

5. Áramlási veszteségek mérése

A mérés célja: adott körkeresztmetszetű csőben meghatározni a csősurlódási tényező (λ) értékét, valamint a különböző csőszerelvényeknél a veszteségtényező (ζ) értékét.

A surlódási és leválási veszteségek, mint a két leglényegesebb veszteségfajta, arányos a sebességi energiával, s így a nyomásveszteség

$$\Delta p' = \zeta \rho \frac{v^2}{2}, \quad (4)$$

ahol v a csőben áramló közeg sebessége.

A $\Delta p'$ értéke meghatározható nagy pontosságú differenciálmánométer segítségével, ill. U-csőves manométerrel. A ζ veszteségtényező nagysága egyenes körkeresztmetszetű csőben

$$\zeta = \lambda \frac{l}{d} \quad (5)$$

összefüggésből számítható.

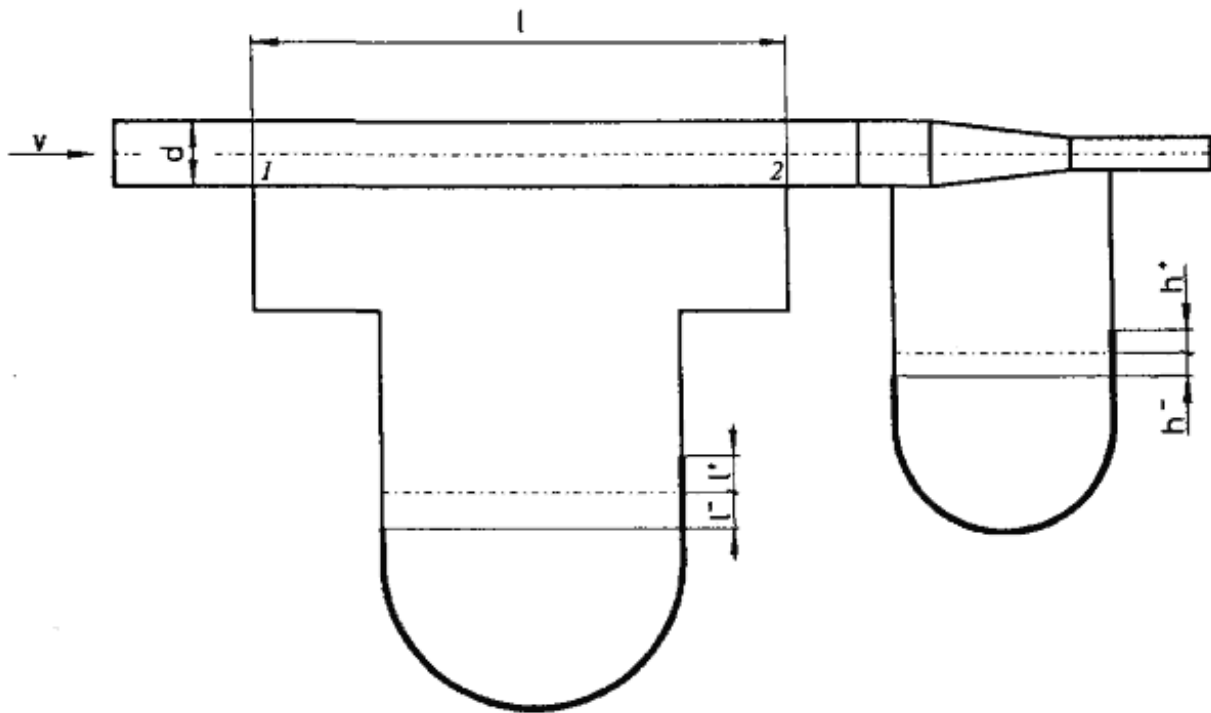
5.1. A csősurlódási tényező (λ) meghatározása

