

A folyamatirányítás eszközei

Beavatkozó szervek - 1.

Dr. Telkes Zoltán

A folyamatirányítás eszközeit bemutató cikksorozat befejező részében a beavatkozó szervek ismertetésére kerül sor. A részletesebb vizsgálatot a szelepek igénylik. Emiatt az alkalmazástechnikai szempontok összefoglalása előtt szükségesnek látszott egy áramlástani összefoglaló, valamint az alapfogalmak definiálása. Az áramlási viszonyok bonyolultsága miatt a pontos és gyors szelepméretezés elképzelhetetlen a bevált számítógépes programrendszerek felhasználása nélkül.

Az irányítástechnikában a *beavatkozó szerv* az irányított folyamat (vezérelt vagy szabályozott szakasz) kiválasztott pontján az energiaáramot módosító szerkezet vagy áramkör, amely abból a célból avatkozik be, hogy az irányított jellemzőt (vezérelt vagy szabályozott jellemzőt) a megfelelő irányban változtassa (vezérelje vagy szabályozza).

A beavatkozások két fő változata

A *villamos energiaáramba* (feszültségbe, áramba) való beavatkozás folytonos karakterisztikájú (forgógépes, mágneses, félvezetős – tranzistoros, tirisztoros és triakos – erősítők) vagy diszkrét, két- vagy többállapotú eszközök (relék, mágneskapcsolók, félvezető /szilárdtest/- relék, tirisztoros, triakos kapcsolóerősítők) alkalmazásával valósul meg.

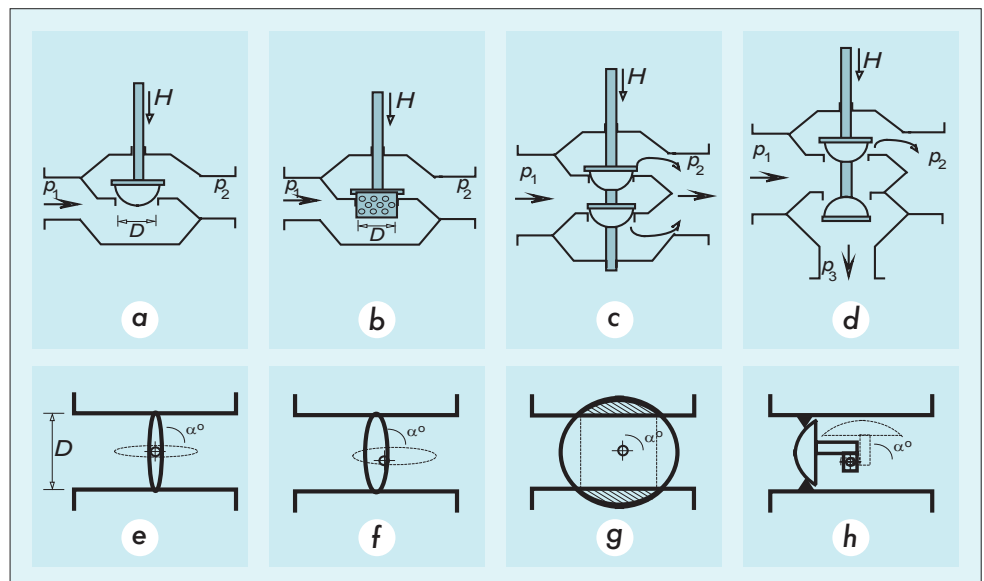
A *közegáram* (folyadék, gáz, gőz) által hordozott (mechanikai, kémiai, hő-) *energiaáramba* való beavatkozás eszközeit szerkezeti felépítésük alapján rendszerint négy csoportba sorolják:

- elmozdulást végző (elmozduló) záró-elemű szelepek,
- elfordulást végző (elforduló) záró-elemű szelepek,
- csappantyúk és zsaluk, végül
- tolózárak.

A felsorolt eszközöket a továbbiakban közös néven *szelepek* néven tárgyaljuk. A szelepeket a végrehajtó szerv mozgatja, ezzel változtatja az átáramlási keresztmetszetet.

