Agrár-környezetvédelmi Modul
Vízgazdálkodási ismeretek

KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI MÉRNÖKI MSc
TERMÉSZETVÉDELMI MÉRNÖKI MSc

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai
Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Hidraulikai alapismeretek II.
14.lecke

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

A folyadékok dinamikája

- A következőkben az erőhatásoknak az áramlás hidraulikai jellemzőire gyakorolt hatását vizsgáljuk.

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

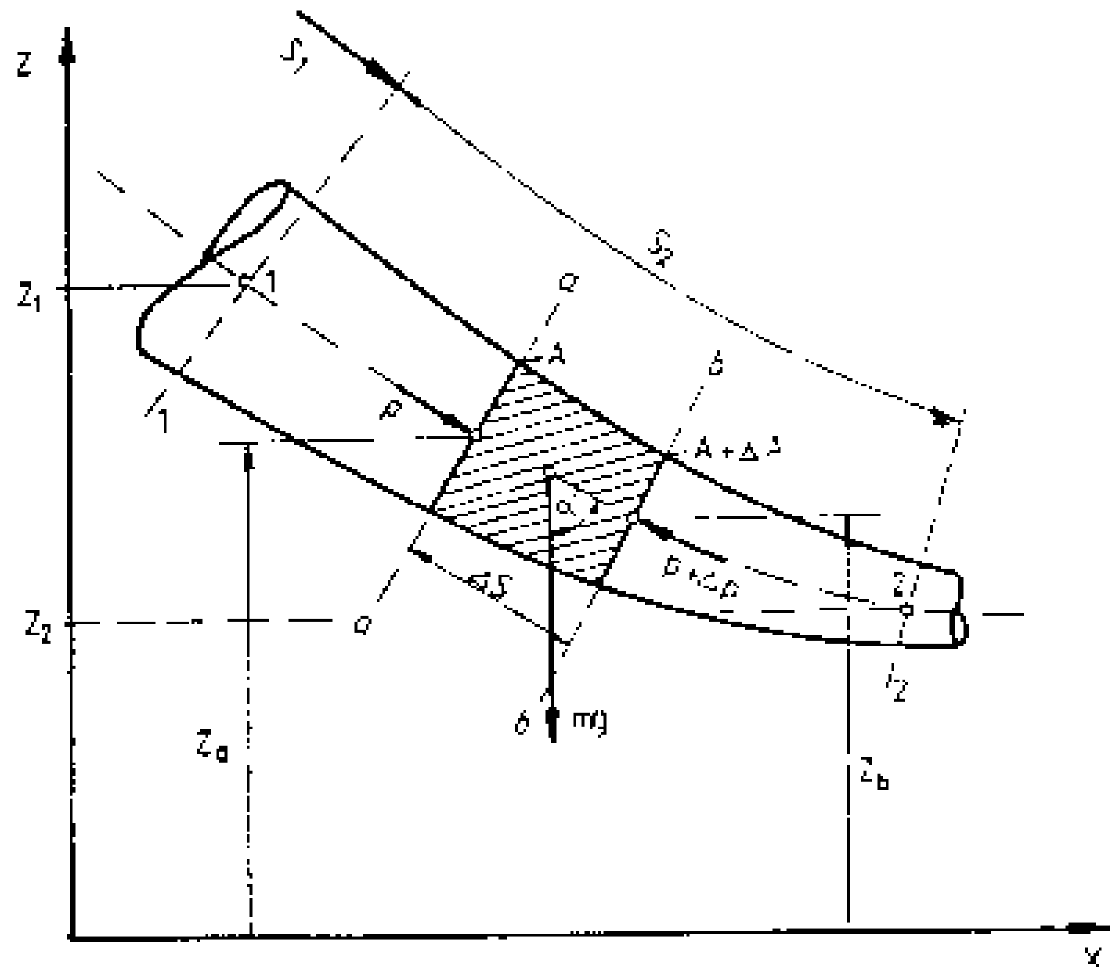
Az ideális folyadékok mozgásának dinamikai egyenlete (a Bernoulli egyenlet)

A 13.11. ábrán látható folyadéksugár dinamikai vizsgálatát végezzük el az alábbi feltevésekkel :

- a mozgás permanens,
- a folyadék ideális,
- a folyadék az áramvonalon mozog.

A folyadékhasáb sűrűsége ρ, hosszúsága Δs, az A1 = A és az A2 + ΔA nedvesített keresztszelvények és az áramcső felülete határolják. A hidrodinamikus nyomás az A1 oldalon p, az A2 oldalon p + Δp.

