ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ

Υπόγεια Υδραυλική και Υδρολογία

Ενότητα 7: Μόνιμες ροές προς τάφρους και πηγάδια.

Καθηγητής Κωνσταντίνος Λ. Κατσιφαράκης
Αναπληρωτής Καθηγητής Νικόλαος Θεοδοσίου

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

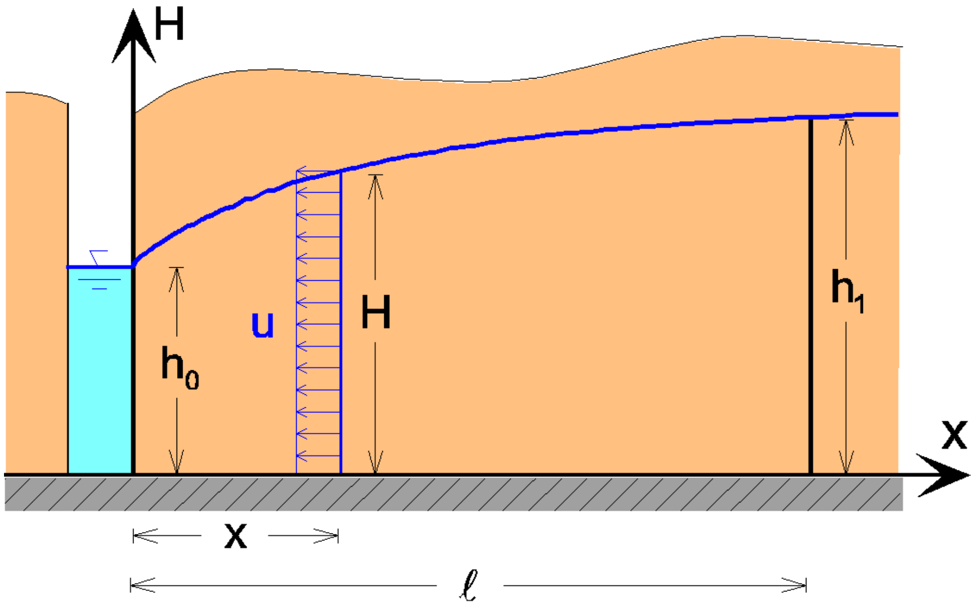
ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ

Μόνιμες ροές προς τάφρους και πηγάδια.

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑΦΡΟ (1/7)

Διδιάστατη, μόνιμη ροή προς τάφρο



Σχήμα 1: Ροή προς τάφρο.
Πηγή: Δημ. Τολίκας, Υπόγεια Υδραυλική, εκδ. Παρατηρητής, 1997, σελ. 131.

ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑΦΡΟ (2/7)

- **Εξίσωση Boussinesq**

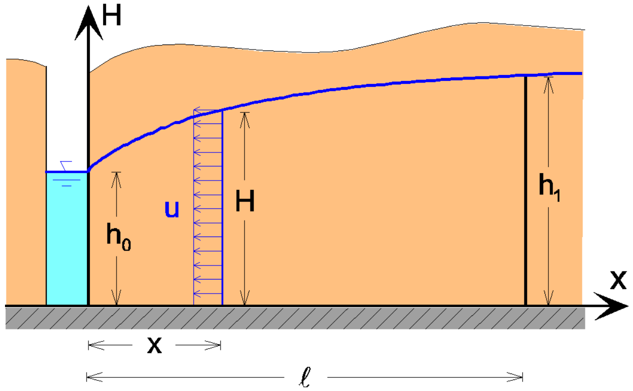
$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{K}{n}\frac{\partial}{\partial x}\left(H\frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{K}{n}\frac{\partial}{\partial y}\left(H\frac{\partial H}{\partial y}\right) + \frac{w_0 + \varepsilon}{n}$$

$$\frac{d}{dx}\left(H\frac{dH}{dx}\right) = 0$$

- **Ολοκλήρωση**

$$H\frac{dH}{dx} = c_1$$

$$\frac{H^2}{2} = c_1 x + c_2$$



ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑΦΡΟ (3/7)

$$\frac{H^2}{2} = c_1 x + c_2$$

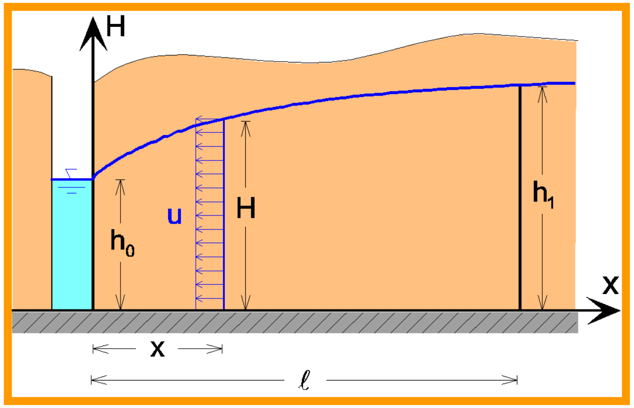
- Υπολογισμός των σταθερών ολοκλήρωσης
  - Για x=0 ↑ $H=h_0$ ⟶ $c_2 = \frac{h_0^2}{2}$
  - Για $x=\ell$ ↑ $H=h_1$ ⟶ $c_1 = \frac{h_1^2 - h_0^2}{2\ell}$
  - Εξίσωση ελεύθερης επιφάνειας:

$$\boxed{H^2 = h_0^2 + \frac{h_1^2 - h_0^2}{\ell} x}$$

ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑΦΡΟ (4/7)

$$H\frac{dH}{dx} = c_1$$

$$\frac{H^2}{2} = c_1 x + c_2$$



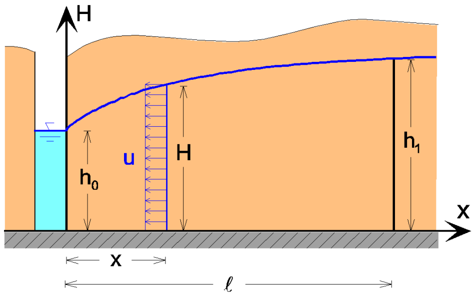
- Συνήθεις οριακές συνθήκες
  - Για x=0 ⬆ $H=h_0$ ⟶ $c_2 = \frac{h_0^2}{2}$
  - Γνωστή η παροχή q που διηθείται στην τάφρο

$$u = -K\frac{dH}{dx} \longrightarrow q = -KH\frac{dH}{dx} \longrightarrow c_1 = -\frac{q}{K} \longrightarrow H^2 = h_0^2 - \frac{2q}{K}x$$

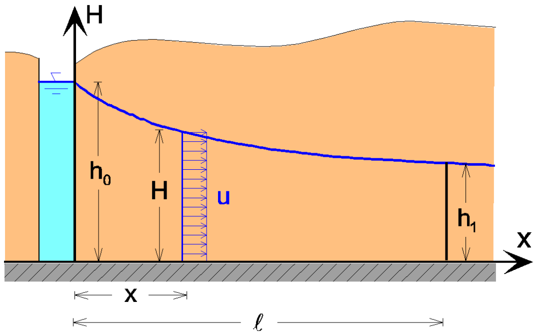
ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑΦΡΟ (5/7)

$$q = -KH\frac{dH}{dx}$$

$$H^2 = h_0^2 - \frac{2q}{K}x$$



Σχήμα 2: Ροή από υδροφορέα προς τάφρο.



Σχήμα 3: Ροή από τάφρο προς υδροφορέα.

$$\frac{dH}{dx} \rightarrow (+)$$

$$q = -KH\frac{dH}{dx} \rightarrow (-)$$

Προς αποφυγή σύγχυσης το q λαμβάνεται πάντα θετικό και ο τύπος γράφεται:

$$H^2 = h_0^2 \pm \frac{2q}{K}x$$

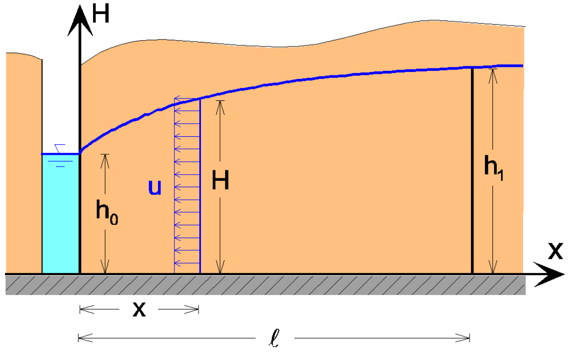
$$\frac{dH}{dx} \rightarrow (-)$$

$$q = -KH\frac{dH}{dx} = (+)$$

(+) Προς τάφρο
(-) Από τάφρο

ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑΦΡΟ (6/7)

$$H^2 = h_0^2 + \frac{2q}{K}x$$

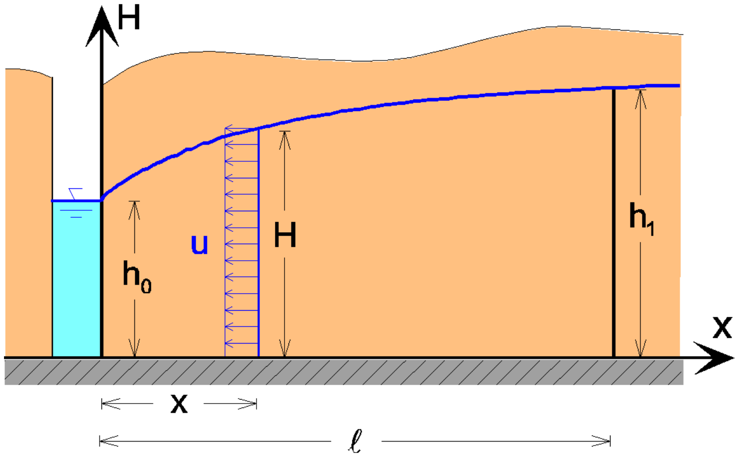


Όταν είναι γνωστά τα h_0 και h_1, η παροχή q δίνεται από τον τύπο:

$$q = K\frac{h_1^2 - h_0^2}{2\ell}$$

ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΑΦΡΟ (7/7)

