

7 ΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΑΛΜΑ

X
X
X
X

7.1 Γενικά

7.1.1 Ανασκόπηση

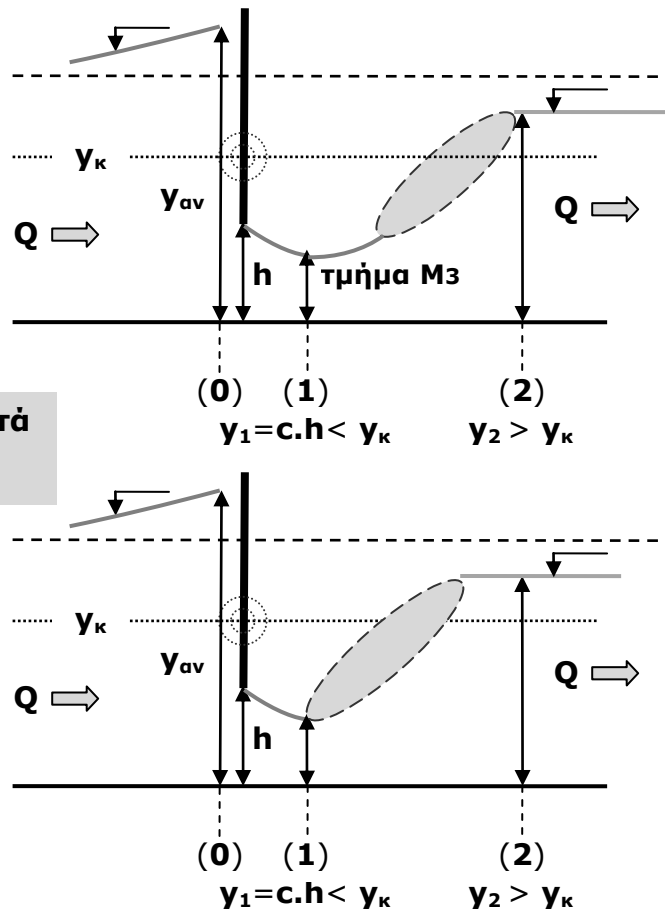
- Παραπομπές στο τεύχος **AH NV502**.
 - ο Βασικές έννοιες εδάφιο → 2.12.1
 - ο Υπολογισμός συζυγών βαθών – ορθογωνική διατομή - Πρόβλημα **T9** → 2.12.2
 - ο Υπολογισμός συζυγών βαθών – τυχούσα διατομή - Πρόβλημα **T6** → 2.9.1
 - ο Υπολογισμός κρίσιμης κλίσης - Πρόβλημα **T16** → 3.5.3
 - ο Περιοχές εμφάνισης υδραυλικού άλματος → 5.4.2
 - ο Υδραυλικό άλμα σε αλλαγή κλίσης - Πρόβλημα **T19** → 5.4.4
 - ο Υδραυλικό άλμα στο πέρας αγωγού - Πρόβλημα **T20** → 5.4.5
- Παραπομπές στο **Βιβλίο**.
 - ο Κατηγορίες υδραυλικού άλματος → 7.2
 - ο Χαρακτηριστικά μεγέθη (κυρίως μήκος) υδραυλικού άλματος → Σχήμα 7-7
 - ο Θέση σχηματισμού υδραυλικού άλματος → Σχήματα 7-15 έως 7-17
 - ο Υδραυλικό άλμα σε κεκλιμένο αγωγό → Σχήμα 7-23
- Έλεγχος υδραυλικού άλματος, όταν πραγματοποιείται **κατάντη** στο τεύχος **OPC NV701_4**

7.1.2 Θυρόφραγμα – ελεύθερο άλμα σε ορθογωνική διατομή – υποκρίσιμη κλίση

Η απόσταση της διατομής πλήρους συστολής είναι περίπου ίση με το άνοιγμα h και συνήθως θεωρείται αμελητέα.

y_{av} και y_1 εναλλακτά
 y_2 και y_1 συζυγή

Οριακή περίπτωση:
Άλμα ακριβώς κατάντη
του θυροφράγματος



➤ Υπολογισμός των εναλλακτών βαθών με την απλοποιημένη εφαρμογή του Προβλήματος **5**

- Δεδομένα: Παροχή Q , πλάτος b , (άρα και y_k) άνοιγμα h , συντελεστής c και **ένα** εκ των δύο εναλλακτών βαθών y_{av} ή y_1 .

- Ο υπολογισμός γίνεται **απευθείας** ως λύση β' βαθμιας εξίσωσης D_p

- Ο υπολογισμός γίνεται μέσω του κρίσιμου βάθους y_k

Σημείωση 1: Εάν το y_k δεν έχει ήδη υπολογιστεί, υπολογίζεται από τη σχέση (14) και **διατηρούμε όλα τα δεκαδικά ψηφία!**

- Υπολογισμός υπερκρίσιμου y_1 : $y_1 = c \cdot h = y_k \cdot \left(k_1^2 + \sqrt{k_1 \cdot (k_1^3 + 1)} \right)$ (157β)

Με $k_1 = \frac{y_k}{2 \cdot y_{av}}$ (157δ), όπου y_{av} το γνωστό υποκρίσιμο βάθος.

- Υπολογισμός υποκρίσιμου y_{av} : $y_{av} = y_k \cdot \left(k_2^2 + \sqrt{k_2 \cdot (k_2^3 + 1)} \right)$ (158β)

Με $k_2 = \frac{Y_k}{2 \cdot y_1} = \frac{Y_k}{2 \cdot c \cdot h}$ (158δ), όπου y_1 το γνωστό υπερκρίσιμο βάθος.

➤ Υπολογισμός των συζυγών βαθών και των απωλειών ενέργειας - Πρόβλημα **Τ6**

- Δεδομένα: Παροχή **Q**, πλάτος **b** και **ένα** εκ των δύο συζυγών βαθών y_1 ή y_2 (άρα και F_1 ή F_2).
- Ο υπολογισμός γίνεται μέσω του γνωστού **F**.

*Σημείωση 2: Εάν το αντίστοιχο **F** δεν έχει ήδη υπολογιστεί, υπολογίζεται από τις σχέσεις (1β) ή (1γ) και **διατηρούμε όλα** τα **δεκαδικά** ψηφία!*

- Υπολογισμός υπερκρίσιμου y_1 : $y_1 = c \cdot h = \frac{y_2}{2} \cdot (\sqrt{1 + 8 \cdot F_2^2} - 1)$ (98β)

Με $F_2 = \frac{Q}{b \cdot y_2 \cdot \sqrt{g \cdot y_2}}$ (1β), όπου y_2 το γνωστό υποκρίσιμο βάθος.

- Υπολογισμός υποκρίσιμου y_2 : $y_2 = \frac{y_1}{2} \cdot (\sqrt{1 + 8 \cdot F_1^2} - 1)$ (98γ)

Με $F_1 = \frac{Q}{b \cdot y_1 \cdot \sqrt{g \cdot y_1}}$ (1γ), όπου y_1 το γνωστό υπερκρίσιμο βάθος.

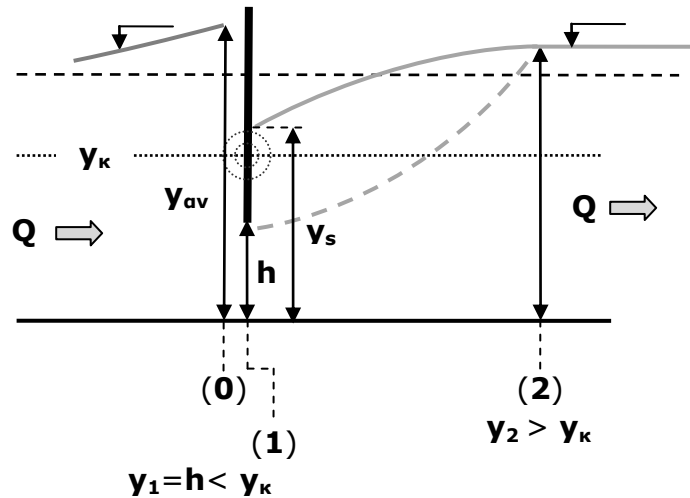
- Υπολογισμός απωλειών ενέργειας: (99) → $\Delta H_{(1-2)} = \frac{(y_2 - c \cdot h)^3}{4 \cdot c \cdot h \cdot y_2}$ (99α)

7.1.3 Θυρόφραγμα – βυθισμένο άλμα σε ορθογωνική διατομή – υποκρίσιμη κλίση

Η διατομή (1) είναι *υβριδική*:

Η **ταχύτητα** υπολογίζεται με το βάθος h (βυθισμένη φλέβα).

