

Áramlástan mérés: Re-szám számítás, nyomásesés meghatározása

1 Elméleti összefoglalás, emlékeztető

A Re-szám számítás, térfogatáram mérés, illetve a nyomásesés számítása az előadáshoz kapcsolódóan. Az alábbiakban a legfontosabb tudnivalókat, képleteket gyűjtöttük össze. A mérés célja, hogy a hallgató a mérés elvégzése után az **alábbi tanulási eredményeket elérje**:

Minimum szint:

A hallgató

- képes egy félüzemi méretű készüléken eligazodni, meg tudja állapítani, hogy az egyes csővezetékben milyen hőmérsékletű fluidum áramlik,
- képes meghatározni a térfogatáramot, áramlási sebességet, Re-számot a mérés során,
- a mérés során a mérési adatokat jól dokumentáltan jegyzi fel és átlátható formában összesíti.
- mérési adatait más szakember számára érthető formában, a megfelelő egyenletek kiválasztásával és a mértékegységek helyes használatával értékeli ki és átlátható kivitelű jegyzőkönyvet készít.

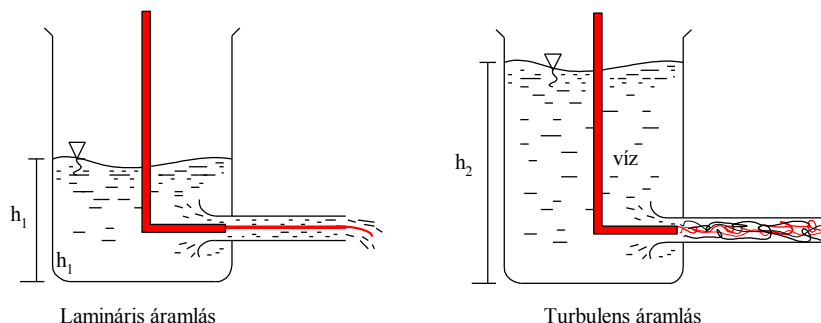
Optimum szint:

A hallgató

- a számítási eredményeit összeveti a tapasztalati értékekkel és jelentős eltérés esetén keresi a hiba okát.

1.1 Áramlástan alapok

Osborn Reynolds 1883-ban ismertette a róla elnevezett kísérletet, melyben az ábrán látható módon festékanyagot (festékszálát) juttatott a csőben áramló vízbe, két egymástól eltérő áramlást figyelt meg.



Lamináris áramlás esetén a különböző sebességgel áramló folyadékok/folyadékrétegek nem keverednek egymással.

Turbulens áramlás esetén a bevezetett festékszál és az áramló víz a folyadéktérben egyenletesen eloszlik.

Az áramlás jellemzésre REYNOLDS egy dimenziómentes számot vezetett be, melynek kritikus értéke 2300^{**}. A Re szám ezen értéke alatt lamináris, felette turbulens áramlásról beszélünk.

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

ahol:	d:	egyenértékátmérő [m]
	v:	fluidum áramlási sebessége [m/s]
	ν :	fluidum kinematikai viszkozitása [m ² /sec]
	ρ :	fluidum sűrűsége [kg/m ³]
	η :	fluidum dinamikai viszkozitása [Pas]

Előfordul azonban, hogy a fluidumok nem körkeresztmetszetű csőben áramlanak, ilyen esetben használjuk az ekvivalens/egyenérték csőátmérőt.

$$d_e = 4 \cdot \frac{A_k}{K_n}$$

ahol	A_k	– áramlási keresztmetszet [m ²]
	K_n	– nedvesített kerület [m]

1.2 Bernoulli-egyenlet

A Bernoulli-egyenlet az energiamegmaradás törvényének megfogalmazása áramló közegekre, mely szerint, ha a rendszer energetikailag zárt, akkor a rendszer nem ad le energiát a környezetének és nem is vesz fel tőle.

