανάλωση (μέση ημερήσια) 190 L/d/κ. Επειδή η περιοχή παρουσιάζει ραγδαία ανάπτυξη, αποφασίστηκε η ενίσχυση του συστήματος, ώστε να εξυπηρετεί 50% περισσότερο πληθυσμό σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό, χωρίς διαφοροποίηση της ειδικής κατανάλωσης και των μεγεθών χρονικής διακύμανσης της ζήτησης. Για το σκοπό αυτό εξετάζονται δύο εναλλακτικές διατάξεις: (1) η κατασκευή αντλιοστασίου αμέσως κατάντη της πηγής, με χρήση του υφιστάμενου αγωγού ως καταθλιπτικού, ή (2) η κατασκευή ανακουφιστικού αγωγού βαρύτητας από HDPE 16 atm, παράλληλα στον υφιστάμενο.

(α) Να εκτιμηθεί ο συντελεστής ημερήσιας αιχμής (λ_H) με βάση τον οποίο διαστασιολογήθηκε ο αγωγός.

(β) Να εκτιμηθούν οι παροχές σχεδιασμού και τα χαρακτηριστικά μεγέθη των δύο διατάξεων, ήτοι: (1) για την πρώτη διάταξη το μανομετρικό ύψος, η εγκατεστημένη ισχύς και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας του αντλιοστασίου (θεωρήστε παράλληλη λειτουργία δύο αντλιών επί 18 ώρες ημερησίως, με βαθμό απόδοσης 80%), και (2) για τη δεύτερη διάταξη η διάμετρος του παράλληλου ανακουφιστικού αγωγού.

(γ) Να υπολογιστούν τα κόστη των δύο διατάξεων, ώστε να επιλεγεί η πιο οικονομική από τις δύο. Θεωρήστε ωφέλιμη διάρκεια ζωής έργων Π/Μ 40 έτη και έργων Η/Μ 20 έτη, επιτόκιο αναγωγής 4.0%, κόστος προμήθειας και εγκατάστασης αγωγών 60×10^D (€/m, όπου D η διάμετρος εμπορίου σε m), κόστος προμήθειας και εγκατάστασης αντλιών 800 €/kW, κόστος ενέργειας με τις επιβαρύνσεις 0.08 €/kWh.

Ερώτημα (α)

Το υδροδοτικό σύστημα έχει σχεδιαστεί για μέση ημερήσια παροχή $Q_E = 7500 \times 0.190 / 86400 = 0.0165 \text{ m}^3/\text{s}$. Η μέγιστη ημερήσια παροχή θεωρείται ότι ταυτίζεται με την παροχευτικότητα του εξωτερικού υδραγωγείου (αφού πρόκειται για αγωγό βαρύτητας), η οποία εκτιμάται με βάση τα χαρακτηριστικά του αγωγού. Για κλίση ενέργειας $J = (175 - 165) / 6000 = 0.0017$, υπολογιστική διάμετρο ίση με την εξωτερική ($D = 0.250 \text{ m}$) και συντελεστή τραχύτητας $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$ (τυπική τιμή σχεδιασμού), επιλύεται η γενικευμένη εξίσωση Manning ως προς την παροχή και προκύπτει $Q_H = 0.0260 \text{ m}^3/\text{s}$. Συνεπώς, ο συντελεστής ημερήσιας αιχμής ανέρχεται σε $\lambda_H = 0.0260 / 0.0165 = 1.58$, τιμή που κρίνεται εύλογη για περιοχή όπου αναπτύσσονται οικιακές χρήσεις¹.

¹ Στην πραγματικότητα, στο σχεδιασμό θα πρέπει να είχε ληφθεί λίγο πιο μικρός συντελεστής, προφανώς $\lambda_H = 1.50$, και συνακόλουθα εκτιμήθηκε αντίστοιχα μικρότερη ημερήσια παροχή αιχμής. Η τελική αυξημένη παροχή προέκυψε επειδή η θεωρητική διάμετρος που υπολογίστηκε στρογγυλεύτηκε στην αμέσως μεγαλύτερη τιμή εμπορίου ($D = 250 \text{ mm}$).

Ερώτημα (β1)

Δεδομένου ότι τόσο η ειδική κατανάλωση όσο και ο συντελεστής χρονικής διακύμανσης της ζήτησης διατηρούνται σταθερά, η μέγιστη ημερήσια παροχή για το νέο σχεδιασμό προκύπτει αυξάνοντας την υφιστάμενη κατά 50%, ήτοι $Q_H' = 1.50 \times 0.0260 = 0.0390 \text{ m}^3/\text{s}$.

Η πρώτη διάταξη αφορά στην κατασκευή αντλιοστασίου αμέσως κατάντη της πηγής, με σκοπό την αύξηση των ενεργειακού διαθέσιμου και, συνακόλουθα, της παροχетеυτικότητας του υφιστάμενου αγωγού, με χρήση του ως καταθλιπτικού. Αφού το αντλιοστάσιο λειτουργεί 18 ώρες ημερησίως, η παροχή σχεδιασμού του αγωγού προσαυξάνεται κατά 24/18 σε σχέση με τη μέγιστη ημερήσια, οπότε λαμβάνεται ίση με $Q_A = 24/18 \times 0.0390 = 0.0520 \text{ m}^3/\text{s}$. Η εν λόγω παροχή θα ισομοιράζεται μεταξύ των δύο αντλιών του συγκροτήματος (εφόσον προφανώς αυτές αποδίδουν την ίδια ισχύ¹).

Για την παραπάνω παροχή, από τη γενικευμένη εξίσωση Manning υπολογίζεται η απαιτούμενη κλίση της πιεζομετρικής γραμμής σε $J = 0.0065$, οπότε οι ενεργειακές απώλειες μεταξύ του αντλιοστασίου (σε ενεργειακό υψόμετρο πρακτικά ίσο με αυτό της πηγής, ήτοι +175 m) και της ανώτατης στάθμης της δεξαμενής (+165 m) ανέρχονται σε $h_f = 0.0065 \times 6000 = 39.3 \text{ m}$. Συνεπώς, το μανομετρικό ύψος του αντλιοστασίου (κοινό για τις δύο αντλίες) εκτιμάται σε $H_\mu = h_f - (z_\Pi - z_\Delta) = 39.3 - 10.0 = 29.3 \text{ m}$.

Για βαθμό απόδοσης 80%, η συνολική ισχύς του αντλιοστασίου εκτιμάται σε $P = \gamma Q H_\mu / \eta = 18.7 \text{ KW}$ (όπου $\gamma = 9.81 \text{ kN/m}^3$). Η ισχύς αυτή ισομοιράζεται στις δύο αντλίες², ενώ ακόμη θεωρείται μια τρίτη εφεδρική, για λόγους ασφαλείας. Συνεπώς, η εγκατεστημένη ισχύς του αντλιοστασίου ανέρχεται σε $P_{\text{εγκ}} = 1.5 \times 18.7 = 28.0 \text{ kW}$.

Τέλος, η κατανάλωση ενέργειας προκύπτει με βάση την ετήσια ζήτηση νερού στο πέρας της περιόδου σχεδιασμού, η οποία εκτιμάται σε $V_E = 1.50 \times 7000 \times 0.190 \times 365 = 780\,188 \text{ m}^3$ (ο συντελεστής 1.50 αναφέρεται στην αύξηση του πληθυσμού σχεδιασμού της αρχικής μελέτης κατά 50%). Η ετήσια ενέργεια δίνεται από τη σχέση $E = \gamma V_E H_\mu / \eta = 280\,094\,362 \text{ kJ}$ ή $77\,804 \text{ kWh}$ ($1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$).

Ερώτημα (β2)

Η παροχή σχεδιασμού για τη δεύτερη διάταξη, ήτοι τον παράλληλο αγωγό από HDPE 16 atm, είναι ίση με τη διαφορά της ζητούμενης από την παροχетеυτικότητα του υφιστάμενου χαλύβδινου αγωγού, ήτοι $0.0390 - 0.0260 = 0.0130 \text{ m}^3/\text{s}$. Η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής λαμβάνεται ίση με $J = (175 - 165) / 6000 = 0.0017$ (κοινή για τους δύο αγωγούς), ενώ και πάλι θεωρείται ισοδύναμη τραχύτητα $\epsilon = 1.0 \text{ mm}$, καθώς το έργο σχεδιάζεται για χρονικό ορίζοντα 40 ετών. Επιλύοντας τη γενικευμένη εξίσωση Manning ως προς τη διάμετρο προκύπτει $D = 0.193 \text{ m}$, η οποία στρογγυλεύεται στην αμέσως μεγαλύτερη διάμετρο εμπορίου, ήτοι 250 mm (με εσωτερική διάμετρο 204.6 mm).

Ερώτημα (γ)

Η ωφέλιμη οικονομική ζωή των έργων Π/Μ (αγωγός HDPE – διάταξη 2) ανέρχεται σε 40 έτη, ενώ των έργων Η/Μ (αντλιοστάσιο – διάταξη 1) σε 20 έτη. Συνεπώς, τα έργα της πρώτης διάταξης πρέπει να αντικατασταθούν στο πέρας των 20 πρώτων ετών.

Το κόστος αγοράς και τοποθέτησης του αντλιοστασίου, για εγκατεστημένη ισχύ 28.0 kW, ανέρχεται σε $800 \times 28.0 = 22\,400 \text{ €}$. Στα 20 έτη, ο εξοπλισμός πρέπει να αντικατασταθεί, οπότε η σχετική δαπάνη ανάγεται σε αρχικό κόστος, με βάση τη σχέση $P = F(1+i)^n$, όπου i ο συντελεστής απόσβεσης κεφαλαίου και n ο χρόνος απόσβεσης σε έτη. Συνεπώς, το κόστος αντικατάστασης σε σημερινές τιμές ισούται με $22\,400 / (1 + 0.04)^{20} = 10\,223 \text{ €}$, ενώ το ολικό πάγιο κόστος του αντλιοστασίου ανέρχεται

¹ Για να μειωθεί το κόστος του αντλιοστασίου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί συνδυασμοί αντλιών, ενώ τις περιόδους που επαρκεί η παροχетеυτικότητα του αγωγού να μη γίνεται καθόλου χρήση των αντλιών.

² Με την προϋπόθεση ότι διατίθενται στο εμπόριο αντλίες των 9.35 KW.

σε $22\,400 + 10\,223 = 32\,623$ €. Το συνολικό πάγιο κόστος ανάγεται σε ετήσια απόσβεση κεφαλαίου, με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$A = P \frac{i(1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]} = 32\,623 \frac{0.04(1+0.04)^{20}}{[(1+0.04)^{20} - 1]} = 2\,400 \text{ €}$$

Στο παραπάνω κόστος προστίθεται η ετήσια δαπάνη για την κατανάλωση ενέργειας, η οποία ισούται με $0.08 \times 77\,804 = 6\,225$ €. Συνεπώς, το συνολικό ανηγμένο κόστος της πρώτης διάταξης εκτιμάται σε $2\,400 + 6\,224 = 8\,625$ €.

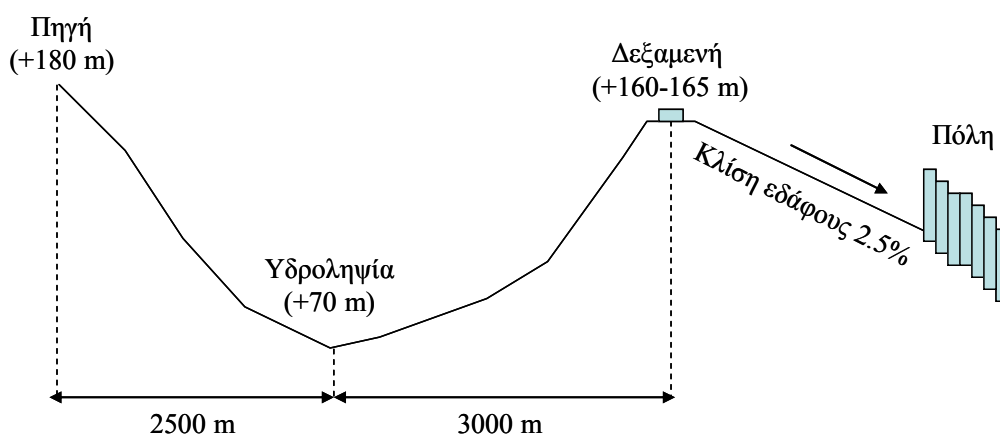
Το ανά μονάδα μήκους κόστος αγοράς και τοποθέτησης του αγωγού, για διάμετρο εμπορίου 250 mm, εκτιμάται σε $60 \times 10^{0.250} = 106.7$ €/m. Για μήκος αγωγού 6000 m, προκύπτει πάγιο κόστος 640 181 €, το οποίο ανάγεται σε ετήσια απόσβεση κεφαλαίου θεωρώντας χρόνο απόσβεσης 40 έτη, ήτοι:

$$A = 640\,181 \frac{0.04(1+0.04)^{40}}{[(1+0.04)^{40} - 1]} = 32\,344 \text{ €}$$

Συνεπώς, η λύση του αντλιοστασίου είναι εμφανώς πιο οικονομική σε σύγκριση με την κατασκευή παράλληλου αγωγού.

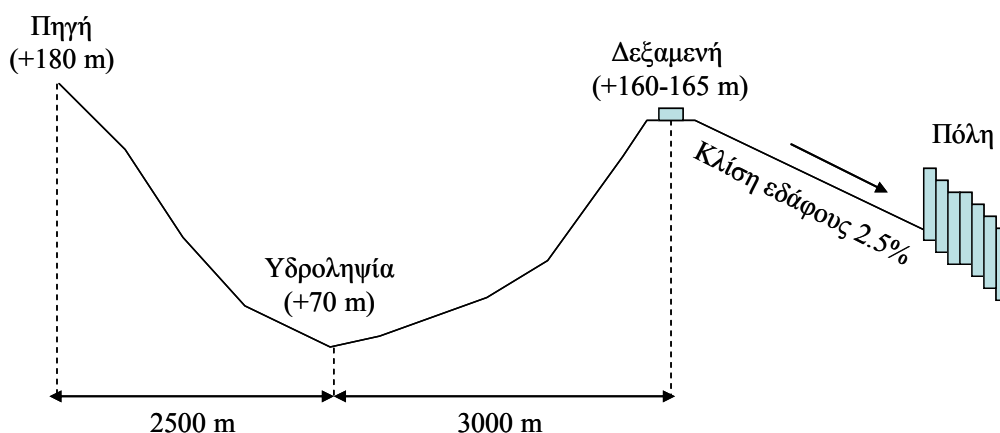
	A	B	Γ	Δ
DA (mm)	240	240	303	303
DB (mm)	303	341	341	303
JA	1.8%	2.5%	1.0%	0.5%
JB	1.00%	1.10%	1.20%	1.00%
(y/D)A	0.45	0.42	0.43	0.4
(y/D)B	0.46	0.49	0.47	0.45
ΠΜ1	30%	30%	30%	30%
ΠΜ2	10%	10%	10%	10%
n0	0.015	0.015	0.015	0.015
Θερινές παροχές				
A				
D (m)	0.240	0.240	0.303	0.303
Q/Q0	0.330	0.290	0.303	0.265
Q0 (m3/s)	0.0620	0.0731	0.0861	0.0609
Q (m3/s)	0.0205	0.0212	0.0261	0.0161
B				
D (m)	0.303	0.341	0.341	0.303
Q/Q0	0.343	0.385	0.357	0.330
Q0 (m3/s)	0.0861	0.1237	0.1292	0.0861
Q (m3/s)	0.0296	0.0477	0.0461	0.0284
Χειμερινές παροχές				
QA (m3/s)	0.0143	0.0149	0.0183	0.0113
QB (m3/s)	0.0207	0.0334	0.0323	0.0199
QA' (m3/s)	0.0129	0.0134	0.0164	0.0102
QB' (m3/s)	0.0336	0.0467	0.0487	0.0300
Έλεγχος αγωγού B				
Q/Q0	0.390	0.378	0.377	0.349
y/D	0.493	0.485	0.484	0.464
y (m)	0.150	0.165	0.165	0.141
V0 (m/s)	1.194	1.354	1.415	1.194
V/V0	0.794	0.786	0.786	0.768
V (m/s)	0.947	1.065	1.112	0.917

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 m³ για οικιακές και 80 000 m³ για βιομηχανικές χρήσεις μικρής κλίμακας. Ακόμη, την ημέρα αιχμής, ο ρυθμός εισροής νερού στη δεξαμενή ανήλθε σε 80 m³/h. Σύμφωνα με αναθεωρημένη υδρογεωλογική μελέτη του υδροφορέα που τροφοδοτεί την πηγή, η παροχή των 80 m³/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. (1 μονάδα)
- (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. (2.5 μονάδες)
- (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. (2 μονάδες)
- (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. (1 μονάδα)
- (ε) Για τον πληθυσμό που υπολογίστηκε στο ερώτημα (β), εκτιμήστε την απαιτούμενη παροχετευτικότητα 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. (1 μονάδα)
- (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. (2.5 μονάδες)

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 m³ για οικιακές και 80 000 m³ για βιομηχανικές χρήσεις μικρής κλίμακας. Ακόμη, την ημέρα αιχμής, ο ρυθμός εισροής νερού στη δεξαμενή ανήλθε σε 80 m³/h. Σύμφωνα με αναθεωρημένη υδρογεωλογική μελέτη του υδροφορέα που τροφοδοτεί την πηγή, η παροχή των 80 m³/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 παροχετευτικότητα 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 $Q_{E, \text{αστ.}} = 400\,000 / 365 / 86\,400 = 0.0127 \text{ m}^3/\text{s} = 12.7 \text{ L/s}$.

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 $Q_{H, \text{βιομ.}} = 80\,000 / 250 / 86\,400 = 0.0037 \text{ m}^3/\text{s} = 3.7 \text{ L/s}$. 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 $80\,000 / 3600 = 22.2 \text{ L/s}$ (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 $Q_{H, \text{αστ.}} = 22.2 - 3.7 = 18.5 \text{ L/s}$, 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 L/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 m και τραχύτητα 1.0 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 $H_Y = 180.0 - 3.7 = 176.2 \text{ m}$.¹

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 παροχή², 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 L/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)

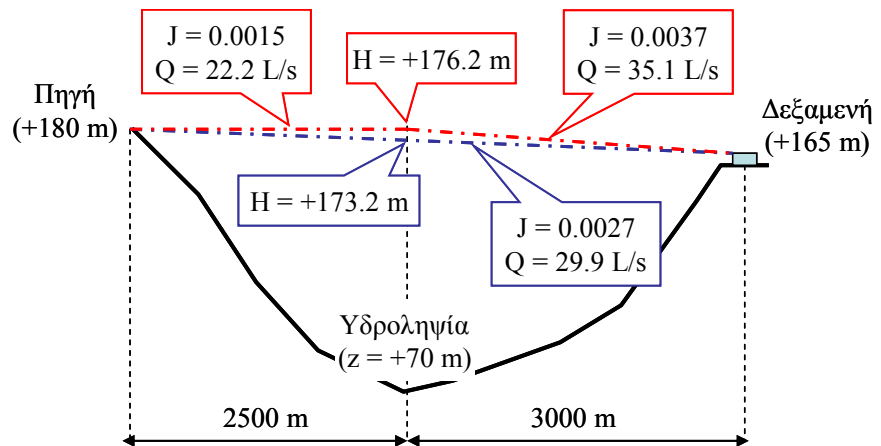
Η μέγιστη παροχή που θα μπορούσε να μεταφερθεί από το υδραγωγείο (αν δεν υπήρχε ο υδρογεωλογικός περιορισμός της πηγής) εξαρτάται από τη διαθέσιμη κλίση ενέργειας μεταξύ της πηγής και της δεξαμενής, η οποία ισούται με $J_{\Pi-\Delta} = (180.0 - 165.0) / 5000 = 0.0027$. Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από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

¹ 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).

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

m^3/h ή 22.2 L/s), αλλά μικρότερη από αυτή του κατάντη ($J_{Y-\Delta} = 0.0037$), στο οποίο εισάγεται και η παροχή μέσω του έργου υδροληψίας (συνολικά 35.1 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.¹

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 $180.0 - 0.0027 \times 2500 = 173.2 \text{ m}$.



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 atm . Κατά συνέπεια, ο αγωγός των 12.5 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 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 ($\lambda_\alpha = 2.0$), ενώ η παροχή για βιομηχανική χρήση προκύπτει άμεσα, με βάση τις ώρες λειτουργίας των βιομηχανικών μονάδων, σε $\lambda_\alpha = 24 / 8 = 3.0$. Συνεπώς, η απαιτούμενη παροχετευτικότητα 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 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 τετράωροφα κτήρια, με βάση τον περιορισμό $p/\gamma \geq 4(n + 1)$, ισούται με 20.0 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

¹ Αν γίνουν οι σχετικοί υπολογισμοί, η παροχετευτικότητα του υδραγωγείου χωρίς την παρεμβολή του έργου υδροληψίας ισούται με 29.9 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 $z = 133.0 \text{ m}$, $L = 1080 \text{ m}$.

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

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ Α

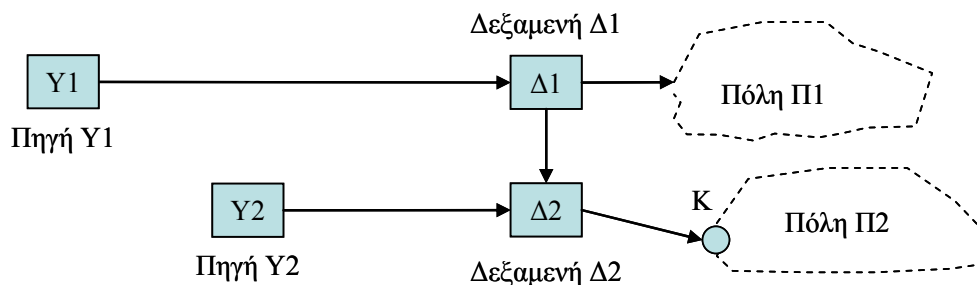
Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με -0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Σε πόλη που υδροδοτείται μέσω αντλιοστασίου, ο συντελεστής ωριαίας αιχμής της κατανάλωσης εξαρτάται από:
 - ☐ τις ώρες λειτουργίας του αντλιοστασίου.
 - ☐ τις καθημερινές συνήθειες των καταναλωτών.
 - ☐ τον ρυθμιστικό όγκο της δεξαμενής.
2. Το κόστος των εκσκαφών για την κατασκευή ενός δικτύου ομβρίων είναι χαμηλότερο όταν οι κλίσεις εδάφους της περιοχής είναι:
 - ☐ πολύ ήπιες.
 - ☐ μέτριες.
 - ☐ πολύ απότομες.
3. Ποιες εργασίες προηγούνται του ελέγχου μέγιστων πιέσεων ενός δικτύου διανομής;
 - ☐ Μαθηματική προσομοίωση του δικτύου σε συνθήκες μέγιστης κατανάλωσης.
 - ☐ Αποτύπωση των υψομέτρων της περιοχής μελέτης και χωροθέτηση της δεξαμενής.
 - ☐ Χάραξη του δικτύου σε οριζοντιογραφία και αρχική επιλογή διαμέτρων των αγωγών.
4. Σε αγωγό ακαθάρτων, η ροή υπό πίεση αποφεύγεται μεταξύ άλλων για να μην προκληθούν προβλήματα:
 - ☐ παραγωγής υδροθείου.
 - ☐ μηχανικής διάβρωσης των τοιχωμάτων του.
 - ☐ αρνητικών πιέσεων σε μεγάλα υψόμετρα.
5. Όταν σταδιακά κλείνουμε μια δικλείδα, η μείωση της παροχής που προκαλείται έχει την εξής αιτιολόγηση:
 - ☐ μειώνεται το εμβαδό της διατομής με συνέπεια, για σταθερή ταχύτητα νερού, να διέρχεται μικρότερη παροχή.
 - ☐ προκαλούνται τοπικές απώλειες με συνέπεια να μειώνεται η κλίση ενέργειας και, συνακόλουθα, η παροχή.
 - ☐ δημιουργείται υδραυλικό πλήγμα, το οποίο προκαλεί υπερπίεσεις και, συνακόλουθα, μείωση της παροχής.
6. Η παροχή που αποδίδει μια δεδομένη αντλία:
 - ☐ είναι καθορισμένη και δίνεται από τον κατασκευαστή της.
 - ☐ εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της αντλίας και τον ρυθμό περιστροφής της.
 - ☐ εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της αντλίας και τα χαρακτηριστικά του καταθλιπτικού αγωγού.
7. Σε περίπτωση δίωρης βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου μιας πόλης, το δίκτυο διανομής αναμένεται να λειτουργεί:
 - ☐ κανονικά.
 - ☐ με μειωμένη πίεση.
 - ☐ με μειωμένη παροχή.
8. Η μέγιστη δυνατή υδραυλική ακτίνα σε αποχετευτικό αγωγό με διάμετρο D παρατηρείται όταν το βάθος ροής είναι περίπου:
 - ☐ $D/2$.
 - ☐ D .
 - ☐ 80% D .
9. Αν στο μαθηματικό μοντέλο ενός δικτύου διανομής δοθούν αυθαίρετες αρχικές τιμές ενεργειακών υψομέτρων, τότε:
 - ☐ δεν θα επαληθεύονται οι εξισώσεις συνέχειας στους κόμβους.
 - ☐ δεν θα μπορεί να καθοριστεί η φορά της ροής στους αγωγούς.
 - ☐ δεν θα μπορεί να συγκλίνει το αριθμητικό σχήμα επίλυσης.
10. Αν το 5% των σπιτιών μιας πόλης συνδέουν παράνομα τις υδρορροές τους στο δίκτυο ακαθάρτων, τότε η ολική παροχή στο δίκτυο ακαθάρτων σε σχέση με την αμιγή παροχή ακαθάρτων αναμένεται να είναι:
 - ☐ αυξημένη κατά 5%.
 - ☐ αυξημένη σημαντικά, αλλά χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στο δίκτυο λόγω του περιθωρίου αερισμού.
 - ☐ αυξημένη σε βαθμό πλήρους υδραυλικής ανεπάρκειας του δικτύου.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ Παραλλαγή Α

Άσκηση υδρεύσεων (μονάδες 4)

Μελετάται η γενική διάταξη των νέων έργων ύδρευσης της πόλης Π2, που θα λειτουργούν συνδυαστικά με το υφιστάμενο αξιόπιστο σύστημα έργων της γειτονικής πόλης Π1, όπως φαίνεται στο Σχήμα. Η πόλη Π1 υδροδοτείται από τον αγωγό βαρύτητας Υ1-Δ1, μήκους 5500 m και εσωτερικής διαμέτρου 300 mm, που μεταφέρει νερό από την πηγή Υ1, σε υψόμετρο +190.0 m, στη δεξαμενή ρύθμισης Δ1, ανώτατης στάθμης +160.0 m. Τους θερινούς μήνες, η ωριαία δυναμικότητα της πηγής Υ1 εκτιμάται σε 250 m³/h, ενώ σύμφωνα με τη μελέτη, η μέγιστη ημερήσια ζήτηση της πόλης Π1 δεν προβλέπεται να ξεπεράσει τα 5000 m³/d. Προτείνεται μέρος των υδατικών αναγκών της πόλης Π2 να εξυπηρετείται από το υφιστάμενο σύστημα, με σύνδεση των δεξαμενών Δ1 και Δ2, ενώ οι λοιπές ανάγκες να καλύπτονται από την πηγή Υ2, που βρίσκεται σε υψόμετρο +165.0 m και σε απόσταση 3000 m από τη δεξαμενή Δ2. Ο σχεδιασμός των υδροδοτικών έργων της πόλης Π2 γίνεται για 12000 μόνιμους κατοίκους και 2500 παραθεριστές, με ειδική κατανάλωση 180 και 240 L/d/κ, αντίστοιχα.



- Να υπολογιστεί η περίσσεια νερού που θα μπορεί να δοθεί την ημέρα αιχμής μέσω του αγωγού Δ1-Δ2 για την υδροδότηση της πόλης Π2.
- Να εκτιμηθούν ο ρυθμιστικός όγκος της δεξαμενής Δ2 και η παροχή σχεδιασμού του αγωγού Υ2-Δ2.
- Να επιλεγούν η κατώτατη και ανώτατη στάθμη της δεξαμενής Δ2 και να εξεταστεί η αναγκαιότητα ή όχι δημιουργίας πιεζομετρικών ζωνών, λαμβάνοντας υπόψη η πόλη Π2 εκτείνεται από τα +65.0 έως τα +125.0 m (κόμβος Κ) και εξυπηρετεί κτήρια έως 3 ορόφους. Θεωρήστε, προσεγγιστικά, ότι το μήκος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού Δ2-Κ είναι 1500 m, και υποθέστε ενεργειακές απώλειες 5.0 m/km την ώρα αιχμής.
- Για το υψόμετρο δεξαμενής που επιλέχθηκε, να υπολογιστεί η διάμετρος του αγωγού βαρύτητας Υ2-Δ2.
- Σε περίπτωση πολύωρης βλάβης του αγωγού Υ1-Δ1, να προταθεί εναλλακτικός τρόπος υδροδότησης της πόλης Π1, με την προσθήκη κατάλληλων διατάξεων στο υπό μελέτη σχήμα έργων.

© Α. Ευστρατιάδης & Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

Οι αγωγοί ομβρίων Α και Β, με (ίδια) διάμετρο 80 cm, βάθος (μετρούμενο από την άντυγα) 1.0 m, παροχές σχεδιασμού στο τελικό τμήμα τους 490 και 343 L/s, αντίστοιχα, και χρόνους συγκέντρωσης 11 και 15 min, αντίστοιχα, συμβάλλουν στον αγωγό Γ.

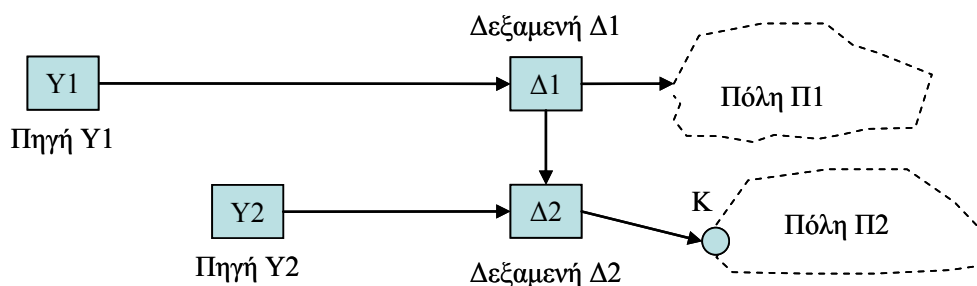
- Να υπολογιστεί η παροχή σχεδιασμού του αγωγού Γ με δεδομένα ότι (1) οι επιπρόσθετες εισροές, πέραν αυτών των αγωγών Α και Β, είναι αμελητέες, (2) οι χρόνοι ροής στα τελικά τμήματα των αγωγών Α και Β είναι αμελητέοι, και (3) η όμβρια καμπύλη σχεδιασμού είναι $i = 35/(d + 0.10)^{0.80}$, όπου i η ένταση βροχής σε mm/h και d η διάρκεια βροχής σε h.
- Να διαστασιολογηθεί και να ελεγχθεί ο αγωγός Γ αν η κλίση εδάφους είναι 1.0%.
- Να εκτιμηθεί το είδος των προβλημάτων στον αγωγό αν πραγματοποιηθεί βροχόπτωση με ένταση κατά 25% μεγαλύτερη της έντασης βροχής σχεδιασμού (για να απαντήσετε ελέγξετε την επάρκεια του αγωγού για την αυξημένη ένταση).

© Δ. Κουτσογιάννης

Γενική διάταξη και χαρακτηριστικά μεγέθη έργων ύδρευσης πόλης που λειτουργούν σε συνδυασμό με υφιστάμενο σχήμα έργων (εξέταση Σεπτεμβρίου 2008)

Σύνταξη και επίλυση άσκησης: Α. Ευστρατιάδης & Α. Κουτσογιάννης

Μελετάται η γενική διάταξη των νέων έργων ύδρευσης της πόλης Π2, που θα λειτουργούν συνδυαστικά με το υφιστάμενο αξιόπιστο σύστημα έργων της γειτονικής πόλης Π1, όπως φαίνεται στο Σχήμα. Η πόλη Π1 υδροδοτείται από τον αγωγό βαρύτητας Y1-Δ1, μήκους 5500 m και εσωτερικής διαμέτρου 300 mm, που μεταφέρει νερό από την πηγή Y1, σε υψόμετρο +190.0 m, στη δεξαμενή ρύθμισης Δ1, ανώτατης στάθμης +160.0 m. Τους θερινούς μήνες, η ωριαία δυναμικότητα της πηγής Y1 εκτιμάται σε 250 m³/h, ενώ σύμφωνα με τη μελέτη, η μέγιστη ημερήσια ζήτηση της πόλης Π1 δεν προβλέπεται να ξεπεράσει τα 5000 m³/d. Προτείνεται μέρος των υδατικών αναγκών της πόλης Π2 να εξυπηρετείται από το υφιστάμενο σύστημα, με σύνδεση των δεξαμενών Δ1 και Δ2, ενώ οι λοιπές ανάγκες να καλύπτονται από την πηγή Y2, που βρίσκεται σε υψόμετρο +165.0 m και σε απόσταση 3000 m από τη δεξαμενή Δ2. Ο σχεδιασμός των υδροδοτικών έργων της πόλης Π2 γίνεται για 12000 μόνιμους κατοίκους και 2500 παραθεριστές, με ειδική κατανάλωση 180 και 240 L/d/κ, αντίστοιχα.



α) Να υπολογιστεί η περίσσεια νερού που θα μπορεί να δοθεί την ημέρα αιχμής μέσω του αγωγού Δ1-Δ2 για την υδροδότηση της πόλης Π2.

β) Να εκτιμηθούν ο ρυθμιστικός όγκος της δεξαμενής Δ2 και η παροχή σχεδιασμού του αγωγού Y2-Δ2.

γ) Να επιλεγούν η κατώτατη και ανώτατη στάθμη της δεξαμενής Δ2 και να εξεταστεί η αναγκαιότητα ή όχι δημιουργίας πιεζομετρικών ζωνών, λαμβάνοντας υπόψη η πόλη Π2 εκτείνεται από τα +65.0 έως τα +125.0 m (κόμβος K) και εξυπηρετεί κτήρια έως 3 ορόφους. Θεωρήστε, προσεγγιστικά, ότι το μήκος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού Δ2-K είναι 1500 m, και υποθέστε ενεργειακές απώλειες 5.0 m/km την ώρα αιχμής.

δ) Για το υψόμετρο δεξαμενής που επιλέχθηκε, να υπολογιστεί η διάμετρος του αγωγού βαρύτητας Y2-Δ2.

ε) Σε περίπτωση πολύωρης βλάβης του αγωγού Y1-Δ1, να προταθεί εναλλακτικός τρόπος υδροδότησης της πόλης Π1, με την προσθήκη κατάλληλων διατάξεων στο υπό μελέτη σχήμα έργων.

