

2.4 Εφαρμογές κρίσιμης ροής

2.4.1 Ανύψωση πυθμένα

Αγωγός ορθογωνικής διατομής, σταθερού πλάτους b , με πρακτικώς οριζόντιο πυθμένα, ανυψώνεται κατά Δz σε σχετικά μικρό μήκος L , βαθμιαία και ομαλά έτσι που να αποφεύγεται η αποκόλληση της ροής

Βασικές παραδοχές:

- Η ροή σε όλο το μήκος θεωρείται παράλληλη $\rightarrow$ υδροστατική κατανομή πιέσεων
- Απώλειες ενέργειας αμελητέες

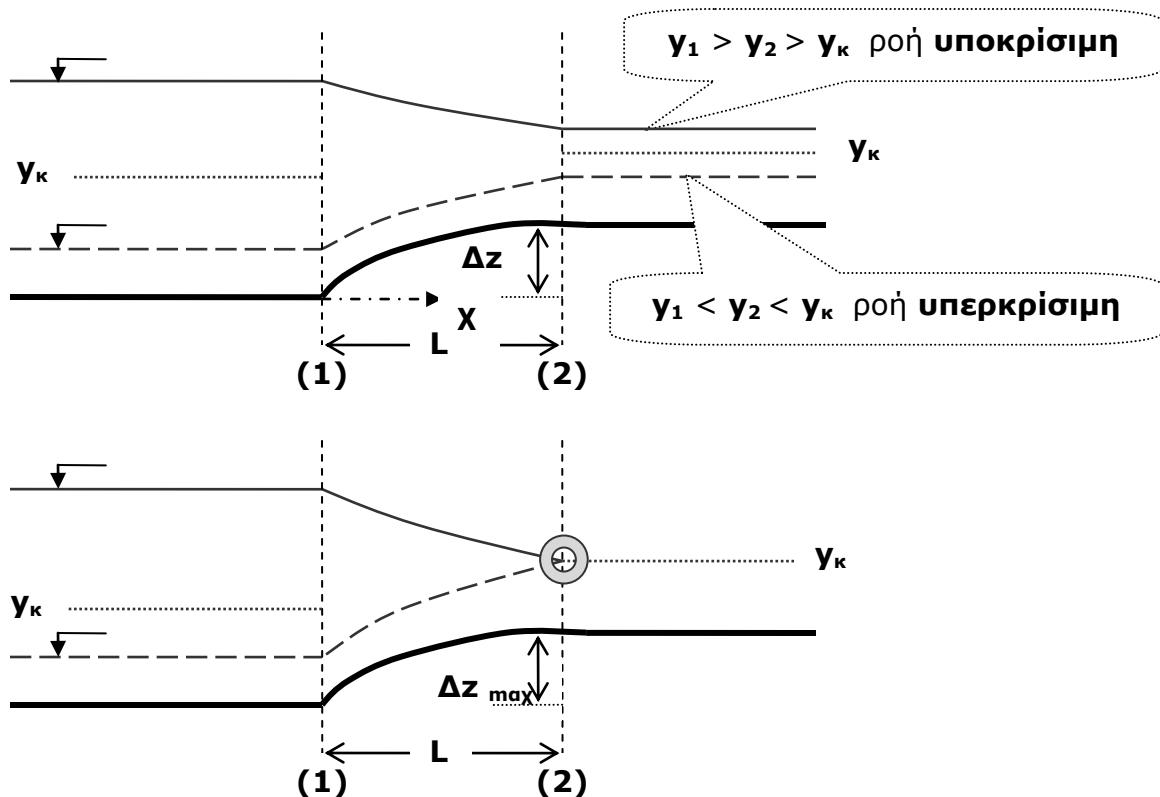
Μελετάμε το διάγραμμα Ειδικής Ενέργειας για δεδομένη παροχή Q και τη συγκεκριμένη διατομή του αγωγού.

Για μια δοσμένη τιμή H_{E1} η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας εξαρτάται από τη σχέση των y_1 και y_k

- Σε υποκρίσιμη ροή το βάθος ροής μειώνεται κατάντη: $y_1 > y_k \rightarrow y_1 > y_2$
- Σε υπερκρίσιμη ροή το βάθος ροής αυξάνει κατάντη: $y_1 < y_k \rightarrow y_1 < y_2$

Η μείωση της H_E που συνεπάγεται η ανύψωση του πυθμένα ΔΕΝ μπορεί να είναι απεριόριστη: υπάρχει τιμή $\{\Delta z_{\max}, H_{E\min}\}$, η οποία συνιστά φυσικό όριο (βλ. 2.1.2) Το $\Delta z_{\max}$ αντιστοιχεί σε y_k !

$$H_{E\min} = 1,5 \cdot y_k = 1,5 \cdot \left(\frac{Q^2}{b^2 \cdot g} \right)^{1/3} \quad (6 \ \& \ 7) \text{ και } \Delta z_{\max} = H_{E1} - H_{E\min} \quad (24)$$



Η παραπάνω ανάλυση είναι ικανοποιητικά ακριβής μόνο για υποκρίσιμη ροή και πολύ προσεγγιστική για υπερκρίσιμη, όπου υπάρχει μεγάλος κίνδυνος αποκόλλησης.

Εάν ισχύει $\Delta_z \leq \Delta_{z\max}$ και είναι γνωστά το βάθος ροής y_1 στη διατομή (1) και η χάραξη του πυθμένα $\Delta_z(x)$, είναι δυνατό να υπολογίσουμε σημείο προς σημείο τα βάθη ροής κατά μήκος της συναρμογής - αναβαθμού, δηλαδή να χαράξουμε τη μορφή της ελεύθερης επιφάνειας - Πρόβλημα **32**

$$(3) \rightarrow y_1 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b^2 \cdot y_1^2} = \Delta z(x) + y(x) + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b^2 \cdot y(x)^2} \quad (25)$$

Η σχέση είναι τριτοβάθμια ως προς y και λύνεται με διαδοχικές προσεγγίσεις. Η διαδικασία εξασφαλίζει ταχύτητα και εποπτεία του υπολογισμού, συγκλίνει εκ κατασκευής στη μοναδική ζητούμενη ρίζα! Είναι δε βεβαίως στατιστικώς ασφαλέστερη από τη χρήση προγραμματιζόμενων υπολογιστών χειρός!

- Εξετάζουμε αρχικώς εάν η ροή είναι υποκρίσιμη

- Υπολογίζουμε τις σταθερές $H_{E1} = y_1 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b^2 \cdot y_1^2}$, $\alpha = \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b^2}$

- Η (25) γράφεται: $A = H_{E1} - \Delta z(x) = y(x) + \frac{\alpha}{y(x)^2} \quad (26)$

το $\Delta_z(x)$ είναι γνωστό σε κάθε θέση

- Επιλέγουμε ως 1^{η} τιμή εκκίνησης: $y_1(x) = y_1 - \frac{(y_1 - y_2) \cdot \Delta z(x)}{\Delta z} \quad (27)$

Απλή γραμμική παρεμβολή με σταθερό b .

Σε διατομές πλησίον του πέρατος η καμπύλωση της επιφάνειας είναι έντονη (βλ. Κεφάλαιο **4**), αλλά η προσέγγιση είναι ικανοποιητική ως τιμή εκκίνησης.

