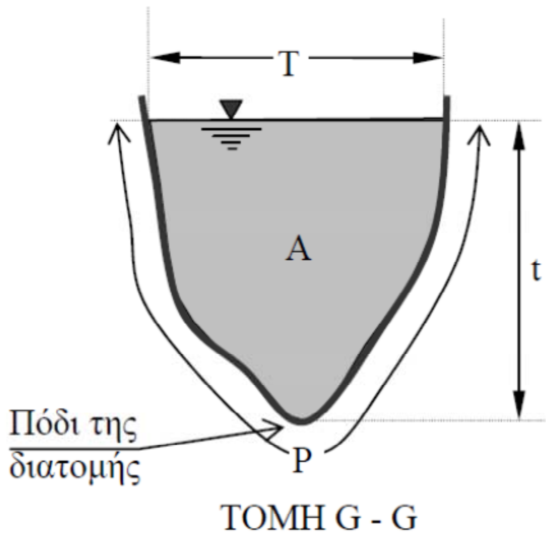
Ομοιόμορφη ροή σε ανοικτούς αγωγούς

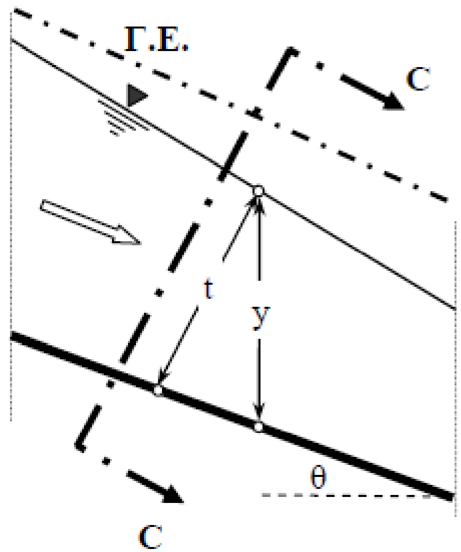
Ομοιόμορφη ροή

Ταχύτητα και γραμμή ενέργειας σε ομοιόμορφη ροή, εξίσωση Manning

Σύνθετες διατομές

Μεθοδολογίες τα τρία βασικά προβλήματα της Υδραυλικής των ανοικτών αγωγών





(Παπαϊωάννου, 2010)

Συνήθως οι ανοικτοί αγωγοί (ιδιαίτερα στα περισσότερα τεχνικά έργα) έχουν μικρές κλίσεις, επομένως το βάθος ροής (ύψος νερού κάθετο στη μέση ταχύτητα, t) είναι περίπου ταυτόσημο με την κατακόρυφη απόσταση από τον πυθμένα έως την ελεύθερη επιφάνεια, y.

Έργα μηχανικού, ήπιες κλίσεις, t(βάθος ροής) και y περίπου ταυτίζονται

Προσέγγιση (Μόνιμη) **Ομοιόμορφης ροής**

<u>Προϋποθέσεις</u>

- Ισορροπία δυνάμεων
- Μη μεταβολή της διατομής
- Μη μεταβολή της τραχύτητας των στερεών ορίων

Uniform flow

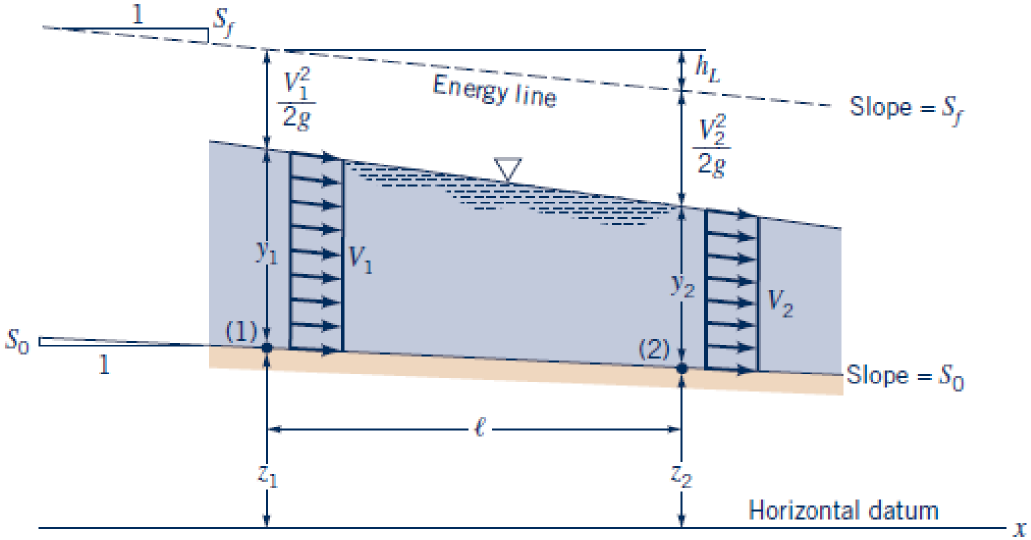
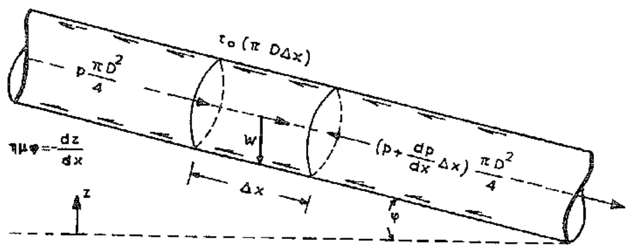
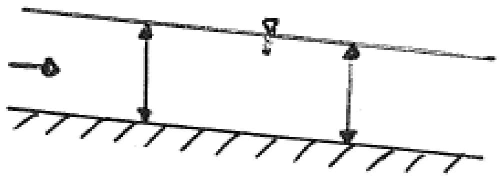


