

4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΩΡΥΓΩΝ ΚΑΙ ΤΑΦΡΩΝ

Ορίζεται η υδραυλικώς βέλτιστη διατομή, εργαλείο σχεδιασμού διωρύγων για ομοιόμορφη ροή. Διερευνάται η τραπεζοειδής διατομή και σε περιπτώσεις μερικής βελτιστοποίησης. Παρατίθεται συνοπτικός χρηστικός Πίνακας με τα γεωμετρικά στοιχεία των βασικών βέλτιστων συμμετρικών διατομών. Παρουσιάζονται -εισαγωγικά μόνο- οι μέθοδοι σχεδιασμού τάφρων για ομοιόμορφη ροή.

4.1 Σχεδιασμός διωρύγων για ομοιόμορφη ροή

4.1.1 Γενικά

Οι περισσότερες διώρυγες (εξ' ορισμού **επενδεδυμένες**) ανθίστανται ικανοποιητικά στη διάβρωση. Το ίδιο ισχύει σε περίπτωση σε ανεπένδυτους αγωγούς σε ανθεκτικό σε διάβρωση έδαφος, τους οποίους χειριζόμαστε ως *οιονεί επενδεδυμένες* διώρυγες. Στόχος είναι ο σχεδιασμός με την **πλέον αποτελεσματική** και **οικονομική διατομή**

- Συνήθως ο σχεδιασμός γίνεται για **υποκρίσιμη** ροή.
- Εάν όμως η παροχή οφείλει να μην επηρεάζεται από τις κατάντη συνθήκες (π.χ. υπερχειλιστές ταμιευτήρων), ο σχεδιασμός γίνεται για υπερκρίσιμη ροή!

Οι κυριότεροι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό είναι:

- Το είδος του υλικού επένδυσης: καθορίζει το συντελεστή **n** (βλ. 3.1.2)
- Η ελάχιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα: για την αποφυγή καθίζησης φερτών υλών
- Η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα: για την αποφυγή διάβρωσης της επένδυσης
- Οι κλίσεις πυθμένα και πρανών: περιορισμοί χάραξης, τεχνικοί, και γεωτεχνικοί
- Το ελεύθερο ύψος πάνω από τη στάθμη της υδάτινης επιφάνειας μέχρι τη στάθμη του εδάφους: περιθώριο ασφαλείας

4.1.2 Υδραυλικώς Βέλτιστη Διατομή - Πρόβλημα **Ξ12**

Είναι η διατομή, η οποία έχει την ελάχιστη βρεχόμενη περίμετρο **Π** για δοσμένη επιφάνεια **E**

- Άρα ελαχιστοποιούνται οι τριβές!
- Έχει τη μέγιστη διοχετευτικότητα
- **ΔΕΝ** είναι – οπωσδήποτε - η **οικονομικότερη** (ολικό κόστος κατασκευής) λύση! (Σημ. Κάντε τη σύνδεση με την αντίστοιχη ενεργειακή βελτιστοποίηση, προϋπόθεση - βάση της οικονομικής βελτιστοποίησης στη ροή υπό πίεση).

Η υδραυλικώς βέλτιστη διατομή, η οποία συχνά (κακώς, βλέπε παραπάνω) αποκαλείται βέλτιστη διατομή, υπολογίζεται για βάθος ομοιόμορφης ροής.

- Είναι δεδομένα το **γεωμετρικό σχήμα**, η παροχή **Q**, ο συντελεστής Manning **n** και η κατά μήκος κλίση του πυθμένα **J**
- Προκύπτουν τα **ακριβή γεωμετρικά στοιχεία**, συμπεριλαμβανομένου του ομοιομόρφου βάθους **γ_ο**

Τούτο συνεπάγεται ότι:

- Οιαδήποτε μεταβολή στα δεδομένα καθιστά την υπολογισθείσα διατομή Μη- υδραυλικώς βέλτιστη για τα νέα δεδομένα ☹

- ο Δηλαδή πρέπει να αναζητηθεί εκ νέου η αντίστοιχη υδραυλικώς βέλτιστη διατομή!
- Στην πράξη (εάν προβλεφθεί σε κάποιο πρισματικό αγωγό υδραυλικώς βέλτιστη διατομή) ο υπολογισμός βασίζεται (και η κατασκευή εφαρμόζει...) στην αποκαλούμενη συνήθως παροχή σχεδιασμού
 - ο Για οιαδήποτε διαφορετική παροχή - μεγαλύτερη (πχ. πλημμύρας) ή μικρότερη - η υπολογισθείσα (και κατασκευασθείσα...) διατομή είναι προφανώς Μη- υδραυλικώς βέλτιστη
 - ο Δεν αναζητούμε βεβαίως την αντίστοιχη υδραυλικώς βέλτιστη διατομή ☹
 - ο Υπολογίζουμε τα νέα μεγέθη **y_o , $F(y_o)$** κ.λπ. εξ' αρχής (βλ. **1.2 – T1**), διατηρώντας προφανώς τα ήδη προσδιορισθέντα γεωμετρικά στοιχεία (πχ. κλίση πρανών, πλάτος πυθμένα κ.λπ.)
- Στην πράξη σε συστήματα πρισματικών αγωγών με την ίδια παροχή σχεδιασμού, αλλά με διαφορετικά δεδομένα γεωμετρικού σχήματος, κατά μήκος κλίσης πυθμένα, συντελεστή η, ο σχεδιασμός έχει αναρτίθμητες δυνατότητες – επιλογές:
 - ο Όλες οι διατομές να είναι υδραυλικώς βέλτιστες → συναρμογές μεταξύ εκάστου ζεύγους πρισματικών αγωγών
 - ο Υδραυλική βελτιστοποίηση ενός μόνο πρισματικού αγωγού και διατήρηση κάποιων γεωμετρικών μεγεθών της βέλτιστης διατομής του στους υπολοίπους αγωγούς (πχ. ενιαίο πλάτος στον πυθμένα, αμετάβλητο ομοιόμορφο βάθος κ.λπ.) Προφανώς για τους υπολοίπους αγωγούς διατηρούμε τα δεσμευμένα γεωμετρικά στοιχεία και υπολογίζουμε τα υπόλοιπα μεγέθη εξ' αρχής (βλ. **1.2 – T1**)
 - ο Τα παραπάνω οδηγούν σε προβλήματα προσδιορισμού γεωμετρικών στοιχείων, τα οποία δεν καλύπτονται πάντα από τυποποιημένα προβλήματα, αλλά απαιτούν δημιουργικές παραλλαγές τους

Στον **Πίνακα T2** (βλ. **4.2**) δίνονται τα στοιχεία για τα γεωμετρικά στοιχεία των βέλτιστων βασικών συμμετρικών διατομών.

Ο **Πίνακας T2** είναι **υποσύνολο** του **Πίνακα T1** !

- Από τις (45) και (47) προκύπτει: $y_o = \Omega \cdot C_o^{0,375}$ (62)
 - ο Όπου **Ω** : **σταθερά** συνδεδεμένη με τη **γεωμετρική μορφή** της διατομής
 - ο Το **y_o** υπολογίζεται **απ' ευθείας** και στη συνέχεια το **b** ή **d**

4.1.3 Διερεύνηση υδραυλικώς βέλτιστης τραπεζοειδούς διατομής

- Ορθογώνιο και Τρίγωνο είναι γεωμετρικά σχήματα υποσύνολα του Τραπεζίου
 - ο → βέλτιστο τραπέζιο = το πιο βέλτιστο της γεωμετρικής οικογένειας
 - ο → βέλτιστο ορθογώνιο = μερικώς βέλτιστο τραπέζιο με **$z = 0$**
 - ο → βέλτιστο τρίγωνο = μερικώς βέλτιστο τραπέζιο με **$b = 0$**
- Γενικότερα στην τραπεζοειδή – συμμετρική ή μη συμμετρική – διατομή ΔΕΝ ανατρέχουμε στον Πίνακα T2, εάν κάποιο στοιχείο είναι δεσμευμένο = επιβεβλημένη τιμή = **μερική βελτιστοποίηση**:

- ο **Δεδομένο** σε συμμετρική διατομή **z**

$$\gamma_o = 2^{1/4} \cdot \left(\frac{C_o}{2\sqrt{1+z^2} - z} \right)^{3/8} \quad (63)$$

$$\text{και } b = 2 \left(\sqrt{1+z^2} - z \right) \cdot \gamma_o \quad (64)$$

- ο **Δεδομένα** σε μη συμμετρική διατομή **z₁ ≠ z₂**

$$\gamma_o = 2^{1/4} \cdot \left(\frac{C_o}{\sqrt{1+z_1^2} + \sqrt{1+z_2^2} - 0,5(z_1 + z_2)} \right)^{3/8} \quad (65)$$

$$\text{και } b = \left(\sqrt{1+z_1^2} + \sqrt{1+z_2^2} - (z_1 + z_2) \right) \cdot \gamma_o \quad (66)$$

