

# Πιθανές ερωτήσεις (όχι όλες) με κάποιες λακωνικές απαντήσεις για την προφορική και γραπτή εξέταση

1. Τι είναι ομοιόμορφη ροή (βάθος ροής σταθερό)? Ποια εξίσωση χρησιμοποιείται στην ομοιόμορφη ροή?

(εξ. Manning)

Ο υπολογισμός του ομοιομόρφου βάθους,  $y_0$ , γίνεται με χρήση της εξίσωσης Manning και της εξίσωσης συνέχειας, άρα:

$$Q = (1/n) AR^{2/3} S_0^{1/2} \quad (3.11)$$

Αν είναι γνωστά: η παροχή  $Q$  ( $m^3/s$ ), η γεωμετρία του αγωγού, ο συντελεστής  $n$  και η κατά μήκος κλίση  $S_0$ , τότε:

$$AR^{2/3} = (nQ)/S_0^{1/2} = \text{γνωστό} \quad (3.12)$$

2. Τι εκφράζει ο συντελεστής Manning?

όπου:  $n$  = ο συντελεστής τραχύτητας γνωστός ως συντελεστής Manning, με διαστάσεις  $(s/m^{1/3})$ , ο οποίος αποτελεί έκφραση της τραχύτητας του στερεού ορίου και συνδέεται με το συντελεστή  $f$

3. Έχουμε απώλειες ενέργειας στην ομοιόμορφη ροή?

(Προφανώς ΝΑΙ, και μάλιστα η κλίση πυθμένα = κλίση στάθμης ελευθέρως επιφανείας νερού = κλίση γραμμής ενέργειας για ομοιόμορφη ροή,  
 $h_f = S_f \cdot \Delta x = S_0 \cdot \Delta x = \Delta z$ )

## Μεταβολή της γραμμής ενέργειας σε ομοιόμορφη ροή σε ανοικτούς αγωγούς

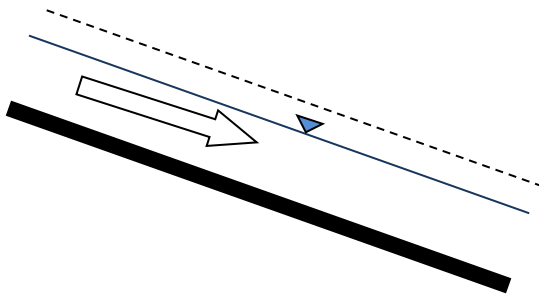
Ομοιόμορφη ροή:

$$\frac{\partial V}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

Παραγώγιση όρων ενέργειας κατά τη διεύθυνση της ροής, x

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{V^2}{2g} + z + y \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{V^2}{2g} \right) + \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial z}{\partial x} = -S_0 < 0$$

Ομοιόμορφη ροή → κλίση γραμμής ενέργειας = κλίση πυθμένα = κλίση  
ελεύθερης επιφάνειας



$H = y + z + \frac{V^2}{2g} = z + E$  (προφανώς η Γ.Ενέργειας είναι πτωτική δαπάνη  
ενέργειας λόγω τριβών)

$y+z$

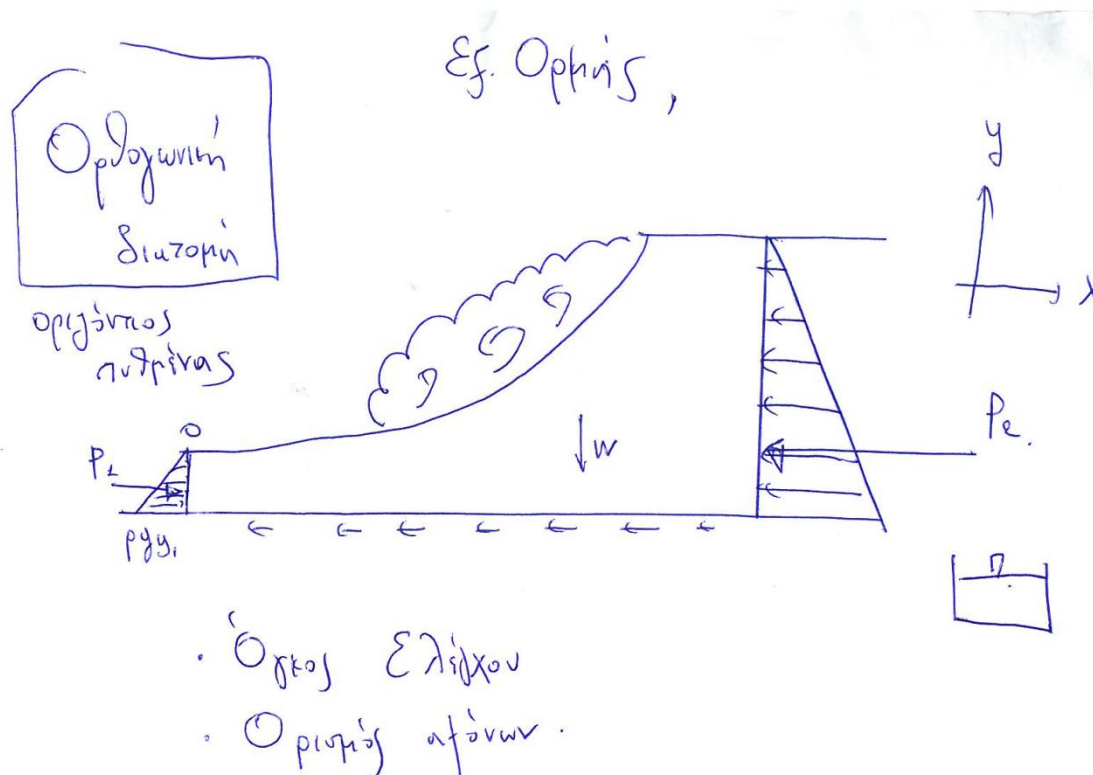
$z$

#### 4. Κάθε ομοιόμορφη ροή είναι και υποκρίσιμη?

Απ. όχι, μπορεί να είναι και υπερκρίσιμη, ή και κρίσιμη (αυτό ειδικά αποφεύγεται) για δεδομένη παροχή εξαρτάται κατ' αρχήν, από την κλίση πυθμένα (για δεδομένο υλικό, εδώ σκυρόδεμα), αν ισχύει  $\gamma_n > \gamma_c$  ροή υποκρίσιμη, διαφορετικά αν  $\gamma_n < \gamma_c$ , ομοιόμορφη υπερκρίσιμη και οριακά αν  $\gamma_n = \gamma_c$  ροή κρίσιμη και ομοιόμορφη). Πάντως επιθυμείτε αν είαι δυνατόν κατά το σχεδιασμό η ροή να είναι υποκρίσιμη

5. Πως αντιμετωπίζω την περίπτωση την περίπτωση που ο συντελεστής Manning είναι διαφορετικός στη διατομή (βλπ. 1 σειρά ασκήσεων, σύνθετη διατομή)
6. Τι είναι υδραυλικό άλμα? Η ενέργεια διατηρείτε σταθερή σε υδραυλικό άλμα?

**ΠΑΝΤΑ συμβαίνει όταν: ροή από υπερκρίσιμη μεταβένει σε υποκρίσιμη, συνοδεύτε από καταστροφή ενέργειας λόγω τυρβώδους (ΣΟΣ).**



7. Ποιός είναι ο ορισμός της ειδικής δύναμης και που χρησιμεύει? πως προέκυψε?

Απ. Είναι ένα τεχνητό μέγεθος, αλλάζει από διατομή σε διατομή και προέκυψε από τη διατήρηση ποσότητας κίνησης:

$$F_{P1} - F_{P2} = \rho Q (V_2 - V_1)$$

$$\sum F_x = P_1 - P_2 = \beta \rho Q (V_2 - V_1) \quad \beta \approx 1 \text{ συν. διαρροών } \rho \text{ μήκους}$$

$$\rho g \bar{y}_1 A_1 - \rho g \bar{y}_2 A_2 = \rho Q \left( \frac{Q}{A_2} - \frac{Q}{A_1} \right)$$

$$\bar{y}_1 A_1 - \bar{y}_2 A_2 = \frac{Q^2}{g A_2} - \frac{Q^2}{g A_1}$$

$$\bar{y}_1 A_1 + \frac{Q^2}{g A_1} = \bar{y}_2 A_2 + \frac{Q^2}{g A_2}$$

$\parallel$   $M_1$                        $\parallel$   $M_2$

$$M = \bar{y} A + \frac{Q^2}{g A}$$

Για υδραυλικό άλμα, οριζοντίου πυθμένα, χωρίς εμπόδιο ισχύει  $M_1=M_2$ , όπου και προκύπτουν τα συζυγή βάθη, πριν και μετά το άλμα

