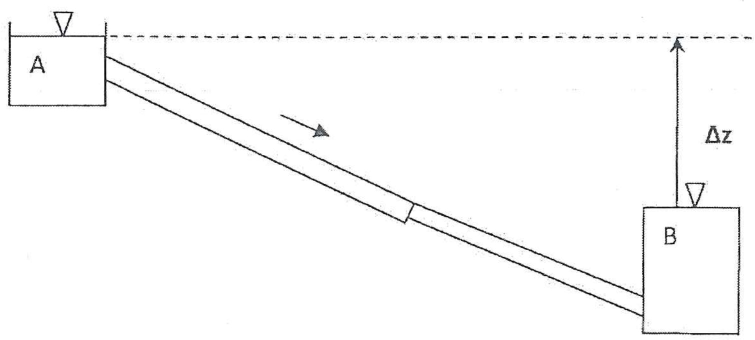
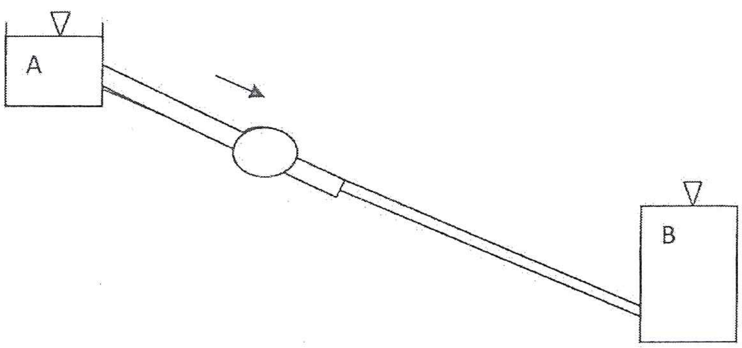
Θέμα 5 [4.00/10]

Αγωγός μήκους L_1 = 4100 m, χαλυβοσωλήνα (εσωτερικής) διαμέτρου D_1 = 250mm και τραχύτητας k_1 = 1 mm συνδεδεμένος σε σειρά με παλιό χαλυβοσωλήνα D_2 = 200mm, τραχύτητας k_2 = 2 mm και μήκους L_2 = 1200 m, μεταφέρει νερό μεταξύ δύο δεξαμενών με μέση υψομετρική διαφορά στις στάθμες της ελεύθερης επιφάνειας Δz = 48.5 m. Επιπλέον, να ληφθούν υπόψη από τις τοπικές απώλειες οι απώλειες εισόδου (δεξαμενή σε αγωγό, ανάντη). Ζητείται:

1. Η παροχή μεταξύ των δύο δεξαμενών (1.5)
2. Εάν σε όλο το μήκος υπήρξε μία διάμετρος με D = 200mm θα υπήρξε μεγαλύτερη ή μικρότερη παροχή? (0.25)
3. Να προσδιοριστεί η απαιτούμενη ισχύς αντλίας στην ίδια διάταξη για αύξηση της παροχής κατά 15% (να θεωρηθεί απόδοση αντλίας n = 70%) (0.75)
4. Και στις δύο περιπτώσεις να γίνει αδρομερώς με ένα σκαρίφημα η Γ.Ε. (0.50)

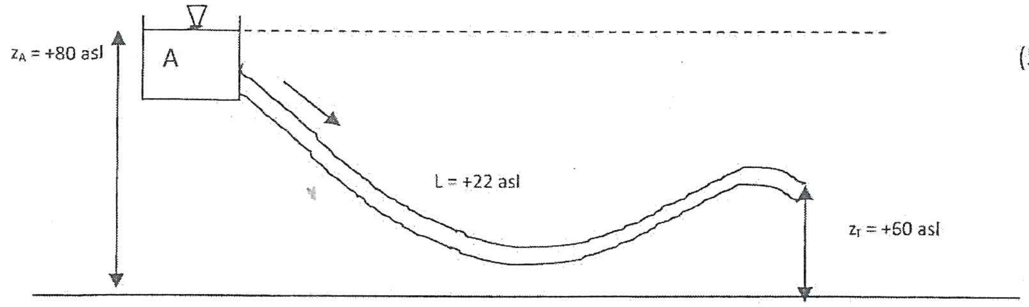


(5.1)



(5.3)

5. Στο περισσότερο ρεαλιστικό σχήμα 3, που αναπαριστά ένα τμήμα του δικτύου για την περίπτωση 5.1 (να θωρηθεί η ίδια παροχή με το πρόβλημα 5.1) να προσδιοριστεί η πίεση αν το σημείο απέχει L = 1500m από τη δεξαμενή Α ? Η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας της δεξαμενής είναι + 80 asl, ενώ στο εξεταζόμενο σημείο ο άξονας του αγωγού είναι + 60 asl. (1.00)



(5.5)

Περίγραμμα λύσης-σχόλια:

1. Η παροχή μεταξύ των δύο δεξαμενών
- Σύνδεση σε σειρά, Q1=Q2
- Αρχή διατήρησης της ενέργειας από (Α) σε (Β)
2. Εάν σε όλο το μήκος υπήρξε μία διάμετρος με D = 200mm θα υπήρξε μεγαλύτερη ή μικρότερη παροχή?

   ΒΛΠ. απαντήσεις, εξίσωση γραμμικών απωλειών, συναρτήση της παροχής

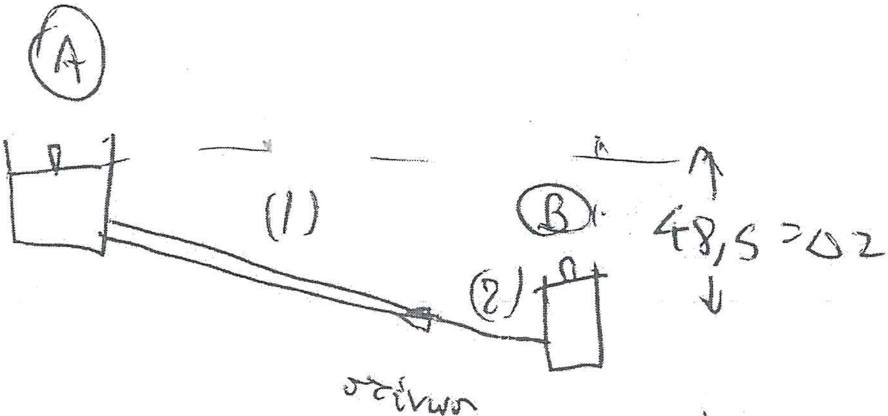
   $$h_f = \frac{8f \cdot L}{g\pi D^5} Q^2$$
3. Να προσδιοριστεί η απαιτούμενη ισχύς αντλίας στην ίδια διάταξη για αύξηση της παροχής κατά 15% (να θεωρηθεί απόδοση αντλίας n = 70%) (0.75)
- Σύνδεση σε σειρά, Q1'=Q2'=1.15Q
- Αρχή διατήρησης της ενέργειας από (Α) σε (Β) αλλά στο αριστερό σκέλος υπάρχει το ύψος αντλίας H_M
4. Και στις δύο περιπτώσεις να γίνει αδρομερώς με ένα σκαρίφημα η Γ.Ε. (0.50)

   παντα πτωτικη, αρχίζει και τελειώνει στην ελεύθερη επιφάνεια, απότομη πτώση σε τοπικές απώλειες (μορφή σκαλοπάτι), απότομη άνοδος στην αντλία.
5. Προσδιορισμός του ύψους (σχετικής, patm=0) πίεσης στο Γ:

   ΑΔΕ, Α→Γ, άγνωστος, το ύψος πίεσης στο Γ: $p_Γ/\rho g$

Άσκηση 5η :

12

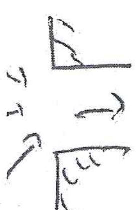


<u>ΑΔΜ</u> : $Q_1 = Q_2$ (σύνδεση αγωγών σε σειρά)

<u>ΑΔΕ</u> (λαμβάνω υπόψη τις τοπικές απώλειες, διαφορετικά αφήνω των ταχυτήτων)

$$z_1 + \cancel{\frac{P_{atm}}{\rho g}} + \cancel{\frac{V_A^2}{2g}} = z_2 + \cancel{\frac{P_{atm}}{\rho g}} + \frac{V_B^2}{2g} + \Sigma h_f \to \boxed{\Sigma h_f = \Delta Z}$$

$$0.5\frac{V_1^2}{2g} + \frac{8 f_1 L_1}{g\pi^2 D_1^5} Q_1^2 + K\frac{V_2^2}{2g} + \frac{8 f_2 L_2}{g\pi^2 D_2^5} + \frac{V_2^2}{2g} = \Delta Z = 48{,}5$$



$K = 0.5$

στένωση <u>όχι</u> <u>διεύρυνση</u>. (σελ. 32 Χρυσάνθου)

$$\frac{D_2}{D_1} = 0{,}8 \to K = 0.7\left(1 - \frac{D_2}{D_1}\right) = 0.14$$

• Έστω $Q = 40\,l/s = 0.040\,m^3/s$

(οι υδραυλικοί υπολογισμοί στο διεθνές σύστημα μονάδων)

πχ Αγωγός 1.

$$V_1 = \frac{4Q}{\pi D_1^2} = \frac{4 \cdot 0.04}{\pi\, 0.25^2} = 0{,}81\,m/s$$

προσεγγιστική για τυρβώδη ροή

σχέση

$$\left.\begin{array}{l} Re_1 = \dfrac{V_1 \cdot D_1}{\nu} = \dfrac{0.81 \cdot 0{,}25}{10^{-6}} \\ K/D_1 = \dfrac{1\,mm}{250\,mm} \end{array}\right\} \rightarrow f_1 \approx \frac{0.25}{\left[\log\left(\dfrac{5{,}74}{Re_1^{0.9}} + \dfrac{K_1/D_1}{3.7}\right)\right]^2} =$$

$$= 0.029$$

ή διαγρ. Moody

Δοκιμές. νέα ιδέα.

Πως μπορώ να έχω μια πρώτη εκτίμηση για την παροχή?

Θεωρώντας, όσο αφορά το f πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδης ροή (υδραυλικά τραχείς σωλήνες) ⇒

⇒ $f = f(k/D)$ σε υδραυλικά τραχείς σωλήνες.

- Αυτό είναι μια υπόθεση. Θεωρείται αποδεκτή (σωστή) μόνο αν επαληθεύει την ΑΔΕ.

Μικρότερες απώλειες από ΔZ ⇒ Q ↑ ώστε $\Sigma h_f \uparrow$

Μεγαλύτερες απώλειες από ΔZ ⇒ Q ↓ ώστε $\Sigma h_f \downarrow$.

Θα πρέπει

$$\boxed{\Sigma h_f = \Delta Z}$$ ΑΔΕ

για ίδια

Πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδης ροή:

$$\frac{K_1}{D_1} = \frac{1\ mm}{250\ mm} \rightarrow f_1 = 0{,}02842$$

$$\frac{K_{w2}}{D_2} = \frac{1\ mm}{200\ mm} \rightarrow f_2 = 0{,}03790$$

ΑΔΕ:

$$\frac{0.5Q^2}{2g\left(\frac{\pi D_1^2}{4}\right)^2} + \frac{8 f_1 L_1}{g \pi^2 D_1^5} Q^2 + \frac{\overset{0.14}{K} Q^2}{2g\left(\frac{\pi D_2^2}{4}\right)^2} + \frac{8 f_2 L_2}{g \pi^2 D_2^5} + \frac{Q^2}{\left(\frac{\pi D_2^2}{4}\right)^2 2g} = 48{,}5\ m/s$$

$$\Rightarrow Q = 0{,}0473\ m^3/s$$

Έλεγχος, αφού γίνεται $f = f(K/D, Re) \Rightarrow$ ΑΔΕ:

$49{,}28 = 48{,}5$ ΑΤΟΠΟ $\rightarrow$ ΠΑΩ ΣΕ ΠΙΟ ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ ΠΑΡ για αλλιώς,

$$\left.\begin{aligned} f_1\left(\frac{k_1}{D_1}, Re_1\right) &= 0,02911 \\ f_2\left(\frac{k_2}{D_2}, Re_2\right) &= 0,03896 \end{aligned}\right\} \rightarrow$$

$\rightarrow \ldots \rightarrow \Sigma h_f = 49,28 \neq 48,5$ ΑΤΟΠΟ

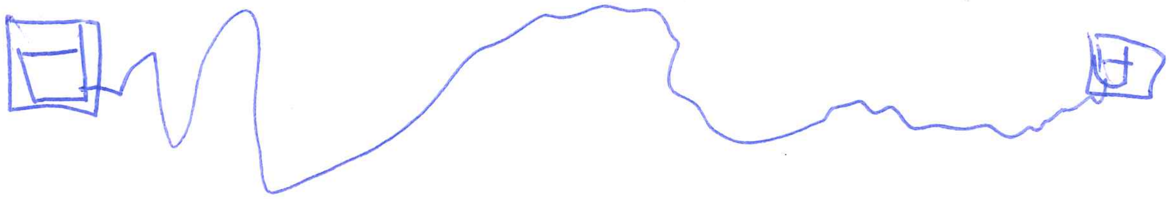
για $Q = 47,31\ l/s$ →

επαληθεύεται η ΑΔΕ

Νέα ιδέα

Προφανώς οι τοπικές απώλειες σε μήκη ≤ 4100 κλπ είναι πολύ περισσότερες, γι' αυτό υπολογίζονται έργα από υψηλούς συντελεστές σχετικής τραχύτητας. Οι τοπικές απώλειες υπολογίζονται για λόγους αναδημιουργίας της κομψότητας.

πραγματική εικόνα δικτύου.



αν ακολουθεί δρόμο, σε σχήμα ενός μέτρου.

$$V_1 = \frac{4Q_1}{\pi D_1^2}, \quad 4\frac{Q_2}{\pi D_2^2} = V_2.$$ 13

Προφανώς $f_1 = f\left(\frac{V_1 D_1}{\nu}, \frac{k_1}{D_1}\right)$, $f_2 = f\left(\frac{V_2 D_2}{\nu}, \frac{k_2}{D_2}\right)$.

Επομένως, κάνω δοκιμές για διάφορες

παροχές:

(14)

Οπότε

$$h_{f_1} = \frac{8 \cdot 0.029 \cdot 4100}{g\pi^2 \cdot 0.25^5} \cdot 0.040^2 =$$

$$= 10{,}23 m.$$

Όμοια:

$v_2 = 1{,}27 m/s \xrightarrow{k/D = 2/200} f_2 = 0.038 \rightarrow h_{f_2} = 19.014.$

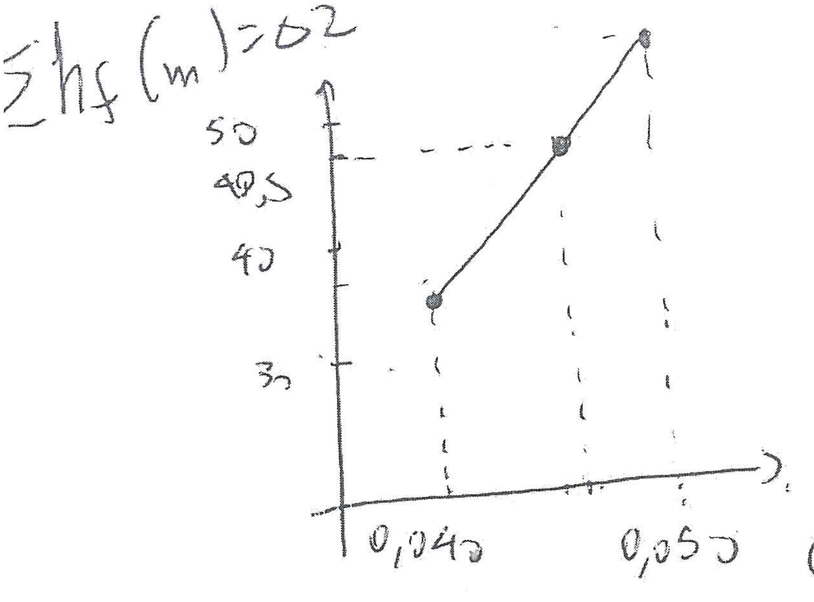
$= 35 < \Delta z$

- Οπότε αυξάνω την παροχή, προκειμένου να αυξηθούν οι απώλειες ενέργειας:

Έστω $Q = 0{,}050 m^3/s \Rightarrow \Sigma h_f = 55.702.$

Έχω δύο σημεία που περικλ. την λύση.

- Επειδή οι απώλειες είναι μη γραμμική συνάρτηση της παροχής δοκιμάζω, άλλη μία τιμή, $Q = 0{,}046 \rightarrow \Sigma h_f = 46{,}6.$



(15)

γραφική επίλυση.

$\Delta z = \sum h_f = 48{,}5 \rightarrow$

$\rightarrow Q = 0{,}04693\, m^3/s$.

(επίσης με [illegible], solver).

5.2 - Αν σε όλο το μήκος υπήρχε μόνο $D = 0{,}200 m$, τότε θα είχαμε αυξημένες απώλειες ενέργειας και άρα μικρότερη παροχή.

$$D \downarrow \Rightarrow \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} \uparrow \Rightarrow h_f \uparrow.$$

5.3

16

Αύξηση της παροχής κατά 15%·

$Q' = 1{,}15\,Q = 0{,}0539\,7 m^3/s$

Τότε, ισχ. $Q \uparrow \Rightarrow h_f \uparrow \Rightarrow$

$\Rightarrow \Sigma h_{f_{o\lambda}} = 64m$ (οι εξισώσεις αφορίων οι ίδιες, $Q_1' = Q_2' = 1{,}15Q$) -

ΑΔΕ

$z_A + H_M = z_B + \Sigma h_{f_{A\to B}} \Rightarrow$

$\Rightarrow H_M = (z_B - z_A) + \Sigma h_{f_{A\to B}}$

$H_M = -48{,}5 + 64 = 15{,}51m =$

$= 15{,}52m$

Ισχύς [W]

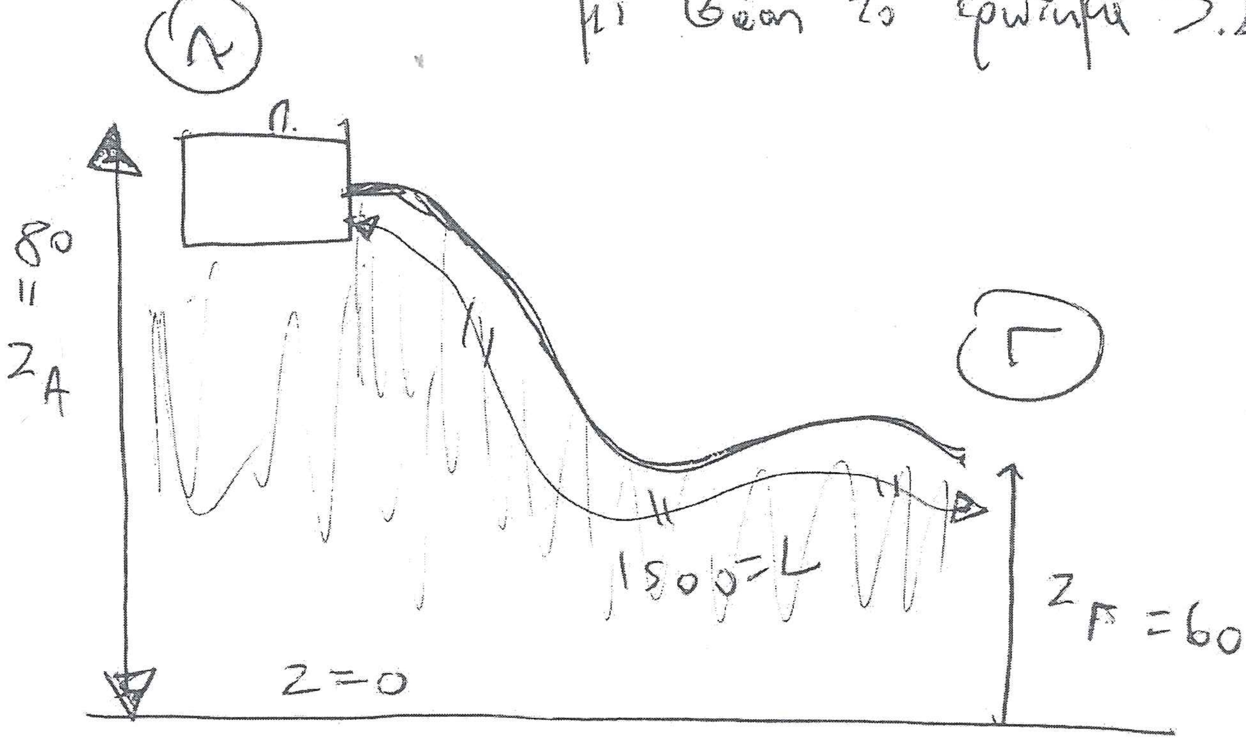
$P = \dfrac{\rho g Q H_M}{\eta} = \dfrac{1000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}05397 \cdot 15{,}52}{0{,}7}\ W = \ldots$

S.5

(17)

Πίεση = Από ΑΔΕ, πάντα σε κλειστά δίκτυα.

με βάση το ερώτημα S.L



$$z_A + \frac{P_{atm}}{\rho g} + \cancel{\frac{V_A^2}{2g}}^{\,0} = z_Γ + \frac{P_Γ}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g}^{=V_Γ} + \Sigma h_{f_{A\toΓ}}.$$

$P_{atm} = 0$, γιατί προσδιορίζω τη σχετική πίεση.

$$80 + 0 + 0 = 60 + \frac{P_Γ}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + 0.5\frac{V_1^2}{2g} + 8 f_1 \frac{L_1 Q_1^2}{g \pi^2 D_1^5}$$

(1P)

$$\Rightarrow \frac{p_\Gamma}{\rho g} = 80-60-\frac{V_1^2}{2g} - 0.5\frac{V_1^2}{2g} - \frac{8 f_1 L_1'}{g\pi^2 D_1^5} Q_1^2 .$$

$$V_1 = \frac{4Q}{\pi D^2} = 0.95\,m/s \quad (Q = 46{,}93\ l/s)$$

$\downarrow$ $Re = \pi r \rightarrow$ $f = 0.02911 \rightarrow \frac{8 f_1 L_1'}{g\pi^2 D_1^5} Q_1^2 =$ ($L_1' = 1500$)

K/D

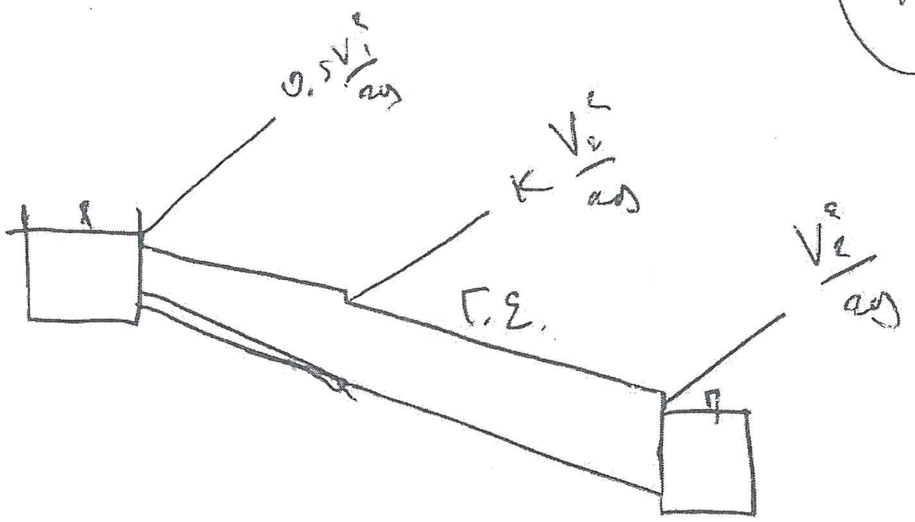
$= 8{,}114.$

$$\frac{p_\Gamma}{\rho g} = 20 - 8.114 - 1{,}5\times\frac{0{,}95^2}{2g} \rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{p_\Gamma}{\rho g} = \underbrace{(h_{p_\Gamma})}_{\text{ύψος πίεση (σε m)}} = 11.78\,m}$$

(σχετική πίεση γιατί θεώρησα $P_{atm} = 0$)

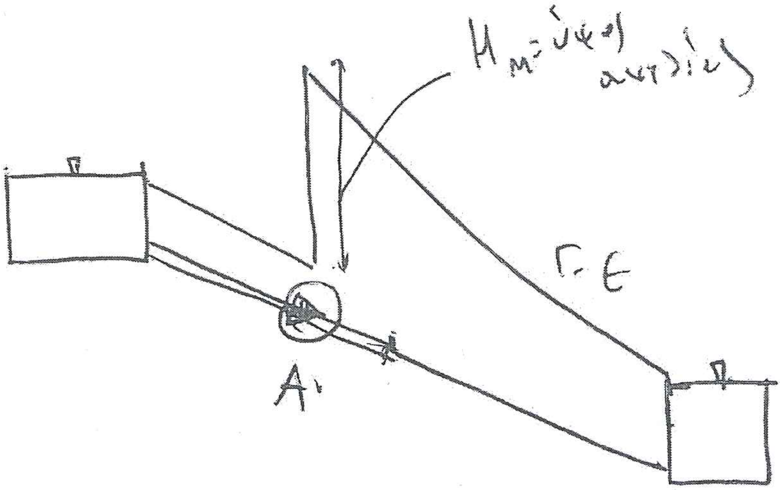
19



(στην π/ξη οι τοπικές απώλειες είναι μικρές σε σχέση με τις γραμμικές)

(ούτε στην πράξη μετρούν σε έργα πολιτικού μηχανικού λάθος νομίζω)

$$Π.Γ = Γ.Ε - \frac{V^2}{2g}$$



Στην πράξη δεν υπάρχουν οι αγωγοί με αυτές τις ιδανικές ευθείες!! ενώ η θεωρούμενη τραχύτητα περιλαμβάνει τις τοπικές απώλειες