

Részletes jelentés

A 061460 számú, „Rétegekavitáció geometriájának meghatározása kísérleti és numerikus módszerekkel” témájú kutatás keretében teljesen megújult a BME Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék zárt vízkörű kavitációs csatornája.

Az 1950-es években épült és azóta egyszer részben felújított kavitációs csatorna a projekt kezdetére teljesen elavult. A mérőtéren történtek ugyan átalakítások, de azok nem tették lehetővé optikai (LDA) méréseket. A csőszerkezet egyes részei korrodálódtak. A szivattyút hajtó egyenáramú – Ward-Leonard vezérlésű – motor karbantartása is egyre nehezebbé vált. Ezért kicseréltük a teljes mérőszakaszt, a keringető szivattyú utáni csőszakaszt, a szivattyút hajtó motort, újonnan készült a motor frekvenciaváltós vezérlése. A rozsdamentes acélból készült mérőtér 50 mm széles, 200 mm magas két szemközti párhuzamos oldala sík plexi lemez, felülről pedig a mérőtér fénysávval megvilágítható. A megvalósítható áramlási sebesség több mint 10 m/s, így a mérőtérben a mérőtér 0,08 m-es hidraulikai átmérőjével definiált Reynolds szám eléri a $Re = 8 \cdot 10^5$ értéket.

A mérőtérbeli egyenletes sebességeloszlás biztosítására a függőlegetől vízszintesbe kanyarodó szegmensív gondos tervezésére volt szükség. A szegmensívben 3 ívelt terelőlapát van behegesztve az ívekben létrejövő szembeforgó örvény-pár kialakulásának megakadályozására. Hős Csaba irányításával a Tanszék rendelkezésére álló ANSYS CFX szoftverrel, Shear Stres Transport (SST) turbulencia modell alkalmazásával Rákos Roland hallgató kiszámította egy téglalap és egy kör keresztmetszetű szegmensívbeli és azt követő, a mérőtér végéig terjedő csőszakaszban az áramképet. A kör keresztmetszetű szegmensív bizonyult jobbnak. A mérőtér végén a tangenciális sebesség az axiális sebesség 0,7%-át éri el csupán 10 m/s axiális sebességnél (ld. a Melléklet 5. ábráját Rákos Roland munkájából). Ez igen jó eredmény.

Ezután műhelyünkben elkészítettük a kör keresztmetszetű szegmensív NÁ 110 mm-es kismintáját és két hallgató (Rákos Roland és Érsek Péter) ventilátor nyomócsövére szerelt ív-modell után megmérte a sebességprofilt a $Re \leq 120000$ tartományban. A mérést Prandtl szondával végezték, az áramvonalak irányát (forgásmentességét) gyapjúfonalas vizsgálattal ellenőrizték. A mérések igazolták a numerikus szimulációt. Ezt követően építettük meg a szegmensívet, amelyik beszerelve a Melléklet 1. ábráján balra fent látható.

2008. év végére elkészült a csatorna felújítása, ezt követte 2009-ben a motor és a frekvenciaváltó üzembe helyezése.

A mérőtér felműszerezése (2009. első félév vége) után négyzet, illetve téglalap keresztmetszetű hasáb alakú próbatesteket vizsgálunk. Az irodalomban ilyen esetre kavitációs állapotban alig található mérési eredmény, pedig a hasáb élein egyértelmű leválási hely kifejezetten alkalmassá teszi ezt az alakot numerikus számítások (CFD) ellenőrzésére. Berendezésünkben meghatároztuk az összetartozó Reynolds szám, Strouhal szám, rétegekavitációs zónahossz, Thoma kavitációs szám értékeket. A kísérletek jelenleg is folynak, a további eredményeket az IAHR világkonferencián tesszük közzé, jelentkezésünket elfogadták).

Projektbeli eredeti célunk a próbatestek oldallapjain kialakuló réteg kavitáció mérésekkel igazolt numerikus szimulációja. Az első eredmények már megszülettek, a mérések tapasztalatai alapján a modell továbbfejlesztésére lesz szükség. Hegedűs Ferenc doktorandusz

a kavitációs csatornában lévő próbatestről CFX szimulációs modellt készített és futtatásokat végzett. A többfázisú áramlások bonyolultsága miatt azonban a számítás még nem megnyugtatóan konvergál.