Ερώτημα (α)

Συγκρίνονται οι μέγιστες ημερήσιες ανάγκες της πόλης Π1 σε σχέση με τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους και την ποσότητα νερού που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός Y1-Δ1. Η ημερήσια δυναμικότητα της πηγής Y1 τους θερινούς μήνες ισούται με $250 \times 24 = 6000 \text{ m}^3/\text{d}$, ενώ η παροχευτικότητα του αγωγού ισούται με $0.077 \text{ m}^3/\text{s}$ ή $6642 \text{ m}^3/\text{d}$ (η τιμή αυτή προκύπτει για μήκος 5500 m, διάμετρο 300 mm, ισοδύναμη τραχύτητα 1.0 mm και ενεργειακές απώλειες $190.0 - 160.0 = 30.0 \text{ m}$). Συνεπώς, η περίσσεια νερού που μπορεί να δοθεί για την υδροδότηση της πόλης Π2 την ημέρα αιχμής ισούται με $\Delta V = 5000 - \min(6000, 6642) = 1000 \text{ m}^3/\text{d}$.

Ερώτημα (β)

Εκτιμούμε τη μέγιστη ημερήσια ζήτηση της πόλης Π2, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά μεγέθη των δύο χρήσεων νερού (οικιακή, παραθεριστική). Συγκεκριμένα, για την οικιακή χρήση θεωρούμε συντελεστή

ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.50$, οπότε η αντίστοιχη μέγιστη ημερήσια παροχή εκτιμάται σε $Q_H^{(αστ.)} = 1.50 \times 12000 \times 180 / 86400 = 37.5 \text{ L/s}$, ενώ για την παραθεριστική χρήση θεωρούμε συντελεστή ημερήσιας αιχμής $\lambda_H = 1.10$, οπότε η αντίστοιχη μέγιστη ημερήσια παροχή εκτιμάται σε $Q_H^{(παρ.)} = 1.10 \times 2500 \times 240 / 86400 = 7.6 \text{ L/s}$. Συνολικά, οι υδατικές ανάγκες της Π2 την ημέρα αιχμής ανέρχονται σε $(37.5 + 7.6) \times 86400 / 1000 = 3900 \text{ m}^3/\text{d}$, από τα οποία $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ μεταφέρονται μέσω του αγωγού Δ1-Δ2. Κατά συνέπεια, η παροχή σχεδιασμού του αγωγού Υ2-Δ2 υπολογίζεται σε $(3900 - 1000) / 86400 = 0.0336 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ ο ρυθμιστικός όγκος της δεξαμενής Δ2 εκτιμάται ως το 30% του μέγιστου ημερήσιου, ήτοι $0.30 \times 3900 = 1170 \text{ m}^3$.

Ερώτημα (γ)

Η κατώτατη στάθμη ύδατος (ΚΣΥ) της δεξαμενής Δ2 τοποθετείται στο ελάχιστο υψόμετρο για το οποίο ικανοποιείται οριακά ο περιορισμός ελάχιστων πιέσεων στην κεφαλή του δικτύου διανομής (κόμβος Κ), που είναι και ο υψηλότερος της πόλης (+125.0 m). Για τριώροφα κτήρια, το ελάχιστο ύψος πίεσης που απαιτείται είναι 16.0 m, που αντιστοιχεί σε ενεργειακό υψόμετρο $125.0 + 16.0 = 141.0 \text{ m}$. Για ενεργειακές απώλειες $0.005 \times 1500 = 7.5 \text{ m}$ κατά μήκος του αγωγού Δ2-Κ, η ΚΣΥ ανέρχεται σε $141.0 + 7.5 = +148.5 \text{ m}$.

Επιλέγοντας ωφέλιμο ύψος 3.0 m, η ανώτατη στάθμη ύδατος (ΑΣΥ) της δεξαμενής τοποθετείται στα +151.5 m. Για την εν λόγω στάθμη, ελέγχονται τα μέγιστα ύψη πίεσης που αναπτύσσονται στο δίκτυο διανομής, και αναφέρονται στις (θεωρητικές) συνθήκες μηδενικής κατανάλωσης, ήτοι οριζόντιας πιεζομετρικής γραμμής. Ο έλεγχος γίνεται στο χαμηλότερο υψόμετρο της πόλης, όπου το μέγιστο ύψος πίεσης υπολογίζεται σε $151.5 - 65.0 = 86.5 \text{ m}$, δηλαδή ξεπερνά το επιτρεπόμενο όριο των 60-70 m. Συνεπώς, θα απαιτηθεί διαχωρισμός του δικτύου διανομής σε δύο υδραυλικά ανεξάρτητες πιεζομετρικές ζώνες, π.χ. με την τοποθέτηση φρεατίου σε κάποιο ενδιάμεσο υψόμετρο.

Ερώτημα (δ)

Η διάμετρος του αγωγού Υ2-Δ2 υπολογίζεται για μήκος 3000 m, ενεργειακές απώλειες $165.0 - 151.5 = 13.5 \text{ m}$ (διαφορά υψομέτρου πηγής Υ2 και ΑΣΥ δεξαμενής Δ2), ισοδύναμη τραχύτητα 1.0 mm (ασφαλής τιμή για σχεδιασμό) και παροχή σχεδιασμού $0.0336 \text{ m}^3/\text{s}$. Η εν λόγω (θεωρητική) διάμετρος είναι ίση 227.8 mm, και στρογγυλεύεται στην αμέσως επόμενη διαθέσιμη εσωτερική διάμετρο των αγωγών εμπορίου, π.χ. 246.8 mm για αγωγό HDPE 10.0 atm διαμέτρου Φ280 mm.

Ερώτημα (ε)

Σε περίπτωση πολύωρης βλάβης του αγωγού Υ1-Δ1 δεν θα είναι δυνατή η τροφοδοσία της πόλης Π1 από το απόθεμα ασφαλείας της δεξαμενής Δ1. Για το λόγο αυτό, προτείνεται η τοποθέτηση αντλίας στο κατάντη πέρας του αγωγού Δ1-Δ2, ώστε αυτός να μπορεί να λειτουργεί και αμφίδρομα, μεταφέροντας δηλαδή νερό από τη δεξαμενή Δ2 προς τη Δ1. Με αυτή τη διάταξη, θα μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο το απόθεμα ασφαλείας της δεξαμενής Δ2 όσο και η πλεονάζουσα παροχευτικότητα του αγωγού Υ2-Δ2. Επισημαίνεται ότι, ακόμα και την ημέρα αιχμής, η εν λόγω παροχευτικότητα δεν εξαντλείται για την τροφοδοσία της πόλης Π2, καθώς η διάμετρος εμπορίου που εφαρμόζεται είναι μεγαλύτερη από την θεωρητική.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ Α

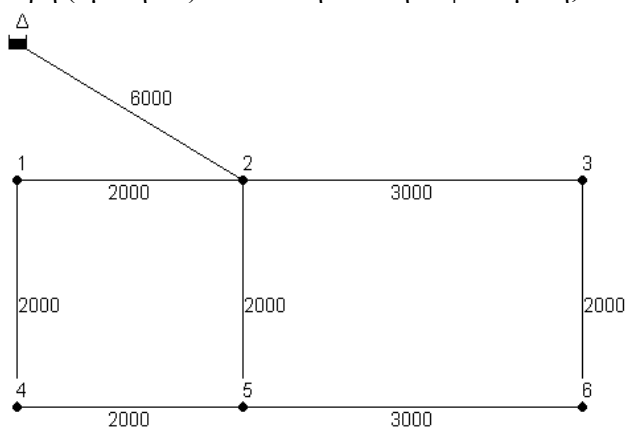
Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με -0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Σε μελέτη εξωτερικού υδραγωγείου παροχής σχεδιασμού 20 L/s, για τη διάβαση ενός ορεινού όγκου ύψους 200 m πάνω από τη στάθμη της υδροληψίας ενδείκνυται:
 - ☐ η τοποθέτηση αντλιοστασίου.
 - ☐ η διάνοιξη σήραγγας.
 - ☐ η παρεμβολή σίφωνα.
2. Κατά τη διαστασιολόγηση ενός δικτύου διανομής έγινε μαθηματική προσομοίωση της λειτουργίας του και προέκυψαν αρνητικές πιέσεις σε ορισμένους κόμβους. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος θα χρειαστεί:
 - ☐ αύξηση των διαμέτρων των αγωγών του δικτύου.
 - ☐ διαχωρισμός του δικτύου σε πιεζομετρικές ζώνες.
 - ☐ περισσότερες επαναλήψεις στο αριθμητικό σχήμα επίλυσης.
3. Οι παροχές των αγωγών ενός δικτύου ομβρίων:
 - ☐ υπολογίζονται με επίλυση των εξισώσεων συνέχειας του δικτύου.
 - ☐ υπολογίζονται διαδοχικά (από τα ανάντη προς τα κατόντη), αθροίζοντας κάθε φορά τις ανάντη παροχές.
 - ☐ εκτιμώνται με βάση τις ανάντη επιφάνειες και τους χρόνους ροής.
4. Τετραώροφο κτήριο βρίσκεται σε υψόμετρο εδάφους 20 m χαμηλότερα από την κατώτατη στάθμη της δεξαμενής και σε απόσταση 1 km από αυτή. Αυτό σημαίνει ότι:
 - ☐ είναι βέβαιο ότι δεν θα φτάνει καθόλου νερό στην ταράτσα.
 - ☐ θα εξασφαλίζεται οριακά το ελάχιστο ζητούμενο ύψος πίεσης στην ταράτσα (4 m).
 - ☐ είναι πιθανό να φτάνει νερό στην ταράτσα, αλλά με ύψος πίεσης μικρότερο του επιθυμητού.
5. Σύστημα καταθλιπτικού αγωγού με δύο αντλίες σε παράλληλη διάταξη μεταφέρει παροχή 50 L/s, όταν λειτουργούν και οι δύο αντλίες. Σε περίπτωση που λειτουργεί μόνο η μία αντλία, η παροχή θα είναι:
 - ☐ μικρότερη από 25 L/s.
 - ☐ ίση με 25 L/s.
 - ☐ μεγαλύτερη από 25 L/s.
6. Αν ανοίγοντας το καπάκι ενός φρεατίου επίσκεψης δούμε ότι στον πυθμένα του φρεατίου πραγματοποιείται ροή που απάγεται σε σωλήνα 200 mm, τότε το υπόψη φρεάτιο ανήκει στο δίκτυο:
 - ☐ αποχέτευσης ομβρίων.
 - ☐ ύδρευσης.
 - ☐ αποχέτευσης ακαθάρτων.
7. Κατά το σχεδιασμό ενός αγωγού ακαθάρτων, μεριμνούμε ώστε η γραμμή ενέργειας να βρίσκεται:
 - ☐ τουλάχιστον 1.0 m πάνω από το οδόστρωμα.
 - ☐ τουλάχιστον 4.0 m κάτω από το δάπεδο των υπογείων των κτηρίων.
 - ☐ αρκετά κάτω από το οδόστρωμα.
8. Δεξαμενή που τροφοδοτείται από καταθλιπτικό αγωγό και αντλιοστάσιο 12ωρης λειτουργίας σε σχέση με δεξαμενή που τροφοδοτείται αποκλειστικά από αγωγό βαρύτητας απαιτεί, για την ίδια μέγιστη ημερήσια ζήτηση,
 - ☐ αυξημένο ρυθμιστικό όγκο και ίδιο όγκο ασφαλείας για το ενδεχόμενο βλάβης.
 - ☐ ίδιο ρυθμιστικό όγκο και αυξημένο όγκο ασφαλείας για το ενδεχόμενο βλάβης.
 - ☐ αυξημένο ρυθμιστικό όγκο και αυξημένο όγκο ασφαλείας για το ενδεχόμενο βλάβης.
9. Η ροή με ελεύθερη επιφάνεια σε εξωτερικά υδραγωγεία:
 - ☐ αντενδείκνυται γιατί δεν εξασφαλίζει την αναγκαία πίεση στους καταναλωτές.
 - ☐ καθίσταται οικονομική όταν η μεταφερόμενη παροχή είναι μεγάλη.
 - ☐ είναι συνήθης για μικρούς οικισμούς.
10. Η υδραυλική ακτίνα σε αγωγό κυκλικής διατομής διαμέτρου D για ποσοστό πλήρωσης πάνω από 50%
 - ☐ κυμαίνεται από 0 έως $D/4$.
 - ☐ είναι ίση με $D/4$.
 - ☐ είναι ίση ή μεγαλύτερη από $D/4$.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ Παραλλαγή Α

Άσκηση υδρεύσεων (μονάδες 4)

Στο Σχήμα απεικονίζεται η σχηματοποίηση του δικτύου διανομής οικισμού (δίνονται τα μήκη των κλάδων, σε m), το οποίο έχει επιλυθεί για το δυσμενέστερο σενάριο φόρτισης που αναφέρεται σε συνθήκες μέγιστης ωραίας ζήτησης και ενεργοποίησης δύο πυροσβεστικών κρουνών, συνολικής παροχής 10 L/s (βλ. Πίνακα). Το δίκτυο εξυπηρετεί αστικές χρήσεις και βιομηχανική μονάδα 8ωρης λειτουργίας, που καταναλώνει 100 m³ ημερησίως. Η υδροδότηση του οικισμού γίνεται από τη δεξαμενή Δ, κατώτατης στάθμης +155.0 m και ωφέλιμου ύψους 3.0 m. Τα έργα ανάντη της δεξαμενής περιλαμβάνουν υδροληπτικό έργο σε υψόμετρο +165.0 m και πλαστικό αγωγό βαρύτητας, μήκους 9000 m και εσωτερικής διαμέτρου 250 mm. Επειδή, όπως προκύπτει από την επίλυση του δικτύου, παρατηρείται ανεπάρκεια πιέσεων σε ορισμένους κόμβους, εξετάζονται είτε η αντικατάσταση της διαμέτρου του αγωγού Δ-2 είτε η κατασκευή νέας δεξαμενής Δ' σε μικρή (αμελητέα) απόσταση από την υφιστάμενη, και σε κατάλληλο υψόμετρο.



Πίνακας: Υψόμετρα εδάφους και ύψη πίεσης κόμβων, για το δυσμενέστερο σενάριο φόρτισης.

Κόμβος	Υψόμετρο εδάφους (m)	Ύψος πίεσης (m)
1	127.5	20.6
2	130.4	18.2
3	136.2	11.2
4	123.8	23.9
5	129.7	17.5
6	133.5	14.1

- Να υπολογιστεί η παροχή μελέτης του τροφοδοτικού αγωγού Δ-2, εσωτερικής διαμέτρου 300 mm, και με βάση αυτή να εκτιμηθεί η παροχή του εξωτερικού υδραγωγείου την ημέρα αιχμής.
- Να υπολογιστεί το μέγιστο έλλειμμα πίεσης στους κόμβους του δικτύου, με δεδομένο ότι αναπτύσσονται διώροφα κτήρια στην περιοχή 2-3-6-5-2 και τετραώροφα στην περιοχή 1-2-5-4-1, και να υπολογιστεί η απαιτούμενη νέα διάμετρος του αγωγού Δ-2, ώστε να εξασφαλίζεται οριακή επάρκεια πιέσεων.
- Σε περίπτωση που δεν αντικατασταθεί ο αγωγός Δ-2, να υπολογιστεί η ελάχιστη ανώτερη στάθμη ύδατος της νέας δεξαμενής Δ', για την οποία να ελεγχθεί η επάρκεια του εξωτερικού υδραγωγείου.

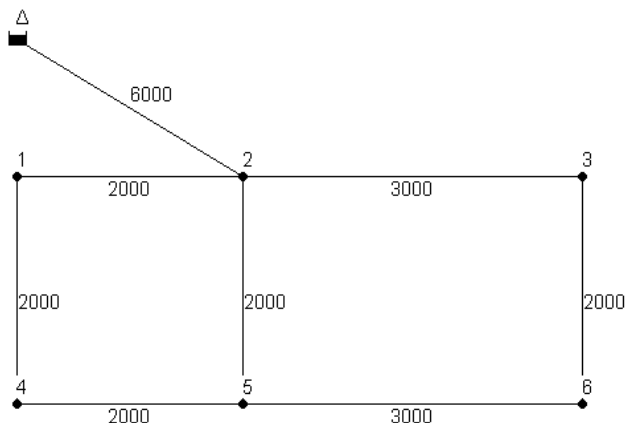
© Α. Ευστρατιάδης & Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

Στην ευθυγραμμία ΑΒ, μήκους 500 m και κλίσης εδάφους 1.0% (Α ανάντη με υψόμετρο εδάφους +100 m, Β κατάντη), ο (υφιστάμενος) αγωγός ακαθάρτων έχει τοποθετηθεί παράλληλα με το έδαφος σε βάθος 2.50 m, ενώ έχει διάμετρο 0.50 m, βάθος ροής σχεδιασμού 0.29 m και παροχή πρακτικώς σταθερή σε όλο το υπόψη μήκος. Αμέσως κατάντη του σημείου Α σχεδιάζεται υπόγεια διάβαση πεζών με συνολικό βάθος κατάληψης 4.0 m (από το οδόστρωμα μέχρι τη θεμελίωση), που θα απαιτήσει ανάλογη εκβάθυνση του αγωγού ακαθάρτων. Να ανασχεδιαστεί ο αγωγός ακαθάρτων από το Α μέχρι το ενδιάμεσο σημείο Γ (πριν το Β) σε τρόπο ώστε το μήκος ΑΓ της επέμβασης να είναι το ελάχιστο δυνατό και η ροή να πραγματοποιείται με ελεύθερη επιφάνεια, και να κατασκευαστεί σκαρίφημα της μηκοτομής του αγωγού (σημειώνοντας την ακριβή θέση του σημείου Γ) πριν και μετά την εκβάθυνση. (Σημείωση: στο τμήμα ΓΒ δεν θα γίνει καμιά μεταβολή).

© Δ. Κουτσογιάννης

Στο Σχήμα απεικονίζεται η σχηματοποίηση του δικτύου διανομής οικισμού (δίνονται τα μήκη των κλάδων, σε m), το οποίο έχει επιλυθεί για το δυσμενέστερο σενάριο φόρτισης που αναφέρεται σε συνθήκες μέγιστης ωριαίας ζήτησης και ενεργοποίησης δύο πυροσβεστικών κρουών, συνολικής παροχής 10 L/s (βλ. Πίνακα). Το δίκτυο εξυπηρετεί αστικές χρήσεις και βιομηχανική μονάδα 8ωρης λειτουργίας, που καταναλώνει 100 m³ ημερησίως. Η υδροδότηση του οικισμού γίνεται από τη δεξαμενή Δ, κατώτατης στάθμης +155.0 m και ωφέλιμου ύψους 3.0 m. Τα έργα ανάντη της δεξαμενής περιλαμβάνουν υδροληπτικό έργο σε υψόμετρο +165.0 m και πλαστικό αγωγό βαρύτητας, μήκους 9000 m και εσωτερικής διαμέτρου 250 mm. Επειδή, όπως προκύπτει από την επίλυση του δικτύου, παρατηρείται ανεπάρκεια πιέσεων σε ορισμένους κόμβους, εξετάζονται είτε η αντικατάσταση της διαμέτρου του αγωγού Δ-2 είτε η κατασκευή νέας δεξαμενής Δ' σε μικρή (αμελητέα) απόσταση από την υφιστάμενη, και σε κατάλληλο υψόμετρο.



Πίνακας: Υψόμετρα εδάφους και ύψη πίεσης κόμβων, για το δυσμενέστερο σενάριο φόρτισης.

Κόμβος	Υψόμετρο εδάφους (m)	Ύψος πίεσης (m)
1	127.5	20.6
2	130.4	18.2
3	136.2	11.2
4	123.8	23.9
5	129.7	17.5
6	133.5	14.1

α) Να υπολογιστεί η παροχή μελέτης του τροφοδοτικού αγωγού Δ-2, εσωτερικής διαμέτρου 300 mm, και με βάση αυτή να εκτιμηθεί η παροχή του εξωτερικού υδραγωγείου την ημέρα αιχμής.

β) Να υπολογιστεί το μέγιστο έλλειμμα πίεσης στους κόμβους του δικτύου, με δεδομένο ότι αναπτύσσονται διώροφα κτήρια στην περιοχή 2-3-6-5-2 και τετραώροφα στην περιοχή 1-2-5-4-1, και να υπολογιστεί η απαιτούμενη νέα διάμετρος του αγωγού Δ-2, ώστε να εξασφαλίζεται οριακή επάρκεια πιέσεων.

γ) Σε περίπτωση που δεν αντικατασταθεί ο αγωγός Δ-2, να υπολογιστεί η ελάχιστη ανώτερη στάθμη ύδατος της νέας δεξαμενής Δ', για την οποία να ελεγχθεί η επάρκεια του εξωτερικού υδραγωγείου..

Ερώτημα (α)

Η παροχή με την οποία έχει μελετηθεί ο αγωγός Δ-2, μήκους 6000 m και διαμέτρου 300 mm, υπολογίζεται για ισοδύναμη τραχύτητα 1.0 mm (ασφαλής τιμή για σχεδιασμό) και ενεργειακές απώλειες $155.0 - (130.4 + 18.2) = 6.4$ m (κατώτατη στάθμη δεξαμενής μείον ενεργειακό υψόμετρο κόμβου 2). Η παροχή αυτή ισούται με 0.0337 m³/s ή 33.7 L/s, και περιλαμβάνει τη μέγιστη ωριαία παροχή της αστικής κατανάλωσης, την παροχή της βιομηχανικής μονάδας, ήτοι $100\,000 / (8 \times 3600) = 3.5$ L/s, και την παροχή πυρόσβεσης, ήτοι 10.0 L/s. Από τα παραπάνω υπολογίζεται η μέγιστη ωριαία αστική ζήτηση σε $33.7 - 3.5 - 10.0 = 20.2$ L/s.

Η παροχή που πρέπει να μεταφέρει το εξωτερικό υδραγωγείο (μέγιστη ημερήσια) εκτιμάται διαιρώντας με τους σχετικούς συντελεστές ανομοιομορφίας, ήτοι 2.0 για αστική χρήση και $24 / 8 = 3.0$ για βιομηχανική (προφανώς δεν λαμβάνεται υπόψη η παροχή πυρόσβεσης, αφού ο αντίστοιχος όγκος καλύπτεται από το απόθεμα ασφαλείας της δεξαμενής). Συνεπώς, η εν λόγω παροχή ισούται με $20.2 / 2.0 + 3.5 / 3.0 = 11.3$ L/s.

Ερώτημα (β)

Το ελάχιστο ύψος πίεσης που οφείλει να εξασφαλίζει το δίκτυο σε συνθήκες μέγιστης φόρτισης ισούται με 20 m στους κόμβους 1, 2, 4 και 5, εκατέρωθεν των οποίων αναπτύσσονται έως τετραώροφα κτήρια, και με 12 m στους κόμβους 3 και 6, εκατέρωθεν των οποίων αναπτύσσονται αποκλειστικά διώροφα κτήρια. Με βάση τα αποτελέσματα της επίλυσης, στους κόμβους 2, 3 και 5 παρατηρείται έλλειμμα πίεσης, που στη δυσμενέστερη περίπτωση (κόμβος 5) ανέρχεται σε $20.0 - 17.5 = 2.5$ m.

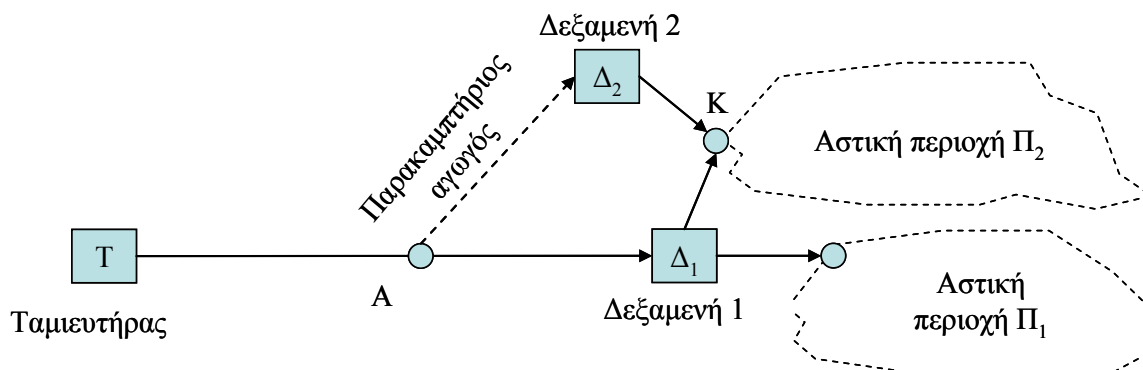
Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα πιέσεων, θα πρέπει να αυξηθεί ισόποσα το ενεργειακό υψόμετρο όλων των κόμβων κατά 2.5 m, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της διαμέτρου του αγωγού Δ-2, τέτοια ώστε οι ενεργειακές του απώλειες να μειωθούν σε $6.4 - 2.5 = 3.9$ m. Για τις εν λόγω απώλειες, ήτοι για κλίση της πιεζομετρικής γραμμής $3.9 / 6000 = 0.0006$, προκύπτει υπολογιστική διάμετρος 330 mm, η οποία στρογγυλεύεται στην αμέσως επόμενη διάμετρο εμπορίου (π.χ. Φ400 mm για αγωγούς HDPE 10 atm).

Ερώτημα (γ)

Με την υπόθεση ότι διατίθεται κατάλληλο υψόμετρο πολύ κοντά στην υφιστάμενη δεξαμενή Δ (έτσι ώστε να διατηρηθεί, πρακτικά, ο υφιστάμενος αγωγός τροφοδοσίας του δικτύου διανομής), κατασκευάζουμε μια νέα δεξαμενή Δ' που είναι ανυψωμένη κατά 2.5 m σε σχέση με τη Δ. Συνεπώς, η μέγιστη στάθμη της νέας δεξαμενής, για ωφέλιμο ύψος 3.0 m, θα ισούται με $155.0 + 3.0 + 2.5 = 160.5$ m.

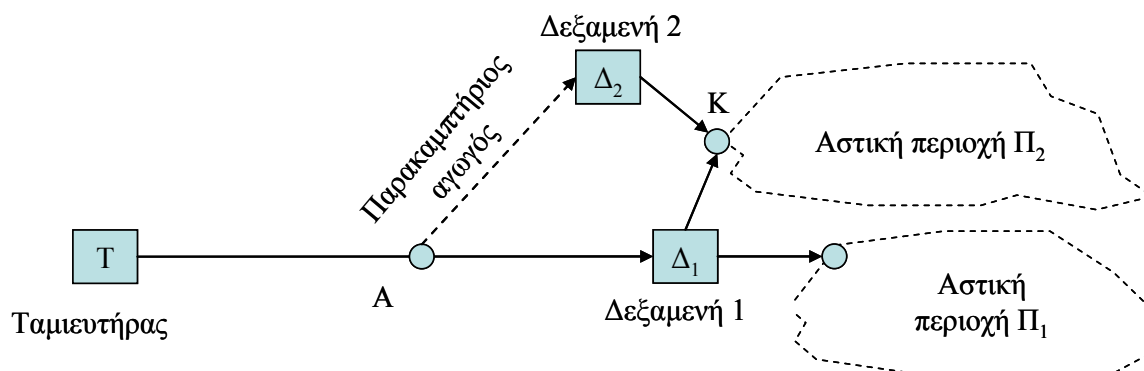
Για την παραπάνω στάθμη, ήτοι για ενεργειακές απώλειες $165.0 - 160.5 = 4.5$ m, και για ισοδύναμη τραχύτητα 1.0 mm, υπολογίζουμε την παροχετευτικότητα του πλαστικού αγωγού βαρύτητας, μήκους 9000 m και εσωτερικής διαμέτρου 250 mm, η οποία ισούται με 0.0141 m³/s ή 14.1 L/s. Η εν λόγω τιμή είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη ημερήσια παροχή της αστικής περιοχής που εκτιμήθηκε προηγουμένως (ήτοι 11.3 L/s). Συνεπώς, με την ανύψωση της δεξαμενής κατά 2.5 m είναι εφικτή η επίλυση του προβλήματος πιέσεων, χωρίς να προκύπτει πρόβλημα επάρκειας του εξωτερικού υδραγωγείου.

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. (1 μονάδα)
- (β) Εξετάστε αν ο υφιστάμενος αγωγός βαρύτητας Τ- Δ_1 επαρκεί για την ταυτόχρονη υδροδότηση των δύο περιοχών, μέσω της δεξαμενής Δ_1 . (1.5 μονάδα)
- (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 μεγέθους (μανομετρικό ύψος, ισχύς, ετήσια κατανάλωση ενέργειας). (2 μονάδες).
- (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 . (2 μονάδες)
- (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. (2 μονάδες)
- (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. (1.5 μονάδα)
- 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.

Η πόλη Π_1 υδρεύεται από τον ταμιευτήρα T , μέσω του χαλύβδινου αγωγού $T-\Delta_1$ 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 A , 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 $T-\Delta_1$ 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 $T-\Delta_1$, με την τοποθέτηση αντλιοστασίου 24ωρης λειτουργίας αμέσως κατάντη του ταμιευτήρα, και εκτιμήστε προσεγγιστικά τα χαρακτηριστικά του μεγέθι (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 $T-\Delta_1$, και εκτιμήστε τον ωφέλιμο όγκο της δεξαμενής Δ_2 .

(ε) Για κάθε διάταξη σχεδιάστε την πιεζομετρική γραμμή κατά μήκος του $T-\Delta_1$ 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-K , 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 K 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 παροχευτικότητα 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 παροχευτικότητας 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)

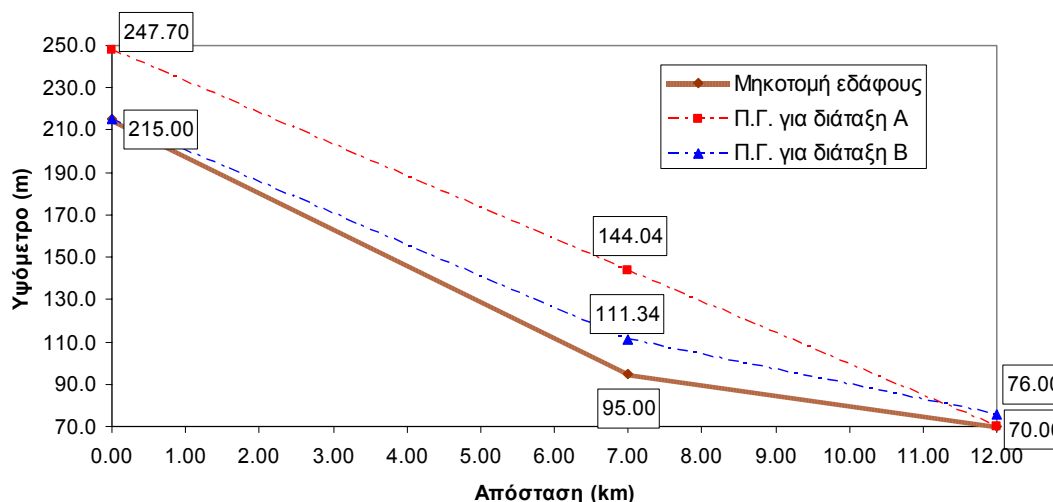
Με τη δεύτερη διάταξη, μεταφέρεται η αθροιστική παροχή αιχμής των 0.192 m³/s στο τμήμα TA, μήκους 7000 m, και η επιμέρους μέγιστη ημερήσια παροχή της περιοχής Π₁ (ήτοι 0.132 m³/s) στο τμήμα ΑΔ₁, μήκους 5000 m. Στο ανάντη τμήμα, η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής είναι η ίδια με την πρώτη διάταξη ($J_{T-A} = 0.015$), 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.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ Α

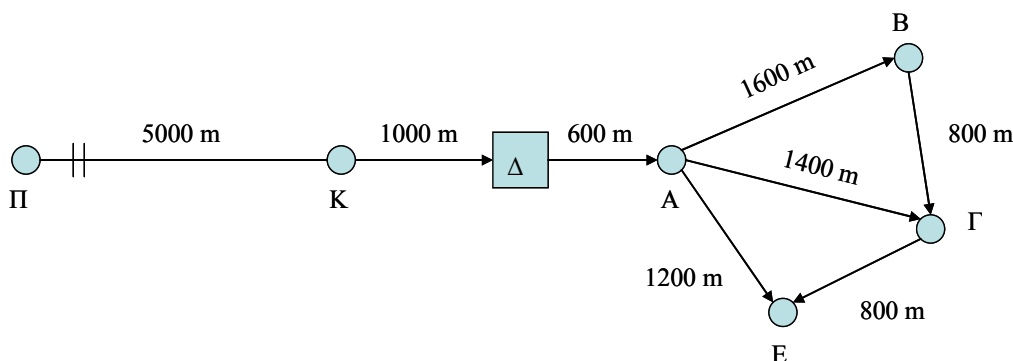
Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με -0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Σε δρόμους με μη αμελητέα κλίση, οι αγωγοί ύδρευσης τοποθετούνται
 - ☐ παράλληλα με τη γραμμή ενέργειας.
 - ☐ παράλληλα με το οδόστρωμα.
 - ☐ παράλληλα με την πιεζομετρική γραμμή.
2. Κατά μήκος μιας διαδρομής σε δίκτυο ομβρίων από τα ανάντη προς τα κατόντη, ο χρόνος συγκέντρωσης
 - ☐ αυξάνεται ανάλογα με το διανυόμενο μήκος.
 - ☐ αυξάνεται μη γραμμικά με το διανυόμενο μήκος.
 - ☐ αυξάνεται ανάλογα με τον αριθμό των ενδιάμεσων φρεατίων.
3. Το απόθεμα ασφαλείας μιας δεξαμενής μπορεί να καλύψει το έλλειμμα που οφείλεται σε
 - ☐ βλάβη του εσωτερικού υδραγωγείου ή πυρκαγιά.
 - ☐ ταυτόχρονη βλάβη του εξωτερικού υδραγωγείου και πυρκαγιά.
 - ☐ βλάβη του εξωτερικού υδραγωγείου ή πυρκαγιά.
4. Για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας παραγωγής υδροθείου είναι προτιμότερο ο αγωγός ακαθάρτων
 - ☐ να είναι πλήρης, ώστε τα λύματα να μην έρχονται σε επαφή με αέρα.
 - ☐ να λειτουργεί με μικρή ταχύτητα, ώστε να αποφεύγεται η μίξη ακαθάρτων και αέρα.
 - ☐ να λειτουργεί με περιορισμένη πληρότητα, ώστε να υπάρχει περιθώριο αερισμού.
5. Τους χειμερινούς μήνες, στη διάρκεια ενός 24ώρου, στο δίκτυο διανομής ενός παραθεριστικού οικισμού αναμένεται
 - ☐ μικρό εύρος διακύμανσης των πιέσεων.
 - ☐ μεγάλο εύρος διακύμανσης των πιέσεων.
 - ☐ σταθερότητα των πιέσεων.
6. Το ζητούμενο των μοντέλων υδραυλικής προσομοίωσης δικτύων διανομής είναι
 - ☐ ο υπολογισμός των παροχών εξόδου των κόμβων.
 - ☐ ο υπολογισμός των ενεργειακών απωλειών των κλάδων.
 - ☐ ο υπολογισμός των διαμέτρων των κλάδων.
7. Η κατασκευή δικτύου ομβρίων σε περιοχή που ο αποδέκτης (υδατόρευμα) έχει ανεπαρκή παροχαρακτηριστικότητα και στη διάρκεια πλημμυρών υπερχειλίζει,
 - ☐ θα μειώσει την παροχή στον αποδέκτη.
 - ☐ θα επιδεινώσει την κατάσταση στον αποδέκτη.
 - ☐ θα μειώσει τη συχνότητα υπερχειλίσεων του αποδέκτη.
8. Αν κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος αντλιοστασίου-καταθλιπτικού αγωγού αυξηθεί, σε σχέση με την αρχικά εξεταζόμενη λύση, η ισχύς του αντλιοστασίου, τότε το κόστος του καταθλιπτικού αγωγού
 - ☐ θα αυξηθεί.
 - ☐ θα παραμείνει σταθερό.
 - ☐ θα μειωθεί.
9. Σε υδραγωγείο υπό πίεση δεδομένης διαμέτρου, με αντλιοστάσιο στην κεφαλή του και δεξαμενή στο πέρας του, για να αυξηθεί η παροχή λειτουργίας θα πρέπει
 - ☐ θα αυξηθεί η αποδιδόμενη ισχύς των αντλιών.
 - ☐ να μειωθεί το μανομετρικό ύψος χωρίς μεταβολή στην ισχύ.
 - ☐ να μειωθεί ο χρόνος λειτουργίας του αντλιοστασίου στη διάρκεια του 24ώρου.
10. Ποιος είναι ο κρίσιμος υδραυλικός έλεγχος για αγωγό ακαθάρτων που τοποθετείται σε δρόμο με μεγάλη κλίση;
 - ☐ Ο έλεγχος του ποσοστού πλήρωσης.
 - ☐ Ο έλεγχος της μέγιστης ταχύτητας.
 - ☐ Ο έλεγχος της ελάχιστης ταχύτητας.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ Παραλλαγή Α

Άσκηση υδρεύσεων (μονάδες 4)

Οικισμός υδροδοτείται από παλαιό πλαστικό αγωγό, εσωτερικής διαμέτρου 140 mm, που μεταφέρει νερό από την πηγή Π, σε σταθερό υψόμετρο +180 m, στη δεξαμενή Δ, ανώτατης στάθμης +165 m και ωφέλιμου ύψους 5 m, όπως φαίνεται στο σκαρίφημα. Στον ενδιάμεσο κόμβο Κ, σε υψόμετρο +135 m, υπάρχει διάταξη έκτακτης παροχέτευσης πυροσβεστικού νερού, για την αντιμετώπιση πυρκαγιάς σε παρακείμενη δασική έκταση. Κατάντη της δεξαμενής απεικονίζονται οι πρωτεύοντες αγωγοί του δικτύου διανομής, το οποίο εξυπηρετεί αστικές και τουριστικές χρήσεις. Ο μόνιμος πληθυσμός είναι 1400 κάτοικοι, ενώ οι τουριστικές δραστηριότητες αναπτύσσονται αποκλειστικά στη ζώνη Α-Ε-Γ.