- Υπολογίζουμε το $A_1 = y_1(x) + \frac{\alpha}{y_1(x)^2} \quad (26)$

- Ελέγχουμε τη σύγκλιση $\frac{|A_1 - A|}{A} \leq 1\% \quad (28)$

- Διορθώνουμε (ενδεχομένως) $y_2(x) = (A / A_1)^2 \cdot y_1(x) \quad (29)$

- Επανυπολογίζουμε το $A_2 = y_2(x) + \frac{\alpha}{y_2(x)^2}$

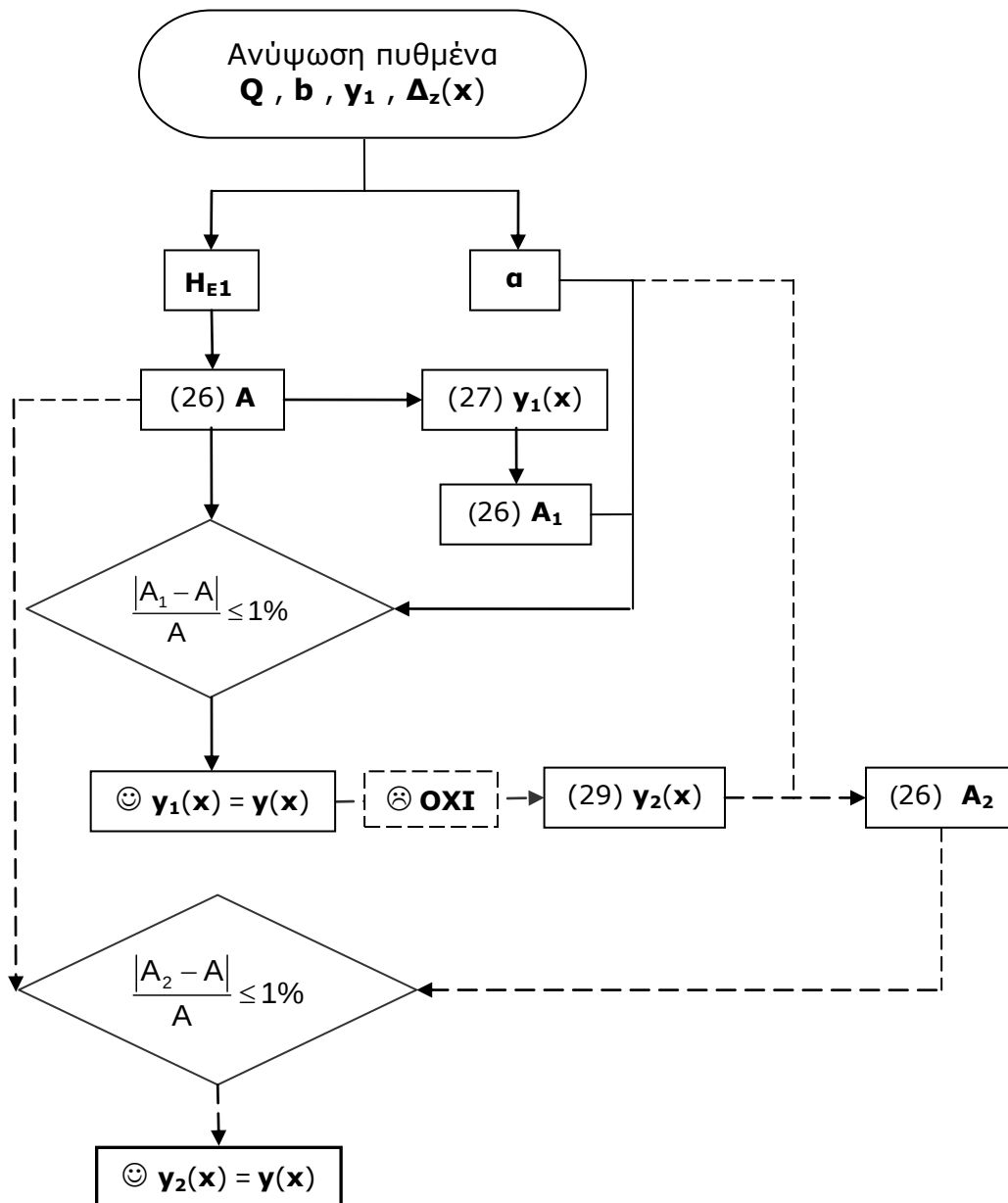
- Επανελέγχουμε τη σύγκλιση $\frac{|A_2 - A|}{A} \leq 1\%$

- Ελέγχουμε τελικώς εάν με το υπολογισθέν βάθος η ροή είναι υποκρίσιμη
- Τυποποίηση διαδικασίας (για την εκάστοτε θέση **x**):

Q [m ³ /s]	b [m]	y₁ [m]	Δ_z(x) [m]	H_{E1} [m]	A [m]	a [m ³]

y_i(x) [m]	A_i [m]	δA [%]	y(x) [m]

- Διάγραμμα ροής διαδικασίας:

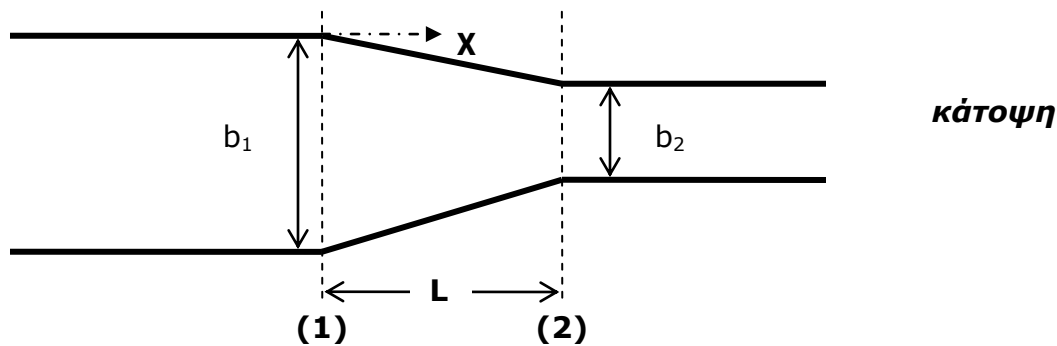


2.4.2 Στένωση διατομής

Αγωγός ορθογωνικής διατομής με πρακτικώς οριζόντιο πυθμένα, συστέλλεται σε σχετικά μικρό μήκος L , βαθμιαία και ομαλά έτσι που να αποφεύγεται η αποκόλληση της ροής. Το αρχικό πλάτος είναι b_1 και το τελικό b_2 ($b_1 > b_2$)

Η μείωση της H_E που συνεπάγεται η συστολή του πυθμένα ΔΕΝ μπορεί να είναι απεριόριστη: υπάρχει τιμή $\{b_{\min}, H_{E\min}\}$, η οποία συνιστά φυσικό όριο (βλ. 2.1.2) Το $b_{\min}$ αντιστοιχεί σε y_k ! στη διατομή (2), διότι το y_k είναι συνάρτηση του b !

$$(6 \ \& \ 7) \rightarrow b_{\min} = Q \cdot \left(\frac{3,375}{g} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{1}{H_{E1}} \right)^{1,5} \quad (30)$$



Η παραπάνω ανάλυση είναι ικανοποιητικά ακριβής μόνο για υποκρίσιμη ροή αλλά αποτυγχάνει εντελώς να δώσει έστω και προσεγγιστική λύση για υπερκρίσιμη, όπου η ροή παίρνει τρισδιάστατο χαρακτήρα.