A kavitációs áramlások számítása módszertanilag összefügg a nyílt felszínű áramlások számításával, mert mindkét esetben kétfázisú áramlást modellezünk. A különbség az, hogy nyílt felszínű áramlásban nincs tömegtranszport a fázisok között, kavitációs áramlásban van. Előbbihez rendelkezünk nyílt felszínű csatorna mérőállomással laboratóriumunkban (ld. 1. ábrán a kavitációs csatorna előtt). Ezért a kétféle modellfejlesztést párhuzamosan végeztük, a nyílt felszínű modellt kísérletekkel ellenőriztük is, és egy konferencián mindkét szimuláció eredményeit bemutattuk. A nyílt felszínű, ellenőrzött modellre már kaptunk hivatkozást a 2009. évi CMFF konferencián (Proceedings, p 370, illetve a szerzők által annak alapján az International Journal of Heat and Fluid Flow-hoz benyújtott dolgozatban).

A csatorna felújítása, átépítése alatt buborékdinamikai vizsgálatokat végeztünk. Az irodalomból jól ismert, a buborék sugarának időbeli változását leíró Rayleigh-Plesset féle közönséges differenciálegyenletet összekapcsoltuk a párolgási-kondenzációs hőáramot leíró hővezetés differenciálegyenletével. Az utóbbi parciális differenciálegyenlet megoldását csak időtől függő függvények soraként előállítva nemlineáris közönséges differenciálegyenlet rendszert kapunk, amelyre alkalmaztuk a nemlineáris dinamika korszerű módszereit. Az eredményeket publikáltuk a 2008. évi GÉPÉSZET 2008, majd a továbbfejlesztett modellt a 2009. évi Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF) konferencián. Utóbbi alapján meghívást kaptunk a világhírű Brian Launder professzortól, hogy eredményeinket folyóiratcikk színvonalra átdolgozva küldjük be az általa szerkesztett International Journal of Heat and Fluid Flow (IF = 1.335) folyóirathoz. Ez decemberben megtörtént, most a bírálók észrevételeinek megfelelő korrekciót végezzük és 2010 március közepéig elküldjük a javított kéziratot.

Kutatómunkánk alkalmazásaként elvégeztük nyomáscsökkentő szabályozó szelep négysegletes ablakainak kavitációs vizsgálatát. Plexiházás kísérleti berendezést építettünk laboratóriumunkban, mértük a rezgésszintet, vizuálisan megfigyeltük a kavitációs zónát és a kavitációs áramképre CFD számítást végeztünk. A számítás és a mérés kielégítő egyezést mutatott.

Az irodalomban található egyszerű szívóképeség modell nem elegendő radiális-félaxiális szivattyúk mért $NPSH_r(Q)$ jelleggörbéjének kiterjesztésére extrém nagy térfogatáramokra, amit például tűzvédelmi felhasználási területek igényelnek, ezért saját mérési sorozatokat végeztünk több gyár többféle típusú szivattyúján, meghatároztuk az extrapoláció módját, továbbá azt is, hogyan befolyásolja az $NPSH_r(Q)$ jelleggörbét a járókerék külső átmérőjének leosztalgálása, illetve a fordulatszám változtatása. Az úgynevezett leszívási görbék mérése időigényes, ezért egy igen hatékony módszert fejlesztettünk ki, amelyik alkalmas sokváltozós mérési adathalmazokból egyparaméteres (például $H(NPSH; Q=\text{állandó}$ típusú) jelleggörbék gyors meghatározására.

A pályázatban megjelölt kutatókon túl **Dr. Bálint Lajos** nyugalmazott gépészmérnök, a Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék laboratóriumának korábbi vezetője és **Hegedűs Ferenc**, 2007-ben a Pattantyús Á. Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskolába 2007 szeptemberében felvett doktorandusz (témavezetője Kullmann László vezető kutató) végzett

kiemelkedően sok munkát a projekt megvalósításán. A kavitációs csatorna lakatos és hegesztő, valamint szerelési munkáit **Balla Imre** nyugalmazott lakatos, a Laboratórium folyamatosan foglalkoztatott munkatársa végezte.