α) Να υπολογιστούν η μέγιστη ημερήσια παροχή που μπορεί να μεταφέρει το εξωτερικό υδραγωγείο, ο μέγιστος αριθμός τουριστών που μπορεί να εξυπηρετηθεί από το υφιστάμενο σύστημα και η αντίστοιχη ετήσια κατανάλωση νερού στον οικισμό. Θεωρήστε ειδική κατανάλωση 180 L/d για τους μόνιμους κατοίκους και 250 L/d για τους τουρίστες. Η τουριστική περίοδος διαρκεί 3 μήνες (1.5 μονάδα).

β) Να εκτιμηθεί η παροχή εξόδου του κόμβου Α για τουριστική χρήση, με δεδομένο ότι κατά μήκος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού ΔΑ δεν υπάρχουν συνδέσεις, ενώ σε όλο το υπόλοιπο μήκος του δικτύου υπάρχουν αμφίπλευρες συνδέσεις (1.0 μονάδα).

γ) Να υπολογιστεί η μέγιστη παροχή πυρόσβεσης που μπορεί να δοθεί μέσω του κόμβου Κ από το σύστημα πηγή-αγωγός-δεξαμενή, αν το απαιτούμενο ύψος πίεσης στον εν λόγω κόμβο είναι 20 m, και να χαραχθεί η πιεζομετρική γραμμή σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας και δασικής πυρκαγιάς (1.0 μονάδα).

δ) Να υπολογιστεί το απόθεμα ασφαλείας της δεξαμενής, θεωρώντας το δυσμενέστερο από τα σενάρια 3ωρης πυρκαγιάς στη δασική έκταση, 4ωρης πυρκαγιάς στον οικισμό, με ταυτόχρονη λειτουργία 2 πυροσβεστικών κρουών παροχής 5 L/s, και 6ωρης βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου (0.5 μονάδα).

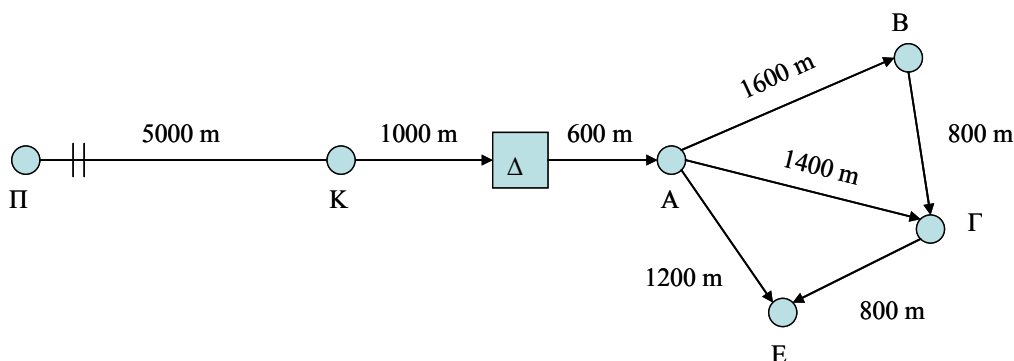
© Α. Ευστρατιάδης και Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

Λοφώδης περιοχή έκτασης 5 ha που βρίσκεται σε φυσική κατάσταση πρόκειται να ενταχθεί στο σχέδιο πόλης και να οικοδομηθεί. Ως τώρα τα όμβρια της υπόψη περιοχής, μαζί με άλλα της κατάντη, αστικής ήδη, περιοχής, έκτασης 10 ha, αποχετεύονται μέσω υφιστάμενου αγωγού ομβρίων, που στο τελευταίο τμήμα του, πριν εκβάλει σε αστικό υδατόρευμα, έχει διάμετρο 1.0 m και κλίση 1.0%. Ζητείται να ελεγχθεί η επάρκεια του τελικού τμήματος του αγωγού ομβρίων πριν και μετά την ένταξη της νέας περιοχής στο σχέδιο πόλης, και σε περίπτωση ανεπάρκειας, να προταθούν μέτρα (διαχειριστικά ή κατασκευαστικά) αντιμετώπισης του προβλήματος (χωρίς υπολογισμούς). Η όμβρια καμπύλη της περιοχής για την περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού (10 ετών) είναι $i = 35 / (t + 0.1)^{0.70}$ [t σε h, i σε mm/h]. Εκτιμάται ότι με την αστικοποίηση, αν δεν ληφθεί καμιά ειδική μέριμνα, ο συντελεστής απορροής της νέας περιοχής θα αυξηθεί από 0.40 σε 0.65 (όσο και στην ήδη αστική περιοχή) και ο συνολικός χρόνος ροής μέχρι το τέλος του αγωγού θα μειωθεί από 19 σε 15 min.

© Δ. Κουτσογιάννης

Ο οικισμός υδροδοτείται από παλαιό πλαστικό αγωγό, εσωτερικής διαμέτρου 140 mm, που μεταφέρει νερό από την πηγή Π, σε σταθερό υψόμετρο +180 m, στη δεξαμενή Δ, ανώτατης στάθμης +165 m και ωφέλιμου ύψους 5 m, όπως φαίνεται στο σκαρίφημα. Στον ενδιάμεσο κόμβο Κ, σε υψόμετρο +135 m, υπάρχει διάταξη έκτακτης παροχέτευσης πυροσβεστικού νερού, για την αντιμετώπιση πυρκαγιάς σε παρακείμενη δασική έκταση. Κατάντη της δεξαμενής απεικονίζονται οι πρωτεύοντες αγωγοί του δικτύου διανομής, το οποίο εξυπηρετεί αστικές και τουριστικές χρήσεις. Ο μόνιμος πληθυσμός είναι 1400 κάτοικοι, ενώ οι τουριστικές δραστηριότητες αναπτύσσονται αποκλειστικά στη ζώνη Α-Ε-Γ.



α) Να υπολογιστούν η μέγιστη ημερήσια παροχή που μπορεί να μεταφέρει το εξωτερικό υδραγωγείο, ο μέγιστος αριθμός τουριστών που μπορεί να εξυπηρετηθεί από το υφιστάμενο σύστημα και η αντίστοιχη ετήσια κατανάλωση νερού στον οικισμό. Θεωρήστε ειδική κατανάλωση 180 L/d για τους μόνιμους κατοίκους και 250 L/d για τους τουρίστες. Η τουριστική περίοδος διαρκεί 3 μήνες.

β) Να εκτιμηθεί η παροχή εξόδου του κόμβου Α για τουριστική χρήση, με δεδομένο ότι κατά μήκος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού ΔΑ δεν υπάρχουν συνδέσεις, ενώ σε όλο το υπόλοιπο μήκος του δικτύου υπάρχουν αμφίπλευρες συνδέσεις.

γ) Να υπολογιστεί η μέγιστη παροχή πυρόσβεσης που μπορεί να δοθεί μέσω του κόμβου Κ από το σύστημα πηγή-αγωγός-δεξαμενή, αν το απαιτούμενο ύψος πίεσης στον εν λόγω κόμβο είναι 20 m, και να χαραχθεί η πιεζομετρική γραμμή σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας και δασικής πυρκαγιάς.

δ) Να υπολογιστεί το απόθεμα ασφαλείας της δεξαμενής, θεωρώντας το δυσμενέστερο από τα σενάρια 3ωρης πυρκαγιάς στη δασική έκταση, 4ωρης πυρκαγιάς στον οικισμό, με ταυτόχρονη λειτουργία 2 πυροσβεστικών κρουνών παροχής 5 L/s, και 6ωρης βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου.

Ερώτημα (α)

Η μέγιστη ημερήσια παροχή που μπορεί να μεταφέρει το εξωτερικό υδραγωγείο ταυτίζεται με την παροχευτικότητα του αγωγού ΠΔ, η οποία υπολογίζεται θεωρώντας τη δεξαμενή στην ανώτατη στάθμη της, οπότε για σταθερό υψόμετρο πηγής, οι ενεργειακές απώλειες είναι $180 - 165 = 15$ m. Επειδή ο αγωγός είναι παλιός, θεωρούμε ισοδύναμη τραχύτητα $\varepsilon = 1.0$ mm, που αντιστοιχεί σε

αδιαστατοποιημένη τραχύτητα $\varepsilon^* = \varepsilon / \varepsilon_0 = 1/0.05 = 20$. Θεωρώντας το σύνηθες εύρος διαμέτρων και ταχυτήτων, οι συντελεστές της γενικευμένης εξίσωσης Manning είναι:

$$\beta = 0.3 + 0.0005 \varepsilon^* + 0.02 / (1 + 6.8 \varepsilon^*) = 0.310$$

$$\gamma = 0.096 / (1 + 0.31 \varepsilon^*) = 0.0133$$

$$N = 0.00687 (1 + 1.6 \varepsilon^*)^{0.16} = 0.0120$$

Η γενικευμένη εξίσωση Manning επιλύεται ως προς την παροχή, για διάμετρο $D = 0.140$ m και κλίση $J = 15 / 6000 = 0.0025$, οπότε:

$$Q = \frac{\pi}{2^{3+\beta}} N D^{(5+\beta)/2} J^{(1+\gamma)/2} = 0.0069 \text{ m}^3/\text{s}$$

Συνεπώς, η παροχή που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός ανέρχεται σε 6.9 L/s.

Η παραπάνω παροχή εξυπηρετεί αστικές και τουριστικές χρήσεις. Η μέση ημερήσια παροχή που αντιστοιχεί στις αστικές χρήσεις προκύπτει με βάση τον αριθμό των μόνιμων κατοίκων (1400) και την αντίστοιχη ειδική κατανάλωση (180 L/d), και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q_{E(\mu\text{ον})} = 1400 \times 180 / 86400 = 2.9 \text{ L/s}$$

Η αντίστοιχη μέγιστη ημερήσια παροχή εκτιμάται με βάση τον τυπικό συντελεστή ημερήσιας αιχμής, ($\lambda_H = 1.50$), και ισούται με:

$$Q_{H(\mu\text{ον})} = 1.50 \times 2.9 = 4.4 \text{ L/s}$$

Η υπολειπόμενη ποσότητα, ήτοι $6.9 - 4.4 = 2.5$ L/s, αντιστοιχεί στη μέγιστη ημερήσια παροχή που μπορεί να δοθεί θα τουριστική χρήση. Η αντίστοιχη μέση ημερήσια παροχή εκτιμάται με βάση τον τυπικό συντελεστή ημερήσιας αιχμής των τουριστών ($\lambda_H = 1.10$) και ισούται με:

$$Q_{E(\text{τουρ})} = 2.5 / 1.1 = 2.3 \text{ L/s}$$

Θεωρώντας ειδική κατανάλωση 250 L/d, προκύπτει ότι ο μέγιστος αριθμός τουριστών που μπορεί να εξυπηρετηθεί από το σύστημα ανέρχεται σε:

$$\Pi_{\text{τουρ}} = 2.3 \times 86400 / 250 = 780 \text{ άτομα}$$

Ο ετήσιος όγκος νερού υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη μέση ημερήσια παροχή για κάθε χρήση με την αντίστοιχη διάρκεια εκδήλωσης της εν λόγω χρήσης. Εφόσον η αστική χρήση εκδηλώνεται όλο το έτος (365 ημέρες), ενώ η τουριστική για 3 μήνες (120 ημέρες), προκύπτει ετήσια ζήτηση ίση με:

$$V_{\text{ετήσιο}} = (2.9 \times 365 + 2.3 \times 120) \times 86.4 = 115\,383 \text{ m}^3$$

Ερώτημα (β)

Εφόσον η μέγιστη ημερήσια παροχή για τουριστική χρήση ανέρχεται σε 2.5 L/s, η αντίστοιχη μέγιστη ωριαία τιμή της, θεωρώντας τον τυπικό συντελεστή αιχμής $\lambda_\Omega = 1.50$, ισούται με:

$$Q_{\Omega(\text{τουρ})} = 1.50 \times 2.5 = 3.7 \text{ L/s}$$

Η παροχή αυτή διανέμεται στους κόμβους Α, Ε και Γ, γύρω από τους οποίους αναπτύσσονται τουριστικές δραστηριότητες. Το ποσοστό συμμετοχής κάθε κόμβου εκτιμάται με βάση τα αντίστοιχα ισοδύναμα μήκη των αγωγών που συντρέχουν, τα οποία είναι:

$$L_{A\Gamma}^* = 0.5 \times \theta_{A\Gamma} \times L_{A\Gamma} = 0.5 \times 0.5 \times 1400 = 350 \text{ m}$$

$$L_{AE}^* = 0.5 \times \theta_{AE} \times L_{AE} = 0.5 \times 1.0 \times 1200 = 600 \text{ m}$$

$$L_{E\Gamma}^* = 0.5 \times \theta_{E\Gamma} \times L_{E\Gamma} = 0.5 \times 1.0 \times 800 = 400 \text{ m}$$

Στους υπολογισμούς θεωρήθηκε συντελεστής πυκνότητας $\theta_{AG} = 0.5$ για τον κλάδο ΑΓ, δεδομένου ότι εξυπηρετεί τουριστικές χρήσεις μόνο από τη μία πλευρά του.

Με βάση τα παραπάνω, υπολογίζονται τα ισοδύναμα μήκη επιρροής κάθε κόμβου ως εξής:

$$L_A^* = L_{AG}^* + L_{AE}^* = 350 + 600 = 950 \text{ m}$$

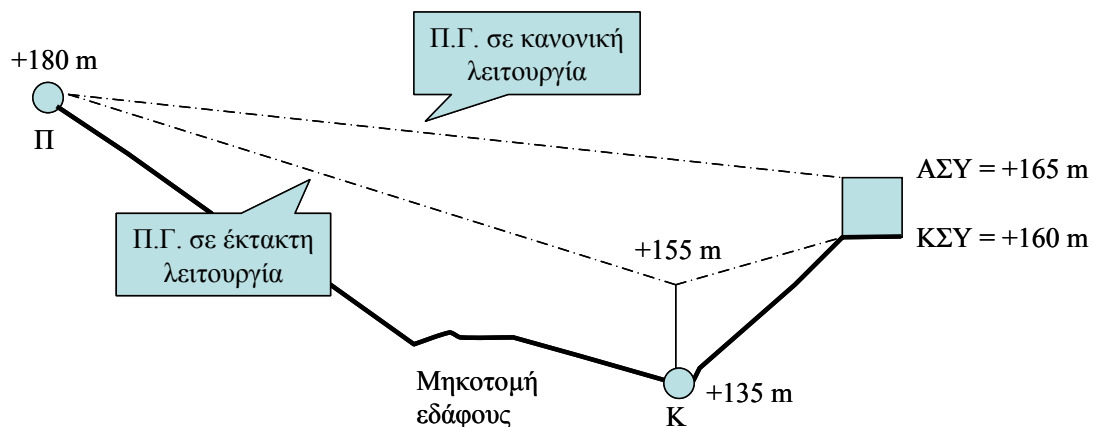
$$L_E^* = L_{AE}^* + L_{EG}^* = 600 + 400 = 1000 \text{ m}$$

$$L_G^* = L_{AG}^* + L_{EG}^* = 350 + 400 = 750 \text{ m}$$

Το συνολικό ισοδύναμο μήκος επιρροής για τουριστικές χρήσεις είναι $L^* = 2700 \text{ m}$, οπότε το ποσοστό συμμετοχής του κόμβου Α είναι $w_A = L_A^* / L^* = 950 / 2700 = 0.352$. Συνεπώς, η παροχή εξόδου του εν λόγω κόμβου για την εξυπηρέτηση τουριστών είναι $0.352 \times 3.7 = 1.3 \text{ L/s}$.

Ερώτημα (γ)

Αφού το απαιτούμενο ύψος πίεσης στον κόμβο Κ είναι 20 m , η αντίστοιχη στάθμη της πιεζομετρικής γραμμής είναι $H_K = 135 + 20 = 155 \text{ m}$. Η στάθμη αυτή βρίσκεται χαμηλότερα από την κατώτατη στάθμη της δεξαμενής ($165 - 5 = 160 \text{ m}$), που σημαίνει ότι η πυροσβεστική διάταξη στον εν λόγω κόμβο μπορεί να τροφοδοτηθεί τόσο από την πηγή όσο και από τη δεξαμενή. Η πιεζομετρική γραμμή, σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας και δασικής πυρκαγιάς, φαίνεται στο σκαρίφημα.



Η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής από την πηγή Π στον κόμβο Κ είναι $J_{ΠΚ} = (180 - 155) / 5000 = 0.005$. Επίσης, η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής από την κατώτατη στάθμη ύδατος της δεξαμενής Δ (για την οποία γίνεται ο έλεγχος σε συνθήκες έκτακτης λειτουργίας του συστήματος) στον κόμβο Κ, είναι $J_{ΔΠ} = (160 - 155) / 1000 = 0.005$. Αφού οι δύο κλίσεις είναι ίδιες, θα μεταφέρεται ίση παροχή από την πηγή και τη δεξαμενή, η οποία υπολογίζεται από τη γενικευμένη σχέση Manning και ισούται με 9.75 L/s . Συνεπώς, η μέγιστη παροχή πυρόσβεσης που μπορεί να δοθεί στον κόμβο Κ από το σύστημα πηγή-αγωγός-δεξαμενή ανέρχεται σε $Q_K = 19.5 \text{ L/s}$.

Ερώτημα (δ)

Για την κατάσβεση της δασικής πυρκαγιάς, θεωρώντας την παροχή των 9.75 L/s που δίνεται από τη δεξαμενή και τρίωρη διάρκεια πυρκαγιάς, προκύπτει όγκος $V = 9.75 \times 3 \times 3600 / 1000 = 105 \text{ m}^3$.

Για την κατάσβεση της πυρκαγιάς στον οικισμό, θεωρώντας ολική παροχή κρουνών 10.0 L/s και τετράωρη διάρκεια πυρκαγιάς, προκύπτει όγκος $V = 10.0 \times 4 \times 3600 / 1000 = 144 \text{ m}^3$.

Τέλος, για την κάλυψη του ελλείμματος παροχής λόγω βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου, το οποίο λειτουργεί με παροχή 6.9 L/s , προκύπτει όγκος $V = 6.9 \times 6 \times 3600 / 1000 = 148 \text{ m}^3$.

Μεταξύ των παραπάνω σεναρίων, δυσμενέστερο είναι αυτό της βλάβης του εξωτερικού υδραγωγείου, οπότε το απόθεμα ασφαλείας της δεξαμενής πρέπει να ληφθεί ίσο με 148 m^3 .

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Μάθημα: Τυπικά Υδραυλικά Έργα

Επίδραση της επέκτασης της αστικοποίησης σε υφιστάμενο δίκτυο ομβρίων (επαναληπτική εξέταση Νοεμβρίου 2007)

Σύνταξη και επίλυση άσκησης: Δ. Κουτσογιάννης

Λοφώδης περιοχή έκτασης 5 ha που βρίσκεται σε φυσική κατάσταση πρόκειται να ενταχθεί στο σχέδιο πόλης και να οικοδομηθεί. Ως τώρα τα όμβρια της υπόψη περιοχής, μαζί με άλλα της κατάντη αστικής ήδη περιοχής, έκτασης 10 ha, αποχετεύονται μέσω υφιστάμενου αγωγού ομβρίων, που στο τελευταίο τμήμα του, πριν εκβάλει σε αστικό υδατόρευμα, έχει διάμετρο 1.0 m και κλίση 1.0%. Ζητείται να ελεγχθεί η επάρκεια του τελικού τμήματος του αγωγού ομβρίων πριν και μετά την ένταξη της νέας περιοχής στο σχέδιο πόλης, και σε περίπτωση ανεπάρκειας, να προταθούν μέτρα αντιμετώπισης του προβλήματος (χωρίς υπολογισμούς). Η όμβρια καμπύλη της περιοχής για την περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού (10 ετών) είναι $i = 35 / (t + 0.1)^{0.70}$ [t σε h, i σε mm/h]. Εκτιμάται ότι με την αστικοποίηση, αν δεν ληφθεί καμιά ειδική μέριμνα, ο συντελεστής απορροής της περιοχής αυτής θα αυξηθεί από 0.40 σε 0.65 (όσο και στην ήδη αστική περιοχή) και ο συνολικός χρόνος ροής μέχρι το τέλος του αγωγού θα μειωθεί από 19 σε 15 min.

Λύση

Η υπό ένταξη περιοχή των 5 ha αποχετεύεται, και πριν την ένταξή της στο σχέδιο πόλης, μέσα από τους υφιστάμενους αγωγούς ομβρίων της αστικής περιοχής. Κατά συνέπεια πριν την ένταξη, η αποχετευόμενη επιφάνεια είναι $5 + 10 = 15$ ha, με μέσο συντελεστή απορροής $0.40 \times 5 + 0.65 \times 10 = 0.567$. Μετά την ένταξη, η έκταση δεν αλλάζει, αλλά ο συντελεστής απορροής (αν δε ληφθεί καμιά μέριμνα, όπως αναφέρεται στην εκπόνηση) θα γίνει καθολικά 0.65.

Άλλη συνέπεια της αστικοποίησης είναι η μείωση του συνολικού χρόνου της ροής (συγκέντρωσης) των ομβρίων. Μπορεί εύλογα να υποτεθεί ότι στην περιοχή που βρισκόταν σε φυσική κατάσταση δεν θα υπήρχε δίκτυο ομβρίων εκεί και τα όμβρια θα έρρεαν επιφανειακά. Μετά την οικοδόμηση της περιοχής μπορεί να υποτεθεί ότι η φυσική διαδρομή του νερού θα αντικατασταθεί από αγωγούς ομβρίων ή ρείθρα του αστικού οδικού δικτύου. Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε επιτάχυνση της ροής, η οποία αναφέρεται πρωτίστως στο τμήμα της διαδρομής της νέας εντασσόμενης έκτασης και όχι στη ήδη αστικοποιημένη, όπου η μεταβολή των συνθηκών ροής και των ταχυτήτων δεν αναμένεται να είναι σημαντική. Με τις παρατηρήσεις αυτές, η διάρκεια της βροχής σχεδιασμού θα πρέπει να υποτεθεί ότι πριν την ένταξη είναι 15 min και μετά την ένταξη 19 min, οπότε η αντίστοιχη ένταση βροχής είναι πριν την ένταξη $i = 35 / (19/60 + 0.1)^{0.70} = 64.6$ mm/h και μετά την ένταξη $i = 35 / (15/60 + 0.1)^{0.70} = 73.0$ mm/h.

Κατά συνέπεια η παροχή σχεδιασμού, με βάση την ορθολογική μέθοδο, είναι πριν την ένταξη $Q = c i F = 0.567 \times (64.6 \times 10^{-3} / 3600) \times (15 \times 10^4) = 1.53$ m³/s και μετά την ένταξη $Q = 0.65 \times (73.0 \times 10^{-3} / 3600) \times (15 \times 10^4) = 1.98$ m³/s.

Η ταχύτητα πλήρωσης του τελευταίου τμήματος του υπό έλεγχο αγωγού ομβρίων, για $n_0 = 0.015$, είναι $V_0 = (1/0.015) (1.0/4)^{2/3} (0.01)^{1/2} = 2.65$ m/s και η παροχή πλήρωσης $Q_0 = (\pi \times 0.1^2/4) \times 2.65 = 2.08$ m³/s, οπότε προκύπτουν τα ακόλουθα μεγέθη.

Πριν την ένταξη: $Q/Q_0 = 0.734$, $y/D = 0.726 < 0.8$ (εφόσον πρόκειται για υφιστάμενο αγωγό το όριο ελέγχου είναι 0.80), $V/V_0 = 0.958$ και $V = 2.54 \text{ m/s} < 6 \text{ m/s}$, $V_{10\%} = 0.54 \times 2.65 = 1.63 > 0.6 \text{ m/s}$ – δηλαδή ο αγωγός είναι επαρκής.

Μετά την ένταξη: $Q/Q_0 = 0.951$, $y/D = 0.864 > 0.8$, $V/V_0 = 1.036$ και $V = 2.74 \text{ m/s} < 6 \text{ m/s}$ (το $V_{10\%}$ παραμένει ίδιο). Κατά συνέπεια υπάρχει πρόβλημα στο ποσοστό πλήρωσης.

Λόγω του μεγάλου μεγέθους του υφιστάμενου αγωγού (διάμετρος 1.0 m) και της σχετικά μικρής υπέρβασης του ορίου πλήρωσης (χωρίς υπερπλήρωση ή υπερχειλίση του αγωγού) δεν είναι ενδεδειγμένη η λύση της αποξήλωσης και αντικατάστασης του αγωγού με άλλον λίγο μεγαλύτερο σε διάμετρο. Πρόσφορη κατασκευαστική λύση θα είναι η ανακούφιση του αγωγού με την κατασκευή ενός σχετικά μικρού παράλληλου αγωγού, ενδεχομένως σε μια διαφορετική διαδρομή που θα εξυπηρετήσει άλλους δρόμους, μεταφέροντας την πλεονάζουσα ποσότητα ομβρίων. Δόκιμη μη κατασκευαστική λύση μπορεί να είναι η επιβολή περιορισμών δόμησης στη έκταση που εντάσσεται στο σχέδιο, όπως: μικρότερος συντελεστής κάλυψης, αποθάρρυνση των πλακοστρώσεων των ελεύθερων οικοπεδικών χώρων και ενθάρρυνση των δεξαμενών ανάσχεσης ομβρίων στις οικοδομές (ή, απαγόρευση και υποχρέωση, αντίστοιχα, εφόσον υπάρχει κατάλληλο νομικό πλαίσιο). Ακόμη, μπορεί να βοηθήσει η δημιουργία δημόσιων ελεύθερων χώρων πρασίνου. Όλα αυτά τα μέτρα θα έχουν συνέπεια τη μικρότερη αύξηση του συντελεστή απορροής ώστε να παραμείνει κάτω από την τιμή 0.65 που ισχύει στην ήδη αστικοποιημένη περιοχή.

Σημείωση (σχετικά με τη βαθμολόγηση της λύσης της άσκησης): Στη διόρθωση της άσκησης παρατηρήθηκε ότι ένα ποσοστό φοιτητών πρόσθεσαν στον συνολικό χρόνο ροής και ένα επιπλέον χρόνο εισόδου – με δική τους παραδοχή. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί εύλογο, αφού δεν διευκρινιζόταν στην εκφώνηση. Έτσι και η λύση αυτή βαθμολογείται ως ορθή. Επισημαίνεται ότι σε αυτή την περίπτωση, η συνέπεια επιβάλλει ότι ο χρόνος εισόδου μετά την αστικοποίηση να ληφθεί μικρότερος από τον αρχικό, με τη λογική που αναπτύχθηκε πιο πάνω (πριν την ένταξη τα όμβρια διήνυαν μεγαλύτερη απόσταση εκτός δικτύου και με μικρότερη ταχύτητα, ρέοντας επιφανειακά). Σε αυτή τη λύση της άσκησης, ο κατά παραδοχήν αυξημένος χρόνος δίνει μικρότερη παροχή και ενδέχεται να οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο αγωγός επαρκεί και μετά την αστικοποίηση – οπότε δεν πρέπει να προταθούν μέτρα αντιμετώπισης του προβλήματος. Μια λύση αυτού του τύπου, χωρίς μέτρα αντιμετώπισης, εφόσον δεν έχει σφάλματα στην πορεία της, βαθμολογείται με άριστα (3 μονάδες). Για λόγους δικαιότερης αντιμετώπισης όσων μελέτησαν τέτοια μέτρα, ακολουθώντας την πορεία επίλυσης που δόθηκε παραπάνω, το σχετικό τμήμα της επίλυσής τους βαθμολογείται ως bonus άνω του βαθμού 3 (μέχρι 3.5 για το σύνολο της άσκησης – ανάλογα με την ορθότητα της επίλυσης).

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ Α

Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με -0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Η κατασκευή δεξαμενής σε πολύ μικρούς οικισμούς
 - ☐ δεν είναι σκόπιμη.
 - ☐ επιβάλλεται αποκλειστικά για λόγους ασφαλείας, χωρίς ρυθμιστικό όγκο.
 - ☐ απαιτείται και πρέπει να διαθέτει σημαντικό ρυθμιστικό όγκο.
2. Για υφιστάμενο δίκτυο ομβρίων, η αστικοποίηση μιας περιοχής συνεπάγεται
 - ☐ μεγαλύτερες παροχές και μικρότερους χρόνους ροής.
 - ☐ μικρότερες παροχές και χρόνους ροής.
 - ☐ μεγαλύτερες παροχές και χρόνους ροής.
3. Σε ορεινό ανάγλυφο, η διαμόρφωση τραπεζοειδούς διατομής σε εξωτερικό υδραγωγείο με ελεύθερη επιφάνεια
 - ☐ αποτελεί την οικονομικά βέλτιστη λύση, εφόσον η επένδυση είναι άοπλη ή ελαφρά οπλισμένη.
 - ☐ αντενδεικνύεται για κατασκευαστικούς και οικονομικούς λόγους.
 - ☐ αντενδεικνύεται για λόγους υδραυλικής λειτουργίας.
4. Η κατασκευή αποχετευτικών αντλητικών συγκροτημάτων
 - ☐ είναι περισσότερο συχνή στα δίκτυα ομβρίων.
 - ☐ είναι περισσότερο συχνή στα δίκτυα ακαθάρτων.
 - ☐ είναι το ίδιο συχνή και στα δύο δίκτυα, εξαρτώμενη από τη γεωμορφολογία της περιοχής.
5. Το μέγεθος που προκύπτει με βάση τις απαιτήσεις ελάχιστων και μέγιστων πιέσεων στο δίκτυο διανομής είναι
 - ☐ η χωρητικότητα της δεξαμενής.
 - ☐ η διάμετρος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού.
 - ☐ το υψόμετρο τοποθέτησης της δεξαμενής.
6. Σε μελέτη δικτύου ακαθάρτων, ο δείκτης Pomeroy πρέπει να εκτιμάται
 - ☐ για την αρχική φάση λειτουργίας του δικτύου.
 - ☐ για την τελική φάση λειτουργίας του δικτύου.
 - ☐ για την αρχική, την τελική και ενδιάμεσες φάσεις λειτουργίας του δικτύου.
7. Η κατασκευή φραγμάτων/ταμιευτήρων για την υδροδότηση μεγάλων πόλεων
 - ☐ είναι συχνά επιτακτική εξαιτίας κυρίως της ποσοτικής ανεπάρκειας υπόγειων νερών.
 - ☐ είναι απαγορευτική λόγω μεγάλου κόστους και δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
 - ☐ είναι προβληματική λόγω κακής ποιότητας των επιφανειακών νερών.
8. Υδατόπυργοι κατασκευάζονται
 - ☐ σε πεδινές πόλεις χωρίς λοφώδεις περιοχές.
 - ☐ σε πόλεις που υδρεύονται από κοντινές γεωτρήσεις.
 - ☐ σε πόλεις με υδρευτικό δίκτυο χωρισμένο σε πιεζομετρικές ζώνες.
9. Αν στο σχεδιασμό εξωτερικού υδραγωγείου υπό πίεση η μηκοτομή εδάφους βρίσκεται σε κάποιο σημείο 15 m πάνω από την πιεζομετρική γραμμή και ταυτόχρονα 20 m κάτω από την υδροληψία, τότε θα πρέπει
 - ☐ να τοποθετηθεί αερεξαγωγός στο υπόψη σημείο.
 - ☐ να αυξηθεί η ανάντη διάμετρος.
 - ☐ να τοποθετηθεί έργο καταστροφής ενέργειας κατάντη του υπόψη σημείου.
10. Σε παλαιά δίκτυα ακαθάρτων, είχαν χρησιμοποιηθεί συχνότερα
 - ☐ αργιλοπυριτικοί σωλήνες.
 - ☐ σωλήνες από πολυαιθυλένιο.
 - ☐ σωλήνες από σκυρόδεμα.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ Παραλλαγή Α

Άσκηση υδρεύσεων (μονάδες 4)

Πόλη υδροδοτείται από παλαιό χαλύβδινο αγωγό, μήκους 5000 m και διαμέτρου 250 mm, που μεταφέρει νερό από πηγή σε υψόμετρο +180 m σε δεξαμενή ανώτατης στάθμης +140 m. Την τελευταία θερινή περίοδο παρατηρήθηκαν προβλήματα υδροδότησης σε τμήματα της πόλης. Με βάση εκτιμήσεις της εταιρείας ύδρευσης, η ζήτηση νερού τις ημέρες αιχμής φτάνει στα 6500 m³ και η παροχή την ώρα αιχμής είναι 140 L/s. Σε ελέγχους που έγιναν στο δίκτυο διανομής τις ώρες αιχμής με στάθμη νερού στη δεξαμενή ίση με την ελάχιστη, μετρήθηκε η στάθμη της πιεζομετρικής γραμμής σε τρεις χαρακτηριστικές δυσμενείς θέσεις (Α, Β, Γ), γύρω από τις οποίες αναπτύσσονται κτήρια 4, 3 και 4 ορόφων, αντίστοιχα, και βρέθηκε ίση με +129.5, +117.5 και +108.4 m, αντίστοιχα. Τα αντίστοιχα υψόμετρα εδάφους στα σημεία Α, Β και Γ είναι +103.3, +97.8 και +85.4 m.