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg



Az ideális folyadékok mozgásának dinamikai egyenlete (a Bernoulli egyenlet)

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Az ideális folyadékok mozgásának dinamikai egyenlete (a Bernoulli egyenlet)

A folyadékhasáb egyensúlya a következő egyenlettel fejezhető ki:

Ffel + Fsúly = Fteh

A *felületi erő* két részből tevődik össze:

- a nedvesített keresztmetszetekre a $pA1 – (p + \Delta p) .A2$ erő működik

- az áramcső felszínére ható nyomások nedvesített keresztmetszetsíkjába eső vetületei egymást kiegyenlítik, tehát eredőjük zérus, a mozgás irányába eső komponensükből $p . \Delta A$ eredő erő származik. Ennek alapján

$$Ffel = p . A – (p + \Delta p) . (A+ \Delta A) + p .\Delta A = - A . \Delta P$$

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Az ideális folyadékok mozgásának dinamikai egyenlete (a Bernoulli egyenlet)

A *súlyerő* áramlás irányú komponense:

Fsúly = ρ . g .A . Δs . cosα $\quad \alpha = -\frac{\Delta z}{\Delta s}$

A *tehetetlenségi erő*: Fteh = ρ .A .Δ s .a $\quad \frac{\Delta v}{\Delta s}$

Az egyensúlyi egyenletbe behelyettesítve, és figyelembe véve, hogy cos valamint a = az alábbi egyenletet kapjuk: $\frac{\Delta v}{\Delta s}$

- A..Δp - ρ .g .A .Δs . = ρ .a . Δs ..

Az egyszerűsítések, valamint a helyettesítés, illetve átrendezés után kapjuk a *Bernoulli* egyenletet :

ρ .g . z1 + p1 + . ρ = ρ . g .z2 + p2 + . ρ $\quad \frac{v_1^2}{2}$

Az egyenletben a z a vizsgált vízrészecske x - x viszonyító sík feletti magassága, p a nyomás, v a sebesség az egyes szelvényekben. Az egyenlet minden tagja nyomás jellegű mennyiség, dimenziójuk Pa.

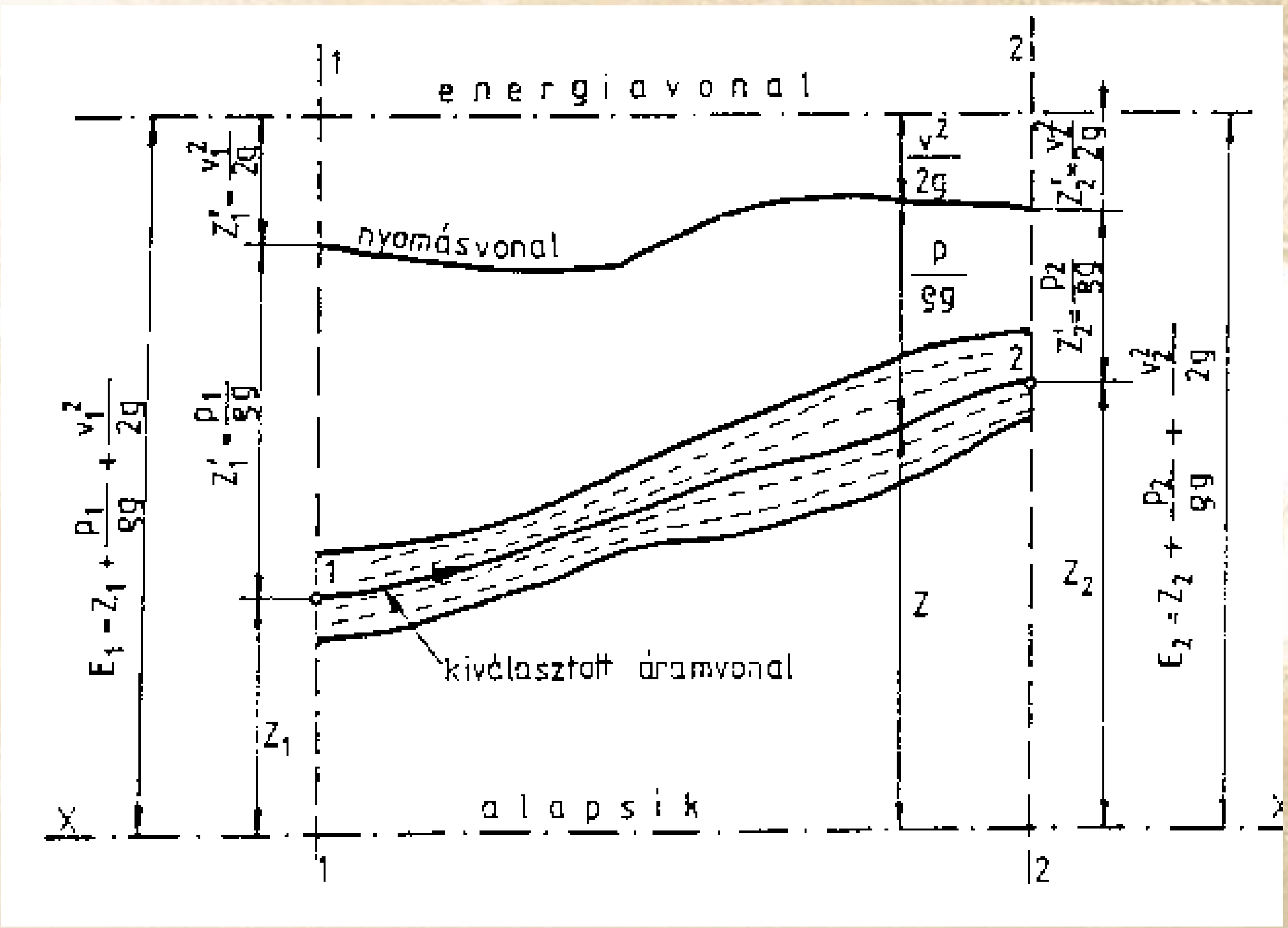
Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Az ideális folyadékok mozgásának dinamikai egyenlete (a Bernoulli egyenlet)