Οι **δυνάμεις** εκ πιέσεων με το βάθος h_s



- Αποδεικνύονται, χρησιμοποιώντας μονοδιάστατη ανάλυση, οι σχέσεις:

$$\frac{y_s}{y_2} = \sqrt{1 + 2 \cdot F_2^2 \cdot \left(1 - \frac{y_2}{h}\right)} \quad (991) \text{ και } y_{av} + \frac{y_k^3}{2 \cdot y_{av}^2} = y_s + \frac{y_k^3}{2 \cdot h^2} \quad (992)$$

Με $F_2 = \frac{Q}{b \cdot y_2 \cdot \sqrt{g \cdot y_2}} \quad (1\beta)$, όπου y_2 το υποκρίσιμο βάθος.

- Είναι προφανές ότι, **εάν** το θυρόφραγμα λειτουργήσει ως **βυθισμένο**, το βάθος ροής y_{av} *ακριβώς* στην ανάντη παρειά του **αυξάνει** και προκαλείται **ανάσχεση** της **ροής** = επηρεασμός των ανάντη συνθηκών.
Για να **μην** υπάρξει **ανάσχεση** πρέπει το βάθος ροής y_{av} να παραμείνει **αμετάβλητο** για τη δεδομένη παροχή Q .

- Στη ροή με βυθισμένο άλμα εμπλέκονται τρία μεγέθη: h , y_s και y_2 επιπλέον των y_{av} , Q και b - Πρόβλημα **T151**

- Υπολογισμός του y_s με δεδομένα τα h , y_2 , Q και b (άρα και F_2) - Πρόβλημα **T151α**

$$y_s = y_2 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot F_2^2 \cdot \left(1 - \frac{y_2}{h}\right)} \quad (991a), \text{ με } F_2 = \frac{Q}{b \cdot y_2 \cdot \sqrt{g \cdot y_2}} \quad (1\beta)$$

- Υπολογισμός του h με δεδομένα τα y_s , y_2 , Q και b (άρα και F_2) - Πρόβλημα **T151β**

$$h = \frac{2 \cdot F_2^2 \cdot y_2}{1 + 2 \cdot F_2^2 - \left(\frac{y_s}{y_2}\right)^2} \quad (991\beta), \text{ με } F_2 = \frac{Q}{b \cdot y_2 \cdot \sqrt{g \cdot y_2}} \quad (1\beta)$$

- Υπολογισμός του y_2 με δεδομένα τα y_s, h, Q και b (άρα και y_k) - Πρόβλημα **T151γ**

$$y_2^3 - (y_s^2 + k_3) \cdot y_2 + k_3 \cdot h = 0 \quad (991\gamma), \text{ με } k_3 = \frac{2 \cdot y_k^3}{h} \quad (991\delta)$$

Σημείωση 1: Εάν το y_k δεν έχει ήδη υπολογιστεί, υπολογίζεται από τη σχέση (14) και **διατηρούμε όλα τα δεκαδικά ψηφία!**

Ο υπολογισμός γίνεται με **δύο διαδοχικές τιμές** ως λύση γ' βαθμιας εξίσωσης $\mathcal{D}$

$$y_{21} = \sqrt{y_s^2 + k_3} \rightarrow y_{22} = y_{21} - \frac{k_3 \cdot h}{3 \cdot y_{21}^2 - (y_s^2 + k_3)}$$

- Υπολογισμός απωλειών ενέργειας:

$$\Delta H_{(1-2)} = \frac{y_2}{2} \cdot \left\{ 2 + F_2^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{y_2}{h} \right)^2 \right] - \sqrt{1 + 2 \cdot F_2^2 \cdot \left(1 - \frac{y_2}{h} \right)} \right\} \quad (99\beta)$$

- Στη ροή σε βυθισμένο θυρόφραγμα εμπλέκονται τρία μεγέθη: h, y_s και y_{av} επιπλέον των y_2, Q και b - Πρόβλημα **T152**

- Υπολογισμός του y_s με δεδομένα τα h, y_{av}, Q και b (άρα και y_k) - Πρόβλημα **T152α**

$$y_s = y_{av} + \frac{y_k^3}{2} \cdot \left(\frac{1}{y_{av}^2} - \frac{1}{h^2} \right) \quad (992\alpha)$$

Σημείωση 1: Εάν το y_k δεν έχει ήδη υπολογιστεί, υπολογίζεται από τη σχέση (14) και **διατηρούμε όλα τα δεκαδικά ψηφία!**

- Υπολογισμός του h με δεδομένα τα y_s, y_{av}, Q και b - Πρόβλημα **T152α**

$$h = y_{av} \cdot \sqrt{\frac{y_k^3}{2 \cdot (y_{av} - y_s) \cdot y_{av}^2 + y_k^3}} \quad (992\beta)$$

Σημείωση 1: Εάν το y_k δεν έχει ήδη υπολογιστεί, υπολογίζεται από τη σχέση (14) και **διατηρούμε όλα τα δεκαδικά ψηφία!**

- Υπολογισμός του y_{av} με δεδομένα τα y_s, h, Q και b (άρα και y_k) - Πρόβλημα **T152γ**

$$y_{av}^3 - (y_s + k_4) \cdot y_{av}^2 + k_4 \cdot h^2 = 0 \quad (991\gamma), \text{ με } k_4 = \frac{y_k^3}{2 \cdot h^2} \quad (991\delta)$$

Σημείωση 1: Εάν το y_k δεν έχει ήδη υπολογιστεί, υπολογίζεται από τη σχέση (14) και **διατηρούμε όλα τα δεκαδικά ψηφία!**

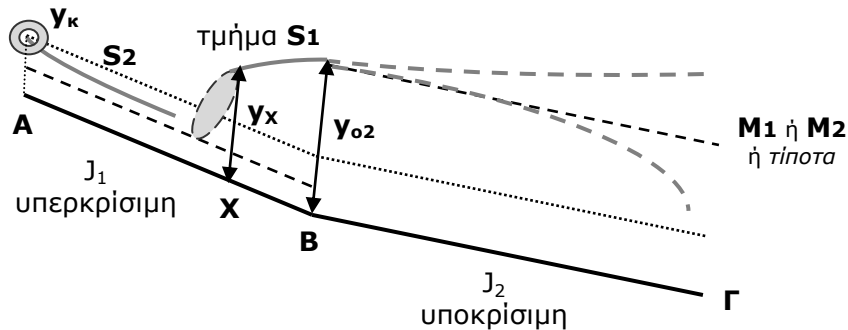
Ο υπολογισμός γίνεται με **δύο διαδοχικές τιμές** ως λύση γ' βαθμιας εξίσωσης $\mathcal{D}$

$$y_{av1} = y_s + k_4 \rightarrow y_{av2} = y_{av1} - \frac{k_4 \cdot h^2}{y_{av1} \cdot (3 \cdot y_{av1} - y_s - k_4)}$$

7.1.4 Προσδιορισμός της ακριβούς θέσης άλματος – υπερκρίσιμη/υποκρίσιμη κλίση

➤ Εξετάζουμε πρώτα **ποιοτικά** τη θέση του άλματος (βλ. 5ο).

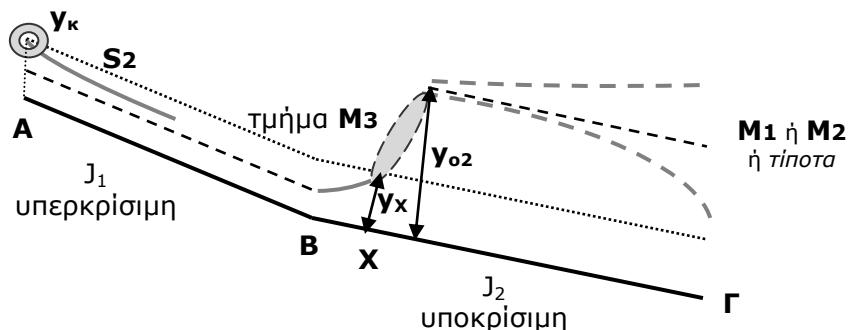
- Εάν τεκμηριώσουμε ότι είναι **ανάντη**:



- Υπολογίζουμε το $y_x > y_k$: συζυγές του y_{o1}
- Ολοκληρώνουμε το τμήμα **S1**: $ABBO$ [$y_{o2} \rightarrow y_x$] $\rightarrow L_{BX}$
- Υπολογίζουμε το μήκος του άλματος: $L_{αλμ}$ – **προσοχή στην κλίση!**
- Προσδιορίζουμε την **αρχή** της θέσης του άλματος, **ανάντη** του **B**:

$$L_B = L_{BX} + L_{αλμ}$$

- Εάν τεκμηριώσουμε ότι είναι **κατάντη**:



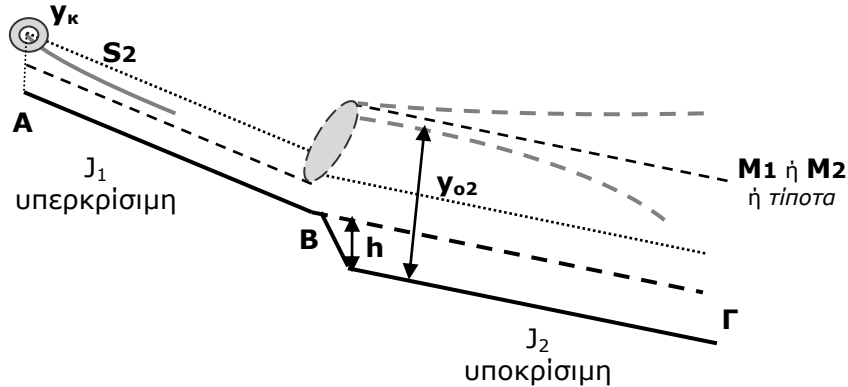
- Υπολογίζουμε το $y_x < y_k$: συζυγές του y_{o2}
- Ολοκληρώνουμε το τμήμα **M3**: $ABBO$ [$y_{o2} \rightarrow y_x$] $\rightarrow L_{BX}$
- Υπολογίζουμε το μήκος του άλματος: $L_{αλμ}$
- Προσδιορίζουμε την **αρχή** της θέσης του άλματος, **κατάντη** του **B**:

$$L_B = L_{BX} \quad (\text{Προσοχή, εδώ ΔΕΝ προσθέτουμε το μήκος του άλματος}).$$

7.1.5 Έλεγχος του άλματος όταν πραγματοποιείται **ανάντη** με απλή κατασκευή

- Για τον έλεγχο του άλματος με απλές κατασκευές, όταν πραγματοποιείται **κατάντη** βλ. στο τεύχος **OPC NV701_4 E**

- **Ταπείνωση πυθμένα - Υπολογισμός h**



- ο Αντιστοιχία συμβόλων σχήματος Σημειώσεων και Σχήματος **7-21** βιβλίου.

Σημειώσεις	y_1	y_{o2}	F_1	h
Βιβλίο	y_1	y_3	F_1	h

Σημείωση: Το βάθος ροής y_1 είναι το ομοιόμορφο βάθος y_{o1} , εάν η S_2 έχει ολοκληρωθεί ή το βάθος $y_1 > y_{o1}$, στο σημείο **B** εάν η S_2 δεν έχει ολοκληρωθεί ☹

- ο Περιορισμοί στα όρια Σχήματος **7-20** βιβλίου: >

$$1 < F_1 < 10 \text{ και } 1 \leq \frac{h}{y_1} \leq 4 \text{ (760)}$$

- ο Υπολογισμός του ύψους ταπείνωσης (βάθους) h :

$$(\text{βλ. Σχήμα } \mathbf{7-21} \text{ βιβλίου}): \left\{ F_1, \frac{y_{o2}}{y_1} \right\} \rightarrow \frac{h}{y_1} \rightarrow h$$

- **Αναλυτικές σχέσεις:**

- ο Οι καμπύλες (ευθείες) στο Σχήμα 7.20 αντιστοιχούν σε «περιοχές» (βλ. βιβλίο). Το άλμα σταθεροποιείται, δηλαδή ταπείνωση δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, μόνο στις περιοχές 2 και 4, ενώ στην περιοχή 3 παρατηρούνται κυματοειδή άλματα.

- ο Στην περιοχή 2 (χαμηλός κλάδος) το άλμα σταθεροποιείται προ της ταπείνωσης

$$(a - x)^2 = \frac{2 \cdot (a - 1) \cdot F_1^2}{a} + 1 \text{ (761), όπου } a = \frac{y_{o2}}{y_1} \text{ και } x = \frac{h}{y_1}$$

- ο Στην περιοχή 4 (υψηλός κλάδος) το άλμα σταθεροποιείται αμέσως κατάντη της ταπείνωσης

$$(x + 1)^2 = \frac{2 \cdot (a - 1) \cdot F_1^2}{a} - a, \text{ (762) όπου } a = \frac{y_{o2}}{y_1} \text{ και } x = \frac{h}{y_1}$$

- Μετασχηματίζοντας τις σχέσεις (761) και (762) είναι δυνατό να γίνει αναλυτικός, ακριβέστερος, υπολογισμός του h :

$$x = a - \left(\frac{2 \cdot (a-1) \cdot F_1^2}{a} + 1 \right)^{1/2} \quad (761a) \text{ και } h = x \cdot y_1$$

$$x = \left(\frac{2 \cdot (a-1) \cdot F_1^2}{a} - a \right)^{1/2} - 1 \quad (762a) \text{ και } h = x \cdot y_1$$

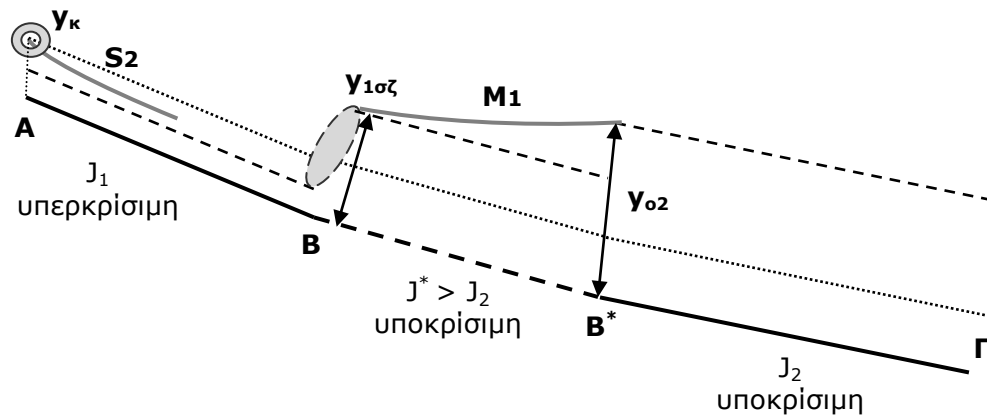
- Επειδή δεν είναι αρχικώς γνωστό ποιά σχέση μεταξύ (761a) και (762a) θα Πρέπει να χρησιμοποιήσουμε η προτεινόμενη διαδικασία είναι:
 - Χρήση του γραφήματος (βλ. Σχήμα **7-21** βιβλίου), χονδρικός προσδιορισμός του h και της αντίστοιχης **περιοχής**.
 - Χρήση της αντίστοιχης στην περιοχή σχέσης και ακριβής υπολογισμός του h .
- **Μεταβολή της θέσης του άλματος λόγω μεταβολής της παροχής**
 - Είναι προφανές ότι για **διαφορετικές παροχές** (μεγαλύτερες ή μικρότερες) από την παροχή σχεδιασμού η **ακριβής θέση** του άλματος **μεταβάλλεται**.
 - Αλλά, η **περιοχή** (ανάντη ή κατάντη) της αλλαγής της κλίσης, όπου εμφανίζεται το άλμα, **σπανιότατα μεταβάλλεται** για ρεαλιστικές μεταβολές της παροχής, εάν **δεν** έχει υλοποιηθεί στο σχεδιασμό **απλή κατασκευή ελέγχου** του άλματος.
 - **Αντιθέτως, εάν έχει υλοποιηθεί** στο σχεδιασμό απλή κατασκευή ελέγχου του άλματος (ταπείνωση), πρέπει να εξετασθούν οι συγκεκριμένες συνθήκες της ροής. Είναι δυνατό να εμφανίζεται ακόμη και (ασθενές) υδραυλικό άλμα **κατάντη** ☹️

7.1.6 Έλεγχος του άλματος όταν πραγματοποιείται **ανάντη** με απλές διαμορφώσεις

- Για τον έλεγχο του άλματος με απλές διαμορφώσεις, όταν πραγματοποιείται **κατάντη** βλ. στο τεύχος **OPC NV701_4 E**
- Απλές διαμορφώσεις είναι η παρεμβολή τμήματος αγωγού, *σχετικώς μικρού μήκους* και κατάλληλης κλίσης **J**, η παρεμβολή στένωσης ή διαπλάτυνσης του αγωγού με αντίστοιχη συναρμογή.
- Προσοχή! Το μήκος του άλματος, στις διαμορφώσεις δεν επηρεάζεται από αυτές. Πρέπει να υπολογισθεί και προστεθεί στο μήκος της διαμόρφωσης.
- Θα εξετάσουμε ενδεικτικώς **δύο λύσεις** διαμόρφωσης με **παρεμβολή τμήματος αγωγού**.
- Λύση Α: Υπολογίζουμε την κλίση **J*** του αγωγού για την οποία το άλμα πραγματοποιείται **ακριβώς στην αλλαγή της κλίσης**.