α) Να υπολογιστούν ο συντελεστής ωριαίας αιχμής της αστικής κατανάλωσης και να εκτιμηθούν, με βάση εύλογες παραδοχές, ο πληθυσμός που εξυπηρετείται από το δίκτυο και οι ετήσιες υδατικές ανάγκες του (0.5 μονάδα).

β) Με βάση τα στοιχεία που δίνονται, ναδειχθεί ότι τα προβλήματα στην υδροδότηση τις ώρες αιχμής οφείλονται σε ανεπάρκεια του εξωτερικού υδραγωγείου και όχι του δικτύου διανομής (1.0 μονάδα).

γ) Για την ενίσχυση του εξωτερικού υδραγωγείου εξετάζονται δύο εναλλακτικές λύσεις: (1) η κατασκευή παράλληλου αγωγού βαρύτητας από HDPE 12.5 atm, κατάλληλης διαμέτρου, ή (2) η αύξηση της παροχευετικότητας του υφιστάμενου αγωγού, με την κατασκευή αντλιοστασίου 24ωρης λειτουργίας και κατάλληλου μανομετρικού ύψους. Να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά μεγέθη των δύο εναλλακτικών έργων (διάμετρος παράλληλου αγωγού, μανομετρικό ύψος και ισχύς αντλιοστασίου) και να σχεδιαστούν οι αντίστοιχες πιεζομετρικές γραμμές, για παροχή σχεδιασμού 10% μεγαλύτερη από τη σημερινή παροχή αιχμής (2.0 μονάδες).

δ) Να περιγραφεί, συνοπτικά, η διαδικασία οικονομικής σύγκρισης των δύο παραπάνω εναλλακτικών λύσεων (0.5 μονάδα).

© Α. Ευστρατιάδης και Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

Οι αγωγοί ακαθάρτων ΒΓ και ΒΔ που συμβάλλουν στο φρεάτιο Β έχουν παροχές σχεδιασμού 65 και 50 L/s αντίστοιχα, ίδια διάμετρο 30 cm και τοποθετούνται σε ίδιο βάθος 2.00 m. Να σχεδιαστεί ο αγωγός ακαθάρτων στο κατάντη τμήμα ΑΒ μήκους 100 m, όπου η κλίση εδάφους είναι 13%, και να γίνει σκαρίφημα του φρεατίου Β, με τις συνήθειες υδραυλικές απαιτήσεις για αγωγούς ακαθάρτων και τις εξής επιπλέον παραδοχές:

1. Για την εκτίμηση του συντελεστή αιχμής χρησιμοποιείται ο τύπος των ελληνικών προδιαγραφών.
2. Η παροχή παρασιτικών εισροών έχει θεωρηθεί 50% της παροχής αιχμής ακαθάρτων σε όλους τους αγωγούς.
3. Το ελάχιστο βάθος είναι 2.0 m.
4. Δεν υπάρχουν συνδέσεις κατά μήκος του ΑΒ.

© Δ. Κουτσογιάννης

Πόλη υδροδοτείται από παλαιό χαλύβδινο αγωγό, μήκους 5000 m και διαμέτρου 250 mm, που μεταφέρει νερό από πηγή σε υψόμετρο +180 m σε δεξαμενή ανώτατης στάθμης +140 m. Την τελευταία θερινή περίοδο παρατηρήθηκαν προβλήματα υδροδότησης σε τμήματα της πόλης. Με βάση εκτιμήσεις της εταιρείας ύδρευσης, η ζήτηση νερού τις ημέρες αιχμής φτάνει στα 6500 m³ και η παροχή την ώρα αιχμής είναι 140 L/s. Σε ελέγχους που έγιναν στο δίκτυο διανομής τις ώρες αιχμής με στάθμη νερού στη δεξαμενή ίση με την ελάχιστη, μετρήθηκε η στάθμη της πιεζομετρικής γραμμής σε τρεις χαρακτηριστικές δυσμενείς θέσεις (Α, Β, Γ), γύρω από τις οποίες αναπτύσσονται κτήρια 4, 3 και 4 ορόφων, αντίστοιχα, και βρέθηκε ίση με +129.5, +117.5 και +108.4 m, αντίστοιχα. Τα αντίστοιχα υψόμετρα εδάφους στα σημεία Α, Β και Γ είναι +103.3, +97.8 και +85.4 m.

α) Να υπολογιστούν ο συντελεστής ωριαίας αιχμής της αστικής κατανάλωσης και να εκτιμηθούν, με βάση εύλογες παραδοχές, ο πληθυσμός που εξυπηρετείται από το δίκτυο και οι ετήσιες υδατικές ανάγκες του.

β) Με βάση τα στοιχεία που δίνονται, ναδειχθεί ότι τα προβλήματα στην υδροδότηση τις ώρες αιχμής οφείλονται σε ανεπάρκεια του εξωτερικού υδραγωγείου και όχι του δικτύου διανομής.

γ) Για την ενίσχυση του εξωτερικού υδραγωγείου εξετάζονται δύο εναλλακτικές λύσεις: (1) η κατασκευή παράλληλου αγωγού βαρύτητας από HDPE 12.5 atm, κατάλληλης διαμέτρου, ή (2) η αύξηση της παροχευτικότητας του υφιστάμενου αγωγού, με την κατασκευή αντλιοστασίου 24ωρης λειτουργίας και κατάλληλου μανομετρικού ύψους. Να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά μεγέθη των δύο έργων (διάμετρος παράλληλου αγωγού, μανομετρικό ύψος και ισχύς αντλιοστασίου) και να σχεδιαστούν οι αντίστοιχες πιεζομετρικές γραμμές, για παροχή σχεδιασμού 10% μεγαλύτερη από τη σημερινή παροχή αιχμής.

δ) Να περιγραφεί, συνοπτικά, η διαδικασία οικονομικής σύγκρισης των δύο παραπάνω εναλλακτικών λύσεων.

Ερώτημα (α)

Η εκτιμώμενη ζήτηση νερού τις ημέρες αιχμής αντιστοιχεί σε παροχή $Q_H = 6500 / 86.4 = 75.2$ L/s. Συνεπώς, ο συντελεστής ωριαίας αιχμής υπολογίζεται σε $\lambda_\Omega = Q_\Omega / Q_H = 140.0 / 75.2 = 1.86$, τιμή εύλογη για αστική περιοχή.

Αν θεωρηθεί ο τυπικός συντελεστής ημερήσιας αιχμής για οικιακές χρήσεις ($\lambda_H = 1.50$), τότε η μέση ημερήσια ζήτηση υπολογίζεται σε $6500 / 1.50 = 4333$ m³, οπότε σε ετήσια κλίμακα οι υδατικές ανάγκες της πόλης εκτιμώνται σε $V_a = 4333 \times 365 = 1\,581\,667$ m³ (περίπου 1.5 hm³).

Για μέση ημερήσια ζήτηση 4333 m³, θεωρώντας μέση κατά κεφαλή κατανάλωση 180 L/d, εκτιμάται ότι ο πληθυσμός που εξυπηρετείται από το δίκτυο ανέρχεται σε $4333 / 0.180 \approx 24\,000$ άτομα.

Ερώτημα (β)

Αρχικά, υπολογίζουμε την παροχευτικότητα του εξωτερικού υδραγωγείου, λαμβάνοντας υπόψη τη διάταξη και τα χαρακτηριστικά του αγωγού βαρύτητας. Θεωρώντας τη δεξαμενή στην ανώτατη στάθμη της, οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκος του αγωγού ανέρχονται σε $h_f = 180 - 140 = 40$ m,

που αντιστοιχεί σε κλίση της πιεζομετρικής γραμμής ίση με $J = 40 / 5000 = 0.008$. Επειδή ο αγωγός είναι χαλύβδινος, η εσωτερική του διάμετρος ταυτίζεται με την ονομαστική, δηλαδή $D = 0.250$ m. Επιπλέον, επειδή το υδραγωγείο είναι παλιό, θεωρούμε ισοδύναμη τραχύτητα $\varepsilon = 1.0$ mm, που αντιστοιχεί σε αδιαστατοποιημένη τραχύτητα $\varepsilon^* = \varepsilon / \varepsilon_0 = 1/0.05 = 20$. Θεωρώντας το σύνηθες εύρος διαμέτρων και ταχυτήτων, οι συντελεστές της γενικευμένης εξίσωσης Manning είναι:

$$\beta = 0.3 + 0.0005 \varepsilon^* + 0.02 / (1 + 6.8 \varepsilon^*) = 0.310$$

$$\gamma = 0.096 / (1 + 0.31 \varepsilon^*) = 0.0133$$

$$N = 0.00687 (1 + 1.6 \varepsilon^*)^{0.16} = 0.0120$$

Η γενικευμένη εξίσωση Manning επιλύεται ως προς την παροχή:

$$Q = \frac{\pi}{2^{3+\beta}} N D^{(5+\beta)/2} J^{(1+\gamma)/2} = 0.0576 \text{ m}^3/\text{s}$$

Συνεπώς, η παροχή που μπορεί να μεταφέρει με ασφάλεια ο αγωγός ανέρχεται σε 57.6 L/s, που είναι αρκετά μικρότερη από τη ζητούμενη τις ημέρες αιχμής, ήτοι 75.2 L/s.

Στη συνέχεια, αποδεικνύουμε ότι το δίκτυο διανομής είναι επαρκές, εξετάζοντας τις πιέσεις που αναπτύσσονται στους τρεις χαρακτηριστικούς κόμβους. Ειδικότερα, σε κάθε κόμβο υπολογίζονται το διαθέσιμο ύψος πίεσης, ως διαφορά του ενεργειακού από το τοπογραφικό υψόμετρο και το ελάχιστο ζητούμενο ύψος πίεσης, με βάση τον αριθμό των ορόφων που αναπτύσσονται γύρω από κάθε κόμβο, χρησιμοποιώντας την εμπειρική σχέση $p_{\min} = 4(N + 1)$. Τα αποτελέσματα από τον έλεγχο πιέσεων συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Κόμβος	Στάθμη πιεζομετρικής γραμμής (m)	Υψόμετρο εδάφους (m)	Ύψος πίεσης (m)	Πλήθος ορόφων	Απαιτούμενο ύψος πίεσης (m)	Επάρκεια πίεσης
A	129.5	103.3	26.2	4	20.0	Ναι
B	117.5	97.8	19.7	3	16.0	Ναι
Γ	108.4	85.4	23.0	4	20.0	Ναι

Ερώτημα (γ)

Η παροχή σχεδιασμού του εξωτερικού υδραγωγείου ισούται με τη σημερινή μέγιστη ημερήσια, αυξημένη κατά 10%, δηλαδή $Q = 1.10 \times 75.2 = 82.8$ L/s.

Η πρώτη λύση που εξετάζεται αφορά στην κατασκευή ενός παράλληλου στον υφιστάμενο αγωγού, που θα σχεδιαστεί με παροχή ίση με τη διαφορά της ζητούμενης από αυτή που μπορεί να μεταφέρει ο υφιστάμενος χαλύβδινος αγωγός, ήτοι $82.8 - 57.6 = 25.1$ L/s. Η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής λαμβάνεται ίση με $J = 0.008$ (κοινή για τους δύο αγωγούς), ενώ θεωρείται η προσαυξημένη τιμή της ισοδύναμης τραχύτητας ($\varepsilon = 1.0$ mm), καθώς το έργο σχεδιάζεται για μεγάλο χρονικό ορίζοντα. Επιλύοντας τη γενικευμένη εξίσωση Manning ως προς τη διάμετρο προκύπτει:

$$D = \left(\frac{4^{3+\beta} N^2 Q^2}{\pi^2 J^{1+\gamma}} \right)^{\frac{1}{5+\beta}} = 0.183 \text{ m}$$

Για αγωγό HDPE 12.5 atm, η παραπάνω διάμετρος αντιστοιχεί σε τιμή εμπορίου 225 mm.

Η δεύτερη λύση που εξετάζεται αφορά στην κατασκευή αντλιοστασίου, με σκοπό την αύξηση των ενεργειακού διαθέσιμου και, συνακόλουθα, την αύξηση της παροχетеυτικότητας του υφιστάμενου αγωγού. Για παροχή σχεδιασμού 82.8 L/s, διάμετρο $D = 0.250$ m και ισοδύναμη τραχύτητα $\varepsilon = 1.0$

mm, επιλύοντας τη γενικευμένη εξίσωση Manning ως προς την κλίση της πιεζομετρικής γραμμής προκύπτει:

$$J = \left(\frac{4^{3+\beta} N^2 Q^2}{\pi^2 D^{5+\beta}} \right)^{\frac{1}{1+\gamma}} = 0.0163$$

Για την παραπάνω κλίση, που είναι προφανώς μεγαλύτερη της υφιστάμενης, οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκος του αγωγού ανέρχονται σε $h_f = 0.0163 \times 6500 = 81.7$ m. Συνεπώς, το μανομετρικό ύψος του αντλιοστασίου είναι ίσο με:

$$H_\mu = h_f - (z_\Pi - z_\Delta) = 81.7 - 40.0 = 41.7 \text{ m}$$

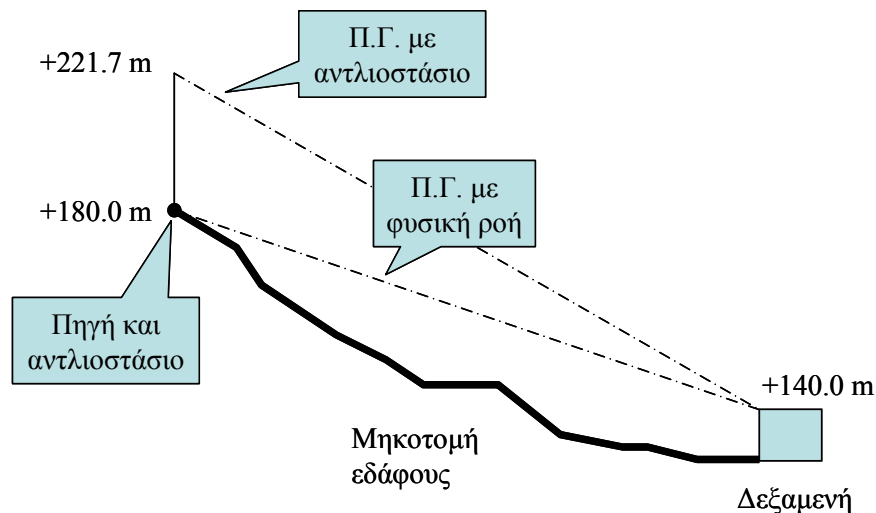
Ο βαθμός απόδοσης του αντλιοστασίου εκτιμάται από την εμπειρική σχέση:

$$n = 0.95 - (1.166 + 7142 Q)^{-1/3} = 0.831 \text{ (Q σε m}^3/\text{s)}$$

Η ισχύς του αντλιοστασίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = \gamma Q H_\mu / n = 40.73 \text{ KW } (\gamma = 9.81 \text{ KN/m}^3)$$

Η πιεζομετρική γραμμή για τις δύο εναλλακτικές λύσεις (με φυσική ροή και με χρήση αντλιοστασίου) απεικονίζεται στο ακόλουθο σκαρίφημα:



Ερώτημα (δ)

Οι δύο εναλλακτικές λύσεις δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα, καθώς για τον παράλληλο αγωγό λαμβάνεται υπόψη μόνο το πάγιο κόστος (κόστος αγοράς και τοποθέτησης), ενώ για το αντλιοστάσιο λαμβάνονται υπόψη πάγια και μεταβλητά κόστη, για όλη την οικονομική ζωή του υδραγωγείου (50 χρόνια). Συγκεκριμένα:

- κόστος αγοράς και τοποθέτησης αντλιοστασίου (περιλαμβάνεται και η αγορά εφεδρικής αντλίας), που εξαρτάται από τη διάταξη των αντλιών και τη ζητούμενη ισχύ
- κόστος αντικατάστασης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (μετά από 20-25 έτη)
- ετήσια δαπάνη ενέργειας, που εξαρτάται από το μανομετρικό ύψος και την ετήσια κατανάλωση νερού
- ετήσιο κόστος συντήρησης, που συνήθως εκτιμάται ως ποσοστό του αρχικού κόστους.

Προκειμένου να είναι συγκρίσιμα, όλα τα πάγια οικονομικά μεγέθη (αρχικά κόστη και κόστη αντικατάστασης) ανάγονται σε ετήσια δαπάνη, με βάση τον συντελεστή απόσβεσης κεφαλαίου, που λαμβάνεται ίσος με 6-7%. Στη συνέχεια, αθροίζονται τα μεγέθη κάθε λύσης (για τον αγωγό θεωρείται μόνο το πάγιο κόστος) και συγκρίνονται ως προς την αντίστοιχη ετήσια δαπάνη.

Οι αγωγοί ακαθάρτων ΒΓ και ΒΔ που συμβάλλουν στο φρεάτιο Β έχουν παροχές σχεδιασμού 65 και 50 L/s αντίστοιχα, ίδια διάμετρο 30 cm και τοποθετούνται σε ίδιο βάθος 2.00 m. Να σχεδιαστεί ο αγωγός ακαθάρτων στο κατάντη τμήμα ΑΒ μήκους 100 m, όπου η κλίση εδάφους είναι 13%, και να γίνει σκαρίφημα του φρεατίου Β, με τις συνήθεις υδραυλικές απαιτήσεις για αγωγούς ακαθάρτων και τις εξής επιπλέον παραδοχές:

1. Για την εκτίμηση του συντελεστή αιχμής χρησιμοποιείται ο τύπος των ελληνικών προδιαγραφών.
2. Η παροχή παρασιτικών εισροών έχει θεωρηθεί 50% της παροχής αιχμής ακαθάρτων σε όλους τους αγωγούς.
3. Το ελάχιστο βάθος είναι 2.0 m.
4. Δεν υπάρχουν συνδέσεις κατά μήκος του ΑΒ

Λύση

Στον αγωγό ΒΓ η παροχή αιχμής ακαθάρτων (αφού αφαιρεθούν οι παρασιτικές εισροές) είναι $Q_P = 65/1.50 = 43.3$ L/s. Για μέγιστη ημερήσια παροχή Q_H ο συντελεστής αιχμής είναι $P = 1.5 + 2.5 / Q_H^{0.5}$ και κατά συνέπεια, με δεδομένο ότι

$$Q_P = P Q_H = 43.3 \text{ L/s}$$

έχουμε

$$(1.5 + 2.5 / Q_H^{0.5}) Q_H = 43.3 \text{ L/s}$$

ή

$$1.5 Q_H + 2.5 Q_H^{0.5} = 43.3 \text{ L/s}$$

Η τελευταία εξίσωση είναι δευτεροβάθμια ως προς $Q_H^{0.5}$, και λύνοντάς τη βρίσκουμε $Q_H^{0.5} = 4.61$ ή $Q_H = 21.2$ L/s. Με τον ίδιο τρόπο βρίσκουμε ότι στον αγωγό ΒΔ $Q_H = 15.6$ L/s, οπότε στον ΑΒ

$$Q_H = 21.2 + 15.6 = 36.8 \text{ L/s}$$

(Οι μέγιστες ημερήσιες παροχές μπορούν να προστεθούν, όχι όμως οι μέγιστες στιγμιαίες).

Εύκολα βρίσκουμε για τον ΑΒ ότι $P = 1.91$, $Q_P = 70.4$ L/s και $Q_\Sigma = 105.7$ L/s = 0.1057 m³/s.

Λόγω της μεγάλης κλίσης του εδάφους στον ΑΒ, πιθανολογούμε ότι η ανάντη διάμετρος $D = 0.3$ m επαρκεί και ξεκινάμε να το ελέγξουμε (αν αποτύχουμε, θα μεγαλώσουμε τη διάμετρο). Θεωρούμε $n_0 = 0.015$ και επιχειρούμε κλίση ίση με αυτή του εδάφους, $J = 0.13$. Η ταχύτητα πλήρωσης είναι

$$V_0 = (1/0.015) (0/4)^{2/3} (0.13)^{1/2} = 4.27 \text{ m/s}$$

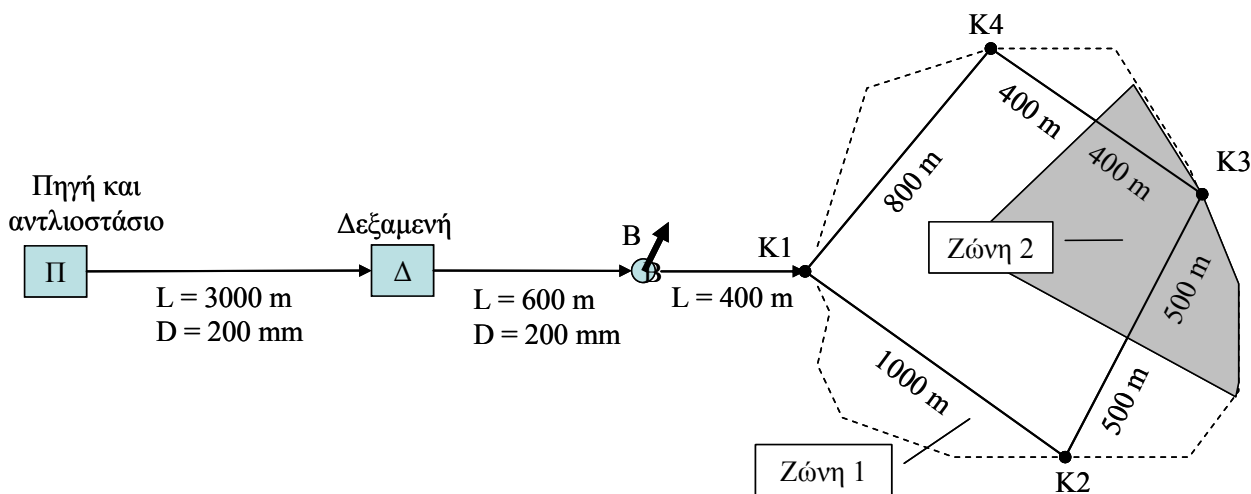
και η παροχή πλήρωσης $Q_0 = 0.3022$ m³/s, οπότε $Q/Q_0 = 0.350$, $y/D = 0.465$, $V/V_0 = 0.769$ και $V = 3.29$ m/s > 3 m/s.

Παρατηρούμε ότι ο αγωγός έχει επαρκή παροχετευτικότητα, αλλά η ταχύτητα προκύπτει πολύ μεγάλη. Δοκιμάζουμε να μειώσουμε την κλίση, ώστε να πετύχουμε ταχύτητα 3 m/s, χωρίς να αλλάξουμε διάμετρο (αν αποτύχουμε θα αυξήσουμε τη διάμετρο). Μετά από δοκιμές, προκύπτει ότι με κλίση $J = 10.1\%$ έχουμε (όπως παραπάνω) $V_0 = 3.76$ m/s, $Q_0 =$

$0.2657 \text{ m}^3/\text{s}$, οπότε $Q/Q_0 = 0.398$, $y/D = 0.499$, $V/V_0 = 0.798$ και $V = 3.00 \text{ m/s}$. Κατά συνέπεια η λύση αυτή ικανοποιεί τους ελέγχους μέγιστης πλήρωσης και μέγιστης ταχύτητας. Ο έλεγχος της ελάχιστης ταχύτητας παρέλκει.

Δεδομένου ότι ο αγωγός τοποθετείται όχι παράλληλα στο έδαφος, θα τοποθετηθεί στο Α με το ελάχιστο βάθος, οπότε, για $\Delta J = 2.9\%$, στο Β θα χρειαστεί εκβάθυνση $\Delta H = 0.029 * 100 = 2.90 \text{ m}$. Επομένως στο Β θα κατασκευαστεί φρεάτιο πτώσης με πτώση 2.90 m .

Μελετάται η γενική διάταξη των υδρευτικών έργων του Σχήματος, που περιλαμβάνουν την πηγή και το αντλιοστάσιο Π, τη δεξαμενή Δ, τον κόμβο Β που εξυπηρετεί παρακείμενη βιομηχανική περιοχή και μια πόλη, της οποίας απεικονίζεται το κύριο δίκτυο διανομής Κ1-Κ2-Κ3-Κ4. Η στάθμη υδροληψίας της πηγής είναι στα +40 m, η ανώτατη στάθμη ύδατος της δεξαμενής είναι στα +110 m, και το ωφέλιμο ύψος της είναι 5.0 m. Στην πόλη αναπτύσσονται οικιακές χρήσεις, ενώ ο πληθυσμός της εκτιμάται σε 4000 κατοίκους. Η πόλη περιλαμβάνει δύο ζώνες δόμησης, 1 και 2, όπου η πυκνότητα του πληθυσμού στη ζώνη 2 είναι διπλάσια σε σχέση με την 1. Η βιομηχανική περιοχή, η κατανάλωση της οποίας είναι συγκεντρωμένη στον κόμβο Β, περιλαμβάνει μια μονάδα επεξεργασίας τροφίμων και ένα ελαιοτριβείο. Η πρώτη λειτουργεί όλο το έτος επί 8 ώρες την ημέρα, καταναλώνοντας $120 \text{ m}^3/\text{d}$, ενώ το ελαιοτριβείο λειτουργεί μόνο την περίοδο Νοεμβρίου-Ιανουαρίου όλο το 24ώρο, καταναλώνοντας $80 \text{ m}^3/\text{d}$. Στους κόμβους Β, Κ1, Κ2, Κ3 και Κ4 έχουν τοποθετηθεί πυροσβεστικοί κρουνοί, ονομαστικής παροχής 5 L/s.



Ζητούνται:

- Η εκτίμηση των χαρακτηριστικών παροχών του συστήματος, με την υπόθεση μέσης ημερήσιας κατανάλωσης ανά κάτοικο 180 L/d . (2 μονάδες)
- Ο υπολογισμός του μανομετρικού ύψους, της ισχύος και της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας του αντλιοστασίου, αν αυτό λειτουργεί 16 ώρες. (2 μονάδες)
- Με ποιους τρόπους θα μπορούσαν, κατά το σχεδιασμό του συστήματος αντλιοστάσιο-καταθλιπτικός αγωγός, να μειωθούν η ισχύς και η κατανάλωση ενέργειας; (1 μονάδα)
- Η εκτίμηση της διαμέτρου του αγωγού Β-Κ1, ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής πίεση για την εξυπηρέτηση τριώροφων κτηρίων στον κόμβο Κ1, με υψόμετρο εδάφους +75 m (2 μονάδες).
- Η χάραξη (σκαρίφημα) της υδραυλικής μηκοτομής Π-Δ-Β-Κ1, σε συνθήκες μέγιστης κατανάλωσης. (1 μονάδα)
- Η εκτίμηση των παροχών εξόδου των κόμβων του δικτύου διανομής (2 μονάδες).
- Περιγράψτε, συνοπτικά, τη διαδικασία επιλογής των διαμέτρων του δικτύου διανομής. (1 μονάδα)

Στους υδραυλικούς ελέγχους θεωρήστε ταυτόχρονη ενεργοποίηση δύο πυροσβεστικών κρουνών. Όλοι οι αγωγοί είναι από πολυαιθυλένιο, 12.5 atm. Υποθέστε μηδενικές διαρροές στη μεταφορά-διανομή του νερού.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με - 0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0). Η αρνητική βαθμολογία δεν μεταφέρεται στις ασκήσεις!

1. Ποια από τα παρακάτω είναι στοιχεία εισόδου της μεθόδου γραμμικοποίησης των Η-εξισώσεων:
 - ο οι παροχές των κλάδων και τα αρχικά ενεργειακά υψόμετρα των κόμβων.
 - ο τα αρχικά ενεργειακά υψόμετρα και οι παροχές εξόδου των κόμβων.
 - ο οι αρχικές παροχές των κλάδων και οι παροχές εξόδου των κόμβων.
2. Με την έννοια "χρόνος εισόδου" στους υδραυλικούς υπολογισμούς των δικτύων ομβρίων, νοείται ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει η επιφανειακή απορροή:
 - ο στο πλησιέστερο φρεάτιο υδροσυλλογής.
 - ο στο πλησιέστερο φρεάτιο επισκέψεως.
 - ο στο έδαφος από τις ανωδομές.
3. Μας αναφέρεται ότι σε συγκεκριμένη διατομή αγωγού ακαθάρτων, οι παρασιτικές εισροές σχεδιασμού, ως μέγεθος, είναι διπλάσιο των αντίστοιχων που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα:
 - ο απορρίπτουμε την πληροφορία ως λανθασμένη, γιατί οι παρασιτικές εισροές δεν υπερβαίνουν ποτέ εκείνες που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα.
 - ο εξετάζουμε αν την περίοδο που προέκυψε η πληροφορία είχαμε βροχοπτώσεις, οπότε αυτή φαίνεται αληθής.
 - ο δεχόμαστε κατ' αρχήν την πληροφορία αυτή, με την έννοια ότι δεν αντιβαίνει στις αρχές υπολογισμού.
4. Σε ποιες θέσεις ενός δικτύου διανομής επιβάλλεται η τοποθέτηση βαλβίδων αντεπιστροφής:
 - ο στα ψηλά σημεία του δικτύου, για την αποφυγή υποπίεσεων.
 - ο σε όλες τις διακλαδώσεις του δικτύου, για την απομόνωση των αγωγών σε περίπτωση βλάβης.
 - ο κατάντη των υδρευτικών αντλιοστασίων.
5. Ο ρυθμιστικός όγκος της δεξαμενής μιας πόλης, σε σύγκριση με τον μέγιστο ημερήσιο όγκο κατανάλωσης, είναι:
 - ο αρκετά μικρότερος, εφόσον η δεξαμενή τροφοδοτείται από αγωγό βαρύτητας.
 - ο αρκετά μεγαλύτερος, εφόσον η δεξαμενή τροφοδοτείται από καταθλιπτικό αγωγό.
 - ο άλλοτε μικρότερος και άλλοτε μεγαλύτερος, ανάλογα με τη χρονική διακύμανση των εκροών.
6. Πότε είναι απαραίτητη η τοποθέτηση σίφωνα κατά μήκος ενός υδραγωγείου;
 - ο όταν στη χάραξη παρεμβάλλεται χαράδρα.
 - ο όταν στη χάραξη παρεμβάλλεται ανχένας.
 - ο όταν στη χάραξη παρεμβάλλεται βουνοκορφή.
7. Είναι γνωστό ότι οι αγωγοί ομβρίων τοποθετούνται σε σκάμμα, έτσι ώστε η άντρυα (άνω γενέτειρα) του αγωγού να απέχει ελάχιστη απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους 1 μέτρο. Ο κανόνας αυτός:
 - ο δεν παραβιάζεται ποτέ.
 - ο δεν ισχύει όταν τοποθετηθούν αγωγοί κατάλληλης διατομής με τον πρόποντα οπλισμό.
 - ο δεν ισχύει όταν τοποθετηθούν οι ειδικοί αγωγοί "SUPER HERCULES-NUMBER FIVE".
8. Τις ανάγκες ύδρευσης πόσων ατόμων, για οικιακή κατανάλωση και σε συνθήκες θερινής αιχμής, θα μπορούσε να καλύψει ένας πυροσβεστικός κρουνός ονομαστικής παροχής 5 L/s;
 - ο το πολύ εκατό.
 - ο περίπου χιλίων.
 - ο περισσότερων των δέκα χιλιάδων.
9. Το λεγόμενο ισοδύναμο μήκος επιρροής των κλάδων ενός δικτύου διανομής χρησιμοποιείται:
 - ο στη διαμόρφωση της τοπολογίας του μαθηματικού μοντέλου του δικτύου.
 - ο στην επίλυση του μαθηματικού μοντέλου του δικτύου.
 - ο στους υπολογισμούς των σεναρίων φόρτισης του μαθηματικού μοντέλου του δικτύου.
10. Σε μελέτη δικτύου ομβρίων ο μελετητής σκέπτεται, για την εκτίμηση των παροχών σχεδιασμού, αντί της ορθολογικής μεθόδου, να χρησιμοποιήσει μεθόδους στατιστικής ανάλυσης. Η σκέψη αυτή κρίνεται:
 - ο θετικά, επειδή θα προσδώσει μεγαλύτερη ακρίβεια στους υδραυλικούς υπολογισμούς.
 - ο αδύνατη στην υλοποίησή της.
 - ο άλλοτε θετικά και άλλοτε αρνητικά, ανάλογα με την περίπτωση.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΑΣΚΗΣΕΙΣ (Μονάδες 8, Διάρκεια 2:30')

Άσκηση στις αποχετεύσεις (Μονάδες 3)

Η πορεία εξωτερικού αγωγού αποχέτευσης ακαθάρτων διακόπτεται από την ανακάλυψη σημαντικού αρχαιολογικού χώρου, σύμφωνα με το σκαρίφημα. Η συνέχεια του αγωγού από το φρεάτιο Α έως το φρεάτιο Β είναι δυνατή μέσα από τις δύο ακόλουθες πορείες:

α) την ΑΓΒ, μήκους 600 m.

β) την ΑΔΒ, μήκους 500 m.

Το υψόμετρο της άντυγας του αγωγού στο Α είναι 48.0 m, ενώ στο Β 42.0 m. Στο σημείο Α ο αγωγός καταλήγει με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

α) εξυπηρετεί πληθυσμό (σχεδιασμός) 6000 κατοίκων, εγκαταστημένων σε έκταση 250 στρεμμάτων, με μέση κατανάλωση ύδατος 180 L/κ/d.

β) εξυπηρετεί βιομηχανίες με σταθερή παροχή σε όλη την περίοδο λειτουργίας τους 10 L/s.

γ) εξυπηρετεί τουριστικές εγκαταστάσεις 700 κλινών, ενώ είναι γνωστό ότι η μέγιστη ημερήσια επιβάρυνση του δικτύου ακαθάρτων ανά τουρίστα είναι 240 L/d.

δ) στο σύνολό του βρίσκεται πάνω από το φρεάτιο ορίζοντα.

Κατάντη του Α δεν υπάρχουν ανθρώπινες δραστηριότητες οποιουδήποτε είδους.

Η πορεία ΑΓΒ προβλέπεται στο σύνολό της πάνω από το φρεάτιο ορίζοντα, με τις παρασιτικές εισροές να θεωρούνται μηδενικές, ενώ κατά την ΑΔΒ ο αγωγός εμβαπτίζεται σε υδροφορέα συνολικής έκτασης (θεωρούμενης σταθερής) 2 εκταρίων.

Να επιλεγεί η πλέον συμφέρουσα, οικονομικά, χάραξη μεταξύ των ΑΓΒ και ΑΔΒ.

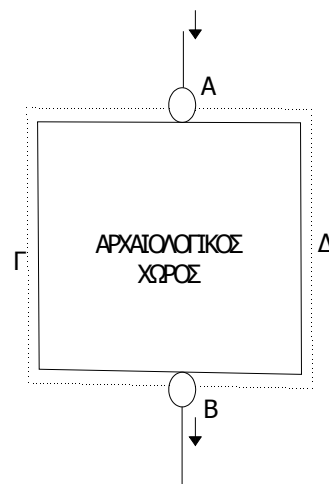
Δίνονται σε ευρώ οι ανά μέτρο μήκους δαπάνες κατασκευής των αγωγών ανά διάμετρο (περιέχονται ανηγμένες και οι τιμές των φρεατίων επίσκεψης).

Διάμετρος	200	250	300	350	400	500	600
Δαπάνη	50	56	68	75	86	110	150

Στην περίπτωση της εμβάπτισης, θα προβλεφθεί αύξηση 12%, ώστε να ληφθούν υπόψη οι απαιτούμενες στην περίπτωση πρόσθετες δαπάνες.

