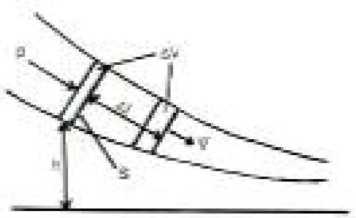
tudod-e?

Áramlások, örvények és egyéb érdekes jelenségek

II. rész

Az energiamegmaradás tétele áramló folyadékoknál, Bernoulli-törvénye

A 8. ábrán látható áramcsőben ideális folyadék áramlik (súrlódásmentes és összenyomhatatlan), ebben az esetben a folyadék összenergiája változatlan marad, mivel a súrlódás hiánya miatt nincs energiaveszteség. Az ábrán látható $\Delta m=\rho\Delta V$ elemi folyadéktömeg az áramcsőben elmozdul Δl elemi útszakaszon. Írjuk fel e mozgó folyadéktömeg összenergiáját:



8. ábra

$$E_{tot} = E_m + E_h + E_p = \text{állandó} \qquad (4)$$

Ahol E_m jelenti a folyadéktömeg mozgási energiáját, E_h a gravitációs helyzeti energiát és E_p a p belső sztatikus nyomásból származó F= p S nyomóerő mechanikai munkáját, miközben a Δm tömeg az áramcsőben Δl elmozdulást végez. Ezekre az energiákra felírhatók a következő összefüggések :

$$E_m = 1/2\ \Delta m\ v^2 = 1/2\ \rho\ \Delta V\ v^2,$$

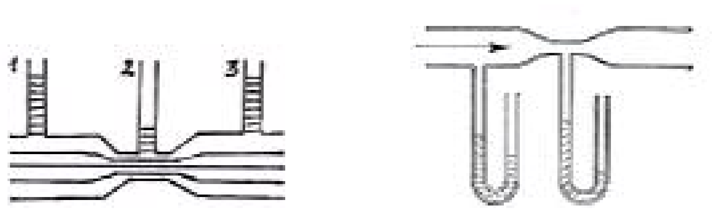
$$E_h = \Delta m\ g\ h = \rho\ \Delta V\ g\ h, \quad E_p = p\ S\ \Delta l = p\ \Delta V$$

$$E_{tot} = 1/2\ \rho\ \Delta V\ v^2 + \rho\ \Delta V\ g\ h + p\ \Delta V = \text{állandó} \qquad (5)$$

Ha az (5) egyenletet, amely az energiamegmaradás tételét fejezi ki, elosztjuk a folyadékrész ΔV térfogatával, a p_{tot} teljes nyomás értékét kapjuk, amely ideális folyadék esetén szintén állandó lesz az áramlási tér bármely pontjában :

$$p_{tot} = 1/2\ \rho\ v^2 + \rho gh + p = \text{const} \qquad (6)$$

Ez az összefüggés a hidrodinamika egyik fontos törvénye, amelyet Bernoulli-féle egyenletnek neveznek és azt fejezi ki, hogy általános esetben az áramló folyadék bármely pontjában a teljes nyomás (össznyomás) állandó; melynek értéke három komponensből tevődik össze. Az egyik komponens a p nyomás, amely a folyadékra ható külső nyomóerők hatására létre jött nyomás, ez Pascal törvényének megfelelően egyenletesen terjed a folyadékban mint belső nyomás és általában sztatikai nyomásnak nevezik, ellentétben a $p_d = 1/2\ \rho\ v^2$ nyomáskomponenssel amelyet dinamikai vagy torló nyomásnak neveznek. A $p_h = \rho\ g\ h$ a folyadékban ható hidrosztatikai nyomást jelenti. A p_d dinamikai nyomás csak mozgásban, áramlásban levő folyadékok vagy gázok esetében lép fel. Ha a folyadék nyugalomban van, $v = 0$, a dinamikai nyomás $p_d = 0$. A dinamikai nyomás létére a Bernoulli egyenletből következtettünk, amelyet elméleti úton vezettünk le. Az elméleti úton nyert összefüggés helyességét csak akkor fogadhatjuk el, ha azt kísérletekkel is tudjuk igazolni. A 9a. ábrán látható berendezéssel igazolhatjuk a dinamikai nyomás jelenlétét áramló folyadékokban, míg a 9b. ábra ugyanezt igazolja áramló gázok esetén.



