

# Bevezetés a hidrogeológiába

*Kreditkód: gg1n1K34*

*Földtudomány és környezettudomány BSc*

*3. szemeszterben*

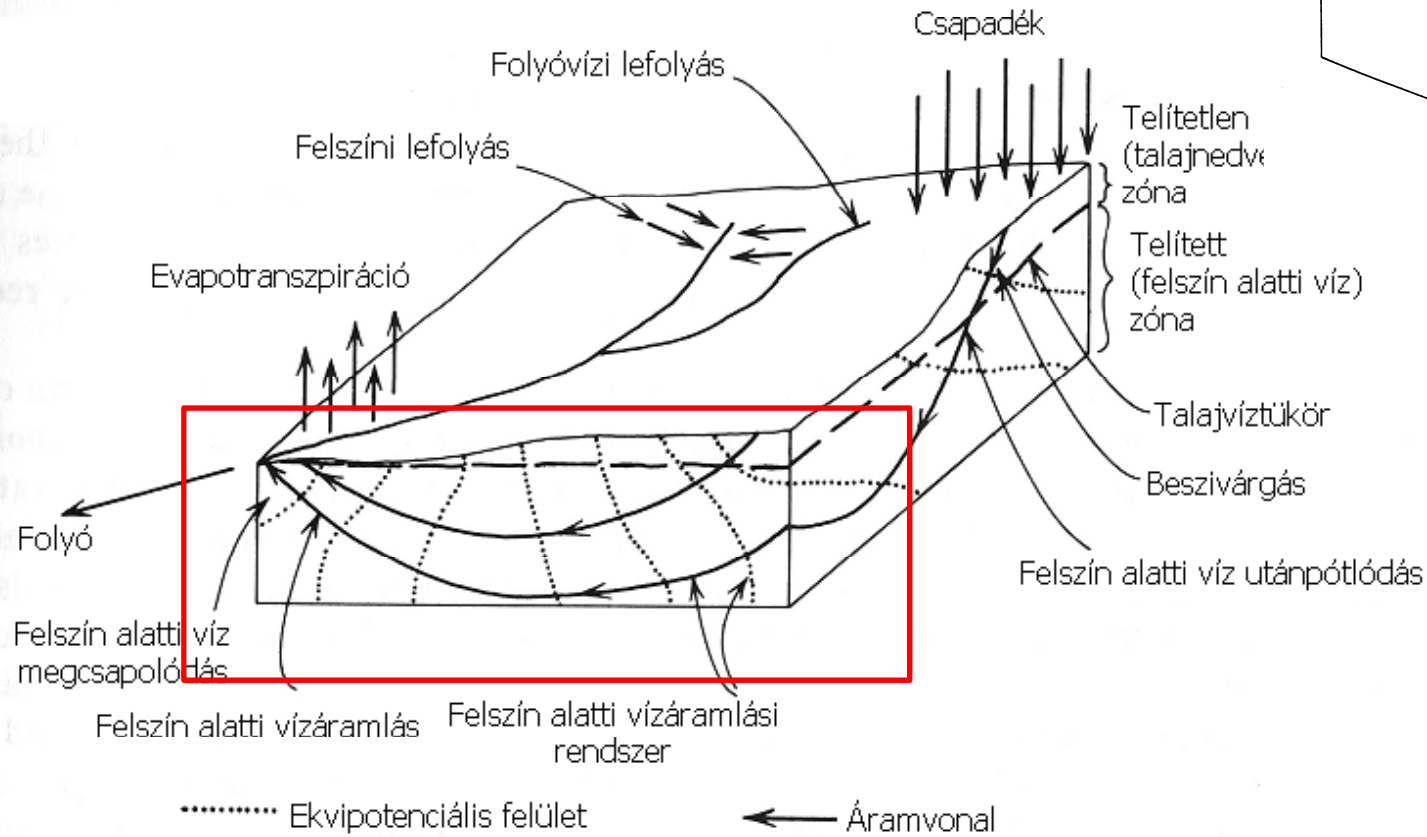
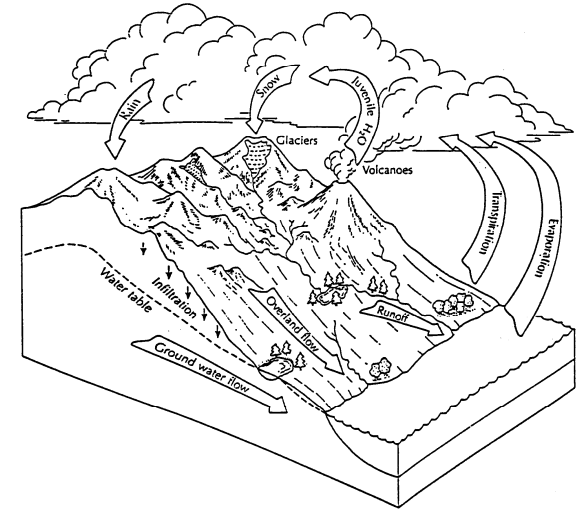
meghirdetett kurzus

## *6. TK. Felszínalatti vizek dinamikája*

Előadó és az elektronikus tananyag összeállítója:

*Mádlné Dr. Szőnyi Judit*

egyetemi docens



## Felszínalatti lefolyás/vízáramlás és a hidrológiai ciklus

(Freeze & Cherry, 1979)

# 6.TK. Felszínalatti vizek dinamikája

## 6.1. Közlekedőedények és vízvezetékek

### 6.2. A felszín alatti vízmozgás fizikai háttere

6.2.1. A folyadékpotenciál ( $\Phi$ )

6.2.2. Hidraulikus emelkedési magasság ( $h$ ), nyomásemelkedés ( $\psi$ ), helyzeti magasság ( $z$ ) manométerre és terepi potenciométerre, folyadékpotenciál a felszín alatti vizekre

6.2.3. A hidraulikus gradiens ( $dh$ )

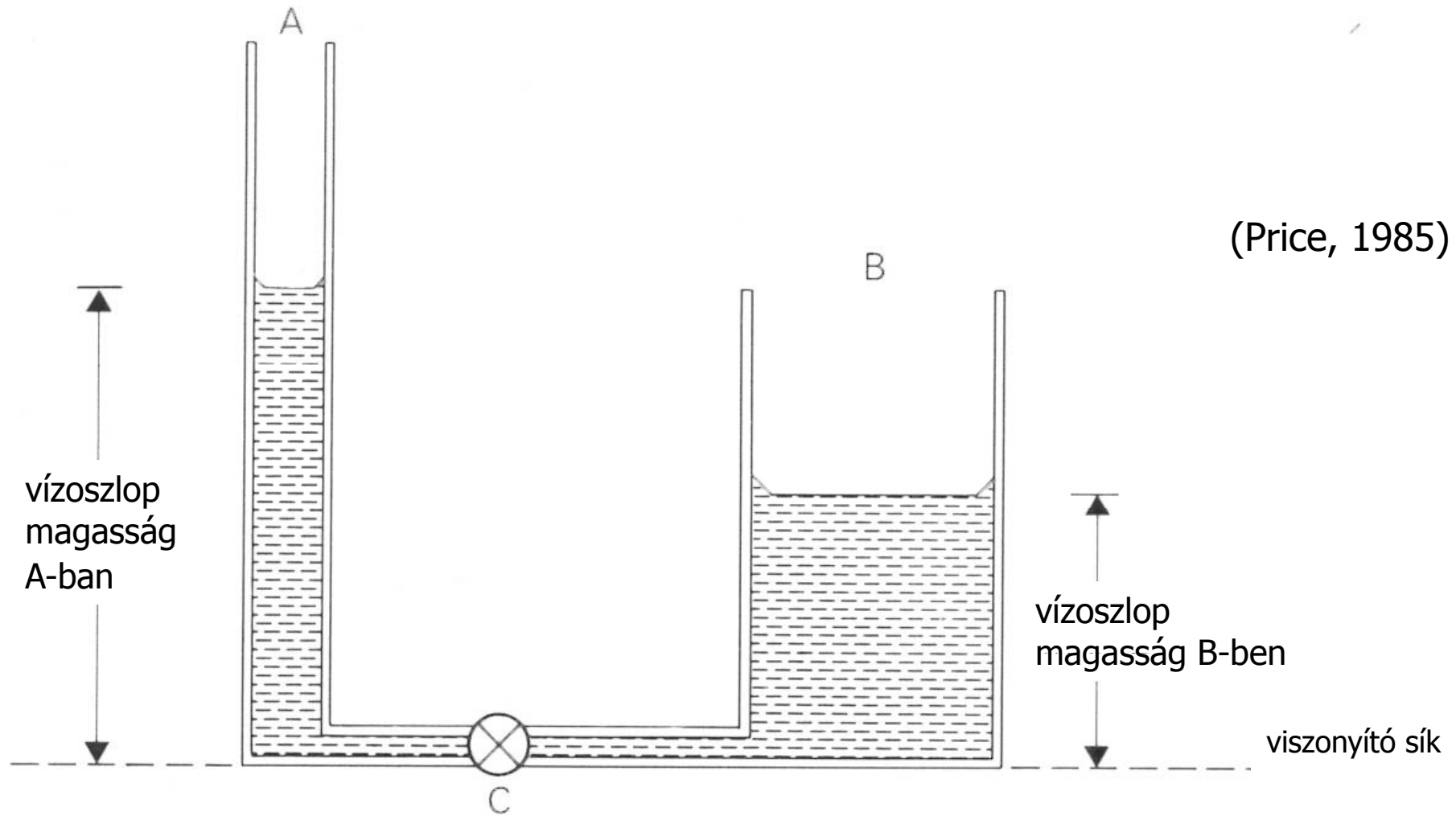
### 6.3. A felszín alatti vízmozgás alaptörvénye és a hozzá kapcsolódó fogalmak