- Άλλος τρόπος υπολογισμού:



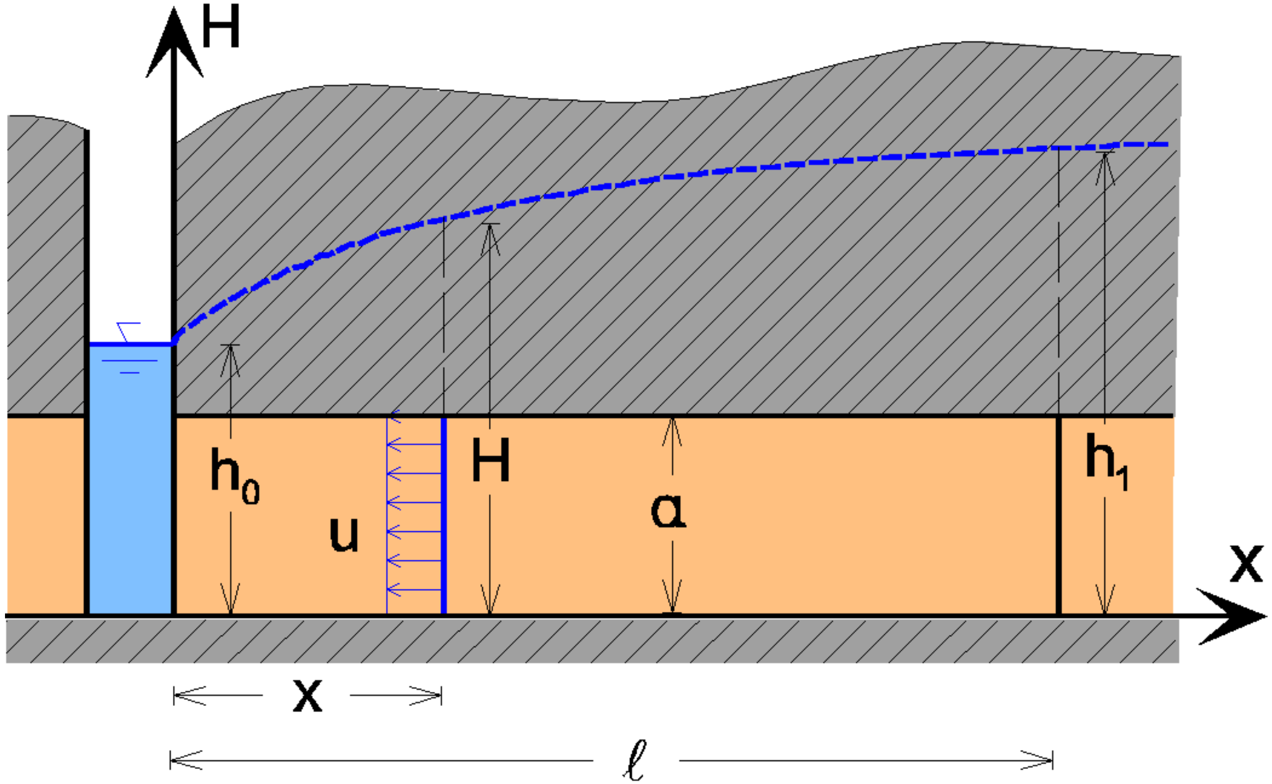
$$u = K\frac{dH}{dx}$$

$$q = u.s = KH\frac{dH}{dx}$$

$$\frac{q}{K}dx = HdH \longrightarrow \frac{q}{K}\int_0^x dx = \int_{h_0}^{H} HdH \longrightarrow H^2 = h_0^2 + \frac{2qx}{K}$$

$$q = K\frac{h_1^2 - h_0^2}{2\ell}$$

ΡΟΗ ΜΕ ΠΙΕΣΗ ΠΡΟΣ ΤΑΦΡΟ (1/2)



Σχήμα 4: Ροή με πίεση προς τάφρο.

Πηγή: Δημ. Τολίκας, Υπόγεια Υδραυλική, εκδ. Παρατηρητής, 1997, σελ. 141.

ΡΟΗ ΜΕ ΠΙΕΣΗ ΠΡΟΣ ΤΑΦΡΟ (2/2)

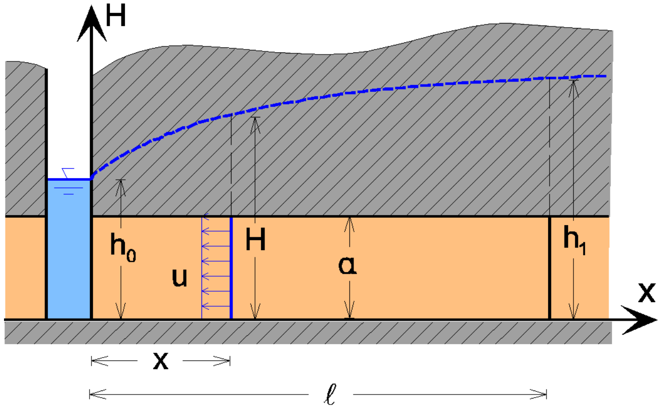
$$u = K\frac{dH}{dx}$$

$$q = K\alpha\frac{dH}{dx}$$

$$q\,dx = K\alpha\,dH$$

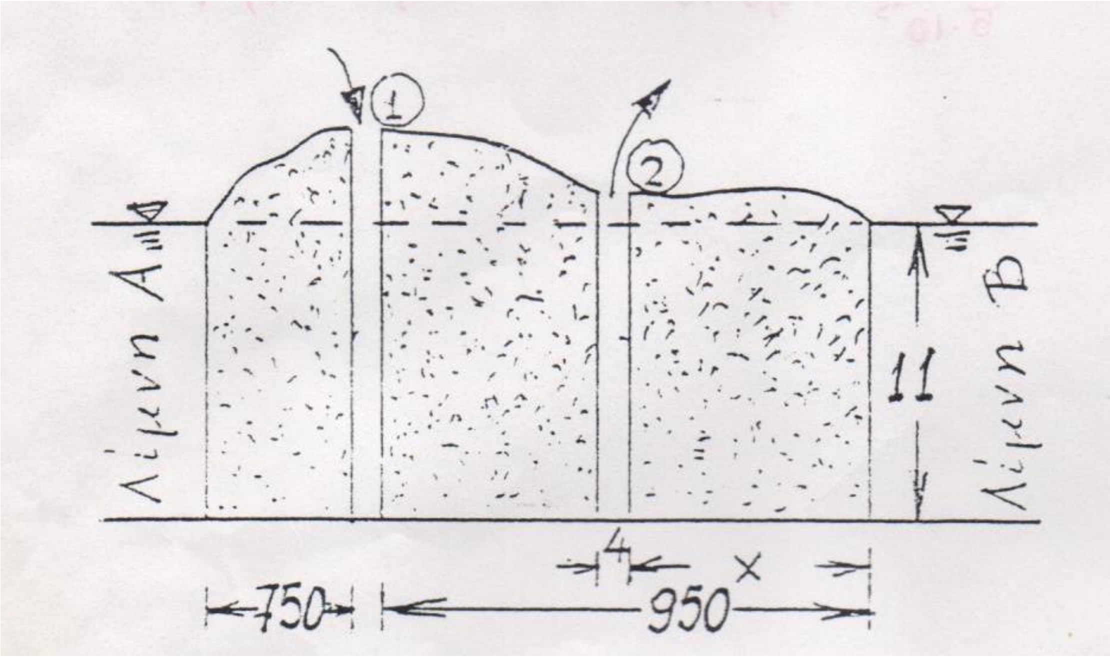
$$q\int_0^x dx = K\alpha\int_{h_0}^{H} dH \longrightarrow H = h_0 + \frac{qx}{K\alpha}$$

$$q = \frac{K\alpha}{\ell}(h_1 - h_0)$$



ΑΣΚΗΣΗ (1/1)