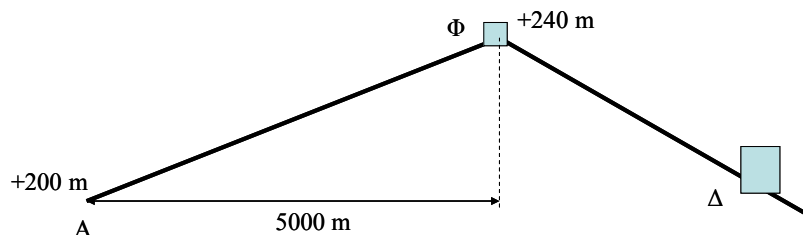
Να ληφθεί υπόψη ότι σε όλο το δίκτυο δεν υπάρχουν παρασιτικές εισροές, πλην των διηθήσεων.

@ Η. Βασιλόπουλος



Άσκηση στα εξωτερικά υδραγωγεία (Μονάδες 2.5)

Μελετάται το εξωτερικό υδραγωγείο του Σχήματος από το αντλιοστάσιο Α μέχρι τη δεξαμενή Δ, που περιλαμβάνει τον καταθλιπτικό αγωγό Α-Φ, το φρεάτιο απόδοσης Φ (24ωρης ρύθμισης) και τον αγωγό βαρύτητας Φ-Δ.



Δίνεται ότι:

- ο πληθυσμός σχεδιασμού είναι 24000 άτομα, με μέση ημερήσια κατανάλωση 150 L/άτομο.
- τα υψόμετρα εδάφους στους κόμβους Α και Φ είναι +200 και +240 m, αντίστοιχα.
- οι αγωγοί του εξωτερικού υδραγωγείου είναι από υλικό PVC, ονομαστικής αντοχής 16 atm.
- ο κλάδος ΑΦ έχει μήκος 5000 m και διάμετρο Φ400 mm.

- ο οικισμός εκτείνεται από τα +100 έως τα +150 m.
- η κατά μήκος κλίση του εδάφους, από την κεφαλή του οικισμού μέχρι το φρεάτιο, είναι 1%.
- η δεξαμενή θα τοποθετηθεί επίγεια και θα έχει ωφέλιμο ύψος 5 m.

Ζητούνται:

α) Να εκτιμηθούν οι παροχές σχεδιασμού των δύο κλάδων του υδραγωγείου, θεωρώντας 16 ώρες λειτουργίας του αντλιοστασίου και τιμή του συντελεστή ημερήσιας αιχμής ίση με 1.5.

β) Να υπολογιστεί ο όγκος του φρεατίου απόδοσης Φ και να κατασκευαστεί γραφικά το αθροιστικό διάγραμμα εισροών-εκροών.

γ) Να υπολογιστούν το ολικό μανομετρικό ύψος και η εγκατεστημένη ισχύς του αντλιοστασίου (σε HP), θεωρώντας βαθμό απόδοσης αντλίας $\eta = 0.60$ και μηδενικές απώλειες αναρρόφησης.

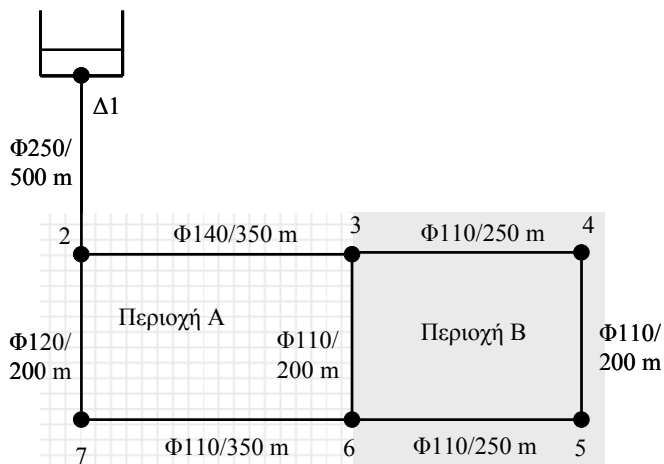
δ) Να προσδιοριστεί η ανώτατη στάθμη ύδατος της δεξαμενής, ώστε να μην απαιτείται ο χωρισμός του κατάντη δικτύου διανομής σε πιεζομετρικές ζώνες, και να υπολογιστούν, για τη εν λόγω στάθμη, η απόσταση της δεξαμενής από το φρεάτιο και η απαιτούμενη διάμετρος του κλάδου ΦΔ.

ε) Να δειχθούν σε σκαρίφημα (χωρίς υδραυλικούς υπολογισμούς) η πιεζομετρική γραμμή κατά μήκος του εξωτερικού υδραγωγείου, σε συνθήκες μέσης και μέγιστης ημερήσιας κατανάλωσης.

@ Δ. Παναγούλια

Άσκηση στα δίκτυα διανομής (Μονάδες 2.5)

Στην οριζοντιογραφία του Σχήματος απεικονίζονται οι κύριοι κλάδοι, με τα αντίστοιχα μήκη (σε m) και διαμέτρους (σε mm), του δικτύου διανομής ενός οικισμού, που περιλαμβάνει δύο περιοχές. Στην περιοχή Α εξυπηρετούνται αστικές, αποκλειστικά, χρήσεις, ενώ στην περιοχή Β εξυπηρετούνται αστικές και τουριστικές χρήσεις, με την πυκνότητα των μόνιμων κατοίκων να εκτιμάται στο 40% σε σχέση με την αντίστοιχη της περιοχής Α. Ο οικισμός τροφοδοτείται από τη δεξαμενή Δ1, ανώτατης στάθμης +68 m και ωφέλιμου ύψους 3 m. Το δίκτυο έχει επιλυθεί για το δυσμενέστερο σενάριο έκτακτης λειτουργίας, θεωρώντας ενεργοποίηση ενός πυροσβεστικού κρουνού στον κόμβο 7, ονομαστικής παροχής 5 L/s. Τα αποτελέσματα της επίλυσης, που αναφέρονται στις παροχές των κλάδων, καθώς και τα υψόμετρα εδάφους των κόμβων, δίνονται στους σχετικούς Πίνακες.



Κλάδος	Παροχή (L/s)
Δ1-2	22.0
2-3	9.0
3-4	2.7
2-7	10.5
7-6	2.9
3-6	2.5
4-5	0.6
5-6	1.6

Κόμβος	Υψόμετρο (m)
2	52.0
3	46.0
4	41.0
5	28.0
6	37.0
7	41.0

Ζητείται:

α) Να εκτιμηθούν τα ποσοστά της αστικής και τουριστικής κατανάλωσης που εξυπηρετεί ο κόμβος 3, λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά μήκος του κύριου τροφοδοτικού κλάδου Δ1-2 δεν πραγματοποιείται καμία χρήση νερού.

β) Να υπολογιστεί η παροχή εξόδου ενός κόμβου της επιλογής σας, και με βάση αυτή να εκτιμηθεί ο πληθυσμός των μόνιμων κατοίκων, με δεδομένο ότι η μελέτη του δικτύου έχει γίνει για συντελεστές προσαύξησης $\lambda_1 = 1.5$ και $\lambda_2 = 2.0$, και μέση κατά κεφαλή κατανάλωση 180 L/ημέρα.

γ) Να γίνει έλεγχος πιέσεων στους κόμβους 2 και 3 και να εντοπιστεί ο πλέον δυσμενής, με δεδομένο ότι στην περιοχή Α αναπτύσσονται διώροφα κτήρια, ενώ στην περιοχή Β αναπτύσσονται κτήρια έως τριών ορόφων.

δ) Να σχεδιαστούν, με τη μορφή σκαριφήματος, η μηκοτομή των αγωγών και η πιεζομετρική γραμμή κατά μήκος της διαδρομής Δ1-2-3.

ε) Επειδή προβλέπεται περαιτέρω ανάπτυξη των τουριστικών χρήσεων τα επόμενα έτη, που δεν έχουν ληφθεί υπόψη στη μελέτη, να σχολιάσετε τυχόν προβλήματα που θα δημιουργηθούν και να προτείνετε μέτρα αντιμετώπισής τους.

@ Α. Ευστατιάδης

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ (Μονάδες 3, Διάρκεια 20')

Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις, σημειώνοντας στο αντίστοιχο τετραγωνίδιο τη σωστή απάντηση (μόνο μία απάντηση σε κάθε τριάδα). Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογείται με 0.3 μονάδες και η λανθασμένη με - 0.15 (η μη απάντηση βαθμολογείται με 0).

1. Είναι γνωστό ότι, για τον καθορισμό των λεκανών απορροής στο εσωτερικό των οικοδομικών τετραγώνων, εφαρμόζεται ο κανόνας των διχοτόμων των γωνιών. Στα δίκτυα αποχέτευσης ομβρίων, ο κανόνας αυτός είναι περισσότερο αληθής, όταν στο εσωτερικό των οικοδομικών τετραγώνων:
 - ο επικρατούν μεγάλες κλίσεις.
 - ο επικρατούν μικρές κλίσεις.
 - ο η αλήθεια του κανόνα δεν εξαρτάται από τις επικρατούσες κλίσεις.
2. Η διάμετρος ενός αγωγού ύδρευσης σε σχέση με αυτή ενός αγωγού αποχέτευσης που σχεδιάζεται να μεταφέρει την ίδια ακριβώς παροχή είναι:
 - ο μικρότερη.
 - ο μεγαλύτερη.
 - ο ίση.
3. Τόσο στα δίκτυα ακαθάρτων όσο και στα δίκτυα ομβρίων η μέγιστη απόσταση τοποθέτησης φρεατίων επίσκεψης κυμαίνεται μεταξύ 50 και 60 μέτρων. Η μέγιστη απόσταση (60 m) προβλέπεται:
 - ο όταν οι κλίσεις είναι μεγάλες.
 - ο όταν οι κλίσεις είναι μικρές.
 - ο όταν το έδαφος είναι βραχώδες.
4. Ποιος κύριος παράγοντας εξασφαλίζει προστασία έναντι υδραυλικού πλήγματος στα δίκτυα διανομής;
 - ο οι σχετικά μικρές ταχύτητες ροής στους αγωγούς.
 - ο η κατάλληλη διάταξη του δικτύου, σε οριζοντιογραφία.
 - ο η τοποθέτηση της δεξαμενής σε κατάλληλο υψόμετρο.
5. Με ποια παροχή θα έπρεπε να σχεδιαστεί ο αγωγός βαρύτητας του εξωτερικού υδραγωγείου ενός μικρού οικισμού, στην περίπτωση που δεν υπήρχε η παρεμβολή δεξαμενής;
 - ο με τη μέγιστη ωριαία παροχή.
 - ο με παροχή μικρότερη της μέγιστης ωριαίας, αλλά μεγαλύτερη της μέγιστης ημερήσιας.
 - ο με παροχή μεγαλύτερη της μέγιστης ωριαίας.
6. Για την ίδια τιμή της παροχής Q το κριτήριο της ελάχιστης ταχύτητας επιτυγχάνεται καλύτερα σε αγωγό:
 - ο ωοειδούς διατομής έναντι των αγωγών κυκλικής και κωδονοειδούς διατομής.
 - ο κυκλικής διατομής έναντι των αγωγών ωοειδούς και κωδονοειδούς διατομής.
 - ο κωδονοειδούς διατομής έναντι των αγωγών κυκλικής και ωοειδούς διατομής.
7. Σε ποια περίπτωση η υψομετρική διαφορά της δεξαμενής από το χαμηλότερο σημείο του δικτύου που τροφοδοτεί μπορεί να ξεπερνά τα 150 m;
 - ο όταν χρησιμοποιούνται αγωγοί υψηλής ονομαστικής αντοχής.
 - ο όταν το δίκτυο προστατεύεται από αντιπληγματικές βαλβίδες.
 - ο όταν το δίκτυο χωρίζεται σε πιεζομετρικές ζώνες.
8. Οι παράνομες συνδέσεις αγωγών ομβρίων σε δίκτυο ακαθάρτων είναι συνηθέστερες εκεί όπου:
 - ο το τελικό φρεάτιο ομβρίων της οικοδομής είναι ψηλότερα από την ερυθρά της οδού.
 - ο το τελικό φρεάτιο ομβρίων της οικοδομής είναι χαμηλότερα από την ερυθρά της οδού.
 - ο επικρατούν οικοδομές με μεγάλο αριθμό ορόφων.
9. Στο πρόβλημα βελτιστοποίησης του κόστους κατασκευής ενός δικτύου διανομής:
 - ο είναι γνωστές οι διαμέτροι και άγνωστα τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής.
 - ο είναι άγνωστες οι διαμέτροι και άγνωστα τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής.
 - ο είναι άγνωστες οι διαμέτροι και γνωστά τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής.
10. Τι υποδηλώνει η έκφραση «μη τιμολογούμενο νερό»:
 - ο νερό ύδρευσης που παρέχεται δωρεάν σε ειδικές ομάδες καταναλωτών.
 - ο νερό ύδρευσης που δεν εισπράττεται λόγω παράνομων συνδέσεων.
 - ο νερό ύδρευσης που εισέρχεται στο δίκτυο διανομής αλλά δεν καταγράφεται στα τιμολόγια.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΑΣΚΗΣΕΙΣ (Μονάδες 7, Διάρκεια 2:30')

Άσκηση στις αποχετεύσεις (Μονάδες 3)

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης μελέτης δικτύου ακαθάρτων, ο μελετητής αντιμετωπίζει το πρόβλημα επιλογής κλίσης, κατάντη της διατομής Α, μεταξύ των δύο ακόλουθων λύσεων :

α) την υιοθέτηση ελάχιστης κλίσης, ώστε να αποφύγει την εμβάπτιση τού αγωγού σε υπόγειο υδροφορέα, μέγιστης στάθμης 96.9 m, ή

β) τη βύθιση σε αυτόν, υιοθετώντας κλίση μεγαλύτερη από την ελάχιστη.

Είναι γνωστό ότι μέχρι τη διατομή Α, όπου το υψόμετρο της άντυγας είναι 98.0 m:

α) εξυπηρετούνται 6000 κάτοικοι (πληθυσμός σχεδιασμού), που κατοικούν σε έκταση 300 στρεμμάτων

β) η διαδρομή τού αγωγού προβλέπεται πάνω από τον φρεάτιο ορίζοντα.

Γενικότερα στην περιοχή (ανάντη και κατάντη τής διατομής Α), η μέγιστη ημερήσια επιβάρυνση του αποχετευτικού δικτύου ανά κάτοικο είναι 180 L, ενώ η βιομηχανική επιβάρυνση είναι σταθερή και ίση με 9 L/s.

Κατάντη τής ίδιας διατομής, το συνολικό μήκος τού αγωγού είναι 400 m, με την κλίση τού εδάφους ίση με 1.0%, ενώ η αποχετευόμενη έκταση είναι ίση με 170 στρέμματα. Κριτήριο επιλογής είναι η οικονομικότητα της λύσης. Στη συνέχεια παρατίθενται οι τιμές κατασκευής των αγωγών ανά διάμετρο (περιέχονται ανηγμένες και οι τιμές των φρεατίων επίσκεψης, σε ευρώ):

Φ200: 50 , Φ250: 56 Φ300: 68 , Φ350: 75 , Φ400: 86, Φ500:110, Φ600: 15

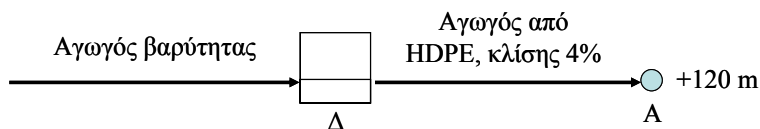
Στη λύση της βύθισης, θα πρέπει ο σχετικός προϋπολογισμός να αυξηθεί κατά 15%, ώστε να ληφθούν υπόψη οι πρόσθετες δαπάνες μεγαλύτερου σκάμματος, άντλησης και υπερδιαστασιολόγησης των διαφόρων μονάδων της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

Να γίνει συγκριτική αξιολόγηση των λύσεων και να επιλεγεί η οικονομικότερη, περιγράφοντας συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε λύσης.

@ Η. Βασιλόπουλος

Άσκηση στα δίκτυα διανομής (Μονάδες 2)

Εξετάζεται η χωροθέτηση της δεξαμενής ρύθμισης Δ και η διαστασιολόγηση του κύριου τροφοδοτικού αγωγού ΔΑ υπό μελέτη οικισμού της εργατικής εστίας, με αμφιθεατρική διάταξη. Το χαμηλότερο υψόμετρο του οικισμού είναι +75 m, ενώ το μεγαλύτερο υψόμετρο ταυτίζεται με την κεφαλή του δικτύου διανομής και είναι +120 m. Στην περιοχή θα κατασκευαστούν διαμερίσματα σε τριώροφες κατοικίες, που θα κληρωθούν για 400 οικογένειες. Η ημερήσια κατά κεφαλή κατανάλωση εκτιμάται σε 180 L. Επιπλέον, το δίκτυο διανομής θα εξυπηρετεί πυροσβεστικούς κρουνούς, ονομαστικής παροχής 5 L/s, καθώς και μικρές βιομηχανικές μονάδες 12ωρης λειτουργίας, η συνολική ζήτηση των οποίων εκτιμάται σε 100 m³/ημέρα.



Ζητούνται:

(α) Το υψόμετρο του πυθμένα της δεξαμενής, θεωρώντας ωφέλιμο ύψος 5.0 m και αποκλείοντας το ενδεχόμενο διαχωρισμού του δικτύου σε πιεζομετρικές ζώνες. Αιτιολογείστε την επιλογή σας, λαμβάνοντας υπόψη ότι η τροφοδοσία της δεξαμενής θα γίνεται μέσω αγωγού βαρύτητας.

(β) Η παροχή σχεδιασμού των αγωγών ανάντη και κατάντη της δεξαμενής (στην τελευταία περίπτωση, θεωρήστε ταυτόχρονη ενεργοποίηση δύο κρουνών).

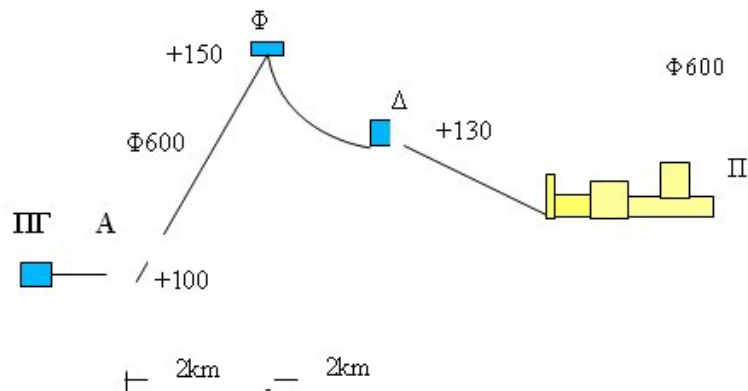
(γ) Η διάμετρος του κύριου τροφοδοτικού αγωγού, ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη πίεση στον κόμβο κεφαλής, θεωρώντας την ελάχιστη στάθμη λειτουργίας που προκύπτει από το ερώτημα (β). Δίνεται ότι η κατά μήκος κλίση της διαδρομής ΔΑ είναι 4% και ότι θα χρησιμοποιηθούν σωλήνες από πολυαιθυλαίνιο.

(δ) Εξηγήστε το σκεπτικό χωροθέτησης της δεξαμενής, εφόσον η τροφοδοσία της γίνει μέσω καταθλιπτικού αγωγού.

@ Α. Ευστρατιάδης

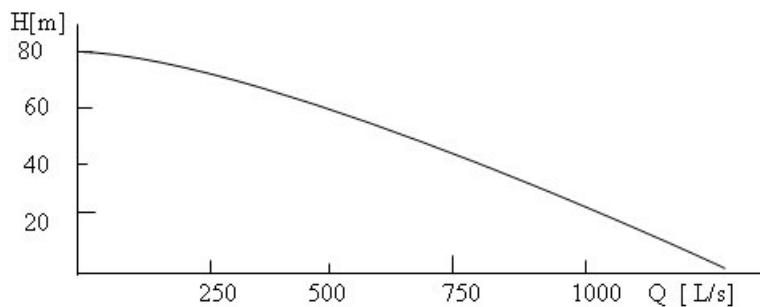
Άσκηση στα εξωτερικά υδραγωγεία (Μονάδες 2)

Πόλη Π υδρεύεται από πηγή ΠΓ μέσω αντλιοστασίου Α, καταθλιπτικού αγωγού Φ600, που καταλήγει σε φρεάτιο Φ, και αγωγού βαρύτητας επίσης Φ600, που καταλήγει στη δεξαμενή Δ. Οι αντίστοιχες μέσες στάθμες φαίνονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1

1. Να υπολογισθεί ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων από τη διαθέσιμη εγκατάσταση αν στην αιχμή το αντλιοστάσιο Α λειτουργεί επί 24 ώρες και διαθέτει δύο όμοιες αντλίες που λειτουργούν εναλλάξ, με χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας όπως στο Σχήμα 2. Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση στην πόλη ανέρχεται σε 200 L/κατ.ημ.
2. Να σχεδιασθεί το σημείο λειτουργίας του αντλιοστασίου και η Πιεζομετρική Γραμμή στους αγωγούς ΑΦ και ΦΔ.
3. Να υπολογισθεί ο μέγιστος αριθμός κατοίκων που μπορεί να εξυπηρετηθεί αν μπορείτε να προσθέσετε και άλλες αντλίες χωρίς όμως να αλλάξει η διάταξη των αγωγών του υδραγωγείου.



Σχήμα 2

Δίδεται η σχέση $J = f(Q)$ για τον αγωγό Φ600.

Q [L/s]	250	500	750	1000
J [m/km]	3	5	10	17

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΑΣΚΗΣΕΙΣ (Μονάδες 7, Διάρκεια 2:30')

Άσκηση στις αποχετεύσεις (Μονάδες 3)

Με σκοπό τη διαστασιολόγηση εξωτερικού αγωγού ακαθάρτων, οικισμού 80 στρεμμάτων, εκτιμάται η παροχή σχεδιασμού τόσο κατά τη χειμερινή όσο και κατά τη θερινή περίοδο, στο φρεάτιο εκκίνησης του αγωγού, με βάση τα ακόλουθα δεδομένα :

	Χειμώνας	Καλοκαίρι
1. Μόνιμοι κάτοικοι (πληθυσμός σχεδιασμού)	6000	6000
2. Τουρίστες και παραθεριστές	0	1500
3. Μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ύδατος μονίμων και μη κατοίκων	140 L/κατ./ημ.	280 L/κατ./ημ.
4. Επιβάρυνση δικτύου από βιομηχανίες (παροχή αιχμής)	0	15 L/s
5. Θέση του αγωγού ως προς το φρεάτιο ορίζοντα	βυθισμένος	πάνω από αυτόν
6. Επιφανειακές απορροές και παράνομες συνδέσεις ομβρίων		

Εμφανίζονται μόνο το χειμώνα και ισοδυναμούν με το 6% της παροχής αιχμής ομβρίων που θα προέκυπτε από τον οικισμό, θεωρούμενου ως ενιαίας λεκάνης, με χρόνο συγκέντρωσης 25 min, συντελεστή απορροής $c = 0.6$ και εξίσωση όμβριας καμπύλης (για $T = 10$ έτη) $i = 35 / t^{0.6}$, όπου t η διάρκεια βροχής σε ώρες και i η κρίσιμη ένταση σε mm/h.

Για τη θερινή περίοδο, θεωρείται ότι δεν δημιουργείται επιφανειακή απορροή.

Ζητείται:

1) Η τιμή της παροχής σχεδιασμού, ως η μεγαλύτερη από τις δύο.

2) Να διαστασιολογηθεί ο εξωτερικός αγωγός ακαθάρτων, δεδομένου ότι η οδός τοποθέτησής του παρουσιάζει ενιαία κλίση 15%.

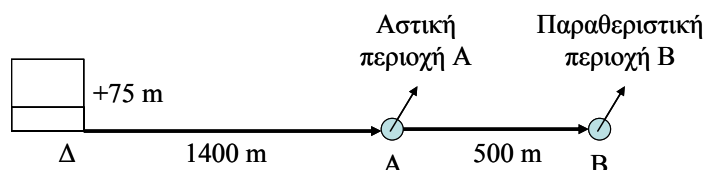
Να δειχθεί σε σκαρίφημα η λύση μεταξύ τριών διαδοχικών φρεατίων που απέχουν ανά δύο μεταξύ τους 50 m, όταν στο πρώτο ανάντη φρεάτιο ο αγωγός (άντυγα) εισέρχεται με το ελάχιστο βάθος (1.5 m).

@ Η. Βασιλόπουλος

Άσκηση στα δίκτυα διανομής (Μονάδες 2)

Η δεξαμενή Δ, με κατώτατη στάθμη λειτουργίας +75 m, που ήδη υδρεύει την αστική περιοχή Α, προβλέπεται να εξυπηρετεί και το νέο παραθεριστικό οικισμό Β, όπως φαίνεται στο Σχήμα. Με βάση την τελευταία απογραφή, ο πληθυσμός της περιοχής Α ανέρχεται σε 2000 άτομα, και δεν προβλέπεται να αυξηθεί στο μέλλον. Ο παραθεριστικός οικισμός έχει καταταμηθεί σε 250 οικόπεδα του μισού στρέμματος, και σε κάθε οικόπεδο προβλέπεται να ανεγερθεί μία εξοχική κατοικία ανά οικογένεια. Στις δύο περιοχές έχουν τοποθετηθεί πυροσβεστικοί κρουνοί, ονομαστικής παροχής 5 L/s. Τα υψόμετρα εδάφους των κόμβων κεφαλής Α και Β είναι +45 και +40 m, αντίστοιχα, ενώ η διάμετρος του υφιστάμενου κλάδου ΔΑ από PVC ονομαστικής αντοχής 10 atm είναι Φ250 mm.

Ζητούνται: (α) η εκτίμηση της παροχής αιχμής των δύο περιοχών, σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας θεωρώντας μέση κατά κεφαλή κατανάλωση 180 και 240 L/κ/ημ. για αστική και παραθεριστική χρήση, αντίστοιχα (β) η εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού των κλάδων ΔΑ και ΑΒ, σε συνθήκες έκτακτης λειτουργίας, για ταυτόχρονη ενεργοποίηση δύο κρουनों σε κάθε περιοχή (γ) ο έλεγχος επάρκειας πιέσεων στον κόμβο Α, με δεδομένο ότι γύρω από τον εν λόγω κόμβο αναπτύσσονται κτήρια έως τεσσάρων ορόφων, και (δ) η διαστασιολόγηση του κλάδου ΑΒ, με στόχο την εξασφάλιση ενός ελάχιστου ύψους πίεσης τουλάχιστον 15 m στον κόμβο Β.



@ Α. Ευστρατιάδης

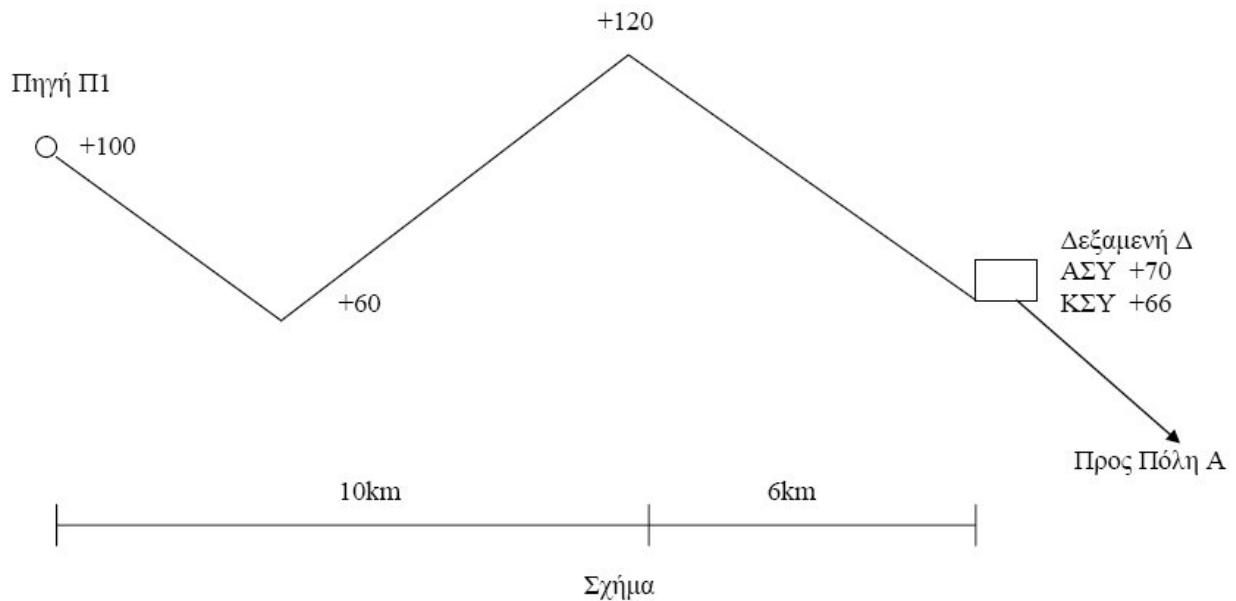
Άσκηση στα εξωτερικά υδραγωγεία (Μονάδες 2)

Πόλη Α με πληθυσμό 50 000 κατοίκους υδρεύεται από πηγή Π1 με διασφαλισμένη ελάχιστη ημερήσια παροχή (χωρίς διακύμανση μέσα στο 24ωρο) που ανέρχεται σε 20 000 m³/ημέρα. Η μηκοτομή του εξωτερικού υδραγωγείου έχει, σε στρεβλή κλίμακα, τη χάραξη που δίδεται στο Σχήμα και καταλήγει σε υφιστάμενη Δεξαμενή Δ με όγκο 30 000 m³.

Ζητείται ο σχεδιασμός του εξωτερικού υδραγωγείου με χωροθέτηση και περιγραφή των στοιχείων που το αποτελούν, επιλογή των κατάλληλων υλικών, διαστασιολόγηση των αγωγών και υπολογισμό της ισχύος τυχόν απαιτούμενων αντλιοστασίων. Ζητείται επίσης η χάραξη της Πιεζομετρικής Γραμμής από την Πηγή Π1 μέχρι τη Δεξαμενή Δ.

Σε περίπτωση εφαρμογής καταθλιπτικών αγωγών να τηρηθεί η υπόδειξη ότι η κλίση της Πιεζομετρικής Γραμμής δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή $J = 5 \text{ m/km}$.

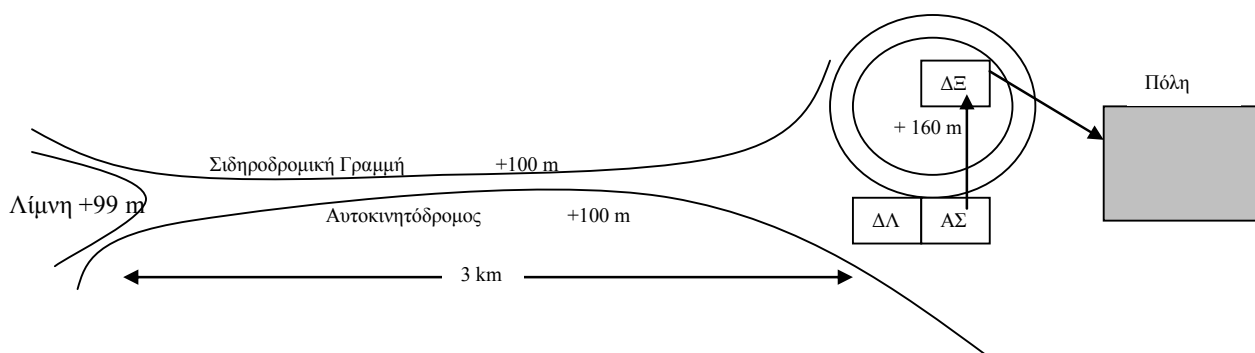
:-



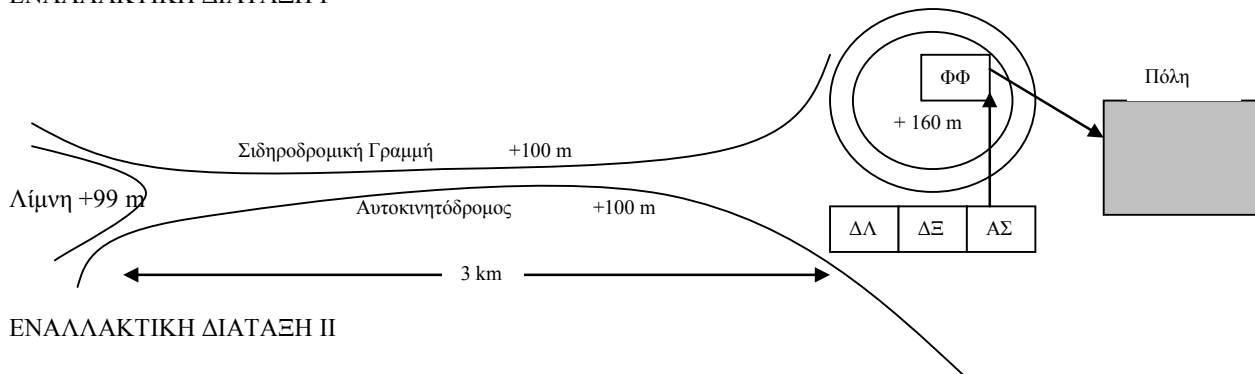
@ Ε. Αφτιάς

Άσκηση εξωτερικού υδραγωγείου (μονάδες 2)

Πόλη με πληθυσμό σχεδιασμού 1 000 000 κατοίκους και μέγιστη ημερήσια ζήτηση 300 L/(κατ.ημ) πρόκειται να υδρευθεί από λίμνη με διαθέσιμη απόληψη $10 \text{ m}^3/\text{s}$ και σταθερή στάθμη +99 m. Η περιοχή που παρεμβάλλεται ανάμεσα στο σημείο υδροληψίας και στη θέση εγκατάστασης του απαραίτητου διυλιστηρίου είναι επίπεδη με υψόμετρο εδάφους +100 m. Όπως φαίνεται από το σχήμα δίπλα στην πόλη, που και αυτή ευρίσκεται σε επίπεδη έκταση στο +100 m ευρίσκεται λόφος με υψόμετρο +160 m. Για το σχεδιασμό του εξωτερικού υδραγωγείου της πόλης εξετάζονται δύο εναλλακτικές διατάξεις τοποθέτησης του Διυλιστηρίου ΔΛ, της Δεξαμενής ΔΞ, ενός Φρεατίου Φόρτισης ΦΦ και του Αντλιοστασίου ΑΣ.



ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ I



ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ II

1. Επιλέξτε μετά από τεκμηριωμένη σύγκριση την ορθότερη διάταξη.
2. Διαστασιολογήστε το έργο μεταφοράς από το σημείο υδροληψίας μέχρι το διυλιστήριο δίδοντας τη διατομή, την οριζοντιογραφική χάραξη και τη μηκοτομή του έργου. Να ληφθεί υπόψη ότι για την κατασκευή του έργου μεταφοράς διατίθεται μόνο στενή λωρίδα γης πλάτους 4 m ανάμεσα από την υφιστάμενη σιδηροδρομική γραμμή και τον αυτοκινητόδρομο.
3. Δώστε την ημερήσια δυναμικότητα του διυλιστηρίου.
4. Υπολογίστε την ισχύ του αντλιοστασίου.