- ο **Δεδομένο** σε μη συμμετρική διατομή **μόνο z₁ ≠ z₂** (η **z₂** είναι **μεταβλητή**)

$$\text{προκύπτει: } z_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (\text{δηλαδή της πλήρως βέλτιστης!})$$

$$\gamma_o = 2^{1/4} \cdot \left(\frac{C_o}{\sqrt{1+z_1^2} - \frac{z_1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}} \right)^{3/8} \quad (67)$$

$$\text{και } b = \left(\sqrt{1+z_1^2} - z_1 + \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \cdot \gamma_o \quad (68)$$

4.2 Γεωμετρικά στοιχεία βέλτιστων (συμμετρικών) διατομών – T2

	Τραπεζοειδής ημιεξάγωνο με γωνία 60°	Ορθογωνική ημιτετράγωνο	Τριγωνική ημιτετράγωνο με γωνία 90°	Κυκλική ημικύκλιο
Ω	$\left(\frac{4}{\sqrt{27}}\right)^{0,125}$	$0,5^{0,125}$	$8^{0,125}$	$\left(\frac{32}{\pi^3}\right)^{0,125}$
y_{μ} [m]	$\Omega \cdot C_o^{0,375}$	$\Omega \cdot C_o^{0,375}$	$\Omega \cdot C_o^{0,375}$	$\Omega \cdot C_o^{0,375}$
b ή d [m]	$\frac{2}{\sqrt{3}} y_o$	$2 \cdot y_o$	0	$2 \cdot y_o$
z	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0	1	—
E [m ²]	$\sqrt{3} \cdot y_o^2$	$2 \cdot y_o^2$	y_o^2	$\frac{\pi}{2} y_o^2$
Π [m]	$2\sqrt{3} \cdot y_o$	$4 \cdot y_o$	$2\sqrt{2} \cdot y_o$	$\pi \cdot y_o$
R [m]	$0,5 \cdot y_o$	$0,5 \cdot y_o$	$\frac{\sqrt{2}}{4} y_o$	$0,5 \cdot y_o$
B [m]	$\frac{4}{\sqrt{3}} y_o$	$2 \cdot y_o$	$2 \cdot y_o$	$2 \cdot y_o$
y_{μ} [m]	$0,75 \cdot y_o$	y_o	$0,5 \cdot y_o$	$\frac{\pi}{4} \cdot y_o$
$\tilde{y}$ [m]	$\frac{4}{9} y_o$	$0,5 \cdot y_o$	$\frac{1}{3} y_o$	$\frac{4}{3 \cdot \pi} y_o$

4.3 Σχεδιασμός τάφρων για ομοιόμορφη ροή

4.3.1 Γενικά

Ο βασικότερος παράγων κατά το σχεδιασμό τάφρων (εξ' ορισμού **ανεπένδυτων**) είναι η αντοχή του εδάφους σε διάβρωση: ο τύπος του Manning ΔΕΝ είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σε μη ευσταθή διατομή = μη πρισματικό αγωγό.

4.3.2 Μέθοδοι σχεδιασμού

(εισαγωγικά στοιχεία – αναλυτικώς στο μάθημα του 7^{ου} εξαμήνου: <Υδραυλική Ανοικτών Αγωγών και Ποταμών>). Σας αναμένω!..

- Μέθοδος της συρτικής δύναμης (ή διατμητικής τάσης του ορίου)
- Μέθοδος της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας - Πρόβλημα **913**

4.4 Ερωτήσεις κατανόησης και Εφαρμογές υπολογισμού

4.4.1 (μία μόνο απάντηση είναι ορθή)

	Σε έναν επενδεδυμένο πρισματικό αγωγό μεγάλου μήκους η υδραυλικώς βέλτιστη διατομή:
	Έχει τη μέγιστη διοχετευτικότητα
	Υπολογίζεται για βάθος ομοιόμορφης ροής με δεδομένα το γεωμετρικό σχήμα του αγωγού, την παροχή, το συντελεστή Manning και την κατά μήκος κλίση του πυθμένα
	Συνήθως σχεδιάζεται για υποκρίσιμη ροή με ομοιόμορφο βάθος
✓	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Σε έναν επενδεδυμένο τραπεζοειδή πρισματικό αγωγό μεγάλου μήκους η υδραυλικώς βέλτιστη διατομή:
	Υπολογίζεται για το κρίσιμο βάθος ροής με δεδομένα το γεωμετρικό σχήμα του αγωγού, την παροχή και την κατά μήκος κλίση του πυθμένα
✓	Είναι δυνατό να βελτιστοποιηθεί μερικώς με δεδομένη μία κλίση πρανών
	Έχει μικρότερη διοχετευτικότητα από την υδραυλικώς βέλτιστη διατομή ορθογωνικού αγωγού με την ίδια παροχή, συντελεστή Manning και κατά μήκος κλίση του πυθμένα
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Σε συστήματα επενδεδυμένων πρισματικών αγωγών με την ίδια παροχή, συντελεστή Manning, αλλά με διαφορετικές κατά μήκος κλίσεις πυθμένα:
✓	Μορφώνουμε κατά περίπτωση με βάση τις ικανότητες μας ως Μηχανικών
	Μορφώνουμε πάντοτε όλους τους αγωγούς με υδραυλικώς βέλτιστη τραπεζοειδή διατομή
	Μορφώνουμε πάντοτε έναν αγωγό με υδραυλικώς βέλτιστη τραπεζοειδή διατομή και τους υπόλοιπους με μερικώς βέλτιστη τραπεζοειδή διατομή και ενιαίο πλάτος ίσο με αυτό του ως άνω αγωγού
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

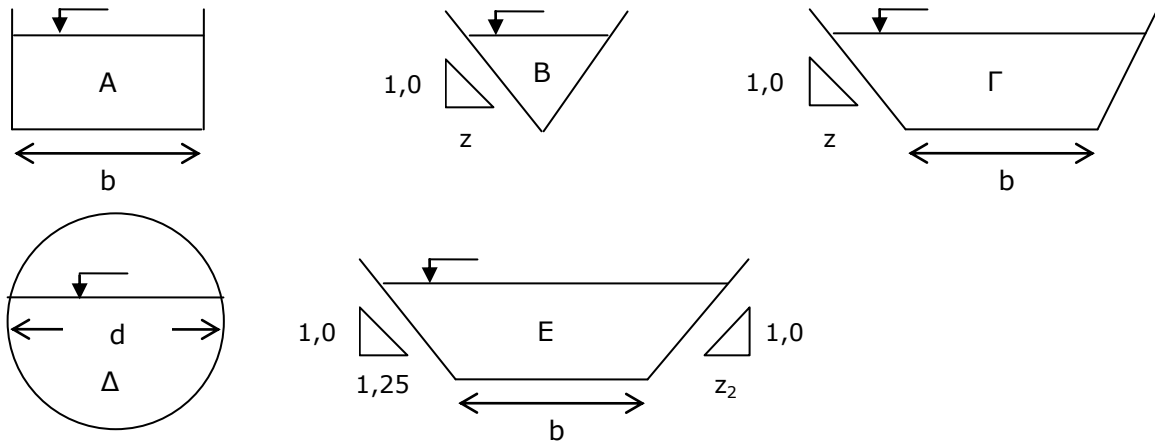
4.4.2 Οι αγωγοί του σχήματος μεταφέρουν παροχή $Q = 8,00 \text{ m}^3/\text{s}$ και έχουν συντελεστή τραχύτητας: $n = 0,016$. Για κατά μήκος κλίση του πυθμένα $J: 0,0005$

α) Να μορφωθούν με υδραυλικώς βέλτιστη διατομή για βάθος ομοιόμορφης ροής

β) Να χαρακτηριστεί η ροή με ομοιόμορφο βάθος ως υποκρίσιμη ή υπερκρίσιμη με τον πιο εύχρηστο τρόπο

γ) Να μορφωθεί η ορθογωνική διατομή Α με ομοιόμορφο βάθος ροής ίσο με το ομοιόμορφο βάθος της βέλτιστης τραπεζοειδούς διατομής Γ

(Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα 312)



$Q \text{ [m}^3/\text{s]}$	n	J	C_o	$C_o^{0,375}$
8,00	0,016	0,0005	5,72433	1,92374