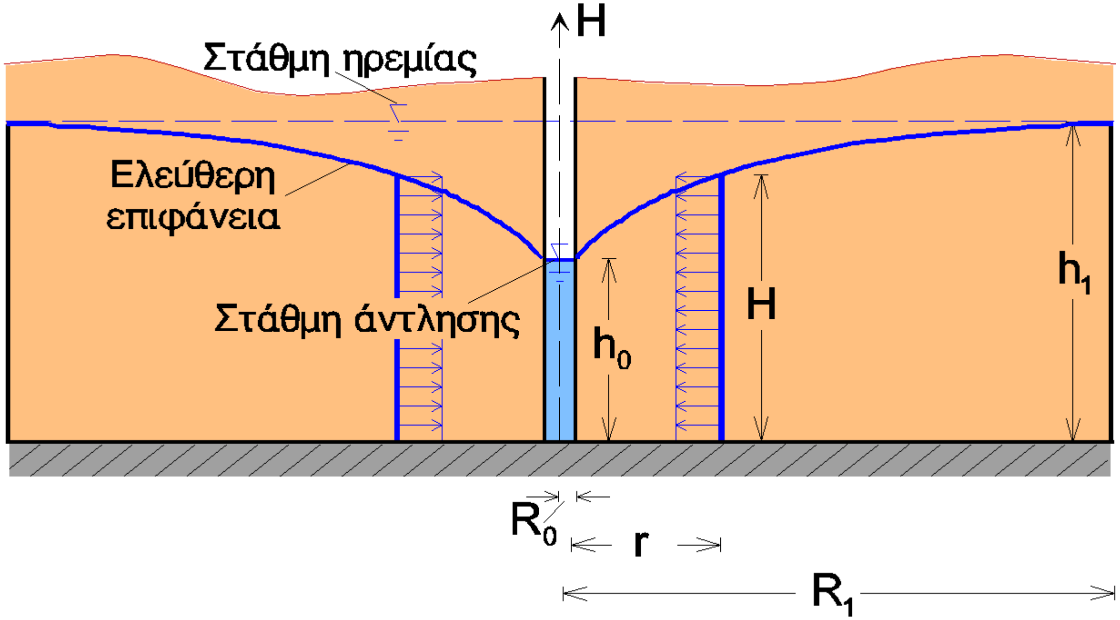
Στον υπόγειο υδροφορέα του σχήματος, που έχει συντελεστή σχετικής διαπερατότητας $K=5\cdot10^{-5}$ m/s, διανοίγονται οι τάφροι 1 και 2. Στην τάφρο 1 διατίθενται απόβλητα με παροχή 0.006 lit/(s·m), ενώ από την τάφρο 2 γίνεται άντληση με παροχή 0.011 lit/(s·m). Να υπολογίσετε την απόσταση x της τάφρου 2 από τη λίμνη Β, ώστε το 10% των αποβλήτων που διατίθενται στην τάφρο 1 να κατευθύνεται προς τη λίμνη Α, ενώ το υπόλοιπο 90% προς την τάφρο 2.



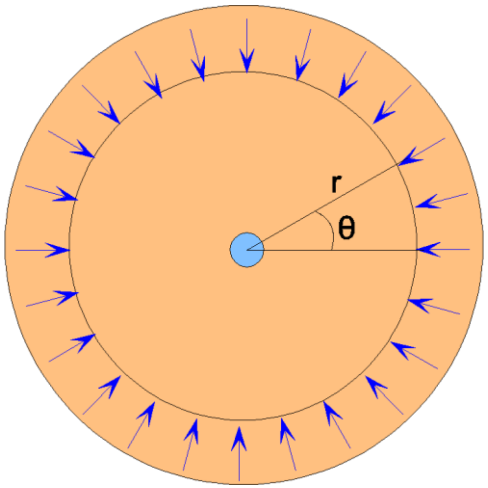
ΡΟΗ ΠΡΟΣ ΠΗΓΑΔΙ

εικόνα 1: χειροκίνητη αντλία στην Ι.Μ. Βλατάδων, Θεσσαλονίκη.
Πηγή: προσωπικό αρχείο Κ. Κατσιφαράκη.

ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΠΗΓΑΔΙ (1/7)



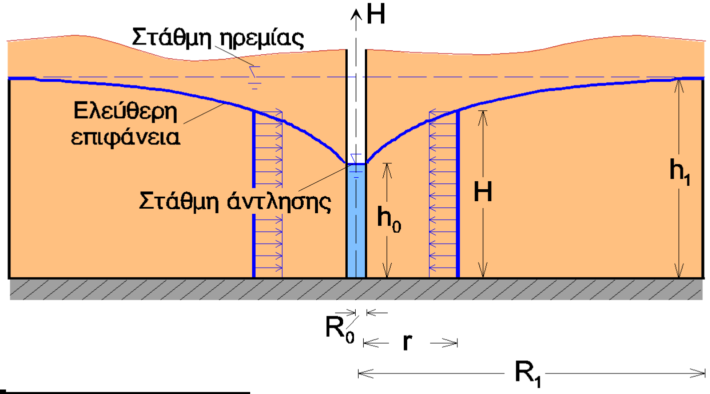
Σχήμα 5: Αξονοσυμμετρική, μόνιμη ροή προς πηγάδι.
Πηγή: Δημ. Τολίκας, Υπόγεια Υδραυλική, εκδ. Παρατηρητής, 1997, σελ. 135.



Σχήμα 6: Αξονοσυμμετρική ροή, Κάτοψη.
Πηγή: αρχείο κ. Δημ. Τολίκα.

ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΠΗΓΑΔΙ (2/7)

- Εξίσωση Boussinesq



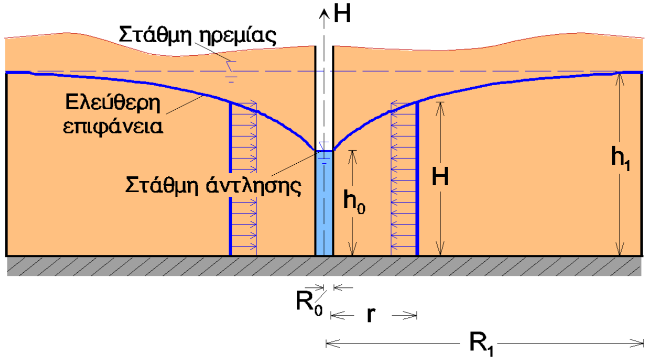
$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{K}{n}\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(H\frac{\partial H}{\partial r}\right) + \frac{1}{r}H\frac{\partial H}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(H\frac{\partial H}{\partial \theta}\right)\right] + \frac{w_0 + \varepsilon}{n}$$

$$\frac{d}{dr}\left(H\frac{dH}{dr}\right) + \frac{1}{r}H\frac{dH}{dr} = 0 \longrightarrow \frac{d}{dr}\left(rH\frac{dH}{dr}\right) = 0$$

$$rH\frac{dH}{dr} = c_1 \longrightarrow \frac{H^2}{2} = c_1 \ell n r + c_2$$

ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΠΗΓΑΔΙ (3/7)

$$\frac{H^2}{2} = c_1 \ell n r + c_2$$



- Υπολογισμός των σταθερών ολοκλήρωσης
  - Για $r=R_0$ ↑ $H=h_0$ ⟶ $$\frac{h_0^2}{2} = c_1 \ell n R_0 + c_2$$
  - Για $r= R_1$ ↑ $H=h_1$ ⟶ $$\frac{h_1^2}{2} = c_1 \ell n R_1 + c_2$$

$$c_1 = \frac{h_1^2 - h_0^2}{2 \ell n \frac{R_1}{R_0}}$$

$$c_2 = \frac{h_0^2}{2} - \frac{h_1^2 - h_0^2}{2 \ell n \frac{R_1}{R_0}} \ell n R_0$$

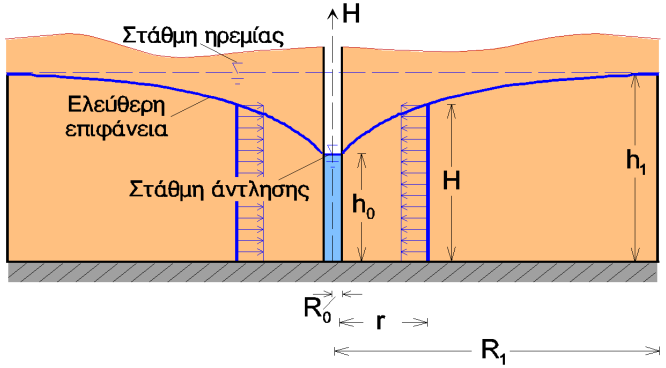
  - Εξίσωση ελεύθερης επιφάνειας:

$$H^2 = h_0^2 + \frac{h_1^2 - h_0^2}{\ell n \frac{R_1}{R_0}} \ell n \frac{r}{R_0}$$

ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΠΗΓΑΔΙ (4/7)

$$rH\frac{dH}{dr} = c_1$$

$$\frac{H^2}{2} = c_1 \ell n r + c_2$$



- Συνήθεις οριακές συνθήκες
  - Για $r=R_0$ ⬆ $H=h_0$ ⟶ $$\frac{h_0^2}{2} = c_1 \ell n R_0 + c_2$$

- Γνωστή η παροχή Q που αντλείται από το πηγάδι

$$Q = -2\pi K r H \frac{dH}{dr} \longrightarrow Q = -2\pi K c_1 \longrightarrow c_1 = -\frac{Q}{2\pi K} \longrightarrow c_2 = \frac{h_0^2}{2} + \frac{Q}{2\pi K} \ell n R_0$$