Άσκηση στα δίκτυα διανομής (μονάδες 2)

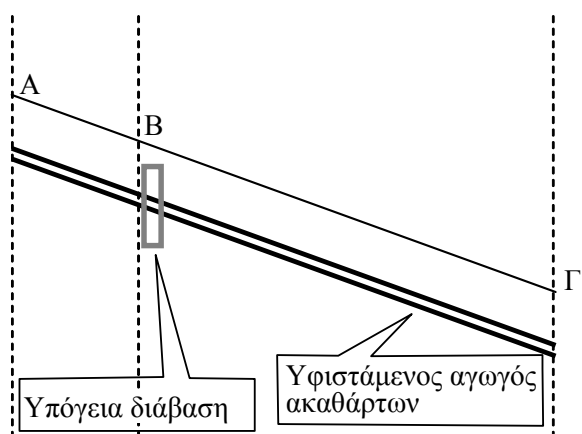
Πόλη τροφοδοτείται από ορθογωνική δεξαμενή ωφέλιμου όγκου 900 m^3 , ωφέλιμου ύψους 4.5 m και κατώτατης στάθμης $+100 \text{ m}$. Ο κύριος τροφοδοτικός αγωγός που μεταφέρει το νερό από τη δεξαμενή έως την κεφαλή του δικτύου διανομής, σε απόλυτο υψόμετρο $+76 \text{ m}$, έχει μήκος 800 m , διάμετρο $\Phi 250 \text{ mm}$, και είναι κατασκευασμένος από PVC 10 atm. Το δίκτυο εξυπηρετεί αστικές χρήσεις νερού, καθώς και μια βιομηχανική μονάδα που λειτουργεί επί 12 ώρες (07:00-19:00) ημερησίως, καταναλώνοντας με σταθερό ρυθμό 200 m^3 ημερησίως. Κατά την τελευταία θερινή περίοδο, τις ώρες αιχμής της αστικής ζήτησης, προέκυψε βλάβη στο αντλιοστάσιο που τροφοδοτεί τη δεξαμενή, που είχε ως αποτέλεσμα τη διακοπή της λειτουργίας του για διάστημα 90 min . Στο διάστημα αυτό, καταγράφηκε πτώση της στάθμης της δεξαμενής από τα $+102.6$ στα $+101.8 \text{ m}$. Την ίδια ημέρα, η συνολική κατανάλωση νερού, όπως μετρήθηκε στην έξοδο της μονάδας επεξεργασίας, ανήλθε στα 1400 m^3 (η τελευταία βρίσκεται ανάντη της δεξαμενής, ενώ η λειτουργία της δεν επηρεάστηκε από τη βλάβη του αντλιοστασίου). Με βάση τα παραπάνω:

- (1) Να υπολογιστεί το ύψος πίεσης στην κεφαλή του δικτύου, αμέσως μετά την αποκατάσταση της βλάβης του αντλιοστασίου.
- (2) Να εκτιμηθεί ο συντελεστής ωριαίας αιχμής για τις δύο χρήσεις νερού.
- (3) Να εκτιμηθεί ο ημερήσιος όγκος νερού που μπορεί να διαθέσει το σύστημα για την αστική χρήση τη μέρα αιχμής (σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας), με δεδομένα ότι (α) η μέγιστη δυναμικότητα της μονάδας επεξεργασίας ανέρχεται σε $1700 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ και (β) στην κεφαλή του δικτύου, που είναι το δυσμενέστερο σημείο από άποψη πιέσεων, αναπτύσσονται τετραώροφα κτήρια.

© Α. Ευστρατιάδης & Δ. Παναγούλια

Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

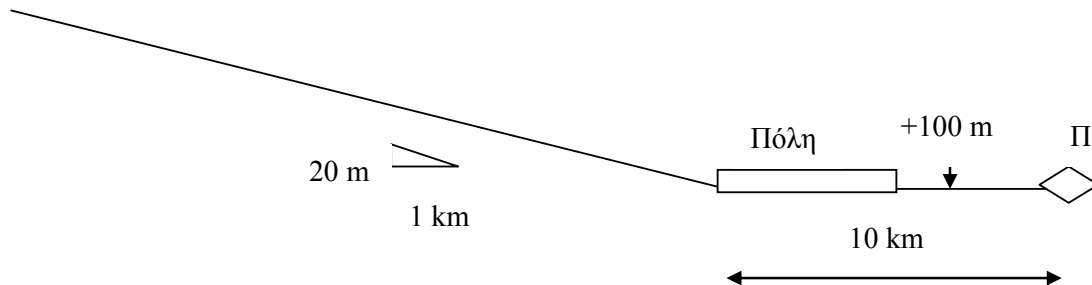
Το τμήμα ΑΓ κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων μιας κομόπολης, μήκους 1 km , που οδηγεί στην εγκατάσταση καθαρισμού λυμάτων, έχει χαραχτεί πρακτικώς παράλληλο προς το οδόστρωμα του υπερκείμενου δρόμου με κλίση 0.8% σε βάθος 2 m . Η διάμετρος του αγωγού είναι 0.40 m και το βάθος ροής για την παροχή σχεδιασμού (πρακτικώς σταθερή στο τμήμα ΑΓ) είναι 0.16 m . Επειδή αποφασίστηκε η κατασκευή υπόγειας (ανισόπεδης) διάβασης στη θέση Β, όπως στο σχήμα, με βάθος κατάληψης 4.0 m , μελετάται η μερική ανακατασκευή του αγωγού σε δύο εναλλακτικές λύσεις: (α) χωρίς αλλαγή διαμέτρου και (β) με ελαχιστοποίηση του επηρεαζόμενου μήκους του αγωγού, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η διαδοχή των διαμέτρων. Σε κάθε μία από αυτές τις λύσεις, να γίνει η διαστασιολόγηση και ο υδραυλικός έλεγχος, να προσδιοριστεί το μήκος του τμήματος της χάραξης που χρειάζεται ανακατασκευή, και να σχεδιαστεί σκαρίφημα της μηκοτομής.



© Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση εξωτερικού υδραγωγείου (μονάδες 2)

Πόλη με πληθυσμό 100 000 κατοίκους υδρεύεται από την Πηγή Π σε υψόμετρο +100 m με διαθέσιμη παροχή 400 L/s, όπως φαίνεται στο Σχέδιο 1. Η πόλη είναι χτισμένη σε επίπεδη επιφάνεια σε υψόμετρο +100 m και διαθέτει κτίρια με ισόγειο και 3 ορόφους.



Σχέδιο 1

Ζητείται ο σχεδιασμός του εξωτερικού υδραγωγείου της πόλης ώστε να καλύπτεται με τον οικονομικότερο τρόπο η ζήτηση.

Ειδικότερα:

- Να διαστασιολογηθούν και να τοποθετηθούν υψομετρικά και οριζοντιογραφικά οι απαιτούμενες δεξαμενές και αντλιοστάσια δίδοντας για τα τελευταία και τα στοιχεία μανομετρικού ύψους και ισχύος.
- Να τοποθετηθούν στο Σχέδιο 1 οι απαραίτητοι αγωγοί και να χαραχθούν οι αντίστοιχες Πιεζομετρικές Γραμμές

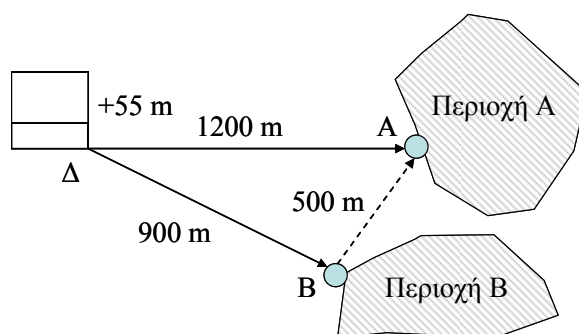
Παραδοχές:

- Ο πληθυσμός της πόλης είναι πληθυσμός σχεδιασμού
- Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση είναι 200 L/d/κάτ
- Απαιτούμενη ελάχιστη πίεση στη οροφή κάθε κτιρίου 7 m στήλης νερού.
- Λειτουργία των τυχόν απαιτούμενων αντλιοστασίων 16ώρες/24ωρο
- Να εφαρμοσθεί αγωγός με εσωτερική διάμετρο 500 mm με σχέση $Q = f(J)$ όπως στον πιο κάτω πίνακα

Q [L/s]	100	200	300	400	500
J [m/km]	0.60	2.00	4.00	7.00	10.00

Άσκηση στα δίκτυα διανομής (μονάδες 2)

Η δεξαμενή Δ, με κατώτατη στάθμη λειτουργίας +55 m, τροφοδοτεί δύο ανεξάρτητες αστικές περιοχές, μέσω των αγωγών ΔΑ και ΔΒ, όπως φαίνεται στο Σχήμα. Οι εκτάσεις των περιοχών Α και Β είναι 90 και 60 ha, και οι συντελεστές δόμησης 1.2 και 0.8, αντίστοιχα. Η διυλιστική ικανότητα της μονάδας επεξεργασίας νερού ανάντη της δεξαμενής ανέρχεται σε 1750 m³/d και εξασφαλίζει επάρκεια για την περίοδο αιχμής. Επειδή τις ώρες αιχμής της θερινής περιόδου παρουσιάζονται προβλήματα πιέσεων στο δίκτυο διανομής της περιοχής Α, μελετάται η προσθήκη του αγωγού ΒΑ.



Ζητούνται (α) η εκτίμηση των παροχών σχεδιασμού των δύο περιοχών, για την κατάσταση κανονικής λειτουργίας του δικτύου και (β) η επιλογή της διαμέτρου του αγωγού ΒΑ έτσι ώστε να εξασφαλίζεται, με βάση τις παραπάνω παροχές, ελάχιστο ύψος πίεσης 20 m στον κόμβο Α. Δίνεται ότι τα υψόμετρα εδάφους των κόμβων Α και Β είναι +25.5 και +35.0 m, αντίστοιχα, ενώ η διάμετρος των αγωγών ΔΑ και ΔΒ είναι Φ200 mm. Όλοι οι αγωγοί είναι από PVC, ονομαστικής αντοχής 10 atm. (2 μονάδες)

© Α. Ευστρατιάδης

Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

Κατά τη μελέτη ανακαίνισης του αποχετευτικού συστήματος μιας πόλης αποφασίστηκε η καθολική χρήση του χωριστικού συστήματος και η μετατροπή ενός παλιού παντοροϊκού δικτύου, που εξυπηρετούσε μικρό τμήμα της πόλης, σε χωριστικό. Σε αυτό το πλαίσιο, εξετάζεται ένας υφιστάμενος παντοροϊκός αγωγός από σκυρόδεμα, διαμέτρου 1.0 m, κλίσης 1% και βάθους 1.5 m (μετρούμενου από την άνω άκρη), ο οποίος μετά από επιθεώρηση βρέθηκε να είναι σε καλή κατάσταση. Στο υφιστάμενο σύστημα ο αγωγός εξυπηρετεί την αποχέτευση ομβρίων και ακαθάρτων μιας έκτασης 8 ha. Ζητούνται:

- (α) Να εξεταστεί αν ο αγωγός είναι επαρκής για ένταξη στο νέο χωριστικό σύστημα και να επιλεγεί το δίκτυο στο οποίο είναι σκοπιμότερο να ενταχθεί.
- (β) Να διαστασιολογηθεί ο νέος αγωγός που θα καλύψει τη χρήση που δεν θα εξυπηρετεί πλέον ο παραπάνω υφιστάμενος αγωγός.
- (γ) Να δοθεί σκαρίφημα της διατομής της οδού με τη διάταξη των αγωγών ομβρίων και ακαθάρτων.

Δίνονται τα ακόλουθα στοιχεία της μελέτης:

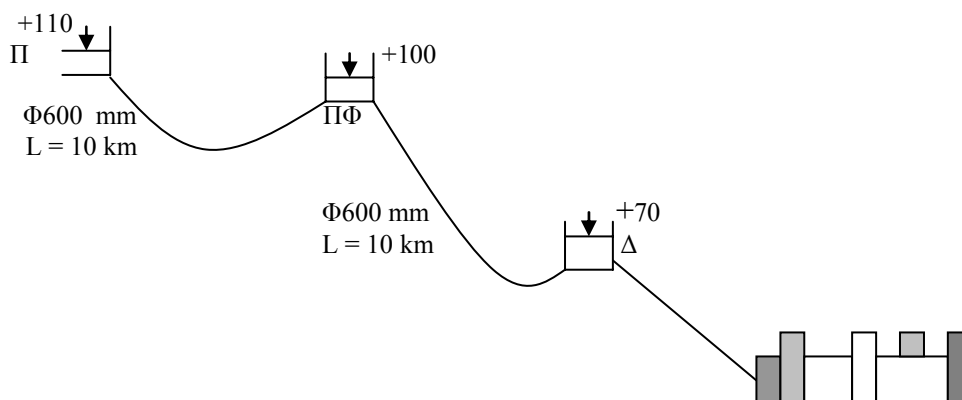
- (1) Πυκνότητα πληθυσμού: 100 κάτ./ha.
- (2) Μέγιστη ημερήσια ανά κάτοικο παροχή ακαθάρτων: 180 L/d/κάτ.
- (3) Παρασιτικές εισροές σε ξηρές περιόδους: 40% της παροχής αιχμής ακαθάρτων.
- (4) Όμβρια καμπύλη της περιοχής: $i = 35 (T^{0.16} - 0.3) / d^{0.62}$, όπου i η ένταση βροχής σε mm/h, d η διάρκεια σε h και T η περίοδος επαναφοράς σε έτη.
- (5) Χρόνος συγκέντρωσης ομβρίων στον αγωγό: 13 min.
- (6) Συντελεστής απορροής της περιοχής: 0.65.
- (7) Περίοδος επαναφοράς μελέτης ομβρίων: 5 χρόνια.

© Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση εξωτερικού υδραγωγείου (μονάδες 2)

Πόλη με σημερινό πληθυσμό 63 360 κατοίκους υδρεύεται μέχρι σήμερα από την πηγή Π μέσω του αγωγού $\Phi 600$ mm, του πιεζοθραυστικού φρεατίου ΠΦ και της δεξαμενής Δ, όπως φαίνεται στο σχέδιο. Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση της πόλης έχει μετρηθεί ίση με $19\,000\text{ m}^3$ και η μέση ημερήσια ίση με $15\,000\text{ m}^3$. Η ελάχιστη διαθέσιμη παροχή στην πηγή είναι ίση με 500 L/s .

Η πόλη παρουσιάζει οικονομική ανάπτυξη που αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση του πληθυσμού της και της ζήτησης σε νερό. Με την προοπτική αυτή ανετέθη σε μηχανικό η μελέτη εγκατάστασης ωστικού αντλιοστασίου (booster) στον κλάδο Π-ΠΦ ώστε να μεγιστοποιηθεί η παροχευετικότητα του υδραγωγείου χωρίς να αλλάξουν τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του.



Ζητείται:

A. Να υπολογισθούν:

1. Η μέγιστη και η μέση κατά κεφαλή ημερήσια κατανάλωση στην πόλη
2. Η μέγιστη παροχευετικότητα του υδραγωγείου όπως είναι σήμερα, σχεδιάζοντας και τις αντίστοιχες πιεζομετρικές γραμμές

B. Να εξηγηθεί πως θα λειτουργεί το εξωτερικό υδραγωγείο μετά την εγκατάσταση ωστικού αντλιοστασίου στον κλάδο ΠΦ χωρίς άλλη αλλαγή, εξηγώντας και την επιλογή της θέσης του αντλιοστασίου αυτού.

Γ. Να υπολογισθούν:

1. Η μέγιστη παροχευετικότητα του υδραγωγείου που μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση ωστικού αντλιοστασίου στον κλάδο ΠΦ χωρίς άλλη αλλαγή, σχεδιάζοντας και τις αντίστοιχες πιεζομετρικές γραμμές
2. Το μανομετρικό και η ισχύς του αντλιοστασίου αυτού.

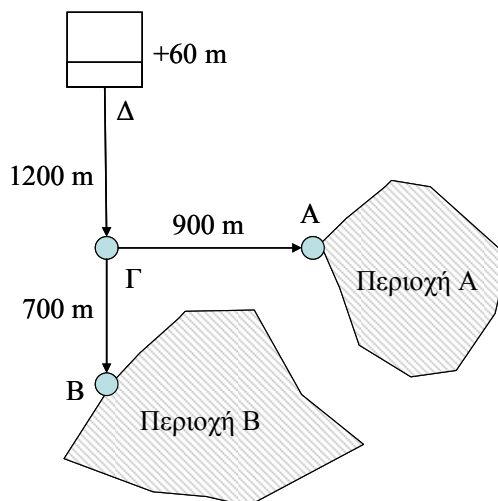
Παραδοχές:

- ☐ Το ωστικό αντλιοστάσιο θα λειτουργεί την ημέρα αιχμής 24 ώρες το 24ωρο.
- ☐ Οι υπολογισμοί θα γίνουν με τις ενδεικνυόμενες μέσες στάθμες στις δεξαμενές.
- ☐ Η σχέση Q, J για τον αγωγό $\Phi 600$ mm δίδεται στον επόμενο πίνακα.

$Q[\text{L/s}]$	152	220	270	310	350	380	410
$J[\text{m/km}]$	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50

Άσκηση στα δίκτυα διανομής (μονάδες 2)

Μελετάται η γενική διάταξη του συστήματος ύδρευσης ενός παραθεριστικού οικισμού, που περιλαμβάνει δύο περιοχές δόμησης, Α και Β (βλ. σχήμα). Με βάση το πολεοδομικό σχέδιο, στον οικισμό θα αναπτυχθούν αποκλειστικά διώροφες εξοχικές κατοικίες. Η οικοδομήσιμη έκταση των περιοχών Α και Β είναι 20 και 24 ha, ενώ το τυπικό εμβαδό των οικοπέδων είναι 500 και 800 m², αντίστοιχα. Οι δύο περιοχές εξυπηρετούνται από την κοινή δεξαμενή Δ, η κατώτατη στάθμη λειτουργίας της οποίας τίθεται στα +60 m. Στο εσωτερικό δίκτυο θα τοποθετηθούν πέντε πυροσβεστικοί κρουνοί, ονομαστικής παροχής 5 L/s, δύο στην περιοχή Α και τρεις στην Β.



Λόγω της ύπαρξης δασώδους βλάστησης στην περιοχή, ο σχεδιασμός του δικτύου γίνεται με τη θεώρηση ταυτόχρονης λειτουργίας τριών κρουνών. Με βάση τα αποτελέσματα προκαταρκτικών διερευνήσεων, το απαιτούμενο ύψος πίεσης στις παρυφές των δύο περιοχών (κόμβοι Α και Β) είναι 20 και 15 m, αντίστοιχα, για το δυσμενέστερο σενάριο λειτουργίας.

Ζητούνται:

1. Η εκτίμηση των παροχών σχεδιασμού των δύο περιοχών, για την κατάσταση κανονικής λειτουργίας του δικτύου (θεωρήστε ειδική κατανάλωση 210 L/κατ./ημ., και κάνετε εύλογες παραδοχές για τα υπόλοιπα μεγέθη σχεδιασμού) (0.5 μονάδα)
2. Η εκτίμηση των παροχών με τις οποίες διαστασιολογούνται οι αγωγοί ΔΓ, ΓΑ και ΓΒ, για την κατάσταση έκτακτης λειτουργίας του δικτύου. (0.5 μονάδα)
3. Η επιλογή της διαμέτρου του αγωγού ΔΓ, αν η διάμετρος των αγωγών ΓΑ και ΓΒ είναι Φ200 mm (όλοι οι αγωγοί είναι από PVC, ονομαστικής αντοχής 10 atm). Δίνεται ότι τα υψόμετρα εδάφους των κόμβων Α, Β και Γ είναι +30, +38 και +46 m, αντίστοιχα. (1 μονάδα)

© Α. Ευστρατιάδης

Άσκηση αποχετεύσεων (μονάδες 3)

Παραλιακός αγωγός ακαθάρτων μήκους 10 km εξυπηρετεί τις παραθαλάσσιες συνοικίες μεγάλης πόλης, χαράσσεται κατά μήκος παραλιακής οδού με πρακτικώς σταθερό υψόμετρο εδάφους και τοποθετείται με ελάχιστο και μέγιστο βάθος 2.0 και 4.5 m, αντίστοιχα (μετρούμενα από την άντυγα). Στο τελευταίο τμήμα του αγωγού που οδηγεί προς την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός σχεδιασμού φτάνει τους 20 000 κατοίκους. Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση νερού στην πόλη είναι 200 L/d/κάτ. και οι παρασιτικές εισροές έχουν εκτιμηθεί στο 50% της παροχής αιχμής ακαθάρτων. Να γίνει η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος του αγωγού στο τελευταίο τμήμα του στις ακόλουθες δύο εναλλακτικές λύσεις:

- (α) με κλίση πυθμένα τέτοια ώστε η ταχύτητα πλήρωσης να είναι 0.8 m/s·
- (β) με διάμετρο κατά 10 cm μικρότερη από αυτή της λύσης (α).

Σε καθεμιά από τις δύο λύσεις να υπολογιστεί η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών αντλιοστασίων και να αναφερθούν τα στοιχεία κόστους εκείνα, στα οποία υπερτερεί η μία λύση έναντι της άλλης.

© Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση εσωτερικού υδραγωγείου - Μονάδες 5

Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ) της πόλης Π, με πληθυσμό 100 000 κατοίκους, εισέπραξε για το 2004 από τους καταναλωτές 7 300 000 € εφαρμόζοντας τιμολόγηση του νερού 1 €/m³.

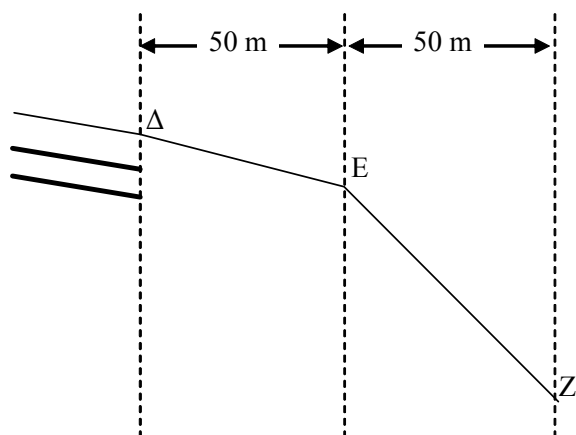
Η ύδρευση της πόλης εξασφαλίζεται από πηγές ικανής παροχής, σε υψόμετρο +200 m. Με την παρεμβολή αντλιοστασίου το νερό μεταφέρεται στη δεξαμενή της πόλης με υψόμετρο πυθμένα +245.50 m και ΑΣΥ +250 m. Με βάση στοιχεία μέτρησης έχει διαπιστωθεί ότι οι γραμμικές και τοπικές απώλειες ενέργειας από την αναρρόφηση μέχρι τη δεξαμενή ανέρχονται σε 2 m και ο βαθμός απόδοσης του αντλιοστασίου $\eta = 0.70$.

Το ίδιο έτος η ΔΕΥΑ κατέβαλε 200 000 € στη ΔΕΗ για το κόστος των αντλήσεων με τιμολόγηση 0.10 €/kWh.

Να υπολογισθεί η συνολική ετήσια κατανάλωση νερού της πόλης.

© Μ. Αφτιάς

Άσκηση αποχέτευσης - Μονάδες 5

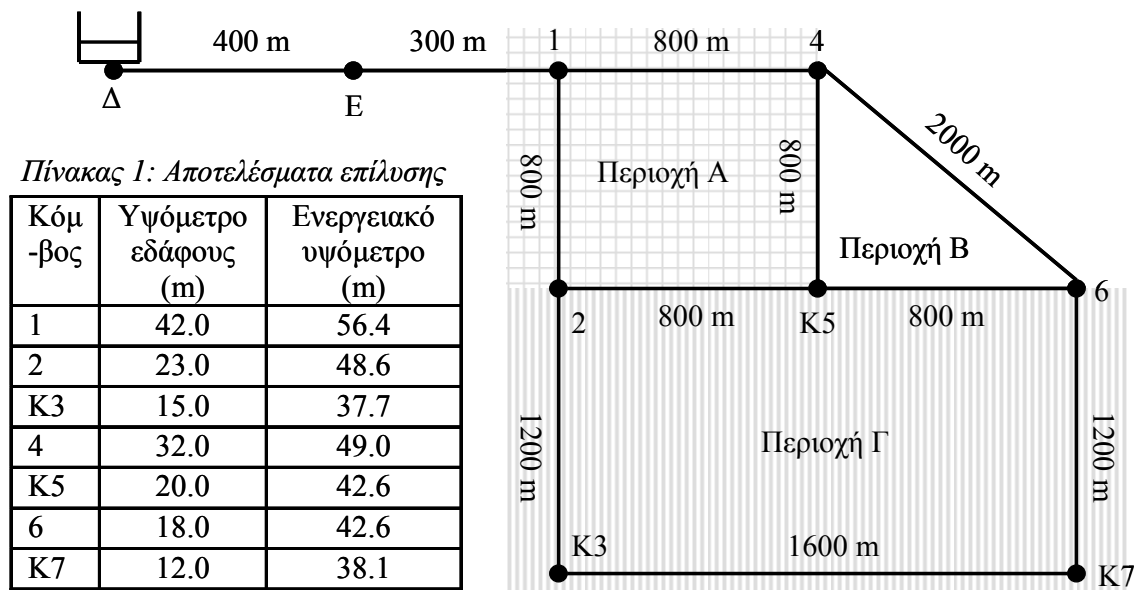


Μελετάται η χάραξη σε μηκотоμή του κεντρικού αποχετευτικού αγωγού μιας πόλης, με παροχή σχεδιασμού 0.75 m³/s, ο οποίος μεταφέρει τα ακάθαρτα όλης της πόλης στην εγκατάσταση επεξεργασίας έξω από την πόλη. Το ελάχιστο βάθος τοποθέτησης του αγωγού στην περιοχή εκτός της πόλης έχει καθοριστεί στο 1 m. Έχει ήδη ολοκληρωθεί η διαστασιολόγηση του αγωγού μέχρι τη θέση Δ και καθορίστηκε ότι αμέσως ανάντη του Δ ο αγωγός τοποθετείται σε βάθος 1 m και έχει διάμετρο 0.8 m. Για το τμήμα ΔΕΖ του αγωγού, με υψόμετρα εδάφους +52.00, +51.50 και +49.50 στα σημεία Δ, Ε και Ζ αντίστοιχα, εξετάζονται δύο εναλλακτικές λύσεις: (α) η λύση που αντιστοιχεί στις ελάχιστες δυνατές εκσκαφές και (β) η λύση ενιαίας κλίσης αγωγού στο τμήμα ΔΕΖ. Να γίνει η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος του αγωγού για καθεμιά από τις δύο λύσεις και να υποδειχτεί η προτιμητέα λύση.

© Δ. Κουτσογιάννης

Άσκηση εσωτερικού υδραγωγείου - Μονάδες 5

Στο Σχήμα απεικονίζεται το πρωτεύον δίκτυο διανομής οικισμού, τα μήκη των κλάδων και οι θέσεις των πυροσβεστικών κρουνών, ονομαστικής παροχής 5 L/s (επισημαίνονται με «K»). Οι οικισμός, στον οποίο αναπτύσσονται αποκλειστικά αστικές χρήσεις, περιλαμβάνει τρεις περιοχές δόμησης, με ενιαίο συντελεστή κάλυψης. Στην περιοχή Α αναπτύσσονται διώροφες κατοικίες, στην περιοχή Β τριώροφες, ενώ στην περιοχή Γ τετραώροφες. Η παροχή σχεδιασμού, σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας, είναι 20 L/s. Το δίκτυο τροφοδοτείται από τη δεξαμενή Δ, ωφέλιμης χωρητικότητας 350 m³ και ελάχιστης στάθμης ύδατος +65 m. Ο κύριος τροφοδοτικός αγωγός, που λειτουργεί επί 30 έτη, είναι από υλικό PVC, κλάσης 10 atm, και έχει ενιαία διάμετρο Φ200 mm. Στη θέση Ε μελετάται η υδροδότηση μιας μονάδας επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων, 8ωρης λειτουργίας καθημερινά.



Πίνακας 2: Κατανομή αστικής ζήτησης.

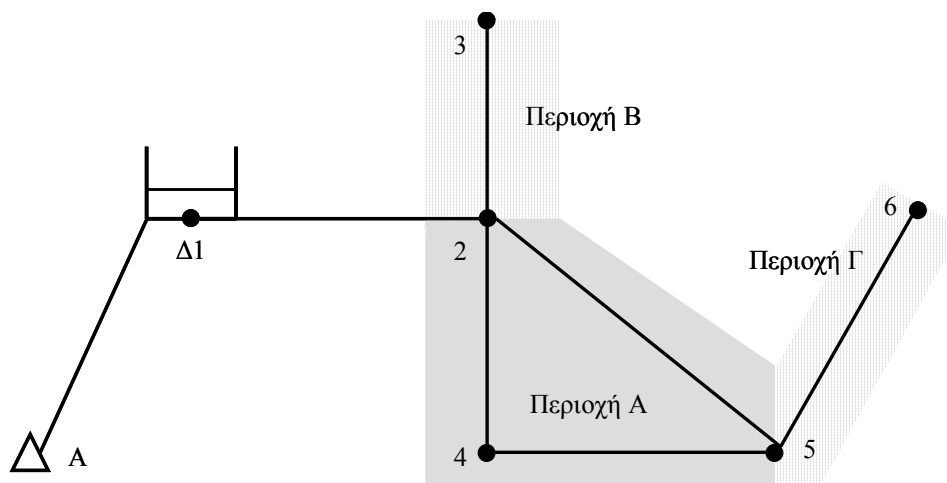
Χρονικό διάστημα (ώρες)	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
Ποσοστό αστικής ζήτησης (%)	5.0	12.0	22.0	19.0	26.0	16.0

Ζητούνται:

- Να εκτιμηθεί η παροχή εξόδου στον κόμβο K5, σε συνθήκες κανονικής και έκτακτης λειτουργίας του δικτύου. (1.5 μονάδα)
- Το μοντέλο δικτύου έχει επιλυθεί για ένα δυσμενές σενάριο λειτουργίας, που υποθέτει ταυτόχρονη ενεργοποίηση δύο κρουνών. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 1. Ποια είναι η μέγιστη ημερήσια παροχή που μπορεί να δοθεί στη μονάδα επεξεργασίας μέσω του κόμβου Ε, χωρίς να προκαλούνται προβλήματα πιέσεων στο κατάντη δίκτυο; (1.5 μονάδα)
- Έστω ότι η μονάδα επεξεργασίας καταναλώνει 100 m³ ανά ημέρα, λειτουργώντας συνεχώς από τις 8:00 π.μ. έως τις 4:00 μ.μ. Στον Πίνακα 2 δίνεται η τυπική διακύμανση της αστικής κατανάλωσης ανά 4ωρο. Να εκτιμηθεί ο διαθέσιμος όγκος ασφαλείας της δεξαμενής, με δεδομένο ότι το εξωτερικό υδραγωγείο λειτουργεί με βαρύτητα. (1 μονάδα)

Θέμα εσωτερικού υδραγωγείου (5 μονάδες) – Παραλλαγή Α

Μελετάται το εσωτερικό δίκτυο του Σχήματος, που τροφοδοτείται από τη δεξαμενή Δ1 και εξυπηρετεί οικισμό 5000 μόνιμων κατοίκων, με μέση ημερήσια κατανάλωση σχεδιασμού 150 L ανά άτομο. Ειδικότερα, στην περιοχή Α εξυπηρετούνται τετραώροφα κτήρια, ενώ στις περιοχές Β και Γ εξυπηρετούνται διώροφα κτήρια (ο συντελεστής κάλυψης είναι ενιαίος σε όλο τον οικισμό). Στον Πίνακα δίνονται τα υψόμετρα εδάφους στους κόμβους και τα χαρακτηριστικά μεγέθη των κλάδων (μήκη, διάμετροι εμπορίου). Όλοι οι αγωγοί είναι από υλικό PVC, ονομαστικής αντοχής 12.5 atm.



Κόμβος	Υψόμετρο εδάφους (m)
Δ1	
2	32.0
3	36.0
4	27.0
5	25.0
6	34.0

Κλάδος	Μήκος (m)	Διάμετρος εμπορίου (mm)
Δ1-2	600	200
2-3	320	90
2-4	360	125
4-5	400	125
2-5	540	125
5-6	480	90

Ζητούμενα:

Α) Να εκτιμηθούν οι παροχές εξόδου των κόμβων σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας, θεωρώντας τις τυπικές τιμές των συντελεστών λ_1 και λ_2 . (1 μονάδα)

Β) Από αρχικό έλεγχο, προέκυψε ότι ο κόμβος 6 είναι ο δυσμενέστερος ως προς τον έλεγχο ελάχιστων πιέσεων. Ποια πρέπει να είναι η ελάχιστη κατώτατη στάθμη ώστε να ικανοποιείται οριακά ο έλεγχος πιέσεων στον εν λόγω κόμβο; Δίνεται ότι οι ενεργειακές απώλειες κατά μήκος της διαδρομής 2-4 είναι ίσες με 5.15 m. (2 μονάδες)

Γ) Έστω ότι η δεξαμενή Δ1 τροφοδοτείται μέσω του καταθλιπτικού αγωγού Α-Δ1, από αντλιοστάσιο 16ωρης συνεχούς λειτουργίας, με έναρξη στις 4:00 π.μ. Η τυπική ημερήσια διακύμανση της κατανάλωσης του οικισμού είναι:

Ωρα	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
% ημερήσιου όγκου	4	14	20	18	30	14

Να υπολογιστεί ο απαιτούμενος όγκος της δεξαμενής ρύθμισης, θεωρώντας τρίωρη διάρκεια πυρκαγιάς, με ταυτόχρονη λειτουργία δύο πυροσβεστικών κρουνών ονομαστικής παροχής 5 L/s, και τετράωρη βλάβη του καταθλιπτικού αγωγού. Δώστε σε σκαρίφημα τις χαρακτηριστικές διαστάσεις της δεξαμενής, για ορθογωνική κάτοψη εμβαδού 200 m². (2 μονάδες)

Υποδείξεις: Για τον έλεγχο των ελάχιστων πιέσεων, θεωρήστε ενεργειακές απώλειες 1.0 m ανά όροφο, με τυπικό ύψος ορόφου 3.0 m. Για τον υπολογισμό των γραμμικών ενεργειακών απωλειών των κλάδων, χρησιμοποιήστε την προσεγγιστική σχέση των Hazen-Williams:

$$h_f = 10.675 L Q^{1.852} C^{-1.852} D^{-4.871}$$

όπου h_f οι ενεργειακές απώλειες σε m, L το μήκος του αγωγού σε m, Q η διερχόμενη παροχή σε m^3/s , D η διάμετρος του αγωγού σε m, και C συντελεστής τραχύτητας, με τυπική τιμή $C = 105$ για αγωγούς από PVC.