6.3.1. Darcy-törvény

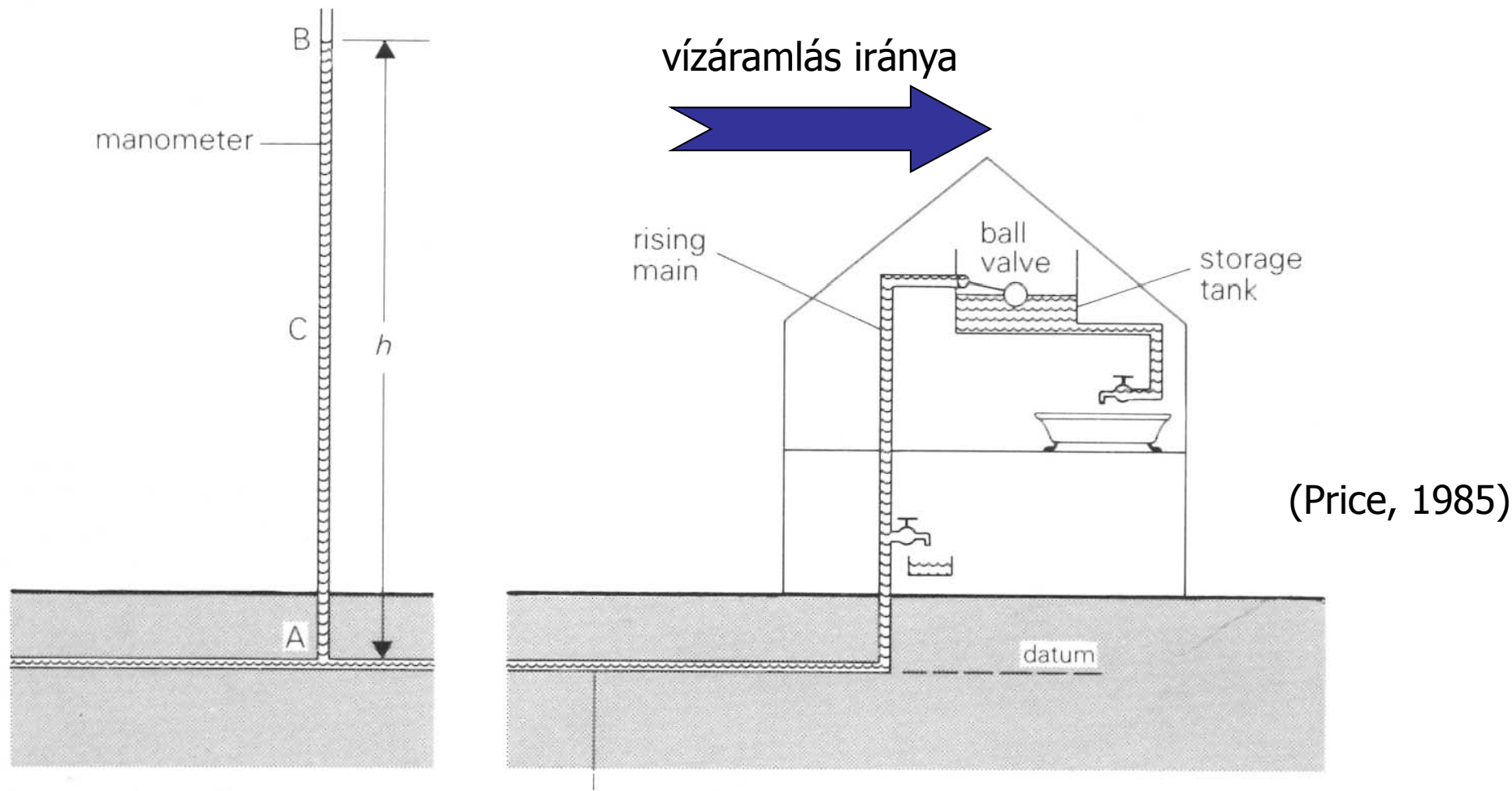
6.3.2. A Darcy-törvény alkalmazása, jelölések, dimenziók, mértékegységek

6.3.3. Áramlási intenzitás ( $q$ ), vonalmenti sebesség ( $v$ )

6.3.4. Hidraulikus vezetőképesség ( $K$ ), permeabilitás ( $k$ ), dimenziók, mértékegységek, nagyságrendek



A két csőben vízoszlop emelkedési magasság különbség mérhető, az **A** csőben mért érték nagyobb, mint a **B**-ben, és ez a különbség indukálja a vízoszlop magasságok kiegyenlítődsét.



A víztorony és a házba vezető vízvezetékben mérhető vízoszlop magasságok ( $h-k$ ) különbségének köszönhetően jut el a víz a csapokba, bojlerbe.

Ez a víztoronyok, hidroglobuszok működési elve.

# 6.TK. Felszínalatti vizek dinamikája

## 6.1. Közlekedőedények és vízvezetékek

## 6.2. A felszín alatti vízmozgás fizikai háttere

6.2.1. A folyadékpotenciál ( $\Phi$ )

6.2.2. Hidraulikus emelkedési magasság ( $h$ ), nyomásemelkedés ( $\psi$ ), helyzeti magasság ( $z$ ) manométerre és terepi potenciométerre, folyadékpotenciál a felszín alatti vizekre

6.2.3. A hidraulikus gradiens ( $dh$ )

## 6.3. A felszín alatti vízmozgás alaptörvénye és a hozzá kapcsolódó fogalmak

6.3.1. Darcy-törvény

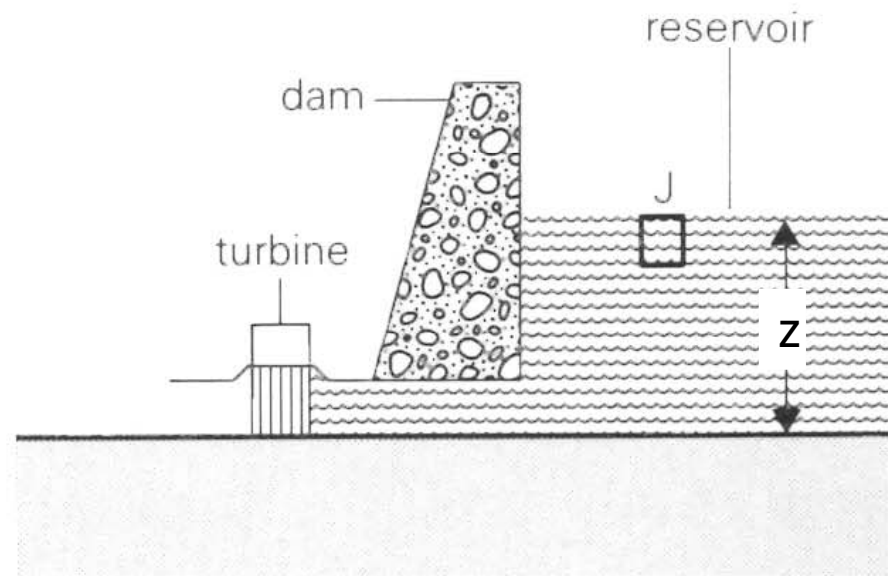
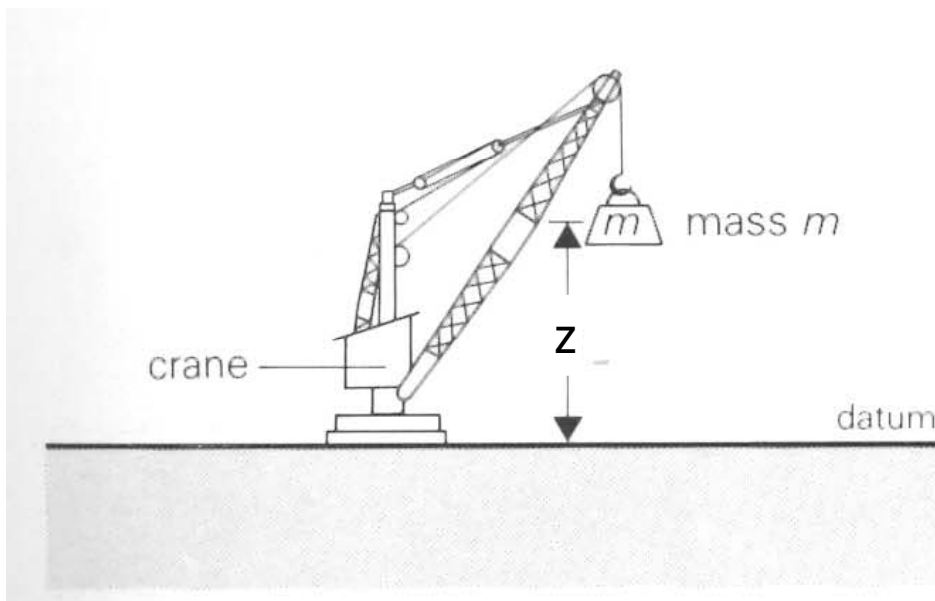
6.3.2. A Darcy-törvény alkalmazása, jelölések, dimenziók, mértékegységek

6.3.3. Áramlási intenzitás ( $q$ ), vonalmenti sebesség ( $v$ )