- Πρόβλημα **Τ12**: $J^* = \left(\frac{n \cdot Q}{E(y_{1\sigma\zeta}) \cdot R^{2/3}(y_{1\sigma\zeta})} \right)^2 \quad (103\beta)$

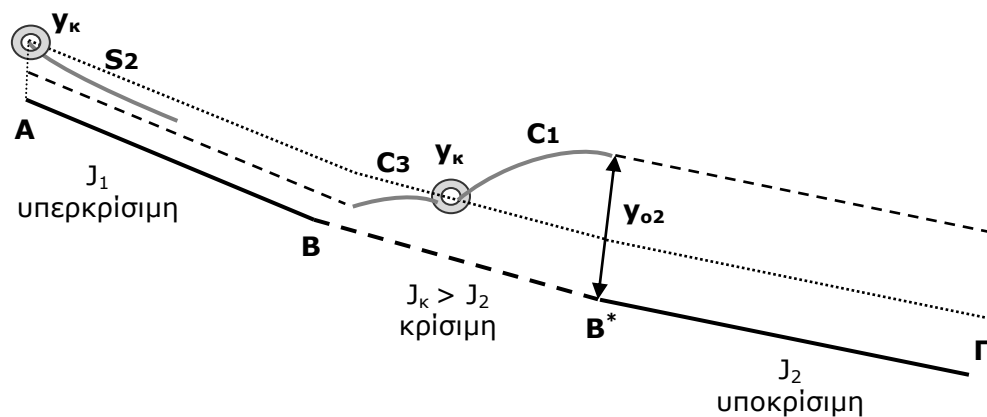
- **Εάν** το άλμα πραγματοποιείται αρχικώς **ανάντη**, η κλίση J^* του αγωγού παρεμβολής θα έχει τιμή: $J_1 > J^* > J_2$



- **Λύση Β:** Υπολογίζουμε την κρίσιμη κλίση $J_κ$ του αγωγού για την οποία, ως γνωστόν, **δεν εμφανίζεται άλμα**.

○ Πρόβλημα **T14**: $J_κ = \left(\frac{n \cdot Q}{E(y_κ) \cdot R^{2/3}(y_κ)} \right)^2 (103\gamma)$

- **Εάν** το άλμα πραγματοποιείται αρχικώς **ανάντη**, η κλίση $J_κ$ του αγωγού παρεμβολής θα έχει τιμή: $J_1 > J_κ > J_2$



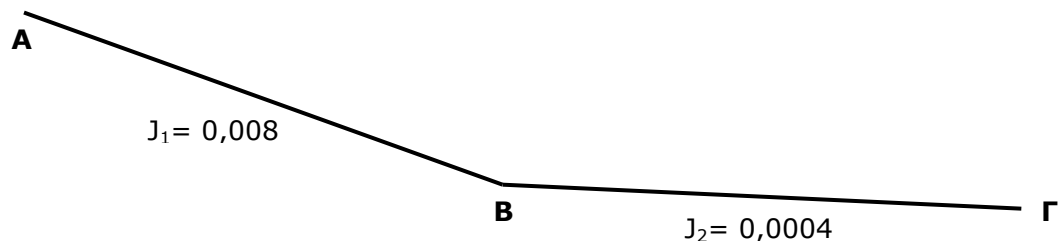
- Είναι προφανές ότι για **διαφορετικές παροχές** (μεγαλύτερες ή μικρότερες) από την παροχή σχεδιασμού, και η παραπάνω **λύση** είναι **ευάλωτη** ☹*

7.1.7 Αριθμητικό παράδειγμα – Έλεγχος του άλματος όταν πραγματοποιείται ανάντη με απλή κατασκευή

Αγωγός ΑΒΓ αποτελείται από δύο τμήματα μεγάλου μήκους, ορθογωνικής διατομής με κοινό πλάτος **b**= **4,5** m και παροχετεύει παροχή σχεδιασμού **Q**= **25,9** m³/s.

Ο αγωγός έχει ενιαίο συντελεστή τραχύτητας **n**= **0,014** και οι κλίσεις του πυθμένα είναι: **J₁**= **0,0080** και **J₂**= **0,0004**.

- 1) Ζητείται η περιοχή εμφάνισης του άλματος (ανάντη ή κατάντη) του σημείου Β.
- 2) Προτείνετε και υπολογίστε απλή κατασκευή για τον έλεγχο του άλματος, ώστε να πραγματοποιείται στο σημείο Β.
- 3) Προσδιορίστε την περιοχή εμφάνισης του άλματος για παροχή **Q⁺**= **50** m³/s.
 - α) Εάν δεν υπάρχει απλή κατασκευή και
 - β) Εάν υπάρχει η απλή κατασκευή που σχεδιάσατε στο ερώτημα 2.
- 4) Προσδιορίστε την περιοχή εμφάνισης του άλματος για παροχή **Q⁻**= **10** m³/s.
 - α) Εάν δεν υπάρχει απλή κατασκευή και
 - β) Εάν υπάρχει η απλή κατασκευή που σχεδιάσατε στο ερώτημα 2.
- 5) Προσδιορίστε την περιοχή εμφάνισης του άλματος για παροχή **Q^{*}**= **5** m³/s.
 - α) Εάν δεν υπάρχει απλή κατασκευή και
 - β) Εάν υπάρχει η απλή κατασκευή που σχεδιάσατε στο ερώτημα 2.
- 6) Υπολογίστε το απαιτούμενο μήκος αγωγού ΒΒ', ο οποίος πρέπει να παρεμβληθεί, και με τις δύο λύσεις απλής διαμόρφωσης για παροχή **Q^{*}**= **25,9** m³/s.



➤ Παροχή σχεδιασμού **Q**= **25,9** m³/s.

- Υπολογισμός του ενιαίου κρίσιμου βάθους - Πρόβλημα **Τ1**: (14) → **y_κ**= **1,50** m.
- **ΑΒ**: Υπολογισμός του βάθους ομοιόμορφης ροής **y_{ο1}** - Πρόβλημα **Τ10**:

Q [m ³ /s]	b [m]	n	J	C_o	Φ_{ο1}
25,9	4,50	0,014	0,008	4,05399	0,07345

y_{ο1} [m]	y_{ο2} [m]	Δy_ο [%]	y_{ο1} [m]	ροή
1,08129	1,09894	+1,63 ✓	1,10 < 1,50	υπερκρίσιμη

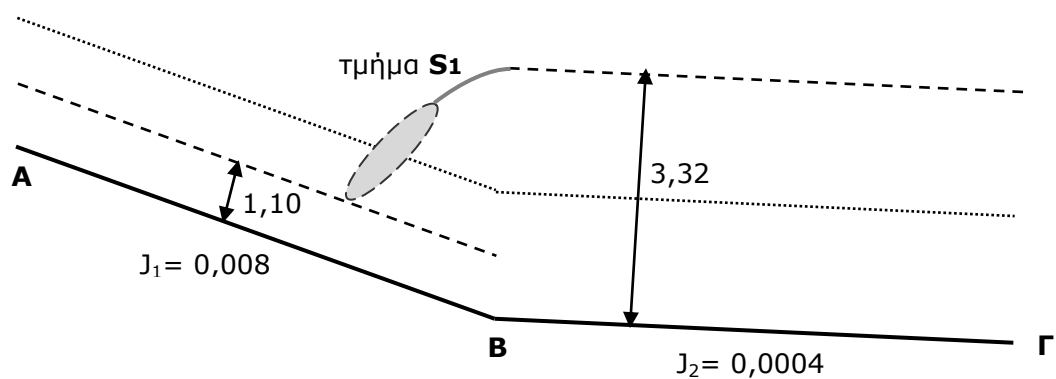
- **ΒΓ**: Υπολογισμός του βάθους ομοιόμορφης ροής **y_{ο2}** - Πρόβλημα **Τ10**:

Q [m ³ /s]	b [m]	n	J	C_o	Φ_{ο1}
25,9	4,50	0,014	0,0004	18,13000	0,32847

y_{ο1} [m]	y_{ο2} [m]	Δy_ο [%]	y_{ο2} [m]	ροή
3,35530	3,32413	-0,92 ✓	3,32 > 1,50	υποκρίσιμη

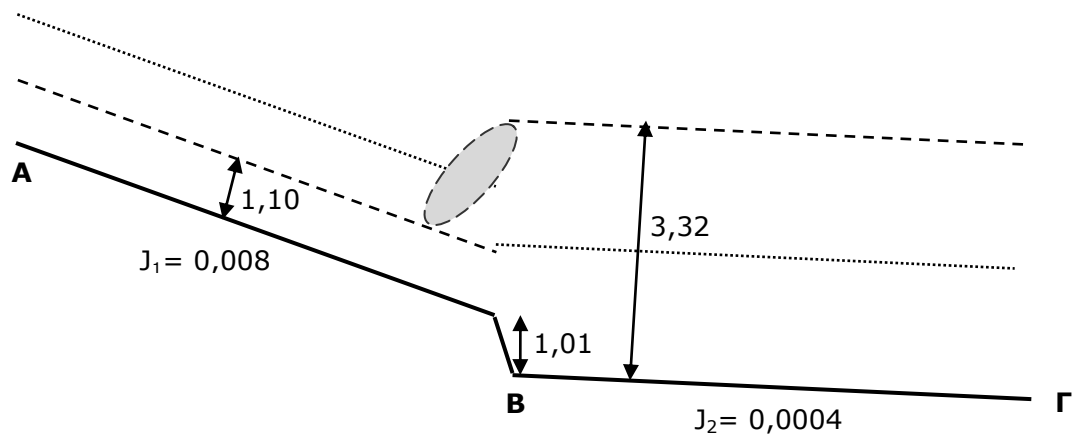
- Υπολογισμός του συζυγούς βάθους **y_{ο1συζ}**

Q [m ³ /s]	b [m]	y_{ο1} [m]	F_{ο1}	y_{ο1συζ} [m]
25,9	4,50	1,10	1,593	2,161 < 3,32 → άλμα ανάντη



• **Ταπείνωση πυθμένα - Υπολογισμός h**

y_{o2} [m]	y_{o1} [m]	$a = \frac{y_{o2}}{y_1}$	F_1	$\frac{h}{y_1}$	$h_{\text{γραφ}}$ [m]	$x = \frac{h}{y_1}$	$h_{\text{τελ}}$ [m]
3,32	1,10	3,02	1,59	1	1,10	0,92	1,01



➤ Παροχή (μεγαλύτερη) $Q^+ = 50 \text{ m}^3/\text{s}$.