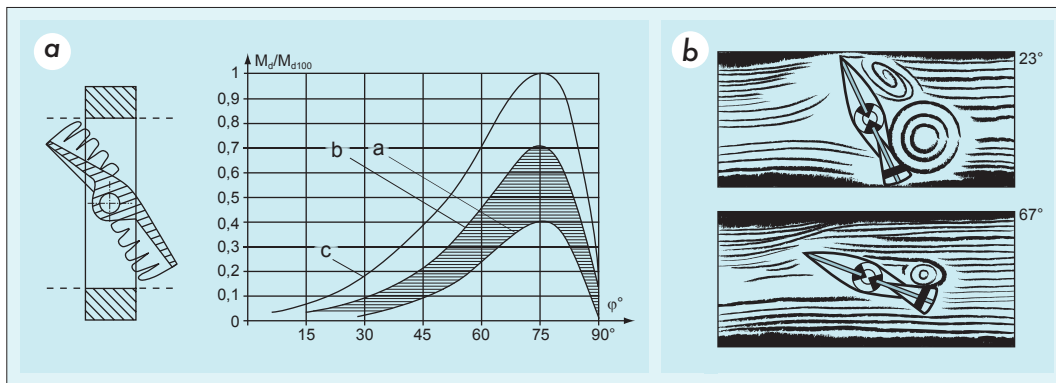
A két, egymástól eszközeiben és alkalmazási területében merőben eltérő beavatkozó szerv közül jelen cikkben csak az utóbbival foglalkozunk.

A szelepméretezés célja az, hogy az adott folyamat (technológiai eljárás) és az *irányítás* valamennyi követelményét kielégítő *beavatkozó szervet* válasszunk katalógusból, vagy egyedi gyártású beavatkozó szervet specifikáljunk. A szelep a technológiai eljárások nélkülözhetetlen eszköze akkor, ha nincs szabályozás, de ha a szabályozási kör beavatkozó szerve is, akkor ugyanolyan mértékben része a szabályozásnak, mint



1. ábra A leggyakoribb szelepek vonalas vázlata. *p* jelenti a nyomást a be- vagy kimeneten
 Felső sor: elmozduló záró-elemű szelepek oldalnézeti metszetben: a) forgási paraboloid alakú zárótest, b) furatos-henger zárótest, c) kétülékes, tehermentesített szelep, d) háromútú szelep.
 Alsó sor: elforduló záró-elemű szelepek forgástengely felőli metszetben: e) pillangószelep zárt helyzetben (pontvonal: nyitott helyzet), f) kétszeresen excentrikus tengelyű pillangószelep zárt helyzetben (pontvonal: nyitott helyzet), g) gömbszelep nyitott helyzetben (pontvonal: zárt helyzet), h) excentrikus tengelyű, gömbszelep-zárótestű (Camflex) szelep zárt helyzetben (szaggatott vonal: nyitott helyzet).

a szabályozó vagy a távadó, és azt a szabályozástechnikai feltételeknek megfelelően kell kiválasztani. Ma ugyan még sokszor vitatott kérdés, hogy a megfelelő szelep kiválasztása a *szabályozástechnikus* vagy a *gépésztervező* feladata. A felületesen vagy hibás elvek alapján kiválasztott szelepek működési zavarai azt bizonyítják, hogy szükség van a szabályozástechnikai követelmények figyelembevételére is. Ez a szabályozástechnikai szakember feladata, aki viszont *nem nélkülözheti* a kiválasztásra vonatkozó részletes ismereteket. A szabályozástechnikusok által a mai legkorszerűbb méretezési eljárással kiválasztott szelepek megfelelően működnek. A kiválasztásra vonatkozó eljárásokat szabványok írják elő. A nemzetközi szabványajánlásokban és a fontosabb nemzeti szabványokban az utóbbi években jelentős változások következtek be. A továbbiakban ezek figyelembevételével foglaljuk össze a szelepek alkalmazásának, méretezésének legfontosabb szabályait.



2. ábra Elforduló záró-elemű szelepek terhelési viszonyai.

Az áramlás okozta terhelőnyomaték-csökkentés: a) bordázással, b) halformával (fishtail).

