Μετρήσεις σε φυσικά υδατορεύματα
Προσέγγιση ομοιόμορφης ροής σε φυσικά υδατορεύματα

Επ. Καθηγητής Μ.Σπηλιώτης

Για μεγάλο πλάτος

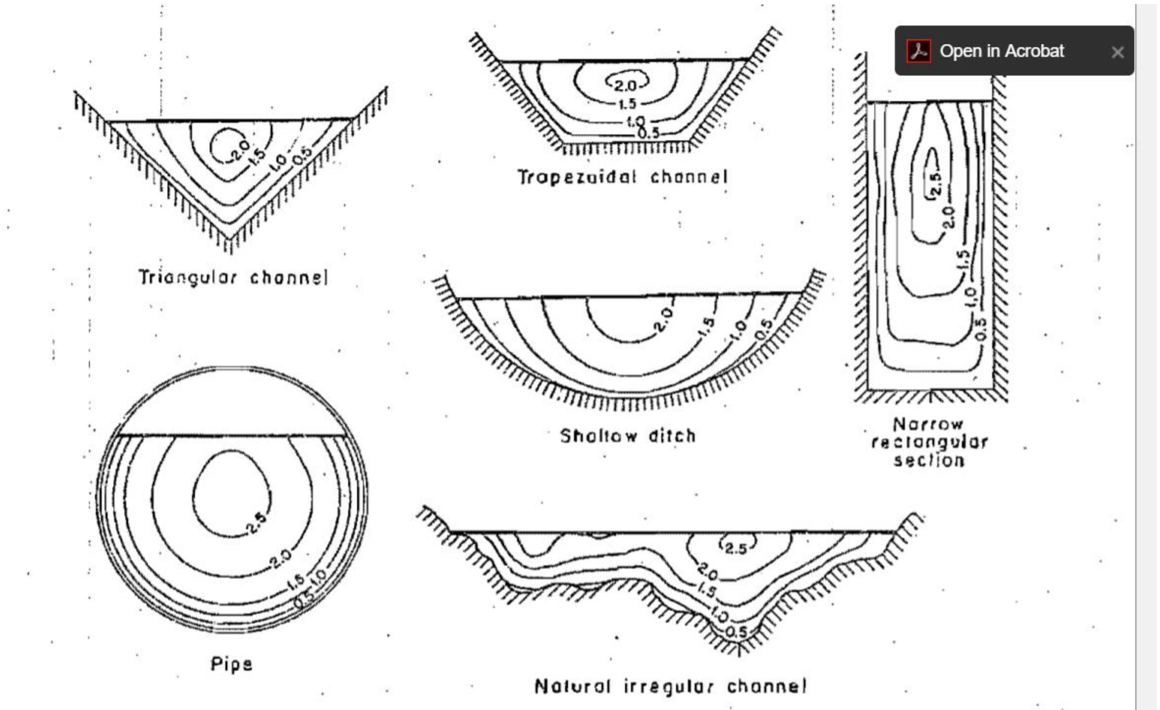
Έστω B > ∞, ορθογωνική διατομή

$$R = \frac{By}{B+2y} \rightarrow \frac{By}{B} \rightarrow y$$

Πολλά φυσικά υδατορέματα, ειδικά σε μη έντονα πλ. φαινόμενα έχουν πλατιές διατομές

Κατανομή ταχύτητας

- Διαφορετική κατανομή ταχύτητας **καθ ΄ ύψος** και **κατά πλάτος**
- Χρησιμοποιούμε προσεγγιστικά μία **μέση ταχύτητα**
- Ποτάμια Υδραυλική: Σημαντική διαφοροποίηση *κατά πλάτος*



Μέση ταχύτητα

$$Q \underset{\text{ΟΡΙΣΜΟΣ}}{=} \bar{V} \cdot A \Leftrightarrow \bar{V} = \frac{Q}{A}$$

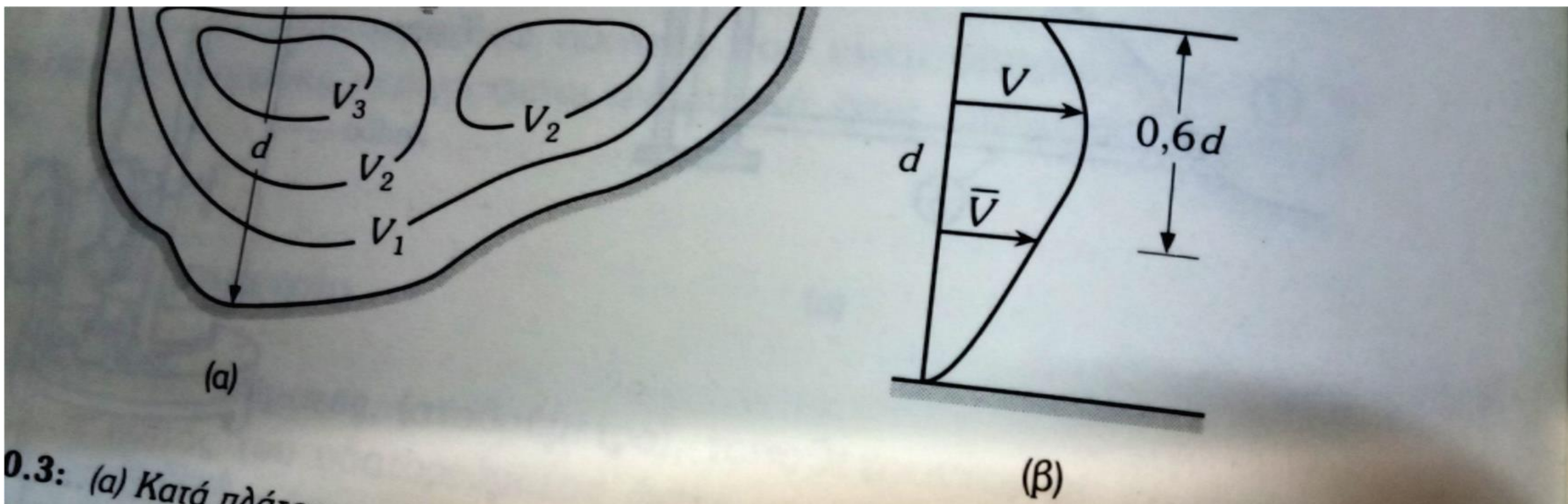
- Ορισμός με βάση την παροχή

V: Μέση ταχύτητα είναι η παροχή που διέρχεται ανά μονάδα επιφανείας διατομής $\bar{V} = Q/A = \frac{1}{A}\iint_A u\,dA$ όπου $\boldsymbol{u}$ σημειακή ταχύτητα

Προσέγγιση μέση ταχύτητας

Μέτρηση Ταχύτητας

Σε απόστση 0,6 d με ροόμετρο



0.3: (α) Κατά πλάτος και (β) κατά μήκος κατανομή ταχυτήτων σε ε- φυσικού υδατορεύματος.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΝΕΣΤΟΥ

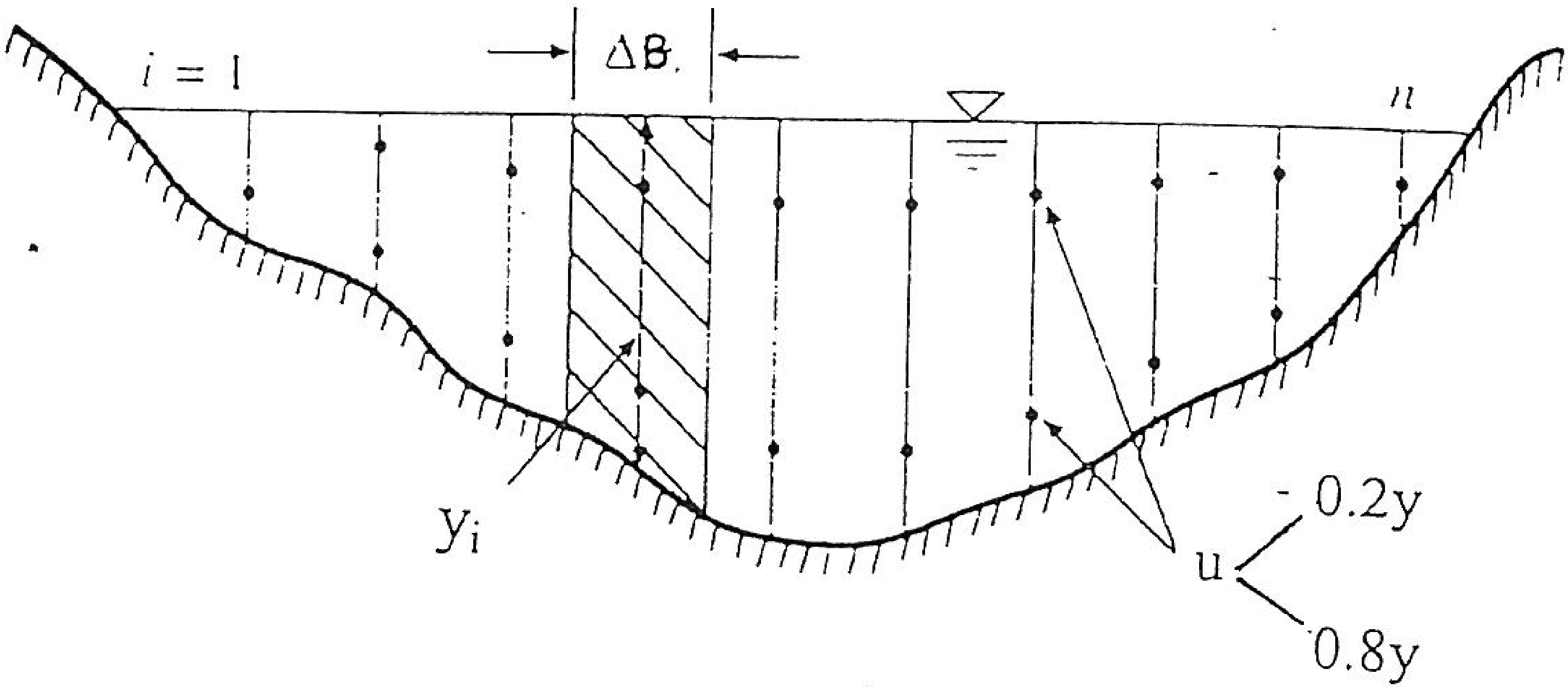
Στον ποταμό Νέστο διεξήχθησαν τρείς μετρήσεις , με σκοπό την εκτίμηση της στερεοπαροχής της κοίτης. Οι μετρήσεις αυτές έλαβαν χώρα σε διατομή του ποταμού που βρίσκεται 2 km περίπου από το χωριό Κύρνος.

Πλατής, Διπλ εργασία

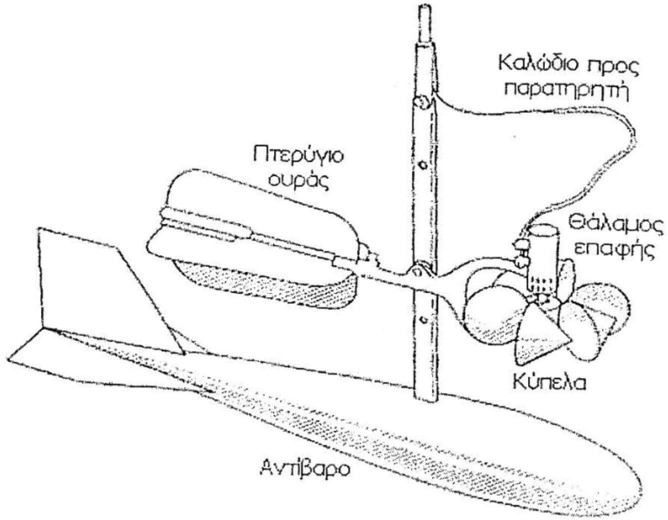
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με ειδικό όργανο μέτρησης περιστροφικής ταχύτητας

Πρακτικά, για τη μέτρηση της παροχής σε ένα σημείο ενός υδατορρεύματος, εξετάζεται μια διατομή κάθετη με τη διεύθυνση του ρεύματος και σε σημεία που ο πυθμένας και τα πρανή είναι κατά το δυνατόν σταθερά. Η διατομή αυτή διαιρείται σε κατακόρυφες νοητές λωρίδες. Ως μέση ταχύτητα κάθε λωρίδας λαμβάνεται ο μέσος όρος των σημειακών ταχυτήτων σε βάθη 0.2y και 0.8y μετρούμενα από την επιφάνεια του νερού. Για βάθη νερού μικρότερα του 1 *m* λαμβάνεται μία σημειακή ταχύτητα σε βάθος 0.6y (Σχ. 4.5).

