

# ΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το εδαφικό νερό υπό την επίδραση διαφόρων δυνάμεων βρίσκεται σε συνεχή κίνηση και μπορεί να κινηθεί προς διάφορες κατευθύνσεις.

Οι δυνάμεις οφείλονται  
στη βαρύτητα,  
στην πίεση του νερού  
στην ατμοσφαιρική πίεση και  
στη στερεά φάση του εδάφους (συνάφεια και συνοχή).

Επίσης  
οι θερμοκρασιακές διαφορές,  
η συγκέντρωση αλάτων και  
η δράση των ριζών των φυτών επηρεάζουν την κίνηση του  
εδαφικού νερού.

## Ενέργεια νερού

Ενέργεια εδαφικού νερού = Κινητική + Δυναμική

### 1. Κινητική Ενέργεια του νερού:

$$E_{\kappa} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad m=\text{μάζα} \quad \text{και} \quad v=\text{ταχύτητα}$$

Η ανά μονάδα βάρους νερού κινητική ενέργεια ( $E_v$ ) είναι ίση

$$E_v = \frac{E_{\kappa}}{B} = \frac{m \cdot v^2}{2mg} = \frac{v^2}{2g} \quad (L)$$

Έχει διαστάσεις μήκους και λέγεται Ύψος Ταχύτητας

## ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ:

### 2. Δυναμική ενέργεια του νερού :

α. Λόγω θέσεως ( $E_d$ ) και οφείλεται στη βαρύτητα

$$E_d = m \cdot g \cdot z$$

$m$ =μάζα

$g$ =επιτάχυνση βαρύτητας,

$z$ =ύψος από κάποιο επίπεδο αναφοράς

Η ανά μονάδα βάρους νερού ενέργεια λόγω θέσης ( $E_g$ ) είναι ίση

$$E_g = \frac{E_d}{B} = \frac{mgz}{mg} = z \quad (L)$$

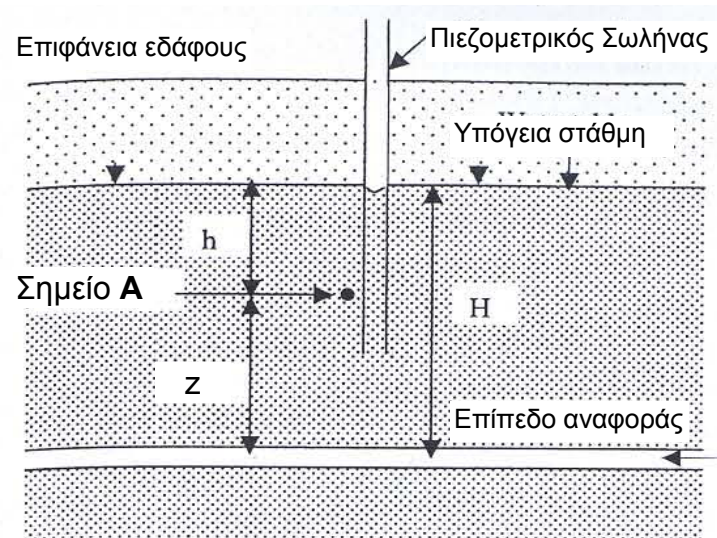
Έχει διαστάσεις μήκους και λέγεται Ύψος θέσεως

β. Λόγω πίεσεως

Η ανά μονάδα βάρους νερού ενέργεια λόγω πίεσεως ( $E_p$ ) είναι ίση

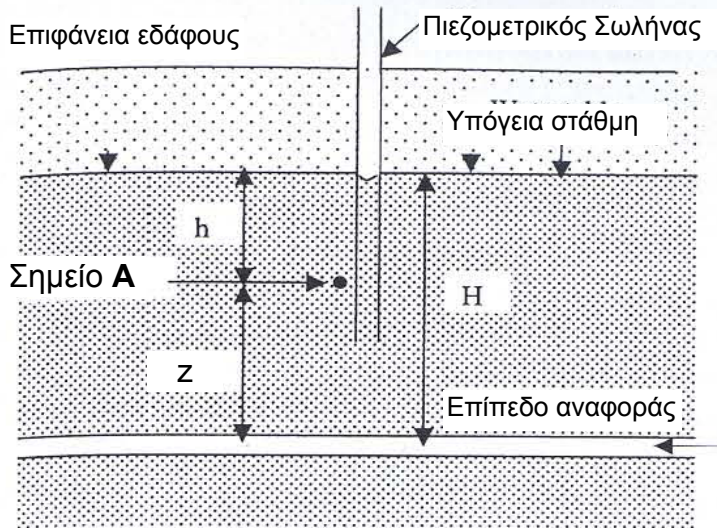
$$E_p = \frac{P}{\gamma} = \frac{\rho gh}{\rho g} = h \quad (L)$$

Έχει διαστάσεις μήκους και λέγεται Ύψος πίεσεως



Στην επόμενη διαφάνεια γίνεται αναλυτικά η εξαγωγή της σχέσης που δίνει την  $E_p$ .

