

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, 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:

(α) Να υπολογιστεί το ύψος πίεσης στην κεφαλή του δικτύου, αμέσως μετά την αποκατάσταση της βλάβης του αντλιοστασίου.

(β) Να εκτιμηθεί ο συντελεστής ωριαίας αιχμής για τις δύο χρήσεις νερού.

(γ) 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 $1700 \text{ m}^3/\text{d}$ και (β) στην κεφαλή του δικτύου, που είναι το δυσμενέστερο σημείο από άποψη πιέσεων, αναπτύσσονται τετραώροφα κτήρια.

Ερώτημα (α)

Κατά τη διάρκεια της βλάβης, η πτώση στάθμης στην δεξαμενή ήταν ίση με $\Delta z = 102.6 - 101.8 = 0.8 \text{ m}$. Η μεταβολή αυτή αντιστοιχεί σε εκροή νερού ίση με $\Delta V = 0.8 \times 900 / 4.5 = 160 \text{ m}^3$. Στη διάρκεια της βλάβης, η μέση παροχή εκροής από τη δεξαμενή ήταν $Q = \Delta V / \Delta t = 160 / (90 \times 60) = 0.0296 \text{ m}^3/\text{s}$, η οποία θεωρούμε ότι ταυτίζεται με την παροχή της ώρας αιχμής¹.

Για την παροχή αυτή, με βάση τη γενικευμένη εξίσωση Manning προκύπτει ότι για παροχή $Q = 0.0296 \text{ m}^3/\text{s}$, εσωτερική διάμετρο $D = 0.2262 \text{ m}$ και ισοδύναμη τραχύτητα $\varepsilon = 1.0 \text{ mm}$, η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής είναι ίση με:

$$J = [4^{(3+\beta)} N^2 Q^2 / \pi^2 / D^{(5+\beta)}]^{1/(1+\gamma)} = 0.0036$$

όπου $\beta = 0.310$, $\gamma = 0.0133$ και $N = 0.0120$ οι συντελεστές της γενικευμένης εξίσωσης Manning για την εν λόγω τιμή της τραχύτητας.

Αμέσως μετά την αποκατάσταση της βλάβης, η στάθμη νερού στη δεξαμενή ήταν στα $h_{\Delta} = 101.8 \text{ m}$. Συνεπώς, το ενεργειακό υψόμετρο στην κεφαλή του δικτύου ήταν $h_K = 101.8 - 0.0036 \times 800 = 98.9 \text{ m}$, που αντιστοιχεί σε ύψος πίεσης $p_K = h_K - h_K = 98.9 - 76.0 = 22.9 \text{ m}$.

¹ Πρόκειται για εύλογη παραδοχή, καθώς η διάρκεια της βλάβης είναι λίγο μεγαλύτερη της ώρας (συγκεκριμένα 90 λεπτά).

Ερώτημα (β)

Σύμφωνα με την εκφώνηση, η παροχή των $0.0296 \text{ m}^3/\text{s}$, ήτοι 29.6 L/s , ήταν η μέγιστη της συγκεκριμένης ημέρας. Η εν λόγω παροχή περιλαμβάνει τη ζήτηση των μόνιμων κατοίκων, καθώς και τη ζήτηση της βιομηχανικής μονάδας. Η παροχή της βιομηχανικής μονάδας για 12 ώρες λειτουργίας ανέρχεται σε $Q_{\text{βιομ}} = 200\,000 / (12 \times 3600) = 4.6 \text{ L/s}$. Συνεπώς, η παροχή για αστική χρήση κατά την περίοδο αιχμής εκτιμάται σε $Q_{\text{αστ, αιχμής}} = 29.6 - 4.6 = 25.0 \text{ L/s}$.

Για τη συγκεκριμένη ημέρα, για αστική χρήση διατέθηκαν $1400 - 200 = 1200 \text{ m}^3$, που αντιστοιχούν σε μέση ημερήσια παροχή $Q_{\text{αστ, μέση}} = 1\,200\,000 / (24 \times 3600) = 13.9 \text{ L/s}$.

Συνεπώς, ο συντελεστής ωριαίας αιχμής λ_{Ω} (δηλαδή ο λόγος της ωριαίας παροχής αιχμής προς τη μέγιστη ημερήσια παροχή) είναι για την αστική χρήση $\lambda_{\Omega} = 25.0 / 13.9 = 1.80$, και για τη βιομηχανική $\lambda_{\Omega} = 24 / 12 = 2.00$.

Ερώτημα (γ)

Αφού η βιομηχανική ζήτηση των $200 \text{ m}^3/\text{d}$ είναι πρακτικά σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, μπορεί να θεωρηθεί ότι ο μέγιστος όγκος νερού που μπορεί να παροχετευτεί για αστική χρήση, με κριτήριο τη δυναμικότητα της μονάδας επεξεργασίας, ανέρχεται σε $1700 - 200 = 1500 \text{ m}^3/\text{d}$.

Δεδομένου ότι στην κεφαλή του δικτύου (που είναι το δυσμενέστερο σημείο του δικτύου) αναπτύσσονται τετραώροφα κτήρια, το ελάχιστο επιτρεπόμενο ύψος πίεσης ανέρχεται σε $p_{\text{κ, min}} = 20 \text{ m}$. Ισοδύναμα, η ελάχιστη στάθμη της πιεζομετρικής γραμμής στην κεφαλή είναι $h_{\text{κ, min}} = 76 + 20 = 96 \text{ m}$. Θεωρώντας, για λόγους ασφαλείας, τη στάθμη της δεξαμενής στο κατώτατο υψόμετρο (+100 m), προκύπτει ότι οι μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση ενέργειας στον κύριο τροφοδοτικό αγωγό είναι $J_{\text{max}} = (100 - 96) / 800 = 0.005$. Με εφαρμογή της γενικευμένης εξίσωσης Manning προκύπτει ότι η μέγιστη παροχή που μπορεί να δοθεί στο δίκτυο ανέρχεται σε 34.8 L/s , εκ των οποίων τα $34.8 - 4.6 = 30.2 \text{ L/s}$ είναι για αστική χρήση. Η τιμή αυτή ανάγεται σε ημερήσια παροχή, χρησιμοποιώντας το συντελεστή αιχμής που υπολογίστηκε στο ερώτημα 2. Συνεπώς, η μέγιστη ημερήσια παροχή για αστική χρήση ανέρχεται σε $30.2 / 1.80 = 16.8 \text{ L/s}$, που αντιστοιχεί σε ημερήσιο όγκο $16.8 \times 24 \times 3.6 = 1450 \text{ m}^3 < 1500 \text{ m}^3$.

Συνεπώς, ο ζητούμενος όγκος νερού που μπορεί να διατεθεί την ημέρα αιχμής προκύπτει με βάση το δυσμενέστερο από τα δύο κριτήρια, το οποίο αφορά στον περιορισμό των πιέσεων στο δίκτυο διανομής. Ο εν λόγω όγκος εκτιμάται σε 1450 m^3 .