Η συνολική παροχή προκύπτει από την ολοκλήρωση των γινομένων ήτοι $Q = \Sigma A_i u_i$ όπου A_i και u_i είναι το εμβαδόν κάθε λωρίδας και η μέση ταχύτητα αντίστοιχα.



Σχ. 4.5 Μέτρηση παροχής με ολοκλήρωση στοιχειωδών σημειακών ταχυτήτων



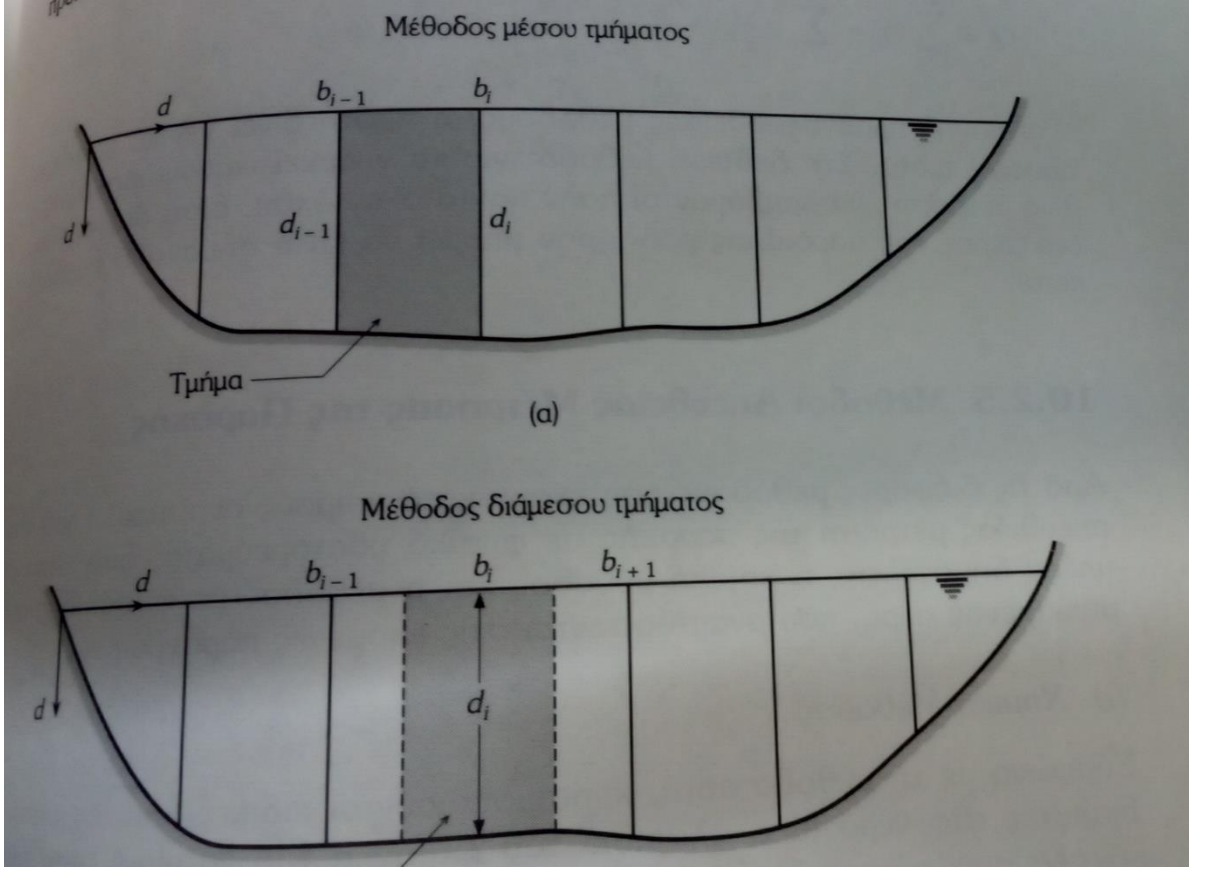
Σχήμα 5.23 *Τυπική διάταξη μυλίσκου.*

Η ταχύτητα σε κάθε σημείο της κατακορύφου προκύπτει ως γραμμική συνάρτηση της συχνότητας περιστροφής της έλικας στο σημείο αυτό. Ένα θέμα που προκύπτει σε αυτό το σημείο, είναι σε ποιο βάθος πρέπει να βυθιστεί ο μυλίσκος, έτσι ώστε η σημειακή ταχύτητα u_i που θα μετρηθεί, να είναι αντιπροσωπευτική για τη συγκεκριμένη κατακόρυφο και άρα για το αντίστοιχο τμήμα και διατομή, αφού είναι γνωστό ότι η τιμή της ταχύτητας αυξάνεται με την απόσταση από το οριακό στρώμα. Σύμφωνα με το λογαριθμικό νόμο, προκύπτει ότι η μετρούμενη σημειακή ταχύτητα, είναι πιο αντιπροσωπευτική της μέσης, σε απόσταση από την επιφάνεια ίση με το 60% του ύψους. Συνεπώς, αν λαμβάνεται μόνο μια μέτρηση σε κάθε κατακόρυφο, ο μυλίσκος βυθίζεται σε βάθος ίσο με το 60% του συνολικού. Στην πράξη, για μεγάλα βάθη υδατορεύματος, είναι επιθυμητό να παίρνονται περισσότερες της μιας μετρήσεις σε κάθε κατακόρυφο, συνήθως δύο. Αυτές λαμβάνονται σε απόσταση από την επιφάνεια ίση με το 20% και 80% του βάθους αντίστοιχα. Η δε μέση ταχύτητα σε κάθε κατακόρυφο (και άρα σε κάθε τμήμα), προσεγγίζεται ικανοποιητικά από το μέσο όρο αυτών των δύο τιμών και δίνεται από την εξίσωση:

$$v_i = \frac{u_{0.2} + u_{0.8}}{2} \qquad (5.14)$$

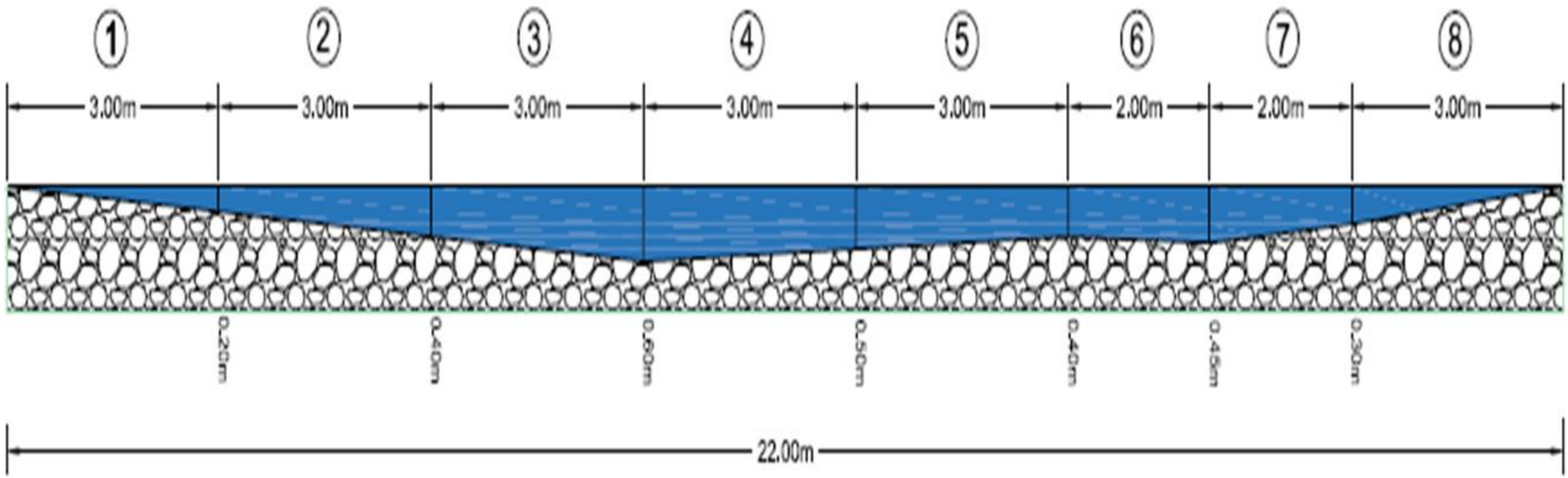
Τσακίρης, 2013

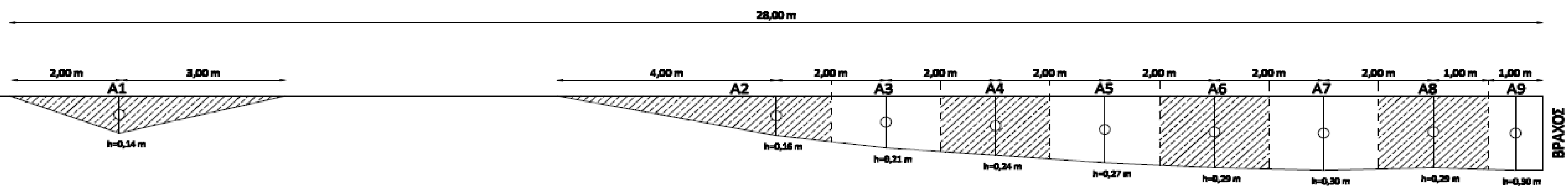
Μέτρηση σε πολλαπλά τμήματα (2 μέθοδοι)



ΠΡΩΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΝΕΣΤΟ

1η Τομή Ποταμού Νέστου





Σχήμα 3.5: Διατομή πέμπτης μέτρησης

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΟΣΥΝΘΟΥ

Μετρήσεις υδραυλικών χαρακτηριστικών σε τμήμα του ποταμού Κοσύνθου

Οι μετρήσεις αυτές έλαβαν χώρα σε διατομή του ποταμού, ανάντη της γέφυρας που βρίσκεται

στο 4ο χιλιόμετρο της επαρχιακής οδού Ξάνθης – Σταυρούπολης.

Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν τις κάτωθι εργασίες:

α) Επιλογή διατομής και διαίρεση σε επιμέρους τμήματα. Στο κάθε τμήμα χωριστά μετρήθηκε το βάθος του ποταμού και η μέση ταχύτητα ροής με τη βοήθεια ειδικού οργάνου μέτρησης περιστροφικής ταχύτητας (μυλίσκος) .

β) Παγίδευση των φερτών υλών της κοίτης με ειδική συσκευή τύπου απόχης, με άνοιγμα τετραγωνικής διατομής (7,5 cm x 7,5 cm), στο πίσω μέρος της οποίας είναι προσαρμοσμένο δίχτυ για τη συλλογή των φερτών υλών.

γ) Εκτίμηση των επιφανειών των επιμέρους τμημάτων της διατομής.

δ) Υλικό πυθμένα με την χρήση αρπάγης σε επιμέρους θέσεις των διατομών.