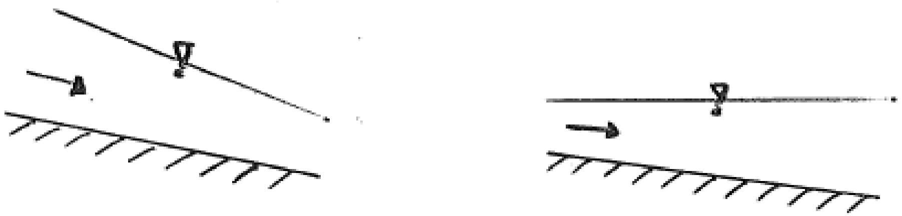
Figure 10.6 Typical open-channel geometry.



Ομοιόμορφη : Ταχύτητα του νερού σταθερή,
Βάθος νερού σταθερό
από διατομή σε διατομή ⇒
Επιφάνεια νερού παράλληλη προς τον
πυθμένα



Ανομοιόμορφη : Μεταβαλλόμενο βάθος από διατομή
σε διατομή ⇒
Επιφάνεια νερού μη παράλληλη προς
τον πυθμένα



Βαθμιαία μεταβολή

Ταχεία (απότομη μεταβολή)

Λόγω της συσσωρευμένης εμπειρίας όμως, περισσότερο δημοφιλής είναι η απλοποιημένη σχέση, η οποία αποδίδεται στον *R.* Manning και γι' αυτό ονομάζεται και τύπος του Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} \tag{3.9}$$

όπου: n = ο συντελεστής τραχύτητας γνωστός ως συντελεστής Manning, με διαστάσεις (s/m$^{1/3}$), ο οποίος αποτελεί έκφραση της τραχύτητας του στερεού ορίου και συνδέεται με το συντελεστή f των Darcy-Weisbach με τη σχέση:

$$f = (8gn^2)/R^{1/3} \tag{3.10}$$

Οι τιμές του συντελεστή n λαμβάνονται από πίνακες που έχουν δημοσιευθεί σε πληθώρα βιβλίων. Ο Πίνακας 3.2 παρουσιάζει τις τιμές του συντελεστή n για μια σειρά υλικά από τα οποία αποτελείται ο ανοικτός αγωγός. Σημειώνεται ότι επειδή ο συντελεστής n δεν είναι αδιάστατος αριθμός, κατά τη χρήση του τύπου Manning η ταχύτητα πρέπει να εκφράζεται σε m/s, η υδραυλική ακτίνα σε m και η παροχή σε m^3/s.

Το γεγονός ότι εδώ η ροή πραγματοποιείται με ελεύθερη επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα η υγρή διατομή, A, να εξαρτάται εκτός από τη γεωμετρία της διατομής και από τη θέση της ελεύθερης επιφάνειας, δηλαδή σε σχέση με τη ροή σε κλειστούς αγωγούς υπό πίεση υπάρχει ένα επιπλέον άγνωστο μέγεθος που πρέπει να υπολογιστεί.

Ο υπολογισμός του ομοιόμορφου βάθους, y_0, γίνεται με χρήση της εξίσωσης Manning και της εξίσωσης συνέχειας, άρα:

$$Q = (1/n) A R^{2/3} S_0^{1/2} \tag{3.11}$$

Αν είναι γνωστά: η παροχή Q(m^3/s), η γεωμετρία του αγωγού, ο συντελεστής n και η κατά μήκος κλίση S_0, τότε:

$$AR^{2/3} = (nQ)/S_0^{1/2} = \text{γνωστό} \tag{3.12}$$

Συντελεστής Manning

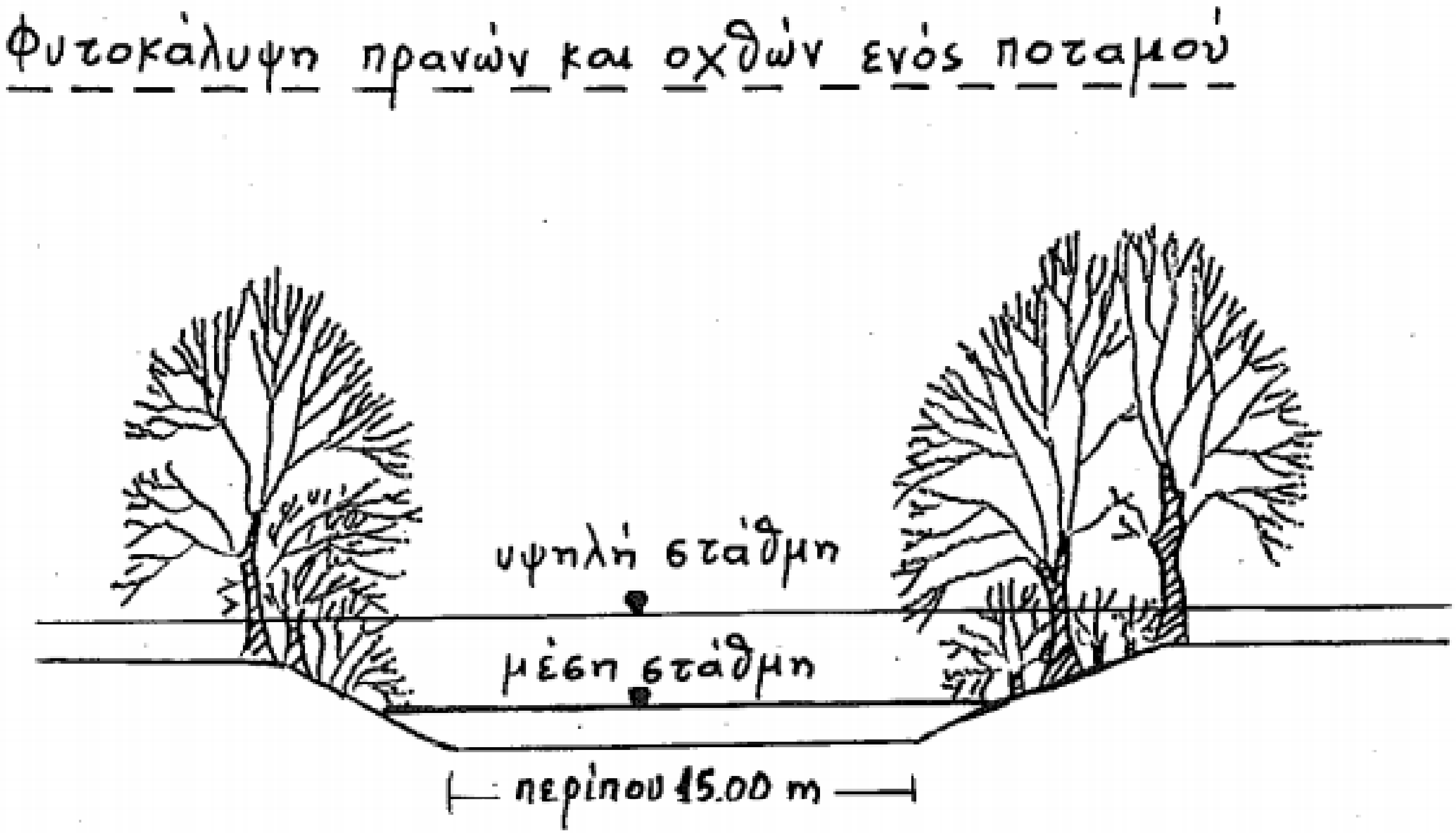
- Δεν είναι αδιάστατος
- Εξαρτάται από το ποσοστό πλήρωσης
- Εξαρτάται από το είδος της παρόχθιας βλάστησης αλλά και την ταχύτητα
- Στο μάθημα της Υδραυλικής έστω σταθερός για κάποιο πρόβλημα
- Παράγοντας αβεβαιότητας
- Κύρια επιλέγεται με βάση το υλικό πλήρωσης της διατομής, βιβλιογραφικά (από πίνακες και φωτογραφίες)
- Εναλλακτικά αρχικά θεωρούμε το n πρισματικού λείου αγωγού και κατόπιν αυξάνεται ανάλογα των ανωμαλιών του αγωγού, μεταβολή σχήματος, ύπαρξη εμποδίων στη ροή, βλάστηση, αλλαγή διευθύνσεων κ.ά

http://www.fhwa.dot.gov/bridge/wsp2339.pdf

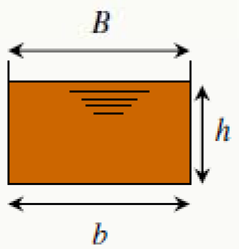
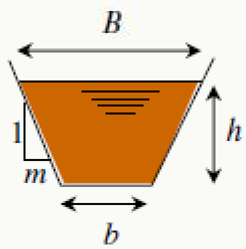
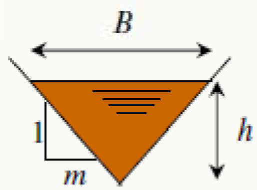
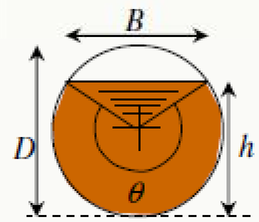
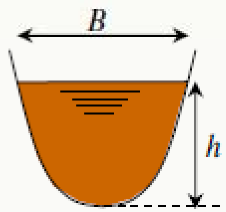
Πίν. 3.2: *Συντελεστές Manning n για διάφορα υλικά*

Μέταλλο λείο	0.011 - 0.015
Μέταλλο, αυλακωτό	0.023 - 0.025
Ξύλο, κατεργασμένο	0.010 - 0.015
Ξύλο, ακατέργαστο	0.011 - 0.015
Τσιμέντο λείο	0.010 - 0.013
Σκυρόδεμα	0.014 - 0.016
Τσιμεντοχάλικο	0.017 - 0.030
Γρασίδι	0 > 0.020

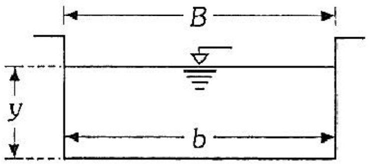
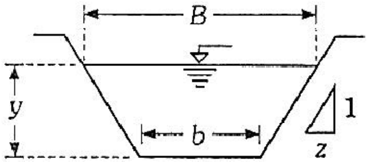
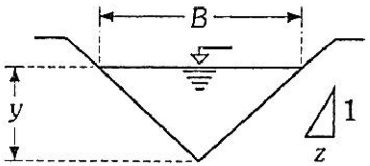
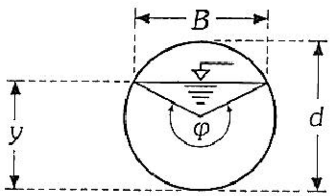
Μεταβλητό n