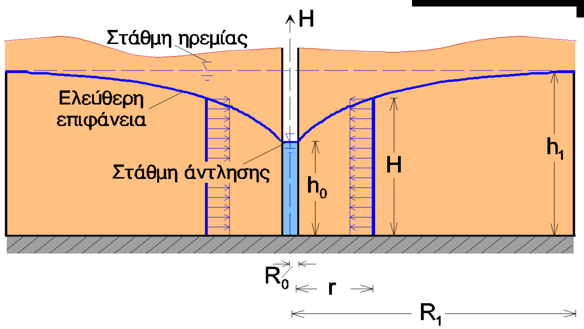
Εξίσωση ελεύθερης επιφάνειας

$$H^2 = h_0^2 - \frac{Q}{\pi K} \ell n \frac{r}{R_0}$$

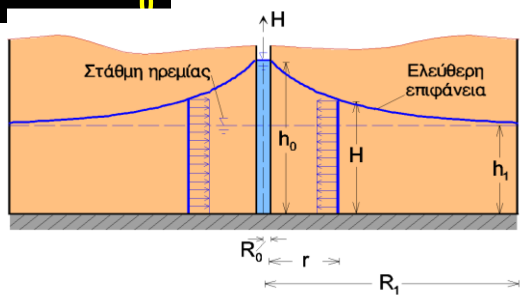
ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΠΗΓΑΔΙ (5/7)

$$Q = -2\pi K r H \frac{dH}{dr}$$

$$H^2 = h_0^2 - \frac{Q}{\pi K} \ell n \frac{r}{R_0}$$



Ροή από υδροφορέα προς πηγάδι.



Σχήμα 5: Ροή από πηγάδι προς υδροφορέα.

$$\frac{dH}{dr} \rightarrow (+)$$

$$Q = -2\pi K r H \frac{dH}{dr} \rightarrow (-)$$

$$\frac{dH}{dr} \rightarrow (-)$$

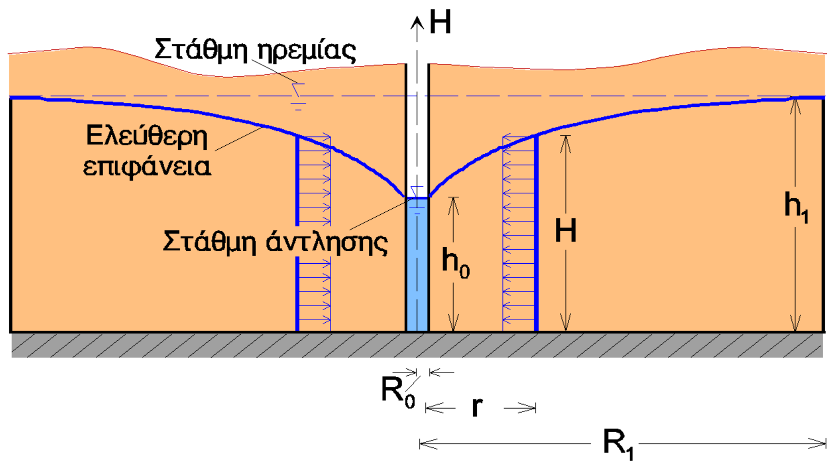
$$Q = -2\pi K r H \frac{dH}{dr} \rightarrow (+)$$

Προς αποφυγή σύγχυσης το Q λαμβάνεται πάντα θετικό και ο τύπος γράφεται:

$$H^2 = h_0^2 \pm \frac{Q}{\pi K} \ell n \frac{r}{R_0}$$

(+) Προς πηγάδι
(-) Από πηγάδι

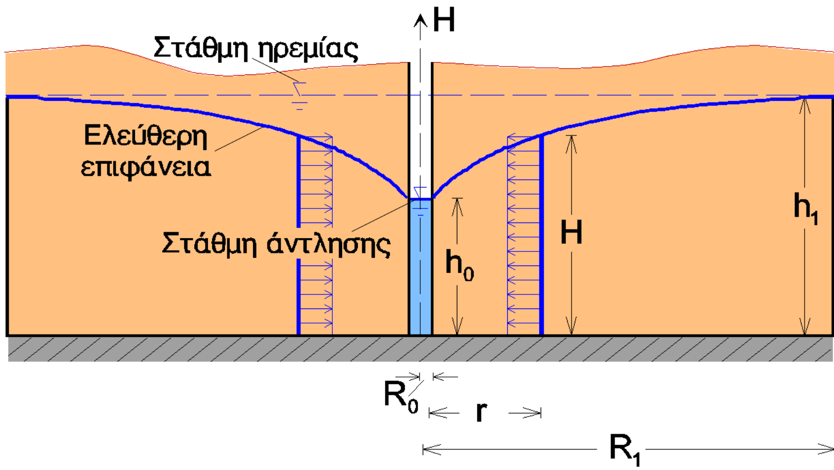
ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΠΗΓΑΔΙ (6/7)



- Σε μεγάλη απόσταση από το πηγάδι ο υδάτινος ορίζοντας παραμένει πρακτικά αμετάβλητος
- Αυτή η απόσταση ονομάζεται ακτίνα επιρροής

ΡΟΗ ΜΕ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΠΗΓΑΔΙ (7/7)

- Άλλος τρόπος υπολογισμού:



$$u = K\frac{dH}{dr}$$

$$Q = 2\pi rHK\frac{dH}{dr}$$

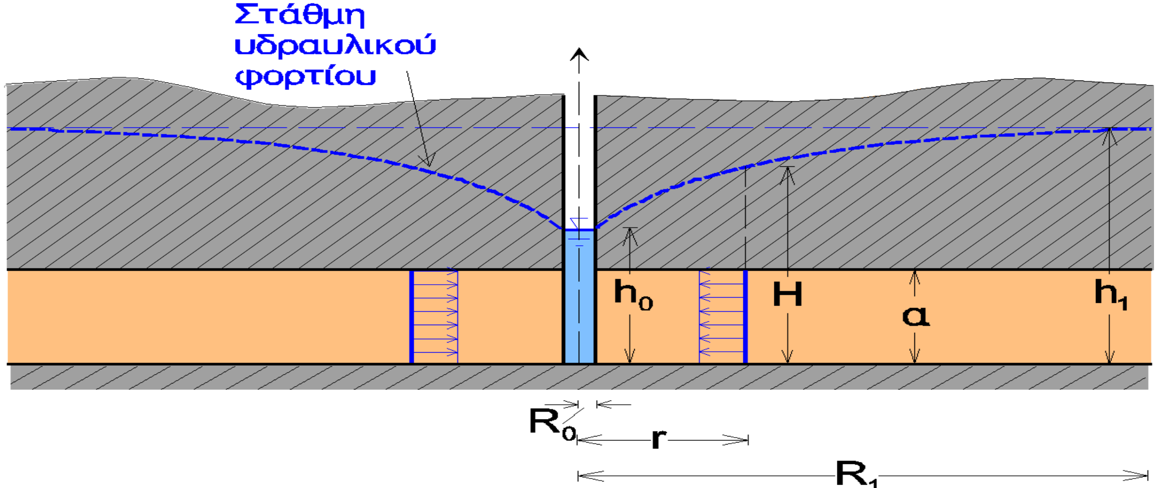
$$\frac{Q}{2\pi K}\frac{dr}{r} = HdH \longrightarrow \frac{Q}{2\pi K}\int_{R_0}^{r}\frac{dr}{r} = \int_{h_0}^{H}HdH \longrightarrow H^2 = h_0^2 + \frac{Q}{\pi K}\ell n\frac{r}{R_0}$$

$$Q = \pi K\frac{h_1^2 - h_0^2}{\ell n\frac{R_1}{R_0}}$$

ΡΟΗ ΜΕ ΠΙΕΣΗ ΠΡΟΣ ΠΗΓΑΔΙ

$$Q = 2\pi r \alpha K \frac{dH}{dr}$$

$$\frac{Q}{2\pi K\alpha}\frac{dr}{r} = dH$$



Σχήμα 7: Ροή με πίεση προς πηγάδι.

Πηγή: Δημ. Τολίκας, Υπόγεια Υδραυλική, εκδ. Παρατηρητής, 1997, σελ. 143.