© Δ. Παναγούλια & Α. Ευστρατιάδης

Θέμα αποχέτευσης (5 μονάδες) – Παραλλαγή Α

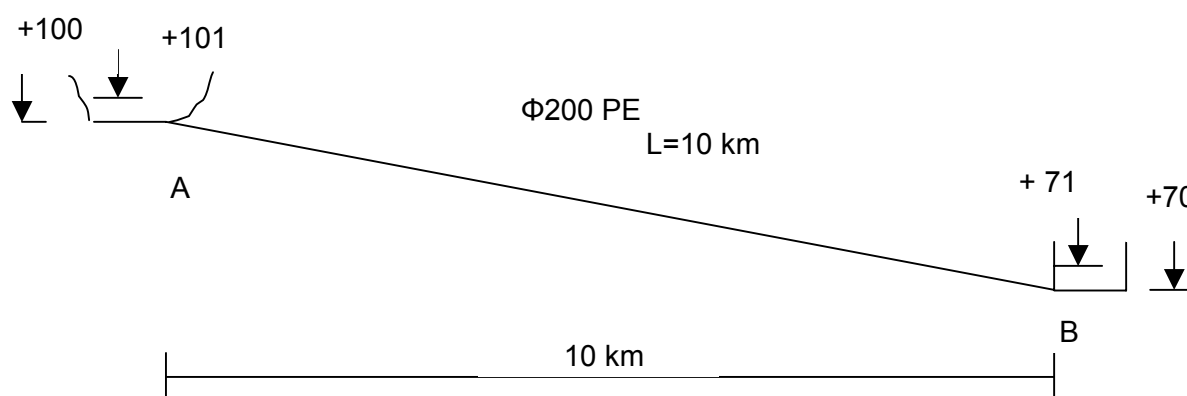
Νησιωτικός Δήμος περιλαμβάνει τέσσερις παραλιακούς οικισμούς με τουριστική ανάπτυξη, οι οποίοι αναπτύσσονται σε μέτωπο ακτής συνολικού μήκους 4.0 km. Μελετάται η αποχέτευση των τεσσάρων οικισμών με κοινό κύριο συλλεκτήρα σε παραλιακή οδό, η οποία συνδέει τους και τους τέσσερις οικισμούς, εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων σε απόσταση 1.0 km δυτικά του δυτικότερου οικισμού και διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων στη θάλασσα. Η παραλιακή οδός μπορεί να θεωρηθεί πρακτικώς οριζόντια με στάθμη οδοστρώματος +4.50 m. Η κλίση του κεντρικού συλλεκτήρα έχει επιλεγεί 2.0 m/km, το ελάχιστο βάθος του (μετρούμενο από την άντυγα) 2 m και το μέγιστο βάθος τέτοιο ώστε η άντυγα του αγωγού να μην τοποθετείται κάτω από τη στάθμη της θάλασσας.

1. Να γίνει σκαρίφημα της μηκοτομής του αγωγού και να τοποθετηθούν τα απαραίτητα έργα για τη λειτουργία του.
2. Να διαστασιολογηθεί το πιο κατάντη τμήμα του αγωγού από το δυτικότερο οικισμό μέχρι την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, αν ο πληθυσμός σχεδιασμού των τεσσάρων οικισμών είναι αθροιστικά 8000 κάτοικοι, η μέση ημερήσια παροχή ύδρευσης 150 L/d/κάτοικο και οι παρασιτικές εισροές 50% της παροχής αιχμής ακαθάρτων.
3. Να ελεγχθεί αν στο πιο πάνω τμήμα του αγωγού μπορεί να μειωθεί η κλίση και πόσο χωρίς να αλλάξει η διάμετρος και χωρίς η ταχύτητα για το 10% της παροχетеυτικότητας του αγωγού να γίνει μικρότερη από 0.3 m/s.

© Δ. Κουτσογιάννης

ΑΣΚΗΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ

Πόλη Π, 10 000 κατοίκων, υδρεύεται από επιφανειακά νερά (Α) με σταθερή στάθμη +101 m, μέσω αγωγού Φ200 mm από ΡΕ, μήκους 10 km, που τροφοδοτεί διυλιστήριο (Β) με σταθερή στάθμη +71 m, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1

Ο υφιστάμενος αγωγός επαρκεί οριακά για τη μεταφορά της μέγιστης ζήτησης στην πόλη.

Στην πόλη πρόκειται να εγκατασταθεί βιοτεχνία κονσερβών ντομάτας, που απαιτεί πρόσθετη τροφοδοσία νερού $605 \text{ m}^3/\text{d}$, με σταθερή ζήτηση σε 24ωρη βάση.

Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης της πόλης προτίθεται να αυξήσει την παροχευτικότητα του υδραγωγείου με την εγκατάσταση ωστικής αντλίας (booster) σε κατάλληλο σημείο του αγωγού Φ200. Ο Δήμος διαθέτει δύο ιδιόκτητες εκτάσεις, όπου εναλλακτικά μπορεί να τοποθετηθεί το υπ' όψιν αντλιοστάσιο, στα σημεία Α και Β, αντίστοιχα στο ανάντη άκρο του αγωγού ή δίπλα στο διυλιστήριο.

Δίδεται η σχέση $J=f(Q)$ για τον αγωγό Φ200

J [m/km]	3	4	5	6
Q [L/s]	26	29	33	35

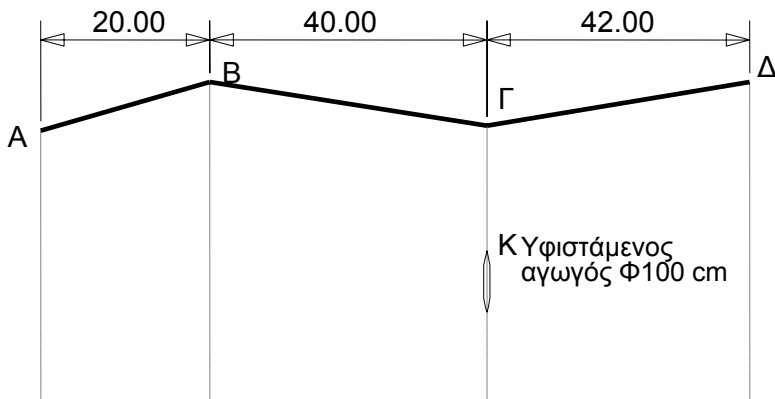
Ζητούνται:

1. Υπολογίστε τη μέγιστη ζήτηση στην πόλη σε ημερήσιο όγκο και ανηγμένη ανά κάτοικο, πριν την εγκατάσταση της βιοτεχνίας.
2. Υποδείξτε και αιτιολογήστε την θέση εγκατάστασης του αντλιοστασίου που επιλέγετε, αιτιολογώντας επίσης και την απόρριψη της άλλης θέσης.
3. Σχεδιάστε την Πιεζομετρική Γραμμή για το ερώτημα 2
4. Υπολογίστε την ισχύ του προτεινόμενου αντλιοστασίου που εξασφαλίζει την κάλυψη της πρόσθετης ζήτησης.

Μ.Αφτιάς.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ (ΘΕΜΑΤΑ ΑΠΟ ΠΑΛΙΕΣ ΕΞΕΤΑΣΕΙΣ)

Ενδιάμεση εξέταση Νοεμβρίου 1992



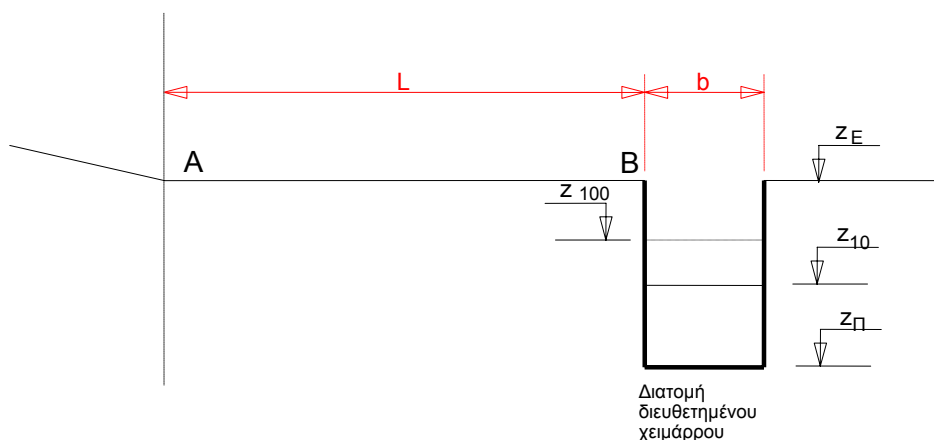
Σε οικισμό που διαθέτει στοιχειώδες δίκτυο ομβρίων αποφασίστηκε να γίνει βελτίωση και επέκταση του δικτύου. Στο σχήμα φαίνεται σκαρίφημα μηκοτομής μιας οδού, όπου προβλέπεται κατασκευή αγωγού στο τμήμα ΑΒΓ με ενιαία κλίση και διάμετρο. Ο αγωγός αυτός θα εκβάλλει στον υφιστάμενο αγωγό Κ (εγκάρσιο στη μηκοτομή) διαμέτρου 100 cm, ο οποίος ελέγχθηκε και επαρκεί για να δεχτεί τα όμβρια του νέου αγωγού. Ζητείται η διαστασιολόγηση, ο έλεγχος και σκαρίφημα μηκοτομής του νέου αγωγού καθώς και σκαρίφημα της συμβολής του με τον Κ.

Δίνονται:

1. Επιφάνεια που θα αποχετεύεται μέσω του νέου αγωγού: 4.0 ha
2. Μέσος συντελεστής απορροής: 50%
3. Περίοδος επαναφοράς μελέτης: 5 έτη
4. Χρόνος εισόδου: 10 min
5. Όμβρια καμπύλη $i = aT^b / t^c$ (i : mm/h, t : h, T : έτη), όπου $a = 15.0$, $b = 0.2$, $c = 0.5$
6. Υψόμετρα εδάφους και άντυνας αγωγού ως εξής:

ΣΗΜΕΙΟ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
A	47.00
B	47.50
Γ	47.00
Δ	47.50
K	45.00

Τελική εξέταση Φεβρουαρίου 1993



Στο σχήμα φαίνεται η διατομή διευθετημένου χειμάρρου που διασχίζει οικισμό. Τα γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά της διατομής είναι τα ακόλουθα:

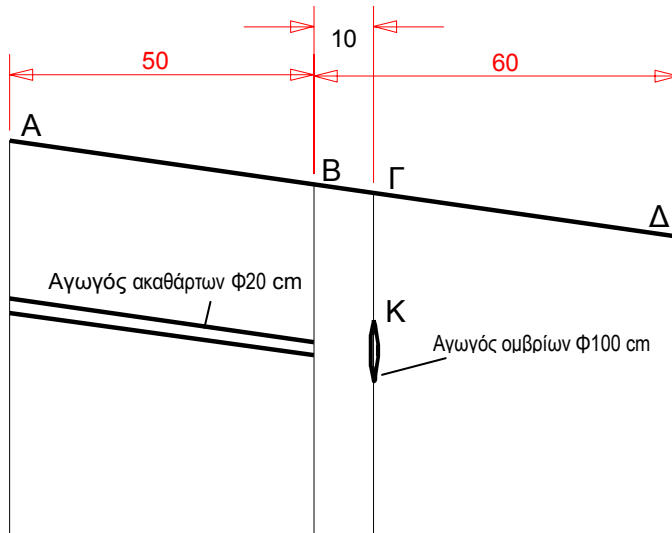
- Πλάτος $b = 5.00$ m
- Υψόμετρο πυθμένα $z_{\Pi} = +178.90$ m
- Υψόμετρο εδάφους $z_E = +183.00$ m

- Στάθμη πλημμύρας δεκαετίας $z_{10} = +180.90$ m
- Στάθμη πλημμύρας εκατονταετίας $z_{100} = +181.90$ m
- Ταχύτητα πλημμύρας δεκαετίας $V_{10} = 2.50$ m/s

Μελετάται η κατασκευή του αγωγού ομβρίων AB, μήκους $L = 85.00$ m, που θα εκβάλλει στο χείμαρρο. Το έδαφος στο τμήμα AB είναι πρακτικά οριζόντιο. Ζητούνται:

1. Η διαστασιολόγηση και ο υδραυλικός έλεγχος του αγωγού AB αν η παροχή σχεδιασμού του είναι $Q = 238.0$ L/s. Το ελάχιστο βάθος είναι 1.00 m. Να θεωρηθεί ότι η στάθμη στο χείμαρρο είναι η z_{10} .
2. Σκαρίφημα της μηκοτομής του αγωγού και λεπτομέρειες της μηκοτομής στις θέσεις A και B.
3. Ο υπολογισμός των συνθηκών ροής στον αγωγό AB για την παραπάνω παροχή σχεδιασμού του (και για γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως υπολογίστηκαν στα παραπάνω ερωτήματα), αν η στάθμη στο χείμαρρο είναι η z_{100} . Θα είναι δυνατή η διοχέτευση της παροχής αυτής; Ποια θα είναι η στάθμη νερού στο φρεάτιο A;

Επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 1993



Στο σχήμα δίνεται σκαρίφημα της μηκοτομής εδάφους της οδού ABΓΔ, η οποία έχει ενιαία κλίση 1.4%. Το υψόμετρο του σημείου A είναι +98.00 m. Ζητείται η διαστασιολόγηση, ο έλεγχος και η χάραξη της μηκοτομής του αγωγού ακαθάρτων στο τμήμα BΓ, καθώς και σκαρίφημα του φρεατίου στη θέση B. Ήδη έχει διαστασιολογηθεί και χαραχθεί στο παραπάνω σκαρίφημα μηκοτομής το τμήμα AB του αγωγού. Το τμήμα αυτό έχει τοποθετηθεί στο ελάχιστο βάθος, το οποίο έχει θεωρηθεί 2.0 m. Ακόμη, στη μηκοτομή έχει χαραχθεί ο εγκάρσιος αγωγός ομβρίων που περνάει κάτω από το σημείο Γ. Το βάθος ΓΚ (όπου Κ είναι η άντρυγα του αγωγού) είναι 1.7 m, ενώ το πάχος των τοιχωμάτων του αγωγού ομβρίων είναι 20 cm. Για τον

υπολογισμό της παροχής του αγωγού να θεωρηθεί εξυπηρετούμενος πληθυσμός 1000 κατοίκων, μέση ετήσια παροχή ύδρευσης 150 L/κατ/ημ και πρόσθετες εισροές 20% της παροχής αιχμής ακαθάρτων.

Ενδιάμεση εξέταση Νοεμβρίου 1993

Μετά από ισχυρή βροχόπτωση μικρής διάρκειας σε αστική περιοχή, που εκτιμήθηκε ότι αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 5 ετών διαπιστώθηκε ότι ένα τμήμα αγωγού ομβρίων δεν λειτουργεί ικανοποιητικά, αφήνοντας τα όμβρια να τρέχουν στο δρόμο. Μετά από αυτό, προκύπτει η ανάγκη να εξακριβωθεί η αιτία αυτής της αστοχίας, η οποία μπορεί να είναι είτε (α) υδραυλικά ανεπαρκής διατομή του αγωγού, είτε (β) ανεπαρκής αριθμός ή εσφαλμένη τοποθέτηση φρεατίων υδροσυλλογής, είτε (γ) εμφράξεις ή προβλήματα στη συντήρηση του αγωγού και των φρεατίων. Από μια πρώτη έρευνα αποκλείστηκε το ενδεχόμενο (β).

Ζητούνται:

1. Να εξακριβωθεί ποιο από τα ενδεχόμενα (α) ή (γ) είναι η πιθανότερη αιτία της αστοχίας.
2. Σε περίπτωση που η αιτία είναι η (α) να προταθούν, να διαστασιολογηθούν και να ελεγχθούν τα έργα που πρέπει να γίνουν για να λυθεί το πρόβλημα. Σε αντίθετη περίπτωση (αιτία (γ)) να υπολογιστεί ποια είναι η οριακή ένταση βροχής για την οποία επαρκεί ο υφιστάμενος αγωγός ομβρίων, αν με κατάλληλη συντήρηση αρθούν τα αίτια που προκάλεσαν το πρόβλημα.

Δεδομένα:

1. Αποχετευόμενη έκταση του εν λόγω τμήματος αγωγού: 30 ha.
2. Συντελεστής απορροής: 0.45 κατά μέσο όρο.
3. Χρόνος συγκέντρωσης αγωγού: 13 min.
4. Όμβρια καμπύλη για $T = 5$: $i = m / t^n$, όπου i η ένταση σε mm/h, t η διάρκεια βροχής σε h, $m = 25$ και $n = 0.6$.
5. Διάμετρος αγωγού: $D = 80$ cm.
6. Κλίση αγωγού (ίδια με την κλίση εδάφους): $J = 3\%$.

Ενδιάμεση εξέταση Νοεμβρίου 1994

Η χάραξη του εξωτερικού συλλεκτήρα ακαθάρτων πόλης 150 000 κατοίκων, ο οποίος οδηγεί τα λύματα στην εγκατάσταση επεξεργασίας, περιλαμβάνει τμήμα μήκους 250 m στο οποίο η κλίση εδάφους είναι 5%. Να γίνει η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος και να σχεδιαστεί σκαρίφημα της μηκοτομής του αγωγού στο τμήμα αυτό (με τα απαραίτητα τεχνικά έργα) σε τρόπο ώστε:

1. Η ταχύτητα να μην υπερβαίνει τα 3.0 m/s.
2. Το ελάχιστο βάθος του αγωγού να είναι 1.5 m.
3. Το βάθος εκσκαφής να μην υπερβαίνει τα 4.5 m.

Επιπλέον δίνονται:

1. Μέση ημερήσια κατανάλωση νερού: 200 L/(κάτ. ημ.).
2. Παρασιτικές εισροές: 50% της παροχής αιχμής ακαθάρτων.

Τελική εξέταση Φεβρουαρίου 1995

Η μελέτη αποχέτευσης ακαθάρτων μεγάλης πόλης προέβλεπε την κατασκευή τμήματος του κεντρικού συλλεκτήρα μήκους 500 m με διάμετρο 100 cm. Σύμφωνα με τη μελέτη το βάθος ροής σε αυτό το τμήμα αγωγού ήταν 0.58 m και η ταχύτητα 2.5 m/s. Στο στάδιο της κατασκευής δεν βρέθηκαν στο εμπόριο σωλήνες με αυτή τη διάμετρο και αποφασίστηκε να τροποποιηθεί η μελέτη και να κατασκευαστεί δίδυμος αγωγός (δηλαδή δύο παράλληλοι αγωγοί ίδιας διατομής) με μικρότερη διάμετρο. Να υπολογιστεί η διάμετρος του δίδυμου αγωγού και τα χαρακτηριστικά ροής σε αυτόν.

Επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 1995

Σε δεδομένη λεκάνη απορροής μελετάται αγωγός ομβρίων με κλίση 0.7% και διάμετρο 80 cm, ο οποίος θα αποχετεύει την παροχή 5ετίας με βάθος ροής 53 cm. Ποιά θα πρέπει να είναι η διάμετρος του παράλληλου αγωγού ακαθάρτων που θα αποχετεύει την ίδια λεκάνη με την ίδια κλίση, και ποιά θα είναι τα χαρακτηριστικά ροής του;

Δίνονται οι ακόλουθες παραδοχές μελέτης:

1. Όμβρια καμπύλη 5ετίας: $i = 20.5 / t^{0.61}$ (t σε h, i σε mm/h).
2. Χρόνος συρροής αγωγού ομβρίων: 13.5 min.
3. Συντελεστής απορροής: 0.40.
4. Πυκνότητα πληθυσμού μελέτης της περιοχής: 80 κάτοικοι/ha.
5. Κατά κεφαλήν μέγιστη μηνιαία παροχή ακαθάρτων: 200 L/κάτ./ημ.
6. Παρασιτικές εισροές δικτύου ακαθάρτων: 50% της παροχής αιχμής.

Ενδιάμεση εξέταση Νοεμβρίου 1995

Αγωγός ακαθάρτων με κλίση 1.2% αποχετεύει οικιστική έκταση 80 ha με πυκνότητα πληθυσμού 95 κατοίκους/ha. Ζητούνται:

1. Η παροχή σχεδιασμού, η διαστασιολόγηση και ο υδραυλικός έλεγχος του αγωγού σε περίπτωση που οι παρασιτικές εισροές προέρχονται μόνο από διηθήσεις, με δεδομένο ότι το ανάντη δίκτυο κατασκευάζεται με ελαστικούς δακτυλίους στεγανοποίησης αρμών και στεγανά φρεάτια.
2. Η επί τοις εκατό αύξηση της παροχής σχεδιασμού και η αντίστοιχη απαιτούμενη αύξηση της διαμέτρου, σε περίπτωση που στις παραπάνω παρασιτικές εισροές προστίθενται και εισροές από παράνομες συνδέσεις ομβρίων που προέρχονται από το 1.0% της αποχετευόμενης επιφάνειας.

Επιπλέον δίνονται:

1. Μέση ημερήσια κατανάλωση νερού: 200 L/(κάτ. ημ.).
2. Όμβρια καμπύλη 5ετίας: $i = 20.8 / t^{0.62}$ (t σε h, i σε mm/h).
3. Τυπικός χρόνος συγκέντρωσης ομβρίων: 8 min.
4. Εκτίμηση συντελεστή απορροής επιφανειών με παράνομες συνδέσεις: 0.80.

Τελική εξέταση Φεβρουαρίου 1996

Το τμήμα AB, μήκους 200 m, του κεντρικού αγωγού ακαθάρτων μιας κομόπολης βρίσκεται σε δρόμο πρακτικώς οριζόντιο. Ανάντη του τμήματος αυτού ο αγωγός έχει διάμετρο 25 cm και φτάνει στο σημείο A

με βάθος (μετρούμενο από την άντρυα) 2.2 m. Να μελετηθούν οι εξής δύο λύσεις χάραξης της μηκοτομής του αγωγού στο τμήμα AB:

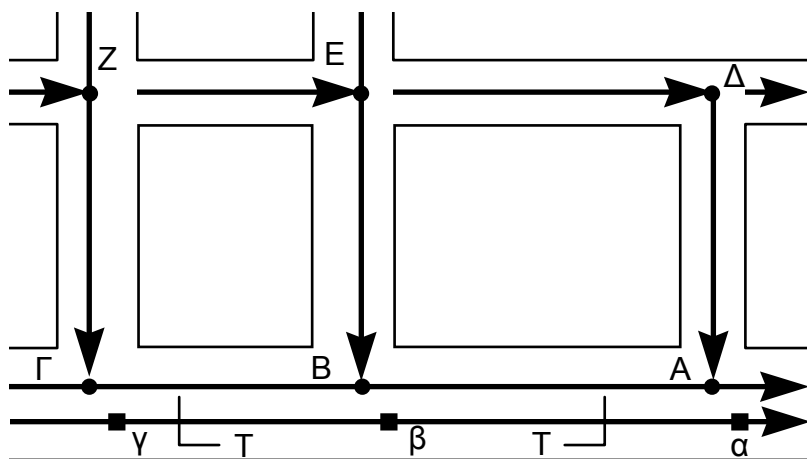
1. Με την ελάχιστη επιτρεπτή κλίση.
2. Με κλίση τέτοια ώστε να μην αλλάξει η διάμετρός του στη διατομή A.

Να περιγραφούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο λύσεων και να υπολογιστεί η διαφορά του όγκου εκσκαφών στις δύο περιπτώσεις.

Επιπλέον δίνονται:

- Σημερινός πληθυσμός που εξυπηρετείται από τον αγωγό: 1 500 κάτοικοι.
- Αναμενόμενο ποσοστό αύξησης πληθυσμού ανά δεκαετία: 5%.
- Περίοδος σχεδιασμού: 40 χρόνια.
- Εκτίμηση μέσης ετήσιας κατανάλωσης νερού στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού: 210 L / (κατ. ημ.).
- Εκτίμηση των παρασιτικών εισροών στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού: 50% της παροχής αιχμής ακαθάρτων.
- Πλάτος σκάμματος τοποθέτησης του αγωγού: $\pi = D + 0.50$ m, όπου D η διάμετρος.
- Βάθος σκάμματος τοποθέτησης του αγωγού: $\alpha = \beta + D + 0.10$ m, όπου β το βάθος από το οδόστρωμα μέχρι την άντρυα.

Επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 1996



Στο διπλανό σχήμα φαίνεται τμήμα του τοπογραφικού διαγράμματος μιας πόλης κλίμακας 1:2000 με σχεδιασμένα τα δίκτυα αποχέτευσης ομβρίων και ακαθάρτων. Συγκεκριμένα, φαίνεται το τμήμα αβγ ενός αγωγού ομβρίων, το τμήμα ΑΒΓ ενός δευτερεύοντα αγωγού ακαθάρτων, καθώς και οι τριτεύοντες αγωγοί ακαθάρτων που συμβάλλουν στο τμήμα ΑΒΓ. Ζητούνται:

1. Η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος των αγωγών ομβρίων βγ και αβ.
2. Η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος και των αγωγών ακαθάρτων ΒΕ, ΒΓ και ΑΒ.
3. Προσεγγιστικό σκαρίφημα της κατακόρυφης τομής ΤΤ με τις θέσεις των αγωγών ομβρίων και ακαθάρτων.

Δεδομένα:

1. Μήκη αγωγών: $B\Gamma = \beta\gamma = 58$ m, $AB = \alpha\beta = 97$ m, $BE = 75$ m.
2. Κατά μήκος κλίσεις οδών: $J_{AB\Gamma} = 0.8\%$ (σταθερή σε όλο το μήκος), $J_{BE} = 1.5\%$.
3. Ελάχιστο βάθος αγωγών ομβρίων: 1.0 m. Ελάχιστο βάθος αγωγών ακαθάρτων, γενικά: 2.0 m. Ελάχιστο βάθος αγωγών ακαθάρτων σε δρόμο με παράλληλο αγωγό ομβρίων: 1.0 m κάτω από τον πυθμένα του αγωγού ομβρίων.
4. Συνολικές αποχετευόμενες εκτάσεις τμημάτων αγωγών: $F_{\beta\gamma} = 7.8$ ha, $F_{\alpha\beta} = 9.3$ ha, $F_{BE} = 1.6$ ha, $F_{B\Gamma} = 8.7$ ha, $F_{AB} = 10.6$ ha.
5. Όμβρια καμπύλη πενταετίας: $i = 25.7 t^{-0.54}$ (t σε h, i σε mm/h).
6. Συντελεστής απορροής, γενικά: 0.5.
7. Χρόνος συγκέντρωσης αγωγού βγ: 13.5 min.
8. Πυκνότητα πληθυσμού μελέτης: 120 κάτοικοι/ha.
9. Μέγιστη ημερήσια κατανάλωση υδρευτικού νερού: 190 L/(ημέρα κάτοικο).
10. Παρασιτικές εισροές: 30% της παροχής αιχμής ακαθάρτων.
11. Διάμετρος ανάντη αγωγού ομβρίων στη θέση γ: 0.60 m. Διάμετρος ανάντη αγωγού ακαθάρτων στη θέση Ε: 0.20 m. Διάμετρος ανάντη αγωγού ακαθάρτων στη θέση Γ: 0.20 m.

12. Βάθος ανάντη αγωγού ομβρίων στη θέση γ: 1.00 m. Βάθος ανάντη αγωγού ακαθάρτων στη θέση Ε: 2.00 m. Βάθος ανάντη αγωγού ακαθάρτων στη θέση Γ: 2.60 m (όλα τα βάθη αναφέρονται στην άντυγα του αγωγού).

Υπόδειξη: Για τη διαστασιολόγηση των αγωγών ακαθάρτων ξεκινήστε υποθέτοντας την ελάχιστη διάμετρο, η οποία ως γνωστόν (βλ. Εφαρμογή 4.12.α, σελ. 85 βιβλίου Δ. Κουτσογιάννη) είναι επαρκής για το μεγαλύτερο ποσοστό του δευτερεύοντος και τριτεύοντος δικτύου.

Ενδιάμεση εξέταση Μαΐου 1997

Παντορροϊκός αποχετευτικός αγωγός Α που κατασκευάστηκε πριν 30 χρόνια κατέστη υδραυλικά ανεπαρκής, λόγω της έντονης αστικοποίησης της περιοχής. Έτσι, μελετάται η ανακούφισή του, με την κατασκευή ενός νέου αγωγού Β, στον οποίο θα υπερχειλίζει τμήμα της παροχής του Α, σε περίπτωση πολύ ισχυρών καταιγίδων, και θα οδηγείται σε παρακείμενο χείμαρρο.

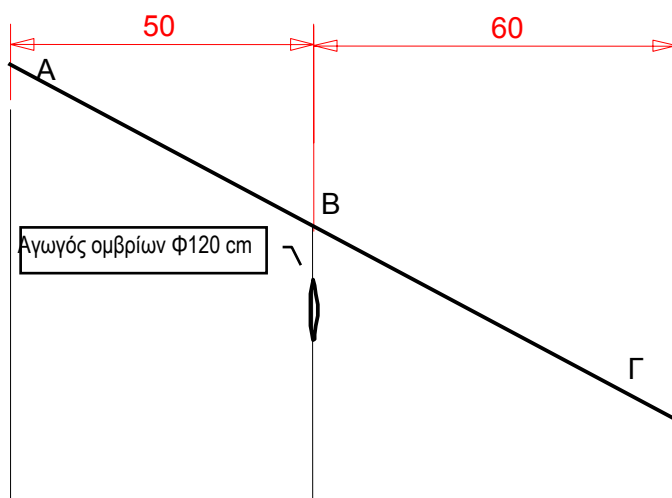
Ζητούνται:

1. Η παροχή αιχμής ακαθάρτων του αγωγού Α.
2. Η παροχή ομβρίων του αγωγού Α για περίοδο επαναφοράς 10 και 50 χρόνια.
3. Η ασφαλής παροχή που μπορεί να διοχετεύσει ο αγωγός Α, τηρώντας τα όρια των ελληνικών προδιαγραφών.
4. Η παροχή σχεδιασμού, η διαστασιολόγηση και ο υδραυλικός έλεγχος του αγωγού Β για περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού 50 χρόνια.
5. Ο έλεγχος των συνθηκών ροής από πλευράς πιθανότητας παραγωγής υδροθείου (μέσω του δείκτη Pomeroy) στην περίπτωση που ο αγωγός Α λειτουργεί με την παροχή αιχμής ακαθάρτων και παρασιτικές εισροές ίσες με 50% της παροχής αιχμής ακαθάρτων, χωρίς παροχές ομβρίων.

Επιπλέον δίνονται:

1. Η διατομή του παντορροϊκού αγωγού Α είναι κυκλική με διάμετρο 1.3 m.
2. Οι κλίσεις των αγωγών Α και Β είναι 0.9% και 0.7%, αντίστοιχα.
3. Η έκταση που αποχετεύει ο αγωγός Α είναι 26 ha και η πυκνότητα πληθυσμού σε αυτή είναι 95 κάτ./ha.
4. Η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού στην πόλη είναι 200 L/(κάτ. ημ.).
5. Η παραγωγή BOD₅ είναι 70 g/(κάτ. ημ.) και η θερμοκρασία των λυμάτων είναι 18°C.
6. Η όμβρια καμπύλη περιοχής είναι $i = 20.8 T^{0.19} / d^{0.62}$, όπου i η ένταση βροχής σε mm/h, d η διάρκεια σε h και T η περίοδος επαναφοράς σε έτη.
7. Ο χρόνος συγκέντρωσης ομβρίων στον αγωγό Α είναι 13 min.
8. Ο συντελεστής απορροής της περιοχής εκτιμάται σε 0.65.

Τελική εξέταση Ιουνίου 1997



Στο διπλανό σχήμα φαίνεται σκαρίφημα της μηκοτομής εδάφους της οδού ΑΒΓ, όπου προβλέπεται να τοποθετηθεί τμήμα του κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων μιας πόλης. Στη θέση Β η χάραξη του αγωγού συναντά υπαρκτό εγκάρσιο αγωγό ομβρίων. Το ελάχιστο βάθος για το συλλεκτήρα ακαθάρτων είναι 2.0 m. Ζητείται η χάραξη (σε σκαρίφημα μηκοτομής), η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος του υπό μελέτη τμήματος του κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων με βάση τα ακόλουθα κριτήρια, κατά σειρά προτεραιότητας: (α) το βάθος να μην είναι μικρότερο από το ελάχιστο (β) να ικανοποιούνται τα όρια των προδιαγραφών

(ειδικότερα, η μέγιστη ταχύτητα να μην υπερβαίνει τα 3 m/s), (γ) να ελαχιστοποιείται κατά το δυνατόν η διάμετρος, και (δ) να ελαχιστοποιούνται κατά το δυνατόν οι εκσκαφές.

Δίνονται τα ακόλουθα:

1. Εξυπηρετούμενος πληθυσμός μελέτης (ίδιος σε όλη τη διαδρομή ΑΒΓ): 78 000 κάτοικοι
2. Μέγιστη ημερήσια παροχή ύδρευσης: 240 L/ημ./κατ.
3. Έκταση εξυπηρετούμενης περιοχής (για εκτίμηση παρασιτικών εισροών) 520 ha.
4. Υψόμετρα εδάφους στα σημεία Α, Β και Γ: +45.30, +41.50 και +36.90 m, αντίστοιχα.
5. Υψόμετρο εξωτερικού πυθμένα αγωγού ομβρίων στη θέση Β: +38.70 m.
6. Διάμετρος συλλεκτήρα ανάντη της θέσης Α: 40 cm
7. Βάθος συλλεκτήρα ανάντη της θέσης Α ίσο με το ελάχιστο.

Επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 1997

Σχεδιάζεται αγωγός ομβρίων που αποχετεύει έκταση 24 ha μέσου συντελεστή απορροής 0.60, με χρόνο συγκέντρωσης 14 min, για εναλλακτικές τιμές της περιόδου επαναφοράς (α) 5 χρόνια και (β) 25 χρόνια. Η όμβρια καμπύλη της περιοχής είναι $i = 15 T^{0.23} / d^{0.48}$, όπου i η ένταση βροχής σε mm/h, T η περίοδος επαναφοράς σε έτη και d η διάρκεια βροχής σε h. Ζητούνται

1. Η παροχή σχεδιασμού του αγωγού στις περιπτώσεις (α) και (β).
2. Η διάμετρος του αγωγού και ο υδραυλικός έλεγχος στις περιπτώσεις (α) και (β), αν η κλίση του αγωγού είναι 1.0‰.
3. Η κλίση και η ταχύτητα που αγωγού στην περίπτωση (β) σε τρόπο ώστε να επαρκεί η διάμετρος που υπολογίστηκε για την περίπτωση (α).
4. Η έκταση που θα πρέπει να αποχετεύει ανεξάρτητα ένας συμπληρωματικός ανακουφιστικός αγωγός, σε τρόπο ώστε ο υπό μελέτη αγωγός, αν σχεδιαστεί όπως στο ερώτημα 2 για την περίπτωση (α), να μπορεί να γίνει επαρκής για την περίπτωση (β).

Δεύτερη επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 1997

Να υπολογιστεί η έκταση που μπορεί να εξυπηρετηθεί κατ' ελάχιστο και κατά μέγιστο, σε τρόπο ώστε να ικανοποιούνται τα όρια των σχετικών προδιαγραφών, (α) από αγωγό ομβρίων διαμέτρου 70 cm και (β) από αγωγό ακαθάρτων ίδιας διαμέτρου, σε περιοχή με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Όμβρια καμπύλη περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού: $i = 25.3 t^{-0.53}$ (t σε h, i σε mm/h).
2. Συντελεστής απορροής: 0.5.
3. Χρόνος συγκέντρωσης: 12.0 min.
4. Πυκνότητα πληθυσμού μελέτης: 100 κάτοικοι/ha.
5. Μέγιστη ημερήσια κατανάλωση υδρευτικού νερού: 160 L/(ημέρα κάτοικο).
6. Παρασιτικές εισροές: 20% της παροχής αιχμής ακαθάρτων.

