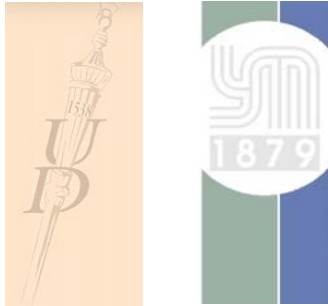




EURÓPAI UNIÓ  
STRUKTURÁLIS ALAPOK



# H I D R A U L I K A

PMKGNB 230 segédlet a PTE PMMK építőmérnök hallgatói részére

*„Az építész- és az építőmérnök képzés szerkezeti és tartalmi fejlesztése”*

HEFOP/2004/3.3.1/0001.01

# HIDRAULIKA

PÁLNÉ SCHREINER JUDIT

Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki Kar,  
Közmű, Geodézia és Környezetvédelem Tanszék

2007

2

Részletes tantárgyprogram:		
Hét	Ea/Gyak./Lab.	Témakör
1.	2 óra előadás	Hidrosztatika alaptörvénye nyugvó folyadékok egyensúlya. Síkfelületekre ható folyadéknomás meghatározása.
2.	2 óra gyakorlat	Folyadéknomás nagyságának számítása.
3.	2 óra előadás	Nyomásábra szerkesztése. Folyadékba merült testekre ható folyadéknomás meghatározása.
4.	2 óra gyakorlat	Nyomásábrák szerkesztése síkfelületre, görbe felületekre ható nyomóerő meghatározása.
5.	2 óra előadás	Folyadékmozgások osztályozása. Lamináris és turbulens vízmozgás. Bernoulli egyenlet ideális folyadékok esetén. Bernoulli egyenlet gyakorlati alkalmazása I.
6.	2 óra gyakorlat	Bernoulli egyenlet valódi folyadékok esetén.
7.	2 óra előadás	Bernoulli egyenlet gyakorlati alkalmazása, energia veszteségek számítása II.
8.	2 óra gyakorlat	Csővezeték hidraulikai méretezése
9	2 óra előadás	Csővezetékek, hálózatok méretezése; Súrlódási és helyi energia veszteségek meghatározása, Szifonok méretezése
10.	ŐSZI SZÜNETHET	
11.	2 óra gyakorlat	Szifonok, szivattyú méretezése
12.	2 óra előadás	Folyadékmozgás nyíltfelszínű medrekben; Áramló, rohanó vízmozgás; Nyílt felszínű csatornák méretezése; Bukógátak, mérőcsatornák; Talajvízmozgások
13.	2 óra gyakorlat	Nyílt felszínű csatornák méretezése; bukók méretezése
14.	2 óra előadás	Zárthelyi dolgozat
15.	2 óra gyakorlat	Osztályozott gyakorlat

## TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETŐ.....	5
2. A VALÓSÁGOS FOLYADÉKOK ÉS GÁZOK FIZIKAI TULAJDONSÁGAI .....	5
2.1. Folyadékok fajsúlya.....	5
2.2. Folyadékok sűrűsége .....	5
2.3. Folyadékok rugalmassága, összenyomhatósága.....	6
2.4. Folyadékok fajsúly és sűrűség változása a nyomással .....	6
2.5. Folyadékok fajsúly és sűrűség változása a hőmérséklettel .....	6
2.6. Viskozitás (belső súrlódás).....	7
2.7. Folyadékok és gázok térfogatváltozásai .....	7
2.8. Gázok állapotváltozásai.....	8
2.9. Felületi feszültség.....	9
3. HIDROSZTATIKA.....	10
3.1. Nyugvó folyadékok belső feszültségi állapota .....	10
3.2. A hidrosztatika euler-féle alapegyenlete (1775).....	11
3.3. A hidrosztatika alapegyenlete abszolút nyugalomban lévő folyadéktérre .....	12
3.4. A hidrosztatika törvényének néhány alkalmazása.....	12
3.5. Sík felületekre ható folyadéknyomás .....	15
3.6. Görbe felületekre ható folyadéknyomás.....	18
4. FOLYADÉKOK MOZGÁS- ÉS ENERGIA EGYENLETEI.....	19
4.1. A folyadékmozgások osztályozása .....	19
4.2. Folyadékok energia egyenletei.....	21
5. FOLYADÉKOK MOZGÁSA CSŐVEZETÉKBEN .....	25
5.1. Lamináris mozgás csővezetékben.....	25
5.2. Turbulens mozgás csővezetékekben.....	26
5.3. Csővezetékek áramlástan mértervezése.....	28
5.4. Csőhálózatok hidraulikai mértervezése.....	33
6. FOLYADÉKMOZGÁS NYÍLT FELSZÍNŰ MEDREKBEN .....	35
6.1. Áramló és rohanó vízmozgás.....	35
6.2. A hidraulikai mértervezés alapegyenlete.....	37
7. VÍZÉPÍTÉSI MŰTÁRGYAK HIDRAULIKAI VIZSGÁLATA.....	41
7.1. Utófenék.....	41
7.2. Bukógát.....	44
7.3. Mérőcsatorna.....	45
7.4. Csőáteresz (bújtató).....	46
IRODALOMJEGYZÉK .....	48

## 1. BEVEZETŐ

A hidraulika a víz nyugalmi és mozgási állapotainak tanulmányozásával foglalkozik. A vizsgálatok során a vízmozgást egydimenziósnek tekinti, s emiatt viszonylag egyszerű levezetések tartalmaz. A folyadékok elméletileg figyelembe nem vehető tulajdonságainak hatását a hidraulika tapasztalati tényezőkkel veszi számításba.

## 2. A VALÓSÁGOS FOLYADÉKOK ÉS GÁZOK FIZIKAI TULAJDONSÁGAI

Folyadékot olyan anyagot értünk, amely csekély ellenállást tanúsít az alakváltoztató erőkkel szemben, viszont térfogatát a nagy nyomásváltozások is alig befolyásolják. A valós folyadék molekuláris szerkezetű.

### 2.1. FOLYADÉKOK FAJSÚLYA

Homogén folyadék fajsúlyát a folyadék  $G$  súlyának a  $V$  térfogatához való viszonya adja,

azaz egységnyi térfogatú anyag súlya.  $\gamma = \frac{G}{V} \left[ \frac{N}{m^3} \right]$

Minden folyadék fajsúlya a hőmérséklettől és a nyomástól függ.

### 2.2. FOLYADÉKOK SŰRŰSÉGE

Sűrűségen a tömeg ( $m$ ) és a térfogat ( $V$ ) hányadosát értjük.

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

A fajsúly és a sűrűség kapcsolata:  $\gamma = \frac{G}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g$

Víz esetén, légköri nyomáson,  $0 - 35^\circ C$  között a fajsúly és a sűrűség állandónak vehető.

### 2.3. FOLYADÉKOK RUGALMASSÁGA, ÖSSZENYOMHATÓSÁGA

A  $V$  térfogatú folyadéktömeg,  $\Delta p$  nyomásnövekedés hatására bekövetkező térfogat

csökkenése: 
$$\Delta V = -\frac{1}{E} \cdot V \cdot \Delta p$$

$E$  - a folyadék rugalmassági tényezője, ami főleg a nyomástól, kisebb mértékben a hőmérséklettől függ.

$$\Delta p = -\frac{\Delta V}{V} \cdot E = \alpha \cdot E, \text{ ahol } \alpha \text{ a fajlagos térfogatváltozás.}$$

### 2.4. FOLYADÉKOK FAJSÚLY ÉS SŰRŰSÉG VÁLTOZÁSA A NYOMÁSSAL

$$m = \rho_0 \cdot V = \rho_1 \cdot (V - \Delta V)$$

$$\rho_1 = \rho_0 \cdot \frac{V}{V - \Delta V} = \rho_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta V}{V}} = \rho_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta p}{E}}$$

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\gamma_1 = \gamma_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta p}{E}}$$

### 2.5. FOLYADÉKOK FAJSÚLY ÉS SŰRŰSÉG VÁLTOZÁSA A HŐMÉRSÉKLETTEL

A  $\Delta V$  térfogatváltozás nagysága  $\Delta t$  hőmérsékletváltozás esetén a

$$\Delta V = \alpha \cdot V \cdot \Delta t$$

-  $\alpha$  a hőmérsékleti térfogattágulási tényező (a nyomás és a hőmérséklet függvénye, a víz  $+4^\circ\text{C}$  alatt és felett tágul)  $m = \rho_0 \cdot V = \rho_1 \cdot (V + \Delta V)$

$$\rho_1 = \rho_0 \cdot \frac{V}{V + \Delta V} = \rho_0 \cdot \frac{V}{V + \alpha \cdot V \cdot \Delta t} = \rho_0 \cdot \frac{1}{1 + \alpha \cdot \Delta t}$$

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\gamma_1 = \gamma_0 \cdot \frac{1}{1 + \alpha \cdot \Delta t}$$

## 2.6. VISZKOZITÁS (BELSŐ SÚRLÓDÁS)

A különböző sebességgel mozgó folyadék vagy gáz rétegek között a sebességek kiegyenlítődére irányuló reakcióerők<sup>(P)</sup>, belső súrlódó erők ébrednek.

Magyarázatuk a molekuláris vonzás, amit nyúlósságnak vagy viszkozitásnak nevezünk.

Az A és B pontokban mért sebességek között  $dv$  különbség tapasztalható.

A folyadékrétegeknek a sebesség irányára merőlegesen mért távolsága  $dh$ .

A rétegek közötti  $\tau \left[ \tau = \frac{F}{A} \right]$  csúsztatófeszültség  $\frac{dv}{dh}$  sebesség gradienssel arányos.

$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dh} \left[ \frac{N}{m^2} \right]$  ahol,  $\mu \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$  - a folyadék vagy gáz fajtájától és fizikai állapotától függő dinamikai viszkozitási tényező, melyet a hőmérséklet jelentősen befolyásol.

Hidraulikai számításainknál jellemzően a  $\nu$  kinematikai viszkozitási tényezőt

használjuk.  $\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$  ahol  $\rho$  - a folyadék sűrűsége

## 2.7. FOLYADÉKOK ÉS GÁZOK TÉRFOGATVÁLTOZÁSAI

A szilárd testek meghatározott alakkal rendelkeznek, a folyadékok, gázok az edény alakját veszik fel. Az anyag folyékony és gáznemű állapotát a Van der Walls féle állapotegyenlet írja le:

$$\left( p + \frac{a}{V} \right) \cdot (V - b) = R \cdot T$$

ahol  $a$  és  $b$  a gáz egyéni állandói, az  $R$  pedig az általános gázállandó magas hőmérsékleten.

Bizonyos hőmérsékleten, tökéletes, ideális gáz esetén:  $p \cdot V = R \cdot T$

Az állapotegyenletet a gyakorlatban többnyire nem a gáz tényleges  $V$  térfogatával, hanem az egység súlyú gáz térfogatával, az úgynevezett fajlagos térfogattal fejezzük ki.

$$v = \frac{V}{G} = \frac{1}{\gamma} \left[ \frac{m^3}{N} \right]$$

így 
$$\left( p + \frac{a}{v^2} \right) \cdot (v - b) = R_1 \cdot T$$

ahol, az  $R_1$  a fajlagos gázállandó már a gáz egyéni jellemzője és eltér az  $R$  általános gázállandótól.

## 2.8. GÁZOK ÁLLAPOTVÁLTOZÁSAI

Ha a gáz állapota valamilyen hatás következtében megváltozik, azt állapotváltozásnak nevezzük.

**Izotermikus** állapotról beszélünk akkor, amikor a gáz hőmérséklete az állapotváltozás során állandó marad. Erre az állapotra a Boyle-Mariotte törvény ( $p \cdot V = konstans$ ) érvényes.

**Izobár** állapot esetén a gáz nyomása állandó. Erre az állapotra a Gay - Lussac I.

törvény érvényes. 
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{tehát} \quad \frac{V}{T} = konstans$$

A gáz térfogata  $1^\circ\text{C}$  hőmérséklet emelés során, a  $0^\circ\text{C}$  hőmérsékleten elfoglalt térfogatának  $\frac{1}{273}$ -ad részével nő.

Ha  $0^\circ\text{C}$ -on a gáz térfogata  $V_0$ , akkor  $t_1^\circ\text{C}$ -on a gáz térfogata  $V_1$ .

$$V_1 = V_0 + V_0 \cdot \frac{1}{273} \cdot t_1 = V_0 \cdot \left( 1 + \frac{1}{273} \cdot t_1 \right) = V_0 \cdot \frac{273 + t_1}{273} = V_0 \cdot \frac{T_1}{273}$$

$$V_2 = V_0 \cdot \frac{T_2}{273}$$



**Izochor** állapot esetén a gáz térfogata állandó. **Gay -Lussac II.** törvénye érvényes

$$\frac{V}{R} = \frac{T}{p} \quad , \quad \frac{T}{p} = konstans$$

**Adiabatikus** állapotváltozás során a gázzal nem közlünk hőt.

$$p \cdot V^n = konstans \quad , \quad \text{ahol } n < \chi = \frac{c_p}{c_v} \quad , \quad \text{és}$$

$c_p$  - az állandó nyomáshoz tartozó fajhő,  $c_v$  - az állandó térfogathoz tartozó fajhő.

## 2.9. FELÜLETI FESZÜLTSÉG

A folyadék és gáz határán fellépő jelenség a folyadék felszínén tapasztalható felületi feszültség jelensége.

A folyadékok felszínén a folyadékmolekulák közötti vonzás nem tud kiegyenlítődni és így a folyadék felszínre merőleges, a folyadék belseje felé irányuló eredőmozgás jelentkezik. Ennek eredményeként a folyadékok felszíne a mechanikai hatásokkal szemben úgy viselkedik, mintha a felszínen egy kifeszített hártya helyezkedne el. Ez a felületi feszültség jelensége.

A felületi feszültség ( $k$ ) a folyadék felszínén, annak síkjában keletkezik. Értéke a felszínben fekvő egyenes vonal hosszegységére vonatkozik és arra merőleges, nagysága a kiválasztott iránytól független.  $k = \frac{K}{l} \left[ \frac{N}{m} \right]$  ahol,

$K$  - a felületi erő,  $l$  - a folyadék felszínvonalának hosszúsága

A felületi feszültség értéke a hőmérséklet növekedésével csökken. A felületi feszültség miatt a folyadék felszíne mindig görbült.

A görbület határvonalára ható felületi feszültség a felületre merőleges erőt ad, amelyet görbületi nyomásnak nevezik. Ennek fajlagos értékét görbületi feszültségnek hívják.

### 3. HIDROSZTATIKA

A hidrosztatika a nyugvó folyadékokra vonatkozó alapvető összefüggések levezetésével, a mérnöki szerkezetekre ható hidrosztatikus nyomás számításával, valamint a hidrosztatika elvén működő nyomásmérő műszerekkel foglalkozik.

