



Benke Lászlóné

Áramlástechnikai jellemzők mérése és számolása



A követelménymodul megnevezése:

Víz- és szennyvíztechnológus és vízügyi technikus feladatok

A követelménymodul száma: 1223-06 A tartalomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-016-50



SZABADFELSZÍNŰ FOLYADÉKÁRAMLÁS MÉRÉSE, SZÁMÍTÁSA

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Megfigyelhető, hogy a nagy esésű lejtőkön lefolyó víz sebessége is nagy. Ezt használták ki már az ókorban is a víz energiájának hasznosítására, a birtokokon átívelő vízfolyás energiáját vízimalmok hajtására használták fel az emberek. A folyók vizének sebessége attól függ, hogy mekkora a mederfenék illetve a vízszín lejtése. Az áramlási sebesség és a vízhozam mérését ismerhetjük meg a következő fejezetben.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

A szabad felszínű folyadék áramlása a magasságkülönbség következtében kialakuló gravitáció hatására jön létre.

Nyílt medrek esetén még egy új – a vízmozgás viszonylagos sebességét kifejező fogalomrendszer bevezetése szükséges, nevezetesen az áramló és a rohanó vízmozgásé. A vízmozgásoknak ez a megkülönböztetése a víz sebességének és az úgynevezett gravitációs hullámok haladási sebességének viszonyát tükrözi. Ha a hullámok fölfelé (a vízmozgás irányával szemben) is terjednek, a víz sebessége kisebb, mint a hullámsebesség, a vízmozgás áramló. Ha a hullám csak lefelé (a vízmozgással egyező irányban) terjed, ez a hullámsebességnél nagyobb vízsebességet jelent, a vízmozgás a gyakorlatban a rohanó vízmozgást – lehetőség szerint – kerülni próbáljuk, igyekszünk a folyási sebességet lecsökkentve, áramlóvá változtatni a vízmozgást. Ennek oka, hogy a nagy sebességhez, nagy mozgási energiához tartozó nagy elragadó erő a mederfelületre veszélyes. Az ilyen helyeken a víz megbonthatja a meder felületét, anyagát magával ragadva, illetve veszélyeztetheti a megépített létesítményeket.

1. A vízsebesség mérése és számítása

Szabad felszínű vízmozgás esetén a víz felszínén csupán a légköri nyomás érvényesül, akkor tehát $p_1 = p_2$

Ennek következtében: a szabad felszínű vízmozgás energia egyenletéből mindkét oldalon elmarad a második tag, mert elhanyagolható. Az első tag: a sebesség–magasság mindkét szelvényben egyenlő, ha a két vizsgált szelvényben azonos mértékű a szállított vízhozam és a vízszállító keresztmetszvény, vagyis ha

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

mert: $A_1 = A_2$.

A vízhozam (Q) állandóságát a folytonosság egyenlete fejezi ki a két keresztmetszvény között, ami az előző egyenletből következően :

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

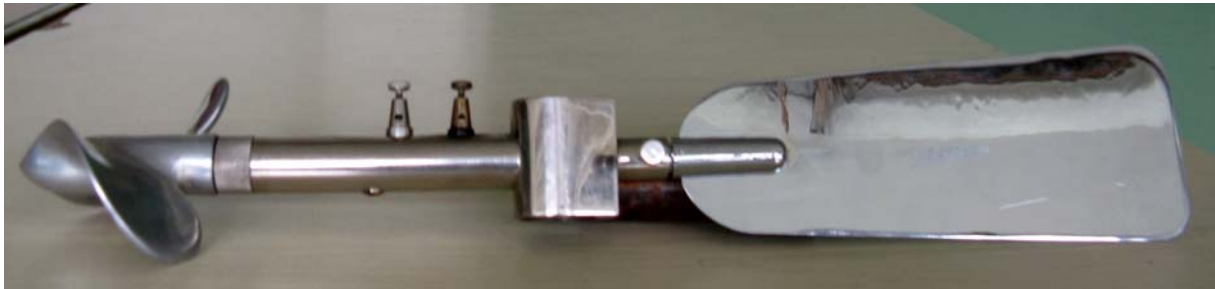
alakban írható fel. Az energia egyenlete és a folytonosság egyenlete együtt alkalmas a legtöbb vízmozgás számításának közelítésére.

Az ókorban a Nílus áradásakor a vizet a tározókba terelték, majd lezárták a csatornákat. Ez a csatornarendszer biztosította azt, hogy a föld elég terményt adott az ott élők számára. A földek, az öntözőcsatornák, a tározók a fáraó tulajdonában voltak. A földművesek csak bérelték a földterületet, és fizettek az igénybevett vízmennyiségért is. Az öntözővíz mennyiségének mérésére a fáraó mérnökei egy egyszerű elvet dolgoztak ki. Egy adott méretű lyukat vájtak a csatorna falába, majd megnézték, hogy adott idő alatt mekkora vízmennyiség folyik ki a nyíláson. Az egyik leleményes bérlő (biztosan egy helyi ezermester lehetett) egy olyan, tölcser alakú elemet illesztett a nyíláshoz, amely megnövelte a vízhozamot, de egy ellenőrzés során fel sem tűnt, vagy az egyszerű elemről nem gondolták azt, hogy számít a vízhozam nagyságában. Amikor az adócsaló, – mert valljuk be ez az – a csövet a lyukra illeszti, az A és az A' keresztmetszeten ugyanannyi víz folyik át. A cső belépési pontján a víz sebessége nagyobb, mint amit cső nélkül kapnánk. A folytonossági egyenlet törvényszerűségeit alkalmazta, vagyis megnövelte a keresztmetszetet, tehát a szorzat másik tagja a vízhozam lecsökkent. Mivel a mérés a kisebb átmérőnél történt, így a fogyasztás is kisebb volt.

A vízsebesség mérése forgóműves, indukciós sebességmérővel

A vízsebesség mérésére forgóműves, vagy indukciós sebességmérőt használnak általában. A sebességet a mérési függvényekben függvényként több pontban (mélységben) szükséges mérni. A függvényenkénti mérési pontok száma 3–10 között változhat, a legfelső a vízfelszín alatt, a legalsó a medre felett legyen megegyezően a műszer szerkezeti magasságával. A közbülső pontok egymástól való távolsága legalább a műszer magasságának kétszerese legyen A függély szerinti középsebesség – a WMO ajánlásainak megfelelően – a hárompontos [$v_{\text{közép}} = 0,25(v_{0,15} + 2v_{0,50} + v_{0,85})$] vagy ötpontos [$v_{\text{közép}} = 0,10(v_{\text{felszín}} + 3v_{0,20} + 3v_{0,60} + 2v_{0,80} + v_{\text{fenék}})$] módszerrel számítható (MI–10–251–4:1986).

