

Fűtési hálózatok csőátmérőjének optimalizálása

Gergely Dániel Zoltán*

A Körös Campus Alapítvány az elmúlt évekhez hasonlóan a tavalyi tanévben is pályázatot hirdetett a felsőoktatásban tanuló fiatal épületgépész hallgatók számára. A beadott pályamunkákat az alapítvány kuratóriuma értékeli, illetve dönt a támogatás/ösztöndíj odaítéléséről és mértékéről. Az ösztöndíj célja, hogy a felsőoktatásban tanuló tehetséges hallgatók anyagi és szakmai támogatása biztosítva legyen Magyarországon.

A nyertes pályamunkák közül Olvasóink a következőkben Gergely Dániel Zoltán munkájával ismerkedhetnek meg.

A szerző a Körös Campus ösztöndíj elnyerésén túl, jelen dolgozattal a PTE-MIK 2014. évi Tudományos Diákköri Konferenciáján is részt vett és 1. díjban részesült, ezzel kitüntetett a XXXII. OTDK-ra, ahol 3. helyezést ért el. Konzulense Baumann Mihály adjunktus, tanszékvezető. (Szerk.)

Bevezetés

A fűtési rendszerek csővezetékeit a gazdaságos csőátmérő alapján méretezik, amelyet igen régóta $50 \div 200$ Pa/m fajlagos súrlódási nyomásvesztésű csővezeték kiválasztásával lehet megvalósítani. Ezeket az értékeket az 50'-es – 60'-as években írt szakkönyvekben találhatjuk. A korábbi időszakhoz képest napjainkra több dolog gyökeresen megváltozott, mások az energiaárak, csővezeték költségek, a csövek választéka sokkal szélesebb, illetve megjelentek a korábbiakhoz képest sokkal kisebb energiafogyasztású szivattyúk. Felvetődik a kérdés, hogy a szakkönyvekben közölt $50 \div 200$ Pa/m fajlagos súrlódási nyomásvesztésre való méretezési értékeket nem szükséges-e átértékelnünk?

1. A gazdaságos csőátmérőt befolyásoló tényezők

1.1 Energiaköltségek

A vizsgálatot egy adott üzemidőre, és erre az időre átlagolt villamos energiaár figyelembevételével végeztük. A számításokhoz először ismerni kell a vizsgálat idején, illetve egy adott rendszer tervezésekor vagy létesítésekor az aktuális villamosenergia-árat. 2015. év elején a villamos energia bruttó költségének országos átlaga 36,445¹ Ft/kWh volt. Mivel az árak folyamatosan változnak az évek során, az üzemidőn belül minden i-edik évben meg kell határozni a várható villamosenergia-díjat.

¹ Forrás: www.eon.hu



* Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar

A fogyasztók támogatására szolgáló „rezsicsökkentés” program végett csak közelítéssel becsülhetők az elkövetkezendő évek villamosenergia-árai és ebből adódóan nem feltétlenül igaz, hogy az árak folyamatosan növekednének. A képletek nem teszik lehetővé, hogy ezt a tényezőt pontosan figyelembe vegyünk, így a számításunkban a nemzetközileg elfogadott energiaárak évenkénti 2%-os növekedésével számoltunk:

$$K_{\text{villamos, kezdeti (2015+i)}} = K_{\text{villamos, kezdeti (2015)}} \cdot (1 + 0,02)^{(2015+i)-2015}.$$

Miután minden i-edik évre kiszámítottuk a várható árat, az értékeket átlagolni kell:

$$K_{\text{villamos, átl. (2015-2035)}} = \frac{K_{\text{villamos, kezdeti (2015)}} + K_{\text{villamos (2016)}} + \dots + K_{\text{villamos, vég (2035)}}}{n} = \frac{K_{\text{villamos, kezdeti (2015)}} + \sum_{i=1}^n K_{\text{villamos, kezdeti (2015+i)}}}{n}.$$

A vizsgálat 20 éves üzemidőre készült, mivel a szivattyúk üzemidejét is ennyire tervezzük, másfelől ennyi idő után már nagy valószínűséggel az adott rendszeren markáns korszerűsítést végeznek. Az adatok behelyettesítése után a vizsgált időszakban az átlagos villamosenergia-költség 44,746 Ft/kWh-ra tehető.