Az a) ábra szerkezeti vázlatával a nyomaték-szögelfordulás jelleggörbe halformára (a-jelleggörbe) és bordázott formára (b-jelleggörbe), valamint sima falú pillangószelepre (c-jelleggörbe)

A szelepek szerkezete

Az energiahordozó közeg halmazállapota lehet folyadék, gáz vagy gőz. (A szilárd halmazállapotú – pl. por alakban áramló – közegekbe való beavatkozás más kategória.) Az önműködő (automatikus) beavatkozás jellege lehet kétállású (záró-nyitó) vagy folytonos változtatást előidéző művelet. A közegáramba beavatkozó szerveket szűkebb értelemben szerkezeti felépítésük alapján rendszerint két csoportba sorolják: elmozdulást végző (elmozduló), záró-elemű szelepek vagy elfordulást végző (elforduló), záró-elemű szelepek.

Az elmozduló és elforduló záró-elemű szelepek leggyakoribb változatainak vonalas vázlatrajza az 1. ábrán látható. A szelepek szerkezeti megoldásainak választéka a jelen időszakban is gyorsan bővül az új tervezési, méretezési eljárások, az újonnan alkalmazható szerkezeti anyagok és a folyamatosan növekvő követelmények eredményeként. A szerkezeti kivitelek legújabb irányzatai nem elsősorban új működési elvekre összpontosulnak, hanem a meglévő konstrukciók részleteinek jobb megoldásaira. Az új gyártmányokban egyre kompaktabb megoldásokra törekednek, és ezzel méretcsökkenést érnek el. A méretsorozatoknál a moduláris (építőköcka-) elv terjed, azonos alkatrészek több típusba való beépítésével. A szelepházakat áramlástanilag egyre kedvezőbb alakúra készítik. A szelepek terhelésének csökkentésére együlékes szelepeknél a nyomáskiegyenlítő kamrát (1.c ábra) alkalmazzák, vagy annak méretét növelik. A pillangószelepeknél speciális kialakításokkal törekednek a terhelőnyomaték csökkentésére (2. ábra). Új mikroszelep-sorozatok jelentek meg (pl. 1/4"-os legkisebb névleges átmérővel és 10⁻⁵ m³/h maximális átömléssel).

A szerkezeti megoldások részletezése nem tárgya e cikknek, illusztrációul csupán néhány speciális, a meghatározott célok elérését szolgáló, nagyon leegyszerűsített, vonalasan ábrázolt szerkezeti kivitelt mutat be az 1. ábra.

A szelepek jelleggörbéi

A folyamatszabályozási alkalmazások esetén a szerkezeti megoldások kialakításával nem szükséges foglalkozni, a meglévő megoldások közül kell kiválasztani a megfelelőt. A kiválasztás a szelepek különböző jelleggörbéi alapján történik. A következőkben a jelleggörbék fajtáit ismertetjük.

Terhelési jelleggörbe

Mivel a szelepek működtetését a végrehajtó szerv végzi elmozdulás (löket) vagy szögelfordulás formájában, és a szelepek méretválasztéka igen nagy (a kisméretű, 6 mm körüli névleges

átmérőtől az 1 m-t megközelítő átmérőig), a végrehajtótól elvárt munkavégzési igény is széles tartományú, esetenként alig teljesíthető nagyságú. A terhelési jelleggörbe a terhelő erő vagy nyomaték értékét adja meg a nyomáskülönbség függvényében.

Elmozduló záró-elemű szelepek esetében, ha nincs tehermentesítés, a szelepre jutó nyomáskülönbség a szelep keresztmetszetével nagyjából arányos erőt visz át az elmozdulást előidéző rudazatra (a szelepszárra), és a végrehajtó szervnek ezt az erőt kell

legyőznie. Ez az erő a szelep zárt állásában a legnagyobb, és a nyitás következtében létrejövő nyomáskülönbség-csökkenés miatt csökken. A nyugalmi terhelés csökkentésének egyik szerkezeti megoldása a kétülékes szelep (1.c ábra), amelyben a terhelést a két, közel egyforma zárótest által átbocsájtott, ellentétes irányú közegáram által keltett erő különbsége jelenti.