αναλυτικά η εξαγωγή της σχέσης που δίνει την  $E_p$ .



Η πίεση στο σημείο A είναι

$$P = \frac{F}{A} = \frac{B}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{V\rho g}{A} = \frac{Ah\rho g}{A} = \rho gh$$

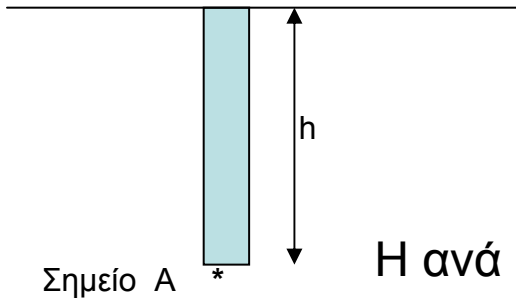
Η ενέργεια λόγω πίεσης είναι ίση με το έργο που παράγεται κατά τη μεταφορά όγκου νερού  $V$  από το σημείο A στο επίπεδο της υπόγειας στάθμης όπου η πίεση είναι 0.

$$W = F \cdot h \quad F = PA$$

$$W = Fh = PAh = PV$$

Η ανά μονάδα βάρους νερού ενέργεια λόγω πίεσεως ( $E_p$ ) είναι ίση

$$E_p = \frac{W}{B} = \frac{PV}{V\rho g} = \frac{\rho gh}{\rho g} = h$$



$P$ = πίεση     $F$ = δύναμη     $B$ =βάρους     $\rho$ =πυκνότητα

$W$ =έργο     $A$ = εμβαδόν διατομής

$h$ =ύψος νερού μεταξύ του σημείου A και της υπόγειας στάθμης του νερού

## ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ:

Η συνολική ενέργεια του νερού είναι

$$E = E_v + E_g + E_p$$

που όταν εκφρασθεί με τα αντίστοιχα ύψη (ταχύτητας, θέσης και πιέσεως) λέγεται ολικό φορτίο ή ολικό ύψος

$$\frac{v^2}{2g} + z + h = \text{ολικό φορτίο ή ολικό ύψος}$$

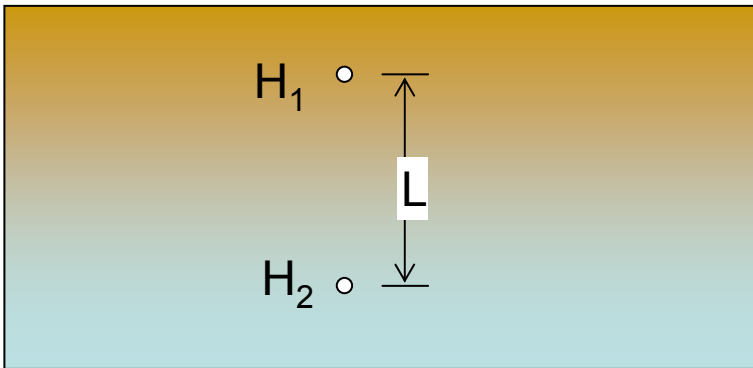
Επειδή  $\frac{v^2}{2g}$  είναι πολύ μικρό (γιατί στο έδαφος  $v=1$  mm μέχρι μερικά cm/h) παραλείπεται

Έτσι η συνολική ενέργεια του νερού ισούται με τη δυναμική του και αναφέρεται ως υδραυλικό ύψος ή υδραυλικό φορτίο

$$H = z + h = \text{υδραυλικό ύψος}$$

## Υδραυλική κλίση

Τα σημεία (1) και (2) του σχήματος απέχουν μεταξύ τους απόσταση  $L$   
τα υδραυλικά ύψη είναι αντίστοιχα  $H_1$  και  $H_2$