Εάν ισχύει $b \geq b_{\min}$ και είναι γνωστά το βάθος ροής y_1 στη διατομή (1) και η χάραξη του πυθμένα $b(x)$, είναι δυνατό να υπολογίσουμε και εδώ σημείο προς σημείο τα βάθη ροής κατά μήκος της συναρμογής - στένωσης, δηλαδή να χαράξουμε τη μορφή της ελεύθερης επιφάνειας - Πρόβλημα **33**

$$(3) \rightarrow y_1 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b_1^2 \cdot y_1^2} = y(x) + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b(x)^2 \cdot y(x)^2} \quad (31)$$

Η σχέση είναι και εδώ τριτοβάθμια ως προς y και λύνεται με παρόμοια διαδικασία διαδοχικών προσεγγίσεων.

- Εξετάζουμε αρχικώς εάν η ροή είναι υποκρίσιμη

- Υπολογίζουμε τις σταθερές $B = H_{E1} = y_1 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b_1^2 \cdot y_1^2}$, $\beta = \frac{Q^2}{2 \cdot g}$

- Η (32) γράφεται: $B = y(x) + \frac{\beta}{b(x)^2 \cdot y(x)^2} \quad (32)$

το $b(x)$ είναι γνωστό σε κάθε θέση

- Επιλέγουμε ως 1^η τιμή εκκίνησης: $y_1(x) = y_1 - \frac{(b_1 - b(x)) \cdot (y_1 - y_2)}{(b_1 - b_2)}$ (33)

Απλή γραμμική παρεμβολή με σταθερό Δz

Σε διατομές πλησίον του πέρατος η καμπύλωση της επιφάνειας είναι έντονη (βλ. Κεφάλαιο **4**), αλλά η προσέγγιση είναι ικανοποιητική ως τιμή εκκίνησης.

- Υπολογίζουμε το $B_1 = y_1(x) + \frac{\beta}{b(x)^2 \cdot y_1(x)^2}$ (32)

- Ελέγχουμε τη σύγκλιση $\frac{|B_1 - B|}{B} \leq 1\%$ (34)

- Διορθώνουμε (ενδεχομένως) $y_2(x) = (B / B_1)^2 \cdot y_1(x)$ (35)

- Επανυπολογίζουμε το $B_2 = y_2(x) + \frac{\beta}{b(x)^2 \cdot y_2(x)^2}$

- Επανελέγχουμε τη σύγκλιση $\frac{|B_2 - B|}{B} \leq 1\%$

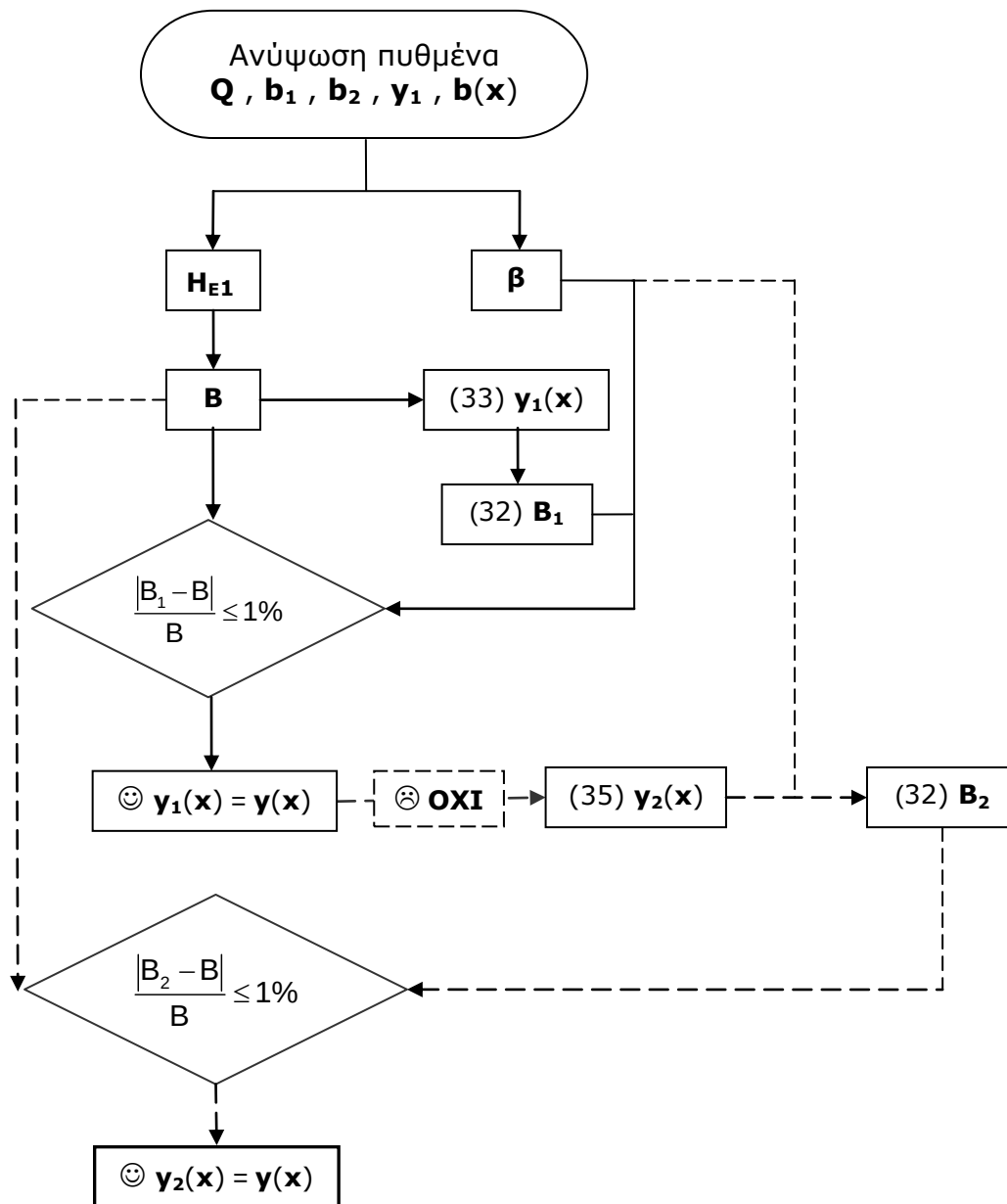
- Ελέγχουμε τελικώς εάν με το υπολογισθέν βάθος η ροή είναι υποκρίσιμη

- Τυποποίηση διαδικασίας (για την εκάστοτε θέση **x**):

Q [m ³ /s]	b₁ [m]	y₁ [m]	b(x) [m]	H_{E1} [m]	B [m]	β [m ³]

y_i(x) [m]	B_i [m]	δB [%]	y(x) [m]

- Διάγραμμα ροής διαδικασίας:



2.4.3 Συναρμογές σε υποκρίσιμη ροή

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

Εξετάσαμε παραπάνω σε υποκρίσιμη ροή δύο περιπτώσεις μεταβολών:

- της κατά μήκος κλίσης ανύψωσης του πυθμένα με σταθερή διατομή
- της στένωσης του πλάτους του αγωγού με σταθερή κλίση πυθμένα

Πολλές φορές είναι απαιτητή η μετάβαση από έναν πρισματικό αγωγό μιας ορισμένης γεωμετρίας, σε έναν άλλο πρισματικό αγωγό με την ίδια ή διαφορετική γεωμετρία. Η μετάβαση αυτή γίνεται με σχετικώς βαθμιαία προσαρμογή του πυθμένα ή / και των πρανών, η οποία καλείται συναρμογή.