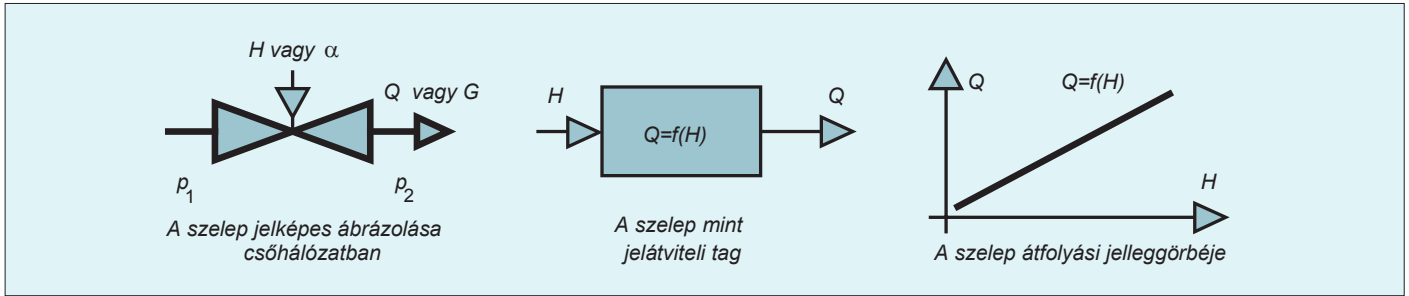
Kissé más a helyzet az elforduló záró-elemű szelepek esetében. Itt a terhelést a nyomaték-szöghelyzet jelleggörbével jellemzik. A pillangószelepnél például a teljesen zárt és teljesen nyitott állapotban a két „pillangószárny” (a kör alakú tárcsa két félköre) nagyjából azonos terhelőnyomatékot képez. A közbenső szöghelyzetekben azonban a két szárny környezetében létrejövő áramlási kép eltérő, és ezért a tárcsára záró-irányú, szögelfordulás-függő terhelőnyomaték hat, a jelleggörbének maximuma van (2.a ábra c-jelű jelleggörbéje). A maximális terhelőnyomaték jelentős lehet, ezért konstrukciós megoldásokat kerestek ennek csökkentésére. Példa erre a pillangószelep kiegészítése olyan bordázattal, ami az áramlási képet a nyomaték jelentős csökkentésének irányában módosítja (2.a ábra szerkezeti vázlat). Elterjedt megoldás a halformájú keresztmetszet (fishtail, 2.b ábra), amelynek szintén jelentős nyomatékcsökkenítő hatása van, amit a pillangószeleppel összehasonlítva a 2.a ábra a-jelű jelleggörbéje mutat be (a terhelőnyomaték-jelleggörbe maximuma csak mintegy egyharmada az azonos méretű pillangószelepeké). A szelep 23°-os elfordulásánál a halforma elején keletkező torlónyomást a farokrész mögött keletkező örvény ellensúlyozza.

Szerkezeti jelleggörbék

A keresztmetszeti jelleggörbe a szelep bemenő H elmozdulásának vagy α elfordulásának függvényében azt az A keresztmetszet-változást adja meg (A(H), A(α)), aminek eredménye az áramlászóváltozás. A profilgörbe az elmozduló záró-elemű szelep forgástest alakú záróelemének geometriai kialakítását (pl. forgási paraboloid) írja le.

Átfolyási jelleggörbe

A legfontosabb jelleggörbe a szelepen átáramló közeg értékével kapcsolatos. Szabályozástechnikai tagként értelmezve a szelepet, bemenőjele mindig mechanikai mennyiség (H elmozdulás vagy α szögelfordulás), kimenőjele pedig a rajta átfolyó közeg (folyadék, gáz vagy gőz) árama (Q térfogat-, Q_N normál térfogat- vagy G tömegárama). E két mennyiség közötti matematikai összefüggés az átfolyási jelleggörbe. Ezeket a mennyiségeket a szakirodalom nagybetűvel jelöli.