Φυτοκάλυψη πρανών και οχθών ενός ποταμού
υψηλή στάθμη
μέση στάθμη
περίπου 15.00 m

	rectangular	*trapezoidal*	*triangular*	*circular*	*parabolic*
					
flow area A	bh	$(b+mh)h$	mh^2	$\frac{1}{8}(\theta-\sin\theta)D^2$	$\frac{2}{3}Bh$
wetted perimeter P	$b+2h$	$b+2h\sqrt{1+m^2}$	$2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{1}{2}\theta D$	$B+\frac{8}{3}\frac{h^2}{B}$ *
hydraulic radius R_h	$\frac{bh}{b+2h}$	$\frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{1+m^2}}$	$\frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}$	$\frac{1}{4}\left[1-\frac{\sin\theta}{\theta}\right]D$	$\frac{2B^2h}{3B^2+8h^2}$ *
top width B	b	$b+2mh$	$2mh$	$(\sin\theta/2)D$ *or* $2\sqrt{h(D-h)}$	$\frac{3}{2}\frac{A}{h}$
hydraulic depth D_h	h	$\frac{(b+mh)h}{b+2mh}$	$\frac{1}{2}h$	$\left[\frac{\theta-\sin\theta}{\sin\theta/2}\right]\frac{D}{8}$	$\frac{2}{3}h$

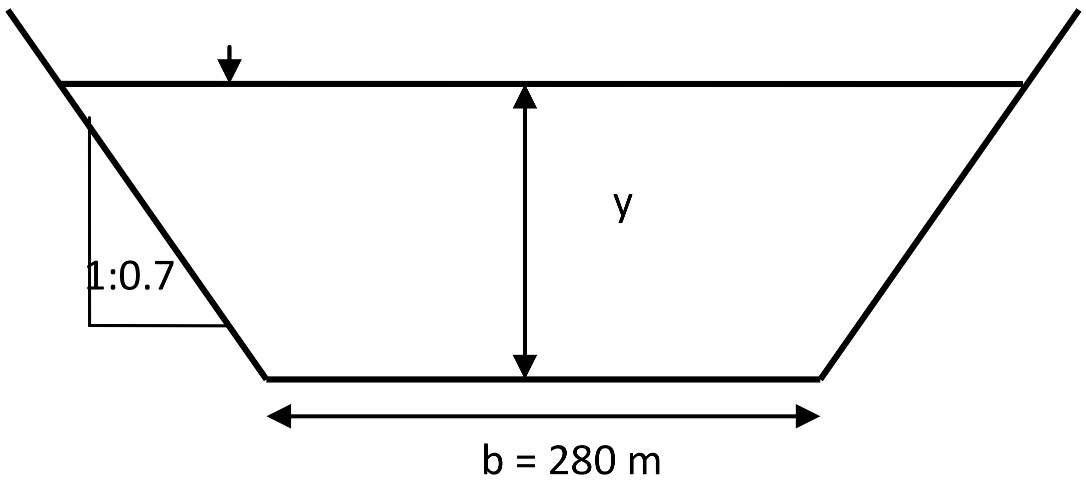
Πίν. 3.1: *Γεωμετρικά στοιχεία αγωγών*

Διατομή	Επιφάνεια A	Βρεχ. περίμετρος P	Υδραυλική ακτίνα $R = A/P$	Πλάτος ελεύθερης επιφάνειας B	Υδραυλικό βάθος $y_\mu = A/B$	Αριθμός Froude F
Ορθογωνική 	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b	y	$\sqrt{\frac{Q^2}{b^2y^3g}}$
Τραπεζοειδής 	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$	$\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$	$\sqrt{\frac{(b+2zy)Q^2}{(b+zy)^3y^3g}}$
Τριγωνική 	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$	$\frac{y}{2}$	$\sqrt{\frac{2Q^2}{z^2y^5g}}$
Κυκλική 	$\frac{d^2}{8}(\varphi-\sin\varphi)$	$d\frac{\varphi}{2}$	$\frac{d}{4}\left(1-\frac{\sin\varphi}{\varphi}\right)$	$d\left(\sin\frac{\varphi}{2}\right)$ ή $2\sqrt{y(d-y)}$	$\frac{d}{8}\left\{\frac{\varphi-\sin\varphi}{\sin\frac{\varphi}{2}}\right\}$	$\sqrt{\frac{512Q^2\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{gd^5(\varphi-\sin\varphi)^3}}$

Ασκηση 2

Αν η κλίση του πυθμένα είναι So = 1:240 να προσδιορισθεί η παροχή της παρακάτω τραπεζοειδούς διατομής αν ο συντελεστής Manning στο διεθνές σύστημα είναι n = 0.042 και η παροχή Q = 98,200 m^3s^{-1} να προσδιορισθεί το ομοιόμορφο το βάθος ροής. Να ελεγχθεί αν η ροή είναι κρίσιμη, υπερκρίσιμη ή υπερκρίσιμη και να προσδιοριστεί το κρίσιμο βάθος ροής.

(a)



n = 0.042

S_o = 1:240

Εξίσωση Manning για τραπεζοειδής διατομή

$$V = \frac{1}{n}\left(\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}\right)^{2/3} S_0^{1/2} \Leftrightarrow Q = ((b+zy)y)\frac{1}{n}\left(\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}\right)^{2/3} S_0^{1/2}$$

$$\Leftrightarrow \frac{n\cdot Q}{S_0^{1/2}} = ((b+zy)y)\left(\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}\right)^{2/3} \Leftrightarrow$$