Σημείωση: Ο πιο εύχρηστος τρόπος για να χαρακτηριστεί η ροή <εδώ>, είναι μέσω του αριθμού Froude (βλ. 2.1.1) διότι δεν είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του κρίσιμου βάθους. Βεβαίως εάν ήδη έχει υπολογισθεί το κρίσιμο βάθος ή /και η κρίσιμη κλίση και οι άλλοι δύο τρόποι είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν (βλ. 3.4.3)

A Ορθογωνική διατομή

$y_o \text{ [m]}$	$b \text{ [m]}$	$E_o \text{ [m}^2]$	$V \text{ [m / s]}$	$t_{\mu o} \text{ [m]}$	$F(y_o)$
1,76408	3,52816	6,22395	1,28536	1,76408	0,30898 → υποκρίσιμη

B Τριγωνική διατομή

$y_o \text{ [m]}$	z	$E_o \text{ [m}^2]$	$V \text{ [m / s]}$	$t_{\mu o} \text{ [m]}$	$F(y_o)$
2,49478	1	6,22395	1,28536	1,24739	0,36744 → υποκρίσιμη

Γ Συμμετρική Τραπεζοειδής διατομή

$y_o \text{ [m]}$	$b \text{ [m]}$	z	$E_o \text{ [m}^2]$	$V \text{ [m / s]}$	$t_{\mu o} \text{ [m]}$	$F(y_o)$
1,86185	2,14988	0,57735	6,00411	1,33242	1,39639	0,36000 → υποκρίσιμη

Δ Κυκλική διατομή

$y_o \text{ [m]}$	$d \text{ [m]}$	$E_o \text{ [m}^2]$	$V \text{ [m / s]}$	$t_{\mu o} \text{ [m]}$	$F(y_o)$
1,93134	3,86269	5,85920	1,36537	1,51687	0,35395 → υποκρίσιμη

Ε Μη - συμμετρική Τραπεζοειδής διατομή **z₁ = 1,25** (βλ. 4.1.3)

y_o [m]	b [m]	z	E _o [m ²]	V [m / s]	B [m]	t _{μo} [m]	F(y_o)
1,81944	1,68868	1,25⁰⁰⁰ 0,57⁷³⁵	6,09705	1,31211	5,01343	1,21614	0,37⁹⁸⁸ υποκρίσιμη

Ορθογωνική διατομή με δεδομένο ομοιόμορφο βάθος (παραλλαγή Προβλήματος **35**)

Q [m ³ /s]	n	J	y_o [m]	C_o
8,00	0,016	0,0005	1,86185	5,72433

Η χρήση του Πίνακα **Π4** δεν είναι εφικτή, διότι το **b** άρα και το **Φ_o** είναι άγνωστα

- Επιλέγουμε μια αρχική τιμή του **b**: **b₁** > πλάτος τραπεζοειδούς (πχ. διπλάσια)

- Υπολογίζουμε το $\Phi_{o1} = \frac{C_o}{b_1^{8/3}}$ (49)

- Στον πίνακα **Π4** στη στήλη με **z = 0** εντοπίζουμε το **Φ_{o1}**

- Στην 1η αμέσως αριστερά του Πίνακα στήλη διαβάζουμε το **y_{o1}/b₁** (ή το **μ.ο.** ανάμεσα σε δύο γραμμές, ΔΕΝ παιδευόμαστε με ακριβή παρεμβολή!)

- Υπολογίζουμε το **y_{o1}**

- Ελέγχουμε τη σύγκλιση $\frac{|y_{o1} - y_o|}{y_o} \leq 3\%$

- Διορθώνουμε $b_2 = \left[1 + \left(\frac{y_{o1} - y_o}{y_o} \right) \right] \cdot b_1$

- Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 2 ως 5

- Επανελέγχουμε τη σύγκλιση $\frac{|y_{o2} - y_o|}{y_o} \leq 3\%$

- Είναι ίσως αναγκαία 3^η περιστροφή

b_i [m]	Φ_{oi}	y_{oi}/b_i	y_i [m]	δy [%].	b [m]
4,29976	0,11710	0,340	1,46192	-21,48	
3,37616	0,22315	0,550	1,85689	-0,26 ✓	3,37

5 ΒΑΘΜΙΑΙΩΣ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΡΟΗ

Ορίζεται η βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή (BMP), παρουσιάζονται οι παραδοχές ανάλυσής της και αναλύεται στην περίπτωση ορθογωνικού αγωγού μεγάλου πλάτους. Ταξινομούνται οι μορφές της ελεύθερης επιφάνειας και παρατίθεται συνοπτικός χρηστικός Πίνακας με τις τυπικές μορφές και χαρακτηριστικά των κατατομών (καμπυλών). Παρουσιάζεται η ποιοτική χάραξη κατατομών κατά μήκος αγωγού, τα βασικά κριτήρια επισκόπησης και εντοπισμού των διατομών ελέγχου και χαρακτηριστικές – χρηστικές περιπτώσεις ανά ζεύγη αγωγών με διαφορετική κλίση πυθμένα. Αναλύεται ιδιαιτέρως η περίπτωση εμφάνισης υδραυλικού άλματος (ταχέως μεταβαλλόμενη ροή) σε αλλαγή της κλίσης του πυθμένα. Παρουσιάζονται - εισαγωγικά μόνο - οι μέθοδοι υπολογισμού για την επακριβή χάραξη κατατομών (καμπυλών) κατά μήκος αγωγού σε BMP.

5.1 Γενικά – Παραδοχές

5.1.1 Γενικά

- Όταν το βάθος ροής διατομής **t** μεταβάλλεται από θέσεως εις θέση κατά μήκος του αγωγού η ροή καλείται **ανομοιόμορφη ή μεταβαλλόμενη**
- Εφόσον η μεταβολή είναι μικρή σε σχέση με το μήκος – απόσταση των θέσεων - η ροή καλείται **βαθμιαίως μεταβαλλόμενη** (BMP)
 - Η καμπύλωση της ελεύθερης επιφάνειας είναι μικρή
 - Η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας είναι μικρή
 - Οι γραμμές ροής είναι – με ικανή προσέγγιση - περίπου παράλληλες

5.1.2 Παραδοχές (βασικές)

- Η ροή θεωρείται πρακτικώς παράλληλη (λόγω της μικρής καμπύλωσης)
 - → πίεση υδροστατικώς κατανεμημένη σε κάθε διατομή
 - → είναι δυνατή η αξιοποίηση της μονοδιάστατης ανάλυσης
- Η ροή σε κάθε διατομή συμπεριφέρεται – όσον αφορά στις τριβές – όπως η αντίστοιχη ομοιόμορφη
 - → χρησιμοποιούμε την ίδια σχέση απωλειών ενέργειας με την ομοιόμορφη ροή (πχ. Chezy, Manning)
 - → το μέγεθος και η κατανομή των διατμητικών τάσεων δεν επηρεάζονται από την ανομοιομορφία της ροής

5.1.3 Παραδοχές (δευτερεύουσες)

- Κατά μήκος κλίση πυθμένα μικρή → **t ≈ y** (βλ. 1.1.1)
- Η διανομή ταχυτήτων σε κάθε διατομή είναι όμοια
 - → ο συντελεστής συνόρθωσης κινητικής ενέργειας α είναι σταθερός κατά μήκος του αγωγού
 - → επιπλέον δε για τυρβώδη ροή και απλή γεωμετρία του αγωγού ίσος με 1
- Ο συντελεστής τραχύτητας είναι ανεξάρτητος του βάθους ροής και σταθερός κατά μήκος του αγωγού

5.2 Ανάλυση σε ορθογωνικό αγωγό μεγάλου πλάτους

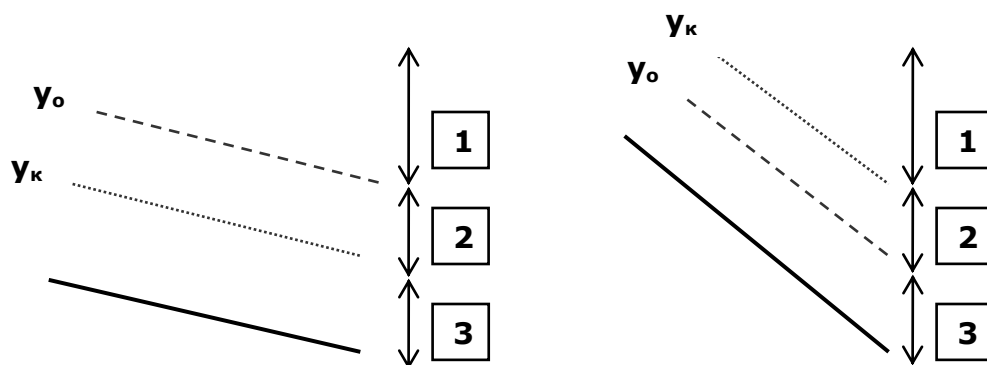
5.2.1 Διαφορική εξίσωση της ελεύθερης επιφάνειας (= του πραγματικού βάθους y)

$$\frac{dy}{dx} = J \cdot \left[\frac{1 - \left(\frac{y_o}{y} \right)^3}{1 - \left(\frac{y_k}{y} \right)^3} \right] \quad (69)$$