1.2 Beruházási és üzemeltetési költségek

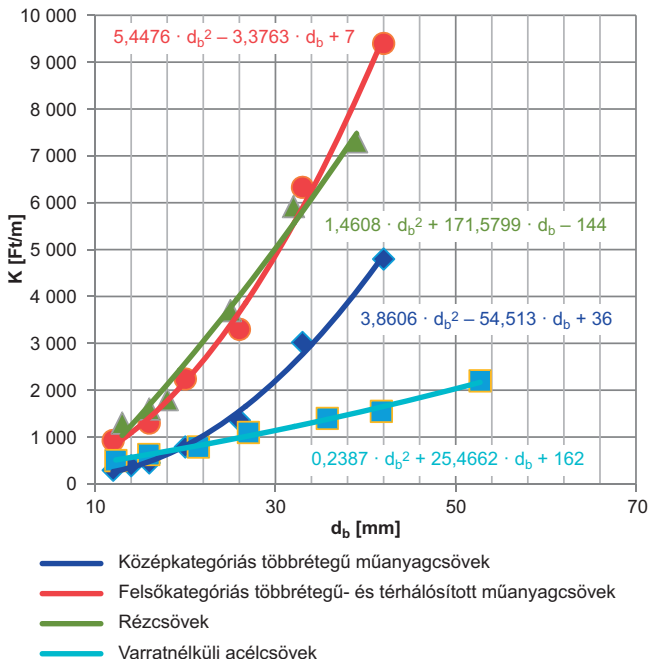
Alapvetően egy fűtési hálózat beruházási költségei sok tényezőtől tevődnek össze, mint például a csővezetékek és idomok ára, szerelési munkadíj stb. Az elsődleges cél a gazdaságos csősúrlódási nyomásvesztés fajlagos értékének a meghatározása. Vizsgálatunkban a csővezeteki és az üzemeltetési költségek optimalizálására törekedtünk.

Napjainkban igen sokfajta csővezeték technológiából válogathatunk, amelyeknek árai nagy szórást mutatnak. A csővezetékek ára nagyban befolyásolja a gazdaságos csőátmérő értékét. A vizsgálatnál nagyon nehezen vehető figyelembe a csővezetékek folyóméterre eső árának precíz értéke, hiszen a kereskedők különböző árakon értékesítik a csővezetékeket, továbbá a nagyobb mennyiség vásárlása esetén kedvezőbb árajánlatot is adhatnak. A 2015. évi árakat a technológiák, márkák és az országban lévő különböző kereskedők árai alapján gyűjtöttük ki. Az értékeket átlagoltuk, majd a kapott pontokra másodfokú polinomokat illesztettünk, amelyet a következő oldalon látható **1. ábrán** mutatunk be.

A szivattyúzási (üzemeltetési) költséget az alábbiak szerint számítottuk:

$$K_{\text{ü.,sziv.}} = \tau_{20 \text{ év}} \cdot \frac{P_t}{1000} \cdot K_{\text{villamos, átl.}}$$

Ezzel a két tényező összegköltség-görbéjének a minimuma meghatározható.



1. ábra. A csővezetékek folyóméterre eső ára

1.3 A csősúrlódás

Minden egyes csővezeték anyagot jellemez egy k abszolút felületi érdesség, amelynek értéke gyártmányfüggő. A gyártmánykatalógusokban és szakkönyvekben található adatok alapján a különböző csővezeték-technológiákhoz tartozó abszolút felületi érdesség értékeit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat

Csővezeték technológia	k [μm]
Réz	1,5
Műanyagcsövek	7
Varratnélküli acélcsövek	60