Energetikailag zárt rendszer esetén a három energiakomponens (kinetikus, nyomási és magassági) összeg állandó

$$\rho \frac{v_2^2}{2} + p_2 + \rho g h_2 = \rho \frac{v_1^2}{2} + p_1 + \rho g h_1 = \text{kons tans.}$$

ahol:	p:	nyomás [Pa]
	g:	nehézségi gyorsulás [m/s ²]
	h:	magasság [m]
	1 -	áramló rendszer kiindulási pontja
	2 -	fluidum érkezési végpontja

^{**} A szakirodalom Re=2300 kritikus értéket ad meg, sokszor azonban ez az érték széles tartományon belül mozoghat. Re~2100....10000.

A BERNOULLI-egyenlet legfontosabb alakjai:

- Nyomásformula

$$\rho \frac{v^2}{2} + p + \rho gh = \text{konstans.}$$

- Magassági formula

$$\frac{v^2}{2g} + h + \frac{p}{\rho g} = \text{konstans.}$$

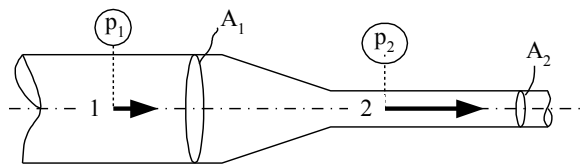
- Energiaformula

$$\frac{v^2}{2} + gh + \frac{p}{\rho} = \text{konstans.}$$

Az egyenlet az alábbi egyszerűsítő feltételek mellett érvényes:

- elhanyagoljuk a súrlódást
- stacioner –időben állandósult- folyamat
- állandó sűrűségű a folyadék (összenyomhatatlan a közeg)
- az egyenlet adott áramvonal mentén érvényes

Az áramlások sebességének meghatározására gyakran alkalmazzák a cső keresztmetszetének szűkítését (mérőperem, mérőtörök, VENTURI-cső). A mérés elve, hogy az áramlási sebesség a szűkítés folyamán kialakult nyomáskülönbséggel arányos.



1.ábra

A kontinuitási tétel alapján és bevezetve α kontrakciós tényezőt $v_1 A_1 = \alpha v_2 A_2$

1.3 Reális fluidumok áramlása

Reális fluidumok áramlása esetén figyelembe kell venni a csőfal és a fluidum közötti súrlódást is. A csőfal **érdessége** (\mathcal{E}) [m] a csőfal kiemelkedéseinek átlagos magassága. A **relatív érdesség** (\mathcal{E}/d) [-] az érdesség és a cső belső átmérőjének hányadosa. (Melléklet 1.ábra)

A belső súrlódás kismértékben növeli a fluidum belső energiáját, melyet általában nem tudunk hasznosítani, és veszteségnek tekintjük.

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

Δp_s – a két pont közötti csőszakaszon létrejött súrlódási nyomásveszteség

A súrlódási nyomásveszteség (Fanning-egyenlet) segítségével számítható:

$$\Delta p_s = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v_2^2 \cdot \rho}{2}$$

ahol f – csősúrlódási tényező [-]

L – a csövek, szerelvények ekvivalens hossza [m]

A csősúrlódási tényező a Reynolds- számnak és a relatív érdességnek a függvénye, melynek értékeit többszörösen ellenőrzött mérésekkel állapították meg. Különböző anyagú és minőségű csövekben különböző fluidumokkal végeztek kísérleteket, melyet a Moody-diagram (Melléklet 1 ábra) foglal össze. Több fontos megállapítás tehető:

-a skála mindkét tengelye logaritmikus

-A $Re < 2300$ esetén az áramlás lamináris a csősúrlódási tényező értéke (elméletileg is levezethető, de a gyakorlatban is igazolt)

$$f = \frac{64}{Re}$$

- $2300 < Re < 4000$ a lamináris és turbulens áramlás közötti átmeneti szakasz található, a mérések bizonytalanok (nehezen reprodukálható mérési adatokat kaptak)

- $Re > 4000$ tartományban az áramlás már turbulens, csősúrlódási tényező értéke a Coolebrook-képlettel számítható (a mérnöki gyakorlatban megfelelő pontosságú az összefüggés)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{f}} + \frac{\varepsilon}{3,72 \cdot d} \right)$$

