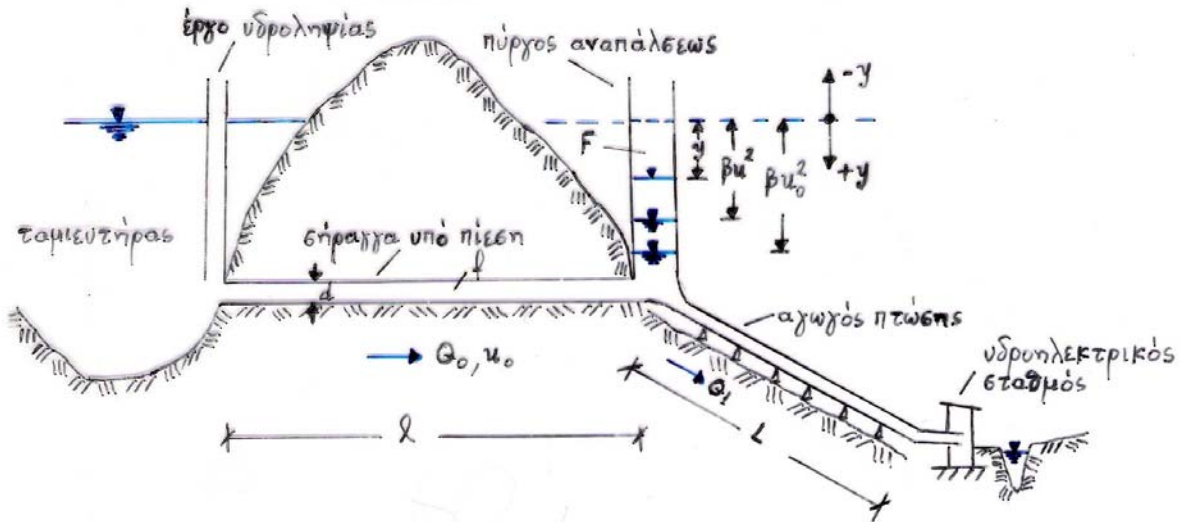


ΠΥΡΓΟΣ ΑΝΑΠΛΩΣΗΣ



- Γραμμικές απώλειες ενέργειας λόγω τριβής στη θήρασσα: $\lambda \frac{l}{d} \frac{u_0^2}{2g}$
- Τοπικές απώλειες ενέργειας στη θήρασσα: $\zeta_1 \frac{u_0^2}{2g}, \zeta_2 \frac{u_0^2}{2g}, \dots, \zeta_n \frac{u_0^2}{2g}$
(π.χ. εισόδου, στένωσης, μεταβολής της διατομής κ.λπ.)
- Ολικές απώλειες ενέργειας στη θήρασσα: $y_0 = \frac{u_0^2}{2g} \left(\lambda \frac{l}{d} + \zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_n \right) = \beta u_0^2$

λ : συντελεστής τριβής

$\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n$: συντελεστές τοπικών απωλειών

β : συντελεστής αντίστασης της θήρασσας

Χρησιμότητα του πύργου αναπάλσεως

1. Παρεμπόδιση της διάδοσης του "υδραυλικού πλήγματος" (ή πλήγματος κριού) από τον αγωγό πτώσεως στη ετήραχα υπό πίεση.

Κατά το απότομο "κλείσιμο" του υδροτροβίλου, οι υδάτινες μάζες στον αγωγό πτώσεως και στη ετήραχα υπό πίεση επιβραδύνονται αιφνιδίως. Λόγω της αδράνειας των κινουμένων μαζών δημιουργείται μια αενήθιστα υψηλή υπερπίεση στο κάτω άκρο του αγωγού πτώσεως, η οποία διαδίδεται ως κύμα (πλήγμα κριού) προς το άνω άκρο του αγωγού πτώσεως.

2. Μετριασμός του "υδραυλικού πλήγματος" στον αγωγό πτώσεως και προστασία του αγωγού πτώσεως από τις δυσμενείς επιπτώσεις του "πλήγματος κριού".

Το κύμα υπερπίεσης, το οποίο δημιουργείται από τη διακοπή (μερική ή πλήρη) της λειτουργίας του υδροτροβίλου, ανακλάται στην ελεύθερη επιφάνεια του πύργου αναπάλσεως και επιστρέφει ως κύμα υποπίεσης, εξουδετερώνοντας ή περιορίζοντας κατ'αυτό τον τρόπο την υπερπίεση στον αγωγό πτώσεως.

3. Εξασφάλιση της ροής του νερού προς τον υδροετρόβιλο κατά την έναρξη λειτουργίας ("άνοιγμα") του υδροετρόβιλου.

Κατά την έναρξη λειτουργίας του υδροετρόβιλου αρχίζει και η ροή του νερού στον αγωγό πτώσεως προς τον υδροετρόβιλο, η οποία επιταχύνεται απότομα. Αντίθετα, η ροή στη σήραχχα υπό πίεση επιταχύνεται λόγω της αδράνειας πολύ βραδύτερα.