A projekt keretében, az OTKA támogatásával több külföldi utazást tettek a részt vevők:

Paál György kutató 2008. június 29.-július 6. között Párizsban akusztikai és rezgésmérési konferencián vett részt, előadást tartott. A konferencián megismert rezgésmérési technikák kapcsolódnak a futó mérésekhez.

Kullmann László témavezető 2008. november 13–16. között a Karlsruhei Egyetem Áramlástechnikai Gépek Tanszék meghívására részt vett a K-O. Felsch professzor 80. születésnapján rendezett tudományos ülészen. Szakmai konzultációt folytatott Carolus (Siegen), Frank és Gabi (Karlsruhe), Schilling (München), professzorokkal. Schilling professzornak nemzetközileg elismert eredményei vannak szivattyúk kavitációs üzemének szimulálására. Az utiköltséget e projekt támogatta.

Hegedűs Ferenc doktorandusz 2009. február 8–11. között Bristolban négy napos „Numerical continuation methods for fluid flow problems” című workshop-on vett részt az OTKA támogatásával. A workshopon tanultakat az idén készült közleményekben használta fel.

Hős Csaba kutató 2009. május 26–28-án részt vett az ANSYS által szervezett Multiphase Flows: Simulation, Experiment and Application, Dresden-Rosendorf workshop-on, aminek fő témája a többfázisú áramlások (különös tekintettel a buborékos áramlásokra) numerikus szimulációja volt. A workshopon Hős Csaba két kapcsolódó CFD modellről előadást tartott. A tanulmányút eredményei beépültek a konferenciacikkbe.

Ezen a konferencián ismerkedett meg Hős Csaba Maria Thumfart-tal (Johannes Kepler Universitat Linz, Institute of Fluid Mechanics and Heat Transfer), akivel formálódóban van egy együttműködés: a felújított csatornán végzett méréseink alapján az osztrák kollégák validálnák a számításait. Maria Thumfart 2010. február 11 és 12 között Tanszékünk vendége volt. Hegedűs Ferencsel méréseket végeztek a csatornán, ill. szemináriumi előadást tartott.

Hegedűs Ferenc és **Farkas Bence** doktorandusz 2009. szeptember 21.–23. között Milánóban 3 napos „Introduction to nonlinear dynamics: stability, bifurcation and chaos” tudományos kurzuson vett részt az OTKA támogatásával. A kurzuson tanultakat ugyancsak felhasználta közleményeinkben.

Kullmann László témavezető 2009. augusztus 2.–4 között a Karlsruhei Egyetem Gépészmérnöki karának meghívására bírálóként részt vett B. Pritz doktori védésén. A disszertáció témája nem kavitációs (égőkamra) áramlások LES szimulációja és dinamikai vizsgálata. Az utiköltséget e projekt támogatta.

Hős Csaba kutató 2009. októberét a Bristoli Egyetem (University of Bristol) Mérnöki Matematika Tanszékén (Dept. of Engineering Mathematics) töltötte vendégkutatóként. Az utazás költségeit jelen OTKA projekt és a bristoli tanszék fedezte 50-50% arányban. A bristoli tanszék a nemlineáris dinamikai kutatások egyik nemzetközi központja, a tanszék munkatársai különösen a numerikus módszerek ilyen irányú alkalmazásaiban jártasak. A látogatás alatt Hős Csabának alkalma volt elmélyülni az egyik specializált szoftver (AUTO)

használatában. Ez a szoftver - többek között - lehetővé teszi az önálló kavitációs buborékok dinamikájának hatékony vizsgálatát: a program alkalmazásával a számítási idő a hagyományos (direkt integrálási) módszerekhez képest két nagyságrenddel csökken, ill. lehetővé válik olyan megoldások (pl. instabil pályák) kiszámítása is, amely a hagyományos módszerekkel nem lehetséges. A látogatás során megismert módszereket a IJHFF-hoz benyújtott cikkünkben publikáljuk. Hős Csaba angliai útja során látogatást tett a bristoli egyetem hidraulika laboratóriumában, szakmai beszélgetést folytatott Alan Champneys, John Hogan és Richard Kerswell professzorokkal.

Fentiekén túl Vaik István kutató, Bárdossy Gergely, Bene József, Lantos Cecília, Molnár Ferenc doktoranduszok, Érsek Péter, Rákos Roland gépészmérnök hallgatók különböző hazai és külföldi konferenciákon vettek részt részben e projekt támogatásával.

Hallgatói alkalmazások

Hegedűs Ferenc doktorandusz hallgató mellett Kola Dániel, Rákos Roland és Érsek Péter, Tábi Tamás, Mészáros Balázs, Fodor Dániel, Gulyás András hallgatók vettek részt tevékenyen a projekt részfeladataiban.

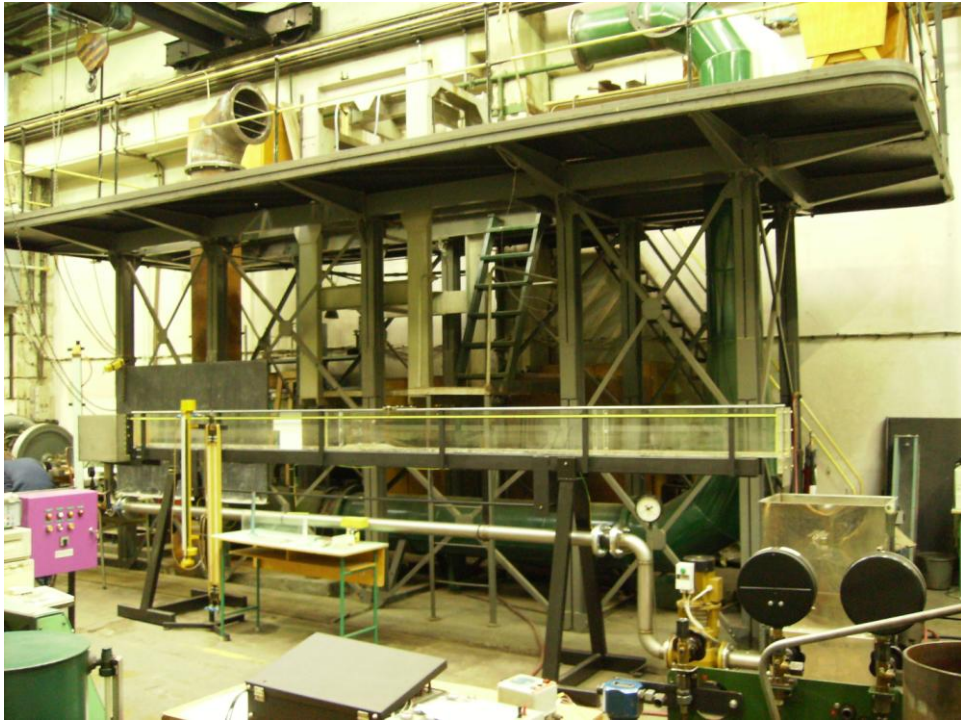
A kutatás eredményeinek hasznosítása az oktatásban

Kullmann László témavezető 2007-től kezdve évente meghirdeti a **Kavitációtan** című előadást az Áramlástechnikai ágazaton, néhány előadást Hegedűs Ferenc tart, a laboratóriumi gyakorlatokat Pandula Zoltán, a számítógépes CFD gyakorlatokat Hős Csaba vezeti. Összesen **eddig 18 hallgató teljesítette** eredményesen ezt a vizsgával záródó tárgyat.