Mivel a vizsgálat során nem adódott olyan csőátmérő, ahol lamináris áramlás lenne, a csősúrlódási tényezőt a teljes turbulens tartományt átfogó, Colebrook-White összefüggéssel számoltuk:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{2,51}{w \cdot d_b \cdot \sqrt{\lambda}} + 0,269 \cdot \frac{k}{d_b} \right]$$

A csősúrlódásból adódó hidraulikai ellenállást a Darcy-Weisbach-féle súrlódási törvénnyel számítottuk:

$$\Delta p_s' = \lambda \cdot \frac{l}{d_b} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

1.4 A fűtési rendszerek tömegárama és a működési időtartama

A fűtési rendszerek hőhordozó közegük keringtetése alapján lehetnek állandó vagy változó tömegáramú hálózatok. Manapság energiahatékonysági okokból szinte kizárólag változó

tömegáramú rendszereket terveznek, kiviteleznek. Ezen túlmenően a 641/2009/EK rendelet alapján csak olyan szivattyút szabad alkalmazni, amelynek energiahatékonysági mutatója (EEI) legfeljebb 0,23, amit csak frekvenciaváltóval szerelt, fordulatszám-szabályozott szivattyúk tudnak kielégíteni.

A fűtési rendszerek üzemeltetése lehet szakaszos vagy folyamatos. Összegezve, a kutatást változó tömegáramú, fordulatszám-szabályozott szivattyúk esetére végeztük, és ezen belül külön a szakaszos ($\tau_{\text{szakaszos}} = 2300$ h/év) és külön a folyamatos üzemű ($\tau_{\text{folyamatos}} = 4500$ h/év) rendszerekre. Mivel a hőhordozó közeg keringetése instacioner folyamat, a szivattyúk terhelése időben folyamatosan változik.

A 641/2009/EK rendeletben rendelkezésünkre áll egy táblázat, amely bemutatja a szivattyúk terhelési profilját, amit a 2. táblázatban láthatunk. A táblázat mutatja, hogy a tömegáram 100%-a, vagyis a maximális terhelés az üzemidő mindössze 6%-ában jelentkezik.

2. táblázat

Tömegáram [%]	Idő [%]
100	6
75	15
50	35
25	44

1.5 A szivattyúk hatásfoka és teljesítménye

Az új típusú modulációs szivattyúk hatásfoka gyártmányfüggő, továbbá értéke a terhelés függvényében változik. Annak érdekében, hogy a vizsgálat gyártmányfüggetlen legyen, szükségesnek mutatkozott egy olyan képletnek a használata, amellyel a fűtéstechikában használatos fordulatszám-szabályozott szivattyúk hatásfoka számítható a terhelés függvényében. A két piacvezető folyadékszállító berendezéseket gyártó cég számos olyan szivattyújának adatait gyűjtöttem ki, amelyek a fűtéstechikában a hőhordozó közeg keringetésére alkalmasak.

Az adatok dokumentálása után meghatároztuk a hatásfok-görbéket, amiket általában nem adnak meg a gyártók, de a tengelyteljesítmény görbékből kiszámolhatók. A vizsgálatot úgy kell értelmezni, hogy adott egy fűtési csőhálózat és analizáltuk a különböző tömegáramú szakaszokat, amelyekre fajlagosan (1 m) a gazdaságos csősúrlódási nyomásvesztéseket meghatároztuk. Az általam elkészített képlet, amellyel a fűtéstechikában alkalmazott fordulatszám-szabályozott szivattyúk hatásfoka jó közelítéssel meghatározható, a következőképpen írható fel:

$$\eta_{x\%} = 40 \cdot \left(\frac{\dot{V}_{x\%}}{\dot{V}_{\text{max}}} \right)^2 + 83 \cdot \frac{\dot{V}_{x\%}}{\dot{V}_{\text{max}}} + 5$$

Az x %-ú terhelések esetén meghatározandó a szivattyú tengelyteljesítménye:

$$P_{t,x\%} = \frac{\dot{V}_{x\%} \cdot \Delta p_{s,x\%}' \cdot 100}{\eta_{x\%}}$$

A tengelyteljesítmény súlyozott átlaga a

$$P_t = 0,06 \cdot P_{t,100\%} + 0,15 \cdot P_{t,75\%} + 0,35 \cdot P_{t,50\%} + 0,44 \cdot P_{t,25\%}$$

összefüggéssel határozható meg. Tehát a koncepció az, hogy egy adott térfogatáramú szakaszra, fajlagosan (1 méterre), mekkora villamosenergia-fogyasztás jut.

