

Υδροληψία (Βυθισμένο υδραυλικό άλμα στο θέμα)

Δρ Μ. Σπηλιώτη
Λέκτορα

Κείμενα από Μπέλλος, 2008 και από τις σημειώσεις
Χρυσάνθου (βλπ βασικές σημειώσεις από
Διαφάνειες), 2014

Σκοπός μαθήματος

- Επανάληψη υδραυλικής ανοικτών αγωγών
- Εμβάθυνση υδραυλικής ανοικτών αγωγών
- Δεξιότητες στον υδραυλικό σχεδιασμό,
- Συνδυαστική σκέψη
- Ειδικές γνώσεις και μεθοδολογίες πάνω στο συγκεκριμένο θέμα του εξαμήνου
- Κατανόηση μιας μελέτης –οδηγού και εφαρμογής της σε άλλη περίπτωση (προσοχή κριτικά!)

Βιβλιογραφία

Ελληνική

- Μπέλλος Κ: Υδραυλική Ανοικτών Αγωγών
- Χρυσάνθου Βλ: Διαφάνειες μαθήματος Υδραυλικής Ανοικτών Αγωγών
- Δημητρίου: Εφαρμοσμένη Υδραυλική
- Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης: Υδραυλική ανοικτών αγωγών
- Παπανικολάου: Ανοικτοί αγωγοί, σημειώσεις στο ιντερνερτ
- <http://mycourses.ntua.gr/document/document.php>

Βιβλιογραφία

- Chow Open Chanel Hydraulics (Βίβλος), υπάρχει στη βιβλιοθήκη
- French, Akan, Sturn..... Open Chanel flow

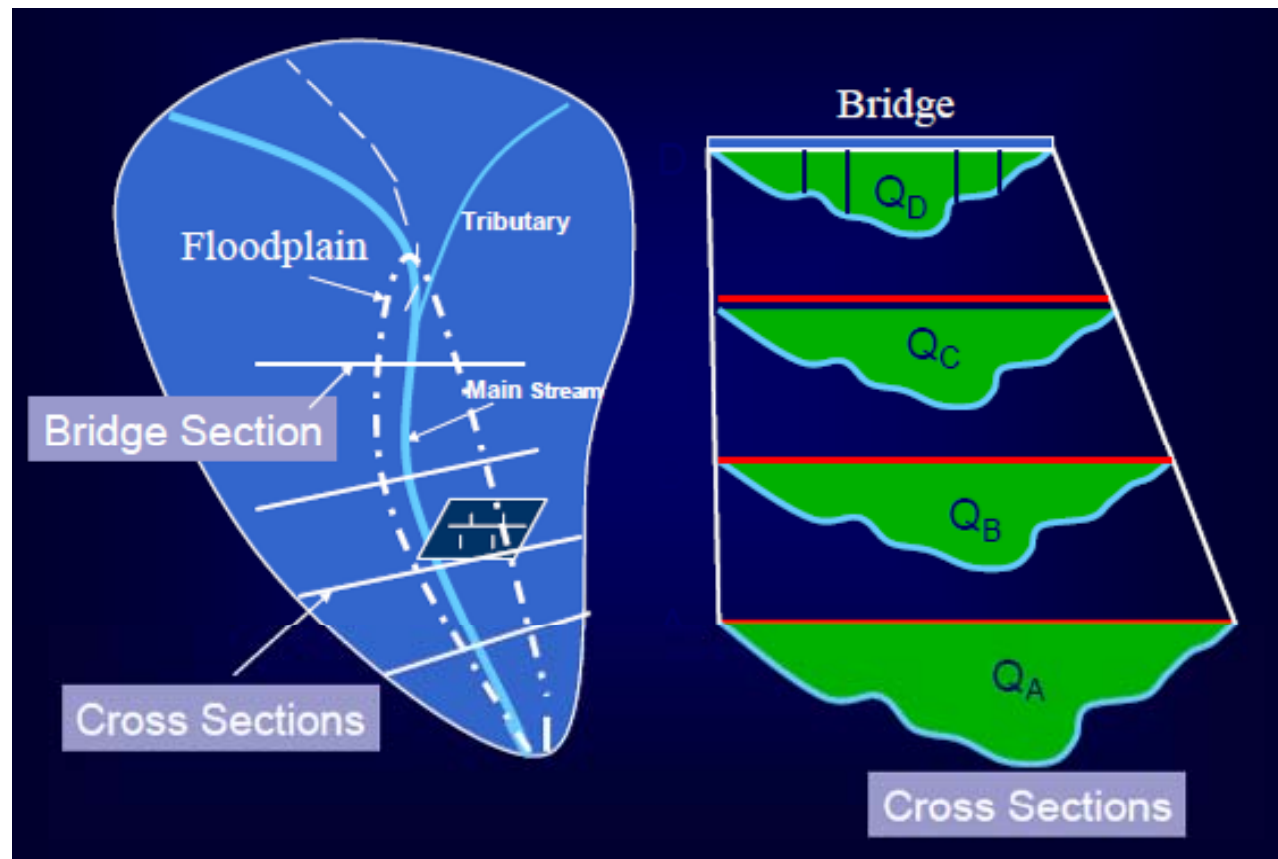
Θέματα προς έρευνα

- Κλασική Υδραυλική (περίπου ληγμένο)
- Αριθμητική προσομοίωση (περίπου κορεσμένο)
- Πάντως υπάρχουν δημοσιεύσεις, αναθεωρήσεις + **πειράματα**
- **Υδρολογικές μέθοδοι διόδευσης** (σε μη πρισματικές διατομές), κοινή δι-επιφάνεια με την υδρολογία: Μέθοδοι μαύρου κουτιού, εννοιολογικά μοντέλα κλπ (όχι ακριβώς κορεσμένο)
- Ενσωμάτωση της αβεβαιότητας
- Εντάσσοντας το πρόβλημα στο πλαίσιο της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (απλή περίπτωση: βελτιστοποίηση αποχετευτικού δικτύου)

HEC – RAS

Γιαννόπουλος-Ελευθεριάδου-Σπηλιώτης

Εκτός
ύλης



Εκτός ύλης

- HEC-RAS υδραυλική επίλυση
- Μόνιμη, μη μόνιμη ροή
- Free
- <http://www.hec.usace.army.mil/software/>



HOME > SOFTWARE

Software
Software
CWMS
HEC-DSS
HEC-DSSVue
HEC-EFM
HEC-EFM Plotter
HEC-FDA
HEC-FIA
HEC-GeoDozer
HEC-GeoEFM
HEC-GeoHMS
HEC-GeoRAS
HEC-GridUtil
HEC-HMS
HEC-RAS
HEC-ResPRM
HEC-ResSim
HEC-RPT

The Hydrologic Engineering Center (HEC) has been developing computer software for hydrologic engineering and planning analysis procedures since its inception in 1964. Although our software is developed to meet the needs of the U.S. Army Corps of Engineers' planning and engineering communities, we do make our software available to the public whenever appropriate. The HEC software that we make available for download on our web site may be used by individuals outside of the Corps of Engineers without charge, subject to the Terms and Conditions of Use for HEC Software.

In the past, for non-Corps users, HEC had provided a list of possible vendors for assistance or support for HEC software. As of 1 October 2008, HEC is no longer providing this list (Vendor List). USACE counsel has determined that the inclusion of this list could be interpreted as HEC recommending specific vendors over other vendors that are not included in the list. Therefore, by direction of USACE counsel HEC has discontinued this practice and has removed the list from our web site. Non-Corps individuals that contact our office to inquire about engineering support will be told to use any internet search engine to locate a vendor that can provide support for the specific HEC software.