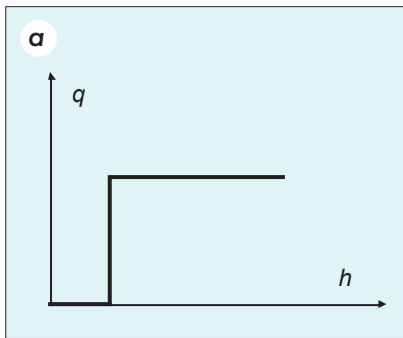


3. ábra A szelep legfontosabb ábrázolási módjai

Az átfolyási jelleggörbe a 3. ábra szerinti jelölésekkel adható meg. Gyakran relatív léptéket alkalmaznak ($h=H/H_{max}$, $q=Q/Q_{max}$, $g=G/G_{max}$). Az átfolyási jelleggörbét az áramlástan alkalmazásoknál szokásos tárgyalásmód szerint külön az összenyomhatatlan (inkompresszibilis) és külön az összenyomható (kompresszibilis) közegre adják meg. A $Q=f(H)$ átfolyási jelleggörbe menetét a szabályozó szelepek esetén a szabályozástechnikai követelmények szabják meg, a gyártóknak ez komoly konstrukciós követelményt jelent. A leggyakoribb átfolyási jelleggörbék a következők (4. ábra):

- **állásos jelleggörbe** (kapcsoló jelleggörbe, gyorsnyitású görbe, kétállású szelep jelleggörbéje, 4.a ábra). Vezérléstechnikai célokra vagy állásos szabályozásra használatos, kétértékű függvény nagymerekségű átmenettel.
- **lineáris jelleggörbe**. Származtatása: azonos dh bemenőjel-változáshoz a kimenőjelnek azonos dq változása jön létre. Szabályozástechnikailag a legkézenfekvőbb, mert lineáris jelátviteli tagot eredményez. Alakja: $q=k_L \cdot h$. A görbe menete a 3. és 4.b ábrán látható.

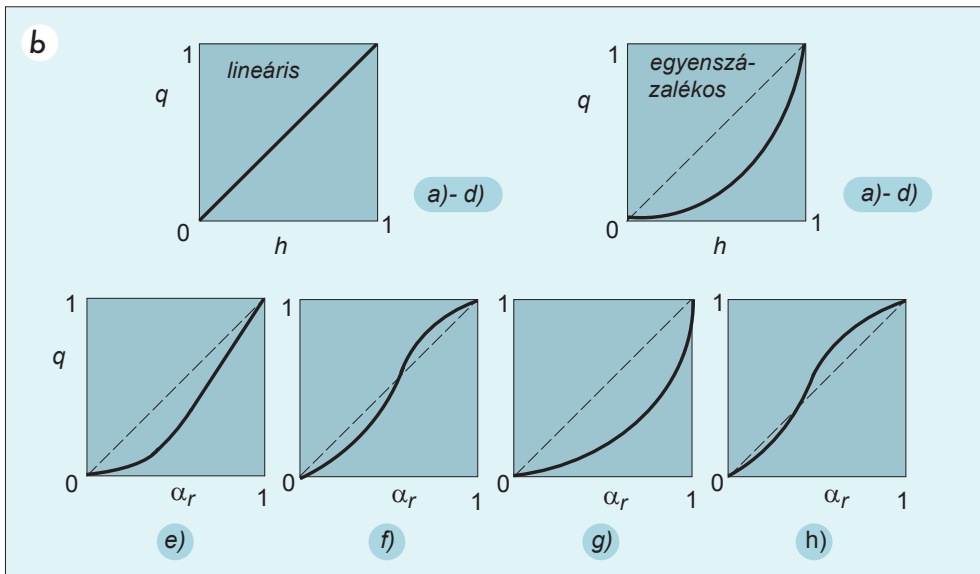
- **egyenszázalékos (exponenciális) jelleggörbe**. Származtatása: azonos dh bemenőjel-változáshoz a kimenőjelnek azonos **százalékú** (arányú) dq/q változása jön létre. Alakja: $dq/q=k_E dh$, ill. integrálás és invertálás után $q=q_0 e^{k_E h}$. A meredekségre jellemző k_E tényező megváltoztatása más kezdeti q_0 pontot eredményez az exponenciális függvényben. A zérus h helyetthez tartozó q_0 közegáram az exponenciális függvény szerint sohasem zérus (a gyakorlatban a teljes zárást csak a függvénytől a zérus közelében eltérő korrekcióval lehet elérni). A lineáris és az egyenszázalékos jelleggörbék összehasonlítása látható az 5. ábrán.
- **természetes jelleggörbe**. Általában az elforduló záró-elemű szelep jelleggörbéje. Ekkor a záróelem valamilyen természetes geometriai alakzat, pl. gömb, tárcsa vagy más elem, aminek geometriája a szerkezeti, és ezért az átfolyási jelleggörbét eleve meghatározza, és az nem változtatható meg. Leírni ezért csak az általános formulával lehet: $q=f(\alpha_r)$, és – mivel nem analitikus függvény – rendszerint grafikusán, kísérletileg meghatározott karakterisztikával vagy közelítő matematikai függvénnyel adják meg. Az elforduló záró-elemű szelepek ilyen karakterisztikájúak (4.b ábra), és csupán egyes szakaszaiban közelít valamilyik szabályos, analitikus függvénnyel leírható jelleggörbéhez.