A függély középsebességét a függélyhez tartozó rész–szelvényterülettel szorozva kapható meg az adott rész–szelvényhez tartozó rész–vízhozam, a rész–vízhozamokat összegezve pedig a teljes vízhozam.



1. ábra. Forgóműves vízsebességmérő

A vízsebesség meghatározásának egyéb műszerei, módszerei és lehetőségei:

- a billenőlapos vízsebesség-mérés, melynek alapja, hogy a mozgó víz nyomásának hatására a billenőlap vízszintes tengely körül a vízsebességgel arányosan elfordul vagy pedig rugalmas alakváltozást szenved;
- a torlónyomáson alapuló mérőszondák, melyek a sebességgel arányos nyomáskülönbséget állítanak elő. Leggyakrabban a Pitot-csövet (Prandl-cső) alkalmazzák;
- az ultrahangos vízsebességmérő szonda a hanghullámok sebesség okozta fáziseltolódását méri, ami arányos az adó és a vevő közötti áramlás középsebességével;
- a termisztoros vízsebességmérő félvezetők segítségével határozza meg a sebességgel arányos hődisszipációt. A mérési tartomány az egészen kis sebességnél (0,0005–0,3 m/s-nál) kezdődik és kis és nagy vízfolyásokban (szelvényekben) egyaránt alkalmazható;
- a hőfilmes vízsebességmérő ugyancsak a hődisszipáción alapul, és a gyorsan változó vízsebességek mérésére, ill. a pulzációs jellemzők automatikus meghatározására alkalmas;
- az elektromágneses vízsebességmérő az elektromágneses térben mozgó, elektromosan vezető víz által gerjesztett feszültséget méri. Alkalmas a vízsebesség pulzációjának meghatározására is; és végül
- különleges esetekben (pl. hegyi patakokon, erősen tagolt medrekben, mőtárgyakban kialakuló áramlások) a jelzőanyag vízsebesség mérés ad megfelelő eredményt. Folyamatos jelzőanyag-adagolással és a töménységváltozás meghatározásával az átfolyási középídő, az átlagos sebességeloszlás számítható. Látható jelzőanyag (festék) vagy izotóp adagolása esetén a sebességeloszlás fényképezéssel rögzíthető.

Magyarországon a forgóműves vízsebesség mérés mellett a jelzőanyag mérést ismerik el. A mérés feltétele, hogy egyrészt az adagolás helye és a mintavétel szelvénye között sem hozzáfolyás, sem elfolyás ne legyen, másrészt, hogy az adott vízhozam esetében a vízfolyáson a kijelölt adagolási és mintavételi szelvények között a jelzőoldat megfeleljen a mérési feltételeknek.

A vízsebesség mérése történhet felszíni- vagy botúszóval is. Úszó csak akkor alkalmazható, ha a mederszakasz minden akadálytól mentes, egyenes, az áramlás párhuzamos a mederrel és a szél nem zavarja a mérést. A felszíni úszóval végzett mérés csak kis vízmélységek esetén ad elfogadható mérést. A függély szerinti középsebesség a felszínen mért vízsebességnek valamely szorzótényezővel javított értéke. A szorzótényező – ha nincs elfogadhatóbb, pl. forgóműves sebességmérő felhasználásával kimért érték – 0,85.

Az automatizált vízhozam-mérést végző észlelő pontokon ultrahangos vízsebességmérő készülékekkel történik a vízsebesség folyamatos mérése, a vízrajzi mérési szabványnak megfelelő vízszintméréssel együtt. A tervezésnél sebességváltozást mérő mérőkeresztes, illetve a Doppler-hatást kihasználó radarberendezéseket egyaránt alkalmaznak, általában legalább két, kisvízi és árvízi szinten.

Az automata állomásokat meglévő törzshálózati észlelő pontokon, vagy azoktól hidrológiai szempontból megfelelő távolságban helyezték el, mederrézsűre, töltésre, mőtárgyra, vagy közúti hídra szerelve. A javasolt műszerek a vízrajzi észlelésnél szabványos kialakításúak, korszerűek, a folyamatos hozammérés a hazai és nemzetközi gyakorlatnak megfelelő.

A mérőállomások központi egységei egy adatgyűjtőből, szünetmentes áramforrásból, villámvédelemből és egy adatrádióból épülnek fel.

Tápellátásuk közüzemi hálózatról, vagy napelemeről, folyamatosan történik. Az adatátvitel GPRS technológiájú, amely állomásonként egy-egy modemet tartalmaz. A műszeradatokat a területi kezelő KÖVIZIG-ek kérhetik le GPRS modemen keresztül. A Vízhozam számítása

2. A vízhozam mérése és számítása

Vízhozammérési módszerek megválasztása

Mód	Vízhozam-tartomány	Feltételek
Köbözés, DANAIDA	< 2 l/s	Köböző edény elhelyezhető (sugárban kifolyás)
Mérőlap (mérőbukó)	2–20 l/s	Meder szélesség < 2 m, vízmélység < 0,5 m, Mérőlap „beépíthető”
Mérőszűkület, Parshall-csatorna	10–1000 l/s	Egyenes szakasz (min. a csatorna szélesség 10-szerese)
Jelzőanyag (kémiai) mérés	< 0,1 m ³ /s	Elkeveredés biztosított (nincsenek holtterek)
Sebesség és keresztmetszet terület meghatározása	> 0,1 m ³ /s	Meder szabályos, nincs benőve, Sebesség > 0,2 m/s

2. ábra. Vízhozammérési módszerek

Az anyagáram valamely csővezeték, vagy csatorna egy meghatározott keresztmetszetén az időegység alatt áthaladó anyag mennyisége.