• Υπολογισμός του ενιαίου κρίσιμου βάθους - Πρόβλημα **Τ1**: (14) $\rightarrow y_k = 1,50 \text{ m}$.

• **AB**: Υπολογισμός του βάθους ομοιόμορφης ροής y_{o1} - Πρόβλημα **Τ10**:

Q [m ³ /s]	b [m]	n	J	C_o	Φ_{o1}
50	4,50	0,014	0,008	7,82624	0,14179

y_{o1} [m]	y_{o2} [m]	δy_o [%]	y_{o1} [m]	ροή
1,77790	1,75939	-1,04 ✓	1,76 < 2,33	υπερκρίσιμη

• **BΓ**: Υπολογισμός του βάθους ομοιόμορφης ροής y_{o2} - Πρόβλημα **Τ10**:

Q [m ³ /s]	b [m]	n	J	C_o	Φ_{o1}
50	4,50	0,014	0,0004	35,00000	0,63411

y_{o1} [m]	y_{o2} [m]	δy_o [%]	y_{o3} [m]	δy_o [%]	y_{o2} [m]	ροή
5,51693	5,62005	+1,87 ✓	5,64978	+0,52 ✓	5,65 > 2,33	υποκρίσιμη

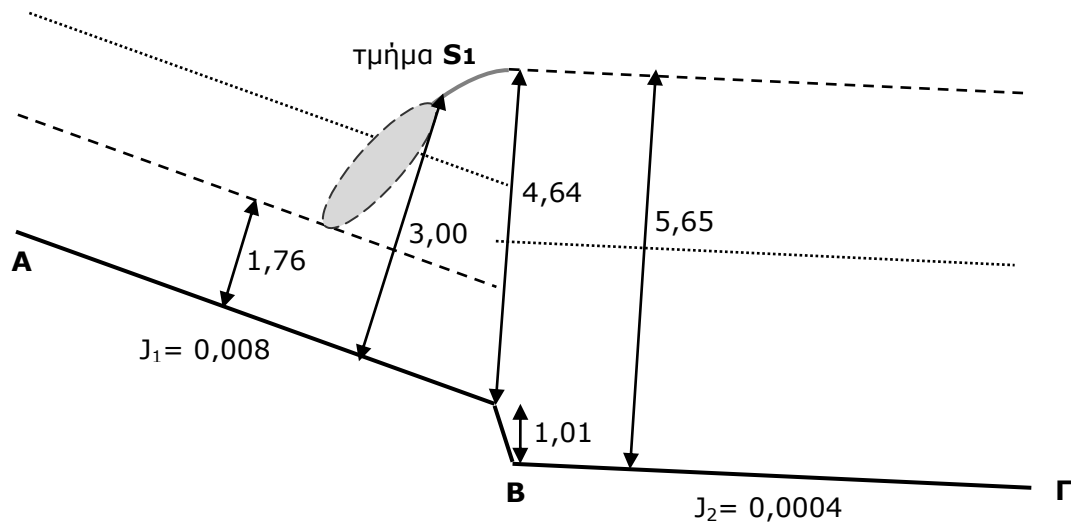
- Υπολογισμός του συζυγούς βάθους $y_{o1\text{συζ}}$

Q [m^3/s]	b [m]	y_{o1} [m]	F_{o1}	$y_{o1\text{συζ}}$ [m]
50	4,50	1,76	1,519	3,003 < 5,65 → άλμα ανάντη

- Ταπείνωση πυθμένα - Υπολογισμός h**

y_{o2} [m]	y_{o1} [m]	$a = \frac{y_{o2}}{y_1}$	F_1	$\frac{h}{y_1}$	$h_{\text{γραφ}}$ [m]	$x = \frac{h}{y_1}$	$h_{\text{ΤΕΛ}}$ [m]
5,65	1,76	3,21	1,52	1,2	2,11	1,16	2,05

- Η **υπάρχουσα** ταπείνωση $h = 1,01$ m **δεν είναι επαρκής** για τον έλεγχο του άλματος. Είναι (χονδρικώς) $3,00 < 4,64$ και το άλμα μετακινείται προς τα ανάντη, με μικρότερο μήκος του τμήματος S_1 [4,64→3,00] από το αντίστοιχο χωρίς καθόλου ταπείνωση [5,65→3,00].



- Παροχή (μικρότερη) $Q = 10$ m^3/s .

- Υπολογισμός του ενιαίου κρίσιμου βάθους - Πρόβλημα **Τ1**: (14) → $y_k = 0,80$ m.
- AB**: Υπολογισμός του βάθους ομοιόμορφης ροής y_{o1} - Πρόβλημα **Τ10**:

Q [m^3/s]	b [m]	n	J	C_o	Φ_{o1}
10	4,50	0,014	0,008	1,56525	0,02836

y_{o1} [m]	y_{o2} [m]	δy_o [%]	y_{o1} [m]	ροή
0,52661	0,57724	+0,96 ✓	0,58 < 0,80	υπερκρίσιμη

- BΓ**: Υπολογισμός του βάθους ομοιόμορφης ροής y_{o2} - Πρόβλημα **Τ10**:

Q [m^3/s]	b [m]	n	J	C_o	Φ_{o1}
10	4,50	0,014	0,0004	7,00000	0,12682

y_{o1} [m]	y_{o2} [m]	δy_o [%]	y_{o2} [m]	ροή
1,63409	1,62171	-0,75 ✓	1,62 > 0,80	υποκρίσιμη

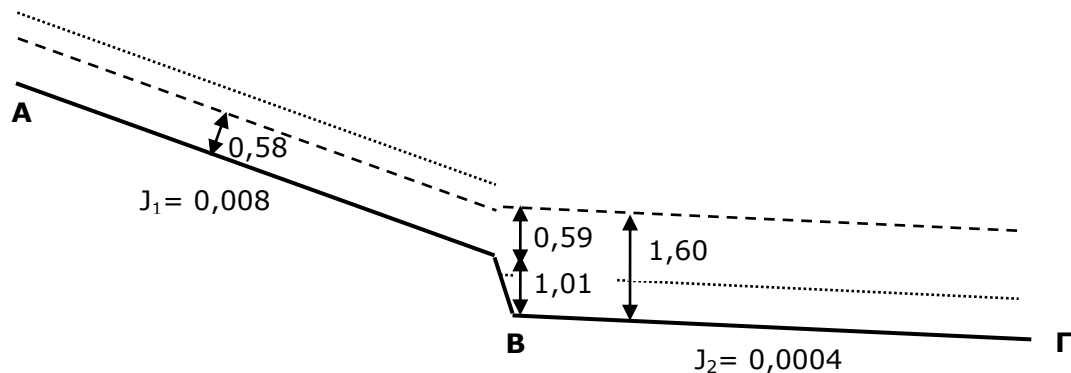
- Υπολογισμός του συζυγούς βάθους $y_{o1\text{συζ}}$

Q [m^3/s]	b [m]	y_{o1} [m]	F_{o1}	$y_{o1\text{συζ}}$ [m]
10	4,50	0,58	1,606	1,06 < 1,62 → άλμα ανάντη

• **Ταπείνωση πυθμένα - Υπολογισμός h**

y_{o2} [m]	y_{o1} [m]	$a = \frac{y_{o2}}{y_1}$	F_1	$\frac{h}{y_1}$	$h_{\text{γραφ}}$ [m]	$x = \frac{h}{y_1}$	$h_{\text{τελ}}$ [m]
1,62	0,58	2,79	1,61	0,8	0,46	0,71	0,41

- Η **υπάρχουσα** ταπείνωση $h = 1,01$ m **οδηγεί** σε **μη εμφάνιση** άλματος!
Είναι (χονδρικώς) $0,58 \approx 0,59$ ☹*



- Παροχή (πολύ μικρότερη) $Q^* = 5$ m³/s.
- Υπολογισμός του ενιαίου κρίσιμου βάθους - Πρόβλημα **Τ1**: (14) → $y_k = 0,50$ m.
- **AB**: Υπολογισμός του βάθους ομοιόμορφης ροής y_{o1} - Πρόβλημα **Τ10**:

Q [m ³ /s]	b [m]	n	J	C_o	Φ_{o1}
5	4,50	0,014	0,008	0,78262	0,01418

y_{o1} [m]	y_{o2} [m]	δy_o [%]	y_{o3} [m]	δy_o [%]	y_{o1} [m]	ροή
0,31182	0,36877	+18,26	0,37202	+0,88 ✓	0,37 < 0,50	υπερκρίσιμη

- **BΓ**: Υπολογισμός του βάθους ομοιόμορφης ροής y_{o2} - Πρόβλημα **Τ10**:

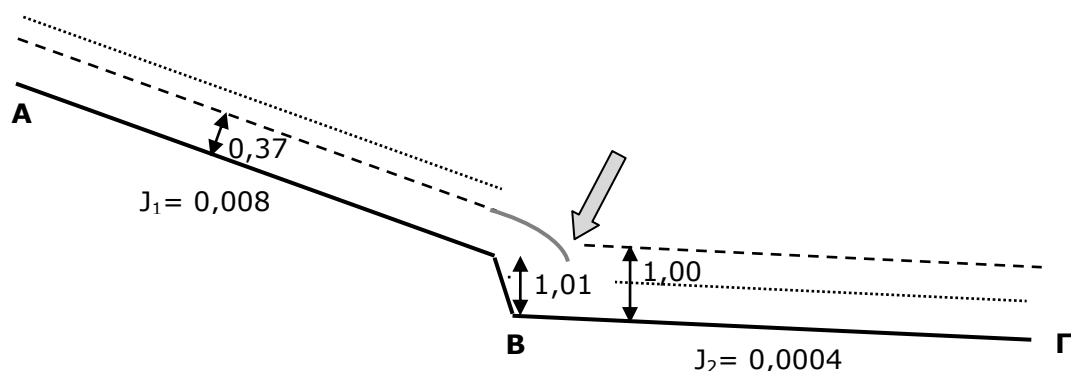
Q [m ³ /s]	b [m]	n	J	C_o	Φ_{o1}
5	4,50	0,014	0,0004	3,50000	0,06341

y_{o1} [m]	y_{o2} [m]	δy_o [%]	y_{o2} [m]	δy_o [%]	y_{o2} [m]	ροή
0,96760	0,99232	+2,55	0,99537	+0,31 ✓	1,00 > 0,50	υποκρίσιμη

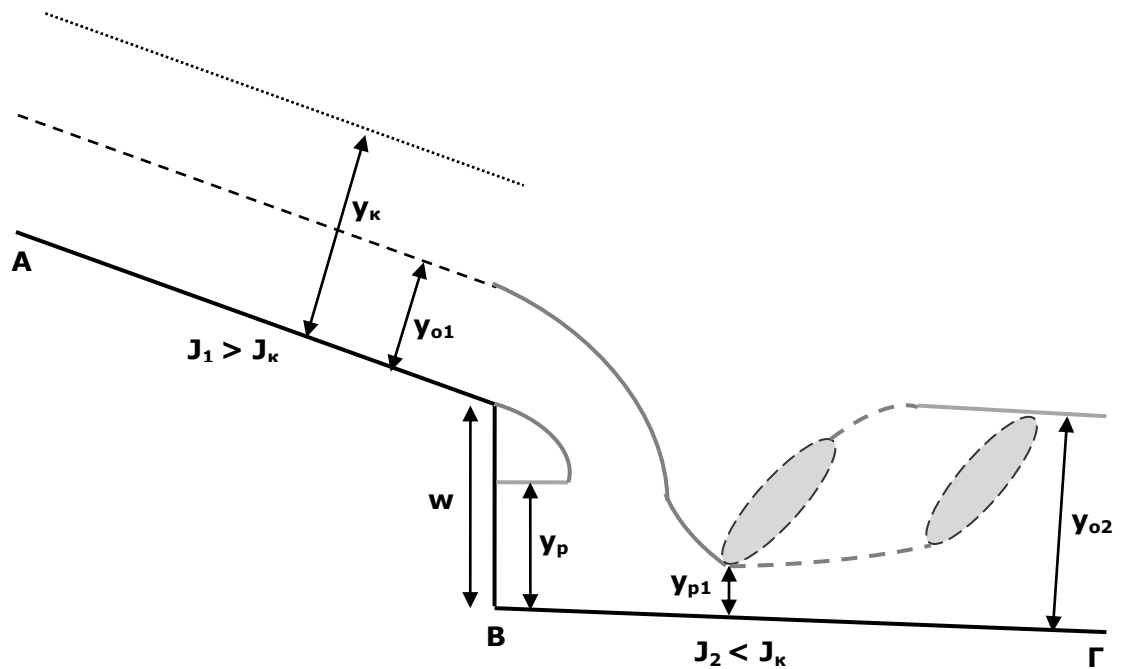
- Υπολογισμός του συζυγούς βάθους $y_{o1\text{συζ}}$

Q [m ³ /s]	b [m]	y_{o1} [m]	F_{o1}	$y_{o1\text{συζ}}$ [m]
5	4,50	0,58	1,606	1,06 > 1,00 → άλμα κατάντη ☹*

- Η **υπάρχουσα** ταπείνωση $h = 1,01$ m **οδηγεί** σε οιονεί **ελεύθερη πτώση** ☹*



- Στοιχεία για τον πόδα ελεύθερης πτώσης σε υπερκρίσιμη ροή
 Αναλυτικά η ελεύθερη πτώση εξετάζεται στο τεύχος **OPC NV701_4**



$$y_{p1} = \frac{2 \cdot y_k}{\left[1 + \frac{2}{F_1^2} + \left(1 + \frac{2}{F_1^2} \cdot \left(1 + \frac{w}{y_k} \cdot F_1^{2/3} \right) \right)^{1/2} \right]} \cdot F_1^{2/3} \quad (763)$$

- Για την περίπτωση: $Q = 25,9 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow h = 1,01 \text{ m}$, σε συνδυασμό με $Q^* = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

Q [m ³ /s]	b [m]	y_{o1} [m]	F_{o1}	y_k [m]	$w=h$ [m]	y_{p1} [m]	ροή
5	4,50	0,37	1,576	0,50	1,01	0,17753 < 0,50	υπερκρίσιμη

Q [m ³ /s]	b [m]	y_{p1} [m]	F_{p1}	$y_{p1\text{συζ}}$ [m]
5	4,50	0,17753	4,743	0,41 < 1,00 → άλμα ανάντη

Στην περίπτωση που έχει υλοποιηθεί η κατασκευή της ταπείνωσης, το άλμα κινείται **ανάντη** και **βυθίζει** τη (μικρή) πτώση ☹*

- Για την περίπτωση: $Q^+ = 50 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow h = 2,05 \text{ m}$, σε συνδυασμό με $Q^* = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

Q [m ³ /s]	b [m]	y_{o1} [m]	F_{o1}	y_k [m]	$w=h$ [m]	y_{p1} [m]	ροή
5	4,50	0,37	1,576	0,50	2,05	0,17131 < 0,50	υπερκρίσιμη

Q [m ³ /s]	b [m]	y_{p1} [m]	F_{p1}	$y_{p1\text{συζ}}$ [m]
5	4,50	0,17131	5,003	1,12 > 1,00 → άλμα κατάντη ☹*

Στην περίπτωση αυτή το άλμα κινείται **πιο έντονα κατάντη**, απ' ότι εάν δεν είχε υλοποιηθεί η κατασκευή της ταπείνωσης ☹*

➤ Παροχή σχεδιασμού **Q= 25,9 m³/s**.

• Λύση Α: **y_κ= 1,50 m, y_{ο1}= 1,10 m, y_{ο1σζ}= 2,16 m, y_{ο2}= 3,32 m**.

• **ΒΒ':** Υπολογισμός του μήκους του τμήματος:

ο Ολοκλήρωση της κατατομής **M1 – ABBO – 2 βήματα ασύμμετρα**

y_A= y_κ= y_{ο2}= 3,32 m και y_B= y_{ο1σζ}= 2,16 m.

γ	E	Π	R	V	HE	JE	ΔHE2-1	JE2+JE1/2	J-JE	Δx	x
3,32	14,94	11,14	1,34	1,73	3,4732	0,0004					
3,03	13,64	10,56	1,29	1,90	3,2139	0,00050	-0,259	0,00045	0,002869	-90,36	90,36
2,16	9,72	8,82	1,10	2,66	2,5220	0,00122	-0,692	0,00086	0,002457	-281,63	371,99

ο Μήκος **L_{BB'} ≈ 372 m**.

• Λύση Β: **y_κ= 1,50 m, y_{ο1}= 1,10 m, y_{ο2}= 3,32 m**.

• Υπολογισμός της κρίσιμης κλίσης **J_κ** - Πρόβλημα **T10**:

Q [m ³ /s]	b [m]	n	y_κ [m]	E_κ [m ²]	Π_κ [m]	R_κ [m]	J_κ
25,9	4,50	0,014	1,50	6,75000	7,50000	0,90000	0,00332

• **ΒΒ':** Υπολογισμός του μήκους του τμήματος:

ο Ολοκλήρωση της κατατομής **C3 – ABBO – 2 βήματα ασύμμετρα**

y_A= y_κ= 1,50 m και y_B= y_{ο1}= 1,10 m.

