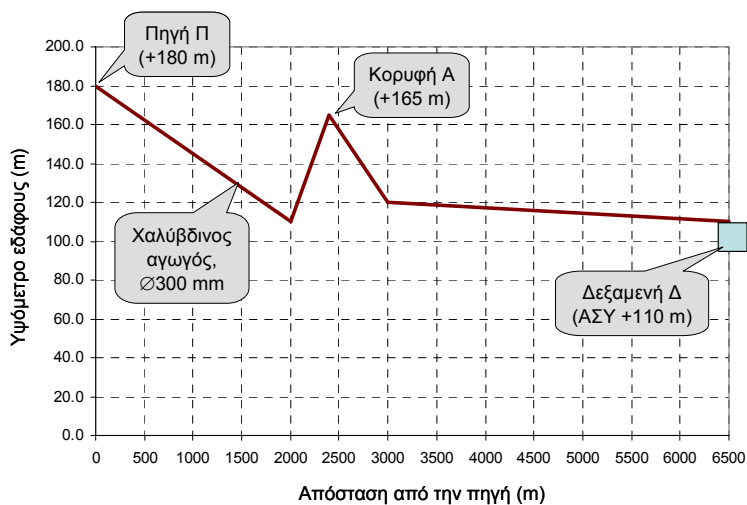


## ΕΞΕΤΑΣΗ ΠΡΟΟΔΟΥ ΙΟΥΝΙΟΥ 2014 – ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ & ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ

Επαρχιακή πόλη υδροδοτείται από την πηγή Π, σε στάθμη υδροληψίας +180 m, μέσω χαλύβδινου αγωγού βαρύτητας, μήκους 6500 m και διαμέτρου  $\varnothing 300$  mm, που μεταφέρει νερό στη δεξαμενή Δ, ανώτατης στάθμης ύδατος (ΑΣΥ) +110 m. Όπως φαίνεται στη μηκοτομή του σχήματος, σε απόσταση 2400 m από την πηγή παρεμβάλλεται ύψωμα, με υψόμετρο κορυφής +165 m. Τις ημέρες αιχμής, το υδραγωγείο καλύπτει οριακά τις υδρευτικές ανάγκες της πόλης, ο πληθυσμός της οποίας εκτιμάται σε 20 000 άτομα. Σύμφωνα με τα αναπτυξιακά σχέδια της περιοχής μελέτης, σε χρονικό ορίζοντα 20 ετών προβλέπεται αύξηση του μόνιμου πληθυσμού κατά 5 000 άτομα, καθώς και επέκταση του δικτύου διανομής προς μια νέα τουριστική περιοχή, όπου θα αναπτυχθούν 2500 κλίνες σε ξενοδοχειακές μονάδες 4\* και 1000 κλίνες σε μονάδες 5\*. Προκειμένου να καλυφθούν οι αυξημένες υδρευτικές ανάγκες προβλέπονται: (α) η προσθήκη ενισχυτικού παράλληλου χαλύβδινου αγωγού ίδιας διαμέτρου, σε τμήμα του εξωτερικού υδραγωγείου, και (β) η αναβάθμιση του δικτύου διανομής με μείωση των διαρροών, ώστε να μειωθεί το ποσοστό του μη τιμολογούμενου νερού από 30%, σήμερα, σε 20%.



(α) Εκτιμήστε την μέγιστη παροχή που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός Π-Δ την ημέρα αιχμής, λαμβάνοντας υπόψη τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του αγωγού και τους περιορισμούς της τοπογραφίας.

Αν θεωρήσουμε ως διαθέσιμη υδραυλική κλίση από τη στάθμη υδροληψίας μέχρι την ΑΣΥ στις δεξαμενές, ήτοι  $J = (180.0 - 110.0) / 6500 = 0.0108$ , τότε το ενεργειακό υψόμετρο σημείο Α θα είναι  $h_A = 154.2$  m, ήτοι 10.8 m χαμηλότερα από το υψόμετρο εδάφους. Η υποπίεση των -10.8 m δεν είναι αποδεκτή (δεν μπορεί να υπάρχει ροή), οπότε η μέγιστη εφικτή κλίση ενέργειας προκύπτει με βάση το όριο των -7.0 m στο σημείο Α. Συνεπώς, για  $h_A = 165.0 - 7.0 = 158.0$  m, η μέγιστη εφικτή κλίση είναι  $J' = (180.0 - 158.0) / 2400 = 0.0092$ .

