

Szabó László

Áramlástanai alaptörvények


NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:

Kőolaj- és vegyipari géprendszer üzemeltetője és vegyipari technikus feladatok

A követelménymodul száma: 2047-06 A tartalomazonosító száma és célcsoportja: SzT-023-50



FOLYADÉKOK ÁRAMLÁSA

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Munkahelyén gyakran kell áramlástani feladatokat megoldania. A különböző vegyipari műveletek, vegyipari technológiák üzemeltetése során a leggyakrabban előforduló feladat a folyadékok szállítása, tartályok feltöltése, folyadékok mozgatása a vegyipari berendezésekben.

A feladatok megoldásához ismernie kell a folyadékszállítás **áramlástani alaptörvényeit**. Az alaptörvények ismeretében tudja eldönteni, milyen rendszereket, milyen eszközöket kell alkalmaznia a különböző feladatok megoldásához.

Az áramlástani alaptörvények:

- a folytonossági törvény,
- az áramlás jellegének meghatározása.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

FOLYADÉKOK ÁRAMLÁSA

1. A folytonossági törvény

A térfogatáram fogalma és számítása

A vegyipari gyakorlatban a folyadékokat a legtöbb esetben csővezetékben áramoltatjuk. A folyadékáram jellemző adata a folyadék áramlási **sebessége (v)**. Az áramló folyadék mennyiségét a **térfogatárammal** fejezzük ki.

A **térfogatáram** egy adott **keresztmetszeten időegység** alatt átáramló **folyadék térfogata**. A térfogatáram **számítása**:

$$\dot{V} = v \cdot A, \text{ ahol:}$$

\dot{V} az adott keresztmetszeten időegység alatt átáramló folyadék térfogata, mértékegysége: $\frac{m^3}{s}$,

v a folyadék áramlási sebessége, mértékegysége: $\frac{m}{s}$,

A a folyadékáram keresztmetszete, mértékegysége: m^2 .

A folyadékáram keresztmetszete a csővezeték keresztmetszetével egyezik. A csővezeték keresztmetszete (A) a belső átmérő (d) segítségével számolható:

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

Ritka esetben előfordul, hogy a folyadék nem tölti ki a csővezetékét. Például szennyvízcsatornáknál a folyadék a cső alsó felében, harmadában csordogál a lejtés irányában, és az áramlás csak az így kialakult vályúszerű áramlási keresztmetszetre értelmezhető.

Csővezetékben áramló folyadék sebessége

Sokszor kell kiszámolni egy adott csővezetékben áramló folyadék sebességét. Ha ismerjük a szállítandó folyadék mennyiségét (a térfogatáramot) és a csővezeték átmérőjét az áramló folyadék sebessége:

$$v = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{V}}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}}.$$

A csővezeték átmérőjének meghatározása

Előfordul olyan eset is, amikor egy technológia előírja a csővezetékben szállítandó folyadék mennyiségét és a folyadék sebességét. Ebben az esetben a feladat olyan csőátmérő megválasztása, kiszámítása, amelynél a technológiai szempontból adott folyadék mennyisége a kívánatos sebességgel áramlik a csővezetékben. Ilyen esetekben először a kívánt csőkeresztmetszetet kell kiszámítani, majd ebből lehet meghatározni a cső belső átmérőjét:

$$A = \frac{\dot{V}}{v}, \text{ illetve a } A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \text{ összefüggésből: } d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}.$$

A számításoknál az un. SI alapegységeket használjuk. Jelen esetben a **méter (m)** és a **másodperc (s)**. A számítási összefüggésekbe a számokat ezekben, az alapegységekben kell behelyettesíteni. Ha nem ilyen egységben adjuk meg az adatokat (például a csőátmérőt mm-ben szokás megadni), akkor át kell számolni az egységet alapegységbe. A képletbe történő behelyettesítésnél a szám (a mérőszám) után be kell írni a mértékegységet.

Néha nem tekintik nagy hibának, ha a mérőszám után nem adják meg a mértékegységet. Ez abban az esetben, ha mindig SI alapegységet használunk, még elfogadható. Gyakran azonban bizonytalanságot és hibás számítást eredményezhet a mértékegység elhagyása.

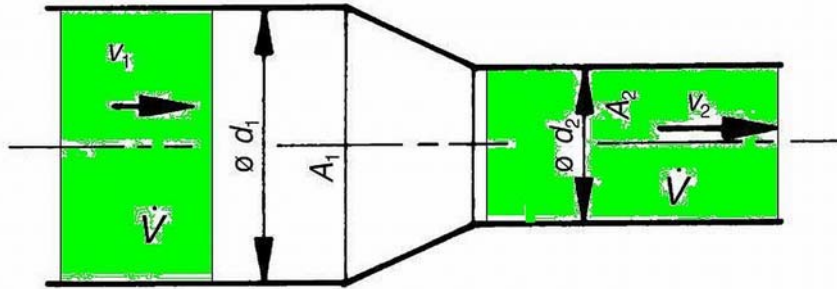
1981 óta Magyarország is elfogadta a nemzetközi egységrendszert (System International d'Unités, röviden SI). A nemzetközileg elfogadott szabványos alap-mértékegységek:

Mennyiség	Jele	Mértékegysége
Hosszúság	l, s	méter (m)
Tömeg	m	kilogramm (kg)
Idő	t	másodperc (s)
Áramerősség	I	amper (A)
Hőmérséklet	T (t)	kelvin (K)
Anyagmennyiség	n	mól (mol)
Fényerősség	I _v	candela (cd)

A folytonossági törvény

Ha a csővezeték keresztmetszete változik, egy adott keresztmetszetben áramló folyadék mennyisége nem változik, vagyis minden keresztmetszetben ugyanannyi folyadékmennyiség áramlik át. Ez csak úgy lehetséges, ha a kisebb keresztmetszetben a folyadék nagyobb sebességgel áramlik, míg ha a keresztmetszet növekszik, akkor a folyadék mozgása lelassul.

Az 1. ábra változó keresztmetszetű csővezetékét szemléltet.



1. ábra. A folytonossági (kontinuitási) törvény

A nagyobb keresztmetszeten időegység alatt átáramló folyadék mennyisége megegyezik a kisebb keresztmetszeten átáramló folyadék mennyiségével ($V_1 = V_2 = V$). Az egyenlőség azonban csak akkor állhat fenn, ha a kisebb keresztmetszetben a folyadék sebessége nagyobb:

$$V_1 = V_2 = V,$$

de $V_1 = v_1 \cdot A_1$ és $V_2 = v_2 \cdot A_2$, ebből:

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

A folyadék áramlási sebessége és a csővezeték keresztmetszetének szorzata állandó. Ezt a törvényt folytonossági (latinul kontinuitási) törvénynek nevezzük

A folyadék **áramlási sebessége** és a csővezeték **keresztmetszetének szorzata állandó.**

Folytonossági törvény matematikai alakja:

$$\dot{V} = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = \dots = v_n \cdot A_n,$$

ahol \dot{V} az áramló folyadék térfogatárama, m^3/s ; v_1, v_2, v_n a folyadék áramlási sebessége a vizsgált pontokban, m/s ; A_1, A_2, A_n a csővezeték, ill. az áramlás keresztmetszete a vizsgált pontokban, m^2 .

Figyelem: a folytonossági törvényben a keresztmetszet szerepel, míg a gyakorlatban az átmérő változásával dolgozunk. A keresztmetszet pedig az átmérő négyzetével arányosan változik.

2. Az áramlás jellege

A folyadékreszecskek áramlás közben vagy párhuzamosan mozdulnak el egymáshoz képest, vagy összekeveredve, gomolygó mozgással haladnak. Az áramlás jellege lehet: **lamináris** és **turbulens**. Lamináris áramlásnál a részecskek párhuzamosan, rétegesen áramlanak egymás mellett, míg turbulens áramlásnál az áramlás örvénylő, gomolygó.

A **párhuzamos, lemezszerű, réteges** áramlást **lamináris** áramlásnak, míg a **gomolygó, örvénylő** áramlást **turbulens** áramlásnak nevezzük.

A Reynolds-szám

Az áramlás jellege a folyadék sebességétől, sűrűségétől, viszkozitásától, valamint a csővezeték átmérőjétől függ, és egy mértékegység nélküli viszonyzámmal jellemezhető, amelyet Reynolds-számnak (jelölése: Re) nevezzük:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta},$$

ahol v az áramlási sebesség, m/s; d a csővezeték átmérője, m; ρ a folyadék sűrűsége, kg/m³; η a folyadék dinamikai viszkozitása, Pa·s.

A Reynolds-szám értéke nagyon tág határok között változik. Ha ez az érték simafalú acélcső esetén 2300, vagy ennél kisebb, az áramlás mindig lamináris. A $Re \geq 10000$ érték pedig biztos turbulens áramlást jelent, de nem ritka a 10^5 vagy 10^6 nagyságú érték sem. A lamináris és turbulens áramlás közötti tartományt átmeneti tartománynak nevezzük, amelyben a csővezetékek ellenállásának meghatározásakor kitüntetett szerepe van a $Re = 2320$ értéknek. Ezt az értéket **kritikus Reynolds-számnak** nevezzük.

A sűrűség

Az anyagok sűrűsége az egységnyi térfogatú anyag tömege.

Az anyagok sűrűségét úgy számítjuk ki, hogy a belőlük készült testek tömegét osztjuk a térfogatukkal:

A sűrűség:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

ahol ρ a sűrűség, m a a test tömege, V a test térfogata.

A sűrűség mértékegysége: kg/m³.

Néhány anyag sűrűsége:

ÁRAMLÁSTANI ALAPTÖRVÉNYEK

A levegő sűrűsége: (normál sűrűség 0 °C-on és 101 325 Pa nyomáson)	1,2928 kg/m ³
A víz sűrűsége (4 °C-on):	1000 kg/m ³
A higany sűrűsége:	13600 kg/m ³
Az alumínium sűrűsége:	2700 kg/m ³
A vas sűrűsége:	7860 kg/m ³
A jég sűrűsége:	920 kg/m ³

Az anyagok sűrűsége függ a hőmérséklettől. A szilárd anyagok sűrűsége a hőmérsékletváltozás hatására csak kisebb mértékben változik, a folyadékok és a gázok sűrűsége hőmérsékletük növekedésével csökken. A gázok sűrűsége a hőmérsékleten kívül a nyomástól függően is változik, növekvő nyomáson sűrűségük nő.

A víz sűrűsége különlegesen a többi anyagtól eltérően változik.

A víz sűrűsége a hőmérséklet függvényében	Sűrűség
0 °C-on:	999,868 kg/m ³
4 °C-on:	1000 kg/m ³
20 °C-on:	998,230 kg/m ³
25 °C-on:	997,04 kg/m ³
100 °C-on:	958,38 kg/m ³

A táblázatból látható, hogy a víz sűrűsége 4 °C-on a legnagyobb. 4 °C-nál kisebb hőmérsékleten a többi anyagtól eltérően nem nő, hanem csökken a hőmérséklete. A folyékony víz sűrűsége nagyobb, mint a jég sűrűsége, így a jég a víz tetején úszik. A víz 4 °C-os sűrűségmaximuma miatt hűl le télen a tengerek víze megközelítőleg csak 4 °C hőmérsékletre, mivel a nehezebb 4 °C-os víz lesüllyed és a mélyből a melegebb víz jut felszínre. További lehűléskor a hidegebb víz a felszínen marad és végül könnyebb sűrűségű jéggé alakul át. A jég a víz felszínén úszik és megvédi az alatta lévő vizet a lehűléstől, így a hideg nagyobb mélységig csak nehezen tud lehatolni és teljes terjedelmében csak nagyon nehezen fagy meg.

A víz másik tulajdonsága, hogy fagyáskor kb. 1/11-ed részével kiterjed. Ennek eredménye, hogy ha a víz megfagy egy csővezetékben vagy tartályban, térfogata megnő és szétrepeszt a csővezeték, ill. a tartályt. Télen ezért a csővezetéseket, tartályokat és egyéb berendezéseket vízteleníteni kell, vagy ha ezt nem lehet, valamilyen módon meg kell védeni ezeket a lefagyástól.

Viszkozitás

A viszkozitás az anyagok belső súrlódása. Két fajtáját különböztetjük meg:

- a **dinamikai viszkozitás**
- a **kinematikai viszkozitás**.

A viszkozitás értelmezését elsőként Newton adta meg, aki feltételezte, hogy a rétegek párhuzamos és egyenletes áramlása esetén az elmozdulás irányával ellentétes irányú súrlódó erő (F) egyenesen arányos a súrlódó felületek nagyságával (A) és a sebesség-gradienssel ($\Delta v/\Delta s$). Az arányossági tényező az adott gáz vagy folyadék anyagi minőségére jellemző állandó a **dinamikai viszkozitás** (η):

$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta s}$$

Az F/A fizikai mennyiség a **csúsztató feszültség** (τ), amelynek a segítségével a törvény az alábbi alakban is felírható:

$$\tau = \eta \cdot \frac{\Delta v}{\Delta s}$$

A dinamikai viszkozitás mértékegysége:

$$[\eta] = \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s \text{ (paszkálszekundum)}$$

A kinematikai viszkozitást a dinamikai viszkozitásból vezetjük le.

Használjuk még a **kinematikai viszkozitást** (betűjele: ν , nú), amely a dinamikai viszkozitás (η) és a folyadék sűrűségének (ρ) a hányadosa:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

A kinematikai viszkozitás mértékegysége:

$$[\nu] = \frac{m^2}{s}$$

A víz dinamikai viszkozitása $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on $10^{-3}\text{ Pa}\cdot\text{s}$, kinematikai viszkozitása pedig $10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

A tananyagot a **következő lépésekben** sajátítsa el:

Olvassa el figyelmesen az "**1. Folytonossági törvény**" című fejezetet, tanulja meg pontosan a bekeretezett, fontos fogalmakat, szabályokat, összefüggéseket. Válaszoljon szóban a következő kérdésekre!