6.3.4. Hidraulikus vezetőképesség ( $K$ ), permeabilitás ( $k$ ), dimenziók, mértékegységek, nagyságrendek

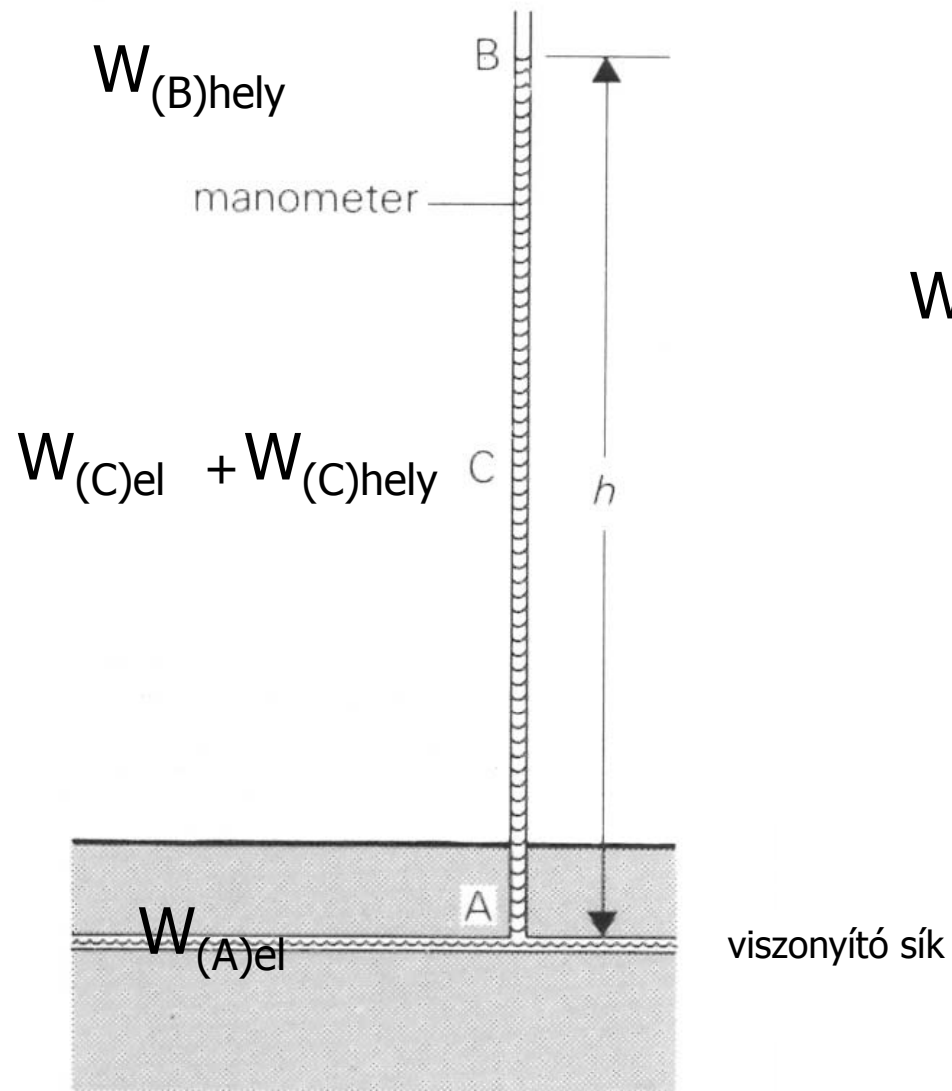
# Helyzeti és mozgási energia

$$W_1 = m g z \quad \left[ \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{m} \right] = \left[ \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right]$$



(Price, 1985)

# Helyzeti és az elasztikus energia kapcsolata

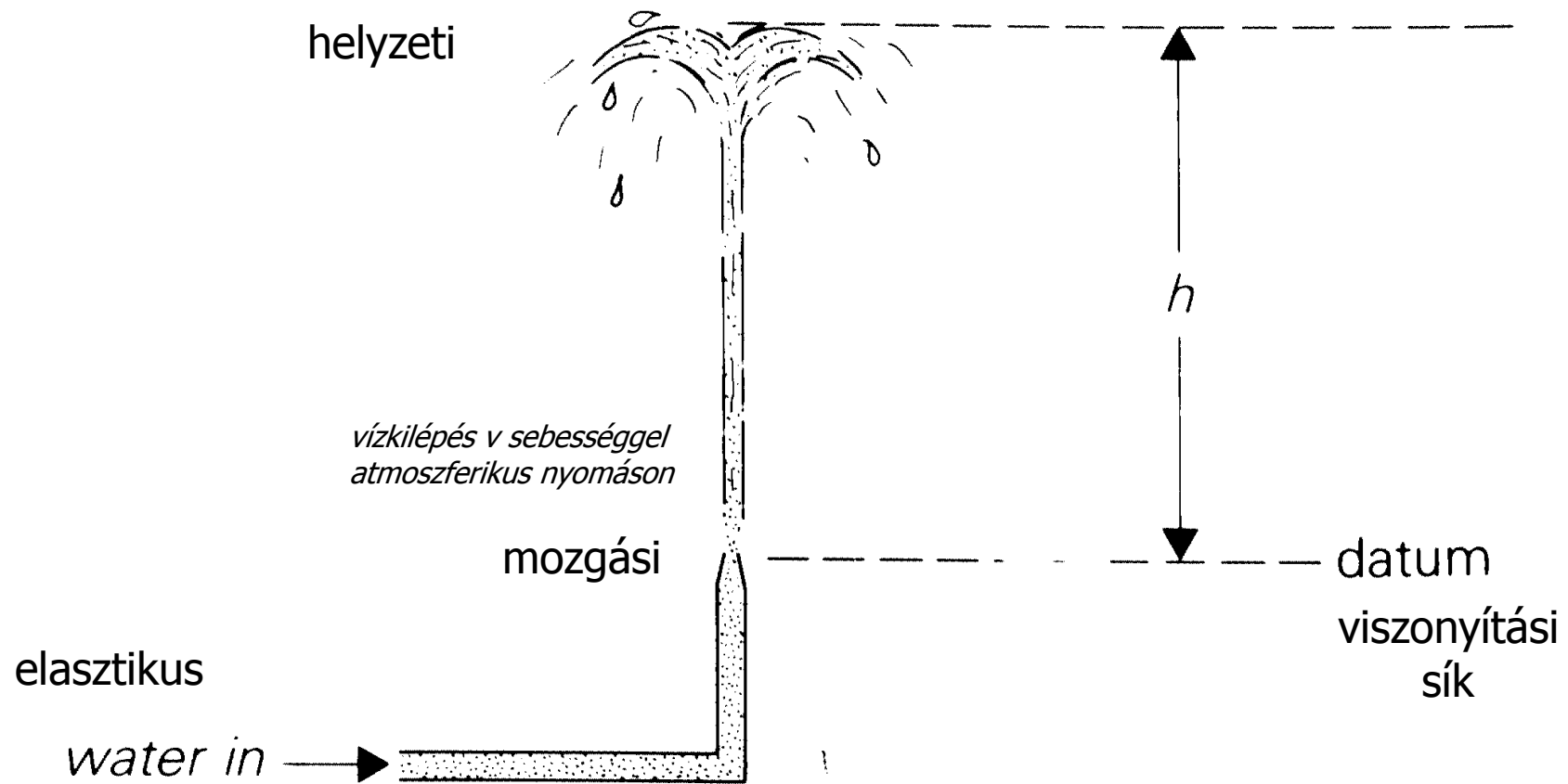


$$W_{(A)\text{el}} = W_{(B)\text{hely}} = W_{(C)\text{hely}} + W_{(C)\text{el}}$$

(Price, 1985)



# Az elasztikus, mozgási és helyzeti energia kapcsolata



(Price, 1985)

# 6.TK. Felszínalatti vizek dinamikája

6.1. Közlekedőedények és vízvezetékek

6.2. A felszín alatti vízmozgás fizikai háttere

6.2.1. A folyadékpotenciál ( $\Phi$ )

6.2.2. Hidraulikus emelkedési magasság ( $h$ ), nyomásemelkedés ( $\psi$ ), helyzeti magasság ( $z$ ) manométerre és terepi potenciométerre, folyadékpotenciál a felszín alatti vizekre

6.2.3. A hidraulikus gradiens ( $dh$ )

6.3. A felszín alatti vízmozgás alaptörvénye és a hozzá kapcsolódó fogalmak

6.3.1. Darcy-törvény

6.3.2. A Darcy-törvény alkalmazása, jelölések, dimenziók, mértékegységek

6.3.3. Áramlási intenzitás ( $q$ ), vonalmenti sebesség ( $v$ )

6.3.4. Hidraulikus vezetőképesség ( $K$ ), permeabilitás ( $k$ ), dimenziók, mértékegységek, nagyságrendek

## A folyadék / fluidum potenciál:

A folyadék összes mechanikai energiájának egységnyi tömegre eső része

A fluidum potenciál

$$\Phi m = \sum W$$

$$\Phi = \frac{\sum W}{m}$$

$$\Phi = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{m}$$

$$\Phi = gz + \frac{v^2}{2} + \int_{p_0}^p \frac{dp}{\rho}$$

Bernoulli-törvény

$$W_1 = m g z \quad \text{helyzeti energia}$$

$$W_2 = \frac{mv^2}{2} \quad \text{mozgási energia}$$

$$W_3 = m \int_{p_0}^p \frac{dp}{\rho} \quad \text{elasztikus energia}$$

## Hogyan értelmezhető a folyadékpotenciál a felszín alatti vizekre?

Választ: King M. Hubbert adta meg,  
a „The Theory of Groundwater Motion” (1940) című munkájában