A 2. ábrán látható mérési vázlat 1 és 2 pontjára felírható az áramló közegre a Bernoulli-féle energiaegyenlet, a két pont közötti veszteségeket is figyelembe véve

$$\rho g h_1 + p_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = \rho g h_2 + p_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \Delta p'. \quad (6)$$

A cső egyenletes keresztmetszete és vízszintes elhelyezése miatt $h_1 \approx h_2$ és $v_1 \approx v_2$ -nek vehető, és így

$$\Delta p' = p_1 - p_2. \quad (7)$$



2. ábra

A mérésre felírva az egyensúlyi egyenletet

$$p_1 + h\rho_l g = p_2 + (h - \Delta h)\rho_l g + \Delta h\rho_v g, \quad (8)$$

$$p_1 - p_2 = \Delta h g (\rho_v - \rho_l), \quad (9)$$

ahol $\Delta h = l^+ + l^-$,

ρ_v a mérőfolyadék (víz) sűrűsége,

ρ_l az áramló közeg (levegő) sűrűsége.

Ezt visszahelyettesítve a (7) összefüggésbe kapjuk, hogy

$$\Delta p' = p_1 - p_2 = \Delta h (\rho_v - \rho_l) g = \zeta \rho_l \frac{v^2}{2} = \lambda \frac{l}{d} \rho_l \frac{v^2}{2}, \quad (10)$$

és ebből

$$\lambda = \frac{\Delta h (\rho_v - \rho_l) d^2 g}{lv^2 \rho_l}. \quad (11)$$

A csősurlódási tényező (λ) kiszámításához ismernünk kell a következő értékeket:

- d a cső átmérőjét,
- l a veszteséges csőszakasz hosszát,
- ρ_v a mérőfolyadék (víz) sűrűségét $\left(\rho_v = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$,
- $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ nehézségi gyorsulást,
- $\Delta h = l^+ + l^-$ mért értékét és a

– ρ_l az áramló folyadék (levegő) sűrűségét, amelyet az állapotjellemzők határoznak meg.

Számítása:

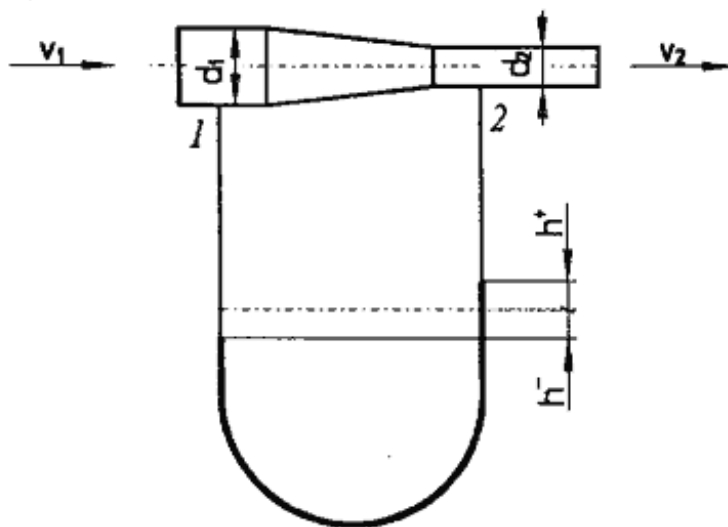
$$\rho_l = 1.293 \frac{b}{760} \frac{273}{273 + \vartheta} \quad (12)$$

ahol b a légnyomás értéke a mérés időpontjában [Hgmm],

ϑ a mérőhelyiség hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$].

Ismeretlen még a λ csősurlódási tényezőn kívül az áramló közeg (levegő) sebessége (v). Ennek meghatározására Venturi-féle csövet használunk.

A jól megmunkált felületek és a rövid szakasz miatt itt az áramlási veszteségeket elhanyagoljuk ($\Delta p' \approx 0$).