- Η σχέση (69) βασίζεται στον τύπο του Chezy, αλλά η μορφή η οποία προκύπτει από τον τύπο του Manning είναι *ποιοτικά* ίδια
- Τα βασικά συμπεράσματα της ανάλυσης η οποία ακολουθεί, ισχύουν ποιοτικά για όλες τις γεωμετρίες διατομών, στις οποίες τα γεωμετρικά στοιχεία εκφράζονται ως μονοτονικώς αύξουσες συναρτήσεις του y : δηλαδή για όλη την οικογένεια του τραπέζιου, ακόμη και μικρού πλάτους
- Βασικά συμπεράσματα:
 - Για $dy/dx > 0 \rightarrow$ **αύξηση** του βάθους y κατάντη: **καμπύλες υπερύψωσης**
 - Για $dy/dx < 0 \rightarrow$ **μείωση** του βάθους y κατάντη: **καμπύλες κατάπτωσης**
 - Για $dy/dx = 0 \rightarrow$ **αμετάβλητο** βάθος y κατάντη: **ροή ομοιόμορφη !**

5.2.2 Μορφές – Κατατομές (προφίλ) της ελεύθερης επιφάνειας (του βάθους y)

• Αναγνώριση υποχώρων

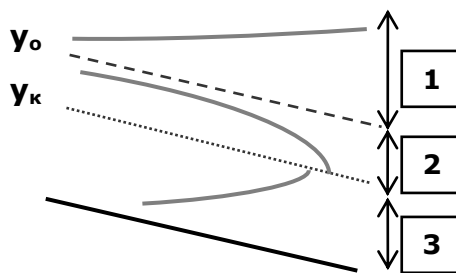


• Ταξινόμηση - χαρακτηρισμός κλίσεων - ΟΧΙ ροής ☹

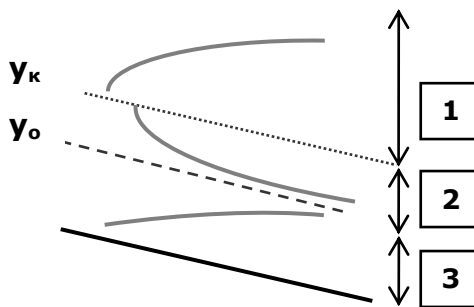
- $J > 0 \rightarrow$ κλίση θετική
 - $J < J_k \rightarrow$ **κλίση υποκρίσιμη** $\rightarrow y_o > y_k$: καμπύλες **M**
 - $J = J_k \rightarrow$ **κλίση κρίσιμη** $\rightarrow y_o = y_k$: καμπύλες **C**
 - $J > J_k \rightarrow$ **κλίση υπερκρίσιμη** $\rightarrow y_o < y_k$: καμπύλες **S**
- $J = 0 \rightarrow$ πυθμένας οριζόντιος καμπύλες **H**
- $J < 0 \rightarrow$ κλίση ανάστροφος (αρνητική) καμπύλες **A**

- **Συμβολισμός κατατομών** (ή καμπυλών ή *προφίλ*) - **ΟΧΙ** ροής ☒
 - Κάθε κατατομή (καμπύλη) συμβολίζεται με:
 - Το **γράμμα** της κλίσης (S, C, M, H, A)
 - Τον **αριθμό** του υποχώρου όπου ανήκει (1, 2, 3)
- **Σημαντικές επισημάνσεις**
 - Ο παραπάνω χαρακτηρισμός της κλίσης του πυθμένα (ως προς την κρισιμότητα) αφορά στη ροή με ομοιομορφο βάθος y_0 (βλ. **3.2** και **3.3**)
 - Σε κάθε διατομή η **ροή χαρακτηρίζεται** (ως προς την κρισιμότητα) **από** τον **υποχώρο**, όπου **ανήκει** το **πραγματικό βάθος ροής y** στη διατομή αυτή και **ΟΧΙ** από την **αντίστοιχη κλίση** του πυθμένα ☒ (βλ. 1.1.3)
 - Άρα είναι δυνατό να εμφανίζεται (βλ. 5.3.1 και 5.3.2):
 - **Υποκρίσιμη** (με βάση το πραγματικό βάθος) **ροή** σε **υπερκρίσιμη** (με βάση το ομοιόμορφο βάθος) **κλίση** ☒*
 - **Υπερκρίσιμη** (με βάση το πραγματικό βάθος) **ροή** σε **υποκρίσιμη** (με βάση το ομοιόμορφο βάθος) **κλίση** ☒*
 - **Υποκρίσιμη** ή **υπερκρίσιμη** (με βάση το πραγματικό βάθος) **ροή** σε **κρίσιμη** (με βάση το ομοιόμορφο βάθος) **κλίση** ☒*
 - Όλες οι καμπύλες έχουν τουλάχιστον ένα όριο ή δύο όρια = τα όρια του **υποχώρου**, όπου ανήκουν.
Δεν είναι δυνατό να **επεκταθούν** σε άλλο υποχώρο ☒
- **Μορφή κατατομών** (ή καμπυλών ή *προφίλ*)
 - Με βάση την εξίσωση (69) αναλύονται όλες οι περιπτώσεις κατατομών και προσδιορίζονται:
 - Τα κοίλα /κυρτά
 - Η ανύψωση / κατάπτωση
 - Τα όρια και η μορφή της καμπύλης όταν τείνει σε αυτά
 - Οι τυπικές μορφές και τα χαρακτηριστικά των κατατομών παρατίθενται στον Πίνακα **T3**, ο οποίος ακολουθεί (βλ. **5.3**)

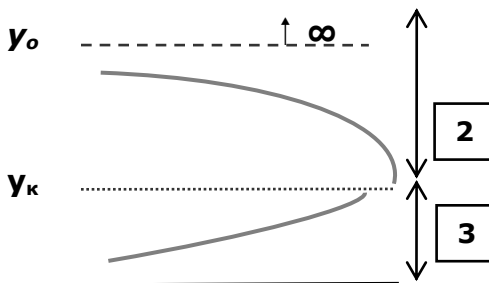
5.3 Τυπικές μορφές και χαρακτηριστικά κατατομών – T3



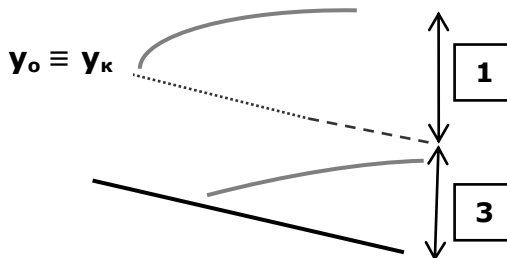
	Υποκρίσιμη κλίση	Όρια ανάντη / κατόντη
M1	υπερύψωση υποκρίσιμη	ασυμπτωτική στο y_o ασυμπτωτικά οριζόντια
M2	κατάπτωση υποκρίσιμη	ασυμπτωτική στο y_o κάθετη στο y_k
M3	υπερύψωση υπερκρίσιμη ☼	κάθετη στο y_k



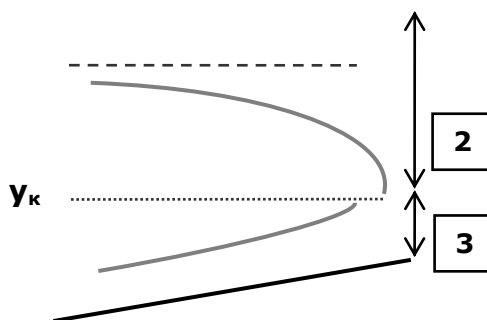
	Υπερκρίσιμη κλίση	Όρια ανάντη / κατόντη
S1	υπερύψωση υποκρίσιμη ☼	κάθετη στο y_k ασυμπτωτικά οριζόντια
S2	κατάπτωση υπερκρίσιμη	κάθετη στο y_k ασυμπτωτική στο y_o
S3	υπερύψωση υπερκρίσιμη	ασυμπτωτική στο y_o



	Μηδενική κλίση	Όρια ανάντη / κατόντη
H±	υποχώρος 1 εξαφανίζεται	
H2	κατάπτωση υποκρίσιμη	ασυμπτωτικά οριζόντια κάθετη στο y_k
H3	υπερύψωση υπερκρίσιμη ☼	κάθετη στο y_k