Ο λόγος  $i = \frac{H_1 - H_2}{L} = \frac{\Delta H}{L}$  λέγεται υδραυλική κλίση

Αν  $i=0$  το νερό δεν κινείται

Κίνηση νερού υπάρχει μόνο όταν  $i \neq 0$

## νόμος Darcy

Η κίνηση του νερού περιγράφεται από το νόμο του Darcy

$$Q = -K i A$$

Όπου Q είναι ποσότητα ροής ή η παροχή με διαστάσεις ( $L^3 T^{-1}$ ) π.χ  $cm^3 min^{-1}$

i είναι η υδραυλική κλίση (αδιάστατη)

A είναι η διατομή με διαστάσεις ( $L^2$ ) π.χ  $cm^2$

K είναι ο συντελεστής υδροπερατότητας ή Darcy με διαστάσεις ( $L T^{-1}$ ) π.χ  $cm h^{-1}$

Το αρνητικό πρόσημο δείχνει ότι η ροή λαμβάνει χώρα κατά την έννοια των ελαττωμένων υδραυλικών φορτίων

Ο συντελεστής K λέγεται και υδραυλική αγωγιμότητα

Όταν το έδαφος είναι κορεσμένο με νερό (κορεσμένο έδαφος) η υδραυλική αγωγιμότητα λέγεται κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα

Όταν είναι ακόρεστο λέγεται ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα

# Προσδιορισμός κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας με διαπερατόμετρο σταθερού πιεζομετρικού φορτίου ή ύψους

$$Q = K \cdot i \cdot A \quad \rightarrow \quad K = \frac{Q}{i A}$$

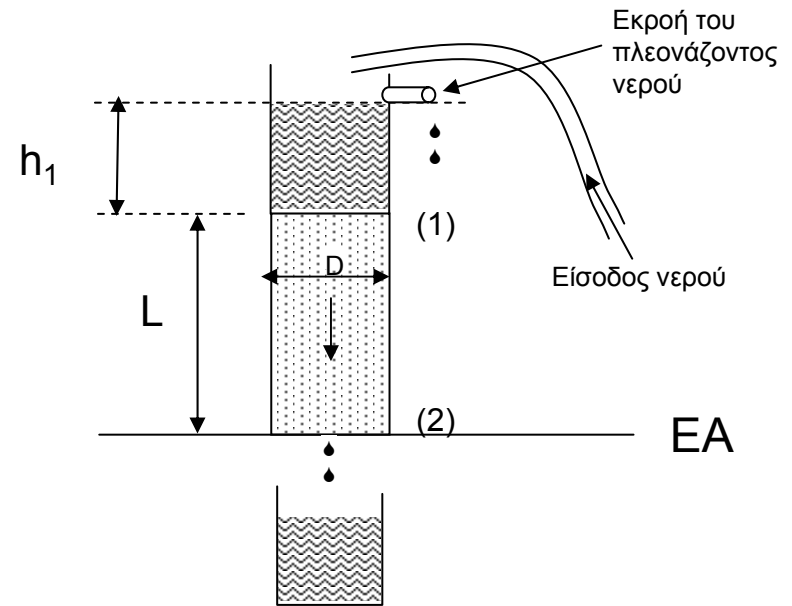
$$i = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

$$H_1 = z_1 + h_1$$

$$H_2 = z_2 = h_2$$

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \pi \cdot r^2$$



Το  $h_1$  παραμένει σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων καθότι το πλεονάζον νερό εισόδου απάγεται με ελεύθερη ροή





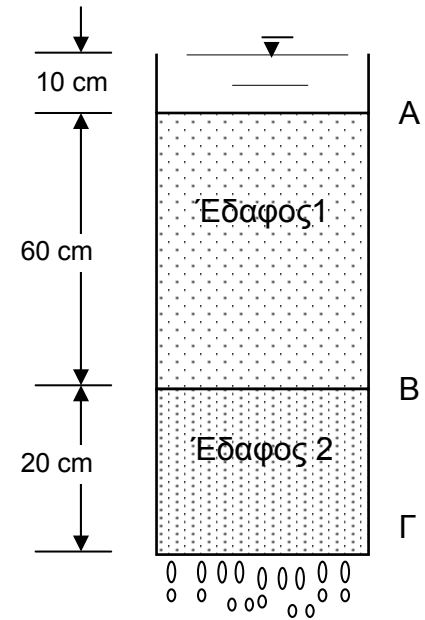
## Κατηγορίες Υδραυλικής αγωγιμότητας

Κατηγορία	Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα (cm/h)	Χαρακτηρισμός
I	<1,5	Βραδεία
II	1,5 – 5,0	Μέτρια
III	5,0 – 15,0	Ταχεία
IV	>15,0	Πολύ ταχεία

