

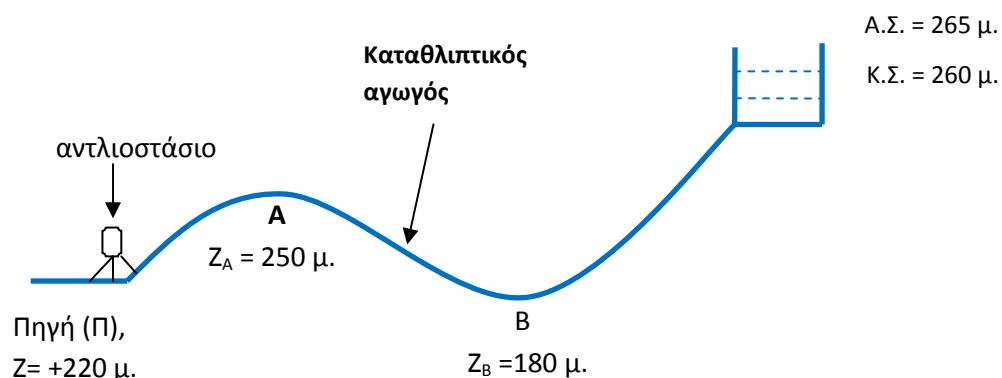
ΑΣΚΗΣΗ 3

Άσκηση για την συνδυαστική διαστασιολόγηση αντλιοστασίου – καταθλιπτικού αγωγού εξωτερικού υδραγωγείου.

Διδάσκων: Ανδρέας Λαγγούσης

Επικούρηση φροντιστηριακών ασκήσεων: Απόστολος Ρουσιάς

Αντλιοστάσιο **20-ωρης** λειτουργίας τροφοδοτεί δεξαμενή παραθεριστικού οικισμού από πηγή Π, που βρίσκεται σε υψόμετρο $H_{\text{πηγής}} = + 220 \text{ m}$. Η δεξαμενή ρύθμισης έχει κατώτατη στάθμη λειτουργίας (Κ. Σ.) $+ 260 \text{ m}$ και ωφέλιμο ύψος $H_{\omega\phi} = 5 \text{ m}$. Το μήκος του καταθλιπτικού αγωγού (ακολουθώντας την τοπογραφία του εδάφους) ανέρχεται στα **4.300 m** με ελάχιστο υψόμετρο $z_B = + 180 \text{ m}$ και μέγιστο υψόμετρο $z_A = + 250 \text{ m}$ σε απόσταση $L_{\Pi A} = 1.000 \text{ m}$ από την πηγή Π.



Η μέγιστη ημερήσια παροχή του οικισμού στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού του έργου είναι $Q_{\text{max}\eta\mu\epsilon\rho} = 45 \text{ l / s}$, ενώ η μέση ημερήσια παροχή στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού ανέρχεται στα $\bar{Q}_{\text{μέση}} = 25 \text{ l / s}$.

Ζητείται η συνδυαστική διαστασιολόγηση του αντλιοστασίου και του καταθλιπτικού αγωγού του εξωτερικού υδραγωγείου με σωλήνες HDPE.

Σε επίπεδο προμελέτης:

- Να ληφθεί σταθερός συντελεστής απόδοσης $\eta = 0,75$ για τις αντλίες του αντλιοστασίου.
- Η εφεδρική αντλητική ισχύς να ληφθεί ίση με 17% της απαιτούμενης.
- Οι τοπικές απώλειες στο αντλιοστάσιο να ληφθούν ίσες με το 5% του μανομετρικού ύψους και όχι λιγότερο από 3 m.
- Το κόστος εγκατάστασης αντλιών να ληφθεί ίσο με 1.500 ευρώ / Kw.
- Το ετήσιο κόστος συντήρησης των αντλιών να ληφθεί ίσο με 110 ευρώ / Kw .
- Το κόστος άντλησης ανέρχεται στα 0,07 ευρώ / Kwh.
- Για τον υπολογισμό του κόστους άντλησης να χρησιμοποιηθεί το 70% της μέσης ημερήσιας παροχής στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού.

(Η εν λόγω απομείωση έχει διπλό σκοπό: α) Για τους υπολογισμούς του λειτουργικού κόστους πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια αντιπροσωπευτική παροχή για όλη την περίοδο λειτουργίας (40 έτη), η οποία είναι μικρότερη από τη μέση ημερήσια στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού. β) Η ισοδύναμη τραχύτητα του αγωγού για τη λειτουργία του έργου (40 έτη) πρέπει να ληφθεί μειωμένη σε σχέση με αυτή στο τέλος ζωής του έργου ($K_s \approx 1 \text{ mm}$). Μικρότερη παροχή $\rightarrow$ Μικρότερες απώλειες ενέργειας.

- Για αναγωγή των εφάπαξ δαπανών σε ετήσιο τοκοχρεωλύσιο να ληφθεί επιτόκιο αναγωγής ίσο με 8%.
- Για τον μηχανολογικό εξοπλισμό να ληφθεί χρόνος απόσβεσης $N_{μηχ} = 15$ έτη και για τον καταθλιπτικό αγωγό $N_{κατ} = 40$ έτη.
- Οι τιμές ανά μέτρο μήκους του αγωγού να αναζητηθούν στο Internet.

ΛΥΣΗ

**Βήμα 1^ο : Ενδεικτικός υπολογισμός κλάσεως αγωγού
(Υπόκειται σε τελικό έλεγχο)**

$$H_{\mu\alpha\nu} = \Delta z + \Delta H_{\tau\omicron\pi} + \Delta H_f$$

Δz = Υψομετρική διαφορά

$\Delta H_{\tau\omicron\pi}$ = Τοπικές απώλειες

ΔH_f = Γραμμικές απώλειες

Ενδεικτικά, για καταθλιπτικούς αγωγούς, μπορείτε να λαμβάνετε κλίση της γραμμής ενέργειας περί το 2%.

Από δεδομένα :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_{\mu\alpha\nu} = \Delta z + \Delta H_{\tau\omicron\pi} + \Delta H_f \\ \Delta H_f = 2\% * L = 0,02 * 4.300 = 86 \text{ m} \\ \Delta z = 265 - 220 = 45 \text{ m} \\ \Delta H_{\tau\omicron\pi} = \max \{ 0,05 H_{\mu\alpha\nu} , 3 \text{ m} \} \end{array} \right. \rightarrow$$

$$\rightarrow H_{\mu\alpha\nu} = \frac{86+45}{0,95} \quad \rightarrow \quad H_{\mu\alpha\nu} = 138 \text{ m}$$

Για την περίπτωση που κάποιος αδαής κλείσει τη δικλείδα στη δεξαμενή ενώ λειτουργεί η αντλία, το μέγιστο υψόμετρο της πιεζομετρικής γραμμής είναι :

$$\text{Max H} = 220 + 138 = 358 \text{ m}$$

Άρα το μέγιστο ύψος πιέσεως στον αγωγό είναι :

$$\begin{cases} \max P/\gamma = \max H - \min z \\ \min z = 180 \text{ m} \\ \max H = 358 \text{ m} \end{cases} \rightarrow \max P/\gamma = 178 \text{ m}$$

Λαμβάνοντας προσαύξηση του παραπάνω ύψους πιέσεως, κατά 40 m για πλήγμα ,έχουμε :

$$\text{Min κλάση αγωγού} = \max \left\{ \frac{9,81 \cdot (178 + 40)}{100}, 10 \text{ atm} \right\} \rightarrow$$

Min κλάση = 21,4 atm → Λαμβάνουμε αγωγό HDPE 25 atm

Βήμα 2° : Υπολογισμός παροχής σχεδιασμού καταθλιπτικού αγωγού

$$\begin{cases} Q_{\text{κατ}} = \frac{Q_{\text{max,ημερ}} \cdot 24}{t_h} \\ t_h = \text{ώρες ημερήσιας λειτουργίας αντλιοστασίου} \end{cases} \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{cases} Q_{\text{κατ}} = \frac{Q_{\text{max,ημερ}} \cdot 24}{20} \\ Q_{\text{max,ημερ}} = 45 \text{ l/s} \end{cases} \rightarrow Q_{\text{κατ}} = 54 \text{ l/s}$$

Βήμα 3° : Υπολογισμός μέσων ετήσιων αναγκών νερού κατά τη λειτουργία του έργου

$$\begin{cases} V_{\text{ετήσιο}} = \bar{Q}_{\text{μέση}} \cdot 0,70 \cdot \frac{24 \cdot 3.600 \cdot 365}{1.000} \\ \bar{Q}_{\text{μέση}} = 25 \text{ l/s} \\ 0,70 = \text{απομειωτικός συντελεστής} \end{cases} \rightarrow$$

$$V_{\text{ετήσιο}} = 551.880 \text{ m}^3$$

Βήμα 4^ο : Εύρεση επιλέξιμων διαμέτρων από άποψη ταχυτήτων [στήλες 2 – 7]

Για κάθε διάμετρο, υπολογίζεται η ταχύτητα του νερού στον αγωγό με χρήση του τύπου :

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Όπου :

D : εσωτερική διάμετρος του αγωγού σε m

Q : παροχή του αγωγού σε m^3/s

v : ταχύτητα ύδατος σε m/s

Για παράδειγμα, για εσωτερική διάμετρο $D = 203,4 \text{ mm}$ ($\Phi 280$) λαμβάνουμε :

$$V = \frac{4 * 0,054 (m^3/s)}{\pi * 0,2034^2 (m^2)} = 1,662 m/s \quad (\text{είναι επιλέξιμη})$$

Επιλέξιμες είναι οι διάμετροι που ικανοποιούν τη συνθήκη :

$$V_{min} \leq v \leq V_{max}$$

Όπου V_{min} και V_{max} είναι η ελάχιστη και η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα ύδατος, σύμφωνα με τους Ελληνικούς κανονισμούς, για την αντίστοιχη διάμετρο (βλέπε πίνακα διαμέτρων / επιτρεπόμενων ταχυτήτων).

Βήμα 5^ο : Για τις επιλέξιμες διαμέτρους υπολογίζουμε τον αριθμό Reynolds της ροής (Re), τη σχετική τραχύτητα,

(K_s/D), τον συντελεστή γραμμικών απωλειών (f) και τις γραμμικές απώλειες (ΔH_f) [στήλες 8 – 11].

Για παράδειγμα, για εσωτερική διάμετρο $D = 203,4 \text{ mm}$ έχουμε :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Re} = \frac{v * D}{\nu} \\ v = 1,662 \text{ m/s} \\ D = 0,2034 \text{ m} \\ \nu = 1,1 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \end{array} \right. \rightarrow \text{Re} = 307.319$$

(Επισημαίνεται ότι διαφορές μεταξύ των υπολογισθεισών τιμών και αυτών του συγκεντρωτικού πίνακα υπολογισμών οφείλονται σε στρογγυλοποιήσεις).

$$\left\{ \begin{array}{l} K_s = 1 \text{ mm} \\ D = 203,4 \text{ mm} \end{array} \right. \rightarrow K_s/D = 4,916 * 10^{-3}$$

Από διάγραμμα Moody βρίσκουμε $f = 0,031$

Οι γραμμικές απώλειες υπολογίζονται από τη σχέση :

$$\Delta H_f = \frac{L}{D} * f * \frac{v^2}{2g}$$

Όπου :

$$L = 4.300 \text{ m}$$

$$D = 0,2034 \text{ m}$$

$$f = 0,031$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$v = 1,662 \text{ m/s}$$

Οπότε :

$$\Delta H_f = 92,26 \text{ m}$$

(Επισημαίνεται ότι διαφορές μεταξύ των υπολογισθεισών τιμών και αυτών του συγκεντρωτικού πίνακα υπολογισμών οφείλονται σε στρογγυλοποιήσεις).

Βήμα 6^ο : Υπολογισμός μανομετρικού ύψους αντλίας και τοπικών απωλειών στο αντλιοστάσιο [στήλες 12 – 13]

Για διάμετρο $D = 203,4 \text{ mm}$ έχουμε :

$$H_{\mu\alpha\nu} = \Delta z + \Delta H_{\tau} + \Delta H_f$$

Όπου :

$$\Delta z = 265 - 220 = 45 \text{ m (υψομετρική διαφορά)}$$

$$\Delta H_f = 92,26 \text{ m}$$

$$\Delta H_{\tau} = \max \{ 0,05 H_{\mu\alpha\nu} , 3 \text{ m} \}$$

Οπότε :

$$H_{\mu\alpha\nu} = \max \left\{ \frac{\Delta z + \Delta H_f}{0,95} , \Delta z + \Delta H_f + 3 \right\} \rightarrow$$

$$\rightarrow H_{\mu\alpha\nu} = \max \{ 144,48 , 140,26 \} \rightarrow$$

$$\rightarrow H_{\mu\alpha\nu} = 144,48 \text{ m}$$

$$\Delta H_{\tau} = H_{\mu\alpha\nu} - \Delta z - \Delta H_f \rightarrow \Delta H_{\tau} = 7,22 \text{ m}$$

Βήμα 7^ο : Υπολογισμός απαιτούμενης και εγκατεστημένης ισχύος αντλιών [στήλες 14 – 15]

Για διάμετρο $D = 203,4 \text{ mm}$ η απαιτούμενη ισχύς του αντλιοστασίου υπολογίζεται ως ακολούθως :

$$P_{\alpha\pi} = \frac{\gamma * Q * H_{\mu\alpha\nu}}{\eta}$$

Όπου :

$$\gamma = 9,81 \text{ KN}/\text{m}^3$$

$$Q = 0,054 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{\mu\alpha\nu} = 144,48\text{m}$$

$$\eta = 0,75$$

Οπότε :

$$P_{\alpha\pi} \approx 102 \text{ KW}$$

Εγκατεστημένη ισχύς :

$$\begin{cases} P_{\varepsilon\gamma\kappa} = P_{\alpha\pi} + P_{\varepsilon\varphi} \\ P_{\varepsilon\varphi} = 17\% P_{\alpha\pi} \end{cases} \rightarrow P_{\varepsilon\gamma\kappa} = 1.17 P_{\alpha\pi} \rightarrow$$

$\rightarrow P_{\varepsilon\gamma\kappa} = 120 \text{ KW}$, κατανεμημένα σε N+1 αντλίες, όπου οι N αντλίες οφείλουν να καλύπτουν το $P_{\alpha\pi}$.

Για παράδειγμα, μπορούμε να αγοράσουμε 6 αντλίες των 20 KW, εκ των οποίων η μία θα λειτουργεί ως εφεδρική.

Βήμα 8^ο : Υπολογισμός εφάπαξ δαπανών για αγωγούς και αντλίες [στήλες 16 – 17]

Για διάμετρο $D = 203,4$ mm έχουμε :

- **Εφάπαξ δαπάνη για αγωγούς :**

$$\begin{cases} \Delta_{\alpha\gamma} = L * C_{\alpha\gamma} \\ C_{\alpha\gamma} = 179,52 \text{ ευρώ/m (από Internet)} \\ L = 4.300 \text{ m} \end{cases} \rightarrow$$

$$\Delta_{\alpha\gamma} = 771.936 \text{ ευρώ}$$

- **Εφάπαξ δαπάνη για αντλίες :**

$$\begin{cases} \Delta_{αντ} = P_{εγκ} * C_{αντ} \\ P_{εγκ} = 120 \text{ KW} \\ C_{αντ} = 1.500 \text{ ευρώ/KW} \end{cases} \rightarrow \Delta_{αντ} = 180.000 \text{ ευρώ}$$

Βήμα 9^ο : Υπολογισμός τοκοχρεωλυσίου αγωγού και αντλιοστασίου [στήλες 18 – 19]

Για διάμετρο $D = 203,4$ mm έχουμε :

- **Τοκοχρεωλύσιο για αγωγούς :**

$$\begin{cases} C_{\alpha\gamma} = \Delta_{\alpha\gamma} * \frac{i * (1+i)^{N_{\alpha\gamma}}}{(1+i)^{N_{\alpha\gamma}} - 1} \\ i = 0,08 \\ \Delta_{\alpha\gamma} = 771.936 \text{ ευρώ} \\ N_{\alpha\gamma} = 40 \text{ έτη} \end{cases} \rightarrow C_{\alpha\gamma} = 64.735 \text{ ευρώ / έτος}$$

- Τοκοχρεωλύσιο για αντλιοστάσιο

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{αντ} = \Delta_{αντ} * \frac{i * (1+i)^{N_{αντ}}}{(1+i)^{N_{αντ}} - 1} \\ i = 0,08 \\ \Delta_{αντ} = 180.000 \text{ ευρώ} \\ N_{αντ} = 15 \text{ έτη} \end{array} \right. \rightarrow$$

$$C_{αντ} = 21.000 \text{ ευρώ / έτος}$$

Βήμα 10° : Υπολογισμός ετήσιου κόστους συντήρησης αντλιών [στήλη 20]

Για διάμετρο $D = 203,4 \text{ mm}$ έχουμε :

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{συντ} = P_{εγκατ} * \delta_{συντ} \\ P_{εγκατ} = 120 \text{ kW} \\ \delta_{συντ} = 110 \text{ ευρώ / KW} \end{array} \right. \rightarrow C_{συντ} = 13.200 \text{ ευρώ / έτος}$$

Βήμα 11° : Υπολογισμός ετήσιου κόστους αντλήσεως [στήλες 22 - 23]

Για διάμετρο $D = 203,4 \text{ mm}$ έχουμε :

- Υπολογισμός ετήσια καταναλισκόμενης ενέργειας

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{ετήσιο} = \frac{V_{ετήσιο} * \gamma * H_{μαν}}{3.600 * \eta} \\ V_{ετήσιο} = 551.880 \text{ m}^3 \\ H_{μαν} = 144,48 \text{ m} \\ \gamma = 9,81 \text{ KN/m}^3 \\ \eta = 0,75 \end{array} \right. \rightarrow E_{ετήσιο} = 289.707 \text{ KWh / έτος}$$

- Υπολογισμός κόστους λειτουργίας άντλησης

$$\begin{cases} C_{\lambda\epsilon\iota\tau} = E_{\epsilon\tau\eta\sigma\iota\omicron} * \delta_{KW\hbar} \\ E_{\epsilon\tau\eta\sigma\iota\omicron} = 289.707 \text{ KWh} / \text{έτος} \\ \delta_{KW\hbar} = 0,07 \text{ ευρώ} / KW \end{cases} \rightarrow$$

$$\rightarrow C_{\lambda\epsilon\iota\tau} = 20.208 \text{ ευρώ} / \text{έτος}$$

Βήμα 12^ο : Υπολογισμός ετήσιας δαπάνης [στήλη 24]

$$C_{o\lambda} = C_{\alpha\nu\tau} + C_{\alpha\gamma} + C_{\sigma\upsilon\nu\tau} + C_{\lambda\epsilon\iota\tau} \rightarrow$$

$$\rightarrow C_{o\lambda} = 21.000 + 64.735 + 13.200 + 20.280 \rightarrow$$

$$\rightarrow C_{o\lambda} = 119.215 \text{ ευρώ} / \text{έτος}$$

Βήμα 13^ο :

Ως βέλτιστη λύση επιλέγεται αυτή που :

A) Οδηγεί σε επιλέξιμη διάμετρο αγωγού

B) Ελαχιστοποιεί την ετήσια δαπάνη (Τοκοχρεωλύσια + κόστος συντήρησης + κόστος άντλησης (λειτουργίας))

(Βλέπε συγκεντρωτικό πίνακα στις επόμενες σελίδες).

Επιλέγουμε Φ280

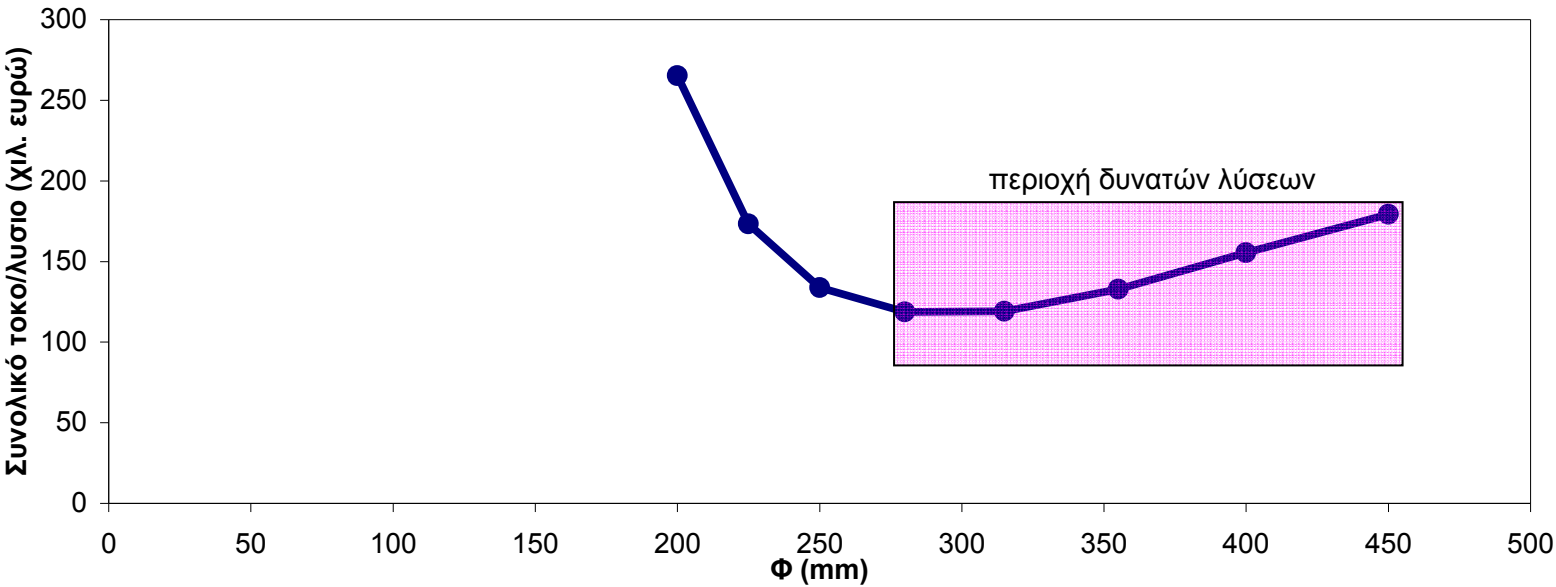
$$P_{\epsilon\gamma\kappa} = 120 \text{ KW}$$

Επιλέγουμε 6 αντλίες των 20 KW, εκ των οποίων η μία θα λειτουργεί ως εφεδρική. (**Επισημαίνεται** ότι οι 5 αντλίες ικανοποιούν την απαιτούμενη ισχύ των $\approx 100 \text{ KW}$).

Qσχ=	54 l/s	ΔΗτ=	0.05 *Ημαν	Νετήσιο=	551880 m^3	δσυντ=	110 ευρώ/kW/έτος
ν=	1.10E-06 m^2/s	minΔΗτ=	3 m	Νμηχ=	15 έτη	δkWh=	0.07 ευρώ/kWh
Ks=	1 mm	η=	0.75 -	Ναγωγ=	40 έτη		
L=	4300 m	γ=	9.81 kN/m^3	Ρεφ=	0.15 *Ραπ		
Δz=	45 m	Canτλ=	1500 ευρώ/kW	ετήσιο επιτόκιο=	0.08 -		

1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ονομαστική διάμετρος (mm)	25 atm		Α (m^2)	V (m/s)	Vmin (m/s)	Vmax (m/s)	Από άποψη ταχυτήτων	Re	Ks/D	f	ΔΗf (m)	ΔΗτ (m)	Ημαν (m)	Απαιτούμενη ισχύς Ραπ (kW)
	Εσωτερική διάμετρος (mm)	Κόστος (ευρώ/m)												
63	45.8	9.2	0.0016	32.78	0.5	1.55	No	1364727	0.0218	0.0503	258536.8	13609.6	272191.4	192254.2
75	54.4	12.8	0.0023	23.23	0.5	1.55	No	1148980	0.0184	0.0471	102405.5	5392.1	107842.6	76171.4
90	65.4	18.64	0.0034	16.07	0.5	1.55	No	955726	0.0153	0.044	38102.1	2007.7	40154.8	28362.2
110	79.8	27.92	0.0050	10.80	0.5	1.55	No	783264	0.0125	0.041	13126.2	693.2	13864.4	9792.7
125	90.8	35.2	0.0065	8.34	0.5	1.55	No	688375	0.0110	0.039	6583.3	348.9	6977.1	4928.1
140	101.6	44	0.0081	6.66	0.5	1.55	No	615202	0.0098	0.038	3614.3	192.6	3851.9	2720.6
160	116.2	59.04	0.0106	5.09	0.5	1.55	No	537904	0.0086	0.036	1767.5	95.4	1907.9	1347.6
180	130.8	74.4	0.0134	4.02	0.5	1.85	No	477863	0.0076	0.035	941.8	51.9	1038.8	733.7
200	145.2	89.92	0.0166	3.26	0.5	1.85	No	430472	0.0069	0.034	540.9	30.8	616.7	435.6
225	163.4	112.8	0.0210	2.58	0.5	1.85	No	382524	0.0061	0.033	289.1	17.6	351.7	248.4
250	181.6	139.6	0.0259	2.08	0.5	2.00	No	344188	0.0055	0.032	165.3	11.1	221.4	156.4
280	203.4	179.52	0.0325	1.66	0.5	2.00	Yes	307298	0.0049	0.031	90.8	7.1	142.9	101.0
315	228.8	227.04	0.0411	1.31	0.5	2.00	Yes	273184	0.0044	0.030	48.8	4.9	98.7	69.7
355	258.0	290.4	0.0523	1.03	0.5	2.00	Yes	242265	0.0039	0.029	25.9	3.7	74.7	52.7
400	290.6	366.08	0.0663	0.81	0.5	2.00	Yes	215088	0.0034	0.028	13.9	3.1	62.0	43.8
450	327.0	439.35	0.0840	0.64	0.5	2.00	Yes	191145	0.0031	0.027	7.5	3.0	55.5	39.2
500														

Επιλέγουμε Φ280 κλάσης 25 atm
Ρεγκ = 119 kW



15	16	17	18	19	20	21	22	23
Εγκατεστημένη ισχύς Ρεγκ (kW)	Εφάπαξ κόστος αντλιοστασίου (ευρώ)	Εφάπαξ κόστος αγωγού (ευρώ)	Τοκο/λύσιο αντλιοστασίου (ευρώ/έτος)	Τοκο/λύσιο αγωγού (ευρώ/έτος)	Κόστος συντήρησης αντλιών (ευρώ/έτος)	Ετήσια καταναλ. ενέργεια (kWh)	Κόστος άντλησης (ευρώ/έτος)	Ετήσια δαπάνη (ευρώ/έτος)
226181.4	339272136.2	39560	39637009	3318	24879957	545788342	38205184	102725467
89613.4	134420109.2	55040	15704240	4616	9857475	216242128	15136949	40703279
33367.3	50050890.8	80152	5847423	6722	3670399	80517053	5636194	15160737
11520.8	17281231.9	120056	2018958	10068	1267290	27800382	1946027	5242343
5797.8	8696625.8	151360	1016023	12693	637753	13990294	979321	2645789
3200.8	4801142.2	189200	560915	15866	352084	7723615	540653	1469518
1585.4	2378147.7	253872	277838	21290	174397	3825735	267801	741327
863.2	1294792.0	319920	151270	26829	94951	2082937	145806	418855
512.4	768667.7	386656	89803	32425	56369	1236559	86559	265156
292.3	438410.4	485040	51219	40676	32150	705272	49369	173414
184.0	275926.4	600280	32236	50340	20235	443884	31072	133882
118.8	178158.8	771936	20814	64735	13065	286605	20062	118676
82.0	123065.0	976272	14378	81870	9025	197975	13858	119131
62.0	93058.6	1248720	10872	104718	6824	149704	10479	132893
51.5	77249.4	1574144	9025	132008	5665	124271	8699	155397
46.1	69150.0	1889205	8079	158429	5071	111242	7787	179366

βέλτιστη

Βήμα 14^ο : Έλεγχος επάρκειας κλάσεως αγωγού.

Για την περίπτωση χρήσεως αγωγού **Φ280** (D = 203,4 mm),
το μανομετρικό ύψος είναι :

$$H_{\mu\alpha\nu} = 142,9 \text{ m} > 138 \text{ m} \quad (\text{αρχικοί υπολογισμοί στο Βήμα 1}).$$

Συνεπώς απαιτείται εκ νέου έλεγχος πιέσεων :

$$\begin{cases} \max P/\gamma = \max H - \min z \\ \max H = 220 \text{ m} + H_{\mu\alpha\nu} \\ H_{\mu\alpha\nu} = 142,9 \text{ m} \\ \min z = 180 \text{ m} \end{cases} \quad \rightarrow \quad \max P/\gamma = 182,9 \text{ m}$$

$$\text{Min κλάση αγωγού} = \max \left\{ \frac{9,81 \cdot (182,9 + 40)}{100}, 10 \text{ atm} \right\}$$

Όπου :

40 =ενδεικτική τιμή για πλήγμα $\rightarrow$

$\rightarrow$ **Min κλάση = 21,9 atm < 25 atm**

Ο αγωγός που τοποθετήσαμε επαρκεί.

Βήμα 15° : Έλεγχος για φαινόμενα σπηλαίωσης στο υψηλότερο τμήμα του δικτύου.

Το (ελάχιστο) υψόμετρο της γραμμής ενέργειας στο σημείο Α είναι :

$$\left\{ \begin{array}{l} \min H_A = H_{\mu\alpha\nu} + z_{\Pi} - \Delta H_{\tau} - \Delta H_f^{(\Pi A)} \\ \Delta H_{\tau} = \text{Τοπικές απώλειες στο αντλιοστάσιο} \\ \Delta H_f^{(\Pi A)} = \text{Γραμμικές απώλειες στο τμήμα (\Pi A)} \\ z_{\Pi} = \text{Υψόμετρο σημείου \Pi} \\ H_{\mu\alpha\nu} = \text{Μανομετρικό ύψος} \end{array} \right. \rightarrow$$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \min H_A = H_{\mu\alpha\nu} + z_{\Pi} - \Delta H_{\tau} - \Delta H_f^{(\Pi A)} \\ \Delta H_{\tau} = 7,1 \text{ m} \\ \Delta H_f^{(\Pi A)} = \frac{L_{\Pi A}}{L_{o\lambda}} * \Delta H_f \\ z_{\Pi} = 220 \text{ m} \\ H_{\mu\alpha\nu} = 142,9 \text{ m} \quad \Delta H_f = 90,8 \text{ m} \\ L_{\Pi A} = 1.000 \text{ m} \\ L_{o\lambda} = 4.300 \text{ m} \end{array} \right. \rightarrow$$

$$\rightarrow \min H_A = 142,9 + 220 - 7,1 - 90,8 * \frac{1.000}{4.300} \rightarrow$$

$$\rightarrow \min H_A = 334 \text{ m} > z_A = 250 \text{ m} \quad (\text{όχι φαινόμενα σπηλαίωσης})$$