Είναι προφανές ότι γενικώς, ο πυθμένας είναι δυνατό να ανυψώνεται ή να ταπεινώνεται, το πλάτος του να μειώνεται ή να αυξάνει, να μεταβάλλεται επίσης η κλίση πρανών... κ.λπ.

Στην περίπτωση συναρμογής σε υποκρίσιμη ροή ο σχεδιασμός των συναρμογών διέπεται από τα ακόλουθα βασικά κριτήρια - απαιτήσεις:

- Ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας στη συναρμογή
- Μη διατάραξη της ροής ανάντη και κατάντη της συναρμογής
- Ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής της συναρμογής

Ουσιαστικώς επιλέγεται μια γεωμετρία της συναρμογής, ελέγχεται η υδραυλική συμπεριφορά της και στην περίπτωση που δεν είναι ικανοποιητική - με βάση τα παραπάνω κριτήρια - μεταβάλλεται η γεωμετρία και επαναλέγχεται έως ότου επιτευχθεί ικανοποιητική λειτουργία (*κάτι σε γλυπτική τέχνη...*)

Κατά κανόνα οι απαιτούμενες - δεδομένες πληροφορίες είναι:

- Η γεωμετρία των διατομών ανάντη και κατάντη της συναρμογής (αρχή / πέρας)
- Η παροχή σχεδιασμού και τα βάθη ροής στην αρχή και το πέρας της συναρμογής
- Από τα παραπάνω προκύπτει το υψόμετρο της γραμμής ενέργειας και η ειδική ενέργεια στην αρχή της συναρμογής. Οι πραγματοποιούμενες σε (καλοσχεδιασμένη) συναρμογή απώλειες ενέργειας είναι μικρές και σε πρώτη προσέγγιση είναι δυνατό να θεωρηθούν αμελητέες ή να εκτιμηθούν εμπειρικώς.
- Επιπλέον θεωρείται δεδομένη (στην πράξη επιλέγεται, στην εκπαιδευτική διαδικασία δίδεται ή *προτείνεται*) η γεωμετρία της συναρμογής, δηλαδή η γεωμετρία διατομών σε καθορισμένες κατά μήκος θέσεις

Γράφοντας γενικότερα τις σχέσεις των προηγούμενων εδαφίων έχουμε:

$$H_1 = H_2 + \Delta H_{(1-2)} \quad (\text{εξίσωση ενέργειας})$$

$$H_{E1} = H_{E2} \pm \Delta Z + \Delta H_{(1-2)} = \gamma(x) + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot E(x)^2} \pm \Delta Z(x) + \Delta H_{(1-x)} \quad (36)$$

$$\text{ανύψωση : } + \Delta Z(x), \text{ ταπείνωση : } - \Delta Z(x)$$

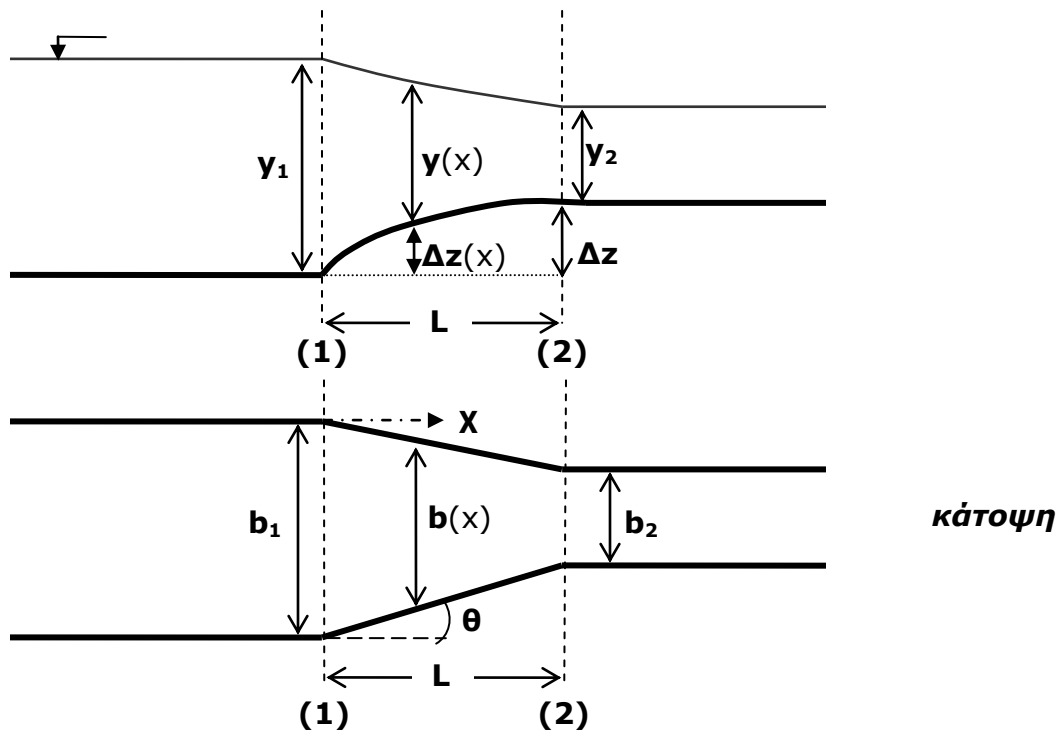
Οι απώλειες ενέργειας οφείλονται σε αντιστάσεις τριβής και αντιστάσεις σχήματος, χωρίς ο διαχωρισμός τους να είναι πρακτικώς δυνατός. Οι ολικές απώλειες εκφράζονται συνήθως ως ποσοστό της διαφοράς κινητικής ενέργειας μεταξύ των δύο υπόψη διατομών.

(Σημ. Κάντε τη σύνδεση με τις αντίστοιχες τοπικές απώλειες στη ροή υπό πίεση).

$$\Delta H_{(1-x)} = K \frac{V_x^2 - V_1^2}{2 \cdot g} \quad (37)$$

Ο συντελεστής K εξαρτάται κυρίως από το γεωμετρικό σχεδιασμό της συναρμογής

Από τις σχέσεις (36) και (37) προκύπτει το ένα βασικό στοιχείο της συναρμογής:
 Η **υψομετρική διαφορά** αρχής – πέρατος Δz



Με βάση την εμπειρία η οποία αποκτήθηκε σε καλοσχεδιασμένες διατομές προκύπτει το δεύτερο βασικό στοιχείο της συναρμογής: το συνιστώμενο μήκος L, το οποίο ορίζεται από τη μέγιστη βέλτιστη γωνία $\theta = 12,5^\circ$

$$L = \frac{b_1 - b_2}{2} \cdot \frac{1}{\tan 12,5^\circ} \quad (38)$$

Η γωνία θ είναι δυνατό να αναφέρεται σε συναρμογή πυθμένων διαφορετικού πλάτους, όπως στο ως άνω σχήμα. Εφαρμόζεται όμως γενικώς, πχ. σε συναρμογή μεταξύ διατομών με το αυτό πλάτος πυθμένα, αλλά με διαφορετικό πλάτος ελεύθερης επιφάνειας!