- Az egyenlet mindkét oldalát ρg-vel elosztva a következőalakú egyenletet kapjuk :
- $$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$
- Az egyenlet valamennyi tagja hosszúság dimenziójú.
- Az összefüggés a Bernoulli egyenlet ideális folyadékra érvényes formája, melynek értelmezése a következő ábra alapján lehetséges.

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Az ideális folyadékok mozgásának dinamikai egyenlete (a Bernoulli egyenlet)



Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Az ideális folyadékok mozgásának dinamikai egyenlete (a Bernoulli egyenlet)

- Az egyenletben szereplő z mennyiség $z = \frac{mg.z}{mg}$ alakban is felírható. A számlálóban lévő mennyiség a viszonyító sík fölé z magasságra m tömeg helyzeti energiája, a z mennyiség tehát az egységnyi súlyú víztest *helyzeti energiáját* fejezi ki..
- A Bernoulli egyenletben szereplő mennyiség, az egységnyi súlyú víztest *nyomási energiáját* fejezi ki.
- A tag az egységnyi súlyú víztest mozgási energiáját fejezi ki.
- Az előzőekből kitűnik, hogy a *Bernoulli egyenlet* az energia tartalmat fejezi ki :
- $$E = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$$

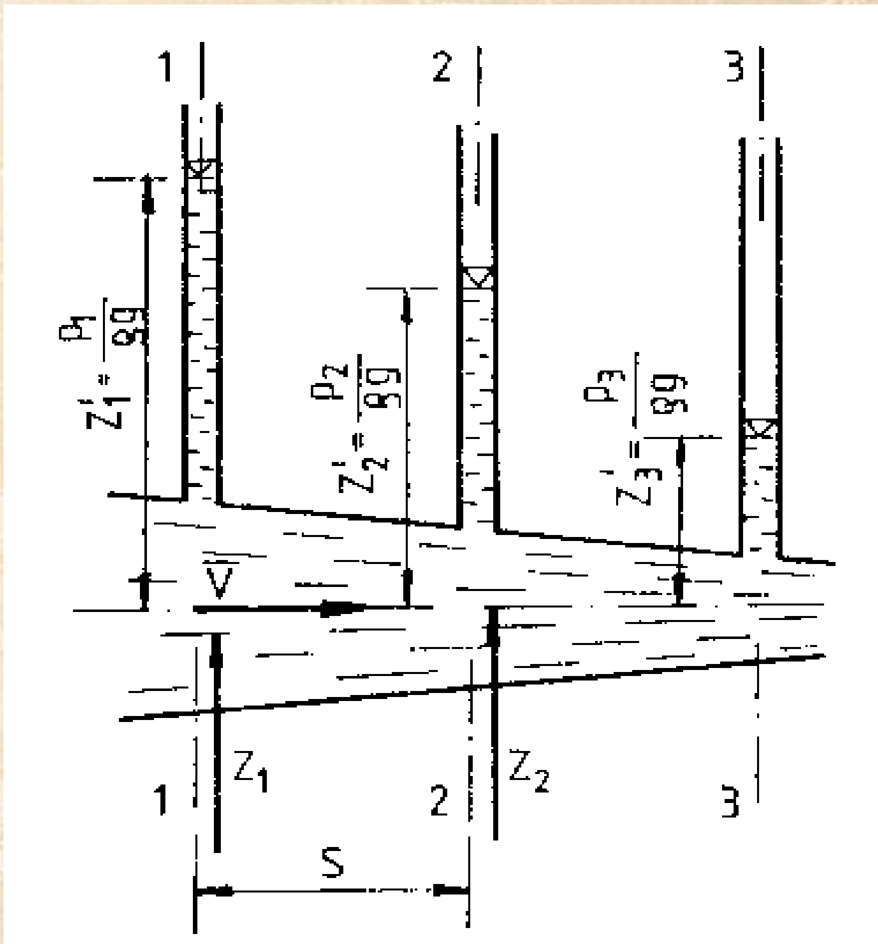
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Az ideális folyadékok mozgásának dinamikai egyenlete (a Bernoulli egyenlet)