(όχι απομνημόνευση αποδείξεων)

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	$\frac{zh^3}{3} + \frac{Q^2}{gzh^2}$
Κυκλική	$\left[ 3\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) - \sin^3\left(\frac{\theta}{2}\right) - 3\left(\frac{\theta}{2}\right)\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right] \frac{D^3}{24} + \frac{Q^2}{gD^2(\theta - \sin\theta)}$ $(\theta = 2\cos^{-1}\left[1 - 2\left(\frac{h}{D}\right)\right])$

Είς το τετράγωνο τυπογραφικό λάθος

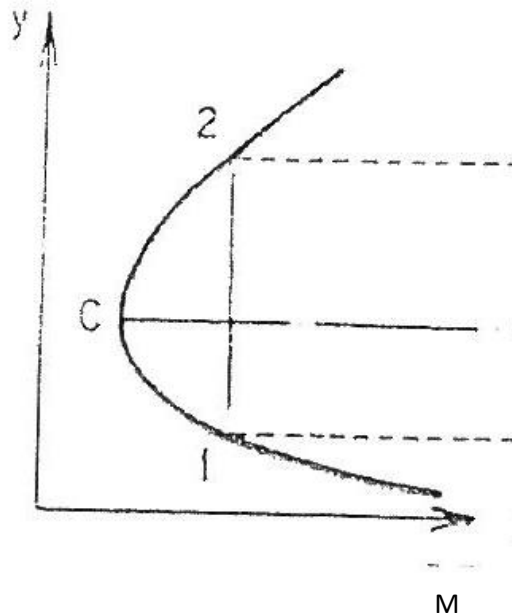
Οριζόντιο άλμα χωρίς εμπόδιο:  
 $M_1 = M_2$  για όλα τα είδη της διατομής

(όχι απομνημόνευση)

$$M = \frac{Q^2}{gA} + A\bar{h}$$

$\bar{h}$  : απόσταση κέντρου βάρους της διατομής από την ελεύθερη επιφάνεια

## 8. Καμπύλη ειδικής δύναμης



Υπάρχουν για την ίδια δύναμη ενέργεια δύο συζυγή βάθη (υδραυλικό άλμα), ελάχιστη ειδική δύναμη στην κρίσιμη ροή.

## 9. Πότε ισχύει η παρακάτω εξίσωση και πως προήλθε?

Μεταξύ της θέσης 2 και της θέσης 3 δημιουργείται υδραυλικό άλμα, επομένως βάσει της εξίσωσης του υδραυλικού άλματος θα ισχύει:

$$\frac{h_3}{h_2} = \frac{1}{2} \cdot (-1 + \sqrt{1 + 8Fr_2^2}) = \frac{1}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + 8 \cdot \frac{0.4^2}{9.81 \cdot h_2^3}} \right) \quad (7)$$

(όχι απομνημόνευση)

Απ. Ισχύει στο υδραυλικό άλμα ΜΟΝΟ για ορθογωνική διατομή σε υδραυλικό άλμα και εφόσον έχουμε άγνωστη δαπάνη ενέργειας λόγω τυρβώδους, από τη διατήρηση της ποσότητας κίνησης (ανακατανομή δυνάμεων λόγω πίεσης και ορμής)

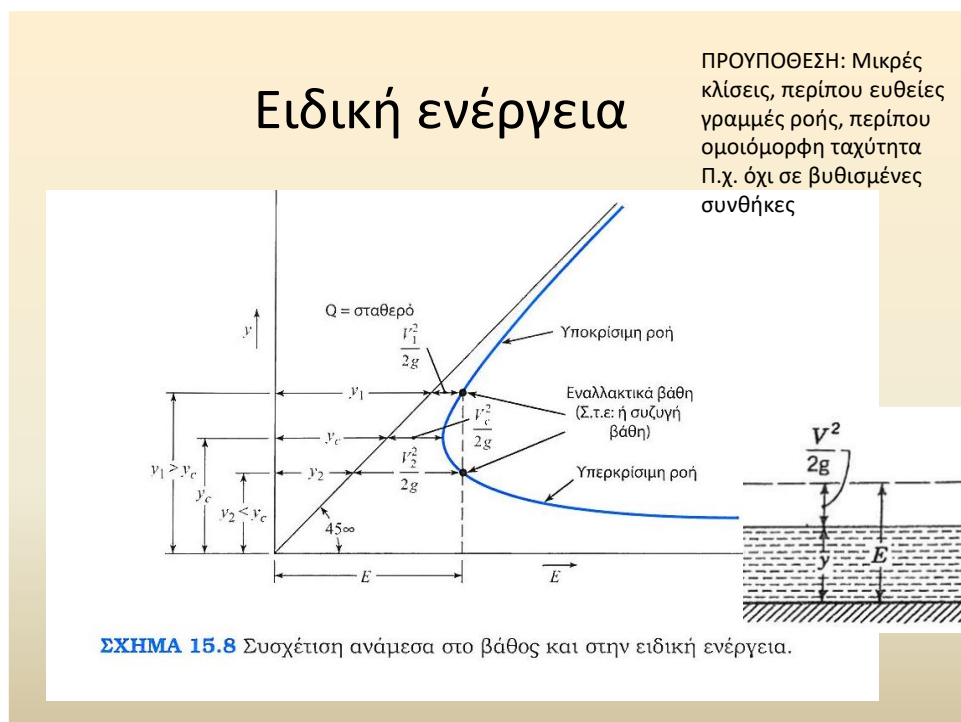
## 10. Τι είναι ειδική ενέργεια και ποια η καμπύλη της?

(17)

### Ειδική ενέργεια

- Ενέργεια ανά μονάδα βάρους του υγρού, σε μια διατομή, με επίπεδο αναφοράς τον πυθμένα του αγωγού ( $z=0$ )

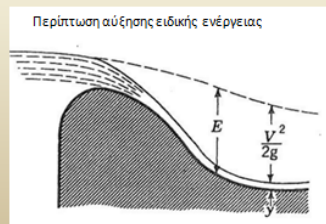
$$E = y + \frac{v^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$



Χαρακτηριστικό της καμπύλης είναι ότι η ελάχιστη τιμή ειδικής ενέργειας είναι στο κρίσιμο βάθος και πως για την ίδια τιμή ειδικής ενέργειας αντιστοιχούν δύο λύσεις, μία με μικρό ύψος στην υποκρίσιμη ροή και μία με μεγαλύτερο ύψος (μεγαλύτερο από το κρίσιμο στην υποκρίσιμη ροή) π.χ. θυρόφραγμα

## Υπάρχει διατήρηση ενέργειας

- Πτωτική λόγω απωλειών,  $H=z+\gamma+V^2/2g$
- Η **ειδική ενέργεια**  $E=\gamma+V^2/2g$  μπορεί να μειώνεται να αυξάνεται ή να παραμένει σταθερή (π.χ. ομοιόμορφη ροή)
- Δεν υπάρχει αρχή διατήρησης ειδικής ενέργειας



11. Η εξ.  $y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$  για το κρίσιμο βάθος ισχύει σε κάθε διατομή? Πως προέκυψε?

Απ. όχι μόνο για ορθογωνική διατομή σε κρίσιμη ροή:

$$\text{Κρ ροή} \Leftrightarrow Fr = 1 \Leftrightarrow \frac{V}{\sqrt{gy}} = \frac{Q/by}{\sqrt{gy}} = \left( q = \frac{Q}{b}, \text{ειδική παροχή για ορθ. διατομή} \right) \frac{q}{\sqrt{gy^3}} = 1$$

12. Η εξίσωση  $Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}}$ ; ισχύει για κάθε διατομή ή μόνο στην ορθογωνική? Τι ισχύει στη γενική περίπτωση?

(μόνο για ορθογωνική), γενικά:

### Αριθμός Froude και έλεγχος κρίσιμης ροής

Ο αριθμός Froude μπορεί να ερμηνευθεί ως ο αδιάστατος αριθμός που υποδηλώνει το λόγο των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις βαρύτητας:

$$F = \frac{\text{δυν. αδράνειας}}{\text{δυν. βαρύτητας}} = \frac{V}{\sqrt{gy_\mu}} = \left( \frac{Q}{\sqrt{g \frac{A^3}{B}}} \right), y_\mu = \frac{A}{B}$$

Για κρίσιμη ροή έχω ελάχιστη ειδική ενέργεια

13. Σε βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή ισχύει ότι είτε για ήπια, ή για κρίσιμη, είτε για απότομη κλίση όταν τα (πραγματικό) βάθη ροής είναι μεταξύ του



**κρίσιμου βάθους και του βάθους ομοιόμορφης ροής θα έχουμε άλλοτε πτώση άλλοτε άνοδο της στάθμης του νερού?**

(οχι θα έχω μόνο πτώση, καμπύλες M2 ή S2 ή C2)

**14. Υπάρχει αρχή διατήρησης της ειδικής ενέργειας?**

(όχι, μόνο αρχή διατήρησης της ενέργειας, ενώ:  $H=E+z$ )

**15. Σε ομοιόμορφη ροή η τιμή της ειδικής ενέργειας παραμένει σταθερή? ΝΑΙ, σε ομοιόμορφη ροή βάθος ροής και ταχύτητα είναι σταθερά.**

**16. Οι αγωγοί αποχέτευσης τι μορφή έχουν και αν λειτουργούν ως ανοικτοί ή κλειστοί αγωγοί, τι θεωρήσατε για την επίλυση τους?**

(Απ. για συνήθεις τιμές κυκλικοί (όχι μεγάλες παροχές) και λειτουργούν στην επιθημητη περίπτωση και κατά πλειοψηφία ως ανοικτοί αγωγοί. Για την επίλυση τους θεωρήθηκε ομοιόμορφη ροή και στηρίχθηκε σε νομογράφημα που συμπυκνώνει την ανάλυση κατά Manning)

**17. Στις αποχετεύσεις, στις ασκήσεις που επιλύθηκαν μπορεί να θεωρηθεί πλήρης διατομή  $Q_0$ ?**

(Απ. Το μέγεθος  $Q_0$  έχει μόνο βοηθητική σημασία για τα νομογραφήματα και τον υπολογισμό της διαμέτρου. Με βάση τις περιοριστικές διατάξεις ο αγωγός δεν θα είναι ποτέ "γεμάτος" ενώ υπάρχουν μέγιστα ποσοστά πλήρωσης ανάλογα με το είδος του δικτύου, την παλαιότητα του και τη διάμετρο (π,χ, για όμβρια  $\gamma/D \leq 0.7$ )

**18. Ποια είναι η χρησιμότητα του εκχειλιστή πλατειάς στέψεως και ποια η βασική θεώρηση του?**

(μέτρηση παροχής, θεώρηση ότι σε μία περιοχή του εκχειλιστή θα έχω συνθήκες κρίσιμης ροής, ισχύει για ένα εύρος παροχής)

**19. Το κρίσιμο βάθος εξαρτάται από το συντελεστή Manning? Η κλίση ώστε να έχω ομοιόμορφη ροή με κρίσιμο βάθος από ποιους παράγοντες εξαρτάται?**

(κρίσιμο βάθος,  $Fr = \frac{Q}{\sqrt{g \frac{A^3}{B}}}$ , εξαρτάται μόνο από την παροχή και τα

γεωμετρικά στοιχεία διατομής, το άλλο ερώτημα αφήνεται προς κρίση των φοιτητών).

## 20. Πότε η ροή είναι βαθμιαία μεταβαλλόμενη?

όταν το βάθος ροής μεταβάλλεται βαθμιαία (βραδέως) κατά τον άξονα της ροής:

- $|dy/dx| < 1$  (Δημητρίου, 1988)
- Υδροστατική διανομή πιέσεων, αμελητέες κατακόρυφες κινήσεις
- Ισχύς της εξίσωσης του Manning για τη διατμητική τάση στερεού ορίου με βάση όμως την κλίση της γραμμής ενέργειας
- Σχόλιο: Στη BMP η κλίση πυθμένα, στάθμης ελεύθερης επιφανείας αλλά και γραμμής ενέργειας δε συμπίπτουν.

## 21. Πως επιλέγεται το είδος της καμπύλης σε BMP?

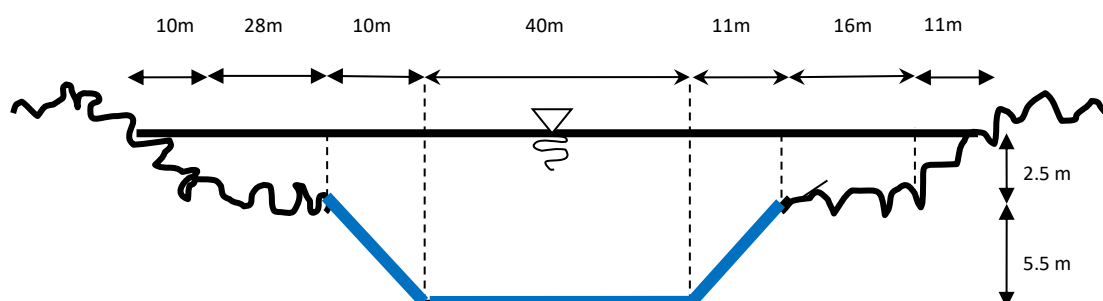
- Πρώτα τσεκάρω την κλίση. Αν είχαμε ροή ομοιόμορφη (υπόθεση δεν συμβαίνει πάντα, αποκλειστικά για έλεγχο κλίσης) η ροή θα ήταν υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη ή κρίσιμη? Εξάριση αποτελεί η περίπτωση της οριζόντιας και της αντίστροφης κλίσης που είναι καλό να αποφεύγονται για μεγάλα μήκη
- Αφού προσδιορίσω την καμπύλη (γράμμα) τότε με βάση τις πραγματικές συνθήκες ελέγγω το πραγματικό βάθος ροής με βάση τους πίνακες και αντιστοιχώ τον αριθμό

## 22. Σε ποια αρχή στηρίζεται η επίλυση στη βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή?

Απ. Στη διατήρηση της ενέργειας.

## 23. Ο συντελεστής Manning θα μπορούσε να έχει την τιμή της κύριας κοίτης (τοιχώματα από σκυρόδεμα, $n = 0.014 \text{ s/m}^{1/3}$ ) σε μία πλημμυρική κοίτη ή σε ένα φυσικό υδατόρεμα?

- Πλημμύρες σε φυσικά υδατορεύματα: κύρια κοίτη (μπλε γραμμή το περίγραμμα της) δεν επαρκεί για τη διερχόμενη παροχή
- Μεταβλητός συντελεστής  $n$
- Πλημμυρικές κοίτες: μεγάλη τραχύτητα  $n$ , μεγαλύτερο πλάτος, μικρότερο βάθος σε σχέση με την κύρια κοίτη.



### 23. Πότε έχουμε υδραυλικά βέλτιστη διατομή? Σχεδιάζουμε με αυτή?

Μέγιστη υδραυλική ακτίνα  $R$  για δεδομένη επιφάνεια  $A \rightarrow$  Ελάχιστη βρεχόμενη περίμετρος  $P$  ( $R = A/P$ ) για δεδομένη επιφάνεια  $\rightarrow AR^2/3 \Rightarrow \text{MAX}$  • Πρόβλημα ελαχιστοποίησης υπό συνθήκη ισότητας  $\rightarrow$  πολλαπλασιαστής Lagrange

- Έτοιμοι πίνακες

**Πίνακας 4-1: Γεωμετρικά στοιχεία βέλτιστων διατομών**

Διατομή	$b/y_0$	$z$	$E_0$	$\Pi_0$	$R_0$	$B_0$	$y_m$	$Fr_0$
Τραπεζοειδής	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}y_0^2$	$2\sqrt{3}y_0$	$\frac{1}{2}y_0$	$\frac{4}{\sqrt{3}}y_0$	$\frac{3}{4}y_0$	$\sqrt{\frac{12Q^2}{27gy_0^5}}$
Ορθογωνική	2	0	$2y_0^2$	$4y_0$	$\frac{1}{2}y_0$	$2y_0$	$y_0$	$\sqrt{\frac{Q^2}{4gy_0^5}}$
Τριγωνική	--	1	$y_0^2$	$2\sqrt{2}y_0$	$\frac{\sqrt{2}}{4}y_0$	$2y_0$	$\frac{1}{2}y_0$	$\sqrt{\frac{2Q^2}{gy_0^5}}$
Ημικυκλική	--	--	$\frac{\pi}{2}y_0^2$	$\pi y_0$	$\frac{1}{2}y_0$	$2y_0$	$\frac{\pi}{4}y_0$	$\sqrt{\frac{512Q^2}{\pi^3gd^5}}$
Παραβολική	--	--	$\frac{4\sqrt{2}}{3}y_0^2$	$\frac{8\sqrt{2}}{3}y_0$	$\frac{1}{2}y_0$	$2\sqrt{2}y_0$	$\frac{2}{3}y_0$	

Χριστοδούλου και Παπαθανασιάδη,  
2007

- Ανάλυση ομοιόμορφης ροής •

Είναι η οικονομικά βέλτιστη (στην πραγματικότητα) η υδραυλική βέλτιστη διατομή τι κάνουμε στην πράξη?

Η υδραυλική βέλτιστη διατομή αναφέρεται σε σταθερό κόστος και εξασφαλίζει τη μέγιστη διοχετευτικότητα. Επίσης το ελάχιστο υλικό επένδυσης της διώρυγας (Έως όμως το βάθος ροής). • Δεν εξασφαλίζει όμως και την πιο οικονομική διατομή γιατί δεν λαμβάνονται υπόψη οι εκσκαφές (που εξαρτάται από το πλάτος επιφάνειας της διώρυγας στο έδαφος) ενώ προκύπτουν κλίσεις πρανών που οδηγούν σε πιο δαπανηρά υλικά (Δημητρίου, 1995) σε σχέση με τα ίδια τα προϊόντα εκσκαφής

### 24. Τάφρους. Τι ΠΡΟΣΕΧΟΥΜΕ

Σε ανεπένδυτους τάφρους η ταχύτητα πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέγιστη ώστε να μην έχουμε μεταβολή της διατομής.

### 25. Διαμόρφωση καναλιού

Τραπεζοειδής διατομή με επένδυση (συνήθης επιλογή για υποκρισμες ροές)(όμως σε αποχετεύσεις, κυκλικοί αγωγοί)

Κανάλια με επένδυση • Σε πολλά χωμάτινα κανάλια χωρίς επένδυση σε ομοσπονδιακά έργα άρδευσης, οι πλευρικές κλίσεις είναι συνήθως 1,5:1. Ωστόσο, έχουν χρησιμοποιηθεί πλευρικές κλίσεις τόσο απότομες όσο 1:1 όταν το κανάλι διέρχεται από συνεκτικά υλικά. • Σε κανάλια με επένδυση, οι πλευρικές κλίσεις είναι γενικά πιο απότομες (μικρό Z) από ό,τι σε κανάλι χωρίς επένδυση. Εάν το υλικό επένδυσης είναι σκυρόδεμα, οι πλευρικές κλίσεις μεγαλύτερες (πιο απότομες) από 1:1 συνήθως απαιτούν τη χρήση καλουπιών και με πλευρικές κλίσεις μεγαλύτερες από 0,75:1 οι επενδύσεις πρέπει να είναι σχεδιασμένες ώστε να αντέχουν τις ωθήσεις γης. Ορισμένοι τύποι επένδυσης απαιτούν πλευρικές κλίσεις τόσο επίπεδες όσο αυτές που χρησιμοποιούνται για κανάλια χωρίς επένδυση. • Οι πλαϊνές κλίσεις μέσα σε βράχο μπορεί να είναι κάθετες εάν αυτό είναι επιθυμητό. • Για επενδεδυμένα κανάλια ο Chow προτείνει κλίση 1:1,5 p. 158)