ε) Εύρεση παροχής νερού στο κάθε επιμέρους τμήμα της διατομής και υπολογισμός της στερεοπαροχής στο σύνολο της διατομής, με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου:

$$Q_i = V_{mi} \cdot A_i$$

όπου

- V_{mi}: μέση ταχύτητα ροής σε συγκεκριμένο τμήμα της διατομής [m/s]
- A_i: εμβαδόν τμήματος διατομής [m^2]
- Q_i: παροχή τμήματος διατομής [m^3/s]

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΤΜΗΜΑ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΟΣΥΝΘΟΥ

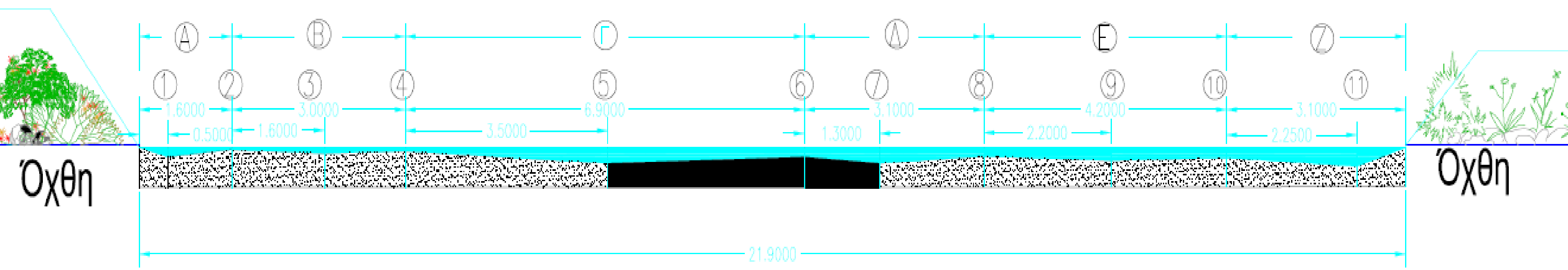
Μετρήσεις κατάντη διατομής του ποταμού Κοσύνθου

Πίνακας Μετρήσεων – Διατομής κατάντη

Α/Α	Βάθος Ροής (m)	Ταχύτητα (m/sec)	Α/Α	Βάθος Ροής (m)	Ταχύτητα (m/sec)	Α/Α	Βάθος Ροής (m)	Ταχύτητα (m/sec)
1	0.13	0.443	5	0.22	0,44	9	0.18	0,59
2	0,03		6	0.13		10	0,14	
3	0,08	0.613	7	0.22	0,62	11	0.26	0,50
4	0,05		8	0,12				

Τομή Ποταμού - Κατάντη

πλάτος ποταμού 21,90μ.



Διαμέριση της επιφάνειας και μετρήσεις ταχυτήτων.

Παπαευσταθίου, Διπλ

Μετρήσεις ανάντη διατομής του ποταμού Κοσύνθου

Η συνολική παροχή και με την παραδοχή ότι μελετάμε υποκρίσιμη ροή υπολογίζεται με την μέθοδο μεσαίας διατομή.
Με την μέθοδο αυτή θεωρούμε ότι η μέση ταχύτητα μιας καθέτου αντιπροσωπεύει την μέση ταχύτητα στην λωρίδα.
Το γινόμενο σε κάθε κάθετο πολλαπλασιάζεται με το πλάτος της λωρίδας που εκτιμάται σαν η μισή απόσταση των δυο παραπλεύρων καθέτων.
Η παροχή για παράδειγμα μέσω της λωρίδας 5 δίνεται από την σχέση:

$$q_5 = \bar{V}_5 d_5 \left(\frac{b_5 + b_4}{2} + \frac{b_6 + b_5}{2}\right) = \bar{V}_5 d_5 \left(\frac{b_6 + b_5}{2}\right)$$

Καμπύλη στάθμης παροχής

Καμπύλη στάθμης παροχής

- Σχέση στάθμης παροχής
- Για μία διατομή ελέγχου μόνο (σε συγκεκριμένο σημείο του υδατορέματος)
- Μη γραμμική συμπεριφορά
- Πρόβλημα επέκτασης σε πλημμυρικά φαινόμενα

Καμπύλη Στάθμης-Παροχής

Πειραματική καμπύλη Στάθμης-Παροχής

Με την ταυτόχρονη μέτρηση στάθμης και παροχής σε ένα υδατόρευμα προκύπτουν ζεύγη σημείων στάθμης-παροχής ($H - Q$), που αναφέρονται σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο μετρήσεων. Τα ζεύγη αυτά παράγουν μια πειραματική καμπύλη, που είναι η καμπύλη στάθμης παροχής.

Η πειραματική καμπύλη $H - Q$ λόγω της μεγάλης διασποράς των μετρήσεων προσεγγίζεται με μια αναλυτική σχέση εκθετικού ή παραβολικού τύπου:

$$Q = a(H - H_0)^b \quad \text{ή}$$

$$Q = a + b(H - H_0) + c(H - H_0)^2 \tag{5.1}$$

Οι παράμετροι a, b και c προσδιορίζονται με βάση τα πειραματικά ζεύγη σημείων (Q, H) με μια από τις γνωστές μεθόδους βέλτιστης προσαρμογής. Η τιμή H_0 αποτελεί το απόλυτο υψόμετρο σε m που έχει μηδενική παροχή, ενώ H είναι το απόλυτο υψόμετρο της παρατηρούμενης ένδειξης της στάθμης στη σταθμημετρική κλίμακα, επίσης σε m. Ως ένδειξη αξιοπιστίας της καμπύλης στάθμης παροχής χρησιμοποιείται η τυπική απόκλιση $\widehat{\sigma}$ και το οριζόμενο διάστημα εμπιστοσύνης συνολικού εύρους $2 \cdot \widehat{\sigma}$ που περιβάλλει τα πειραματικά σημεία.

Προσοχή, εφαρμόζω γραμμική παλινδρόμηση σε τιμές λογαρίθμων

$$Q = a(H - H_0)^b$$

$$Q = \alpha\left(\mathrm{H} - \mathrm{H}_0\right)^b$$

$$ln\,Q = ln\left(\alpha \cdot \left(\mathrm{H} - \mathrm{H}_0\right)^b\right) = ln\,\alpha + ln\left(\mathrm{H} - \mathrm{H}_0\right)^b = ln\,\alpha + b \cdot ln\left(\mathrm{H} - \mathrm{H}_0\right)$$

$$\underbrace{ln\,Q}_{y} = \underbrace{ln\,\alpha}_{\beta_0} + \underbrace{b}_{\beta_1} \cdot \underbrace{ln\left(\mathrm{H} - \mathrm{H}_0\right)}_{x}$$

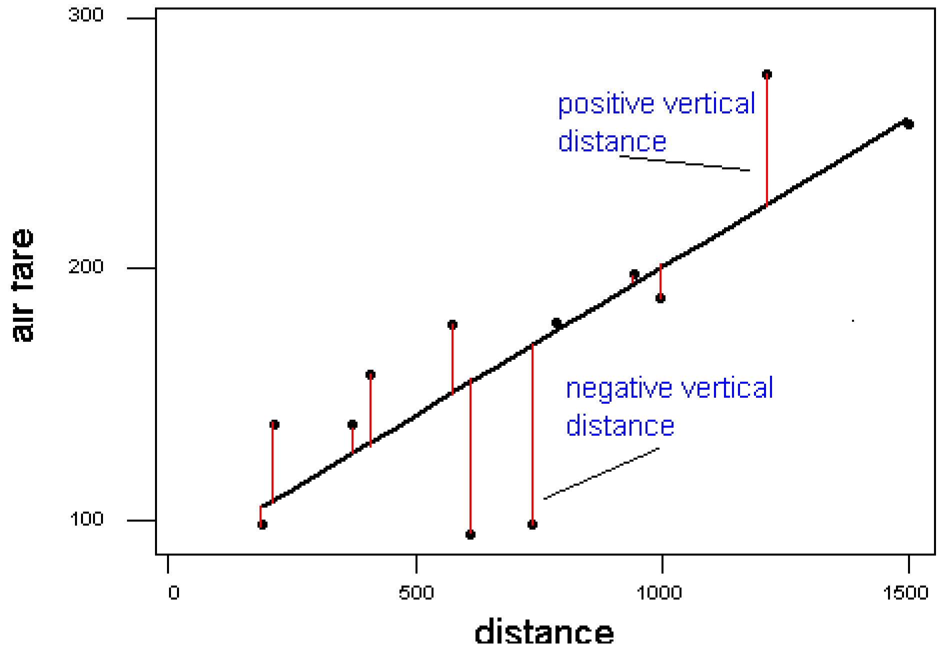
Επιλογή γραμμής παλινδρόμησης

- Σφάλμα κατακόρυφη απόσταση= (Y –Y’)
  - Θετικό ή αρνητικό
- Γραμμή παλινδρόμησης,

$Y' = \beta_0 + \beta_1 X$,

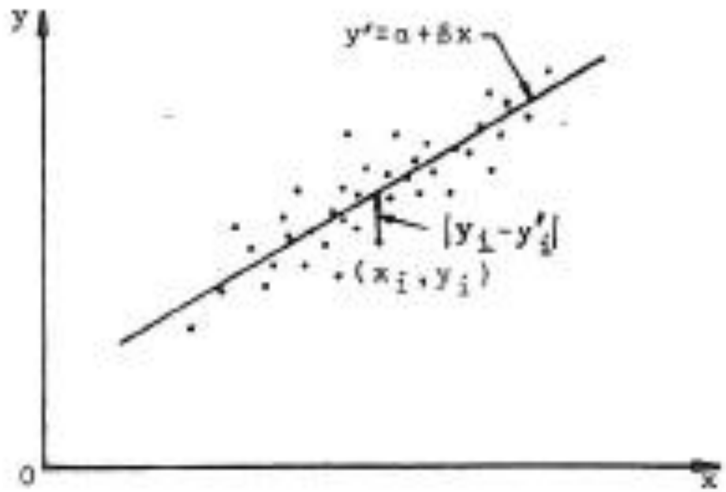
ώστε

$\sum(Y - Y')^2$, ελάχιστο



[illegible] $|y_i - y_i'|$, όπου $y_i' = \alpha + \beta x_i$. Η βέλτιστη γραμμική σχέση εἶναι ἐκείνη τῆς ὁποίας οἱ παράμετροι α καί β ἐλαχιστοποιοῦν τό ἄθροισμα τῶν τετραγώνων τῶν λαθῶν — δηλαδή, ἐλαχιστοποιοῦν τό

$$\Delta^2 = \sum_{i=1}^{n} (y_i - y_i')^2 = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \alpha - \beta x_i)^2$$



Σχῆμα 7.1 Ἀνάλυση Γραμμικῆς Παλινδρόμησης Δύο Μεταβλητῶν

$y' = ax + b$

$\hat{y} = b_1 x + b_0$ (συμβολισμός Τσίρη)

Ἡ μέθοδος αὐτή προσδιορισμοῦ τῶν α καί β ὀνομάζεται **μ έ θ ο δ ο ς τ ῶ ν ἐ λ α χ ί σ τ ω ν τ ε τ ρ α γ ώ ν ω ν**. Γιά τήν ἐλαχιστοποίηση τῆς Δ^2 ἔχουμε:

(ελ/ση χωρίς περιορισμούς)

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial \alpha}=\sum_{i=1}^{n} 2(y_i-\alpha-\beta x_i)(-1)=0$$

ὅπου $a=b_0$

$$\frac{\partial \Delta^2}{\partial \beta}=\sum_{i=1}^{n} 2(y_i-\alpha-\beta x_i)(-x_i)=0$$

$\beta=b_1$

Ἀπό τίς σχέσεις αὐτές προκύπτουν οἱ ἑξῆς ἐκτιμήσεις γιά τίς παράμετρες α καί β:

$$\hat{\alpha}=\frac{1}{n}\,\Sigma y_i-\frac{\hat{\beta}}{n}\,\Sigma x_i=\bar{y}-\hat{\beta}\bar{x} \qquad (7.2)$$

καί

$$\hat{\beta}=\frac{\Sigma x_i y_i-n\bar{x}\bar{y}}{\Sigma x_i^2-n\bar{x}^2}=\frac{\Sigma(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\Sigma(x_i-\bar{x})^2} \qquad (7.3)$$

ὅπου $\Sigma=\sum_{i=1}^{n}$. Ἡ κλίση β ὀνομάζεται **σ υ ν τ ε λ ε σ τ ή ς π α λ ι ν - δ ρ ό μ η σ η ς**.

