

ΠΟΤΑΜΙΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΟΤΑΜΩΝ
2. ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗ ΠΟΤΑΜΩΝ
3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ
4. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ
5. ΦΕΡΤΕΣ ΥΛΕΣ

1. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΟΤΑΜΩΝ

Διαφορές μεταξύ τεχνητών και φυσικών ανοικτών αχών

Τεχνητοί ανοικτοί αχών

- Σταθερότητα γεωμετρίας της διατομής
- Σταθερότητα τραχύτητας παρειών
- Δεν υπόκεινται σε προχώσεις και διαβρώσεις
- Δεν υπάρχει υδρόβια βλάστηση

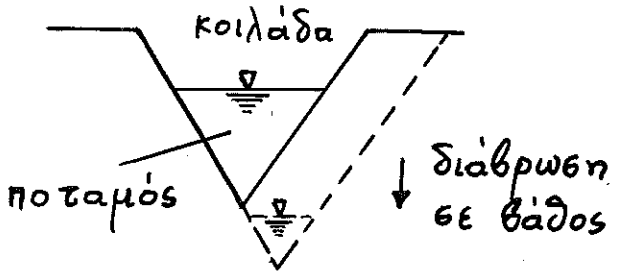
Φυσικοί ανοικτοί αχών

- Ο πυθμένας δεν είναι σταθερός, υπόκειται σε διαβρώσεις και εναποθέσεις φερτών υλών
- Η ροή μεταφέρει σημαντική ποσότητα στερεών υλών σε αώρηση και ως φορτίο κοίτης

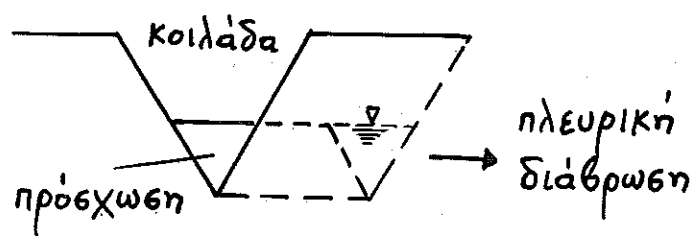
Μόνιμη δίαιτα ποταμών

- Οι μέσοι όροι των χαρακτηριστικών του ποταμού (π.χ. κλίση του πυθμένα, διατομή), που προσδιορίζονται για μια περίοδο αρκετά μεγάλη, παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητοι.
- Ο ποταμός μεταφέρει προς τις εκβολές του όλες τις φερτές ύλες που προέρχονται από τη λεκάνη απορροής του.

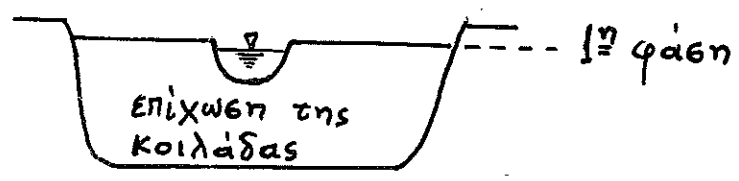
Σχηματισμός ποταμού (σε εγκάρσια τομή)



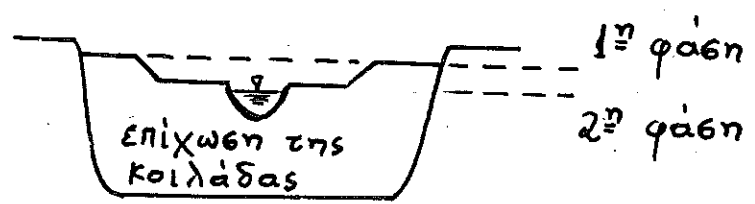
1^ο στάδιο



2^ο στάδιο

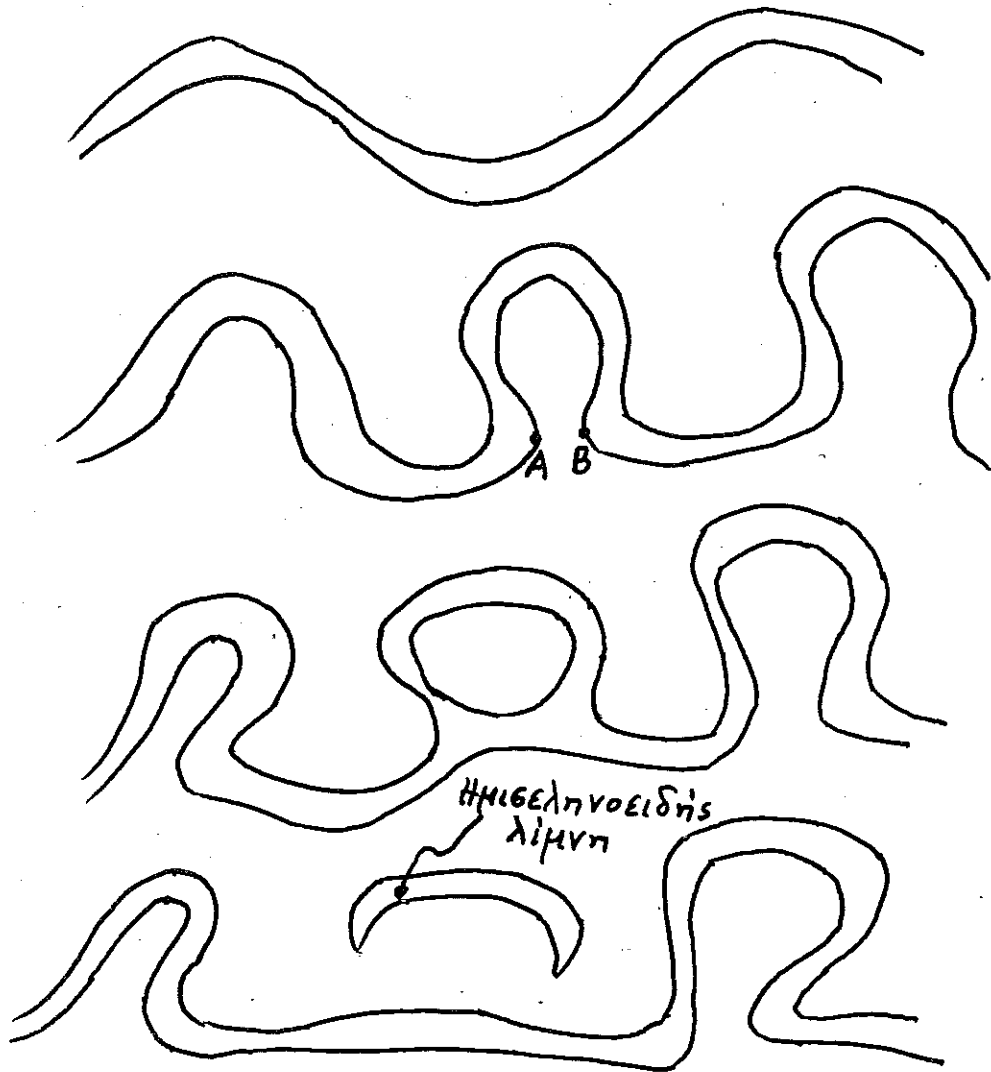


3^ο στάδιο

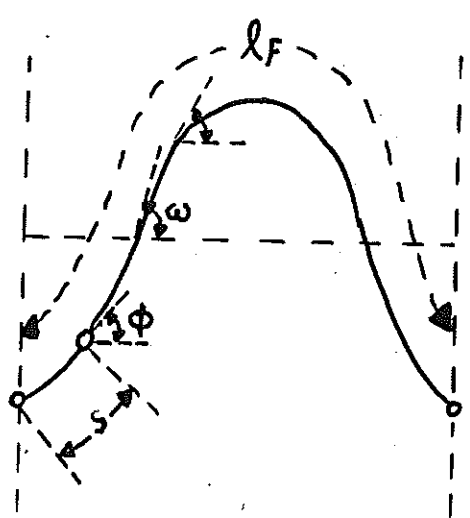


3^ο στάδιο

Μαιανδρισμός



Γεωμετρία μαιάνδρων



ϕ : γωνία κλίσης σ' ένα σημείο του μαιάνδρου

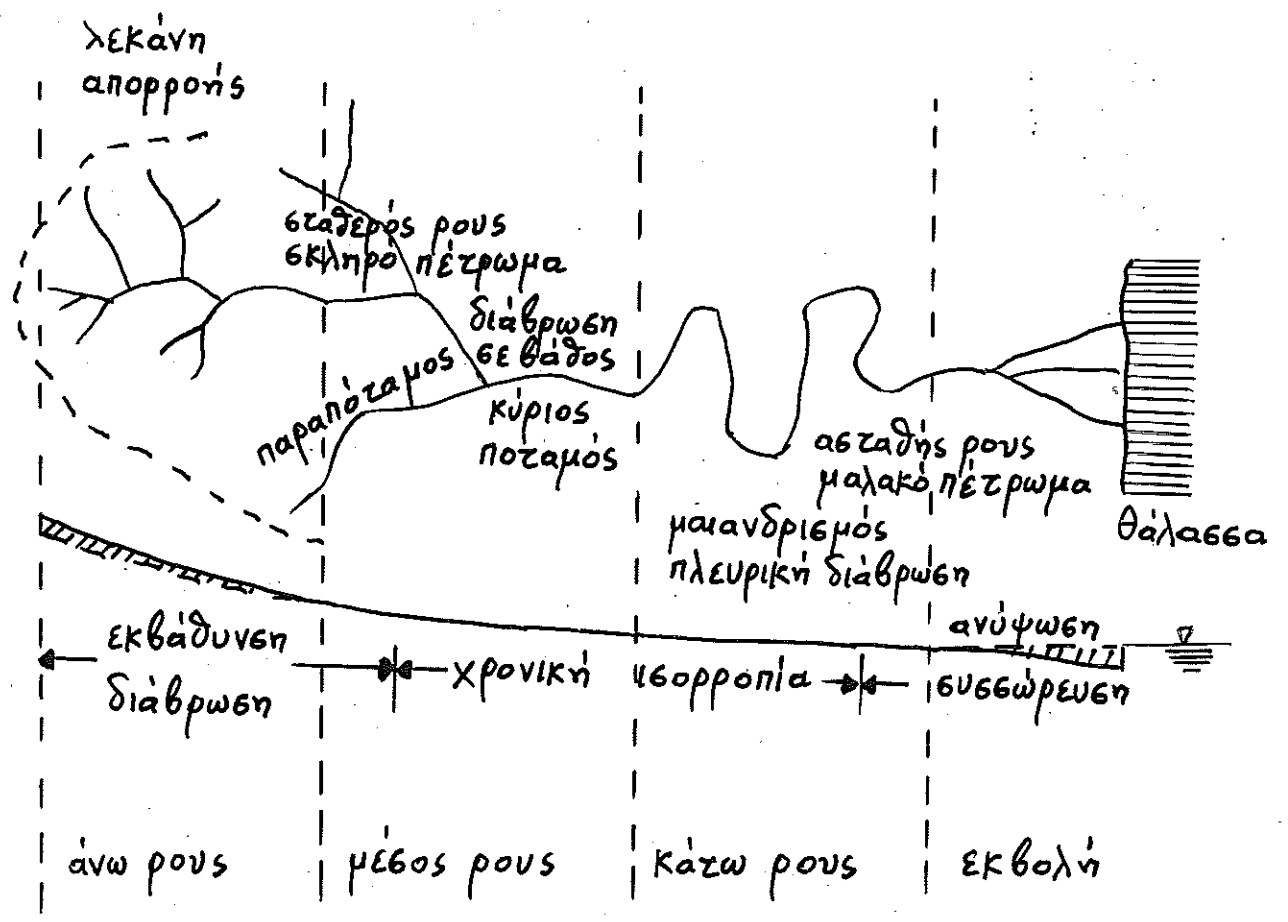
$\omega = \phi_{max}$

$$\phi = \omega \cdot \sin\left(\frac{s}{\lambda_F} \cdot 360^\circ\right)$$

ω_0 : τιμή της ω που πληροί τη σχέση $\frac{d\omega}{dt} = \min$

- Εάν $\omega < \omega_0 \Rightarrow$ μαιάνδρος σε ανάπτυξη
- Εάν $\omega > \omega_0 \Rightarrow$ ο μαιάνδρος έχει υπερανάπτυξει (αποκοπή βρόχων)
- Εάν $\omega = \omega_0 \Rightarrow$ καλώς αναπτυγμένος ή "υγιής" μαιάνδρος

Ρους ενός ποταμού

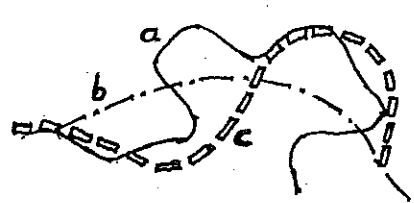


2. ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗ ΠΟΤΑΜΩΝ

Σκοποί της διευθέτησης

- Προστασία οχθών
- Απομάκρυνση ή παρεμπόδιση ανεπιθύμητων αποθέσεων
- Επίτευξη επιθυμητών αποθέσεων
- Δημιουργία μιας κατά το δυνατό ομαλής κοίτης
- Ανύψωση ή πτώση μιας ορισμένης στάθμης νερού
- Προστασία από τις πλημμύρες
- Διαμόρφωση του χύρω τοπίου
- Εξασφάλιση επαρκούς βάθους και πλάτους του ποταμού για τη ναυσιπλοΐα

Χάραξη της οριζοντιογραφίας ενός ποταμού

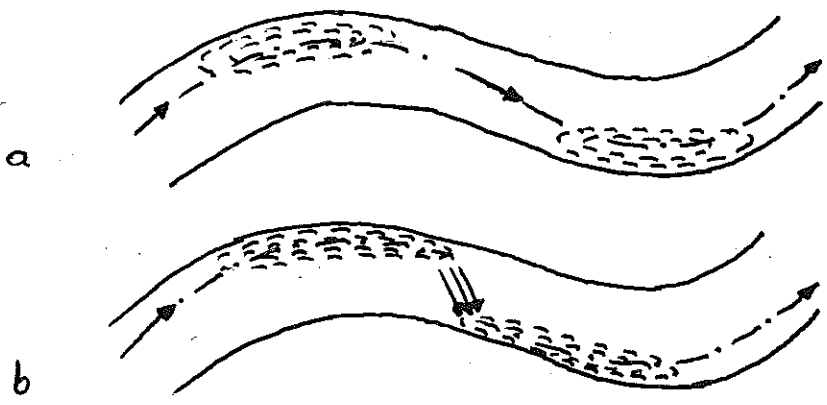
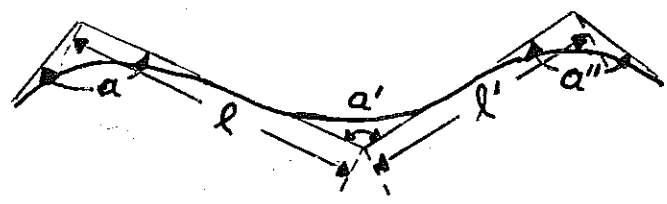
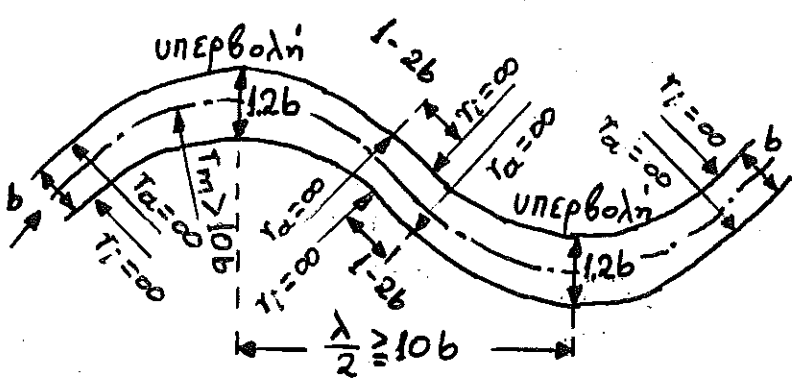


a: αρχικός ρους

b: χάραξη απομακρυσμένη από τη φυσική ροή

c: χάραξη παραπλήσια προς τη φυσική ροή

Κανόνες του Fatigue (ποιοτικοί)



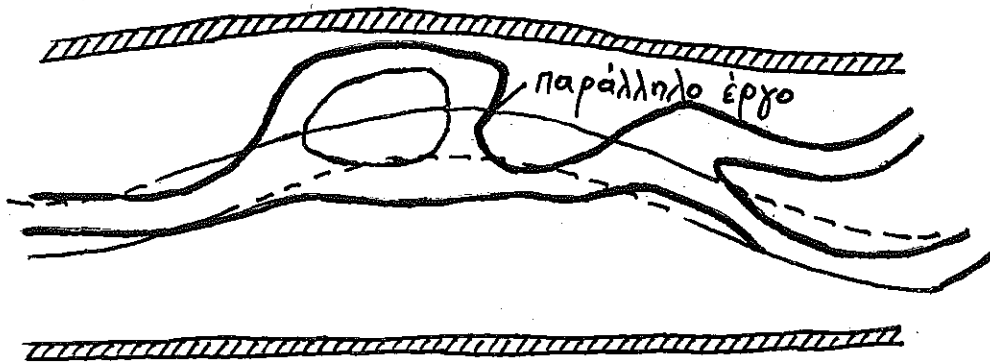
a : καλό πέρασμα
 b : άεχνημο πέρασμα

Διάκριση της Διευθέτησης ανάλογα με τη στάθμη του νερού

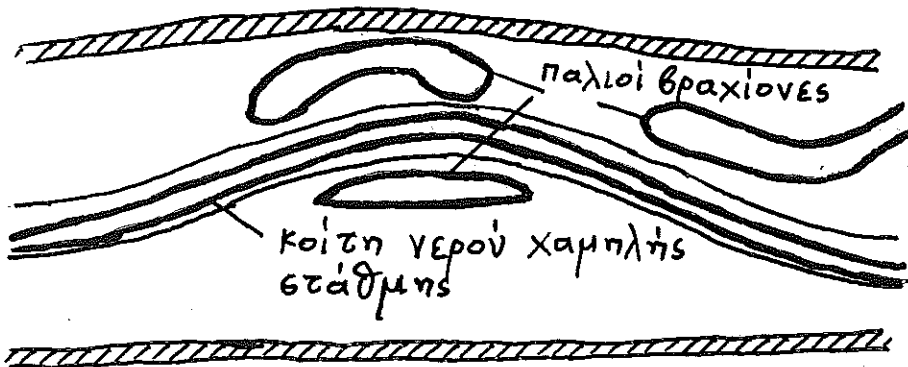
Διευθέτηση πλημμύρας



Διευθέτηση νερού μέσης στάθμης

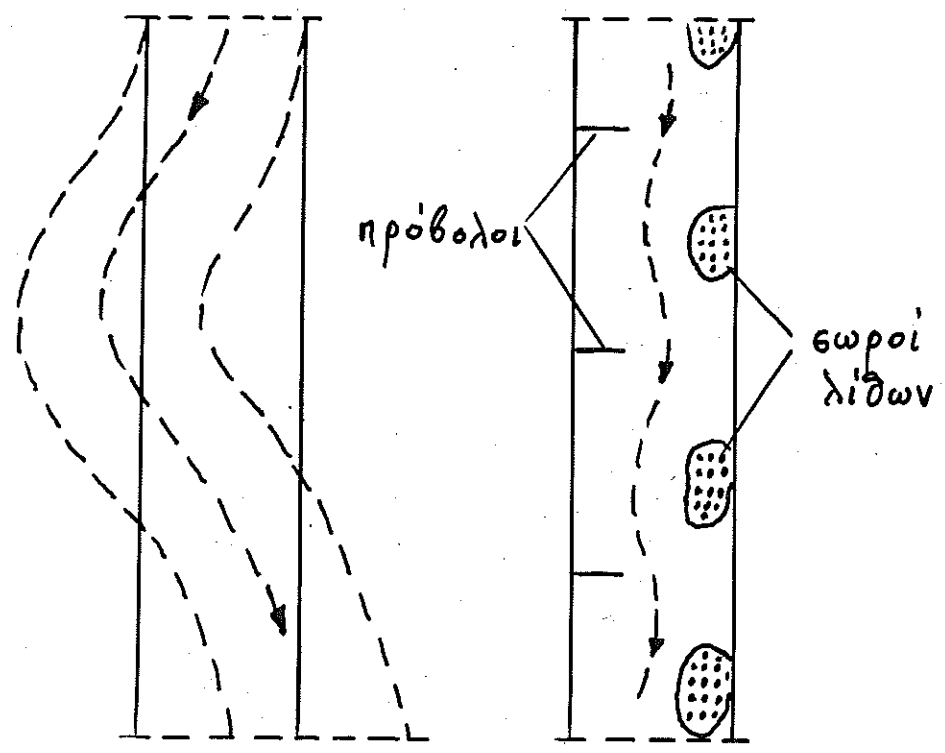


Διευθέτηση νερού χαμηλής στάθμης

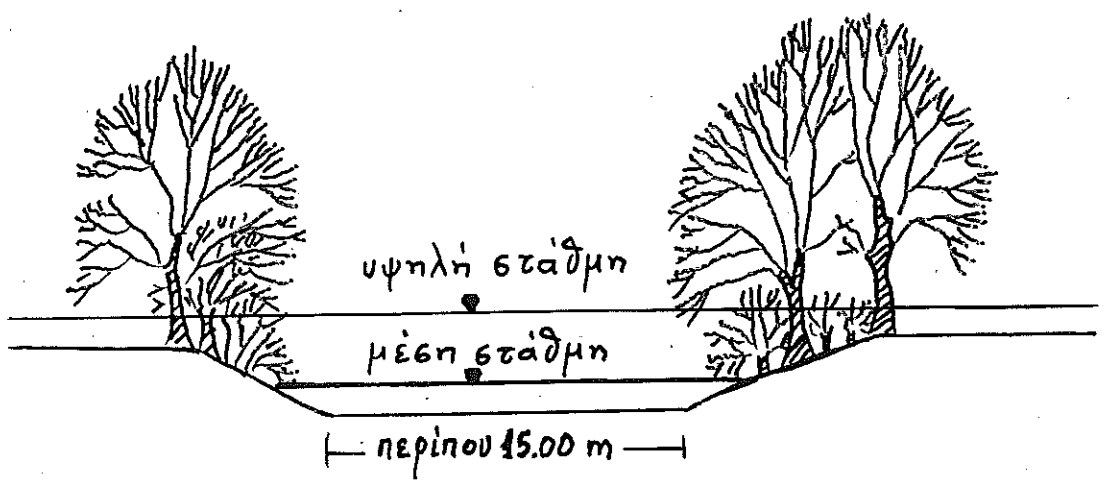


Σύγχρονες τάξεις στη διεύθυνση ποταμών

Επαναφορά ευθυγράμμου τμήματος ποταμού στη φυσική του κατάσταση



Φυτοκάλυψη πρανών και οχθών ενός ποταμού



Σχεδιασμός της διατομής ποταμού

α. Θεωρία του "καθεστώτος" (regime)

$$\left. \begin{array}{l} h = f(Q) \\ b = f(Q) \\ I_s = f(Q) \end{array} \right\} \text{εμπειρικές σχέσεις}$$

h : βάθος νερού

b : πλάτος ποταμού

I_s : κατά μήκος κλίση του πυθμένα

Q : παροχή

β. Θεωρία της ευρτικής τάσης

Οι τιμές της ευρτικής τάσης και της ταχύτητας νερού που αντιστοιχούν στην παροχή μελέτης συγκρίνονται προς τις κρίσιμες τιμές των ανωτέρω μεγεθών για το υλικό της κοίτης.

Παροχή μελέτης : βάσει αυτής καθορίζονται οι διαστάσεις της διατομής του ποταμού

Κρίσιμες τιμές : έναρξη μεταφοράς του υλικού της κοίτης από το νερό

Διαστασιολόγηση τραπεζοειδούς διατομής

$$v = k_{st} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

(Gaukler-Manning-Strickler)

$$\tau = \rho g R I$$

v : μέση ταχύτητα ροής [m/s]

k_{st} : συντελεστής εξαρτώμενος από την τραχύτητα της κοίτης
[m^{1/3}/s]

R : υδραυλική ακτίνα [m]

I : κλίση γραμμής ενέργειας

τ : θυρτική τάση (διατμητική τάση πυθμένα) [N/m²]

ρ : πυκνότητα νερού [kg/m³]

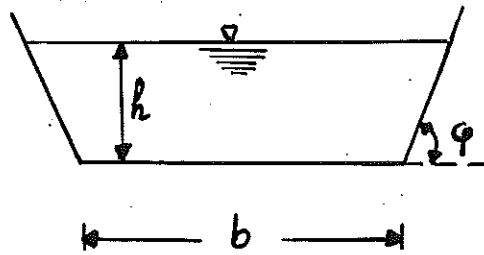
g : επιτάχυνση βαρύτητας [m/s²]

- Συνήθως γνωστά : Q [m³/s] (παροχή νερού), I [%]

- Εκτιμώνται : k_{st} [m^{1/3}/s], τ_{cr} [N/m²]
κρίσιμη θυρτική τάση

- Εκλέγεται : κλίση πρανών m

- Υπολογίζονται : βάθος νερού h και πλάτος πυθμένα b



Ανάλυση

$$\cot \varphi = m$$

$$x = b/h$$

$$A = bh + mh^2 = h^2 \left(\frac{b}{h} + m \right) = h^2 (x + m)$$

A: υγρή διατομή

$$U = b + 2h\sqrt{1+m^2} = h(x + 2\sqrt{1+m^2})$$

U: βρεχόμενη περιμετρος

$$y = \frac{U}{\sqrt{A}} = \frac{h(x + 2\sqrt{1+m^2})}{h\sqrt{x+m}} = \frac{x + 2\sqrt{1+m^2}}{\sqrt{x+m}}$$

Σύνθεση

- Γνωστά: I, Q, τ_{cr}, K_{st}
- Υπολογισμός R από τη σχέση $\tau_{cr} = \rho g R I$
- Υπολογισμός v από τον τύπο του Manning
- $A = Q/v$
- $U = A/R$
- $y = U/\sqrt{A}$
- Από πίνακα: x συναρτήθει των y και m

- Εύρεση του βάθους h

$$h = \frac{U}{x + 2\sqrt{1+m^2}}$$

- $b = xh$

Πινακας: Τιμές του μεγέθους $y = U/\sqrt{A}$

x \ m	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1	2.707	2.913	3.159	3.413	3.662
2	2.788	2.996	3.236	3.481	3.723
3	2.914	3.114	3.342	3.575	3.807
4	3.053	3.243	3.459	3.681	3.902
5	3.196	3.375	3.580	3.792	4.004
6	3.337	3.507	3.702	3.905	4.108
7	3.474	3.638	3.824	4.018	4.214
8	3.609	3.765	3.944	4.131	4.319
9	3.740	3.890	4.062	4.242	4.424
10	3.868	4.012	4.178	4.352	4.528
15	4.457	4.580	4.723	4.873	5.024
20	4.981	5.091	5.217	5.352	5.489

Διαστασιολόγηση σύμφωνα με τη θεωρία της διατομής
μέγιστης παροχής ή οικονομικής διατομής

$$- \boxed{R = \frac{h}{2}}$$

$$- R = \frac{A}{U} = \frac{h^2(x+m)}{h(x+2\sqrt{1+m^2})} = \frac{h}{2} \Rightarrow$$

$$- x = 2\sqrt{1+m^2} - 2m$$

$$- Q = A \cdot v = h^2(x+m) K_{st} I^{1/2} \left(\frac{h}{2}\right)^{2/3} \Rightarrow$$

$$- h^{8/3} = \frac{2^{2/3} \cdot Q}{(x+m) K_{st} I^{1/2}}$$

$$- b = xh$$

Διαστασιολόγηση εύγωννα με τη μέθοδο του

US Bureau of Reclamation (USBR)

- Παραδοχή: $h = \frac{\sqrt{A}}{2} \Rightarrow A = 4h^2$

- $A = h^2 \left(\frac{b}{h} + m \right) \Rightarrow 4h^2 = h^2 \left(\frac{b}{h} + m \right) \Rightarrow \frac{b}{h} = 4 - m$

- $R = \frac{A}{U} = \frac{4h^2}{h \left(\frac{b}{h} + 2\sqrt{1+m^2} \right)} = \frac{4h}{4-m+2\sqrt{1+m^2}}$

- $Q = A \cdot v = 4h^2 \cdot K_{st} \cdot I^{1/2} \cdot R^{2/3} = 4h^2 \cdot K_{st} \cdot I^{1/2} \cdot \left(\frac{4h}{4-m+2\sqrt{1+m^2}} \right)^{2/3}$

- $h^{8/3} = \frac{(4-m+2\sqrt{1+m^2})^{2/3} \cdot Q}{4^{5/3} \cdot K_{st} \cdot I^{1/2}}$

- $b = (4-m)h$

Υπολογισμός στερεοπαροχής κατά Meyer-Peter και Müller

$$m_G = \frac{8}{g} \sqrt{\frac{I}{\rho}} [\rho g I_T R_s - 0.047 (\rho_s - \rho) g d_m]^{3/2}$$

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \rho g I_T R_s \\ \tau_{ct} &= 0.047 (\rho_s - \rho) g d_m \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Σύγκριση ανάμεσα στο } \tau \\ \text{και στο } \tau_{ct} \end{array}$$

m_G : στερεοπαροχή φορτίου κοίτης ανά μονάδα πλάτους της διατομής $[\frac{kg}{m \cdot s}]$

Υπολογισμός της m_G κάτω από την επιφάνεια του νερού

ρ : πυκνότητα νερού $[kg/m^3]$ (συνήθως $\rho = 1000 kg/m^3$)

ρ_s : πυκνότητα φερτών υλών $[kg/m^3]$

(για άμμο $\rho_s = 2650 kg/m^3$)

g : επιτάχυνση βαρύτητας $[m/s^2]$ ($g = 9.81 m/s^2$)

d_m : μέση διάμετρος κόκκων $[m]$

I_T : κλίση τριβής

R_s : υδραυλική ακτίνα εκείνου του τμήματος της διατομής, που επηρεάζει τη μεταφορά φορτίου κοίτης $[m]$

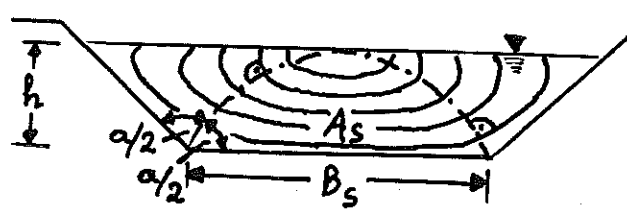
Υδραυλική ακτίνα R_s

$$R_s = \frac{A_s}{B_s}$$

B_s : πλάτος ποταμού στον πυθμένα [m]

A_s : τμήμα της διατομής του ποταμού που επηρεάζει τη μεταφορά του φορτίου κοίτης [m²]

R_s : [m]



Ισοταχείς

Προεχρησιμοποιημένες μέθοδοι εκτίμησης της R_s

(1) $R_s = 0.8h - 1.0h$

$R_s = h$, όταν $B_s > 30h$

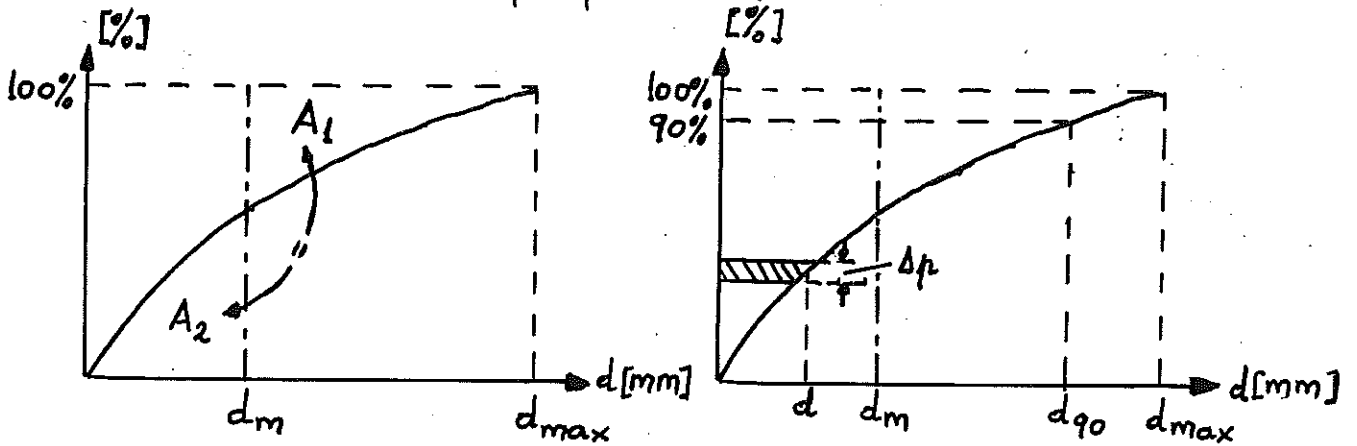
(2) $R_s = h \frac{A_s}{A} \approx h \frac{Q_s}{Q} \approx h \frac{B_s}{U}$

U : βρεχομένη περίμετρος

Q_s : παροχή μέσω της διατομής A_s

Μέση Διάμετρος Κόκκων

Κοκκομετρική καμπύλη



$$d_m = \frac{\sum (d \cdot \Delta p)}{100}$$

Κλίση I_T

$$I_T = I \left(\frac{K_S}{K_T} \right)^{3/2}$$

I : κλίση γραμμής ενέργειας

K_S : συντελεστής τραχύτητας κατά Strickler [m^{1/3}/s]
(ολική τραχύτητα)

$$K_S = 21 / \sqrt[6]{d_{90}}$$

K_T : συντελεστής τραχύτητας της κοίτης εξαρτώμενος μόνο από το μέγεθος των κόκκων [m^{1/3}/s]

(τραχύτητα κόκκων)

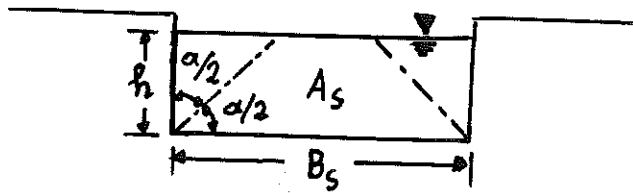
$$K_T = 26 / \sqrt[6]{d_{90}}$$

- Για ευθύγραμμη ροή και επίπεδη κοίτη : K_S/K_T = 1

- Για καμπυλόγραμμη ροή και ανώμαλη κοίτη : 0.8 ≤ K_S/K_T < 1

(3) Προέχληση της μεθόδου των ισοταχών

Ορθογωνική διατομή



$\alpha = 90^\circ$

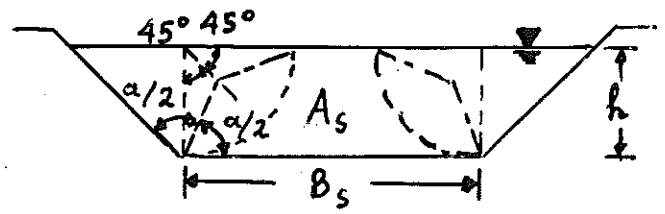
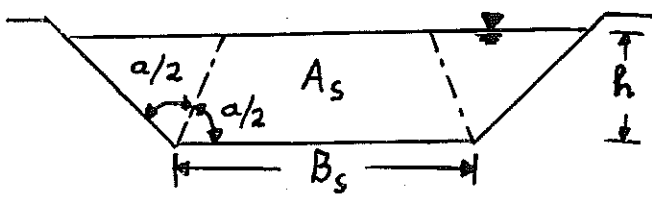
$R_s = \frac{A_s}{B_s}$

$A_s = B_s h - h^2$

$R_s = h \left(1 - \frac{h}{B_s} \right)$

για $B_s > 2h$

Τραπεζοειδής διατομή



Αριθμητικό παράδειγμα

- Φυσικός ανοικτός αγωγός ορθογωνικής διατομής
 - πλάτος αγωγού $b = 45.0 \text{ m}$
 - βάθος ροής $h = 3.5 \text{ m}$
 - μέση ταχύτητα ροής $u = 2.10 \text{ m/s}$
 - κλίση κοίτης $I = 6.5 \times 10^{-4}$
 - συντελεστής τραχύτητας $K_{st} = 38.0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
 - υλικό κοίτης $d_{90} = 7.9 \text{ cm}$
 $d_{50} = 1.2 \text{ cm}$
 $\rho_F = 2650 \text{ kg/m}^3$

- Ροή: σταθερή και ομοιόμορφη
- Να υπολογιστεί η στερεοπαροχή κοίτης ανά μονάδα πλάτους του αγωγού σύμφωνα με τη μέθοδο των Meyer-Peter και Müller

Λύση

$$m_G = \frac{8}{g} \frac{\rho_F}{\rho_F - \rho_w} \sqrt{\frac{I}{\rho_w}} (\rho_w g I R_s - 0.047 \rho' \rho_w g d_m)^{3/2}$$

$$m_G = \frac{8}{g} \frac{\rho_F}{\rho_F - \rho_w} \sqrt{\frac{I}{\rho_w}} (\tau_0 - \tau_{0,cr})^{3/2}$$

m_0 : στερεοπαροχή κοίτης ανά μονάδα πλάτους [$\frac{kg}{m \cdot s}$]

I_R : κλίση γραμμής ενέργειας λόγω τριβής (μεμονωμένων κόκκων)

R_s : υδραυλική ακτίνα εκείνου του τμήματος της διατομής που επηρεάζει την κίνηση στην κοίτη [m]

ρ' : σχετική πυκνότητα φερτών υλών

$$\rho' = \frac{\rho_F - \rho_w}{\rho_w}$$

ρ_F : πυκνότητα φερτών υλών [kg/m^3]

ρ_w : πυκνότητα νερού [kg/m^3]

τ_0 : στιγμαία θυρτική τάση [N/m^2]

$\tau_{0,cr}$: κρίσιμη θυρτική τάση [N/m^2]

d_m : μέση διάμετρος κόκκων [m]

$$I_R = \left(\frac{k_{st}}{k_T} \right)^{3/2} \cdot I$$

k_T : συντελεστής τραχύτητας κόκκων [$m^{1/3}/s$]

I : συνολική κλίση γραμμής ενέργειας

$$k_T = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$

$\rho' = \frac{\rho_F - \rho_w}{\rho_w} = \frac{2650 - 1000}{1000} = 1.65$

$k_r = \frac{26}{\sqrt[6]{d_{90}}} = \frac{26}{\sqrt[6]{0.079}} = 39.7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

$I_R = \left(\frac{k_{st}}{k_r}\right)^{3/2} I = \left(\frac{38.0}{39.7}\right)^{3/2} \times 6.5 \times 10^{-4} = 6.087 \times 10^{-4}$

Εύρεση υδραυλικής ακτίνας R_s

- Μέθοδος Einstein και Barbatossa

$A = R_w U_w + R_s U_s$

$R_w = \left(\frac{u}{k_w I^{0.5}}\right)^{1.5}$

$R_s = \frac{A - \left(\frac{u}{k_w I^{0.5}}\right)^{1.5} U_w}{U_s}$

A : υγρή διατομή [m²]

R : υδραυλική ακτίνα [m]

U : βρεχομένη περίμετρος [m]

δείκτης s \Rightarrow κοίτη

δείκτης w \Rightarrow τοιχώματα

- Παραδοχή: $K_w = K_{st} = 38.0 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$

$A = 45 \times 3.5 = 157.5 \text{ m}^2$

$U_w = 3.5 + 3.5 = 7.0 \text{ m}$

$U_s = 45 \text{ m} \Rightarrow R_s = 3.0 \text{ m}$

$u = 2.10 \text{ m/s}$

$I = 6.5 \times 10^{-4}$

- Στην θέση της d_m θέτουμε την $d_{50} = 0.012 \text{ m}$

$m_G = \frac{8}{9.81} \times 1.61 \times \sqrt{\frac{I}{1000}} \times$

$\times (1000 \times 9.81 \times 6.087 \times 10^{-4} \times 3.0 - 0.047 \times 1.65 \times 1000 \times 9.81 \times 0.012)^{3/2} =$

$= 1.07 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$

3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ

Κατηγορίες τεχνικών έργων

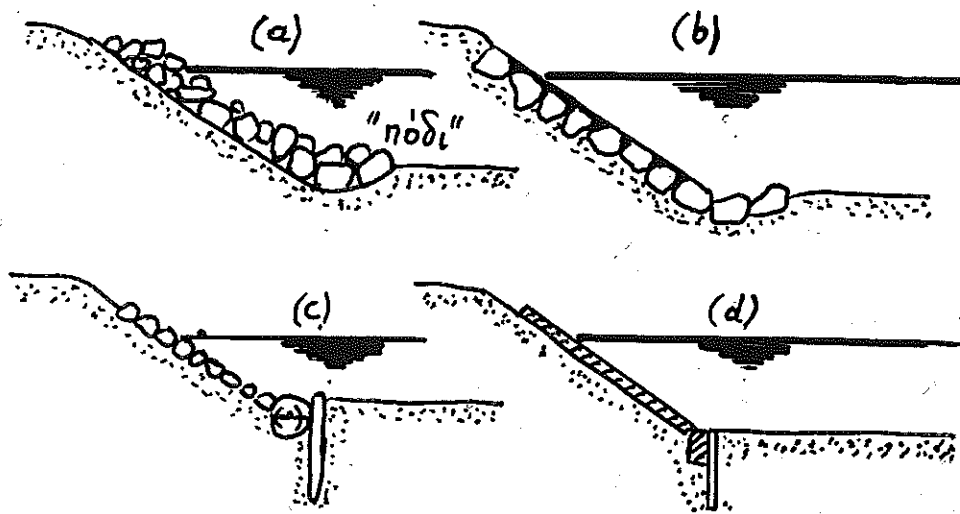
- Έργα προστασίας πρανών
- Έργα διευθέτησης και καθοδήγησης της κοίτης
- Έργα σταθεροποίησης του πυθμένα
- ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ
- Αντιπλημμυρικά έργα

Υλικά έργων διευθέτησης

- Λίθοι (λιθορριπή, επένδυση, επίστρωση, λιθοδομή)
- Σκυρόδεμα (κυβόλιθοι, πλάκες, σε ρευετή κατάσταση)
- Ξύλο (τεμάχια κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής, κλαδοπλέγματα)
- Τάπητες από χόρτο
(τεμάχια χλωρού εδάφους με πλευρά 30-33 cm και πάχος 8-15 cm).
- Σίδηρος (μεμονωμένοι πάσσαλοι, μεταλλικό πλέγμα)

Έργα προστασίας πρανών

- Προστασία έναντι διάβρωσης
- Στα ευθύγραμμα τμήματα : προστασία και των δύο οχθών
- Στα καμπυλόγραμμα τμήματα : προστασία μόνο της εξωτερικής κοίλης όχθης



- (a) λιθορριπή
- (b) λιθοδομή
- (c) λιθοδομή, κορμός δένδρου, πάσσαλοι
- (d) πλάκα από εκυρόδεμα, πασσαλοβανίδα

Έργα διευθέτησης και καθοδήγησης του κυρίου ρεύματος

Σκοπός: Περιορισμός του κυρίου ρου του ποταμού μέσα σε μια προκαθορισμένη ζώνη

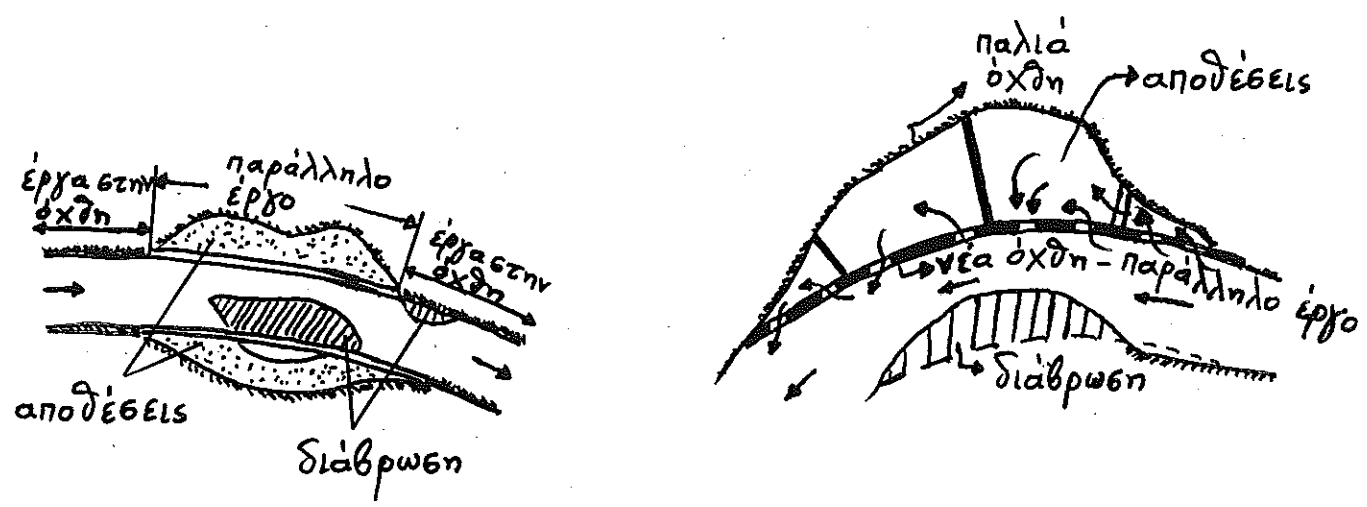
Κατηγορίες:
α. Παράλληλα έργα
β. Εγκάρσια έργα ή πρόβολοι

Παράλληλα έργα

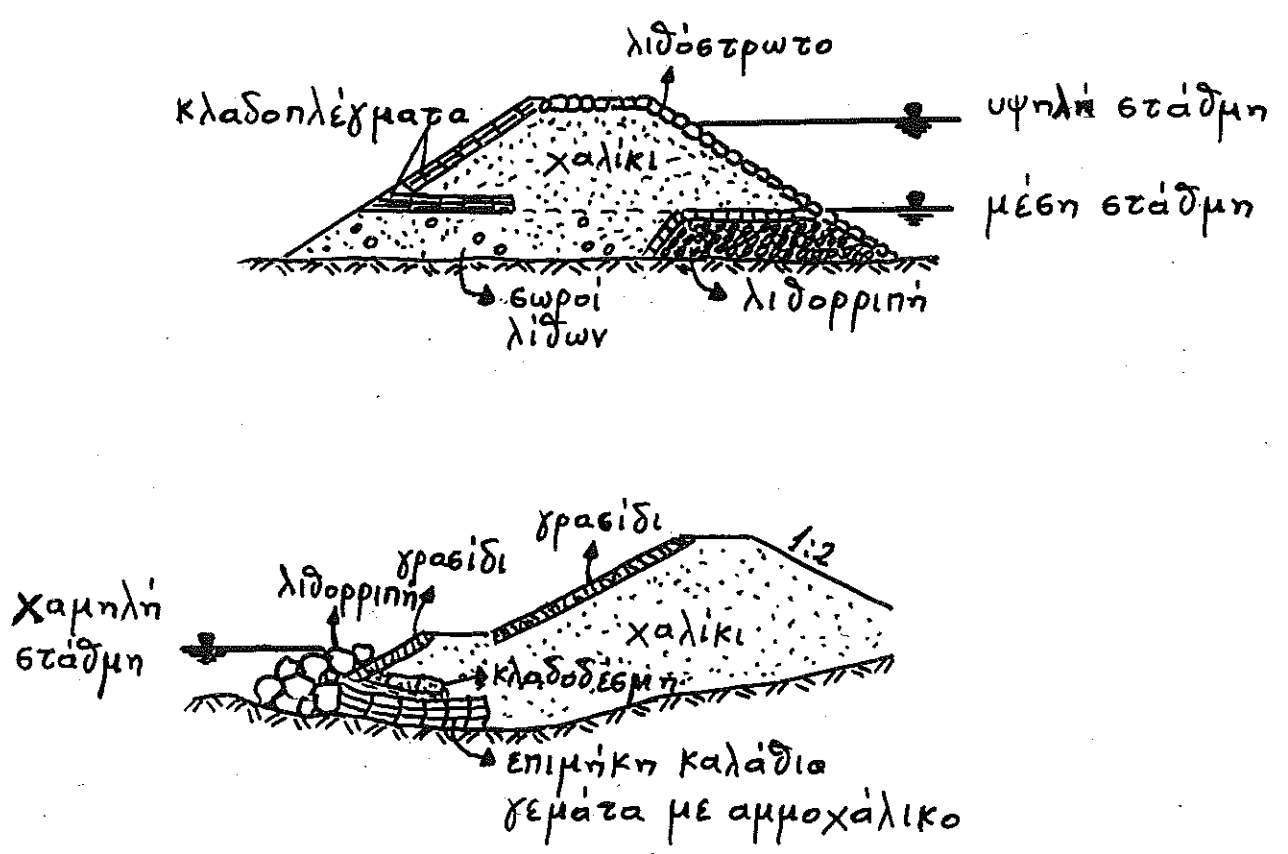
Στάδια κατασκευής της νέας όχθης:

- α) Κατασκευή του αρχικού κατά μήκος έργου
- β) Πρόσχωση του χώρου ανάμεσα στην αρχική όχθη και στο έργο
- γ) Περάτωση της διευθέτησης
 - τεχνητή επιχωμάτωση του υπολειπόμενου χώρου
 - προστατευτική επένδυση της νέας όχθης
 - δενδροφύτευση και διακόσμηση της νέας περιοχής

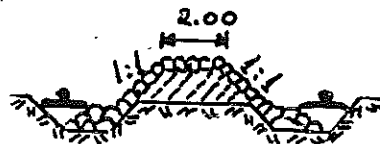
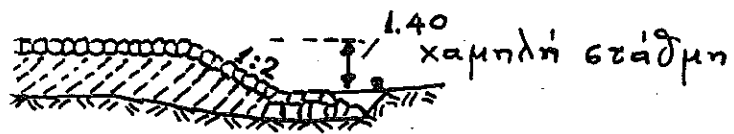
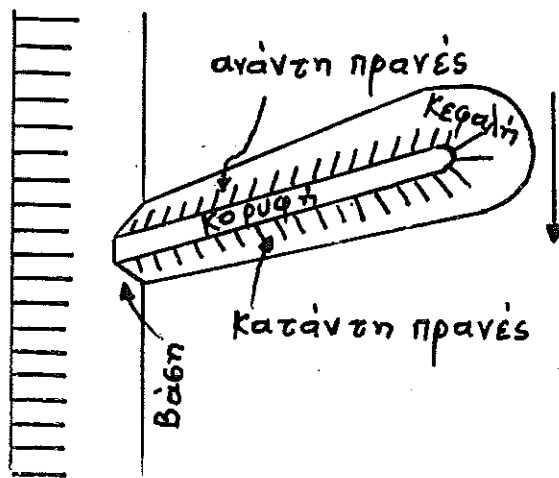
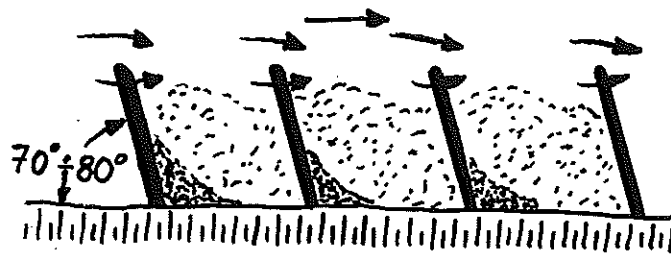
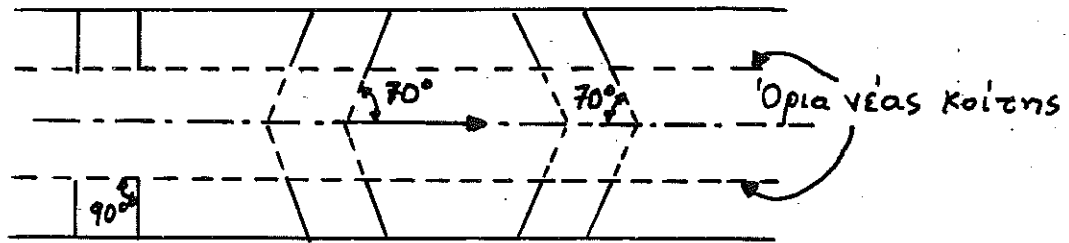
Οριζοντιογραφία παράλληλου έργου



Διατομή παράλληλου έργου



Εγκάρδια έργα ή πρόβολοι



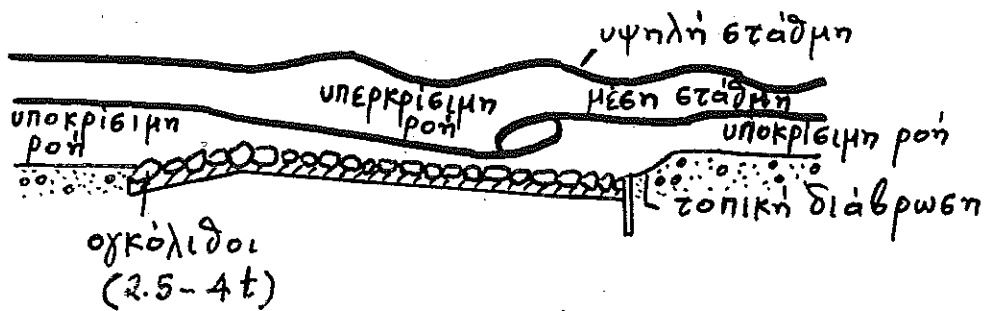
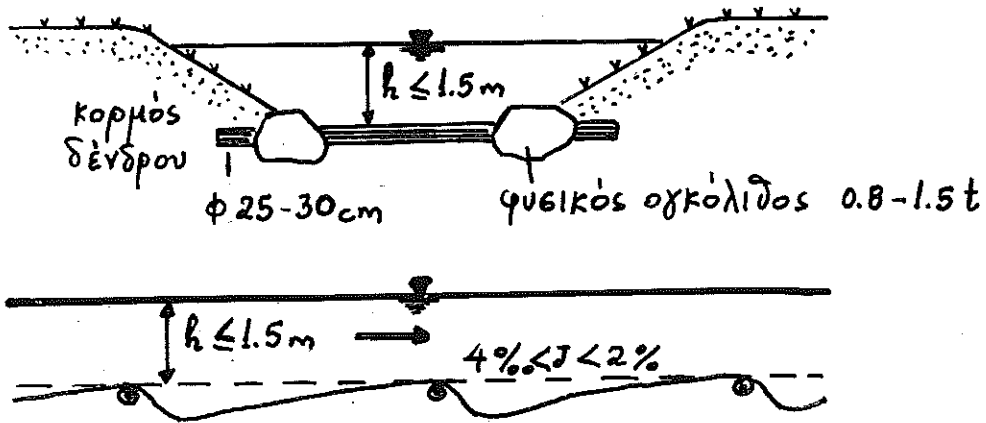
Σύγκριση μεταξύ παραλλήλων και εγκάρσιων έργων

- Παράλληλα έργα: Ενδείκνυνται για απόσταση μεταξύ αρχικής και νέας κοίτης μικρότερη των 10-15 m
- Πρόβολοι:
 - τροποποίηση εκ των υστέρων του πλάτους της κοίτης
 - μικρότερο κόστος κατασκευής
 - εμπόδιο στη ναυσιπλοΐα
 - ανομοιομορφία της νέας κοίτης
 - δεν ενδείκνυνται για ορεινούς ποταμούς με μεγάλη στερεοπαροχή

Έργα σταθεροποίησης του πυθμένα

- Σταθεροποίηση, υπερύψωση της κοίτης
- Αλλαγή της φυσικής κλίσης της κοίτης
- Κατηγορίες έργων: Κατώφλια, αναβαθμοί, φραγμάτια
- Κατώφλια: προεξέχουν του εδάφους της κοίτης ή όχι

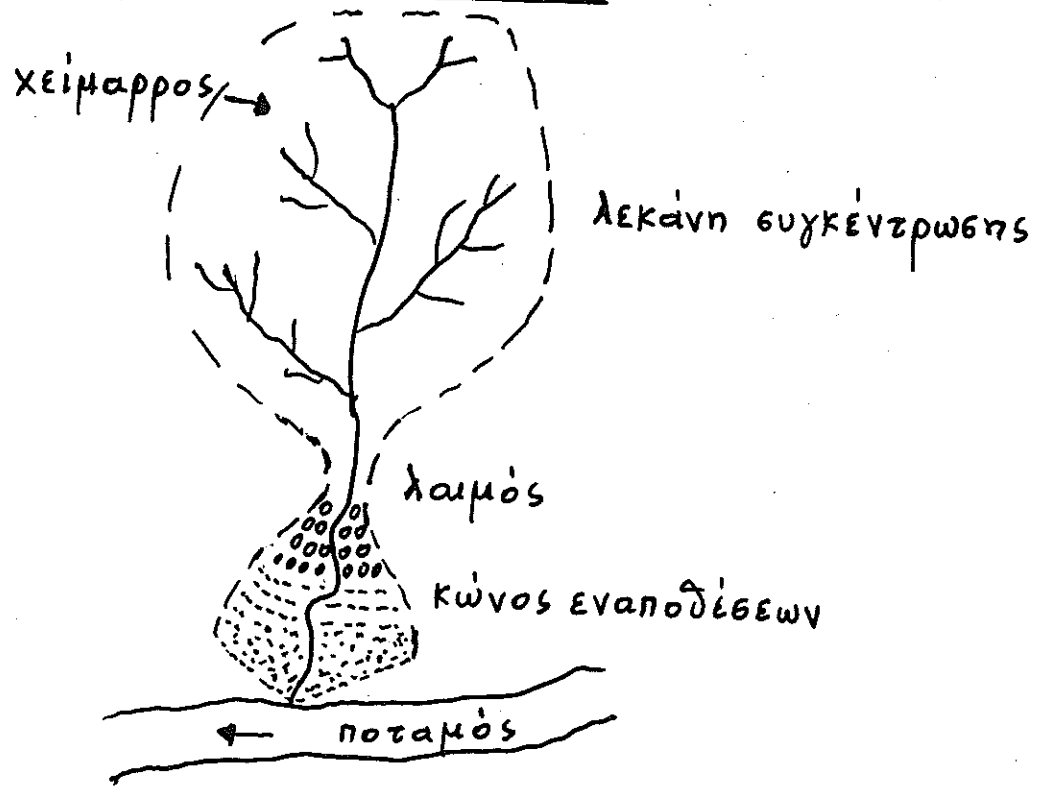
Παραδείγματα κατωφλιών



ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

- Προστασία πεδινών παραγωγικών εκτάσεων και ανθρωπίνων οικισμών από τις πλημμύρες
- Πλημμύρα: Ανεπάρκεια της κύριας κοίτης ενός ρεύματος προς διοχέτευση μιας αυξημένης παροχής νερού (ραγδαία βροχή, ταχεία τήξη του χιονιού)
- Λόγοι της ανεπάρκειας:
 - Περιορισμένο μέγεθος διατομής
 - Μικρή κλίση της κοίτης
 - Μείωση της ταχύτητας ροής (αύξηση της τραχύτητας)
- Μετρίαση πλημμυρών (flood mitigation)
- Κατευθύνσεις λήψης μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας:
 - Καταπολέμηση των διαβρώσεων στο ορεινό τμήμα της λεκάνης απορροής ενός ποταμού
 - Μείωση της παροχής αιχμής της πλημμύρας
 - Αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας της κύριας κοίτης του ρεύματος
 - Αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας της κοίτης του ρεύματος με την αύξηση της διαθέσιμης υγρής διατομής.

Έργα διαχείρισης ορεινών λεκανών απορροής και διευθέτησης χειμάρρων

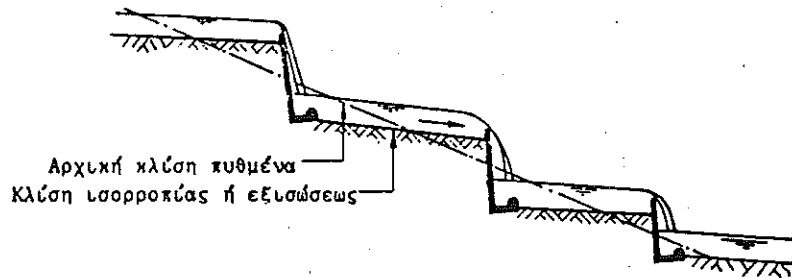


- φυτοκάλυψη
- χρήση γαιών ανάλογα προς την κλίση αυτών:
 - κλίση μέχρι 2% ⇒ αεθενής διάβρωση
 - κλίση από 2% μέχρι 25% ⇒ αντιδιαβρωτικά μέτρα (άρωση κατά τις ισοϋψείς, αναβαθμίδωση του εδάφους)
 - κλίση από 25% μέχρι 50% ⇒ ακατάλληλες προς καλλιέργεια

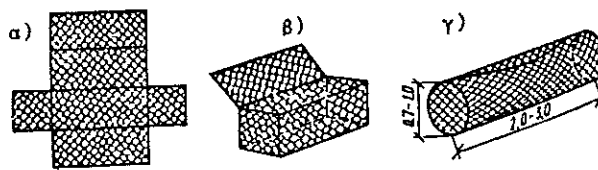
- Έργα διευθέτησης των χειμάρρων:
 - Εγκάρσια έργα (αναβαθμοί και φράγματα)
 - Παράλληλα έργα
 - έργα πάνω στις όχθες
 - πρόβολοι
 - Επένδυση της κοίτης

Έργα για τη μείωση της παροχής αιχμής μιας πλημμύρας

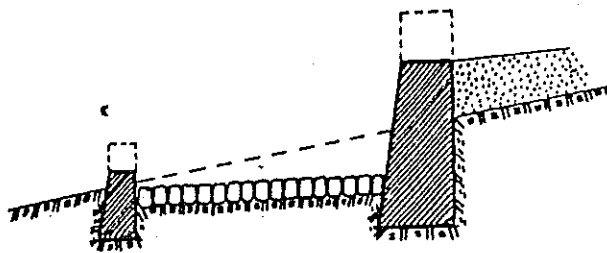
- Διαχείριση της ορεινής λεκάνης απορροής
- Τεχνητές λίμνες ή ταμιευτήρες
 - Ταμιευτήρες ή δεξαμενές αναχέσεως
 - Τεχνητές λίμνες αποθηκείσεως
- Δίοδοι ανακούφισης πλημμυρών (floodways)



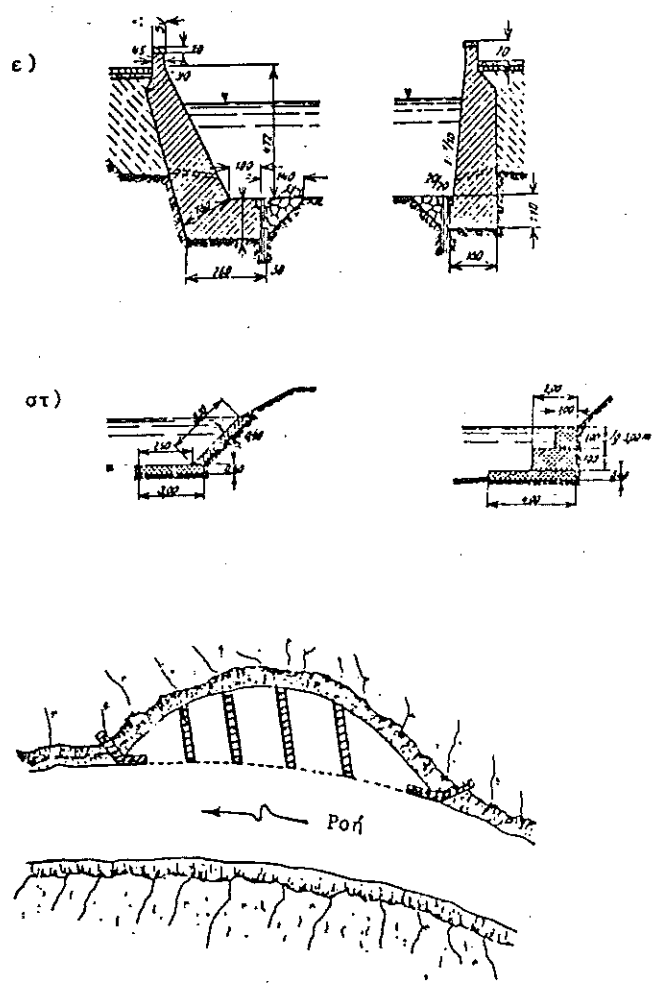
Σχ.11.2 Σειρά αναβαθμών για μείωση της κλίσεως ενός χειμάρρου



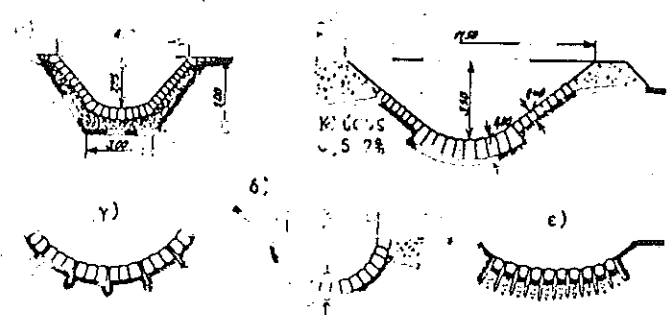
Σχ.11.3 Συρματοκιβώτια (α) Ανάπτυγμα, (β) Ευναμολογημένο, (γ) Κυλινδρικό



Σχ.11.5 Αναβαθμός από σκυρόδεμα με λίθινη κοιτόστρωση και προστατευτικό μετάφραγμα

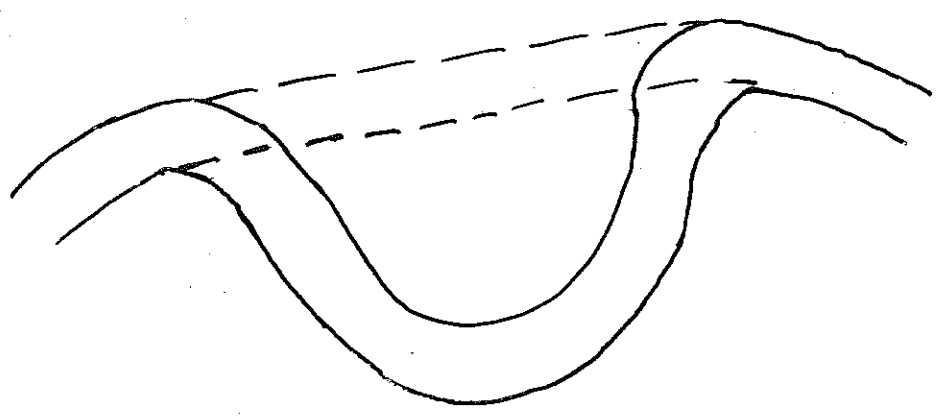
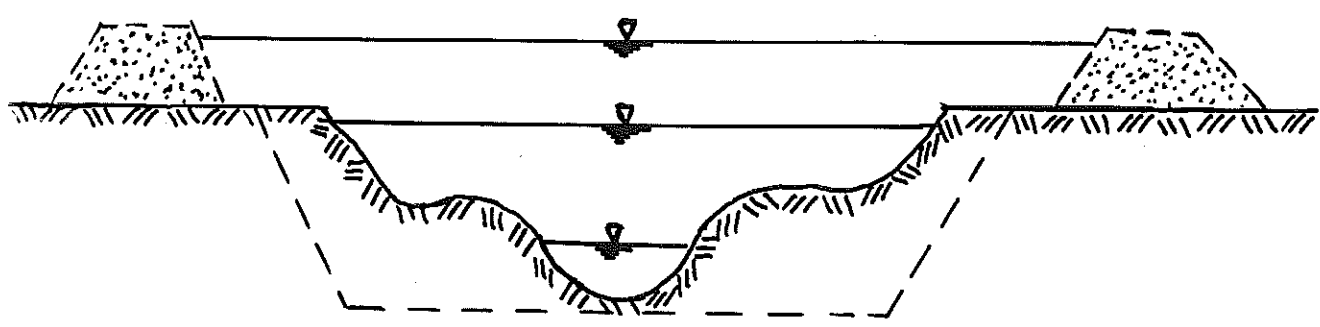


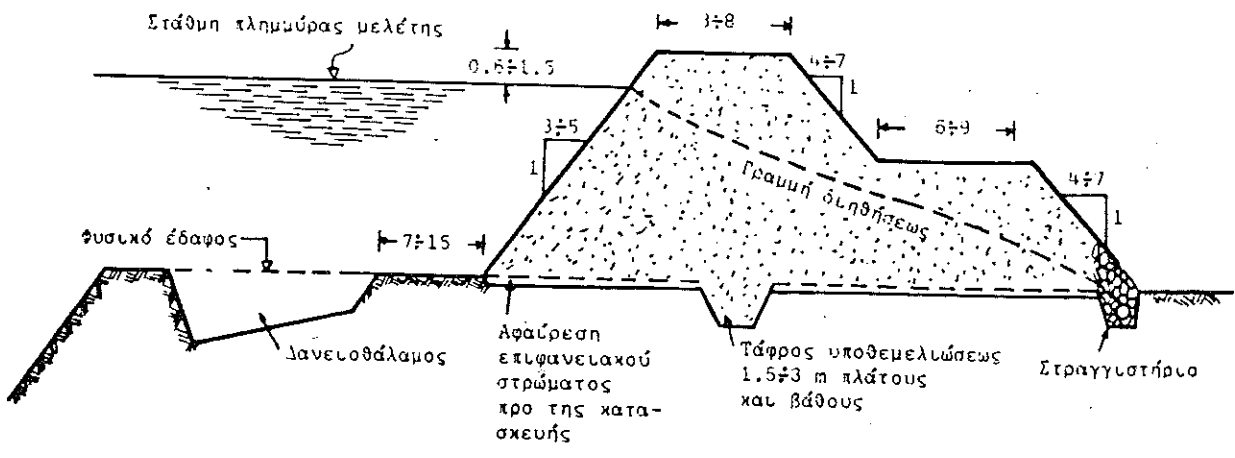
Σχ.11.7 Διάταξη προβόλων για την αποτροπή διαβρώσεως της όχθης χειμάρρου ή ποταμού



Έργα για την αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας της κύριας κοίτης του ρεύματος

- Αύξηση της διατομής της κύριας κοίτης
- Αύξηση της ταχύτητας ροής
 - Μείωση του συντελεστή τραχύτητας
 - Αύξηση της υδραυλικής ακτίνας
 - Αύξηση της κλίσης του πυθμένα

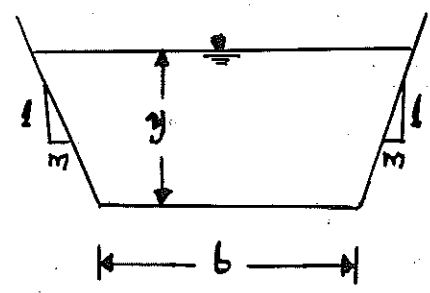




Σχ.11.12 Τυπική διατομή αντιπλημμυρικού αναχώματος σε έργα μεγάλης σημασίας (διαστάσεις σε μέτρα)

Αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας της κοίτης ενός ρεύματος με την κατασκευή αναχωμάτων

Συνάρτηση αγωγιμότητας



$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2}$$

$$f_n(b, y, m) = AR^{2/3}$$

f_n : συνάρτηση αγωγιμότητας

$$\bar{f}_n(\bar{y}, m) = \frac{AR^{2/3}}{b^{8/3}}$$

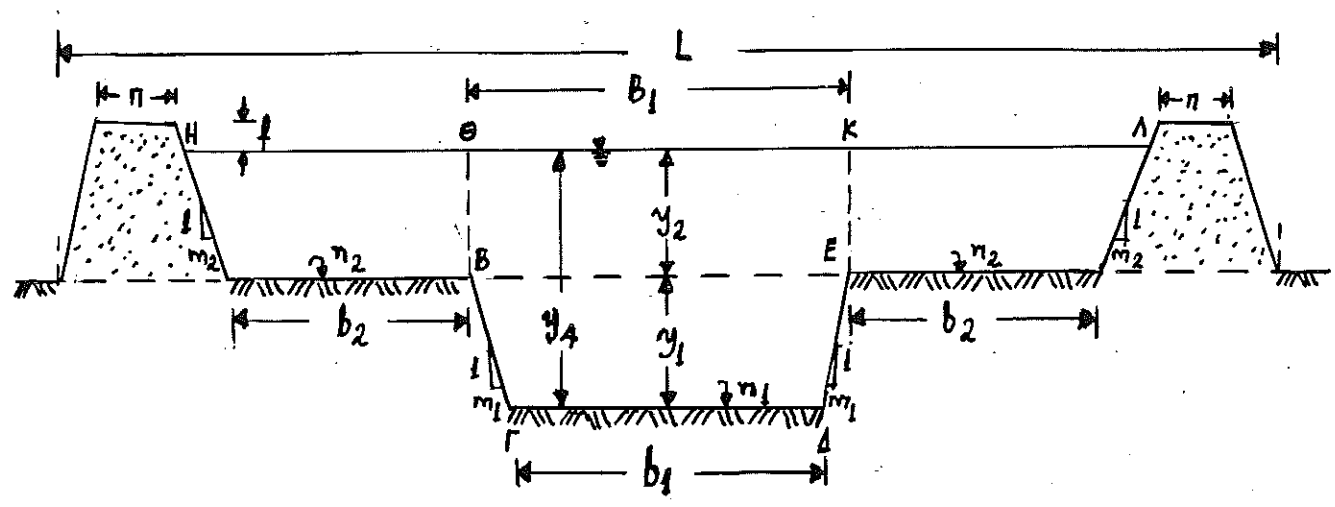
\bar{f}_n : συνάρτηση αγωγιμότητας σε αδιάστατη μορφή

$$\bar{y} = \frac{y}{b}$$

$$\bar{f}_n = \frac{Q_n}{S_0^{1/2} b^{8/3}}$$

- Πινακοποίηση της συνάρτησης αγωγιμότητας $\bar{f}_n(\bar{y}, m)$:
 Για δεδομένο b μπορεί να ευρεθεί το y
 Για δεδομένο y , το b ευρίσκεται με διαδοχικές προεχθίσεις

Διαστασιολόγηση σύνθετης τραπεζοειδούς διατομής



Δεδομένα:

$Q_1 = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ (μέγιστη παροχή κύριας κοίτης)

$Q_2 = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ (μέγιστη παροχή πλημμυρικής κοίτης)

$m_1 = 1.5$

$n_1 = 0.05$ (αραιά χαμόκλαδα στις όχθες της κύριας κοίτης)

$m_2 = 2.0$

$n_2 = 0.07$ (αρκετά πυκνή βλάστηση στην πλημμυρική κοίτη)

$S_0 = 0.001$

Διαστασιολόγηση κύριας κοίτης

$$\bar{f}_{n,1} = \frac{Q_1 \cdot \eta_1}{S_0^{1/2} b_1^{8/3}} = \frac{200 \times 0.05}{0.001^{1/2} \cdot b_1^{8/3}} = \frac{316.23}{b_1^{8/3}}$$

$$\bar{y}_1 = y_1 / b_1$$

$$A_1 = b_1 y_1 + 2 \left(\frac{1}{2} m_1 y_1^2 \right) = (b_1 + m_1 y_1) y_1$$

$$u_1 = Q_1 / A_1$$

b_1 [m]	$\bar{f}_{n,1}$	\bar{y}_1	y_1 [m]	A_1 [m ²]	u_1 [m/s]
30	0.03639	0.1335	4.01	144.42	1.38
40	0.01690	0.0852	3.41	153.84	1.30
50	0.00932	0.0600	3.00	163.50	1.22
60	0.00573	0.0447	2.68	171.57	1.17
70	0.00380	0.0350	2.45	180.50	1.11

- Επιλέγεται το ζεύγος τιμών $b_1 = 50 \text{ m}$ και $y_1 = 3.0 \text{ m}$

Διαστασιολόγηση πλημμυρικής κοίτης

Δεδομένα: $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$ (συνολική παροχή)

$$y_2 = 3.0 \text{ m}$$

Ζητείται: b_2 (πλάτος πλημμυρικής κοίτης)

$$B_1 = b_1 + 2 m_1 y_1 = 50 + (2 \times 1.5 \times 3.0) = 59.0 \text{ m}$$

$$A_4 = B_1 \cdot y_2 + (b_1 + m_1 y_1) y_1 = (59.0 \times 3.0) + (50 + 1.5 \times 3.0) 3.0 = 340.5 \text{ m}^2$$

$$P_4 = b_1 + 2 \sqrt{y_1^2 + m_1^2 y_1^2} = b_1 + 2 y_1 \sqrt{1 + m_1^2} = 50 + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{1 + 1.5^2} = 60.817 \text{ m}$$

$$R_4 = A_4 / P_4 = 340.5 / 60.817 = 5.599 \text{ m}$$

$$f_{\eta,4} = A_4 R_4^{2/3} = 340.5 \times 5.599^{2/3} = 1073.6 \text{ m}^{8/3}$$

$$Q_4 = \frac{1}{\eta_1} A_4 R_4^{2/3} S_0^{1/2} = \frac{1}{\eta_1} f_{\eta,4} S_0^{1/2} = \frac{1}{0.05} \times 1073.6 \times 0.001^{1/2} = 679 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$u_4 = Q_4 / A_4 = 679 / 340.5 = 1.99 \text{ m/s}$$

$$Q = Q_4 + 2Q_2 \Rightarrow Q_2 = \frac{Q - Q_4}{2} = \frac{1500 - 679}{2} = 410.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = \frac{1}{\eta_2} A_2 R_2^{2/3} S_0^{1/2} = \frac{1}{\eta_2} f_{\eta,2} S_0^{1/2} \Rightarrow$$

$$f_{\eta,2} = \frac{Q_2 \eta_2}{S_0^{1/2}} = \frac{410.5 \times 0.07}{0.001^{1/2}} = 908.68 \text{ m}^{8/3}$$

$$A_2 = b_2 y_2 + \frac{1}{2} m_2 y_2^2 = y_2 (b_2 + \frac{1}{2} m_2 y_2)$$

$$P_2 = b_2 + \sqrt{y_2^2 + m_2^2 y_2^2} = b_2 + y_2 \sqrt{1 + m_2^2}$$

$$R_2 = A_2 / P_2$$

$$f_{n,2} = A_2 R_2^{2/3}$$

b_2 [m]	A_2 [m ²]	P_2 [m]	R_2 [m]	$f_{n,2}$ [m ^{8/3}]
135	414.0	141.71	2.921	846.07
140	429.0	146.71	2.924	877.26
145	444.0	151.71	2.927	908.45
150	459.0	156.71	2.929	939.64
155	474.0	161.71	2.931	970.83

$$b_2 = 145 \text{ m}$$

Τελικά: $b_1 = 50 \text{ m}$ $y_1 = 3.0 \text{ m}$ (Κύρια Κοίτη)

$b_2 = 145 \text{ m}$ $y_2 = 3.0 \text{ m}$ (πλημμυρική κοίτη)

$f = 1.0 \text{ m}$ (περίθωρο ασφαλείας)

$\pi = 4.0 \text{ m}$ (πλάτος στέψης αναχωμάτων)

$L = 389 \text{ m}$ (συνολικό πλάτος διατομής)

4. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Νόμοι ροής

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{8gRI}$$

Darcy-Weisbach

v : μέση ταχύτητα ροής

R : υδραυλική ακτίνα

I : κλίση γραμμής ενέργειας

g : επιτάχυνση βαρύτητας

λ : συντελεστής τριβής (ή αντίστασης)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.0 \log \left(\frac{k_s/R}{14.84} \right) = 2.0 \log \left(\frac{14.84 R}{k_s} \right)$$

Colebrook-
White

k_s : μέτρο τραχύτητας (ισοδύναμη τραχύτητα άμμου)

$$v = k_{st} R^{2/3} I^{1/2}$$

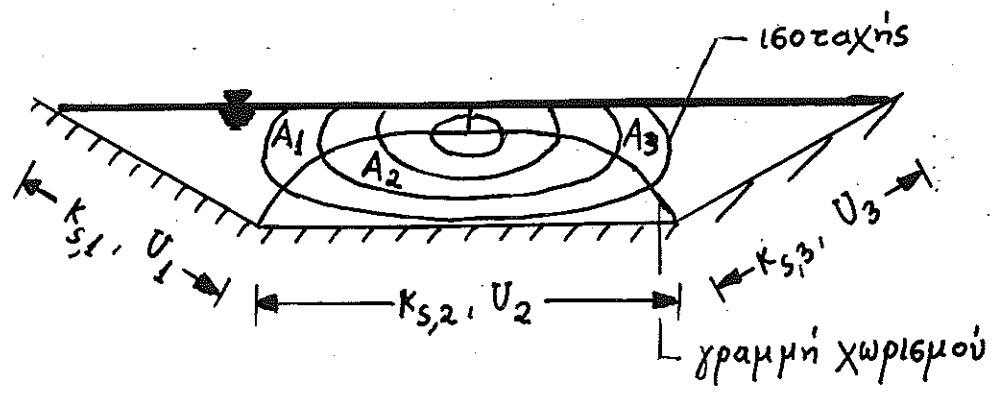
Gauckler-Manning-Strickler

$$k_{st} = \left[\frac{L^{1/3}}{T} \right]$$

$$k_s = [L]$$

$$k_{st} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \frac{1}{R^{1/6}} \sqrt{8g}$$

Τοιχώματα με διαφορετική τραχύτητα



$$U \cdot \lambda_g = \sum U_i \lambda_i$$

λ_g : συνολικός συντελεστής τριβής (ή αντίστασης)

λ_i : συντελεστής τριβής της επιμέρους διατομής i

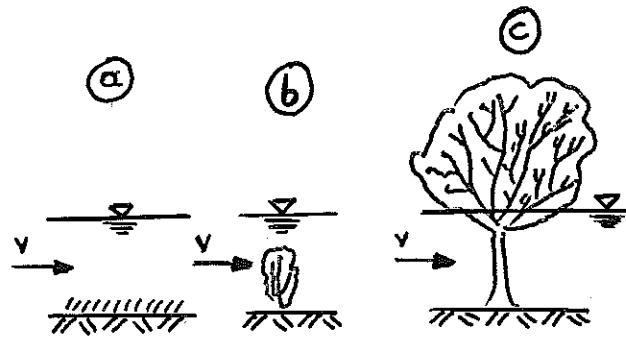
U : συνολική βρεχόμενη περίμετρος

U_i : βρεχόμενη περίμετρος της επιμέρους διατομής i

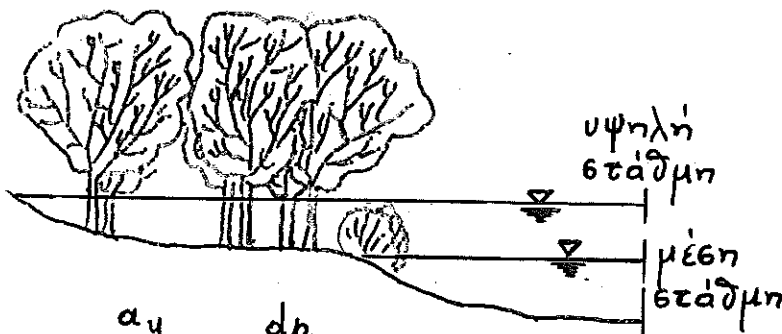
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_g}} = \left(\frac{U}{\sum U_i \lambda_i} \right)^{1/2}$$

Βλάστηση

- κυρίως στα πρανή των υδατορρευμάτων
- Διάκριση σε μεμονωμένα φυτά και σε σύνολο φυτών



- a : χαμηλή βλάστηση ⇒ K_s
- b : μέση βλάστηση
- c : υψηλή βλάστηση

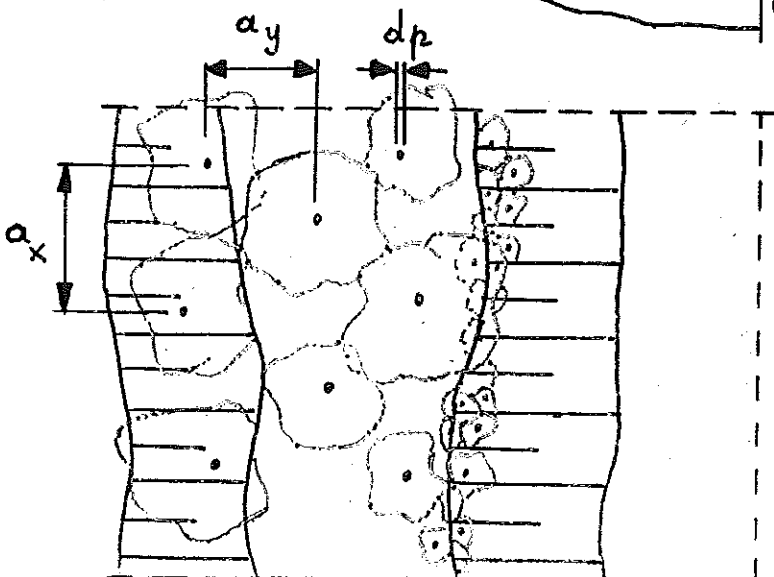


$$\lambda_r = \frac{4 A_r}{a_x a_y} C_{WR}$$

$$A_r = h \cdot d_r \quad h: \text{βάθος νερού}$$

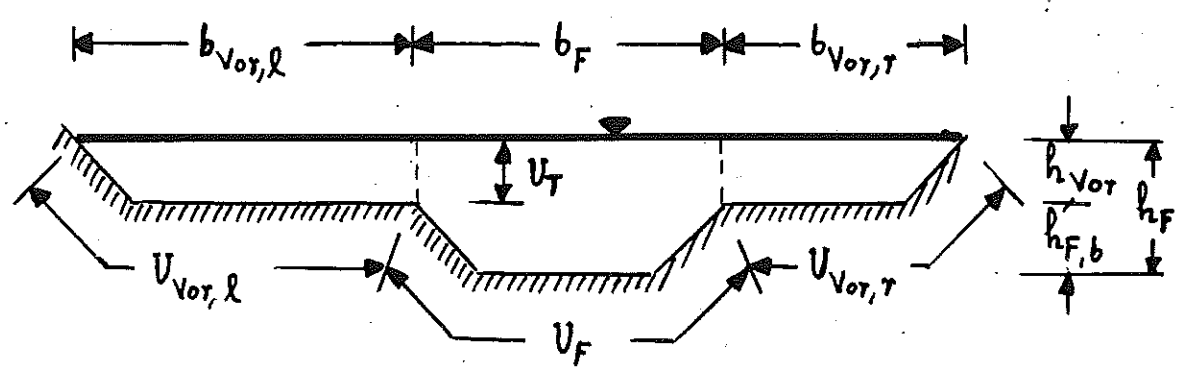
C_{WR} : παράμετρος αντίστασης ομάδας φυτών

$$C_{WR} = 0.6 - 2.4$$



Χωρισμός σύνθετης διατομής

Γεωμετρικός χωρισμός



$K_T = K_F$

$\lambda_T = \lambda_F$

για $h_F / h_{vor} < 3$

δείκτης T \Rightarrow διαχωριστική επιφάνεια

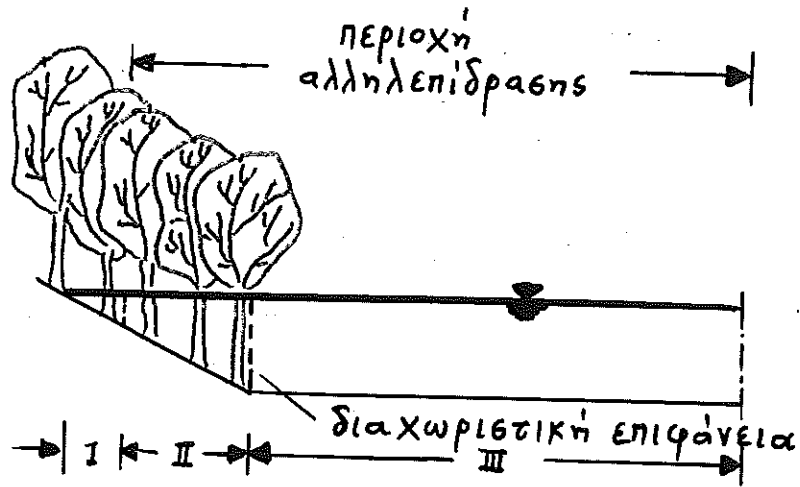
δείκτης F \Rightarrow κύρια κοίτη

δείκτης vor \Rightarrow πλημμυρική κοίτη

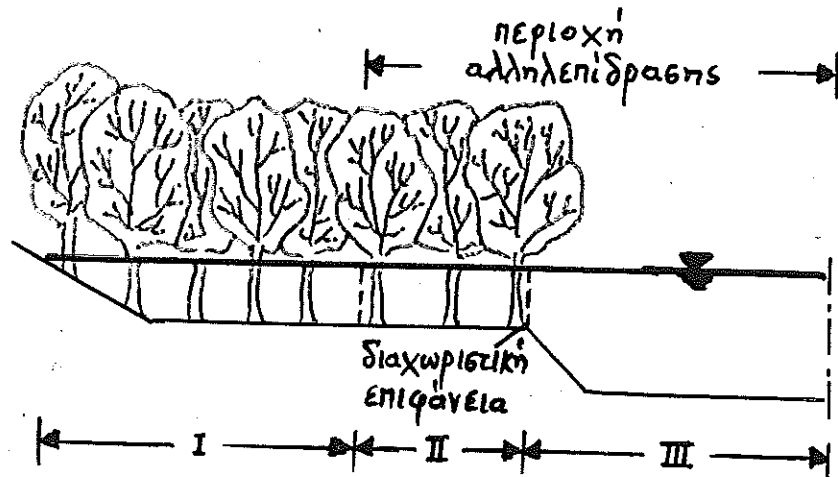
- Η τραχύτητα K_T λαμβάνεται υπόψη μόνο για την κύρια κοίτη
- Η βρεχόμενη περίμετρος U_T προστίθεται στην U_F

Χωρισμός βάσει της βλάστησης

Απλή Διατομή



Σύνθετη Διατομή

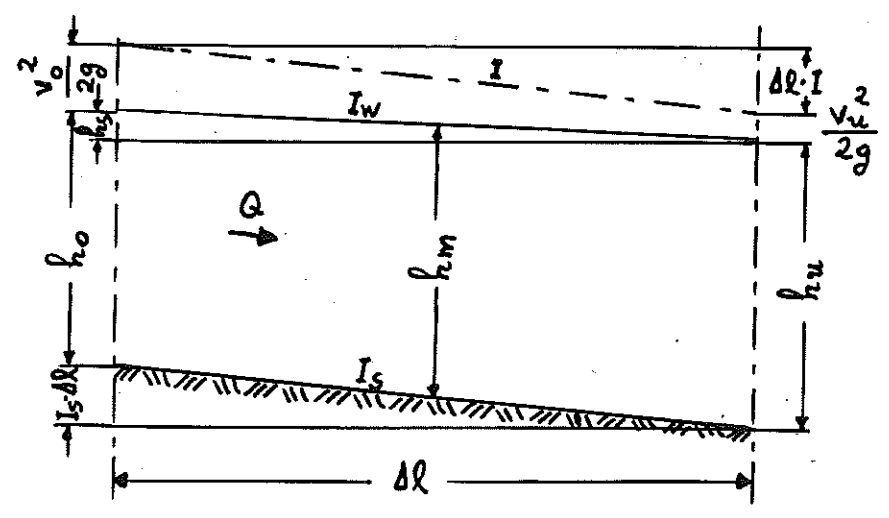


- Για τη μη φυτοκαλυμμένη ζώνη η διαχωριστική επιφάνεια θεωρείται στερεό τοίχωμα με φαινομενικές διατμητικές τάξεις, που αυξάνει το μήκος της βρεχομένης περιμέτρου.

- λ_T
 - συντελεστής τριβής λόγω βλάστησης
 - συντελεστής τριβής λόγω αλληλεπίδρασης φυτοκαλυμμένης και μη ζώνης

Προεχριστικός υπολογισμός της ελεύθερης επιφάνειας

- Ανομοιόμορφη ροή
- Υπολογισμός κατά βήματα του ύψους της ελεύθερης επιφάνειας



Εξίσωση Bernoulli :

$$I_s \cdot \Delta l + h_0 + \beta \frac{v_0^2}{2g} = I \cdot \Delta l + \beta \frac{v_u^2}{2g} + h_u$$

$$I_s \cdot \Delta l + h_0 - h_u = \beta \frac{v_u^2 - v_0^2}{2g} + I \cdot \Delta l$$

$$h_s = \beta \frac{v_u^2 - v_0^2}{2g} + \Delta l \cdot \frac{v_m^2}{K_{st}^2 R_m^{4/3}} = h_k + h_T$$

$$v_m = \frac{v_0 + v_u}{2}$$

$$R_m = \frac{R_0 + R_u}{2}$$

h_s : ύψος ανόδου ή πτώσης της ελεύθερης επιφάνειας

h_k : ύψος κινητικής ενέργειας

h_T : ύψος απωλειών ενέργειας λόγω τριβής

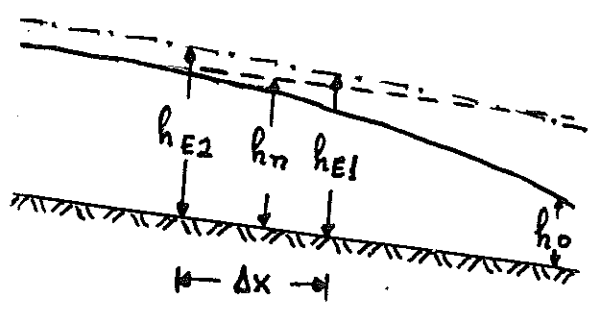
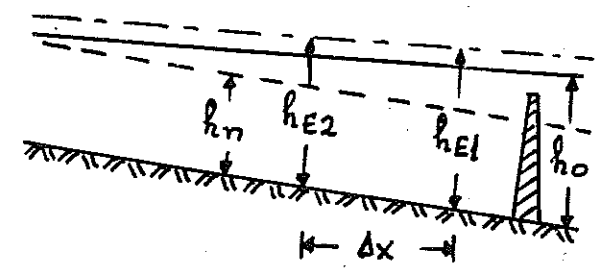
$\beta = 1$, για ομοιόμορφη ή επιταχυνόμενη ροή (βτένωση της διατομής)

$\beta = 2/3$, για επιβραδυνόμενη ροή με βαθμιαία διευρυνόμενη διατομή

$\beta = 1/2$, για επιβραδυνόμενη ροή με απότομα διευρυνόμενη διατομή

- Συνιστάται $\Delta l = 500 \text{ m}$
- Σε καμπύλες ανύψωσης ανάντη φραγμάτων ο υπολογισμός αρχίζει από το φράγμα, ενώ σε καμπύλες πτώσης από τη διατομή όπου εμφανίζεται το κρίσιμο βάθος.
- Γνωστά τα γεωμετρικά και υδραυλικά μεγέθη στη διατομή μ
- Εκτιμάμε το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή σ
- Υπολογίζουμε τα υδραυλικά μεγέθη στη διατομή σ
- Εάν υπάρχει απόκλιση ανάμεσα στο υπολογισθέν και στο εκτιμηθέν ύψος της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή σ , το επανεκτιμάμε κ.ο.κ.

Καμπύλες υπερύψωσης και πτώσης της ελεύθερης επιφάνειας



- Ορθογωνική διατομή (Rühlmann)

$$x = \frac{h_n}{I_s} [y_0 - y + \mu (F(y) - F(y_0))]]$$

- Παραβολική διατομή (Tolkmitt)

$$x = \frac{h_n}{I_s} [y_0 - y + \mu (f(y) - f(y_0))]]$$

x : μήκος υπερύψωσης ή πτώσης της ελεύθερης επιφάνειας [m]

h_n : βάθος ροής για μόνιμη και ομοιόμορφη ροή [m]

(κανονικό βάθος)

$$y_0 = \frac{h_0}{h_n} \quad y = \frac{h_x}{h_n}$$

h_0 : βάθος ροής στην αρχική διατομή [m]

h_x : βάθος ροής σε απόσταση x από την αρχική διατομή [m]

$$\mu = 1 - \left(\frac{h_{gr}}{h_n} \right)^3$$

h_{gr} : κρίσιμο βάθος ροής [m]

$\mu = 1$, όταν δεν είναι γνωστή η παροχή Q

$y = 1.01 \Rightarrow$ καμπύλη υπερύψωσης

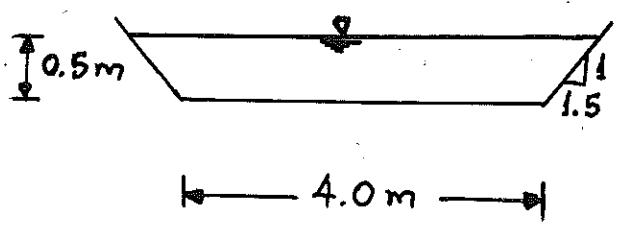
$y = 0.995 \Rightarrow$ καμπύλη πτώσης

- Τιμές των $F(y)$ και $f(y)$ από πίνακα
- Τραπεζοειδείς διατομές \Rightarrow παραβολικές με το ίδιο εμβαδόν A
και το ίδιο επιφανειακό πλάτος b_{sr}

$$h = \frac{3A}{2b_{sr}} \Rightarrow \text{αντίστοιχο βάθος ροής}$$

Αριθμητικό παράδειγμα

Ζητείται το μήκος της καμπύλης υπερύψωσης ανάντη ενός φράγματος καθώς και το βάθος ροής σε απόσταση 1000 m ανάντη του φράγματος.



$$I_s = 0.5 \text{ ‰}$$

$h_s = 0.4 \text{ m}$, υπερύψωση στη θέση του φράγματος σε σχέση προς το κανονικό βάθος ροής

Λύση

- $b_{sp} = 4.0 + (2 \times 0.5 \times 1.5) = 5.5 \text{ m}$
- $A_{tr} = \frac{4.0 + 5.5}{2} \times 0.5 = 2.38 \text{ m}^2$
- $A_r = \frac{2}{3} b_{sp} h_r \Rightarrow h_r = \frac{3 A_r}{2 b_{sp}} = \frac{3 \times 2.38}{2 \times 5.5} = 0.65 \text{ m}$
- $\mu = 1$ (εφόσον δεν δίδεται η παροχή)
- $h_o = 0.65 + 0.4 = 1.05 \text{ m}$ (στη θέση του φράγματος)
- $y_o = \frac{h_o}{h_n} = \frac{1.05}{0.65} = 1.62$
- $x = \frac{h_n}{I_s} [y_o - y + \mu (f(y) - f(y_o))]$
- για $y = 1.01 \Rightarrow f(y) = 1.7210$
- για $y_o = 1.62 \Rightarrow f(y_o) = 0.8693$
- $x = \frac{0.65}{0.0005} [1.62 - 1.01 + 1.7210 - 0.8693] = 1900 \text{ m}$

Υπολογισμός του βάθους ροής σε απόσταση 1000 m ανάντη του φράγματος

$$x = \frac{0.65}{0.0005} [1.62 - y + f(y) - 0.8693]$$

$$\text{- για } h_{s1} = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m} \Rightarrow y_1 = \frac{0.70}{0.65} = 1.0769 \Rightarrow$$

$$f(y_1) = 1.2357 \Rightarrow x_1 = 1182 \text{ m}$$

$$\text{- για } h_{s2} = 10 \text{ cm} = 0.10 \text{ m} \Rightarrow y_2 = \frac{0.75}{0.65} = 1.1538 \Rightarrow$$

$$f(y_2) = 1.0883 \Rightarrow x_2 = 891 \text{ m}$$

$$\text{- για } h_{s3} = 7 \text{ cm} = 0.07 \text{ m} \Rightarrow y_3 = \frac{0.72}{0.65} = 1.1077 \Rightarrow$$

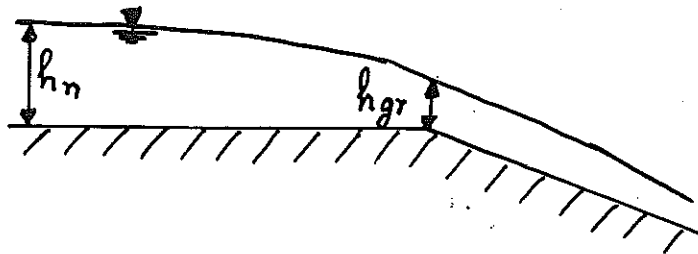
$$f(y_3) = 1.1618 \Rightarrow x_3 = 1046 \text{ m}$$

$$\text{- για } h_{s4} = 7.8 \text{ cm} = 0.078 \text{ m} \Rightarrow y_4 = \frac{0.728}{0.65} = 1.12 \Rightarrow$$

$$f(y_4) = 1.1389 \Rightarrow x_4 = 1000 \text{ m}$$

Αριθμητικό παράδειγμα

- Ανοικτός αγωγός ορθογωνικής διατομής με $b=5.0$ m και $I_s=0.8\%$
 $Q=12$ m³/s $k_{st}=50$ m^{1/3}/s



- Ζητούνται το μήκος της καμπύλης πτώσης ανάγντη της γωνίας και η απόσταση από τη γωνία όπου το ύψος πτώσης ισούται με 0.50 m (σε σχέση προς το κανονικό βάθος ροής)

Λύση

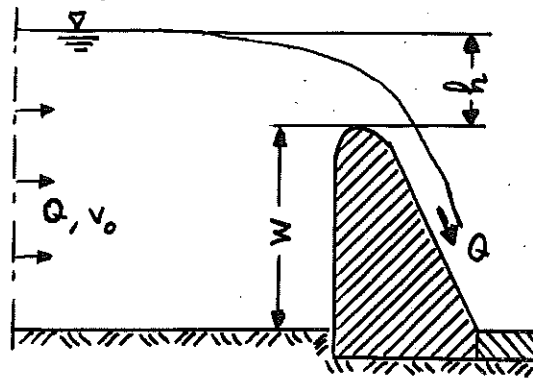
- $$h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g b^2}} = \sqrt[3]{\frac{12^2}{9.81 \times 5^2}} = 0.84$$
 m
- $$v = k_{st} \cdot R^{2/3} \cdot I_s^{1/2} \Rightarrow \frac{Q}{b h_n} = k_{st} \cdot R^{2/3} \cdot I_s^{1/2} \Rightarrow$$

$$\frac{12}{5 h_n} = 50 \times \left(\frac{5 h_n}{5 + 2 h_n} \right)^{2/3} \times 0.0008^{1/2} \Rightarrow h_n = 1.68$$
 m
- $$y_0 = \frac{h_0}{h_n} = \frac{h_{gr}}{h_n} = \frac{0.84}{1.68} = 0.5 \Rightarrow F(y_0) = 0.819$$
- $$y = 0.995 \Rightarrow F(y) = 2.552$$
- $$\mu = 1 - \left(\frac{h_{gr}}{h_n} \right)^3 = 1 - \left(\frac{0.84}{1.68} \right)^3 = 0.875$$

$$\begin{aligned} - \quad x &= \frac{h_n}{I_s} [y_0 - y + \mu(F(y) - F(y_0))] = \\ &= \frac{1.68}{0.0008} [0.5 - 0.995 + 0.875(2.552 - 0.819)] = 2145 \text{ m} \end{aligned}$$

$$- \quad h_s = 0.50 \text{ m} \quad y = \frac{1.68 - 0.50}{1.68} = 0.70 \Rightarrow F(y) = 1.078$$

$$x = \frac{1.68}{0.0008} [0.5 - 0.70 + 0.875(1.078 - 0.819)] = 56 \text{ m}$$

ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΕΣΕΛΕΥΘΕΡΟΣ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} \left[\left(h + \frac{v_0^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{v_0^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$

(Weisbach)

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} b h^{3/2}$$

(Poleni)

Q : παροχή [m^3/s]

v_0 : ταχύτητα προσέγγισης του νερού προς το φράγμα [m/s]

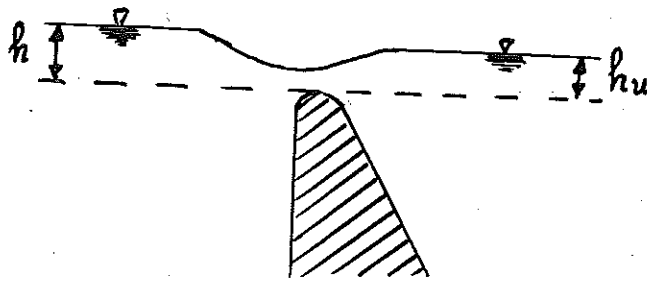
b : μήκος της στέψης του φράγματος [m]

h : ύψος υπερχείλισης [m]

μ : συντελεστής υπερχείλισης (από πίνακες)

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Βυθισμένος υπερχειλιζτής

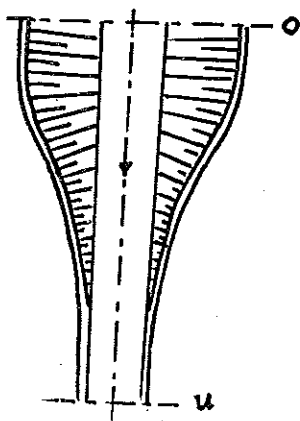


$$Q = c \mu \frac{2}{3} \sqrt{2g} b h^{3/2}$$

c : εξαρτάται από τη μορφή της στέψης του φράγματος
και από το λόγο h_u/h

Μεταβολές της διατομής

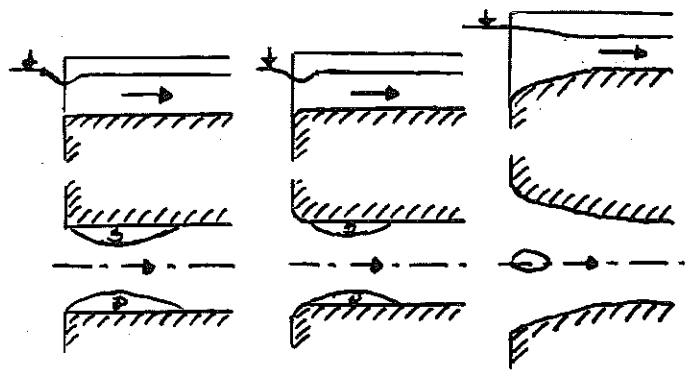
Μετάβαση από τραπεζοειδή σε ορθογωνική διατομή του αυτού
πλάτους πυθμένα



$$h_v = c \left(\frac{v_u^2}{2g} - \frac{v_o^2}{2g} \right)$$

c : εξαρτάται από τη μορφή του μεταβατικού τμήματος

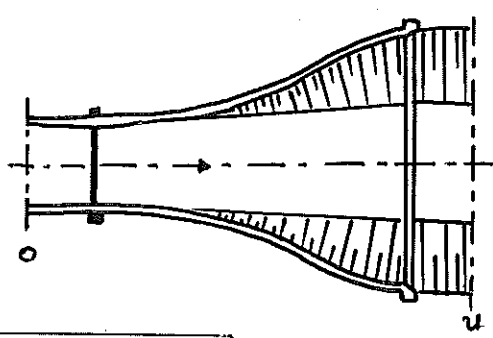
Μετάβαση από δεξαμενή σε ανοικτό αγωγό



$\zeta = 0.50 - 0.60$ $\zeta = 0.30 - 0.40$ $\zeta = 0.06 - 0.10$

$$h_v = \zeta \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Μετάβαση από ορθογωνική σε τραπεζοειδή διατομή
 (του αυτού πλάτους πυθμένα)



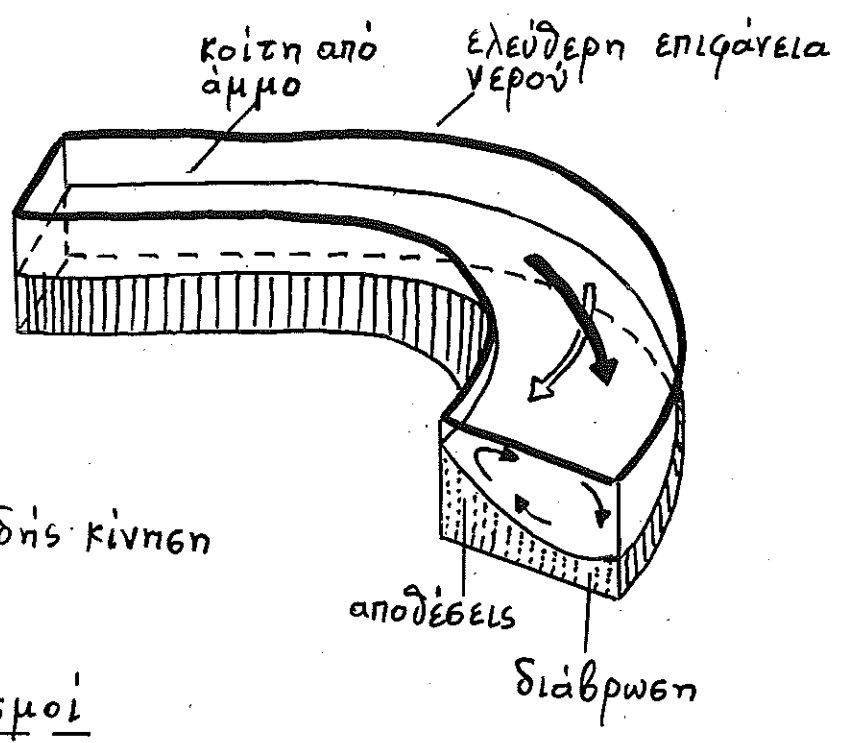
$$h_v = c \left(\frac{v_0^2}{2g} - \frac{v_u^2}{2g} \right)$$

$c = 1.0$ για απότομη διεύρυνση
 $c = 0.1$ για βαθμιαία διεύρυνση

Δευτερεύουσες ροές

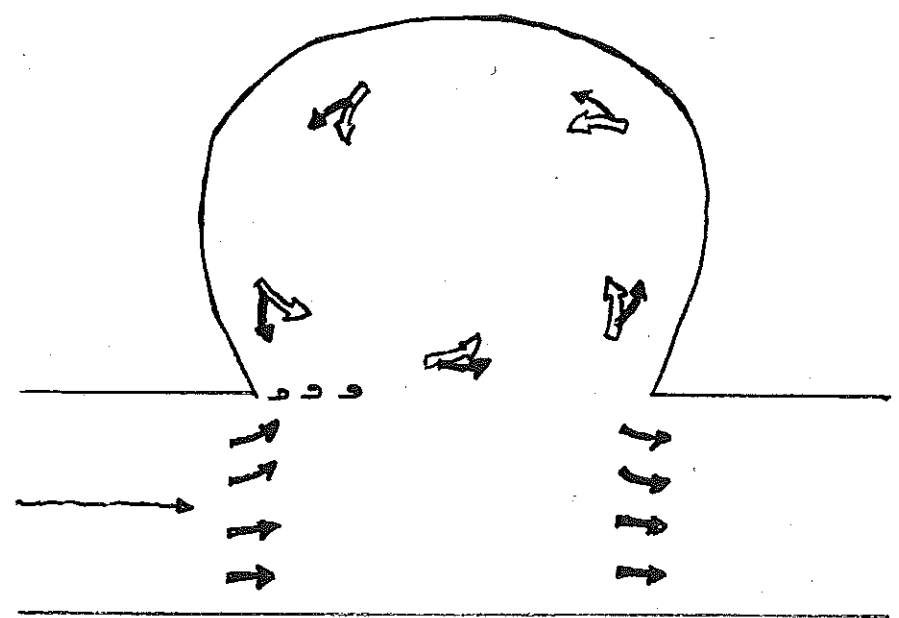
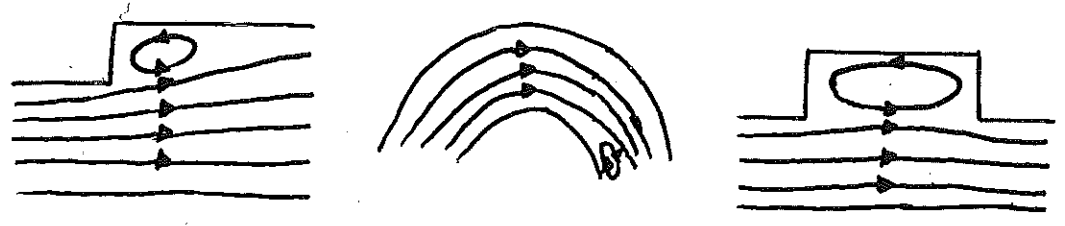
Σε καμπύλα τμήματα ποταμών :

- α. δυνάμεις πίεσης λόγω εγκάρσιας διαφοράς στάθμης του νερού
- β. φυγόκεντρες δυνάμεις

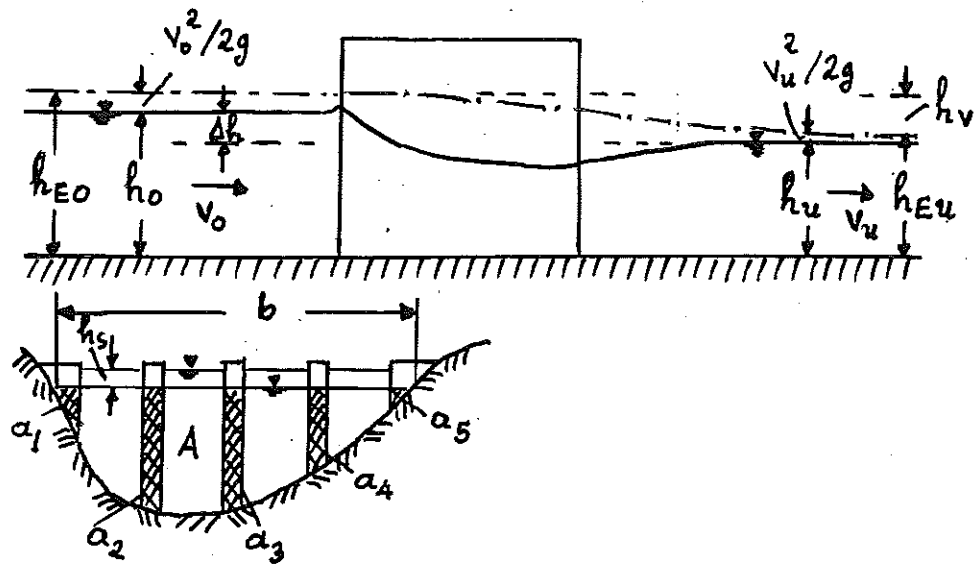


- ελικοειδής κίνηση

Στροβιλιζοί



Βάθρα γεφυρών



Ορθογωνική διατομή

$$a \leq \frac{l}{0.97 + 2lw} - 0.09$$

⇒ υποκρίσιμη ροή

Παραβολική διατομή

$$a \leq \frac{l}{0.97 + 2lw} - 0.13$$

⇒ υποκρίσιμη ροή

$$a = \frac{\sum a_i}{A}$$

A : επιφάνεια διατομής του ποταμού χωρίς τα τεχνικά έργα και χωρίς ανύψωση της στάθμης νερού

a_i : τμήμα της διατομής του ποταμού που καταλαμβάνεται από το τεχνικό έργο χωρίς να ληφθεί υπόψη η ανύψωση της στάθμης νερού

$$\omega = \frac{h_k}{h_m}$$

$$h_k = \frac{v^2}{2g} \Rightarrow \text{ύψος κινητικής ενέργειας στην αρχική διατομή, χωρίς τα τεχνικά έργα}$$

$$h_m = \frac{A}{b}$$

b : επιφανειακό πλάτος της αρχικής διατομής, χωρίς τα τεχνικά έργα

$$h_s = \delta (0.72 + 1.2a + 40a^4) (1 + 2\omega) a h_k \quad \text{Rehbock}$$

h_s : ανύψωση της στάθμης νερού ανάντη των βάρων

δ : συντελεστής εξαρτώμενος από τη μορφή των βάρων

$$h_s = \delta a h_k$$

$$0.06 < a < 0.16$$

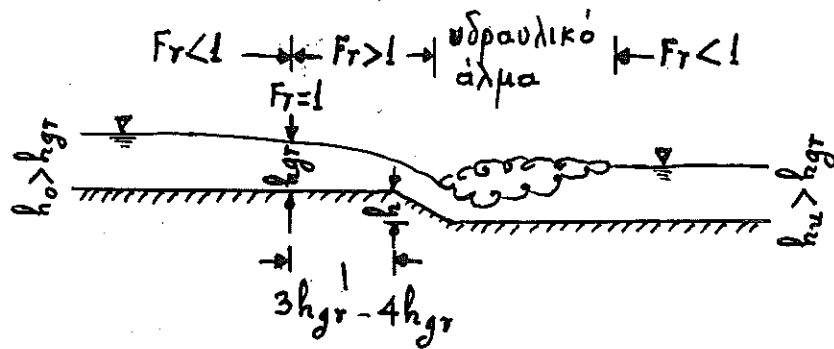
$$0.03 < \omega < 0.12$$

Αναβάθμοι

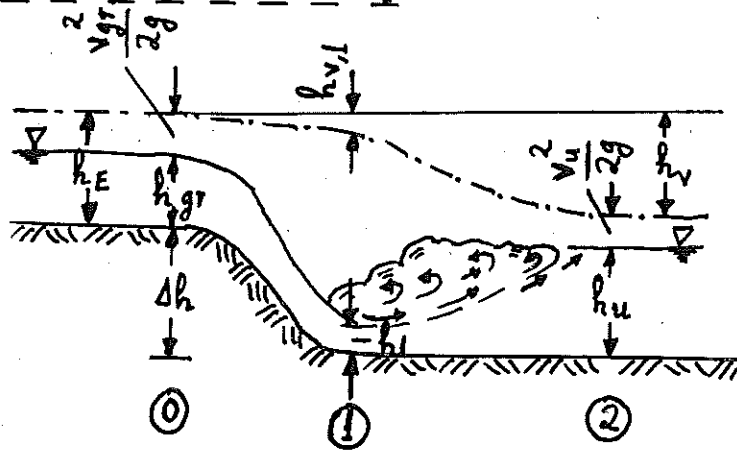
Σκοπός της μελέτης των αναβάθμών :

Επαρκής καταστροφή της κινητικής ενέργειας του νερού
 ή επαρκής μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε θερμότητα.

Μορφή της ροής που πρέπει να επιδιώκεται :



Καθοριστικό μέγεθος : Fr_1



- Για $4.5 \leq Fr_1 \leq 9$

- άφοχη μετατροπή ενέργειας
- καλά διαμορφωμένο και διαρκές υδραυλικό άλμα
- ήρεμη κατάντη ροή

Αποτελεσματικό ύψος πτώσης του νερού

$$v_1 h_1 = v_{gr} h_{gr}$$

$$v_{gr} = \sqrt{g h_{gr}}$$

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g h_1}}$$



$$h_1 = h_{gr} \cdot Fr_1^{-2/3}$$

- Εξίσωση Βεντουλλί ανάμεσα στις διατομές 0 και 1 (απώλειες ενέργειας αμελητέες) :

$$\Delta h = h_{gr} (Fr_1^{2/3} + 0.5 Fr_1^{4/3} - 1.5)$$

- Για $Fr_1 \geq 4.5 \Rightarrow \Delta h \geq 2.58 h_{gr}$

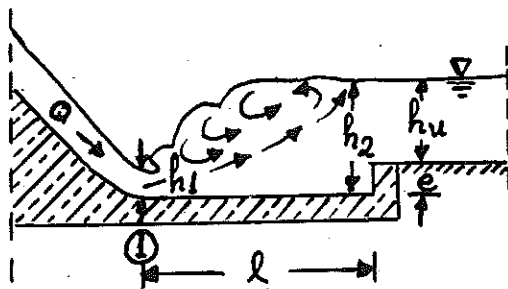
Λεκάνη πρεμίας

$\epsilon = \frac{h_u}{h_{2,erf}}$: καθοριστικό μέγεθος για τη μετατροπή της ενέργειας

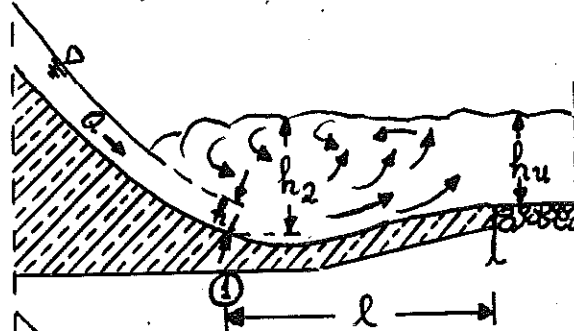
$$h_{2,erf} = 0.5 h_1 (\sqrt{8 Fr_1^2 + 1} - 1)$$

- Πρέπει $1.05 \leq \epsilon \leq 1.15$
- Όταν $\epsilon > 1.15$, η μετατροπή της ενέργειας δεν είναι ικανοποιητική
- Για $\epsilon < 1.05$, δηλ. όταν $h_u < h_{2,erf} \Rightarrow$ εκβάθυνση κατά e
 $e = 1.05 h_{2,erf} - h_u$

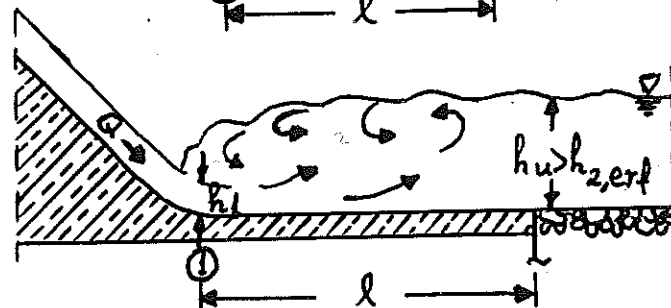
Τύποι λεκανών πρεμίας



με εκβάθυνση



με κοιλότητα



χωρίς εκβάθυνση

$$l = 6 (h_2 - h_1)$$

λεκανή πρεμίας με εκβάθυνση

$$l = 8.5 h_u$$

λεκανή πρεμίας χωρίς εκβάθυνση

Αριθμητικό παράδειγμα

Η παροχή νερού, που ρέει υπεράνω ενός αναβαθμού, ανέρχεται σε $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Το πλάτος του αναβαθμού είναι $b=2.5 \text{ m}$. Ζητείται το υδραυλικά αποτελεσματικό ύψος Δh του αναβαθμού καθώς και το αναγκαίο βάθος ροής κατάντη του σχηματιζόμενου υδραυλικού άλματος.

Λύση

- Κρίσιμο βάθος ροής υπεράνω του αναβαθμού

$$h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} = \sqrt[3]{\frac{15^2}{9.81 \times 2.5^2}} = 1.54 \text{ m}$$

- Υδραυλικά αποτελεσματικό ύψος αναβαθμού

$$\Delta h \gg 2.58 h_{gr} \Rightarrow \Delta h \gg 3.97 \text{ m}$$

- Αναγκαίο βάθος ροής κατάντη του υδραυλικού άλματος

$$\Delta h = h_{gr} (Fr_1^{-2/3} + 0.5 Fr_1^{4/3} - 1.5)$$

$$\frac{\Delta h}{h_{gr}} + 1.5 = Fr_1^{-2/3} + 0.5 Fr_1^{4/3}$$

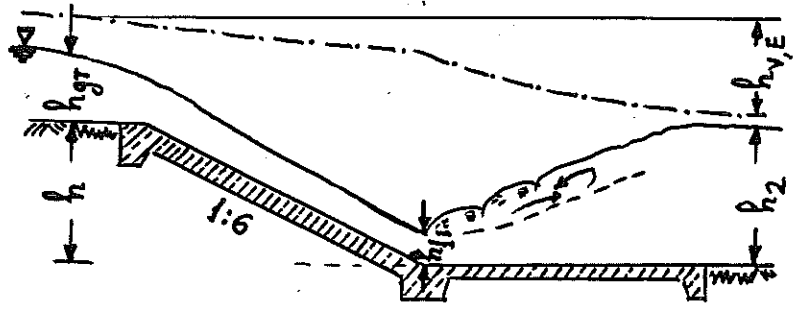
$$\frac{3.97}{1.54} + 1.5 = 4.078 = Fr_1^{-2/3} + 0.5 Fr_1^{4/3} \Rightarrow Fr_1 \approx 4.5$$

$$h_1 = h_{gr} Fr_1^{-2/3} = 1.54 \times 4.5^{-2/3} = 0.565 \text{ m}$$

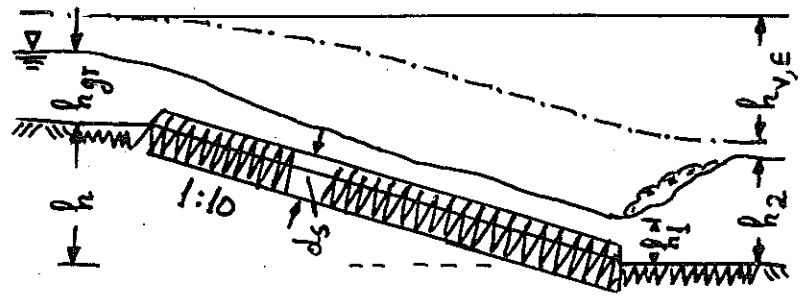
$$h_{2,erf} = 0.5 h_1 (\sqrt{8 Fr_1^2 + 1} - 1) = 0.5 \times 0.565 \times (\sqrt{8 \times 4.5^2 + 1} - 1) = 3.32 \text{ m}$$

Ράμπες

Λείες ράμπες : Καταστροφή κινητικής ενέργειας του νερού μέσω υδραυλικού άλματος



Τραχείες ράμπες : Καταστροφή κινητικής ενέργειας μέσω της τριβής



$$\frac{q_{zul}}{\sqrt{g} d_s^{3/2}} = c^*{}^2 \left[1.1 + \frac{0.09}{I_s} + \left(0.675 - \frac{0.02}{I_s} \right) \Phi \right]$$

q_{zul} : επιτρεπόμενη παροχή ανά μονάδα πλάτους για την οποία οι ογκόλιθοι της ράμπας δεν αποσπώνται [$m^3/(s \cdot m)$]

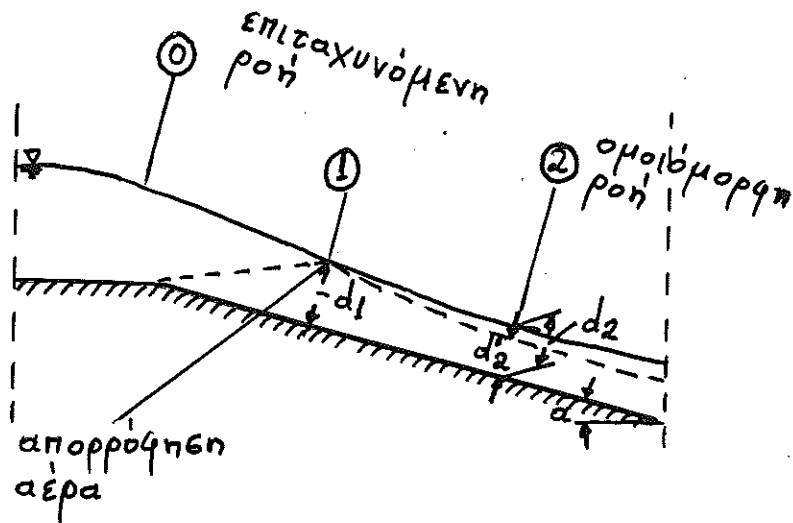
d_s : ύψος των λίθων [m]

I_s : κλίση της ράμπας (1/n)

c^* : συντελεστής ευστάθειας της ράμπας (v_{zul}/v_{cr})

Φ : μέτρο τραχύτητας της ράμπας (κ/λ)

Υδατολιεθήρες



- επιταχυνόμενη ροή χωρίς απορρόφηση αέρα, με αυξανόμενη οριακή στρώση
- επιταχυνόμενη ροή με απορρόφηση αέρα
- ομοιόμορφη ροή του μίγματος νερού-αέρα

$$d_2 = \frac{100}{w} d_2'$$

d_2 : πάχος της ομοιόμορφης δέσμης νερού

d_2' : πάχος της ομοιόμορφης δέσμης νερού, χωρίς απορρόφηση αέρα

w : ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό του μίγματος νερού-αέρα [%]

ΦΕΡΤΑ ΥΛΙΚΑ (ΦΕΡΤΕΣ ΥΛΕΣ)

Βασικές έννοιες

- Φερτά υλικά : Στερεά υλικά που μεταφέρονται από το νερό ή αποτίθενται
- Διάκριση σε
 - Πυθμενικά
 - αιωρούμενα
 - επιπλέοντα
- Πυθμενικά : Κινούνται πάνω στην κοίτη των ποταμών ολισθαίνοντας, κυλιόμενα ή αναπηδώντας
- Αιωρούμενα : Διατηρούνται σε αιώρηση μέσω του τυρβώδους (συνήθως το μεγαλύτερο τμήμα φερτών υλικών)
- Επιπλέοντα : συνήθως οργανικής προέλευσης (π.χ. υδρόβια φυτά, τμήματα δένδρων)
- Πρακτικά προβλήματα :
 - Συσσώρευση λάσπης στην κοίτη και στις όχθες ποταμών καθώς και σε λιμάνια
 - Εναπόθεση φερτών υλικών σε φυσικές και τεχνητές λίμνες
 - Δέλτα ενός ποταμού κατά την εκβολή του στη θάλασσα
 - Διάβρωση μιας λεκάνης απορροής λόγω δυνατής βροχής και επιφανειακής απορροής
 - Φερτά υλικά : φορείς άλλων επιβλαβών ουσιών (π.χ. βαρέων μετάλλων)

- Για την εκτίμηση των ανωτέρω φαινομένων χρειάζονται μετρήσεις των φερτών υλικών

Οριοθέτηση ανάμεσα σε πυθμενικά και αιωρούμενα υλικά

$$\frac{v_{st}}{(g h J_E)^{1/2}} \approx 0.3$$

(Hayami)

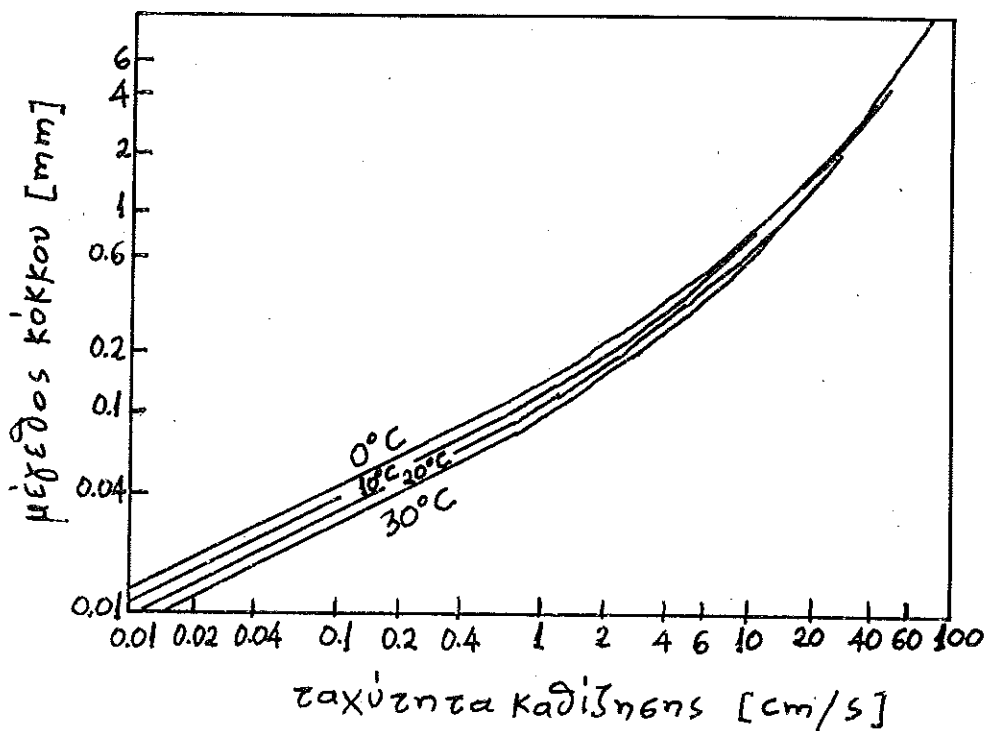
v_{st} : ταχύτητα καθίζησης ενός κόκκου (κατά Stokes)

h : βάθος ροής

J_E : κλίση της γραμμής ενέργειας

g : επιτάχυνση βαρύτητας

Διάγραμμα κατά Lane



$$F_T^2 = \frac{v_{mg}^2}{g \cdot D_{gr}} = 360$$

D_{gr} : οριακή διάμετρος κόκκων [m]

v_{mg} : οριακή ταχύτητα νερού [m/s]

- Συνήθως $D_{gr} < 1.0 \text{ mm}$

- Για ποταμούς των Άλπεων $D_{gr} = 1.0 \text{ mm}$

Αιωρούμενα φερτά υλικά σε ποταμούς

- Αιωροπαροχή [kg/s]

- Αιωροπαροχή ανά μονάδα πλάτους (του ποταμού) [kg/s/m]

- Αιωροφορτίο [t] : ολοκλήρωση της αιωροπαροχής ως προς τον χρόνο

- Περιεκτικότητα ή συχκέντρωση αιωρούμενων υλών [g/m^3] ή [t/m^3]:
Μάζα αιωρούμενων υλών ανά μονάδα όγκου του νερού

- Πυκνότητα αιωρούμενων υλών [kg/m^3]:

Μάζα αιωρούμενων υλών ανά μονάδα όγκου αιωρούμενων υλών

- Προσδιορισμός της συγκέντρωσης αιωρούμενων υλών από δειχματοληψίες
- Σημεία δειχματοληψιών πάνω σε κατακόρυφες ευθείες σε βάθη 0.8 h, 0.4 h, 0.2 h και 0.05 h
(h : ολικό βάθος ροής)
- Απόσταση μεταξύ κατακορύφων : b/10
(b : πλάτος ποταμού)
- Δείγματα από 1 μέχρι 5 ltr
- Μέτρηση σημειακής ταχύτητας νερού ⇒ Προσδιορισμός παροχής

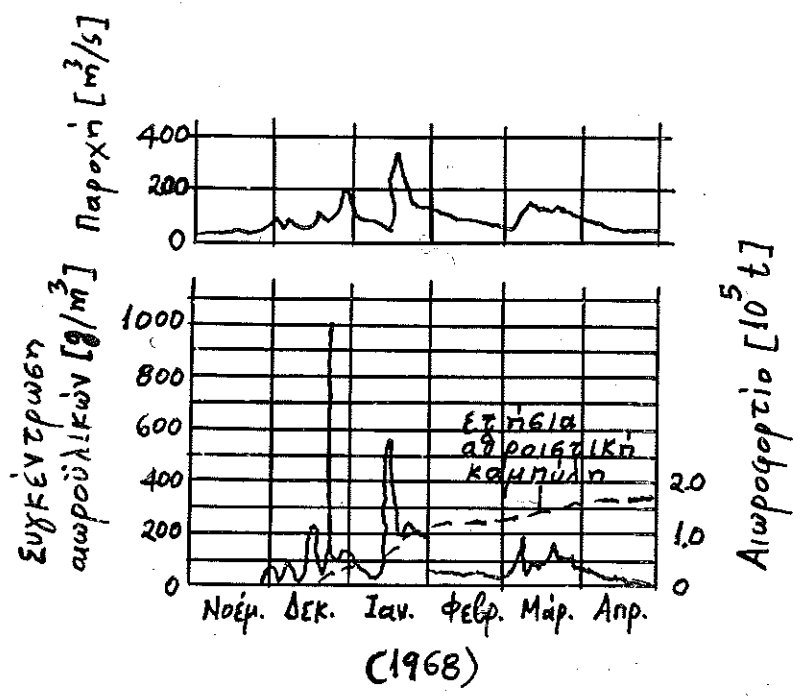
$$C_s = \frac{\sum C_{si} Q_i}{\sum Q_i}$$

- C_{si} : συγκέντρωση αιωρούμενων υλών στην κατακόρυφο i
- Q_i : επιμέρους παροχή στην κατακόρυφο i
- C_s : συγκέντρωση ολόκληρης της διατομής

$$m_s = C_s Q$$

- Q : παροχή ολόκληρης της διατομής
- m_s : αιωροπαροχή ολόκληρης της διατομής

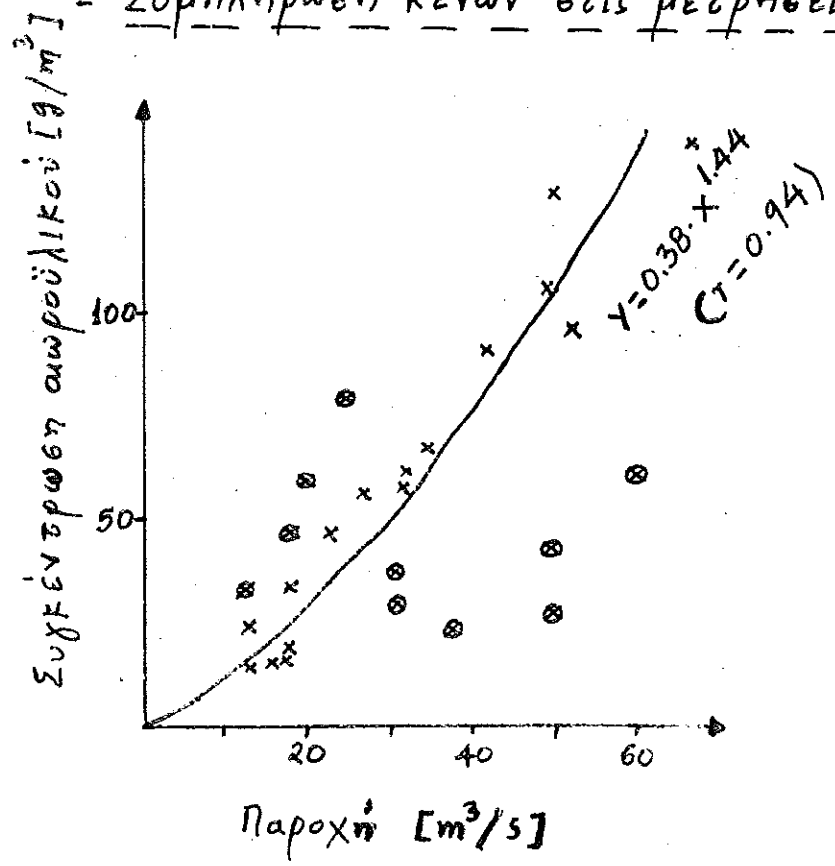
- Σε περίπτωση πλημμυρών:
- συγκέντρωση αιωρούλικών \Rightarrow μεγάλες τιμές
- δειγματοληψία ανά μικρά χρονικά διαστήματα



Υδρογράφημα

"Αιωρογράφημα"

- Συμπλήρωση κενών στις μετρήσεις



$$C_s = a \cdot Q^b$$

$$m_s = a \cdot Q^b$$

Εξισώσεις μη γραμμικής παλινδρόμησης

$$\log m_s = \log a + b \log Q$$

Πυθμενικά φερτά υλικά σε ποταμούς

- Στερεοπαροχή κοίτης [kg/s]
- Στερεοπαροχή κοίτης ανά μονάδα πλάτους [kg/s/m]
- Στερεοφορτίο κοίτης [t]
- Μετρήσεις : παρουσιάζουν δυσκολίες
- Καλάδια ή συρματοκιβώτια πάνω στην κοίτη
- Όταν δεν υπάρχουν μετρήσεις, εκτίμηση του στερεοφορτίου κοίτης ως ποσοστού του αιωροφορτίου
- Σε υψηλές οροσειρές, κοντά στις πηγές ποταμών

$$\frac{\text{στερεοφορτίο κοίτης}}{\text{αιωροφορτίο}} = \frac{1}{1} \text{ έως } \frac{1}{3}$$
- Σε χαμηλές οροσειρές και πεδιάδες (μεγαίο και κατάντη τμήμα ενός ποταμού)

$$\frac{\text{στερεοφορτίο κοίτης}}{\text{αιωροφορτίο}} = 3\% \text{ έως } 25\%$$
- Υπολογισμός της στερεοπαροχής κοίτης με τη βοήθεια υδραυλικών θεωριών

$$\tau_0 = \gamma R J$$

τ_0 : ευρτική τάση (διατμητική τάση)

R : υδραυλική ακτίνα της θεωρούμενης διατομής

J : κλίση της γραμμής ενέργειας

γ : ειδικό βάρος του νερού

- Για σταθερή και ομοιόμορφη ροή καθώς και για πολύ μεγάλο πλάτος του ποταμού σε σχέση προς το βάθος:

$$\tau_0 = \gamma h J_s$$

h : βάθος ροής

J_s : κατά μήκος κλίση της κοίτης

$$\tau_{ocr} : \text{κρίσιμη ευρτική τάση}$$

$$V_{cr} : \text{κρίσιμη ταχύτητα νερού}$$

Τύπος του du Boys (1879)

$$m_G = a_D \tau_0 (\tau_0 - \tau_{0cr})$$

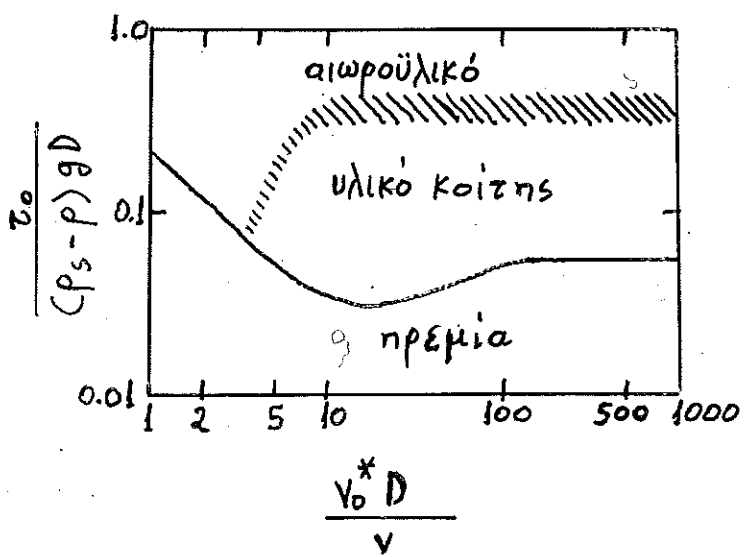
m_G : εστερεοπαροχή κοίτης ανά μονάδα πλάτους

τ_0 : εσυρτική τάση (εστον πυθμένα)

τ_{0cr} : κριτική εσυρτική τάση

a_D : εσυτελεστής εεξαρτώμενος από το μέγεθος και το εεχήμα των κόκκων του πυθμένα

Διάγραμμα του Shields (1936)



$\frac{\tau_0}{(ps-p)gd}$: αδιάστατη εσυρτική τάση (αριθμός Froude για φερτές ύλες)

$\frac{v_0^* D}{\nu}$: αδιάστατη διάμετρος κόκκων (αριθμός Reynolds των φερτών υλών)

- ρ_s : πυκνότητα φερτών υλών
- ρ : πυκνότητα νερού
- D : διάμετρος κόκκων
- v_o^* : ταχύτητα τριβής
- ν : κινηματικό ιξώδες
- g : επιτάχυνση βαρύτητας

Τύπος του Shields

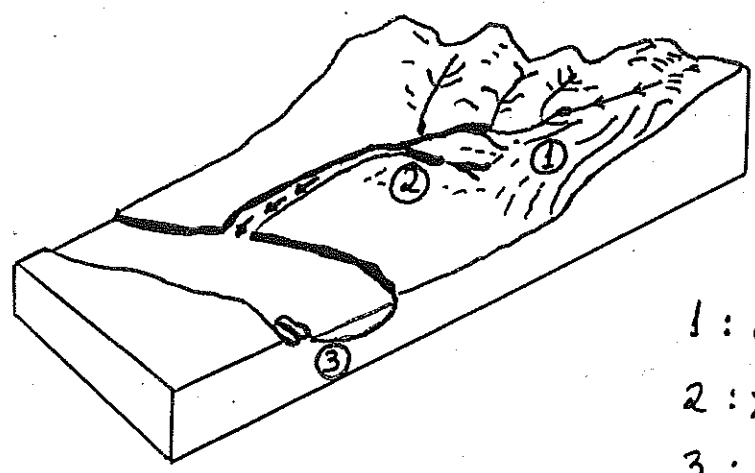
$$\frac{q_s(\gamma_s - \gamma)}{q \gamma J_s} = \frac{10(\tau_o - \tau_{ocr})}{(\gamma_s - \gamma) D}$$

- γ_s : ειδικό βάρος φερτών υλών
- γ : ειδικό βάρος νερού
- J_s : κατά μήκος κλίση της κοίτης
- q : παροχή νερού ανά μονάδα πλάτους
- q_s : όγκος φερτών υλών ανά μονάδα χρόνου και πλάτους

Φερτές ύλες σε λεκάνες απορροής

- Διάβρωση του εδάφους από τη βροχή και την επιφανειακή απορροή (που προκύπτει από τη βροχή)
- Η διάβρωση λόγω νερού είναι 10 έως 100 φορές μεγαλύτερη της διάβρωσης λόγω ανέμου
- Πρωταρχικές κατηγορίες διάβρωσης:
 - κανονική ή γεωλογική (το έδαφος και η βλάστηση δεν έχουν διαταραχθεί από τον άνθρωπο)
 - ακανόνιστη ή επιταχυνόμενη (το έδαφος και η βλάστηση έχουν υποστεί έντονη ανθρωπογενή επίδραση, π.χ. με τη γεωργία, βοσκή, υλοτομία, πυρκαχιά κλπ.)
- Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση:
 - Ένταση βροχής και μέγεθος σταγόνων βροχής
 - Κάλυψη του εδάφους από φυτά (βλάστηση)
 - Κλίση των πλαγιών
 - Κοκκομετρική σύνθεση του εδάφους και ποσοστό οργανικού υλικού

Είδη διαβρωσης



- 1 : επιφανειακή διάβρωση
- 2 : χαραδρωτική διάβρωση
- 3 : διάβρωση σε ποταμούς

- Επιφανειακή διάβρωση :

- κηλιδωτή (διάβρωση μεταξύ αυλακιών)
- αυλακωτή (σε αβαθή αυλάκια)
- λεπτόκοκκο υλικό

- Διάβρωση στην κοίτη και στις όχθες ποταμών :

- "ευκεντρωμένη" ροή
- λεπτόκοκκο και χονδρόκοκκο υλικό

- Χαραδρωτική διάβρωση :

- βαθιές και ακανόνιστες χαραδρες που δεν μπορούν να εξαφανιστούν με την άρση

Απόθεση φερτών υλών

- στους πρόποδες κοίλων πλαγιών
- σε λωρίδες έντονης βλάστησης
- σε παραποτάμιες περιοχές
- σε ταμιευτήρες

Υπολογισμός της επιφανειακής διάβρωσης

"USLE": Universal Soil Loss Equation

Παγκόσμια Εξίσωση Απωλειών Εδάφους

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (\text{Wischmeier, Smith, 1978})$$

A: ετήσια διάβρωση εδάφους ανά μονάδα επιφάνειας [t/ha]

R: συντελεστής που χαρακτηρίζει τη διαβρωτική επίδραση της βροχής [N/h]

K: συντελεστής που χαρακτηρίζει τη "διαβρωσιμότητα" του εδάφους και εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους [(t/ha) / (N/h)]

LS: συντελεστής που χαρακτηρίζει την τοπογραφία του εδάφους [-],

εξαρτάται από την κλίση και το μήκος των αγροτεμαχίων

C : συντελεστής που χαρακτηρίζει τη βλάβη και τις μεθόδους καλλιέργειας του εδάφους [-]

P : συντελεστής που χαρακτηρίζει τυχόν ληφθέντα μέτρα προστασίας από τη διάβρωση [-]

- "MUSLE" : Modified Universal Soil Loss Equation
(τροποποιημένη μορφή της "USLE")

$$Y = 9.05 \times (V \times q_r)^{0.56} \times K \times LS \times C \times P \quad (\text{Williams, 1975})$$

Y : φορτίο φερτών υλών ευθεία μιας μεμονωμένης βροχής στην έξοδο μιας λεκάνης απορροής [t]

V : όγκος επιφανειακής απορροής [m³]

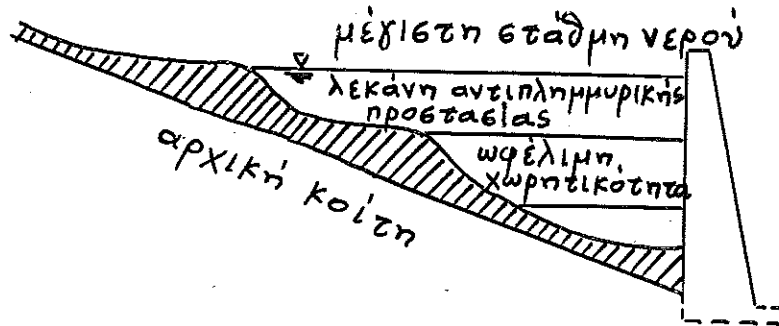
q_r : μέγιστη τιμή της επιφανειακής απορροής [m³/s]

- Μέτρα προστασίας από την επιφανειακή διάβρωση:

- δημιουργία "ταρατσών" (βαθμίδωση του εδάφους)

- άροση κατά τη διεύθυνση των ισοϋψών

Φερτές ύλες σε ταμιευτήρες



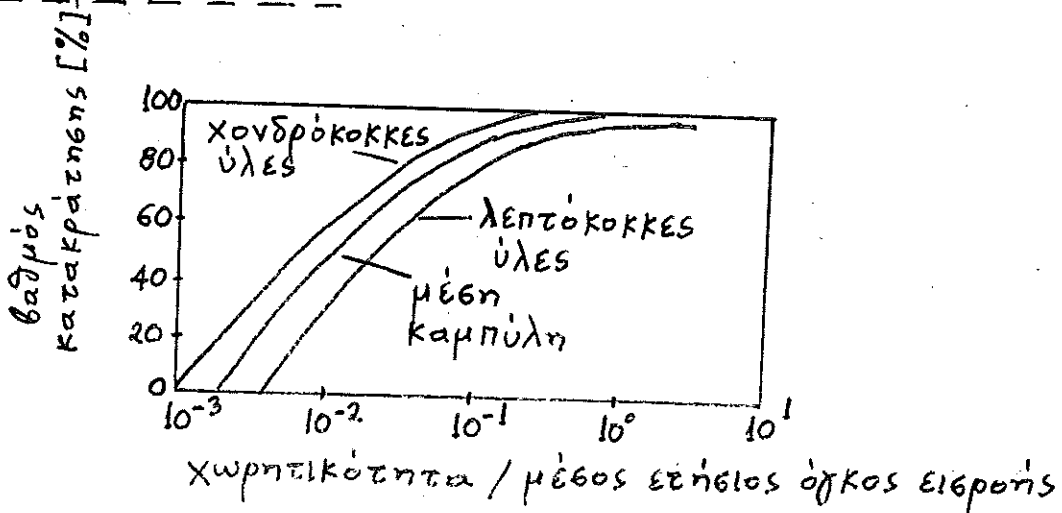
Σκοποί των ταμιευτήρων:

- άρδευση χωραφιών
- παροχή πόσιμου νερού και γενικότερα για οικιακή χρήση
- παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- αντιπλημμυρική προστασία

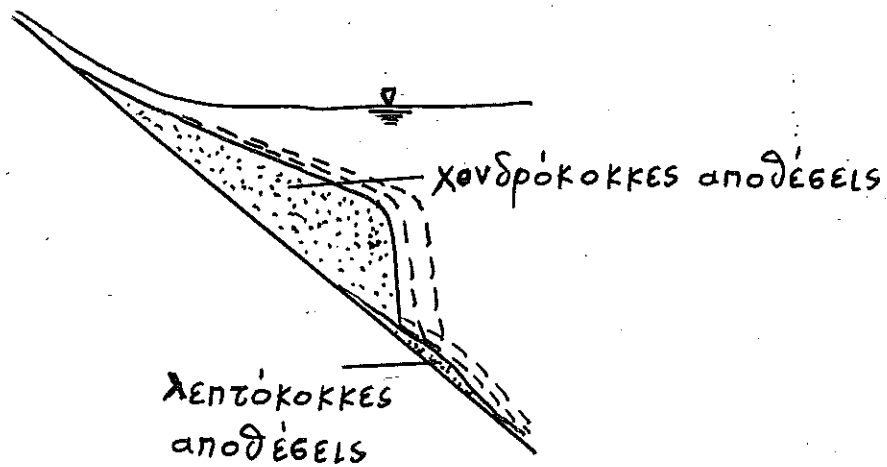
Βαθμός κατακράτησης ή σύλληψης φερτών υλών:

Ποσοστό φερτών υλών που κατακρατείται από τον ταμιευτήρα (που εναποτίθεται στον ταμιευτήρα)

Διάγραμμα Βτυπε



Χαρακτηριστικές περιοχές εναπόθεσης φερτών υλών



- α) περιοχή αποθέσεων στην είσοδο του ταμειευτήρα, πάνω από την επιφάνεια του νερού, χονδρόκοκκο υλικό (χαλίκι, άμμος)
- β) δέλτα, χονδρόκοκκο υλικό (αποθέσεις φορτίου κοίτης, άμμος)
- γ) περιοχή αποθέσεων κατάντη του δέλτα, λεπτόκοκκο υλικό (αποθέσεις φορτίου σε αώρηση, ιλύς, άργιλος)

Ρεύμα πυκνότητας

Μάζες θολού και φορτισμένου με αιωρούμενα υλικά νερού, που ρέουν κατά μήκος του πυθμένα προς το φράγμα

Πυκνότητα εναποθέσεων (τύπος του Miller)

$$\rho_{bT} = \rho_{b1} + B \frac{T}{T-1} \log T - 0.4 B$$

ρ_{bT} : πυκνότητα μετά από T χρόνια εναπόθεσης [kg/m³]

ρ_{b1} : πυκνότητα στο τέλος του πρώτου χρόνου εναπόθεσης [kg/m³]

T : αριθμός χρόνων εναπόθεσης

B : παράμετρος της οποίας η τιμή δίδεται από πίνακα

	Άμμος		Ιλύς		Άργιλος	
	ρ_{b1}	B	ρ_{b1}	B	ρ_{b1}	B
Ίζημα σχεδόν μόνιμα κάτω από το νερό	1500	0	1050	90	500	250
Μέτριες μεταβολές της στάθμης του νερού	1500	0	1185	45	750	170
Σημαντικές μεταβολές της στάθμης του νερού	1500	0	1275	15	950	100
Κενός ταμιευτήρας συνήθως	1500	0	1320	0	1250	0

Μέτρα προστασίας από τη συσώρευση φερτών υλών
σε ταμειευτήρες

- α) Παρεμπόδιση ή ελάττωση της εισροής φερτών υλών
 - δημιουργία μιας μικρής λεκάνης ανάντη του ταμειευτήρα
 - δημιουργία πυκνής βλάστησης στην αντίστοιχη υδρολογική λεκάνη

- β) Απομάκρυνση των εναποθέσεων
 - βυθοκόρος
 - έκπλυση

- γ) Προβλέψεις κατά το στάδιο σχεδιασμού
 - πρόβλεψη πρόσθετον χώρου για τα φερτά υλικά
 - πρόβλεψη ανύψωσης του φράγματος

- Μαθηματικά μοντέλα υπολογισμού της αναμενόμενης συσώρευσης φερτών υλών
(εξισώσεις μεταφοράς φορτίου κοίτης και φορτίου σε αιώρηση)