γ	E	Π	R	V	HE	JE	ΔHE2-1	JE2+JE1/2	J-JE	Δx	x
1,1	4,95	6,70	0,74	5,23	2,4954	0,00803					
1,37	6,17	7,24	0,85	4,20	2,2696	0,00429	-0,226	0,00616	-0,00284	79,51	79,51
1,50	6,75	7,50	0,90	3,84	2,2500	0,00332	-0,019	0,0038	-0,00048	39,64	119,15

ο Ολοκλήρωση της κατατομής **C1 – ABBO – 2 βήματα συμμετρικά**

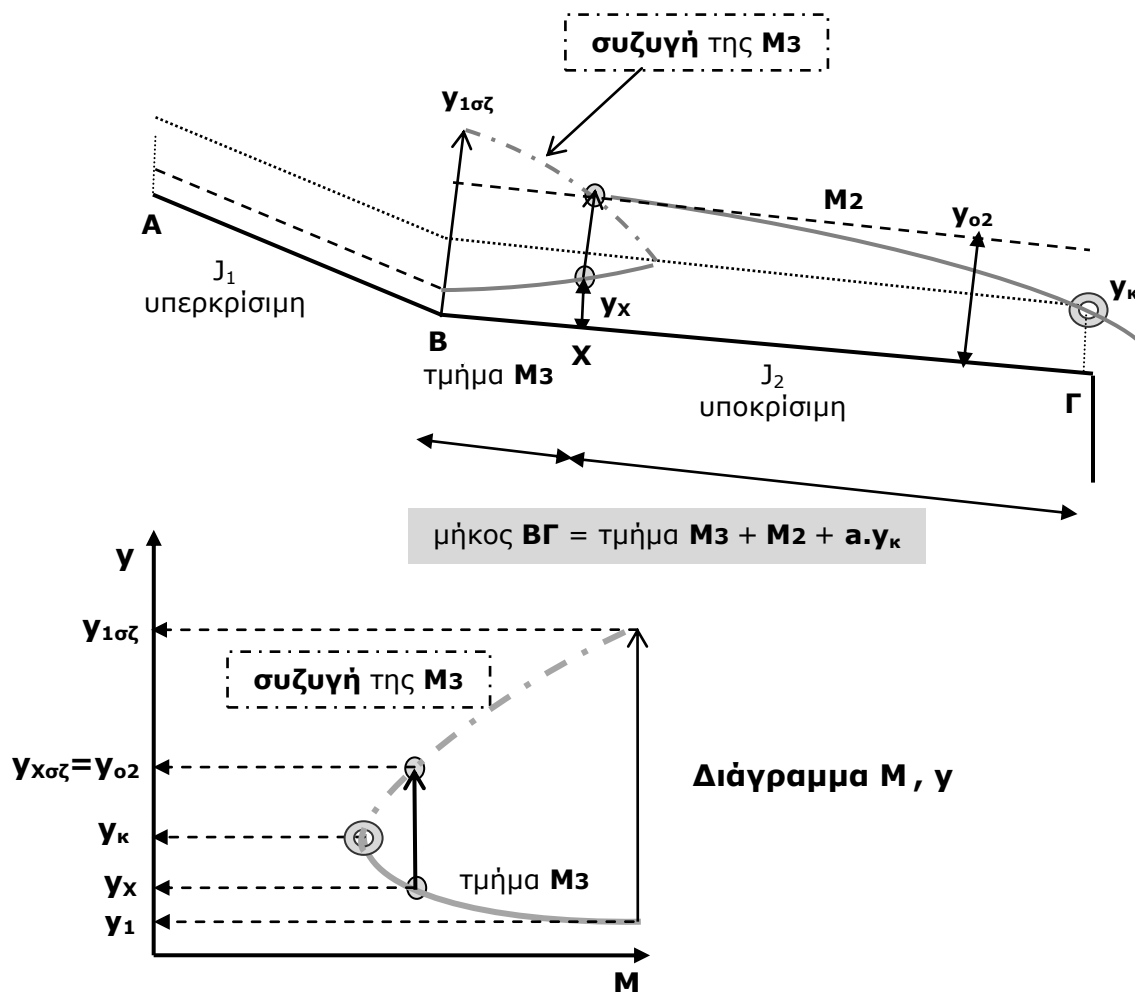
y_A= y_{ο2}= 3,32 m και y_B= y_κ= 1,50 m

γ	E	Π	R	V	HE	JE	ΔHE2-1	JE2+JE1/2	J-JE	Δx	x
3,32	14,94	11,14	1,34	1,73	3,4732	0,0004					
2,41	10,85	9,32	1,16	2,39	2,7007	0,00091	-0,772	0,00066	0,002664	-289,95	289,95
1,50	6,75	7,50	0,90	3,84	2,2500	0,00332	-0,45	0,00212	0,001203	-374,36	664,31

ο Μήκος **L_{BB'} ≈ 784 m**.

7.1.8 Διερεύνηση της εμφάνισης άλματος κατάντη – πεπερασμένο μήκος αγωγού υποκρίσιμης κλίσης με ελεύθερη πτώση

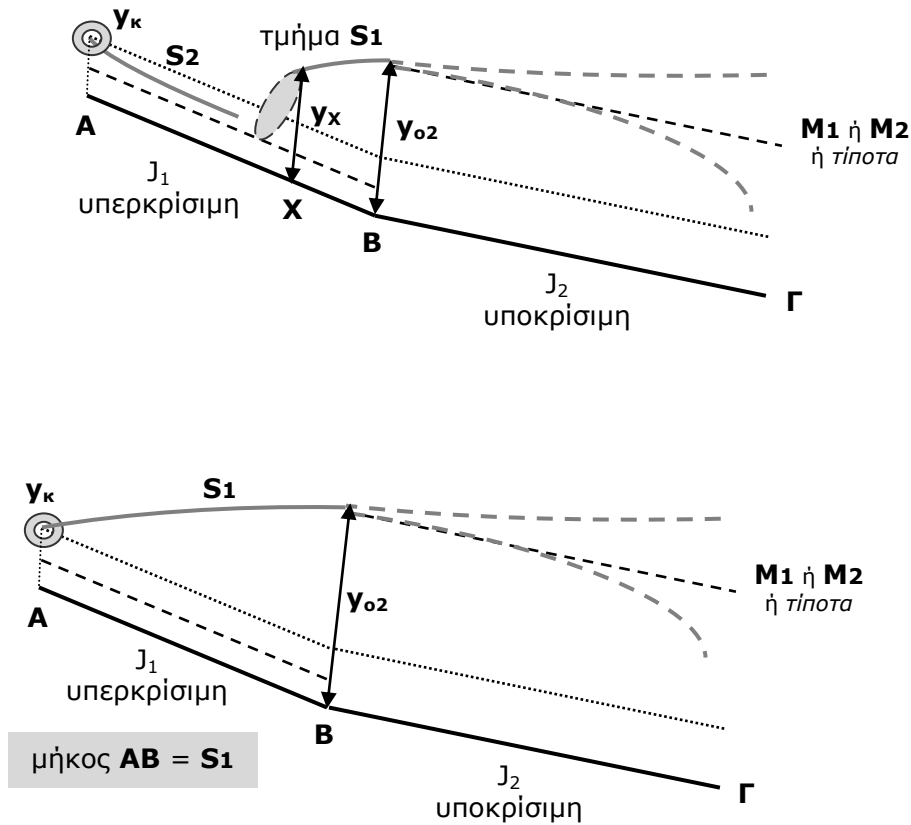
- **Ελάχιστο** μήκος ώστε να **ολοκληρώνεται** η **M2**



- Για μικρότερο μήκος του $B\Gamma$ θα εμφανιστεί τμήμα **M2**
- Με τον **ίδιο τρόπο** χειριζόμαστε την περίπτωση, όπου κατάντη του σημείου Γ ακολουθεί τμήμα αγωγού $\Gamma\Delta$ με υπερκρίσιμη κλίση: $y_{o\Gamma\Delta} = y_\kappa$
- Με **ανάλογο τρόπο** χειριζόμαστε τις περιπτώσεις, όπου κατάντη του σημείου Γ ακολουθεί τμήμα αγωγού $\Gamma\Delta$ με υποκρίσιμη κλίση:
 - $J_{\Gamma\Delta} > J_2 \rightarrow y_{o\Gamma\Delta} < y_{o2} \rightarrow$ τμήμα **M2** (πεπερασμένη κατάντη ή/και ανάντη).
 - $J_{\Gamma\Delta} < J_2 \rightarrow y_{o\Gamma\Delta} > y_{o2} \rightarrow$ **M1** ή τμήμα **M1** (πεπερασμένη ανάντη).

7.1.9 Διερεύνηση της εμφάνισης άλματος ανάντη – πεπερασμένο μήκος αγωγού υπερκρίσιμης κλίσης

- **Ελάχιστο** μήκος ώστε να εξασφαλίζεται η **ομαλή λειτουργία** του αγωγού.

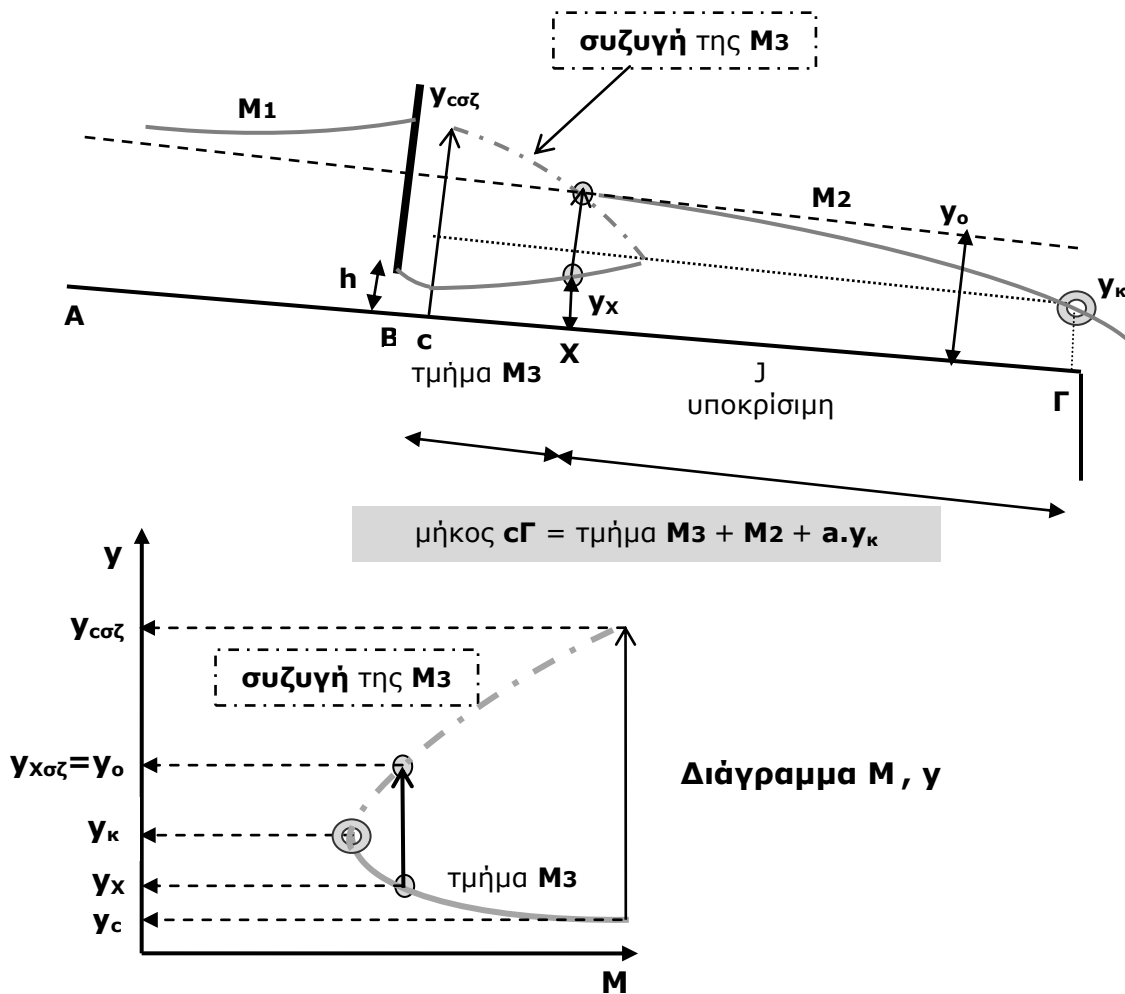


Υπολογίζεται **αποκλείοντας** την εμφάνιση κατατομής **S₂** και υδραυλικού **άλματος**!

- Με τον **ίδιο τρόπο** χειριζόμαστε την περίπτωση, όπου στο τμήμα αγωγού AB έχει τοποθετηθεί θυρόφραγμα, άρα εμφανίζεται υδραυλικό άλμα ανάντη του.
- Με **ανάλογο τρόπο** χειριζόμαστε τις περιπτώσεις, όπου ανάντη του σημείου A προηγείται τμήμα αγωγού ΩΑ με υπερκρίσιμη κλίση: $y_{\Omega A} < y_{\kappa}$

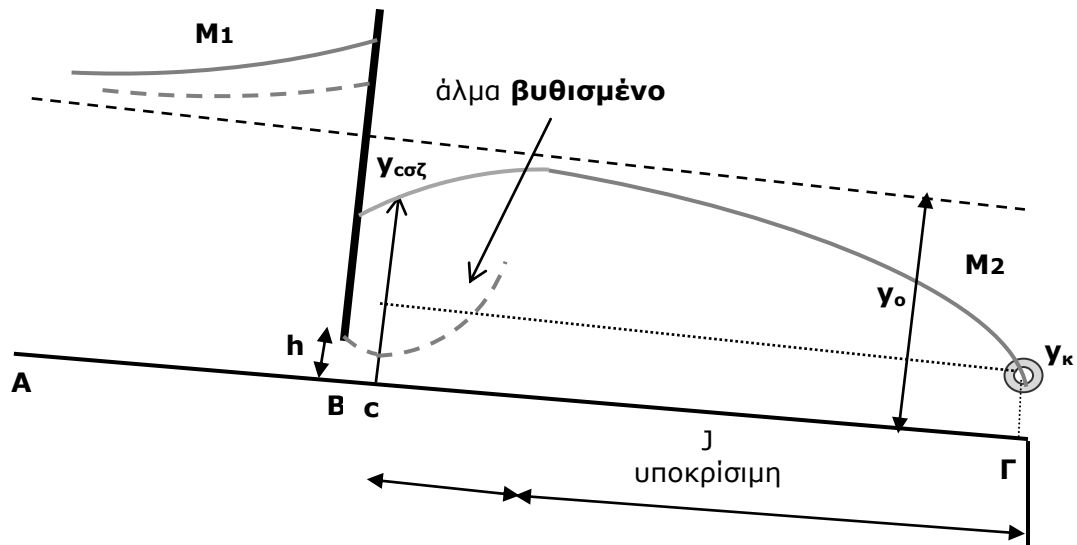
7.1.10 Διερεύνηση της εμφάνισης άλματος κατάντη θυροφράγματος
- πεπερασμένο μήκος αγωγού υποκρίσιμης κλίσης με ελεύθερη πτώση

- **Ελάχιστο** μήκος ώστε να **ολοκληρώνεται** η **M2** – όταν $y_{\text{cσζ}} > y_0$



- Για μικρότερο μήκος του ΒΓ θα εμφανιστεί τμήμα **M2**
- Με τον **ίδιο τρόπο** χειριζόμαστε την περίπτωση, όπου κατάντη του σημείου Γ ακολουθεί τμήμα αγωγού ΓΔ με υπερκρίσιμη κλίση: $\mathbf{y_{oΓΔ}} = \mathbf{y_{κ}}$
- Με **ανάλογο τρόπο** χειριζόμαστε τις περιπτώσεις, όπου κατάντη του σημείου Γ ακολουθεί τμήμα αγωγού ΓΔ με υποκρίσιμη κλίση:
 - $\mathbf{J_{ΓΔ}} > \mathbf{J} \rightarrow \mathbf{y_{oΓΔ}} < \mathbf{y_o} \rightarrow$ τμήμα **M2** (πεπερασμένη κατάντη ή/και ανάντη).
 - $\mathbf{J_{ΓΔ}} < \mathbf{J} \rightarrow \mathbf{y_{oΓΔ}} > \mathbf{y_o} \rightarrow$ **M1** ή τμήμα **M1** (πεπερασμένη ανάντη).

- Περίπτωση **εμφάνισης M2** – όταν $y_{\text{c}\sigma\zeta} < y_o$



- Με τον **ίδιο τρόπο** χειριζόμαστε την περίπτωση, όπου κατάντη του σημείου Γ ακολουθεί τμήμα αγωγού ΓΔ με υπερκρίσιμη κλίση: $y_{o\Gamma\Delta} = y_{\kappa}$
- Με **ανάλογο τρόπο** χειριζόμαστε τις περιπτώσεις, όπου κατάντη του σημείου Γ ακολουθεί τμήμα αγωγού ΓΔ με υποκρίσιμη κλίση:
 - $J_{\Gamma\Delta} > J \rightarrow y_{o\Gamma\Delta} < y_o \rightarrow$ τμήμα **M2** (πεπερασμένη κατάντη ή/και ανάντη).
 - $J_{\Gamma\Delta} < J \rightarrow y_{o\Gamma\Delta} > y_o \rightarrow$ **M1** ή τμήμα **M1** (πεπερασμένη ανάντη).
- Μέγιστο** μήκος ώστε μην εμφανίζεται **άλμα** – όταν $y_{\text{c}\sigma\zeta} < y_o$