Η εξίσωση της ευθείας είναι της μορφής $\Psi = \beta_0 + \beta_1 X$ και θα προσδιορισθεί με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή οι παράμετροι β_1 και β_0 δίνονται από τις σχέσεις:

$$\beta_1 = \frac{n\sum x_i y_i - \left(\sum x_i\right)\cdot\left(\sum y_i\right)}{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2}$$

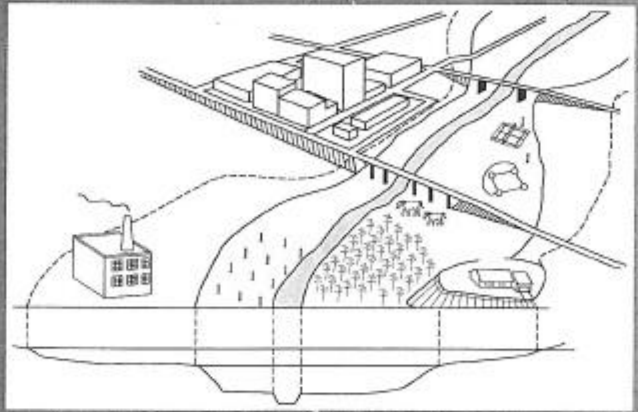
$$\beta_0 = \frac{n\sum y_i - \beta_1 \sum x_i}{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2}$$

Προσοχή, εφαρμόζω γραμμική παλινδρόμηση σε τιμές λογαρίθμων

Γ. ΤΣΑΚΙΡΗΣ - Χ. ΒΑΓΓΕΛΗΣ

ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ:

ΙΙ. Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας



Εκδόσεις Συμμετρία

Αθήνα 2009

[redacted]

Άσκηση 5.2

Στην έξοδο μιας λεκάνης απορροής έκτασης 24 km^2 είναι εγκατεστημένος σταθμηγράφος. Μετά από ένα γεγονός βροχής διάρκειας 1 h, του οποίου η ένταση ήταν σταθερή και ίση με 12.5 mm/h, ο σταθμηγράφος έδινε στο τέλος κάθε ώρας τις ακόλουθες ενδείξεις:

Πίν. 5.4: *Ενδείξεις σταθμηδογράφου*

t (h)	H (m)	t (h)	H (m)
Αρχική στάθμη	0.910		
1	1.864	7	1.084
2	2.297	8	1.030
3	2.067	9	0.995
4	1.835	10	0.983
5	1.475	11	0.977
6	1.128	12	0.971

Η καμπύλη στάθμης-παροχής δίνεται από τη σχέση $Q = 14.516\,(H - 0.4)^{3/2}$, όπου H η ένδειξη του σταθμηγράφου σε m και Q η παροχή σε m^3/s.

Ζητούνται:

α) Οι τιμές της παροχής στο τέλος κάθε ώρας κατά τη διάρκεια των 12 h από την έναρξη της βροχής.

β) Η σχεδίαση του υετογράμματος και του αντίστοιχου υδρογραφήματος.

<u>Θέμα 1ο (1.5/10)</u>

Στην έξοδο μιας λεκάνης απορροής έκτασης 24 km^2 είναι εγκατεστημένος σταθμηγράφος. Μετά από ένα νέο πλημμυρικό επεισόδιο ο σταθμός έδειξε τις ακόλουθες ενδείξεις

t (h)	H (m)
0 (αρχική στάθμη)	0.90
1	1.81
2	2.21
3	2.02
4	1.83
5	1.46
6	1.12
7	1.10
8	1.02
9	0.98
10	0.94
11	0.93
12	0.925

Η καμπύλη στάθμης - παροχής δίνεται από τη σχέση:

$$Q = 14\left(H - 0.39\right)^{3/2} , \qquad \text{(E)}$$

όπου H, η ένδειξη του σταθμηγράφου σε m και Q η παροχή σε m^3/s.

Ζητείται:

- Οι τιμές της παροχής στο τέλος κάθε ώρας

Εφαρμόζοντας την καμπύλη στάθμης-παροχής για κάθε μια από τις στάθμες που καταγράφηκαν στο τέλος κάθε ώρας προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές παροχής:

t(h)	h(m)	Q(m^3/s)
0	0.9	5.09898
1	1.81	23.68975
2	2.21	34.3744
3	2.02	29.13463
4	1.83	24.192
5	1.46	15.49543
6	1.12	8.731972
7	1.1	8.375593
8	1.02	7.000658
9	0.98	6.344626
10	0.94	5.710473
11	0.93	5.555443
12	0.925	5.478463
$Q=14(H-0.39)^{3/2}$		179.1824

Με βάση τα δεδομένα

Μέθοδος **Stevens** (περισσότερο φυσική βάση)

- Εξίσωση **Chezy** (ο Manning είναι μία «εξέλιξή της»):

$$V = C\sqrt{R \cdot S_f} \quad V(\text{ταχύτητα}),\ R(\text{υδραυλική ακτίνα}),$$

$$S_f\left(\text{κλίση γραμμής ενέργειας}\right)$$

$$Q = A \cdot C\sqrt{R \cdot S_f} \quad Q(\text{παροχή}),\ A\left(\text{επιφάνεια υγρής διατομής}\right)$$

$$\boxed{Q = k \cdot A\sqrt{R} \approx k \cdot A\sqrt{y}\ ,\quad k = C\sqrt{S_f} = \sigma\tau\alpha\theta}$$

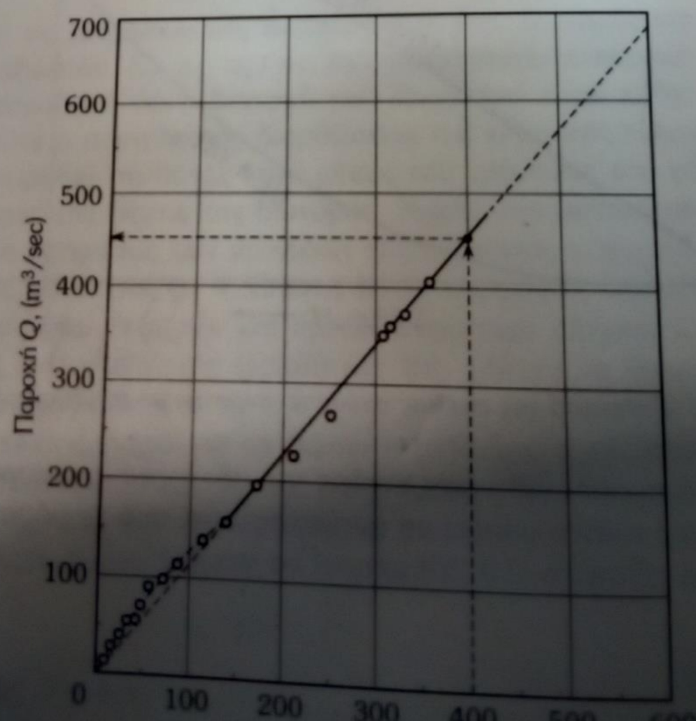
ραρμογή

πό τα γεωμετρικά στοιχεία μιας διατομής ενός υδατορεύματος και τις
ίστοιχες μετρημένες τιμές της παροχής προέκυψε το σημειοσύνο
, $A\sqrt{d}$) που φαίνεται στο Σχ. 10.12. Με βάση τα σημεία που α
οιχούν στις μεγάλες παροχές χαράχθηκε η ευθεία της εξίσω
evens που έχει την μορφή

$$Q = 1.15\, A\sqrt{d} \qquad (10$$

στάθμη $H = 3.05$ m υπολογίσθηκε η τιμή $A\sqrt{d} = 394.0$ m
νεπώς με την εξίσωση (10.22) και το διάγραμμα του Σχ. 10.12 πρ

$$Q = 453.1 \text{ m}^3/\text{sec}.$$



Τσακίρης, 2013

Συντελεστής διόρθωσης κινητικής ενέργειας

Ωστόσο, η μέση ταχύτητα δεν είναι πάντα σωστή να τίθεται στην εξίσωση της ενέργειας……

(5)

<u>Συντελεστής διόρθωσης κινητικής ενέργειας</u> (α)

- Η χρήση της μέσης ταχύτητας καταλήγει στον υπολογισμό κινητικής ενέργειας χαμηλότερης από την πραγματική.

  Γι' αυτό, για τον καθορισμό της πραγματικής κινητικής ενέργειας, ιδίως σε αγωγούς ακανόνιστης διατομής, πρέπει να εφαρμοστεί ο συντελεστής διόρθωσης α.

- $a\dfrac{V^2}{2g}$: πραγματικό ύψος κινητικής ενέργειας (κινητική ενέργεια ανά μονάδα βάρους του ρευστού)

  V : μέση ταχύτητα σε μια διατομή

  α : συντελεστής Coriolis

$$\left\{\begin{array}{l}\text{ρυθμός μεταφοράς κινητικής} \\ \text{ενέργειας δια μέσου μίας διατομής}\end{array}\right\} =$$

$$\int_A \rho\left(\frac{V^2}{2}\right)\cdot\left(VdA\right) \underset{\text{ορ}}{=} \alpha\left(\frac{\bar{V}^2}{2}\right)Q \Leftrightarrow \left\{Q = \bar{V}\cdot A\right\}$$

$$\alpha = \frac{\int_A \rho\left(\frac{V^3}{2}\right)dA}{\int_A \rho\left(\frac{\bar{V}^3}{2}\right)dA} =$$

$$\frac{1}{A\cdot\bar{V}^3}\int_A V^3 dA$$

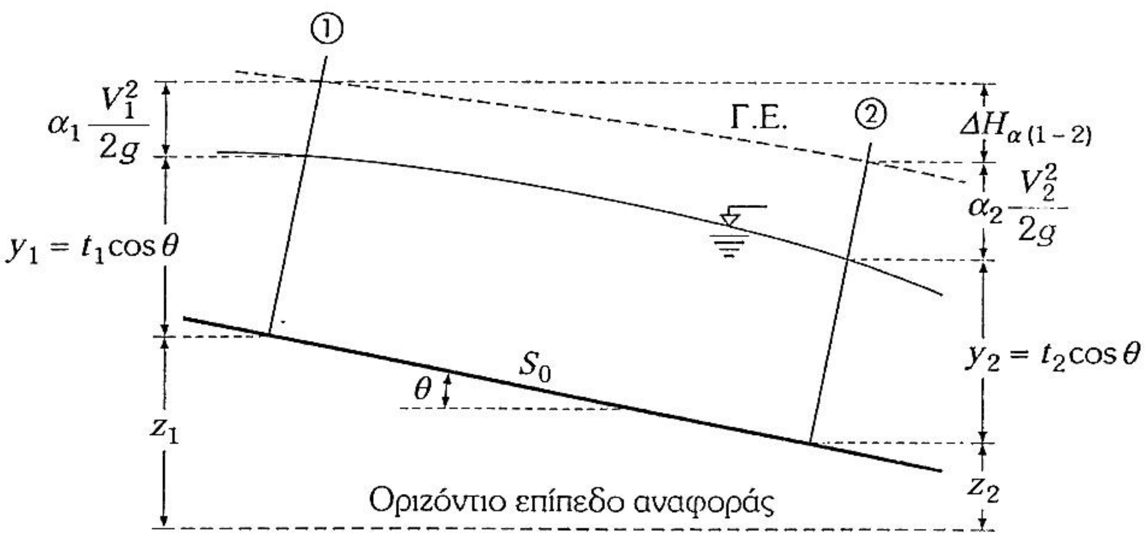
Εξίσωση Ενέργειας

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας, εφόσον η κατά μήκος κλίση, S_0, του πυθμένα του αγωγού είναι μικρή, ώστε να θεωρηθεί $\cos\theta = 1$, οδηγεί στην εξίσωση:

$$z_1 + y_1 + a_1(V_1^2/2g) = z_2 + y_2 + a_2(V_2^2/2g) + \Delta H_{a(1-2)} \qquad (3.5)$$