	Κρίσιμη κλίση	Όρια ανάντη / κατόντη
C1	υπερύψωση υποκρίσιμη ☼	κάθετη στο y_k ασυμπτωτικά οριζόντια
€2	υποχώρος 2 εξαφανίζεται	
C3	υπερύψωση υπερκρίσιμη ☼	ασυμπτωτική στο y_o



	Ανάστροφη κλίση	Όρια ανάντη / κατόντη
A±	υποχώρος 1 εξαφανίζεται	
A2	κατάπτωση υποκρίσιμη	ασυμπτωτικά οριζόντια κάθετη στο y_k
A3	υπερύψωση υπερκρίσιμη ☼	κάθετη στο y_k

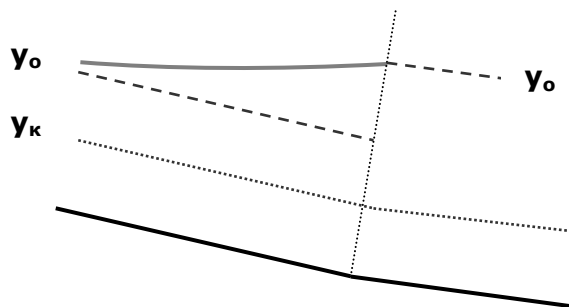
5.4 Ποιοτική χάραξη κατατομών κατά μήκος αγωγού

5.4.1 Βασικά κριτήρια επισκόπησης και εντοπισμός διατομών ελέγχου

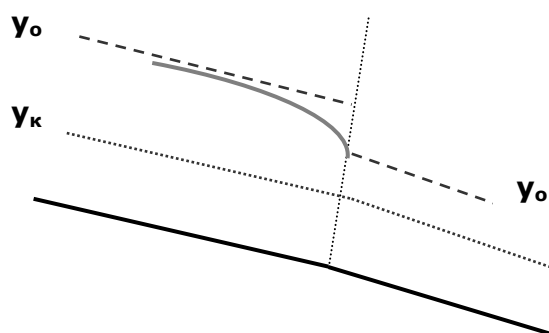
- Η **υποκρίσιμη** ροή **ελέγχεται από** τα **κατάντη**
 - ο *Κοιτάει μπροστά...*
 - ο ... προσαρμόζεται στο κατάντη βάθος ροής...
 - ο ... με την κατάλληλη καμπύλη (ή τμήμα καμπύλης) ανύψωσης ή κατάπτωσης
- Η **υπερκρίσιμη** ροή **ελέγχεται από** τα **ανάντη**
 - ο *Κοιτάει πίσω...*
 - ο ... προσαρμόζεται στο ανάντη βάθος ροής...
 - ο ... με την κατάλληλη καμπύλη (ή τμήμα καμπύλης) ανύψωσης ή κατάπτωσης
- Η **κρίσιμη** ροή **ελέγχεται κατά περίπτωση !**
 - ο *Κοιτάει μπροστά και πίσω...*
 - ο Εάν η άλλη ροή έχει προτεραιότητα προσαρμογής, έχει καλώς...
 - ο Εάν όχι, αναλαμβάνει πρωτοβουλία...
 - ο ... και προσαρμόζεται στο ανάντη ή το κατάντη βάθος ροής...
 - ο ... με την κατάλληλη καμπύλη (ή τμήμα καμπύλης) ανύψωσης ή κατάπτωσης

5.4.2 Επισκόπηση ανά ζεύγη κλίσεων (σε γόνατα) αγωγών μεγάλου μήκους

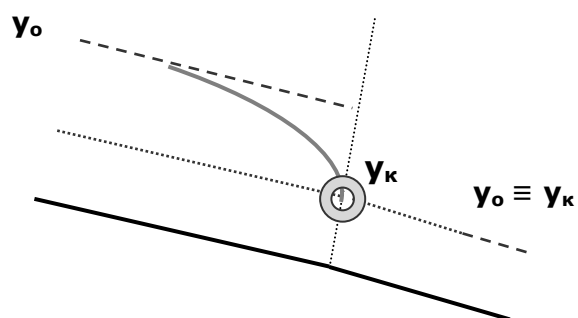
- Σε όλα τα παραδείγματα οι αγωγοί έχουν τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά και συντελεστή τραχύτητας. Το κρίσιμο βάθος ροής y_k και στους δύο αγωγούς είναι κοινό και στους δύο αγωγούς (2.2.1). Εκτός από την επισκόπηση ανά ζεύγη εξετάζεται και η περίπτωση θυροφράγματος (2.4.4)
- Θα θεωρήσουμε στο πρώτο παράδειγμα την κλίση του ανάντη αγωγού [1] υποκρίσιμη και σταθερή και θα παρακολουθήσουμε τι συμβαίνει όταν η κλίση του κατάντη αγωγού [2] μεταβάλλεται από αρχικώς ήπια σε όλο και πιο απότομη:
 - ο Το ανάντη βάθος ροής του αγωγού [1] είναι – τείνει στο y_o
 - ο Το **κατάντη** βάθος ροής του αγωγού [1] προσαρμόζεται με βάση το ανάντη βάθος του αγωγού [2], με κάτω **όριο** το y_k
 - ο Το ομοιόμορφο βάθος ροής y_o του αγωγού [2] μειώνεται σταδιακώς στο παράδειγμα, διότι η κλίση αυξάνει (βλ. 3.2.1 και 3.3.1)
- Θα θεωρήσουμε στο δεύτερο παράδειγμα την κλίση του ανάντη αγωγού [1] υπερκρίσιμη και σταθερή και θα παρακολουθήσουμε τι συμβαίνει όταν η κλίση του κατάντη αγωγού [2] μεταβάλλεται από αρχικώς απότομη σε όλο και πιο ήπια:
 - ο Το ανάντη βάθος ροής του αγωγού [1] είναι – τείνει στο y_o
 - ο Το **ανάντη** βάθος ροής του αγωγού [2] προσαρμόζεται με βάση το κατάντη βάθος του αγωγού [1] με άνω **όριο** το y_k
 - ο Το ομοιόμορφο βάθος ροής y_o του αγωγού [2] αυξάνει σταδιακώς στο παράδειγμα, διότι η κλίση μειώνεται (βλ. 3.2.1 και 3.3.1)
- Θα θεωρήσουμε στο τρίτο παράδειγμα την κλίση του ανάντη αγωγού [1] κρίσιμη και σταθερή και θα παρακολουθήσουμε τι συμβαίνει όταν η κλίση του κατάντη αγωγού [2] είναι υπερκρίσιμη ή υποκρίσιμη:
 - ο Το ανάντη βάθος ροής του αγωγού [1] είναι – τείνει στο $y_o \equiv y_k$
 - ο Το **κατάντη** βάθος ροής του αγωγού [1] προσαρμόζεται ή όχι με βάση το κατάντη βάθος του αγωγού [2]



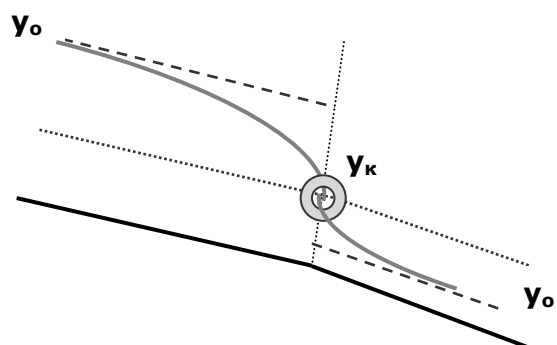
Περίπτωση - Π1		
[1]	[2]	
Υπο κρίσιμη	Υποκρίσιμη κλίση πιο ήπια μεγαλύτερο y_o	M1



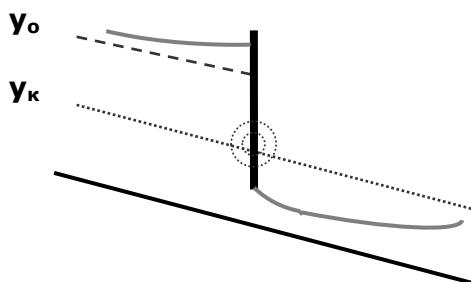
Περίπτωση - Π2		
[1]	[2]	
Υπο κρίσιμη	Υποκρίσιμη κλίση πιο απότομη μικρότερο y_o Η καμπύλη M2 δεν ολοκληρώνεται έως το y_k	τμήμα M2