- Az ideális folyadék permanens mozgása esetén az áramvonalon mozgó egységsúlyú folyadékrészecske energiája nem változik : $\frac{p}{\rho g}$
- $\frac{v^2}{2g}$ E1 = E2 = állandó
- Az egyenletnek megfelelően a 13.13. ábrán az energiavonal vízszintes. Ebből adódik, hogy a potenciális energia (z +) és a kinetikai energia ( ) csak egymás rovására változhatnak meg.
- E megállapítás bizonyítását mutatjuk be a következő ábrán.
-
- Az ábrán látható piezométerekkel felszerelt konfúzorban Q permanens vízhozam áramlik. A folytonossági egyenletből következik, hogy mivel $A_1 > A_2 > A_3$, ezért a $v_1 < v_2 < v_3$.
- Ugyanakkor megfigyelhető, hogy a $z_1 > z_2 > z_3$, tehát a kinetikai energia növekedése valóban a potenciális energia csökkenését eredményezi.

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Az ideális folyadékok mozgásának dinamikai egyenlete (a Bernoulli egyenlet)



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

A Bernoulli egyenlet valóságos folyadékra

- Az előzőekben levezetett Bernoulli egyenlet csak ideális folyadékokra érvényes, valóságos folyadékok esetében a két vizsgált szelvény között az E1 energia egy része a fellépő súrlódási erő legyőzésére fordítódik.
- A két szelvény energia viszonyait az E1 = E2 + hv egyenlettel fejezzük ki.
- A hv mennyiség a súrlódási erő legyőzéséhez felemésztődött energia, ezért *energiaveszteség*nek nevezzük. Az energiatartalom hosszegységre eső változását *hidraulikus esés*nek nevezzük:

$$I = \frac{h_v}{s}$$

- A Bernoulli egyenlet valóságos folyadékra a következő formában írható fel:

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

- A veszteségeket két csoportba sorolhatjuk
  - *súrlódási veszteség* az áramló folyadéknak a folyadékteret határoló szilárd felületen való súrlódás révén keletkezik,
  - a *helyi veszteség* az áramló keresztmetszet vagy az áramlási irány hirtelen megváltozásából származik.

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

A folyadékmozgás dinamikai osztályozása

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Áramló, rohanó kritikus vízmozgás

- Mind elméleti, mind tapasztalati úton belátható, hogy egy adott víz hozam azonos energiatartalom mellett két féle vízmélységgel, ill. sebességgel folyhat le. Nagyobb vízmélység esetén lassan áramlik, kisebb vízmélység mellett rohanva mozog.
- A két vízmozgás elkülönítésére a *Froude-szám* alkalmas, amely a kinetikai energia és a potenciális energia (a tehetetlenségi erő és a gravitációs erő) viszonyát fejezi ki:

$$Fr = \frac{v^2}{gh}$$

- ahol v - a vízsebesség (m)
- h - a vízmélység (m)
- g - a nehézségi gyorsulás (m . s -2)