2. Eredmények

A kapott eredmények szemléltető diagramok a **2. ábrán** láthatók.

Az eredmények jól mutatják, hogy a csővezetékek típusa és ára milyen mértékben befolyásolja a gazdaságos sűrűlési nyomásvesztéget. Látható, hogy az értékek jóval 200 Pa/m felett vannak. Annak érdekében, hogy tetszőleges térfogatáramra meg lehessen határozni a gazdaságos fajlagos sűrűlési nyomásvesztéget, meghatároztam azt a képletet, amellyel e tényező számítható:

$$\Delta p_{s,opt.} = C_{cs} \cdot \dot{V}^{Y_{cs}}$$

A C_{cs} és Y_{cs} értékeit láthatjuk a **3. táblázatban** a csővezeték technológia függvényében. A képletben lévő \dot{V} – térfogatáramot m³/h mértékegységben kell behelyettesíteni.

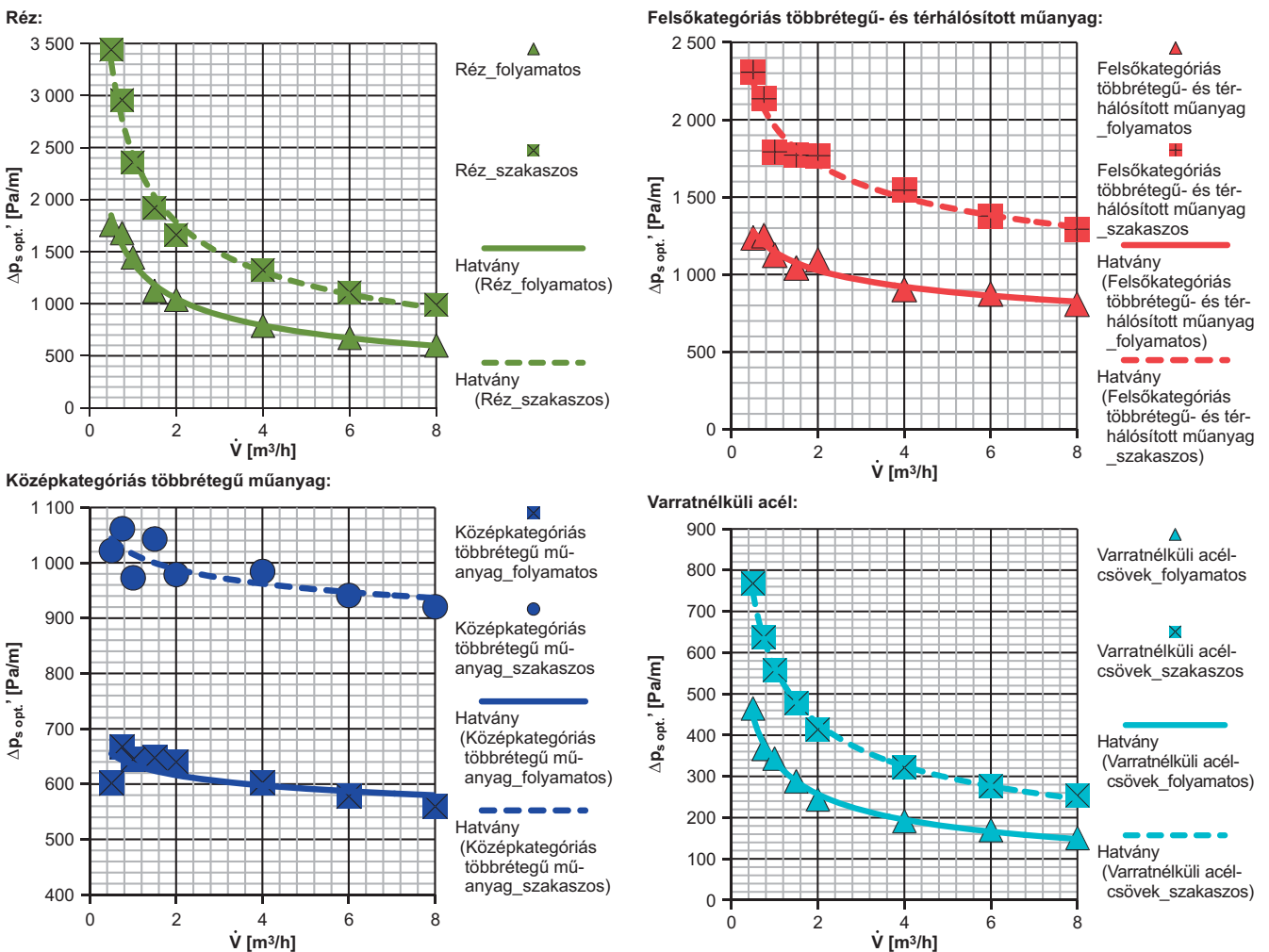
Az itt közölt eredmények $t = 65^\circ\text{C}$ hőmérsékletű víz közegre értelmezendők. Mivel a fűtési rendszerek csőhálózataiban nem túl jelentős a lehűlés miatt bekövetkező hőmérsékletváltozás, ezért a közeg hőtranszport jellemzők nem változnak olyan mértékben, hogy ezt a számításban figyelembe kellene venni.