- [Distribution Policy](#)
- [Terms and Conditions of Use for HEC Software](#)
- [Support Policy](#)



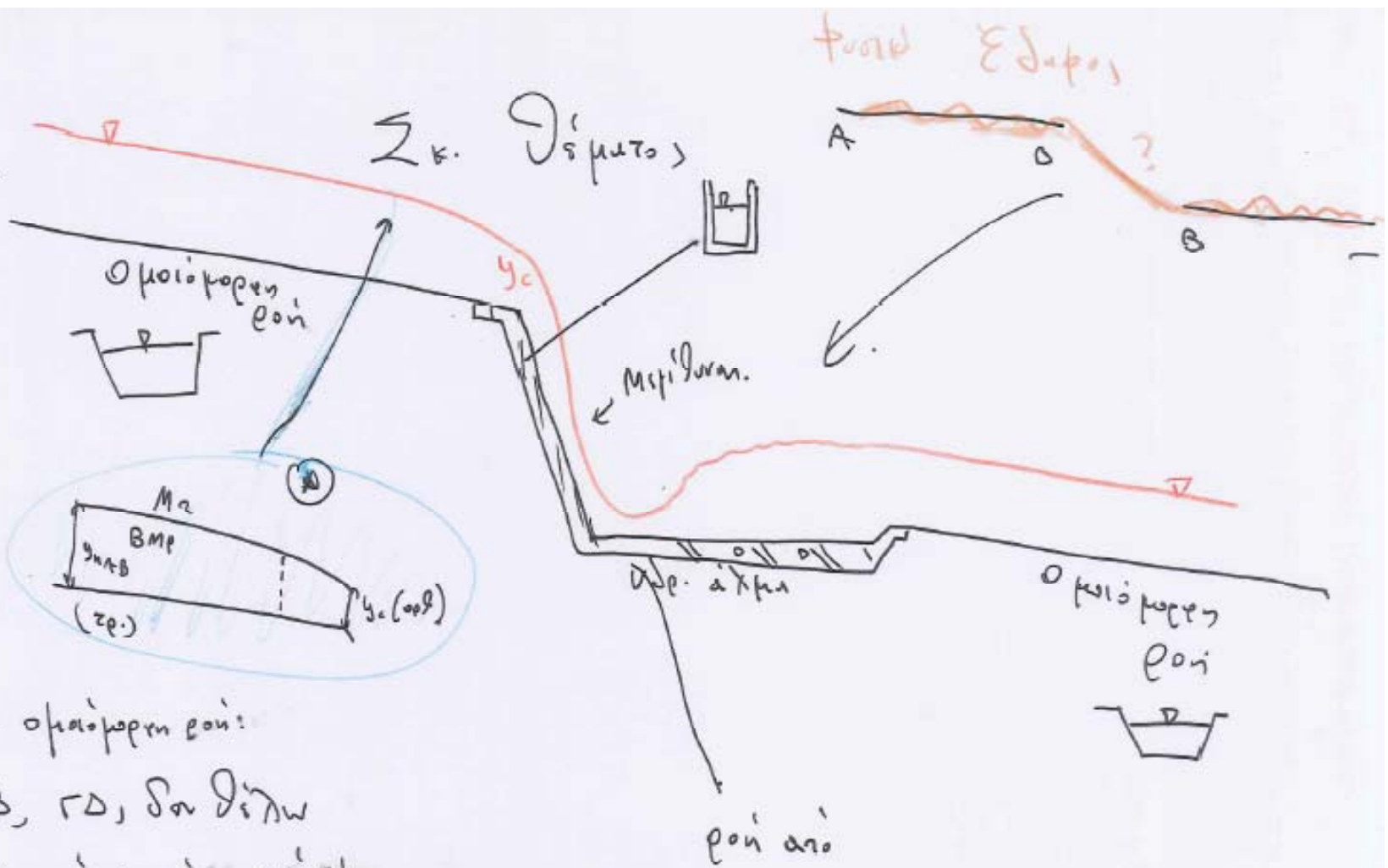
ΓΕΝΙΚΑ

- Το HEC-RAS είναι ένα από τα μοντέλα του U.S.Army Corps of Engineers
- Κατασκευάστηκε από το Hydrologic Engineering Center (HEC)
- Είναι μοντέλο μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος
- Προσομοιώνει υδατορεύματα (River Analysis System – RAS)
 - Φυσικά ή τεχνητά
 - Μεμονωμένα ή συστήματα

Επιστροφή στο Θέμα, 3η
παρουσίαση

Σκαρίφημα

υδρολ. (5)
 Β. Δ. υδρολ.
 υδ. α. υδ. +
 ανάντη
 διαρροή



Σε μοιόμορη ροή:
 ΑΒ, ΓΔ, Δον θύλω
 η ροή να είναι κριτική
 θύλω να είναι "ασφαλώς"
 υποκρίση.

υπερκρίση σε
 υποκρίση ->
 Υδρευτική αλμα, προαναχυσία, καταστροφή ενέρχεται

Θεωρία κρίσιμης ροής
επανάληψη βασική θεωρία

Θεωρία κρίσιμης ροής

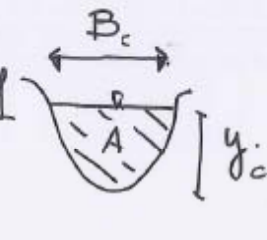
Κρίσιμη ροή

$$E \text{ (επιλεκτική ενέργεια)} \rightarrow \text{ελάχιστη} \quad \left(\frac{dE}{dy} = 0 \right)$$

όπου:

$$E = y + \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \frac{1}{2g}, \quad A = f(y)$$

Κρίσιμη ροή, τότε

$$Fr = \frac{V_c}{\sqrt{g \frac{A_c}{B_c}}} = \frac{Q_c}{\sqrt{g \frac{A_c^3}{B_c}}} = 1$$


Κρίσιμο βάθος

Κρίσιμη ροή :

$$\left. \begin{array}{l} y > y_c \rightarrow \text{ροή υποκρίσιμη.} \\ y < y_c \rightarrow \text{ροή υπερκρίσιμη} \\ y = y_c \rightarrow \text{ροή κρίσιμη.} \end{array} \right\}$$

y_c : Βάθος ομοιόμορφης ροής ($y = \sigma \omega^2$)
 $v = \sigma \omega$

Μπορεί να είναι κρίσιμο, υπερκρίσιμο ή υποκρίσιμο.
 y_c καθορίζεται από την κλίση.