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

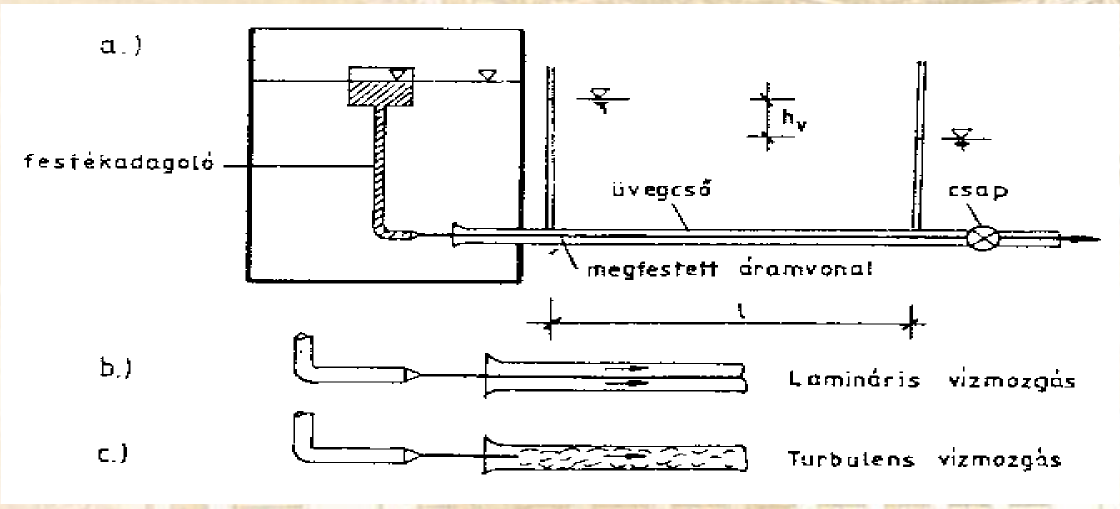
Áramló, rohanó kritikus vízmozgás

- *Áramló* a vízmozgás, ha Fr < 1
- *Rohanó* a vízmozgás, ha Fr > 1
- *Kritikus* a vízmozgás ha Fr = 1
- Azt a jelenséget melynek során a rohanó vízmozgás áramló vízmozgássá alakul (pl. egy műtárgy környezetében) *vízugrás*nak nevezzük. E ennek keretében, jelentős energia szabadul fel, melynek megtörése szükséges, ún. utófenékkel, vagy energiatörő fogakkal.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Lamináris, és turbulens vízmozgás

- Reynolds a két vízmozgás elkülönítésének meghatározásához az. ábrán bemutatott berendezést alakította ki.



- A berendezés egy tartályból leágazó csappal ellátott csővezetékből, valamint a tartályba elhelyezett színes folyadékot adagoló belső tartályból áll. A csővezetéken a súrlódási veszteség (hv) mérésére alkalmas piezométercsöveket helyezett el.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Lamináris, és turbulens vízmozgás

- A kísérlet során a csapot kezdetben csak kis mértékben megnyitva a festékadagolóból kifolyó vékony festékcsík a csőben végig haladva megtartja eredeti alakját. A csapot fokozatosan tovább nyitva nő a vízsebesség, de eleinte az előzőekben leírtaknak megfelelő szálas, réteges ún. *lamináris* vízmozgás tapasztalható.
- A vízsebességet tovább növelve az egy bizonyos kritikus értéket (vkr) meghaladva megszűnik a lamináris áramlás, a festék a vízben elkeveredi, az vízmozgás gomolygóvá *turbulenssé* válik.
- A kísérlet alatt a piezométer csövekben a különböző sebességekhez tartozó veszteségeket mérve a két mennyiség között kapcsolat fedezhető fel (köv. ábra).

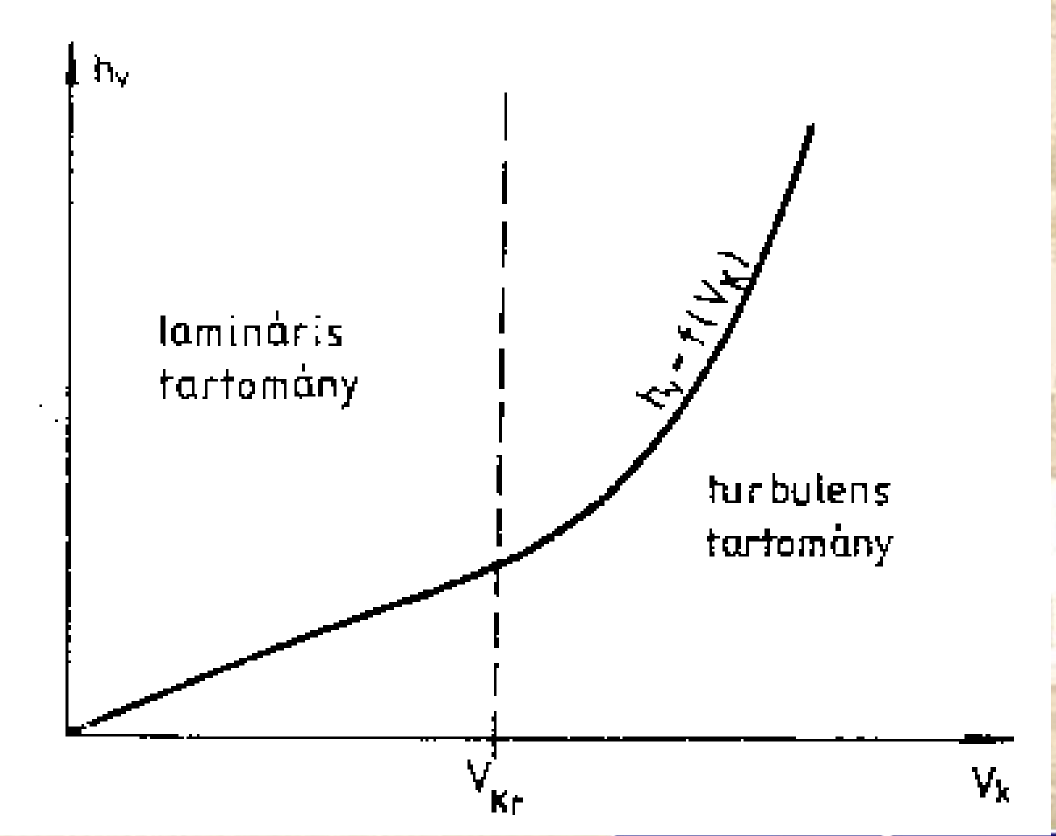
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Lamináris, és turbulens vízmozgás