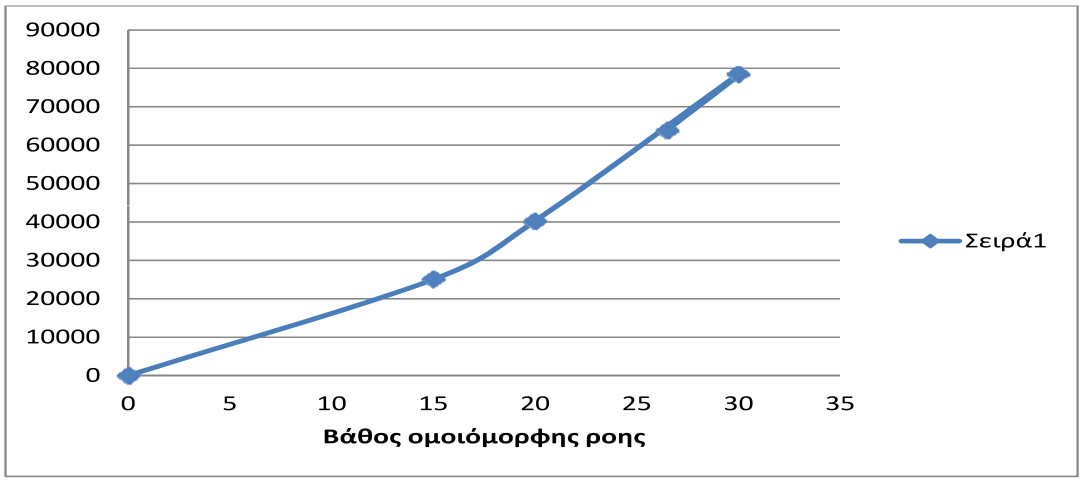
$$\frac{0.042\cdot 98,200}{(1/240)^{1/2}} = ((280+0.7\cdot y)y)\left(\frac{(280+0.7\cdot y)y}{280+2\cdot y\sqrt{1+0.7^2}}\right)^{2/3} = 63,894.93$$

Δοκιμές:

y = 20 m => f(y)= 40208.5< 63894.93 (Q = 61,800 m^3s^{-1})

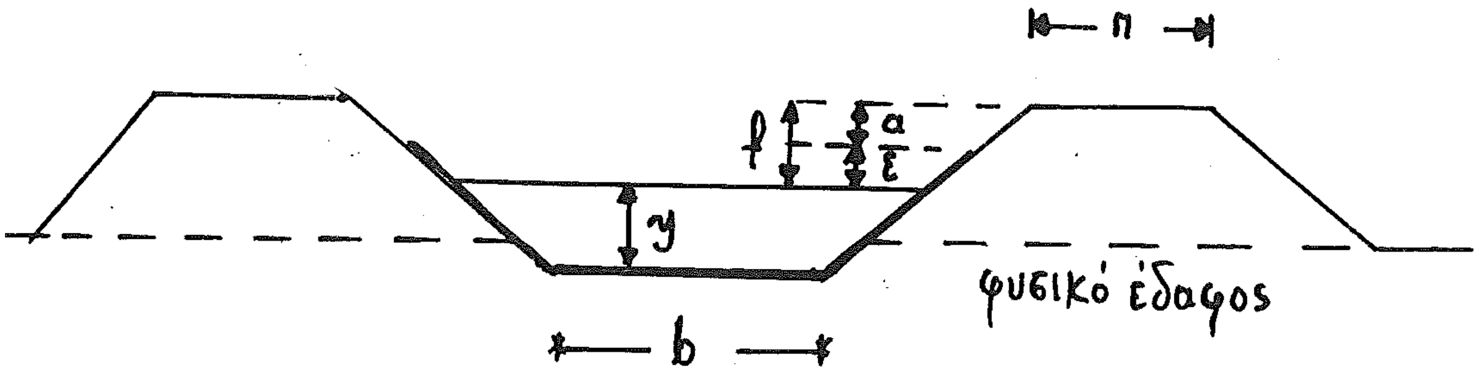
y = 30 m => f(y)= 78361.04> 63894.93 (Q = 120,450 m^3s^{-1})

Καταστρώνω το παρακάτω διάγραμμα:



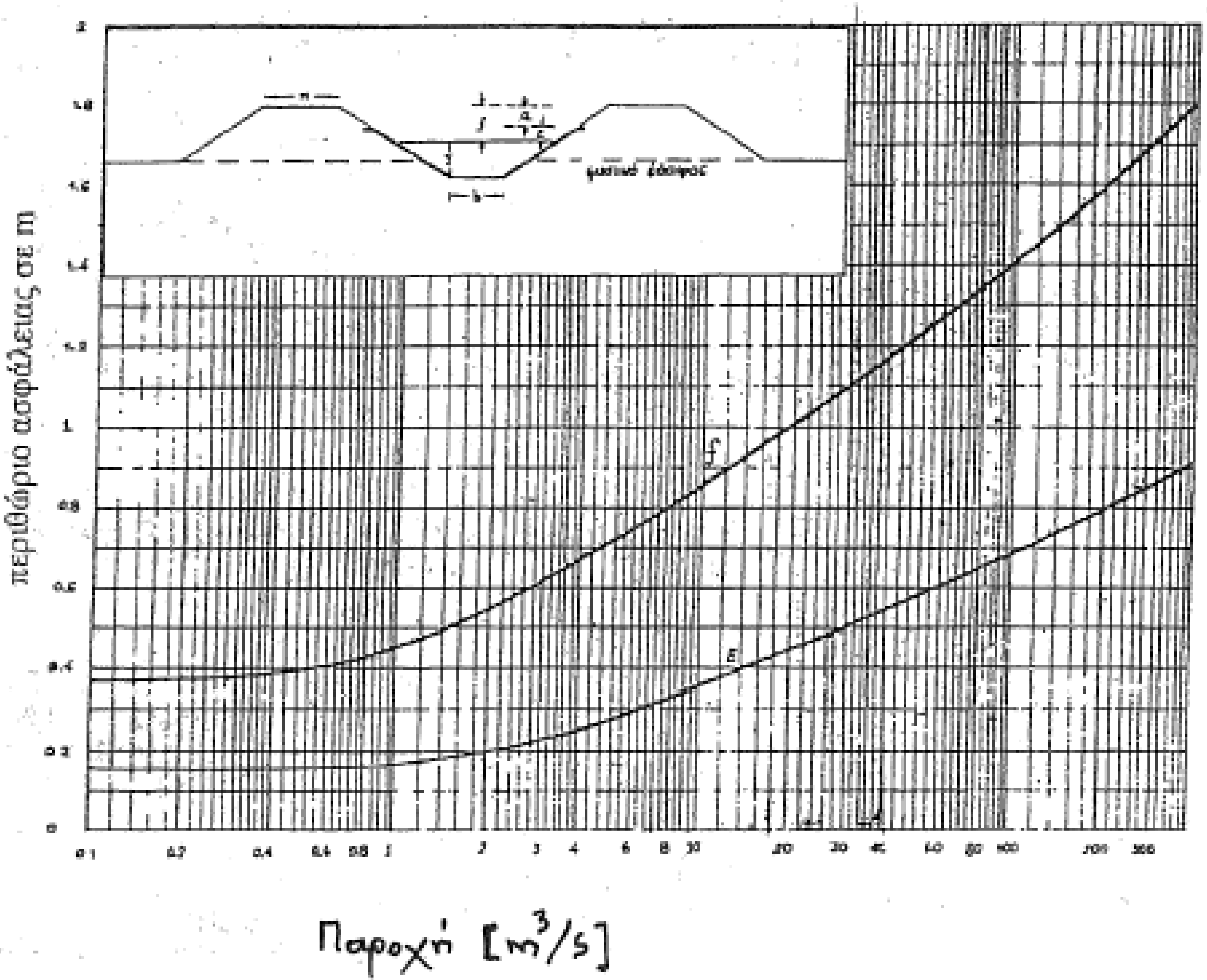
Τελικά Q = 98,000 m^3s^{-1} για βάθος ομοιόμορφης ροής , yo = 26.5 m.

Τεχνικοί αγωγοί



f: περιθώριο ασφαλείας αναχώματος

ε: περιθώριο ασφαλείας επένδυσης



Κατασκευαστικό: περιθώριο ασφαλείας σε αγωγούς τραπεζοειδούς διατομής

Μπέλλος, 2008

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 [m³/s]	πάχος επένδυσης [cm]	Παροχή [m³/s]	πάχος επένδυσης [cm]	Παροχή [m³/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

Water is to flow at a rate of 30 m^3/s in the concrete channel shown in Fig. 14-2. Find the required vertical drop of the channel bottom per kilometer of length.

$A = (3.6)(2.0) + (4.0 - 2.0)[(1.6 + 3.6)/2] = 12.40\ m^2$ $\qquad v = (1.0/n)(R^{2/3})(s^{1/2}) = Q/A = 30/12.40 = 2.419\ m/s$

$$p_w = 3.6 + 2.0 + \sqrt{(4.0 - 2.0)^2 + (3.6 - 1.6)^2} + 1.6 = 10.03\ m \qquad R = A/p_w = 12.40/10.03 = 1.236\ m$$

$$2.419 = (1.0/0.013)(1.236)^{2/3}(s)^{1/2} \qquad s = 0.000746$$

This slope represents a drop of the channel bottom of 0.000746 m per meter of length, or 0.746 m per kilometer of length.

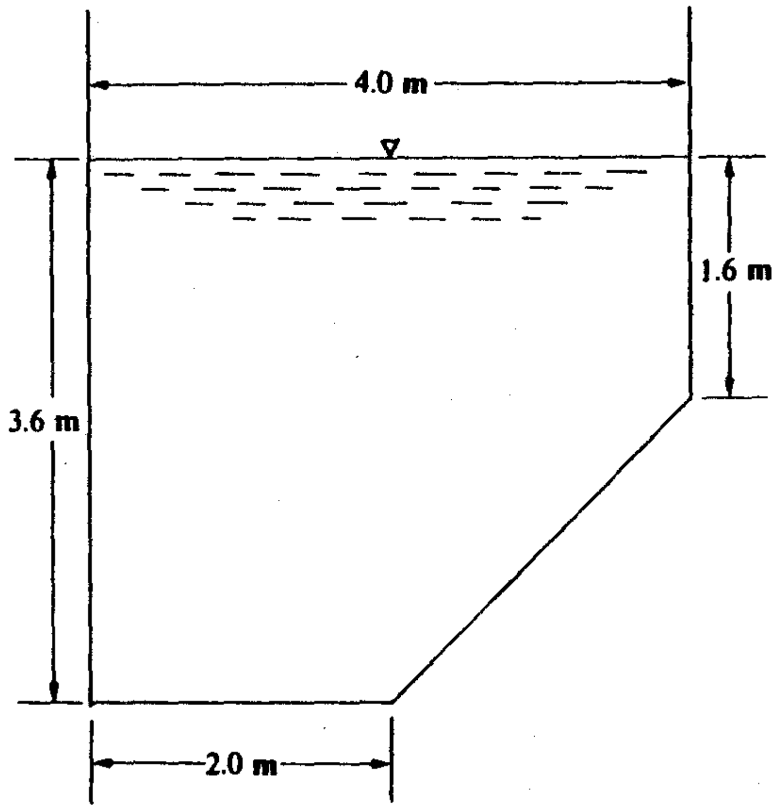


Fig. 14-2

14.208 The channel of Fig. 14-53 has a slope of 0.0018 and carries 57 m^3/s. Determine the flow depth, if $n = 0.015$.

■

$$Q = (A)(1.0/n)(R^{2/3})(s^{1/2}) \qquad A = 10y_N - (\tfrac{10}{2})[(\tfrac{10}{2})(\tan 10°)] = 10y_N - 4.408$$

$$p_w = 2[y_N - (\tfrac{10}{2})(\tan 10°) + (\tfrac{10}{2})/\cos 10°] = 2y_N + 8.391 \qquad R = A/p_w = (10y_N - 4.408)/(2y_N + 8.391)$$

$$57 = (10y_N - 4.408)(1.0/0.015)[(10y_N - 4.408)/(2y_N + 8.391)]^{2/3}(0.0018)^{1/2}$$

$$y_N = 2.11 \text{ m} \qquad \text{(by trial and error)}$$

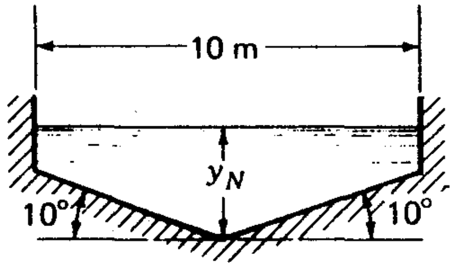


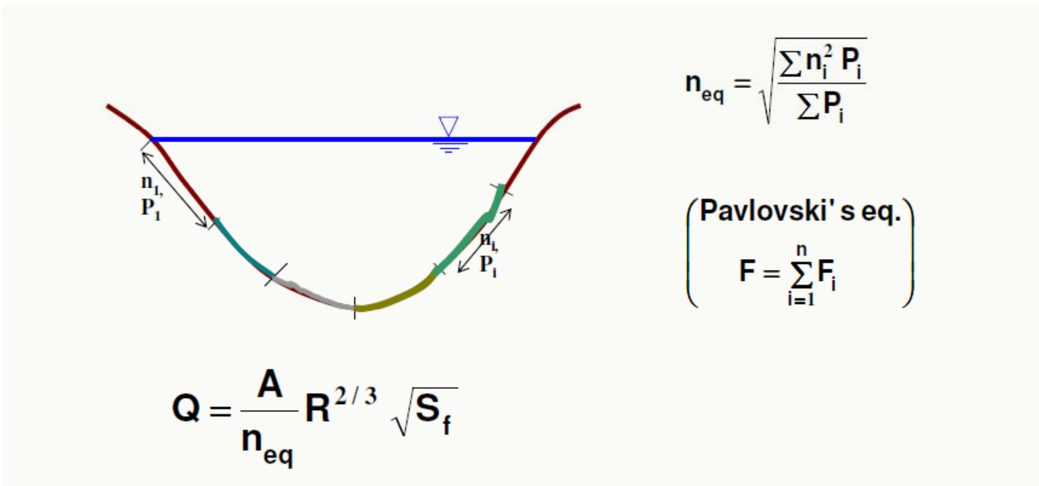
Fig. 14-53

Σύνθετες διατομές

- Πλημμύρες σε φυσικά υδατορεύματα: κύρια κοίτη δεν επαρκεί για τη διερχόμενη παροχή
- Μεταβλητός συντελεστής n
- Πλημμύρικες κοίτες: μεγάλη τραχύτητα n, μεγαλύτερο πλάτος, μικρότερο βάθος σε σχέση με την κύρια κοίτη.
- Ανάπτυξη σημαντικών δυνάμεων εσωτερικής τριβής στις διεπιφάνειες μεταξύ των τμημάτων με μεταφορά ορμής που επιταχύνει τις ακραίες διατομές και επιβραδύνει την κύρια κοίτη. Συνακόλουθα αναπτύσσονται στροβιλισμοί και υπάρχει απώλεια ενέργειας.
- Χρησιμοποιημένο μονοδιάστατο μοντέλο ροής για μία πρώτη εκτίμηση

Σύνθετες διατομές

- Μεταβλητό *n*, 2 μέθοδοι επίλυσης
- Α΄ μέθοδος, «ισοδύναμος *n*” ενιαία διατομή υποεκτίμιση της παροχής, π.χ.
- Μέθοδοι σύνθετων διατομών



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

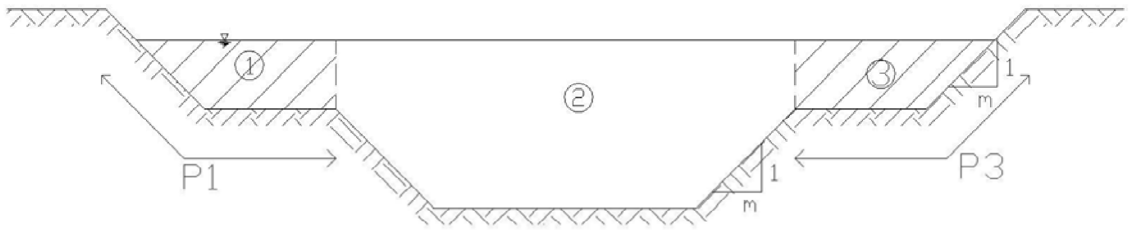
$$\ln \eta_e = \frac{\sum_{i=1}^{N} P_i h_i^{3/2} \ln \eta_i}{\sum P_i h_i^{3/2}} \tag{6.17}$$

Αν θεωρήσουμε έναν αγωγό που διαιρειται σε N περιοχες με βρεχόμενη περίμετρο P_i και συντελεστή Manning $\eta_i\,(i=1, 2, \ldots, N)$ 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

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

Α΄Μέθοδος απόδειξη του ενιαίου (φανταστικού) 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 την εξίσωση του Manning στα επιμέρους τμήματα προκύπτει:

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

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

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,

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

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

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

$$\boxed{\Rightarrow n_e = \left(\frac{\sum_i^n n_i^{\frac{3}{2}} * P}{P_{tot}} \right)^{\frac{2}{3}}}$$

(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 μήκους

- Ομαλή κλίση στην πλημμυρική κοίτη μεγάλη αύξηση της περιμέτρου για αύξηση του εμβαδού άρα προκύπτει υποεκτίμηση της παροχής που μπορεί να διοχετεύσει μία διατομή
- Κατά Chaudhry, 1993 είναι προτιμότερη των άλλων:

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

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	$\Sigma=8.307\cdot10^{-3}$

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

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.