Ος εκ τούτου, εάν δεν υπήρχε ο πύργος αναπάλθεως, η ροή στην περιοχή του γόνατου (σύνδεση σήραχχας υπό πίεση και αγωγού πτώσεως) θα διεκόπτετο (θα υφίστατο "ρήξη").

Απότομη μερική διακοπή της λειτουργίας ("κλείσιμο")
του υδροτροβίλου

- Χρόνος κλεισίματος $T_S = 0$
- Η παροχή στον αγωγό πτώσεως πέφτει από την τιμή Q_0 στην τιμή Q_1
- Εξίσωση συνέχειας (τη χρονική στιγμή t): $Q dt = Q_1 dt + dV$

$$u f dt = Q_1 dt - F dy$$

(η στοιχειώδης άνοδος dy της στάθμης του νερού στον πύργο αναπάλεως θεωρείται αρνητική)

- Ισορροπία δυνάμεων (τη χρονική στιγμή t):

$$\gamma (\beta u^2 - y) f = - \frac{\gamma}{g} \lambda f \frac{du}{dt}$$

$\gamma (\beta u^2 - y) f$: δύναμη ενεργούσα στο σημείο εύνδεσης ετήραχχας και πύργου αναπάλεως, η οποία επιβραδύνει τη μάζα νερού $\frac{\gamma}{g} \lambda f$ στη ετήραχχα.

Η ετήλη ύδατος ύψους $\beta u^2 - y$ προκαλεί επιβράδυνση της ροής στη ετήραχχα

$-\frac{\gamma}{g} \lambda f \frac{du}{dt}$: δύναμη αδρανείας λόγω της επιβράδυνσης της μάζας νερού στη ετήραχχα

γ : ειδικό βάρος νερού

επιβράδυνση du : αρνητικό μέγεθος

Από την εξίσωση συνέχειας: $u = \frac{Q_1}{f} - \frac{F}{f} \frac{dy}{dt}$

$$\frac{du}{dt} = -\frac{F}{f} \frac{d^2y}{dt^2}$$

Από την εξίσωση ισορροπίας δυνάμεων: $\frac{du}{dt} = \frac{g}{l} (y - \beta u^2)$

$$\frac{g}{l} (y - \beta u^2) = -\frac{F}{f} \frac{d^2y}{dt^2}$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} - \frac{fg}{Fl} \beta u^2 + \frac{fg}{Fl} y = 0$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} - \frac{fg}{Fl} \beta \left(\frac{Q_1}{f} - \frac{F}{f} \frac{dy}{dt} \right)^2 + \frac{fg}{Fl} y = 0$$

Απότομη πλήρης διακοπή της λειτουργίας του υδροετρόβιλου

$$Q_1 = 0$$

- Εξίσωση συνέχειας: $u f dt = -F dy \Rightarrow u = -\frac{F}{f} \frac{dy}{dt}$

$$\frac{du}{dt} = -\frac{F}{f} \frac{d^2y}{dt^2}$$

- Ισορροπία δυνάμεων: $\gamma (\beta u^2 - y) f = -\frac{\delta}{g} l f \frac{du}{dt} \Rightarrow \frac{du}{dt} = \frac{g}{l} (y - \beta u^2)$

$$\frac{g}{l} (y - \beta u^2) = -\frac{F}{f} \frac{d^2y}{dt^2} \Rightarrow \frac{d^2y}{dt^2} - \frac{fg}{Fl} \beta u^2 + \frac{fg}{Fl} y = 0$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} - \frac{gF}{lf} \beta \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \frac{fg}{Fl} y = 0$$

$$\frac{m}{2} = \beta \frac{g}{\lambda} \frac{F}{f}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{\lambda} \frac{f}{F}}$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} - \frac{m}{2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \omega^2 y = 0$$

θεμελιώδης διαφορική εξίσωση
ταλαντώσεων με απόσβεση

m : συντελεστής απόσβεσης [$1/s^2$]

ω : γωνιακή ταχύτητα ταλάντωσης χωρίς απόσβεση [$1/s$]

- Κατόπιν μετασχηματισμών, η ανωτέρω εξίσωση γίνεται:

$$\left(\frac{dy}{dt} \right)^2 = \frac{2\omega^2}{m^2} [m\gamma + 1 - e^{m(\gamma - \gamma_0)}]$$

γ_0 : αρχική τιμή του γ (για $t=0$)

- Οι τιμές γ_{max} είναι σημαντικές για την πράξη
(και όχι η συνάρτηση $y=f(t)$)

$$- \quad \gamma = \gamma_{max} \quad \frac{dy}{dt} = 0$$

$$m\gamma + 1 - e^{m(\gamma - \gamma_0)} = 0 \quad \Rightarrow \quad m\gamma - \ln(m\gamma + 1) = m\gamma_0$$

(εξίσωση του Mises)

Απότομο μερικό "άνοιγμα" του υδροστρόβιλου

(από την παροχή Q_1 στην παροχή Q_0 , στον αγωγό πτώσεως)

- Εξίσωση συνέχειας: $Q_0 dt = Q dt + dV \Rightarrow Q dt = Q_0 dt - dV$

$$u f dt = Q_0 dt - F dy$$

$$u = \frac{Q_0}{f} - \frac{F}{f} \frac{dy}{dt}$$

(η στοιχειώδης κάρδοςος dy της στάθμης του νερού στον πύργο αναπάλεως θεωρείται θετική)

- Ισορροπία δυνάμεων: $\gamma (y - \beta u^2) f = \frac{\delta}{g} l f \frac{du}{dt}$

$\gamma (y - \beta u^2) f$: δύναμη λόγω υπερπίεσης, ενεργούσα από τον ταμιευτήρα προς τον πύργο αναπάλεως, η οποία επιταχύνει τη μάζα νερού $\frac{\delta}{g} l f$ στη σήραγγα.

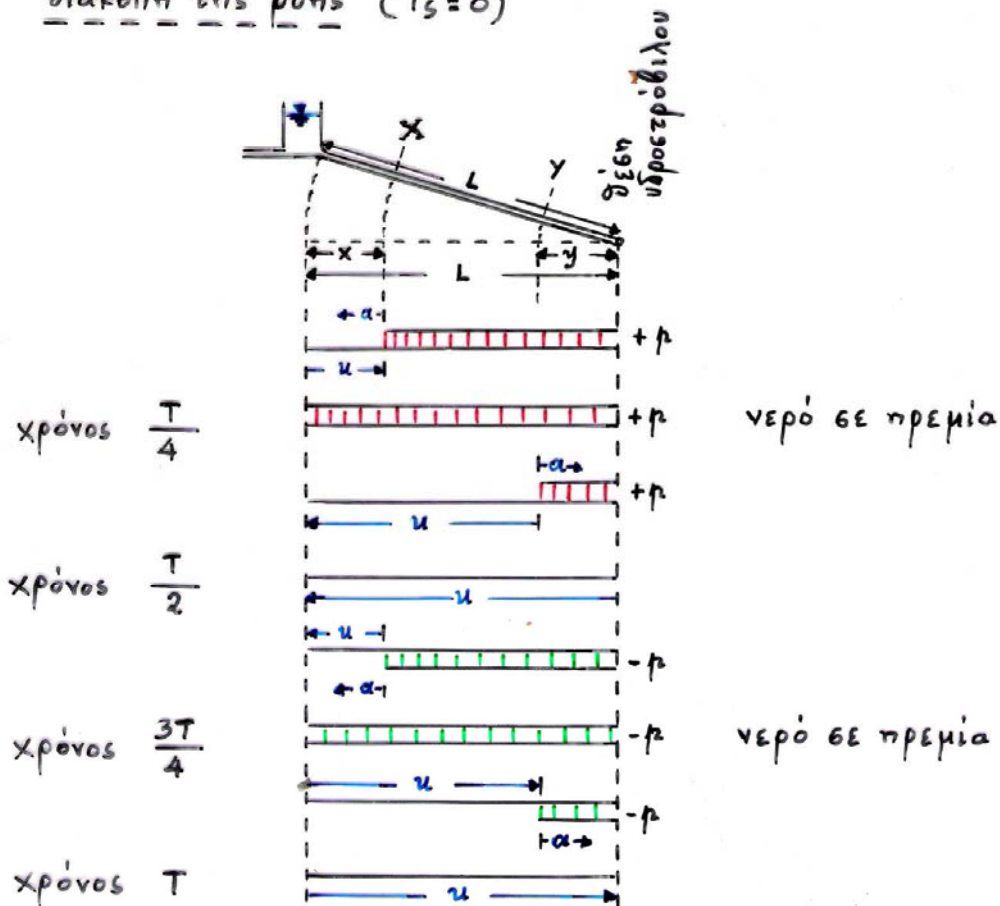
$\frac{\delta}{g} l f \frac{du}{dt}$: δύναμη αδρανείας λόγω της επιτάχυνσης της μάζας νερού στη σήραγγα

επιτάχυνση du : θετικό μέγεθος

$$\frac{du}{dt} = \frac{g}{l} (y - \beta u^2)$$

ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΠΛΗΓΜΑ

Χρονική εξέλιξη του υδραυλικού πλήγματος σε απότομη διακοπή της ροής ($T_s = 0$)



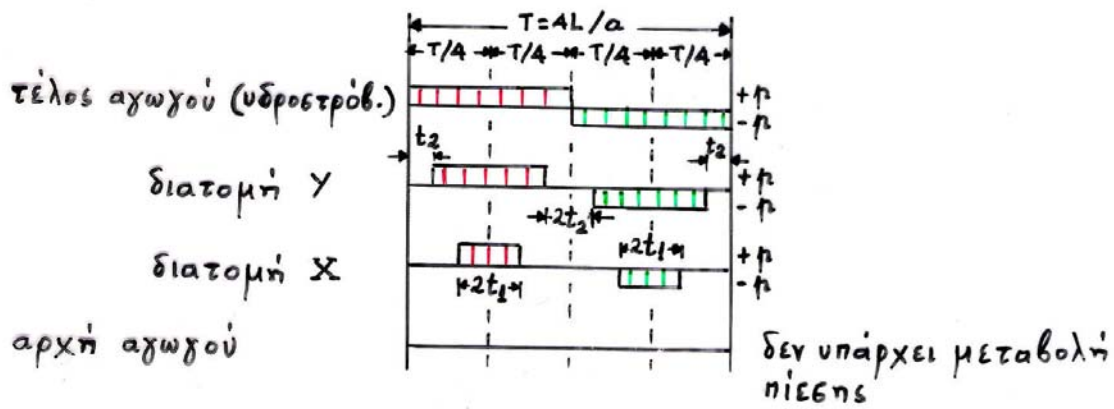
$$\frac{T}{4} = \frac{L}{a}$$

a : ταχύτητα διάδοσης υδραυλικού πλήγματος

$$h_{\max} = \frac{\rho}{\gamma} = \frac{au}{g} \quad (\text{Joukowski - Allievi})$$

h_{\max} : ύψος υπερπίεσης (μέγιστη τιμή)

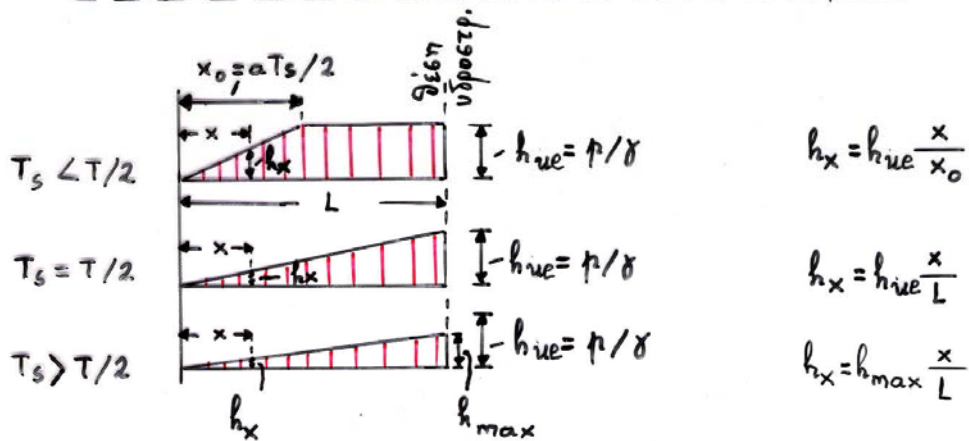
Μεταβολή της πίεσης με το χρόνο σε μεμονωμένες διατομές του αγωγού πτώσης για απότομη διακοπή της ροής ($T_S=0$)



$$t_1 = x/a \quad t_2 = y/a$$

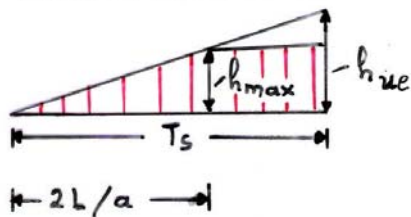
(βλ. προηγούμενο σχήμα)

Εξέλιξη της υπερπίεσης κατά μήκος του αγωγού πτώσης
για πεπερασμένους χρόνους διακοπής (T_s) της ροής



Τέλος αγωγού (θέση υδροετρόβιλου)

$T_s > \frac{T}{2}$ ή $T_s > \frac{2L}{a}$



$$h_{max} = h_{ue} \frac{2L/a}{T_s} =$$

$$= \frac{au}{g} \cdot \frac{2L}{aT_s} =$$

$$= \frac{2}{g} \cdot \frac{uL}{T_s} \approx 0.2 \frac{uL}{T_s}$$

(Michaud)

Βραδεία διακοπή της ροής: $T_s > \frac{T}{2}$

$$a = \sqrt{\frac{E_T}{\rho}}$$

$$\frac{1}{E_T} = \frac{1}{E_W} + \frac{1}{E_R \frac{\delta}{d}}$$

E_W : μέτρο ελαστικότητας του νερού [κφ/μ²]

E_R : μέτρο ελαστικότητας του υλικού του αγωγού [κφ/μ²]

δ : πάχος τοιχώματος αγωγού [μ]

d : εσωτερική διάμετρος αγωγού [μ]

E_T : συνισταμένο μέτρο ελαστικότητας [κφ/μ²]

ρ : πυκνότητα νερού [$\frac{\text{κφ} \cdot \text{sec}^2}{\text{μ}^4}$]

a : ταχύτητα διάδοσης υδραυλικού πλήγματος [μ/sec]

ΑΓΟΓΟΣ ΠΤΩΣΕΩΣ

Παράγοντες που επηρεάζουν την εκλογή διαμέτρου του αγωγού

α. Απώλειες του ύψους πτώσεως λόγω της αντίστασης του αγωγού

Αύξηση της διαμέτρου του αγωγού προκαλεί μείωση των απωλειών του ύψους πτώσεως, αλλά αύξηση της ποσότητας του απαιτούμενου υλικού και των δαπανών του αγωγού.

β. Διαβρωτική επίδραση του νερού

- Επιτρεπόμενη ταχύτητα νερού (απαλλαγμένου από άμμο):

3 έως 5 m/s (κατ' εξαιρεση μέχρι 8 m/s)

- Η επιτρεπόμενη ταχύτητα νερού, ώστε να μη λάβει χώρα διάβρωση του αγωγού, εξαρτάται από το υλικό του αγωγού αφενός και από τη ευχκέντρωση αωρούμένων φερτών υλών, την κοκκομετρική διαβάθμιση και την επιφανειακή τραχύτητα των κόκκων αφετέρου.

γ. Ρύθμιση του υδροετρόβιλου

Για τον περιορισμό του υδραυλικού πλήγματος κατά το "άνοιγμα" και "κλείσιμο" του υδροετρόβιλου πρέπει να τεθεί πάλι κάποιο όριο στην ταχύτητα του νερού.

δ. Χρηματική αξία του υλικού του αγωγού

Εάν οι δαπάνες για το υλικό του αγωγού αποτελούν μικρό μόνο μέρος των συνολικών δαπανών για τον υδροηλεκτρικό σταθμό, αξίζει τον κόπο να διατεθούν περισσότερα χρήματα για την αύξηση της διαμέτρου του αγωγού.

ε. Δαπάνες για τον ρυθμιστή του υδροτρούβιλου

Όταν η ταχύτητα του νερού για τη λειτουργία του υδροτρούβιλου είναι μεγάλη και επομένως η διάμετρος του αγωγού μικρή, τότε οι δαπάνες για τον ρυθμιστή του υδροτρούβιλου είναι επίσης μεγάλες.

στ. Τεχνολογία κατασκευής των αγωγών

Η κατασκευή, μεταφορά και συναρμολόγηση αγωγών μεγάλων διαστάσεων και μεγάλου πάχους τοιχώματος παρουσιάζει περισσότερες δυσκολίες σε σχέση με τους αγωγούς μικρών διαστάσεων.

Αναγκαία διάμετρος αγωγού d [m]

$$Q = u \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = 1.13 \sqrt{\frac{Q}{u}}$$

u : επιτρεπόμενη ταχύτητα νερού [m/s]

Q : μέγιστη παροχή [m³/s]

Απώλειες ενέργειας λόγω τριβής Δh [m]

$$\Delta h = \lambda \frac{L}{d} \frac{u^2}{2g} \quad (\text{Darcy-Weisbach})$$

L : μήκος αγωγού [m]

d : εσωτερική διάμετρος αγωγού [m]

u : μέση ταχύτητα ροής [m/s]

λ : συντελεστής τριβής

(συνάρτηση της σχετικής τραχύτητας και του αριθμού Reynolds)

g : επιτάχυνση βαρύτητας [m/s²]

$$\sqrt{\lambda} = \frac{2.83}{4.75 + 5.75 \log \frac{\tau}{\kappa}} \quad (\text{Nikuradse}) \quad \text{για } Re > 10^5$$

τ : ακτίνα του αγωγού [m]

κ : ύψος τραχύτητας των τοιχωμάτων του αγωγού [m]

Αριθμός Reynolds: $Re = \frac{ud}{\nu}$

ν : κινηματικό ιξώδες νερού [m^2/s]

$\nu = 1.3 \times 10^{-6} m^2/s$ για θερμοκρασία $10^\circ C$

$\lambda = 0.01 \left(\frac{k_o}{d} \right)^{0.314}$

(Horii και Fromm)

Τιμές της παραμέτρου k_o

Χάλυβας με προστατευτικό επίχρισμα: 1.5 m

Χυτοσίδηρος: 2.5 m

Λείο σκυρόδεμα: 2.5 m

Χάλυβας (σκουριασμένος): 5.0 m

Τραχύ σκυρόδεμα: 7.0 m

$\lambda = 0.02$, για αγωγούς από χάλυβα, με διάμετρο από 0.8 έως 1.2 m, με μια μέση φθορά (Mossy)

Τοπικές απώλειες ενέργειας Δh [m]

$$\Delta h = \zeta \frac{u^2}{2g}$$

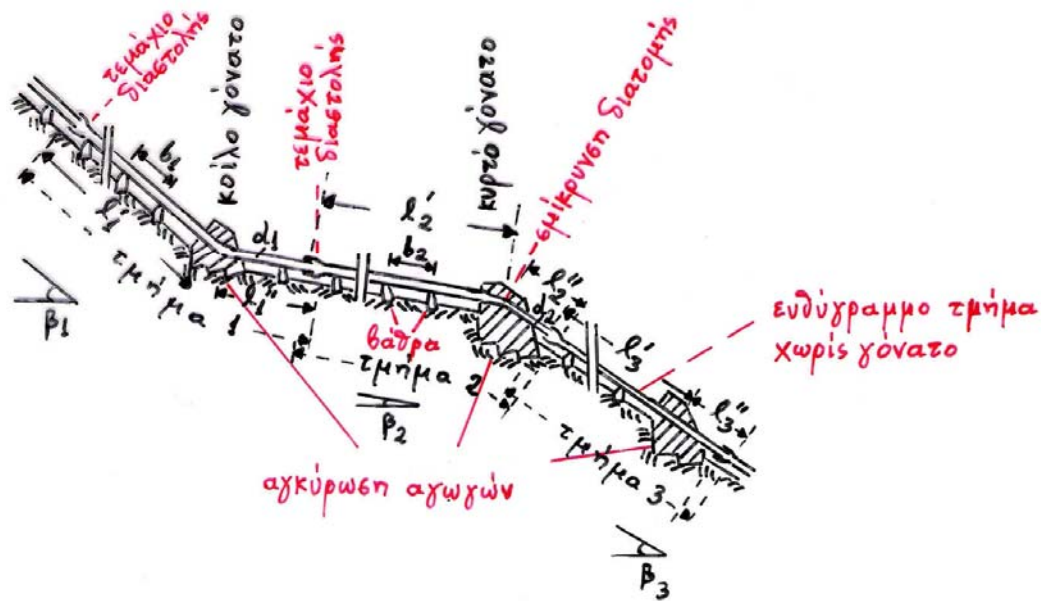
u : μέση ταχύτητα ροής [m/s]

ζ : συντελεστής απωλειών

Τιμές του συντελεστή ζ

Είσοδος αγωγού σε εχήμα εάλπιγγας:	0.10-0.20
Στένωση αγωγού (κωνοειδής):	0.02-0.05
Δικλείδα επιβράδυνσης της ροής:	0.05-0.25
Γωνίες (καμπύλα τμήματα) αγωγών:	0.05-0.15
Διακλάδωση αγωγού (ευνοϊκά διαμορφωμένη):	0.25-0.50
Διακλάδωση αγωγού (σε εχήμα ορθής γωνίας):	> 1.0

Στατική διερεύνηση των εστηρίχματων του αγωγού



b_1 : απόσταση των βάθρων μεταξύ τους στο τμήμα 1

b_2 : απόσταση των βάθρων μεταξύ τους στο τμήμα 2

Δυνάμεις ενερχούβες στο εστήριγμα αγκύρωσης με κυρτό γόνατο προερχόμενες από ανάντη (κατά τον άξονα του αγωγού)

1. Αξονική δύναμη πίεσης του νερού στο εστήριγμα αγκύρωσης, P'_w

$$P'_w = \frac{\pi d_1^2}{4} \gamma H$$

H : ύψος πίεσης στη θέση του κυρτού γόνατου

γ : ειδικό βάρος νερού

2. Αξονική δύναμη πίεσης του νερού στο τεμάχιο διαστολής, P_D'

$$P_D' = \rho d_1 \delta_1 \delta H'$$

δ_1 : πάχος των τοιχωμάτων του αγωγού

H' : ύψος πίεσης στη θύση του τεμαχίου διαστολής

3. Αξονική συνιστώσα του ίδιου βάρους του αγωγού, P_0'

$$P_0' = \Sigma G_0' \sin \beta_2$$

G_0' : ίδιον βάρος αγωγού μήκους b_2

4. Δύναμη τριβής στα βάρδα, $\Sigma R'$

$$\Sigma R' = \pm \mu \Sigma (G_0' + G_1') \cos \beta_2$$

μ : συντελεστής τριβής

G_1' : βάρος νερού στον αγωγό μήκους b_2

πρόσημο + : άνοδος θερμοκρασίας

πρόσημο - : πτώση θερμοκρασίας

5. Δύναμη τριβής στο τεμάχιο διαστολής, R_D'

$$R_D' = \pm \mu_1 \rho d_1 e \chi H'$$

μ_1 : συντελεστής τριβής ($\mu_1 = 0.25$)

e : πλάτος του δακτυλίου μόνωσης

πρόσημα +, - : βλ. ανωτέρω

6. Συρτική δύναμη του νερού, P'_S

$$P'_S = \gamma \frac{\pi d_1^2}{4} l'_2 J$$

J : κλίση πιεσομετρικής γραμμής

7. Δύναμη ορμής του νερού, P'_I

$$P'_I = \frac{\gamma}{g} \frac{\pi d_1^2}{4} u_1^2$$

u_1 : ταχύτητα νερού

Οι δυνάμεις 5, 6 και 7 μπορούν να αμεληθούν

Δυνάμεις ερχόμενες στο ετήριγμα αγκύρωσης με κυρτό χόνατο προερχόμενες από κατάντη (κατά τον άξονα του αγωγού)

1. Αξονική δύναμη πίεσης του νερού στο ετήριγμα αγκύρωσης, P''_W

$$P''_W = \frac{\pi d_2^2}{4} \gamma H$$

2. Αξονική δύναμη πίεσης νερού στο τεμάχιο διαστολής, P''_D

$$P''_D = \pi d_2 \delta_2 \gamma H''$$

H'' : ύψος πίεσης στο τεμάχιο διαστολής

δ_2 : πάχος τοιχωμάτων αγωγού

3. Αξονική συνιστώσα του ιδίου βάρους του αγωγού, P_0''

$$P_0'' = - \Sigma G_0'' \sin \beta_3$$

G_0'' : ιδιον βάρος αγωγού

πρόσημο - : η δύναμη ενεργεί κατά τη διεύθυνση ροής

4. Δύναμη τριβής στα βάρδρα, $\Sigma R''$

$$\Sigma R'' = \pm \mu \Sigma (G_0'' + G_w'') \cos \beta_3$$

G_w'' : βάρος νερού στον αγωγό

πρόσημο +, - : βλ. δύναμη τριβής $\Sigma R'$

5. Δύναμη τριβής στο τεμάχιο διαστολής, R_D''

$$R_D'' = \pm \mu_1 \rho d_2 e \chi H''$$

(βλ. δύναμη R_D' για τους συμβολισμούς)

6. Συρτική δύναμη του νερού, P_S''

$$P_S'' = - \gamma \frac{\pi d_2^2}{4} l_2'' J$$

πρόσημο - : η δύναμη ενεργεί κατά τη διεύθυνση ροής
(και όχι προς το ετήριγμα αγκύρωσης)

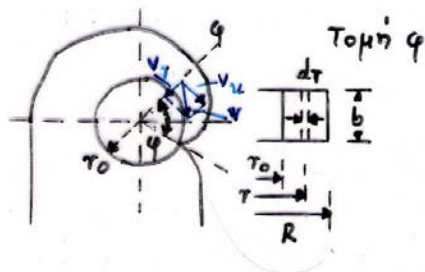
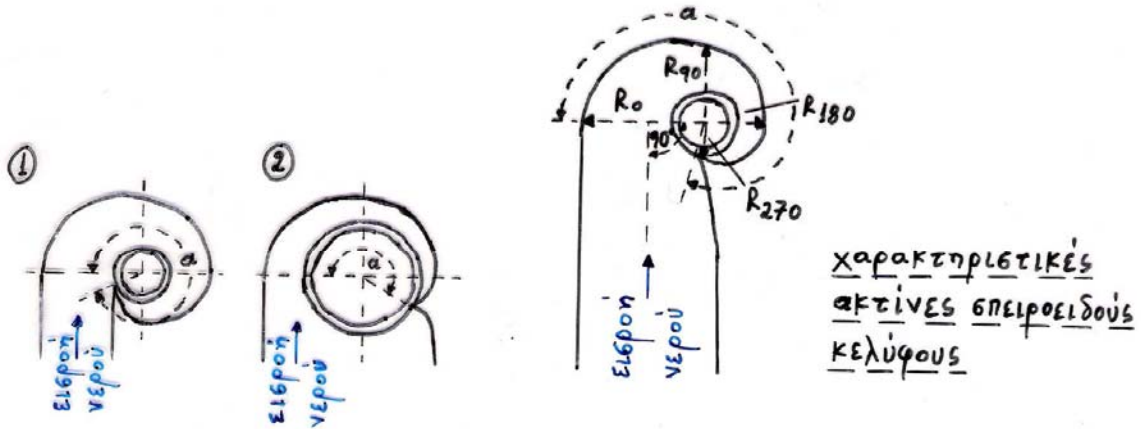
7. Δύναμη ορμής του νερού, P_I''

$$P_I'' = \frac{\gamma}{g} \frac{\pi d_2^2}{4} u_2^2$$

u_2 : ταχύτητα νερού

Οι δυνάμεις 3, 4, 5, 6 και 7 δύνανται να αμεληθούν

ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΕΣ ΚΕΛΥΦΟΣ



$$q = \frac{\varphi}{360} Q$$

q : παροχή νερού στη διατομή που αντιστοιχεί στη γωνία φ
 Q : παροχή εισροής
 (στη διατομή που αντιστοιχεί σε γωνία $\varphi = 360^\circ$)

v_u : εφαπτομενική συνιστώσα της ταχύτητας ροής
 v_r : ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας ροής

$$v_u = \frac{K}{r}$$

K : στρέψη $[\frac{L^2}{T}]$

$$dq = v_u b dr = \frac{K b dr}{r}$$

dq : παροχή νερού μέσω μιας στοιχειώδους λωρίδας, ύψους b και πλάτους dr , της διατομής που αντιστοιχεί στη γωνία φ

$$q = \int_{r_0}^R dq = \int_{r_0}^R K b \frac{dr}{r} = K b \ln \frac{R}{r_0}$$

$$\ln \frac{R}{r_0} = \frac{q}{360} \frac{Q}{K b} = c \varphi \Rightarrow$$

$$R = r_0 e^{\frac{Q}{360 K b} \varphi}$$
 ορθογωνική διατομή

$$R_0 = r_0 e^{\frac{Q}{360 K b} \alpha}$$

R_0 : κύρια ακτίνα σπειροειδούς κελύφους

r_0 : εξωτερική ακτίνα που αντιστοιχεί στα ρυθμιστικά πτερύγια

Διατομές σπειροειδούς κελύφους



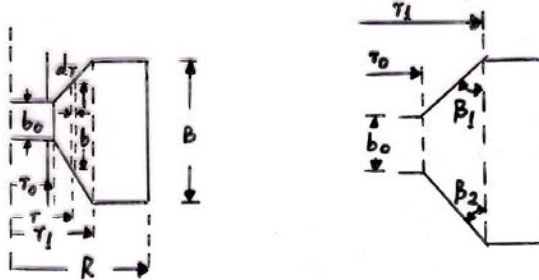
a : τραπεζοειδής διατομή,

ελάχιστες απώλειες λόγω τριβής και εκτροπής της ροής, μικρό ύψος, μεγάλο πλάτος

b : διατομή περιορισόμενη από τόξα υπερβολής,

μικρότερο πλάτος σε σχέση με την τραπεζοειδή διατομή

c: ορθογωνική διατομή με τραπεζοειδές μεταβατικό τμήμα, βέλτιστη εκμετάλλευση του χώρου



$$b = b_0 + a_1(\tau - \tau_0)$$

$$a_1 = \cot \beta_1 + \cot \beta_2$$

$$q = \frac{\varphi}{360} Q = \int_{\tau_0}^R k b \frac{d\tau}{\tau}$$

$$\begin{aligned} \frac{\varphi Q}{360 K} &= \int_{\tau_0}^{\tau_1} b \frac{d\tau}{\tau} + \int_{\tau_1}^R B \frac{d\tau}{\tau} = \int_{\tau_0}^{\tau_1} \frac{b_0 + a_1\tau - a_1\tau_0}{\tau} d\tau + \int_{\tau_1}^R B \frac{d\tau}{\tau} = \\ &= \int_{\tau_0}^{\tau_1} \frac{b_0 - a_1\tau_0}{\tau} d\tau + \int_{\tau_0}^{\tau_1} a_1 d\tau + \int_{\tau_1}^R B \frac{d\tau}{\tau} \end{aligned}$$

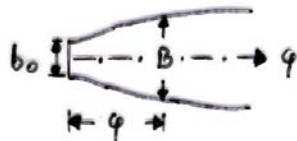
$$\frac{\varphi Q}{360 K} = (b_0 - a_1\tau_0) \ln \frac{\tau_1}{\tau_0} + a_1(\tau_1 - \tau_0) + B \ln \frac{R}{\tau_1}$$

$$B = b_0 + a_1(\tau_1 - \tau_0)$$

$$\frac{\varphi Q}{360 K} = (b_0 - a_1\tau_0) \ln \frac{\tau_1}{\tau_0} + (B - b_0) + B \ln \frac{R}{\tau_1}$$

Βήματα υπολογισμού της ακτίνας R

1. Γραφικός προσδιορισμός του ύψους B συναρτήσει της γωνίας φ



2. Προσδιορισμός του συντελεστή a_1

$$a_1 = \cot \beta_1 + \cot \beta_2$$

3. Προσδιορισμός της ακτίνας r_1

$$r_1 = \frac{B - b_0}{a_1} + r_0$$

4. Εφαρμογή της ανωτέρω αποδειχθείσας εξίσωσης που παρέχει την ακτίνα R ως συνάρτηση της γωνίας φ

Πρακτικός τύπος για τη στρέψη K

$$K = 87 \frac{H}{n}$$

H : ωφέλιμο ύψος πτώσης [m]

(κατασκευαστικό ύψος πτώσης)

n : ταχύτητα περιστροφής υδροετρόβιλου (ετροφές ανά λεπτό)
[1/min]

K : [m²/sec]