- A két mozgásforma elkülönítése a *Reynolds szám* alapján lehetséges, mely a tehetetlenségi erő és a súrlódási erő viszonyát fejezi ki :

$$\mathrm{Re} = \frac{vd}{\nu}$$

- ahol v - a sebesség
- d - a csőátmérő
- ν - a kinematikai viszkozitás



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Lamináris, és turbulens vízmozgás

- Nyílt felszínű medrekben a csőátmérő helyett lamináris és turbulens vízmozgásnál a hidraulikus sugarat (R) helyettesítjük be:

$$Re = \frac{vR}{\nu}$$

- A lamináris ill. turbulens vízmozgás közötti határvonal a *kritikus Reynolds szám* (Rekr).
- csővezeték esetében: Rekr = 2320
- nyílt felszínű meder esetében: Rekr = 580
- *Lamináris* a vízmozgás, ha Re<Rekr
- Ebben az esetben az energiaveszteség és sebesség közötti kapcsolat lineáris.
- *Turbulens* a vízmozgás, ha a Re>Rekr
- Ennél a vízmozgásnál az energiaveszteség és a sebesség közötti kapcsolat a sebesség n-dik hatványától függ, ahol n > 1.

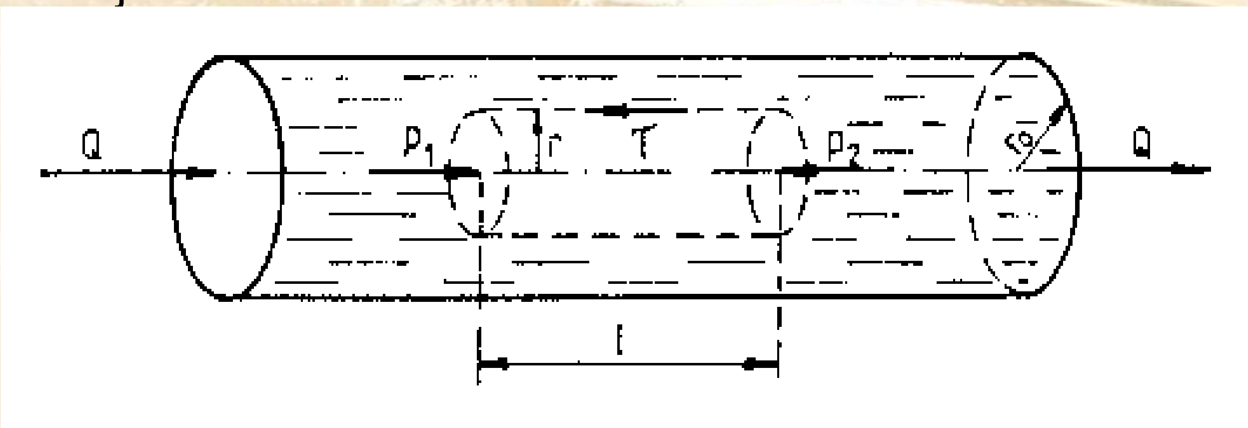
Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Permanens vízmozgás csővezetékben - lamináris

- A csővezetékben történő lamináris vízmozgást ábrán mutatjuk be. Az ábrán feltüntetett r sugarú, l hosszúságú elemi folyadékhenger egyenletes sebességgel mozog, így egyensúlyát az

$$F1 – F2 –Fs = 0$$

egyenlet fejezi ki.



- Az egyenletben
- F1 = p1 $\cdot r^2 \cdot \pi$ és F2 = $p_2 \cdot r^2 \pi$
- a véglapokra ható hidrodinamikus nyomóerők.