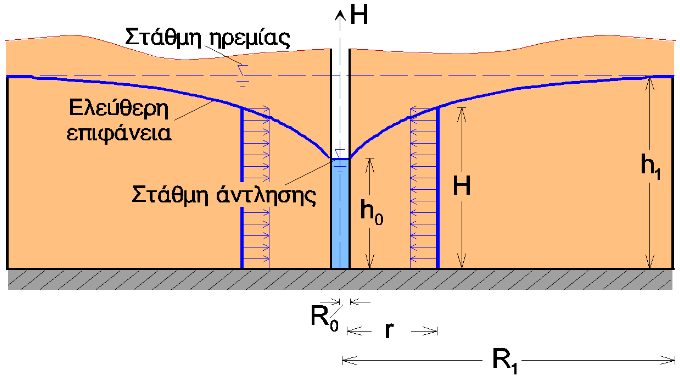
$$\frac{Q}{2\pi K\alpha}\int_{R_0}^{r}\frac{dr}{r} = \int_{h_0}^{H} dH \longrightarrow H = h_0 + \frac{Q}{2\pi K\alpha}\ln\frac{r}{R_0}$$

$$\frac{Q}{2\pi K\alpha}\int_{r}^{R_1}\frac{dr}{r} = \int_{H}^{h_1} dH \longrightarrow H = h_1 - \frac{Q}{2\pi K\alpha}\ln\frac{R_1}{r}$$

$$Q = \frac{2\pi K\alpha(h_1 - h_0)}{\ln\frac{R_1}{R_0}}$$

ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΟ ΒΑΘΟΣ (1/3)

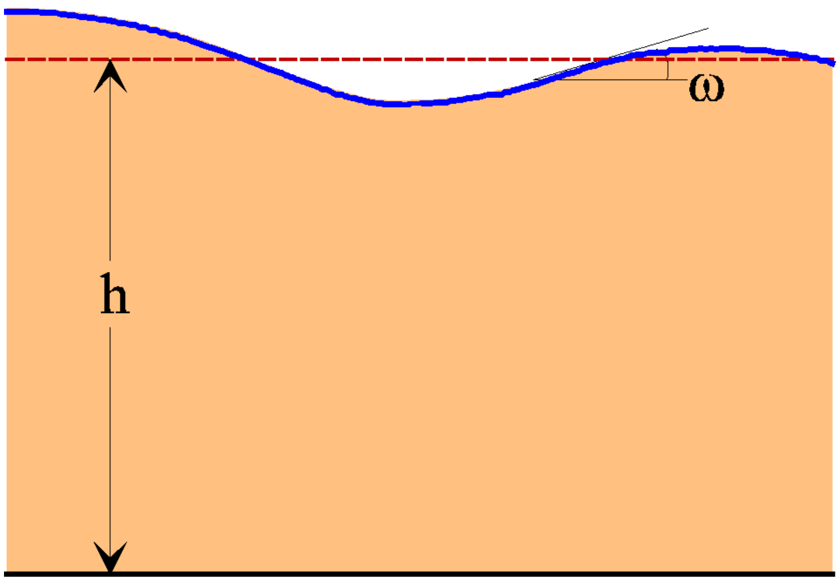
$$Q = \pi K \frac{h_1^2 - h_0^2}{\ell n \frac{R_1}{R_0}}$$



- Όσο ελαττώνεται το h_0 τόσο μεγαλώνει η παροχή Q
- Θεωρητικά η μέγιστη παροχή αντλείται όταν το h_0=0
- Περιορισμοί εξαιτίας των απλοποιητικών παραδοχών Boussinesq

ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΟ ΒΑΘΟΣ (2/3)

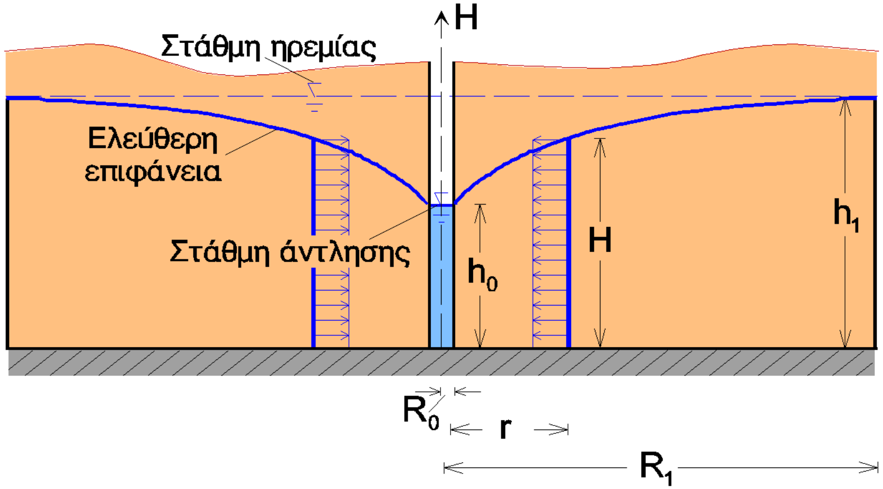
- **α΄ παραδοχή Boussinesq: Η ελεύθερη επιφάνεια του νερού κυμαίνεται κοντά σ’ ένα μέσο ύψος h και οι κλίσεις της, ως προς την οριζόντια ευθεία είναι πολύ μικρές**



Σχήμα 8: α΄ παραδοχή Boussinesq.
Πηγή: αρχείο κ. Δημ. Τολίκα.

ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΟ ΒΑΘΟΣ (3/3)

$$Q = \pi K \frac{h_1^2 - h_0^2}{\ell n \frac{R_1}{R_0}}$$

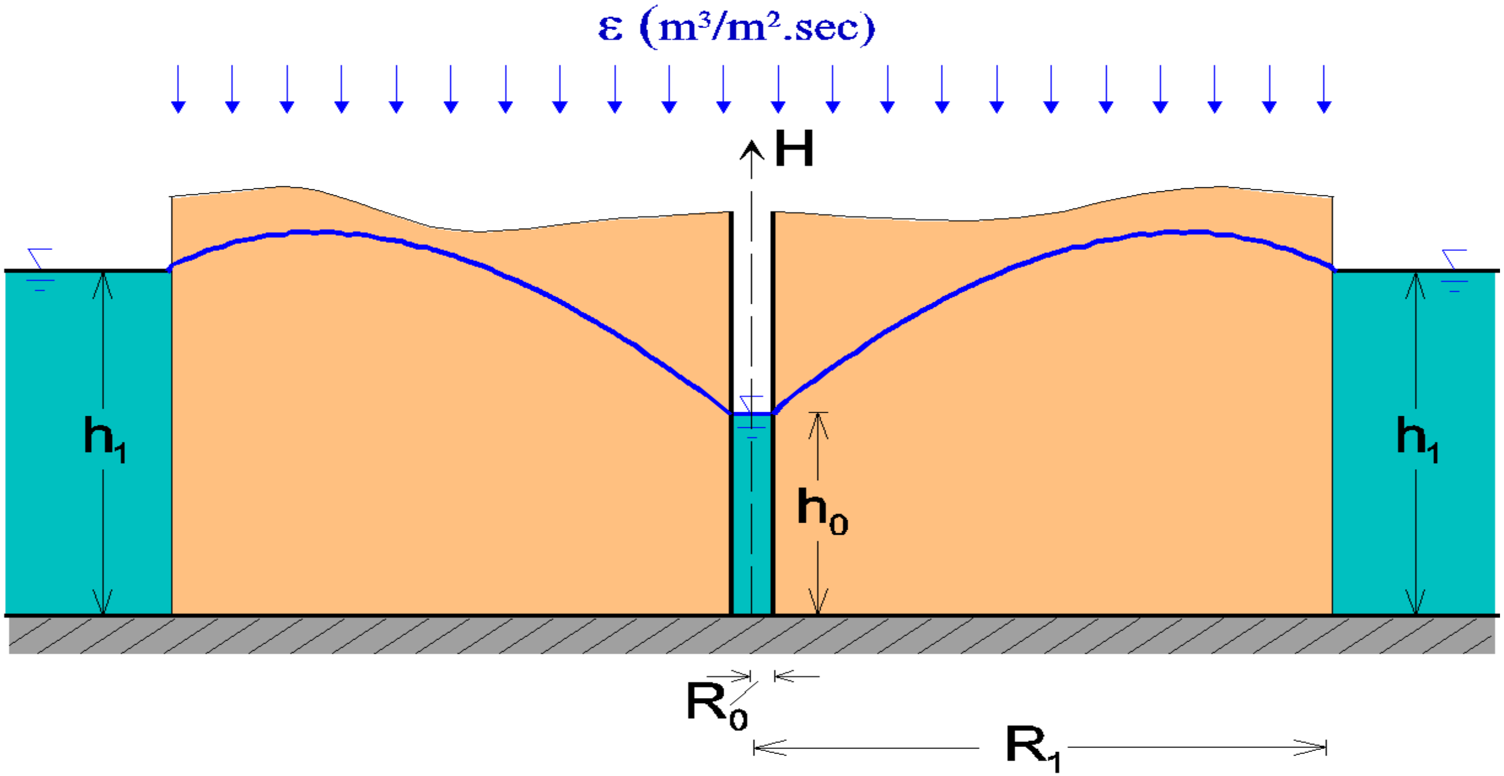


- Κρίσιμο βάθος: $h_c=0{,}5h_1$
- Μέγιστη παροχή:

$$Q_{max} = 0{,}75\,\pi K \frac{h_1^2}{\ell n\left(\frac{R_1}{R_0}\right)}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1ο (1/6)

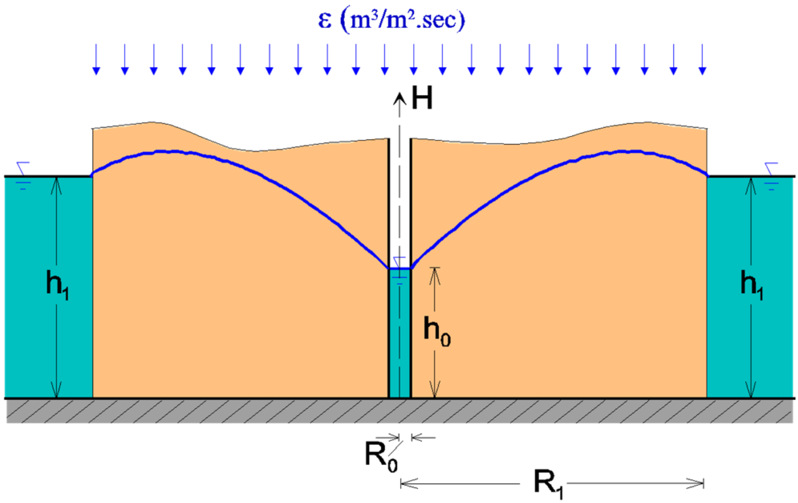
- **Ροή προς πηγάδι με επιφανειακή διήθηση**



Σχήμα 6: Ροή προς πηγάδι με επιφανειακή διήθηση.
Πηγή: Δημ. Τολίκας, ο.π., σελ. 170.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1ο (2/6)

$$\frac{\partial H}{\partial t}=\frac{K}{n}\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(H\frac{\partial H}{\partial r}\right)+\frac{1}{r}H\frac{\partial H}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(H\frac{\partial H}{\partial \theta}\right)\right]+\frac{w_0+\varepsilon}{n}$$



$$\frac{d}{dr}\left(H\frac{dH}{dr}\right)+\frac{1}{r}H\frac{dH}{dr}+\frac{\varepsilon}{K}=0$$

$$\frac{d}{dr}\left(rH\frac{dH}{dr}\right)=-\frac{\varepsilon}{K}r$$

$$H^2=-\frac{\varepsilon}{2K}r^2+2C_1\ell nr+2C_2$$

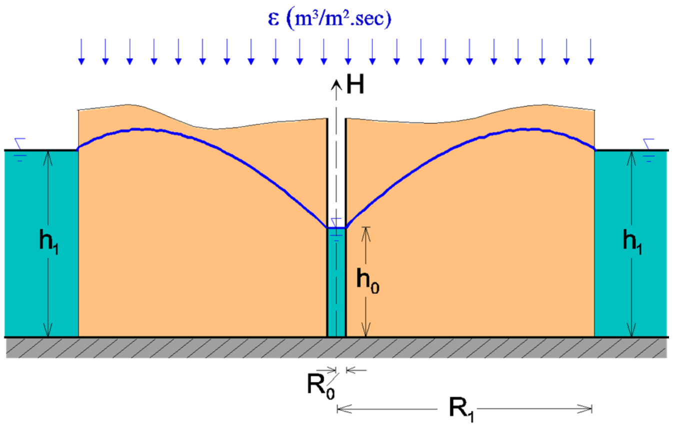
← Για $r=R_0$ ↑ $H=h_0$

$$2C_1=\frac{h_1^2-h_0^2+\frac{\varepsilon}{2K}(R_1^2-R_0^2)}{\ell n\frac{R_1}{R_0}}$$

← Για $r=R_1$ ↑ $H=h_1$

$$2C_2=h_0^2+\frac{\varepsilon}{2K}R_0^2-\frac{h_1^2-h_0^2+\frac{\varepsilon}{2K}(R_1^2-R_0^2)}{\ell n\frac{R_1}{R_0}}\ell nR_0$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1ο (3/6)



- Εξίσωση ελεύθερης επιφάνειας:

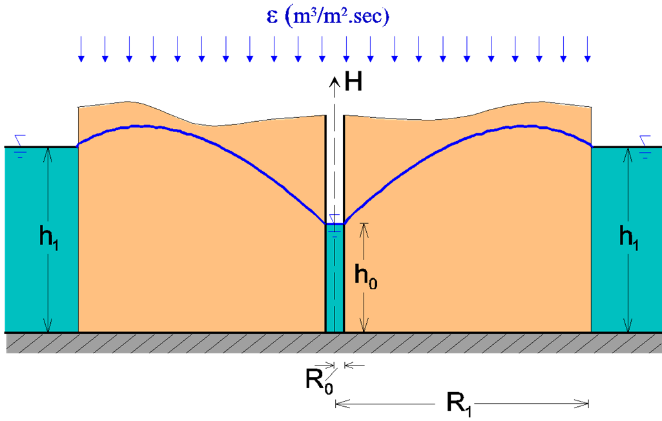
$$H^2 = h_0^2 - \frac{\varepsilon}{2K}(r^2 - R_0^2) + \frac{h_1^2 - h_0^2 + \frac{\varepsilon}{2K}(R_1^2 - R_0^2)}{\ell n \frac{R_1}{R_0}} \ell n \frac{r}{R_0}$$

- Υπολογισμός παροχής:

$$Q = -2\pi r K H \frac{dH}{dr} = -\varepsilon \pi r^2 + \pi K \frac{h_1^2 - h_0^2 + \frac{\varepsilon}{2K}(R_1^2 - R_0^2)}{\ell n \frac{R_1}{R_0}}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1ο (4/6)

$$\mathbf{Q} = -\varepsilon \pi \mathbf{r}^2 + \pi \mathbf{K} \frac{\mathbf{h}_1^2 - \mathbf{h}_0^2 + \dfrac{\varepsilon}{2\mathbf{K}}(\mathbf{R}_1^2 - \mathbf{R}_0^2)}{\ell \mathbf{n} \dfrac{\mathbf{R}_1}{\mathbf{R}_0}}$$

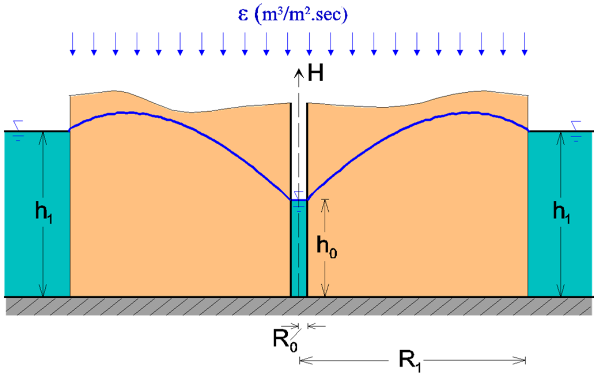


- Παροχή που αντλείται από το πηγάδι

$$\mathbf{Q}_0 = -\varepsilon \pi \mathbf{R}_0^2 + \pi \mathbf{K} \frac{\mathbf{h}_1^2 - \mathbf{h}_0^2 + \dfrac{\varepsilon}{2\mathbf{K}}(\mathbf{R}_1^2 - \mathbf{R}_0^2)}{\ell \mathbf{n} \dfrac{\mathbf{R}_1}{\mathbf{R}_0}}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1ο (5/6)

$$H^2 = h_0^2 - \frac{\varepsilon}{2K}(r^2 - R_0^2) + \frac{h_1^2 - h_0^2 + \frac{\varepsilon}{2K}(R_1^2 - R_0^2)}{\ell n \frac{R_1}{R_0}} \ell n \frac{r}{R_0}$$



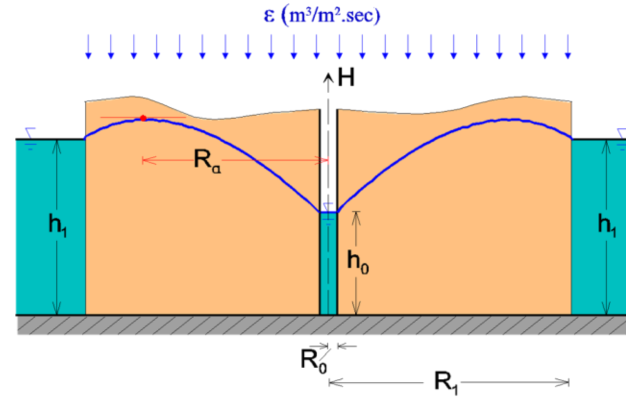
$$Q_0 = -\varepsilon \pi R_0^2 + \pi K \frac{h_1^2 - h_0^2 + \frac{\varepsilon}{2K}(R_1^2 - R_0^2)}{\ell n \frac{R_1}{R_0}}$$

- Εξίσωση της ελεύθερης επιφάνειας ως συνάρτηση της παροχής Q_0

$$H^2 = h_0^2 + \left(\frac{Q_0}{\pi K} + \frac{\varepsilon R_0^2}{K}\right) \ell n \frac{r}{R_0} - \frac{\varepsilon}{2K}(r^2 - R_0^2)$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1ο (6/6)

- Θέσεις όπου η ελεύθερη επιφάνεια βρίσκεται σε υψόμετρο μεγαλύτερο από τη στάθμη του νερού στη δεξαμενή

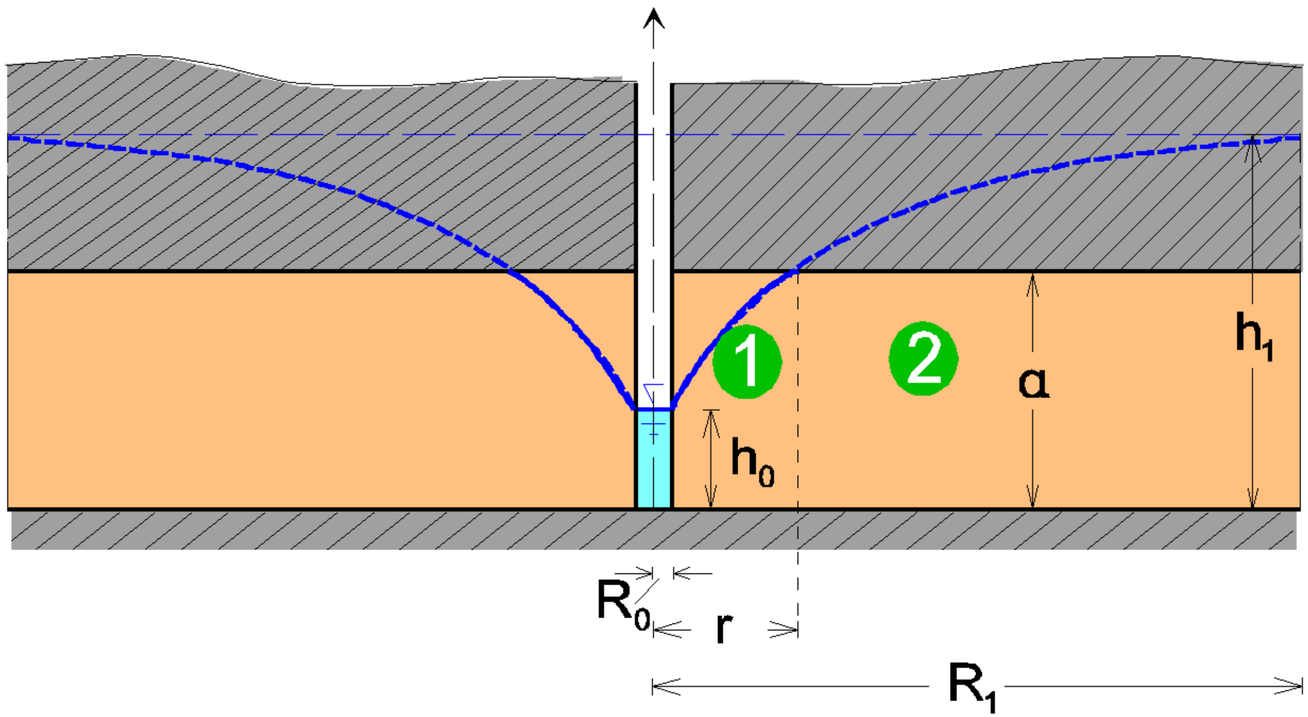


$$\frac{\mathbf{dH}}{\mathbf{dr}} = 0 \longrightarrow R_\alpha = \sqrt{\frac{Q_0}{\pi\varepsilon} + R_0^2} \qquad \left(\frac{\mathbf{d^2H}}{\mathbf{dr^2}}\right) \longrightarrow \text{Μέγιστο}$$

Για να εμφανίζεται το μέγιστο μέσα στο πεδίο ροής πρέπει: $R_\alpha < R_1$ $\quad \mathbf{Q_0 < \pi\varepsilon(R_1^2 - R_0^2)}$ (Φυσική ερμηνεία)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2ο (1/4)

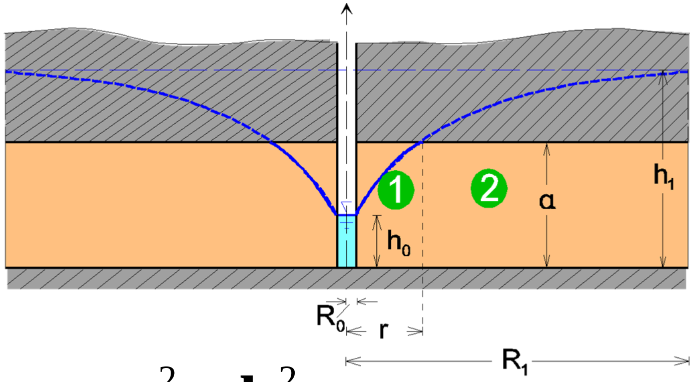
- **Ροή προς πηγάδι (κατά ένα τμήμα με ελεύθερη επιφάνεια και κατά το άλλο με πίεση)**



Σχήμα 9: Ροή προς πηγάδι με κατά το ένα τμήμα με ελεύθερη επιφάνεια και κατά το άλλο με πίεση.

Πηγή: Δημ. Τολίκας, ο.π., σελ. 175.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2ο (2/4)



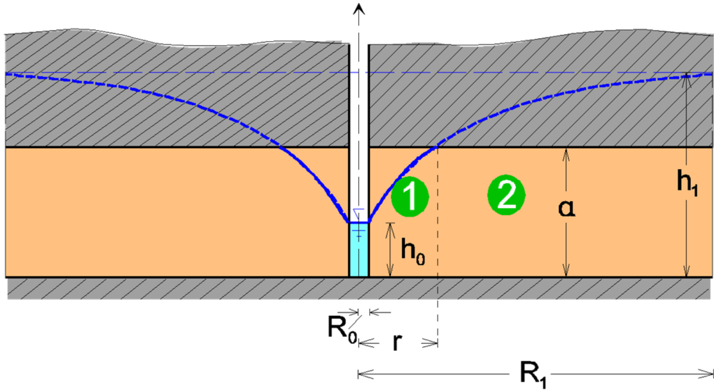
- Παροχή σε περιοχή 1: $$Q_1 = \pi K \frac{\alpha^2 - h_0^2}{\ell n \frac{r}{R_0}}$$

- Παροχή σε περιοχή 2: $$Q_2 = \frac{2\pi K\alpha(h_1 - \alpha)}{\ell n \frac{R_1}{r}}$$

$$Q = \pi K \frac{\alpha^2 - h_0^2}{\ell n \frac{r}{R_0}} = \frac{2\pi K\alpha(h_1 - \alpha)}{\ell n \frac{R_1}{r}}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2ο (3/4)

$$\mathbf{Q} = \pi \mathbf{K} \frac{\alpha^2 - \mathbf{h}_0^2}{\ell \mathbf{n} \frac{\mathbf{r}}{\mathbf{R}_0}} = \frac{2\pi \mathbf{K}\alpha(\mathbf{h}_1 - \alpha)}{\ell \mathbf{n} \frac{\mathbf{R}_1}{\mathbf{r}}}$$

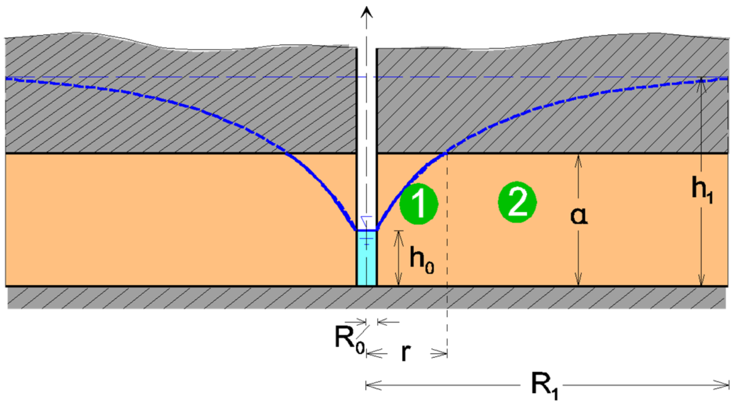


- Διαχωριστική απόσταση r

$$\ell \mathbf{n} \mathbf{r} = \frac{(\alpha^2 - \mathbf{h}_0^2)\ell \mathbf{n} \mathbf{R}_1 + (2\alpha \mathbf{h}_1 - 2\alpha^2)\ell \mathbf{n} \mathbf{R}_0}{2\alpha \mathbf{h}_1 - \alpha^2 - \mathbf{h}_0^2}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2ο (4/4)

$$Q = \pi K \frac{\alpha^2 - h_0^2}{\ell n \frac{r}{R_0}} = \frac{2\pi K \alpha (h_1 - \alpha)}{\ell n \frac{R_1}{r}}$$



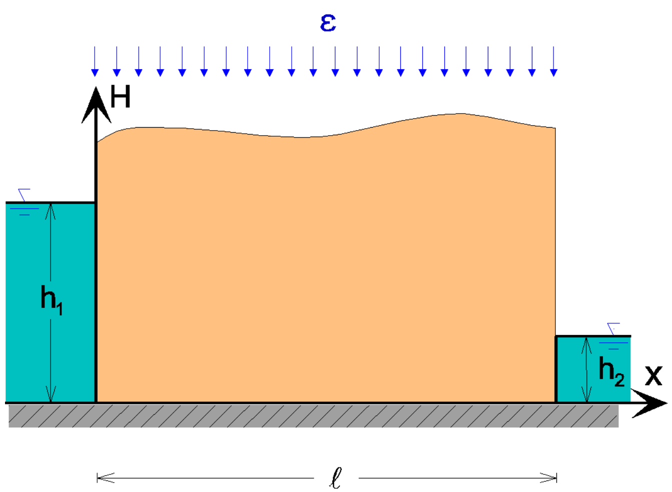
$$\ell n r = \frac{(\alpha^2 - h_0^2)\ell n R_1 + (2\alpha h_1 - 2\alpha^2)\ell n R_0}{2\alpha h_1 - \alpha^2 - h_0^2}$$

← Παροχή που αντλείται από το πηγάδι

$$Q = \frac{\pi K (2\alpha h_1 - \alpha^2 - h_0^2)}{\ell n \frac{R_1}{R_0}}$$

ΑΣΚΗΣΗ 1η (1/2)

Στον υδροφορέα ανάμεσα απ’ τις δύο λίμνες 1 και 2 που φαίνονται στο σχήμα, διηθούνται επιφανειακά νερά φορτισμένα, εξαιτίας γεωργικών καταλοίπων, με ρυπαντικό φορτίο 8 ρυπαντικών μονάδων ανά cm^3 διηθούμενου νερού. Να υπολογίσετε τις ρυπαντικές μονάδες που φορτίζουν τις λίμνες 1 και 2 ανά 24ωρο και ανά μέτρο πλάτους.

