

## 5.6 Μέθοδοι υπολογισμού της βαθμιαίας μεταβαλλόμενης ροής

### 5.6.1 Εισαγωγή

Ο υπολογισμός της βαθμιαίας μεταβαλλόμενης ροής επιτρέπει την **επακριβή χάραξη** της αντίστοιχης σε κάθε περίπτωση κατατομής **σημείο προς σημείο** κατά μήκος του αγωγού.

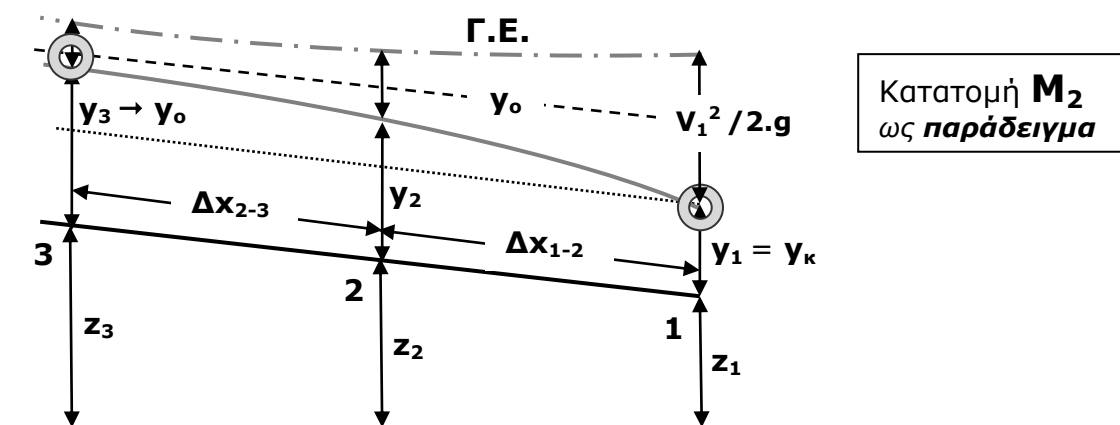
Τούτο γίνεται επιλύοντας τη διαφορική εξίσωση, η οποία διέπει τη συγκεκριμένη ροή και καθορίζοντας τα **πραγματικά βάθη** ροής σε διατομές κατά μήκος του αγωγού.

Στη βιβλιογραφία προτείνονται **δύο μέθοδοι** επίλυσης της διαφορικής εξίσωσης με **πεπερασμένες διαφορές**, οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικώς, συγκρίνονται και αναλύονται στη συνέχεια, καθώς και μέθοδοι αριθμητικής ολοκλήρωσης.

Εάν θεωρήσουμε δύο διατομές A και B με αντίστοιχα βάθη ροής  $y_A$  και  $y_B$ :

- **Δεδομένα** είναι: Η παροχή  $Q$ , η κλίση του πυθμένα  $J$ , ο συντελεστής Manning  $n$ , η **γεωμετρία** του αγωγού και η **ποιοτική χάραξη** της κατατομής.
- Κατά περίπτωση είναι **επιπλέον δεδομένα**:
  - Το **ένα βάθος** ροής ( $y_A$  ή  $y_B$ ) και το **μήκος L** μεταξύ των δύο διατομών.  
→ **Ζητείται** το **άλλο** βάθος ροής.
  - Τα **δύο βάθη** ροής ( $y_A$  και  $y_B$ ).  
→ **Ζητείται** το **μήκος L** μεταξύ των δύο διατομών.
  - Τα **δύο βάθη** ροής ( $y_A$  και  $y_B$ ) και το **μήκος L** μεταξύ των δύο διατομών.  
→ **Απαιτείται έλεγχος συμβατότητας**, ο οποίος είναι δυνατό να οδηγήσει σε αναπροσαρμογή του προβλήματος ή / και των υποθέσεων:  
Το ένα εκ των δύο δεδομένων βαθών **δεν** είναι δυνατό να **υλοποιηθεί** ☼

Οι **βασικές σχέσεις**, τις οποίες θα αξιοποιήσουμε και χειριστούμε στις μεθόδους με **πεπερασμένες διαφορές** είναι (βλ. σχήμα - παράδειγμα):



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

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + y_2 + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \pm \Delta H_{\alpha(1-2)}, \text{ όπου είναι:}$$

$$\Delta H_{\alpha(1-2)} = h_{f(1-2)} + h_{\alpha(1-2)}$$

$\Delta H_{\alpha(1-2)}$ : Οι συνολικές απώλειες μεταξύ των διατομών 1 και 2.

$h_{f(1-2)}$ : Οι απώλειες λόγω τριβών μεταξύ των διατομών 1 και 2.

$h_{\alpha(1-2)}$ : Οι απώλειες λόγω στροβιλισμών μεταξύ των διατομών 1 και 2.

$\alpha_1, \alpha_2$ : Οι συντελεστές συνόρθωσης της κινητικής ενέργειας στις διατομές 1 και 2.

#### 5.6.2 Μέθοδοι με πεπερασμένες διαφορές - Συνοπτική παρουσίαση και σύγκριση

- Η μέθοδος της **άμεσης** βήμα προς βήμα ολοκλήρωσης – **ABBO**, εφαρμόζεται **μόνο** σε **πρισματικούς** αγωγούς.
  - Οι συντελεστές συνόρθωσης της κινητικής ενέργειας  $\alpha_i$  λαμβάνονται ίσοι με μονάδα και οι απώλειες στροβιλισμών  $h_{\alpha(1-2)}$  αμελούνται.
  - Η μέθοδος έχει πεδίο **προνομιακής εφαρμογής** όταν είναι δεδομένα: Τα **δύο βάθη** ροής ( $y_A$  και  $y_B$ ) και **ζητείται** το **μήκος L** μεταξύ των δύο διατομών. Διαιρούμε το  $|y_A - y_B|$  σε πεπερασμένα τμήματα.
- Η μέθοδος της **τυπικής** βήμα προς βήμα ολοκλήρωσης – **TBBO**, εφαρμόζεται **και** σε **μη-πρισματικούς** αγωγούς, δηλαδή σε αγωγούς στους οποίους τα υδραυλικά στοιχεία εκάστης διατομής εξαρτώνται από τη θέση της.
  - Τα **βάθη ροής** σε κάθε **διαδοχική διατομή** υπολογίζονται με **δοκιμές...**
  - Οι συντελεστές συνόρθωσης της κινητικής ενέργειας  $\alpha_i$  **δεν** λαμβάνονται ίσοι με **μονάδα** και οι απώλειες στροβιλισμών  $h_{\alpha(1-2)}$  **δεν αμελούνται**.
  - Η μέθοδος έχει πεδίο **προνομιακής εφαρμογής** όταν είναι δεδομένα: Το **ένα βάθος** ροής ( $y_A$  ή  $y_B$ ) και το **μήκος L** μεταξύ των δύο διατομών και **ζητείται** το **άλλο** βάθος ροής. Διαιρούμε το **L** σε πεπερασμένα τμήματα.
- Η μέθοδος έχει **αποκλειστική εφαρμογή** σε **μη πρισματικούς** αγωγούς, **φυσικούς** αγωγούς και προφανώς σε **συναρμογές**.
- Η μέθοδος της **απλοποιημένης τυπικής** βήμα προς βήμα ολοκλήρωσης – **aTBBO**, εφαρμόζεται **μόνο** σε **πρισματικούς** αγωγούς, με τις παραδοχές απλοποίησης της **ABBO** και το πεδίο προνομιακής εφαρμογής της **TBBO**.

Με χρήση του τύπου του Manning (43) στις **ABBO** και **aTBBO** προκύπτει η σχέση:

$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \pm \left[ \frac{n^2 \cdot \Delta x_{(1-2)}}{2} \cdot \left( \frac{V_1^2}{R_1^{4/3}} + \frac{V_2^2}{R_2^{4/3}} \right) \right] \quad (701)$$

### 5.6.3 Μέθοδοι με πεπερασμένες διαφορές – Κοινά θέματα

- Τα δύο εμπλεκόμενα βάθη (ένα ή / και δύο δεδομένα) είναι δυνατό να είναι τα **λογιστικά** βάθη (κρίσιμο -  $y_k$  ή ομοιόμορφο -  $y_o$ ), ή οιαδήποτε άλλα (ένα ή / και δύο δεδομένα) τυχόντα **πραγματικά** βάθη.
- Τα δύο δεδομένα βάθη είναι δυνατό να έχουν μικρή ή μεγάλη διαφορά και το δεδομένο μήκος να είναι μικρό ή μεγάλο.
- Ο υπολογισμός με τη χρήση λογιστικού φύλλου είναι ευχερής.