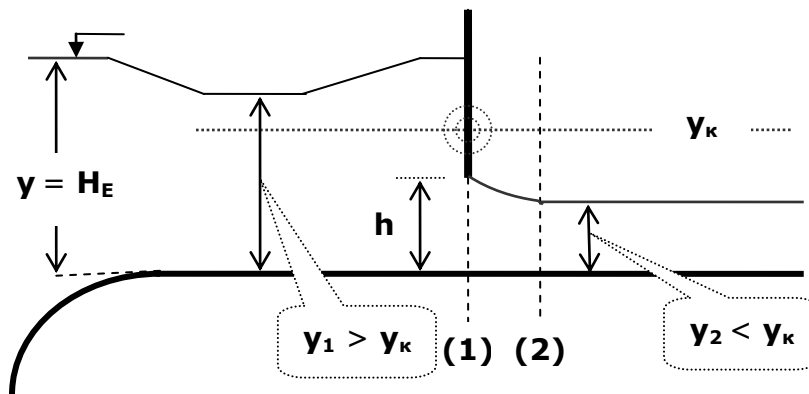
Η επίλυση απλών προβλημάτων συναρμογών βασίζεται σε δημιουργική αξιοποίηση των διαδικασιών επίλυσης των τυπικών Προβλημάτων 32 και 33.
 Μία περίπτωση εξετάζεται ως εφαρμογή στη συνέχεια (βλ. 2.6.4).

2.4.4 Ρυθμιστικό θυρόφραγμα

Αγωγός ορθογωνικής διατομής με οριζόντιο πυθμένα και μικρό μήκος L υδροδοτείται από μεγάλη δεξαμενή (ταμιευτήρα) σταθερής στάθμης $y = H_E$. Για τη ρύθμιση της παροχής χρησιμοποιείται κατακόρυφο θυρόφραγμα *λεπτής ακμής*

Αξιοποιούμε το διάγραμμα παροχής για δεδομένη H_E (βλ. 2.1.2)

- Για **κλειστό** θυρόφραγμα τα βάθη ροής είναι ανάντη: $y_1 = H_E$ και κατόντη: $y_2 = 0$ και η παροχή μηδενική
- Για άνοιγμα του θυροφράγματος $h < y_K = 1,5 \cdot H_E$ τα βάθη ροής είναι εναλλακτά και η διερχόμενη παροχή μικρότερη της Q_{max} για τη δεδομένη ειδική ενέργεια H_E
- Για άνοιγμα του θυροφράγματος $h = y_K = 1,5 \cdot H_E$ η διερχόμενη παροχή είναι ίση με τη Q_{max} για τη δεδομένη ειδική ενέργεια H_E
- Η Q_{max} δίδεται από τη σχέση (9)
- Για άνοιγμα του θυροφράγματος $h > y_K = 1,5 \cdot H_E$ το θυρόφραγμα δεν ασκεί ουδεμία επίδραση στη ροή!



2.4.5 Ελεύθερη πτώση

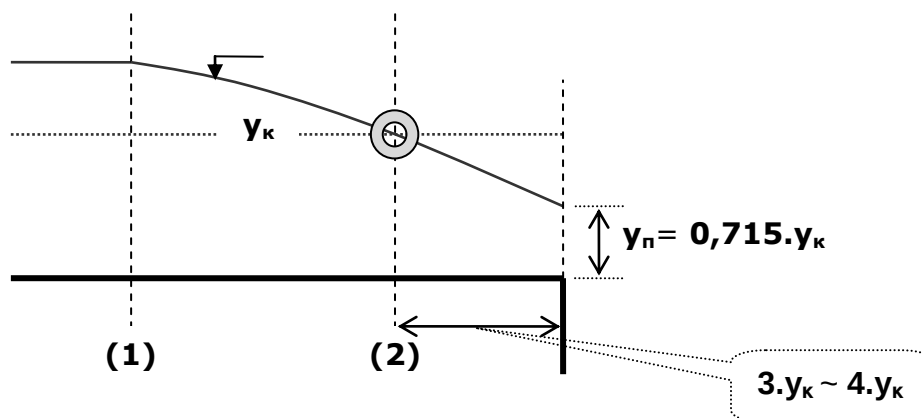
Αγωγός ορθογωνικής διατομής με οριζόντιο πυθμένα και μεγάλο μήκος L καταλήγει σε ελεύθερη πτώση.

Βασιζόμενοι όπως σε όλα τα προηγούμενα σε περίπου παράλληλη ροή $\rightarrow$ υδροστατική κατανομή των πιέσεων, καταλήγουμε ότι το βάθος ακριβώς στην ακμή είναι το y_K . Η ανάλυση αυτή είναι προσεγγιστική και έχει αξία *μακροσκοπικής* μόνο θεώρησης, για το συνολικό μήκος του υδραγωγείου.

Διότι στην άμεση γειτονία της ελεύθερης πτώσης η καμπύλωση της ελεύθερης επιφάνειας είναι σημαντική!

Πειραματικές έρευνες του Rouse έχουν δείξει ότι το πραγματικό **βάθος ροής ακριβώς** στην **ακμή** είναι **μικρότερο** του y_K , το οποίο εμφανίζεται σε μικρό μήκος ανάντη:

$$y_\pi = 0,715 \cdot y_K \quad (39) \text{ και } L_{\text{μετατόπισης}} = 3 \cdot y_K \sim 4 \cdot y_K$$



(Σημ. Την προηγούμενη διετία έχει ξεκινήσει μια προσπάθεια επαλήθευσης των παραπάνω στα πλαίσια του μαθήματος του 9^{ου} εξαμήνου: <Πειραματική Υδραυλική>). Σας αναμένω!..

2.4.6 Διατομές ελέγχου σε κρίσιμη ροή

Σε όλα τα παραπάνω εδάφια εξετάσαμε περιπτώσεις – διατομές, όπου εμφανίζεται – οπωσδήποτε ή ενδεχομένως – το κρίσιμο βάθος (ή βάθος *ποσοστό* του y_k). Αυτές καλούνται διατομές ελέγχου σε κρίσιμη ροή (ή κρίσιμες διατομές ελέγχου).

Θα εξετάσουμε αργότερα και άλλες διατομές όπου εμφανίζεται το y_k αλλά και το βάθος με ομοιόμορφη ροή. Όλες αποτελούν **διατομές ελέγχου**.

Ο εντοπισμός αυτών των ειδικών διατομών, όπου το πραγματικό βάθος ταυτίζεται με ένα από τα δύο λογιστικά έχει πολύ μεγάλη σημασία, διότι εάν το **πραγματικό βάθος** σε αυτές είναι **γνωστό** (ή μετρηθεί επί τόπου στο πεδίο) είναι δυνατός ο μονοσήμαντος **υπολογισμός** της **παροχής** !