3. Összefoglalás

Az eredmények alapján jól látható, hogy a fűtési hálózatok gazdaságos sűrűlési nyomásvesztése napjainkban jóval $50 \div 200 \text{ Pa/m}$ felett adódik. Érdekesség, hogy acél csővezetékek esetén $8 \text{ m}^3/\text{h}$ -tól igaz a $\sim 200 \text{ Pa/m}$ érték. A diagramok

3. táblázat

Üzemidő	Folyamatos		Szakaszos	
Csővezeték technológia	$C_{cs} [\text{h}/\text{m}^3 \cdot \text{Pa}/\text{m}]$	$Y_{cs} [-]$	$C_{cs} [\text{h}/\text{m}^3 \cdot \text{Pa}/\text{m}]$	$Y_{cs} [-]$
Réz	1 393,5	-0,408	2 436,6	-0,448
Középkategóriás többrétegű	635,22	-0,044	1 015,8	-0,039
Felsőkategóriás többrétegű- és térhálósított	1 146,2	-0,158	1 958,5	-0,194
Varrat nélküli acél	338,36	-0,397	565,28	-0,399



2. ábra. Különböző technológiájú csővezetékek optimális sűrűlési nyomásvesztése

jól szemléltetik, hogy a térfogatáram miként befolyásolja az optimális súrlódási nyomásvesztéseket. A nagy súrlódási nyomásvesztésekkel azonban van egy aktuális és nagy probléma, a szelepek autoritásának a kérdése. Annak érdekében, hogy a szelep szabályozási tulajdonsága optimális legyen, a rendszerellenállás felét a szabályozószelepeknek kell képeznie (nagyobb autoritás elérése esetén még nagyobb), így az autoritás 0,5 értékű. Persze mindemellett ügyelni kell, hogy a szelepen ne essen 20 ÷ 30 kPa-nál nagyobb nyomáskülönbség az egyéb nem kívánatos jelenségek elkerülése érdekében, mint például a kavitáció okozta felületi erózió.