Κρίσιμες συνθήκες

• Ορθ. Διατομή:
$$Fr = \frac{V_c}{\sqrt{g y_c}} = \frac{q}{\sqrt{g y_c^3}} = 1.$$

• Τρανή Διατομή y_c ως συνάρτηση f_c
(πίνακας → βίβλος)

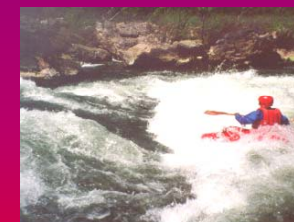
Θυροφραγμα (υδροληψία)
βυθισμένο υδραυλικό άλμα

Επανάληψη: υδραυλικό άλμα,
διατήρηση ορμής, ειδική δύναμη,
ειδίκευση για ορθογωνική διατομή

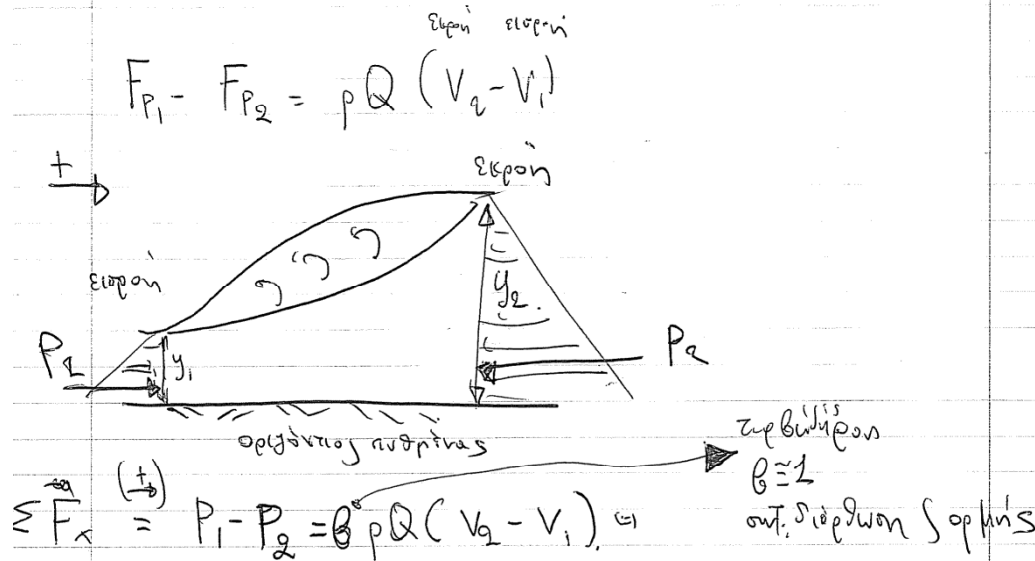
Υδραυλικό άλμα



- Χρησιμοποιείται για καταστροφή ενέργειας
- Γενικά δεν επιθυμείτε στο σχεδιασμό
- **ΠΑΝΤΑ συμβαίνει όταν: ροή από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη**
 - υπερχειλιστής
 - Από απότομη κλίση σε ήπια
- **Δαπάνη ενέργειας**
- Περιορισμένο μήκος
- Επιδράσεις στον αγωγό από ανάντη και κατόντη
- Ποια εξίσωση, Ενέργειας η ορμής?



Σύνηθες άλμα



Διατήρηση της ορμής (όγκος ελέγχου)

Δύναμη λόγω πίεσης = πίεση στο κέντρο βάρους της επίπεδης επιφάνειας επί την επιφάνεια

Πίνακας 8.1: Ειδική Δύναμη M για αγωγούς διαφόρων διατομών

Διατομή	Ειδική Δύναμη M
Ορθογωνική	$\frac{Bh^2}{2} + \frac{Q^2}{gBh}$
Τραπεζοειδής	$\frac{Bh^2}{2} + \frac{zh^3}{3} + \frac{Q^2}{gh(B+zh)}$
Τριγωνική	$\frac{zh^3}{3} + \frac{Q^2}{gzh^2}$ Πρίνος, 2014
Κυκλική	$\left[3\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) - \sin^3\left(\frac{\theta}{2}\right) - 3\left(\frac{\theta}{2}\right)\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right] \frac{D^3}{24} + \frac{Q^2}{gD^2(\theta - \sin\theta)}$ $(\theta = 2\cos^{-1}\left[1 - 2\left(\frac{h}{D}\right)\right])$

Οριζόντιο υδραυλικό άλμα χωρίς εμπόδιο:
 $M_1 = M_2$ για όλα τα είδη της διατομής (σύννηθες άλμα)

Δ. ορμής, σε οριζόντιο άλμα, ορθ.
 Διατομή, αμελητέες τριβές, σύνηθες
 άλμα

$$\sum F_x = \rho Q (V_x^{\text{εξροή}} - V_x^{\text{εισροή}}) (=1)$$

$$\Leftrightarrow \underbrace{P_1 - P_2}_{\text{πίεσεις}} + \cancel{W_{\text{μητ}}} + \underbrace{F_T}_{\substack{\text{κίψη} \\ \text{μήκος}}} = \underbrace{\rho Q V_2 - \rho Q V_1}_{\text{μεταβολή ορμής}}$$

$$b \frac{\rho g \gamma_1^2}{2} - b \frac{\rho g \gamma_2^2}{2} = \rho Q \left(\frac{Q}{b \gamma_2} \right) - \rho Q \left(\frac{Q}{b \gamma_1} \right) (=1)$$

$$\Leftrightarrow b \frac{\rho g \gamma_1^2}{2} + \cancel{\rho} \frac{Q^2}{b \gamma_1} = \frac{\rho g \gamma_2^2}{2} b + \cancel{\rho} \frac{Q^2}{b \gamma_2} \quad (*)$$

Ορθογώνια Διατομή

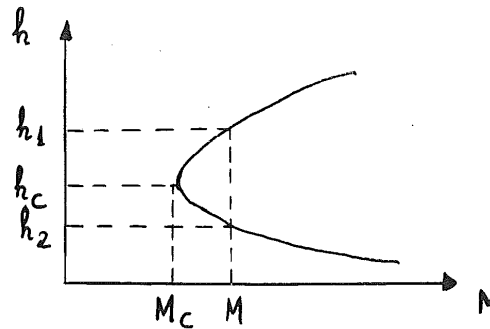
$$\bar{y} = \frac{y}{2}, \quad A = by$$

$$M = \frac{Q^2}{gby} + \frac{by^3}{2}$$

Η ειδική Σχετική αλλαγή από Διατομή σε Διατομή:

Ορθογωνική διατομή

(49)



q : δεδομένο

- Ανάλογο προς το διάγραμμα ειδικής ενέργειας

$$h \rightarrow \infty \quad M \rightarrow \infty$$

$$h \rightarrow 0 \quad M \rightarrow \infty$$

$$\frac{dM}{dh} = -\frac{q^2}{gh^2} + h = 0 \quad \Rightarrow \quad h = h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad \Rightarrow \quad M_{\min}$$

h_1, h_2 : συζυγή βάθη

Στο κρίσιμο
βάθος
ελάχιστη
ειδική δύναμη

Συμπέρασμα
που
γενικεύεται
για κάθε
διατομή

Ορθογωνική
διατομή
+οριζόντιος
πυθμένας

(42)

Υδραυλικό άλμα

- Για ορθογωνική διατομή:

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \quad M = \frac{q^2}{gy} + \frac{y^2}{2}$$

E: ειδική ενέργεια [m]

M: ειδική δύναμη ανά μονάδα πλάτους [m²]

- Για τα συζυγή βάθη ροής y_2, y_3 ισχύει:

$$y_3 = \frac{y_2}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8Fr_2^2})$$

$$Fr_2 = \frac{v_2}{\sqrt{gy_2}} = \frac{q}{\sqrt{gy_2^3}}$$

$$dE = E_2 - E_3$$

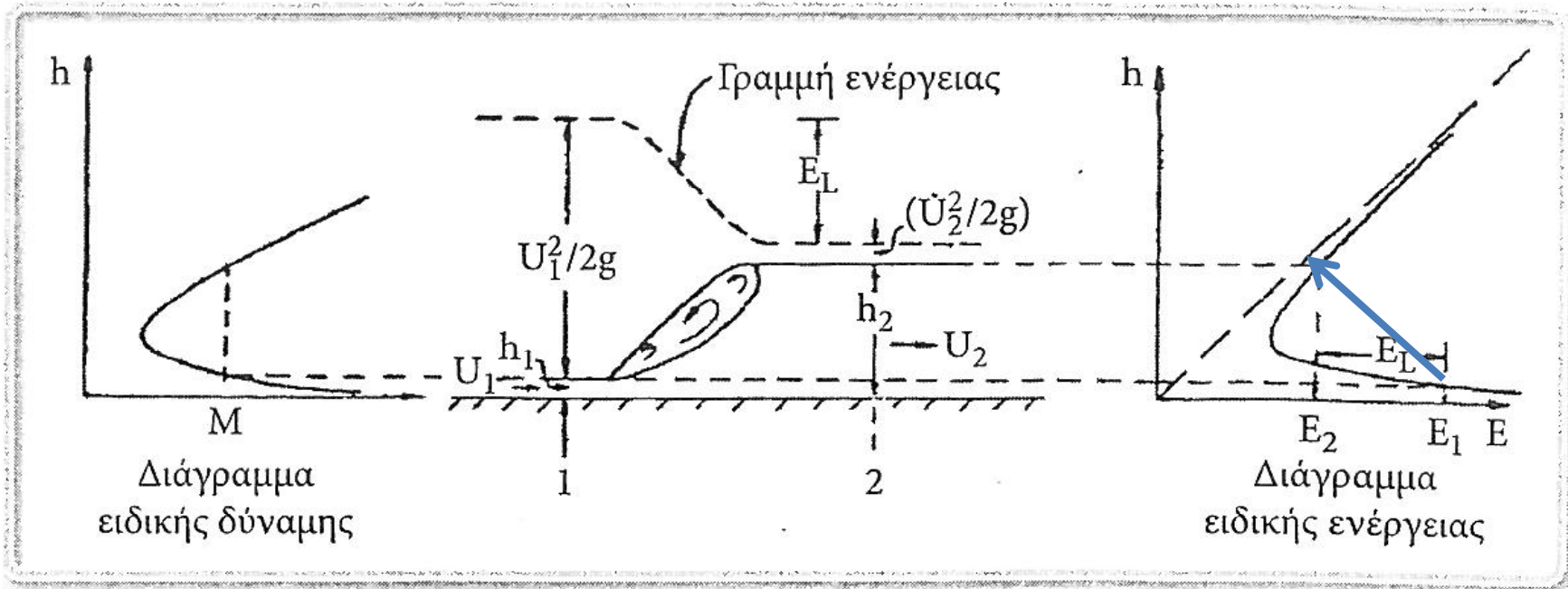
dE: ύψος απωλειών ενέργειας στο υδραυλικό άλμα

$$dE = \frac{(y_3 - y_2)^3}{4y_3y_2}$$

M1=M2

Άλλα στοιχεία θεωρίας υδραυλικού άλματος...

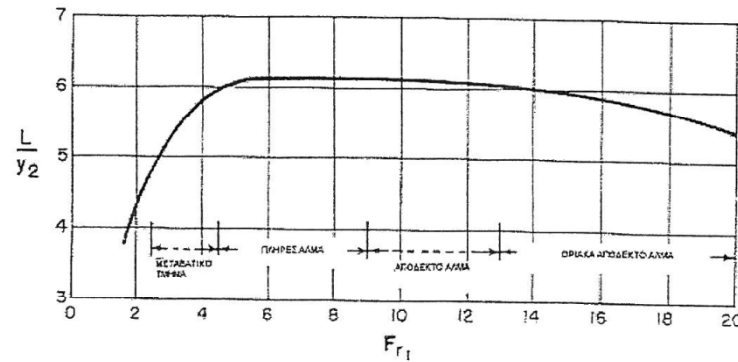
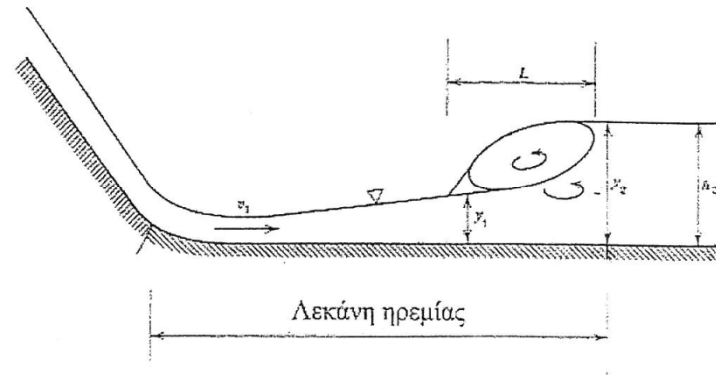
Οριζόντιο υδραυλικό άλμα



Σχήμα 3.7: Διαγράμματα ειδικής ενέργειας και ειδικής δύναμης για το υδραυλικό άλμα

Μήκος άλματος περιορισμένο, $L \approx 6y_2$

$$4.5 < Fr_1 < 13$$

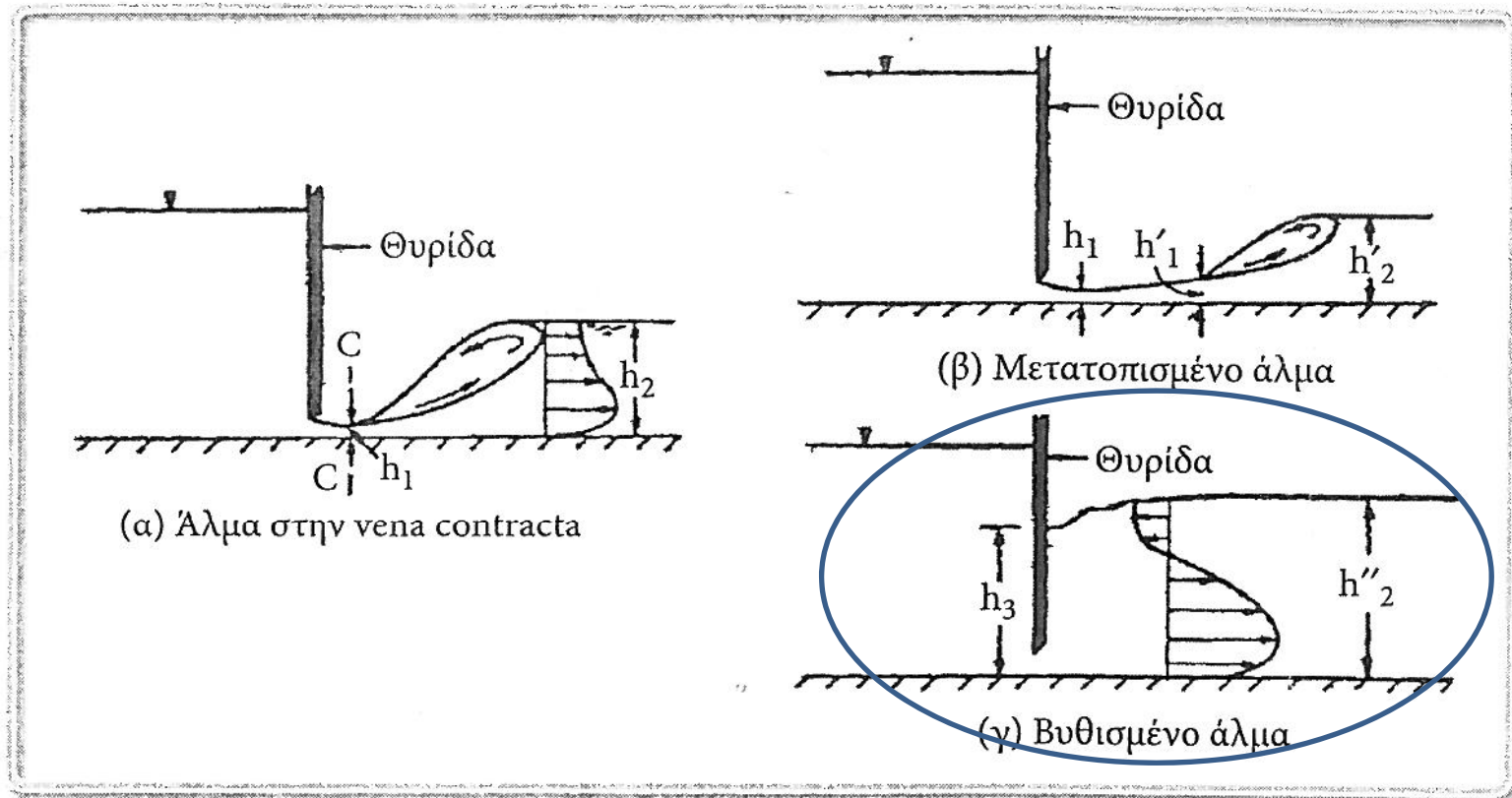


Σχ. Π2.8 Μήκος υδραυλικού άλματος

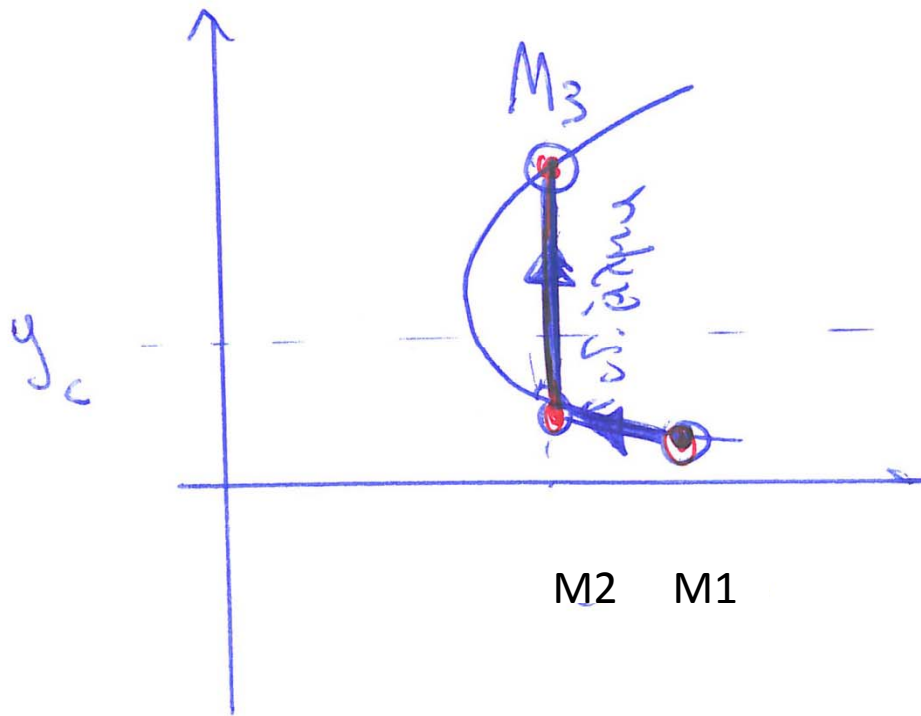
Περιπτώσεις Υδραυλικού άλματος

1. Όταν μειώσουμε απότομα την κλίση του πυθμένα του αγωγού από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη, οπότε και η ροή μεταβαίνει από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη.
2. Όταν σε ένα αγωγό με υποκρίσιμη ροή τοποθετήσουμε θυρόφραγμα μικρού ανοίγματος ($y_1 < y_c$), τότε αναγκάζουμε τη ροή να γίνει πρώτα υπερκρίσιμη αμέσως κατάντη του θυροφράγματος ($y_1 > y_c$) και στη συνέχεια υποκρίσιμη ($y_2 < y_c$), βλ. Παράδειγμα 9.3-1.
3. Όταν σε ένα αγωγό με υπερκρίσιμη ροή αναγκάσουμε τη ροή να ανέλθει σε σχετικά μεγάλο ύψος αποκτώντας μεγάλο βάθος ροής ($y_1 > y_c$). Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε τοποθετώντας στη ροή υψηλό υπερχειλιστή ή εμπόδιο ή όταν η ροή πρέπει να καταλήξει σε υψηλό υψόμετρο, π.χ. της επιφάνειας του νερού ενός ταμιευτήρα, βλ. Παράδειγμα 9.3-1.

Υδραυλικό άμα μετά από θυρίδα, περίπτωση 3



Σχήμα 3.5: Ελεύθερο και Βυθισμένο άλμα



Β Περίπτωση

M (εξωτερική δύναμη)

y_3 = βόλος από κατεύθυνση ουδεμίας

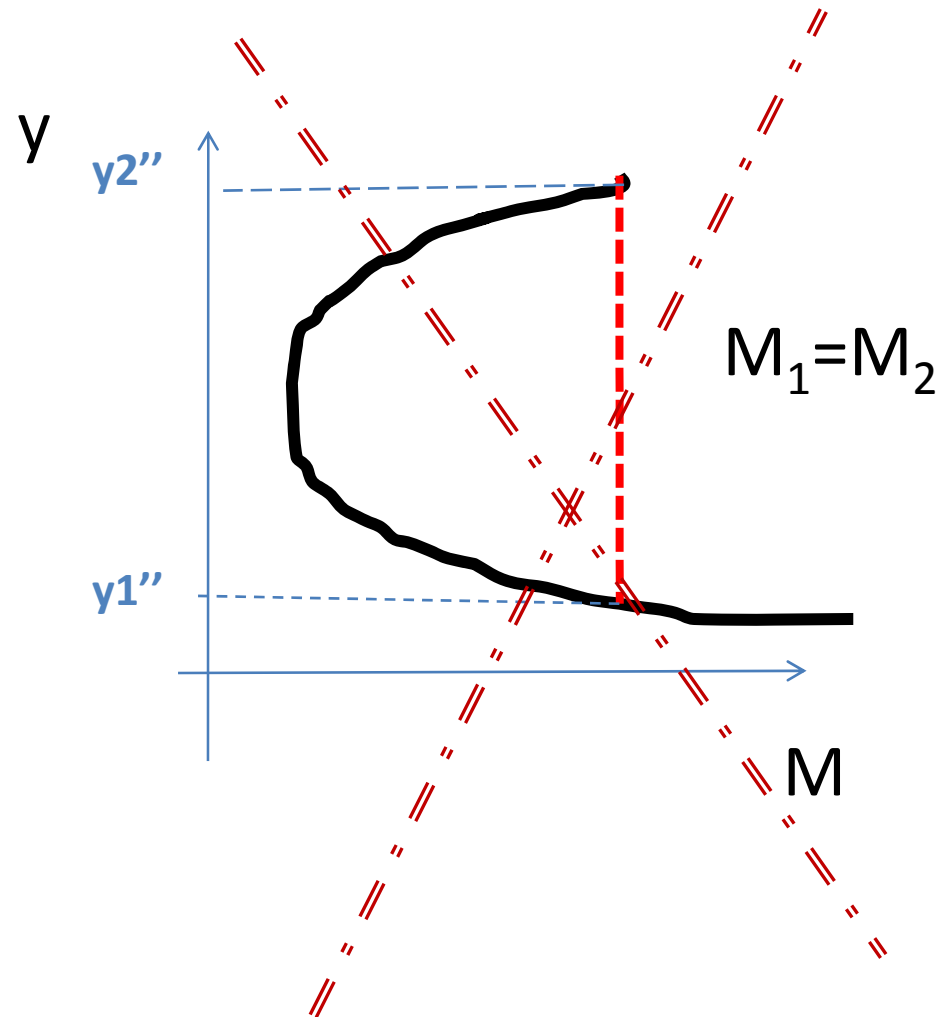
Βυθισμένο υδραυλικό άλμα

- **Περίπτωση (γ)**

Δοκιμάζοντας τις εξισώσεις του συνήθους υδραυλικού άλματος προκύπτει με βάση το διάγραμμα της ειδικής δύναμης, ότι τα συζυγή βάθη (πριν και μετά το άλμα) δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν.

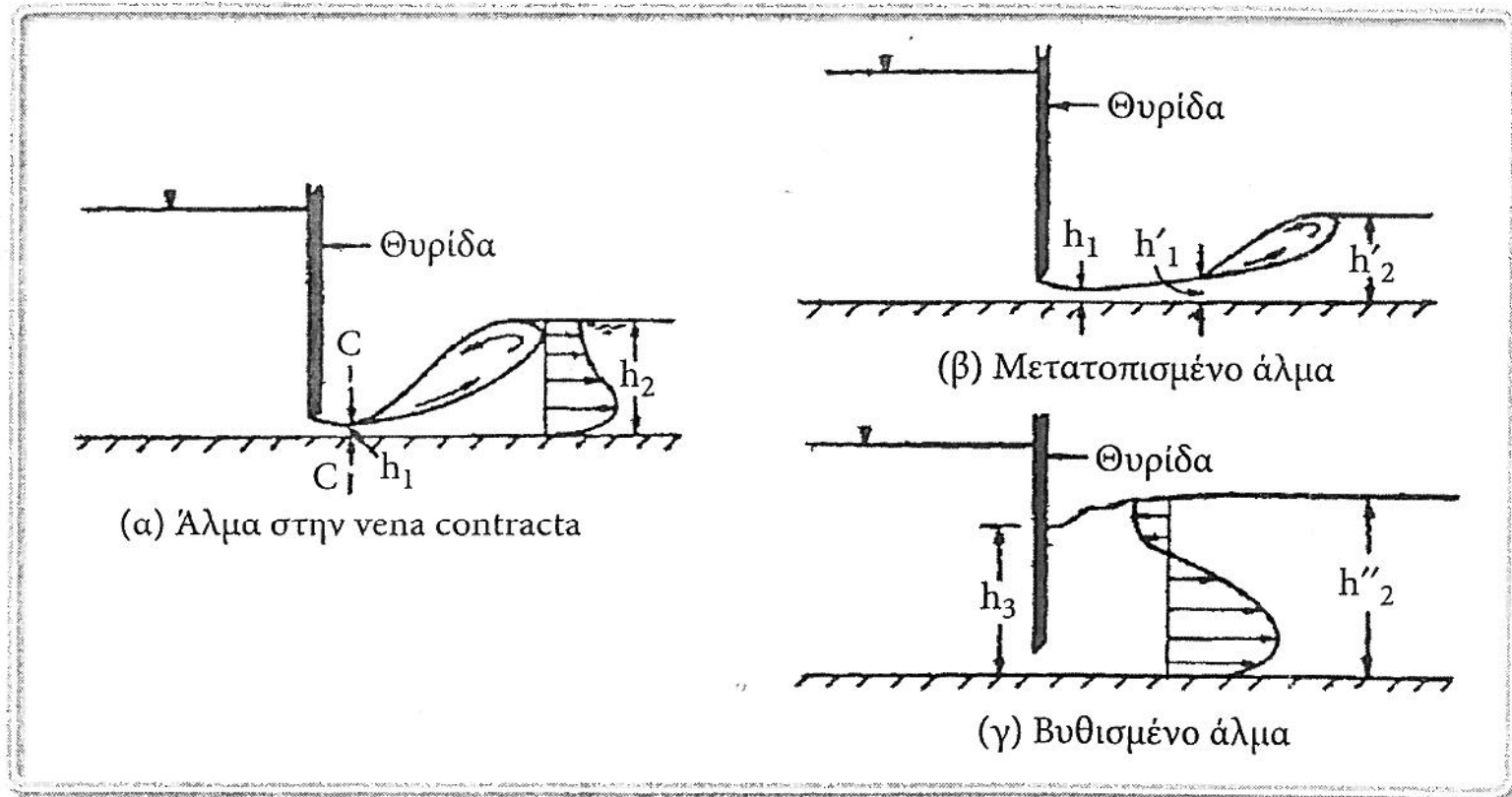
Συγκεκριμένα, για γ_2'' προκύπτει συζυγές βάθος γ_1'' το οποίο είναι μικρότερο από το σημείο μέγιστης συστολής μετά το θυρόφραγμα. Άτοπο.

Δεν ισχύει το διάγραμμα ειδικής δύναμης και πάμε σε βυθισμένες συνθήκες.



ΒΥΘΙΣΜΈΝΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΌ ΆΛΜΑ

Υδραυλικό άμα μετά από θυρίδα, περίπτωση γ



Σχήμα 3.5: Ελεύθερο και Βυθισμένο άλμα

Ζητούμενο δ

- Υδραυλικός υπολογισμός υδροληψίας (Σχήμα Π1.7)
- Γνωστά μεγέθη:
 - Παροχή $Q = 30.5 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Βάθος ροής $y_4 = 1.746 \text{ m}$ (από τον υπολογισμό της ανομοιόμορφης ροής)
 - Πλάτος $b = 6.1 \text{ m}$ και $q = Q/b = 30.5/6.1 = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{m}}$ (όπως στον αναβαθμό)
 - Ορίζονται ανυψώματα $w = 1.60 \text{ m}$, $\Delta z = 0.70 \text{ m}$, $C_c = 0.60$ (Σχήμα Π1.7)
- Υπολογισμός χαρακτηριστικών βαθών ροής
 - y_3 (αμέσως κατάντη του υδραυλικού άλματος) $= y_4 + \Delta z = 1.746 + 0.70 = 2.446 \text{ m}$
 - y_2 (αμέσως ανάντη του υδραυλικού άλματος) $= C_c w = 0.60 \times 1.60 = 0.96 \text{ m}$
 - y (βάθος στην κατάντη πλευρά του θυροφράγματος, βυθισμένη εκροή)

$$\frac{y}{y_3} = \left[1 - \frac{2q^2}{g y_3^3} \left(\frac{y_3}{y_2} - 1 \right) \right]^{1/2} \Rightarrow y = 1.66 \text{ m}$$

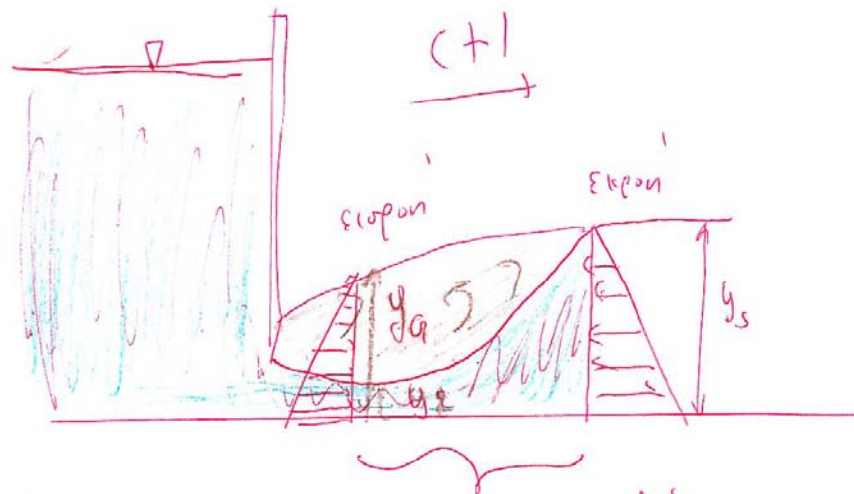
Θέση (2) άλλο ύψος για την ορμή, y_2 και άλλο ύψος για τον υπολογισμό της πίεσης, y

- y (βάθος στην κατάντη πλευρά του θυροφράγματος, βυθισμένη εκροή)

$$\frac{y}{y_3} = \left[1 - \frac{2q^2}{gy_3^3} \left(\frac{y_3}{y_2} - 1 \right) \right]^{1/2} \Rightarrow y = 1.66 \text{ m}$$

Βυθισμένο υδραυλικό άλμα: Οι κατάντη συνθήκες επιβάλλουν βάθος ροής μετά το άλμα μεγαλύτερο του ελεύθερου

Απόδειξη: Διατήρηση της ορμής, διαφορετική από την περίπτωση του συνήθους υδραυλικού άλματος



Θρο. Διατήρηση: ορμής εισόδου.

$$F_{P_1} - F_{P_2} = \rho Q (V_2 - V_1)$$

$$V_2 = \frac{q}{y_2} = \frac{4}{0.4}$$

$$\rho g \frac{y_1^2}{2} \cdot b - \rho g \frac{y_2^2}{2} \cdot b = \rho q \cdot b (V_2 - V_1) \Rightarrow V_1 = \frac{q}{y_1}$$

Βυθισμένο υδραυλικό άλμα,

⊙ → συνέχεια, ορθ. διατομή:

$$Q = V_2 y_2 = V_3 y_3$$

ορθ. διατομή:

$$\left(Q = \frac{Q}{b} \right)$$

$$\Rightarrow V_2 y_2 = V_3 y_3 = q$$

Προσοχή: Η στήλη $y - y_2$ συμβάλλει στην πίεση |
αλλά όχι στην ροή βέγματος

Απόδειξη
εξίσωσης
βυθισμένου
υδραυλικού
άλματος, δεν
απαιτείτε στο
θέμα

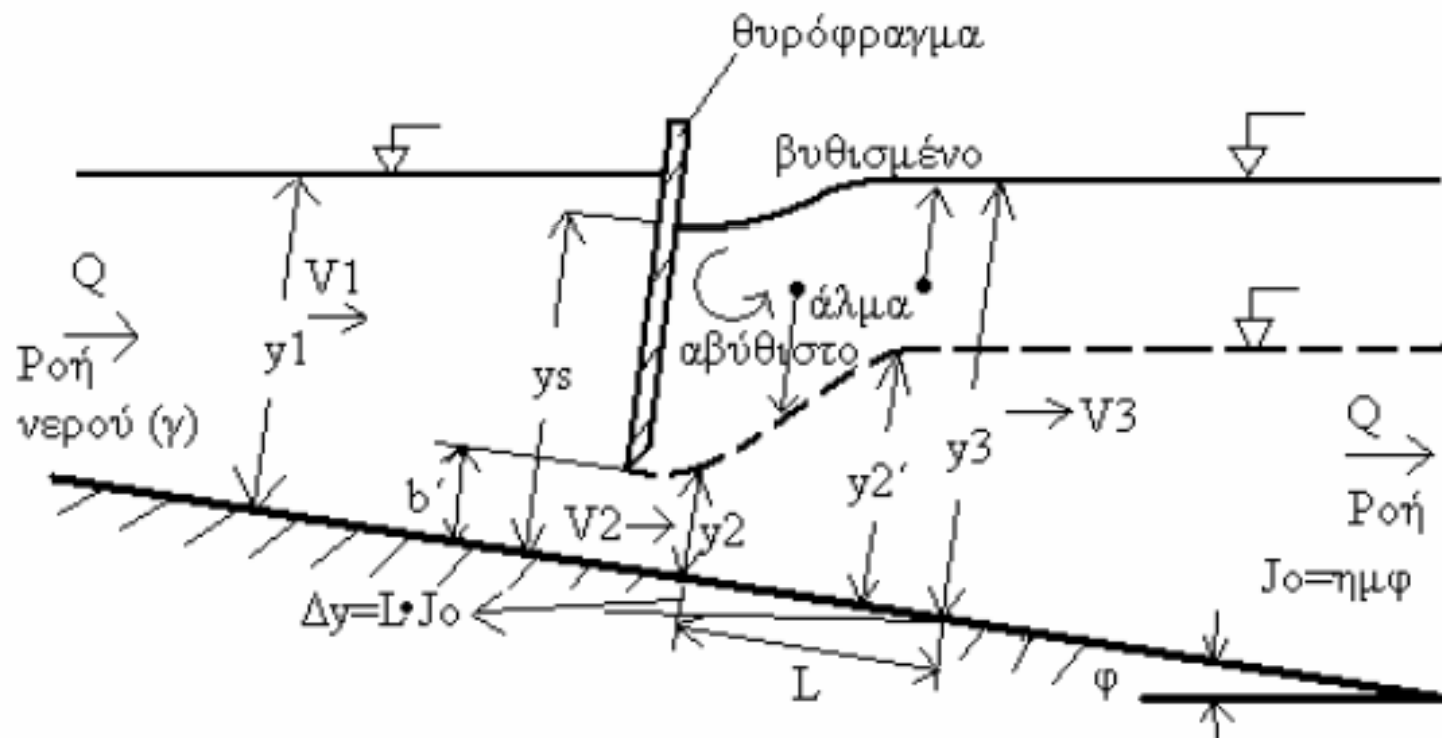
⊙ → εξίσωση ποσότητας κίνησης, ορθ. διατομή:

$$\frac{1}{2} \rho g y_2^3 - \frac{1}{2} \rho g y_3^3 = \rho Q (V_{επιρ.} - V_{επισφ.}) =$$

$$= \rho q (V_3 - V_2) = \rho q^2 \left(\frac{1}{y_3} - \frac{1}{y_2} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{y_2}{y_3} = \left[1 - \frac{2q}{g y_3^3} \left(\frac{y_3}{y_2} - 1 \right) \right]^{1/2}$$

Βυθισμένο υδραυλικό άλμα



Από Δημητρίου και Ρετσίνης

Επαλυθυνα.

Εστω y_2 , και $y_3 = ?$, $y_2 = y_3 = C_c \cdot W = 0.96$

Αν δεν ήταν βυθισμένο το αίλημα:

πρώτη εκτίμηση: $y_3 = \frac{y_2}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8Fr_2^2})$

$$Fr_2 = \frac{v}{\sqrt{g y_2^3}} = \frac{30^{0.5}/6.1}{\sqrt{g \cdot 0.96^3}} = 1.69 (> 2) \quad \checkmark$$

υπερ κρίση

$y_3 = 1.87$
(τότε $Fr = 0.69 < 2$)
(υποκρίση)

|| όμνη δεν γίνεται...
κατάντη. $y_3' = y_{AB} + \Delta Z = 2.446$
→ βυθισμένο υδ. αίλημα.

Θυρόφραγμα: Εναλλακτά βάθη, κοινή ειδική ενέργεια

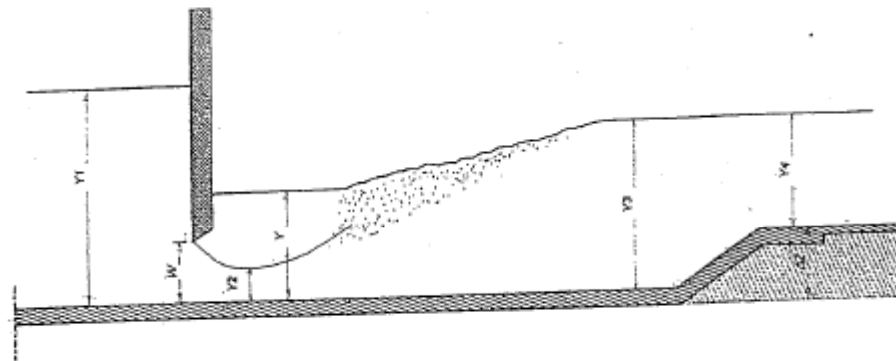
Τέλος η ζητούμενη στάθμη του ύδατος στην δεξαμενή τροφοδοσίας y_1 , προκύπτει από την Εξ. Π1.31, αν θεωρηθεί ότι η απώλεια ενέργειας μεταξύ των Διατομών 1 και 2 είναι αμελητέα ($E_1 = E_2$), δηλαδή είναι:

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} \quad (\text{Π1.31})$$

Η επίλυση της τριτοβάθμιας εξίσωσης Π1.31 δίνει τις παρακάτω λύσεις:

- $y_1 = -0.59 \text{ m}$, η οποία απορρίπτεται γιατί είναι αρνητική
- $y_1 = 0.74 \text{ m}$, η οποία απορρίπτεται γιατί πρέπει να είναι:
 $y_1 > w \Rightarrow y_1 > 1.60 \text{ m}$
- $y_1 = 2.90 \text{ m}$, η οποία είναι και η ζητούμενη στάθμη ύδατος στην δεξαμενή τροφοδοσίας

οριζόντιος
αγωγός



θέμα

Προσοχή: η φυσική αρχή είναι η διατήρηση της ενέργειας (μειούμενη κατάντη). Στη γενική περίπτωση η ειδική ενέργεια μπορεί να αυξάνεται ή να μειώνεται, ή να είναι σταθερή (όπως εδώ θεωρώντας αμελητέες απώλειες ενέργειας και οριζόντιο πυθμένα)

Προσοχή στη διατομή (2), όλο το ύψος της στήλης νερού για το ύψος πίεσης, μόνο το βάθος γ_2 (εδώ ανάντη του υδρ. άλματος) για τον προσδιορισμό της ταχύτητας από την παροχή

Υδροληψία....

- Μήκος υδραυλικού άλματος

$$L_j = 6.0 \times y_3 = 6.0 \times 2.446 = 14.68 \text{ m} \quad (\text{εμπειρικός τύπος})$$

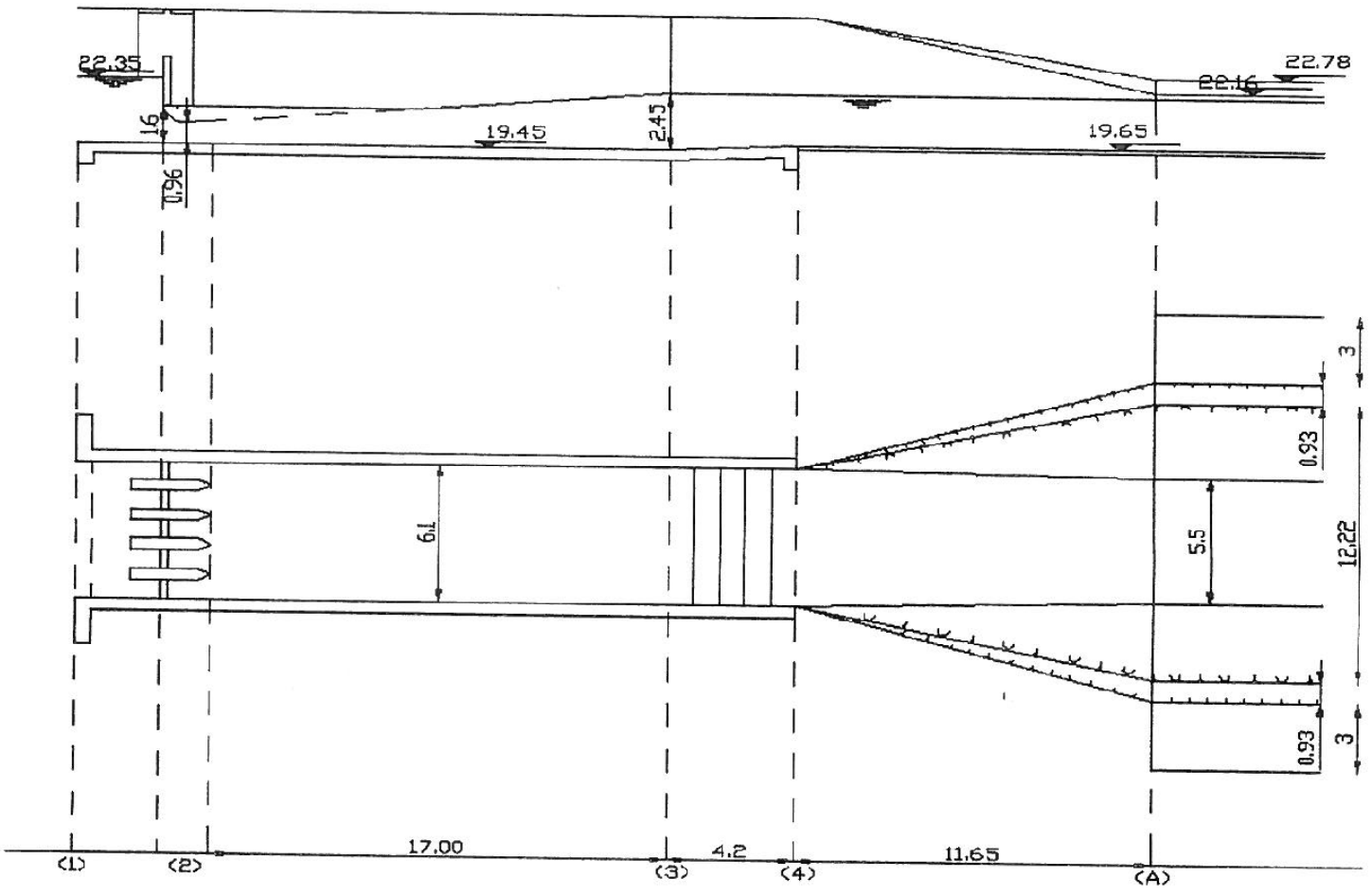
- Για λόγους ασφαλείας αυξάνεται το μήκος κατά 10%, οπότε

$$L = 1.1 \times L_j = 1.1 \times 14.68 \approx 17.0 \text{ m}$$

Θυρόφραγμα: Αρχή διατήρησης της ενέργειας με
αμελητέες απώλειες

Κατάντη (βυθισμένο) υδραυλικό άλμα: Διατήρηση
ποσότητας κίνησης, Ισορροπία συνισταμένης των
δυνάμεων (πίεσης) με καθαρή εκροή (εκροή -
εισροή) ορμής, αμελητέα δύναμη πυθμένα

ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΜΗ ΚΑΙ ΚΑΤΟΨΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ



Σχέδιο Π1.4 Μηκοτομή και κάτοψη της Υδροληψίας