a) *b)*

9. ábra

A 9a. ábrán látható áramlási cső vízszintes helyzetű, az áramlási cső végei között nincsen magasságkülönbség, h=0 tehát a (6) egyenletben nem lép fel a hidrosztatikai nyomás. A Bernoulli-egyenlet erre az áramlási csőre a következő alakban írható :

$$1/2\rho\, v^2 + p = \text{const.} \qquad (7)$$

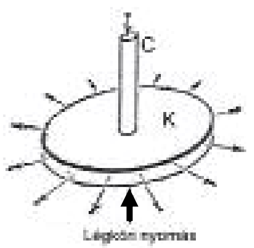
A 9a. ábrán látható áramlási csőben függőleges helyzetű oldalcsöveket forrasztottak, amelyek a vízszintes helyzetű áramlási csőhöz mint közlekedő edények csatlakoznak és így manométerként szolgálnak, ezek az adott helyen lévő sztatikai nyomást mérik. Látható, hogy a 2-es manométer, amely a kisebb keresztmetszetű csőrésznél méri a nyomást, kisebb sztatikai nyomást mér mint az 1-es és a 3-as manométerek, amelyek a kiszélesedő, nagyobb keresztmetszetű csőrésznél lévő nyomást mérik. Az 1-es és a 2-es manométereknél mért nyomások különbsége egyenlő kell, hogy legyen a két áramlási pont között fellépő dinamikai nyomásnövekedéssel. Más szóval, amennyivel csökken a sztatikai nyomás a 2-es pontban az 1-eshez viszonyítva, annyival nő a dinamikai nyomás e két pont között. Ez a megállapítás kísérletileg, mérésekkel igazolható, de a Bernoulli-egyenletből is következik. Írjuk fel a teljes nyomás értékét az 1-es és a 2-es áramlási pontra, a Bernoulli-egyenletnek megfelelően [(7) egyenlet]:

$$1/2\, \rho\, v_1^2 + p_1 = 1/2\, \rho\, v_2^2 + p_2 \qquad (8)$$

A (8) egyenletből következik, hogy a $\Delta\, p = p_1 - p_2$ sztatikai nyomáscsökkenés, egyenlő a $\Delta p_d = p_{d2} - p_{d1} = 1/2\ \rho\ v_2^2 - 1/2\ \rho\ v_1^2$ dinamikai nyomás növekedéssel. Tehát a Bernoulli-egyenletnek megfelelően, egy áramlási pontban amennyivel csökken a sztatikai nyomás, annyival nő a dinamikai nyomás. Ugyanez a jelenség figyelhető meg a 9b. ábrán gáz esetében. Az áramlási cső szűkületében megnő a sebesség, nő a dinamikai nyomás és lecsökken a sztatikai nyomás, emiatt a külső légköri nyomás a manométercsőben feljebb nyomja a folyadékot.

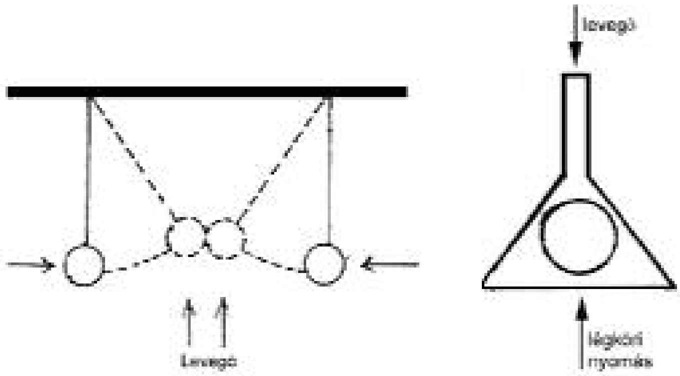
Ez a törvény, amely a Bernoulli-egyenlet következménye, számos gyakorlati alkalmazást tesz lehetővé, és több természeti jelenség magyarázatául szolgál. A következőkben ezek közül egy néhányat fogunk megemlíteni.

A dinamikai nyomás növekedés miatt fellépő sztatikai nyomáscsökkenést nagyon szemléletesen lehet bemutatni a 10. ábrán látható eszközzel, amelyet házilag is elkészíthetünk vastagabb kartonpapírból (dobozfedélből).



10. ábra

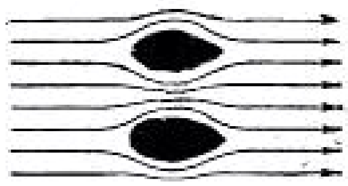
A K papírkorong közepén lévő környíláshoz csatlakozik a C cső (hozzáragasztjuk). A korong alatt néhány milliméter távolságra elhelyezünk egy papírlapot, úgy, hogy a korong és a papírlap síkjai párhuzamosak legyenek. Ha erősen belefújunk a csőbe, a kiáramló levegő a koronghoz rántja a papírlapot. A jelenség *aerodinamikai paradoxon* néven ismert a fizikában. Az elnevezés arra utal, hogy egy szokatlan jelenséggel állunk szemben, amely az egyszerű logikának ellentmond, hiszen azt várnánk, hogy a kiáramló levegő eltaszítja a papírlapot, ehelyett a koronghoz szívja, tehát az áramlással ellentétes irányban fog elmozdulni a papírlap. A magyarázat nyilvánvaló: a korong alatt nagy sebességgel kiáramló levegőáramnak nagy lesz a dinamikai nyomása, emiatt abban a térrészben lecsökken a sztatikai nyomás, amely kisebb lesz a külső légköri nyomásnál, ezért a külső légnyomás felfelé nyomja a papírlapot.



11. ábra

Ugyanezt a jelenséget mutathatjuk be a 11.a. ábrán látható kísérlettel. A két, egymáshoz közel, felfüggesztett ping-pong labda közé (egy csövön keresztül, vagy egy hajszárítóval), levegőt fújunk, a labdák egymáshoz ütődnek, a jelenség ugyancsak az aerodinamikai paradoxont igazolja. Az aerodinamikai paradoxon szemléltetésére a legegyszerűbb bemutató kísérlet a 11.b. ábrán látható. A szélesebb szájával lefelé fordított tölcsérbe behelyezünk egy ping-pong labdát és az ujjunkkal tartjuk, hogy ne essen le, majd a tölcsérbe erősen belefújunk és az ujjunkat elvesszük a labdától, miközben továbbra is erősen fújjuk a levegőt. Mindaddig, amíg a fújás tart, a labda nem esik le. A magyarázat az előzőek alapján kézenfekvő.

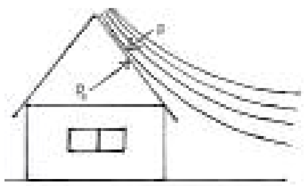
Ha két motorcsónak nagy sebességgel, egymáshoz közel és párhuzamosan halad, akkor a csónakok közötti részen a megnőtt dinamikai nyomás miatt lecsökken a sztatikai nyomás és jóval kisebb lesz mint a csónakok külső oldalain ható sztatikai nyomás, amely a csónakokat egymáshoz nyomja, és akár össze is ütközhetnek. A 12. ábra a csónakok körüli áramvonal-eloszlást szemlélteti.



12. ábra

Szélviharban a nagy sebességgel áramló szél felemelheti a háztető cserepeit, vagy fedőlemezét, amint azt a 13. ábra szemlélteti. A háztetővel párhuzamosan haladó nagysebességű széláramlás miatt a fedél fölött megnő a dinamikai nyomás és emiatt lecsökken a sztatikai nyomás, míg a padlástérben a légköri nyomás hat. Számítsuk ki, hogy v = 30 m/s = 108 km/óra szélsebesség esetén egy 25x30 cm^2 felületű tetőcserepet, a keletkezett nyomáskülönbség mekkora erővel emel fel.

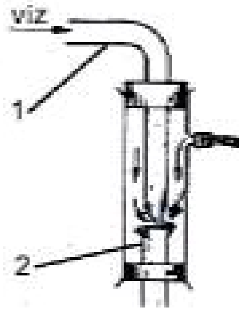
A cserépre ható nyomáskülönbség $\Delta p = p_o - p = \frac{1}{2}\rho v^2 = 580\ N/m^2$ ($\rho = 1{,}29\ kg/m^3$). Ez a nyomáskülönbség $F_0 = 52$ N emelőerőt eredményez. Egy ilyen cserép súlya $G_0 = 25$ N, de a szomszédos cserepekkel való átfedés miatt a fedélszerkezethez kapcsoló nyomóerőt az önsúly kétszeresének vehetjük, így a tartóerő $G = 50$ N, ennél a szélsebességnél kevésnek bizonyul és az F_0 emelőerő letépi a cserepet a háztetőről. A modern cserepeknél külön rögzítő elemekkel (szegek, csavarok) növelik a tartóerőt; ezáltal a tartóerő a többszörösére növelhető.



13. ábra

A következőkben egy néhány olyan eszközt ismertetünk, amelyeknek a működése, Bernoulli-törvényével magyarázható.

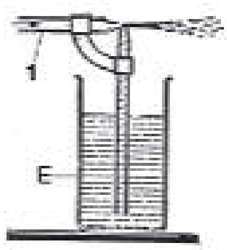
A 14. ábrán, a fizikai kísérleteknél nagyon jól alkalmazható vízlégszivattyú látható. Az üvegből vagy fémből készített eszköz egy csőrendszer, amelyben vízsugár áramlik.



14. ábra

A vízvezetékhez kapcsolódó 1-es cső elszűkülődő végén nagy sebességgel áramlik át a víz a kiszélesedő 2-es csőbe. Az 1-es cső végén a megnövekedett áramlási sebesség miatt megnő a dinamikai nyomás és a körülvevő térrészben lecsökken a sztatikai nyomás, emiatt szívó hatás lép fel és a 3-as csőhöz csatlakozó edényből levegőt vagy más gázt tud átszívni ebbe a térrészbe.