- Με πραγματικό βάθος ίσο με το κρίσιμο βάθος από τις σχέσεις: (8), (9) και (9a)
- Με πραγματικό βάθος ίσο με το ομοιόμορφο βάθος από τη σχέση Manning, την οποία θα εξετάσουμε στη συνέχεια (βλ. Κεφάλαιο **3** και 5.4.3)
- Τα παραπάνω θα αξιοποιήσουμε στη συνέχεια (βλ. 5.4.4)

Σημειώστε επίσης ότι:

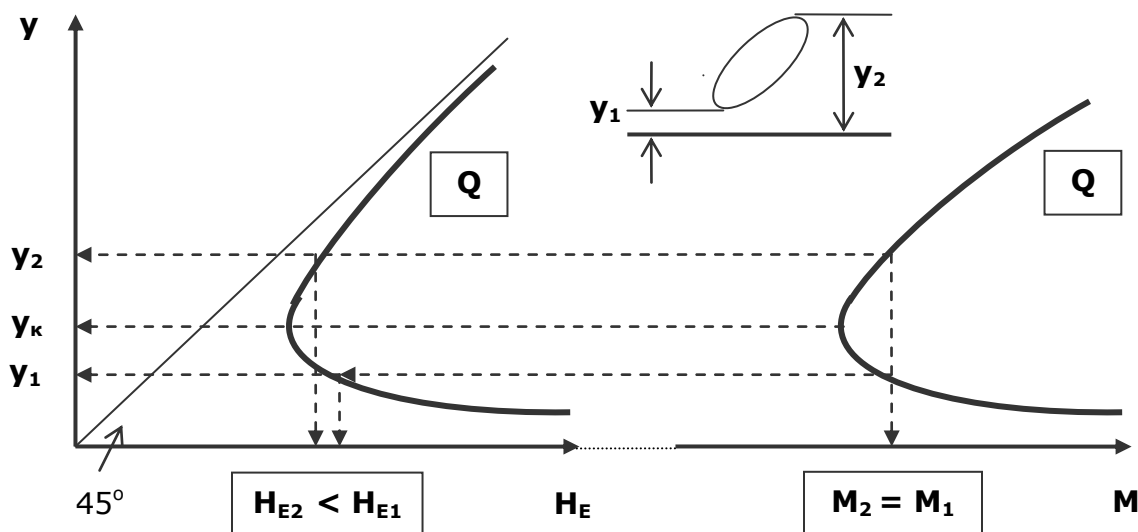
- Στις περιπτώσεις των εδαφίων 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3 και 2.4.5 η ροή **διατηρεί** τον από τα ανάντη **χαρακτηρισμό** της ως υποκρίσιμη / υπερκρίσιμη. Το πραγματικό βάθος ροής μεταβάλλεται μόνο στον **αντίστοιχο υποκλάδο** του διαγράμματος ειδικής ενέργειας (βλ. 2.1.2) με **όριο** το y_k . Η παρατήρηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία: επιτρέπει την ασφαλή αναζήτηση και εντοπισμό της μίας ορθής ρίζας των αντιστοίχων τριτοβάθμιων εξισώσεων!
- Αντιθέτως, στο εδάφιο 2.4.4 η παρουσία του θυροφράγματος (με $h < y_k$) **επιβάλλει** στη ροή τη **μετάβασή** της από υποκρίσιμη σε υπερκρίσιμη – **αλλαγή υποκλάδου**, αφού διέλθει από το y_k *ακριβώς επάνω* στη θέση - διατομή του θυροφράγματος.
- Το αντίστροφο: **μετάβαση** της ροής από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη συμβαίνει στην περίπτωση του υδραυλικού άλματος, την οποία θα εξετάσουμε αμέσως παρακάτω (βλ. **2.5** και θα επανέλθουμε στα 5.4.2 και 5.4.5)

2.5 Υδραυλικό άλμα

2.5.1 Βασικές έννοιες (βλ. 2.1.2 και 2.1.3)

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

- Είναι το τοπικό φαινόμενο μετάβασης **από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη ροή**
- Λαμβάνει χώρα **απότομα** – μέσα σε **μικρό μήκος** κατά τη διεύθυνση της κύριας ροής → **ταχέως μεταβαλλόμενη ροή**
- Για αγωγό με οριζόντιο (ή μικρής κλίσης) πυθμένα η μετάβαση πραγματοποιείται με **σταθερή ειδική δύναμη** άρα τα ανάντη και κατάντη **βάθη** είναι **συζυγή** και...
- ... **σημαντικές απώλειες ενέργειας** (στρόβιλοι και τύρβη μεγάλης κλίμακας)
- Το άλμα **σταθεροποιείται** όταν τα ανάντη και κατάντη **βάθη** είναι **συζυγή**
 - Εάν το πραγματικό **βάθος κατάντη** είναι **μεγαλύτερο από** το **συζυγές** του πραγματικού **βάθους ανάντη** → το **άλμα οδεύει** προς τα **ανάντη**
 - Εάν το πραγματικό **βάθος κατάντη** είναι **μικρότερο από** το **συζυγές** του πραγματικού **βάθους ανάντη** → το **άλμα οδεύει** προς τα **κατάντη**
- Το να είναι η ροή υπερκρίσιμη αποτελεί αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη για να εμφανισθεί υδραυλικό άλμα! Η ροή είναι δυνατό να παραμείνει υπερκρίσιμη σε μεγάλη απόσταση κατά μήκος του αγωγού, έως ότου εμφανισθούν οι κατάλληλες συνθήκες ειδικής δύναμης σε κάποια διατομή κατάντη (με σημαντικότερο παράγοντα το βάθος ροής). Να υπάρξει δηλαδή ένας καταλύτης ώστε να πραγματοποιηθεί το υδραυλικό άλμα. (βλ. 5.4.4)



2.5.2 Υπολογισμός συζυγών βαθών σε υδραυλικό άλμα - Πρόβλημα 34

Είναι γνωστή η παροχή, τα γεωμετρικά στοιχεία του αγωγού και το ένα από τα δύο βάθη ροής ανάντη ή κατόντη. Ζητείται το άλλο βάθος ροής του ζεύγους των συζυγών βαθών.

Ισχύει η σχέση (10):
$$M = \frac{Q^2}{g \cdot E} + (E \cdot \tilde{y})$$

η επίλυση ακολουθεί διαδικασία διαδοχικών προσεγγίσεων (περισσότερα στο μάθημα του 7^{ου} εξαμήνου: <Υδραυλική Ανοικτών Αγωγών και Ποταμών>). Σας αναμένω!!!

Στην ορθογωνική διατομή υπάρχει **απ' ευθείας** λύση:

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

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

Οι απώλειες ενέργειας είναι:
$$\Delta H = H_{E1} - H_{E2} = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 \cdot y_1 \cdot y_2} \quad (42)$$

Σημείωση: οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν για **ελεύθερο** (όχι βυθισμένο) άλμα, σε πρισματικούς αγωγούς με **κλίση πυθμένα οριζόντια** ή **πολύ μικρή**

2.6 Ερωτήσεις κατανόησης και Εφαρμογές υπολογισμού

2.6.1 (μία μόνο απάντηση είναι ορθή)