Στη συνέχεια θα επικεντρώσουμε στους τρόπους **βέλτιστης εφαρμογής** των μεθόδων **ABBO** και **aTBBO** με **χρήση** απλού **επιπαλάμιου υπολογιστή**.

- Ο **βαθμός** ικανοποιητικής **προσέγγισης** εξαρτάται από την **κρισιμότητα** των **ζητούμενων** μεγεθών και την ενδεχόμενη **απαίτηση συμβατότητας / επανασχεδιασμού** (βλ. 5.6.1).
- Είναι προφανές ότι, **δεν** είναι δυνατό να υπάρχει **ικανοποιητική ακρίβεια** σε **όλα** τα μεγέθη... **Εξαρτάται** – πάντοτε - σε **τι** και **που** εστιάζουμε!
- **Εύστοχη επιλογή** της μεθόδου, αλλά και **βέλτιστη εφαρμογή** της είναι δυνατό να οδηγήσει σε **ικανοποιητική προσέγγιση** με **ελάχιστο κόπο** σε **πράξεις** (βήματα ολοκλήρωσης) και ως εκ τούτου και σε ελάχιστη πιθανότητα λαθών!
- Χρησιμοποιούμε ένα τυπικό παράδειγμα ορθογωνικού αγωγού με στόχο την τυποποίηση οδηγιών **βέλτιστης** εφαρμογής, για όλες τις περιπτώσεις κατατομών και στις δύο μεθόδους.

| <b>Q</b> [m <sup>3</sup> /s] | <b>b</b> [m] | <b>n</b>     | <b>J</b>                    | <b>y<sub>k</sub></b> [m] | <b>y<sub>o</sub></b> [m] |
|------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>9,65</b>                  | <b>3,00</b>  | <b>0,016</b> | <b>0,0010</b> (υποκρίσιμη)  | 1,03                     | 1,85                     |
|                              |              |              | <b>0,0100</b> (υπερκρίσιμη) | 1,03                     | 0,80                     |

- Οι οδηγίες βασίζονται σε ισχυρές ενδείξεις , (χωρίς βεβαίως να αποτελεί απόδειξη), ώστε να επιλέγονται η κατάλληλη **ασύμμετρη** πύκνωση με **2 βήματα**, ή ακόμη και η **απευθείας** με **1 βήμα!**..
- **Δε θέλει κόπο, θέλει τρόπο!**.. (Προσκοπικό ρητό).

## 5.7 Μέθοδος της άμεσης βήμα προς βήμα ολοκλήρωσης – ABBO

### 5.7.1 Εισαγωγή – διαδικασία υπολογισμού

Η σχέση (701) μεταξύ των δύο (αρχικών) διαδοχικών διατομών γράφεται:

$$\Delta x_{(1-2)} = x_2 - x_1 = \frac{\left(y_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g}\right) - \left(y_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g}\right)}{J - \left(\frac{n^2 \cdot V_2^2}{2 \cdot R_2^{4/3}} + \frac{n^2 \cdot V_1^2}{2 \cdot R_1^{4/3}}\right)} \quad (702)$$

Σημειώνεται για την περίπτωση όπου η κατατομή ολοκληρώνεται προς το **ομοιόμορφο βάθος** ροής, ότι η ροή τείνει σε αυτό **ασυμπτωτικά**.

Δηλαδή θεωρητικώς το **μήκος τείνει στο άπειρο**...

Εκεί η **υπερβολική ακρίβεια** πέραν του ότι είναι **κοπιώδης**, είναι και **άχρηστη** σε **τεχνικές εφαρμογές** \* Είναι επομένως απαραίτητη η **παραδοχή τεχνικού ορίου**.

Θα δεχτούμε (κατά το γράφοντα...) ως **ορθό**, βάθος ίσο με το **0,97 / 1,03** του **y<sub>ο</sub>**, αναλόγως του υποχώρου σύγκλισης της κατατομής.

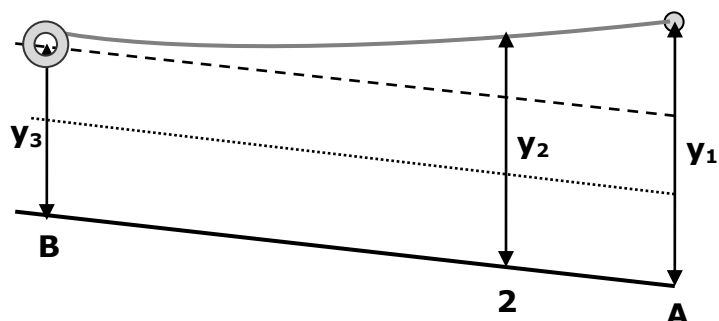
- Επιλέγουμε το πλήθος βημάτων με βάση την απαιτούμενη, κατά περίπτωση, ακρίβεια του υπολογισμού του μήκους της κατατομής και καθορίζουμε τα **ενδιάμεσα βάθη** μεταξύ των **y<sub>A</sub>** και **y<sub>B</sub>**, με τις **οδηγίες των παραδειγμάτων**.

Γενικοί κανόνες είναι:

- ο **Πυκνώνουμε - 2 ασύμμετρα** βήματα, **μακριά** από τα **y<sub>K</sub>** και **y<sub>ο</sub>**.
- ο **Δεν πυκνώνουμε - 2 συμμετρικά** βήματα, εάν δεν εμπλέκονται τα **y<sub>K</sub>** και **y<sub>ο</sub>**.
- ο **Απευθείας - 1** βήμα, εάν η **διαφορά** των δύο βαθών είναι **μικρή**.
- Υπολογίζουμε τα υδραυλικά **μεγέθη** σε **κάθε διατομή**, αξιοποιώντας τα δεδομένα και την παραπάνω σχέση (702).
- Ολοκληρώνουμε τη διαδικασία υπολογίζοντας τα απαιτούμενα **σχετικά μεγέθη** μεταξύ των **διαδοχικών διατομών**, τα **μήκη** της κατατομής μεταξύ των καθορισθέντων βαθών, άρα και το **συνολικό μήκος** της κατατομής.
- Είναι **αδιάφορο** πιο από τα **δύο βάθη** θα **θεωρήσουμε** ως **βάθος εκκίνησης** της διαδικασίας.
- Το **πρόσημο** των **μηκών ΔΕΝ** έχει **σημασία** παρά **μόνο** για συνεχή - **τοπικό έλεγχο** των **πράξεων**.

### 5.7.2 Εφαρμογές του τυπικού παραδείγματος

➤  $y_A = 2,69 \text{ m} > y_o$  και  $y_B = y_o = 1,85 \text{ m}$ .



Κατατομή **M<sub>1</sub>**

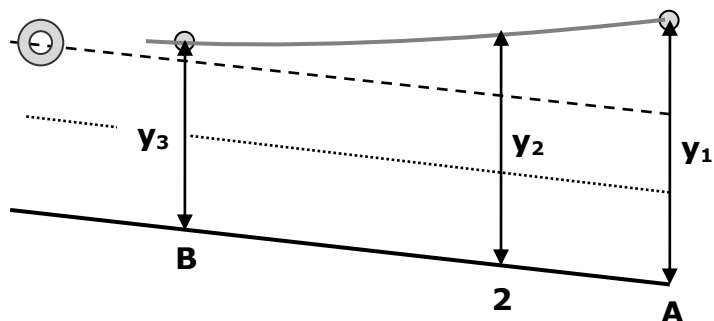
**2 βήματα  
ασύμμετρα**

$$y_2 = y_A - \frac{|y_A - y_B|}{4}$$

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE      | Δx      | X       | L           |
|-------------|------|------|------|------|--------|---------|---------|---------|-------------|
| <b>2,69</b> | 8,07 | 8,38 | 0,96 | 1,20 | 2,7629 | 0,00038 |         |         |             |
| 2,48        | 7,44 | 7,96 | 0,93 | 1,30 | 2,5657 | 0,00049 | 344,70  | 344,70  |             |
| <b>1,85</b> | 5,55 | 6,70 | 0,83 | 1,74 | 2,0041 | 0,00099 | 2103,99 | 2448,69 | <b>2449</b> |

| βήματα | <b>20</b><br>συμμετρικά | <b>2</b><br><i>ασύμμετρα</i> | <b>2</b><br>συμμετρικά | <b>3</b><br>συμμετρικά |
|--------|-------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| L [m]  | <b>2.212</b>            | <b>2.449</b>                 | 2.530                  | 2.655                  |
| ΔL %   |                         | <b>+ 10,7</b>                | + 14,4                 | +20,0 ☀                |

➤  $y_A = 2,69 \text{ m} > y_o$  και  $y_B = 2,17 \text{ m} > y_o$ .