Mit nevezünk térfogatáramnak? Hogyan lehet kiszámolni a térfogatáramot?

Hogyan lehet kiszámolni a csővezetékben áramló folyadék sebességét?

Hogyan lehet meghatározni a csővezeték átmérőjét?

Oldja meg a következő feladatokat!

1. feladat

A térfogatáram fogalma

Egészítse ki az alábbi meghatározást!

A térfogatáram egy adott alatt átáramló

2. feladat

Egy $0,1\text{ m}$ átmérőjű csővezetékben 2 m/s sebességgel víz áramlik. Számítsa ki a csővezetékben áramló víz térfogatáramát!

Adatok:

$d =$

$v =$

$\dot{V} =$

3. feladat

Egy tartályba szivattyúval vizet szállítunk. A csővezetékbe szerelt mennyiségmérő műszer által mutatott érték $0,314 \text{ m}^3/\text{s}$. A csővezeték belső átmérője 500 m . Számítsa ki a csőben áramló víz sebességét!

Adatok:

$$\dot{V} = \underline{\hspace{15em}}$$

$$d = \underline{\hspace{15em}}$$

 $v =$

4. feladat

Egy ülepítő berendezésbe óránként $3,6 \text{ m}^3$ szuszpenziót táplálunk be. A szuszpenziót betápláló csővezetékben az áramlási sebesség nem haladhatja meg a 2 m/s sebességet! Határozza meg a csővezeték átmérőjét mm-ben!

Adatok:

$$\dot{V} =$$

$v =$

$A =$

$d =$

5. feladat

Egy csővezeték 200 mm -es átmérője a csővezeték egy szakaszán 100 mm -es átmérőjű lesz. A 200 mm -es szakaszon a csővezetékben áramló víz sebessége 1 m/s .

a/ Írja fel a csővezetékre a folytonossági törvényt! Vezesse le a kisebb átmérőjű vezeték részben a sebesség meghatározására szolgáló összefüggést!

b/ Milyen kapcsolat van a sebességek viszonya és a keresztmetszetek, illetve az átmérők viszonya között?

c/ Határozza meg a 100 mm-es átmérőjű vezeték részben a víz áramlási sebességét!



Következő lépésként olvassa el figyelmesen a "2. Az áramlás jellege" című fejezetet, tanulja meg pontosan a bekeretezett, fontos fogalmakat, szabályokat, összefüggéseket. Válaszoljon szóban a következő kérdésekre!

Milyen áramlási formákat különböztetünk meg?

Hogyan számolható ki a Reynolds-szám? Milyen szerepe van a Re-számnak az áramlás jellegének meghatározásában?

Mit nevezünk sűrűségnek? Mi a sűrűség alapegysége?

Mit mutat meg a viszkozitás? Milyen viszkozitásokat különböztetünk meg?

Mi a dinamikai viszkozitás mértékegysége? Milyen kapcsolat van a dinamikai és kinematikai viszkozitás között? Mi a kinematikai viszkozitás mértékegysége?

Oldja meg a 6–7. feladatokat.

6. feladat

Egy 100 mm átmérőjű csővezetékben az víz áramlási sebessége 1 m/s. Számítsa ki a Re-szám értékét! Állapítsa meg az áramlás jellegét! A víz sűrűsége: 1000 kg/m^3 , a víz dinamikai viszkozitása: $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

Adatok:

$d=$

$v=$

$\rho=$

$\eta=$

Re=

7. feladat

Egy csővezetékben óránként 18 m^3 víz áramlik. Számítsa ki a csővezetékben áramló víz sebességét, ha a cső belső átmérője 200 mm! Számítsa ki a Re-számot! Határozza meg az áramlás jellegét! A víz sűrűsége: 1000 kg/m^3 , a víz dinamikai viszkozitása: $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

Adatok:

$$\dot{V} =$$

$$d =$$

Ha úgy érzi, **bizonytalan** a feladatok megoldásában, **tanulmányozza át még egyszer** a feladathoz tartozó fejezetet.

MEGOLDÁSOK

1. feladat

A térfogatáram egy adott keresztmetszeten időegység alatt átáramló folyadék térfogata.

2. feladat

Adatok:

Csőátmérő: $d = 0,1 \text{ m}$

Sebesség: $v = 2 \text{ m/s}$.

$$\dot{V} = v \cdot A = v \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = 2 \text{ m/s} \cdot \frac{(0,1 \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} = 2 \text{ m/s} \cdot 0,00785 \text{ m}^2 = 0,0157 \text{ m}^3 / \text{s}$$

3. feladat

Adatok:

$$\dot{V} = 0,314 \text{ m}^3 / \text{s} ,$$

$$d = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$v = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{V}}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{0,314 \text{ m}^3 / \text{s}}{(0,5 \text{ m})^2 \cdot \pi} = \frac{0,314 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,19625 \text{ m}^2} = 1,6 \text{ m/s}$$

4. feladat

Adatok:

$$\dot{V} = 3,6 \text{ m}^3 / \text{s} = \frac{3,6 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,6 \cdot 10^6} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}}{2 \text{ m/s}} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$d = 25 \text{ mm.}$$

5. feladat

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

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2}, \quad v_2 = v_1 \cdot \frac{\frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}}{\frac{d_2^2 \cdot \pi}{4}}, \text{ ebből:}$$

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}, \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{d_2^2 \cdot \pi}{4}}{\frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

b/ a sebességek és a keresztmetszetek viszonya: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$, illetve $\frac{v_1}{v_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$, vagyis: a sebességek fordítottan arányosak a keresztmetszetekkel, illetve az átmérők négyzetének viszonyával.

$$c/ v_2 = v_1 \cdot \frac{d_1^2}{d_2^2} = 1 \text{ m/s} \cdot \frac{(200 \text{ mm})^2}{(100 \text{ mm})^2} = 4 \text{ m/s.}$$

6. feladat

Adatok:

$$v = 1 \text{ m/s}$$

$$d = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$\rho = 103 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{1 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3}{10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 0,1 \cdot 10^6$$

, az áramlás turbulens

7. feladat

Adatok:

$$\dot{V} = 18 \text{ m}^3/\text{h} = 0,005 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$$

$$\rho = 103 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$v = \frac{\dot{V}}{d^2 \cdot \pi} = \frac{0,005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(0,2 \text{ m})^2 \cdot \pi} = 1,57 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A sebesség:

A Reynold-szám:

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

$$Re = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,2 \text{ m} \cdot 1,57 \text{ m/s} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3}{10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 0,314 \cdot 10^6$$

Az áramlás turbulens

Következő lépésként oldja meg az **Önellenző feladatokat!** Ha ezeket sikerül segítség nélkül megoldani, csak akkor lehet biztos benne, hogy kialakította az adott témában a munkája elvégzéséhez szükséges kompetenciákat.

