

# Radiális szivattyú jelleggörbéinek kísérleti vizsgálata speciális viszkozitású közegek esetén

Folyadékot szállító gépészeti berendezések áramlástechnikai méretezése során kiemelten fontos a megfelelő szivattyú kiválasztása. Ehhez szükség van a gép jelleggörbéinek pontos ismeretére, amik víz közegnél általában a gyártói adatszolgáltatásból ismertek. Ha azonban a szállítandó közegünk speciális viszkozitási tulajdonságokat mutat, akkor a jelleggörbék degradálódhatnak és csökkenhet a szállított mennyiség. Jelen tanulmányban bemutatjuk, hogy több tesztközeg felhasználásával laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk a jelleggörbék módosulásának vizsgálatára, és ezeket összevetettük a rendelkezésre álló szakirodalommal.

During the flow engineering sizing of mechanical equipment for transporting liquids, it is extremely important to select the appropriate pump, which requires an accurate knowledge of the characteristic curves of the machine. In the case of clean water, these are usually known from the manufacturer's data, but if the fluid to be transported has special rheological and viscosity properties, the characteristic curves may degrade and the delivered quantity may decrease. In the present study, laboratory tests for characteristic curve modifications are performed using several test fluids and compared with the available literature.

## Bevezetés

A legtöbb ipari technológiában a folyadékok szállítását szivattyúk segítségével oldják meg, amelyek jelleggörbéi a gyártói katalógus adatok alapján ismertnek tekinthetők, ha a közeg pl. tiszta víz. Viszont a mindennapi életünk számára szükség van víznél speciálisabb folyadékok mozgatására is, amelyek megjelennek az élelmiszeripar (pl.: joghurtok, szósok), a vegyipar (pl.: gélek, zselék) vagy épp a szennyvíztisztítás (pl.: eleveniszap) területein. A folyadékok egy nagy családjára igaz a Newton-féle viszkozitási törvény; e közegek a newtoni folyadékok (pl. víz, olaj). Viszont amelyekre e törvény nem teljesül, azokat nemnewtoni közegeknek tekintjük [1]. A viszkozitás növekedése befolyásolhatja, „ronthatja” a szivattyú jelleggörbéjét. Emellett a rendszer összellenállása is változni, növekedni fog, amely tovább nehezíti a tervezői feladatot [2].

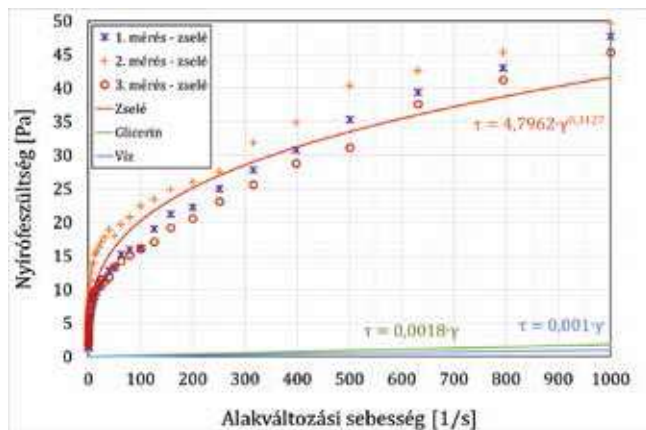
Amennyiben a közegünk a víztől eltér, de még tekinthető newtoninak (pl. olaj, glicerin), akkor a szakirodalomban több módszer is található, amiknek segítségével „megjósolhatjuk” a szivattyú viszkozus szállítómagasság ( $H$  [m]) – térfogatáram ( $Q$  [ $m^3/h$ ]) jelleggörbéit. Az egyik legismertebb ezek közül a Hydraulic Institute módszere [3],

amely a viszkozitás növekedését analitikusan kiszámítható korrekciós tényezők alkalmazásával veszi figyelembe, így a módosított szállítómagasság – térfogatáram jelleggörbe meghatározható. A KSB szivattyúgyártó módszere pedig grafikusan nyújt segítséget a módosító tényezők meghatározásához [4]. Ezek mellett említendő továbbá Ofuchi et. al. 2020-as javaslata is [5]. Viszont ha a közeg reológiai tulajdonságai már túlmutatnak az egyszerű Newton-féle viszkozitási törvényen, akkor csak elvélve találni olyan szakirodalmi forrást, amely becsléseket közöl a jelleggörbék viselkedésére, degradációjára, és itt sem mutatkozik még egyértelmű egységes álláspont. Buratto et. al. numerikus áramlásszimulációt tartalmazó, több szivattyút vizsgáló [6] tanulmányukban arra jutottak, hogy az ismert módszerek közül Walker and Goulas [7] és Pullum et al. [8] módszerei adhatnak jó közelítést nemnewtoni szivattyúzás esetén. Összefoglaló cikkükben azonban rámutatnak az ismert módszerek több limitációjára is. Több kérdés még ma is tisztázatlan tehát, példaként említhető a fordulatszám-változtatás hatása és az affinitási törvények érvényessége. Jelen kísérleti munkánk során egy radiális átömlésű centrifugál szivattyú szállítómagasság - térfogatáram jelleg-

görbét vizsgáljuk különböző fordulatszámokon és különböző tesztközegek esetére, úgymint a víz, a víz glicerines oldata, amely viszkózus, de még newtoni reológiai tulajdonságú, valamint egy zselés tesztközeg, amely nagy viszkozitású és nemnewtoni reológiai viselkedést mutat.

### Anyagtulajdonságok

A jelleggörbe vizsgálatok során referenciaként vízzel, valamint két tesztközeggel végeztük a méréseket. Az egyik tesztfolyadék egy 25 tömegszázalékos glicerin-víz oldat, mely newtoni reológiájú és kinematikai viszkozitása  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s volt (innenről: glicerines oldat). Másik teszt közegünk pedig egy „Gelli baff” nevű por és víz zselés keveréke (innenről: zselé), mely már nemnewtoni reológiájú tesztközeg. A reológiai görbéjét pseudoplasztikus, hatványfüggvény szerint viselkedő modellel közelítettük. A leíró egyenletében szereplő „dinamikai viszkozitásból” számított értékkel becsültük a kinematikai viszkozitását, amely  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. A számértékekből, valamint az 1. ábráról is látható, hogy mennyire jelentős változást jelentett viszkozításban és reológiában a zselé közeg alkalmazása a másik két newtoni közeghez képest. (A folyási tulajdonságot leíró reológiai egyenleteket az ábra SI mértékegységben tartalmazza.)



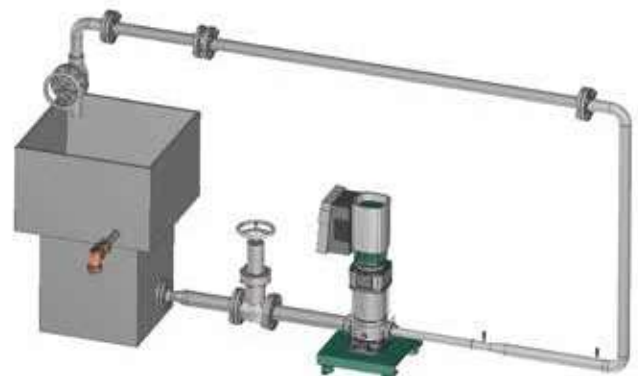
1. ábra: A tesztközegek reológiai görbéi és leíró egyenletei.

### Laboratóriumi mérőrendszer

A BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék Laboratóriumában létrehozott mérőrendszer [9] modellje a 2. ábrán látható. Egy tartályból a vizsgált Wilo-Helix EXCEL 1602-1/16/E/KS [10] típusú, radiális átömlésű szivattyú szállítja a közeget a mérőrendszer felé. A létrehozott nyomáskülönbséget a szivattyú előtt és után

elhelyezett, kalibrált [11] nyomástávadókkal mértük, és ennek segítségével határoztuk meg a szállítómagasságot [12-14]. A térfogatáram meghatározása szabványos mérőperem, valamint egy „U” csöves manométer segítségével történt. A fordulatszámot a szivattyú digitális adatszolgáltatása biztosította.

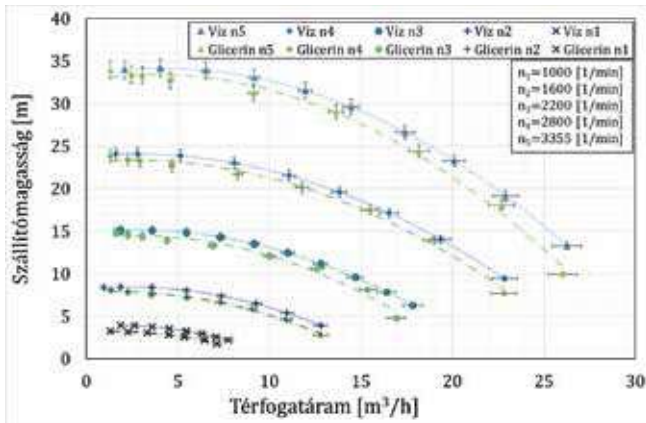
A munkapontok felvétele egy nyomóoldali tolózár állításával, valamint a frekvenciaváltó segítségével történt. A víz és a glicerines oldat esetén 5-5 különböző fordulatszám került beállításra a szivattyúvezérlés által engedélyezett minimum ( $n_1 = 1000$  1/min) és maximum ( $n_5 = 3355$  1/min) értékek között; míg a zselés közegnél – a bizonytalan működés miatt – csak kettő ( $n_3 = 2200$  1/min és  $n_5 = 3355$  1/min). Fordulatszámoként pedig átlagosan 8-10 munkapontban végeztük el a méréseket, különös gondot fordítva a közeg felmelegedésének elkerülésére. A glicerines oldat, valamint a zselé közegek esetén maximum 1 °C-ot változott a hőmérséklet, ami például a glicerines oldatnál kevesebb, mint 3%-os viszkozitásbeli változást jelentett.



2. ábra: A vizsgált mérőrendszer.

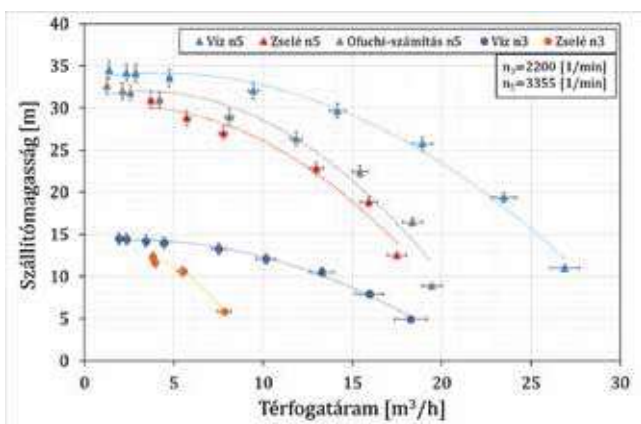
### Eredmények

Első lépésként a gyártó által megadott jelleggörbéket vetettük össze a vízzel végzett mérések eredményeivel. A százalékos eltérések döntően 2-3%-on belül voltak, ezzel validálnak tekintettük a mérőrendszerünket. Ezt követően a vízzel, illetve a glicerinnel mért eredményeket vettük fel különböző fordulatszámokon, ld. 3. ábra. Az eredményekből az látható, hogy habár a glicerines oldat viszkozitása kb. kétszerese a vízének, nincs érdembeli változás a jelleggörbében, csak kismértékű 3-6% csökkenés tapasztalható a szállítómagasságban. Ezen eredmények a [3-4] szakirodalommal összhangban vannak.



3. ábra: Mért jelleggörbék víz és glicerines oldat esetén.

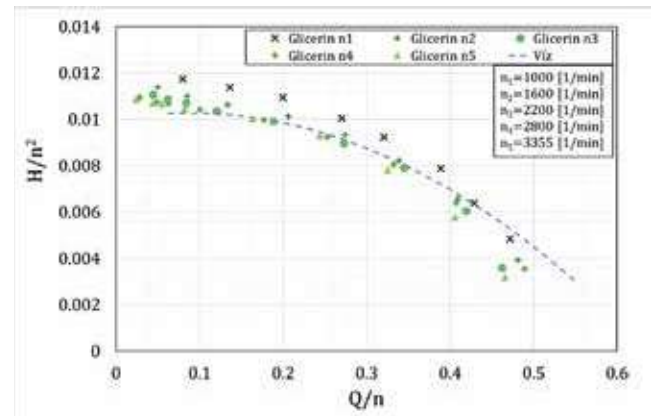
A zselé tesztközzeggel két fordulatszámon tudtunk méréseket végezni. Az eredményeket a 4. ábra tartalmazza, amelyen összehasonlításként a tiszta vizes mérés, valamint az [5] modell által javasolt közelítő számítás is látható. Itt már jelentős jelleggörbe letörés figyelhető meg, ami nagyobb térfogatáramok felé növekedést mutat. Fontos megjegyezni, hogy ennél a közeznél – a nagy viszkozitás miatt – a „szokásos” [3-4] szakirodalmi közelítések nem alkalmazhatók, ezért volt szükséges az újabb modell [5] használata. A méréseink és e modell közötti százalékos eltérések értéke kb. 10%, amelyet a nemnewtoni reológiai tulajdonság általunk alkalmazott becslése is okozhat. Lehetséges azonban, hogy az irodalomban szintén kísérleti úton meghatározott összefüggések alkalmazhatósága korlátozott. Ezeknek a kérdéseknek a tisztázása jövőbeli célkitűzésünk.



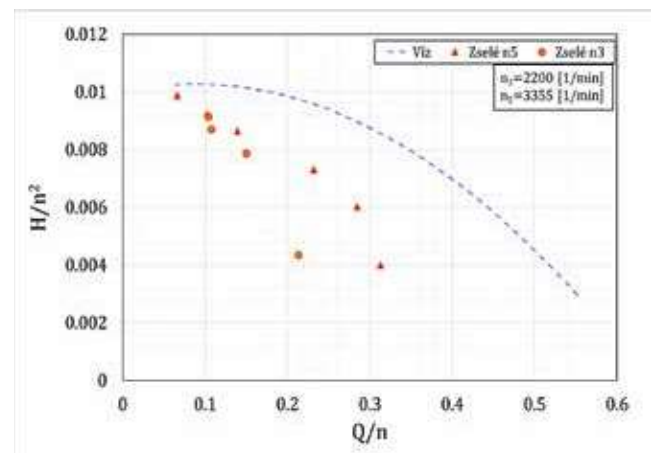
4. ábra: Mért jelleggörbék víz és zselé közegek esetén, a névleges fordulatszámon.

A következő ábrákon az affinitás törvényeinek [13-15] alkalmazhatóságát elemezzük a különböző tesztközegek esetén. Az 5. ábrán látható, hogy a glicerines oldatnál,

öt különböző fordulatszám esetén is viszonylag jól közelítjük a vizes gyári adatokból számított (szaggatott kék) görbét, kis eltérés tapasztalható. A zselés közeg esetén a két fordulatszámnál is jelentős eltérés adódott (ld. 6. ábra). A görbék sem az eredeti (vizes) görbével, sem egymással nem esnek egybe, így az affinitás érvényessége megkérdőjelezhető [15].



5. ábra: Affinitás ellenőrzése a víz és a glicerines oldat esetén.



6. ábra: Affinitás ellenőrzése a víz és a zselé közeg esetén.

### Összefoglalás

Egy radiális átömlésű centrifugál szivattyú jelleggörbéinek módosulását vizsgáltuk különböző reológiájú tesztközegek esetén. A kísérletek eredményeiből látható, hogyha a szállított közeg viszkozitása csak kismértékben tér el a vizétől, akkor az még kezelhető a klasszikus szakirodalmi közelítésekkel [3-4], illetve akár a víz közege érvényes jelleggörbe használatával. Viszont, ha jelentős viszkozitásnövekedést tapasztalunk, akkor a szivattyú szállítómagasság – térfogatáram jelleggörbéje „letörik”,

és arra az új modellt [5] érdemes használni; továbbá, ha a közeg nemnewtoni tulajdonságot mutat, akkor ezen becslés is fenntartással kezelendő. E mellett az affinitási törvények okozta jelleggörbe rendeződés a viszkozitás növekedésével szintén csökken, sőt, akár használhatatlanná válik. Szeretnénk megjegyezni, hogy több nyitott kérdés is felmerült, amelyeket a munka folytatása során további mérésekkel alátámasztani, illetve tisztázni szeretnénk.

### Köszönetnyilvánítás

A munka Dr. Csizmadia Péter által elnyert az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-5-BME-156 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült. Munkájáért köszönettel tartozunk továbbá Farkas Tamásnak.

### Hivatkozások

- [1] Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2015.
- [2] Csizmadia Péter, Till Sára: Többfázisú közegek szivattyúzása, Vízmű Panoráma, XXVIII/2020. 4. szám, 19-22.
- [3] Kalombo, J.-J.N., Haldenwang, R., Chhabra, R., Fester, V.: Centrifugal pump derating for non-Newtonian slurries, *Journal of Fluids Engineering*, 136(3), pp. 1-11. (2014)
- [4] KSB Aktiengesellschaft, 2005, Selecting Centrifugal Pumps, elérhető az interneten: <https://www.ksb.com/blob/52818/2f87b1fd260f81ed17fc6731e173b886/auslegung-en-data.pdf>,
- [5] Edgar Ofuchi, J.M.C. Cubas, H. Stel, R. Dunaïski, T.S. Vieira, R.E.M. Morales: A new model to predict the head degradation of centrifugal pumps handling highly viscous flows, *Journal of Petroleum Science and Engineering* 187 (2020).
- [6] Buratto, C., Occari, M., Aldi, N., Casari, N., Pinelli, M., Spina, P. R., Suman A.: Centrifugal pumps performance estimation with non-Newtonian fluids: Review and critical analysis. 12th European Conference on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics, ETC 2017, (January 2017).
- [7] Walker C. I., Goulas A.: Performance Characteristics of Centrifugal Pumps When Handling Non-Newtonian Homogeneous Slurries, *Proc. Inst. Mech Eng., Part A*, 198(A), pp. 41–49 (1984).
- [8] Pullum L., Graham L. J. W., Rudman M.: Centrifugal Pump Performance Calculation for Homogeneous and Complex Heterogeneous Suspensions, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 107, June 2007, pp. 373–379 (2007)
- [9] Lukácsi Dávid Lajos, Csizmadia Péter: Radiális szivattyú jelleggörbéinek kísérleti vizsgálata víz és viszkózus közeg esetén. XXVIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia – OGÉT 2020. 28, (Apr. 2020), 109-112.
- [10] A Wilo-Helix EXCEL 1602-1/16/E/KS szivattyú adatlapja, elérhető az interneten [https://wilo.com/hu/hu/Term%C3%A9kek/Keres%C3%A9s-sorozat-szerint/Helix-EXCEL-1602-1-16-E-KS\\_4661.html#tab-JsonProductPumpCurveDataGroup](https://wilo.com/hu/hu/Term%C3%A9kek/Keres%C3%A9s-sorozat-szerint/Helix-EXCEL-1602-1-16-E-KS_4661.html#tab-JsonProductPumpCurveDataGroup),
- [11] BME HDR Tanszéki segédlet: Nyomástávadó kalibrálása, elérhető az interneten: [http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGNT32/MJ1\\_Kalibr%C3%A1l%C3%A1s.pdf](http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGNT32/MJ1_Kalibr%C3%A1l%C3%A1s.pdf),
- [12] BME HDR Tanszéki segédlet: Örvényszivattyú mérése, elérhető az interneten: <http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGBX01/OA.pdf>, Budapest.
- [13] Kullmann László: Áramlástechnikai gépek, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2019. <https://mersz.hu/kullmann-aramlastechnikai-gepek>
- [14] Till Sára, Csizmadia Péter: Áramlástechnikai rendszerek, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2020., <https://mersz.hu/till-csizmadia-aramlastechnikai-rendszerek>
- [15] Lukácsi Dávid Lajos: Radiális szivattyú jelleggörbéinek kísérleti vizsgálata víz és viszkózus közeg esetén, TDK dolgozat BME GPK Áramlástan szekció, 2020.

*Dr. Csizmadia Péter, Lukácsi Dávid Lajos, Till Sára  
BME GPK Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék  
pcsizmadia@hds.bme.hu, lukacsi.david81@gmail.com,  
still@hds.bme.hu*