Szükséges a keresztmetszet: A ismerete:

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

Kör keresztmetszet esetén a számítás:

ahol d = a kör átmérője, mértékegysége: m²

Más síkidom esetében a geometriában tanultak szerint számítandó a keresztmetszeti felület. Szükséges továbbá az áthaladó anyag mennyiségének ismerete, amely kifejezhető m³- ben, vagy literben. Végül ismerni kell az áthaladás időegységét, ez legtöbbször secundumban van megadva. A fent ismertetett tényezőkből az anyagáram mértékegysége tehát m³/s vagy l/s , jele Q. Számítása:

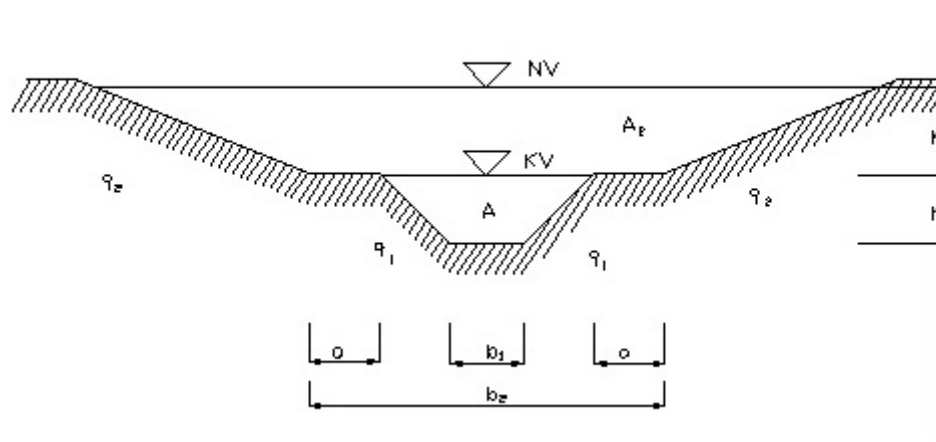
$$Q = v_k \cdot A$$

v_k = az áramlás középsebessége m/ s - ban.

Az áramlási sebesség mérhető, vagy számítható.

A hidraulikailag legkedvezőbb keresztmetszvény a félkör, hiszen az A nedvesített keresztmetszeti terület és a P nedvesített kerület, vagy periméter aránya itt a legkedvezőbb. Adott A-hoz P esetében tartozik a legrövidebb félkör. A gyakorlatban alkalmazott trapézszelvény ezt közelíti, természetesen megfelelő vízmélység – fenékszélesség – esetén. A meder hidraulikai méretezési feladata sokféle lehet attól függően, hogy mi ismert és mit kívánunk meghatározni. A Q vízhozam, a v sebesség, a meder hosszirányú l esése vagy a meder k simasági együtthatója a többi adat ismeretében közvetlenül meghatározható. Ha azonban a keresztmetszvény valamely geometriai adata, például a vízmélység a kérdéses, akkor felvett értékekkel számított adatpárokból – közelítő számítással határozhatjuk meg a keresett adatot.

A meder méretezésekor a gyakorlatban figyelembe kell venni, hogy a csatornában a víz sebességének értéke bizonyos alsó és felső korlátok között engedhető meg; az alsó korlátot a lebegtetett hordalék kiülepedésének és a szelvényméret csökkenésének veszélye miatt, az általában $v_{min} = 0,2-0,4$ m/s-nak felvett minimális szükséges szelvény-középsebesség jelenti. A felső korlátot az úgynevezett kimélyülési határsebesség adja, amely az adott talajra jellemző, szelvény-középsebesség érték, amelynek meghaladása esetén a talajszemcsék is mozgásba lendülnek, tehát a mederben kimélyülések keletkezhetnek, a keresztmetszvény alakja és helyzete megváltozhat. A kimélyülési határsebesség-értékeket különböző mederanyagokra táblázatok adják meg. Például homokmederben kb. 0,6-0,8, agyagban 1-1,2, beton burkolat esetén kb. 7-8 m/s engedhető meg.



3. ábra. Összetett szelvény

Ingadozó vízjárások esetén (kis és nagy vízhozamok váltakozása) gyakori az összetett szelvény alkalmazása (3. ábra). A kis vízhozamok az ún. főmederben A_1 keresztmetszeti területtel folynak le, míg a nagy vízhozam érkezésekor egy, szélesebb árvízi meder, A_2 kiegészítő terület is belép a szállításba. Ilyen szelvényeknél a teljes vízszállító kapacitás számításakor a két mederrészben folyó hozamot külön számíjuk, majd összegezzük. Gondot szokott okozni a főmeder és az ártér eltérő simasága, ezért ezek gondos meghatározást igényelnek.

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

A

Ahol R = hidraulikai sugár m^2 - ben

$$R = \frac{A}{K}$$

A = szelvényterület

K = nedvesített szelvény kerület

$$I = \frac{\Delta h}{L} \text{ m/m}$$

I = lejtés

Δh = magasságkülönbség

L = az a hossz, amelyen a magasságkülönbséget

mérték

A C tényező értékére több szerző is dolgozott ki számítási eljárást, mi a Manning- féle számítást alkalmazzuk:

$$C = \frac{1}{n \cdot R^{1/6}}$$

Ahol: n = a mederérdességi tényező, mely a meder, vagy cső anyagától függően változik és műszaki segédletekből kereshető ki.

Méretezik a szabad felszínű medreket is. A súrlódási veszteség ebben az esetben is jelen van. Minél kisebb felületen érintkezik a szállított víz a mederfelülettel, annál kisebb veszteség éri. Ennek figyelembe vételére dolgozták ki a hidraulikus sugár elméletét. A

$$R = \frac{A}{K}$$

hidraulikus sugár:

A nedvesített keresztmetszeti területének: A , és a vízzel nedvesített kerületének: K hányadosa. Minél nagyobb ez az érték, annál nagyobb arányban érintkeznek a vízcseppek a meder falával, és annál nagyobb súrlódási veszteség keletkezik

A : = a keresztmetszeti nedvesített területe (m^2);

K = a periméter a szelvény szilárd fallal határolt nedvesített kerülete (a teljes keresztaszelvény kerület hosszából levonva a szabad vízfelszín hosszát) (m).

R = a Reynolds-szám a nyílt felszínű csatornákra: $Re - Rev$

Ha $Re < 500-600$, az áramlás lamináris, ha nagyobb, az áramlás turbulens.

$Re < 2000-2400$ érték a lamináris és turbulens áramlás határaként a csővezeték megfelel ezeknek az értékeknek.

Magyarországon a forgóműves vízsebesség mérés mellett a jelzőanyag mérést ismerik el. A mérés feltétele, hogy egyrészt az adagolás helye és a mintavétel szelvénye között sem hozzáfolyás, sem elfolyás ne legyen, másrészt, hogy az adott vízhozam esetében a vízfolyáson a kijelölt adagolási és mintavételi szelvények között a jelzőoldat megfelelően a mérési feltételeknek.

3. Vízhozammérés műtárgyakkal

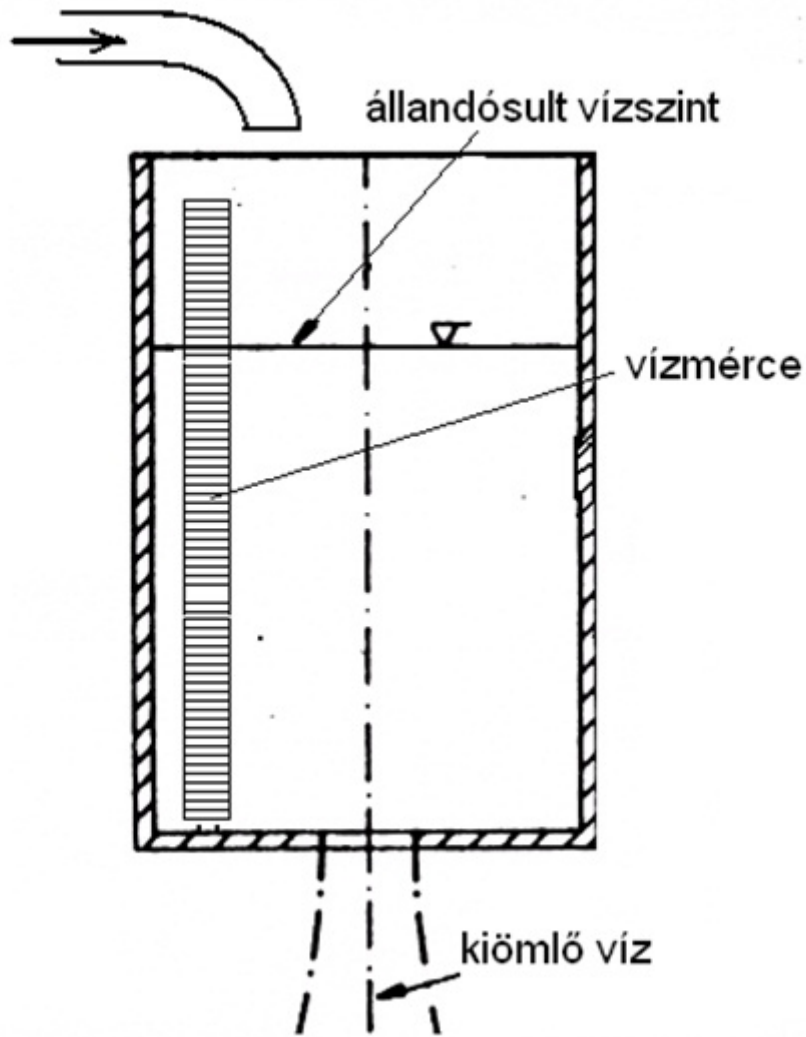
A víz mennyiségének közvetlen mérése legegyszerűbben mérőedénnyel lehetséges.

Az ún. köbözéses eljárás csak akkor sikeres, ha a vízhozam becsült értéke nem nagyobb $0.002 \text{ m}^3 / \text{s}$ -nél, ill. a mérőedény térfogata akkora, hogy képes legalább 10–25 másodperc időtartamon keresztül a mérendő vízhozamot befogadni.

Ha a térfogatméréshez igen nagy méretű edényre lenne szükség, egy lehetőségként a danaida alkalmazható. A danaida olyan edény, amelynek a fenekén egy vagy több nyílás van. A nyíláson szabad levegőre kiömlő víz sebességét a Torricelli-képlettel számíthatjuk, míg a vízhozam a nyílás keresztmetszeti területének ismeretében, a kontrakciót és a kilépési energiavesztéséget figyelembe véve, meghatározható. A Danaida-hordó elzáró dugóját eltávolítjuk, és beindítjuk a vízszivattyút. A beáramló térfogatáram egy része az alsó nyíláson keresztül távozik, miközben folyamatosan emelkedik a vízszint a hordóban. A vízszint emelkedésével fokozatosan nő a nyíláson kiáramló víz sebessége. Ezáltal a kiáramló térfogatáram nagysága is nő. Mivel a beáramló térfogatáram állandó, ezért elérkezünk egy olyan egyensúlyi állapothoz, mikor a be- és kiáramlás megegyezik egymással. Ez az állapot akkor következik be, amikor a vízszint magassága állandósul a Danaida-hordóban (H3). A kifolyó nyíláson kiömlő víz sebessége:

Ahol μ a sebességi tényező. A Danaida-hordó alsó nyílásán kiáramló térfogatáramot meghatározhatjuk, mivel az átmérő ismert (q_{v1}). Ugyanakkor az megegyezik a q_v -vel, amit meg akartunk határozni. A vízhozam számításhoz a bukóképlet használható:

$$Q = \mu A \sqrt{2g \cdot h} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$



4. ábra. Danaida rajza

A vízhozam közvetlen meghatározása mérőműtárgyakkal elsősorban természetes kisvízfolyásokon, lecsapoló- és öntözőcsatornáknál lehetséges. A nyílt medrekben alkalmazható műtárgyak a következőképpen osztályozhatók:

Mérőbucók:

- négyzögszelvényű, oldalkontrakció nélküli: a Bazin-féle;
- négyzögszelvényű, oldalkontrakciós: a Poncelet-féle;
- háromszögszelvényű: a Thomson féle;
- és a trapézszelvényű: a Cipoletti-féle);

mérőszűkületek (Venturi-csatorna; Parshall-csatorna);

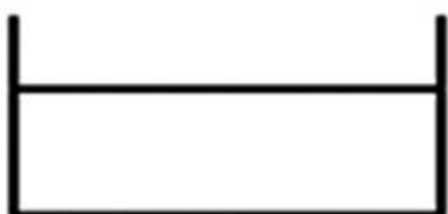
mérőzsilipek (pl. Pikalov-zsilip);

nyomás alatti átfolyás elvén működő műtárgyak (pl. csóátereszek, szivornyák);

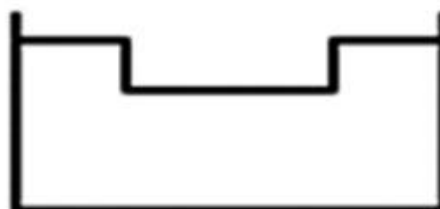
vízádagolók

- Mérőbukók

A bukók vagy bukógátak felső vagy szabad. felszíni vízbocsátást lehetővé tevő műtárgyak, mint az a névben is benne van, átbukik, fölötte a víz. Kialakításuk lehet fix koronájú bukó vagy szabályozható, állítható koronaszintű bukó.



Bazin - féle



Poncelet - féle



Thomson - féle



Cipolletti - féle

5. ábra. Mérőbukók

A csatornatengelyre merőleges derékszögű négyszög nyílású, éles szélű bukó fölött átbukó vízhozam a

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot B \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

mely Poletti-képlet néven is ismert.

Az általános bukóképlet, mely minden átfolyási keresztmetszélyre alkalmazható:

$$Q = \mu A \sqrt{2g} \cdot h \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{ahol:}$$

- A az átbukási keresztmetszet területe
- μ a bukótényező

- h az átbukási magasság

A Thomson bukó derékszögű háromszög keresztmetszetű, ezért egyszerűen számolható a vízhozam, mert $A=h^2$

Összefoglalásként válasz a felvetett esetre

A nyíltfelszínű áramló vizek sebességét sebességmérő műszerrel mérhetjük, vagy számítással határozhatjuk meg. Gyorsméréseknél becslést is szokás alkalmazni, melynek értéke tájékoztató jellegű. A vízhozamot közvetlenül nem tudjuk mérni, vagy a sebességmérés adataiból számítjuk a $Q = v_k A$ egyenlettel, vagy hitelesített mérőműtárgyakkal mért eredményekből számítjuk ki.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

1. Végezzen megfigyelést a közelében található vízfolyáson! A keresztmetszvény mely pontjában a legnagyobb a sebesség? Miből tudja ezt megállapítani?
2. A víz hozamát hogyan tudja növelni anélkül, hogy növelné a víz utánpótlását?
3. Keresse meg a világhálón, Magyarországon a Duna milyen átlagos sebességgel folyik!
4. Nézzon utána: Mekkora vízhozammal lép be az országba a Duna és mekkora, amikor kilép!

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Hogyan mérhető a nyíltfelszínű áramló víz sebessége?

MUNKANYAG

2. feladat

A vízsebesség adatokból milyen módszerrel számítható ki a vízhozam?

MUNKANYAG

3. feladat

Milyen mérőbukókat ismer? Jellemezze azokat!

4. feladat

Számítsa ki a Thomson bukó mérési adataiból az átbukó víz hozamát! Adatok: $\mu = 0,6$, $h = 8\text{cm}$.

MUNKKAMINTA

5. feladat

Határozza meg az alábbi adatok alapján a trapéz szelvényű belvívcsatorna vízszállító képességét két adott szelvény között!

Adatok: fenékszélesség $b = 1,5\text{m}$

vízmélység $h=0,8\text{m}$

rézsűhajlás $\rho=2$

mederérdesség $n=0,02$

lejtés: $0,8\%$



MEGOLDÁSOK

1. feladat

A vízsebesség mérésére forgóműves, vagy indukciós sebességmérőt használnak általában. A sebességet a mérési függvényekben függvényként több pontban (mélységben) szükséges mérni. A függvénykénti mérési pontok száma 3–10 között változhat, a legfelső a vízfelszín alatt, a legalsó a medre felett legyen megegyezően a műszer szerkezeti magasságával.

2. feladat

A függély közepsebességét a függélyhez tartozó rész-szelvényterülettel szorozva kapható meg az adott rész-szelvényhez tartozó rész-vízhozam, a rész-vízhozamokat összegezve pedig a teljes vízhozam.

3. feladat

mérőbukók:

négyszögszelvényű, oldalkontrakció nélküli: a Bazin-féle;

négyszögszelvényű, oldalkontrakciós: a Poncelet-féle;

háromszögszelvényű: a Thomson féle;

és a trapézszelvényű: a Cipoletti-féle);

4. feladat

$Q = \mu A \sqrt{2g \cdot h}$ (m³/s) ahol:

$A = h^2$, az átbukási keresztmetszet területe Thomson bukónál

$\mu = 0,6$, a bukótényező

$h = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$, az átbukási magasság

$$Q = 0,6 \cdot 0,082 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,08^2} = 0,0038 \cdot 1,5696$$

$$Q = 0,00603 \text{ m}^3/\text{s} = 6,03 \text{ l/s}$$

5. feladat

Nedvesített terület:

$$A = b \cdot h + \rho \cdot h^2 = 1,5 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,8^2 = 2,48m^2$$

Rézsúhossz:

$$l = \sqrt{1,6^2 + 0,8^2} = 1,79m$$

Nedvesített kerület:

$$K = 2l + b = 2 \cdot 1,79 + 1,5 = 5,08m$$

Hidraulikus sugár:

$$R = \frac{A}{K} = \frac{2,48m^2}{5,08m} = 0,488m$$

Sebességtényező:

$$c = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,02} \cdot 0,488^{\frac{1}{6}} = 44,36$$

Középsebesség:

$$v_k = c \cdot \sqrt{R \cdot I} = 44,36 \cdot \sqrt{0,488 \cdot 0,0008} = 0,876 \frac{m}{s}$$

Vízhozam:

$$Q = v_k \cdot A = 0,876 \cdot 2,48 = 2,17 \frac{m^3}{s}$$

NYOMÁS ALATTI FOLYADÉKÁRAMLÁS MÉRÉSE, SZÁMÍTÁSA.

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

A víz összenyomhatatlan, ezért, ha nyomást gyakorolunk egy csőben lévő vízre, az áramlani kezd. Az áramlás sebessége fokozatosan nő a nyomás fokozásával, de befolyásoló tényező a cső anyagából adódó súrlódási veszteség, illetve a különböző áramlási akadályokat okozó helyi veszteségek. Természetesen a magasságkülönbség hatására kialakuló gravitáció még növeli a sebességet. A nyomás alatti vízmozgások jellemzői tehát a csőanyag súrlódási tényezője és a helyi veszteségek, melyek mérésével és számításaival ismerkedünk meg a következő fejezetben.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

1. A nyomás alatti vízmozgás mérése és számítása

A nyomás alatt mozgó víz vezetéke aknamentes nyomócső. Ha nyomás alatt álló nyomócsőbe függőleges átlátszó falú csöveket helyezünk, abban a vízszint felszökik. A vízszint magassága a nyomócső tengelye felett arányos a csőben uralkodó nyomással. Az arányossági tényező $p_{\text{víz}} \cdot g$, vagyis a víz sűrűségének és a nehézségi gyorsulásnak a szorzata.

– A Bernoulli-egyenlet alkalmazása

A valóságos folyadék permanens áramlására vonatkozó Bernoulli –egyenlet a következő alakban írható fel:

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

aminek jelentése a következő :

A mozgó víz két, tetszőleges távolságra elhelyezkedő keresztmetszetében a víz

energiatartalmát a sebesség magasság : $\frac{v^2}{2g}$ (m),

$$\frac{p}{\rho g}$$

a nyomómagasság : $\frac{p}{\rho g}$ (m) és a geodézia magasság: Z(m) együttesen fejezik ki.

A két keresztszelvény között a víz energiájának egy részét a súrlódási és egyéb ellenállások leküzdésére fordítja, ezeknek a kifejezője a h_v , amelyben v az (energia) veszteségét jelzi.

5. Az egyenlet az áramlás 1., illetve 2. szelvényében megadja az egységnyi súlyú folyadékra vonatkoztatott fajlagos energiatartalmat, tehát egyes tagjai ($J/N = Nm/N = m$) hosszúság dimenziójúak, vagyis a szelvénybeli energiaszintet mutatják. A két szelvény energiaszintjének különbsége a veszteség (h_v), vagyis a 2. szelvény fajlagos energiatartalma ennyivel kisebb.

A Bernoulli-egyenlet veszteségi tagjának (h_l) meghatározása szempontjából megkülönböztetünk hidraulikailag hosszú és hidraulikailag rövid esővezeték. Az egyszerűbben csak hosszú csőnek nevezett csőben a veszteség döntően meghatározó részét a súrlódási veszteség alkotja, ehhez képest a helyi energiaveszteségek elhanyagolhatóan kicsik. A rövid csőben a súrlódási és helyi energiaveszteségek aránya nem ilyen egyoldalú, így a helyi veszteségeket is figyelembe kell venni.

Mérőperem: A mérőperem egy vékony falú, éles sarkú, hengeres nyílású szűkítő elem. A szabvány megadja az átfolyási számokat, melyekkel meghatározhatjuk a térfogatáramot. Fontos, hogy a mérőperem cső belsejében lévő része körszimmetrikus legyen, homlok felületei pedig síkok és párhuzamosak legyenek.

Az átfolyási keresztmetszvény szűkítésével működik: a szűkület nyomáskülönbséget hoz létre. A vízhozam és a nyomáskülönbség közti összefüggés:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \quad \text{ahol:}$$

- Q a vízhozam
- μ a vízhozamtényező, mely a szűkítési viszonyszámot is tartalmazza
- A a cső keresztmetszeti területe szűkítés előtt
- h a mérőnyomás

A mérőperemet kisebb csőátmérőknél alkalmazzák.



6. ábra. Mérőperem

Csőszűkület: A Venturi-cső fokozatos szűkületből, mérőtorokból és fokozatos bővületből tevődik össze. A vízhozam meghatározásához szükséges nyomáskülönbséget a szűkület hozza létre, a nyomásértékek mérését a Venturi-cső felületében kialakított megcsapoláson keresztül lehet megmérni. Ez a mérés manométerrel, illetve vízórával történik. A Venturi csövet állandó beépítésre nagyobb csőátmérőknél alkalmazzák 250... 1500 mm között, kis emelőmagasságoknál.



7. ábra. Venturi cső

Vízórával: a vízmennyiség folyamatos mérésére alkalmazzák vagy a csőbe építve, vagy mellékáramkörbe helyezve. Az átfolyó vízmennyiséget folyamatosan összegezve számlap előtt mozgó mutatók jelzik ki. A vízórában levő tengely a csőben folyó víz hatására forog, forgásszáma arányos az átfolyó vízmennyiséggel, melyet számlálószervezet összegez.



8. ábra. Vízmérő óra

A pillanatnyi vízhozam ismerete zárt csővezetékben is gyakran szükséges, ilyenkor egy stopperórával mért adott időintervallumban leolvassuk az átfolyt víz térfogatát. A térfogat és az idő hányadosa adja a pillanatnyi vízhozamot a csőben.

2. –A Reynolds szám

A permanens áramlások legfontosabb leggyakoribb típusára a turbulens áramlásra Reynolds adott magyarázatot. A manchesteri egyetemen végzett kísérleteiben – üvegcsőben különböző sebességgel áramoltatott vízbe egy ponton bevezetett festékcsíkkal – kimutatta a lamináris (rétegzett) és a turbulens (keveredő, gomolygó) áramlás határát. Ezt a határt egy dimenzió nélküli számmal – az azóta róla elnevezett –Reynolds-számmal fejezte ki:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

ahol:

- v = az áramlás középssebessége, (m/s);
- d = a cső átmérője, (m);
- ν = a folyadék kinematikai viszkozitási tényezője, (m²/s).

A kinematikai viszkozitás SI egysége: cgs egysége a stokes, jele: St

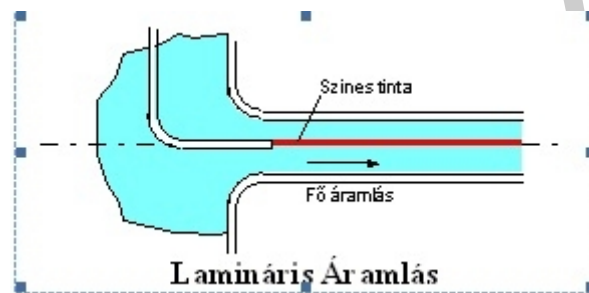
$$(\nu) = \frac{m^2}{s}$$

A víz viszkozitása atmoszférikus nyomáson mérve 20,2 (°C) hőmérsékleten 10^{-3} (Pa · s)

Ha $Re < 2000$ – 2400 , az áramlás lamináris, ha nagyobb, az áramlás turbulens. Az áramlások ilyen módon való megkülönböztetése azért fontos, mert hidraulikai leírások (pl. a súrlódási veszteség számítása) különböző.

Ha egy csővezetékben az átlagsebesség a $v = 2400 v/d$ határértéknél nagyobb, az áramlás jellege többnyire turbulens. Mivel egy cső hossza mentén az átmérő (d) állandónak tekinthető, ez a határsebesség lényegében a sebességtől (v) függ. Mivel egy vezeték üzemére a (v) átlagsebesség a jellemző, célszerű a Re_{kr} -ből adódó v_{kr} -t ismerni, mert ennek alapján megállapítható, hogy a vezeték üzemében van-e szerepe a lamináris – turbulens átmenetnek.

A Reynolds szám mérése laboratóriumban történik. Egy átlátszó falú csőben permanens áramlást hoznak létre. A sima üvegcsőből készült kifolyócső belsejébe egy másik, vékonyabb csövön keresztül festett folyadékot (piros tinta) vezetnek mindaddig, amíg a jelzőfolyadék vízszálai párhuzamosan haladnak. Az a pont, ahol megindul a keveredés a kritikus sebességpont, amely a sebességmérésnél tárgyalt módon mérhető. A képletbe behelyettesítve megkapjuk a Reynolds számot, amely a lamináris és turbulens áramlás határértéke.



9. ábra. A Reynolds szám mérése: lamináris áramlás



10. ábra. A Reynolds szám mérése: turbulens áramlás

3. Súrlódási veszteség mérése és számítása

A lamináris áramlás súrlódási vesztesége a középsebesség első hatványával arányos. Az L hosszon előálló h_l veszteséget a Darcy-Weisbach –összefüggés írja le:

Henry Philibert Gaspard Darcy (1803–1858) Dijon polgára, csőbeli áramlások és vízáteresztő talajokban lejátszódó vízmozgási jelenségek tanulmányozásával foglalkozott. 1856-ban egy Dijonban építendő szökőkúttal kapcsolatban végezte kísérleteit, függőleges, homogén homokszűrőn keresztüli áramlást vizsgált.

Julius Weisbach (1806–1871) sok egyéb mellett a veszteségekkel is sokat foglalkozott, gyönyörű fametszetekkel illusztrálta helyi veszteségekkel és áramlási jelenségekkel kapcsolatos megállapításait. Darcy eredményei nyomán ő írta fel ilyen alakban a csősúrlódási veszteséget, bevezetve a dimenzió nélküli tényezőt.

$$h_l = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{ahol:}$$

- L = csővezeték hossza (m)
- λ = a csősúrlódási tényező (-);
- d = a cső átmérője, (m);
- $\frac{v^2}{2 \cdot g}$ = a középsebességgel számított sebességmagasság, (m).

A súrlódási veszteség függ a cső átmérőjének és hosszának arányától, valamint a vízsebességtől.

Lamináris áramlásban a csősúrlódási tényező csak a Reynolds-számtól függ és azzal fordítottan arányos. Turbulens áramlás csősúrlódási tényezője a Reynolds-számon kívül a cső felületének érdességétől, pontosabban a csőfal relatív érdességétől függ.

A csősúrlódási tényező meghatározására kísérletek alapján összeállított grafikonok, táblázatok állnak rendelkezésre.

A csősúrlódási veszteség mérése laboratóriumi körülmények között történik. Menete a következő:

- Egy hidraulikailag hosszúnak számító (L), ismert átmérőjű (d) csőben permanens áramlást hoznak létre.
- Kiszámítják a cső keresztmetszetének területét (A)
- A csőből kifolyó vízhozamot köbözéssel megméri (Q).
- Kiszámítják a vízsebességet: $v = \frac{Q}{A}$ (m/s)
- Behelyettesítik az egyenletbe a mért adatokat: $\lambda = \frac{h_l \cdot d \cdot 2 \cdot g}{L \cdot v^2}$

Az érdességi tényező általában egynél kisebb szám.

Az érdességi tényezők meghatározhatók természetes medrek esetében éppúgy, mint csővezetékben. Ezeket műszaki segédletek tartalmazzák, és a méretezés során a szakemberek munkájához is elengedhetetlenek ezek az adatok.

4. Helyi veszteségek mérése és számítása

Helyi veszteségen az egyes konkrét helyhez köthető szerelvények (pl. tolózár) vagy változások (pl. átmérő- és irányváltozások) okozta fajlagos energiaveszteséget értjük. A helyi veszteséget

$$h_s = \xi \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ (m)}$$

alakban írhatjuk fel, ahol:

ζ = a veszteségtényező (-), amit az adott helyi veszteségre általában kísérleti úton határoznak meg;

$\frac{v^2}{2 \cdot g}$ általában az adott veszteség konkrét helyét követő csőszakasz középsebességéből számolt sebességmagasság (m).

Helyi veszteségként kell figyelembe venni például a belépési veszteséget (nagy folyadéktérből belépés csővezetékbe), ennek ellentettjét a kilépési veszteséget; a szelvénybővületet vagy szelvényzsűkületet, amelyek lehetnek fokozatos átmenettel kiképzettek vagy hirtelen változóak; az irányváltások okozta veszteségeket (ív, könyök); az elágazások, csatlakozások okozta veszteséget; vagy a szerelvények (tolózár, pillangószelep, szűrő stb.) által okozott veszteségeket.

A helyi veszteségek mérése szintén laboratóriumi környezetben folyik. Itt egy hidraulikailag rövid csővezetékbe beépített szerelvény veszteségét mérik. A mérés menete a következő:

- A csőből kifolyó vízhozamot köbözéssel megméri (Q).
- Kiszámítják a vízsebességet: $v = \frac{Q}{A}$ (m/s)
- Behelyettesítik az egyenletbe a mért adatokat: $\xi = \frac{h_v \cdot 2 \cdot g}{v^2}$

A helyi veszteségek mért adatait műszaki segédletek tartalmazzák, a csőméretezésnél folyó számításokhoz ezeket alkalmazzák.

Turbulens áramlás esetén a vízszállító keresztmetszvény méretezése és ellenőrzése.

A víz belső súrlódása miatt a víz elemi részecskéi, mozgásuk következtében egymáshoz surlódnak. Ennek leküzdésére a víz energiát fordít mozgása közben. A víz sebessége a csőfal mentén 0 értékű, attól távolodva nő és a cső tengelyvonalában éri el a maximális értéket. Lamináris áramlaskor, amikor a vízszálak nem keverednek, kisebb a belső ellenállás. Turbulens áramlás esetén a vízszálak keverednek, ezért a sebesség nem fokozatosan nő a cső tengely felé haladva, hanem hirtelen, az átlagsebesség pedig nagyobb lesz. A csővezetékek méretezésénél figyelembe kell venni ezt a körülményt. Optimális az a csőátmérő, amely a legkisebb veszteséggel a legnagyobb vízhozamot képes elvezetni.

Összefoglalás

ÁRAMLÁSTECHNIKAI JELLEMZŐK MÉRÉSE ÉS SZÁMOLÁSA

A vízhozam mérése zárt csővezetékben mérőszükülettal, indukciós mérőműszerrel, közvetve nyomásmérőkkel lehetséges. Vízóra segítségével számítható a térfogatáram. A nyomás alatti vízmozgások számítására a Bernoulli egyenletet használjuk. A Reynolds szám az áramló és a rohanó víz határértékét adja meg: 2400 alatt laminális, fölötte turbulens az áramlás. Az áramlási veszteségeket hossz-menti, súrlódási és helyi veszteségek okozzák.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

1. Milyen idomok okozhatnak helyi veszteséget egy csővezetékben?
2. Gondolkodjon! A víz vagy az olaj éri el ugyanolyan körülmények között a kritikus áramlási sebességet? Miért?
3. Figyelje meg lakóhelyén a vízóra értékeit egy, majd több vízcsap kinyitása esetén! Mit tapasztal?
4. Végezzen vízhozam számítást saját vízórájának leolvasása segítségével!

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Melyek a Bernoulli egyenlet összetevői?

2. feladat

Pitot-cső segítségével mérünk nyomás alatti csővezetékben vízhozamot. A Pitot-cső nyomásesését ferde csöves vizes nyomásmérővel mérjük. A leolvasott érték $\Delta h = 20\text{mm}$.

Határozza meg a $30 \times 1,8$ -as csővezetékben áramló hozamot.



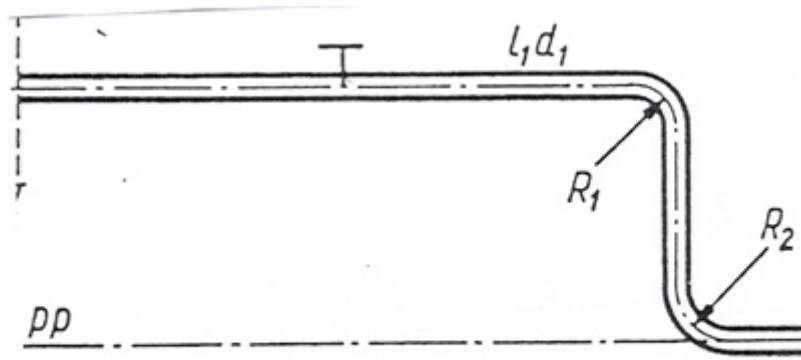
3. feladat

Legfeljebb hány liter víz áramoltatható át óránként egy 50 mm belső átmérőjű üvegcsőben, ha az üvegcsőben mindenképpen lamináris áramlást akarunk fenntartani? Mekkora a nyomásveszteség ebben az állapotban a 2,4 m hosszú csövön? Tételezze fel, hogy a lamináris áramlás elméleti felső határát jelző 2320-as Reynolds-számot a biztonság kedvéért legfeljebb 75%-ban lehet megközelíteni! A víz sűrűsége 1000 kg/m^3 , kinematikai viszkozitása $1,12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.



4. feladat

Az ábrán vázolt csővezetéken Q vízhozam folyik át. Határozza meg a könyökök és a tolózár együttes veszteségét!



11. ábra. Csővezeték vázlat

Tolózár veszteségtényezője				
z/d	3/8	1/2	5/8	3/4
ξ	0,81	2,06	5,52	17
Könyök veszteségtényezője				
R/d	1	2	2,5	3
ξ	0,53	0,31	0,28	0,26

Adatok:

$$Q = 14 \text{ l/s}$$

$$l = 400 \text{ m}$$

$$d_1 = 120 \text{ mm}$$

$$R_1 = R_2 = 300 \text{ mm}$$

$$\lambda = 0,02$$

$$z = 60 \text{ mm (tolózár nyitás értéke)}$$



MUNKANYAG

MEGOLDÁSOK

1. feladat

A valóságos folyadék permanens áramlására vonatkozó Bernoulli –egyenlet a következő alakban írható fel:

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

aminek jelentése a következő :

A mozgó víz két, bizonyos távolságra elhelyezkedő keresztmetszében a víz energiátartalmát a sebesség magasság : $\frac{v^2}{2g}$ (m),

a nyomómagasság : $\frac{p}{\rho g}$ (m) és a geodézia magasság: Z(m) együttesen fejezik ki.

2. feladat

Nyomáskülönbség meghatározása:

$$\Delta h = 20\text{mm} = 0,02\text{m}$$

$$P = \Delta h \cdot \rho_v \cdot g = 0,02 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 196,2\text{Pa}$$

Középsébség a csőben:

$$P = \frac{\rho_v}{2} \cdot v_k^2$$

$$196,2 = \frac{1000}{2} \cdot v_k^2$$

$$0,626 \frac{\text{m}}{\text{s}} = v_k$$

A cső keresztmetszete:

$$d = 30\text{mm} - (2 \cdot 1,8\text{mm}) = 26,4\text{mm} = 0,0264\text{m}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,0264^2 \cdot 3,14}{4} = 0,000547\text{m}^2$$

A hozam a vezetékben:

$$Q = v_k \cdot A = 0,626 \frac{m}{s} \cdot 0,000547 m^2 = 0,000343 \frac{m^3}{s} = 0,343 \frac{l}{s}$$

3. feladat

$$Re = \frac{c \cdot d}{\nu} = \frac{c \cdot 0,05}{1,12 \cdot 10^{-6}} = 1740$$

$$c = 0,0389 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\dot{V} = A \cdot c = 7,637 \left(\frac{m^3}{s} \right) = 274,9 \left(\frac{l}{h} \right)$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1740} = 0,0368$$

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2} \cdot \rho = 0,0368 \cdot \frac{2,4}{0,05} \cdot \frac{0,0389^2}{2} \cdot 10^3 = 1,336 (P_a)$$

4. feladat

A vezetékben kialakuló sebesség:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,014}{\frac{0,12^2 \cdot \pi}{4}} = 1,238 \frac{m}{s}$$

A könyök veszteségtényezője:

$$\frac{R}{d} = \frac{300}{120} = 2,5 \Rightarrow \zeta_k = 0,28$$

A tolózár veszteségtényezője:

$$\frac{z}{d} = \frac{60}{120} = 0,5 \Rightarrow \zeta_t = 2,06$$

A veszteség:

$$\Sigma h_v = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} + 2\zeta_k \cdot \frac{v^2}{2g} + \zeta_t \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$\Sigma h_v = 5,207 + 0,0437 + 0,161 = 5,4117m$$

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

Benke Lászlóné: Vízügyi szakmai ismeretek, Skandi-Wald Könyvkiadó 2003.(14–26. oldal)

Benke Lászlóné: Vízügyi alapismeretek, Nemzeti Szakképzési Intézet 2005.(27–30.oldal)

Urbanovszky István: Hidrológia és hidraulika, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium 2007 (78–82., 137–140.oldal)

AJÁNLOTT IRODALOM

Stelczer Károly: A vízkészlet-gazdálkodás hidrológiai alapjai ELTE Eötvös Kiadó 2000.

Vermes László: Vízgazdálkodás, Mezőgazdasági Szaktudás kiadó 2001.

A(z) 1223-06 modul 016-os szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
52 853 02 0010 52 01	Szennyvíztechnológus
52 853 02 0010 52 02	Víztechnológus
54 853 01 0000 00 00	Vízügyi technikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:

14 óra

MUNKANYELV

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1–2008–0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

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

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210–1065, Fax: (1) 210–1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató