

Radiális szivattyú jelleggörbéinek kísérleti vizsgálata víz és viszkózus közeg esetén

Experimental investigation of the characteristic curves of a centrifugal pump in the case of water and a viscous fluid

LUKÁCSI Dávid Lajos¹, MSc hallgató, Dr. CSIZMADIA Péter², egyetemi adjunktus

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék,
1111 Budapest Műegyetem rkp. 3, tel.: 463-1680, lukacsi.david81@gmail.com, www.hds.bme.hu

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék,
1111 Budapest Műegyetem rkp. 3, tel.: 463-2553, pcsizmadia@hds.bme.hu, www.hds.bme.hu

Kivonat

A mérnöki gyakorlatban számos esetben kell folyadékot eljuttatni egy áramlástechnikai rendszer adott pontjaira. Ezen alkalmazások a tiszta víz szállításán túlmutatnak; viszkózus, szemcsés, vagy szilárdanyag, esetleg szálanyag tartalmú közegeket is szükséges szivattyúzni. A gyártói katalógusadatok azonban legtöbbször vízre vonatkoznak. A kutatás célja egy adott radiális átömlésű szivattyú jelleggörbéinek kísérleti úton történő meghatározása, különböző reológiai tesztközegek esetén. Ezen kívül vizsgáljuk az affinitás törvényének megmaradását is.

Kulcsszavak: affinitás törvénye, áramlástechnikai rendszer, centrifugál szivattyú, szivattyú jelleggörbe, viszkózus közegek

Abstract

In engineering there are many cases, when fluids must be delivered to a given point of a hydraulic system. These applications go beyond the transport of pure water. Pumping of viscous, grainy or solid containing fluids (including fibrous fluids) is also required. However, the technical descriptions of the pumps are given in case of water. The goal of the research is to investigate experimentally the characteristics of a given centrifugal pump in case of fluids with different rheology. In addition, we investigate the applicability of the law of affinity.

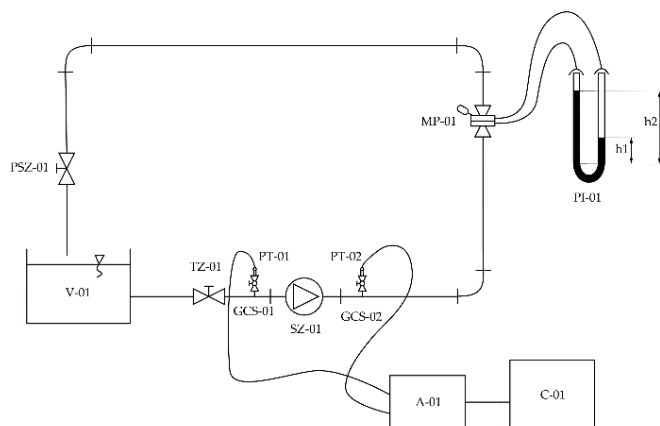
1. BEVEZETÉS

A szivattyúk szerteágazó ipari felhasználásában gyakran találkozhatunk olyan esetekkel, ahol nem vizet kell szállítanunk, hanem valamilyen speciális viszkozitású folyadékot. Ezen folyadékok lehetnek newtoni, illetve nemnewtoni reológijúak is. A folyadékok nagy részére igaz a Newton-féle viszkozitástörvény, ezeket nevezzük newtoni folyadékoknak (pl. víz, olaj). [1] Amelyekre viszont e törvény nem teljesül, azokat tekintjük nemnewtoni folyadékoknak. A viszkozitás befolyásolhatja a szivattyú jelleggörbét, és ez gazdasági következményeket von maga után. A szakirodalomban több módszer létezik is ezen jelleggörbék meghatározására. Vannak olyan szakcikkek, melyekben regresszióanalízisen alapuló statisztikai módszereket használva „jósolják” meg a viszkózus szivattyújelleggörbét; [2] egyes szakirodalmak pedig CFD szimuláció segítségével próbálják ezt meghatározni. [3] Széleskörben elterjedt módszer a *Hydraulic Institute Method* (innenről HI metódus), mely korrekciós tényezőket felhasználva határozza meg számunkra a viszkózus szivattyújelleggörbét. [4] Ehhez hasonló módszer a KSB Aktiengesellschaft metódusa. [5] Ezen empirikus módszerek közötti különbség csupán a használatukban rejlik; az előbbinél korrekciós tényezőket, az utóbbinál pedig grafikus diagramokat kell használni. A munkánk során mérések segítségével vettük górcső alá a viszkozitás okozta változásokat, illetve az affinitás törvények megmaradását. Végül a fent említett kettő módszert alkalmazva vetettük össze az eredményeinket a szakirodalommal.

2. A MÉRÉSEK BEMUTATÁSA

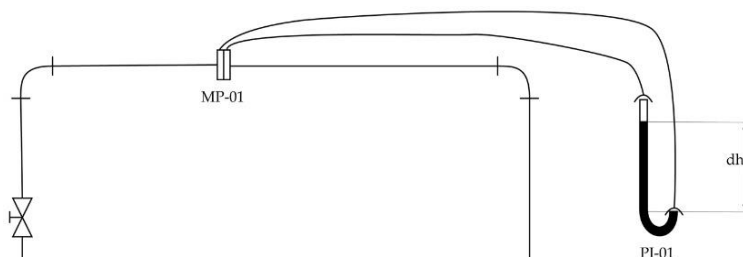
A szivattyú jelleggörbe mérések során két („A” és „B”) mérőrendszert használtunk. Az „A” berendezést az 1. ábra, a „B” –t pedig a 2. ábra szemlélteti. A különbséget a megnövelt nyomóoldali csőátmérő és a szabványos mérőperem jelenti. Ezzel az átalakítással a szivattyú „nagyvíz” oldalán is elvégezhetővé váltak a mérések. A vizsgálat során két tesztközeget vizsgáltunk. Az első egy Carbopol oldat, amely pszeudoplasztikus reológiájú (viszkozitása $\eta_C = 0,00716 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{0,9174}$, hatványfüggvény kitevője $n = 0,9174$). A második pedig egy glicerín oldat, amely newtoni reológiájú közeg ($\eta_G = 0,2109 \text{ Pa}\cdot\text{s}$).

A mérés előtt és után is megmértük a közegek hőmérsékletét; ugyanis nagyviszkozitású közegeknél a viszkozitás erősen hőmérsékletfüggő lehet. Carbopol oldat esetén a hőmérséklet közel változatlan maradt. A glicerín-víz oldat esetén pedig $1 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot nőtt a hőmérsékletünk, de ez kevesebb, mint 3%-os viszkozitásbeli változást jelentett, így e változást elhanyagoltuk.



1. ábra Az „A” mérőberendezés

A szivattyú [6] egy tartályból szállítja a közeget. A szivattyú előtt és után nyomástávadókat rögzítettünk, melyeket a mérés előtt kalibráltunk. [7] Az „A” esetben egy nem szabványos, de előzetesen kalibrált mérőperem és egy U csöves manométer segítségével tudunk térfogatáram mérést végezni. A mérőperemmel egybeépítve (utána közvetlenül) egy szelep található, így ezzel a szivattyú munkapontja finom lépésekben állítható volt. A csővezeték végül a tartályba van visszavezetve.



2. ábra A „B” mérőberendezés

Szabványos mérőperem esetén („B” elrendezés), az áramlástechnikában jól ismert összefüggéssel (1) számoljuk a Q térfogatáramot, ahol α az átfolyási tényező, d a mérőperem legszűkebb átmérője, Δp_{mp} a mérőperemen lévő nyomásesés, $\rho_{v\acute{z}}$ pedig az áramló közeg sűrűsége. (Ez utóbbit a víz sűrűségével közelítettük.) [8] [9]

$$Q = \alpha \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{mp}}{\rho_{v\acute{z}}}} \quad (1)$$

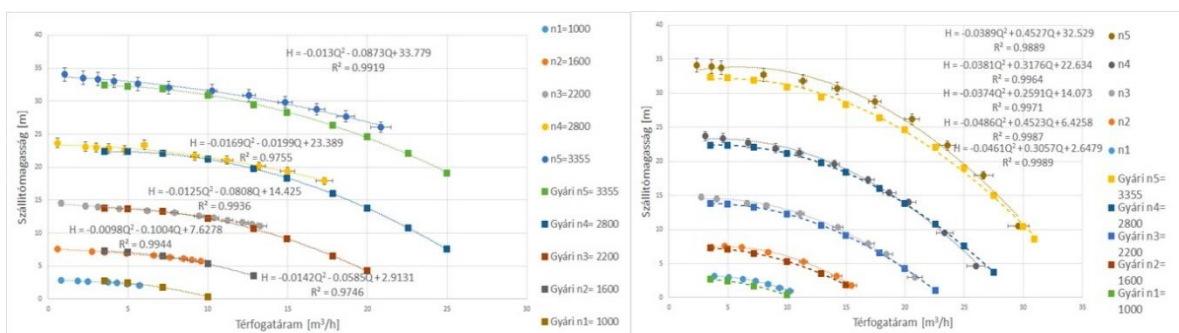
A H_{sz} szállítómagasságot pedig az alábbi (2) összefüggéssel számítottuk. [10] [11] A geodetikus magasságból származó tagot elhanyagoljuk, mivel a berendezés vízszintes, a szivattyú szívó- és

nyomóoldalának geodetikus magassága megegyezik. p_s és p_n a szívó és nyomóoldalon mért nyomások, g a gravitációs térerősség, A_s és A_n a szívó és nyomóoldal csővezetékének keresztmetszete a nyomásmérési pontban.

$$H_{SZ}(Q) = \frac{p_N - p_S}{\rho_{v\acute{I}z} \cdot g} + \frac{1}{2 \cdot g} Q^2 \left(\frac{1}{A_N^2} - \frac{1}{A_S^2} \right) \quad (2)$$

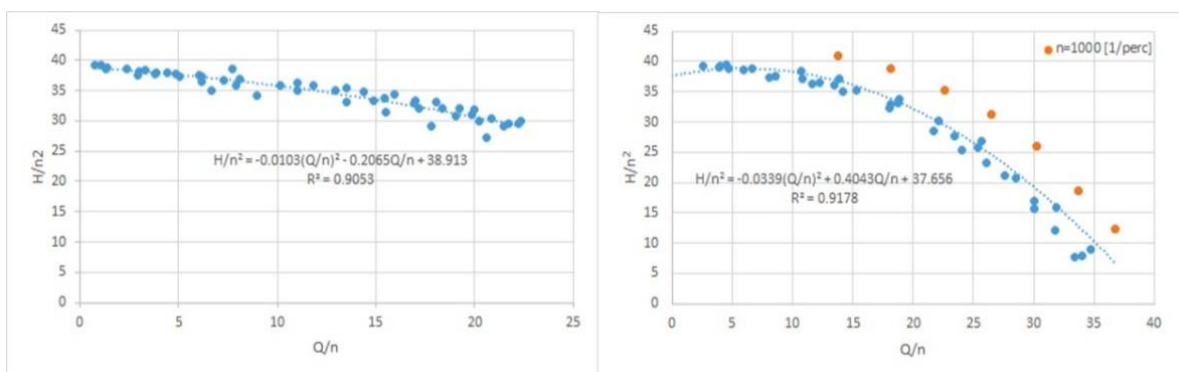
3. EREDMÉNYEK

A mérések eredményei a 3. ábrán láthatóak. A Carbopol oldat dinamikai viszkozitása a vízének kb. 7-szerese, míg a glicerín-oldaté pedig a vízének kb. 210-szerese. Az ábrán látható, hogy a szivattyú jelleggörbék mind ezek ellenére „jól simulnak” a gyári jelleggörbékhez.



3. ábra A mért szivattyú jelleggörbék és a gyári jelleggörbék ábrázolva (bal oldalt a Carbopol, jobb oldalt a glicerín oldaté látható) [12]

Az affinitás törvényének vizsgálatán azt értjük, hogy a több fordulatszámon mért görbéket fordulatszámfüggetlenné tesszük, így „elméletileg” egyetlen görbét kapunk. Erre a görbére való illeszkedés jóságát vizsgáljuk a determinációs együtthatóval, ami esetünkben megközelítőleg 1, így megállapíthatjuk, hogy az affinitás törvényei igazak a Carbopol oldat esetén (ld. 4. ábra, bal). A glicerín oldat esetén viszont az affinitási törvény egy fordulatszám esetén nem teljesül, ld. 4. ábra jobb. Ennek mélyebb megértése, tisztázása túlmutat a jelen dolgozaton.



4. ábra Az affinitás vizsgálata (balra a Carbopol, jobbra a glicerín oldat eredményei láthatóak) [12]

A HI és a KSB metódusát alkalmazva mindkét szakirodalom szerint a korrekciós tényezőket 1-nek kell tekinteni, amely egybevág az általunk tapasztaltakkal; miszerint ezen tesztközegeket szállító szivattyúk jelleggörbéi még közelíthetőek a gyári, vízre megadott görbékkel.

4. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS

A mérések és a szakirodalommal való összevetés azt mutatja, hogy továbbra is alkalmazhatóak a víz közegre rendelkezésre álló összefüggések ezen két tesztközeg esetén. Az affinitás törvénye a Carbopol oldat esetén teljesül; a glicerín alapú közegnél pedig további kutatásra van szükségünk.

A viszkózus közegek szivattyújelleggörbéire gyakorolt hatásának vizsgálata fontos lehet az ipar számára is, mivel pontosabb méretezés esetén energiahatékonyabb rendszereket tervezhetünk. Ezen kívül fontos témának tekintjük a viszkózus közegeknek csővezetékekre, csőídomokra és szerelvényekre gyakorolt hatásának vizsgálatát is, mely a csővezetékjelleggörbét befolyásolhatja.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka a Dr. Csizmadia Péter által elnyert az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-4-BME-443 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

HIVATKOZÁSOK

- [1] T. Lajos, *Az áramlástan alapjai*, Budapest, 2015.
- [2] K. Mrinal, H. M. Siddique és A. Samad, „*Performance prediction of a centrifugal pump delivering non-Newtonian slurry*,” *Particulate Science and Technology*, p. 9, 2018.
- [3] N. Aldi, C. Buratto, N. Casari, D. Dainese, V. Mazzanti, F. Mollica, E. Munari, M. Occari, M. Pinelli, S. Randi, R. P. Spina és A. Suman, „*Experimental and Numerical Analysis of a Non-Newtonian Fluid Processing Pump*,” 72nd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, p. 8, Szeptember 2017.
- [4] J. Kolombo, R. Haldenwang, R. Chhabra és V. Fester, „*Centrifugal Pump Derating*,” *Journal of Fluids Engineering*, p. 11, Március 2014.
- [5] *Selecting Centrifugal Pumps*, KSB Aktiengesellschaft, 2005.
- [6] *A szivattyú adatlapja*: https://wilo.com/hu/hu/Term%C3%A9kek/Keres%C3%A9s-sorozat-szerint/Helix-EXCEL-1602-1-16-E-KS_4661.html#tab-JsonProductPumpCurveDataGroup.
- [7] *Nyomástávadó kalibrálása*: http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGNT32/MJ1_Kalibr%C3%A1l%C3%A1s.pdf, Budapest.
- [8] *Örvényszivattyú mérése*: <http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGAG02/OA.pdf>, Budapest, 2018.
- [9] L. Kulmann, *Áramlástechnikai gépek*, Budapest, 2019.
- [10] P. Csizmadia, *Áramlástechnikai rendszerek kézikönyve*, Budapest, 2018.
- [11] *Áramlástechnikai gépek előadásjegyzet* - Hős Csaba előadásai alapján, Budapest, 2019.
- [12] D. L. Lukácsi, *Radiális szivattyú jelleggörbéinek kísérleti vizsgálata víz és viszkózus közeg esetén* - Szakdolgozat, Budapest, 2019.