	Αγωγός ορθογωνικής διατομής, σταθερού πλάτους b, με πρακτικώς οριζόντιο πυθμένα, ανυψώνεται κατά Δz σε σχετικά μικρό μήκος L, βαθμιαία και ομαλά.
	Σε υποκρίσιμη ροή το βάθος ροής μειώνεται κατάντη
	Σε υπερκρίσιμη ροή το βάθος ροής αυξάνει κατάντη
	Υπάρχει μία μέγιστη τιμή της ανύψωσης $\Delta z_{\max}$, η οποία αντιστοιχεί σε $H_{E\min}$
✓	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Αγωγός ορθογωνικής διατομής με πρακτικώς οριζόντιο πυθμένα, συστέλλεται σε σχετικά μικρό μήκος L, βαθμιαία και ομαλά.
✓	Σε υποκρίσιμη ροή το βάθος ροής μειώνεται κατάντη
	Υπάρχει μία ελάχιστη τιμή της στένωσης $b_{\min}$, η οποία αντιστοιχεί σε $M_{\min}$
	Υπάρχει μία μέγιστη τιμή της στένωσης $b_{\max}$, η οποία αντιστοιχεί σε $H_{E\min}$
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Σε αγωγό ορθογωνικής διατομής με πρακτικώς οριζόντιο πυθμένα, υπάρχει θυρόφραγμα λεπτής ακμής.
	Η ροή αμέσως κατάντη του θυροφράγματος είναι οπωσδήποτε υποκρίσιμη
	Η ροή αμέσως κατάντη του θυροφράγματος είναι οπωσδήποτε υπερκρίσιμη
	Κατάντη του θυροφράγματος εμφανίζεται οπωσδήποτε υδραυλικό άλμα
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
✓	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

	Σε αγωγό ορθογωνικής διατομής με πρακτικώς οριζόντιο πυθμένα, υπάρχει θυρόφραγμα λεπτής ακμής με άνοιγμα μικρότερο από το κρίσιμο βάθος και ο αγωγός καταλήγει σε ελεύθερη πτώση.
	Η ροή αμέσως κατάντη του θυροφράγματος είναι οπωσδήποτε κρίσιμη
✓	Η ροή αμέσως κατάντη του θυροφράγματος είναι οπωσδήποτε υπερκρίσιμη
	Κατάντη του θυροφράγματος εμφανίζεται οπωσδήποτε υδραυλικό άλμα
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

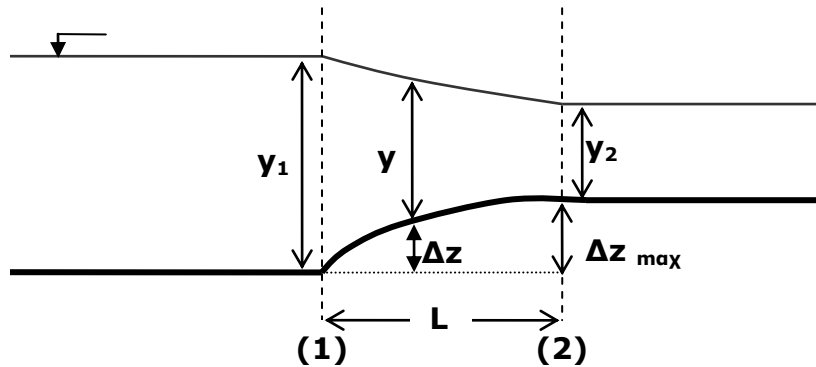
	Το φαινόμενο του υδραυλικού άλματος.
	Είναι το τοπικό φαινόμενο μετάβασης από υποκρίσιμη σε υπερκρίσιμη ροή
✓	Είναι το τοπικό φαινόμενο μετάβασης από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη ροή
	Πραγματοποιείται χωρίς σημαντικές απώλειες ενέργειας
	Ισχύουν ΟΛΑ τα παραπάνω
	ΔΕΝ ισχύει ΤΙΠΟΤΑ από τα παραπάνω

2.6.2 Αγωγός ορθογωνικής διατομής, σταθερού πλάτους $b = 2,00$ m, με πρακτικώς οριζόντιο πυθμένα, σε σχετικά μικρό μήκος L ανυψώνεται κατά Δz , βαθμιαία και ομαλά. Ο αγωγός μεταφέρει παροχή $Q = 6,00$ m³/s και το βάθος ροής στη διατομή (1) είναι $y_1 = 1,50$ m. Ζητούνται:

α) Το μέγιστο ύψος του αναβαθμού $\Delta z_{\max}$ και το αντίστοιχο βάθος ροής.

β) Το βάθος ροής y σε μία θέση όπου η ανύψωση είναι $\Delta z = 0,12$ m.

(Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα 32)



(13) $\rightarrow y_k = 0,97168$ m, (6) $\rightarrow H_{E\min} = 1,45752$ m, (3) $\rightarrow H_{E1} = 1,70387$ m,

(24) $\rightarrow \Delta z_{\max} = 0,24635$ m.

Ροή υποκρίσιμη: $y_1 = 1,50 > y_k = 0,97$

Q [m ³ /s]	b [m]	y_1 [m]	$\Delta z(x)$ [m]	H_{E1} [m]	A [m]	a [m ³]
6,00	2,00	1,50	0,12	1,70387	1,58387	0,45872

$y_i(x)$ [m]	A_i [m]	δA [%]	$y(x)$ [m]
1,24265	1,53971	-2,79	
1,31496	1,58025	-0,23 ✓	1,32 > 0,97 ροή υποκρίσιμη

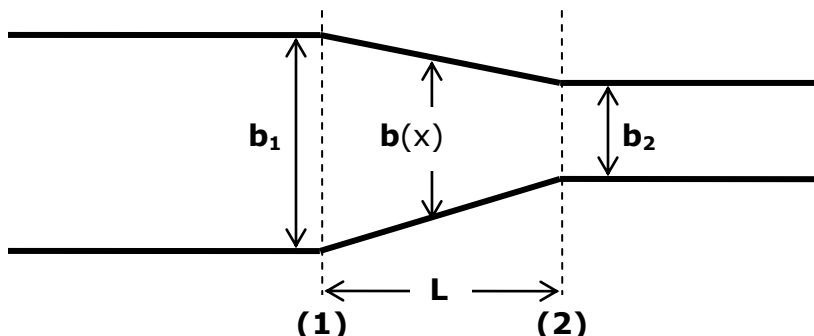
2.6.3 Αγωγός ορθογωνικής διατομής με πρακτικώς οριζόντιο πυθμένα, σε σχετικά μικρό μήκος L συστέλλεται βαθμιαία και ομαλά, έτσι που να αποφεύγεται η αποκόλληση της ροής. Το αρχικό πλάτος είναι $b_1 = 2,00$ m και το τελικό είναι το ελάχιστο: $b_{\min}$. Ο αγωγός μεταφέρει παροχή $Q = 6,00$ m³/s και το βάθος ροής στη διατομή (1) είναι $y_1 = 1,50$ m. Ζητούνται:

α) Το ελάχιστο πλάτος της στένωσης $b_{\min}$ και το αντίστοιχο βάθος ροής.

β) Το αντίστοιχο μήκος L της στένωσης

γ) Το βάθος ροής y σε μία θέση όπου το πλάτος είναι $b = 1,80$ m.