**A hidrosztatika** az abszolút- és a viszonylagos nyugalomban lévő folyadékoknak, a szilárd testekre, felületekre gyakorolt hatásával foglalkozik.

**Abszolút nyugalomban** van a folyadék akkor, ha a Földhöz rögzített koordináta rendszerben az egyes folyadékrezsceskék mozdulatlanok.

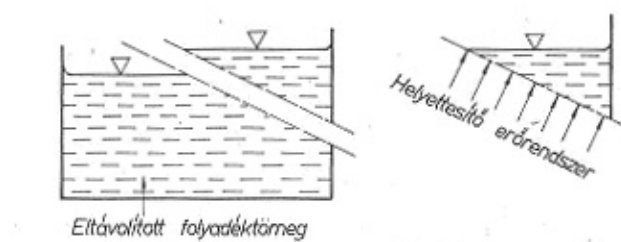
**Viszonylagos nyugalomban** van a folyadék akkor, ha a folyadékot tartalmazó tartály egyenes vonalú, állandó sebességű vagy állandó gyorsulású mozgást végez úgy, hogy a folyadék térben tetszőlegesen felvett bármely elemi folyadék rezsceske, a mozgást végző tartályhoz rögzített koordináta rendszerben helyzetét nem változtatja meg.

#### 3.1. NYUGVÓ FOLYADÉKOK BELSŐ FESZÜLTSEGI ÁLLAPOTA

Nyugalomban lévő folyadéktérben  $\frac{dv}{dr} = 0$ . A csúsztatófeszültség a sebesség gradienssel arányos  $\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dh} = 0$ , tehát a folyadék nyugalomban van.

Így a **hidrosztatikai törvények**, egyenletek érvényesek az **ideális és a valódi folyadékokra is**.

Folyadékok esetén a **belső feszültséget** fajlagos folyadéknyomásnak, víz esetében pedig **fajlagos víznyomásnak** nevezik. Valamely  $A \text{ (m}^2\text{)}$  felületre ható,  $p \left(\frac{N}{\text{m}^2}\right)$  fajlagos folyadéknyomás által okozott  $F \text{ (N)} = p \cdot A$  értéket folyadéknyomásnak (**nyomóerőnek**) nevezzük.



1. ábra Folyadéknyomás értelmezése

Az eltávolított részt olyan erőrendszerrel helyettesítjük, ami egyensúlyban tartja a jobboldalt. Az x-x sík A pontjának környezetében fekvő  $\Delta A$  felületelemre hasson egy elemi  $\Delta F$  erő.

**A hidrosztatika 1. törvénye:**

A  $\Delta F$  erő merőleges a  $\Delta A$  felületre, mert ha  $\Delta F$ -nek más iránya lenne, akkor felületbe eső komponense is volna, amely a felület-menti folyadékrezecskék elmozdulását eredményezné.

**A folyadék határfelületén működő nyomás merőleges a határfelületre.**

**Az olyan nyomásmegoszlást, mely merőleges a határfelületre hidrosztatikus nyomásmegosztásnak nevezzük.**

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A} \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

**A hidrosztatika 2. törvénye:**

Ha az „A” ponton keresztül bármilyen irányú síkot veszünk, a „p” hidrosztatikus nyomás nagysága független az iránytól.

A folyadéktér vizsgált pontjában a hidrosztatikus nyomás bármely irányban egyforma, gömbi állapot uralkodik.

**A folyadéktér különböző pontjaiban a fajlagos nyomás különböző és értéke a helynek függvénye:**

$$p = p(x, y, z)$$

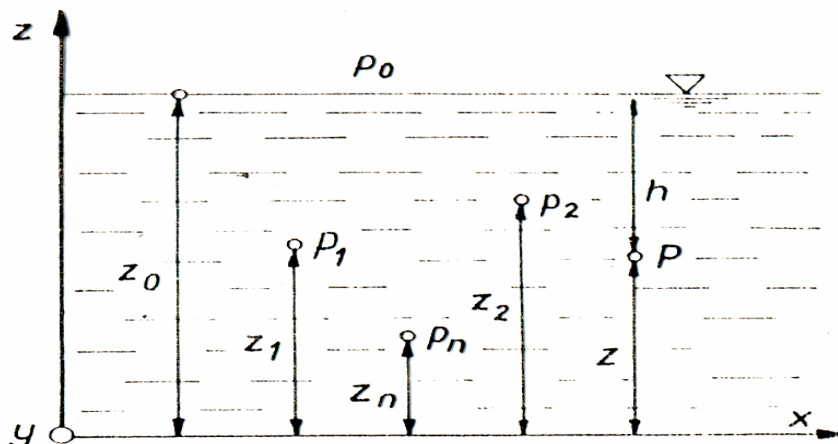
### 3.2. A HIDROSZTATIKA EULER-FÉLE ALAPEGYENLETE (1775)

Ha a nyugalomban lévő  $\rho$  sűrűségű folyadék minden egységnyi tömegére  $T$  tömegerő hat, akkor a folyadéktérben az egymástól  $d\bar{r}$  távolságra lévő két pont közötti  $d p$  nyomáskülönbséget a  $\rho \cdot T$  és  $d\bar{r}$  vektorok skaláris szorzata adja.

**skaláris alakja:**  $d p = \rho \cdot (T_x d x + T_y d y + T_z d z)$

**vektorális alakban:**  $d p = \rho \cdot \bar{T} \cdot d\bar{r}$

### 3.3. A HIDROSZTATIKA ALAPEGYENLETE ABSZOLÚT NYUGALOMBAN LÉVŐ FOLYADÉKTÉRRE



2. ábra Hidrosztatikai alapfogalmak értelmezése

Ha a folyadékter nehézégi erő alatt áll, akkor a  $h$  mélységű pontban a hidrosztatikai nyomás a felszínre ható  $p_0$  nyomásból, továbbá az  $e$  pontban lévő egységnyi felületet terhelő  $h$  magasságú és  $\rho$  sűrűségű folyadékhasáb  $\rho \cdot g \cdot h$  súlyából tevődik csak össze.

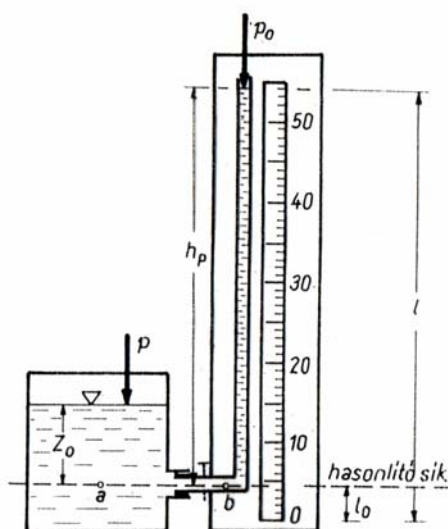
$$p_{absz.} = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

A mérnöki gyakorlatban nyomás helyett nyomómagassággal számolunk, mely egy akkora folyadékoszlopnak a magassága, amely által okozott fajlagos nyomás éppen a kérdéses

nyomással egyenlő:  $h = \frac{P}{\rho \cdot g} [m]$

### 3.4. A HIDROSZTATIKA TÖRVÉNYÉNEK NÉHÁNY ALKALMAZÁSA

#### 3.4.1. Piezométer

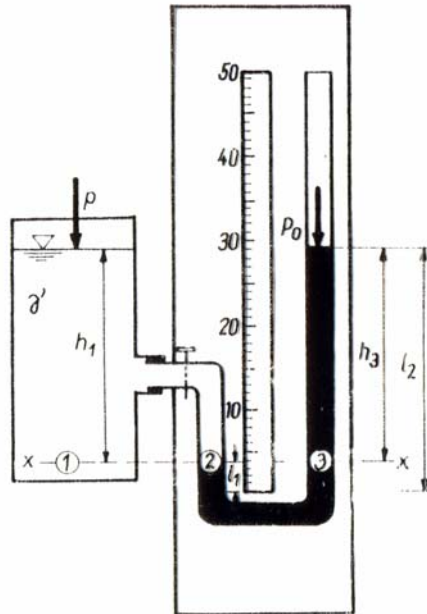


3. ábra Piezométer

A cső átmérője nagyobb 5 mm-nél, felül nyitott. A cső végét a mérendő helyhez kötik. A zérushely tetszőleges, de ismerni kell a nyomását. Ha  $p > p_0$  megemelkedik a vízoszlop,  $h_p$  a piezometrikus magasság.

$$p_t = p - p_0 = \rho \cdot g \cdot (h_p - z_0) = \rho \cdot g \cdot ((l \pm l_0) - z_0), \text{ mert } h_p = l \pm l_0$$

### 3.4.2. Manométerek



4. ábra Higanys manométer

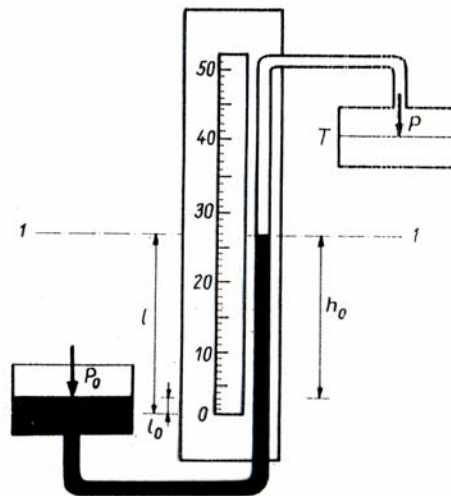
Ha adott:  $\rho$ ,  $h_1$ ,  $\rho_{Hg}$ , és  $h_3$  leolvasható érték, akkor a  $p$  abszolút nyomás meghatározható.

$$\begin{aligned} p_1 &= p_3 \\ p + \rho \cdot g \cdot h &= p_0 + \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_3 \\ p &= p_0 + \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_3 - \rho \cdot g \cdot h_1 \end{aligned}$$

### 3.4.3. Vákuumméter

A  $h_0$  leolvasásával meghatározható a vákuum nagysága az alábbi képlet segítségével:

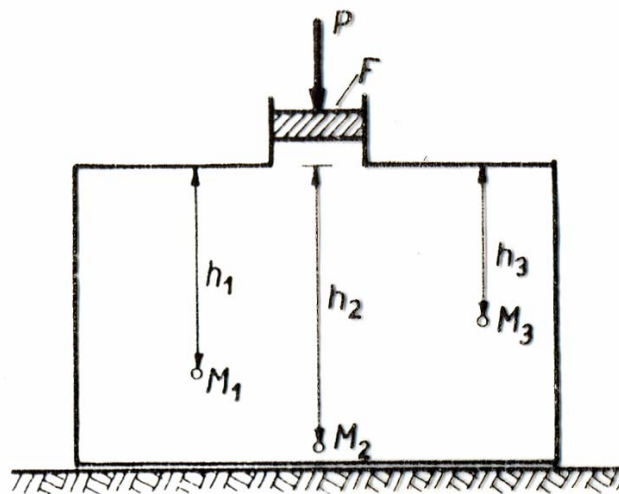
$$p = p_0 - \rho_{Hg} \cdot g \cdot h_0$$



5. ábra Vákuum-méter

## 3.4.4. Pascal-törvénye

A zárt-terű folyadékra gyakorolt túlnyomás a folyadéktérben gyengítetlenül tova terjed a folyadéktér minden pontjára.



6. ábra A Pascal törvény értelmezése

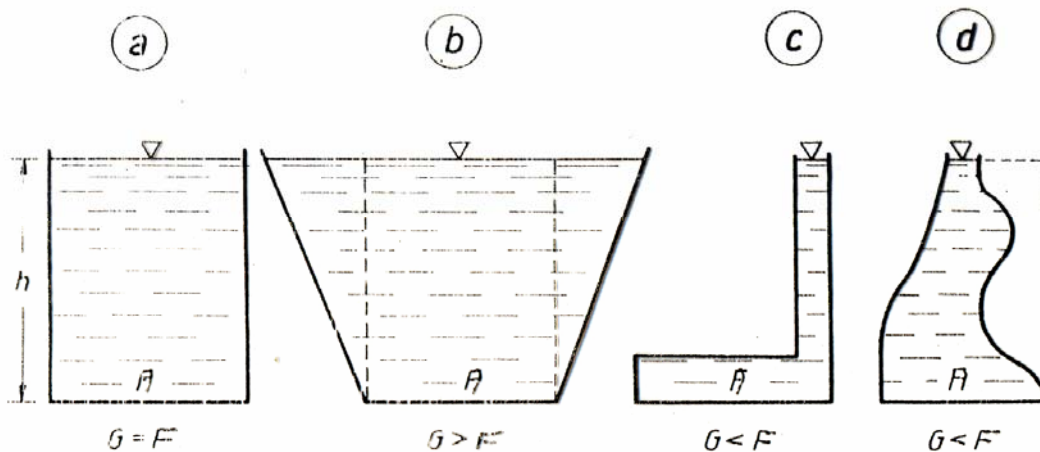
$$p_1 = p + \rho \cdot g \cdot h_1$$

$$p_2 = p + \rho \cdot g \cdot h_2$$

$$p_3 = p + \rho \cdot g \cdot h_3$$

### 3.5. SÍK FELÜLETEKRE HATÓ FOLYADÉKNYOMÁS

#### 3.5.1. Vízszintes síkfelületre ható folyadéknyomás (fenéknyomás)



7. ábra A fenéknyomás néhány alapesete

Jellemzője a vízszintes fenék, az azonos  $A$  alapterület, az azonos  $h$  vízoszlop magasság, de az alak különböző.

A tartályok fenéklapjának minden egyes pontján ható fajlagos nyomás:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

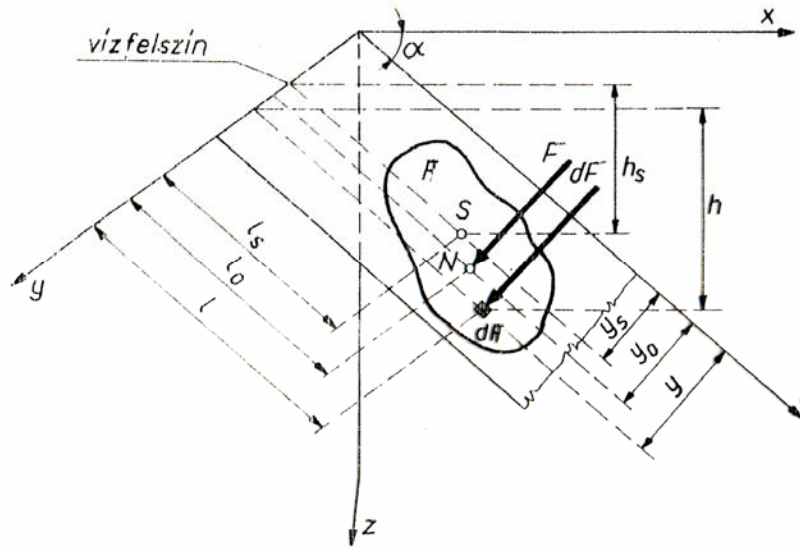
A fenékre ható teljes nyomóerő értéke:

$$F = p \cdot A = \rho \cdot g \cdot h \cdot A$$

Az  $A$  ( $m^2$ ) alapterületű vízszintes síkfelületre ható fenéknyomás az alapterületre emelt  $h$  magasságú folyadékhasáb súlyával azonos és független a tartály felső részének alakjától, illetve a tartályban lévő folyadék súlyától.

#### 3.5.2. Általános helyzetű síkidomra ható nyomóerő

Jellemzője a ferde sík és a vízfelszíntől mért változó  $h$  magasság (változó nagyságú  $p$  megoszló terhelés).



8. ábra Ferde sík felületre ható folyadéknyomás

$$F = \int_A dF = \int_A p \cdot dA = \int_A \rho \cdot g \cdot h \cdot dA$$

$$(h = l \cdot \sin \alpha)$$

$$F = \rho \cdot g \cdot \sin \alpha \int_A l \cdot dA$$

$$\left( \int_A l \cdot dA = S_y \right)$$

$$F = \rho \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot S_y = \rho \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot l_s \cdot A$$

$$(h_s = l_s \cdot \sin \alpha)$$

$$F = \rho \cdot g \cdot h_s \cdot A$$

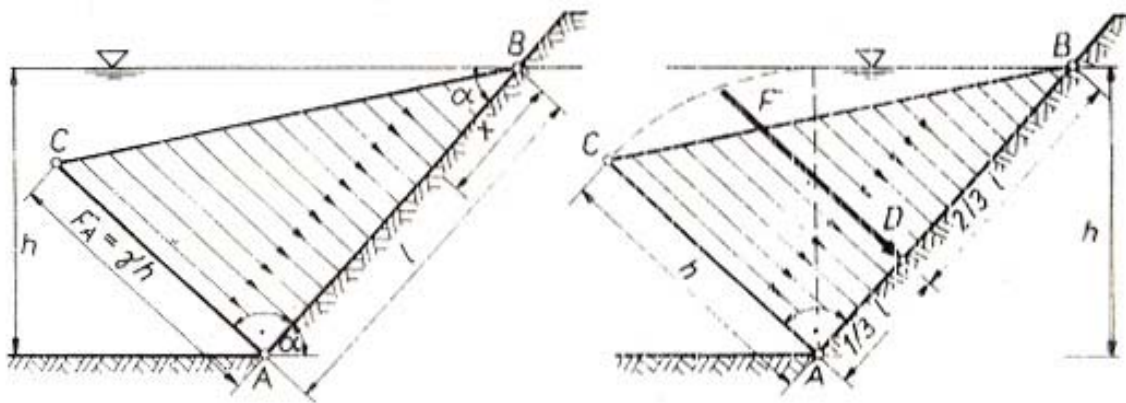
Valamely, folyadékkal egy oldalról terhelt, ferde helyzetű síkra ható  $F$  eredő nyomóerőt az  $A$  felületnek és annak súlypontjában érvényes nyomásnak a szorzata adja meg.

A  $p_s = \rho \cdot g \cdot h_s$  súlypontban ható nyomást középnomásnak nevezzük.



## 3.5.3. Nyomására szerkesztése sík felületre

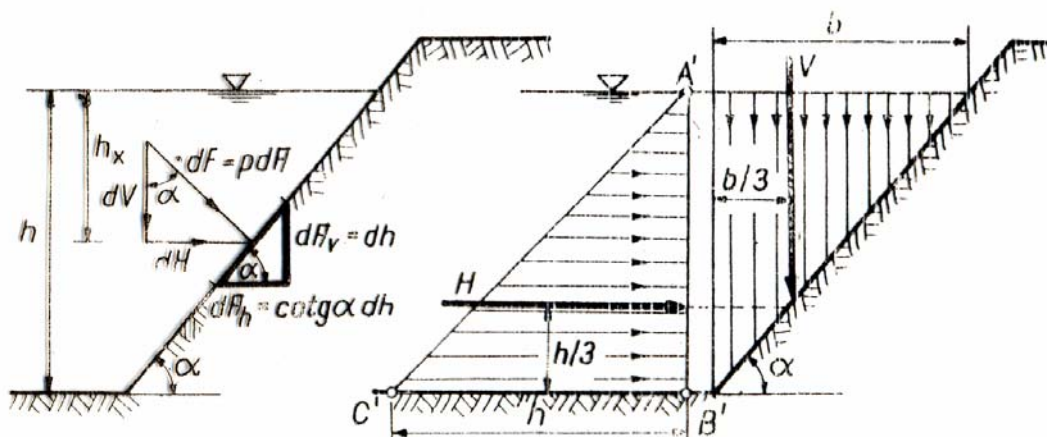
A vízterhelés lineárisan változó megoszló terheléssel nyomja a ferde helyzetű sík felületet. A nyomására területe megegyezik az 1 méter széles sávot terhelő nyomóerő értékével.



9. ábra Hidrosztatikus nyomásmegoszlás ferde sík felületen

H - Az A felületet támadó víznyomás nyomóerejének vízszintes összetevője egyenlő azzal a képzelte nyomóerővel, mely az A felület függőleges vetületére, mint képzelte síkfelületre működne.

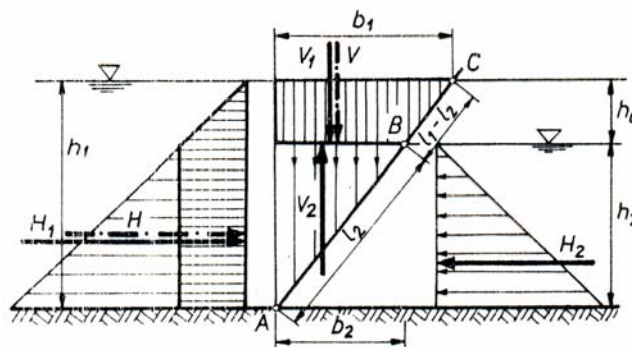
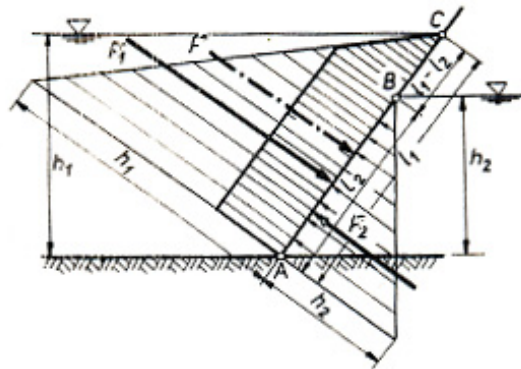
V - Az A felületet támadó víznyomás nyomóerejének függőleges összetevőjét a felület fölé emelt, függőleges palásttal elhatárolt, a vízszintig érő folyadéktest súlya adja.



10. ábra A hidrosztatikus nyomás összetevői

### 3.5.4. Víznyomással két oldalról terhelt síkfelületek nyomásábrái

Ha egy felület mindkét oldalát víznyomás terheli, akkor az eredő nyomáserőt az erők szuperponálásának elve alapján határozzuk meg.



11. ábra Kétoldalról terhelt síkfelület nyomásábrái

### 3.6. GÖRBE FELÜLETEKRE HATÓ FOLYADÉKNYOMÁS

**Síkfelület** - elemi nyomóerők egymással párhuzamosak

**Görbe felület** - elemi nyomóerők nem párhuzamosak

Az elemi görbe felületre ható erő vízszintes összetevőjét úgy kapjuk meg, hogy az adott mélységhez tartozó nyomást megszorozzuk az elemi felület függőleges síkra vonatkozó vetületével.

$H$  - úgy határozzuk meg, mint a  $h$  magasságú függőleges síkfelületre ható nyomóerőt.

$V$  - kiszámítjuk a görbe felület és a vízszint síkjában húzott sík felület közötti folyadék köbtartalmát, és ezt szorozzuk a folyadék sűrűségével.

## 4. FOLYADÉKOK MOZGÁS- ÉS ENERGIA EGYENLETEI

### 4.1. A FOLYADÉKMOZGÁSOK OSZTÁLYOZÁSA

#### 4.1.1. A folyadékmozgások elhatároltság szerinti osztályozása

A hidraulikában sohasem találkozunk végtelen kiterjedésű folyadéktérrel. Az áramló folyadékot mindig valamilyen álló vagy mozgó felület határolja. Ezt nevezik elhatárolt folyadékmozgásnak. Az elhatároló felület jellege szerint három esettel találkozhatunk a gyakorlatban:

- Szilárd felülettel teljesen elhatárolt, nyomás alatt álló folyadékmozgások;
- Szilárd felületekkel és a szabad felszínnel elhatárolt folyadékmozgások;
- Szabad folyadéksugarak, amelyeket köröskörül levegő határol.

#### 4.1.2. A folyadékmozgások kinematikai osztályozása

Kinematikai szempontból a folyadékmozgás lehet:

- Folytonos vagy nem-folytonos; és
- Permanens vagy nem-permanens.

#### *Folytonos és nem-folytonos folyadékmozgás*

A folyadék mozgása a tér azon pontjaiban és azon időpontjában folytonos, amelyekre fennáll, hogy a folyadékmozgás során a pont végtelen kicsiny környezetébe **érkező és onnan egyidejűleg távozó folyadéktömegek egyenlők**.

Az elemi folyadéksugar tömegének egységnyi idő alatt bekövetkező változása egyenlő, az egységnyi idő alatt abba befolyt és onnan kifolyt folyadék tömegének különbségével.

$$m_{be} \rightarrow \rho \cdot Q dt$$

$$m_{be} - m_{ki} \rightarrow \frac{\delta(\rho \cdot A)}{\delta t} ds dt \quad \left( A = \frac{A_1 + A_2}{2} \right)$$

$$\rho \cdot Q dt - \left[ \rho \cdot Q + \frac{\delta(\rho \cdot Q)}{\delta s} ds \right] dt = \frac{\delta(\rho \cdot A)}{\delta t} ds dt$$

$$\frac{\delta(\rho \cdot Q)}{\delta s} + \frac{\delta(\rho \cdot A)}{\delta t} = 0$$

Ez az elemi folyadéksugár folytonossági (kontinuitási) egyenlete.

Ha a vízhozam folytonos  $\rightarrow \rho = const.$

$$\frac{\delta Q}{\delta s} + \frac{\delta A}{\delta t} = 0$$

permanens (időben állandó) vízmozgásnál:

$$\frac{\delta A}{\delta t} = 0; \frac{\delta Q}{\delta s} = 0$$

$$Q = const. = F_1 \cdot v_1 = F_2 \cdot v_2 = \dots = F_n \cdot v_n, \text{ ahol az}$$

$F_n$  - a folyadéksugár nedvesített szelvénye,

$v_n$  - a szelvény középsebessége.

#### *Permanens és nem-permanens mozgás*

Ez az osztályozás a mozgás **időbeli** állandóságára, illetve változására vonatkozik. Permanens az áramlás, ha semmilyen jellemzője nem függ az időtől, csak a helytől.

#### 4.1.3. A folyadékmozgások dinamikai osztályozása

Dinamikai szempontból a folyadékoknak két különböző mozgásállapota különböztethető meg, a lamináris- és a turbulens mozgás. A két mozgás megkülönböztetése fontos az áramlás során bekövetkező súrlódási veszteség szempontjából.

*Lamináris mozgásról* akkor beszélünk, ha a folyadékreszecskek egymással nem keverednek, a rétegek között folyadékcsere nem lép fel.

*Turbulens mozgás* során a folyadékreszecskek rendszertelenül, kaotikusan, gomolyogva mozognak, véletlenszerű pályán.

A lamináris és turbulens vízmozgás közti különbséget Osborn Reynolds kísérlete bizonyította, és határozta meg a két mozgás határát. Ezt a határt a Reynolds-féle szám fejezi ki. A Reynolds szám a tehetetlenségi és a belső, súrlódó erők arányát méri, és van egy kritikus értéke, amelynél a lamináris mozgás turbulenssé válik.

Csővezetéknel:  $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$  ;  $Re_{kr} = 2320$

Nyíltfelszínű medernél:  $Re = \frac{v \cdot R}{\nu}$  ;  $Re_{kr} = 580$

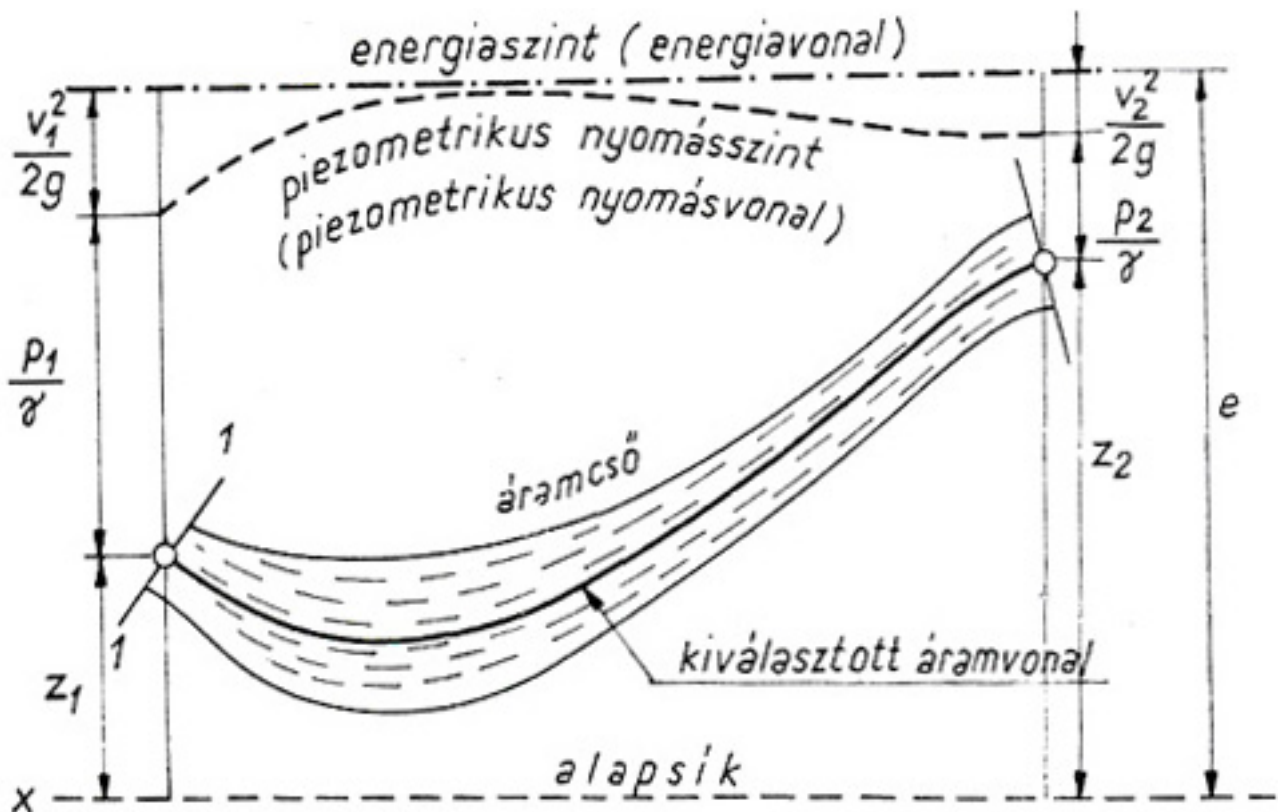
Ha  $Re < Re_{kr}$ , akkor a mozgás lamináris, ha  $Re > Re_{kr}$  akkor turbulens.

## 4.2. FOLYADÉKOK ENERGIA EGYENLETEI

A folyadékok energia megmaradását Bernoulli tétele határozza meg. Az energiamegmaradás vizsgálatakor külön kell vizsgálni az ideális és a valós folyadékokat.

### 4.2.1. Ideális folyadékok esete

A vizsgált áramvonal két pontja között az egység súlyú folyadék (potenciális és kinetikai) energiataralma azonos.



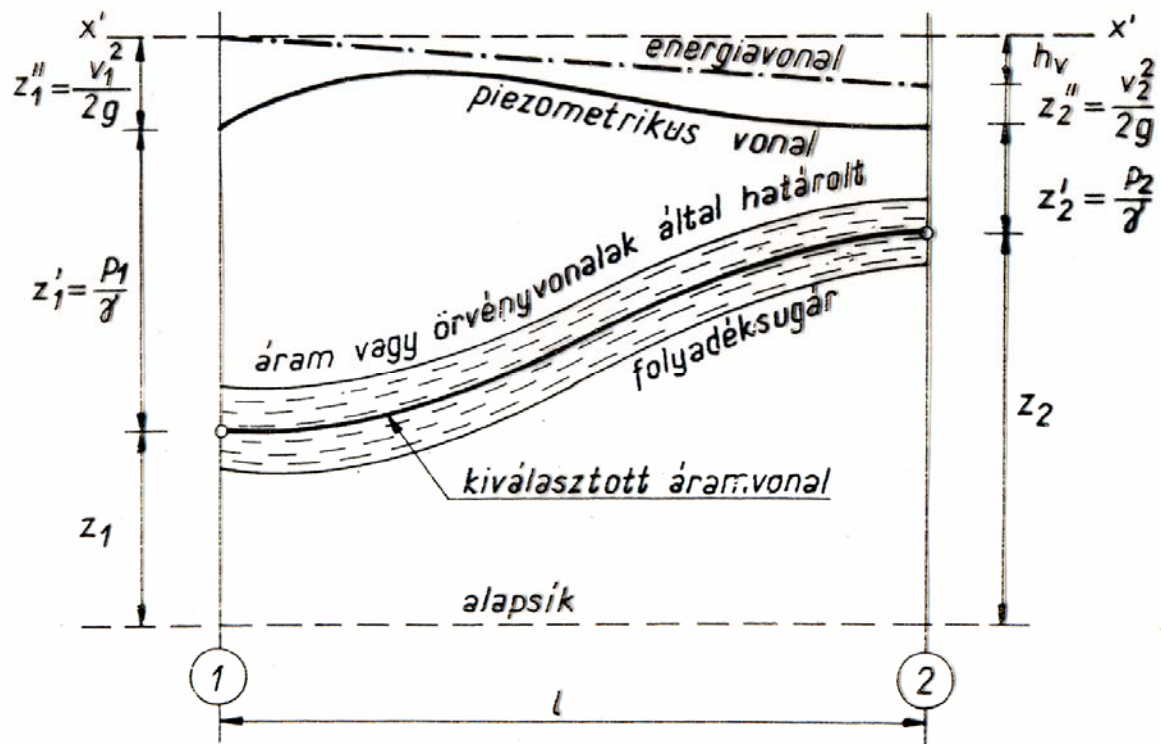
12. ábra A Bernoulli egyenlet értelmezése ideális folyadékok esetén

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

## 4.2.2. A valós folyadékok esete

Valódi folyadékoknál a folyadék részecskék egymásközti súrlódása energiát fogyaszt. Ezt a hidraulikailag vissza nem nyerhető energiát energia veszteségnek nevezzük.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_v$$

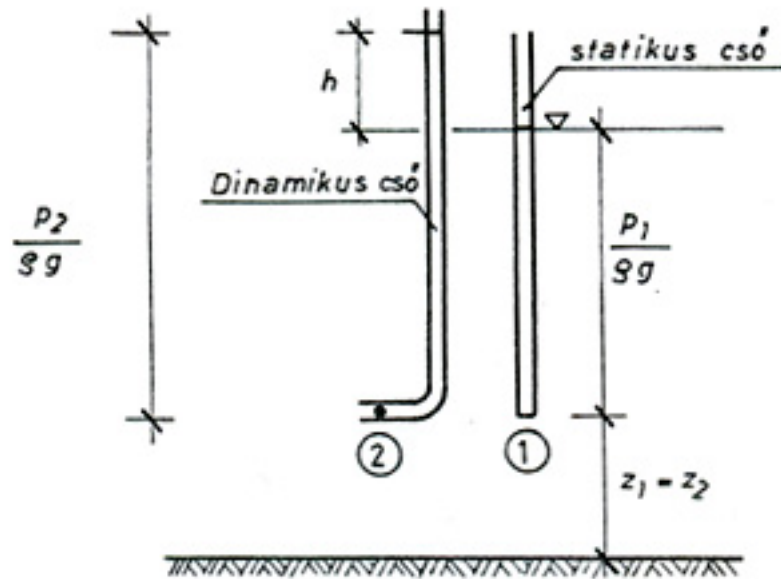


13. ábra A Bernoulli tétel értelmezése valós folyadékok esetén

## 4.2.3. A Bernoulli tétel gyakorlati alkalmazása

## Pitot-cső

A Bernoulli egyenlet egyik klasszikus alkalmazása a Pitot-cső néven ismert műszer. A műszer a víz áramlási sebességét méri. A műszer két üvegcsőből (egy dinamikus és egy statikus) áll. Az áramlással szembeforduló dinamikus csőben, az áramló folyadék torlónyomása következtében a folyadék annál magasabbra emelkedik, minél nagyobb az áramlási sebesség. Az áramlással párhuzamosan levágott végű statikus cső, viszont csak a mérés helyén uralkodó hidrosztatikus nyomást méri.



14. ábra A Pitot-cső működése

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \Sigma h_v$$

$$z_1 = z_2$$

$$v_2 = 0$$

$$\Sigma h_v \rightarrow \varphi ; \varphi = 0,92 - 0,99$$

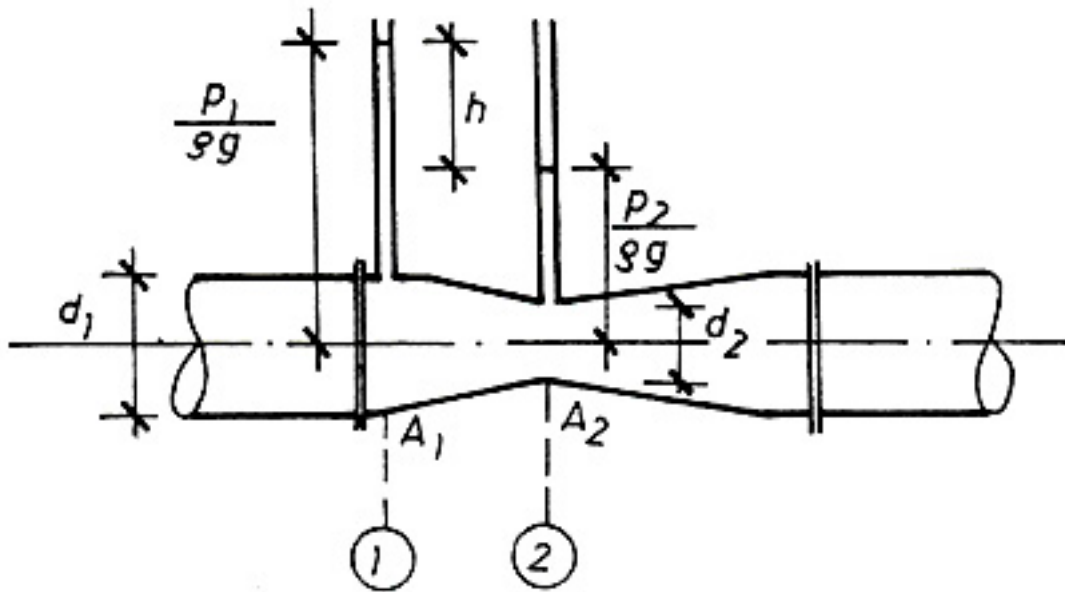
$$\frac{p_2}{\rho \cdot g} - \frac{p_1}{\rho \cdot g} = \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h$$

$$v_1 = v$$

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

### Venturi-cső

A Venturi-cső esetén, a folyadékot szállító csőbe mérőszűkületet hoznak létre, amelyet differenciál manométerrel felszerelve használnak. A szelvénytűkületnél a sebesség megnő, így a nyomás csökken. A nyomáscsökkenés  $h$  mértéke és a  $Q$  vízhozam között kapcsolat határozható meg.



15. ábra A Venturi-cső működése

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \Sigma h_v$$

$$z_1 = z_2$$

$$\Sigma h_v \rightarrow \mu; \mu = 0,96 - 0,99$$

$$h = \frac{p_1}{\rho \cdot g} - \frac{p_2}{\rho \cdot g} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}; v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

$$Q = \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2}}}$$

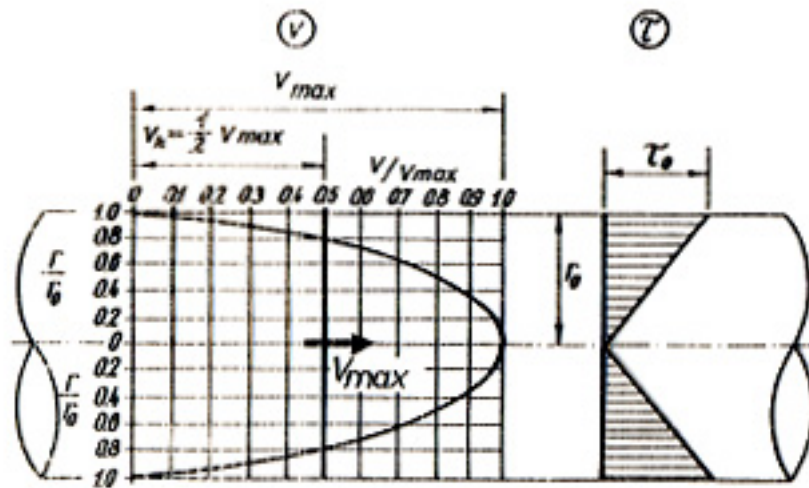


## 5. FOLYADÉKOK MOZGÁSA CSŐVEZETÉKBEN

A csővezetékben a valós folyadék telt szelvényel, nyomás alatt áramlik. A mozgás lehet permanens, vagy nem permanens. Az egyszerűség kedvéért csak a permanens mozgással foglalkozunk.

### 5.1. Lamináris mozgás csővezetékben

A csőbéli lamináris folyadék-mozgásnál a sebességeloszlás parabolikus. A legnagyobb sebesség a vezeték tengelyvonalában van ( $v_k = \frac{v_{max}}{2}$ ). A csúsztatófeszültség a cső tengelyétől a csőfala felé haladva lineárisan nő.



16. ábra Sebesség- és csúsztatófeszültségeloszlás lamináris áramlásnál

Az súrlódásból adódó hidraulikus- energiavesztés Darcy-Weissbach szerint:

$$h_v = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v_k^2}{2g}$$

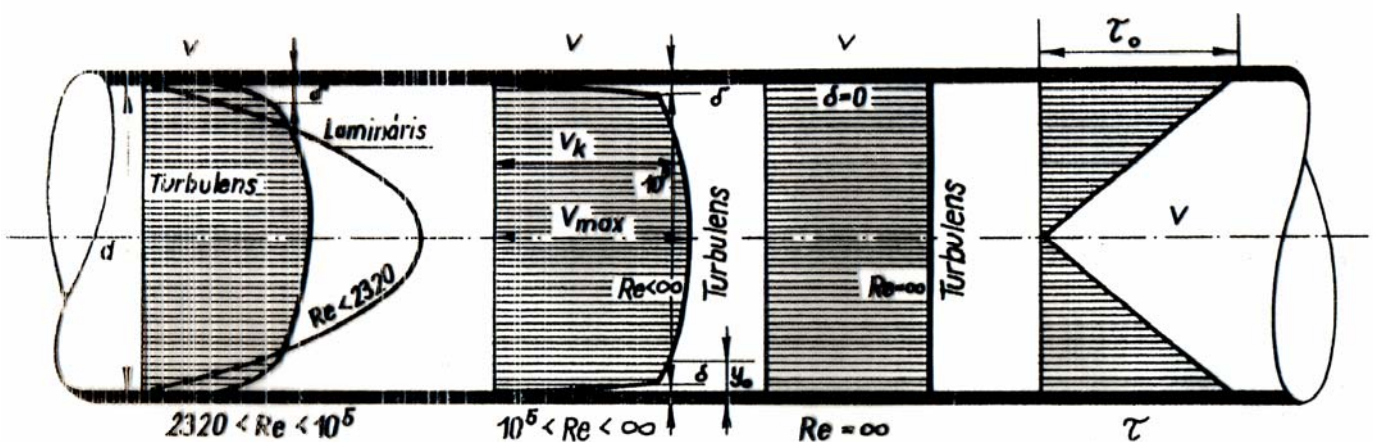
$\lambda$  - az ellenállási tényező, amit a  $\lambda = 64/Re$  összefüggésből kapunk. Tehát a súrlódási (hidraulikai - energia) veszteség és a sebesség között lineáris kapcsolat áll fenn.

A lamináris áramlás hidraulikai vesztesége függ a mozgásra jellemző Reynolds-számtól, de független a csőfal érdességétől.

## 5.2. Turbulens mozgás csővezetékben

A mérnöki gyakorlatban a csővezetékben kivétel nélkül turbulens mozgással lehet találkozni. Turbulens áramlásnál a gomolygó mozgás következtében az áramvonalak nem párhuzamosak egymással, a sebesség iránya és nagysága állandóan változik. Ezért ha a turbulens mozgás sebességéről beszélünk, akkor mindig egy hosszabb időhöz tartozó középsebességet értünk rajta.

A sebességeloszlás már nem parabolikus, hanem a turbulenciafokának (azaz a Reynolds-számnak) növekedésével egyre kiegyenlítettébbé válik.

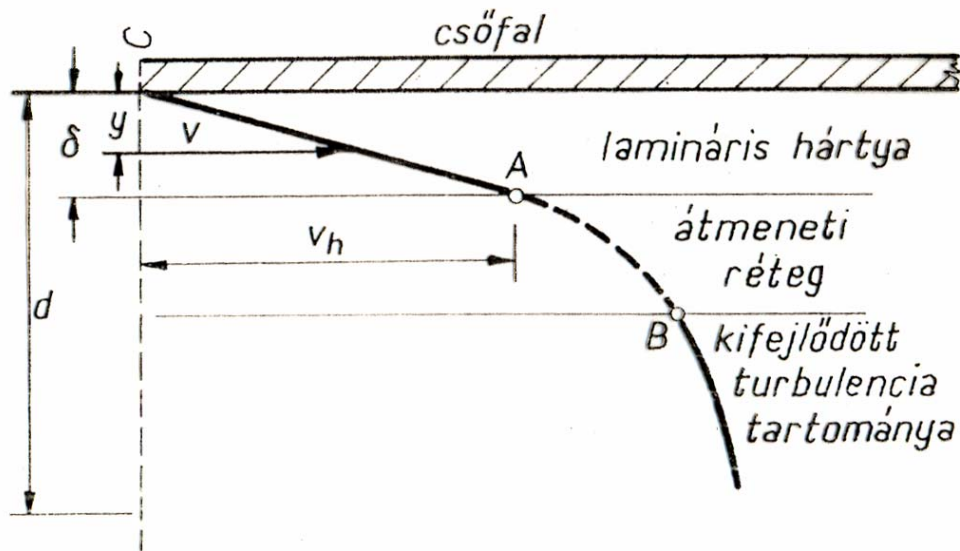


17. ábra Sebesség- és csúsztatófeszültségeloszlás turbulens áramlásnál

Turbulens áramlás esetén a csőben a sebességeloszlás szempontjából három réteget különböztetünk meg:

1. Közvetlenül a fal mellett az áramlás réteges (lamináris), a sebességeloszlás parabolikusan indul. Ezt az igen kis vastagságú réteget, ezért *lamináris hártjának* nevezik. A lamináris hártja vastagsága ( $\delta$ ) a Reynolds-szám növekedésével egyre csökken: 
$$\delta = 30 \frac{d}{Re \cdot \sqrt{\lambda}}$$
2. A lamináris hártján kívül van egy átmeneti rész, melynek belsejében a folyadék keveredése, a turbulencia, mind intenzívebbé válik. Ebben az ún. *átmeneti rétegben* a mozgás lamináris jellegű, a sebességváltozás parabolikus, a keveredés megkezdődik, de a turbulencia nincs teljesen kifejlődve.

3. A kifejlődött turbulencia tartományában, amit *turbulens magnak* is neveznek a keveredés a legnagyobb mértékű és a sebességeloszlás már logaritmikus. A Reynolds szám növekedésével nő a turbulens mag, csökken a lamináris hártya vastagsága és csökken a kinetikai energia eloszlásának tényezője.



18. ábra A lamináris hártya és az átmeneti réteg turbulens mozgás esetén

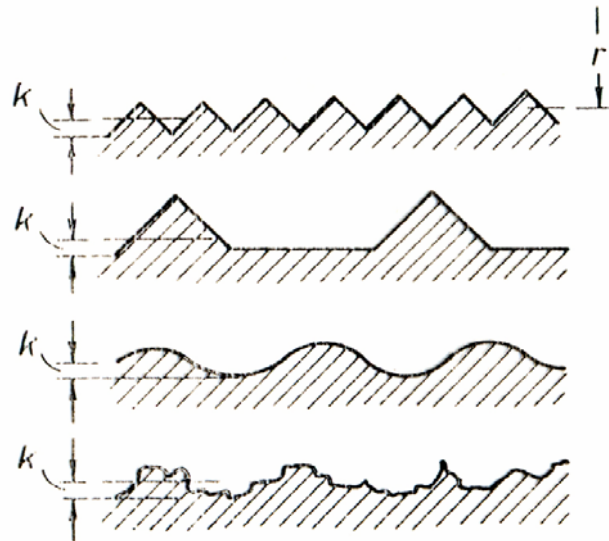
Turbulens áramlásnál a *súrlódásból adódó veszteséget* a tapasztalatok alapján a lamináris mozgásnál megismert Darcy-Weissbach összefüggéssel lehet számolni.

$$h_v = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v_k^2}{2g}$$

Különbség csupán a  $\lambda$  ellenállástényezőben van. Turbulens mozgásnál a csőfal anyaga és érdessége is befolyásolja a  $\lambda$  értékét. A csőfal abszolút érdességének nevezzük a csőfal kisebb-nagyobb egyenetlenségeinek közepes mértékét ( $k$ ). Relatív érdességnek az abszolút érdességnek a csőátmérőhöz viszonyított arányát ( $k/d$ ). A kialakuló energiavesztés szempontjából nemcsak ( $k$ ) a döntő, hanem az érdesség és a lamináris hártya vastagságának aránya is ( $k/\delta$ ).

Ha a lamináris hártya vastagsága nagyobb mint az érdesség mértéke ( $k/\delta < 1$ ), akkor a lamináris hártya beborítja a különben érdes csőfalat és „hidraulikailag sima” csőfalat biztosít.

Nagyobb érdességű csőfal érdességeit a lamináris hártya nem képes beborítani ( $k/\delta > 1$ ), ekkor „hidraulikailag érdes”csőben történik az áramlás.



19. ábra Az abszolút érdesség értelmezése

A cső hosszával arányos súrlódási veszteségen kívül számolni kell az áramlást egyes helyeken megzavaró és helyi energia veszteséget okozó *helyi ellenállásokkal*. Ilyenek például az irányváltás, az elzáró szerkezet, a szelvényváltozás. A helyi energiaveszteségek a kísérleti és elméleti kutatások szerint a sebességmagassággal és a helyi ellenállásra jellemző  $\xi$  veszteségtényezővel arányosak: 
$$h_v = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}$$

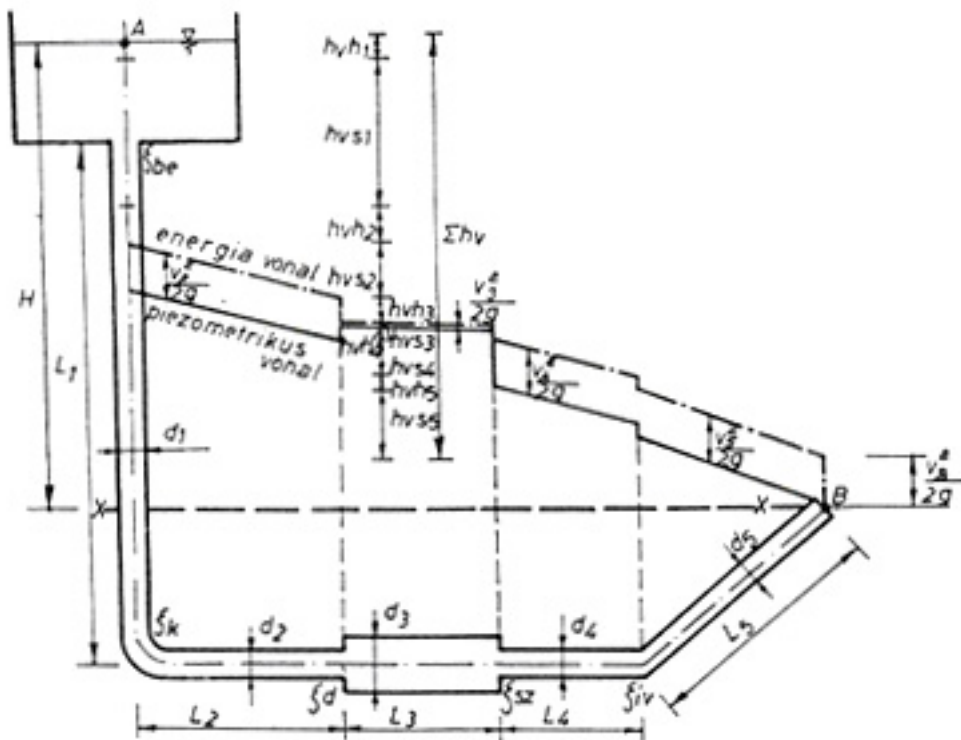
### 5.3. Csővezetékek áramlástani méretezése

A csővezetékben turbulens áramlás jellemző. A folyadék mozgása során energia veszteségek keletkeznek, amik a súrlódásból és a helyi ellenállásokból keletkezhetnek. Áramlástani (hidraulikai) szempontból kétfajta csővezeték típusról beszélünk:

*Rövid csővezeték*ről akkor beszélünk, ha a helyi veszteségek jelentősek a hosszmenti súrlódási veszteségekhez képest és így mindkét veszteségtípust figyelembe kell vennünk.

*Hosszú csővezeték*nél a helyi veszteségek a súrlódási veszteségekhez képest kicsik, ezért elhanyagolhatók, így csak a súrlódási veszteségekkel számolunk.

## 5.3.1. Rövid csővezeték



20. ábra Rövid csővezeték

$$z_A + \frac{p_A}{\rho \cdot g} + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} = z_B + \frac{p_B}{\rho \cdot g} + \frac{v_B^2}{2 \cdot g} + \sum h_v$$

$$H = \frac{v_B^2}{2g} + \sum h_v^{\text{súrl.}} + \sum h_v^{\text{helyi}}$$

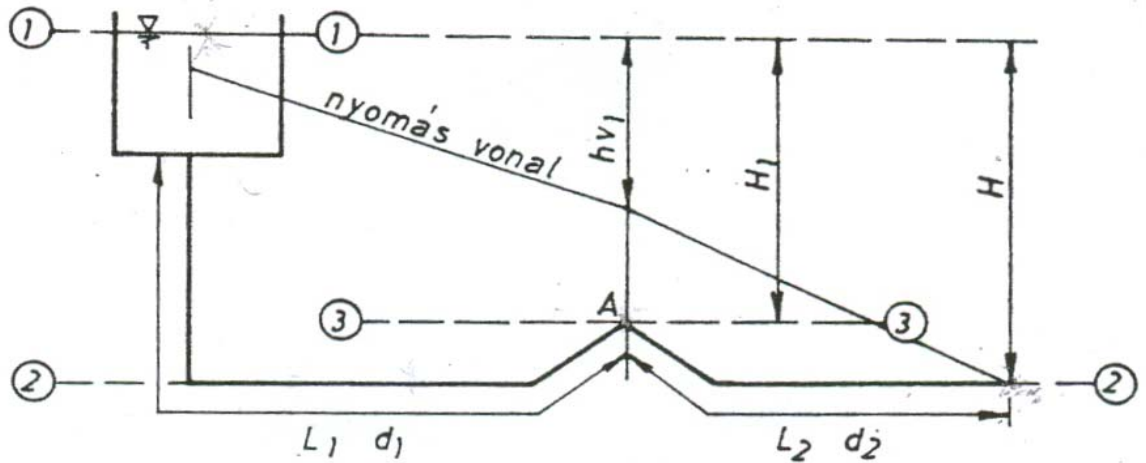
$$H = \frac{v_B^2}{2g} + \sum \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{v_i^2}{2g} + \sum \xi_i \cdot \frac{v_i^2}{2g}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$H = \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{1}{A_5^2} + \sum \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i \cdot A_i^2} + \sum \xi_i \cdot \frac{1}{A_i^2} \right)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{\frac{1}{A_5^2} + \sum \frac{\lambda_i l_i}{d_i \cdot A_i^2} + \sum \frac{\xi_i}{A_i^2}}}$$

## 5.3.2. Hosszú csővezeték



21. ábra Hosszú csővezeték

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \sum h_v$$

$$H = \sum h_v^{\text{súrl.}}$$

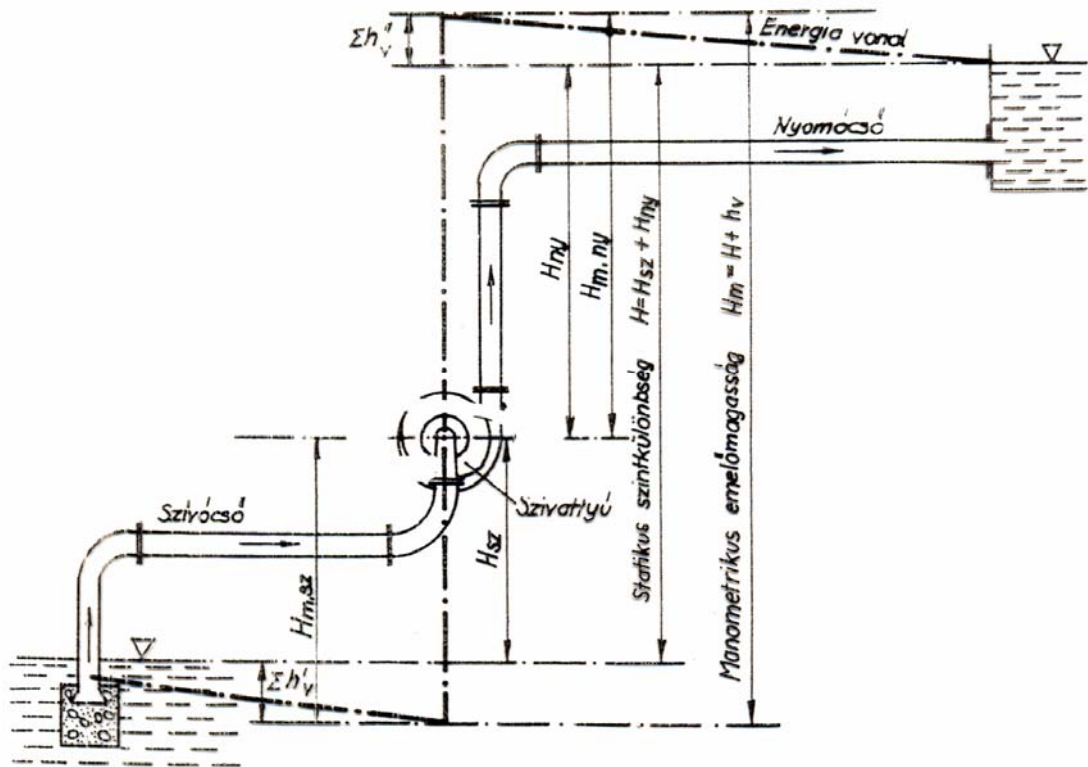
$$H = \sum \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{v_i^2}{2g}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2g \cdot H}{\sum \frac{\lambda_i \cdot l_i}{d_i \cdot A_i^2}}}$$

## 5.3.3. Szivattyú

A szivattyú a folyadékok munkavégzőképességét növelő berendezés. A szivattyú szívócsövével egy ún. szívómedencéből szívja fel a folyadékot, amelyet nyomócsövével egy felső medencébe nyom. Mind a szívó-, mind a nyomóoldalon súrlódási- és helyivesztések lépnek fel, azaz mind a nyomó-, mind pedig a szívócsövet rövid csővezetéknek kell méretezni. A szivattyú tehát nem a statikus (geodéziai) szintkülönbségre, hanem a veszteségekkel megnövelt manometrikus emelőmagasságra szállítja a folyadékot.





22. ábra Szivattyú méretezése

$$H_m = H_m^{sz} + H_m^{ny}$$

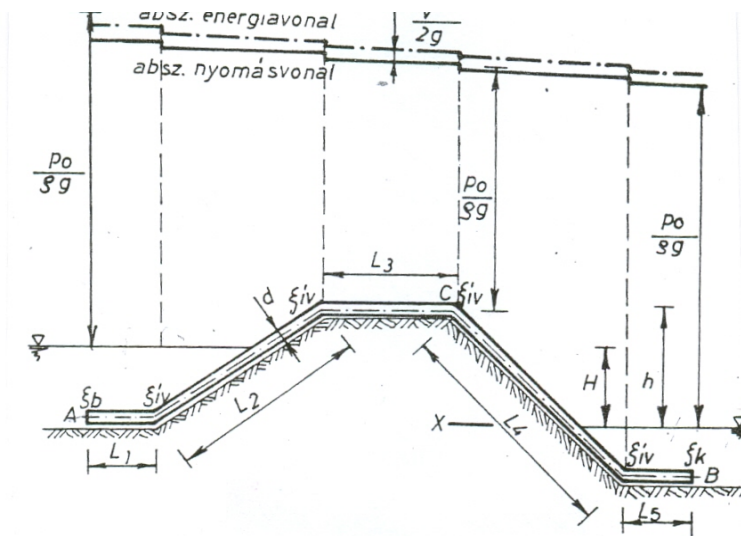
$$H_m = H_{st}^{sz} + \sum h_v^{sz} + H_{st}^{ny} + \sum h_v^{ny}$$

$$H_m = \sum H_{st} + \sum h_v$$

#### 5.3.4. Szifon (szivornya)

A szifon mindkét végén nyitott gravitációs vízszállítási csővezeték, amelyet ha légtelenítenek, akkor egy magasabb szintről egy alsóra szállítja a folyadékot.

A szifont, szivornyát mindig rövid csővezetékként kell méretezni.



23. ábra Szifon

A szifon által szállított vízmennyiség, az alábbiak alapján számítható:

$$z_A + \frac{p_A}{\rho \cdot g} + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} = z_B + \frac{p_B}{\rho \cdot g} + \frac{v_B^2}{2 \cdot g} + \sum h_v$$

$$H + \frac{p_0}{\rho \cdot g} + 0 = 0 + \frac{p_0}{\rho \cdot g} + 0 + \sum h_v$$

$$H = \sum h_v^{súrl.} + \sum h_v^{helyi}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{\sum \frac{\lambda_i \cdot L_i}{d_i \cdot A_i^2} + \sum \frac{\xi_i}{A_i^2}}}$$

A szifon alkalmazhatóságát a C pont felvízszint feletti magassága határozza meg:

$$\frac{v_A^2}{2 \cdot g} + \frac{p_A}{\rho \cdot g} + z_A = \frac{v_C^2}{2 \cdot g} + \frac{p_C}{\rho \cdot g} + z_C + \sum h_{v(C)}$$

$$0 + \frac{p_0}{\rho \cdot g} + 0 = \frac{v_C^2}{2 \cdot g} + \frac{p_C}{\rho \cdot g} + (h - H) + \sum h_{v(C)}$$



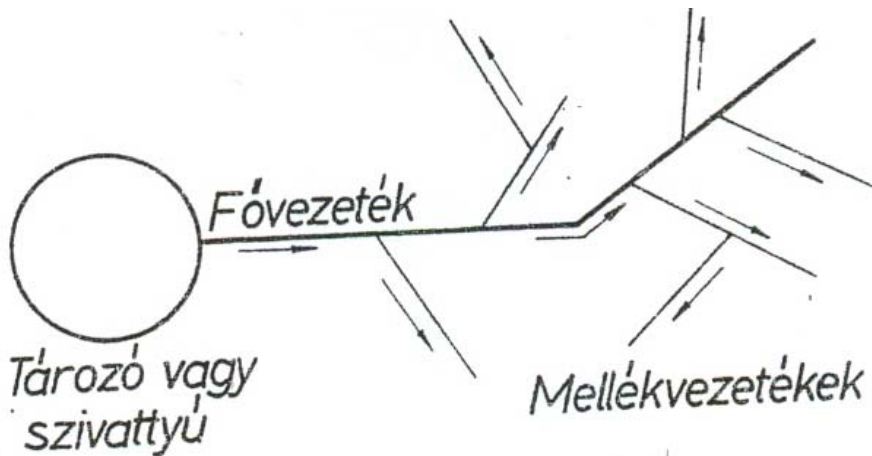
$$h - H \leq \frac{p_0 - p_c}{\rho \cdot g} - \frac{v_c^2}{2 \cdot g} \cdot \left[ 1 + \sum \lambda \cdot \frac{L_i}{d} + \sum_{i=A}^C \xi_i \right]$$

5.4. Csőhálózatok hidraulikai méretezése

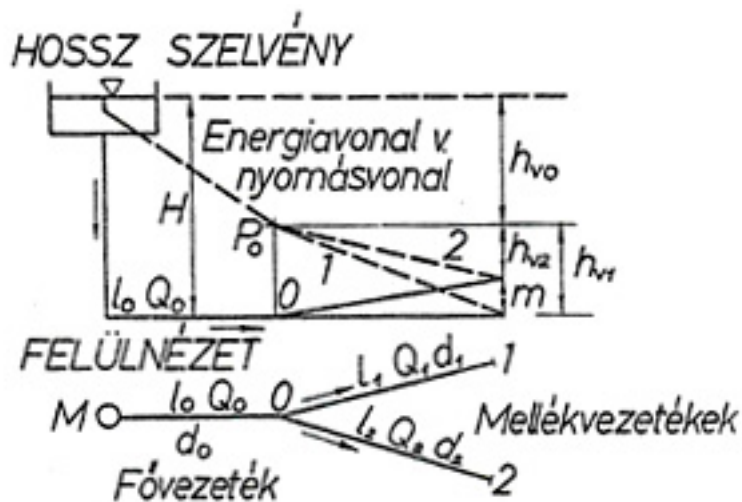
Az elosztóvezeték rendszerek két fő típusát különböztetjük meg:

Elágazó rendszerű hálózat, amelynél a fővezetékbeől mellékvezetékek ágaznak el, körvezetékes rendszerű hálózat, amelynél a fővezetékhez kapcsolódó körvezetékek zárt rendszert alkotnak.

5.4.1. Elágazó rendszer



24. ábra Elágazó csőhálózat



25. ábra Elágazó hálózat vizsgálata

$$Q_0 = Q_1 + Q_2$$

$$h_{v0} = \lambda_0 \cdot \frac{l_0}{d_0} \cdot \frac{v_0^2}{2 \cdot g} = \lambda_0 \cdot \frac{l_0}{d_0} \cdot \frac{(Q_1 + Q_2)^2}{2 \cdot g \cdot A_0^2}$$

$$h_{v1} = \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{Q_1^2}{2 \cdot g \cdot A_1^2}$$

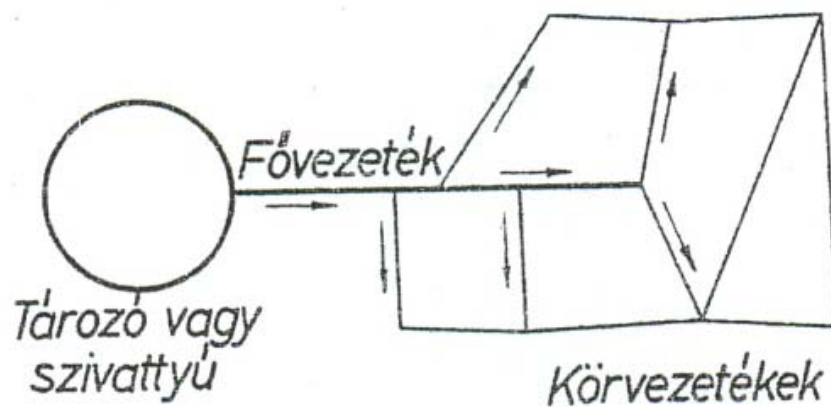
$$h_{v2} = \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{Q_2^2}{2 \cdot g \cdot A_2^2}$$

$$h_{v1} + h_{v0} = H$$

$$h_{v2} + h_{v0} = H - h$$

$$h_{v0} = ? \quad h_{v1} = ? \quad h_{v2} = ? \quad Q_1 = ? \quad Q_2 = ?$$

#### 5.4.2. Körvezetékes rendszer



## 26. ábra Körvezetékes hálózat

A körvezetékes rendszer többféleképpen méretezhető:

- A *szabatos módszer* lényege, hogy a körgyűrűk számától függően több ismeretlenes egyenletrendszert írnak fel.

folytonosság, csomópontokra:  $\sum Q = 0$ ; minden körvezetékre:  $\sum h_v = 0$

Ismeretlenek száma = minden csomópont + minden körvezeték

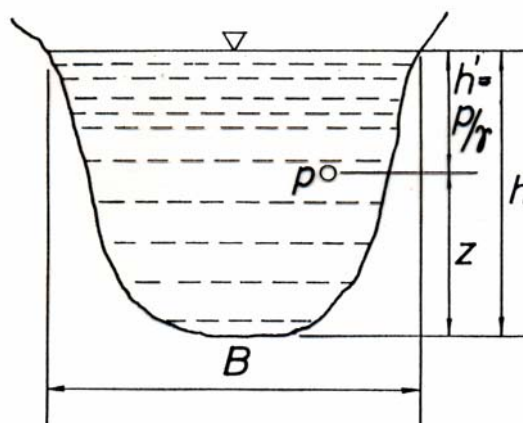
- Egy másik lehetséges mód a *fokozatos közelítés* elvén alapuló úgynevezett Cross módszer.

## 6. FOLYADÉKMOZGÁS NYÍLTFELSZÍNŰ MEDREKBE

A csővezeték a folyadék számára szigorúan, számszerűen meghatározható lehatároltságot jelent. Ezzel szemben a medrekben állandóan változnak a mélységek, a nedvesített szelvény alakja, és a meder érdessége. Ezért az itt kialakuló turbulens mozgás sokkal bonyolultabb, mint a csővezetékben. Permanens egyenletes áramlás esetén a mozgás mentén a hidraulikai, és a meder geometriai jellemzői állandó. A permanens, fokozatosan változó áramlásnál a jellemzők a hossz-szelvény mentén folyamatosan változnak. Alábbiakban a gyakorlat számára legfontosabb permanens, egyenletes vízmozgással foglalkozik e segédlet.

### 6.1. ÁRAMLÓ ÉS ROHANÓ VÍZMOZGÁS

Az áramló és rohanó mozgásállapot megismerése céljából vizsgáljuk a vízfolyás energiatartalmát. A nedvesített szelvényen átfolyó vízhozam egységnyi súlyra és a mederfenék legmélyebb pontjára vonatkoztatott energiáját a szelvény fajlagos energiájának nevezzük.



27. ábra Vízfolyás minta keresztmetszévény

$$E = z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

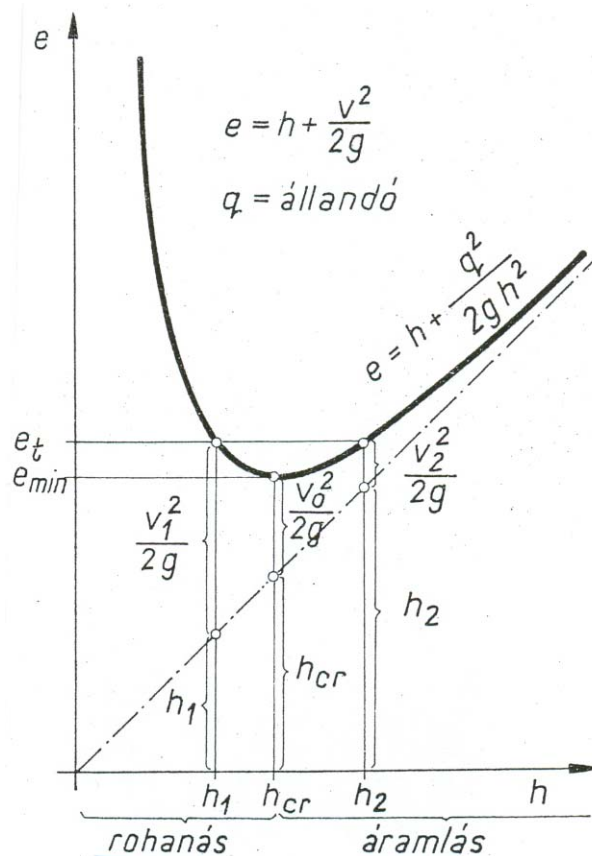
$$\left( v = \frac{Q}{A}; \text{és } A = B \cdot h \right)$$

$$E = h + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot B^2 \cdot h^2}$$

$$(2 \cdot g \cdot B^2 = \text{áll.} = K ; \text{felt.} : Q = \text{áll.})$$

$$E = h + \frac{K}{h^2}$$

A szelvény energiája egy egyenes és egy hiperbola összegzésével ábrázolható. Az így kapott ún. Braun-féle görbe szerint a fajlagos energiatartalomnak egy kritikus vízmélységnél minimuma van.



28. ábra Braun-féle görbe

$$\frac{d E}{d h} = 1 - \frac{Q^2}{g \cdot B^2 \cdot h^3} = 0$$

$$\left( q = \frac{Q}{B} : \text{fajlagosvízhozam} \right)$$

$$1 - \frac{q^2}{g \cdot h^3} = 0$$

$$\left( v = \frac{q}{h} \right)$$

$$1 - \frac{v_{kr}^2}{g \cdot h} = 0$$

$$v_{kr} = \sqrt{g \cdot h}$$

$$h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$E_{\min} = h_{kr} + \left( \frac{\sqrt{g \cdot h_{kr}}}{2 \cdot g} \right)^2 = \frac{3}{2} h_{kr}$$

A Braun-féle görbe jellegéből következik, hogy egy bizonyos energiatartalomnál, ugyanaz a Q vízhozam kétféle mélységgel ( $h_1, h_2$ ) folyik le.

Rohanó mozgással, ha  $h < h_{kr}$ , és  $v > v_{kr}$ ;

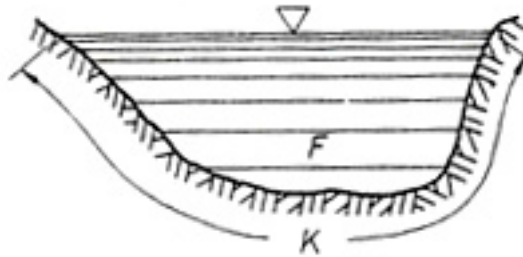
áramló mozgással, ha  $h > h_{kr}$ , és  $v < v_{kr}$ .

A fenti két mozgást, a kritikus vízmozgás állapota választja el, amikor  $h = h_{kr}$ , és  $v = v_{kr}$

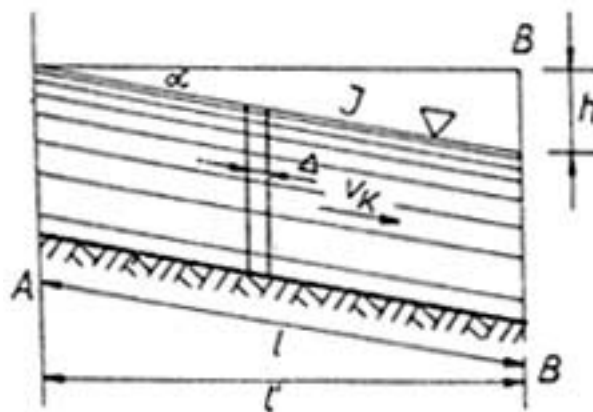
## 6.2. A HIDRAULIKAI MÉRETEZÉS ALAPEGYENLETE

A permanens, egyenletes vízmozgásnál a hidraulikai és geometriai jellemzők a vízfolyás mentén nem változnak. A vízmozgásjellemzői az állandó vízhozam, az állandó nedvesített keresztmetszvény és az állandó hidraulikus esés.

A mederben állandó sebességgel mozgó vízre ható nehézségi erő és a súrlódás egyensúlyban van.



29.ábra Keresztszelvény a Chézy képlet értelmezéséhez



30.ábra Hossz-szelvény a Chézy képlet értelmezéséhez

$$G = A \cdot l \cdot \rho \cdot g$$

$$G_{\text{lejtő}} = A \cdot l \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$$S = \beta \cdot K \cdot l \cdot \frac{v_k^2}{2 \cdot g}$$

$$G_{\text{lejtő}} = S$$

$$v_k^2 = \rho \cdot g \cdot \frac{A}{K} \cdot \frac{2 \cdot g}{\beta} \cdot \sin \alpha$$

$$\left[ \frac{A}{K} = R \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \rho \cdot g}{\beta}} = C \right]$$

$$v_k = C \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

A középsebességet az ún. Chézy-képlettel határozzuk meg. A képletben szereplő  $C$  sebességtényezőt a meder érdesség és a hidraulikus sugár függvényében adják meg.

### 6.2.1. Nyíltfelszínű csatornák méretezése

A nyíltfelszínű csatornák méretezése a Chézy-képlet segítségével történik. A méretezéseknél három alapesetet különböztetünk meg:

- vízhozam számítása

$$Q = A \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

- csatornafének esésének számítása

$$I = \frac{v^2}{C^2 \cdot R}$$

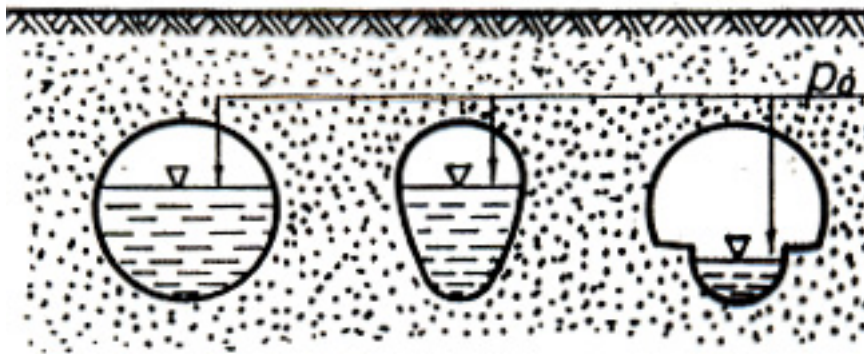
- nedvesített keresztmetszvény (vízmélység, fenékszelvény) számítása.

$$h = ?; b = ? \quad A = \frac{Q}{C \cdot \sqrt{R \cdot I}}$$

A csatornában az áramlási középsebességnek a meder anyagától függő, megengedett maximális és a lebegtetett hordalék jellegétől függő minimális sebesség közé kell esnie. A sebességértékeket a meder anyagának (burkolatának), a víz mélységének és a víz minőségének függvényében kézikönyvekből, táblázatokból lehet kinézni.

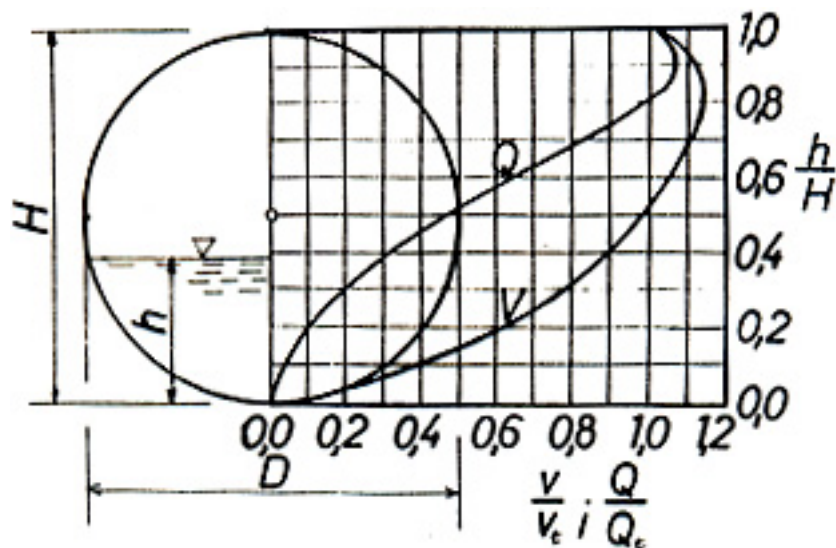
### 6.2.2. Gravitációs csőcsatornák méretezése

A nyílt felszínű csatornák speciális csoportját alkotják a felszín alatti, zárt szelvényű csatornák. E csatornában rendszerint nem teltszelvényű-, hanem szabad felszíni áramlás van, ezért a Chézy-képlettel méretezhetők.



31.ábra Zárt szelvényű csatornák jellemző típusai

Rendszerint a méretezés során az a feladat, hogy egy adott vízhozam levezetéséhez szükséges szelvényméretet kell meghatározni. A keresztmetszvény meghatározásánál figyelemmel kell lenni az optimális áramlási középsebességre és a minimális úsztatási mélységre. Miután a méretezés ezért csak közelítéssel oldható meg, ezért ún. méretezési nomogramokat dolgoztak ki, melyek a teljesen telt szelvény könnyen számítható vízhozamához ( $Q_+$ ), és a telt szelvényhez tartozó áramlási középsebességhez ( $v_+$ ) viszonyítva adják meg a különböző úsztatási mélységnél ( $h$ ) előálló vízhozamot ( $Q$ ), és áramlási középsebességet ( $v$ ).



32.ábra Méretezési nomogram csőcsatornához



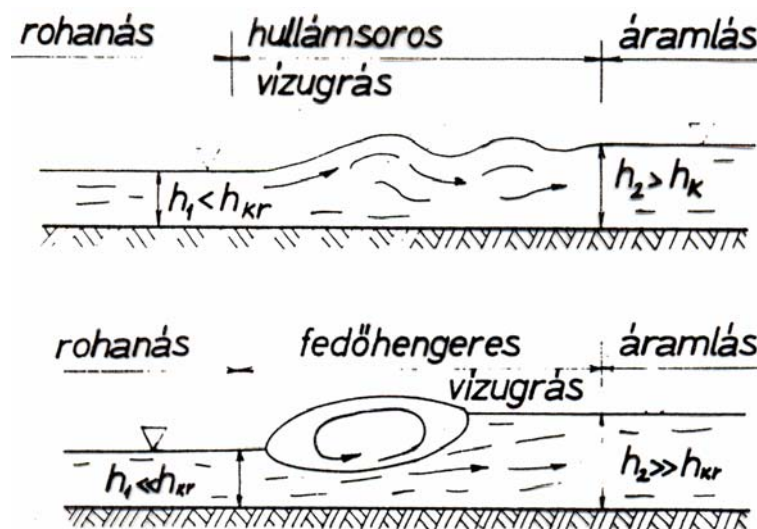
## 7. VÍZÉPÍTÉSI MŰTÁRGYAK HIDRAULIKAI VIZSGÁLATA

### 7.1. UTÓFENÉK

A vízépítési műtárgyak mederszűkületet jelentenek, ahol az áramló mozgás rohanóvá változik. A nagy sebesség az alvízi medret megbonthatja, kimosásokat, aláüregelődést okozhat, ezért a műtárgy után megerősített, burkolattal ellátott mederszakaszt kell építeni, amit utófenének nevezünk.

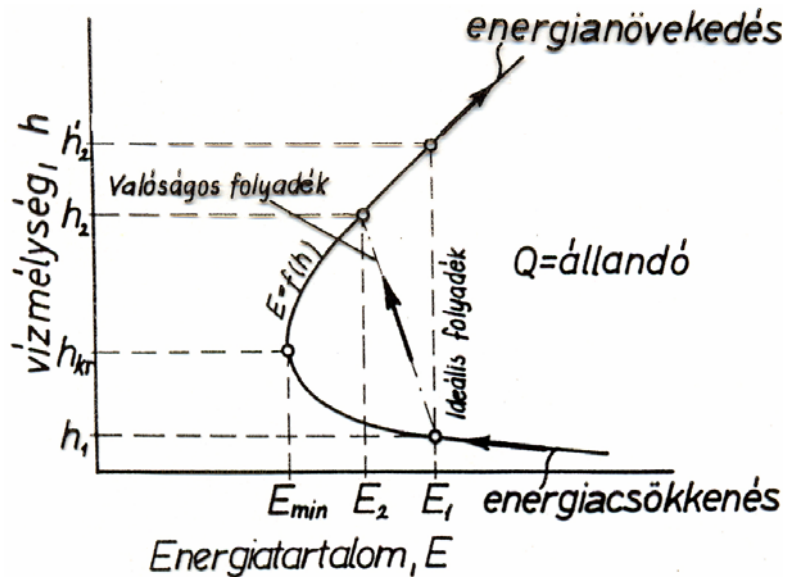
#### 7.1.1. A vízugrás

Ha a rohanó mozgás áramlóba megy át, akkor vízugrás jön létre. A vízugrásoknak két alaptípusát különböztetjük meg, a hullámsoros vízugrást és a fedőhengeres (tökéletes) vízugrást.



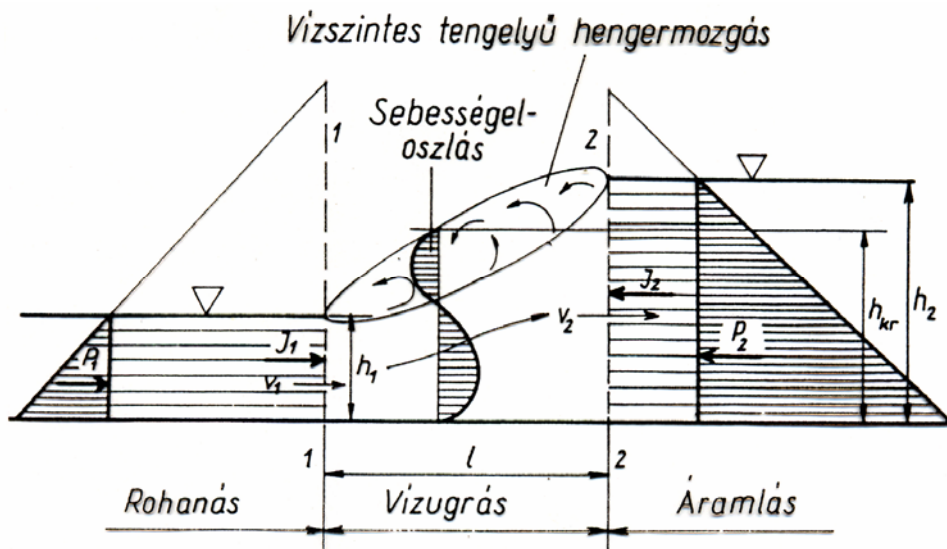
33.ábra Vízugrások alaptípusai

A tökéletes, fedőhengeres vízugrásnál ideális folyadék esetén a rohanó vízmozgás energiatarthatama ( $E_1; h_1$ ), megegyezik az áramló vízmozgás energiatarthatmával ( $E_2; h_2$ ). Valós folyadék esetén a rohanó vízmozgás koordinátái ( $E_1; h_1$ ) megváltoznak amikor az áramlás áramlóba megy át ( $E_2; h_2$ ). Ez a változás csak ugrásszerűen, vízugrással történhet ( $E_1 - E_2 = h_v$ ), mert ha a Braun-görbén haladva történne akkor először az energia csökkenne, majd nőne, az energia növekedése pedig fizikailag lehetetlen.



34.ábra Vízu grás fajlagos energiájának Braun.féle görbéje

Ha a vízhozam és az összetartozó vízmélységek egyike ismert, akkor a másik vízmélység kiszámítható. Az impulzus-tétel alapján felírható, hogy a mozgásmennyiség ( $I$ ) megváltozása a ható erők ( $P$ ) különbségével egyenlő.



35.ábra A vízugrásra ható erők

$$h_1 = \sqrt{\left(\frac{h_2}{2}\right)^2 + \frac{2q^2}{g \cdot h_2}} - \frac{h_2}{2}$$

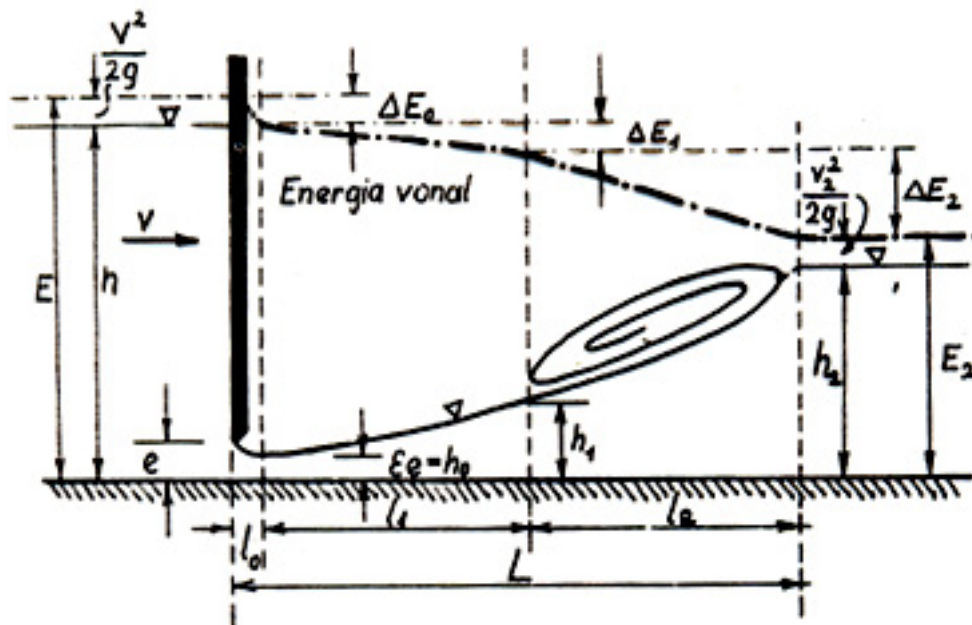
$$h_2 = \sqrt{\left(\frac{h_1}{2}\right)^2 + \frac{2q^2}{g \cdot h_1}} - \frac{h_1}{2}$$

$$l = 6 \cdot (h_2 - h_1) \quad \text{Smetana tapasztalati képlete}$$

### 7.1.2. Utófenék méretezése

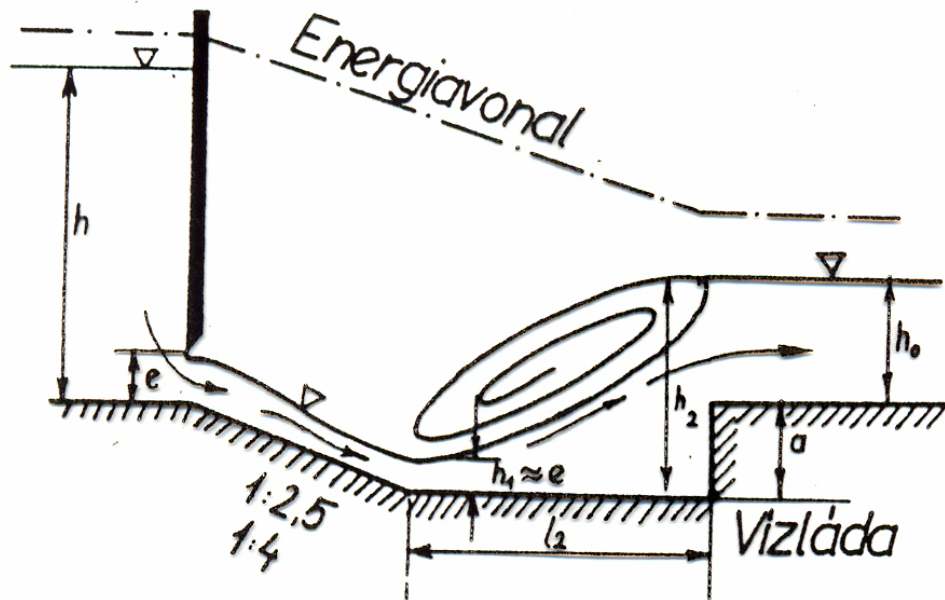
*Síktófenék* - a műtárgyat elhagyó vízszögletű, törés nélküli fenéken megy át áramló mozgásba.

Hossza:  $L = l_0 + l_1 + l_2$ , ahol  $l_0$  a legkisebb mélységű (kontrahált) szelvény távolsága a műtárgytól,  $l_1$  a vízugrás kezdő szelvénye a kontrahált szelvénytől, tehát a rohanó szakasz hossza és  $l_2$  a vízugrás hossza.



36. ábra Sík utófenék

Süllyesztett utófenék - az alvízi mélységet a süllyesztés „a” mértékével megnövelve egy olyan nagy vízmélységet hozunk létre, amelynél a vízugrás már feltétlenül kialakul. A vízugrást tehát visszaszorítjuk az ún. vízláda mélységének meghatározása.  $h_1 \sim e$ ,  $a = h_2 - h_1$

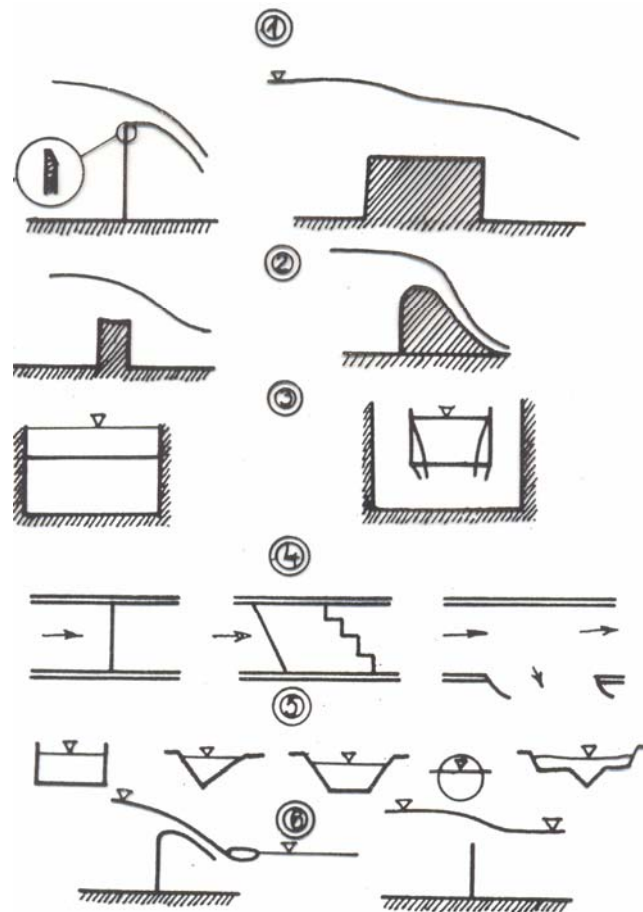


37.ábra Süllyesztett utófenék

## 7.2. BUKÓGÁT

Ha a nyíltfelszínű vízmozgás útjába valamilyen akadályt építünk, akkor a víz az akadály előtt felduzzadva azon átbukik. Az ilyen műtárgyat ezért bukógátnak, röviden bukónak nevezük. A bukógátakat gyakran használják vízhozammérésre, hátrányuk, hogy jelentős esésvesztést okoznak. A bukógátak osztályozása történhet:

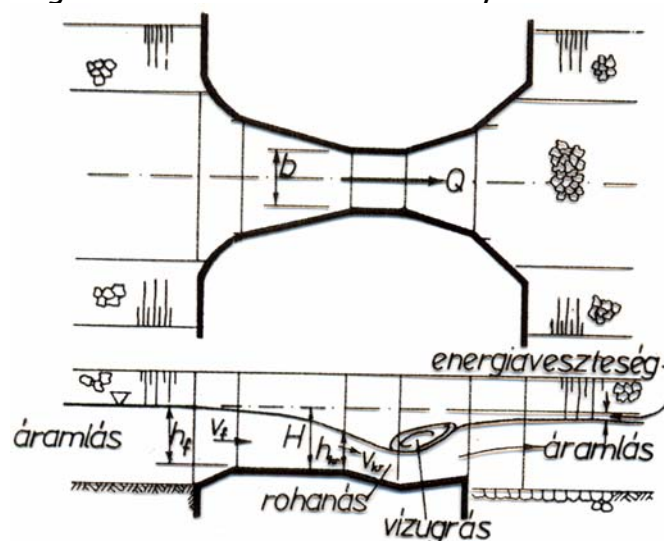
1. a bukókorona folyásirányú mérete, szélessége szerint (élesszélű, széleskoronájú),
2. a keresztmetszeti alak szerint (gyakorlati profilú, hidraulikus profilú),
3. a hozzáfolyás szerint (oldalszűkítés nélküli, oldalszűkítéses, oldalkontrakciós),
4. az alaprajzi vonalozás szerint (egyenes, ferde, lépcsős, oldalbukós),
5. az átfolyási szelvény alakja szerint (négyzet, háromszög stb.), és
6. a kialakuló vízmozgás szerint (szabad átbukással, alulról befolyásolt átbukással működő bukó).



38. ábra Bukógátak fajtái

### 7.3. MÉRŐCSATORNA

A mérőcsatorna alapelve, hogy a nyíltfelszínű csatorna szűkületében rohanó mozgást állítanak elő. A műtárgyban az áramlás és a rohanás közötti határállapot áll elő. Építése költségesebbek a bukóknál, de kisebb vízlépcsővel alakíthatók ki, és a mérőbukókkal közel azonos pontosságú vízhozam mérést eredményeznek.



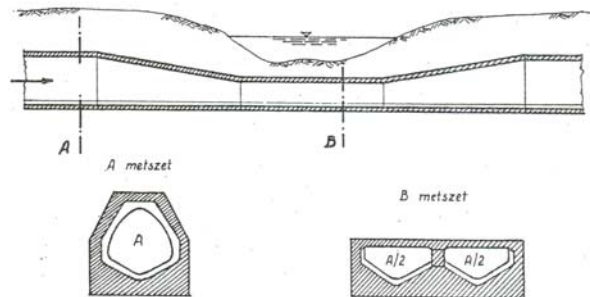
39. Mérőcsatorna

## 7.4. CSŐÁTERESZ (BÚJTATÓ)

A csőátereszt keresztvezések kialakításánál használják. Hidraulikai méretezésénél a műtárgy vízszállításának és az ekkor előálló duzzasztásnak a meghatározása a feladat.

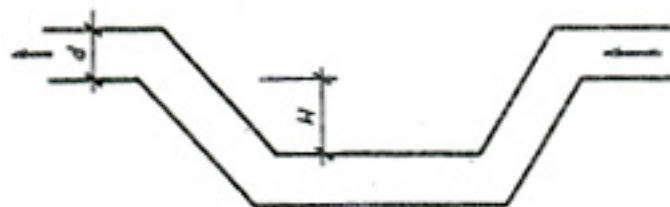
Keresztvező műtárgyat kell építeni akkor, ha a csatorna vasúttal, úttal, vízfolyással vagy terepmélyedésekkel találkozik. A keresztvezéseknek két alaptípusát különböztetjük meg.

- *A szoros keresztvezésnél (csőáteresz)* - a csatorna fenékszintje nem változik, a bújtatás kisebb, mint az átmérő.



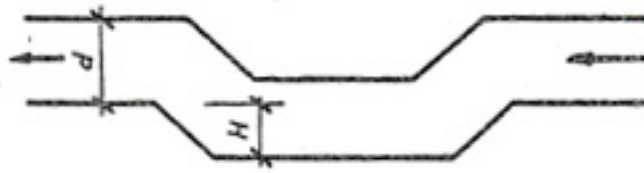
40.ábra Szoros keresztvezés (csőáteresz)

- *A bújtatónál* - csatorna fenékszint a keresztvezésnél megtörik. A bújtató részei a beömlési fej, a leszállócső, a középsőcső, a felszállócső és a kiömlési fej. A bújtatásnak két fajtáját különböztetjük meg, a teljes- (ha  $H > d$ ) és a részleges bújtatást (ha  $H < d$ ).



41.ábra Teljes bújtató

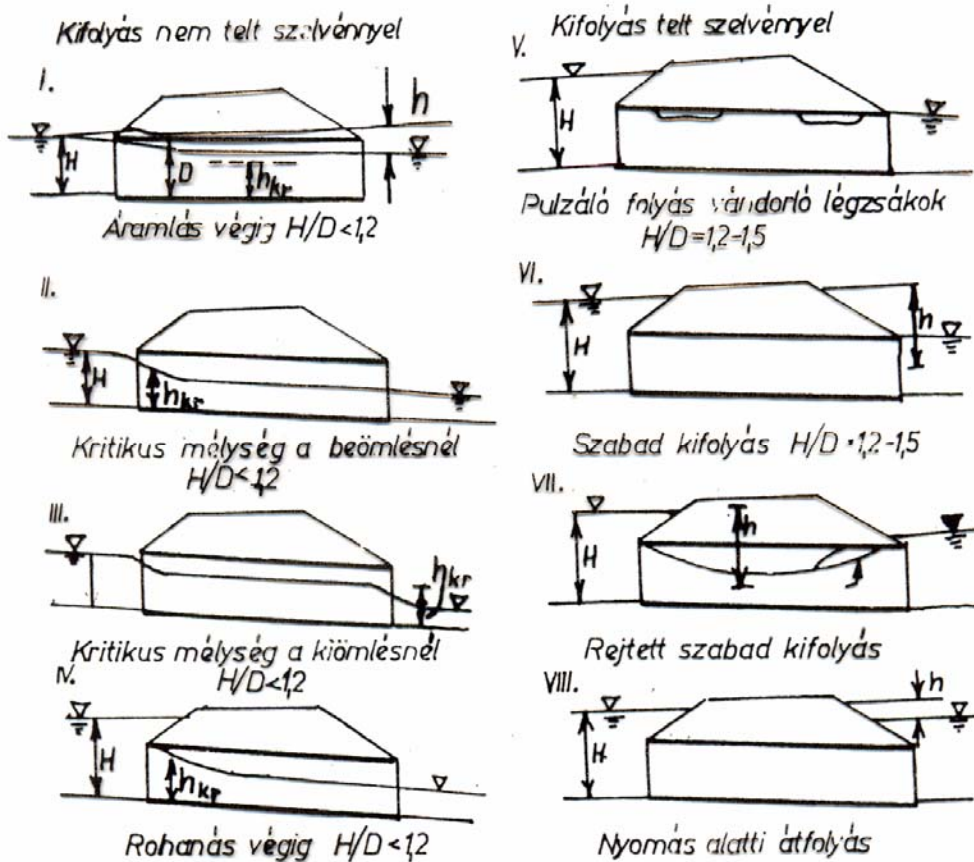




42.ábra Részleges bújtató

A csőátereszben és a környezetében kialakuló nyomás igen változatos lehet (43.ábra). A gyakorlatban leggyakrabban a I. és VIII. esetet vizsgálják. Ezekben az esetekben:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \text{ ahol } C = \frac{1}{\sqrt{\xi_{be} + \xi_{ki}}}$$



43.ábra Átereszekben kialakuló vízúgrások alapesetei

**IRODALOMJEGYZÉK**

- Dr. Bogárdi János: Hidromechanika (Tankönyvkiadó, 1979)  
Dr. Bogárdi-Dr. Kozák: Hidraulika I. (Tankönyvkiadó, 1981)  
Dr. Bogárdi-Dr. Kozák: Hidraulika II. (Tankönyvkiadó, 1982)  
Farkas Mátyás: Folyadékok és gázok mechanikája (Tankönyvkiadó, 1975)  
Györei Lászlóné: Közműépítés II. példatár (Tankönyvkiadó, 1988)  
Dr. Haszpra Ottó: Hidraulika I. (Tankönyvkiadó, 1990)  
Szolnoky Csaba: Hidrológia és áramlástan (Tankönyvkiadó, 1979)