- Re nagyon nagy /érdes zóna/ a csősúrlódási tényező csak a relatív érdesség függvénye

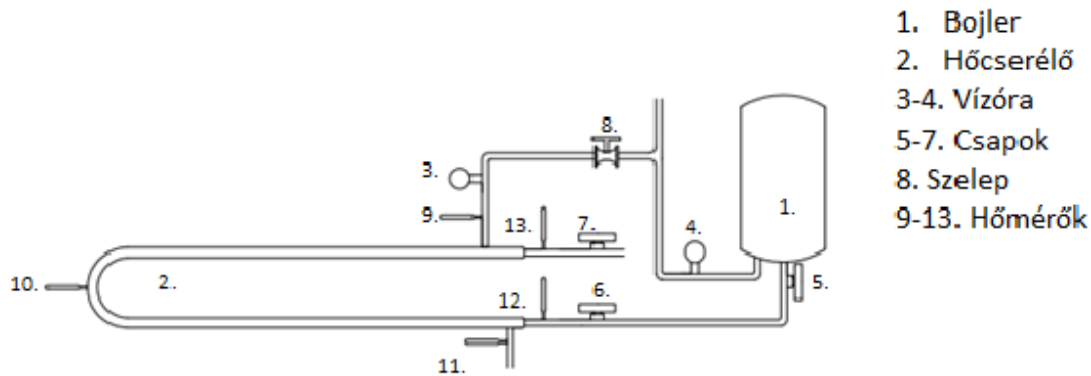
A relatív érdesség meghatározható az anyagi jellemző ismeretében (Melléklet 2. ábra) mely függ a cső belső átmérőjétől és annak anyagától.

A csővezetékek gyakran tartalmaznak különböző idomokat, szerelvényeket, melyeket az egyenérték csőhosszal jellemzünk. Az egyenérték csőhossz annak a kör keresztmetszetű, egyenes csőnek a hossza [m], amelynek nyomásvesztesége megegyezik a szóban forgó szerelvény nyomásveszteségével. (Melléklet 3. ábra)

2 A mérés célja:

A feladat célja megismekedni az ellenáramú cső a csőben hőcserélővel, valamint a mért adatokból ki kell számolni a Reynolds számokat illetve a súrlódási nyomásvesztéget.

3 A készülék leírása



A képen látható készülék egy meleg-hideg vizes cső a csőben hőcserélő. A meleg víz áramát a 4-es vízóra, a $T_{1,be}$ hőmérsékletet 12. hőmérő, a $T_{1,ki}$ hőmérsékletet a 13. hőmérő méri. A hideg víz áramát a 3-as vízóra, a $T_{1,be}$ értéket a 9. hőmérő, a $T_{2,köztes}$ a 10. hőmérő és a $T_{2,ki}$ hőmérsékletet a 11. hőmérő méri. A meleg víz áramát az 5 csappal lehet állítani, míg a hideg víz áramát a 8-as szeleppel lehet szabályozni. A meleg víz felmelegítését az 1-es bojler végzi, melyet ennél a mérésnél nem kell használni.

A hőcserélő adatai:

köpeny külső átmérője (D_k)	0,050 m
köpeny belső átmérője (becsült, D_b)	0,046 m
belső cső belső átmérője (d_k)	0,026 m
belső cső külső átmérője (d_b)	0,030 m
a hőcserélő hossza (L)	4 m

4 A mérés menete

A mérés megkezdése előtt számítsák ki, hogy milyen minimális térfogatáram beállítása esetén várható a mérés során turbulens áramlás! A számításhoz mindkét oldalon az alábbi adatokkal számoljanak $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\eta=1 \text{ mPas}$. A számításaikat felhasználva próbáljanak meg turbulens áramlást létrehozni (amennyiben ez nem lehetséges, a körülményeknek megfelelően végezzék el a mérést és a kiértékelést)!

Először a falon megnyitjuk a központi csapot (nem látható az ábrán), majd a 6. és a 7. csapot teljesen kinyitjuk. Az 5-ös csappal a meleg víz áramát állítsuk be úgy, hogy a térfogatáram megfeleljen az előzetes számításoknak. A meleg víz térfogatáramát a 4-es jelű vízórával mérjük és megvárjuk amíg a 12. és a 13. hőmérő állandósult értéket mutat. Eközben kinyitjuk a 8-as jelzésű szelepet és beállítjuk a kívánt térfogatáramot. A térfogatáramot köbözéssel mérjük. Pontosabb a mérés, ha a vízórára jól leolvasható áthaladt térfogathoz (pl $0,01 \text{ m}^3$) mérünk időt stopperrel (t_1 és t_2 a mérési táblázatban). Kb 10 percen keresztül kb 2 percenként leolvassuk az összes hőmérő állását, vagy ha ez idő alatt nem állna be az állandósult állapot, akkor addig olvassuk le, amíg be nem áll. Állandósult állapotban kb 2 percenként olvassuk le az összes hőmérsékletet, és mérjük meg a térfogatáramokat (5-5 adat). Számolják ki a Reynolds számot (mind a hideg mind a meleg oldalra).

Az első stacioner állapot elérését követően az egyik áram térfogatáramát változtassák meg, és járjanak el az előzőek szerint (várják meg az új stacioner állapot beállítását). Állandósult állapotban kb. 2 percenként olvassuk le az összes hőmérsékletet, és mérjük meg a térfogatáramokat (5-5 adat). Számolják ki a Reynolds számot (mind a hideg mind a meleg oldalra). A mérés végeztével várják meg, amíg a készülék lehül. Végül az összes csapot és szelepet gondosan zárják el.

5 Kiértékelés

A mért hőmérsékleti értékekből számított átlaghőmérséklethez keressék ki a víz jellemzőit (sűrűség, dinamikai viszkozitás)

A mérőcsoport 2-2 tagja a két mérési adatsort értékeli ki, és egymás számítását is ellenőrzik. A mérési adataikat és a számításaikat táblázatban foglalják össze.

Kiszámítandó (állandósult állapotban, a középértékek felhasználásával):

1. A Re-szám a hideg és a meleg oldalon.

Hogyan számítja ki köpeny oldalon az ekvivalens átmérőt cső a csőben, illetve csőköteges hőcserélő esetén?

2. Súrlódási nyomásveszteség meghatározása adott adatok alapján.

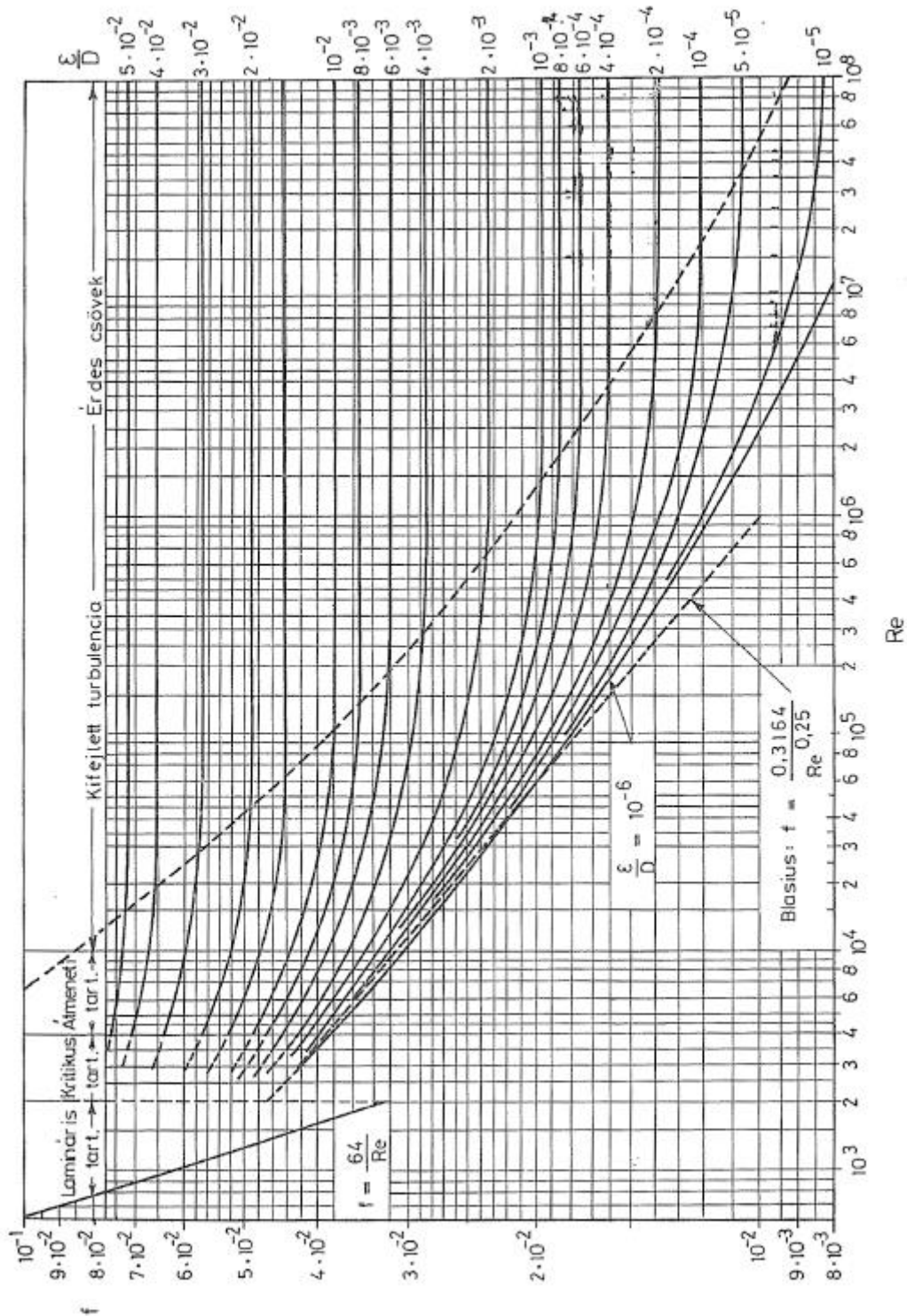
A mérési leíratot a tanszéki munkaközösség korábbi munkáinak felhasználásával készítette:

Angyalné Koczka Katalin

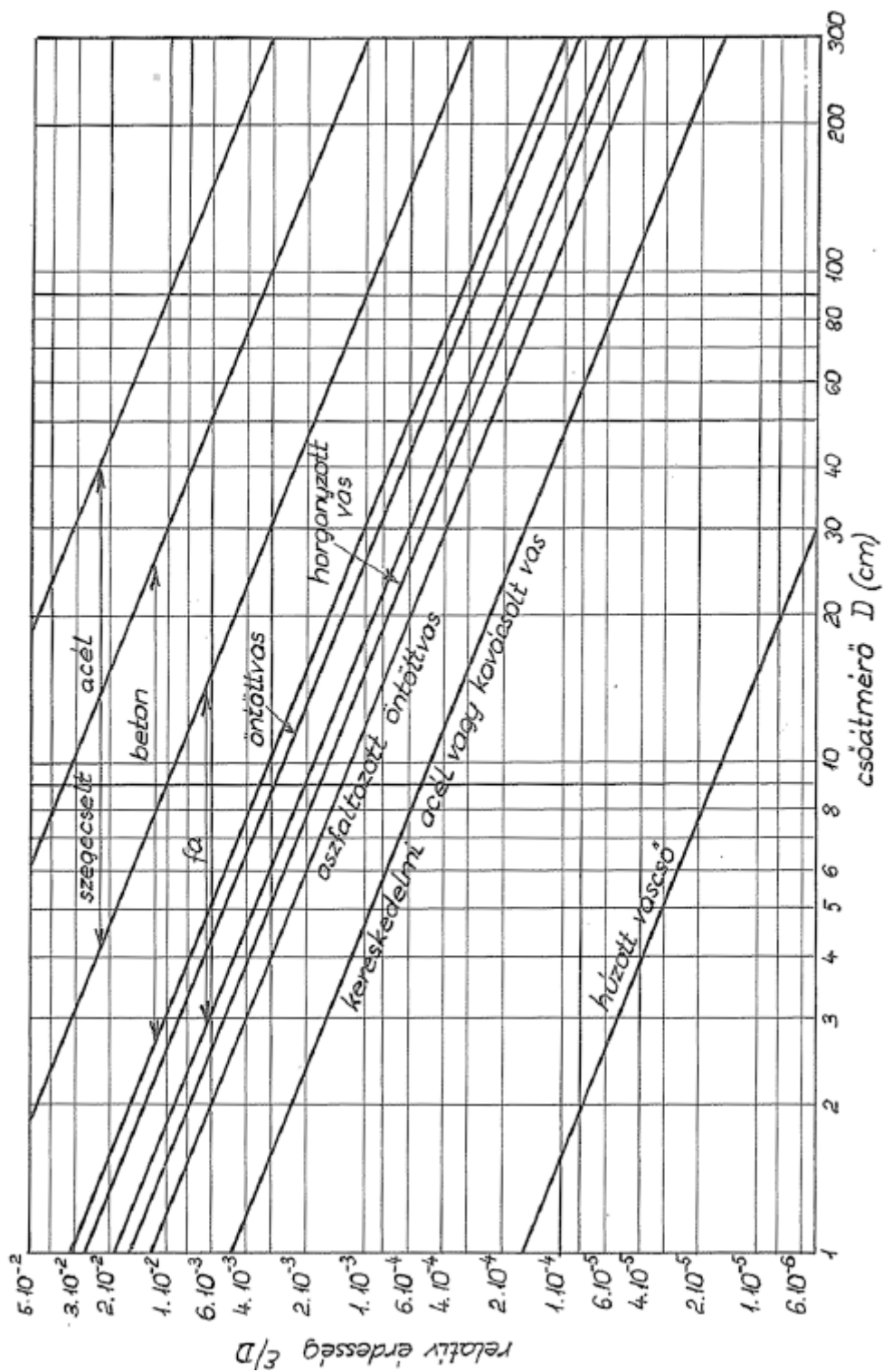
Ellenőrizte: Mika László Tamás

2020. Február

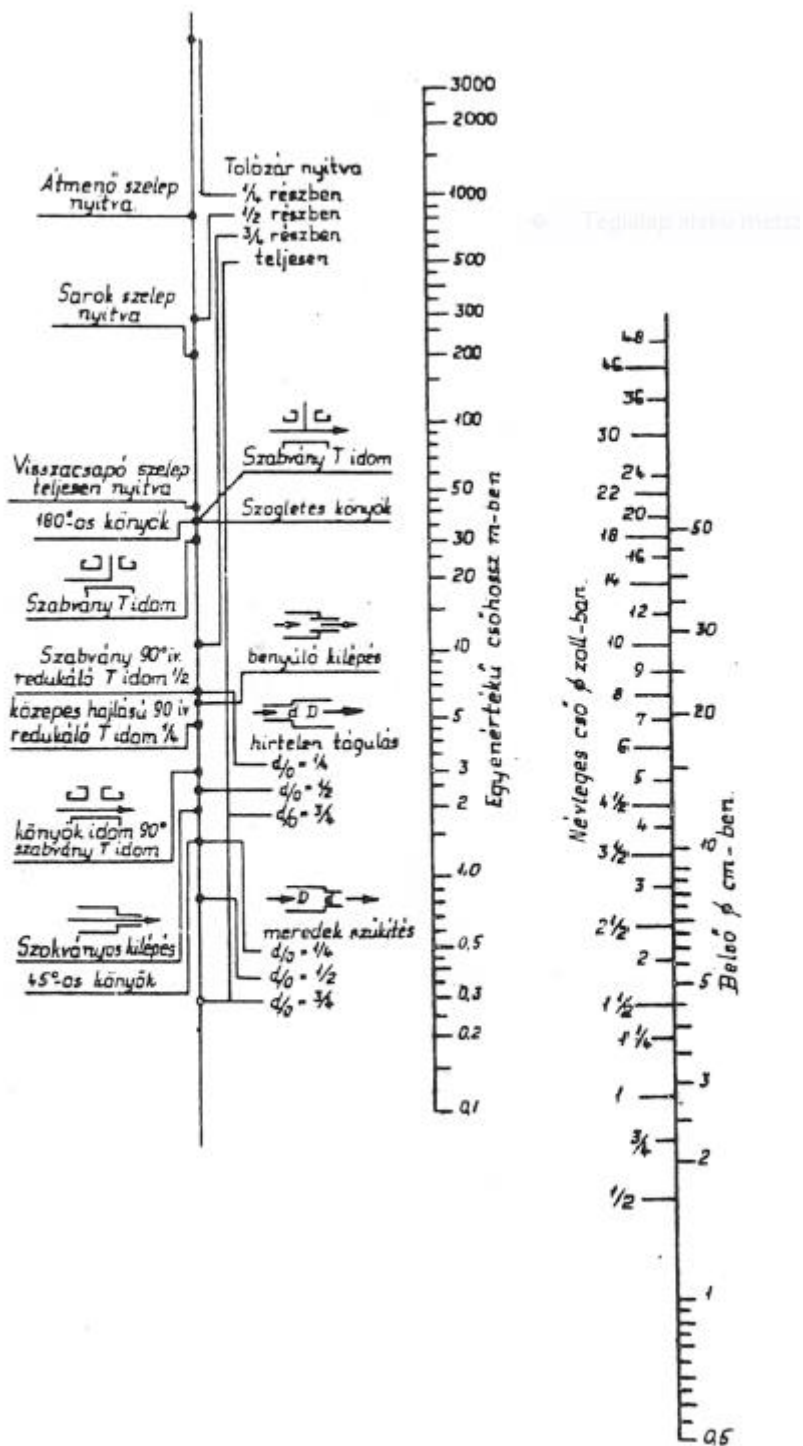
MELLÉKLET



Melléklet 1. ábra: Csősúrlódási tényező érdes csövekben



Melléklet 2. ábra: Csövek relatív érdessége



Melléklet 3. ábra: Idomok, szerelvények egyenértékű csőhossza

Név:	Áramlástanai mérés	Tankörvezető:
------	---------------------------	---------------

Mérési adatok:

idő [min]	Meleg áram				Hideg áram				
	T _{1,be} [°C]	T _{1,ki} [°C]	ΔV ₁ [m ³]	t ₁ [s]	T _{2,be} [°C]	T _{2,köz} [°C]	T _{2,ki} [°C]	ΔV ₁ [m ³]	t ₂ [s]

Számolási feladat: (gyakorlatvezető adja meg a szükséges adatokat)

Határozza meg egy csővezeték súrlódási nyomásvesztését, melyhez az alábbi adatok állnak rendelkezésre:

_____ m hosszú csőszakasz, ezen kívül tartalmaz még szerelvényeket:

A csővezeték átmérője: _____, anyaga: _____

KIÉRTÉKELÉS ÖSSZEFOGLALÓ TÁBLÁZATA

Az eredmények táblázatos megadása nem elegendő, a részletes számolás is szükséges!

	Meleg (i=1)	Hideg (i=2)
$T_{i,be}$ [°C]		
$T_{i,ki}$ [°C]		
$T_{köz}$ [°C]	--	
$T_{i,átlag}$ [°C]		
η_i [mPas]		
ρ_i [kg/m ³]		
\dot{V}_i [m ³ /h]		
A [m ²]		
v_i [m/s]		
Re _i		