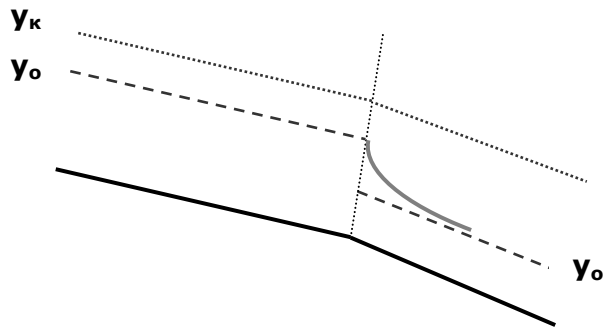
Περίπτωση - Π3		
[1]	[2]	
Υπο κρίσιμη	Κρίσιμη κλίση Η καμπύλη M2 ολοκληρώνεται έως το y_k Η κρίσιμη ροή δεν χρειάζεται <εδώ> να προσαρμοσθεί	M2



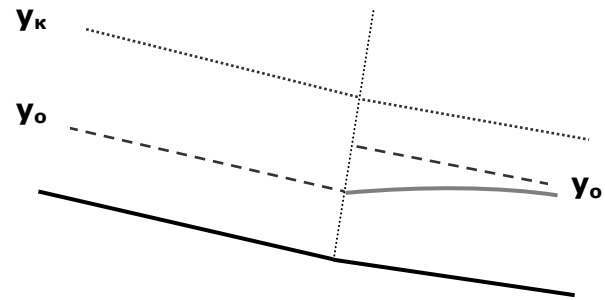
Περίπτωση - Π4		
[1]	[2]	
Υπο κρίσιμη	Υπερκρίσιμη κλίση Η καμπύλη M2 ολοκληρώνεται έως το y_k και ακολουθεί καμπύλη S2 με αρχή το y_k	M2 + S2



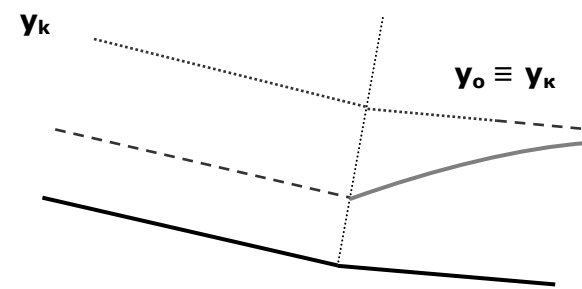
Περίπτωση - Π5		
[1]	[2]	
Υπο κρίσιμη	κατάντη θυροφράγματος Υπερκρίσιμη ροή σε Υποκρίσιμη κλίση ☹️	M3
	ανάντη θυροφράγματος	M1



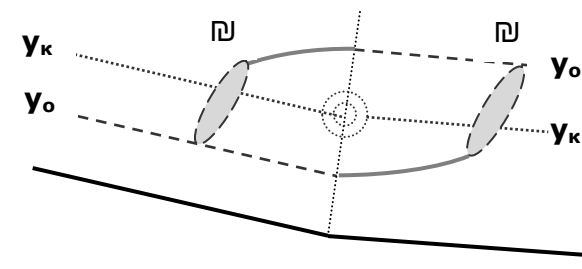
Περίπτωση – Π6		
[1]	[2]	
Υπερ κρίσιμη	Υπερκρίσιμη κλίση πιο απότομη μικρότερο y_0	τμήμα S2
	Η καμπύλη S2 δεν ολοκληρώνεται έως το y_k	



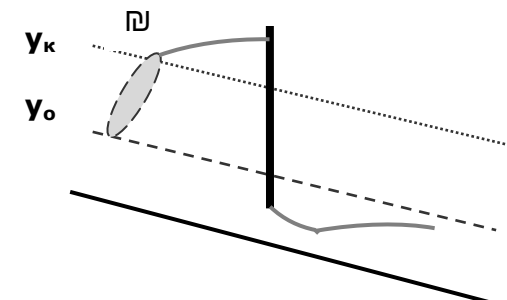
Περίπτωση – Π7		
[1]	[2]	
Υπερ κρίσιμη	Υπερκρίσιμη κλίση πιο ήπια μεγαλύτερο y_0	τμήμα S3
	Η καμπύλη S3 δεν ολοκληρώνεται έως το y_k	



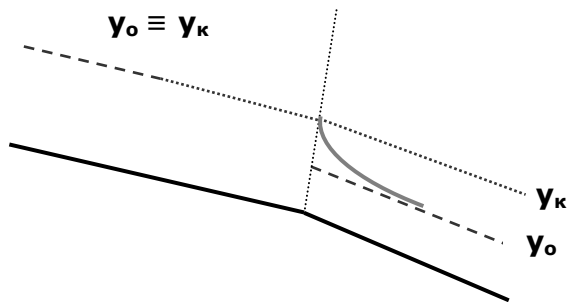
Περίπτωση – Π8		
[1]	[2]	
Υπερ κρίσιμη	Κρίσιμη κλίση	C3
	Η κρίσιμη ροή χρειάζεται <εδώ> να προσαρμοσθεί Υπερκρίσιμη ροή σε Κρίσιμη κλίση ☹️	



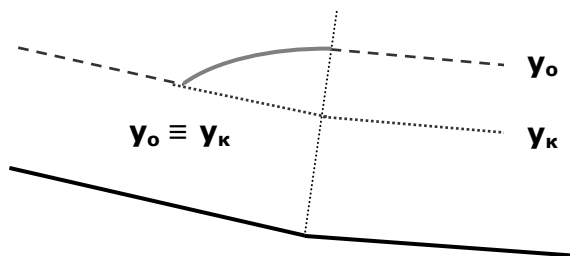
Περίπτωση – Π9		
[1]	[2]	
Υπερ κρίσιμη	Υποκρίσιμη κλίση	τμήμα S1 ή τμήμα M3
	Υδραυλικό άλμα ☹️ Καμπύλη S1 ή M3 (βλ. 5.4.4) Υποκρίσιμη ροή σε Υπερκρίσιμη κλίση ☹️ Υπερκρίσιμη ροή σε Υποκρίσιμη κλίση ☹️	



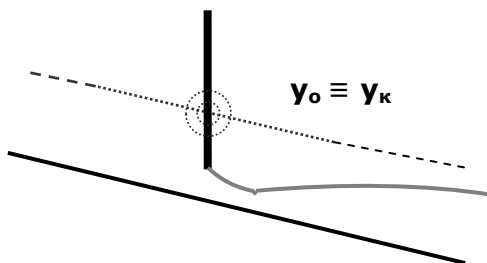
Περίπτωση – Π10		
[1]	[2]	
Υπερ κρίσιμη	ανάντη θυροφράγματος Υδραυλικό άλμα ☹️ Υποκρίσιμη ροή σε Υπερκρίσιμη κλίση ☹️	S1
	κατόντη θυροφράγματος	S3



Περίπτωση - Π11		
[1]	[2]	
Κρίσιμη	Υπερκρίσιμη κλίση	S2
	Η κρίσιμη ροή δεν χρειάζεται <εδώ> να προσαρμοσθεί	



Περίπτωση - Π12		
[1]	[2]	
Κρίσιμη	Υποκρίσιμη κλίση	C1
	Η κρίσιμη ροή χρειάζεται <εδώ> να προσαρμοσθεί Υποκρίσιμη ροή σε Κρίσιμη κλίση ☹️ Δεν είναι υδραυλικό άλμα ☠️	



Περίπτωση - Π13		
[1]	[2]	
Κρίσιμη	θυρόφραγμα	C3
	Υπερκρίσιμη ροή σε Κρίσιμη κλίση ☹️	

5.4.3 Διατομές ελέγχου – γενικότερη θεώρηση

Εξετάσαμε ήδη (βλ. 2.4.6) κάποιες περιπτώσεις – διατομές, όπου εμφανίζεται – οπωσδήποτε ή ενδεχομένως – το κρίσιμο βάθος (ή βάθος *ποσοστό* του γ_c). Τις ορίσαμε ως διατομές ελέγχου σε κρίσιμη ροή (ή κρίσιμες διατομές ελέγχου). Ανακαλύψαμε (βλ. 5.4.2) και άλλες περιπτώσεις – διατομές, όπου:

- Εμφανίζεται ως πραγματικό βάθος (το) κρίσιμο βάθος: **Π3, Π4**
- Εμφανίζεται ως πραγματικό βάθος (κάποιο) ομοιόμορφο βάθος: **Π1, Π2, Π6, Π8**
- Εμφανίζεται ως πραγματικό βάθος (τα) *ταυτισμένα* κρίσιμο και ομοιόμορφο βάθη: **Π3, Π11, Π12, Π8**

Οι παραπάνω περιπτώσεις αποτελούν καθορισμένες ως θέση διατομές ελέγχου!

Επιπλέον σε κάποιες περιπτώσεις:

- Το πραγματικό βάθος τείνει (στο) κρίσιμο βάθος: **Π5**
- Το πραγματικό βάθος τείνει (σε κάποιο) ομοιόμορφο βάθος: **Π1** έως **Π7** και **Π10** έως **Π11**
- Το πραγματικό βάθος τείνει (στα) *ταυτισμένα* κρίσιμο και ομοιόμορφο βάθη: **Π8, Π12, Π13**

Οι παραπάνω περιπτώσεις αποτελούν ασυμπτωτικές ως θέση διατομές ελέγχου. Δηλαδή δεν είναι βέβαιο ότι θα υλοποιηθούν, εξαρτάται από το πραγματικό μήκος των αγωγών (βλ. 5.5.1).

Η αξία ανίχνευσης – εντοπισμού διατομών ελέγχου έχει ήδη αναδειχθεί (βλ. 2.4.6): <εάν το **πραγματικό βάθος** σε αυτές είναι **γνωστό** (ή μετρηθεί επί τόπου στο πεδίο) είναι δυνατός ο μονοσήμαντος **υπολογισμός της παροχής**>. Όμως...

- Σε κάποιες περιπτώσεις η διατομή ελέγχου εμπεριέχει τη βεβαιότητα υλοποίησης (του) κρίσιμου βάθους, ή (συγκεκριμένου) ομοιόμορφου βάθους
- Σε πολλές περιπτώσεις στη διατομή ελέγχου υπάρχουν περισσότερες εναλλακτικές πιθανότητες! Εκεί απαιτείται σχετική διερεύνηση (βλ. **5.7**), παραμένει όμως η βεβαιότητα ότι: **μόνο μία πραγματικότητα** είναι **ορθή** για τις δεδομένες συνθήκες

5.4.4 Υδραυλικό άλμα σε αλλαγή κλίσης - Πρόβλημα **Ξ14**

Εξετάσαμε ήδη (βλ. **2.5**) το **φαινόμενο** του **υδραυλικού άλματος**, το οποίο αφορά σε **ταχέως μεταβαλλόμενη ροή**.

Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται και στην περίπτωση **Π9** (βλ. 5.4.2), διότι (βλ. 2.5.1) η ροή είναι υπερκρίσιμη (αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη) και <υπάρχει ο καταλύτης, ώστε να πραγματοποιηθεί το υδραυλικό άλμα>.

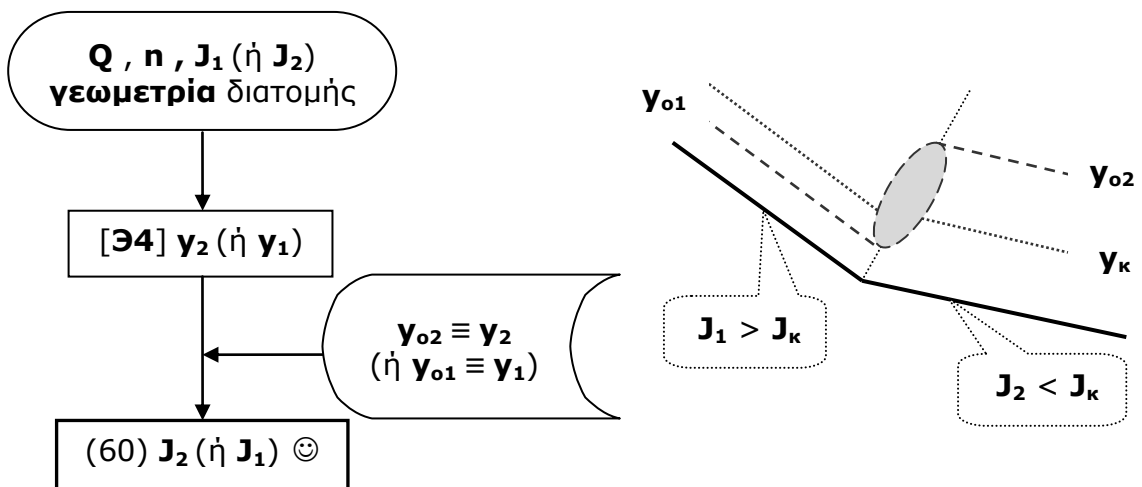
Είναι το **βάθος ομοιόμορφης ροής** του **κατάντη** αγωγού **υποκρίσιμης κλίσης**.

- Το υδραυλικό άλμα λαμβάνει χώρα μέσα σε μακροσκοπικά μικρό μήκος (αλλά όχι αμελητέο $\mathbb{L}$) κατά τη διεύθυνση της κύριας ροής.

- Εάν το πραγματικό **βάθος κατάντη** - δηλαδή στην περίπτωση αγωγών μεγάλου μήκους το **ομοιόμορφο** βάθος του **κατάντη** αγωγού - είναι **μεγαλύτερο από το συζυγές** του πραγματικού **βάθους ανάντη** → το **άλμα οδεύει** προς τα **ανάντη** Έως ότου κάποιο (πραγματικό) σημείο της καμπύλης **S1** **συμπέσει** με το **μεγάλο συζυγές** του ανάντη (πραγματικού)!
- Εάν το πραγματικό **βάθος κατάντη** - δηλαδή στην περίπτωση αγωγών μεγάλου μήκους το **ομοιόμορφο** βάθος του **κατάντη** αγωγού - είναι **μικρότερο από το συζυγές** του πραγματικού **βάθους ανάντη** → το **άλμα οδεύει** προς τα **κατάντη** Έως ότου κάποιο (πραγματικό) σημείο της καμπύλης **M3** **συμπέσει** με το **μικρό συζυγές** του κατάντη (πραγματικού)!
- Εάν το πραγματικό **βάθος κατάντη** - δηλαδή στην περίπτωση αγωγών μεγάλου μήκους το **ομοιόμορφο** βάθος του **κατάντη** αγωγού - είναι **ίσο με το συζυγές** του πραγματικού **βάθους ανάντη** → το **άλμα πραγματοποιείται ακριβώς** στην αλλαγή της κλίσης:
 - ο Με δεδομένα τα στοιχεία του ανάντη αγωγού υπερκρίσιμης κλίσης, υπάρχει **μία υποκρίσιμη κλίση** του **κατάντη** αγωγού, για την οποία το άλμα **πραγματοποιείται ακριβώς** στην αλλαγή της κλίσης
 - ο Με δεδομένα τα στοιχεία του κατάντη αγωγού υποκρίσιμης κλίσης, υπάρχει **μία υπερκρίσιμη κλίση** του **ανάντη** αγωγού, για την οποία το άλμα **πραγματοποιείται ακριβώς** στην αλλαγή της κλίσης
- Από τη διαδικασία του Προβλήματος **Ξ4** υπολογίζεται το άγνωστο συζυγές. Γενικώς από τη σχέση (10), ή στην περίπτωση ορθογωνικής διατομής από τις **απ' ευθείας** λύσεις:

$$y_2 = \frac{y_1}{2} \cdot (\sqrt{1 + 8 \cdot F_1^2} - 1) \quad (40a) \quad \text{ή} \quad y_1 = \frac{y_2}{2} \cdot (\sqrt{1 + 8 \cdot F_2^2} - 1) \quad (41a)$$

- Στη σχέση (60) - Πρόβλημα **Ξ7**: $J = \left(\frac{n \cdot Q}{E \cdot R^{2/3}} \right)^2$
 - ο Θέτουμε **y_{o2} = y₂** - ή αντιστοίχως **y_{o1} = y₁**
 - ο προσδιορίζουμε τα E(y_{o2}) και R(y_{o2}) - ή αντιστοίχως τα E(y_{o1}) και R(y_{o1})
 - ο υπολογίζουμε την κατάντη κλίση **J₂** - ή αντιστοίχως την ανάντη κλίση **J₁**



5.5 Επακριβής χάραξη κατατομών κατά μήκος αγωγού

5.5.1 Γενικά

Ο υπολογισμός της βαθμιαίως μεταβαλλόμενης ροής επιτρέπει την επακριβή χάραξη της αντίστοιχης σε κάθε περίπτωση καμπύλης *σημείο προς σημείο* κατά μήκος του αγωγού ή συστήματος αγωγών.

Τούτο γίνεται επιλύοντας τη διαφορική εξίσωση, η οποία διέπει αυτή τη ροή και καθορίζοντας τα πραγματικά βάθη ροής σε διατομές κατά μήκος του αγωγού.

5.5.2 Μέθοδοι υπολογισμού

(εισαγωγικά στοιχεία – αναλυτικώς στο μάθημα του 7^{ου} εξάμηνου:

<Υδραυλική Ανοικτών Αγωγών και Ποταμών>). Σας αναμένω!..

- Μέθοδος της άμεσης βήμα προς βήμα ολοκλήρωσης - Πρόβλημα **Ξ15**
- Μέθοδος της τυπικής βήμα προς βήμα ολοκλήρωσης - Πρόβλημα **Ξ16**

5.6 Ερωτήσεις κατανόησης και Εφαρμογές υπολογισμού

5.6.1 (μία μόνο απάντηση είναι ορθή)

	Σε έναν επενδεδυμένο πρισματικό αγωγό μεγάλου μήκους πραγματοποιείται βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή, δεχόμεθα ότι:
	Η ροή θεωρείται πρακτικώς παράλληλη
	Η πίεση θεωρείται <i>υδροστατικώς</i> κατανεμημένη σε κάθε διατομή
	Είναι δυνατή η αξιοποίηση της μονοδιάστατης ανάλυσης
✓	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Σε έναν ανεπένδυτο πρισματικό αγωγό μεγάλου μήκους πραγματοποιείται βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή, δεχόμεθα ότι:
	Το μέγεθος και η κατανομή των διατμητικών τάσεων επηρεάζονται από την ανομοιομορφία της ροής
✓	Η καμπύλωση της ελεύθερης επιφάνειας είναι μικρή
	Η διανομή ταχυτήτων σε κάθε διατομή δεν είναι όμοια
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Στη βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή η διαφορική εξίσωση της ελεύθερης επιφάνειας:
	Προκύπτει μόνο από τον τύπο του Chezy
	Προκύπτει μόνο από τον τύπο του Manning
	Δίνει συμπεράσματα μόνο στην περίπτωση ορθογωνικού αγωγού μεγάλου πλάτους
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
✓	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

5.6.2 (μία μόνο απάντηση είναι ορθή)

	Στη βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή η ταξινόμηση των κατατομών (καμπυλών) της ελεύθερης επιφάνειας
	Εξαρτάται από τον υποχώρο όπου ανήκει η κατατομή (καμπύλη)
	Εξαρτάται από το χαρακτηρισμό της κλίσης του πυθμένα του αγωγού, όπου πραγματοποιείται η κατατομή (καμπύλη)
	Συμβολίζεται με ένα γράμμα και ένα αριθμό
✓	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Στη βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή η ταξινόμηση των κατατομών (καμπυλών) της ελεύθερης επιφάνειας
	Προδιαγράφει το χαρακτηρισμό της ροής, ως υπερκρίσιμης, κρίσιμης ή υποκρίσιμης
✓	Έχει εφαρμογή στην περίπτωση <i>ανάστροφης</i> κλίσης του πυθμένα
	Δεν έχει εφαρμογή στην περίπτωση οριζόντιας κλίσης του πυθμένα
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Σε ευθύγραμμο πρισματικό αγωγό μεγάλου μήκους και κατά μήκος κλίσης J όπου πραγματοποιείται βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή, είναι δυνατό:
	Να εμφανίζεται καμπύλη S2, ενώ η κλίση J είναι υποκρίσιμη
✓	Να εμφανίζεται υπερκρίσιμη ροή, ενώ η κλίση J είναι υποκρίσιμη
	Να εμφανίζεται καμπύλη S3, ενώ η κλίση J είναι υποκρίσιμη
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

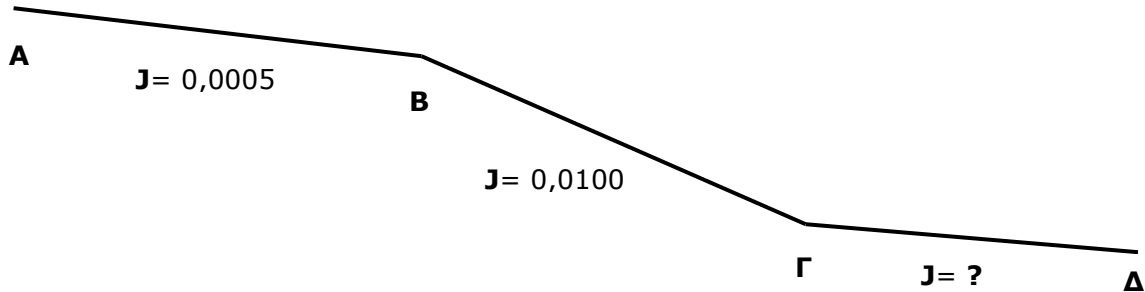
	Σε ευθύγραμμο πρισματικό αγωγό μεγάλου μήκους και κατά μήκος κλίσης J όπου πραγματοποιείται βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή, είναι δυνατό:
	Να εμφανίζεται καμπύλη M2, ενώ η κλίση J είναι υπερκρίσιμη
✓	Να εμφανίζεται υποκρίσιμη ροή, ενώ η κλίση J είναι υπερκρίσιμη
	Να εμφανίζεται καμπύλη C2, ενώ η κλίση J είναι κρίσιμη
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Σε ευθύγραμμο πρισματικό αγωγό μεγάλου μήκους και κατά μήκος κλίσης $J = J_c$ πραγματοποιείται βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή. Σε κάποιο σημείο η κλίση μεταβάλλεται σε υποκρίσιμη. Υδραυλικό άλμα θα εμφανισθεί:
	Ακριβώς στο σημείο αλλαγής της κλίσης
	Ανάντη του σημείου αλλαγής της κλίσης
	Κατάντη του σημείου αλλαγής της κλίσης
	Δεν είναι δυνατό να προσδιορισθεί, απαιτείται επιπλέον ο συντελεστής Manning
✓	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

5.6.3 Ένας αγωγός ΑΒΓΔ (μεγάλου μήκους – βλ. Σχήμα), ορθογωνικής διατομής, ενιαίου πλάτους στον πυθμένα: **b= 4,00 m**, με συντελεστή τραχύτητας: **n= 0,016** μεταφέρει παροχή σχεδιασμού **Q= 8,00 m³/s**.

Ζητούνται (αξιοποιώντας τα αποτελέσματα των εφαρμογών **2.3.4** και **3.4.3**):

- Να υπολογισθεί η κλίση **J_{ΓΔ}**, ώστε να εμφανίζεται υδραυλικό άλμα στο σημείο Γ, *ακριβώς* στην αλλαγή της κλίσης, να χαραχθούν και να χαρακτηρισθούν οι κατά μήκος κατατομές (καμπύλες) της ελεύθερης επιφάνειας.
- Η διαδικασία να επαναληφθεί εάν η κλίση **J_{ΓΔ}** είναι ίση με την κρίσιμη κλίση.
- Η διαδικασία να επαναληφθεί εάν η κλίση **J_{ΓΔ}** είναι ίση με τη **J_{ΑΒ} = 0,0005**.
(Η εφαρμογή επικεντρώνεται στα Προβλήματα **314** και τα του **5.4.2**)



Στις **2.3.4** και **3.4.3** υπολογίσθηκαν τα βάθη ομοιόμορφης ροής, το ενιαίο κρίσιμο βάθος και χαρακτηρίσθηκε η ροή με ομοιόμορφο βάθος:

ΑΒ: J = 0,0005 → y_o = 1,56 m, ροή υποκρίσιμη
ΒΓ: J = 0,0100 → y_o = 0,56 m, ροή υπερκρίσιμη
y_κ = 0,74 m (ενιαίο)
J_κ = 0,0042

Υπολογισμός της κλίσης J_{ΓΔ} (314)

Q [m ³ /s]	b [m]	n	J	y _o [m]
8,00	4,00	0,016	0,0100	0,56

y _o [m]	E _o [m ²]	V [m/s]	B _o [m]	t _{μo} [m]	F(y _o)	y _{ooBΓ} [m]
0,56	2,24000	3,57143	4,00000	0,56000	1,52375	0,95881

y _{ooBΓ} [m]	E _o [m ²]	Π _o [m]	R _o	J _κ
0,95881	3,83523	5,91761	0,64810	0,0020

α) Επισκόπηση των τμημάτων ανά ζεύγη και χαρακτηρισμός των κατατομών

ΑΒ / ΒΓ → υποκρίσιμη / υπερκρίσιμη: **Π4** → **M2** @ **ΑΒ** και **S2** @ **ΒΓ**

ΒΓ / ΓΔ → υπερκρίσιμη / υποκρίσιμη: **Π9** → **υδραυλικό άλμα**, y_o @ **ΒΓ**, y_o @ **ΓΔ**

β) Επισκόπηση των τμημάτων ανά ζεύγη και χαρακτηρισμός των κατατομών

ΒΓ / ΓΔ → υπερκρίσιμη / κρίσιμη: **Π8** → y_o @ **ΒΓ** και **C3** @ **ΓΔ**

γ) Επισκόπηση των τμημάτων ανά ζεύγη και χαρακτηρισμός των κατατομών

ΒΓ / ΓΔ → υπερκρίσιμη / υποκρίσιμη: **Π9** → **υδραυλικό άλμα**,
(τμήμα) **S1** @ **ΒΓ**, y_o @ **ΓΔ**