## Πρόβλημα

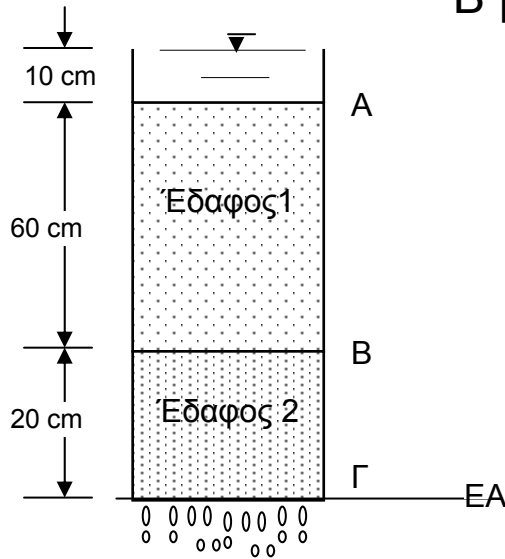
Μία κατακόρυφη εδαφική στήλη αποτελείται από 60 cm του εδάφους 1 και 20 cm του εδάφους 2. Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους 1 ( $K_{s1}$ ) είναι 6 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ( $K_{s2}$ ) του εδάφους 2. Στην επιφάνεια του εδάφους υπάρχει λιμνάζον νερό σταθερού ύψους 10 cm και σταθερή ροή από τον πυθμένα της στήλης. Υπολογίστε το ύψος πίεσης ( $h$ ), το ύψος θέσης ( $z$ ) και το υδραυλικό ύψος ( $H$ ) στα σημεία A, B και Γ.

Αν η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους 2 είναι 1,2 cm/ημέρα, υπολογίστε τη σταθερή ροή δια μέσου της στήλης.



# Λύση Προβλήματος

Αφού  $K_{s1} > K_{s2} \Rightarrow$  το έδαφος 1 θα είναι κορεσμένο και το ύψος πίεσης ( $h$ ) στο σημείο B θα είναι ίση με το ύψος από το B μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια του νερού



$$h_A = 10 \text{ cm}$$

$$h_B = 70 \text{ cm}$$

$$z_A = 80 \text{ cm}$$

$$z_B = 20 \text{ cm}$$

$$H_A = h_A + Z_A = 90 \text{ cm}$$

$$H_B = h_B + Z_B = 90 \text{ cm}$$

$$h_\Gamma = 0 \text{ cm}$$

$$z_\Gamma = 0 \text{ cm}$$

$$H_\Gamma = h_\Gamma + Z_\Gamma = 0 \text{ cm}$$

$$Q_{AB} = K_{s1} \cdot i_{AB} \cdot A$$

$$i_{AB} = \frac{H_A - H_B}{60} = \frac{90 - 90}{60} = 0$$

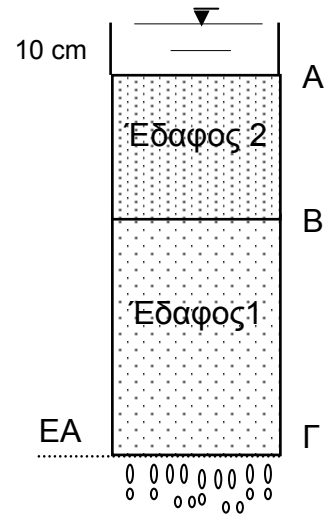
$$\frac{Q_{AB}}{A} = q_{AB} = 1,2 \cdot 6 \cdot 0 = 0$$

$$Q_{B\Gamma} = K_{s2} \cdot i_{B\Gamma} \cdot A$$

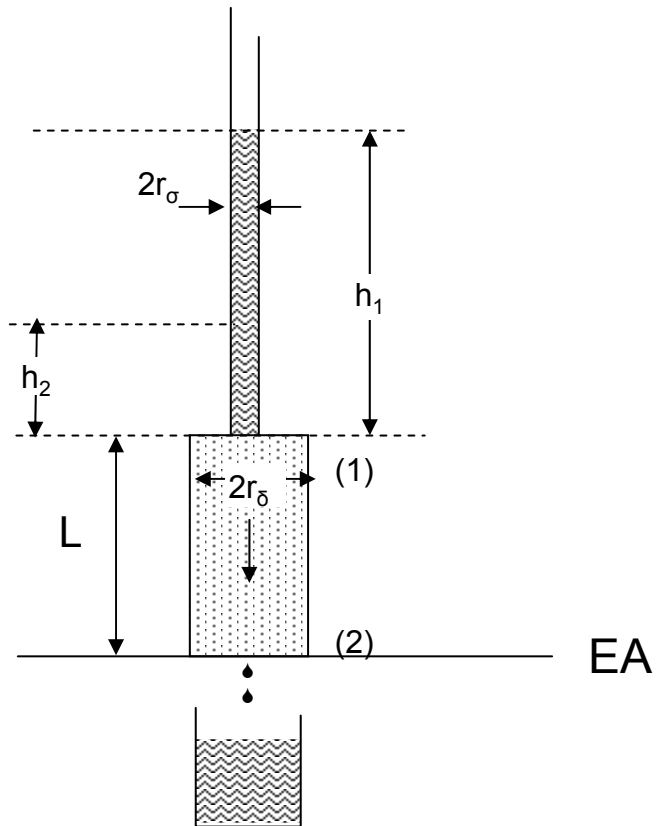
$$i_{B\Gamma} = \frac{H_B - H_\Gamma}{20} = \frac{90 - 0}{20} = 4,5$$

$$\frac{Q_{B\Gamma}}{A} = q_{B\Gamma} = 1,2 \cdot 4,5 = 5,4 \text{ cm/ημέρα}$$

Επαναλάβετε τους υπολογισμούς για την περίπτωση που το έδαφος 1 βρίσκεται κάτω από το έδαφος 2.



Προσδιορισμός Υδραυλικής αγωγιμότητας με διαπερατόμετρο μεταβαλλόμενου πιεζομετρικού φορτίου ή ύψους



$$Qdt = -\pi r_\sigma^2 dh \quad \text{ή} \quad Q = -\pi r_\sigma^2 \frac{dh}{dt}$$

$$Q = \pi r_\delta^2 K \frac{h}{L}$$

$$\pi r_\delta^2 K \frac{h}{L} = -\pi r_\sigma^2 \frac{dh}{dt}$$

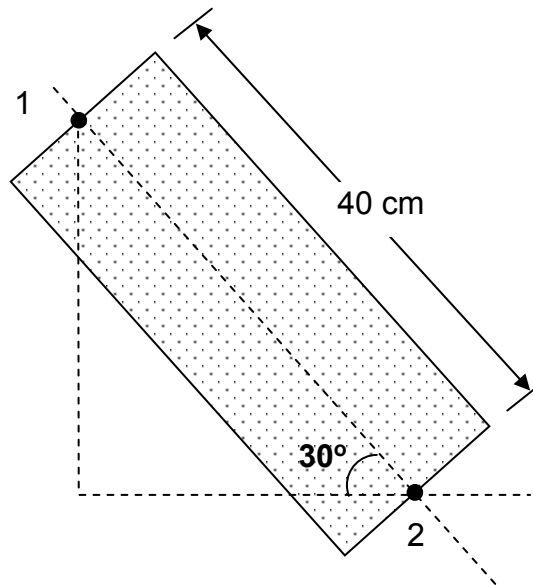
$$Kdt = -\left(\frac{r_\sigma}{r_\delta}\right)^2 \cdot L \frac{dh}{h}$$

Η ολοκλήρωση της παραπάνω σχέσης από  $t=0$  έως  $t$  για  $h=h_1$  έως  $h_2$  προκύπτει η σχέση

$$K = \left(\frac{r_\sigma}{r_\delta}\right)^2 \cdot \frac{L}{t} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

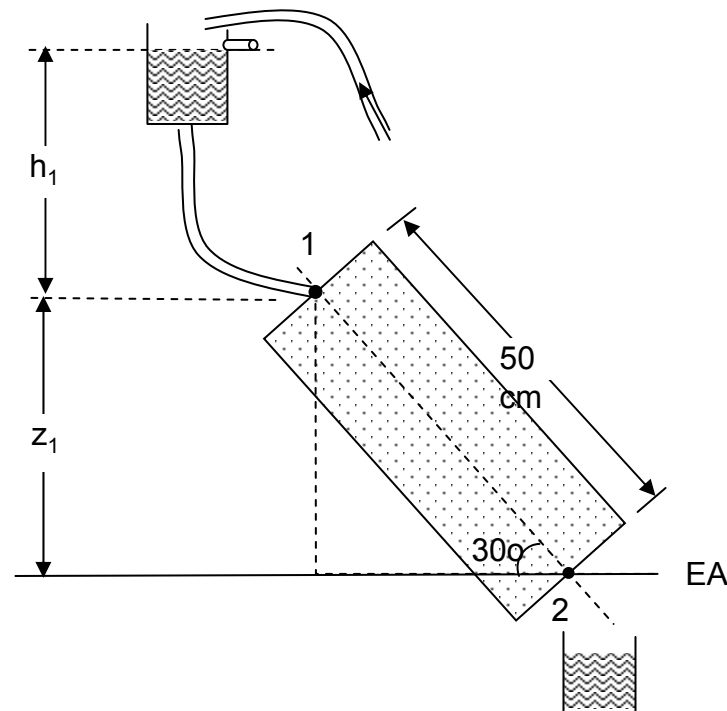
# Άσκηση

Δίδεται η ακόρεστη εδαφική στήλη του σχήματος. Η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους βρέθηκε ίση με  $K = 0,2 \text{ cm/h}$ . Να καθορισθεί: α) Η διεύθυνση ροής β) Να υπολογιστεί η παροχή ανά μονάδα επιφάνειας. Δίδονται: Ύψος πίεσης στη θέση 1,  $h_1 = -40 \text{ cm}$  Ύψος πίεσης στη θέση 2,  $h_2 = -10 \text{ cm}$ .



# Άσκηση

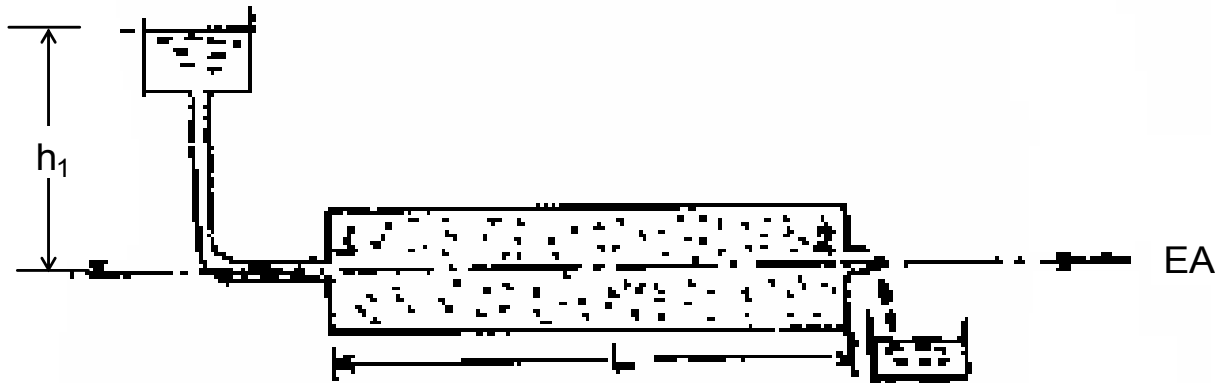
Το ύψος πίεσης στην αρχή μιας κορεσμένης κεκλιμένης εδαφικής στήλης που εκρέει στον ελεύθερο αέρα είναι 80 cm. Το μήκος της στήλης είναι 50 cm και η διάμετρος της 6 cm. Από τη στήλη εκρέουν 500 cm<sup>3</sup> σε 2 ώρες. Να υπολογιστεί η υδραυλική αγωγιμότητα της στήλης.





# Άσκηση

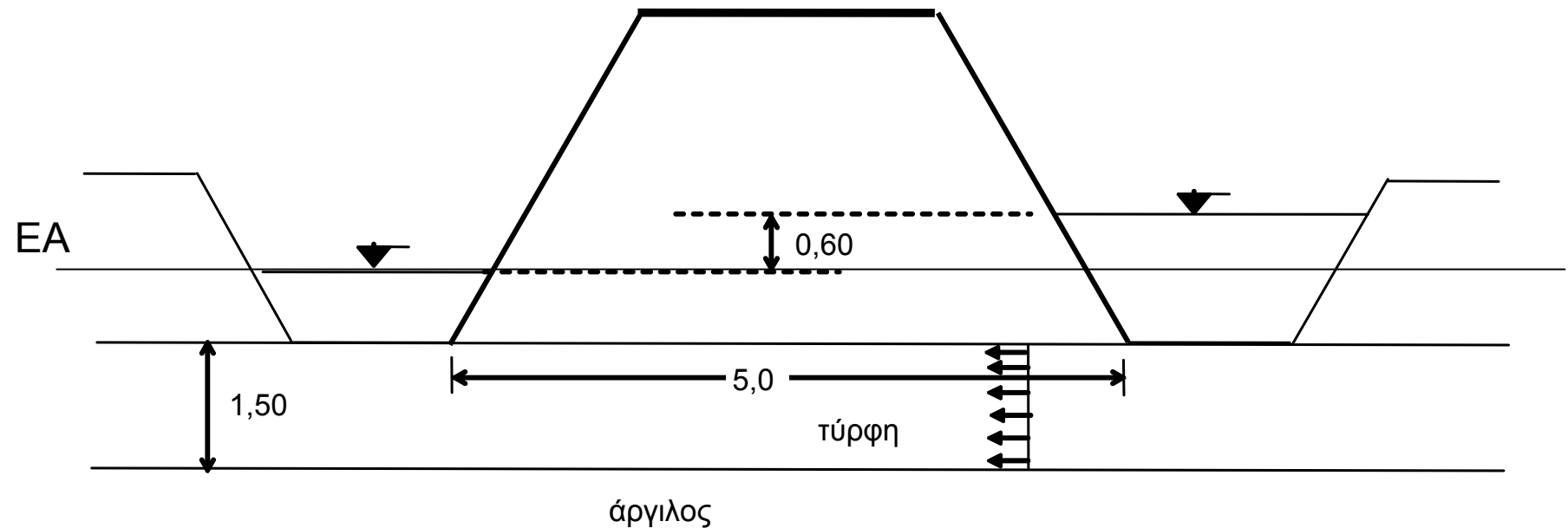
Το ύψος πίεσης στην αρχή μιας κορεσμένης οριζόντιας εδαφικής στήλης που εκρέει στον ελεύθερο αέρα είναι 150 cm. Το μήκος της στήλης είναι 300 cm και η διάμετρος της 6 cm. Από τη στήλη εκρέουν 500 cm<sup>3</sup> σε 2 ώρες. Να υπολογιστεί η υδραυλική αγωγιμότητα της στήλης.





## Εφαρμογή στο νόμο Darcy

Σε αρδευτικό δίκτυο υπάρχει δρόμος από αδιαπέραστο υλικό με πλάτος βάσης 5m. Η επίχωση του δρόμου βρίσκεται πάνω σε στρώμα τύρφης βάθους 1,5 m, κάτω από το οποίο βρίσκεται αδιαπέραστη άργιλος. Από τις δύο πλευρές του δρόμου υπάρχουν αποστραγγιστικές τάφροι όπως στο σχήμα. Πια είναι η διηθούμενη ποσότητα νερού σε μια ημέρα και σε μήκος δρόμου 1000 m, αν η υδραυλική αγωγιμότητα της τύρφης είναι 1,5 cm/h.



$$Q = K \cdot i \cdot A$$

## Εφαρμογή στο νόμο Darcy

Σε αρδευτικό δίκτυο υπάρχει δρόμος από αδιαπέραστο υλικό με πλάτος βάσης 5m. Η επίχωση του δρόμου βρίσκεται πάνω σε στρώμα τύρφης βάθους 1,5 m, κάτω από το οποίο βρίσκεται αδιαπέραστη άργιλος. Από τις δύο πλευρές του δρόμου υπάρχουν αποστραγγιστικές τάφροι όπως στο σχήμα. Πια είναι η διηθούμενη ποσότητα νερού σε μια ημέρα και σε μήκος δρόμου 1000 m, αν η υδραυλική αγωγιμότητα της τύρφης είναι 1,5 cm/h.

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

$$i = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

$$i = \frac{\Delta H}{L} = \frac{0,6}{5} = 0,12$$

$$A = 1,5 \times 1000 = 1500 \text{ m}^2$$

$$Q = \frac{1,5}{100} \times 0,12 \times 1500 = 2,7 \text{ m}^3 / h$$

$$Q = 2,7 \times 24 = 64,8 \text{ m}^3 / \text{ημέρα}$$

