



UNIVERSITY OF
PATRAS
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

Σημειώσεις διαλέξεων «Εφαρμοσμένη Υδραυλική»

Διάλεξη 9
15/12/2022

Λευθεριώτης Γεώργιος
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πανεπιστήμιο Πατρών

Σχεδιασμός Ανοικτών Αγωγών

- Ο σχεδιασμός ενός ανοικτού αγωγού αφορά στον προσδιορισμό των διαστάσεων της διατομής του αγωγού υπό συγκεκριμένους περιορισμούς.
- Οι διαστάσεις του αγωγού υπολογίζονται από την εξίσωση της συνέχειας και την εξίσωση Manning.
- Στις παραπάνω εξισώσεις περιέχονται αρκετές μεταβλητές όπως η παροχή Q , η ταχύτητα V , η κλίση J_o , ο συντελεστής Manning n , το βάθος ροής y και τα γεωμετρικά στοιχεία του αγωγού (A, P, R_h).
- Οι περιορισμοί αφορούν τη μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα V_{max} και τις κλίσεις των πρανών z .
- Η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα καθορίζεται ώστε να αποφευχθεί η διάβρωση του καναλιού, ενώ οι κλίσεις των πρανών εξαρτώνται από το υλικό.
- Τα παραπάνω ισχύουν φυσικά όταν ο αγωγός κατασκευαστεί σε διαβρώσιμο έδαφος που αποτελείται από χώματα, πετρώματα κλπ.

Σχεδιασμός Ανοικτών Αγωγών

- Η συγκεκριμένη μέθοδος σχεδιασμού ονομάζεται **μέθοδος της επιτρεπτής ταχύτητας**.
- Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τυπικές τιμές για επιτρεπτές ταχύτητες και κλίσεις πρανών.

Υλικό	V_{\max} (m/s)
Λεπτή άμμος	0,4
Αμμώδης πηλός	0,5
Ιλυώδης πηλός	0,6
Πηλός	0,7
Άργιλος	1,1
Λεπτοί χάλικες	0,7
Αδροί χάλικες	1,2

Υλικό	z
Αμμώδης πηλός	3
Αμμώδες έδαφος	2
Συμπυκνωμένο έδαφος	1
Συμπυκνωμένη άργιλος	0,5 - 1
Βράχος	0,25

Μέγιστες επιτρεπτές ταχύτητες και κλίσεις πρανών (Δημητρακόπουλος Α. 2018)

Βαθμιαία Μεταβαλλόμενη Ροή

- Η βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή είναι ένα σύνθετο πρόβλημα ροής με ελεύθερη επιφάνεια σε αγωγούς μεγάλου μήκους.
- Εμφανίζεται όταν αλλάζουν οι συνθήκες της ροής λόγω αλλαγής της γεωμετρίας (π.χ. στένωση) ή της τραχύτητας του αγωγού, ή της κλίσης του πυθμένα.
- Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών χωρίζουμε τον αγωγό σε επιμέρους τμήματα τα οποία έχουν ίδια χαρακτηριστικά.

Δυναμική εξίσωση της βαθμιαία μεταβαλλόμενης ροής

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_o - J_E}{1 - Fr^2}$$

όπου J_o είναι η κλίση του πυθμένα και J_E είναι η κλίση της γραμμής ενέργειας

Ταξινόμηση κλίσεως πυθμένα

Προκειμένου να οριστούν τα προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας θεωρούμε τους παρακάτω ορισμούς για την κλίση του πυθμένα:

- **Ήπια (M)** είναι η κλίση του πυθμένα όταν η ροή στον αγωγό είναι υποκρίσιμη
- **Απότομη (S)** είναι η κλίση του πυθμένα όταν η ροή στον αγωγό είναι υπερκρίσιμη
- **Κρίσιμη (C)** είναι η κλίση του πυθμένα όταν η ροή στον αγωγό είναι κρίσιμη

Με βάση τα παραπάνω, η ταξινόμηση κλίσης πυθμένα μπορεί να περιγραφεί από:

Ήπια κλίση : $y_o > y_c$

Κρίσιμη κλίση : $y_o = y_c$

Απότομη κλίση : $y_o < y_c$

Επίσης η κλίση του πυθμένα μπορεί να είναι **οριζόντια (H)** όταν η κλίση είναι μηδενική ($J_o = 0$) ή **ανάστροφη (A)** όταν η κλίση είναι ανηφορική ($J_o < 0$)

Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

Ταξινόμηση προφίλ ελεύθερης επιφάνειας

Η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας κατά μήκος ενός αγωγού μπορεί να προβλεφθεί από τη δυναμική εξίσωση της βαθμιαία μεταβαλλόμενης ροής και την εξίσωση του Chezy.

Για ορθογωνικούς ή αγωγούς με πολύ μεγάλο λόγο πλάτους προς βάθος, η υδραυλική ακτίνα ισούται με το βάθος ($R_h = y$), και η εξίσωση Chezy γράφεται:

$$V = C\sqrt{R_h \cdot J_E} \Rightarrow \frac{Q}{A} = C\sqrt{y \cdot J_E} \Rightarrow \frac{Q}{b \cdot y} = C\sqrt{y \cdot J_E} \Rightarrow J_E = \frac{Q^2}{C^2 \cdot b^2 \cdot y^3}$$

Για ομοιόμορφη ροή ($J_E = J_o$ και $y = y_o$) η παραπάνω εξίσωση γράφεται

$$J_E = \frac{Q^2}{C^2 \cdot b^2 \cdot y^3} \Rightarrow J_o = \frac{Q^2}{C^2 \cdot b^2 \cdot y_o^3}$$

Από τις δύο παραπάνω σχέσεις η εξίσωση της βαθμιαία μεταβαλλόμενης ροής γίνεται:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_o - J_E}{1 - Fr^2} \Rightarrow \frac{dy}{dx} = J_o \left(\frac{1 - (y_o/y)^3}{1 - Fr^2} \right)$$

Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

7/11

Ταξινόμηση προφίλ ελεύθερης επιφάνειας

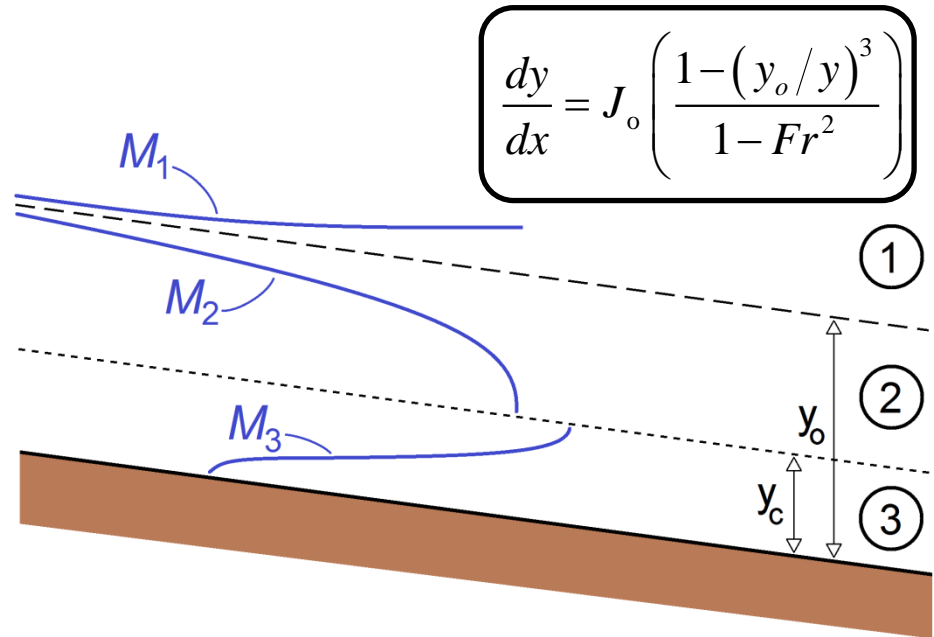
- Βάση της προηγούμενης εξίσωσης μπορούμε να κατατάξουμε τα προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας σε δεκατρείς (13) τυπικές μορφές.
- Η ονομασία του αγωγού εξαρτάται από την κλίση του πυθμένα και τη σχέση της με την κρίσιμη κλίση του αγωγού.
- Η ονομασία της καμπύλης ελεύθερης επιφάνειας ακολουθεί την ονομασία του αγωγού (**M, S, C, H, A**) και αρίθμηση ανάλογα με τις τρεις ζώνες ροής οι οποίες δημιουργούνται.

Αγωγός με ήπια (**M**) κλίση

• Ζώνη 1 ($y > y_o > y_c$)
 $Fr < 1 \rightarrow \frac{dy}{dx} > 0$

• Ζώνη 2 ($y_o > y > y_c$)
 $Fr < 1 \rightarrow \frac{dy}{dx} < 0$

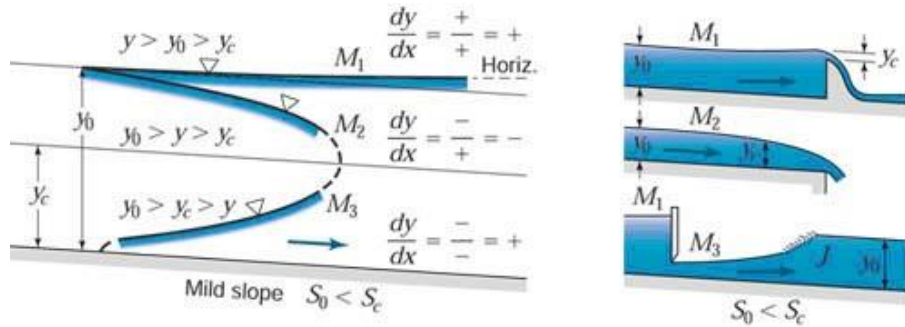
• Ζώνη 3 ($y_o > y_c > y$)
 $Fr > 1 \rightarrow \frac{dy}{dx} > 0$



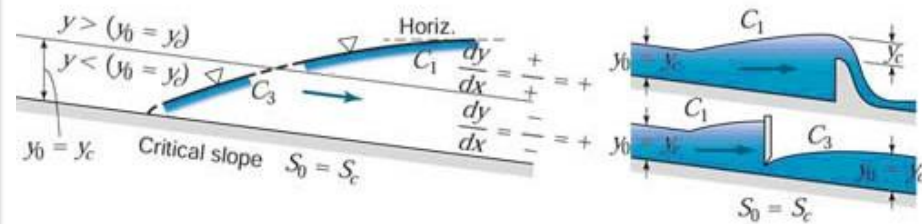
Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

Ταξινόμηση προφίλ ελεύθερης επιφάνειας

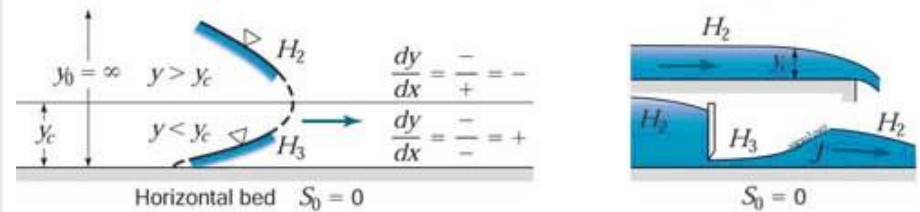
Ήπια κλίση, Mild slope (M)



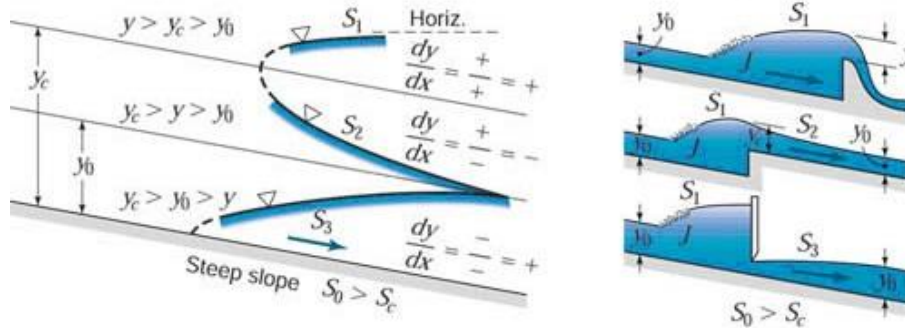
Κρίσιμη κλίση, Critical slope (C)



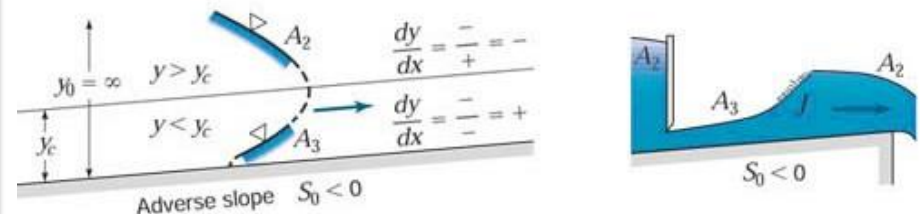
Οριζόντιος πυθμένας, Horizontal (H)



Απότομη κλίση, Steep slope (S)



Ανάστροφη κλίση, Adverse slope (A)



Ταξινόμηση προφίλ ελεύθερης επιφάνειας

Συμπεράσματα

- Το πρόσημο της κλίσης της ελεύθερης επιφάνειας, dy/dx , υπολογίζεται εύκολα από την εξίσωση:

$$\frac{dy}{dx} = J_o \left(\frac{1 - (y_o/y)^3}{1 - Fr^2} \right)$$

- Η ελεύθερη επιφάνεια τείνει ασυμπτωματικά προς το κανονικό βάθος ροής.
- Η ελεύθερη επιφάνεια τείνει υπό μεγάλη γωνία προς το κρίσιμο βάθος ροής.

Επίσης:

- Η **διατομή ελέγχου** της ροής είναι η διατομή στην οποία έχουμε καθορισμένη σχέση στάθμης – παροχής.
- Διατομή ελέγχου θεωρείται και η διατομή με ομοιόμορφη ροή.

Με βάση τα παραπάνω μπορεί να προσδιοριστεί μία σειρά εργασιών για τον προσδιορισμό της ελεύθερης επιφάνειας.

Ταξινόμηση προφίλ ελεύθερης επιφάνειας

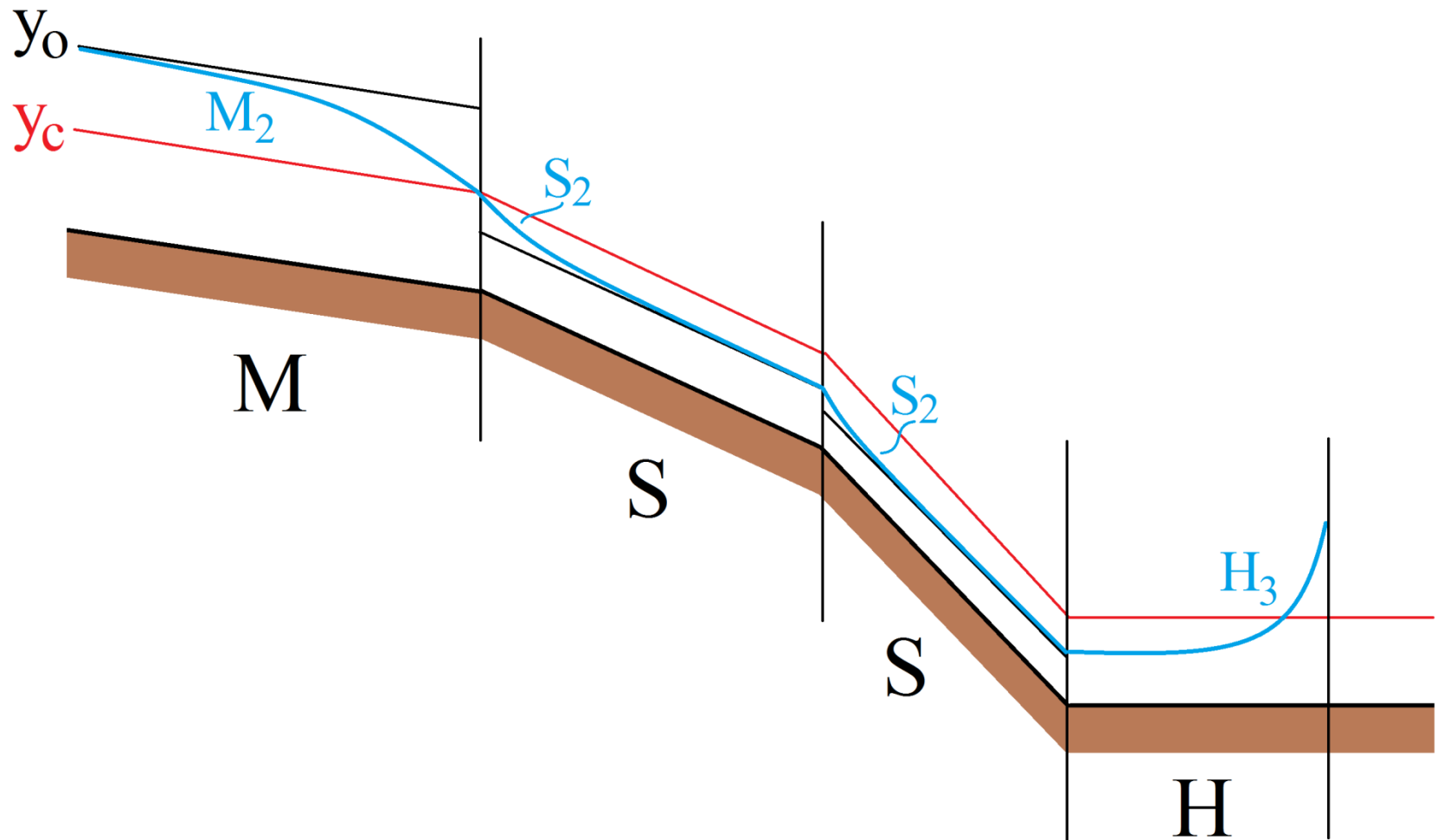
Παρακάτω παρουσιάζονται τα **βήματα προσδιορισμού** της ελεύθερης επιφάνειας σε αγωγό σταθερής διατομής και τμηματικά μεταβλητών κλίσεων σε συνθήκες βαθμιαίας μεταβαλλόμενης ροής.

1. Σχεδιάζουμε την κατά μήκος τομή του πυθμένα (υπό στρεβλή κλίμακα).
2. Υπολογίζουμε το κανονικό και το κρίσιμο βάθος y_o και y_c και τα σχεδιάζουμε παράλληλα προς τον πυθμένα.
3. Σημειώνουμε τις πιθανές θέσεις διατομών ελέγχου της ροής.
4. Ξεκινώντας από διατομές κρίσιμου βάθους, χαράσσουμε το προφίλ προς τα ανάντη πάνω από το κρίσιμο βάθος, και το προφίλ προς τα κατόντη κάτω από το κρίσιμο βάθος (Βλέπε Διαφάνεια 8 για βοήθεια).
5. Αν στα προφίλ που χαράχθηκαν υπάρχει επικάλυψη, τότε εκεί θα έχουμε υδραυλικό άλμα.

Δείτε για κατανόηση το παράδειγμα στην επόμενη διαφάνεια.

Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

Ταξινόμηση προφίλ ελεύθερης επιφάνειας



Ροή σε ανοικτούς αγωγούς

Βιβλιογραφία

- Δημητρακόπουλος Α. **Στοιχεία υδραυλικής κλειστών και ανοικτών αγωγών**, Εκδόσεις Gotsis, 2018.
- Λιακόπουλος Α. **Υδραυλική**, 3^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2020,
- Στάμου Α. **Εφαρμοσμένη Υδραυλική**, 3^η έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2016.