Κατατομή **τμήμα M<sub>1</sub>**

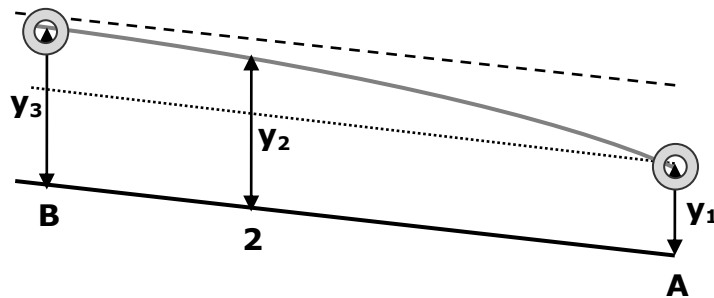
**2 βήματα  
ασύμμετρα**

$$y_2 = y_A - \frac{|y_A - y_B|}{4}$$

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE      | Δx     | X       | L           |
|-------------|------|------|------|------|--------|---------|--------|---------|-------------|
| <b>2,69</b> | 8,07 | 8,38 | 0,96 | 1,20 | 2,7629 | 0,00038 |        |         |             |
| 2,56        | 7,68 | 8,12 | 0,95 | 1,26 | 2,6405 | 0,00044 | 207,52 | 207,52  |             |
| <b>2,17</b> | 6,51 | 7,34 | 0,89 | 1,48 | 2,2820 | 0,00066 | 792,61 | 1000,14 | <b>1000</b> |

| βήματα | <b>16</b><br>συμμετρικά | <b>2</b><br><i>ασύμμετρα</i> | <b>2</b><br>συμμετρικά | <b>3</b><br>συμμετρικά |
|--------|-------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| L [m]  | <b>1.009</b>            | <b>1.000</b>                 | 998                    | 996                    |
| ΔL %   |                         | <b>- 0,9</b>                 | - 1,1                  | - 1,3                  |

➤  $y_A = y_K = 1,03$  m και  $y_B = y_o = 1,85$  m.



Κατατομή **M<sub>2</sub>**

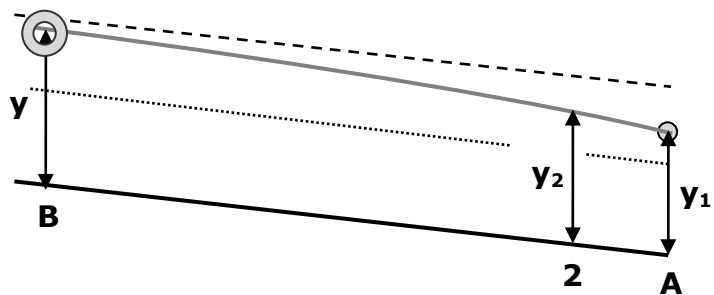
**2 βήματα  
ασύμμετρα**

$$y_2 = y_B - \frac{|y_A - y_B|}{4}$$

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE     | Δx     | X       | L |
|-------------|------|------|------|------|--------|--------|--------|---------|---|
| <b>1,03</b> | 3,09 | 5,06 | 0,61 | 3,12 | 1,5271 | 0,0048 |        |         |   |
| 1,65        | 4,95 | 6,30 | 0,79 | 1,95 | 1,8437 | 0,0013 | 152,18 | 152,18  |   |
| <b>1,85</b> | 5,55 | 6,70 | 0,83 | 1,74 | 2,0041 | 0,0010 | 952,47 | 1104,65 |   |

| βήματα | <b>19</b><br>συμμετρικά | <b>2</b><br><i>ασύμμετρα</i> | <b>2</b><br>συμμετρικά | <b>3</b><br>συμμετρικά | <b>4</b><br>συμμετρικά |
|--------|-------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| L [m]  | <b>1.039</b>            | <b>1.105</b>                 | 743                    | 1.059                  | 1.255                  |
| ΔL %   |                         | <b>+ 6,4</b>                 | - 28,5                 | + 1,9                  | + 20,8 ☹               |

➤  $y_A = 1,57$  m >  $y_K$  και  $y_B = y_o = 1,85$  m.



Κατατομή τμήμα **M<sub>2</sub>**

**1 βήμα!  
ή**

**2 βήματα  
ασύμμετρα**

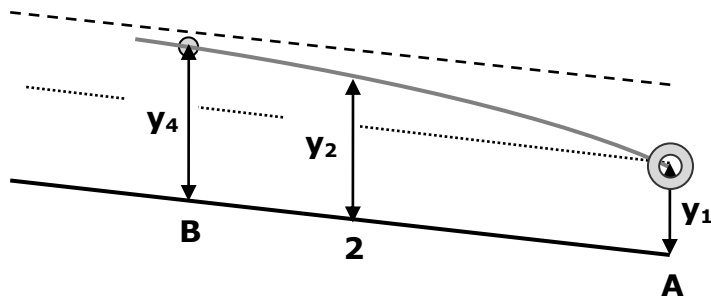
$$y_2 = y_A + \frac{|y_A - y_B|}{8}$$

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE      | Δx     | X      | L |
|-------------|------|------|------|------|--------|---------|--------|--------|---|
| <b>1,57</b> | 4,71 | 6,14 | 0,77 | 2,05 | 1,7840 | 0,00153 |        |        |   |
| <b>1,85</b> | 5,55 | 6,70 | 0,83 | 1,74 | 2,0041 | 0,00099 | 838,37 | 838,37 |   |
|             |      |      |      |      |        |         |        |        |   |

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE      | Δx     | X      | L |
|-------------|------|------|------|------|--------|---------|--------|--------|---|
| <b>1,57</b> | 4,71 | 6,14 | 0,77 | 2,05 | 1,7840 | 0,00153 |        |        |   |
| 1,60        | 4,80 | 6,20 | 0,78 | 2,01 | 1,8060 | 0,00146 | 44,74  | 44,74  |   |
| <b>1,85</b> | 5,55 | 6,70 | 0,83 | 1,74 | 2,0041 | 0,00099 | 879,72 | 924,46 |   |

| βήματα | <b>18</b><br>συμμετρικά | <b>1</b>       | <b>2</b><br><i>ασύμμετρα</i> | <b>2</b><br>συμμετρικά | <b>3</b><br>συμμετρικά |
|--------|-------------------------|----------------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| L [m]  | <b>819</b>              | <b>838,5</b>   | <b>924,5</b>                 | 1334                   | 1.663                  |
| ΔL %   |                         | <b>+ 2,4</b> ☹ | <b>+ 12,9</b>                | + 62,9                 | + 103,0 ☹              |

➤  $y_A = y_K = 1,03$  m και  $y_B = 1,53$  m <  $y_0$ .



Κατατομή τμήμα  $M_2$   
Ισχύει σε  $H_2$  και  $A_2$

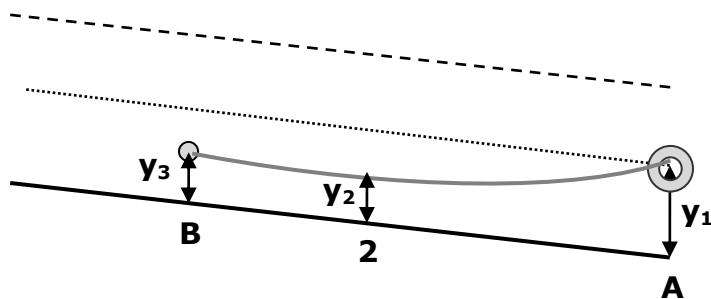
3 βήματα  
συμμετρικά  
ή  
2 βήματα  
ασύμμετρα

$$y_2 = y_B - \frac{|y_A - y_B|}{3}$$

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE     | Δx     | X             | L             |
|-------------|------|------|------|------|--------|--------|--------|---------------|---------------|
| <b>1,03</b> | 3,09 | 5,06 | 0,61 | 3,12 | 1,5271 | 0,0048 |        |               |               |
| 1,36        | 4,08 | 5,72 | 0,71 | 2,37 | 1,6451 | 0,0022 | 46,60  | 46,60         |               |
| <b>1,53</b> | 4,59 | 6,06 | 0,76 | 2,10 | 1,7550 | 0,0016 | 116,82 | <b>163,41</b> | <b>163,41</b> |

| βήματα | 20<br>συμμετρικά | 2<br>ασύμμετρα | 2<br>συμμετρικά | 3<br>συμμετρικά |
|--------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| L [m]  | <b>189,5</b>     | <b>163,4</b>   | 161,5           | <b>176,25</b>   |
| ΔL %   |                  | <b>- 13,8</b>  | - 14,8          | <b>- 7,0</b>    |

$y_A = y_K = 1,03$  m  $y_K$  και  $y_B = 0,43$  m <  $y_K$ .



Κατατομή  $M_3$   
Ισχύει σε  $H_3$  και  $A_3$

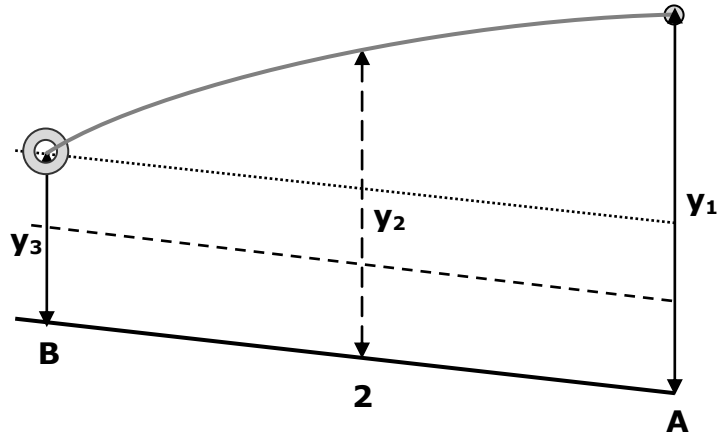
2 βήματα  
ασύμμετρα

$$y_2 = y_B + \frac{|y_A - y_B|}{3}$$

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE     | Δx    | X            | L            |
|-------------|------|------|------|------|--------|--------|-------|--------------|--------------|
| <b>1,03</b> | 3,09 | 5,06 | 0,61 | 3,12 | 1,5271 | 0,0048 |       |              |              |
| 0,68        | 1,89 | 4,26 | 0,44 | 5,11 | 1,9587 | 0,0197 | 38,30 | 38,30        |              |
| <b>0,43</b> | 1,29 | 3,86 | 0,33 | 7,48 | 3,2820 | 0,0618 | 33,30 | <b>71,60</b> | <b>71,60</b> |

| βήματα | 20<br>συμμετρικά | 2<br>ασύμμετρα | 2<br>συμμετρικά | 3<br>συμμετρικά |
|--------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| L [m]  | <b>77,28</b>     | <b>71,60</b>   | 67,65           | 72,33           |
| ΔL %   |                  | <b>- 7,3</b>   | - 12,5          | - 6,4           |

➤  $y_A = 1,53 \text{ m} > y_K$  και  $y_B = y_K = 1,03 \text{ m}$ .



Κατατομή **S<sub>1</sub>**

**2 βήματα  
συμμετρικά**

$$y_2 = y_A - \frac{|y_A - y_B|}{2}$$

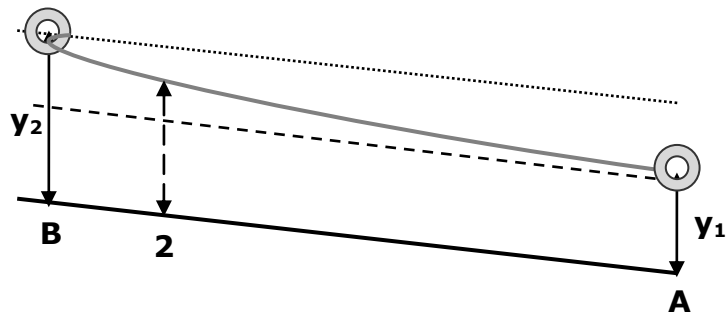
**ή  
1 βήμα!**

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE     | Δx    | X     | L |
|-------------|------|------|------|------|--------|--------|-------|-------|---|
| <b>1,52</b> | 4,59 | 6,06 | 0,76 | 2,10 | 1,7553 | 0,0016 |       |       |   |
| 1,28        | 3,84 | 5,56 | 0,69 | 2,51 | 1,6019 | 0,0027 | 19,53 | 19,53 |   |
| <b>1,03</b> | 3,09 | 5,06 | 0,61 | 3,12 | 1,5271 | 0,0048 | 11,93 | 31,46 |   |

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE     | Δx    | X     | L            |
|-------------|------|------|------|------|--------|--------|-------|-------|--------------|
| <b>1,52</b> | 4,59 | 6,06 | 0,76 | 2,10 | 1,7553 | 0,0016 |       |       |              |
| <b>1,03</b> | 3,09 | 5,06 | 0,61 | 3,12 | 1,5271 | 0,0048 | 33,70 | 33,70 | <b>33,70</b> |

| βήματα       | <b>20</b><br>συμμετρικά | <b>2</b><br>συμμετρικά | <b>1</b>                   |
|--------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| <b>L [m]</b> | <b>30,60</b>            | <b>31,45</b>           | <b>33,70</b>               |
| <b>ΔL %</b>  |                         | <b>+ 2,8</b>           | <b>+10,1 D<sub>p</sub></b> |

➤  $y_A = y_o = 0,80$  m και  $y_B = y_K = 1,03$  m.



Κατατομή **S<sub>2</sub>**

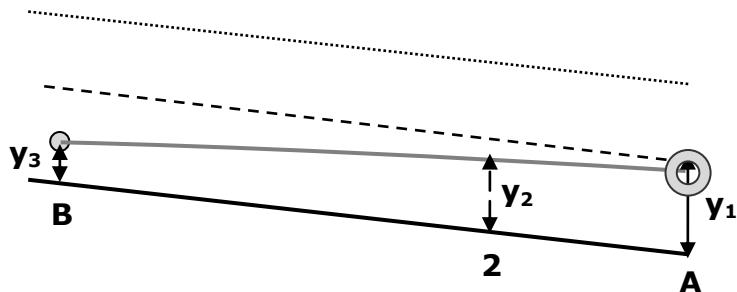
**1 βήμα!**  
για **μικρό Δy**  
ή  
**2 βήματα**  
**ασύμμετρα**

$$y_2 = y_B - \frac{|y_A - y_B|}{3}$$

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE     | Δx    | X     | L            |
|-------------|------|------|------|------|--------|--------|-------|-------|--------------|
| <b>0,80</b> | 2,40 | 4,60 | 0,52 | 4,02 | 1,6240 | 0,0099 |       |       |              |
| <b>1,03</b> | 3,09 | 5,06 | 0,61 | 3,12 | 1,5271 | 0,0048 | 36,39 | 36,39 | <b>36,40</b> |

| βήματα | <b>20</b><br>συμμετρικά | <b>1</b>                |
|--------|-------------------------|-------------------------|
| L [m]  | <b>34,55</b>            | <b>36,40</b>            |
| ΔL %   |                         | <b>-5,4</b> $\bar{D}_p$ |

➤  $y_A = y_o = 0,80$  m και  $y_B = 0,43$  m <  $y_o$ .



Κατατομή **S<sub>3</sub>**

**3 βήματα**  
**συμμετρικά**  
ή  
**2 βήματα**  
**ασύμμετρα**

$$y_2 = y_B - \frac{|y_A - y_B|}{3}$$

| y           | E    | Π    | R    | V    | HE     | JE     | Δx    | X      | L             |
|-------------|------|------|------|------|--------|--------|-------|--------|---------------|
| <b>0,80</b> | 2,40 | 4,60 | 0,52 | 4,02 | 1,6240 | 0,0099 |       |        |               |
| 0,68        | 2,04 | 4,36 | 0,47 | 4,73 | 1,8205 | 0,0158 | 69,87 | 69,87  |               |
| <b>0,43</b> | 1,29 | 3,86 | 0,33 | 7,48 | 3,2820 | 0,0618 | 50,81 | 120,68 | <b>120,70</b> |

| βήματα | <b>20</b><br>συμμετρικά | <b>2</b><br><b>ασύμμετρα</b> | 2<br>συμμετρικά | <b>3</b><br><b>συμμετρικά</b> |
|--------|-------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| L [m]  | <b>135,40</b>           | <b>120,7</b>                 | 111,25          | <b>135,10</b>                 |
| ΔL %   |                         | <b>- 10,9</b>                | - 23,5          | <b>- 7,0</b>                  |

### 5.7.3 Τυποποίηση διαδικασίας

| Ορθογωνική | Q [m <sup>3</sup> /s] | b [m] | n | J |
|------------|-----------------------|-------|---|---|
|            |                       |       |   |   |

$$E = b \cdot y \quad \Pi = b + 2 \cdot y \quad R = \frac{E}{\Pi} \quad V = \frac{Q}{E}$$

$$H_E = y + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \Delta H_E = H_{Ei+1} - H_{Ei} \quad J_E = \frac{n^2 \cdot V^2}{R^{4/3}} \quad \bar{J}_E = \frac{J_{Ei+1} + J_{Ei}}{2} \quad \Delta x = \frac{\Delta H_E}{J - \bar{J}_E}$$

|   | y | E | R | V | H <sub>E</sub> | ΔH <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | $\hat{J}_E$ | J- $\hat{J}_E$ | Δx | x |
|---|---|---|---|---|----------------|-----------------|----------------|-------------|----------------|----|---|
| 1 |   |   |   |   |                |                 |                |             |                |    |   |
| 2 |   |   |   |   |                |                 |                |             |                |    |   |
| 3 |   |   |   |   |                |                 |                |             |                |    |   |

| Τριγωνική<br>συμμετρική | Q [m <sup>3</sup> /s] | z | n | J |
|-------------------------|-----------------------|---|---|---|
|                         |                       |   |   |   |

$$E = z \cdot y^2 \quad \Pi = 2 \cdot y \cdot (1 + z^2)^{1/2} \quad R = \frac{E}{\Pi} \quad V = \frac{Q}{E}$$

$$H_E = y + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \Delta H_E = H_{Ei+1} - H_{Ei} \quad J_E = \frac{n^2 \cdot V^2}{R^{4/3}} \quad \bar{J}_E = \frac{J_{Ei+1} + J_{Ei}}{2} \quad \Delta x = \frac{\Delta H_E}{J - \bar{J}_E}$$

|   | y | E | R | V | H <sub>E</sub> | ΔH <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | $\hat{J}_E$ | J- $\hat{J}_E$ | Δx | x |
|---|---|---|---|---|----------------|-----------------|----------------|-------------|----------------|----|---|
| 1 |   |   |   |   |                |                 |                |             |                |    |   |
| 2 |   |   |   |   |                |                 |                |             |                |    |   |
| 3 |   |   |   |   |                |                 |                |             |                |    |   |

| Τραπεζοειδής<br>συμμετρική | Q [m <sup>3</sup> /s] | b [m] | z | n | J |
|----------------------------|-----------------------|-------|---|---|---|
|                            |                       |       |   |   |   |

$$E = (b + z \cdot y) \cdot y \quad \Pi = b + 2 \cdot y \cdot (1 + z^2)^{1/2} \quad R = \frac{E}{\Pi} \quad V = \frac{Q}{E}$$

$$H_E = y + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \Delta H_E = H_{Ei+1} - H_{Ei} \quad J_E = \frac{n^2 \cdot V^2}{R^{4/3}} \quad \bar{J}_E = \frac{J_{Ei+1} + J_{Ei}}{2} \quad \Delta x = \frac{\Delta H_E}{J - \bar{J}_E}$$

|   | y | E | R | V | H <sub>E</sub> | ΔH <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | $\hat{J}_E$ | J- $\hat{J}_E$ | Δx | x |
|---|---|---|---|---|----------------|-----------------|----------------|-------------|----------------|----|---|
| 1 |   |   |   |   |                |                 |                |             |                |    |   |
| 2 |   |   |   |   |                |                 |                |             |                |    |   |
| 3 |   |   |   |   |                |                 |                |             |                |    |   |

## 5.8 Μέθοδος της απλοποιημένης τυπικής βήμα προς βήμα ολοκλήρωσης – *aTBBO*

### 5.8.1 Εισαγωγή – σχέσεις

Η σχέση (701) μεταξύ των **δύο πρώτων** διατομών **1** και **2** γράφεται:

$$C_{1-2} = y_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \pm \frac{(n \cdot V_1)^2 \cdot \Delta x_{1-2}}{2 \cdot R_1^{4/3}} \pm J \cdot \Delta x_{1-2} \quad (703)$$

Το μέγεθος **C<sub>1-2</sub>** είναι **γνωστό**, (δηλαδή υπολογίζεται) στην **αρχική διατομή 1**.

$$C_2 = y_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \pm \frac{(n \cdot V_2)^2 \cdot \Delta x_{1-2}}{2 \cdot R_2^{4/3}} \quad (704)$$

Το μέγεθος **C<sub>2</sub>** υπολογίζεται με **v δοκιμές** του βάθους **y<sub>2</sub>**, στη **διατομή 2**, με **απαίτηση σύγκλισης**:

$$\frac{|C_{2v} - C_{1-2}|}{C_{1-2}} \leq 2\% \quad (705)$$

Η σχέση (701) μεταξύ των **επόμενων δύο** διατομών **2** και **3** γράφεται:

$$C_{2-3} = y_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \pm \frac{(n \cdot V_2)^2 \cdot \Delta x_{2-3}}{2 \cdot R_2^{4/3}} \pm J \cdot \Delta x_{2-3} \quad (703a)$$

Το μέγεθος **C<sub>2-3</sub>** είναι **γνωστό**, (δηλαδή υπολογίζεται) στη **διατομή 2**.

$$C_3 = y_3 + \frac{V_3^2}{2 \cdot g} \pm \frac{(n \cdot V_3)^2 \cdot \Delta x_{2-3}}{2 \cdot R_3^{4/3}} \quad (704a)$$

Το μέγεθος **C<sub>3</sub>** υπολογίζεται με **v δοκιμές** του βάθους **y<sub>3</sub>**, στη **διατομή 3**, με **απαίτηση σύγκλισης**:

$$\frac{|C_{3v} - C_{2-3}|}{C_{2-3}} \leq 2\% \quad (705a)$$

Με τον ίδιο τρόπο προσδιορίζονται τα αντίστοιχα μεγέθη στις επόμενες διατομές.

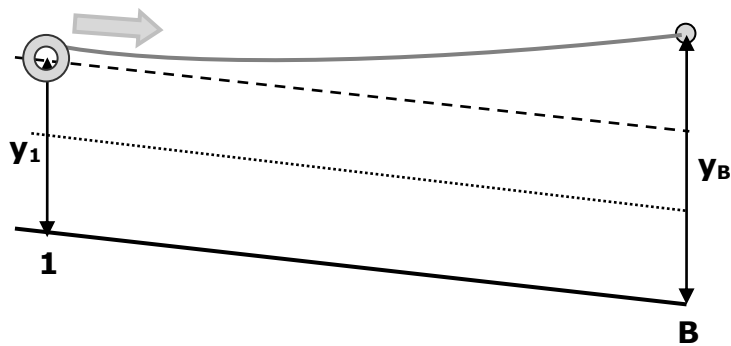
➤ **Προσοχή:** Η ολοκλήρωση αφορά σε **κατατομή**, η οποία είναι **γνωστή**.

- Έχει πρώτα χαρακτηριστεί ποιοτικά και είναι δυνατό να γίνεται προς τα **ανάντη** ή προς τα **κατόντη** της **διατομής εκκίνησης 1**.
- Είναι **γνωστό** εάν αναζητούμε **υπερκρίσιμα** ή **υποκρίσιμα** βάθη και εάν αναζητούμε **μικρότερα** ή **μεγαλύτερα** βάθη.

Επομένως τα **πρόσημα** των **απωλειών** και των διαδοχικών **υψομετρικών διαφορών** του **πυθμένα** στις διαδοχικές διατομές προκύπτουν **κατά περίπτωση** εκάστης ιδιαίτερης **κατατομής** και **φοράς** της **ολοκλήρωσης**.

Φορά **ομόρροπη** με την **κλίση** του πυθμένα  $C_{1-2} \Rightarrow +J \cdot \Delta x$

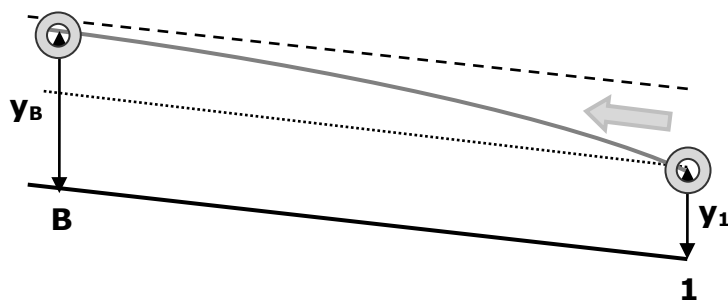
Φορά **ομόρροπη** με τη **ροή**  $C_{1-2} \Rightarrow -\frac{(n \cdot V_1)^2 \cdot \Delta x}{2 \cdot R_1^{4/3}}, C_2 \Rightarrow +\frac{(n \cdot V_2)^2 \cdot \Delta x}{2 \cdot R_2^{4/3}}$



Κατατομή **M<sub>1</sub>**  
ως **παράδειγμα**

Φορά **αντίρροπη** με την **κλίση** του πυθμένα  $C_{1-2} \Rightarrow -J \cdot \Delta x$

Φορά **αντίρροπη** με τη **ροή**  $C_{1-2} \Rightarrow +\frac{(n \cdot V_1)^2 \cdot \Delta x}{2 \cdot R_1^{4/3}}, C_2 \Rightarrow -\frac{(n \cdot V_2)^2 \cdot \Delta x}{2 \cdot R_2^{4/3}}$



Κατατομή **M<sub>2</sub>**  
ως **παράδειγμα**

### 5.8.2 Διαδικασία υπολογισμού

- Επιλέγουμε το πλήθος βημάτων με βάση την απαιτούμενη, κατά περίπτωση, ακρίβεια του υπολογισμού του βάθους  $y_B$  της κατατομής και καθορίζουμε τα **ενδιάμεσα μήκη** μεταξύ των  $y_A$  και  $y_B$ , με τις **οδηγίες** των **παραδειγμάτων**.

Γενικοί κανόνες είναι:

- ο **Πυκνώνουμε - 2 ασύμμετρα** βήματα, **κοντά** στο  $y_K$  και **μακριά** από το  $y_0$ .
- ο **Δεν πυκνώνουμε - 2 συμμετρικά** βήματα, εάν δεν εμπλέκονται τα  $y_K$  και  $y_0$ .
- ο **Απευθείας - 1** βήμα, εάν η **εκτιμώμενη διαφορά** των δύο βαθών είναι **μικρή**.

- Υπολογίζουμε τα υδραυλικά **μεγέθη** και το  $C_{1-2}$  στην **αρχική διατομή 1**, αξιοποιώντας τα δεδομένα και τη σχέση (703).

- Υπολογίζουμε το βάθος  $y_2$  στη **διατομή 2**, αξιοποιώντας τα **δεδομένα**, ώστε να ικανοποιείται η (705).

- ο Η 1<sup>η</sup> τιμή εκκίνησης  $y_{21}$  του βάθους  $y_2$ , επιλέγεται **κατά περίπτωση** κατατομής, με τις **αξιοποιώντας** τα **παραδείγματα**.

$$y_2 > y_1 \rightarrow y_{21} = y_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \quad (706) \quad \text{και} \quad y_2 < y_1 \rightarrow y_{21} = y_1 - \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \quad (707)$$

- ο Η 2<sup>η</sup> τιμή σύγκλισης  $y_{22}$  του βάθους  $y_2$ , (καθώς και οι επόμενες) προσδιορίζεται **κατά περίπτωση** κατατομής, με τις **οδηγίες** των **παραδειγμάτων**.

- Υπολογίζουμε τα υδραυλικά **μεγέθη** και το  $C_{2-3}$  στη **διατομή 2**, αξιοποιώντας τα δεδομένα και τη σχέση (703a) κ.ο.κ.

- ο Η 1<sup>η</sup> τιμή εκκίνησης  $y_{31}$  του βάθους  $y_3$  και η 2<sup>η</sup> τιμή σύγκλισης  $y_{32}$  του βάθους  $y_2$ , (καθώς και οι επόμενες) ακολουθούν τους ίδιους ως άνω κανόνες.

- Ολοκληρώνουμε τη διαδικασία σε όλες τις διαδοχικές διατομές, με τον ίδιο τρόπο και υπολογίζουμε το **καταληκτικό βάθος**  $y_B$  της κατατομής.

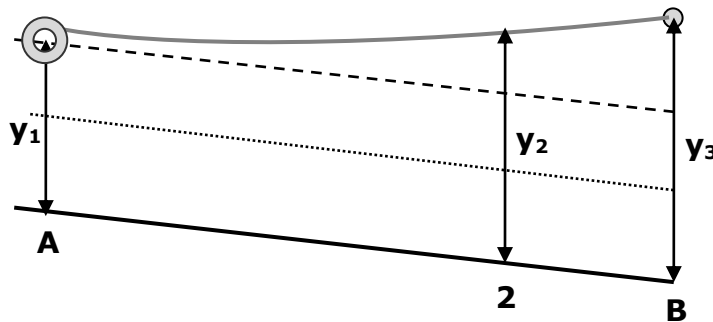
### 5.8.3 Εφαρμογές του τυπικού παραδείγματος – κατατομή **M1** – προς τα **κατόντη**

- Καθορισμός προσήμων (βλ. 5.8.1)
- Επιλογή 1<sup>ης</sup> τιμής εκκίνησης (βλ. 5.8.2)
- Υπολογισμός 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> τιμής σύγκλισης:

$$y_{22} = \left(1 - \frac{C_{21} - C_{1-2}}{C_{1-2}}\right) \cdot y_{21} \quad (708) \rightarrow y_{32} = \left(1 - \frac{C_{22} - C_{1-2}}{C_{1-2}}\right) \cdot y_{22}, \text{ κ.ο.κ.}$$

$$y_{32} = \left(1 - \frac{C_{31} - C_{2-3}}{C_{2-3}}\right) \cdot y_{31} \quad (708a) \rightarrow y_{33} = \left(1 - \frac{C_{32} - C_{2-3}}{C_{2-3}}\right) \cdot y_{32}, \text{ κ.ο.κ.}$$

➤ **y<sub>A</sub> = 1,91 m και L = 1.850 m.**



Κατατομή **M<sub>1</sub>**

**2 βήματα  
ασύμμετρα**

$$\Delta x_{1-2} = \frac{5 \cdot L}{6}$$

| y <sub>1</sub> | E     | Π     | R     | V     | H <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | C <sub>1-2</sub> | Δx           |
|----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|------------------|--------------|
| <b>1,9100</b>  | 5,730 | 6,820 | 0,840 | 1,684 | 2,0546         | 7,1E-01        | 2,890            | <b>1.542</b> |

| y <sub>2i</sub> | E     | Π     | R     | V     | H <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | C <sub>2i</sub> | ΔC%   | y <sub>2</sub> | Δx           |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|-----------------|-------|----------------|--------------|
| 2,0546          | 6,164 | 7,109 | 0,867 | 1,566 | 2,179          | 5,9E-01        | 2,765           | -4,35 | 2,1439         | <b>1.542</b> |
| 2,1439          | 6,432 | 7,288 | 0,883 | 1,500 | 2,259          | 5,2E-01        | 2,784           | -3,70 | 2,2232         |              |
| 2,2232          | 6,670 | 7,446 | 0,896 | 1,447 | 2,33           | 4,8E-01        | 2,808           | -2,84 | 2,2863         |              |
| 2,2863          | 6,859 | 7,573 | 0,906 | 1,407 | 2,387          | 4,5E-01        | 2,833           | -1,99 | 2,3317         |              |
| 2,3317          | 6,995 | 7,663 | 0,913 | 1,380 | 2,429          | 4,2E-01        | 2,853           | -1,30 | <b>2,3620</b>  |              |

| y <sub>2</sub> | E     | Π     | R     | V     | H <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | C <sub>2-3</sub> | Δx         |
|----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|------------------|------------|
| <b>2,3620</b>  | 7,086 | 7,724 | 0,917 | 1,362 | 2,4565         | 7,9E-02        | 2,675            | <b>298</b> |

| y <sub>3i</sub> | E     | Π     | R     | V     | H <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | C <sub>3i</sub> | ΔC%   | y <sub>3</sub> | Δx         |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|-----------------|-------|----------------|------------|
| 2,4565          | 7,370 | 7,913 | 0,931 | 1,309 | 2,544          | 7,2E-02        | 2,616           | -2,22 | 2,5110         | <b>298</b> |
| 2,5110          | 7,533 | 8,022 | 0,939 | 1,281 | 2,595          | 6,8E-02        | 2,663           | -0,47 | <b>2,52</b>    |            |

| βήματα             | <b>21</b><br>ασύμμετρα | <b>2</b><br>ασύμμετρα | <b>2</b><br>συμμετρικά | <b>3</b><br>συμμετρικά |
|--------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| y <sub>B</sub> [m] | <b>2,6177</b>          | <b>2,52</b>           | 2,41                   | 2,54                   |
| Δy %               |                        | <b>- 3,7</b>          | -7,9                   | -3,0                   |

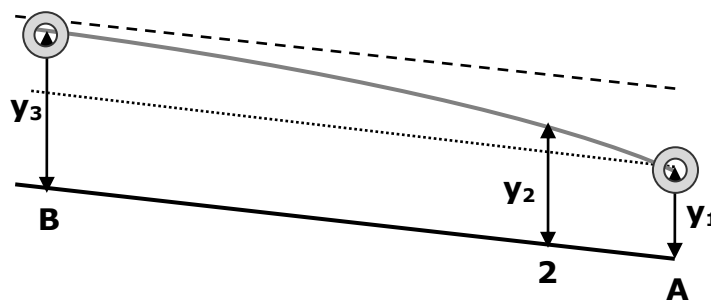
5.8.4 Εφαρμογές του τυπικού παραδείγματος – κατατομή **M2** (και **H2** , **A2**)  
– προς τα **ανάντη**

- Καθορισμός προσήμων (βλ. 5.8.1)
- Επιλογή 1<sup>ης</sup> τιμής εκκίνησης (βλ. 5.8.2)
- Υπολογισμός 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> τιμής σύγκλισης:

$$y_{22} = \left( 1 - \frac{C_{21} - C_{1-2}}{C_{1-2}} \right) \cdot y_{21} \quad (708) \rightarrow y_{32} = \left( 1 - \frac{C_{22} - C_{1-2}}{C_{1-2}} \right) \cdot y_{22}, \text{ κ.ο.κ.}$$

$$y_{32} = \left( 1 - \frac{C_{31} - C_{2-3}}{C_{2-3}} \right) \cdot y_{31} \quad (708a) \rightarrow y_{33} = \left( 1 - \frac{C_{32} - C_{2-3}}{C_{2-3}} \right) \cdot y_{32}, \text{ κ.ο.κ.}$$

➤ **y<sub>A</sub> = y<sub>κ</sub> = 1,03 m και L = 1.050 m.**



Κατατομή **M<sub>2</sub>**

**2 βήματα  
ασύμμετρα**

$$\Delta x_{1-2} = \frac{L}{6}$$

| y <sub>1</sub> | E     | Π     | R     | V     | H <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | C <sub>1-2</sub> | Δx         |
|----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|------------------|------------|
| <b>1,0300</b>  | 3,090 | 5,060 | 0,611 | 3,123 | 1,527          | 4,2E-01        | 1,774            | <b>175</b> |

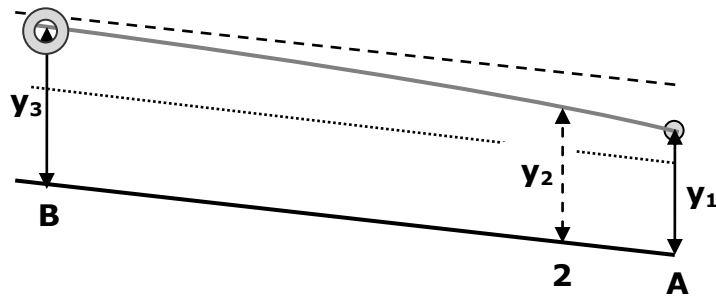
| y <sub>2i</sub> | E     | Π     | R     | V     | H <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | C <sub>2i</sub> | ΔC%   | y <sub>2</sub> | Δx         |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|-----------------|-------|----------------|------------|
| 1,5271          | 4,581 | 6,054 | 0,757 | 2,106 | 1,753          | 1,4E-01        | 1,609           | -9,28 | 1,6689         | <b>175</b> |
| 1,6689          | 5,007 | 6,338 | 0,790 | 1,927 | 1,858          | 1,1E-01        | 1,744           | -1,66 | <b>1,6966</b>  |            |

| y <sub>2</sub> | E     | Π     | R     | V     | H <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | C <sub>2-3</sub> | Δx         |
|----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|------------------|------------|
| <b>1,6966</b>  | 5,090 | 6,393 | 0,796 | 1,896 | 1,879          | 5,5E-01        | 1,550            | <b>875</b> |

| y <sub>3i</sub> | E     | Π     | R     | V     | H <sub>E</sub> | J <sub>E</sub> | C <sub>3i</sub> | ΔC%   | y <sub>3</sub> | Δx         |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|-----------------|-------|----------------|------------|
| 1,8798          | 5,639 | 6,760 | 0,834 | 1,711 | 2,029          | 4,2E-01        | 1,611           | 3,94  | 1,8058         | <b>875</b> |
| 1,8058          | 5,417 | 6,612 | 0,819 | 1,781 | 1,968          | 4,6E-01        | 1,504           | -2,99 | 1,8599         |            |
| 1,8599          | 5,580 | 6,720 | 0,830 | 1,730 | 2,012          | 4,3E-01        | 1,583           | 2,10  | 1,8207         |            |
| 1,8207          | 5,462 | 6,641 | 0,822 | 1,767 | 1,98           | 4,5E-01        | 1,526           | -1,57 | <b>1,82</b>    |            |

| βήματα             | <b>23</b><br>ασύμμετρα | <b>2</b><br>ασύμμετρα | <b>2</b><br>συμμετρικά | <b>3</b><br>συμμετρικά |
|--------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| y <sub>B</sub> [m] | <b>1,7946</b>          | <b>1,82</b>           | 2,12                   | 1,94                   |
| Δy %               |                        | + 1,4                 | +18,0 ●*               | +7,0 ●*                |

➤  $y_A = 1,57 \text{ m} > y_K$  και  $L = 815 \text{ m}$ .



Κατατομή τμήμα  $M_2$

2 βήματα  
ασύμμετρα

$$\Delta x_{1-2} = \frac{L}{6}$$

ή  
1 βήμα!

| $y_1$         | E     | Π     | R     | V     | $H_E$  | $J_E$   | $C_{1-2}$ | $\Delta x$ |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-----------|------------|
| <b>1,5700</b> | 4,710 | 6,140 | 0,767 | 2,049 | 1,7840 | 1,0E-01 | 1,752     | <b>136</b> |

| $y_{2i}$ | E     | Π     | R     | V     | $H_E$ | $J_E$   | $C_{2i}$ | $\Delta C\%$ | $y_2$         | $\Delta x$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|--------------|---------------|------------|
| 1,7840   | 5,352 | 6,568 | 0,815 | 1,803 | 1,95  | 7,4E-02 | 1,875    | 7,04         | 1,6584        | <b>136</b> |
| 1,6584   | 4,975 | 6,317 | 0,788 | 1,940 | 1,850 | 9,0E-02 | 1,760    | 0,46         | <b>1,6507</b> |            |

| $y_2$         | E     | Π     | R     | V     | $H_E$  | $J_E$   | $C_{2-3}$ | $\Delta x$ |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-----------|------------|
| <b>1,6507</b> | 4,952 | 6,301 | 0,786 | 1,949 | 1,8442 | 4,6E-01 | 1,620     | <b>679</b> |

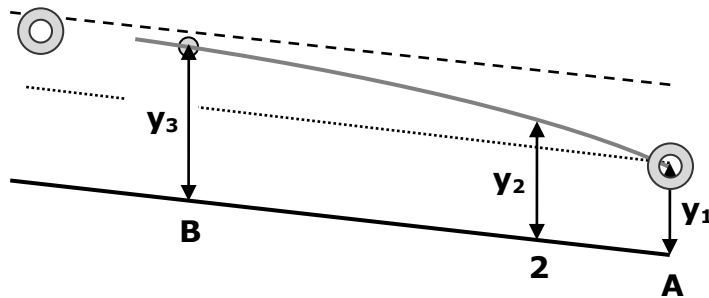
| $y_{3i}$ | E     | Π     | R     | V     | $H_E$ | $J_E$   | $C_{3i}$ | $\Delta C\%$ | $y_3$       | $\Delta x$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|--------------|-------------|------------|
| 1,8442   | 5,533 | 6,688 | 0,827 | 1,744 | 1,999 | 3,4E-01 | 1,659    | 2,37         | 1,8004      | <b>679</b> |
| 1,8004   | 5,401 | 6,601 | 0,818 | 1,787 | 1,963 | 3,6E-01 | 1,601    | -1,21        | <b>1,80</b> |            |

| $y_1$         | E     | Π     | R     | V     | $H_E$  | $J_E$   | $C_{1-2}$ | $\Delta x$ |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-----------|------------|
| <b>1,5700</b> | 4,710 | 6,140 | 0,767 | 2,049 | 1,7840 | 6,2E-01 | 1,593     | <b>815</b> |

| $y_{2i}$ | E     | Π     | R     | V     | $H_E$ | $J_E$   | $C_{2i}$ | $\Delta C\%$ | $y_2$       | $\Delta x$ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|--------------|-------------|------------|
| 1,7840   | 5,352 | 6,568 | 0,815 | 1,803 | 1,95  | 4,5E-01 | 1,504    | -5,56        | 1,8831      | <b>815</b> |
| 1,8831   | 5,649 | 6,766 | 0,835 | 1,708 | 2,032 | 3,9E-01 | 1,645    | 3,27         | 1,8215      |            |
| 1,8215   | 5,464 | 6,643 | 0,823 | 1,766 | 1,98  | 4,2E-01 | 1,558    | -2,15        | 1,8606      |            |
| 1,8606   | 5,582 | 6,721 | 0,830 | 1,729 | 2,013 | 4,0E-01 | 1,614    | 1,32         | <b>1,86</b> |            |

| βήματα       | <b>15</b><br>συμμετρικά | <b>2</b><br>ασύμμετρα | <b>1</b>              |
|--------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| $y_B$ [m]    | <b>1,7947</b>           | <b>1,80</b>           | <b>1,86</b>           |
| $\Delta y$ % |                         | + 0,3                 | + 3,7 $\mathcal{D}_p$ |

➤  $y_A = y_K = 1,03$  m και  $L = 190$  m.



Κατατομή τμήμα  $M_2$

2 βήματα  
ασύμμετρα

$$\Delta x_{1-2} = \frac{L}{6}$$

| $y_1$         | E     | Π     | R     | V     | $H_E$ | $J_E$   | $C_{1-2}$ | $\Delta x$  |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-----------|-------------|
| <b>1,0300</b> | 3,090 | 5,060 | 0,611 | 3,123 | 1,527 | 7,8E-02 | 1,573     | <b>32,5</b> |

| $y_{2i}$ | E     | Π     | R     | V     | $H_E$ | $J_E$   | $C_{2i}$ | $\Delta C\%$ | $y_2$         | $\Delta x$  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|--------------|---------------|-------------|
| 1,5271   | 4,581 | 6,054 | 0,757 | 2,106 | 1,753 | 2,7E-02 | 1,726    | 9,76         | 1,3780        | <b>32,5</b> |
| 1,3780   | 4,134 | 5,756 | 0,718 | 2,334 | 1,656 | 3,5E-02 | 1,620    | 3,02         | 1,3363        |             |
| 1,3363   | 4,009 | 5,673 | 0,707 | 2,407 | 1,632 | 3,8E-02 | 1,593    | 1,30         | <b>1,3190</b> |             |

| $y_2$         | E     | Π     | R     | V     | $H_E$  | $J_E$   | $C_{2-3}$ | $\Delta x$   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-----------|--------------|
| <b>1,3190</b> | 3,957 | 5,638 | 0,702 | 2,439 | 1,6221 | 1,9E-01 | 1,657     | <b>157,5</b> |

| $y_{3i}$ | E     | Π     | R     | V     | $H_E$ | $J_E$   | $C_{3i}$ | $\Delta C\%$ | $y_3$       | $\Delta x$   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|--------------|-------------|--------------|
| 1,6221   | 4,866 | 6,244 | 0,779 | 1,983 | 1,823 | 1,1E-01 | 1,712    | 3,33         | 1,5681      | <b>157,5</b> |
| 1,5681   | 4,704 | 6,136 | 0,767 | 2,051 | 1,783 | 1,2E-01 | 1,662    | 0,29         | <b>1,57</b> |              |

| βήματα       | <b>12</b><br><i>ασύμμετρα</i> | <b>2</b><br><i>ασύμμετρα</i> | <b>1</b>    |
|--------------|-------------------------------|------------------------------|-------------|
| $y_B$ [m]    | <b>1,5490</b>                 | <b>1,57</b>                  | <b>1,73</b> |
| $\Delta y$ % |                               | + 0,1                        | + 11,7 ☼    |

## 5.9 Υπολογισμός λοιπών μεγεθών σε βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή

### 5.9.1 Γενικά

- Οι σχέσεις **απ' ευθείας** υπολογισμού έχουν παραχθεί με χειρισμό της σχέσης (701) στις εξής συνθήκες:
  - Διαδοχικές διατομές **1** - **ανάντη** και **2** - **κατάντη** της ροής.
  - «Κανονική» (προς τα κάτω) κλίση του πυθμένα **J** με **θετικό πρόσημο**. Σε περίπτωση ανάστροφης κλίσης το πρόσημο της κλίσης **J** αρνητικό.
- Η ακρίβεια των υπολογισμών είναι – προφανώς – μεγαλύτερη, όταν η απόσταση μεταξύ των δύο διατομών είναι μικρή.

### 5.9.2 Υπολογισμός Παροχής Q

Απαιτούμενα **δεδομένα** είναι τα **γεωμετρικά στοιχεία** της **διατομής**, τα πραγματικά **βάθη** ροής **y<sub>1</sub>** και **y<sub>2</sub>** σε δύο διατομές **1** και **2**, η **απόσταση** μεταξύ των δύο διατομών **Δx<sub>1-2</sub>**, η κατά μήκος **κλίση** του πυθμένα **J** και ο συντελεστής **n**.

$$Q = \left\{ \frac{2 \cdot (y_2 - y_1 - J \cdot \Delta x_{1-2})}{\frac{1}{g \cdot E_1^2} - \frac{1}{g \cdot E_2^2} - \left[ n^2 \cdot \Delta x_{1-2} \cdot \left( \frac{\Pi_1^{4/3}}{E_1^{10/3}} + \frac{\Pi_2^{4/3}}{E_2^{10/3}} \right) \right]} \right\}^{1/2} \quad (709)$$

### 5.9.3 Υπολογισμός της κλίσης πυθμένα J

Απαιτούμενα **δεδομένα** είναι τα **γεωμετρικά στοιχεία** της **διατομής**, τα πραγματικά **βάθη** ροής **y<sub>1</sub>** και **y<sub>2</sub>** σε δύο διατομές **1** και **2**, η **απόσταση** μεταξύ των δύο διατομών **Δx<sub>1-2</sub>**, η παροχή **Q** και ο συντελεστής **n**.

$$J = \frac{y_2 - y_1 - \frac{Q^2}{2} \cdot \left\{ \frac{1}{g \cdot E_1^2} - \frac{1}{g \cdot E_2^2} - \left[ n^2 \cdot \Delta x_{1-2} \cdot \left( \frac{\Pi_1^{4/3}}{E_1^{10/3}} + \frac{\Pi_2^{4/3}}{E_2^{10/3}} \right) \right] \right\}}{\Delta x_{1-2}} \quad (710)$$

*Σημείωση:* Το πρόβλημα φαίνεται εκ πρώτης όψεως περιττό, αλλά είναι πολύ χρήσιμο σε σχεδιασμό συναρμογών, όπου η κλίση του πυθμένα χαράζεται σημείο προς σημείο.

### 5.9.4 Υπολογισμός συντελεστή Manning n

Απαιτούμενα **δεδομένα** είναι τα **γεωμετρικά στοιχεία** της **διατομής**, τα πραγματικά **βάθη** ροής **y<sub>1</sub>** και **y<sub>2</sub>** σε δύο διατομές **1** και **2**, η **απόσταση** μεταξύ των δύο διατομών **Δx<sub>1-2</sub>**, η παροχή **Q** και η κατά μήκος κλίση του πυθμένα **J**.

$$n = \frac{\sqrt{2}}{Q} \cdot \left( \frac{y_1 - y_2 + \frac{Q^2}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{1}{E_1^2} - \frac{1}{E_2^2} \right) + J \cdot \Delta x_{1-2}}{\left( \frac{\Pi_1^{4/3}}{E_1^{10/3}} + \frac{\Pi_2^{4/3}}{E_2^{10/3}} \right) \cdot \Delta x_{1-2}} \right)^{1/2} \quad (711)$$