3. ábra

A 3. ábrán látható Venturi csőre felírva a Bernoulli energiaegyenletet:

$$p_1 + \rho_l g h_1 + \rho_l \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho_l g h_2 + \rho_l \frac{v_2^2}{2}, \quad (13)$$

ahol a vízszintes elrendezés miatt $h_1 \approx h_2$ -nek vehető, s így

$$2 \frac{p_1 - p_2}{\rho_l} = v_2^2 - v_1^2. \quad (14)$$

A kontinuitási tételt felhasználva, azaz a levegőt összenyomhatatlannak tekintve

$$A_1 v_1 = A_2 v_2, \quad (15)$$

ebből

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{\frac{d_1^2 \pi}{4}}{\frac{d_2^2 \pi}{4}} v_1 = \frac{d_1^2}{d_2^2} v_1. \quad (16)$$

Ezt visszahelyettesítve a (14)-be:

$$2 \frac{p_1 - p_2}{\rho_l} = \left[\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1 \right] v_1^2. \quad (17)$$

A $p_1 - p_2$ meghatározásához felírva az egyensúlyi egyenletet

$$p_1 + h\rho_l g = p_2 + (h - \Delta h_v)\rho_l g + \Delta h_v \rho_v g, \quad (18)$$

$$p_1 - p_2 = \Delta h_v g(\rho_v - \rho_l). \quad (19)$$

ahol $\Delta h_v = h^+ + h^-$.

A (17) összefüggésbe visszahelyettesítve

$$\frac{2\Delta h_v g(\rho_v - \rho_l)}{\rho_l} = \left[\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1 \right] v_1^2, \quad (20)$$

ebből

$$v_1^2 = \frac{2\Delta h_v g(\rho_v - \rho_l)}{\rho_l} \frac{1}{\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1}. \quad (21)$$

A v_1 ismeretében számítható a λ csősurlódási tényező értéke. A mérési berendezés úgy van elkészítve, hogy a Venturi cső belső átmérője (d_1) azonos a mérendő cső átmérőjével (d), így a számított áramlási sebességek is megegyeznek, $v_1 = v$.

A v_1 -re vonatkozó (21) összefüggést visszahelyettesítjük a (11)-be kapjuk

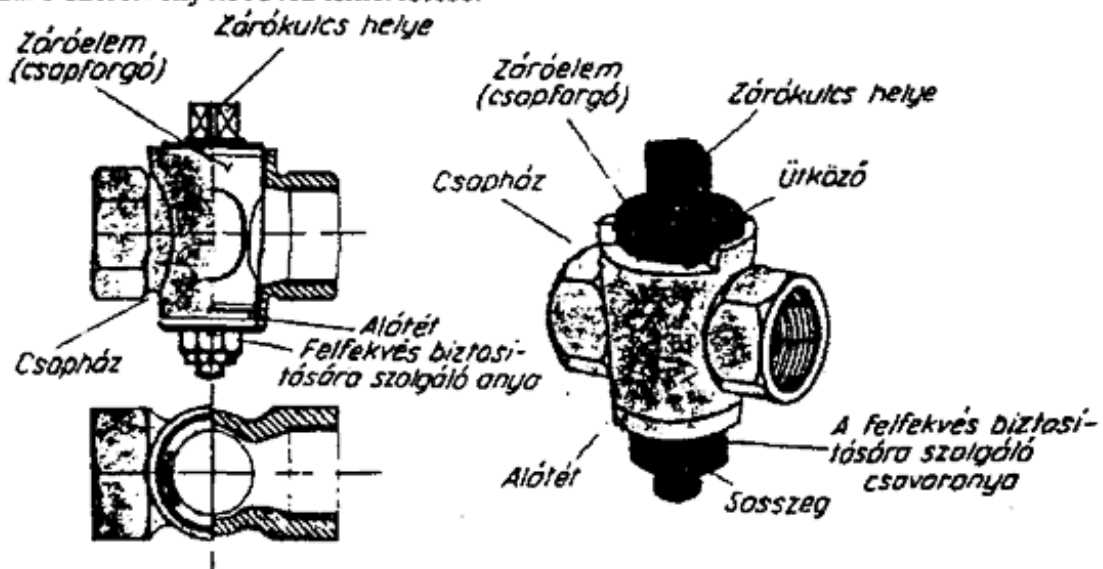
$$\lambda = \frac{d\Delta h}{l\Delta h_v} \left[\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1 \right]. \quad (22)$$

A csősurlódási tényező kifejezhető az áramló közeg (levegő) sűrűsége (ρ_l) ismerete nélkül is.

5.2. Csőelzáró szerelvények

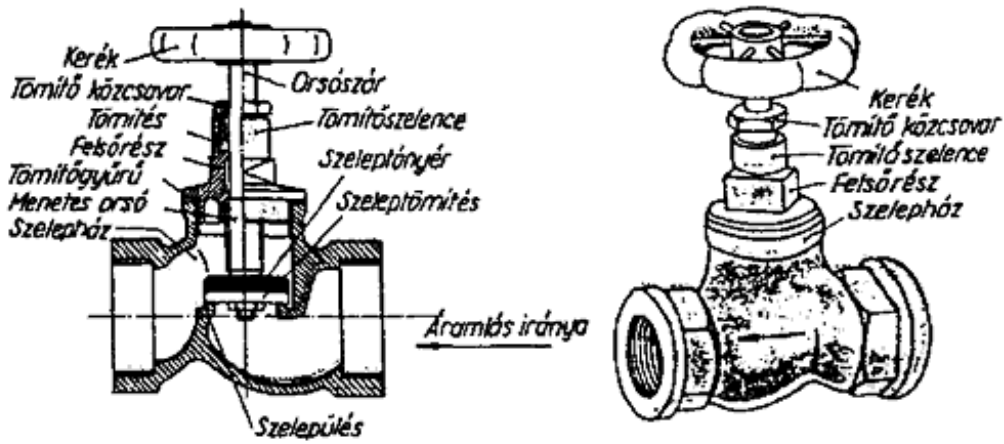
A csőelzáró szerelvények feladata: a közeg áramlásának szabályozása ill. elzárása.

A csőelzáró szerelvények rövid ismertetése:

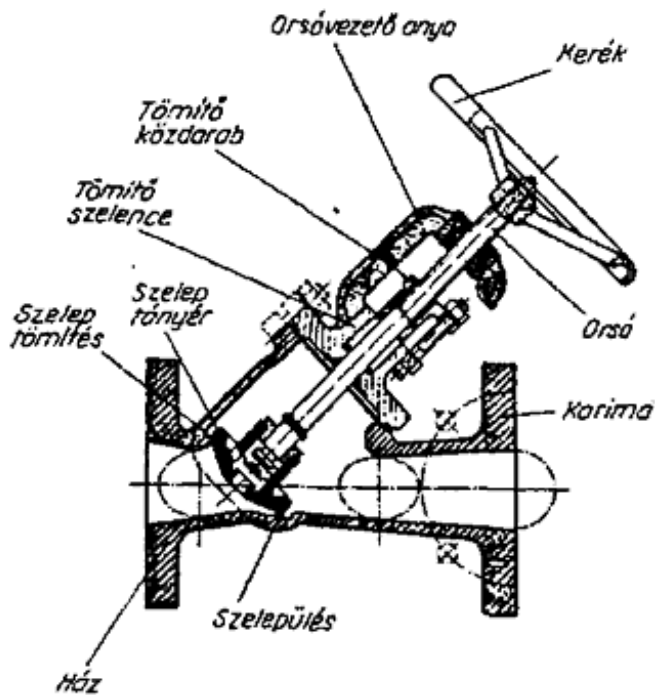


4. ábra

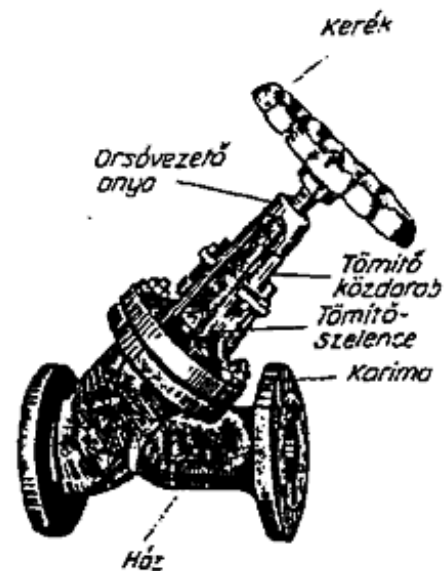
a) A csap (4. ábra) előnye: olcsó, könnyű utánállítás, egyenes átmenetet biztosít. Hátránya: a tömitést rosszul tartja, záraskor, nyitáskor folyadéklökés keletkezhethet, nagyobb átmérőre nem alkalmazható.



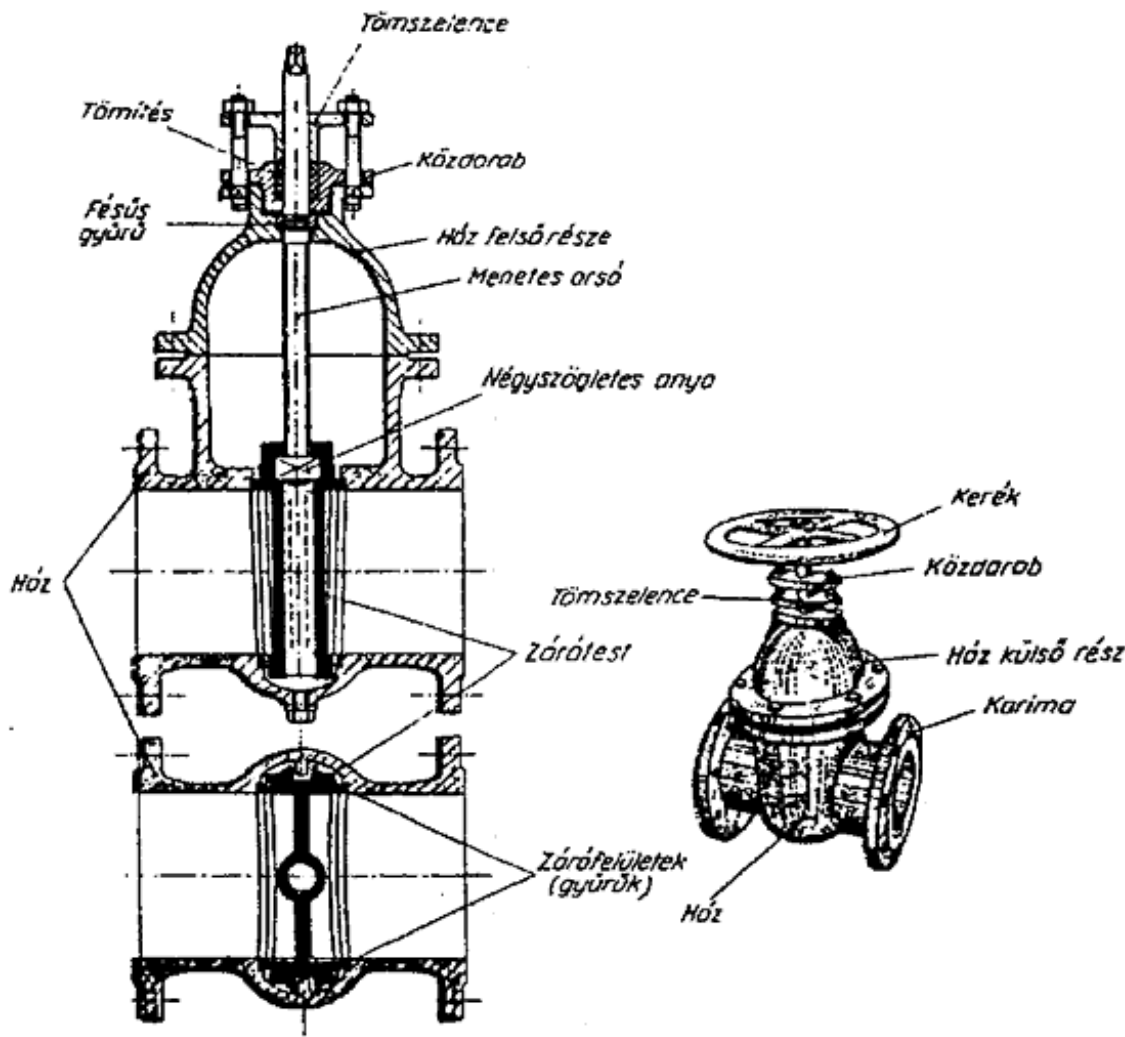
5. ábra



6. ábra



b) A szelep (5. ábra) előnye: nagy a záró nyomás, a zárás tökéletes, s ezt egyszerű szerkezettel érhetjük el, gyorsan nyitható és zárható. Hátrányai: az irányváltás következtében a folyadéknak nagyobb a nyomásvesztése; a csővezetékben nyitáskor, záraskor folyadéklökés keletkezhethet. Ha az áramlási iránytörést el akarjuk kerülni, akkor ferdeülésű szelepet (6. ábra) alkalmazunk.



7. ábra

c) A tolózár (7. ábra) előnye: az átmenet egyenes, záráskor nincs folyadékklökés. Hátrányai: a zárófelületek nyitáskor, záráskor csiszolódnak, gyorsan kopnak.

5.3. A szerelvények veszteségtényezőinek meghatározása

A szerelvényekben létrejön az ún. leválási veszteség, ami a surlódási veszteségnél egy-egy szerelvényen lényegesen nagyobb lehet. Ez a sebességi energiával arányos. Nem részletezve a levezetést az előzőekhez hasonlóan

$$\Delta p' = \Delta h(\rho_v - \rho_l)g = \zeta \rho_l \frac{v^2}{2}, \quad (23)$$

ebből

$$\zeta = \frac{2\Delta h(\rho_v - \rho_l)g}{\rho_l v^2}. \quad (24)$$

A Δh értéke a szerelvény két csokján mért vízoszlopmagasság különbség, v az áramló közeg sebessége, amit a Venturi cső segítségével mérünk minden szerelvényre külön-külön. Így a különböző szerelvényekre érvényes ζ veszteségtényező számítható:

$$\zeta = \frac{\Delta h}{\Delta h_v} \left[\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1 \right] \quad (25)$$

képlet alapján.

A mérésről jegyzőkönyvet kell készíteni. A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell:

- a mérés tárgyát, helyét és idejét,
- a mérés elrendezés vonalas vázlatát,
- a mérés leírását,
- a táblázatot a mért és számított értékekkel (2. táblázat).

Sor- szám	Név	l [mm]	d [mm]	d_2 [mm]	l^+ [mm]	l^- [mm]	h^+ [mm]	h^- [mm]	Δp^v [Nm ⁻²]	v [ms ⁻¹]	λ	ζ
1	Sima cső	1200	28	16								
2	Érdes cső	1200	28	16								
3	Tolózárlat	-	28	16							-	
4	Szelep	-	28	16							-	
5	Ferdeülésű szelep	-	28	16							-	
6	Gömbcsap	-	28	16							-	

2. táblázat

Ellenőrző kérdések:

1. Ismertesse a Bernoulli-féle energiaegyenletet!
2. Ismertesse a csősúrlódási tényező fogalmát!
3. Mit értünk egy csőszerelvény veszteségtényezőjén?