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Permanens vízmozgás csővezetékben - lamináris

A palást mentén működő τ csúsztató feszültségből származó súrlódási erő: $\cdot r \cdot \pi \cdot l \cdot \tau$

Fs = 2

Az erőket az egyensúlyi egyenletbe behelyettesítve a következő eredményt kapjuk:

$$v = \frac{I \cdot g}{4\nu}(r_0 - r^2)$$

ahol I - a hidraulikus esés

g - a nehézségi gyorsulás

ν - a kinematikai viszkozitás

r0 - a cső sugara

r - a a cső tengelyétől mért sugárirányú távolság

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Permanens vízmozgás csővezetékben - lamináris

- Az előbbi összefüggés elemzése során a következő megállapításokat tehetjük:
- permanens lamináris vízmozgás esetén a csőben a sebességeloszlás parabolikus, tekintettel arra, hogy a sebesség a tengelytől mért távolság második hatványával arányos,
- a sebesség maximum a cső tengelyében alakul ki, mivel r = 0 értékhez tartozik a vmax, elméleti úton is igazolódik Reynolds empirikus megállapítása, hogy lamináris vízmozgás esetén a veszteség (I =) és a sebesség között lineáris kapcsolat van,
- az összefüggésből levezethető a középsebesség számítására alkalmas összefüggés :

$$v_k = \frac{I \cdot g}{8\nu} r_0^2$$

-

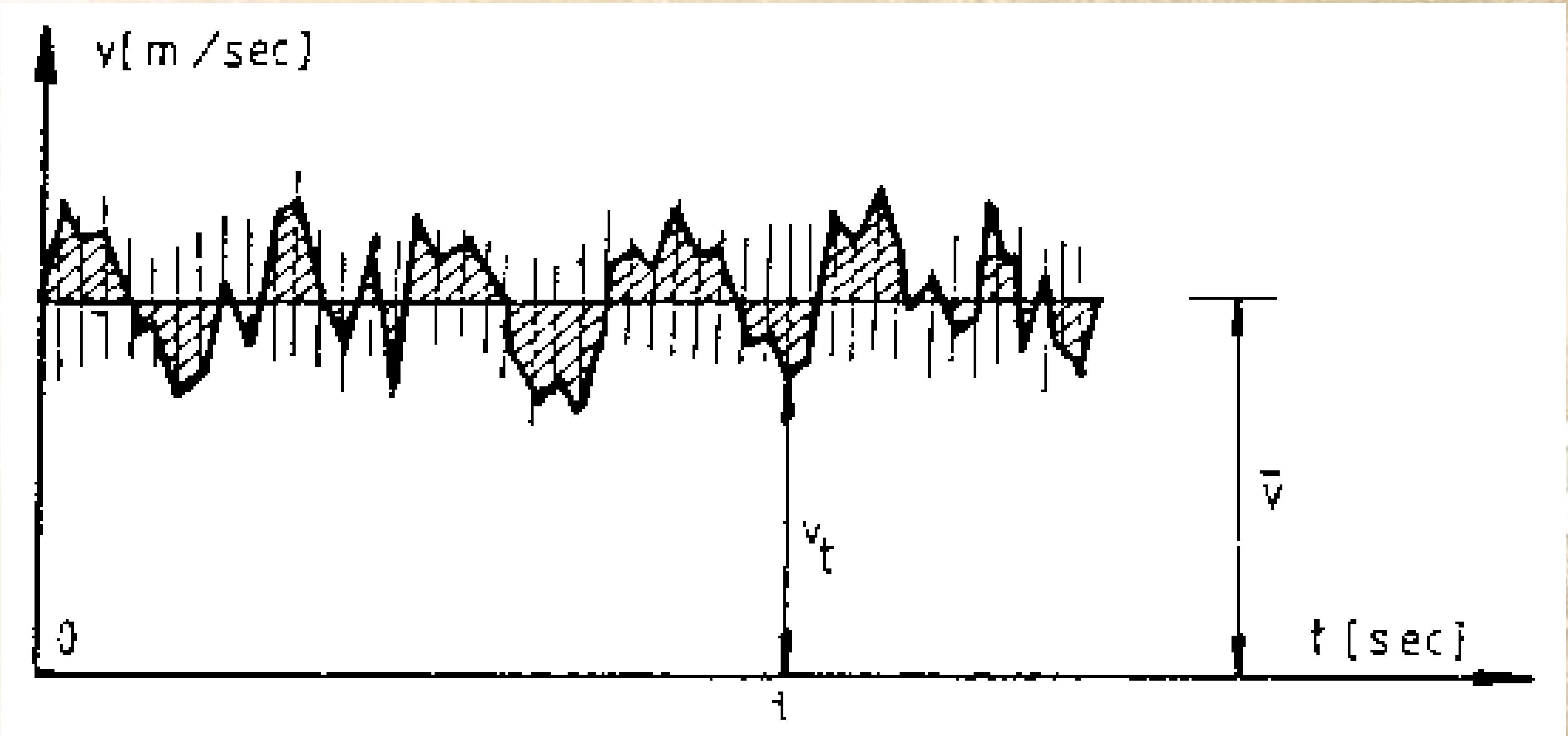
Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Permanens vízmozgás csővezetékben - turbulens