$$\left(\frac{v^2}{2}\right) \rightarrow 0$$

Alacsony  
szivárgási  
sebességek miatt

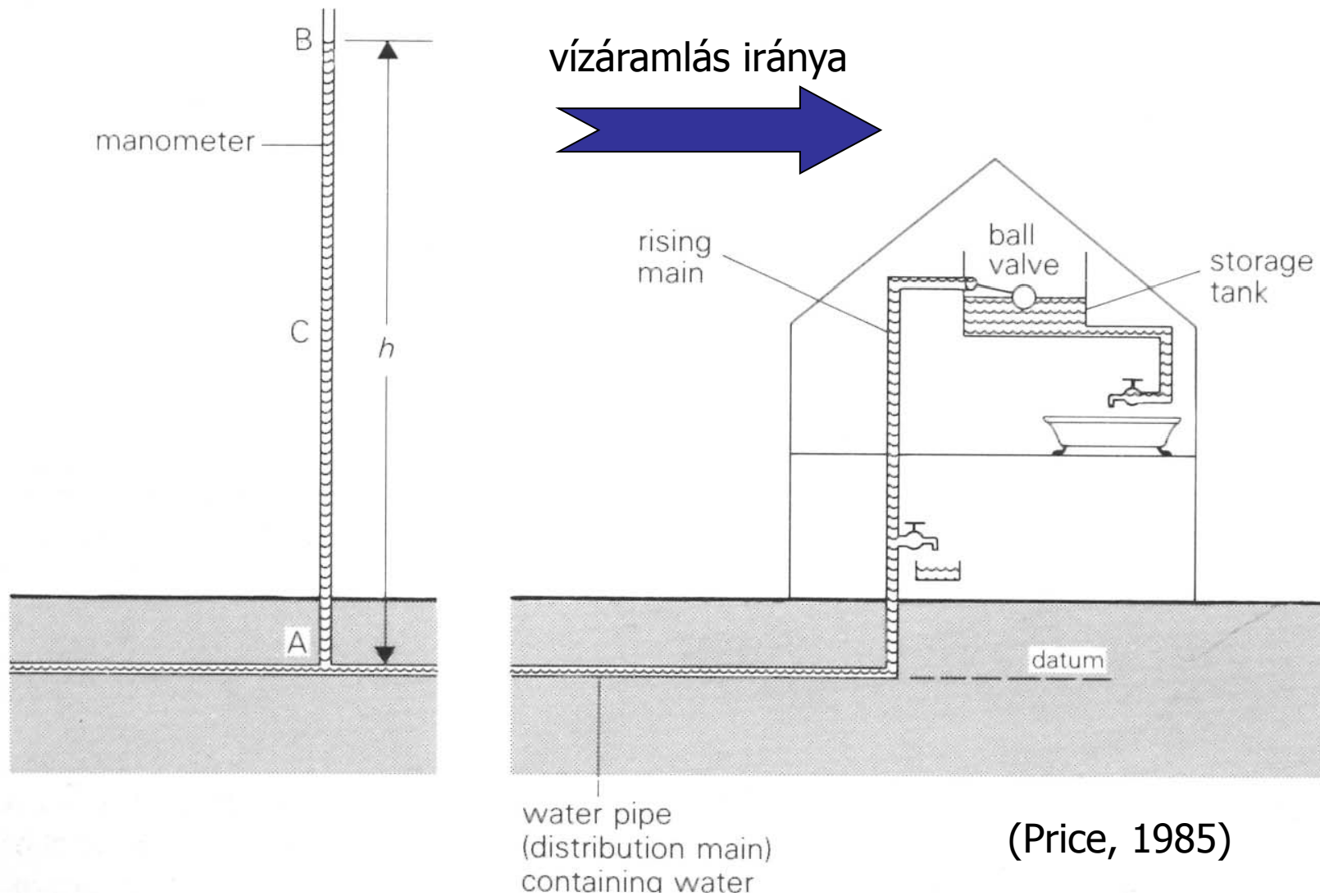
$$\rho = \text{konst.}$$

$$\int_{p_0}^p \frac{dp}{\rho} = \frac{p - p_0}{\rho}$$

Összenyomhatatlan  
folyadék esetén

$$\Phi = gz + \frac{p - p_0}{\rho}$$

Hubbert-féle  
energiaegyenlet



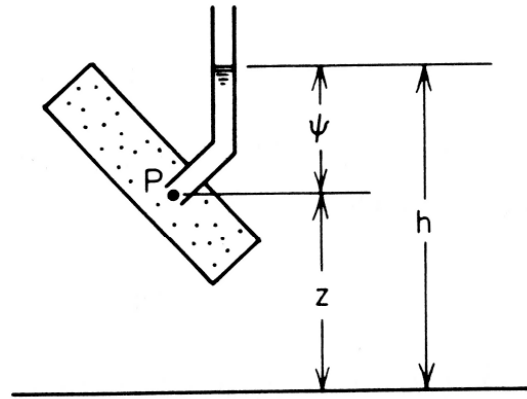
A vízellátás elvénél láttuk, hogy a vízoszlop magasságok ( $h$ -k) különbsége határozza meg az áramlás irányát.

Kérdés: Mi ez a fizikai tényező, amit  $h$ -val mérünk?

Mi ez a felszín alatti vizek esetében?

## Mi a az a fizikai tényező, amit **h**-val mérünk?

A folyadékpotenciál ( $\Phi$ ) kapcsolata a hidraulikus emelkedési magassággal ( $h$ )



$\Psi$  - nyomásmagasság

$h$  – hidraulikus emelkedési magasság

$z$  - helyzeti magasság

$Z=0$  viszonyítási sík

Manométer

(Freeze & Cherry, 1969)

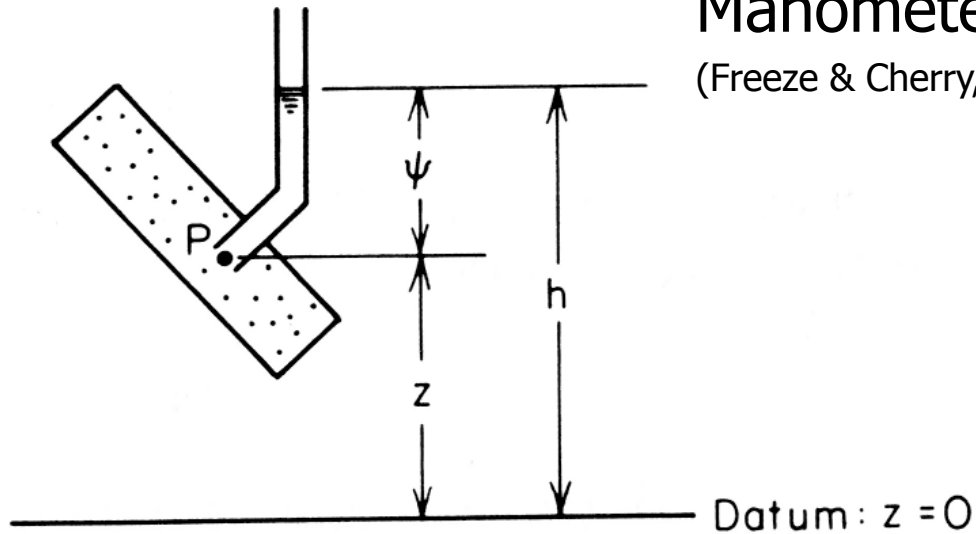
$$h = z + \Psi \quad P \rightarrow p \quad p = p_0 + \rho g \Psi = p_0 + (h - z) \rho g$$

$\Psi = h - z$  P pontban a hidrosztatikus nyomás 'p'  
A folyadékpotenciál a felszín alatti vizek  
esetében a  $h$  folyadékoszlop magassággal mérhető.

$$\Phi = gz + \frac{p - p_0}{\rho} = gz + \frac{\rho g(h - z) + p_0 - p_0}{\rho} \longrightarrow \boxed{\Phi = gh} \quad \left[ \frac{L}{T^2} L \right]$$

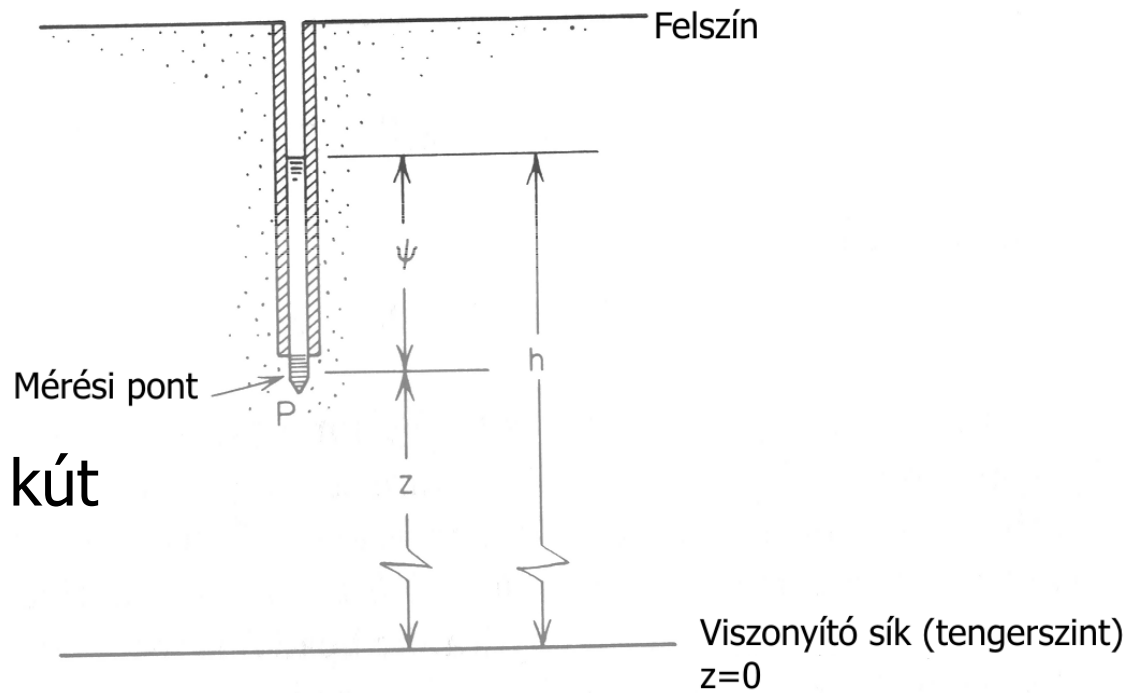
# Manométer

(Freeze & Cherry, 1979)



# Terepi potenciométer, kút

(Freeze & Cherry, 1979)



## A (Hubbert-féle) folyadékpotenciál ( $\Phi$ ) a felszín alatti vizekre:

*Definíció:* Az egységnyi tömegű folyadék (fluidum) teljes mechanikai energiamennyisége.

A felszín alatti vízmozgást a vízrészecskék mechanikai energia-különbségei indukálják. A folyadékáramlás a nagyobb potenciálú hely felől a kisebb felé irányul.

A folyadékpotenciál ( $\Phi$ ) a folyadékoszlop magassággal ( $h$ ) mérhető.

$$\Phi = gh$$

A  $\Delta h$  meghatározza a felszín alatti vízáramlási térben az áramlási irányokat és mintázatokat.



# 6.TK. Felszínalatti vizek dinamikája

6.1. Közlekedőedények és vízvezetékek

6.2. A felszín alatti vízmozgás fizikai háttere

6.2.1. A folyadékpotenciál ( $\Phi$ )

6.2.2. Hidraulikus emelkedési magasság ( $h$ ), nyomásemelkedés ( $\psi$ ), helyzeti magasság ( $z$ ) manométerre és terepi potenciométerre, folyadékpotenciál a felszín alatti vizekre

6.2.3. A hidraulikus gradiens ( $dh$ )

6.3. A felszín alatti vízmozgás alaptörvénye és a hozzá kapcsolódó fogalmak

6.3.1. Darcy-törvény

6.3.2. A Darcy-törvény alkalmazása, jelölések, dimenziók, mértékegységek

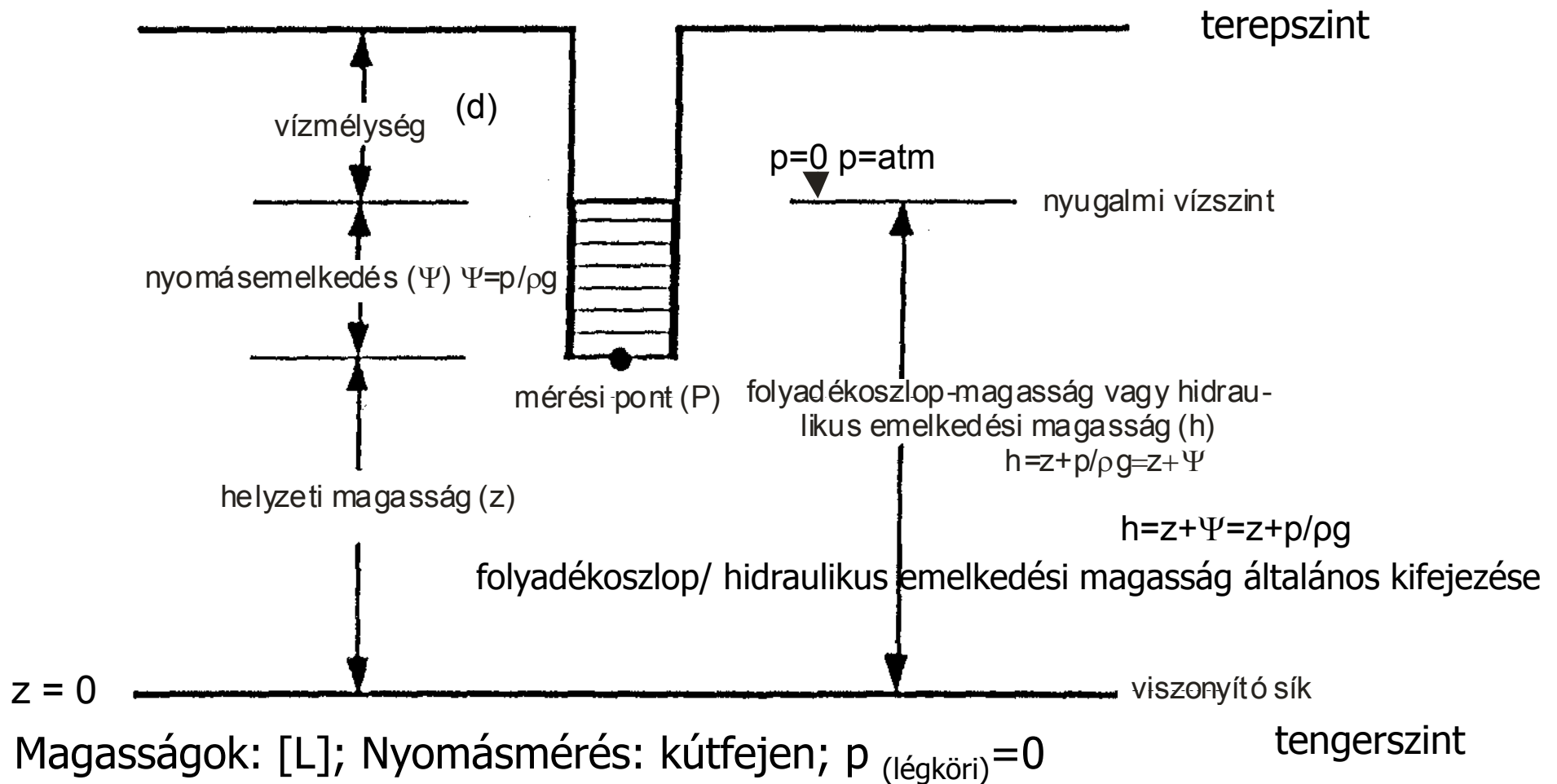
6.3.3. Áramlási intenzitás ( $q$ ), vonalmenti sebesség ( $v$ )

6.3.4. Hidraulikus vezetőképesség ( $K$ ), permeabilitás ( $k$ ), dimenziók, mértékegységek, nagyságrendek

# A folyadékpotenciál mérésére szolgáló eszköz:

## a terepi potenciométer / kút:

Összefüggés a folyadékoszlop-magasság ( $h$ ), nyomásmagasság ( $\Psi$ ) és a helyzeti magasság ( $z$ ) között a mérési pontra ( $P$ ) vonatkoztatva



(Rostron, Tóth, 1992)

## Összegzés

- „h” – A hidraulikus emelkedési magasság az egységnyi víztömegre jutó mechanikai energia mennyiségét fejezi ki, kutakban mérhető paraméter.
- King-Hubbert energiaegyenlete: 
$$\Phi = gz + \frac{p - p_0}{\rho}$$
- Ahol  $p_0$  az atmoszferikus nyomás vagy viszonyító nyomás,  $p_0 = 0$

$$\Phi = gz + \frac{p}{\rho} = gh \quad / g$$

$$h = z + \frac{p}{\rho g} = z + \Psi$$

„h” – a helyzeti magasság (z) és a nyomásemelkedési magasság ( $\Psi$ ) összege

- A folyadékrészecskék közötti energiakülönbség „h” különbségben jelentkezik. A folyadék a nagyobb h-jú hely felől a kisebb h értékű hely felé áramlik.

# 6.TK. Felszínalatti vizek dinamikája

6.1. Közlekedőedények és vízvezetékek

6.2. A felszín alatti vízmozgás fizikai háttere

6.2.1. A folyadékpotenciál ( $\Phi$ )

6.2.2. Hidraulikus emelkedési magasság ( $h$ ), nyomásemelkedés ( $\psi$ ), helyzeti magasság ( $z$ ) manométerre és terepi potenciométerre, folyadékpotenciál a felszín alatti vizekre

6.2.3. A hidraulikus gradiens ( $dh$ )

6.3. A felszín alatti vízmozgás alaptörvénye és a hozzá kapcsolódó fogalmak

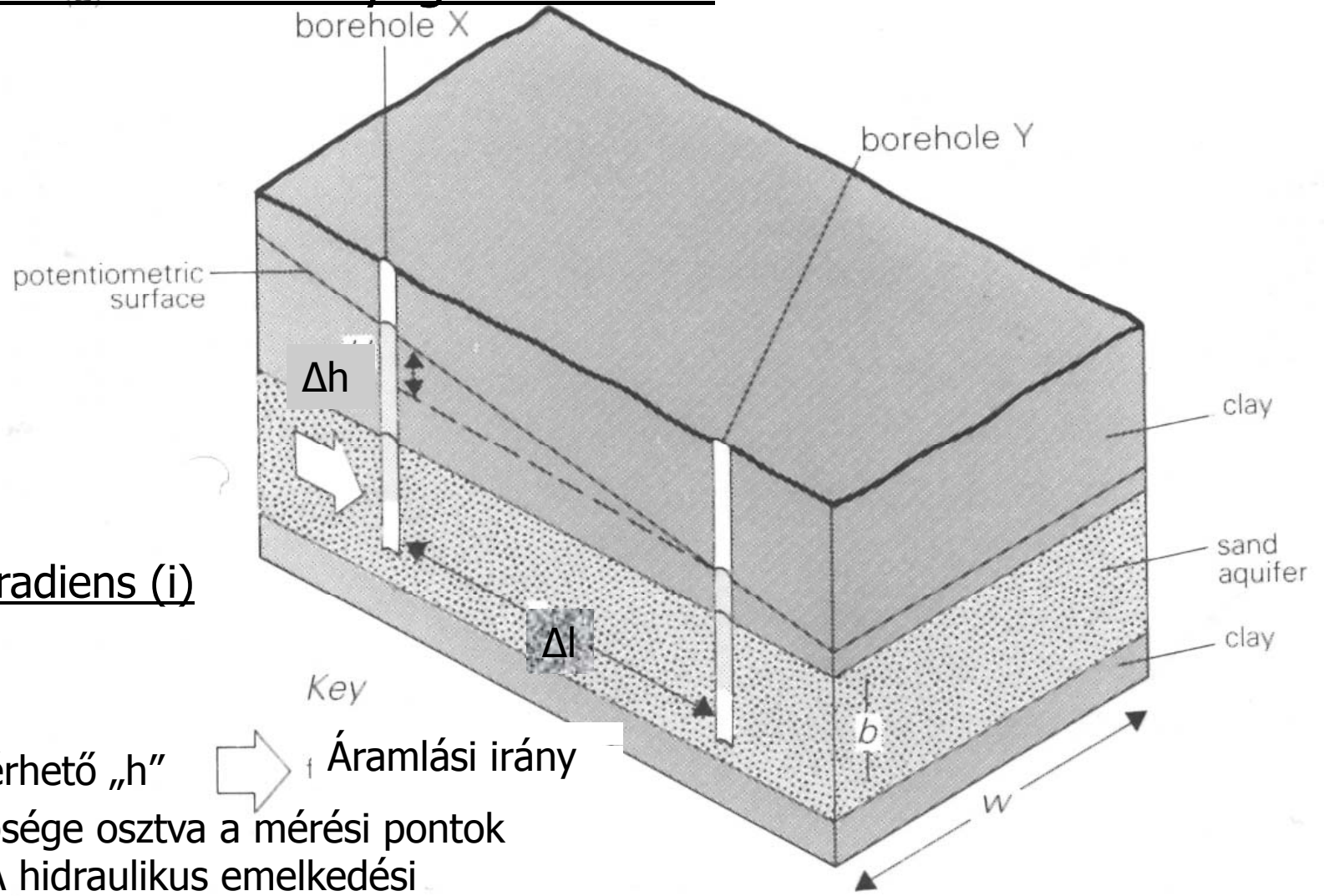
6.3.1. Darcy-törvény

6.3.2. A Darcy-törvény alkalmazása, jelölések, dimenziók, mértékegységek

6.3.3. Áramlási intenzitás ( $q$ ), vonalmenti sebesség ( $v$ )


6.3.4. Hidraulikus vezetőképesség ( $K$ ), permeabilitás ( $k$ ), dimenziók, mértékegységek, nagyságrendek

# Vízszintes irányú hidraulikus gradiens/esés (i) fedett leszorított tükrű homok anyagú víztartóra



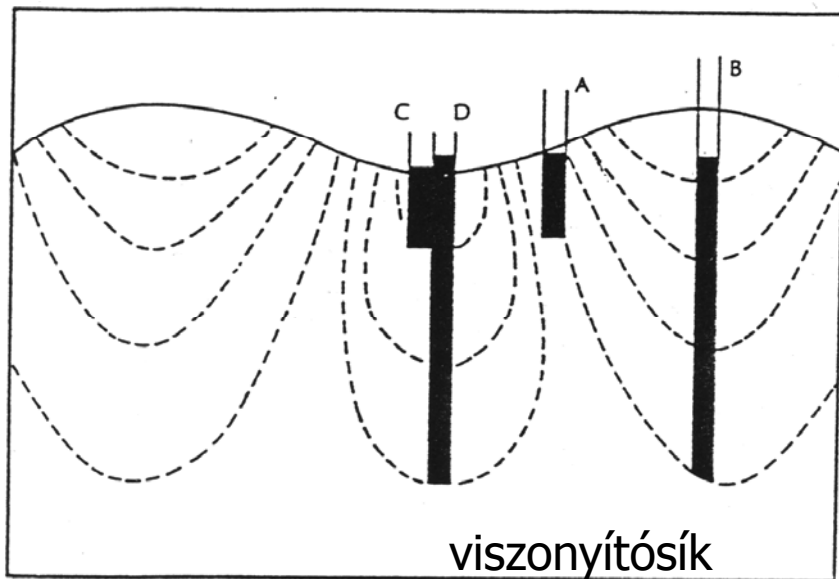
## Hidraulikus gradiens (i)

$$\frac{\Delta h}{\Delta l}$$

a kutakban mérhető „h”  Áramlási irány  
értékek különbsége osztva a mérési pontok  
távolságával. A hidraulikus emelkedési  
magasság különbség értékek alapján  
határozhatók meg a vízáramlási irányok  
(izotróp közeg esetén) (Freeze & Cherry, 1979)

(Price, 1985)

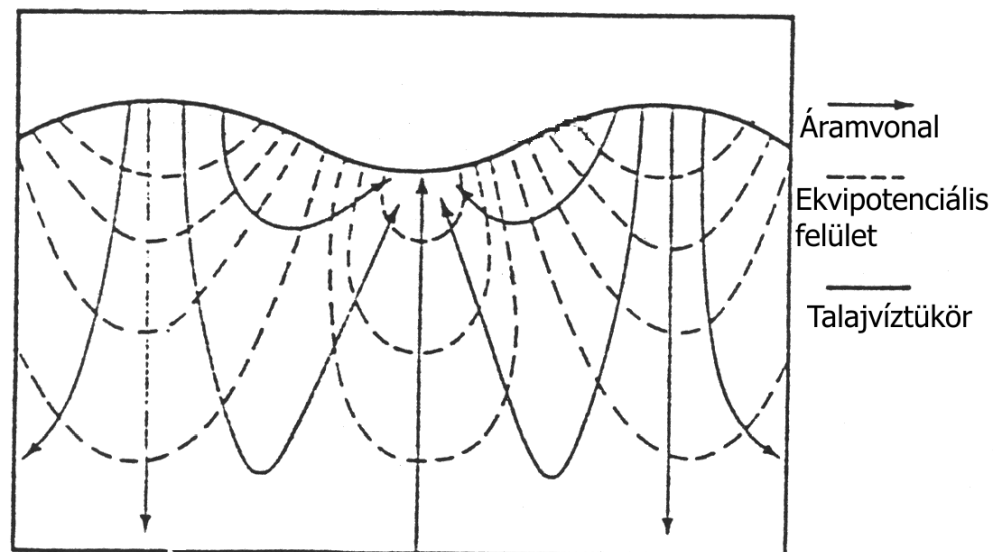
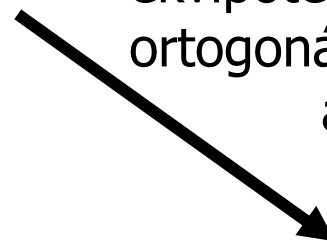
# A felszín alatti vízáramlási kép 2D-ben



----- Ekvipotenciális vonal      ————— Talajvíztükör

Ekvipotenciál: azonos „h” értékű helyeket összekötő vonalak

A kutakban végzett „h” mérések alapján megszerkeszthetők az ekvipotenciális vonalak, melyből ortogonálisan levezethetők az áramvonalak.



(Fetter, 1997)

# 6.TK. Felszínalatti vizek dinamikája

6.1. Közlekedőedények és vízvezetékek

6.2. A felszín alatti vízmozgás fizikai háttere

6.2.1. A folyadékpotenciál ( $\Phi$ )

6.2.2. Hidraulikus emelkedési magasság ( $h$ ), nyomásemelkedés ( $\psi$ ), helyzeti magasság ( $z$ ) manométerre és terepi potenciométerre, folyadékpotenciál a felszín alatti vizekre

6.2.3. A hidraulikus gradiens ( $dh$ )

**6.3. A felszín alatti vízmozgás alaptörvénye és a hozzá kapcsolódó fogalmak**

**6.3.1. Darcy-törvény**

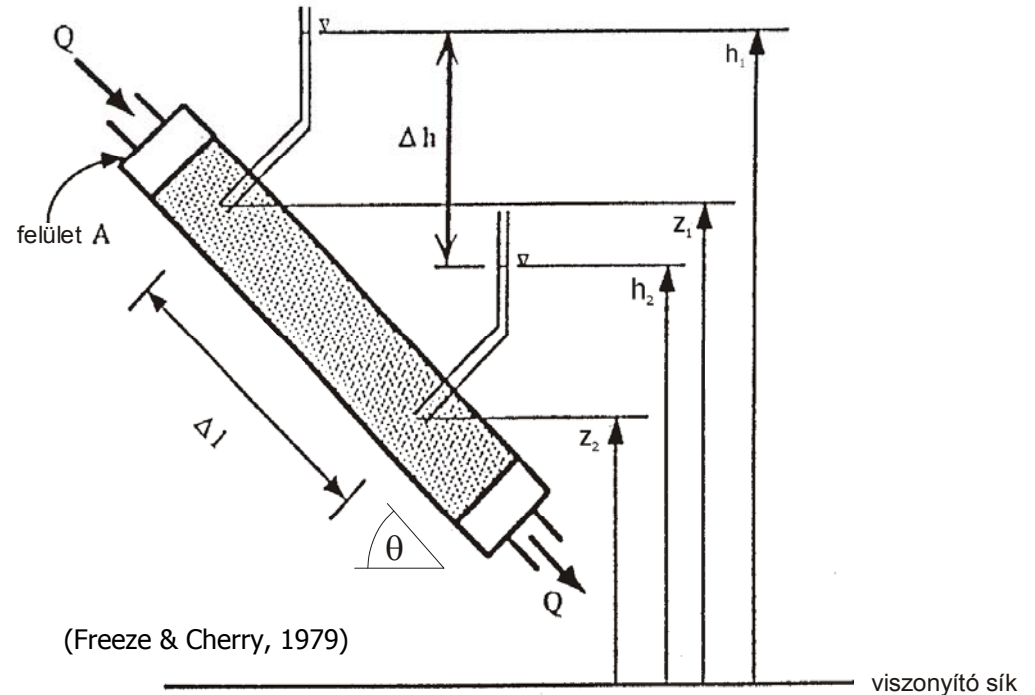
6.3.2. A Darcy-törvény alkalmazása, jelölések,

6.3.3. Áramlási intenzitás ( $q$ ), vonalmenti sebesség ( $v$ ), dimenziók, mértékegységek

6.3.4. Hidraulikus vezetőképesség ( $K$ ), permeabilitás ( $k$ ), dimenziók, mértékegységek, nagyságrendek

# Darcy-törvény

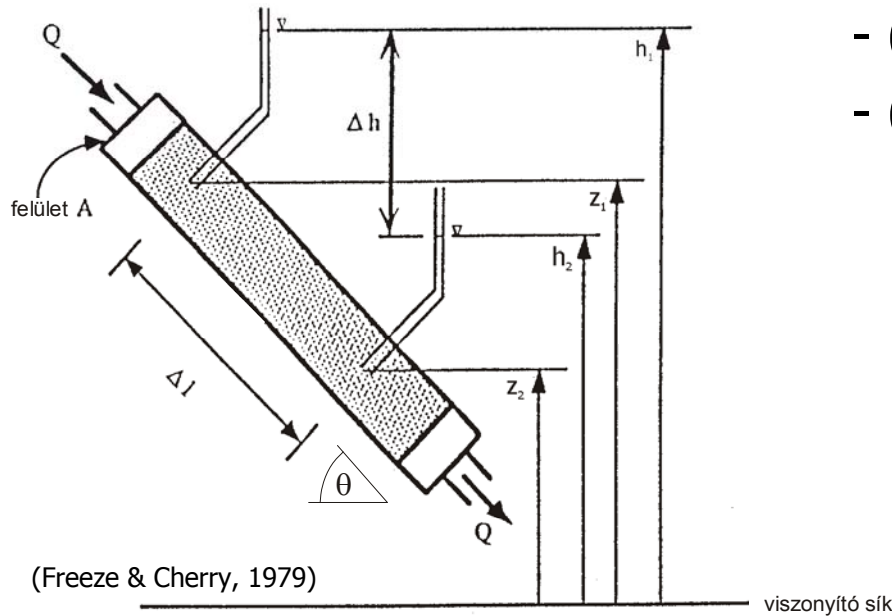
$$Q = q \cdot A$$
$$q = \frac{Q}{A}$$
$$[Q] = \frac{[L^3]}{[T]}$$
$$[A] = [L^2]$$
$$[q] = \frac{\left[ \frac{L^3}{T} \right]}{[L^2]} = \left[ \frac{L}{T} \right]$$



A  $q$  (fajlagos térfogati hozam) látszólag sebesség dimenziójú, elterjedt szóhasználat szerint Darcy-sebesség, DE fizikailag  $Q/A$ -ból következően: FAJLAGOS TÉRFOGATI HOZAM/ÁRAMLÁSI INTENZITÁS/TÉRERŐ/FLUXUS!



# Darcy-törvény



Definiáljuk:  $\Delta h = h_2 - h_1 \rightarrow (-)$  előjelű

-  $(q)$  egyenesen arányos  $(-\Delta h)$ -val

-  $(q)$  fordítottan arányos  $(\Delta l)$ -lel

$$q = -K \frac{\Delta h}{\Delta l} \rightarrow q = -K \frac{dh}{dl}$$

## Darcy-törvénye

ahol:  $h$  = „hydraulic head” hidraulikus emelkedési magasság/nyugalmi vízszint/vízoszlop magasság [L]

$dh/dl$  = „hydraulic gradient” hidraulikus gradiens/esés [L/L=L<sup>0</sup>], más jelölése:  $i$

$K$  = „hydraulic conductivity” hidraulikus vezetőképesség/ szivárgási tényező [L/T]

a  $K$  folyadék és közeg jellemző

# 6.TK. Felszínalatti vizek dinamikája

6.1. Közlekedőedények és vízvezetékek

6.2. A felszín alatti vízmozgás fizikai háttere

6.2.1. A folyadékpotenciál ( $\Phi$ )

6.2.2. Hidraulikus emelkedési magasság ( $h$ ), nyomásemelkedés ( $\psi$ ), helyzeti magasság ( $z$ ) manométerre és terepi potenciométerre, folyadékpotenciál a felszín alatti vizekre

6.2.3. A hidraulikus gradiens ( $dh$ )

6.3. A felszín alatti vízmozgás alaptörvénye és a hozzá kapcsolódó fogalmak

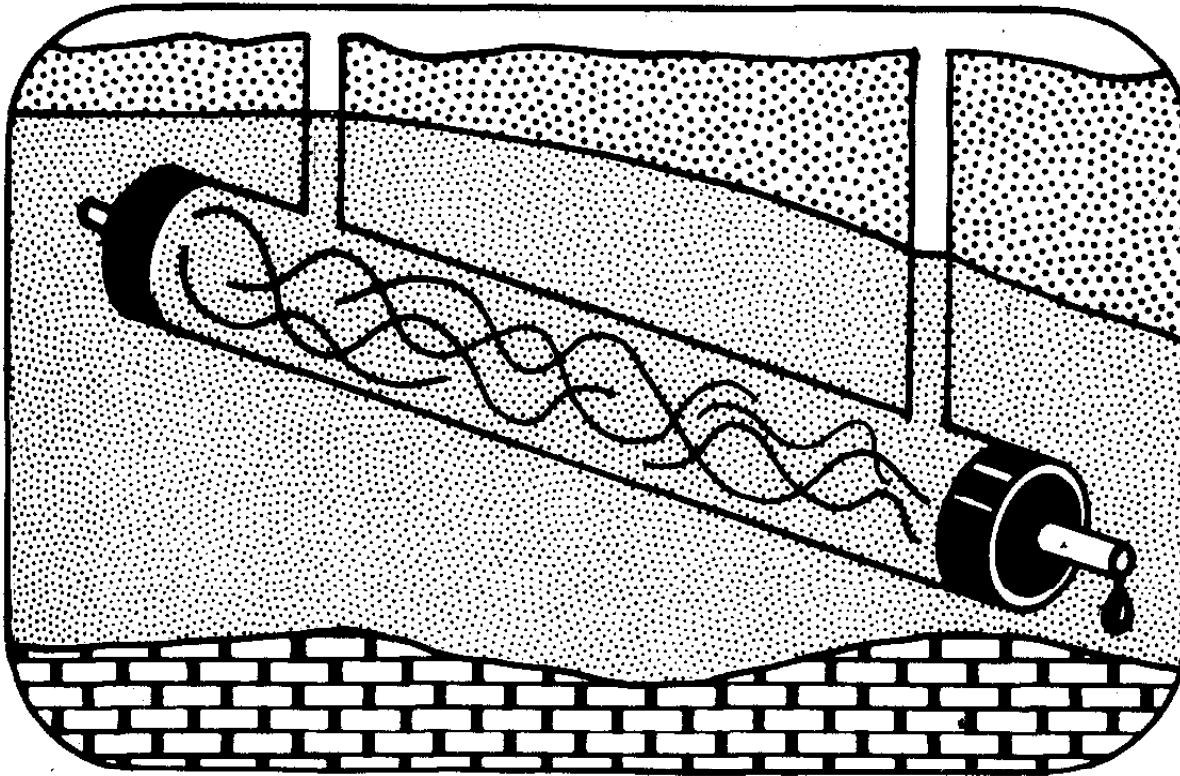
6.3.1. Darcy-törvény

6.3.2. A Darcy-törvény alkalmazása, jelölések

6.3.3. Áramlási intenzitás ( $q$ ), vonalmenti sebesség ( $v$ ), dimenziók, mértékegységek

6.3.4. Hidraulikus vezetőképesség ( $K$ ), permeabilitás ( $k$ ), dimenziók, mértékegységek, nagyságrendek

## Darcy-törvény gyakorlati alkalmazása



Darcy-összefüggést a  $Q=qA$   
Egyenletbe helyettesítve:

$$Q = -K \frac{dh}{dl} A$$

# 6.TK. Felszínalatti vizek dinamikája

6.1. Közlekedőedények és vízvezetékek

6.2. A felszín alatti vízmozgás fizikai háttere

6.2.1. A folyadékpotenciál ( $\Phi$ )

6.2.2. Hidraulikus emelkedési magasság ( $h$ ), nyomásemelkedés ( $\psi$ ), helyzeti magasság ( $z$ ) manométerre és terepi potenciométerre, folyadékpotenciál a felszín alatti vizekre

6.2.3. A hidraulikus gradiens ( $dh$ )

6.3. A felszín alatti vízmozgás alaptörvénye és a hozzá kapcsolódó fogalmak

6.3.1. Darcy-törvény

6.3.2. A Darcy-törvény alkalmazása, jelölések

6.3.3. Áramlási intenzitás ( $q$ ), vonalmenti sebesség ( $v$ ), dimenziók, mértékegységek

6.3.4. Hidraulikus vezetőképesség ( $K$ ), permeabilitás ( $k$ ), dimenziók, mértékegységek, nagyságrendek

A  $q$  (áramlási intenzitás vagy Darcy-sebesség) fizikai tartalma:  
Adott keresztmetszeten egységnyi idő alatt keresztüláramló vízmennyiség.

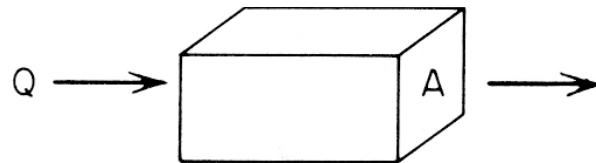
Az áramlási intenzitás NEM AZONOS a lineáris vagy vonalmenti sebességgel ( $v$ )!

Az áramlási intenzitás makroszkopikus tulajdonság, míg a sebesség mikroszkopikus

$$[q] = \left[ \frac{L^3}{L^2 T} \right] = \left[ \frac{L}{T} \right]$$

$v$  - lineáris felszín alatti víz sebesség [L/T]  
 $q$  - áramlási intenzitás, fluxus [L/T]  
 $n$  - porozitás [0]

$$v = \frac{q}{n}$$



$q$

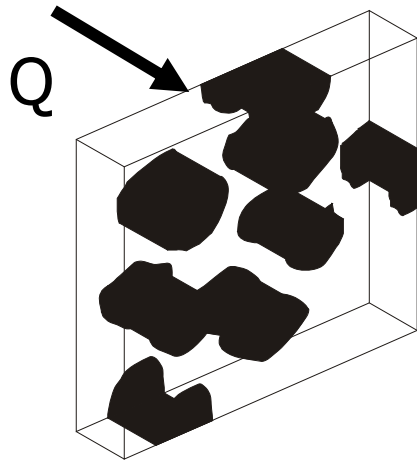


$v$

(Freeze & Cherry, 1979)

## Áramlási intenzitás - Darcy sebesség

$$q = \frac{Q}{A} \frac{\left[ \frac{L^3}{T} \right]}{[L^2]} = \left[ \frac{L}{T} \right]$$



$$q = v \cdot n$$

## Vonalmenti sebesség – lineáris sebesség

$$v = \frac{Q}{A \cdot n} = \frac{q}{n} \left[ \frac{L}{T} \right]$$

A – teljes felület

A · n – tényleges porózus keresztmetszet

A vonalmenti/lineáris sebesség: a folyadékreszecskek tényleges előrehaladási sebessége az adott porózus keresztmetszeten keresztül.

A **q** és a **v** közötti különbség nagyon fontos a szennyező transzport és az elérési idő számításoknál:

**q** → szállított vízmennyiség/szennyező tömeg

**v** → elérési idő



(Buda, Rózsadomb: Molnár János barlang, foto: Kalinovits)

Budai Márgában  $q = 4,8 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$

$n(\text{márga}) : 0,3$        $v(\text{márga}) = 1,6 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$

$n(\text{barlang}) : 0,9$        $v(\text{barlang}) = 5,3 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$

## Jelölések, dimenziók, mértékegységek

Paraméter	Jelölés	Dimenzió	Mértékegység
Hidraulikus emelkedési magasság	$h$	$[L]$	m
Nyomásemelkedési magasság	$\psi$	$[L]$	m
Helyzeti magasság	$z$	$[L]$	m
Folyadéknyomás	$p$	$[M/LT^2]$	N/m <sup>2</sup> vagy Pa
Folyadékpotenciál	$\Phi$	$[L^2/T^2]$	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Sűrűség	$\rho$	$[M/L^3]$	kg/m <sup>3</sup>
Áramlási intenzitás	$q$	$[L/T]$	m/s
Hidraulikus vezetőképesség	$K$	$[L/T]$	m/s
Sebesség	$v$	$[L/T]$	m/s



# 6.TK. Felszínalatti vizek dinamikája

6.1. Közlekedőedények és vízvezetékek

6.2. A felszín alatti vízmozgás fizikai háttere

6.2.1. A folyadékpotenciál ( $\Phi$ )

6.2.2. Hidraulikus emelkedési magasság ( $h$ ), nyomásemelkedés ( $\psi$ ), helyzeti magasság ( $z$ ) manométerre és terepi potenciométerre, folyadékpotenciál a felszín alatti vizekre

6.2.3. A hidraulikus gradiens ( $dh$ )

6.3. A felszín alatti vízmozgás alaptörvénye és a hozzá kapcsolódó fogalmak

6.3.1. Darcy-törvény

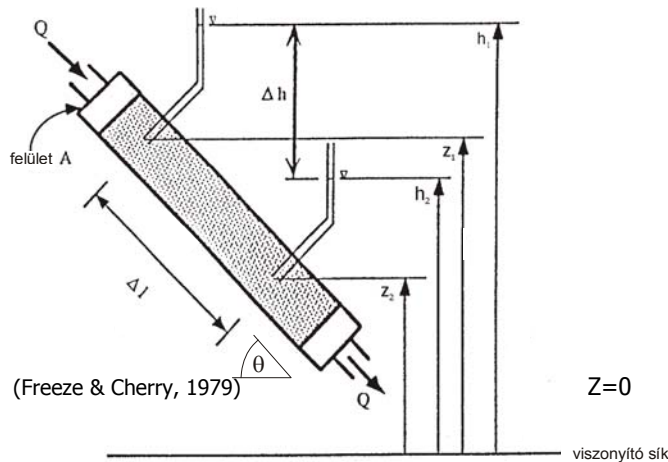
6.3.2. A Darcy-törvény alkalmazása, jelölések

6.3.3. Áramlási intenzitás ( $q$ ), vonalmenti sebesség ( $v$ ), dimenziók, mértékegységek

6.3.4. Hidraulikus vezetőképesség ( $K$ ), permeabilitás ( $k$ ), dimenziók, mértékegységek, nagyságrendek

# A hidraulikus vezetőképesség (K) és a permeabilitás (k)

K [L/T] folyadékra és közegre jellemző



1. Közeg tulajdonsága ( $\emptyset d$ )

2. Folyadék ( $\rho, \mu$ )

$$\frac{dh}{dl} = \text{konst}$$

Tapasztalat:  $q \sim d^2$

$$q \sim \rho g$$

$$q \sim \frac{1}{\mu}$$

$$q \sim -\frac{dh}{dl}$$

Eredeti Darcy-tv.

$$q = -K \frac{dh}{dl}$$

(K közeg + folyadék függő tulajdonság)

$$q = -\frac{C d^2 \rho g}{\mu} \frac{dh}{dl}$$

$C$  – a pórusok belső geometriájától függő állandó [0]

$\mu$  – dinamikai viszkozitás [M/LT]

$d$  – átlagos szemcseátmérő [L]

$$k = C d^2 [L^2]$$

permeabilitás (intrinsic permeability)  
közegre jellemző tulajdonság

$\frac{\rho g}{\mu} \Rightarrow$  folyadékra jellemző tulajdonság

**TABLE 4.4** Effect of Temperature on Water Viscosity

Temperature (°C)	Water Viscosity (kg·m <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> )
0	1.8 × 10 <sup>-3</sup>
50	5.4 × 10 <sup>-4</sup>
100	2.8 × 10 <sup>-4</sup>
150	1.8 × 10 <sup>-4</sup>

**TABLE 4.3** Effect of Pressure and Temperature on Fluid Density

Depth (km)	Fluid		Fluid Density (kg·m <sup>-3</sup> )
	Pressure (MPa)	Temperature (°C)	
1	10	42	1146
2	20	67	1125
3	30	92	1113
4	40	117	—
5	50	142	1092

$$q = - \frac{Cd^2 \rho g}{\mu} \frac{dh}{dl}$$

$$10 \text{m/s}^2 * 1000 \text{kg/m}^3 * 1000 \text{m} = 10^7 \text{Pa} = 10 \text{MPa}$$

Geotermikus gradiens átl.: 3°C/100m

Konklúzió: a mélység irányában a viszkozitás jobban csökken, mint a sűrűség, így összességében K nő, ezért kisebb dh/dl kell a folyadék ugyanolyan intenzitású mozgatásához

# Dimenziók, mértékegységek 1.

A hidraulikus vezetőképesség/szivárgási tényező (K) mind a közeg, mind a folyadék tulajdonságait magában foglalja

$$K = \frac{k\rho g}{\mu} \left[ \frac{L}{T} \right]$$

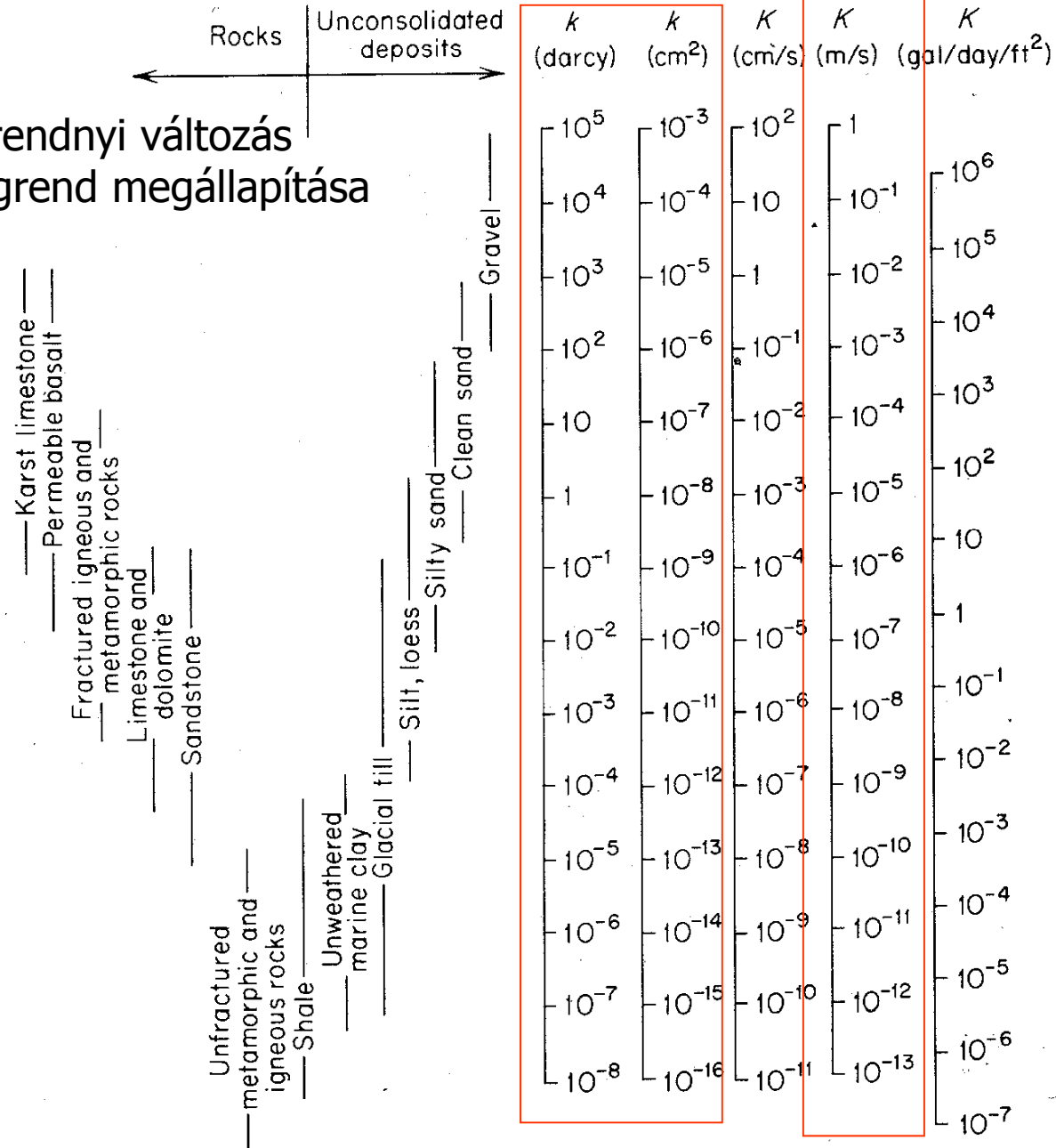
a permeabilitás (k) csak a közeg vezetőképességi tulajdonságait foglalja magában.

$$k = Cd^2 [L^2]$$

	Jelölés	SI mértékegység	Egyéb alkalmazott
Hidraulikus vezetőképesség	<b>K</b>	<b>m/s</b>	<b>hidrológiában: m/nap</b>
Permeabilitás	<b>k</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>olajiparban: darcy</b>

# Nagyságrendek (K, k)

13 nagyságrendnyi változás  
Cél: nagyságrend megállapítása



# Nagyságrendek (K, k)

Kőzet	Permeabilitás (darcy) (k)	Hidraulikus vezetőképesség (m/s) (K)
Agyag	$10^{-7} - 10^{-4}$	$10^{-12} - 10^{-9}$
Kőzetliszt, homokos kőzetliszt, agyagos homok, till	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-10} - 10^{-6}$
Kőzetlisztes homok, finom homok	$10^{-2} - 10^2$	$10^{-7} - 10^{-3}$
Osztályozott homok	$10 - 10^3$	$10^{-4} - 10^{-2}$
Osztályozott kavics	$10^3 - 10^5$	$10^{-2} - 1$