Ενδιάμεση εξέταση Μαΐου 1998

Η χάραξη ενός αγωγού ακαθάρτων διέρχεται από μια περιοχή μήκους 250 m όπου η κλίση του εδάφους είναι αντίθετη της φοράς ροής και ίση με 0.7‰. Ανάντη της περιοχής αυτής ο αγωγός έχει διάμετρο ίση με την ελάχιστη και βάθος 2.00 m. Να γίνει διαστασιολόγηση και υδραυλικός έλεγχος του αγωγού στο εν λόγω τμήμα για δύο εναλλακτικές κλίσεις τοποθέτησης του, οι οποίες να επιλεγούν σε τρόπο ώστε το βάθος τοποθέτησης του αγωγού να μην υπερβαίνει σε κανένα σημείο τα 5.0 m.

Επιπλέον δίνονται:

- Σημερινός πληθυσμός που εξυπηρετείται από τον αγωγό: 700 κάτοικοι.
- Αναμενόμενο ποσοστό αύξησης πληθυσμού ανά δεκαετία: 10%.

- Περίοδος σχεδιασμού: 40 χρόνια.
- Εκτίμηση μέγιστης ημερήσιας παροχής ακαθάρτων, ανηγμένης ανά κάτοικο, στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού: 210 L/(κατ. ημ.)
- Εκτίμηση των παρασιτικών εισροών στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού: 50% της παροχής αιχμής ακαθάρτων.

Τελική εξέταση Ιουνίου 1998

Αγωγός ακαθάρτων με διάμετρο 30 cm και κλίση 2.3% εξυπηρετεί πληθυσμό 7 000 κατοίκων.

1. Να βρεθούν τα όρια διακύμανσης (ελάχιστη και μέγιστη τιμή) της παροχής του αγωγού για τον παραπάνω πληθυσμό, αν η μέγιστη ημερήσια παροχή ύδρευσης είναι 200 L/ημ./κατ και οι παρασιτικές εισροές είναι 40% της παροχής ακαθάρτων. Υποθέστε ότι

$$\frac{\text{ελάχιστη στιγμιαία παροχή ακαθάρτων}}{\text{μέση ημερήσια παροχή ακαθάρτων}} = \frac{\text{μέση ημερήσια παροχή ακαθάρτων}}{\text{μέγιστη στιγμιαία παροχή ακαθάρτων}}$$

2. Να βρεθούν τα όρια διακύμανσης (ελάχιστη και μέγιστη τιμή) του βάθους ροής και της ταχύτητας του αγωγού. Να ελεγχθεί αν επιτυγχάνεται αυτοαερισμός του αγωγού για συγκέντρωση ενεργού BOD 180 mg/L.
3. Να υπολογιστεί ο επιπλέον πληθυσμός που θα μπορούσε να εξυπηρετήσει ο αγωγός χωρίς να δημιουργηθεί πρόβλημα στην επάρκειά του. (Υπόδειξη: Μπορείτε να αποφύγετε τις δοκιμές αν υπολογίσετε πρώτα την μέγιστη στιγμιαία παροχή ακαθάρτων Q_P για συνθήκες οριακής επάρκειας και στη συνέχεια εκφράσετε τη μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων Q_H συναρτήσει της Q_P · προκύπτει τότε δευτεροβάθμια εξίσωση ως προς $\sqrt{Q_H}$).

Επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 1998

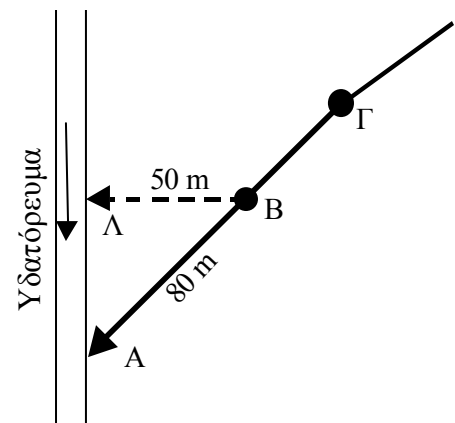
Το τμήμα AB του αγωγού ομβρίων ABΓ... του σχήματος, 10 χρόνια μετά την κατασκευή του, κατέστη υδραυλικά ανεπαρκές λόγω υπέρμετρης αστικοποίησης της λεκάνης που αποχετεύει. Για το λόγο αυτό μελετάται η κατασκευή του ανακουφιστικού αγωγού ΒΛ. Η παροχή του AB είχε εκτιμηθεί στη φάση της μελέτης σε 1.6 m³/s, υποθέτοντας συντελεστή απορροής 0.40. Η σημερινή τιμή του συντελεστή απορροής εκτιμάται σε 0.60.

Ζητούνται:

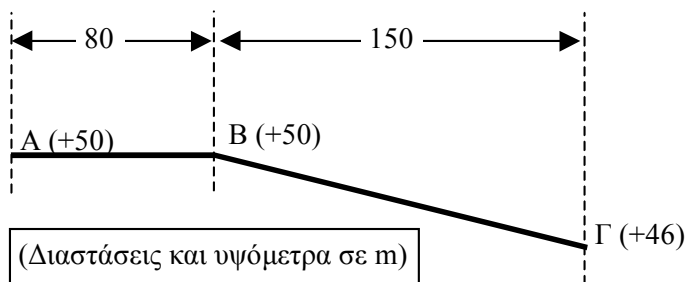
1. Για τον αγωγό AB: Να ελεγχθεί αν είχε γίνει σωστά η διαστασιολόγησή του με τις παραδοχές της μελέτης του και να επαληθευθεί ότι δεν επαρκεί στις σημερινές συνθήκες.
2. Για τον ανακουφιστικό αγωγό ΒΛ: Να γίνει η διαστασιολόγηση και ο υδραυλικός έλεγχός του. Επίσης, να ελεγχθούν οι συνθήκες εκβολής του αν στο υδατόρευμα το βάθος ροής είναι 1.8 m και η ταχύτητα ροής 3.0 m/s.

Δίνονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά υψόμετρα σε m.

	Έδαφος	Άντυγα αγωγού	Πυθμένος αγωγού
A	83.48	82.48	81.48
B	84.44	83.44	82.44
Λ	83.59		
Υδατόρευμα στο A			79.30
Υδατόρευμα στο Λ			79.40



Ενδιάμεση εξέταση Ιουνίου 1999



Τα τμήματα ΑΒ και ΒΓ αγωγού ακαθάρτων με μηκοτομή εδάφους όπως στο σχήμα, έχουν παροχές σχεδιασμού 61 και 92 L/s, αντίστοιχα, ενώ το ελάχιστο βάθος τοποθέτησης των αγωγών είναι 2 m. Να διαστασιολογηθούν και να ελεγχθούν οι αγωγοί στα δύο τμήματα σε τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται κατά το δυνατό οι εκσκαφές, χωρίς όμως η διάμετρος να υπερβεί τα 40 cm σε κανένα τμήμα. Επίσης να γίνει σκαρίφημα της μηκοτομής του αγωγού.

Τελική εξέταση Ιουλίου 1999

Τα λύματα παραλιακής κωμόπολης Α, που ως τώρα διατίθενται στη θάλασσα χωρίς επεξεργασία, αποφασίστηκε να μεταφερθούν στην υπό κατασκευή εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων γειτονικής κωμόπολης Β, σε απόσταση 4.3 km. Ο αγωγός μεταφοράς που θα απαιτηθεί, χαράσσεται κατά μήκος υφιστάμενης παραλιακής οδού, η οποία μπορεί να θεωρηθεί πρακτικώς οριζόντια με στάθμη οδοστρώματος +7.00 m. Ο σημερινός κεντρικός αγωγός ακαθάρτων της Α έχει διάμετρο 25 cm, παροχή σχεδιασμού 17 L/s, και βάθος 3.00 m στο σημείο όπου θα ξεκινήσει ο νέος αγωγός μεταφοράς. Ζητείται:

- να διαστασιολογηθεί και να ελεγχθεί ο νέος αγωγός μεταφοράς,
- να περιγραφούν τα άλλα έργα που θα απαιτηθούν (χωρίς υπολογισμούς) και
- να γίνει σκαρίφημα μηκοτομής του αγωγού,

σε τρόπο ώστε (α) ο αγωγός να μην τοποθετηθεί κάτω από τη στάθμη της θάλασσας και (β) ο συνολικός χρόνος παραμονής των λυμάτων στο δίκτυο να μην ξεπερνά τις 3 h σε συνθήκες μέγιστης παροχής. Εκτιμάται ότι, σε αυτές τις συνθήκες, τη στιγμή που τα λύματα θα εισέρχονται στο νέο αγωγό μεταφοράς θα έχουν ήδη παραμείνει στο δίκτυο επί χρόνο 1 h το πολύ.

Επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 1999

Πόσο πληθυσμό μπορεί να εξυπηρετήσει αγωγός ακαθάρτων διαμέτρου 25 cm αν τοποθετηθεί κάτω από δρόμο πρακτικά οριζόντιο (α) με την ελάχιστη κλίση και (β) με κλίση διπλάσια απ' την ελάχιστη; Ποια είναι η διαφοροποίηση στις απαιτούμενες εκσκαφές στη δεύτερη περίπτωση, σε σχέση με την πρώτη, αν το μήκος του αγωγού είναι 100 m και το πλάτος εκσκαφής είναι κατά 0.5 m μεγαλύτερο από τη διάμετρο του αγωγού; Να θεωρηθεί μέση ημερήσια κατανάλωση νερού 150 L / (κατ. ημ.) και ποσοστό παρασιτικών εισροών 20% της παροχής αιχμής ακαθάρτων.

Ενδιάμεση εξέταση Μαΐου 2000

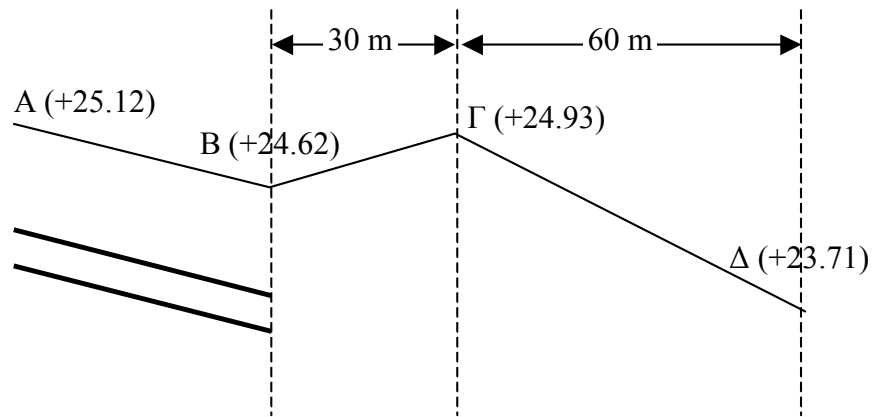
Να υπολογιστεί η μέγιστη κλίση με την οποία μπορεί να τοποθετηθεί αγωγός ομβρίων διαμέτρου 1.0 m που βρίσκεται σε βάθος 1.0 m (μετρούμενο από την άντυγα του αγωγού), σε τρόπο ώστε, όταν λειτουργεί σε μόνιμη ομοιόμορφη ροή με το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό πλήρωσης, η γραμμή ενέργειάς του να μην ξεπερνά τη στάθμη του εδάφους. Επίσης, να υπολογιστεί η έκταση που μπορεί να αποχετεύσει ο αγωγός αυτός αν η ένταση βροχής σχεδιασμού είναι 75 mm/h και ο συντελεστής απορροής είναι 50%.

Τελική εξέταση Ιουνίου 2000

Το τελικό τμήμα του κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων οικισμού, το οποίο χαράσσεται έξω από τα όρια του οικισμού, μελετάται με τις ακόλουθες παραδοχές:

- Σημερινός πληθυσμός: 1800 κάτοικοι.
- Αναμενόμενο ποσοστό αύξησης πληθυσμού: 1% ετησίως.

- Περίοδος σχεδιασμού: 40 χρόνια.
- Εκτίμηση μέγιστης ημερήσιας παροχής ακαθάρτων, ανηγμένης ανά κάτοικο, στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού: 210 L/(κατ. ημ.).
- Εκτίμηση των παρασιτικών εισροών στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού: 50% της παροχής αιχμής.



Για το τμήμα AB του συλλεκτήρα έχει επιλεγεί διάμετρος 30 cm και το βάθος στο θέση B είναι 1.0 m. Να μελετηθεί το τμήμα BΓΔ του συλλεκτήρα σε τρόπο ώστε:

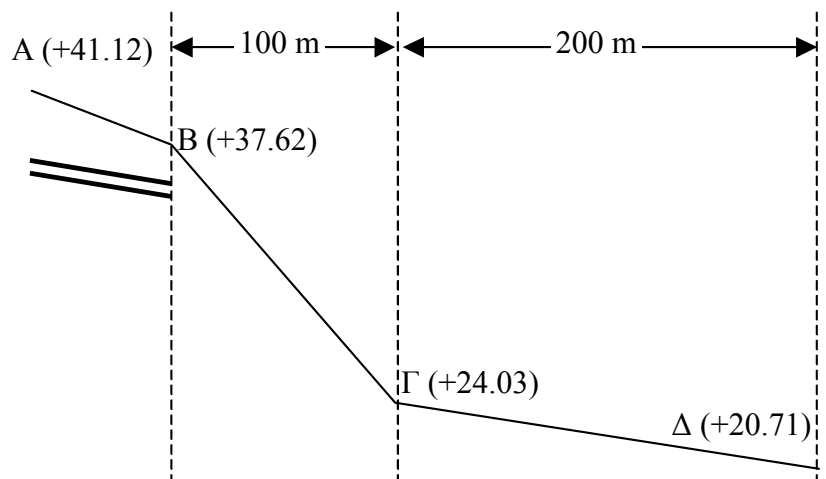
- Η διάμετρος του αγωγού, ει δυνατόν, να μην υπερβεί τη διάμετρο του τμήματος AB.
- Το βάθος του αγωγού να μην είναι μικρότερο από 1.0 m.
- Οι εκσκαφές να είναι οι ελάχιστες δυνατές (χωρίς όμως να παραβιάζονται οι πιο πάνω συνθήκες).

Συγκεκριμένα, να γίνει διαστασιολόγηση και υδραυλικός έλεγχος του αγωγού και να δοθεί σκαρίφημα της μηκοτομής του.

Επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 2000

Το τελικό τμήμα του κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων πόλης, το οποίο χαράσσεται έξω από τα όριά της, μελετάται με τις ακόλουθες παραδοχές:

- Σημερινός πληθυσμός: 15 000 κάτοικοι.
- Αναμενόμενο ποσοστό αύξησης πληθυσμού: 1% ετησίως.
- Περίοδος σχεδιασμού: 40 χρόνια.
- Εκτίμηση μέγιστης ημερήσιας παροχής ακαθάρτων, ανηγμένης ανά κάτοικο, στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού: 210 L/(κατ. ημ.).
- Εκτίμηση των παρασιτικών εισροών στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού: 50% της παροχής αιχμής



Για το τμήμα AB του συλλεκτήρα έχει επιλεγεί διάμετρος 40 cm και το βάθος στο θέση B είναι 1.0 m. Να μελετηθεί το τμήμα BΓΔ του συλλεκτήρα σε τρόπο ώστε η ταχύτητα να μην ξεπερνά τα 3 m/s και το βάθος του αγωγού:

- να μην είναι μικρότερο από 1.0 m σε κανένα σημείο,
- να μην είναι μεγαλύτερο από 4.5 m σε κανένα σημείο,
- στο σημείο Δ (θέση εισόδου στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων) να είναι 1.0 m

Συγκεκριμένα, να γίνει διαστασιολόγηση και υδραυλικός έλεγχος του αγωγού και να δοθεί σκαρίφημα της μηκοτομής του.

Τελική εξέταση Ιουνίου 2001

Ποια είναι η μέγιστη κλίση με την οποία μπορεί να τοποθετηθεί αγωγός ακαθάρτων διαμέτρου 50 cm;

Πως θα υλοποιηθεί αυτή η κλίση αν σε μήκος 400 m η κλίση του οδοστρώματος είναι διπλάσια από την κλίση του αγωγού; (Να δοθεί σκαρίφημα με χαρακτηριστικά μήκη και βάθη.)

Ποια παροχή μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός με αυτή την κλίση;

Πόσο πληθυσμό μπορεί να εξυπηρετήσει ο εν λόγω αγωγός αν η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού είναι 160 L / (κατ. ημ.) και το ποσοστό των παρασιτικών εισροών είναι 40% της μέγιστης παροχής ακαθάρτων;

Επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 2001

Οι κάτοικοι κατά μήκος μια οδού στα χαμηλά σημεία πόλης διαμαρτυρήθηκαν στη δημοτική αρχή για συχνές πλημμύρες στην οδό. Κατόπιν αυτού έγινε επί τόπου διερεύνηση του προβλήματος και διαπιστώθηκε ότι στην οδό αυτή υπάρχει αγωγός ομβρίων διαμέτρου 50 cm με κλίση 1.0%, ενώ δεν βρέθηκε στα αρχεία μελέτη για τον υπόψη αγωγό. Παράλληλα, επί χάρτου διερεύνηση έδειξε ότι ο αγωγός αποχετεύει συνολική έκταση 7 ha με συντελεστή απορροής 0.60 έχοντας συνολικό χρόνο συγκέντρωσης περί τα 12 min. Από πρόσφατη υδρολογική μελέτη άλλου έργου σε γειτονική περιοχή βρέθηκε ότι η όμβρια καμπύλη 10 ετών εκφράζεται από τη σχέση $i = 45 / d^{0.60}$, όπου i η ένταση βροχής σε mm/h και d η διάρκεια σε h. Ζητούνται:

- η περιγραφή εναλλακτικών πιθανών αιτιών του προβλήματος (πριν την υδρολογική/υδραυλική ανάλυση)·
- ο εντοπισμός της πιθανότερης απ' αυτές, μετά από υδραυλικό έλεγχο του αγωγού· και
- ολοκληρωμένη πρόταση-μελέτη ορθής αντιμετώπισης του προβλήματος.

Τελική εξέταση Σεπτεμβρίου 2002

Τη δεκαετία του 1960 μελετήθηκε και κατασκευάστηκε δίκτυο ομβρίων σε πόλη, το οποίο σήμερα επανεξετάζεται με στόχο τη βελτίωσή του. Στα πλαίσια της επανεξέτασης, αναθεωρούνται τα κριτήρια σχεδιασμού, δεδομένου ότι η αστικοποίηση των τελευταίων ετών επέφερε αύξηση των συντελεστών απορροής και μείωση των χρόνων συγκέντρωσης των λεκανών. Παράλληλα, έγινε εκ νέου κατάρτιση όμβριων καμπυλών με βάση νεότερα δεδομένα και βρέθηκε ότι οι εντάσεις βροχής είναι μεγαλύτερες απ' αυτές που είχαν εκτιμηθεί παλιότερα. Αποφασίστηκε επίσης να αυξηθούν οι περίοδοι επαναφοράς σχεδιασμού με στόχο την βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου και της ποιότητας ζωής του πληθυσμού.

Σε αυτό το πλαίσιο επανεξετάζεται κατασκευασμένος αγωγός ομβρίων με διάμετρο 100 cm και κλίση 1% που αποχετεύει έκταση 15 ha. Τα κριτήρια και χαρακτηριστικά μεγέθη σχεδιασμού του αγωγού τόσο στη φάση της αρχικής μελέτης, όσο και σήμερα δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

	Αρχική φάση (1960)	Φάση επανεξέτασης (2000)
Περίοδος επαναφοράς, T (έτη)	5	10
Όμβρια καμπύλη (i σε mm/h, d σε h, T σε έτη)	$i = 22 T^{0.15} / d^{0.65}$	$i = 40 (T^{0.2} - 0.4) / (d + 0.2)^{0.8}$
Συντελεστής απορροής	0.50	0.70
Χρόνος συγκέντρωσης (min)	15	12

Ζητούνται:

- Να δειχτεί η επάρκεια του αγωγού με τα κριτήρια του 1960.
- Να δειχτεί η ανεπάρκεια του αγωγού με τα σημερινά κριτήρια.
- Να προσδιοριστεί το ποσοστό της αποχετευόμενης έκτασης του αγωγού που πρέπει να «αποσπαστεί» απ' αυτόν με την κατασκευή άλλου ανακουφιστικού αγωγού, ώστε ο υπό μελέτη αγωγός να επαρκεί και πάλι, με τα σημερινά κριτήρια σχεδιασμού.

Επαναληπτική εξέταση Οκτωβρίου 2002

Σε μεγάλη πόλη κατασκευάστηκε το 1992 Κεντρικός Αγωγός Αποχέτευσης Ακαθάρτων (ΚΑΑΑ) με περίοδο σχεδιασμού 40 χρόνια (1992-2032), παροχή σχεδιασμού (στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού) 1.20 m³/s, διάμετρο 100 cm και κλίση 0.8%. Λίγο μετά την πλήρη λειτουργία του αγωγού, η στιγμιαία μέγιστη παροχή

(παροχή αιχμής) που μετρήθηκε (ακάθαρτα και παρασιτικές εισροές) ήταν $0.84 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ δέκα χρόνια μετά βρέθηκε να είναι $1.10 \text{ m}^3/\text{s}$. Ζητούνται:

- (α) Να δειχτεί η επάρκεια του ΚΑΑΑ για την παροχή σχεδιασμού του.
- (β) Με την παραδοχή ότι το ποσοστό ετήσιας αύξησης της παροχής αιχμής του αγωγού είναι σταθερό ανά έτος και ότι η μελλοντική τιμή του ποσοστού αυτού θα είναι ίδια με αυτή της δεκαετίας που πέρασε, να εκτιμηθεί σε ποιο έτος (n^*) θα καταστεί ανεπαρκής ο ΚΑΑΑ.
- (γ) Και πάλι με την παραδοχή ότι το ετήσιο ποσοστό αύξησης της παροχής θα παραμείνει το ίδιο και στο απώτερο μέλλον, να διαστασιολογηθεί Συμπληρωματικός Κεντρικός Αγωγός Αποχέτευσης Ακαθάρτων (ΣΚΑΑΑ) με την ίδια κλίση όπως ο ΚΑΑΑ, ο οποίος θα πρέπει να έχει τεθεί σε λειτουργία λίγο πριν το έτος n^* , σε τρόπο ώστε ο συνδυασμός των δύο (ΚΑΑΑ και ΣΚΑΑΑ) να είναι επαρκής για 40 επιπλέον χρόνια με αφετηρία το έτος n^* .

Ενδιάμεση εξέταση Μαΐου 2003

Κεντρικός αγωγός ακαθάρτων εξυπηρετεί πληθυσμό σχεδιασμού 2500 κατοίκων με μέση ημερήσια υδρευτική παροχή $200 \text{ L}/\text{κατ.}/\text{ημ.}$. Εκτιμάται ότι οι παρασιτικές εισροές στον αγωγό θα φτάνουν στο 50% της παροχής αιχμής ακαθάρτων. Ένα τμήμα του αγωγού τοποθετείται κάτω από σχεδόν οριζόντια οδό. (α) Να δοθούν τα γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού του αγωγού, με κριτήριο την ελαχιστοποίηση των εκσκαφών, και να γίνουν οι απαραίτητοι έλεγχοι της υδραυλικής λειτουργίας του. (β) Να εξεταστεί αν είναι τεχνικά εφικτή η μείωση κατά 10 cm της διαμέτρου του αγωγού που υπολογίστηκε στο προηγούμενο ερώτημα. Σε περίπτωση που είναι εφικτή, να δοθούν τα νέα γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού του αγωγού και να γίνουν οι απαραίτητοι έλεγχοι της υδραυλικής λειτουργίας του. Σε αντίθετη περίπτωση, να περιγραφούν οι λόγοι που καθιστούν μη εφικτή τη μείωση της διαμέτρου.

Τελική εξέταση Ιουλίου 2003

Σε δρόμο με κλίση 6% έχει τοποθετηθεί παράλληλα με το οδόστρωμα αγωγός ομβρίων διαμέτρου 1.0 m σε βάθος 1.0 m (μετρούμενο από την άντυγα). Η έκταση που αποχετεύει είναι 22 ha , ο συντελεστής απορροής είναι 0.50 , ο χρόνος συγκέντρωσης είναι 13 min και η όμβρια καμπύλη της περιοχής είναι $i = 27.0 (T^{0.18} - 0.4) / d^{0.6}$, όπου i η ένταση βροχής σε mm/h , T η περίοδος επαναφοράς σε έτη και d η διάρκεια βροχής σε ώρες. Να υπολογιστούν:

- α. Η μέγιστη παροχή που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός με κριτήριο το ποσοστό πλήρωσης να μην υπερβεί το επιτρεπόμενο από τις ελληνικές προδιαγραφές.
- β. Η μέγιστη παροχή που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός με κριτήριο η ταχύτητα να μην υπερβεί την επιτρεπόμενη από τις ελληνικές προδιαγραφές.
- γ. Η μέγιστη παροχή που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός με κριτήριο η ενέργεια της ροής να μην επιτρέπει την ανάβλυση ομβρίων στο οδόστρωμα.
- δ. Η περίοδος επαναφοράς στην οποία αντιστοιχεί η παροχή που ικανοποιεί και τα τρία πιο πάνω κριτήρια.

Επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 2003

Τα λύματα πόλης οδηγούνται μέσω κεντρικού αγωγού διαμέτρου 50 cm σε φρεάτιο Α με υψόμετρο εδάφους 148.33 m και βάθος (μετρούμενο από την άντυγα) 3.80 m , και από εκεί διατίθενται σε παρακείμενο υδατόρευμα. Σήμερα μελετάται η κατασκευή εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων σε δύο εναλλακτικές θέσεις: τη θέση Β σε απόσταση 800 m από το Α και σε υψόμετρο εδάφους 148.00 m , και τη θέση Γ σε απόσταση 1200 m από το Α και σε υψόμετρο εδάφους 139.00 m . Η εγκατάσταση επεξεργασίας και ο αγωγός που θα μεταφέρει τα λύματα από τη θέση Α στην εγκατάσταση μελετώνται για πληθυσμό σχεδιασμού $22\,000$ κατοίκων, μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων ανά κάτοικο $210 \text{ L}/(\text{κατ. ημ.})$ και ποσοστό παρασιτικών εισροών 50% της παροχής αιχμής. Καθεμιά από τις δύο εναλλακτικές χαράξεις ΑΒ και ΑΓ μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει πρακτικώς ομοιόμορφη κλίση εδάφους, ενώ το ελάχιστο βάθος επικάλυψης του αγωγού είναι 1.0 m .

Να γίνει διαστασιολόγηση και υδραυλικός έλεγχος των δύο εναλλακτικών λύσεων του αγωγού μεταφοράς των λυμάτων από τη θέση Α στη θέση της εγκατάστασης επεξεργασίας Β ή Γ και να συζητηθούν τα τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα των δύο εναλλακτικών λύσεων.

Ενδιάμεση εξέταση Ιουνίου 2004

Νησιωτικός Δήμος περιλαμβάνει τέσσερις παραλιακούς οικισμούς με τουριστική ανάπτυξη, οι οποίοι αναπτύσσονται σε μέτωπο ακτής συνολικού μήκους 4.0 km. Μελετάται η αποχέτευση των τεσσάρων οικισμών με κοινό κύριο συλλεκτήρα σε παραλιακή οδό, η οποία συνδέει τους και τους τέσσερις οικισμούς, εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων σε απόσταση 1.0 km δυτικά του δυτικότερου οικισμού και διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων στη θάλασσα. Η παραλιακή οδός μπορεί να θεωρηθεί πρακτικώς οριζόντια με στάθμη οδοστρώματος +4.50 m. Η κλίση του κεντρικού συλλεκτήρα έχει επιλεγεί 2.0 m/km, το ελάχιστο βάθος του (μετρούμενο από την άντυγα) 2 m και το μέγιστο βάθος τέτοιο ώστε η άντυγα του αγωγού να μην τοποθετείται κάτω από τη στάθμη της θάλασσας.

1. Να γίνει σκαρίφημα της μηκοτομής του αγωγού και να τοποθετηθούν τα απαραίτητα έργα για τη λειτουργία του.
2. Να διαστασιολογηθεί το πιο κατάντη τμήμα του αγωγού από το δυτικότερο οικισμό μέχρι την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, αν ο πληθυσμός σχεδιασμού των τεσσάρων οικισμών είναι αθροιστικά 8000 κάτοικοι, η μέση ημερήσια παροχή ύδρευσης 150 L/d/κάτοικο και οι παρασιτικές εισροές 50% της παροχής αιχμής ακαθάρτων.
3. Να ελεγχθεί αν στο πιο πάνω τμήμα του αγωγού μπορεί να μειωθεί η κλίση και πόσο χωρίς να αλλάξει η διάμετρος και χωρίς η ταχύτητα για το 10% της παροχευτικότητας του αγωγού να γίνει μικρότερη από 0.3 m/s.

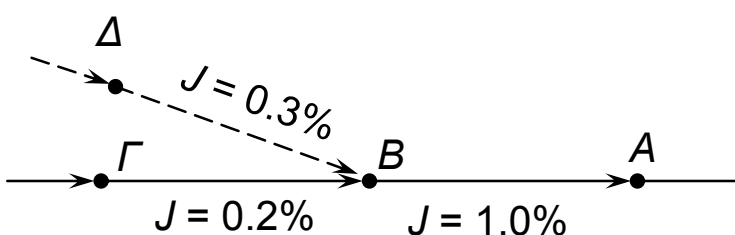
Τελική εξέταση Ιουνίου 2004

Παντοροϊκός αποχετευτικός αγωγός που κατασκευάστηκε πριν 60 χρόνια ελέγχεται ως προς την επάρκειά του στις σημερινές συνθήκες. Ο αγωγός αποχετεύει αστική έκταση 10 ha με σημερινή πυκνότητα πληθυσμού 100 κάτ./ha. Η διατομή του αγωγού είναι κυκλική με διάμετρο 1.0 m και η κλίση του στο πιο κρίσιμο τμήμα 0.6%. Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση νερού στην πόλη είναι 200 L/d/κάτ. Η όμβρια καμπύλη της περιοχής είναι $i = 28 T^{0.15} / d^{0.6}$, όπου i η ένταση βροχής σε mm/h, d η διάρκεια σε h και T η περίοδος επαναφοράς σε έτη. Ο χρόνος συγκέντρωσης ομβρίων στον αγωγό Α είναι 14 min και ο συντελεστής απορροής της περιοχής για τις σημερινές συνθήκες εκτιμάται σε 0.65.

Ζητούνται:

1. Η παροχή ομβρίων του αγωγού Α για περίοδο επαναφοράς 2 και 10 έτη.
2. Η παροχή αιχμής ακαθάρτων του αγωγού σε απόλυτο μέγεθος και ως ποσοστό της παροχής ομβρίων περιόδου επαναφοράς 2 και 10 ετών.
3. Το βάθος και η ταχύτητα ροής σε συνθήκες παροχής αιχμής ακαθάρτων χωρίς βροχή ή παρασιτικές εισροές.
4. Η ασφαλής παροχή που μπορεί να διοχετεύσει ο αγωγός Α, τηρώντας τα όρια των ελληνικών προδιαγραφών.
5. Η διατύπωση των τελικών συμπερασμάτων ως προς την επάρκεια του αγωγού και (σε περίπτωση που διαπιστώνονται προβλήματα) των προτάσεων για την επίλυση των προβλημάτων.

Επαναληπτική εξέταση Σεπτεμβρίου 2004



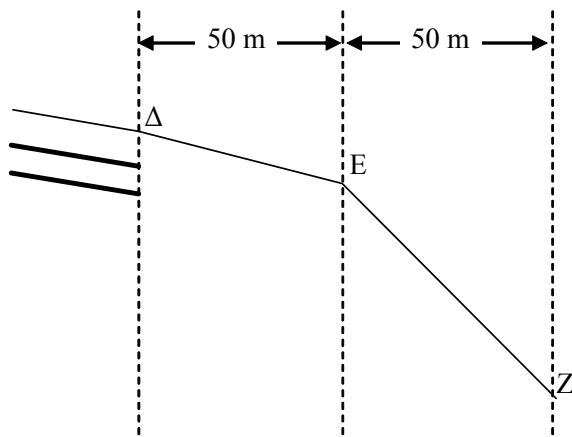
Τα τμήματα ΒΓ και ΑΒ αγωγού ομβρίων έχουν κοινή διάμετρο 1.0 m, κλίσεις όπως στο σχήμα και αποχετεύουν συνολική έκταση 5.0 και 5.5 ha, αντίστοιχα. Η όμβρια καμπύλη της περιοχής είναι $i = 32 T^{0.16} / d^{0.62}$, όπου i η ένταση βροχής σε mm/h, d η διάρκεια σε h και T η περίοδος επαναφοράς σε έτη, η οποία για το

συγκεκριμένο έργο θεωρείται 10 χρόνια. Ο χρόνος συγκέντρωσης ομβρίων στα τμήματα ΒΓ και ΑΒ είναι 14 και 15 min, αντίστοιχα, ενώ ο συντελεστής απορροής της περιοχής για τις σημερινές συνθήκες εκτιμάται σε 0.65. Κατά τη διάρκεια ισχυρών βροχοπτώσεων παρατηρήθηκε ότι ο δρόμος κατά μήκος του τμήματος ΒΓ πλημμυρίζει.

Ζητούνται:

1. Να διατυπωθεί μια υποθετική ερμηνεία γιατί εμφανίζονται προβλήματα στο τμήμα ΒΓ και όχι στο ΑΒ.
2. Να ελεγχθεί η ερμηνεία με τους κατάλληλους υδραυλικούς υπολογισμούς.
3. Να εξεταστούν οι επιπτώσεις στην υδραυλική λειτουργία των τμημάτων ΑΒ και ΒΓ από την προσθήκη του αγωγού ΒΔ, όπως στο σχήμα, με δεδομένα ότι (α) ο ΒΔ αποχετεύει το 40% της έκτασης που αποχετεύονταν στο ΒΓ και μόνο, και (β) ο χρόνος συγκέντρωσης του ΒΔ είναι ίδιος με αυτόν του ΒΓ. Ειδικότερα, να ελεγχθεί αν η προσθήκη του ΒΔ λύνει το πρόβλημα του ΒΓ.
4. Να διαστασιολογηθεί ο αγωγός ΔΒ.

Ενδιάμεση εξέταση Ιουνίου 2005



Μελετάται η χάραξη σε μηκοτομή του κεντρικού αποχετευτικού αγωγού μιας πόλης, με παροχή σχεδιασμού $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$, ο οποίος μεταφέρει τα ακάθαρτα όλης της πόλης στην εγκατάσταση επεξεργασίας έξω από την πόλη. Το ελάχιστο βάθος τοποθέτησης του αγωγού στην περιοχή εκτός της πόλης έχει καθοριστεί στο 1 m. Έχει ήδη ολοκληρωθεί η διαστασιολόγηση του αγωγού μέχρι τη θέση Δ και καθορίστηκε ότι αμέσως ανάντη του Δ ο αγωγός τοποθετείται σε βάθος 1 m και έχει διάμετρο 0.8 m. Για το τμήμα ΔΕΖ του αγωγού, με υψόμετρα εδάφους +52.00, +51.50 και +49.50 στα σημεία Δ, Ε και Ζ αντίστοιχα, εξετάζονται δύο

εναλλακτικές λύσεις: (α) η λύση που αντιστοιχεί στις ελάχιστες δυνατές εκσκαφές και (β) η λύση ενιαίας κλίσης αγωγού στο τμήμα ΔΕΖ. Να γίνει η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος του αγωγού για καθεμιά από τις δύο λύσεις και να υποδειχτεί η προτιμητέα λύση.

© Δ. Κουτσογιάννης