

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

Ροή με Ελεύθερη Επιφάνεια
Μέρος 2^ο

Α. Νάνου-Γιάνναρου

Νοέμβριος 2018

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

A. NANOY-GIANNAROY

1

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΡΟΗΣ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

A. NANOY-GIANNAROY

2

Εφαρμογές κρίσιμης ροής σε πρισματικό αγωγό ορθογωνικής διατομής

- Η θεωρία της κρίσιμης ροής μπορεί να εφαρμοστεί :
 - Ροή κάτω από θυρόφραγμα.
 - Ροή πάνω από εμπόδιο.
 - Ροή μέσα από συναρμογές
 - ✓ Μετάβαση από έναν πρισματικό αγωγό μιας ορισμένης γεωμετρίας, σε έναν άλλο, π.χ. στένωση.
 - Ροή με υδραυλικό άλμα.
- Στις τρεις πρώτες περιπτώσεις: Αγνοούμε τις απώλειες ενέργειας και χρησιμοποιούμε το διάγραμμα ειδικής ενέργειας.
- Στην τέταρτη, όπου υπάρχουν μεγάλες τοπικές απώλειες ενέργειας, χρησιμοποιούμε το διάγραμμα ειδικής δύναμης.

ΣΥΝΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΩΝ

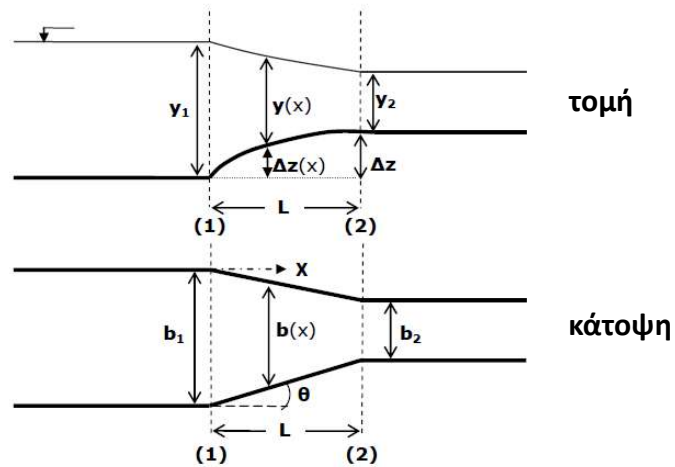
Συναρμογές σε υποκρίσιμη ροή

- Μετάβαση από έναν πρισματικό αγωγό μιας ορισμένης γεωμετρίας, σε έναν άλλο.
- Μεταβολή σε μικρό μήκος.
- Βαθμιαία προσαρμογή (ομαλή μεταβολή) ή του υψομέτρου του πυθμένα, ή του πλάτους της διατομής, ή και των δύο.
- Ικανοποιητική υδραυλική λειτουργία.

Απαιτήσεις για την ικανοποιητική υδραυλική λειτουργία

- Ελαχιστοποίηση απωλειών ενέργειας στη συναρμογή.
- Όχι αποκόλληση κλπ. έντονα φαινόμενα.
- Μη διατάραξη της ροής ανάντη και κατόντη της συναρμογής.
- Σε πρώτη προσέγγιση, οι απώλειες ενέργειας μπορούν να αμεληθούν και να εφαρμόσουμε την εξίσωση ενέργειας για να εκτιμήσουμε τη μεταβολή της ελεύθερης επιφάνειας.

Συναρμογές σε υποκρίσιμη ροή



ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

7

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

8

Συναρμογές σε υποκρίσιμη ροή

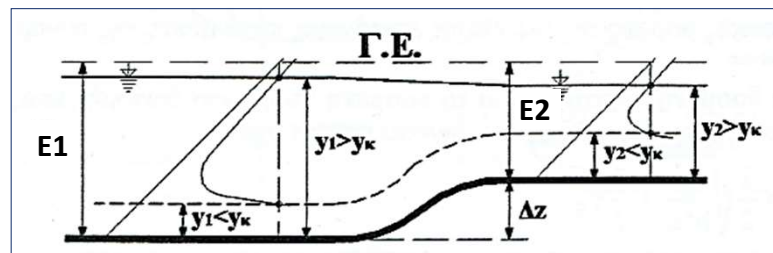
- Απαιτείται η γνώση:
 - Γεωμετρία διατομών ανάντη και κατόντη της συναρμογής. Παροχή σχεδιασμού και βάθη ροής.
- Εξίσωση ενέργειας (γενική μορφή):

$$H_1 = H_2 + \Delta H_{\alpha(1-2)} \Rightarrow E_1 = E_2 \pm \Delta z_{(1-2)} + \Delta H_{\alpha(1-2)}$$

$$E = y(x) + \frac{Q^2}{2g[A(x)]^2}$$

- $\pm \Delta z_{(1-2)}$ = ανύψωση ή ταπείνωση του πυθμένα

Ανύψωση πυθμένα σε ορθογωνικό αγωγό σταθερού πλάτους – Υποκρίσιμη ροή



Ανύψωση πυθμένα σε ορθογωνικό αγωγό σταθερού πλάτους – Υποκρίσιμη ροή

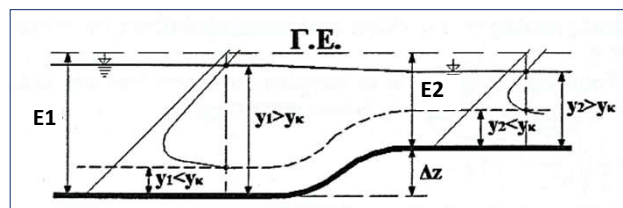
- Ροή πρακτικά παράλληλη πριν και μετά τη συναρμογή.
- Βαθμιαία γεωμετρική συναρμογή του πυθμένα:
 - Ροή πρακτικά παράλληλη και μέσα στη συναρμογή.
 - Κατά μήκος της συναρμογής, ισχύει η υδροστατική κατανομή των πιέσεων.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

11

Ανύψωση πυθμένα σε ορθογωνικό αγωγό σταθερού πλάτους – Υποκρίσιμη ροή



$$\text{Εξίσωση ενεργείας: } H_1 = H_2 + \Delta H_{\alpha(1-2)}$$

$$\Delta H_{\alpha(1-2)} = 0 \Rightarrow H_1 = H_2$$

$$\text{Για ανύψωση πυθμένα} \Rightarrow E_1 = +\Delta z + E_2, E_2 < E_1$$

$$\Rightarrow y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \Delta z + y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

12

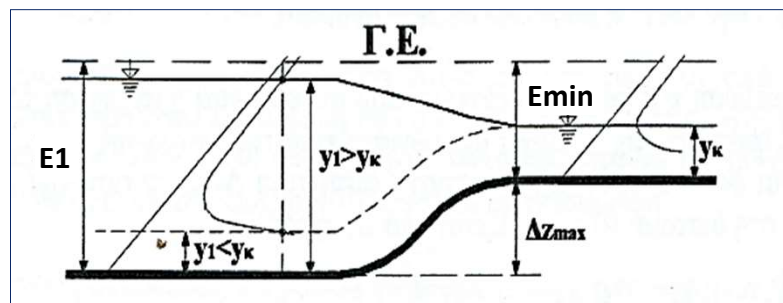
Ανύψωση πυθμένα σε ορθογωνικό αγωγό σταθερού πλάτους – Υπολογισμός y_2

$$\left. \begin{aligned} y_1 + \frac{V_1^2}{2g} &= \Delta z + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \\ V &= \frac{Q}{A} = \frac{Q}{by} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y_1 + \frac{Q^2}{2gb^2y_1^2} = \Delta z + y_2 + \frac{Q^2}{2gb^2y_2^2}$$

Λύνεται με τη βοήθεια του διαγράμματος ειδικής ενέργειας ή εφαρμόζοντας τη μέθοδο των διαδοχικών προσεγγίσεων.

Ανύψωση πυθμένα σε ορθογωνικό αγωγό σταθερού πλάτους – Μέγιστη ανύψωση



Για $\Delta z > \Delta z_{max}$ η ροή στη διατομή ① πρέπει να έχει ειδική ενέργεια E_1 μεγαλύτερη από την δοσμένη, για να είναι φυσικά δυνατή η ροή της δοσμένης παροχής Q .

Ανύψωση πυθμένα σε ορθογωνικό αγωγό σταθερού πλάτους – Μέγιστη ανύψωση

Για δοσμένο Q και δοσμένη γεωμετρία διατομής, υπάρχει μία ελάχιστη E_{\min} κάτω από την οποία η ροή είναι φυσικά αδύνατη:

$$E_{\min} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} = \frac{3}{2} y_K$$

$$E_1 = \Delta z_{\max} + E_{\min} = \Delta z_{\max} + \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} \Rightarrow \Delta z_{\max} = E_1 - \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

Ανύψωση πυθμένα σε ορθογωνικό αγωγό σταθερού πλάτους

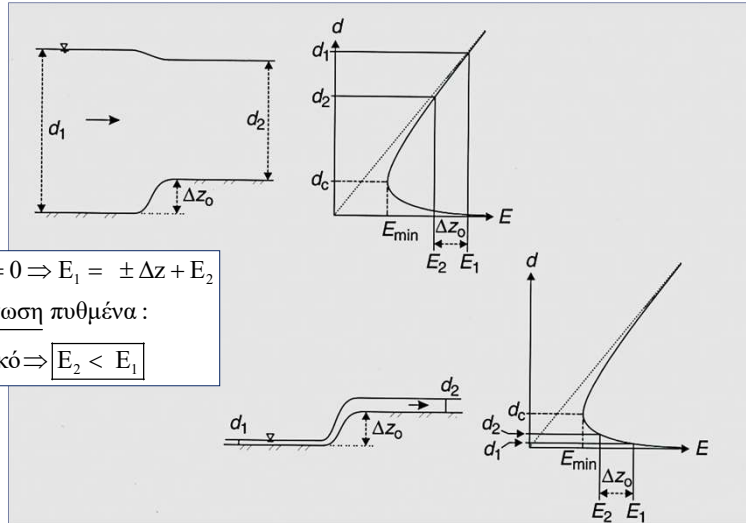
- Η παραπάνω ανάλυση για υπερκρίσιμη ροή θεωρείται πολύ προσεγγιστική λόγω πιθανής αποκόλλησης της ροής.

Ανύψωση πυθμένα

$$\Delta H_{a(1-2)} = 0 \Rightarrow E_1 = \pm \Delta z + E_2$$

Για ανύψωση πυθμένα :

$$\Delta z = \text{θετικό} \Rightarrow E_2 < E_1$$



ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

A. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

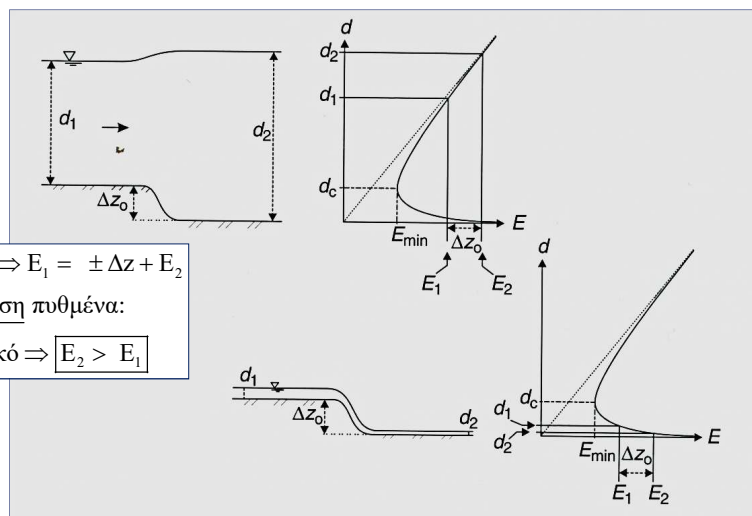
17

Ταπείνωση πυθμένα

$$\Delta H_{a(1-2)} = 0 \Rightarrow E_1 = \pm \Delta z + E_2$$

Για ταπείνωση πυθμένα:

$$\Delta z = \text{αρνητικό} \Rightarrow E_2 > E_1$$



ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

A. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

18

Αναβαθμός πυθμένα σε ορθογωνικό αγωγό σταθερού πλάτους

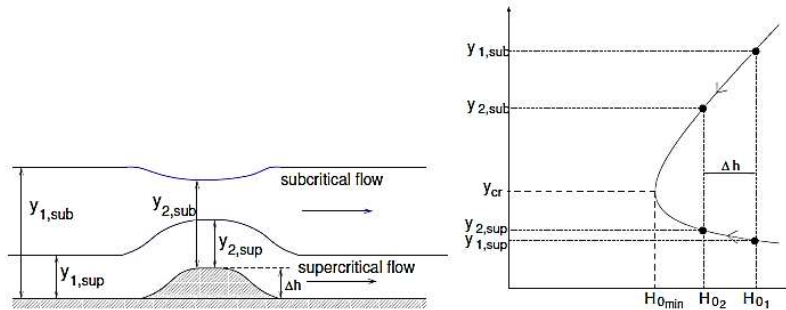


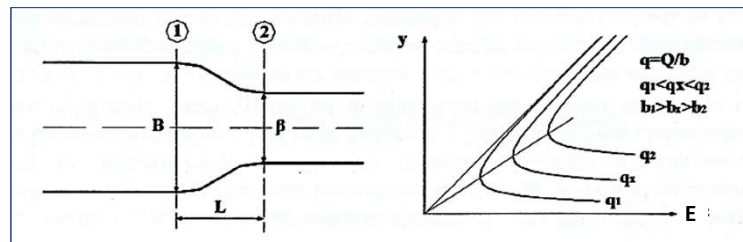
Figure 10.9: Frictionless flow over a bump. Two cases have to be distinguished: supercritical flow and subcritical flow.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

19

Ορθογώνιος αγωγός με στένωση – Υποκρίσιμη ροή



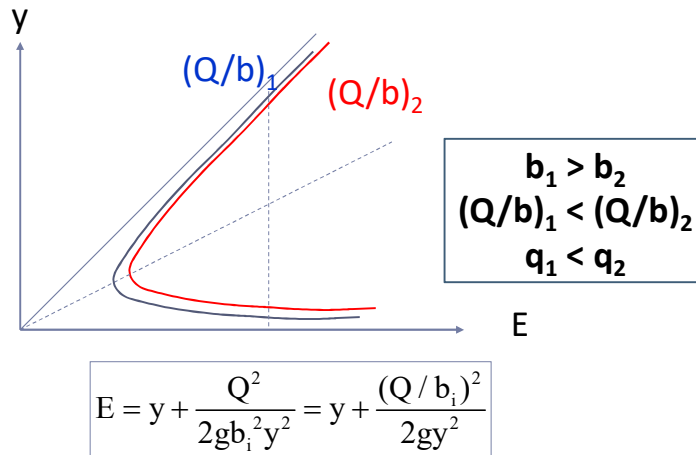
- ✓ Εξίσωση ενέργειας: $H_1 = H_2$ ή $E_1 = E_2$
- ✓ Για ένα δοσμένο βάθος ροής y_1 ($y_1 > y_k$) στη διατομή ①, υπάρχει μία ελάχιστη τιμή β_{min} , κάτω από την οποία η ροή της παροχής Q με τη δοσμένη τιμή E_E είναι φυσικά αδύνατη.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

A. NANOY-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

20

Διάγραμμα ειδικής δύναμης για ορθογωνική διατομή και διάφορα δεδομένα $q_i = Q/b_i$



ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

21

Ορθογώνιος αγωγός με στένωση –
Υπολογισμός β_{\min}

$$y_2 = y_c \Rightarrow E_2 = E_{\min} \xrightarrow[\text{διατομή}]{\text{ορθογωνική}} E_{\min} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{\beta_{\min}^2 g}}$$

Από την εξίσωση ενέργειας :

$$E_1 = E_{\min} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{\beta_{\min}^2 g}} \Rightarrow \beta_{\min} = \frac{3}{2} Q \sqrt[3]{\frac{3}{2g} \frac{1}{E_1^{3/2}}}$$

$$\text{Εάν } \beta \geq \beta_{\min} \Rightarrow E_1 = E = y + \frac{V^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2gb^2 y^2}$$

Στην προηγούμενη εξίσωση ζητείται το y (διάγραμμα).

$b = b(x)$, $y = y(x) \Rightarrow$ Λύνεται με διαδοχικές προσεγγίσεις

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

22

Ορθογώνιος αγωγός με στένωση

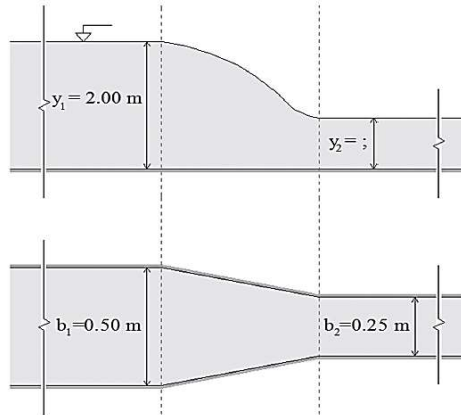
- Η παραπάνω ανάλυση και αντιμετώπιση του προβλήματος είναι πολύ ικανοποιητική στην περίπτωση υποκρίσιμης ροής.
- Για υπερκρίσιμη ροή η παραπάνω ανάλυση που βασίζεται στη μονοδιάστατη εξίσωση ενέργειας αποτυγχάνει ολοκληρωτικά να δώσει ακόμα και προσεγγιστική λύση. Η ροή στην περίπτωση αυτή παίρνει τρισδιάστατο χαρακτήρα που δεν μπορεί να περιγραφεί με την παραπάνω ανάλυση.

Παράδειγμα 8.4-3

Διαγράμματα ειδικής ενέργειας για ορθογωνικό αγωγό με παροχή ίση με $Q=1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ και πλάτη $b=0.50 \text{ m}$ και $b=0.50 \text{ m}$.

- Θεωρείστε τη ροή στον αγωγό του παραδείγματος 8.2-1 η οποία έχει βάθος ίσο $y_1 = 2.0 \text{ m}$ και πλησιάζει στένωση πλάτους ίσου με $b_2 = 0.25 \text{ m}$, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.
- (α) Προσδιορίστε το βάθος ροής στη στένωση.
- (β) Στη συνέχεια αρχίστε να μειώνετε το πλάτος της στένωσης και περιγράψτε τη συμπεριφορά της ροής (δηλ. του y_2) με τη βοήθεια του διαγράμματος ειδικής ενέργειας.

Τομή και κάτοψη της αλλαγής γεωμετρίας (στένωσης) του αγωγού του παραδείγματος 8.4-3

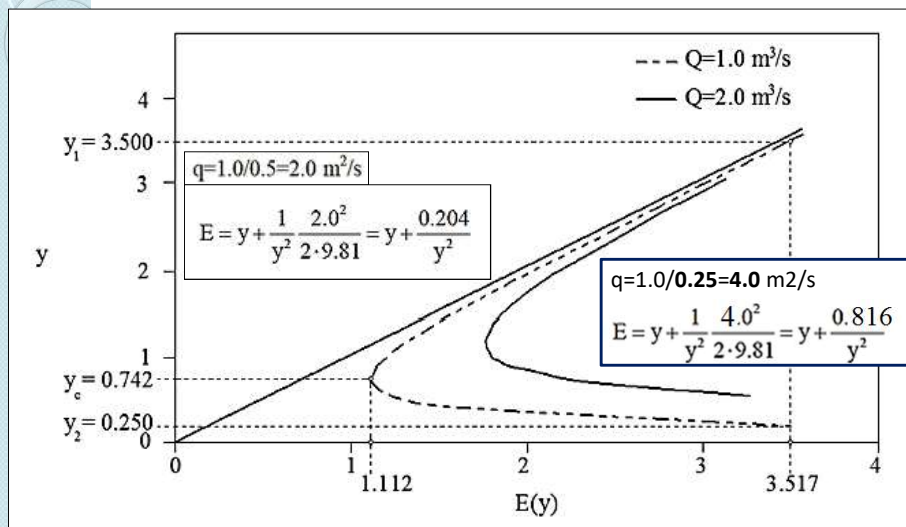


ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

25

Διάγραμμα ειδικής ενέργειας για $q=2.0 \text{ m}^2/\text{s}$ και $q=4.0 \text{ m}^2/\text{s}$



ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

26

Λύση

- Ειδική ενέργεια στη θέση 1 (βλ. σχήμα)

$$E_1 = y_1 + \frac{0.204}{y_1^2} = 2.00 + \frac{0.204}{2.00^2} = 2.051 \text{ m}$$

- $\Rightarrow E_2 = 2.051 \text{ m}$

$$E_2 = y + \frac{1}{y^2} \frac{(1.0/0.25)^2}{2 \cdot 9.81} = y + \frac{0.815}{y^2}$$

$$\Rightarrow E_2 = y_2 + \frac{0.815}{y_2^2} = 0.811 + \frac{0.815}{0.811^2} = 2.051 \text{ m} = E_1$$

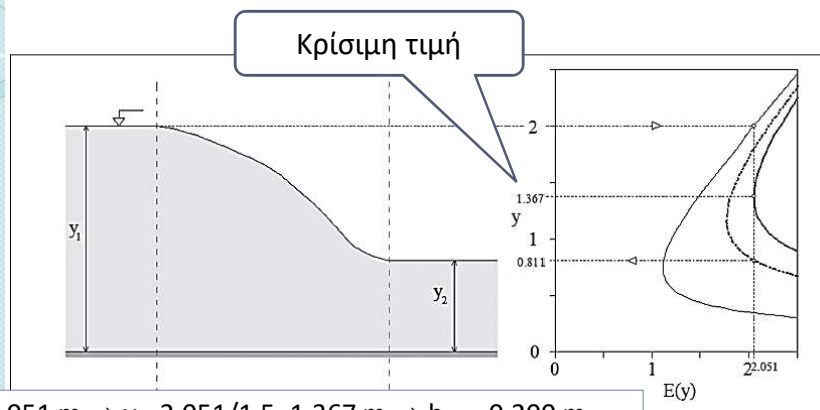
- Με δοκιμές: $y_2 = 0.811 \text{ m}$ (βλ. σχήμα επόμενης διαφάνειας)

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

27

Διάγραμμα ειδικής ενέργειας



$$E_{\min} = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{\beta_{\min}^2 g}} \Rightarrow b_{\min} = \frac{Q}{\sqrt{y_c^3 g}} = \frac{1.0 \text{ m}^3/\text{s}}{\sqrt{(1.367 \text{ m})^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2}} = 0.200 \text{ m}$$

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

28

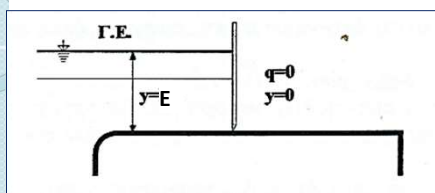
ΡΟΗ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

29

Ρυθμιστικό θυρόφραγμα (δοσμένο E)



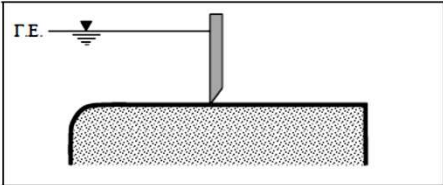
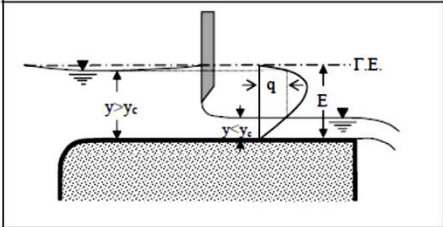
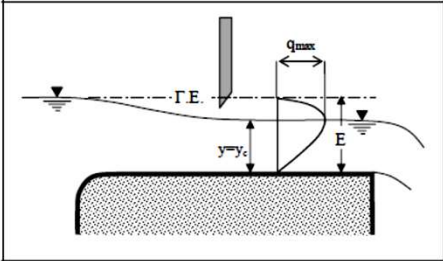
- Έστω οριζόντιος ορθογωνικός αγωγός μικρού μήκους L .
- Καταλήγει σε ελεύθερη πτώση
- Υδροδοτείται από ταμιευτήρα σταθερής στάθμης $y = E$ (δοσμένη E) με παροχή q .
- Για τη ρύθμιση της παροχής χρησιμοποιείται κατακόρυφο θυρόφραγμα.
- Η \max παροχή της διώρυγας παρατηρείται για y_c :

$$E = y_c + D/2 = 1.5 y_c \text{ ή } y_c = (2/3)E$$

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

30

	<p>Περίπτωση (1) $y = 0, q = 0$</p>
	<p>Περίπτωση (2) $y < y_c, q < q_{max}$</p>
	<p>Περίπτωση (3) $y = y_c, q = q_{max}$</p>

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

31

Ρυθμιστικό θυρόφραγμα - Συμπεράσματα

1. Για κλειστό θυρόφραγμα, το βάθος ροής ανάντη και κατόντη είναι $y_1 = E$ και $y_2 = 0$ και η παροχή είναι μηδενική.
2. Για άνοιγμα του θυροφράγματος μικρότερο του y_c , τα βάθη ροής y_1 και y_2 είναι **εναλλακτά** και η διερχόμενη παροχή, για τη δοσμένη ειδική ενέργεια E , είναι μικρότερη της Q_{max} .
3. Για τη δοσμένη τιμή E , η **μέγιστη δυνατή παροχή Q_{max}** παρατηρείται για **$y = y_c$** . Ανυψώνοντας το θυρόφραγμα πιο πάνω από το y_c , το θυρόφραγμα δεν θα ασκεί καμία επίδραση στην παροχή.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

32

Υπολογισμός της μέγιστης παροχής Q_{\max}

$$q=Q/b \rightarrow E = E_{\min} = y_c + \frac{D_c}{2} = \frac{3}{2}y_c = \frac{3}{2}\sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2g}} = \frac{3}{2}\sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$



$$q_{\max} = \sqrt{g} \left(\frac{2}{3} E \right)^{3/2}$$

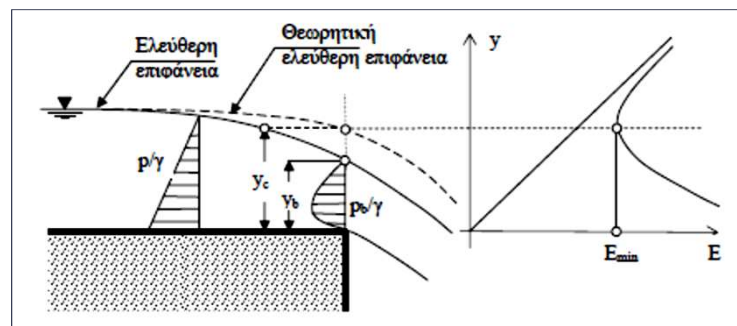
Για οριζόντιο ορθογωνικό αγωγό μεγάλου μήκους -1

- Εάν το **μήκος της διώρυγας** είναι **μεγάλο**, τότε κατά μήκος αυτής υπάρχουν απώλειες ενέργειας.
- Σε περίπτωση που η διώρυγα καταλήγει σε πτώση, η διατομή με **min E** είναι η **διατομή της πτώσης** (E μειώνεται προς τα κατάντη).
- Επομένως το **βάθος ροής στην πτώση θα πρέπει να είναι το κρίσιμο βάθος**.
- Οι προηγούμενοι υπολογισμοί του ύψους ενέργειας βασίζονται στην **παραδοχή της υδροστατικής καθ' ύψος κατανομής της πίεσης**.

Για οριζόντιο ορθογωνικό αγωγό μεγάλου μήκους -2

- Στο σημείο της πτώσης: Η πίεση είναι μηδενική (ατμοσφαιρική) στην άνω και κάτω ΕΕ.
 - Αποτέλεσμα: Έντονη καμπύλωση της ελεύθερης επιφάνειας ακριβώς ανάντη της πτώσης και η μείωση του βάθους ροής.
- Hunter Rouse (πειραματικά):
 - Το βάθος ροής y_b στην πτώση $\rightarrow y_b = 0.715 y_c$
 - Το y_c εμφανίζεται σε απόσταση περί τα $3y_c - 4y_c$ ανάντη της πτώσης.
- Πρακτικά: Στους υπολογισμούς θεωρούμε ότι στο χείλος της πτώσης $y = y_c$.

Για οριζόντιο ορθογωνικό αγωγό μεγάλου μήκους -3



Εφαρμογή: Ροή κάτω από θυρόφραγμα

- Σε ανοικτό αγωγό τοποθετείται θυρόφραγμα με άνοιγμα συγκεκριμένης διάστασης, κάτω από το οποίο διέρχεται η ροή.
- Ζητάμε να προσδιορίσουμε το **βάθος της ροής ανάντη** του θυροφράγματος και τη συμπεριφορά της ροής όταν ανυψώνουμε το θυρόφραγμα.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

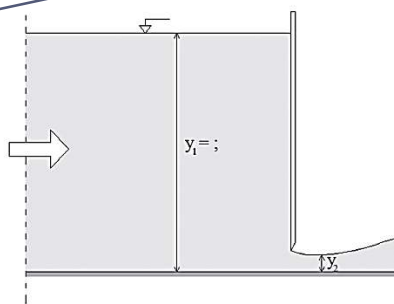
Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

37

Παράδειγμα 8.4-1

Ορθογωνικός αγωγός πλάτους
 $b=0.50\text{ m}$
Παροχή ίση με **$Q=1.0\text{ m}^3/\text{s}$**

- Τοποθετείστε στον αγωγό του παραδείγματος 8.2-1 θυρόφραγμα που δημιουργεί κατάντη, στη διατομή πλήρους συστολής, βάθος ροής περίπου ίσο με **$y_2=0.25\text{ m}$** .
- (α) Προσδιορίστε το βάθος ροής ανάντη του θυροφράγματος (y_1).



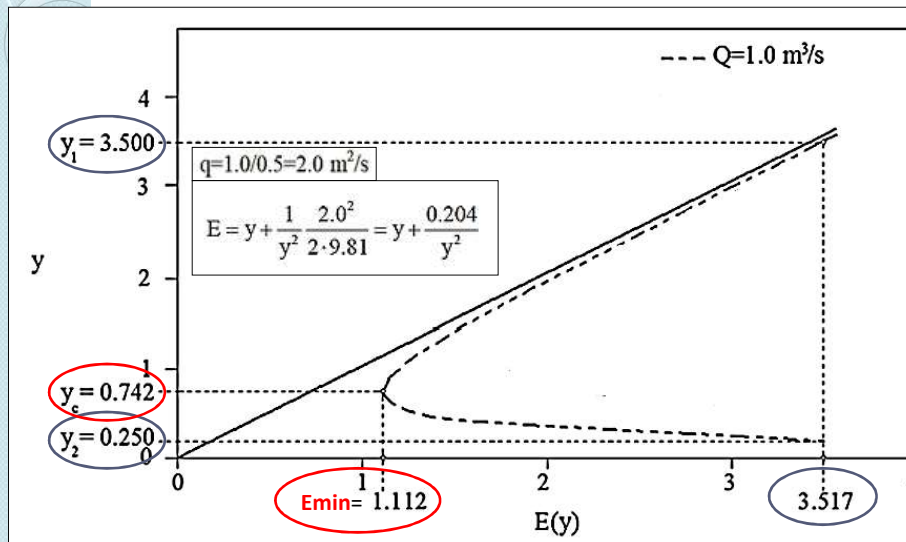
- (β) Στη συνέχεια αρχίστε να ανυψώνετε το θυρόφραγμα (οπότε αυξάνεται το y_2) και περιγράψτε τη συμπεριφορά του y_1 με τη βοήθεια του διαγράμματος ειδικής ενέργειας.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

38

Διάγραμμα ειδικής ενέργειας για $q=2.0 \text{ m}^2/\text{s}$



ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

39

Λύση – Ερώτημα (α)

- Υπολογίζουμε την **ειδική ενέργεια στη θέση 2**

$$E_2 = y_2 + \frac{0.204}{y_2^2} = 0.25 + \frac{0.204}{0.25^2} = 3.512 \text{ m}$$

- Μεταξύ των θέσεων 1 και 2 θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας $\rightarrow E_1 = E_2$
- Με δοκιμές** βρίσκουμε ότι $y_1 = 3.5 \text{ m}$ (και ελέγχουμε το E_1)

$$E_1 = y_1 + \frac{0.204}{y_1^2} = 3.50 + \frac{0.204}{3.50^2} = 3.517 \text{ m} \approx E_2$$

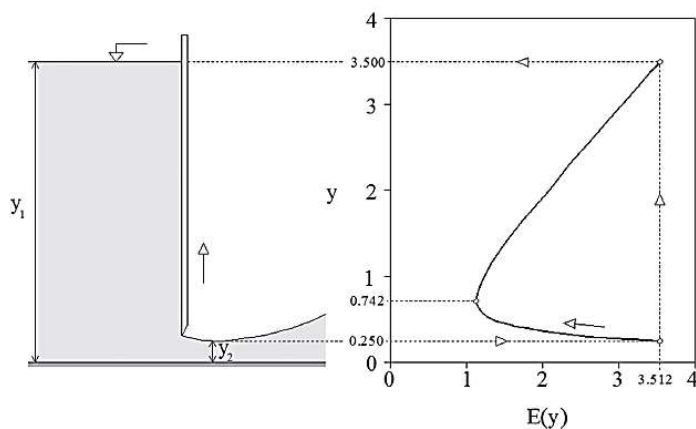
- Τα δυο **εναλλακτά βάθη** φαίνονται στο σχήμα της επομ. διαφάνειας

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

40

Διάγραμμα ειδικής ενέργειας ερωτήματος (α)

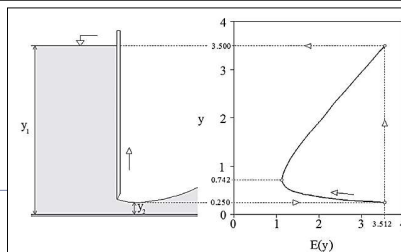


ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

41

Λύση – Ερώτημα (β)



- Ανυψώνουμε το θυρόφραγμα
 → **αυξάνουμε το y_2**
 → μετακινούμαστε στο υπερκρίσιμο τμήμα της καμπύλης προς μεγαλύτερα βάθη
 → **μειώνονται η ειδική ενέργεια και το βάθος y_1** στην υποκρίσιμη περιοχή της καμπύλης.
- Για άνοιγμα του θυροφράγματος ίσο με το **κρίσιμο βάθος**
 → η ροή περνάει οριακά κάτω από το θυρόφραγμα
 → το θυρόφραγμα δεν λειτουργεί σαν θυρόφραγμα
 → τα δυο εναλλακτά βάθη ταυτίζονται **$y_1=y$** και δεν υπάρχει μεταβολή της ΕΕ.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

42

ΡΟΗ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΕΜΠΟΔΙΟ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

43

Αναβαθμός πυθμένα σε ορθογωνικό αγωγό σταθερού πλάτους

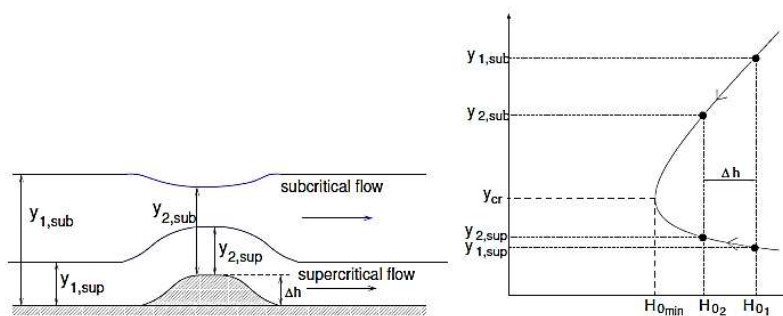


Figure 10.9: Frictionless flow over a bump. Two cases have to be distinguished: supercritical flow and subcritical flow.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

44

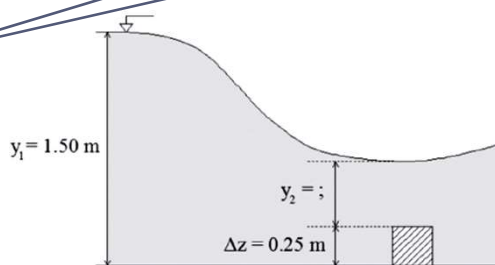
Ροή πάνω από εμπόδιο

- Σε ανοικτό αγωγό τοποθετούμε εμπόδιο συγκεκριμένου ύψους, πάνω από το οποίο περνάει η ροή.
- Ζητάμε να προσδιορίσουμε το βάθος της ροής κατάντη του εμποδίου και τη συμπεριφορά της ροής όταν αυξάνουμε το ύψος του εμποδίου.

Παράδειγμα 8.4-2

Ορθογωνικός αγωγός πλάτους
 $b=0.50 \text{ m}$
 Παροχή ίση με $Q=1.0 \text{ m}^3/\text{s}$

- Θεωρείστε τη ροή στον αγωγό του παραδείγματος 8.2-1 η οποία έχει βάθος ίσο $y_1 = 1.5 \text{ m}$ και πλησιάζει εμπόδιο με ύψος ίσο με $\Delta z = 0.25 \text{ m}$.
- (α) Προσδιορίστε το βάθος ροής πάνω από το εμπόδιο (y_2).



- (β) Στη συνέχεια αρχίστε να αυξάνετε το ύψος του εμποδίου και περιγράψτε τη συμπεριφορά της ροής (δηλ. του y_2) με τη βοήθεια του διαγράμματος ειδικής ενέργειας.

Ερώτημα (α)

- Ειδική ενέργεια στη θέση 1

$$E_1 = y_1 + \frac{0.204}{y_1^2} = 1.50 + \frac{0.204}{1.50^2} = 1.591 \text{ m}$$

- Θεωρούμε ότι μεταξύ των θέσεων 1 και 2 δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας
 - Η (διαθέσιμη) ειδική ενέργεια στη θέση 2 (πάνω από το εμπόδιο) είναι: $E_2 = E_1 - 0.25 = 1.341 \text{ m}$
- Με δοκιμές βρίσκουμε: $y_2 = 0.489 \text{ m}$ (και ελέγχουμε το E2)

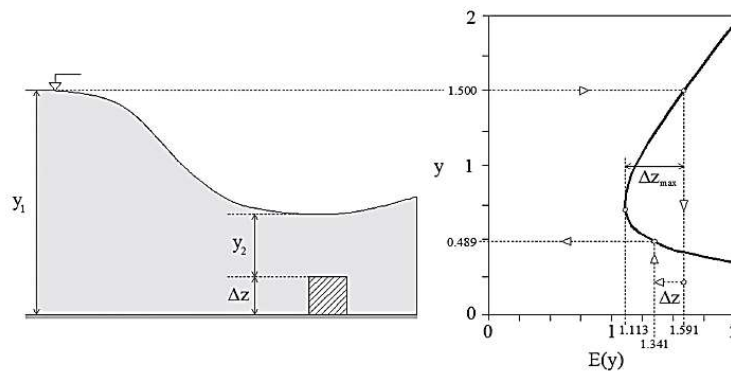
$$E_2 = y_2 + \frac{0.204}{y_2^2} = 0.489 + \frac{0.204}{0.489^2} = 1.342 \text{ m} \approx E_2$$

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

47

Διάγραμμα ειδικής ενέργειας

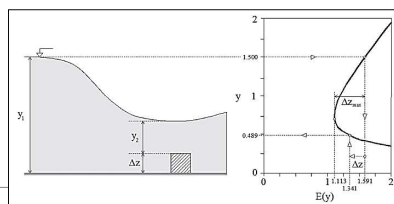


ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

48

Ερώτημα (β)



- Αυξάνουμε το ύψος του εμποδίου
 → Μειώνεται η διαθέσιμη ειδική ενέργεια E_2 στη θέση 2 (πάνω από το εμπόδιο)
 → Μετακινούμαστε στο υπερκρίσιμο τμήμα της καμπύλης προς μικρότερα βάθη y_2
- Η διαθέσιμη ειδική ενέργεια γίνεται ίση με $E_{min}=1.113$ m,
 → Το ύψος του εμποδίου έχει φτάσει τη μέγιστη δυνατή τιμή του $\Delta z_{max}=1.591-1.113=0.478$ m,
 → η ροή περνάει οριακά πάνω από το εμπόδιο με βάθος ροής ίσο με το κρίσιμο $y_c=0.472$ m.
- Για ύψη του εμποδίου μεγαλύτερα του Δz_{max} , η ροή δεν μπορεί να υπερπηδήσει το εμπόδιο.

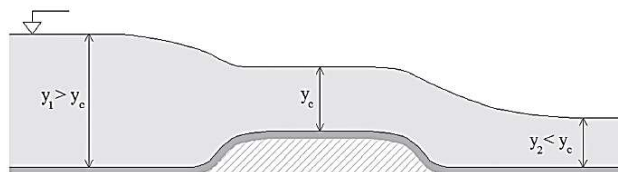
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

49

Ειδική περίπτωση

- **Ροή πάνω από υπερχειλιστή ευρείας στέψης** που μοιάζει με εμπόδιο σταθερού ύψους και μεγάλου μήκους.
- Όταν η ανάντη ροή είναι υποκρίσιμη (π.χ. η κλίση του ανάντη αγωγού είναι υποκρίσιμη) και η κατάντη ροή είναι υπερκρίσιμη (π.χ. η κλίση του κατάντη αγωγού είναι υπερκρίσιμη), τότε πάνω από τον υπερχειλιστή το βάθος ροής είναι ίσο με το κρίσιμο βάθος.



ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Α. ΝΑΝΟΥ-ΓΙΑΝΝΑΡΟΥ

50