A térrészbe beszívott gáz bekerül a vízáramba és légbuborékok formájában távozik a 2-es csövön. A vízlégszivattyúval a szobahőmérsékleten levő telített vízgőzök nyomásáig lehet a külső edényben a nyomást csökkenteni, ami 10-20 torr nagyságú légritkításnak felel meg.



15. ábra

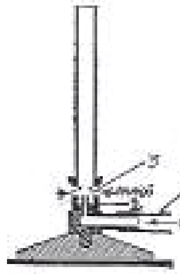
A 15. ábrán látható folyadékpermetező a vízlégszivattyúhoz hasonlóan működik, csak itt a szerepek felcserélődnek, ezt az eszközt nem vízsugár hanem levegőáram működteti és nem gázt szív be, hanem folyadékot szív fel.

Ha belefújunk az 1-es csőbe, a cső elszűkülő végén a nagy sebességgel kiáramló levegő a körülötte levő térrészben lecsökkenti a sztatikai nyomást (a megnövekedett dinamikai nyomás miatt), emiatt az E edényben levő folyadékra ható légköri nyomás felnyomja a folyadékot a 2-es csőbe és a cső végén kiáramlik, bekerül az 1-es cső légáramába, amely a folyadékot szétpermetezi.

A 16. ábrán a Bunsen–típusú gázégő működését szemléltetjük. Ahhoz, hogy egy gáz tökéletes égését megvalósíthassuk, gondoskodnunk kell megfelelő gáz-levegő (oxigén) keverék előállításáról. A gázégőknél a leggyakrabban alkalmazott módszer a megfelelő gázkeverék előállításához a sztatikai nyomáscsökkentés által történő levegő beszíváson alapszik.

Az 1-es csövön beáramló metán-gáz az elszűkülő 2-es nyíláson (dűzni) nagyobb sebességgel kiáramlik, emiatt a környezetében megnő a dinamikai nyomás és lecsökkenti a sztatikai nyomást, ami szívó hatást fejt ki, és így a külső környezetből a nagyobb légköri nyomás levegőt áramoltat be a gázáramba, ezáltal létrejön egy metán-gáz-levegő keverék, amely a gáz megfelelő égését biztosítja.

A 3-as nyílás méretét, ahol a levegő beáramlása történik, változtatni lehet, ezáltal szabályozhatóvá válik a gáz-levegő koncentráció és így biztosítható az optimális égési folyamat.



16. ábrán

A Bernoulli-törvény lehetővé teszi, hogy mérőszondák segítségével, folyadék (gáz) áramlási sebességét, térfogat vagy tömeghozamát, és az áramlásban fellépő nyomásokat mérhessük.

A 17. ábra a Pitot-csőnek nevezett mérőszonda elvi vázlatát mutatja be. A nyitott végű manométercsövön leolvasott Δp nyomáskülönbségből kiszámítható az áramlási sebesség :

17. ábra

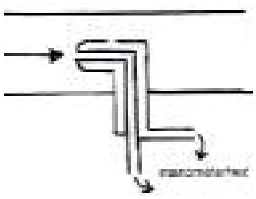
$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \qquad (9)$$

A Pitot-csővel az áramlás térfogat vagy tömeghozama is meghatározható. A térfogathozam : $Q_v = S.v$, és a tömeghozam $Q_m = S.\rho.v$, ahol S az áramlási cső keresztmetszete

18. ábra

A 18. ábrán a Venturi-csőnek nevezett mérőszonda látható. A manométeren mért Δp nyomáskülönbségből az áramlás v sebessége kiszámítható, ennek ismeretében az áramlás hozama is meghatározható:

$$Q_V = S_1 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho\left(\frac{S_1^2}{S_2^2} - 1\right)}} \qquad (10)$$



19. ábra

A Prandtl által kifejlesztett mérőszonda, amely a Pitot- és a Venturi-cső összekapcsolásából alakult ki (Prandtl-cső, 19. ábra), közvetlenül méri a dinamikai nyomást, ennek ismeretében kiszámítható az áramlási sebesség. Szélcsatornákban gázok áramlási sebességének a mérésére leginkább ezt a mérőszondát alkalmazzák.

Puskás Ferenc

Névadási, kódolási konvenciók

A névadási és kódolási konvenciók használata metainformációkat szolgáltat a programok olvasóinak (nem csak írni kell tudni jó programot, hanem olvasni is tudni kell őket – hibajavítás, későbbi módosítások stb. érdekében).

Az utasítások, alaptípusok stb. általában adottak egy programozási nyelvre nézve, így a programozó általában csak a felhasználói típusok, konstansok, változók stb. neveit adhatja meg, vagyis új azonosítókat vezethet be a programokba.