4.a ábra Kétállású jelleggörbe

4.b ábra A leggyakoribb szelepek átfolyási jelleggörbéi (q relatív térfogatáram a h relatív löket vagy az α_r relatív elfordulás függvényében).

Felső sor: elmozduló záró-elemű – az 1. ábrán látható a)-d)-jelű – szelepek szokásos jelleggörbéi
 Alsó sor: elforduló záró-elemű szelepek természetes jelleggörbéi az 1. ábra alapján: e) pillangószelep, f) kétszeresen excentrikus tengelyű pillangószelep, g) gömbszelep, h) excentrikus tengelyű, gömbszelet-zárótestű (Camflex) szelep



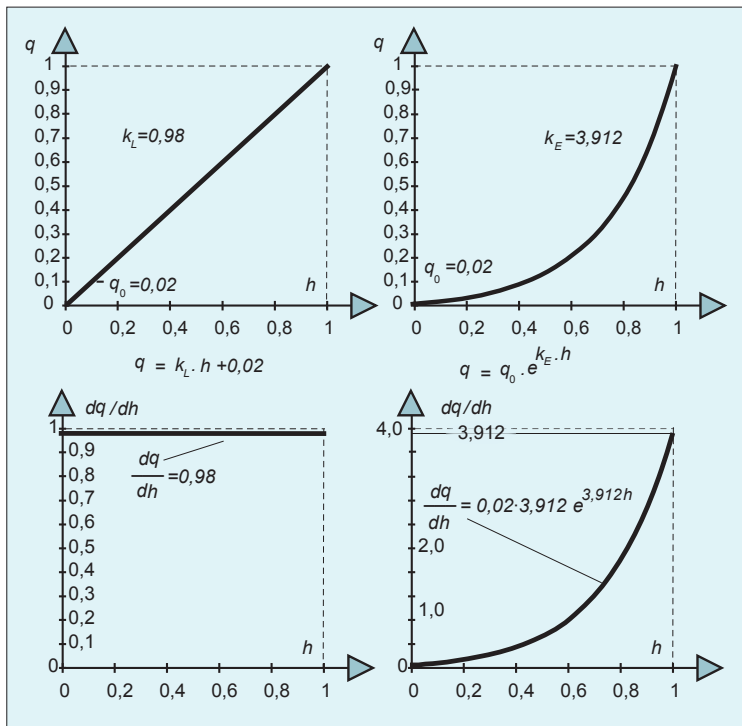
Az átfolyási jelleggörbe számítása

A $q=f(h)$ jelleggörbe a térfogat- vagy tömegáram értékét adja meg a szelep bemeneti elmozdulásának vagy elfordulásának függvényében. Az átáramló mennyiség függ a szelep alakjától, az előtte és mögötte lévő nyomástól, az áramló közeg halmazállapotától és fizikai jellemzőitől. Ezeknek a tényezőknek a hatását csak áramlástanai számításal lehet meghatározni és a méretezéskor számszerűen figyelembe venni. Ezért szükség van a legfontosabb áramlástanai törvények, szabályok és számítások áttekintésére.