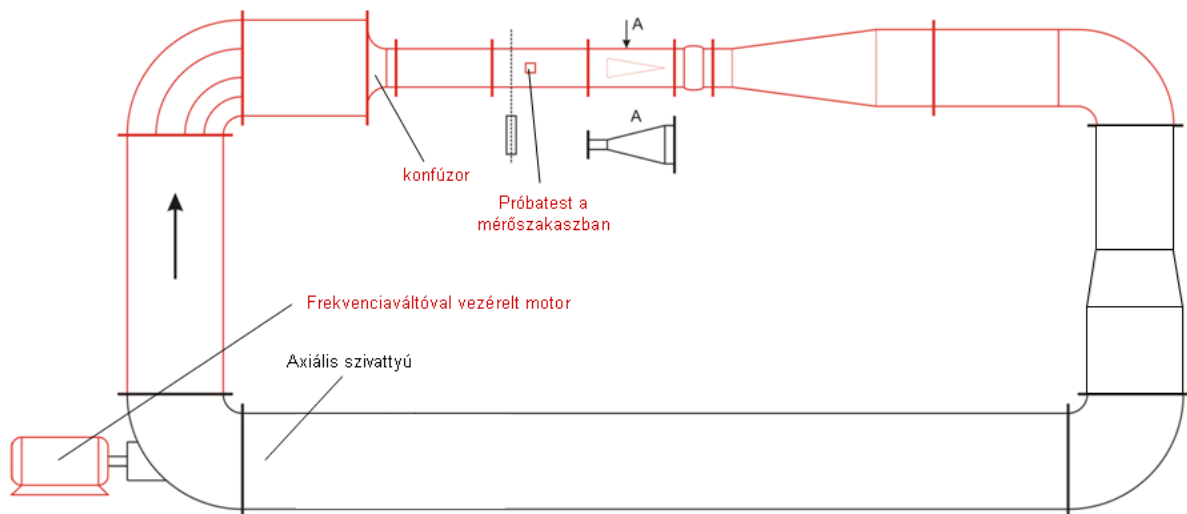
További tervek

A megépült kavitációs csatornában folytatjuk a vizsgálatokat a négyszögletes keresztmetszetű hasábokon. A párhuzamosan futó CFD szimuláció eredményeit összehasonlítjuk méréseinkkel. Ezek eredményeit, mivel más numerikus modellező csoportok számára is értéket jelentenek egzakt kísérleti eredményeink, nemzetközi impakt faktoros folyóiratban tesszük közzé. Szárnyszelvénnel is végzünk méréseket és CFD modellezést. Az eredményeket nemzetközi konferencián publikáljuk. Hegedűs Ferenc témavezetésemmel várhatóan 2011 nyarára (négy év alatt) elkészíti kavitációs áramlásokról írt doktori dolgozatát, amelynek tézisei között mind a buborékdinamikai modell eredményei, mind a kísérleti eredmények szerepelni fognak.

Képmellékletek



1. ábra A kavitációs csatorna a bontást követően az új terelő lapátos szegmensív beszerelése után



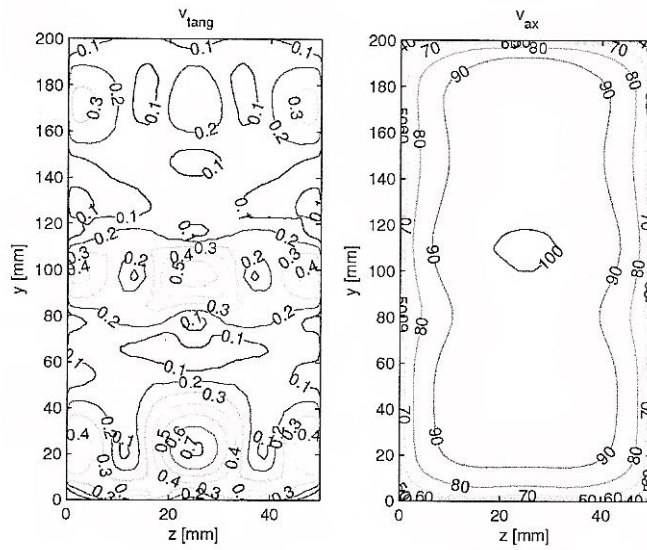
2. ábra A kavitációs csatorna elrendezési vázlata.
A piros vonallal jelölt részeket a 061460 számú OTKA projekt keretében terveztük meg, készítettük el és műszereztük fel.



3. ábra A felújított kavitációs csatorna



4. ábra A mérőszakasz (jobbra a terelő lapátos szegmensív) a plexifalú mérőtérrel



5. ábra Tangenciális és axiális sebességkomponensek eloszlása a maximális axiális sebesség százalékában kifejezve a mérőtérben 100 l/s vízáram esetén. Numerikus számítás eredménye