όπου: z_i = το υψόμετρο του πυθμένα και a ο συντελεστής συνόρθωσης της κινητικής ενέργειας ο οποίος ορίζεται ως:

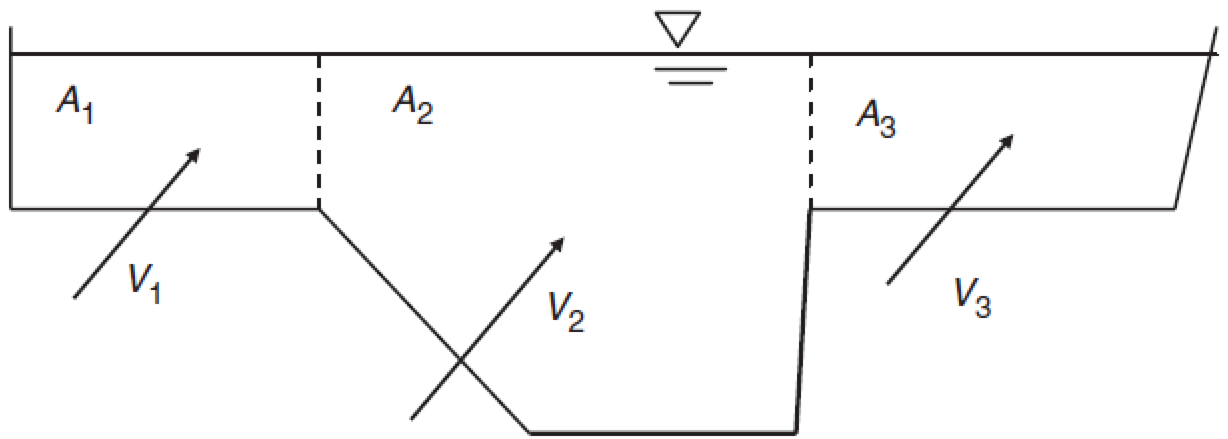
$$a = \frac{\int_A V^3 dA}{V^3 A} = \frac{\int_A V^3 dA}{QV^2} \qquad (3.6)$$



Σχ. 3.3: *Η εξίσωση ενέργειας σε επιλεγμένο όγκο αναφοράς.*

Μόνο για ομοιόμορφη ροή
$y_1 = y_2$
$V_1 = V_2$
$S_0 = S_f$

Σύνθετη διατομή



$$\alpha = \frac{V_1^3 A_1 + V_2^3 A_2 + V_3^3 A_3}{V^3 A}$$

Πιο σημαντική η διαφοροποίηση **κατά πλάτος**

Ενδεικτικές τιμές των συντελεστών α και β

Είδος διατομής	α	β
γεωμετρικού σχήματος	1.10-1.20	1.03-1.07
φυσική	1.15-1.50	1.05-1.17
ακανόνιστη	1.50-2.00	1.17-1.33

Προσέγγιση Chow, 1959

For approximate values, the energy and momentum coefficients can be computed by the following formulas:[1]

$$\alpha = 1 + 3\epsilon^2 - 2\epsilon^3 \tag{2-6}$$

$$\beta = 1 + \epsilon^2 \tag{2-7}$$

where $\epsilon = v_M/V - 1$, v_M being the maximum velocity and V being the mean velocity.

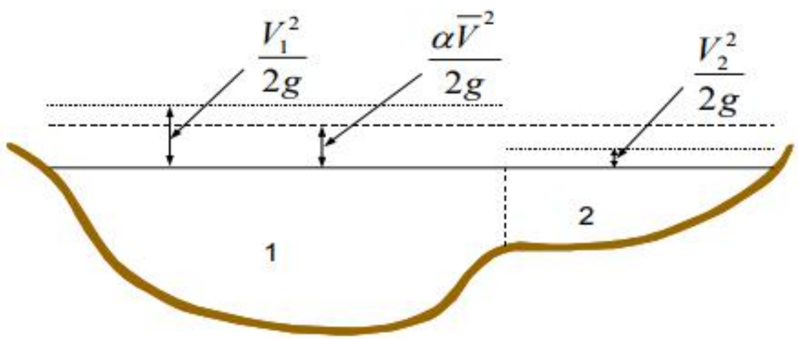
$$a = 1 + 3\varepsilon^2 - 2\varepsilon^3$$

$$\varepsilon = \frac{V_{MAX}}{\bar{V}} - 1$$

Στο HEC-RAS

Evaluation of the Mean Kinetic Energy Head

Within the 1D river reach segments, only a single water surface and therefore a single mean energy are computed at each cross section. For a given water surface elevation, the mean energy is obtained by computing a flow weighted energy from the three subsections of a cross section (left overbank, main channel, and right overbank). Figure 2-5 below shows how the mean energy would be obtained for a cross section with a main channel and a right overbank (no left overbank area).



V_1 = mean velocity for subarea 1

V_2 = mean velocity for subarea 2

Figure 2-5 Example of How Mean Energy is Obtained

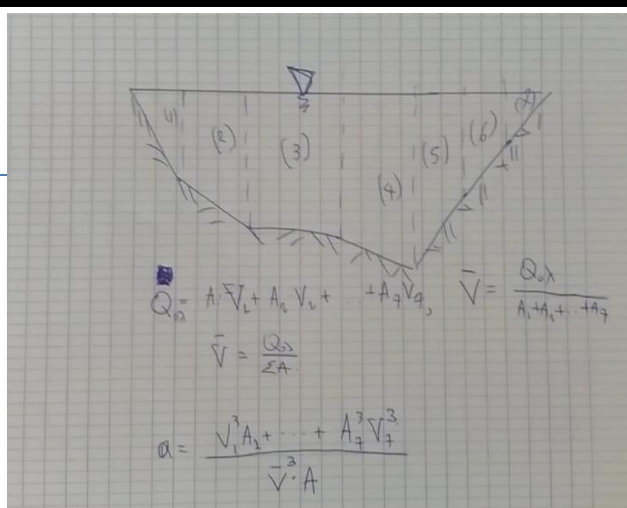
To compute the mean kinetic energy it is necessary to obtain the velocity head weighting coefficient alpha. Alpha is calculated as follows:

Mean Kinetic Energy Head = Discharge-Weighted Velocity Head

$$\alpha \frac{\overline{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \quad (2\text{-}7)$$

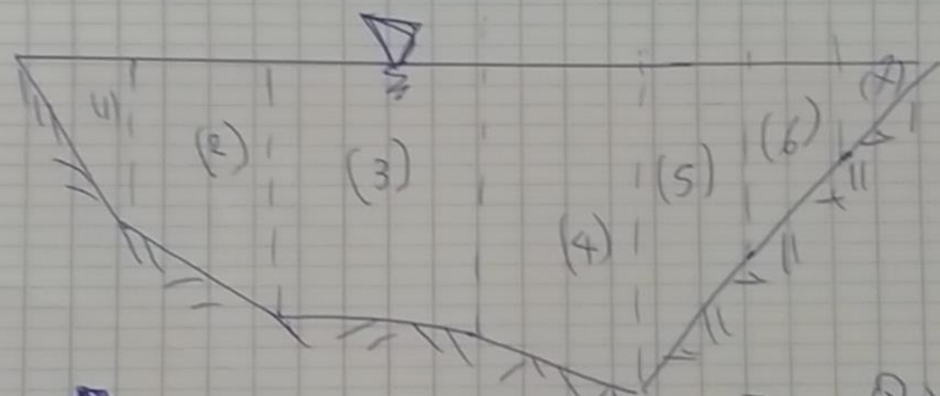
Εφαρμογή

	Διατομή		ταχύτητα		παροχή		
	A		V		V*A		V^3*A
1	11,15		0,37		4,08		0,55
2	50,17		0,44		21,87		4,15
3	81,75		0,70		57,31		28,17
4	85,47		0,74		63,04		34,30
5	74,32		0,77		57,09		33,68
6	44,59		0,59		26,10		8,94
7	7,43		0,29		2,15	VMEAN	0,18
Αολ	***354,89***			***Q***	***231,64***	***0,65***	***109,97***



ΣV^3*A/(VI

a	**1,11**



$$Q_{0,2} = A_1 V_1 + A_2 V_2 + \dots + A_7 V_7,$$

$$\bar{V} = \frac{Q_{0,2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_7}$$

$$\bar{V} = \frac{Q_{0,2}}{\Sigma A}$$

$$\alpha = \frac{V_1^3 A_1 + \dots + A_7^3 V_7^3}{\bar{V}^3 \cdot A}$$

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΤΑΜΟΥ - ΚΑΤΑΝΤΗ (ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΤΑΜΟΥ 21,90 μέτρα)

Μετρήσεις ταχύτητας νερού –μέθοδος μέσης διατομής

Μετρησεις	Πλατος Διατομης	Βαθος Ροης	Μεση Ταχυτητα ανα Διατομη V (m/sec)	Εμβαδον Διατομης ΔΑ (m2)	Παροχη ανα διατομη (m^3/sec)	Διατομές	ΔΑ (m^2)	V (m/sec)	ΔΑ*V^3	ΔΑ*V^2
1	1.60	0.13	0.443	0.1205	0.0533815	**Α**	0.1205	0.443	0.010476	0.023648
2		0.03	-							
3	3.00	0.08	0.613	0.1790	0.10973	**Β**	0.179	0.613	0.041232	0.067263
4		0.05	-							
5	6.90	0.22	0.44	1.0675	0.46970	**Γ**	1.0675	0.44	0.090934	0.206668
6		0.13	-							
7	3.10	0.22	0.62	0.5335	0.33077	**Δ**	0.5335	0.62	0.127148	0.205077
8		0.12	-							
9	4.20	0.18	0.59	0.6500	0.38350	**Ε**	0.65	0.59	0.133496	0.226265
10		0.14	-							
11	3.10	0.26	0.50	0.5605	0.28025	**Ζ**	0.5605	0.50	0.070063	0.140125
-		-	-							
						Συνολο	**3.111**		**0.473349**	**0.869046**

Η συνολική παροχή και με την παραδοχή ότι μελετάμε υποκρίσιμη ροή υπολογίζεται με την μέθοδο μέσης διατομή. Η διατομή θεωρείται ότι αποτελείται από ένα αριθμό λωρίδων που ορίζεται από δυο γειτονικές καθέτους η παροχή q, μέσω της λωρίδας 5-6 για παράδειγμα είναι:

$$q_{5-6} = \left(\frac{\bar{V}_5 + \bar{V}_6}{2}\right)\left(\frac{d_5 + d_6}{2}\right)(b_6 - b_5)$$

όπου είναι η μέση ταχύτητα στην $5^η$ και $6^η$ κάθετο αντίστοιχα, είναι το βάθος ροής στην $5^η$ και $6^η$ κάθετο αντίστοιχα και είναι η απόσταση των καθέτων 5 και 6 από ένα αρχικό σημείο στη όχθη.

Το άθροισμα των παροχών μέσω όλων των λωρίδων μας δίνει την συνολική παροχή. Η μέση ταχύτητα στις δυο λωρίδες που βρίσκονται κοντά στις όχθες υπολογίζεται αν υποθέσουμε μηδενικό βάθος και ταχύτητα στην όχθη του ποταμού(Πρίνος, 2009).

$$Q = A * V = \Delta A_1 V_1 + \Delta A_2 V_2 + \cdots + \Delta A_n V_n => \bar{V} * A_{total} = A_1 V_1 + A_2 V_2 + \cdots A_n V_n$$

$$=> \bar{V} = \frac{{V_1}^3 A_1 + {V_2}^3 A_2 + \cdots + {V_n}^3 A_n}{\bar{V}^3 A_{total}}$$

Q=0.1205*0.443+0.179*0.613+1.0675+0.44+0.5335*0.62+0.65*0.59+0.5605=1.657m^3/sec

$$V = {}^{Q}/_{A_{total}} = \frac{1.657}{3.111} = 0.523\, {}^{m}/_{sec}$$

Οι συντελεστές Διόρθωσης κινητικής ενέργειας α και β:

$$\alpha = \frac{\sum_i \Delta A_i {V_i}^3}{\bar{V}^3 * A_{total}} = \frac{0.473349}{0.523089^3 * 3.111} = 1.063$$

$$\beta = \frac{\sum_i \Delta A_i {V_i}^2}{\bar{V}^2 * A_{tottal}} = \frac{0.869046}{0.523089^2 * 3.111} = 1.020$$

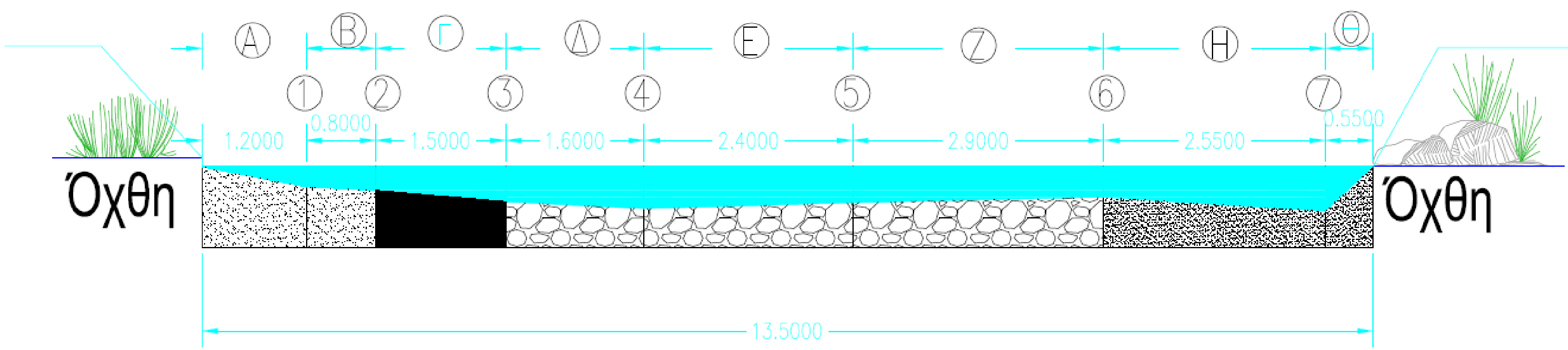
Μετρήσεις ανάντη διατομής του ποταμού Κοσύνθου

Πίνακας Μετρήσεων - Διατομής άναντη

Α/Α	Βάθος Ροής (m)	Ταχύτητα (m/sec)	Α/Α	Βάθος Ροής (m)	Ταχύτητα (m/sec)
1	0,23	0,23	5	0,41	0,35
2	0,27	0,16	6	0,35	0,54
3	0,40	0,33	7	0,51	0,29
4	0,48	0,28			

Τομή Ποταμού – Ανάντη

πλάτος ποταμού 13,50μ.



Διαμέλιση της επιφάνειας και μετρήσεις ταχυτήτων.

Μετρήσεις ανάντη διατομής του ποταμού Κοσύνθου

<u>ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΤΑΜΟΥ - ΑΝΑΝΤΗ (ΠΛΑΤΟΣ ΠΟΤΑΜΟΥ 13,50 μέτρα)</u>

Μετρήσεις ταχύτητας νερού- μέθοδος μεσαίας διατομής

Μετρησεις	Πλατος Διατομης	Βαθος Ροης	Μετρησεις Ταχυτητας	Μεση Ταχυτητα ανα Διατομη V (m/sec)	Εμβαδον Διατομης ΔΑ (m2)	Παροχη ανα διατομη (m^3/sec)	Διατομές	ΔΑ (m^2)	V (m/sec)	ΔΑ*V^3	ΔΑ*V^2
	1.20	0.23	0	0.115	0.1380	0.01587	**Α**	0.138	0.115	0.00021	0.001825
1			0.23								
	0.80	0.27	0.23	0.195	0.200	0.03900	**Β**	0.20	0.195	0.001483	0.007605
2			0.16								
	1.50	0.40	0.16	0.245	0.5025	0.12311	**Γ**	0.5025	0.245	0.00739	0.030163
3			0.33								
	1.60	0.48	0.33	0.305	0.7040	0.21472	**Δ**	0.704	0.305	0.019974	0.06549
4			0.28								
	2.40	0.41	0.28	0.315	1.0680	0.33642	**Ε**	1.068	0.315	0.033381	0.105972
5			0.35								
	2.90	0.35	0.35	0.445	1.1020	0.49039	**Ζ**	1.102	0.445	0.097109	0.218224
6			0.54								
	2.55	0.51	0.54	0.415	1.0965	0.45505	**Η**	1.0965	0.415	0.078371	0.188845
7			0.29								
	0.55	0.51	0.29	0.145	0.14025	0.02034	**Θ**	0.14025	0.145	0.000428	0.002949
			0								
							Συνολο	**4.95125**		**0.238346**	**0.621072**

Μετρήσεις ανάντη διατομής του ποταμού Κοσύνθου

Υπολογισμός ταχύτητας στην ανάντη διατομή

$$Q = A * V = \Delta A_1 V_1 + \Delta A_2 V_2 + \cdots + \Delta A_n V_n => \bar{V} * A_{total} = A_1 V_1 + A_2 V_2 + \cdots A_n V_n => \bar{V} = \frac{{V_1}^3 A_1 + {V_2}^3 A_2 + \cdots + {V_n}^3 A_n}{\bar{V}^3 A_{total}}$$

Q=0.138*0.115+0.20*0.195+10,5025+0.245+0.704*0.305+1.068*0.315+1.102*0445+1.0965*0.415+0.14025*0.145=1.657m^3/sec

$$V = {}^{Q}/_{A_{total}} = \frac{1.6579}{4.95125} = 0.342\,{}^{m}/_{sec}$$

Οι συντελεστές Διόρθωσης κινητικής ενέργειας α και β :

$$\alpha = \frac{\sum_i \Delta A_i * {V_i}^3}{\bar{V}^3 * A_{total}} = \frac{0.23835}{0.34232^3 * 4.95125} = 1.200$$

Παπαευσταθίου
Διπλ

$$\beta = \frac{\sum_i \Delta A_i * {V_i}^2}{\bar{V}^2 * A_{total}} = \frac{0.62107}{0.34232^2 * 4.95125} = 1.070$$

Είδος διατομής	*α*	*β*
Γεωμετρικού σχήματος	*1.10-1.20*	*1.03-1.07*
Φυσική	*1.15-1.50*	*1.05-1.17*
Ακανόνιστη	*1.50-2.00*	*1.17-1.33*

Συντελεστής Manning σε φυσικά υδατορεύματα

Δυσκολίες

- Αλλαγή μέσα στο χρόνο
- Στη διατομή
- Κατά μήκος του ποταμού
- Προφανώς μη ομοιογενές υλικό
- Σε αυτό το μάθημα θα δοθεί έμφαση στην εφαρμογή ομοιόμορφης ροής για μεταβλητό η στη διατομή

Φωτογραφική ερμηνεία Chow 1959 συντελεστή Manning n

n = 0.032 (Ποταμός Άλατος κάτω από το StewartMountain Dam, Αριζόνα): Η κυρία κοίτη και οι όχθες αποτελούνται από λεπτές πετρες διαμέτρου 0,15 μ, με λίγα 0,45 μ διαμέτρου

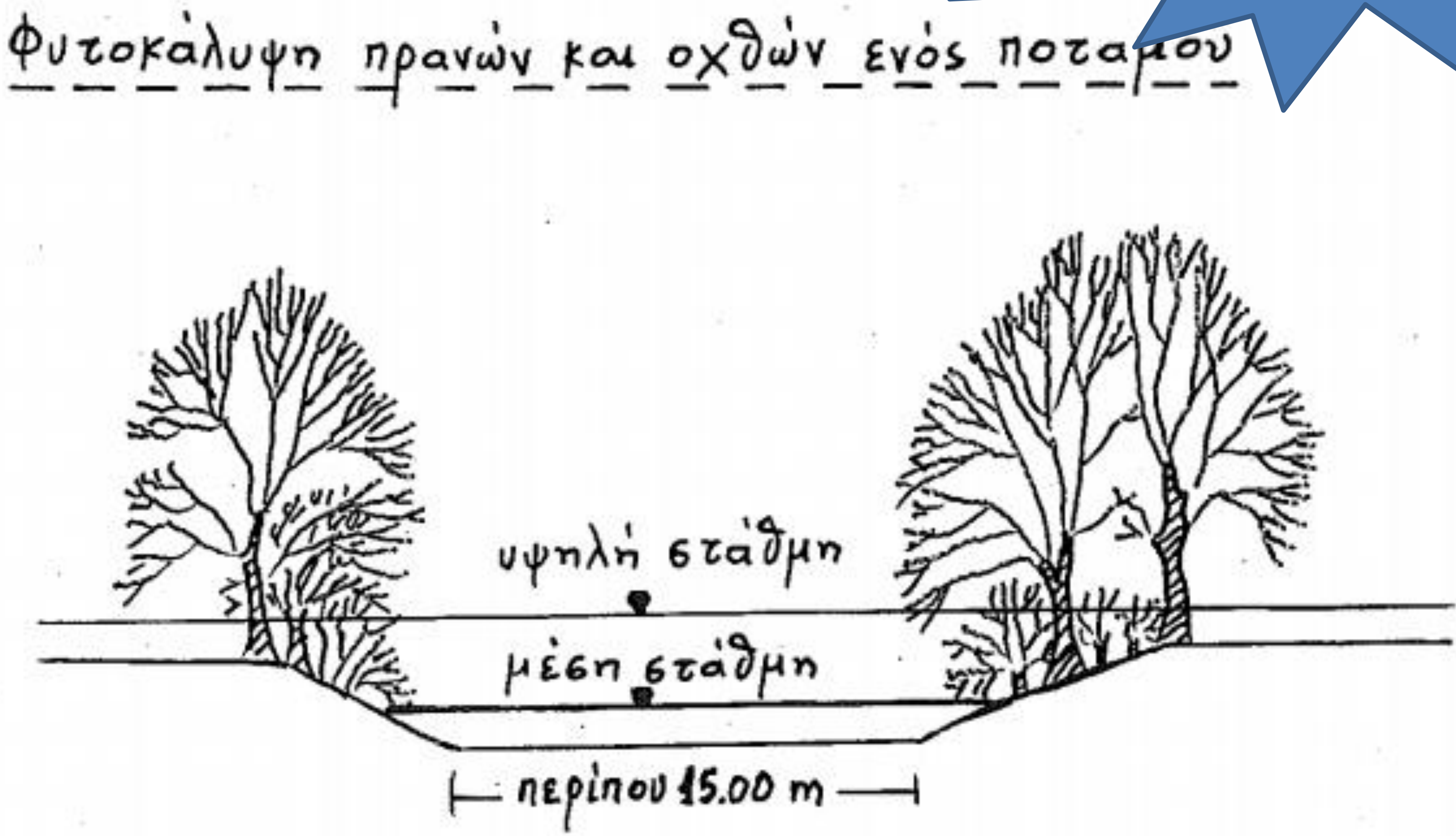
n = 0,049 (Deep River στο Ramseur, Βόρεια Καρολίνα): Ο πυθμένας είναι ως επί το πλείστον χονδροειδής άμμος και περιέχει λίγο χαλίκι. Τα πρανή είναι αρκετά απότομα.

Ενδεικτικές φωτογραφίες που μας βοήθησαν στην φωτογραφική ερμηνεία και αντιπαραβολή με την υφιστάμενη κατάσταση του φυσικού υδατορρεύματος Κοσύνθου.

Παπαευσταθίου, Διπλ. εργασία

Μεταβλητό n

Ποτάμια υδραυλική



Χρυσάνθου, 2014

Σύνθετες διατομές

- Α΄ μέθοδος, «ισοδύναμος n” ή ενιαίου αγωγού π.χ.

Παρόμοια σχέση για τον συντελεστή η_e μπορεί να εξαχθεί θεωρώντας ότι η συνολική δύναμη αντίστασης στη ροή είναι ίση με το άθροισμα των δυνάμεων αντίστασης στη ροή σε κάθε περιοχή:

$$\eta_e = \frac{\left(\sum P_i \eta_i^2\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\sum P_i\right)^{\frac{1}{2}}} \tag{6.15}$$

Τέλος οι Krishnamurthy και Christensen (1972) εξήγαγαν τη παρακάτω σχέση θεωρώντας λογαριθμική κατανομή της ταχύτητας

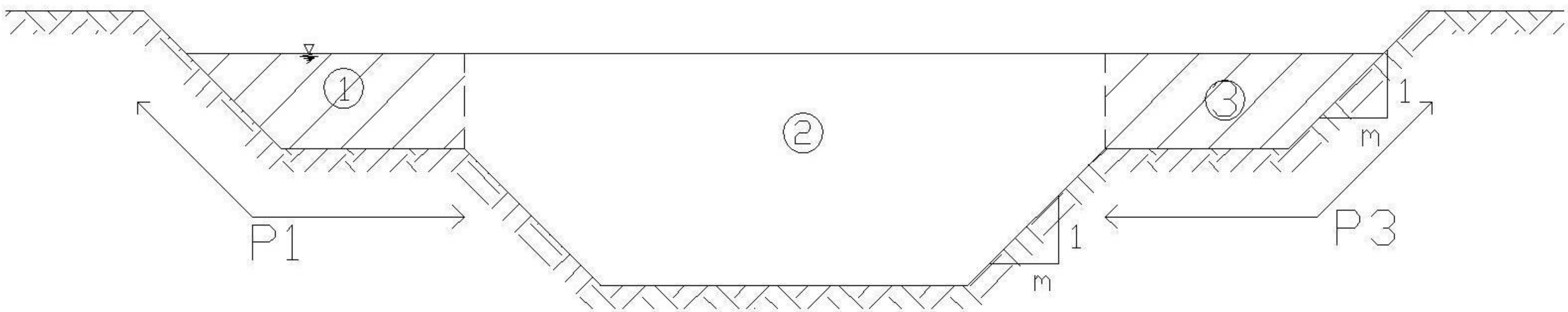
$$\ln \eta_e = \frac{\sum_{i=1}^{N} P_i h_i^{3/2} \ln \eta_i}{\sum P_i h_i^{3/2}} \tag{6.17}$$

Αν θεωρήσουμε έναν αγωγό που διαιρείται σε N περιοχές με βρεχόμενη περίμετρο P_i και συντελεστή Manning $\eta_i\,(i=1, 2, ..., N)$ και υποθέσουμε ότι η μέση ταχύτητα σε κάθε περιοχή είναι ίση με τη μέση ταχύτητα ροής σε όλη τη διατομή η παρακάτω εξίσωση δίνει τον ισοδύναμο συντελεστή Manning

Πρίνος, 2014

$$\eta_e = \left(\frac{\sum P_i \eta_i^{\frac{3}{2}}}{\sum P_i}\right)^{\frac{2}{3}} \tag{6.14}$$

Απόδειξη του ενιαίου συντελεστή Manning n για θεώρηση κοινής ταχύτητας σε όλα τα τμήματα σε ομοιόμορφη ροή.



Έστω κοινή ταχύτητα σε όλη τη διατομή, επομένως έχουμε κοινή ταχύτητα και στα επιμέρους τμήματα.

$$V_1 = V_2 = \ldots = V_n$$

Από εξίσωση Manning :

$$V_i = \frac{1}{n_i} * R_i^{\frac{2}{3}} * S_0^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n_i} * \left(\frac{A_i}{P_i} \right)^{\frac{2}{3}} * S_0^{\frac{1}{2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_i = \left(\frac{V_i * n_i}{S_0^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} * P_i$$

Απόδειξη του ενιαίου συντελεστή Manning n για θεώρηση κοινής ταχύτητας σε όλα τα τμήματα σε ομοιόμορφη ροή.

Όμοια για τη συνολική (φανταστική) διατομή με (φανταστικό) ενιαίο n_e ισχύει:

$$A_{tot} = \left(\frac{V * n_e}{S_0^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}} * P_{tot}$$

Ισχύει $$A = A_1 + A_2 + \ldots + A_i + \ldots + A_n$$

και $$V = V_1 = V_2 = \ldots = V_i = \ldots = V_n$$

Επομένως, $$A = \sum_i^n \left(\frac{V_i * n_i}{S_0} \right)^{\frac{3}{2}} * P_i \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V^{\frac{3}{2}} * n_e^{\frac{3}{2}}}{\left(S_0^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{2}}} * P_{tot} = \frac{V^{\frac{3}{2}}}{\left(S_0^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{3}{2}}} * \sum_i^n n_i^{\frac{3}{2}} * P_i \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_e^{\frac{3}{2}} * P_{tot} = \sum_i^n n_i^{\frac{3}{2}} * P_i \Rightarrow$$

$$n_e = \left\{ \frac{\sum_{i=0}^{n} n_i^{3/2} * Pi}{P_{total}} \right\}^{2/3}$$

Ισοδύναμος συντελεστής τραχύτητας Manning n & Hec-Ras

Το λογισμικό πακέτο Hec-Ras χρησιμοποιεί την μέθοδο ενός **ενιαίου (ισοδύναμου)συντελεστή τραχύτητας (Manning) *n*.**

Σε περίπτωση που στα διάφορα τμήματα της διατομής έχουμε διαφορετικές τιμές του συντελεστή τραχύτητας τότε χρησιμοποιείται ένας ισοδύναμος συντελεστής τραχύτητας, ο οποίος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$n_e = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} P_i\ (n_i)^{1.5}}{P}\right]^{2/3}$$

όπου:

n_e ο ισοδύναμος συντελεστής τραχύτητας

P η βρεχόμενη περίμετρος της διατομής

P_i η βρεχόμενη περίμετρος του τμήματος i της διατομής

n_i ο συντελεστής τραχύτητας του τμήματος i της διατομής

(α) *Μέθοδος «Ενιαίου αγωγού»*

Με τη μέθοδο αυτή ο αγωγός συνθέτου διατομής θεωρείται σαν ένας ενιαίος αγωγός όπου η υδραυλική ακτίνα, που λαμβάνει υπόψη τις επιδράσεις του σχήματος στη παροχή, υπολογίζεται από το συνολικό εμβαδό και τη συνολική βρεχόμενη περίμετρο. Έτσι η εξίσωση Manning γίνεται

$$Q_t = \frac{1}{\eta} A_t R_t^{2/3} S_t^{1/2} \tag{6.18}$$

όπου ο δείκτης t αναφέρεται στην ολική παροχή, ολικό εμβαδό κλπ.

Η μέθοδος αυτή υποεκτιμά σημαντικά τη παροχή, όπως έχει βρεθεί σε εργαστηριακά πειράματα και ειδικά στη περίπτωση μικρών βαθών στις ζώνες πλημμυρισμού. Στη περίπτωση αυτή η βρεχόμενη περίμετρος αυξάνεται σημαντικά με σχετικά μικρή αύξηση του εμβαδού με συνέπεια τη σημαντική μείωση της υδραυλικής ακτίνας και της παροχής. Η υποεκτίμηση της παροχής είναι σημαντική όταν η τραχύτητα στις αβαθείς περιοχές είναι αρκετά διαφορετική από αυτή του κυρίως αγωγού. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται οι προηγούμενες σχέσεις για τον υπολογισμό του ισοδύναμου συντελεστή Manning που όμως οι παραδοχές που βασίζονται δεν ισχύουν ικανοποιητικά στη περίπτωση αυτή.

Πρίνος, 2014

Μειονέκτημα μεθόδου ισοδυνάμου MANNING

- Ομαλή κλίση στην πλημμυρική κοίτη μεγάλη αύξηση της περιμέτρου για αύξηση του εμβαδού άρα προκύπτει υποεκτίμηση της παροχής που μπορεί να διοχετεύσει μία διατομή

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6.1 **Υπολογισμός του ισοδύναμου συντελεστή Manning**

Ένας αγωγός τραπεζοειδούς διατομής έχει πλάτος πυθμένα 3 m και κλίση πρανών 2:1. Τα τοιχώματα έχουν συντελεστή Manning 0.04 και ο πυθμένας 0.025. Να υπολογισθεί ο ισοδύναμος συντελεστής Manning και με τις 4 μεθόδους για βάθος ροής 0.9 m.

Λύση

Από τα δεδομένα του προβλήματος έχουμε $B=3$ m, $z=2$, $h=0.9$ m, $n_\pi=0.025$ και $n_T=0.04$.

Διαχωρίζοντας τη διατομή σε ένα ορθογώνιο, πλάτους 3 m και ύψους 0.9 m, και σε δύο τρίγωνα κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα για τον υπολογισμό του ισοδύναμου n_e και με τις 4 μεθόδους.

	n_i $\left(\frac{s}{m^{1/3}}\right)$	P_i (m)	h_i (m)	A_i (m^2)	R_i (m)	$P_i n_i^{3/2}$	$P_i n_i^2$
Πυθμένας	0.025	3	0.9	2.7	0.9	0.012	$1.875\cdot10^{-3}$
Τοίχωμα	0.04	2.01	1.8	0.81	0.4	0.016	$3.216\cdot10^{-3}$
Τοίχωμα	0.04	2.01	1.8	0.81	0.4	0.016	$3.216\cdot10^{-3}$
		Σ=7.02				Σ=0.044	$\Sigma=8.307\cdot10^{-3}$

Πρίνος, 2014

$$n_e=\left(\frac{0.044}{7.02}\right)^{\frac{2}{3}} \Rightarrow n_e=0.0340$$

Σύνθετες διατομές

- β΄ μέθοδος, σύνθετης διατομής

Πρίνος, 2014

Με τη μέθοδο αυτή ο κυρίως αγωγός και οι ζώνες πλημμυρισμού μελετώνται ξεχωριστά. Η συνολική παροχή υπολογίζεται αθροίζοντας τις παροχές των διάφορων περιοχών που διαχωρίζονται μεταξύ τους με «φανταστικές» διεπιφάνειες που διέρχονται από το σημείο τομής του κυρίως αγωγού με την αβαθή περιοχή. Διάφορες τέτοιες διεπιφάνειες (κάθετες, οριζόντιες, κεκλιμένες) που φαίνονται στο σχήμα 6.5 χρησιμοποιούνται για την διαίρεση του συνολικού αγωγού.

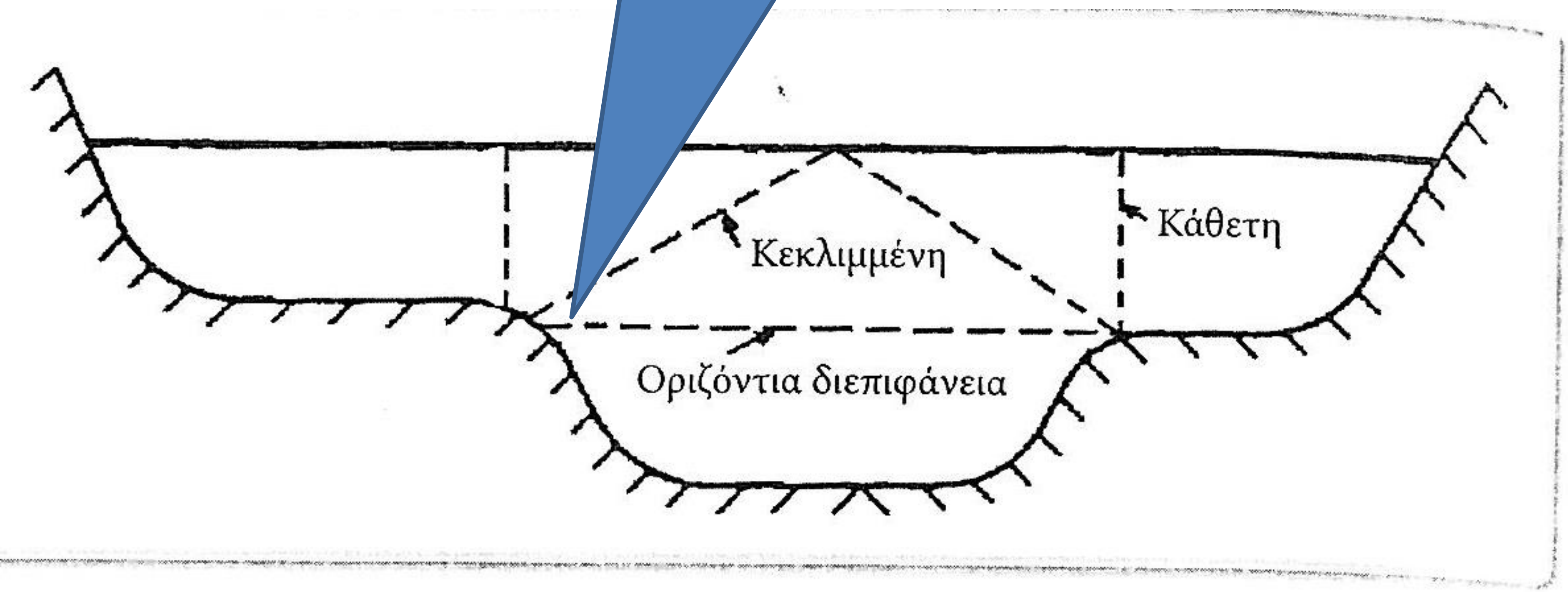
Έτσι η συνολική παροχή δίνεται από τη σχέση

$$Q_t = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\eta_i} A_i R_i^{2/3} S_i^{1/2} \qquad (6.19)$$

Στην περίπτωση αυτή η βρεχόμενη περίμετρος P_i περιλαμβάνει μόνο τα φυσικά όρια του αγωγού και δεν περιλαμβάνει τη διεπιφάνεια διαχωρισμού. Η παραπάνω διαδικασία υπερεκτιμά τη παροχή γιατί δεν περιλαμβάνει τη διεπιφάνεια στον υπολογισμό της βρεχόμενης περιμέτρου και ακτίνας του κυρίως αγωγού υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει διατμητική δύναμη στη διεπιφάνεια αυτή.

Από εργαστηριακές μετρήσεις έχει φανεί ότι η χρησιμοποίηση της **οριζόντιας διεπιφάνειας** δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα για τον υπολογισμό της παροχής.

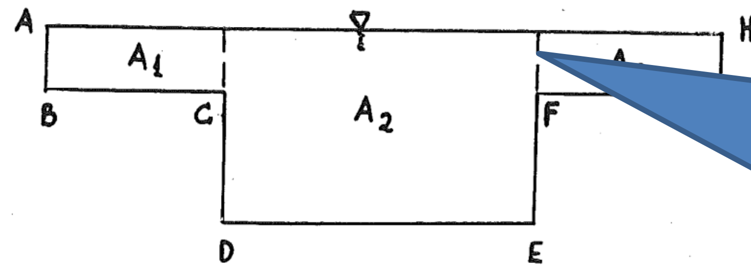
Οριζόντια διεπιφάνεια, καλ
Τα υγρά όρια μεταξύ των διατομών δεν
λαμβάνονται υπόψη στην περίμετρο



Σχήμα 6.5: *Διεπιφάνειες διαχωρισμού αγωγού συνθέτου διατομής*

Σύνθετη διατομή

- π.χ. ποταμός με υπερχειλισμένες όχθες
- Χωρισμός της διατομής σε επί μέρους τμήματα



Τα υγρά όρια μεταξύ των διατομών **<u>δε λαμβάνονται υπόψη</u>** στην περίμετρο κάθε τμήματος

$$P_1 = (AB) + (BC) \qquad R_1 = \frac{A_1}{P_1}$$

$$P_2 = (CD) + (DE) + (EF) \qquad R_2 = \frac{A_2}{P_2}$$

$$P_3 = (FG) + (GH) \qquad R_3 = \frac{A_3}{P_3}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Q: παροχή $\left[\frac{L^3}{T}\right]$

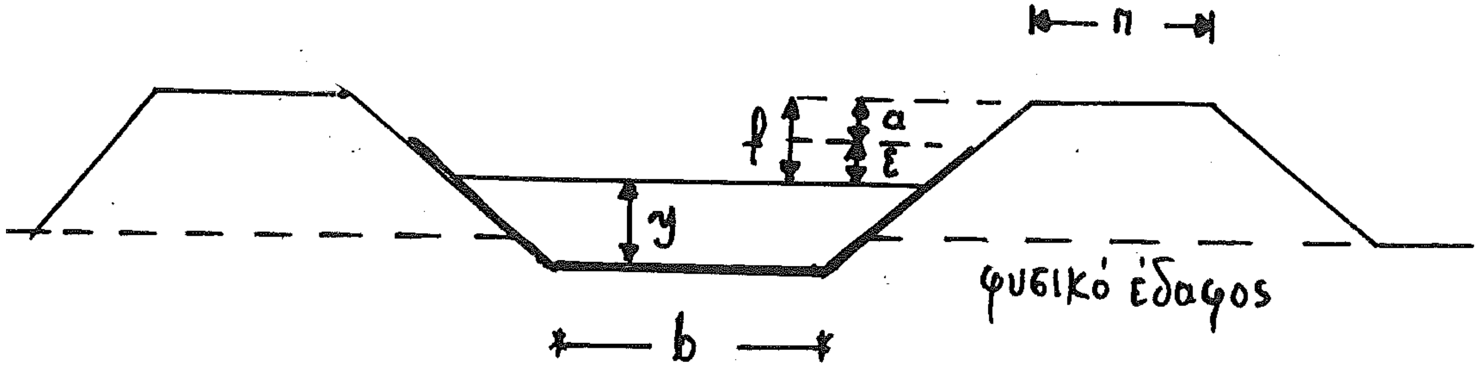
$$Q_1 = A_1 u_1 = \frac{A_1}{n_1} R_1^{2/3} S_o^{1/2}$$

$$Q_2 = A_2 u_2 = \frac{A_2}{n_2} R_2^{2/3} S_o^{1/2}$$

$$Q_3 = A_3 u_3 = \frac{A_3}{n_3} R_3^{2/3} S_o^{1/2}$$

$\boxed{Q = A u}$ εξίσωση συνέχειας

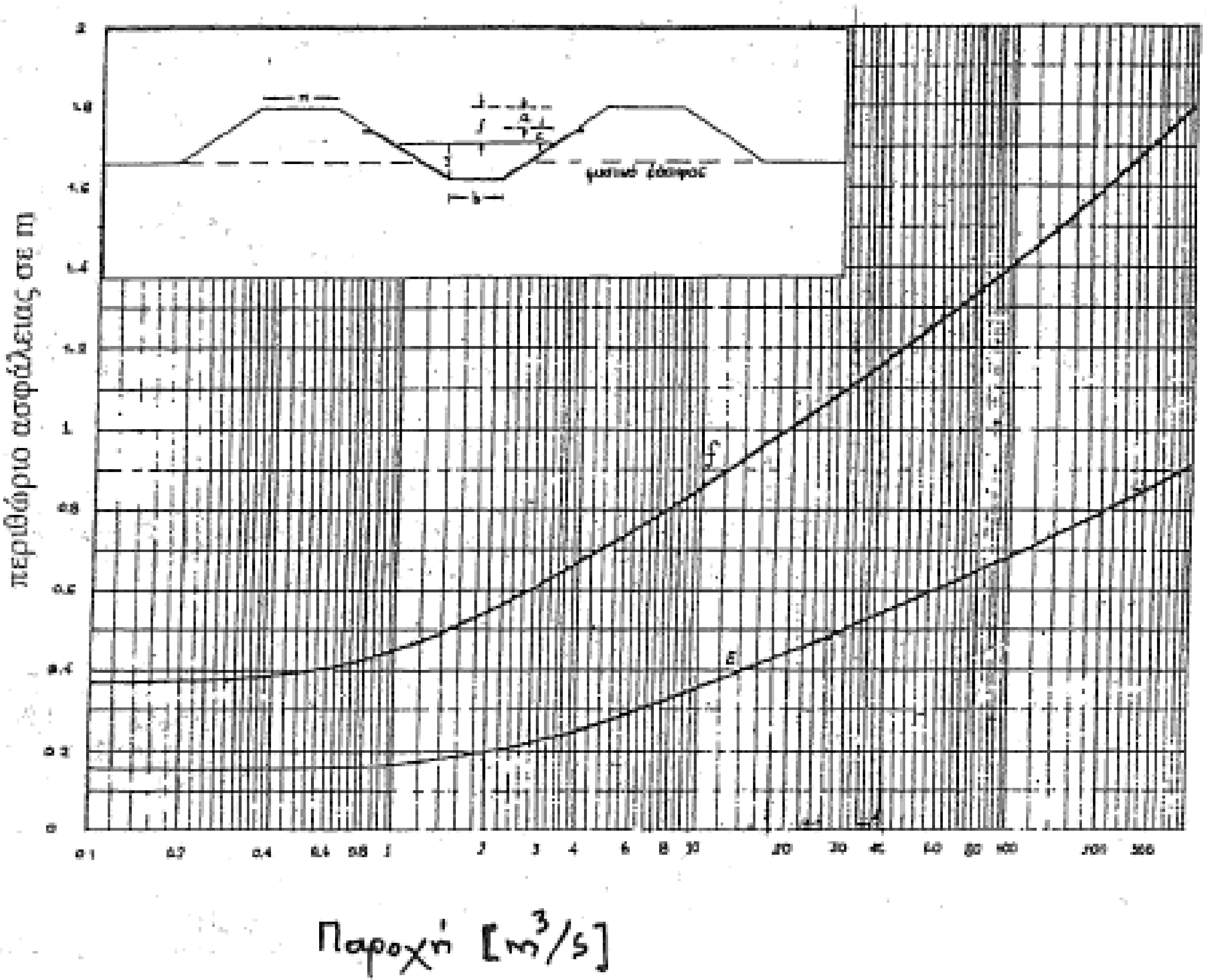
Επιστροφή στο θέμα…
(τεχνικός αγωγός)



f: περιθώριο ασφαλείας αναχώματος

ε: περιθώριο ασφαλείας επένδυσης

θέμα



Κατασκευαστικό: περιθώριο ασφαλείας σε αγωγούς τραπεζοειδούς διατομής

θέμα

Κατασκευαστικό, Μπέλλος, 2009. Υδραυλική επίλυση: Πάντα η εσωτερική διατομή

Πίνακας 3.2

Πάχος επενδύσεως και πλάτος στέψης αναχωμάτων σε αρδευτικές διώρυγες

ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΔΙΩΡΥΓΑΣ				ΑΝΑΧΩΜΑΤΑ ΔΙΩΡΥΓΑΣ	
Απλό σκυρόδεμα		Οπλισμένο σκυρόδεμα			
Παροχή $[m^3/s]$	πάχος επένδυσης [cm]	Παροχή $[m^3/s]$	πάχος επένδυσης [cm]	Παροχή $[m^3/s]$	πλάτος στέψης αναχώματος [cm]
<5	5	<50	10	≤200	50
5 -15	7	50 - 120	12	200-650	70
15 – 40	8		-	650 - 1150	80
40 - 100	9			1150-1650	90
				1650-2150	100
				2150-2800	120
				>2800	180-240

θέμα