

Tisztelt Olvasónk!

1994-ben jelent meg a „Szivattyúk, kompresszorok, vákuumszivattyúk” első száma, így ebben az évben már a XXIX. évfolyamunkat jelentettük meg.

Az első időszakban segítséget kaptunk a német partnerlapunktól, a magyar viszonyokra adaptálva vettük át például a „Beszerzési forrás” táblázatokat. Pár év alatt megismerték a szakmai felhasználók a lapot, akik díjmentesen kapták és kapják azóta is ezeket az információkat.

Jó érzés a kiállításokon találkozni velük, sokszor már olyankor megvan nekik a legújabb példány, nem is kell vinniük belőle. Az idei számunkban is igyekeztünk sok hasznos témát feldolgozni: olvashatnak például nagy hatásfokú okosszivattyú családokról, a keverőkörök új generációjáról és a hidraulika jövőjéről.

De lehet találni írást új fejlesztésű frekvenciaváltókról, vagy a patronra szerelt tömítésekről is.

Örvendetes, hogy ebben a katalógusban ismét szép számmal szerepelnek a kompresszoros és vákuumszivattyús vállalkozások.

Jó érzés, hogy a mai „internetfüggő” világban a kiadvány megállja a helyét, sőt egyre bővebb tartalommal tud megjelenni. Természetesen az interneten is elérhetőek vagyunk, a www.bb-press.hu oldalon.

Reméljük, hogy ez a szám is hasznos segítség lesz munkájuk során.

*Bagi István
szerkesztő*

Szivattyúk, kompresszorok, vákuumszivattyúk 2022

Szerkesztő:

Bagi István

Szaktanácsadó:

Valasek László

Kiadó:

BB-PRESS Kft.

E-mail: info@bb-press.hu

Web: www.bb-press.hu

Nyomdai előkészítés:

Závori Márta

zavorimarta68@gmail.com

Nyomdai munkálatok:

PAUKER

Nyomdaipari Kft.

1047 Budapest

Baross u. 11-15.

Felelős vezető:

Vértes Dániel

ISSN szám: 1219-1108

*A kiadványban közölt
hirdetések és PR-cikkek
tartalmáért a Kiadó
felelősséget nem vállal.*

Centrifugál szivattyú jelleggörbe degradációját becslő módszerek bemutatása nemnewtoni közeg szállítása esetén

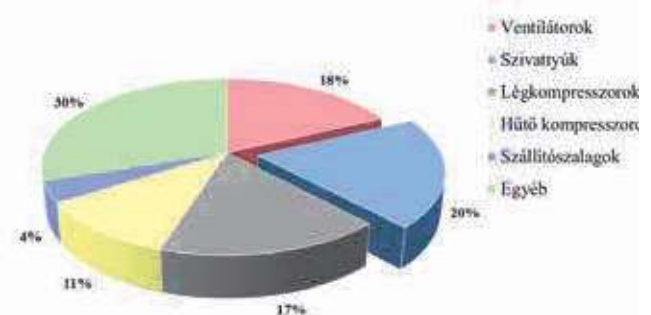
A centrifugál szivattyúk jelleggörbéi nemnewtoni közeg szállítása esetén módosulhatnak, romolhatnak. A módosult jelleggörbék becslésére napjainkban több közelítő módszer is ismert, azonban ezek mindegyike számos kérdést vet fel. Akár empirikus, akár analitikus levezetésből kiinduló módszerről beszélünk, a becslés minden esetben tartalmaz a szállított közeg viszkozitására, illetve a szivattyú geometriájára vonatkozó olyan közelítéseket, amelyek nem kellő mértékben bizonyítottak. Munkánkban összefoglaljuk a szállított folyadék reológiai jellemzésére használt legjellemzőbb modelleket, illetve a szivattyú jelleggörbe becslések módszereit. Kiemeljük azok még hiányos, további kutatást igénylő részeit is.

The performance curves of centrifugal pumps change and degrade during the transport of non-Newtonian fluids. There are several approaches to estimating the modified characteristics, but each of them raises several questions. Whether it is an empirical or an analytical method, the estimate always includes unprecedented approximations of the fluid's viscosity and the geometry of the pump. In our work, we summarize the most typical models used for the rheological characterization of the fluid and the methods of estimating the pump's performance curve. We also highlight their deficiency and the parts requiring further research.

Bevezetés

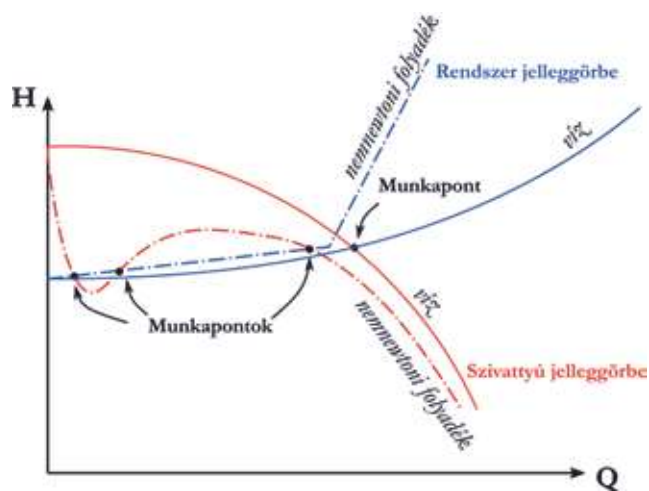
Az Európai Bizottság szivattyúk energiahatékonyságával foglalkozó tanulmánya szerint, napjainkban az elektromotorok által biztosított energia kb. 20%-a fordítódik szivattyúzási folyamatokra [1]. Az alkalmazások szerinti energiafelhasználás megoszlását mutatja az 1. ábra. A megszokott, levegő, víz és olaj mellett az erőműiparban az erőművi zagyot [2], a szennyvízkezelésben az eleveniszapot [3], az olajiparban a fűrőszarot [4], az élelmiszeriparban pedig a gyümölcspepéket [5] és dzsúszokat [6] szállítják szivattyúk a technológiai folyamatok között. Ezekre a feladatokra pedig gyakran centrifugál szivattyúkat választanak.

Számos folyadék speciális, nemnewtoni reológiai tulajdonságú, és többüknek a technológia során is változhat az anyagszerkezete, más paramétereinek (pl. hőmérséklet, szilárdanyag tartalom) állandósága mellett is [3]. Az anyagszerkezeti változások a folyási tulajdonságokat, a reológiát is befolyásolják, ami kihathat a szivattyú szállítómagasságára és hatásfokára is.



1. ábra: A villamos motorok energiafogyasztóinak megoszlása a világon alkalmazások szerint, [1] alapján

Erősen viszkózus és nemnewtoni anyagok szivattyúzása esetén a csővezetékrendszer jelleggörbéjének és a szivattyú jelleggörbéinek ismerete is szükséges a méretezéshez és az üzemeltetéshez. A 2. ábra szemlélteti azt, hogy egy adott rendszer tervezett munkapontjai eltolódhatnak a szállított közeg reológiájának függvényében, sőt kivételes esetben instabil munkapontok is kialakulhatnak.



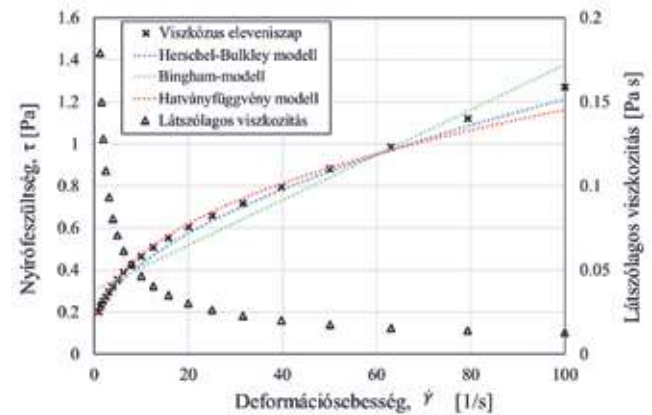
2. ábra: Együtt dolgozó szivattyú-csővezetékrendszer munkapontjainak vázlata newtoni és nemnewtoni közeg szállítása esetén

A szállítómagasság-térfogatáram és hatásfok-térfogatáram görbék módosulásának becslésére a szakirodalomban alapvetően két módszer terjedt el. Mindkét módszer a vízzel, mint newtoni közeggel felvett jelleggörbékhez becsül ún. korrekciós tényezőket, amivel módosítva az eredeti jelleggörbe pontjait kaphatjuk meg pontonként a módosult jelleggörbét. A leggyakrabban alkalmazott módszerek erősen viszkózus közegek szivattyúzására készültek, amit napjainkban igyekeznek kiterjeszteni úgy, hogy a nemnewtoni anyagok esetén is használhatók legyenek.

A folyadék reológiai modellezése

A bevezetésben is felsorolt nemnewtoni közegek folyási tulajdonságait leggyakrabban a hatványfüggvény, a Bingham- és a Herschel-Bulkley modellekkel szokták leírni. Leírásukra a nyírófeszültség és a deformációsebesség között egy általános egyenlet használható: $\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$, ahol τ [Pa] a nyírófeszültség, τ_0 [Pa] a határfeszültség, K [$\text{Pa} \cdot \text{s}^n$] a konzisztencia index, n [-] a folyási index és $\dot{\gamma}$ [1/s] a deformációsebesség. Hatványfüggvény közegeknél nincs határfeszültség, $\tau_0=0$; Bingham-folyadékok esetén pedig a folyási index $n=1$, vagyis az általános modell egyszerűsödik. A becslések során fontos tényező, hogy a folyadék jellemzésére melyik modellt választjuk. A 3. ábra viszkózus eleveniszap mért reológiai görbéjére illesztett függvények közötti különbségeket mutatja be, korábbi munkánk alapján [3]. A közeg látszólagos viszkozitása a nyírófeszültség és az alakváltozás hányadosa $\mu_l = \tau / \dot{\gamma}$ [Pa·s], ami nemnewtoni

esetben nem konstans, hanem szintén a deformációsebesség függvénye.



3. ábra: Eleveniszap reológiai jellemzése a hatványfüggvény, a Bingham- és a Herschel-Bulkley modellekkel; továbbá a látszólagos viszkozitás deformáció függése

Kísérleti úton meghatározott szivattyú jelleggörbe átszámítási módszerek

A jelleggörbe átszámításra létező módszerek első csoportjába kísérleti úton meghatározott tényezőkkel dolgozó metódusok tartoznak. Az amerikai szabvány (American National Standard Institute/ Hydarulic Institute - ANSI/HI) erősen viszkózus newtoni anyagokra készült [7]. Az itt szereplő korrekciós tényezők számításához szükséges összefüggések alapja egy „B” tényező meghatározása, amiben szerepel az anyagra jellemző kinematikai viszkozitás. Ezenfelül a legjobb hatásfokú pont szállítómagasság és térfogatáram adataira is szükség van. A szállítómagasság, a térfogatáram és hatásfok átszámítására is használható ez a módszer.

A szintén viszkózus anyagokra létrehozott, és mérnöki gyakorlatban egyik leggyakrabban használt eljárás a KSB-metódus, amit a szivattyúgyártó cég dolgozott ki [8]. Ez egy egyszerű grafikus módszer a korrekciós tényezők meghatározására, amihez szükségünk van a cég által közölt diagramra. A módszer limitált a reológiai tulajdonságok tekintetében.

Az utóbbi időben a kutatások egyik fő irányvonala az volt, hogy az ANSI/HI módszert igyekeztek a nemnewtoni anyagtulajdonságokhoz illeszteni. A munka nehézsége abban rejlik, hogy míg a számítási képletek viszkózus newtoni anyagra egy viszkozitási értéket tartalmaznak; a nemnewtoni anyagoknál viszont a viszkozitás az

alakváltozási sebesség függvénye (lásd 3. ábra). Így egy jellemző látszólagos viszkozitási érték megállapítása szükséges [9]. A releváns alakváltozási sebesség egyrészt tehát minden jelleggörbe pontban más és más. Másrészt átlagos értékének meghatározása nem triviális, mivel a járókerékben lévő áramkép alapján állítható, hogy az széles tartományban vehet fel értékeket a szivattyú belsejében [10]. Az amerikai szabványon alapuló legrégebbi módszer Walker és Goulas nevéhez fűződik [11]. Ők azt találták Bingham-plasztikus közegekkel végezve méréseket, hogy a szállítómagasság degradációja a kis térfogatáramok esetében lehet jelentős. Közelítésükben a nagy térfogatáramoknál -a legjobb hatásfokú pont körül- az 1500 1/s alakváltozási sebességhez tartozó viszkozitási értéket használták, míg alacsony térfogatáramnál a járókerék szögsebességének kétszeresénél állapították meg a látszólagos viszkozitást.

Sery és munkatársai [12] Walker és Goulas módszere alapján finomították sajátjukat. A releváns nyírási sebességet náluk a szivattyú járókerékben lévő átlagos alakváltozási sebesség adja Metzner és Otto [13] módszere alapján számolva, ahol az alakváltozás és a fordulatszám között egyenes arányosságot feltételeztek. Az arányossági tényezőt kísérlettel határozták meg saját szivattyújuk esetében, Herschel-Bulkley reológiájú tesztközegekre. Munkájuk alapján az arányossági tényező értékét minden esetben kísérleti úton ajánlott meghatározni; a Xylem gyártó például saját szivattyúihoz maga ajánl értéket [9].

A legfrissebb módszer Pullum és Graham [14] nevéhez fűződik. Szerintük a nyírási sebesség nem állandó a járókerék belsejében, hanem a hely függvénye. Ezért a szivattyút helyettesítendő egyenértékű csőátmérőt határoztak meg, ami a járókerék átmérő és egy „w” tényező függvénye. Ezzel az egyenértékű átmérővel adott térfogatáram esetén számolható egy jellemző sebesség, amivel lamináris esetben a reológia ismeretében a Rabinowitsch-Mooney egyenlettel [15] számolható a keresett alakváltozási sebesség. Turbulens esetben pedig a 4000 1/s alakváltozási sebességhez tartozó látszólagos viszkozitási érték használatát javasolják. Módszerük nagy kérdése, hogy az egyenértékű csőátmérő meghatározásában szereplő „w” értékét hogyan válasszuk meg. Cikkükben erre a járókerék átmérőjének 25%-át javasolják. Furlan és munkatársai a járókerék átmérőjének 13,7% és 15,8%-át ajánlotta két különböző általuk megvizsgált szivattyúra [16]. A méréseik alapján a szivattyú csigaházának

belső méretét (szélességét) találta megfelelőnek Visintainer kutatócsoportja [17]. Más kutatók azt találták, hogy akár 3-30% eltérés is lehet adott szivattyúra a konstans értékében attól függően, milyen anyaggal kísérletezve határozzuk meg értékét [10]. Kalombo et al. arra jutottak, hogy „w”-t minden egyes szivattyúra kísérleti úton kell meghatározni a szállítandó új anyag esetében [18].

Ehhez kapcsolódóan egy valós szennyvíztisztító telep iszapkörét modelleztük néhány egyenes csőből, könyökből álló egyszerű áramlástechnikai rendszert elképzelve [19]. Guibaud [20] három különböző szárazanyagtartalomhoz tartozó szennyvíz reológiai adatait felhasználva, Bingham-plasztikus modellt feltételezve Pullum és Graham számítási módszerével számítottuk át a szivattyú vízzel adott jelleggörbéit az iszapokra. Emellett a rendszer jelleggörbét is megbecsültük nemnewtoni közeg esetére. Munkánkban azt találtuk, hogy a szivattyú jelleggörbéjének letörése a kis térfogatáramoknál jelentkezett, és ezeknél az anyagoknál önmagában nem volt jelentős. A fajlagos energiafogyasztásban maximum 3% eltérés mutatkozott, mivel a rendszer eredetileg jól tervezett volt, a munkapont közel állt az optimális ponthoz, és a legjobb hatásfok pont környékén alig változtak a jelleggörbék. Megmutattuk azonban, hogy az adott rendszer statikus szállítómagasság igényének már 1 m-es változása instabil munkapontot eredményezhetne, ami üzembiztonsági szempontból nem lenne megengedhető.

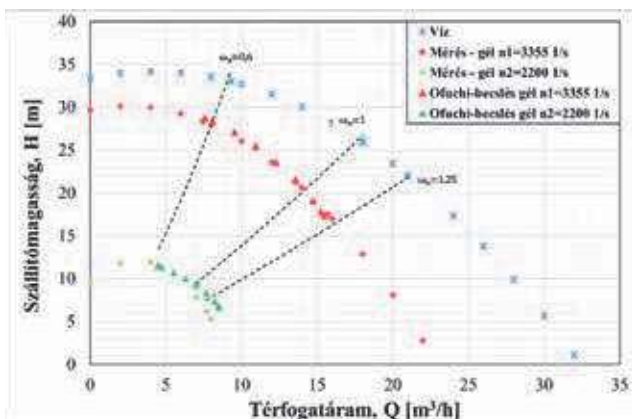
Dimenzióanalízisen alapuló szivattyú jelleggörbe átszámító módszerek

A másik ismert módszer az erősen viszkózus anyagok szállítómagasságra gyakorolt hatásának számítására a dimenzióanalízis módszerén alapul. Stepanoff [21] megmutatta, hogy a dimenziótlanszámok bevezetése adhat lehetőséget az átszámításra más viszkozitású anyagok esetében. A szokásos szivattyút jellemző dimenziótlanszámok a nyomásszám, a mennyiségi szám, a Reynolds-szám és a jellemző fordulatszám. Használva a legjobb hatásfok ponthoz tartozó jellemzőket ezek normalizálhatók úgy, hogy a szivattyú járókerék átmérője, mint geometriai jellemző ne szerepeljen bennük. Gülich [22] és Ofuchi [23] rávilágított, hogy a szivattyú csak olyan pontokban működhet, amik az így létrehozott normalizált jellemző fordulatszám adott értékéhez tartozó görbén helyezkednek el. Módszerükben a szállítómagasságot és térfogatáramot módosító korrekciós

tényezők számítása adott jellemző fordulatszám mellett lehetséges csak.

Az így meghatározott szállítomagassághoz és térfogatáramhoz tartozó tényezők között bizonyíthatóan hatványfüggvény szerinti kapcsolat áll fenn. (Mindezt saját laboratóriumi méréseink alapján mi is igazoltuk.) A szállítomagasság korrekciós tényezője és az általuk definiált módosított Reynolds-szám közötti kapcsolat meghatározásához azonban kísérleti eredményekből becsült paramétereket adtak meg a kutatók, ami egyértelműen a módszer gyenge pontja. Ezen becsült paraméterek függése a szivattyú típusától, geometriájától és az alkalmazott anyagtól még nyitott kérdés. Továbbá az is a módszer hátránya, hogy egyelőre ezzel a módszerrel a hatásfok átszámítására nincs lehetőség. Az Ofuchi-módszer kérdése még az is, hogy milyen módon alkalmazható nemnewtoni anyagokra.

A közelmúltban viszkózus newtoni és hatványfüggvény közegre vizsgáltuk meg a módszer alkalmazhatóságát. A járókerék belsejében lévő alakváltozási sebesség becslésére nemnewtoni anyag esetében Buratto et al. [24] alapján átlagos értéket használtunk. Az átlagos nyírási sebesség és a fordulatszám közötti arányossági tényezőt méréseink alapján határoztuk meg, és a viszkozitást a látszólagos viszkozitással számoltuk. A szállítomagasság korrekciós tényezőjének számítására a Güllich [22] által közölt konstansokat használtuk. A vizsgált $n_q=35$ jellemző fordulatszámú kétfokozatú centrifugál szivattyún mért és az Ofuchi-moddal számított jelleggörbék nemcsak a viszkózus glicerin, hanem a hatványfüggvény közeg esetében is nagyon jó egyezést mutattak [25], ahogy ez a 4. ábrán is látható.



4. ábra: Kétfokozatú centrifugál szivattyú ($n_q=35$) mért és az Ofuchi-moddal becsült jelleggörbéi két fordulatszámon hatványfüggvény közeg esetében

Összefoglalás

A szivattyúk jelentős energiafelhasználók, az ipar számos területen kiemelten fontos a hatékony működésük. Míg newtoni folyadék szállítása esetén szinten mindent tudunk róluk, ha a közeg speciális tulajdonságú, ismereteink sokkal korlátozottabbak. A szállítomagasság és hatásfok görbék minél pontosabb becslése nemnewtoni folyadék szállításakor üzemeltetési szempontból is fontos lehet.

Elsősorban két módszertípus létezik centrifugál szivattyúk jelleggörbéinek becslésére nemnewtoni közeg szállítása esetén. Ezekben közös, hogy erősen viszkózus newtoni anyagokra használatuk tisztázott, bizonyított. A szakirodalmi áttekintésünk és a témában folyó kutatásaink eredményei alapján elmondható, hogy a nemnewtoni alkalmazhatóságuk kérdéses. Kérdéseket vet fel már a közeget leíró anyagmodell kiválasztása is, hiszen kihathat a becslés pontosságára, ha egyszerűbb, könnyebben kezelhető anyagmodellt választunk. A kísérletileg meghatározott szivattyú jelleggörbe degradáció becslési módszerekben nem tisztázott, hogy az ajánlott paraméterek hogyan függnek a szivattyú belsejében kialakuló áramlástól, a járókerék alakjától vagy a gép típusától. Így használhatóságuk jelenleg nagyon limitált.

A dimenzióanalízisen alapuló módszerek elméleti megfontolásai bizonyíthatók, és alátámaszthatók viszkózus newtoni esetben. Azonban ezek is minden esetben tartalmaznak olyan tapasztalati konstansokat, amik az anyagtulajdonságok figyelembe vételét teszik lehetővé. Ezek validitása minden anyagra, geometriára és géptípusra szintén sok kérdést vet föl.

Saját kutatásaink alapján e módszer tűnik jó kiindulásnak nemnewtoni anyagmodellekre való átdolgozáshoz. Ezt hatványfüggvény közeg esetén sikerült is megvalósítanunk, azonban saját módszerünk is használ kísérleti konstansokat, amik csak az adott gép esetén érvényesek. Így a módszer mélyebb megértése, átültetése más típusú nemnewtoni anyagokra, más geometriájú szivattyúkra, és továbbfejlesztése úgy, hogy a hatásfok is becsülhető legyen vele, még a jövő feladata. Ehhez nemcsak kísérleti berendezésünkön folyó méréseinket, hanem numerikus áramlástani szimulációs (CFD) eredményeket is használni kívánunk a jövőben.

Köszönetnyilvánítás

A munka Dr. Csizmadia Péter által elnyert, az Innovációs

és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-5 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával, valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

TILL SÁRA, DR. CSIZMADIA PÉTER
BME GPK HIDRODINAMIKAI RENDSZEREK TANSZÉK
STILL@HDS.BME.HU, PCSIZMADIA@HDS.BME.HU

Hivatkozások

- [1] ETSU. "STUDY ON IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF PUMPS European Commission", (February). 2001.
- [2] Csizmadia, P. "Sűrűzagy keverőben lezajló áramlási folyamatok kísérleti és numerikus vizsgálata". 2016.
- [3] Bakos, V., Gyarmati, B., Csizmadia, P., Till, S., Vachoud, L., Göde, P. N., ... Wisniewski, C. "Viscous and filamentous bulking in activated sludge: Rheological and hydrodynamic modelling based on experimental data". *Water Research*, 214, pp. 118155. 2022. DOI:10.1016/j.watres.2022.118155
- [4] Reed, T. D., Pilehvari, A. A. "New model for laminar, transitional, and turbulent flow of drilling muds". *Production Operations Symposium*, pp. 469–482. 1993. DOI:10.2523/25456-ms
- [5] Diniz, R. S., Coimbra, J. S. D. R., Martins, M. A., De Oliveira Dos Santos, M., Diniz, M. D. M. S., De Souza Santos, E., ... De Oliveira, E. B. "Physical properties of red guava (*Psidium guajava* L.) Pulp as affected by soluble solids content and temperature". *International Journal of Food Engineering*, 10(3), pp. 437–445. 2014. DOI:10.1515/ijfe-2012-0250
- [6] Sani, A. M., Hedayati, G., Arianfar, A. "Effect of temperature and concentration on density and rheological properties of melon (*Cucumis melo* L. var. *Inodorus*) juice". *Nutrition and Food Science*, 44(2), pp. 168–178. 2014. DOI:10.1108/NFS-06-2013-0065
- [7] Addie, G. R., Roudnev, A. S., Sellgren, A. "The new ANSI/HI centrifugal slurry pump standard". *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 107(6), pp. 403–409. 2007. Retrieved from <https://www.saimm.co.za/Journal/v107n06p403.pdf>
- [8] KSB. *Selecting Centrifugal Pumps* (4th ed.). Frankenthal, Germany: KSB Aktiengesellschaft, Zentrale Kommunikation. 2005. Retrieved from <https://www.ksb.com/blob/52818/2f87b1fd260f81ed17fc6731e173b886/auslegung-en-data.pdf>
- [9] Heywood, N., Slatter, P. "Deration of Centrifugal Pumps for Non-Newtonian Slurries". In *19th International Conference on Transport and Sedimentation of Solid Particles* (pp. 219–227). Cape Town, South Africa. 2019.
- [10] 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. DOI:10.29008/etc2017-248
- [11] Walker, C. I., Goulas, A. "Performance Characteristics of Centrifugal Pumps When Handling Non-Newtonian Homogeneous Slurries". *Proc Instn Mech Engrs Vol*, 198A(1), pp. 41–48. 1984. DOI:10.1243/PIME_PROC_1984_198_006_02
- [12] Sery, G., Kabamba, B., Slatter, P. "Paste Pumping with Centrifugal Pumps: Evaluation of the Hydraulic Institute Chart De-Rating Procedures". *Proceedings of the Ninth International Seminar on Paste and Thickened Tailings*, pp. 403–412. 2006. DOI:10.36487/acg_repo/663_35
- [13] Metzner, A. B., Otto, R. E. "Agitation of non-Newtonian fluids". *AIChE Journal*, 3(1), pp. 3–10. 1957. DOI:<https://doi.org/10.1002/aic.690030103>
- [14] Graham, L. J. W., Pullum, L., Slatter, P., Sery, G., Rudman, M. "Centrifugal pump performance calculation for homogeneous suspensions". *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 87(4), pp. 526–533. 2009. DOI:10.1002/cjce.20192
- [15] Irgens, F. *Rheology and Non-Newtonian Fluids*. Springer International Publishing Switzerland. 2013. DOI:10.1007/978-3-319-01053-3
- [16] Furlan, J., Visintainer, R., Sellgren, A. "Centrifugal pump performance when handling highly non-Newtonian clays and tailings slurries". *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 94(6), pp. 1108–1115. 2016. DOI:10.1002/cjce.22495
- [17] Visintainer, R., Sellgren, A., Furlan, J., McCall, G. "Centrifugal pump performance deratings for a broadly graded (4-component) slurry". *International Conferences on Transport and Sedimentation of Solid Particles*, (September), pp. 359–367. 2017.

- [18] Kalombo, J. J. N., Haldenwang, R., Chhabra, R. P., Fester, V. G. "Centrifugal pump derating for non-Newtonian slurries". *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 136(3), pp. 1–11. 2014. DOI:10.1115/1.4025989
- [19] Csizmadia, P., Till, S. "Investigation of activated sludge pumping through a case study". *Circular Economy and Environmental Protection*, 4(1), pp. 5–17. 2020. Retrieved from <http://www.ceep.envproceng.eu/wp-content/uploads/2020/08/Vol-4-Issue-1.pdf>
- [20] Guibaud, G., Dollet, P., Tixier, N., Dagot, C., Baudu, M. "Characterisation of the evolution of activated sludges using rheological measurements". *Process Biochemistry*, 39(11), pp. 1803–1810. 2004. DOI:10.1016/j.procbio.2003.09.002
- [21] Stepanoff, A. J. *Centrifugal and axial flow pumps* (2nd ed.). Malabar, Florida: Krieger Publishing Company. 1957.
- [22] Gülich, J. F. *Centrifugal pumps* (2nd ed.). Springer Berlin Heidelberg. 2010. DOI:10.1007/978-3-642-12824-0
- [23] Ofuchi, E. M., Cubas, J. M. C., Stel, H., Dunaiski, R., Vieira, T. S., Morales, R. E. M. "A new model to predict the head degradation of centrifugal pumps handling highly viscous flows". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 187(November 2019), pp. 106737. 2020. DOI:10.1016/j.petrol.2019.106737
- [24] Buratto, C., Pinelli, M., Spina, P. R., Vaccari, A., Verga, C. "CFD study on special duty centrifugal pumps operating with viscous and non-Newtonian fluids". *11th European Conference on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics, ETC 2015*, (i), pp. 1–13. 2015.
- [25] Csizmadia, P., Lukácsi, D. L., Till, S. "Prediction Of Head Degradation Of A Centrifugal Pump Handling Power-Law Fluid". In *Proceedings of the 2nd International Conference on Fluid Flow and Thermal Science (ICFFTS'21)* (pp. 1–7). 2021. DOI:10.11159/icffts21.105



SPECK
magas nyomású
szivattyúk és
alkatrészek

 **ZOLTER** KFT.
a kapocs profi felhasználóknak



Tel.: (30) 942-24-03
Fax: (1) 275-50-83
E-mail: info@zolter.hu
Web: www.zolter.hu