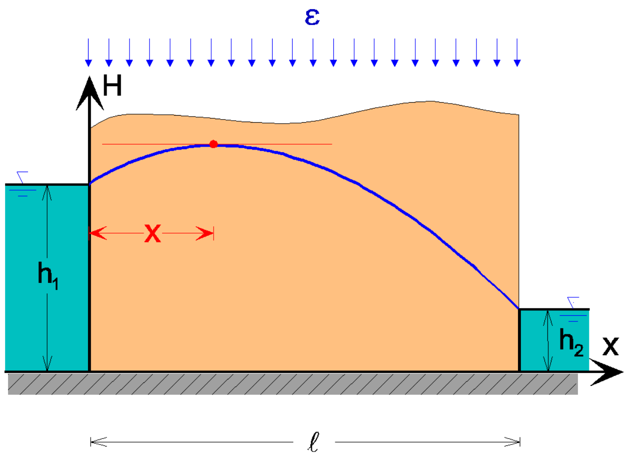


Σχήμα 8: Υδροφορέας μεταξύ λιμνών

Δεδομένα:
h_1=28m
h_2=12m
ℓ=1.500m
Συντελεστής σχετικής διαπερατότητας $K=9.10^{-3}$m/sec
Παροχή επιφανειακής διήθησης $\varepsilon=10cm^3/m^2.sec$

ΑΣΚΗΣΗ 1^{η} (2/2)

Η ελεύθερη επιφάνεια αλλάζει κλίση όταν:



$$q = -KH\frac{dH}{dx} = K\frac{h_1^2 - h_2^2}{2\ell} + \varepsilon\left(x - \frac{\ell}{2}\right) = 0$$

δηλ. στη θέση: $$x = \frac{\ell}{2} - \frac{K}{\varepsilon}\frac{h_1^2 - h_2^2}{2\ell}$$

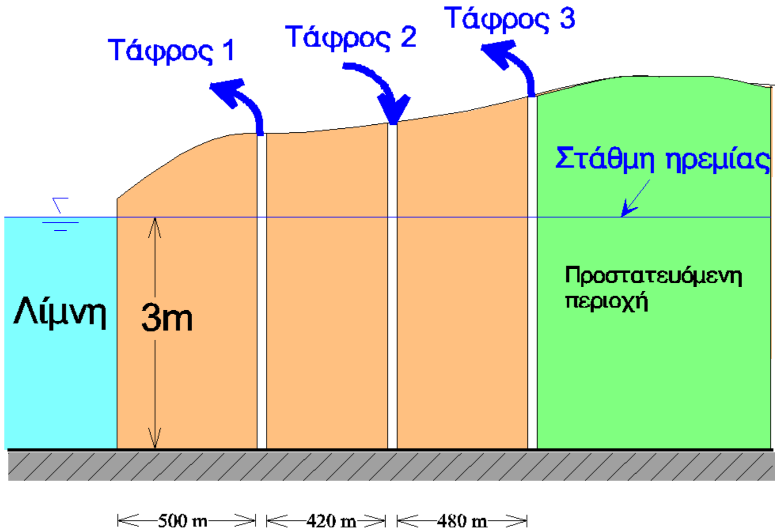
Επομένως οι ρυπαντικές μονάδες που φορτίζουν τις λίμνες 1 και 2 είναι:

A_1=8.ε.x.86400 και A_2=8.ε.(ℓ -x).86400

ΑΣΚΗΣΗ 2η

Στον υδροφορέα κοντά στη λίμνη του σχήματος διανοίγονται οι τάφροι 1,2 και 3. Στην τάφρο 2 διηθούνται μολυσμένα νερά με παροχή q_2=0,0035 lit/sec.m, ενώ από την τάφρο 1 αντλείται παροχή q_1=0,0035 lit/sec.m.

Από την τάφρο 3 αντλείται η ελάχιστη παροχή q3, ώστε στην προστατευόμενη περιοχή να μη διηθούνται μολυντές.



Σχήμα 10: Τάφροι και λίμνη.

Να υπολογίσετε την παροχή q_3, καθώς και το ποσοστό καθαρού νερού που αντλείται από την τάφρο 1.

Δίνονται:

Συντελεστής σχετικής διαπερατότητας $K= 2.10^{-4}$ m/sec

Η στάθμη ηρεμίας στον υδροφορέα βρίσκεται στο ίδιο υψόμετρο με τη στάθμη της λίμνης.

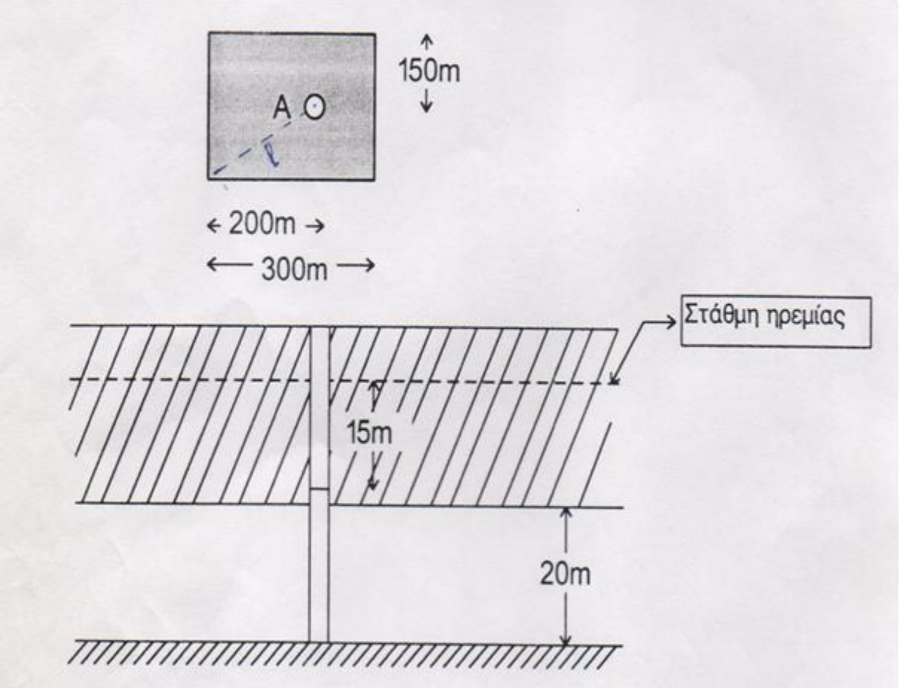
ΑΣΚΗΣΗ 3η

Στον άπειρο υδροφορέα υπό πίεση που φαίνεται στο σχήμα και σε όλο το ύψος του δημιουργήθηκε μετά από ατύχημα κηλίδα ρύπανσης, της οποίας η κάτοψη μπορεί κατά προσέγγιση να θεωρηθεί τετραγωνική. Από τη γεώτρηση Α αντλείται σταθερή παροχή με σκοπό την απομάκρυνση της κηλίδας.

α) Να υπολογιστεί ο χρόνος που χρειάζεται για την πλήρη απορρύπανση του υδροφορέα.

β) Ποιο είναι το ποσοστό του όγκου του καθαρού νερού προς τον συνολικό όγκο του νερού που θα αντληθεί, μέχρι την πλήρη απορρύπανση.

Δίνονται: συντελεστής σχετικής διαπερατότητας $K = 5\ 10^{-5}$ m/s,
(ενεργό) πορώδες $n = 0.2$,
ακτίνα γεώτρησης $r = 0.25$ m,
ακτίνα επιρροής $R = 1500$ m.



Σχήμα 11: άπειρος υδροφορέας υπό πίεση.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Δημήτριος Τολίκας, Κωνσταντίνος Κατσιφαράκης. «Υπόγεια Υδραυλική. Ενότητα 6. Μόνιμες ροές προς τάφρους και πηγάδια.». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS466/

Σημείωμα Αδειοδότησης

Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Ιωάννης Αυγολούπης

Θεσσαλονίκη, <Εαρινό Εξάμηνο 2012-2013>

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.