Με γνωστή την κλίση  $J'$ , τη διάμετρο  $D$  (0.300 m) και με υπόθεση ισοδύναμης τραχύτητας  $\epsilon = 1.0$  mm, προκύπτει ότι η μέγιστη παροχή που μπορεί να μεταφέρει ο αγωγός είναι  $Q = 0.100$  m<sup>3</sup>/s.

Η παροχή αυτή ταυτίζεται με τη μέγιστη ημερήσια, καθώς όπως δίνεται στη εκφώνηση, τις ημέρες αιχμής το υδραγωγείο καλύπτει οριακά τις υδρευτικές ανάγκες της πόλης.

(β) Για την παραπάνω παροχή, σχεδιάστε και εξηγήστε την πιεζομετρική γραμμή.

Η πιεζομετρική γραμμή θα έχει ενιαία κλίση και θα ξεκινά από τη στάθμη υδροληψίας (+180.0 m), θα διέρχεται το ελάχιστο εφικτό ενεργειακό υψόμετρο στο σημείο Α (+158.0 m), και θα καταλήγει σε ενεργειακό υψόμετρο  $h_{\Delta} = 180.0 - 0.0092 \times 6500 = 120.4$  m. Συνεπώς, στη θέση της δεξαμενής πρέπει να δημιουργηθούν τοπικές απώλειες 10.4 m, με χρήση δικλείδας κατάλληλου συντελεστή απωλειών.

(γ) Εκτιμήστε την κατά κεφαλή κατανάλωση νερού και τον συντελεστή ημερήσιας αιχμής,  $\lambda_H$ , δεδομένου ότι το διέρρευσαν έτος η συνολική τιμολογημένη κατανάλωση νερού ανήλθε σε 1 700 000 m<sup>3</sup>.

Η συνολική ετήσια κατανάλωση (τιμολογημένη και μη) εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό του μη τιμολογούμενου νερού, και ανέρχεται σε  $V_a = 1\,700\,000 / (1 - 0.30) = 2\,428\,571$  m<sup>3</sup>. Η (συνολική) μέση ημερήσια παροχή εκτιμάται σε  $Q_E = 2\,428\,571 / (86.4 \times 365) = 77.0$  L/s, ενώ η μέγιστη ημερήσια παροχή,

σύμφωνα με το ερώτημα (α) εκτιμάται σε  $Q_H = 100.0$  L/s. Συνεπώς, ο συντελεστής ημερήσιας αιχμής εκτιμάται σε  $\lambda_H = 100.0 / 77.0 = 1.30$ , τιμή που κρίνεται εύλογη.

Αν ληφθεί υπόψη μόνο η τιμολογημένη ετήσια κατανάλωση, τότε η κατά κεφαλή ζήτηση του υφιστάμενου πληθυσμού (20 000 άτομα) εκτιμάται σε 233 L/d, τιμή που είναι σχετική υψηλή για αστικά κέντρα, αλλά μπορεί να αιτιολογηθεί επειδή αναφερόμαστε σε επαρχιακή πόλη, όπου ενδέχεται να υπάρχουν μικρής κλίμακας αρδευτικές χρήσεις (ποτίσματα κήπων, περιβολιών, κτλ.). Βεβαίως, αν ο υπολογισμός γίνει με βάση τη συνολική ποσότητα νερού που καταναλώθηκε, η τιμή της ειδικής κατανάλωσης αυξάνει ακόμα περισσότερο, καθώς σε αυτή συμπεριλαμβάνονται και οι απώλειες.

**Παρατήρηση:** Εξαιτίας των παραδοχών που αφορούν στο ποσοστό του μη τιμολογημένου νερού και τον συντελεστή τραχύτητας, οι εκτιμήσεις της κατά κεφαλή κατανάλωσης και του συντελεστή ημερήσιας αιχμής διέπονται από σημαντική αβεβαιότητα.

(δ) Εκτιμήστε την παροχή σχεδιασμού του εξωτερικού υδραγωγείου, για τις μελλοντικές συνθήκες ζήτησης και διαρροών.