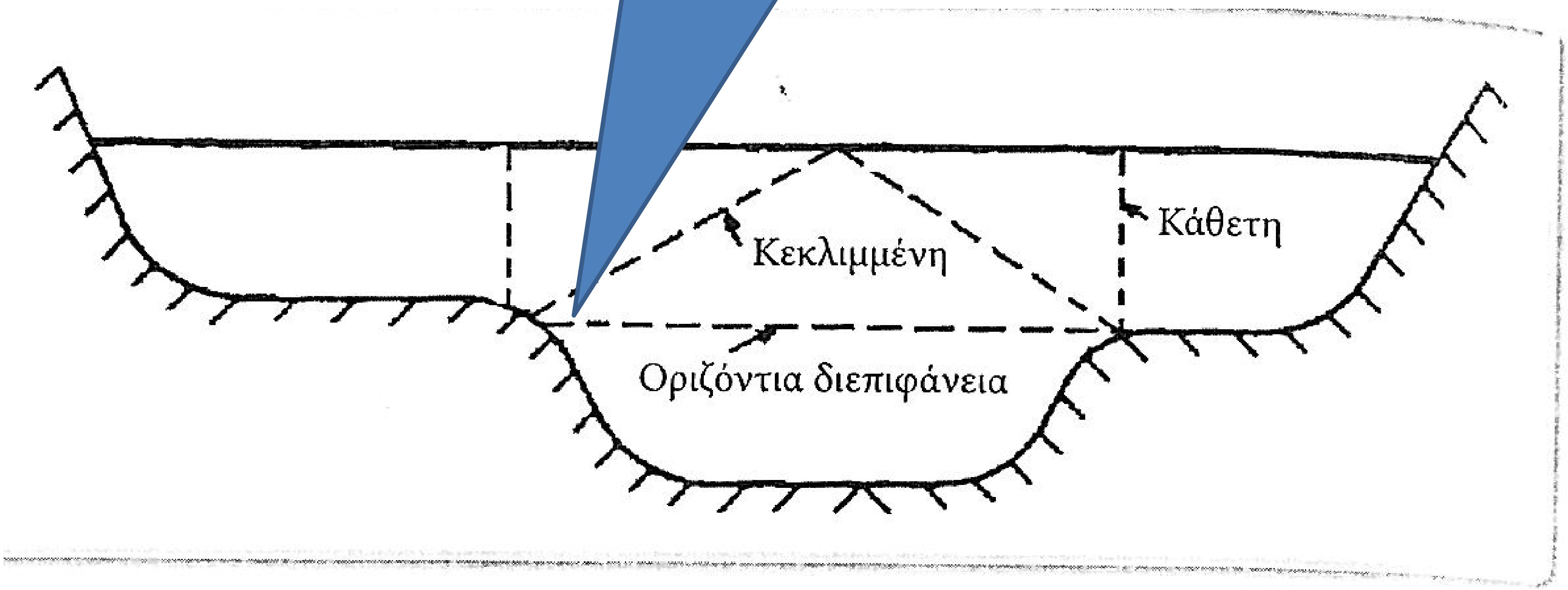
Έτσι η συνολική παροχή δίνεται από τη σχέση

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

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.

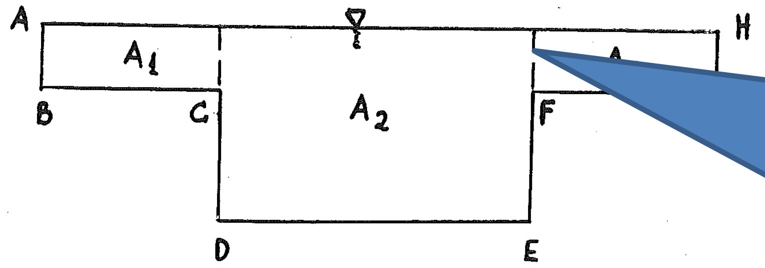
Οριζόντια διεπιφάνεια, καλ
Τα υγρά όρια μεταξύ των διατομών δεν
λαμβάνονται υπόψη στην περίμετρο



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 δεν λαμβάνονται υπόψη στην περίμετρο κάθε τμήματος

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

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

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

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \qquad Q: \text{παροχή } \left[\frac{L^3}{T}\right]$$

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

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

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

$$\boxed{Q = A u}$$ εξίσωση συνέχειας

Μειονέκτημα μεθόδου σύνθετης διατομής

- Δεν λαμβάνει υπόψη τις διατμητικές τάσεις στις διεπιφάνειες νερού, υποεκτιμά τις βρεχόμενους περιμέτρους στερεών ορίων, άρα υπερεκτιμάται η παροχή
- Ο οριζόντιος διαχωρισμός με βάση νεώτερα πειράματα και μελέτες θεωρείται ότι πλησιάζει περισσότερο την πραγματικότητα (Πρίνος, 2014)