Az egyik konklúzió tehát az, hogy a gazdaságos súrlódási nyomásvesztés szöges ellentétben áll a szabályozószelepek autoritásának optimális értékével. Mivel szabályozószelepek nélkül manapság nem épül fűtési hálózat és a leírtakat a szerelvények alkalmazása esetén be kell tartani, a szabályozószelepek megfelelő üzemeltetése érdekében meg kell húzni egy határt, ami fölött nem tanácsos nagyobb fajlagos súrlódási nyomásvesztéssel számolnunk. A kutatás célja egy olyan munkamódszernek a kidolgozása, amellyel a jövőben más költségek esetén is számítható az optimális fajlagos súrlódási nyomásvesztés.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, *Baumann Mihály* tanár úrnak a dolgozat és a cikk írása során nyújtott segítségéért.

Jelölésjegyzék

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
λ	csősúrlódási tényező	–
k	abszolút felületi érdesség	mm
d_b	a csővezeték belső (hidraulikai) átmérője	mm
w	a fluidum áramlási sebessége	m/s
ν	a fluidum kinematikai viszkozitása	m ² /s
ρ	a fluidum sűrűsége	kg/m ³
$\Delta p_s'$	a súrlódásból adódó fajlagos hidraulikai ellenállás	Pa/m
\dot{V}_{max}	maximális térfogatáram	m ³ /s, m ³ /h
\dot{V}	térfogatáram	m ³ /s, m ³ /h
η	a szivattyú hatásfoka	%
P_t	a szivattyú tengelyteljesítménye	W
τ	üzemidő	h/év, h
K	költség	Ft
C_{cs}	koefficiens	(h·Pa)/m ⁴
Y_{cs}	koefficiens	–

Egyéb alsó index

x%	az adott jellemző vagy változó értéke az x% terhelés esetén
opt.	optimális

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Bánhidi László: Egycsöves vízfűtések Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981
- [2] Bohl, Willi: Műszaki áramlástan Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983
- [3] Claus Ihle, Rolf Bader, Manfred Golla: Épülettechnikai tudástár TGA Consult Kft., Budapest 2014
- [4] Cséki István: Épületgépészeti tervezési segédlet rézcsöves szerelésekhez. Magyar Rézpiaci Központ, 2008

- [5] Dr. Csoknyai István, Doholuczki Tibor: Több, mint hidraulika Herz Armatura Hungaria Kft., 2007
- [6] Dr. Menyhárt József: Az épületgépészet kézikönyve Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1977
- [7] Dr. Garbai László, Dr. Bánhidi László: Válogatott fejezetek az elméleti fűtéstechika köréből Akadémiai Kiadó, Budapest, 2008.
- [8] Dr. Garbai László: Hidraulikai számítások az épületgépészetben és az energetikában. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2007.
- [9] Dr. Gruber József, Dr. Blahó Miklós: Folyadékok mechanikája Tankönyvkiadó, Budapest, 1956
- [10] Heinz Zöbel, Julius Kruschik: Áramlás csövekben és szelepekben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986
- [11] Homonnay Györgyné dr.: Épületgépészet 2000 II. kötet, Fűtéstechika, Épületgépészet Kiadó Kft., Budapest, 2001
- [12] Dr. Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai. 4. átdolgozott és bővített kiadás. Dr. Lajos Tamás, Budapest, 2008.
- [13] Dr. Macskásy Árpád: Központi fűtés 2 Tankönyvkiadó, 1978
- [14] Oravecz Béla: Épületgépész Művezetők Zsebkönyve Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1979
- [15] Ove Bratland: Pipe Flow 1. (Single-phase Flow Assurance), Ove Bratland, 2009
- [16] Rietschel, Raiss: Fűtés- és légtechnika Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1964
- [17] Rudolf Jauschowitz: Hidraulika a melegvízfűtés szíve Herz Armaturen Ges.m.b.H., 2007
- [18] Ujj Gyula: Fűtés, szellőzés, hűtés Tankönyvkiadó Nemzeti Vállalat, 1950
- [19] Vinkler Károly és Jávori Miklós: Hidraulikai beszabályozás I. Az IMI International Kft. kiadványa, 2005
- [20] Vinkler Károly: Kézben tartott áramlás PI Innovációs Kft., 2012