Στις μελλοντικές συνθήκες συνυπολογίζονται οι αυξημένες υδατικές ανάγκες της επαρχιακής πόλης και της νέας τουριστικής περιοχής.

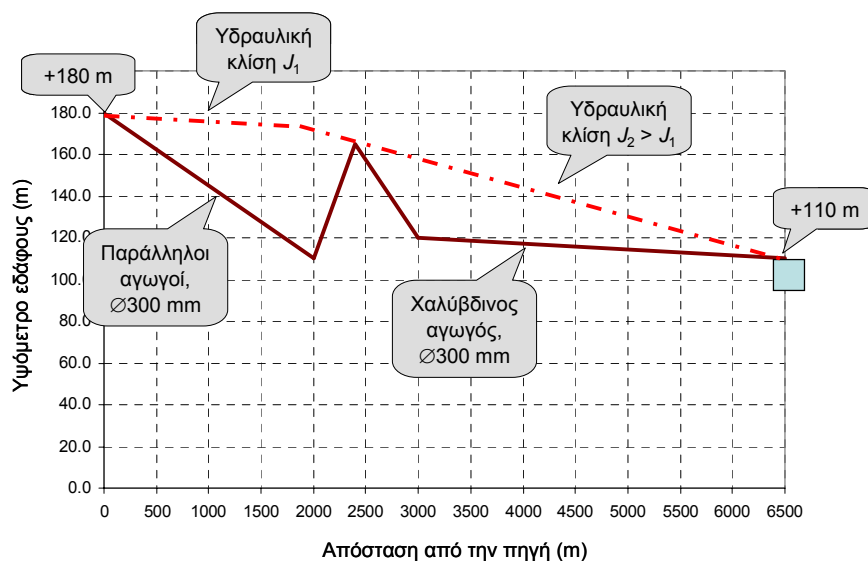
Για την επαρχιακή πόλη, με βάση την εκτίμηση του πληθυσμού σε χρονικό ορίζοντα 20 ετών (25 000 άτομα), την σημερινή κατά κεφαλή κατανάλωση (233 L/d, χωρίς απώλειες), το μειωμένο ποσοστό απωλειών (20%), και τον υφιστάμενο συντελεστή  $\lambda_H = 1.30$ , εκτιμάται μέγιστη ημερήσια παροχή  $Q_H = 105.0$  L/s.

Για την τουριστική περιοχή, λαμβάνεται μέση ημερήσια κατανάλωση ανά κλίνη ίση με 350 και 450 L/d για τα ξενοδοχεία των 4\* και 5\*, αντίστοιχα (σύμφωνα με τις προδιαγραφές του σχετικού ΦΕΚ), και ενιαίος συντελεστής  $\lambda_H = 1.20$ , οπότε εκτιμάται μέγιστη ημερήσια παροχή  $Q_H = 18.4$  L/s.

Αθροίζοντας τις δύο τιμές προκύπτει η παροχή σχεδιασμού του εξωτερικού υδραγωγείου, ήτοι  $Q = 123.4$  L/s ( $0.1234$  m<sup>3</sup>/s).

(ε) Εξηγήστε με τη βοήθεια σκαριφήματος (χωρίς υδραυλικούς υπολογισμούς) αν ο ενισχυτικός παράλληλος αγωγός πρέπει να τοποθετηθεί αμέσως κατάντη της πηγής ή αμέσως ανάντη της δεξαμενής.

Αφού ο παράλληλος αγωγός, μήκους  $L_1 < 6500$  m, θα έχει ίδια διάμετρο με τον υφιστάμενο, η παροχή σχεδιασμού  $Q$  θα ισομοιράζεται στα δύο τμήματά του, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα, μήκους  $L_2 = 6500 - L_1$ , θα διέρχεται το σύνολο της  $Q$ . Η κλίση της ΠΓ στα τμήματα μήκους  $L_1$  και  $L_2$  θα είναι  $J_1$  και  $J_2$ , αντίστοιχα, με  $J_1 < J_2$ . Προκειμένου να αντιμετωπιστεί ο κίνδυνος υποπίεσεων, η μικρή κλίση ενέργειας θα πρέπει να εφαρμοστεί ανάντη και η μεγάλη κατάντη, σύμφωνα με το σκαρίφημα.



(στ) Εκτιμήστε το μήκος του παράλληλου αγωγού και σχεδιάστε την πιεζομετρική γραμμή κατά μήκος του εξωτερικού υδραγωγείου Π-Δ, για τις συνθήκες κατανάλωσης της ημέρας αιχμής.

Για διάμετρο  $D = 0.300$  m, ισοδύναμη τραχύτητα  $\varepsilon = 1.0$  mm, και παροχή  $Q / 2 = 0.0617$  m<sup>3</sup>/s (ήτοι την παροχή που διέρχεται από κάθε παράλληλο κλάδο) προκύπτει κλίση ενέργειας  $J_1 = 0.0035$ , ενώ για παροχή  $Q = 0.1234$  m<sup>3</sup>/s (ήτοι την παροχή σχεδιασμού που διέρχεται από τον υφιστάμενο αγωγό) προκύπτει κλίση ενέργειας  $J_2 = 0.0139$ . Το μήκος του παράλληλου αγωγού  $L_1$  υπολογίζεται από την επίλυση της σχέσης:

$$J_1 L_1 + J_2 L_2 = h_{\Pi} - h_{\Delta} \rightarrow 0.0035 L_1 + 0.0139 (6500 - L_1) = 70 \rightarrow L_1 = 1955 \text{ m}$$

Επειδή η κλίση  $J_1 = 0.0035$  είναι ηπιότερη από αυτή που υπολογίστηκε στο α' ερώτημα, δεν προκύπτει ανάγκη ελέγχου υποπίεσεων στην κορυφή Α (πράγματι, στο εν λόγω σημείο η ΠΓ διέρχεται σε υψόμετρο +166.9 m, λίγο πάνω δηλαδή από τη στάθμη του εδάφους).

*(ζ) Πώς ερμηνεύετε το ποσοστό 30% του μη τιμολογούμενου νερού και γιατί αυτό δεν προβλέπεται να μειωθεί πέραν του 20%, παρά τις εκτεταμένες βελτιώσεις του δικτύου διανομής;*

Το υψηλό ποσοστό του μη τιμολογημένου νερό είναι σύνηθες σε επαρχιακές πόλεις (παλαιότερα και στην Αθήνα). Αυτό περιλαμβάνει φυσικές απώλειες λόγω διαρροών, καθώς και υδρευτικό νερό που διανεμήθηκε χωρίς να εισπραχθούν τέλη. Παρά τις εκτεταμένες επεμβάσεις στο δίκτυο διανομής, δεν είναι εφικτή η μείωση των φυσικών απωλειών κάτω από ένα όριο, της τάξης του 10-15%. Επιπλέον, θα παραμένει πάντοτε ένα ποσοστό νερού που δεν τιμολογείται, είτε γιατί αυτό οφείλεται σε παράνομες συνδέσεις που δεν μπορούν να εντοπιστούν είτε επειδή κάποιои καταναλωτές δικαιούνται να έχουν δωρεάν νερό (π.χ., για δημόσια χρήση).

*(η) Αν η περιοχή ανάπτυξης του δικτύου διανομής κυμαίνεται από +10 m μέχρι +85 m, εκτιμήστε αν προκύπτει ανάγκη χωρισμού του δικτύου σε πιεζομετρικές ζώνες και σε πόσες.*

Η μέγιστη υψομετρική διαφορά μεταξύ του χαμηλότερου σημείου του δικτύου (+10 m) και της ΑΣΥ της δεξαμενής (+110 m) φτάνει τα 100 m. Η διαφορά αυτή υπερβαίνει τον (συντηρητικό) περιορισμό των μέγιστων πιέσεων, που δεν μπορούν να υπερβούν τα 60 ως 70 m. Κατά συνέπεια, είναι αναγκαίος ο διαχωρισμός του δικτύου σε δύο τουλάχιστον πιεζομετρικές ζώνες, με την υψηλή να κυμαίνεται (ενδεικτικά) από τα +45 m μέχρι +85 m, και τη χαμηλή να κυμαίνεται από τα +10 m μέχρι +45 m.