A Bernoulli-egyenlet¹

Az áramlástan általános, térbeli áramlásra érvényes számítási módszeréből levezetett alapvető egyenletét, az örvénymentes, áramcsőben

¹ Daniel Bernoulli: Hydrodynamica, Argentorati, 1738



5. ábra Lineáris és egyenszázalékos átfolyási jelleggörbe (felül) és mindkettő differenciáhányadosa (átviteli tényezője, alul), példaként konkrét számadatokkal

végbemenő, sűrűdásmentes, időálló (stacionárius) áramlásra vonatkozó Bernoulli-egyenletet a következő alakban használják (6. ábra):

$$\left[\frac{v^2}{2} + U + \int \frac{dp}{\rho} \right]_1 = 0 ,$$

ahol v a sebesség, U a térerő potenciálja, p a nyomás és ρ a sűrűség.

Ennek az egyenletnek két olyan esetre vonatkozó megoldása következik, amire a továbbiakban szükség lesz.

Összenyomhatatlan (inkompresszibilis), sűrűdásmentes közeg vízszintes áramlása.

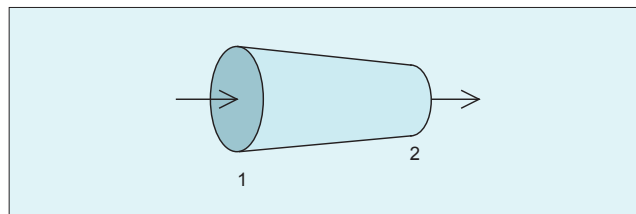
A vízszintes áramlás miatt az U térerő-potenciál állandó, vagyis azonos a 6. ábrán látható áramcső 1, ill. 2 pontjában, ezért a különbségük zérus. A sűrűség nem függ a nyomástól, ezért a nyomás szerinti integrál kifejezéséből kiemelhető, az integrál elvégezhető. Az egyenlet erre az esetre tehát:

$$\left[\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} \right]_1 = 0 .$$

Ha az 1 pontban, a belépés helyén az értékek ismertek, akkor az áramcső 2 pontjában levő sebesség tekinthető szekunder változónak, és azt a sebességhányados megtartása céljából a következő átalakítással kapjuk meg:

$$\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} + \frac{p_2 - p_1}{\rho} = 0 ,$$

$$\frac{v_2^2}{2} \left(1 - \frac{v_1^2}{v_2^2} \right) = \frac{p_1 - p_2}{\rho} ,$$



6. ábra A Bernoulli-egyenletnél feltételezett áramcső

$$v_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{v_2^2}}} \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} .$$

A 2 pontban ismert v_2 sebességből meghatározható a Q_2 térfogatsebesség, ami a keresztmetszet és a sebesség szorzata. Ha ez a keresztmetszet A_2 , akkor az alábbi folytonossági egyenlet segítségével és a sebességhányadosok kiküszöbölésével kapcsolat teremthető az 1 és 2 pont sebességei között:

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 ,$$

$$\rho_1 = \rho_2 ,$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} = \beta^2 .$$

Behelyettesítve és a keresztmetszet-hányadost a továbbiakban β^2 -tel jelölve:

$$Q_2 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} .$$

A G_2 tömegsebességet (tömegáramot) a térfogatsebességből a (jelenlegi esetben állandó) ρ sűrűséggel szorozva kapjuk meg:

$$\begin{aligned} G_2 &= \rho \cdot \frac{A_2}{\sqrt{1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}}} \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} = \\ &= \frac{A_2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \sqrt{2\Delta p \rho} , \end{aligned}$$

ahol:

$$\Delta p = p_1 - p_2 .$$

A továbbiakban rátérünk az összenyomható (kompresszibilis) közegek sűrűdásmentes, vízszintes áramlásának a leírására, majd a veszteséges áramlások témakörét tárgyaljuk.

(Folytatjuk!)