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Töltse ki az alábbi táblázatot! Írja be a feladatok megoldásához szükséges számítási összefüggéseket!

Megoldandó feladat	Számítási összefüggés
Csővezetékben áramló anyag térfogatárama	
Csővezeték keresztmetszetének meghatározása, ha ismert a térfogatáram és az áramlási sebesség	
Csővezetékben áramló anyag sebességének számítása	
A folytonossági törvény alapösszefüggése	
Re-szám meghatározása	
Csővezeték átmérőjének meghatározása, ha ismert a térfogatáram és az áramlási sebesség	

2. feladat

Egy bepárló készülékbe óránként 360 m^3 oldatot táplálunk be egy csővezetéken. Az oldat áramlási sebessége 2 m/s lehet. Állapítsa meg a feladat megoldásához alkalmas csővezeték átmérőjét!

Adatok:

$$\dot{V} =$$

$$v =$$

$$A =$$

$$d =$$

3. feladat

Egy 200 mm átmérőjű csővezetékben víz áramlik 0,5 m/s sebességgel. A csővezeték átmérője a vezeték egy szakaszán 100 mm-re szűkül.

a/ Számítsa ki a víz sebességét a 100 mm átmérőjű csőszakaszban. Vezesse le az alapösszefüggésből a sebesség meghatározására szolgáló összefüggést!

b/ Mekkora a víz térfogatárama?

c/ Számítsa ki a Re-szám értékét mindkét csőszakaszban!

A víz dinamikai viszkozitása 10^{-3} Pa·s, sűrűsége 1000 kg/m³.

Adatok:

4. feladat

Egy csővezetékben óránként 36 m³ víz áramlik.

a/ Határozza meg a csővezeték átmérőjét, ha az áramlási sebesség $1,3$ m/s!

b/ Milyen az áramlás jellege a csővezetékben? Számítsa ki a Reynolds-szám nagyságát!

A víz kinematikai viszkozitása 10^{-6} m²/s, sűrűsége 1000 kg/m³.

Írja le a számításokhoz használandó összefüggéseket is!

Adatok:

MUNKANYAG

MEGOLDÁSOK

1. feladat

Megoldandó feladat	Számítási összefüggés
Csővezetékben áramló anyag térfogatárama	$\dot{V} = v \cdot A$
Csővezeték keresztmetszetének meghatározása, ha ismert a térfogatáram és az áramlási sebesség	$A = \frac{\dot{V}}{v}$
Csővezetékben áramló anyag sebességének számítása	$v = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{V}}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}}$
A folytonossági törvény alapösszefüggése	$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$
Re-szám meghatározása	$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta}$
Csővezeték átmérőjének meghatározása, ha ismert a térfogatáram és az áramlási sebesség	$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{\dot{V}}{v}}{\pi}}$

2. feladat

Adatok:

$$\dot{V} = 360 \text{ m}^3 / \text{h} = 0,1 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{0,1 \text{ m}^3 / \text{s}}{2 \text{ m/s}} = 0,05 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,05 \text{ m}^2}{\pi}} = 0,252 \text{ m}$$

3. feladat

Adatok:

$$d_1 = 200 \text{ mm}$$

$$d_2 = 100 \text{ mm}$$

$$v_1 = 0,5 \text{ m/s}$$

$$\rho = 103 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$a/ v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2}, \quad v_2 = v_1 \cdot \frac{\frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}}{\frac{d_2^2 \cdot \pi}{4}}, \text{ ebből:}$$

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{d_1^2}{d_2^2} = 0,5 \text{ m/s} \cdot \frac{(200 \text{ mm})^2}{(100 \text{ mm})^2} = 2 \text{ m/s}$$

$$b/ \dot{V} = v_1 \cdot A_1, \text{ vagy } \dot{V} = v_2 \cdot A_2$$

$$\text{és } A_1 = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4},$$

$$A_1 = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} = \frac{(0,2 \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$\dot{V} = v_1 \cdot A_1 = 0,5 \text{ m/s} \cdot 0,0314 \text{ m}^2 = 0,0157 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$c/ \text{Re}_1 = \frac{v_1 \cdot d_1 \cdot \rho}{\eta} = \frac{0,5 \text{ m/s} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3}{10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 10^4, \text{ illetve}$$

$$\text{Re} = \frac{v_2 \cdot d_2 \cdot \rho}{\eta} = \frac{2 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3}{10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 2 \cdot 10^4$$

4. feladat

Adatok:

$$\dot{V} = 36 \text{ m}^3/\text{h} = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 1,3 \text{ m/s}$$

$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

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

a/

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 1,3 \text{ m/s}}} = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,3 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ m}}{10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 1,3 \cdot 10^5$$

b/

Az áramlás keveredő, turbulens

A BERNOULLI TÖRVÉNY ÉS ALKALMAZÁSA

ESETFELVETÉS–MUNKAHELYZET

Munkafeladatai megoldása során gyakran kell üzemeltetni folyadékszállító berendezéseket, szivattyúkat. A szivattyúk helyes üzemeltetéséhez ismerni kell a folyadékok mozgatásához, szállításához szükséges energetikai törvényeket, összefüggéseket. Nem mindegy, hogy a szállításhoz szükséges energiamennyiség milyen nagyságrendű, a csővezetékrendszerek kiépítése mennyiben segíti elő a gazdaságos üzem feltételeit.

A szállítás energetikai viszonyai a Bernoulli törvény segítségével vizsgálhatók. **A Bernoulli törvény** ideális feltételek mellett írja le a **folyadékáramlás tulajdonságait**. **A valóságos esetekben** figyelembe kell venni a súrlódási és egyéb feltételeket. Ezek a **veszteséges áramlás esetei**.

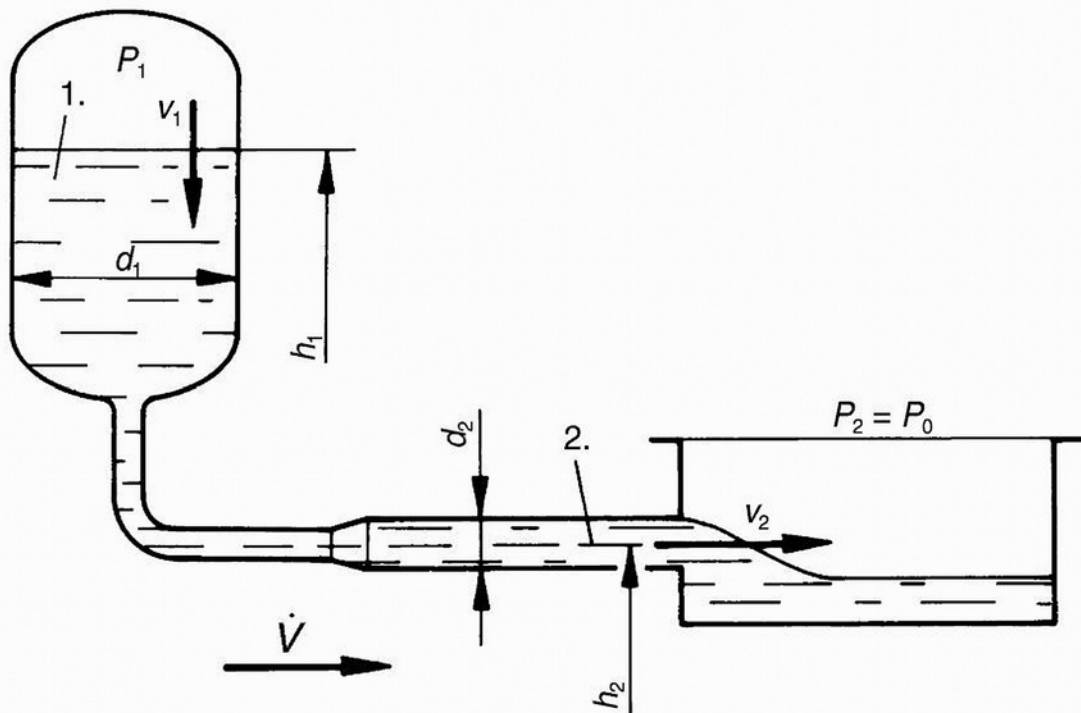
A Bernoulli törvény alapján számos áramlástani feladat megoldható. Többek között a Bernoulli törvény segítségével lehet meghatározni **csővezetékben áramló folyadék mennyiségét**.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

A FOLYADÉKÁRAMLÁS ENERGETIKAI VISZONYAI

1. A Bernoulli törvény

Egy csővezetékben \dot{V} mennyiségű folyadék áramlik az 1 pontból a 2 pont felé (2. ábra). A két pont között (h_1-h_2) szintkülönbség és (p_1-p_2) nyomáskülönbség van, valamint előfordulhat, hogy a csővezeték átmérőjének változása miatt az áramlási sebesség is megváltozhat.



2. ábra. Az áramló folyadék jellemzői

Az áramló anyag energiafajtái a helyzeti energia, a nyomási energia és a mozgási energia. A gyakorlatban az un. **fajlagos energiákkal**, az **egységnyi súlyú folyadék energiáival** dolgozunk.

A fajlagos energiák:

- fajlagos **helyzeti** energia,
- fajlagos **nyomási** energia,
- fajlagos **mozgási** energia.

A helyzeti energia:

$$E_h = G \cdot h = m \cdot g \cdot h, \text{ ahol:}$$

E_h a folyadék helyzeti energiája, J (joule, ejtsd dzsul);

G a folyadékreszecske súlya, N;

m a folyadék tömege, kg;

h egy tetszőleges szinttől mért magasság, m;

g a nehézségi gyorsulás, m/s^2 .

A **fajlagos helyzeti energia** az egységnyi súlyú folyadék helyzeti energiája. Az előző összefüggésből:

$$e_h = \frac{m \cdot g \cdot h}{m \cdot g} = h.$$

A fajlagos energia mértékegysége: $\frac{J}{N} = \frac{N \cdot m}{N}$.

A fajlagos helyzeti energia formális mértékegysége m . Ezért ezt a fajlagos energiát szokás **statikus magasságnak** nevezni.

A folyadék **nyomási energiája**:

$$W_p = F \cdot \Delta s = p \cdot A \cdot \Delta s = p \cdot \Delta V,$$

$$E_p = p \cdot \Delta V.$$

A fajlagos nyomási energia, az un. **nyomómagasság**:

$$e_p = \frac{E_p}{G} = \frac{p \cdot \Delta V}{G} = \frac{p \cdot \Delta V}{\rho \cdot g \cdot \Delta V} = \frac{p}{\rho \cdot g},$$

$$e_p = \frac{p}{\rho \cdot g}, \text{ ahol:}$$

E_p a nyomási energia, J;

e_p a fajlagos nyomási energia, J/N;

G a folyadékrezecske súlya, N;

p a nyomás, Pa;

ρ a sűrűség, kg/m³,

g a nehézségi gyorsulás, m/s².

A mozgási energia:

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$

A fajlagos mozgási energia, az un. **sebességmagasság**:

$$e_m = \frac{E_m}{G} = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot m \cdot g} = \frac{v^2}{2g}$$

$$e_m = \frac{v^2}{2g}, \text{ ahol:}$$

- E_m** a mozgási energia, J;
e_m a fajlagos mozgási energia, J/N;
G a folyadékrezecske súlya, N;
m a folyadék tömege, kg;
v az áramlási sebesség, m/s,
g a nehézségi gyorsulás, m/s².

A fajlagos energia mértékegysége formálisan itt is „m” mértékegységű, mögötte azonban a J/N mértékegység jelenik meg.

Bernoulli törvény

Az energia-megmaradás törvénye értelmében a 2. ábrán vizsgált 2 pontban az energiák egyenlők. A Bernoulli egyenlet az energia-megmaradás törvényét fejezi ki az áramló folyadékokban. Az energia-megmaradás szerint, az energiák átalakulhatnak, de összegük állandó marad. Az energiákat a műszaki gyakorlatban fajlagos energia formában adjuk meg.

A Bernoulli törvény matematikai formája:

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g}, \text{ vagy más formában:}$$

$$h + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} = C, \text{ (constans, állandó), ahol:}$$

- h** a folyadékrezecske magassági helyzete (egy adott ponttól számított magassága), m;
p a folyadék nyomása, Pa;
v a folyadék sebessége, m/s;
ρ a folyadék sűrűsége, kg/m³;
g a nehézségi gyorsulás, m/s².

A Bernoulli egyenlet szöveges formában:

Ideális folyadékok esetén az áramló folyadék **fajlagos helyzeti, fajlagos nyomási és fajlagos mozgási energiájának összege állandó.**

Ideálisnak tekintjük a folyadékot, ha a folyadék:

- viszkozitás (belső súrlódás) nélküli,
- összenyomhatatlan,
- és: ha nincs súrlódás a folyadék és a fal között.

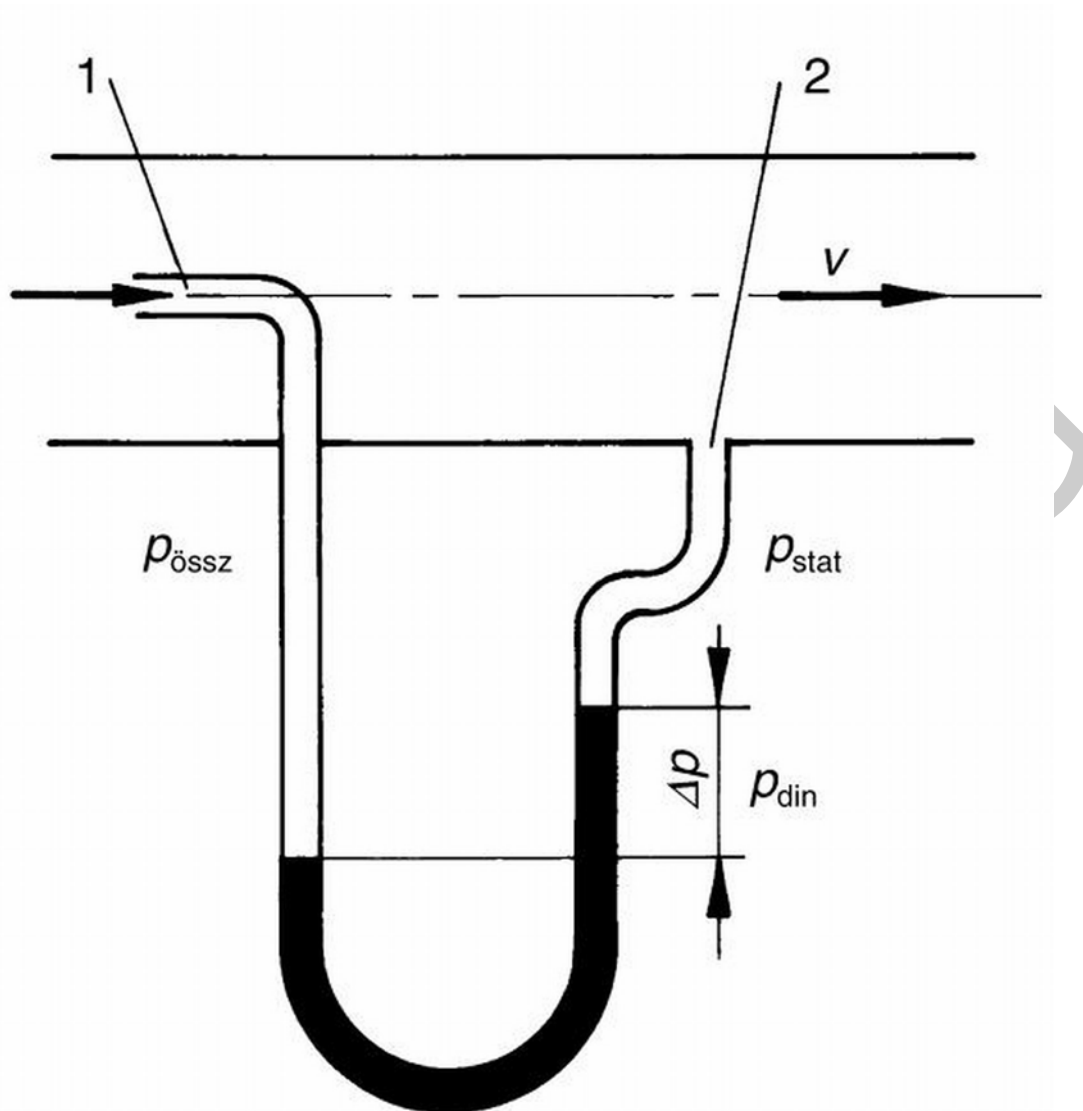
A valóságban folyadékok esetén az első és a harmadik feltétel nem teljesül, ebben az esetben figyelembe kell venni az ideálistól való eltérést (lásd: veszteséges áramlás).

A Bernoulli törvény felírható egységnyi tömegű anyagra is:

$$g \cdot h + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = C$$

2. Sebességmérés Pitot-csővel

A Bernoulli egyenlet segítségével meghatározhatjuk a csővezetékben áramló folyadék sebességét. A méréshez a Pitot csövet használjuk (3. ábra).



3. ábra. Pitot csöves sebességmérés

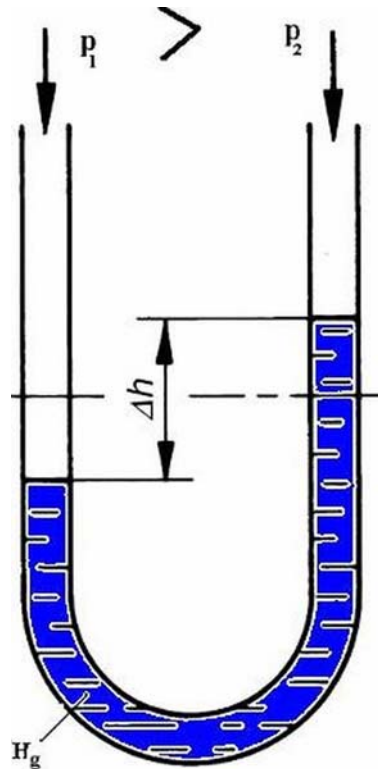
A Pitot-cső egyik vége merőleges az áramlás irányára (1 pont). Ebben a keresztmetszetben a folyadék **mozgási energiája** nyomási energiává, un. **torlónyomássá** alakul. Így az 1 pontra a folyadék nyomási energiája mellett a torlónyomás is hat. A két nyomás összegeként egy $p_{\text{össz}}$ nyomás ébred. A csővezetékéből kinyúló mérőcsatlakozókhoz kapcsolt U cső másik vége olyan szondához csatlakozik, amely párhuzamos az áramlással (2 pont). Így csak a folyadék nyomási energiája hat rá (ez az ún. statikus nyomás). Az U cső két vége közötti nyomáskülönbség alapján meghatározható a folyadék áramlási sebessége.

Az U-csöves nyomásmérő működése

A Pitot csöves méréshez vizsgáljuk meg az U-csöves nyomásmérő működését.

A nyomásmérő műszer egy állandó keresztmetszetű U alakúra hajlított üvegcső, amelynek szárai között hossz mérésre alkalmas, általában mm beosztású skálát helyeznek el. Az U csőben mérőfolyadék van, amely lehet víz vagy higany (esetleg más folyadék).

Ha a nyomás a két ágban azonos nagyságú ($p_1 = p_2$), az U cső mindkét ágában azonos szinten áll a folyadék. Abban az esetben viszont, ha a p_1 nyomás nagyobb, mint a p_2 nyomás, a folyadékszint kitér alaphelyzetéből. A nyomások különbségével az U csőben lévő mérőfolyadék hidrosztatikai nyomása tart egyensúlyt (4. ábra).



4. ábra. A mérőfolyadék kitérése

A 4. ábrán látható U-csöves nyomásmérőnél a nyomáskülönbséggel a Δh nagyságú folyadékoszlop hidrosztatikus nyomása tart egyensúlyt.

A folyadékoszlop hidrosztatikus nyomása:

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

Ahol: Δh a mért nyomáskülönbség, Δh a mérőfolyadék szintkülönbsége a két ágban, ρ a folyadék sűrűsége, g a nehézségi gyorsulás.

A mérőfolyadék alsó szintjén (vagy bármelyik szinten) a két ágban a nyomások megegyeznek. Felírva a két szintre a nyomásegyenlőséget, levezethető a nyomáskülönbség meghatározására alkalmas összefüggés:

$$p_1 = p_2 + \Delta h \cdot \rho \cdot g ,$$

Ebből kifejezhető a nyomáskülönbség meghatározására szolgáló összefüggés.

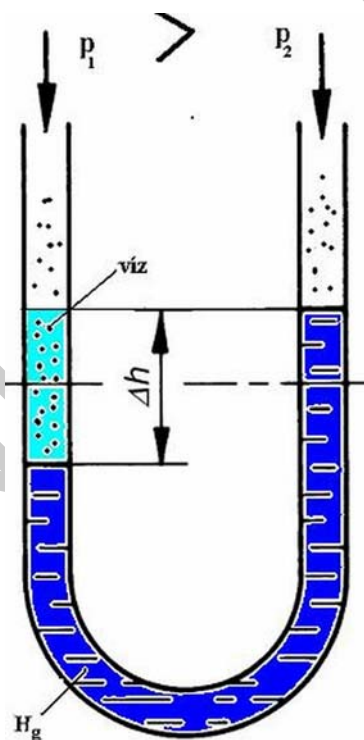
Az U-csöves nyomásmérővel mért nyomáskülönbség nagysága:

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \Delta h \cdot \rho \cdot g, Pa,$$

ahol p_1 a cső egyik szárához kapcsolt tér nyomása (jelen esetben a nagyobb nyomás), a p_2 az üvegcső másik szárához kapcsolt tér nyomása (a kisebb nyomás), Δp a nyomáskülönbség, Δh a mérőfolyadék szintkülönbsége a két ágba, ρ a mérőfolyadék sűrűsége, g a nehézségi gyorsulás értéke. Ha az értékeket SI alapegységekben helyettesítjük be, a nyomás mértékegysége Pa lesz.

A fenti összefüggés abban az esetben ad helyes eredményt, ha a mérőfolyadék felett lévő közeg hidrosztatikai nyomása elhanyagolható. A közeg hidrosztatikai nyomása elhanyagolható, ha a mért közeg és a mérőfolyadék sűrűségének különbsége nagy.

Nem hanyagolható el a két közeg sűrűségkülönbsége abban az esetben, ha víz nyomáskülönbségét mérjük higany mérőfolyadékkal. Ebben az esetben a higany fölött lévő víz hidrosztatikai nyomását is figyelembe kell venni.



5. ábra. A sűrűségkülönbséget figyelembe kell venni

1. feladat Az 5. ábrán látható U-csöves nyomásmérőnél nem lehet elhanyagolni a mérőfolyadék felett lévő folyadék sűrűségét (például víz és higany esetén). Írja fel a mérőfolyadék alsó szintjére (vagy bármelyik szintre) a nyomásegyenlőséget, és ennek alapján vezesse le a nyomáskülönbség meghatározására alkalmas összefüggést!

A feladat megoldásaként megkapjuk a nyomáskülönbség meghatározására szolgáló összefüggést.

Az U-csöves nyomásmérővel mért nyomáskülönbség nagysága abban az esetben, ha a mérőfolyadék feletti folyadék (vagy esetleg gáz) nyomását nem hanyagolhatjuk el:

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \Delta h \cdot (\rho_{Hg} - \rho_{víz}) \cdot g$$

ahol p_1 a cső egyik szárához kapcsolt tér nyomása (jelen esetben a nagyobb nyomás), a p_2 az üvegcső másik szárához kapcsolt tér nyomása (a kisebb nyomás), Δp a nyomáskülönbség, Δh a mérőfolyadék szintkülönbsége a két ágban, ρ_{Hg} a mérőfolyadék sűrűsége, $\rho_{víz}$ a mérőfolyadék felett lévő folyadék sűrűsége, g a nehézségi gyorsulás értéke. Ha az értékeket SI alapegységekben helyettesítjük be, a nyomás mértékegysége Pa.

A folyadék áramlási sebességének meghatározása

A Pitot cső 1 és 2 pontjára felírható a Bernoulli egyenlet:

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g},$$

de: $h_1 = h_2,$

és miután az 1 pontban a mozgási energia nyomási energiává alakul: $\frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_{össz}}{\rho \cdot g}.$

Ebből: $\frac{p_{össz}}{\rho \cdot g} = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g},$ ahol: $p_2 = p_{stat}$

A nyomásmérő műszer a két nyomás különbségét méri:

$$\Delta p = p_{\text{össz}} - p_{\text{stat}}$$

$$\frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{v^2}{2g}, \text{ ebből a sebesség kifejezhető.}$$

A csőben áramló, a Pitot csővel mért folyadéksebesség:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}, \text{ m/s,}$$

ahol: v a folyadék sebessége, m/s; Δp az U csővel mért nyomáskülönbség, Pa; ρ az áramló folyadék sűrűsége, kg/m³.

A Pitot cső a folyadékáram egy pontjában méri a folyadék áramlási sebességét. A csőben az áramlási sebesség a keresztmetszet függvényében változik, középen a legnagyobb, a cső falánál a legkisebb. Az ábrán látható kialakításban a Pitot cső a maximális sebességet méri.

Van olyan megoldás, amelynél a Pitot cső folyadékárammal szembeállított furatait az átlagsebesség zónájában helyezik el (ez az ún. multi-Pitot cső). Ebben az esetben a nyomásmérő műszer az átlagsebességnek megfelelő nyomáskülönbséget méri. Az áramló folyadék mennyiségét ezzel az átlagsebességgel lehet kiszámolni.

A csőben áramló folyadék mennyisége:

$$\dot{V} = A \cdot v_{\text{át}} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}},$$

ahol \dot{V} a csőben áramló folyadék mennyisége, m³/s; A a cső keresztmetszete, m²; v a csőben áramló folyadék átlagsebessége, m/s; d a csőátmérő, m; Δp a nyomásmérővel mért nyomáskülönbség, Pa; ρ az áramló folyadék sűrűsége, kg/m³.

2. feladat Egy U-csöves nyomásmérő két ágában a mérőfolyadék szintkülönbsége 50 mm. A mérőfolyadék higany (sűrűsége 13600 kg/m³). Mekkora a nyomásmérővel mért nyomáskülönbség, ha a mérőfolyadék fölött lévő anyag (például levegő) hidrosztatikai nyomása elhanyagolható? A nehézségi gyorsulás értékét vegye 10 m/s² értéknek.

Adatok:

3. feladat U csöves nyomásmérővel csővezetékben áramló víz két pont közötti nyomáskülönbségét mérjük. Az U csőben a mérőfolyadék szintkülönbsége 100 mm. A mérőfolyadék higany, sűrűsége: 13600 kg/m^3 . A nehézségi gyorsulás értékét vegye 10 m/s^2 értéknek.

a/ Határozza meg a nyomáskülönbséget, ha a mérés során a műszerben a mért anyag hidrosztatikai nyomását nem vesszük figyelembe!

b/ Határozza meg a nyomáskülönbséget, ha a mérendő anyag (víz) hidrosztatikai nyomását nem hanyagoljuk el!

Adatok:

4. feladat Csővezetékben áramló víz térfogatáramát multi-Pitot csöves mennyiségmérő műszerrel mérjük. Az U csőben a mérőfolyadék szintkülönbsége 80 mm. A mérőfolyadék higany, sűrűsége: 13600 kg/m^3 . A nehézségi gyorsulás értékét vegye 10 m/s^2 értéknek.

a/ Számítsa ki a nyomáskülönbséget! Elhanyagolható-e a víz hidrosztatikai nyomása?

b/ Számítsa ki a térfogatáramot, ha a csővezeték átmérője 100 mm.

Adatok:

MEGOLDÁSOK

1. feladat

$$p_1 + \Delta h \cdot \rho_{\text{víz}} \cdot g = p_2 + \Delta h \cdot \rho_{\text{Hg}} \cdot g ,$$

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \Delta h \cdot \rho_{\text{Hg}} \cdot g - \Delta h \cdot \rho_{\text{víz}} \cdot g ,$$

$$\Delta p = \Delta h \cdot (\rho_{\text{Hg}} \cdot g - \rho_{\text{víz}}) \cdot g .$$

2.feladat

Adatok:

$$\Delta h = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p = \Delta h \cdot \rho_{\text{Hg}} \cdot g = 0,05 \text{ m} \cdot 13600 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 6800 \text{ Pa}$$

3. feladat

Adatok:

$$\Delta h = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{víz}} = 103 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta p = \Delta h \cdot \rho_{\text{Hg}} \cdot g = 0,1 \text{ m} \cdot 13600 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 13600 \text{ Pa}$$

$$\Delta p = \Delta h \cdot (\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{víz}}) \cdot g = 0,1 \text{ m} \cdot (13600 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3) \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 12600 \text{ Pa}$$

4. feladat

Adatok:

$$\Delta h = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{víz}} = 103 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$d = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

A hidrosztatikai nyomás áramló víz–higany mérőfolyadék rendszer esetén nem hanyagolható el.

$$a/ \Delta p = \Delta h \cdot (\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{víz}}) \cdot g = 0,08 \text{ m} \cdot (13600 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3) \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 10880 \text{ Pa}$$

$$b/ \quad A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{(0,1 \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} = 0,00785 \text{ m}^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10880 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3}} = 4,5 \text{ m/s}$$

$$\dot{V} = A \cdot v = 0,00785 \text{ m}^2 \cdot 4,5 \text{ m/s} = 0,035 \text{ m}^3/\text{s}$$

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

A tananyagot a **következő lépésekben** sajátítsa el:

Olvassa el figyelmesen "A FOLYADÉKÁRAMLÁS ENERGETIKAI VISZONYAI" részből az "1. A Bernoulli törvény" című fejezetet, tanulja meg pontosan a bekeretezett, fontos fogalmakat, szabályokat, összefüggéseket:

Hogyan lehet kiszámolni a fajlagos helyzeti, nyomási és mozgási energiát?

Ismertesse a Bernoulli törvényt?

Oldja meg az 1–4. feladatokat.

Olvassa el figyelmesen a "2. Sebességmérés Pitot csővel" című fejezetet, tanulja meg pontosan a bekeretezett, fontos fogalmakat, szabályokat, összefüggéseket:

Ismertesse a Pitot csöves mennyiségmérés elvét!

Hogyan határozható meg az U-csöves nyomásmérővel a nyomáskülönbség?

Hogyan számolható ki a a Pitot cső segítségével a csővezetékben áramló folyadék térfogatárama?

Oldja meg az 1–4. feladatokat.

Ha úgy érzi, **bizonytalan** a feladatok megoldásában, **tanulmányozza át még egyszer** a feladathoz tartozó fejezetet.

Következő lépésként oldja meg az **Önellenőrző feladatokat!** Ha ezeket sikerül segítség nélkül megoldani, csak akkor lehet biztos benne, hogy kialakította az adott témában a munkája elvégzéséhez szükséges kompetenciákat.

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK**1. feladat**

Írja le a Bernoulli törvény megfogalmazását és matematikai alakját!

A Bernoulli törvény: _____

Matematikai alakja _____

2. feladat

U csöves nyomásmérővel csővezetékben áramló víz két pont közötti nyomáskülönbségét mérjük. Az U csőben a mérőfolyadék szintkülönbsége 120 mm. A mérőfolyadék higany, sűrűsége: 13600 kg/m^3 . A nehézségi gyorsulás értékét vegye 10 m/s^2 értéknek.

Határozza meg a nyomáskülönbséget! Elhanyagolható-e az U csőben a víz hidrosztatikai nyomása?

Adatok:

3. feladat

Csővezetékben áramló víz térfogatáramát multi-Pitot csöves mennyiségmérő műszerrel mérjük. Az U csőben a mérőfolyadék szintkülönbsége 150 mm. A mérőfolyadék higany, sűrűsége: 13600 kg/m^3 . A nehézségi gyorsulás értékét vegye 10 m/s^2 értéknek.

a/ Számítsa ki a nyomáskülönbséget!

b/ Számítsa ki a térfogatáramot, ha a csővezeték átmérője 200 mm.

Adatok:

MUNKAANYAG

MEGOLDÁSOK

1. feladat

Bernoulli törvény:

Ideális folyadékok esetén az áramló folyadék fajlagos helyzeti, fajlagos nyomási és fajlagos mozgási energiájának összege állandó.

Matematikai alakja:

$$h + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} = C$$

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

2. feladat

Adatok:

$$\Delta h = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m},$$

$$\rho_{\text{víz}} = 103 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

a/ Az U-csőben a víz hidrosztatikai nyomása nem hanyagolható el

$$\Delta p = \Delta h \cdot (\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{víz}}) \cdot g = 0,12 \text{ m} \cdot (13600 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3) \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 15120 \text{ Pa}$$

3. feladat

Adatok:

$$\Delta h = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m},$$

$$\rho_{\text{víz}} = 103 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$d = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m},$$

$$\text{a/ } \Delta p = \Delta h \cdot (\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{víz}}) \cdot g = 0,04 \text{ m} \cdot (13600 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3) \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 5040 \text{ Pa}$$

$$\text{b/ } A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{(0,2 \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5040 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3}} = 3,18 \text{ m/s}$$

$$\dot{V} = A \cdot v = 0,0314 \text{ m}^2 \cdot 3,18 \text{ m/s} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

IRODALOMJEGYZÉK**FELHASZNÁLT IRODALOM**

Bertalan Zsolt–Csirmaz Antal–Szabó László–Uhlár Zoltán: Műszaki ismeretek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999.

Bertalan–Szabó: Műveleti laboratóriumi gyakorlatok, B+V Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest 2002.

AJÁNLOTT IRODALOM

Szabó László: Szakmai alapismeretek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1994.

Bertalan–Fülöp–Molnár–dr. Kálmán: Géptan, KIT Képzőművészeti Kiadó és Nyomda Kft., Budapest, 2000.

Pattantyús: A gépek üzemtana. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.

MUNKANYAG

A(z) 2047-06 modul 023-as szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
52 524 01 0000 00 00	Kőolaj- és vegyipari géprendszer üzemeltetője
54 524 02 1000 00 00	Vegyipari technikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
22 óra

MUNKANYAG

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