

OLDALCSATORNÁS ÜZEMANYAGSZIVATTYÚBAN KIALAKULÓ ÁRAMLÁSOK TANULMÁNYOZÁSÁRA SZOLGÁLÓ TESZTBERENDEZÉS KIALAKÍTÁSA ÉS BEÜZEMELÉSE

EXECUTION AND APPLICATION OF A SIDE CHANNEL PUMP TEST FACILITY

Jesch, D. *, Kristóf, G**, Vad, J.***

ABSTRACT

This article provides documentation on the execution of a side channel fuel model pump facility, its installation, and the first measurement campaign describing the characteristic curve (total pressure rise vs. volume flow rate) and the overall efficiency (hydraulic performance over electric power input to the electric drive). The facility aims at providing experimental data for validation of Computational Fluid Dynamics (CFD) tools elaborated and being elaborated for re-design and further development of the small-scale fuel side channel pump under consideration. Therefore the equipment is capable to carry out Particle Image Velocimetry (PIV) measurements and to investigate cavitation in the suction side channel with it. The facility was built up and the experiments were carried out at the Department of Fluid Mechanics, Budapest University of Technology and Economics.

JELÖLÉSJEGYZÉK

D_{mean}	a járókerék átlagos átmérője
n	fordulatszám
v	kinematikai viszkozitás
Re	Reynolds-szám
T	hőmérséklet
ρ	közegsűrűség
μ	dinamikai viszkozitás
q_v	térfogatáram
A_{mean}	oldalcsatornák átlagos keresztmetszete
Φ	mennyiségi szám
Ψ	össznyomászám
η	összhatásfok
Δp_t	össznyomás-növekedés
P_e	villamos teljesítmény

* doktorandusz, BME Áramlástan Tanszék

** egyetemi docens, BME Áramlástan Tanszék

*** egyetemi docens, BME Áramlástan Tanszék

BEVEZETÉS

Egy kereskedelmi forgalomban kapható, személygépkocsikra jellemző (pl.: a Ford gépjárműveiben használt) oldalcsatornás üzemanyagszivattyú továbbfejlesztése és újratervezése során felmerült az igény a szivattyúban kialakuló áramlás részletes megértésére. Ehhez numerikus áramlástan (Computational Fluid Dynamics, CFD) modellek kerültek kidolgozásra [1], melyek pontosításához, validálásához saját mérési eredmények váltak szükségessé az irodalomban fellelhető eredményekkel való összehasonlításon túl [2,3]. A nehézséget az okozta, hogy a zárt szivattyútérben kialakuló áramlások hagyományos mérési eszközök számára hozzáférhetetlenek. Ezen probléma áthidalására a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszékén egy egyedülálló mérési berendezést terveztünk és állítottunk össze. A modell egyes részei optikailag átjárhatóak, ennek következtében az optikai elven működő mérőberendezések számára az áramlási tér láthatóvá válik. A mérőberendezéssel kapcsolatos elvárás az volt, hogy legyen alkalmas

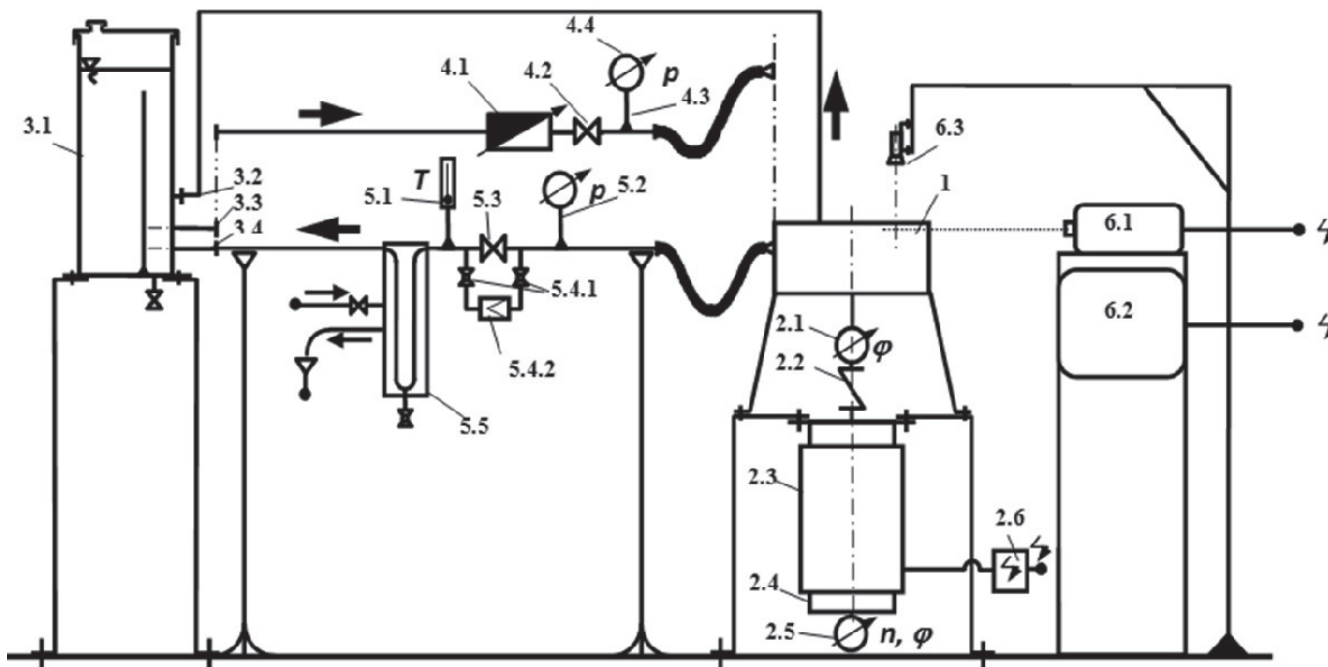
- a szivattyú jelleggörbéinek mérésére (össznyomás növekedés és hatásfok a térfogat-áram függvényében)
- a szívóoldali csatornában kialakuló áramlás lézeres áramlásmérési technikával - Particle Image Velocimetry (PIV), vagy igény szerint Laser Doppler Velocimetry (LDV) - történő mérésére
- a szívóoldali csatornában a kavitációs jelenségek vizsgálatára
- meghatározott helyeken a nyomáseloszlás meghatározására.

A cikk bemutatja a mérőberendezés alkatelemeit, főbb jellemzőit, és a mérőberendezés alkalmazásával készült első jelleggörbe- és hatásfok-mérések eredményeit. A berendezés komplexitását jól jellemzi, hogy a projekt végrehajtásában az egyes alkatrészek beszállítójaként és szolgáltatóként több mint 50 vállalkozás vett részt.

A MÉRŐBERENDEZÉS FELÉPÍTÉSE

A mérőberendezés 6 alapvető részegységből tevődik össze, a sematikus összeállítási rajzot az 1. ábrán láthatjuk.

optikai hozzáférhetőséget (2. ábra). A plexiüveg gyártás során keletkezett belső feszültségeit temperálással csökkentették. Az anyag törésmutatója pontos meghatározásra került, ezzel biztosítva a feltételeket az optikai mérésekhez. Az optikai mérések során



1. ábra: a mérési berendezés sematikus összeállítási rajza – 1. Szivattyú modell; 2. Szivattyú hajtás: 2.1 Fordulatonkénti triggerjelet szolgáltató egység, 2.2 Tengelykapcsoló, 2.3 Villamos motor, 2.4 Motor hűtés, 2.5 Szögjeladó, 2.6 Tápegység; 3. Folyadék tartó: 3.1 Tartály, 3.2 Gőzvezető vezeték csatlakozása, 3.3 Folyadék kivezetés, 3.4 Folyadék bevezetés; 4. Szívócső: 4.1 Átfolyó peremes áramlásmérő, 4.2 Pillangószelep, 4.3 Körvezeték, 4.4 Nyomásátalakító; 5. Nyomóvezeték: 5.1 Hőmérő, 5.2 Körvezeték nyomásátalakítóval, 5.3 Fojtó szelep, 5.4.1 Golyó szelep, 5.4.2 Szűrő, 5.5 Hűtő, 6. PIV: 6.1 lézer, 6.2 Adatgyűjtő berendezés: PC 6.3 Detektorok: PIV kamera, CCD kamera, megvilágító berendezések

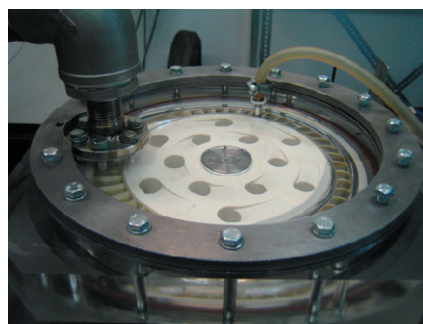
1. Szivattyú modell – A modell egy valóságos üzemanyagszivattyú 1:8 arányban felnagyított változata. A nagyítási faktor némiképp eltérő a járókerék esetén, mely valamivel kisebb vastagságú szerelési és gyártási okok miatt. Hasonló okokból kifolyólag a folyadék beáramlási és kiáramlási csatlakozó geometriai kialakítása is mutat némi eltérést.

Lényeges különbség, hogy az eredeti kialakításhoz képest a mérőberendezés konfigurációja fordított: a szívóoldal felfelé néz a jobb optikai hozzáférés érdekében. Ennek következtében a járókerék által generált axiális erő lefelé mutat, hasonlóképpen az eredeti verzióhoz viszonyítva arányaiban jelentősebb gravitációs erőhöz. Ezen erők hatásaként az axiális rések aszimmetrikussá válhatnak, ami hatással lehet a szivattyú működésére.

A járókerék és a szivattyúház közti érintkezés megelőzése céljából a tengelyre beépítésre került egy axiális irányú mozgáshatároló ütköző.

A szivattyúház szívóoldal felőli része plexiüvegből készült, ezzel biztosítva a belső áramlási térhez való

igénybevett felületek optikai minőségére csiszoltak: az oldalfalak, melyeken keresztül a lézersík behatol az áramlási térbe; az oldalcsatorna fala; a felső zárófelület, mely a CCD kamerás vizsgálatok szempontjából fontos.



2. ábra: a szivattyúmodell szívóoldal felőli nézete az optikailag átjárható szivattyúházzal

2. Szivattyú hajtás – A hajtás és a szivattyú tengelye közti kapcsolatot egy fogazott tengelykapcsoló biztosítja. A hajtás tartalmaz egy, a tanszék által kifejlesztett jeladót, mely fordulatonként triggerjelet generál a PIV mérések vezérléséhez. A merev tengelykapcsoló biztosítja a jeladó és a járókerék szinkronizált működését. A hajtás maga egy villamos motorral történik, melynek fordulatszámát egy frekvenciaváltó szabályozza. Ez a kialakítás szükségessé teszi egy motorhűtő ventilátor alkalmazását is. A motor tengelyének alsó végéhez kapcsolódik egy szögjeladó, melynek feladata a tengely szögelfordulásának és szögsebességének pontos detektálása. Ez a berendezés a mérések eddigi szakaszában azonban még nem került felhasználásra.

3. Folyadék tároló – Az alkalmazott folyadékot egy tartályban tároljuk, melynek fedelén lehetőség van mind a folyadék utántöltésére, mind a lézeres áramlásméréshez szükséges fényszóró részecskék bejuttatására. A kialakítás továbbá lehetővé teszi enyhe túlnyomás vagy depresszió kialakítását is. A tartály rendelkezik csatlakozóval a szívócsövön és a nyomóvezetékén túl a gőzelvezető furathoz is, melynek szerepéről a későbbiekben lesz részletesen szó.

4. Szívócső – A tartályhoz kapcsolódó szívócső elegendően hosszú ahhoz, hogy a szabványos térfogatáram mérő berendezéseket alkalmazni tudjuk [4]. A térfogatáram meghatározása átfolyó mérőperemmel történik. A mérőperemen mérhető nyomáskülönbséget fordított U-csöves manométerrel határozzuk meg. A kavitációs vizsgálatokhoz szükséges viszonylag kis nyomás kialakítása érdekében a szívócsőben található egy pillangószelep. A nyomásméréshez 4 csatlakozással kialakított körvezetékét használunk, mely biztosítja a statikus nyomás átlagolását a mérési hely kerületén. Ezen a ponton az abszolút nyomás meghatározható, ennek a kavitációs vizsgálatok szempontjából van nagy jelentősége.

5. Nyomóvezeték – A nyomásmérés a nyomóoldalon szintén körvezetékkel történik. A szivattyú munkapontjának átállítása céljából beépítésre került egy fojtószelep. A fojtószelep előtti és utáni csőszakaszt egy megkerülő vezeték köti össze, melyben golyósszelepek és egy szűrő található. A szűrő célja kettős: egyrészt megvédeni a berendezést az esetleges szennyeződésektől, másrészt ha a fényszóró részecskék száma kedvezőtlenül magas, akkor ezek kiszűrése is lehetséges általa.

A fojtószelep után található egy hőmérő, mely a hűtőrendszerbe belépő folyadék hőmérsékletének folytonos megfigyelésére szolgál. A hőmérséklet állandó monitorozásának szükségességét a folyadék mérés szempontjából kritikus tulajdonságainak – sűrűség, viszkozitás, törésmutató – hőmérsékletfüggése indokolja. **6. PIV berendezés és kiegészítők** – A berendezés részét képezi a lézer, a lézersík-generátor szonda, a PIV kamera és a CCD kamera. Mindezen eszközök egy PC-hez kapcsolódnak, mely az adatfeldolgozásért felelős.

A MÉRÉSEK KÖRÜLMÉNYEI, BIZONYTALANSÁGA

A PIV-vel végzett mérések során szükséges, hogy az alkalmazott folyadék és a szivattyú falait alkotó plexiüveg törésmutatója megegyezzen, továbbá hogy a modell és a valóságos szivattyú oldalcsatornájában kialakuló áramlások hasonlósága teljesüljön. Ennek feltétele a *Reynolds-számok* (Re) közel egyező értéke [5].

$$Re = \frac{D_{mean}^2 \pi n}{\nu} \quad (1)$$

A valódi szivattyú fordulatszáma 5000 – 9000 1/perc között mozog. A PIV mérésekhez a modell szivattyú esetében a legkisebb olyan fordulatszámot választottuk, amely mellett a valós esetben előforduló legalacsonyabb Re érték biztosítható. Ily módon minimalizálható a nagy nyomás által a modellen okozott esetleges előre nem látott károsodások keletkezésének kockázata, továbbá a PIV mérések során nem kívánatos kavitáció mértéke. Ezek a megfontolások 300 1/min-es fordulatszámot eredményeztek.

A törésmutatók egyezéséhez a szakirodalomban javasolt anyagok helyett [4] dekalin és tetralin keverékét alkalmaztuk, ezen folyadékelegy fizikai tulajdonságai ugyanis sokkal stabilabbnak és könnyebben kontrollálhatóbbnak bizonyultak mint a javasolt glicerin-víz elegy, továbbá nevezett folyadék esetleges használata esetén a kívánt Re szám egyezés nem lett volna megoldható. A megfelelő keverési arányt kísérleti úton határoztuk meg. A végső elegy lényeges fizikai paraméterei $T=25^\circ C$ -ra vonatkoztatva az alábbi táblázatban olvashatóak (a benzin adatok az üzemanyagellátó rendszerek minőségellenőrzéséhez használatos tesztbenzin reprezentatív értékei, a valóságos szivattyú adatai kereskedelmi forgalomban elérhető gépkocsikba szerelt szivattyú előzetes vizsgálatából származnak):

Karakterisztika	Valódi szivattyú (benzin)	Modell szivattyú (dekalin + tetralin)
Dinamikai viszkozitás μ [kg/(ms)]	0.00048	0.00240
Sűrűség ρ [kg/m ³]	720	910
Kinematikai viszkozitás ν [m ² /s]	$6.7 \cdot 10^{-7}$	$26.4 \cdot 10^{-7}$
Oldalcsatorna átlagos átmérője D_{mean} [mm]	28.2	225.6
Fordulatszám n [1/min]	5000 (min.)	300
Járókerék kerületi sebessége D_{mean} -nél [m/s]	7.38	3.54
Reynolds szám Re [-]	$3.11 \cdot 10^5$	$3.03 \cdot 10^5$

A kavitációs és nyomáseloszlást vizsgáló mérésekhez desztillált vizet használtunk. E mérések során ugyanis nem lényeges a törésmutatók egyezése. Az egyszerű csapvíz alkalmazása kerülendő, a benne lévő szennyeződések kicsapódása ugyanis rontja a plexi optikai tulajdonságait. Az alkalmazott folyadék paraméterei: $T=25^\circ\text{C}$, $\rho=997 \text{ kg/m}^3$, $\mu=0.0009 \text{ kg/(ms)}$. A méréseket ebben az esetben is 300 1/min-es fordulatszámok mellett végeztük, a Reynolds számok egyezése azonban ebben az esetben sokkal kevésbé lényeges, az áramlások hasonlósága ugyanis a gőzfázis jelenléte miatt nem teljesülhet tökéletesen.

A mérési eredmények bizonytalanságát a későbbi diagramokon feltüntettük. A hibaanalízist a vonatkozó irodalomnak megfelelően végeztük a négyzetes középértékek módszerével [4,7]. A fő bizonytalanságforrások:

- a szívócsőben történő térfogatáram mérés dekalin-tetralin alkalmazása esetén – becült hiba: ± 15 liter/h 400-3000 liter/h térfogatáram mellett
- a szívócsőben történő térfogatáram mérés víz alkalmazása esetén - ± 70 liter/h 500-3200 liter/h térfogatáram mellett
- a szívócsőben való nyomásmérés - ± 10 mbar a -950 – 50 mbar tartományban
- a nyomóvezetékben való nyomásmérés - ± 10 mbar a 0 – 2000 mbar tartományban
- hőmérsékletmérés - $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 0 20-40°C tartományban
- PIV mérések - további analízis tárgya a hiba mértéke. A fő hibaforrás a geometriai kalibráció bizonytalansága

- kavitációs mérések – A fő bizonytalanságforrás a fordulatszám méréséből származik: ± 0.1 1/min a 0-1000 1/min tartományban

JELLEGGÖRBÉK

A forgógépek vizsgálata során szokásos módon a működési állapotokat az alábbi dimenziótlan mennyiségekkel jellemezzük:

- mennyiségi szám: a mért térfogatáram az oldalcsatornák átlagos keresztmetszetével és a járókerék D_{mean} -nél mérhető kerületi sebességével dimenziótlanítva

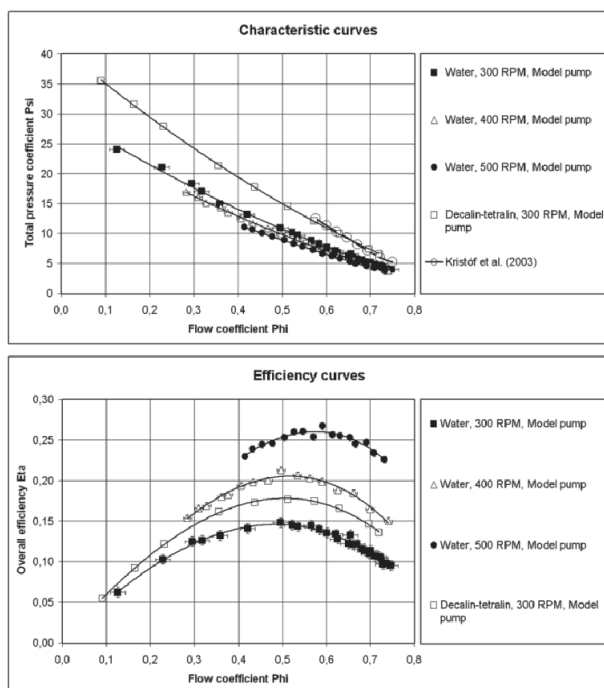
$$\Phi = \frac{q_v}{2A_{mean}(D_{mean}\pi n)} \quad (2)$$

- össznyomásszám: az össznyomásnövekedés a járókerék D_{mean} -nél mérhető kerületi sebességével számolható dinamikus nyomással dimenziótlanítva

$$\Psi = \frac{\Delta p_t}{\rho/2(D_{mean}\pi n)^2} \quad (3)$$

- összhatásfok: a térfogatáram és az össznyomásnövekedés szorzata osztva a bevezetett villamos teljesítménnyel

$$\eta = \frac{q_v \Delta p_t}{P_e} \quad (4)$$



3. ábra: Jelleg- és hatásfok görbék: a vízzel és a dekalin-tetralin keverékkel üzemelő modell-szivattyú összehasonlítása

A beüzemelés során mért jelleg- és hatásfok-görbéket a 3. ábra mutatja be. A modell szivattyú esetén a vízzel végzett mérésekhez tartozó görbék nagyobb térfogatáramot mutatnak, mint azt az eredeti szivattyú működése alapján várnánk, melynek oka egyrészt a zárt gözelvezető furat – ez magyarázza a nagyságrendileg 10%-os eltérést –, másrészt a már korábban említett apró geometriai eltérések a csatlakozók esetén. A hasonlósági szabályok ebben az esetben az elvárhatónál kevésbé pontosan érvényesülnek. A magyarázatot a nagyobb sebesség esetén a járókerékre ható axiális irányú, lefele mutató erő megnövekedése adhatja, melynek hatására az axiális rések aszimmetrikussá válnak, ezzel befolyásolva az áramlást. A jelenség még további vizsgálatokat igényel.

A hatásfok-görbék jelentősen függenek a fordulatszámtól és a közegtől. Ezt részben magyarázza, hogy a sebesség növekedésével a frekvenciaátalakító hatásfoka jelentősen növekszik.

A 3. ábrán megfigyelhető, hogy a dekalin-tetralin alkalmazásakor a modell szivattyú teljesítménye lényegesen nagyobb, mint a víz áramoltatása alkalmával. Ennek oka az lehet, hogy a Reynolds-szám nem elegendő jellemzője az áramlásnak az axiális résekben, ahol a kialakuló folyadékfilmnek tömítő szerepe van a nyomott és szívott oldalak közt. A nagyobb viszkozitású dekalin-tetralin keverék esetén ez a tömítés sokkal hatékonyabb lehet, aminek következménye a nagyobb nyomásnövekedés. A résekben végbemenő folyamatok megértéséhez további vizsgálatok szükségesek.

Látható továbbá, hogy a fordulatszám növekedésével – tehát a nyomásnövekedés fokozásával – vizes üzemi esetén a dimenziótlan jelleggörbék lejjebb tolnak. Ennek oka lehet, hogy a plexi deformálódik a nyomás hatására, és nőnek a rések, nő a volumetrikus veszteség.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutattuk egy oldalcsatornás üzemanyagszivattyú felnagyított, optikailag átjárható modelljének felépítését, és a tesztberendezés néhány alapvető jellegzetességét, a jelleggörbék kimérését. Már az eddigi eredmények is felvetettek további, megválaszolandó kérdéseket – résáramlások, aszimmetrikus axiális rések, plexi deformációjának hatása –, melyek jól illusztrálják, hogy a berendezés számos tudományos kérdés jobb megértéséhez szolgáltat értékes adatokat. A kialakítás lehetővé teszi a további kutatási irányok megnyitását is, úgy mint a kavitáció tanulmányozása és a kialakuló áramlások PIV mérésekkel való tanulmányozása.

SUMMARY

This article outlined an extensive experimental program carried out for an optically accessible model fuel pump, which is a scaled-up version of a real side channel fuel pump. The installation of the test facility and the measurement of its characteristic curves are described. Several questions have already arisen - asymmetry of the axial gap, leakage flow in the axial gap, effect of the deformation of the plexi under high pressure – which show how valuable data this facility can provide in order to understand the mentioned phenomena. Its capability for various measurements in the future – such as cavitation studies and PIV measurements - and for their evaluation was also demonstrated herein. The activity carried out so far envisaged further research and development tests related to the elaborated test facility.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak Istók Balázs, Jezsó István, Kalmár Gábor, Lakos Péter, Marschall József, Mátyási Gyula, Mészáros Imre, Poppe László, Réger Tamás és Szabó Gábor kollégáknak a berendezés kialakításában és beüzemelésében nyújtott közreműködésükért. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen” c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

A cikk megjelenését támogatta az OTKA K 81621 projekt is.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] KRISTÓF, G., FODOR, G., MEZŐSI B., PÖSZMÉT, I., RÉGERT T., DÁVID N.: Numerical Simulation of a side channel pump. The 12th International Conference on Fluid Flow Technologies, Budapest, 2003
- [2] KRAKE A., FIEDLER K.: Laser 2 Focus Measurements and Flow Visualisation within the Rotating Rotor and the Side Channel of a Side Channel Compressor, The 9th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Honolulu, Hawaii (2002)
- [3] SCHIMPF A., SIEKMANN H.E., STEINMANN A.: Stereo-PIV in Aerated Wastewater Pond and Side Channel Blower, The 9th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Honolulu, Hawaii (2002)
- [4] STANDARDS: A/ European Standard, Ref. No. EN ISO 5167-1:2003 E. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 1: General principles and requirements. B/ European Standard, Ref. No. EN ISO 5167-2:2003 E. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 2: Orifice plates
- [5] LAJOS TAMÁS: Az Áramlástan alapjai (Fundamentals of Fluid Mechanics), Műegyetemi Kiadó, 2004
- [6] BUDWIG, R.: Refractive index matching methods for liquid flow investigations. Experiments in Fluids, Vol. 17, pp. 350-355, 1991
- [7] VAD, J., KWEDIKHA, A. R. A., JABERG, H.: Effects of blade sweep on the performance characteristics of axial flow turbomachinery rotors. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part A: Journal of Power and Energy, Paper No. JPE249, Vol. 220, pp. 737 – 751, 2006.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara, a Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kara, az Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara valamint a Typotex Elektronikus Kiadó Kft. a Társadalmi Megújulás Operatív Program keretében támogatást nyert el a

„Közép-magyarországi Régió Gépészmérnöki Karok informatikai háttérű képzési anyagai és tartalmi kidolgozása”

(projekt száma: TÁMOP-4.1.2-08/2/A/KMR-2009-0029) projekt megvalósítására.
A megvalósítás időtartama: 2010. április 1. - 2011. szeptember 30.
A támogatás összege: 80 000 000 Ft.



Nemzeti Fejlesztési Ügynökség

ÚMFT infovonal: 06 40 638 638

nfu@meh.hu • www.nfu.hu

Befektetés a jövőbe

