# ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΟΡΕΙΝΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ

## Σταθερή Ομοιόμορφη Ροή ανοικτών αγωγών

Φώτιος ΜΑΡΗΣ
***Αναπλ. Καθηγητής***


Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου

## ***Παράδειγμα 1***

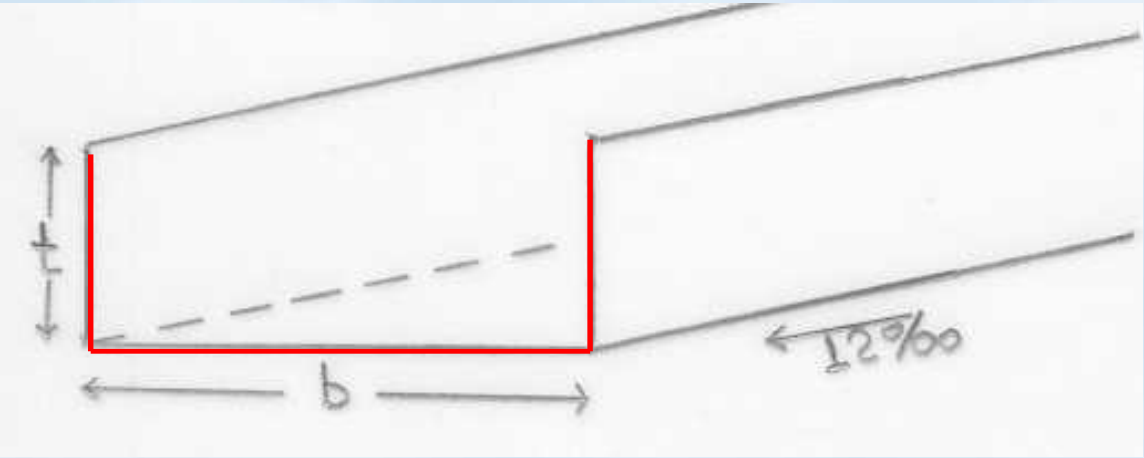
Διώρυγα από γαιώδες υλικό με σταθερή διατομή, πρανή επενδυμένα με λίθους και με πυθμένα από άμμο και χάλικες έχει σταθερό βάθος ροής t=2,5m. Ο αγωγός είναι ορθογωνικός, η βάση του έχει πλάτος b=20m και η κλίση του πυθμένα είναι 12 ‰.

Ζητούνται:

1) το είδος της ροής του αγωγού

2) η υδραυλική ακτίνα

3) η παροχή του



## Επίλυση

1. Το είδος της ροής είναι *σταθερή – ομοιόμορφη* διότι το βάθος της ροής και η διατομή παραμένουν σταθερά.

2. Η υδραυλική ακτίνα R δίνεται από τον τύπο: $R = F / V$ (m)

όπου :

F: διαβρεχόμενη επιφάνεια και V: περιβρεχόμενη περίμετρος

οπότε θα είναι: $F=b * t = 2,5 \cdot 20=50\ m^2$

$V = t + b + t = 2,5+20+2,5=25m$ και $R = 50 / 25 = 2$ m

3. Όταν η ροή είναι σταθερή και ομοιόμορφη τότε ισχύει ο τύπος υπολογισμού της ταχύτητας ροής των *Manning – Strickler:*

$$\upsilon = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

όπου:

υ = μέση ταχύτητα ροής (m/sec) $\upsilon = k * R^{2/3} * J^{1/2}$

R = η υδραυλική ακτίνα = F / V (m)

J = κατά μήκος κλίση της κοίτης

k = συντελεστής τραχύτητας (πίνακας 4.2.)

Επειδή η διώρυγα έχει πυθμένα από άμμο και χάλικες και πρανή λιθεπένδυτα, παίρνουμε $k=50\ (m^{1/3}/s)$

Άρα η ταχύτητα θα είναι: $\upsilon=50 * 2^{2/3} * 0{,}012^{1/2}$ m/s και

**$\upsilon$=8,70m/s**

Στη συνέχεια η παροχή υπολογίζεται από τη γνωστή σχέση:

**Q = F * U** = 50 * 8,7 $m^3/s$ και **Q = 434,5 $m^3/s$**

# ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. Τιμές του συντελεστή k στον τύπο Manning-Strickler

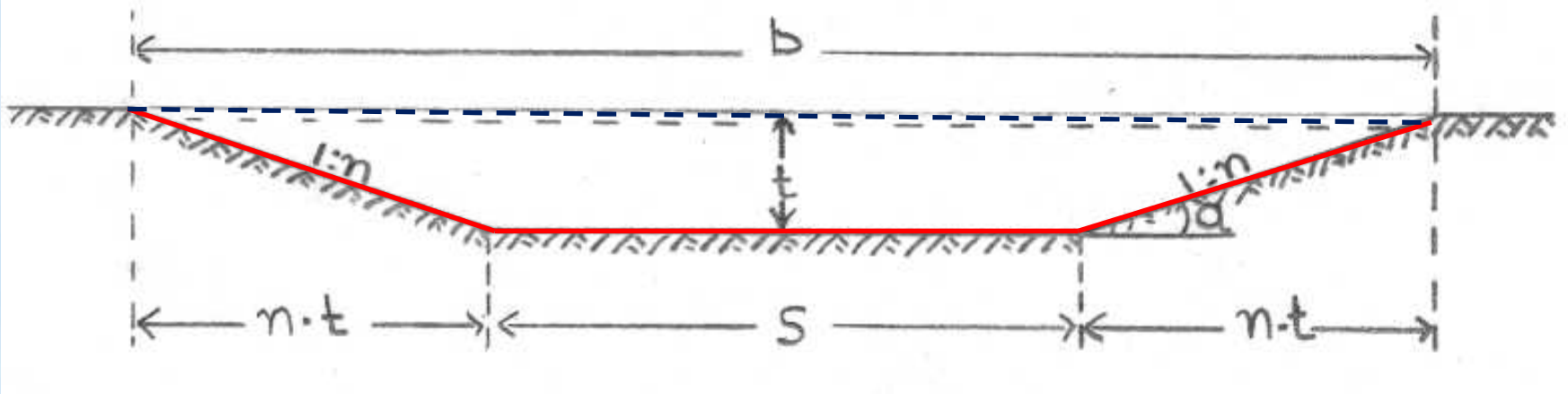
| ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΓΩΓΟΥ | |
|---|---|
| 1. ΦΥΣΙΚΟΙ ΑΓΩΓΟΙ: | |
| Ρεύματα με σταθερή κοίτη χωρίς ακανονιστίες | 40–42 |
| Ρεύματα με φερτές ύλες μέτριου μεγέθους | 35–38 |
| Ρεύματα καλυμμένα με χαμηλή βλάστηση | 30–35 |
| Ρεύματα με αδρομερή φερτά υλικά και ακανονιστίες | 30 |
| Ρεύματα πλούσια σε αδρομερή υλικά | 28–30 |
| Χειμαρρώδη ρεύματα με αδρομερή υλικά χωρίς έντονη στερεομεταφορά | 25–28 |
| Χειμαρρώδη ρεύματα με αδρομερή υλικά και έντονη στερεομεταφορά | 19–22 |
| 2. ΔΙΩΡΥΓΕΣ ΑΠΟ ΓΕΩΔΕΣ ΥΛΙΚΟ | |
| Στερεό λείο υλικό | 60 |
| Στερεά άμμος με λίγο αργιλώδες υλικό ή λίγους χάλικες | 50 |
| Πυθμένας από άμμο και χάλικες, πρανή λιθεπένδυτα | 45–50 |
| Λεπτοί χάλικες | 40 |
| Αδρομερείς χάλικες | 35 |
| Κάλυψη με αδρομερής λίθους | 26–30 |
| Άμμος, ιλύς, χάλικες με έντονη βλάστηση | 20–26 |
| Πυθμένας με πρανή καλλυμένα με ασφαλτικό υλικό | 70–75 |



## ***Παράδειγμα 2***

Διώρυγα τραπεζοειδούς διατομής έχει πυθμένα πλάτους s=30m, κλίση πρανών 1:3, παροχή Q=120m$^3$/sec, k=30 και μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα ροής U=3 m/sec. Ζητείται η κλίση του πυθμένα σε σταθερή ομοιόμορφη ροή.

**Επίλυση**




**Q = F * U**

*Manning – Strickler:* $U = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$

Η υδραυλική ακτίνα R δίνεται από τον τύπο: $R = F / V$ (m)

Η ροή είναι σταθερή και ομοιόμορφη οπότε στη μονάδα του χρόνου διέρχεται από τη διατομή υδατοπαροχή:

$$Q = F \cdot U \longrightarrow 120 / 3 = F$$

Είναι $Q=120$ $m^3/s$ , $U=3$ m/s οπότε βρίσκουμε **$F=40$ $m^2$**

Από τη σχηματική παράσταση της τραπεζοειδούς διατομής προκύπτει:

Διαβρεχόμενη επιφάνεια: $F = t \cdot s + t^2 \cdot n$ (1)

Περιβρεχόμενη περίμετρος: $V = s + t \cdot 2 \cdot (1+n^2)^{1/2}$ (2)

Είναι $F=40m^2$, $s=30m$, και $n=3$ οπότε: η (1) παίρνει τη μορφή του τριωνύμου: $3t^2+30t - 40=0$, το οποίο δίνει τη λύση

**$t=1,191m$**

Περιβρεχόμενη περίμετρος: $V = s + t \cdot 2 \cdot (1+n2)^{1/2}$

Η (2) γίνεται: $V = 30 + 1{,}191 \cdot 2\,(1+3^2)^{1/2}$ και **$V=37{,}53$ m**

Υδραυλική ακτίνα $R = F / V = 40 / 37.53$ **$R=1{,}066$m**

Από την εξίσωση της ταχύτητας των *Manning – Strickler* έχουμε:

$U=k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \Rightarrow J^{1/2} = 3/\ 30 \cdot 1{,}066^{2/3} = 0{,}096$ και

**$J=0{,}009$ ή $0{,}9\%$**

***Παράδειγμα 3***

Να υπολογισθούν οι διαστάσεις ευνοϊκής τραπεζοειδούς διατομής φυσικού ανοικτού αγωγού και εξασφάλιση των πρανών, όταν το υλικό της κοίτης είναι χάλικες πλούσιοι σε άμμο και η παροχή για τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα $Q=4,2\ m^3/s$.

**Επίλυση**

Κατά τον υπολογισμό ενός ανοικτού και επενδυμένου αγωγού, του οποίου τα τοιχώματα αποτελούνται από φυσικά υλικά, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα, ώστε η ταχύτητα ροής του νερού σ' αυτόν να μην προκαλεί διαβρώσεις στον πυθμένα και στα πρανή, τα δε πρανή να έχουν κλίσεις, που να εξασφαλίζουν την ευστάθειά τους.

Ο επόμενος πίνακας δίνει τις επιτρεπόμενες κλίσεις πρανών και ταχύτητες ροής σε ανοικτούς αγωγούς για την αποφυγή διαβρώσεων στην επιφάνεια των πρανών:



| Σύσταση τοιχωμάτων | Επιτρεπόμενη μέγιστη κλίση πρανούς | Επιτρεπόμενη μέγιστη ταχύτητα ροής (m/s) |
|---|---|---|
| Λεπτή άμμος | $22^o$–$27^o$ | 0,2 |
| Χονδρή άμμος | $27^o$ | 0,3–0,5 |
| Χάλικες πλούσιοι σε άμμο | $27^o$ | 0,6–0,8 |
| Χονδρόκοκκο έδαφος με χονδρούς χάλικες | $34^o$ | 1,0–1,4 |
| Ιλύς άργιλος | $18^o$ | 0,5–0,6 |
| Μαλακός βράχος | $63^o$ | 2,0–6,0 |
| Στερεός βράχος | $90^o$ | 2,0–8,0 |
| Πλήρως επενδυμένη διώρυγα | $90^o$ | 2,0–6,0 |

Από τον πίνακα προκύπτει:

μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση πρανούς: $27^o$ και $\varepsilon\varphi 27^o = 0,5$ ή **1:2**

Μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα ροής: **U=0,7m/s**

Η επιφάνεια της ευνοϊκής διατομής θα είναι:

$F = Q / U$ = 4,2 / 0,7 άρα **F=6 m²**

Από τον πίνακα 4.5 προκύπτουν οι διαστάσεις της βέλτιστης διατομής

| Κλίση πρανών (1:n) | $\lambda_t = \frac{t}{\sqrt{F}}$ | $\lambda_b = \frac{b}{\sqrt{F}}$ | $\lambda_s = \frac{s}{\sqrt{F}}$ | $\lambda_\alpha = \frac{\alpha}{\sqrt{F}}$ | $\lambda_R = \frac{R}{\sqrt{F}}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1:2 | 0,636 | 2,844 | 0,300 | 1,423 | 0,318 |

$$t = {}^{a}t * \sqrt{F} = 0.636 * \sqrt{6} = 1.56m$$

$$b = {}^{a}b * \sqrt{F} = 2.844 * \sqrt{6} = 6.97m$$

$$s = {}^{a}s * \sqrt{F} = 0.300 * \sqrt{6} = 0.73m$$

$$\sim = {}^{a}\sim * \sqrt{F} = 1,423 * \sqrt{6} = 3,49m$$

μήκος κεκλιμένων πλευρών τραπεζίου

$$R = {}^{a}{}_{R} * \sqrt{F} = 0.318 * \sqrt{6} = 0.78m$$

$$R = \frac{t}{2} \qquad a = \frac{b}{2}$$