(Η εφαρμογή επικεντρώνεται στο Πρόβλημα 33)



κάτοψη

(3) $\rightarrow H_{E1} = 1,70387 \text{ m}$, (31) $\rightarrow \mathbf{b}_{\min} = \mathbf{1,58234 \text{ m}}$,
 (13) $\rightarrow y_{\kappa}(1) = 0,97168 \text{ m}$ και $\mathbf{y_{\kappa}(2) = 1,13592 \text{ m}}$

(38) $\rightarrow \mathbf{L = 0,94197 \text{ m}}$

Ροή υποκρίσιμη: $\mathbf{y_1 = 1,50 > y_{\kappa1} = 0,97}$

$Q \text{ [m}^3/\text{s]}$	$b_1 \text{ [m]}$	$y_1 \text{ [m]}$	$b(x) \text{ [m]}$	$H_{E1} \text{ [m]}$	$B \text{ [m]}$	$\beta \text{ [m}^3\text{]}$
6,00	2,00	1,50	1,80	1,70387	1,70387	1,83486

$y_i(x) \text{ [m]}$	$B_i \text{ [m]}$	$\delta B \text{ [\%]}$	$y(x) \text{ [m]}$
1,32566	1,64791	-3,28	
1,41723	1,69918	-0,28 ✓	1,42 > 1,04 ροή υποκρίσιμη

2.6.4 Αγωγός ορθογωνικής διατομής, με πρακτικώς οριζόντιο πυθμένα και αρχικό πλάτος $\mathbf{b_1 = 2,50 \text{ m}}$, στενεύει προς τα κατάντη γραμμικά σε τελικό πλάτος b_2 , με ταυτόχρονη γραμμική ανύψωση του πυθμένα κατά Δz , σε σχετικά μικρό μήκος L .

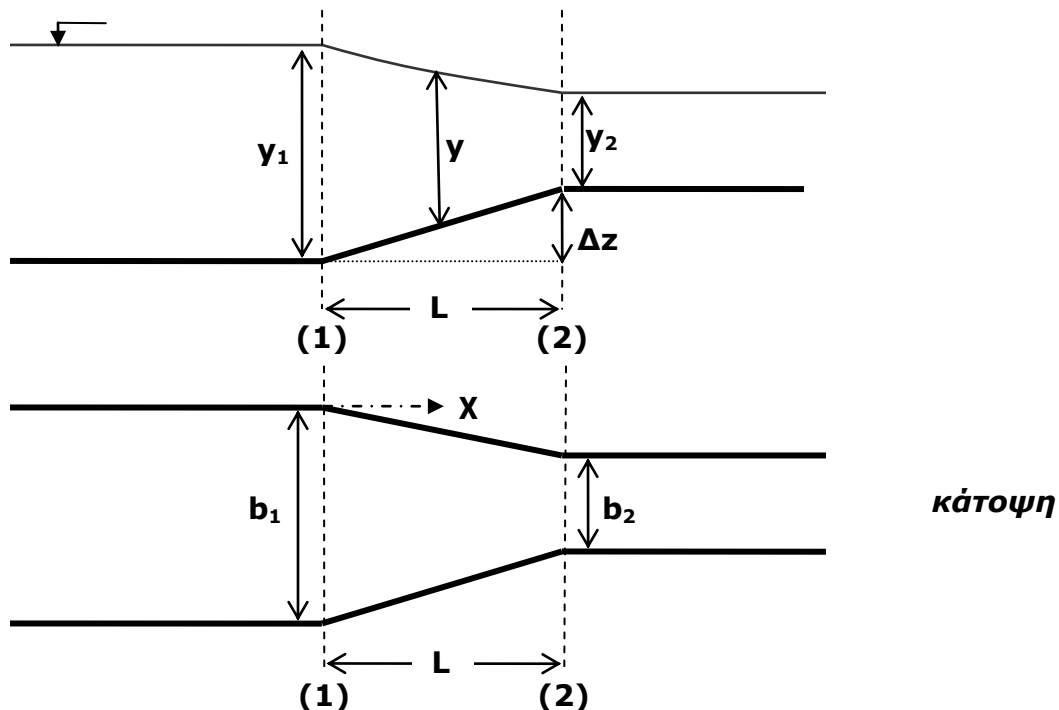
Ο αγωγός μεταφέρει παροχή $\mathbf{Q = 4,00 \text{ m}^3/\text{s}}$ και το βάθος ροής στη διατομή (1) είναι $\mathbf{y_1 = 1,80 \text{ m}}$. Οι απώλειες ενέργειας θεωρούνται αμελητέες και ζητούνται:

α) Να καθοριστούν το πλάτος b_2 και η ανύψωση του πυθμένα Δz , έτσι ώστε το βάθος ροής στη διατομή (2) να είναι $\mathbf{y_2 = y_{\kappa2} = b_2}$

β) Το αντίστοιχο μήκος L της συναρμογής

γ) Να υπολογισθεί το βάθος ροής y στο μέσο της συναρμογής.

(Η εφαρμογή βασίζεται στα Προβλήματα **32** και **33**)



$$(13) \rightarrow y_{\kappa2} = b_2 = \left(\frac{Q^2}{g} \right)^{0,2} \rightarrow \mathbf{y_2 = y_{\kappa2} = b_2 = 1,10 \text{ m}}$$

(3) ή (4) → $H_{E1} = 1,84027 \text{ m}$ και $H_{E2} = 1,65699 \text{ m}$, (38) → $\Delta_z = \mathbf{0,18328 \text{ m}}$

(38) → $L = \mathbf{3,157 \text{ m}}$

Ροή υποκρίσιμη: $y_1 = 1,80 > y_{κ1} = 0,51$

Η παρακάτω διαδικασία την οποία ακολουθούμε, αποτελεί δημιουργική αξιοποίηση των διαδικασιών επίλυσης των τυπικών Προβλημάτων 32 και 33.

- Υπολογίζουμε τις σταθερές $H_{E1} = y_1 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b^2 \cdot y_1^2}$, $\gamma = \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot b(x)^2}$

- Η (36) γράφεται: $\Gamma = H_{E1} - \Delta z(x) = y(x) + \frac{\gamma}{y(x)^2}$

το $\Delta_z(x)$ είναι γνωστό: $+\Delta_z/2$ και $\Delta H = 0$

- Επιλέγουμε ως 1^η τιμή εκκίνησης: $y_1(x) = y_1 - \frac{(y_1 - y_2) \cdot \Delta z(x) \cdot (b_1 - b(x))}{\Delta z \cdot (b_1 - b_2)}$

(διπλή γραμμική παρεμβολή με μεταβλητά τα b και Δ_z)

- Υπολογίζουμε το $\Gamma_1 = y_1(x) + \frac{\gamma}{y_1(x)^2}$

- Ελέγχουμε τη σύγκλιση $\frac{|\Gamma_1 - \Gamma|}{\Gamma} \leq 1\%$

- Διορθώνουμε $y_2(x) = (\Gamma / \Gamma_1)^2 \cdot y_1(x)$

- Επανυπολογίζουμε το $\Gamma_2 = y_2(x) + \frac{\gamma}{y_2(x)^2}$

- Επανελέγχουμε τη σύγκλιση $\frac{|\Gamma_2 - \Gamma|}{\Gamma} \leq 1\%$

- Απαιτήθηκε (εντελώς οριακά) 3^η περιστροφή $y_3(x) = (\Gamma / \Gamma_2)^2 \cdot y_2(x)$

Q [m ³ /s]	b ₁ [m]	y ₁ [m]	b(x) [m]	H _{E1} [m]	Γ [m]	γ [m ³]
4,00	2,50	1,80	1,80	1,84027	1,74863	0,25170

y _i (x) [m]	Γ _i [m]	δΓ [%]	y(x) [m]
1,62500	1,72032	-1,62	
1,67893	1,76823	+1,12	
1,64193	1,73529	-0,76 ✓	1,65 > 1,04 ροή υποκρίσιμη