- A turbulens folyadékmozgás fő jellemzője, fő jellemzője, hogy a folyadékrészecskék összekeverednek, gomolygó mozgást végeznek, ennek következtében egy adott pontban a sebesség értéke gyorsan változik, szemben a lamináris vízmozgással, amelynél a vizsgált pontban a sebesség állandó.
- Egy adott pontban vizsgálva a sebesség időbeli változását, a következő ábrán bemutatott diagramot kapjuk. A diagram alapján megállapítható, hogy a sebesség pillanatnyi értéke a közepes sebesség körülingadozik

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Permanens vízmozgás csővezetékben - turbulens



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Permanens vízmozgás csővezetékben - turbulens

- A közepes sebesség a pillanatnyi sebességek idő-menti átlaga, amely nem azonos a középsebességgel.
- A sebesség-pulzálás nem jelenti azt, hogy ez szükségszerűen a vízhozam időbeli változását eredményezi.
- Amennyiben a Q = állandó feltétel teljesül, úgy turbulens vízmozgás esetén is beszélhetünk permanens vízmozgásról.
- A súrlódási veszteséget turbulens vízmozgás esetén is a Darcy-Weissbach összefüggés alapján számíthatjuk. A lamináris és a turbulens vízmozgások közötti különbséget a λ veszteségtényezőben vesszük figyelembe.
- *Dupuit* szerint turbulens áramlásnál a $\lambda = 0{,}02 – 0{,}03$.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Permanens vízmozgás nyíltfelszínű medrekben

- *Nyílt-felszínű* az a vízmozgás, amelyet felülről a levegő határol, így a szabad vízfelszín valamennyi pontjában a atmoszférikus nyomás érvényesül.
- *Prizmatikus* a meder akkor, ha a keresztszelvények az áramlás mentén azonosak, tehát trapéz szelvényű meder esetében a fenékszélesség és a rézsű-hajlás nem változik.
- *Nem prizmatikus, szabályos* az a meder, amelynek a keresztszelvénye szabályos síkidom, de méretei a vízfolyás mentén változnak.
- *Szabálytalan* a meder, ha a keresztszelvény nem szabályos geometriai alakzat, és méretei is változnak.(pl. a természetes vízfolyások medrei).
- A nyílfelszínű vízmozgásnál a vízfelszín függőleges síkkal való metszése *felszíngörbe.*
- *A normális vízmélység* a permanens egyenletes vízmozgással történő szállításkor kialakuló vízmélység.

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Permanens vízmozgás nyíltfelszínű medrekben

A *folytonossági egyenlet* a permanens vízmozgásra érvényes alakja amint azt már korábban bemutattuk a Q = v.A.

Az áramvonalon mozgó vízrészecske energiáját a Bernoulli egyenlet segítségével számíthatjuk ki. A mederfenéken átmenő viszonyító-síkra felírva az egyenletet vizsgálhatjuk a felszínen mozgó vízrészecske energiatartalmát.

Ilyen feltételek mellett az egyenlet a következő alakra módosul:

$$\rho g h_1 + \frac{v_1^2}{2} \qquad \rho g h_2 + \frac{v_2^2}{2}\rho + h_v$$

ahol a h1 és h2 a vízmélységet jelöli.

Az energiatartalom az

$$E = h + \frac{v^2}{2g}$$

összefüggéssel számítható.

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Permanens vízmozgás nyíltfelszínű medrekben

- Természetesen az E = E2 + hv törvényszerűség ebben az esetben is igaz.
- A mozgás dinamikai jellemzése a Bernoulli egyenlet előzőekben leírt alakjával nem lehetséges, tekintettel arra, hogy a hv ismeretlen, ugyanis nyílt felszínű medrekre nem alkalmazható a korábban - csővezetékekre - bemutatott alak.
- A nyílt felszínű medrekre alkalmazott dinamikai egyenlet a korábban bemutatott Chezy - képlet.

Új Magyarország Fejlesztési Terv
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

ELŐADÁS Felhasznált forrásai

- Szakirodalom:
  - Vermes L. (szerk.) (1997.): Vízgazdálkodás. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Budapest.
- Egyéb források:
  - Fehér T.-Horváth J.-Ondruss L. (1986.): Területi vízrendezés. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

Köszönöm a figyelmet!

Új Magyarország Fejlesztési Terv

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg