

OTKA nyilvántartási szám: T037651

**RÉSZJELENTÉS**

2. sz. melléklet

**A KUTATÁSI TÉMA  
2005. ÉVI  
SZAKMAI ZÁRÓJELENTÉS**Témavezető neve: **Dr. Kristóf Gergely**A téma címe: **Turbulens áramlások szimulációja, T037651**A kutatás időtartama: **2002-2005**Rövid összefoglaló magyarul:

A gépészeti gyakorlatban aktuális műszaki problémák megoldására elvégeztük a háromdimenziós turbulens áramlási tér szimulációját FLUENT szimulációs rendszerben létező Reynolds-átlagolt turbulencia modellekkel. A modellek pontosságát és megbízhatóságát szélcsatornás és egyéb laboratóriumi kisminta mérésekkel való összehasonlítás alapján értékeltük.

Új módszereket dolgoztunk ki az áramlások numerikus szimulációjának számos területén:

- Az állandósult áramkép megjelenítésére;
- Mozgó koherens struktúrák azonosítására turbulens áramlásban;
- Atmoszférikus áramlások esetében a turbulencia modellek belépő peremfeltételeinek meghatározására;
- Nagy méretű érdességi elemek - például atmoszférikus áramlásban a növényzet és épületek - hatásának figyelembevételére;
- A szabad aktív klór koncentrációjának ivóvíz vagy fürdővíz medencékben történő meghatározására;
- Tűz és füst terjedés modellezésére.

Szélcsatornás mérésekkel validáltuk a FLUENT szimulációs rendszerben rendelkezésre álló turbulencia modelleket nehéz gázok terjedésének vizsgálatára.

A kutatási projekt keretében Magyarországon elsőként alkalmaztuk az áramlások numerikus szimulációját uszodatechnika és vegyvédalom területén. Hazánkban elsőként alkalmaztuk a Large Eddy Simulation (LES) módszer FLUENT rendszerben.

Kutatási eredményeinket 32 tudományos közleményben publikáltuk.

Rövid összefoglaló angolul:

Simulation of three-dimensional flow fields relevant to mechanical engineering practice have been carried out by using Reynolds-averaged turbulent models available in FLUENT simulation system. Accuracy and reliability of simulation models have been assessed by comparison of

computed results with wind tunnel measurements and other laboratory scale experiments.

Novel methods have been developed in several areas of computational fluid dynamics:

- Visualization of complex 3D steady flow fields;
- Identification of moving coherent structures in turbulent flow field;
- Proper definition of inlet boundary conditions of turbulent field variables for atmospheric boundary layer flow;
- Zonal models representing large scale surface roughness elements such as trees and houses in atmospheric boundary layer flow;
- Model for evaluating distribution of available active chlorine in drinking water reservoirs and swimming pools;
- Fire and smoke propagation model.

Turbulence models available in FLUENT simulation system have been validated against wind tunnel experiments for heavy gas dispersion process.

In the framework of the present research project CFD simulation tools were first time used in Hungary in the field of swimming pool technology and chemical defense investigations.

Results have been published in 32 scientific communications.

I. Turbulencia modellezése áramlástechnikai forgó gépekben:

Egy létező radiális átömlésű szivattyú geometriai modellezésének, valamint a járókerék és a csigaház kölcsönhatásának és a turbulencia modellezésének több lehetséges változatát készítettük el. A különféle módszerek eredményességét a számított sebességmező mért sebességmezővel való részletes összehasonlítás útján értékeltük. Háromdimenziós numerikus modelleket fejlesztettünk ki három különböző geometriai megközelítésben:

- Egy lapátcsatornát tartalmazó modell, amely a kétdimenziós lapátcsatorna modellhez képest lehetőséget ad a járókerék előlapján és hátlapján kialakuló határréteg hatásának figyelembevételére. Forgásszimmetrikus kétdimenziós segédmodell segítségével állítottunk elő a belépő áramlás realiztikus sebességprofiljait.

- Teljes szivattyúra vonatkozó háromdimenziós modell, amely tartalmazza a szívócsatornát, a járókereket és a csigaházat. A járókerék falain és lapátjain a forgásnak megfelelő kerületi sebességet írtunk elő, azonban a járókerék geometriai modellje a csigaházban nem fordul el.

- Teljes gépre vonatkozó háromdimenziós modellt készítettünk, amelyben a járókerék hálója a csigaházhoz képest forog. Tervezési állapottól eltérő üzemiállapotokban a csigaházban a forgásszög függvényében erősen változik a nyomás, ezért a járókerék egyes lapátcsatornáira időben változó ellennyomás hat. E modell lehetőséget adott a szivattyú tervezési állapottól eltérő üzemiállapotainak vizsgálatára is.

A résvesztések közelítő számítására forgásszimmetrikus kétdimenziós modellt készítettünk, a résáramok hatását a teljes gépre vonatkozó szimulációs modellben figyelembe vettük.

A fenti szimulációs modellek eredményeit kvantitatívan összehasonlítottuk a Magdeburgi Egyetemen végzett kétdimenziós lézer tomográfiás (PIV) mérések eredményeivel. A számított és mért sebességvektorokat közös pontrendszerbe interpoláltuk, majd a számított sebességvektorokból levontuk a mért vektorokat. Az egyes modellek eredményeit a mérési eredménytől való elérés vektormező különféle normái alapján minősítettük. A forgó hálós szimulációs modell eredményeit és tapasztalatait konferencia előadások formájában publikáljuk [2] [4].

Diplomatervezési feladat keretében két és háromdimenziós modellek segítségével elemeztük egy korszerű Siemens gyártmányú gőzturbina közepnyomású részének első fokozatában kialakuló áramlást. E modellekben figyelembe vettük az áramló gőz sűrűségének változását. Az álló és forgó lapát közötti kölcsönhatást keverőfelület alkalmazásával vettük figyelembe kvázistacionárius áramlás feltételezésével. A modell eredményeit más, forgó gépekre vonatkozó szimulációs eredményekkel együtt konferencián publikáltuk [4].

Háromdimenziós szimulációs modellt készítettünk egy létező oldalcsatornás üzemanyag szivattyú áramlástan vizsgálatára, amely tartalmazza a teljes járókerék és mindkét oldalcsatorna geometriai modelljét. A számítási eredményeket összevetettük az adott szivattyúra végzett jelleggörbe mérések eredményeivel és a szakirodalomban publikált, hasonló gépekre végzett sebességmező mérések eredményeivel.

Létrehoztunk egy periodikus áramképet feltételező, egyszerűsített számítási eljárást, amely számítási idő szempontjából rendkívül gazdaságos (két nagyságrenddel kisebb számítási igényű), ezért lehetővé teszi az oldalcsatornás gép lapátvezetésének és az oldalcsatorna profiljának gyors optimalizálását. Szimulációs eredményeinket jelleggörbe mérések eredményeivel és a teljes gépre vonatkozó korábbi modellek eredményeivel vetettük össze. A számítási eredmények alapján általánosított formában elemeztük az oldalcsatornában kialakuló örvény szerkezetét és az örvényben áramló folyadék mennyiségének kapcsolatát a gép nyomás terhelésével. A kutatás eredményeit nemzetközi konferenciákon publikáljuk 2003-ban [5], [4].

Háromdimenziós szimuláció segítségével vizsgáltuk meg a lapátvezetés kerületi irányú előrefordításának jótékony áramlástechnikai hatását sugár mentén növekvő cirkulációra tervezett axiális átömlésű ventilátorok esetében. Újszerű módszert fejlesztettünk ki az axiális átömlésű áramlástechnikai forgó gépekre alkalmazott szimulációs eljárások minősítésére. Kutatási eredményeinket két nemzetközi konferencián [26], [27] és folyóirat cikk formájában publikáljuk [25].

II. Turbulencia modellezése elektrofilterben:

A Magdeburgi Egyetemen együttműködésben 2002-ben lézer Doppler anemometriás mérésorozatot végeztünk modell méretű elektrofilteren. A mérések eredményeit az elektrofilter modellre korábban készített saját fejlesztésű szimulációs szoftver eredményeivel való összehasonlításban nemzetközi konferencián publikáltuk [14].

További sebességmező méréseket végeztünk egy korábban elkészített elektrofilter modell berendezésen villamos erőtér nélküli esetre, illetve villamos erőtér jelenlétében. Ennek segítségével elemeztük a mért turbulens áramlási tér változását az alkalmazott villamos erőtér függvényében, mely eredményekről hazai konferencián számoltunk be [30].

Ezekhez a mérésekhez, valamint a pályázott kutatás más területeihez biztosítja a számítás kísérleti ellenőrzésének hátterét egy ILA gyártmányú egy komponensű lézer Doppler anemométer berendezés, amelyet az Áramlástan Tanszéken 2002 szeptemberétől tartós bérlet keretében használtunk, majd a bérleti periódus után a Tanszék tulajdonába került. A berendezés bérletét jelentős részben e pályázati támogatás tette lehetővé. A Tanszék munkatársai elsajátították a lézer optikai sebességmérő mérőeszközből, háromdimenziós mozgatószerkezetből és számítógépes adatgyűjtő, jelfeldolgozó egységből álló mérőberendezés használatát. A mozgatószerkezet saját szoftveres vezérlését igényeinknek megfelelően továbbfejlesztettük annak érdekében, hogy egy speciális, a falközeli áramlások pontosabb és hatékonyabb feltérképezése céljából nem egyenkénti mérési pontkiosztás is alkalmazható legyen.

FLUENT rendszerben elkészítettük a laboratóriumi méretű elektrosztatikus porleválasztó berendezés szimulációs modelljének többféle részletességű geometriai változatát. A teljes modell berendezés 2D szimulációs modellje mellett egy leválasztó utca több geometriai kialakítására vizsgáltuk a porleválasztó berendezésben áramló közeg turbulens sebességterét. A leválasztó utca középvonalában elhelyezett elektródok és azok tartókeretének áramlási nyoma jelentősen befolyásolja az elektrofilter utcabeli áramlás jellegét. A szakirodalomban fellelhető kísérleti és numerikus áramlástan vizsgálatok e geometriai elemek áramlástan jelentőségét többnyire elhanyagolja, így a kutatás keretében megvalósult erre vonatkozó kísérleti és numerikus szimulációs vizsgálataink nagy jelentőséggel bírnak. A FLUENT szimulációs eredmények alátámasztották és megerősítették a korábbi lézer Doppler anemométeres mérések során tapasztaltakat. A numerikus áramlástan szimulációk futási eredményeit a lézer Doppler anemométeres mérések eredményeivel összevetve folyóirat cikk formájában publikáltuk [19].

További vizsgálatokat végeztünk az elektrofilter modellen különböző villamos erőtér paraméterek esetére. Áramlás vizualizációval egyidejű lézer Doppler anemométeres mérésekkel ellenőriztük a belépő oldali kialakítás és az elektrofilterbe belépő közeg aszimmetrikus sebességprofiljának a leválasztó utca áramlására, turbulencia megoszlására gyakorolt hatását. A mérési eredmények segítségével validáltuk a numerikus szimulációs modellt. A kutatások eredményeiről 2005-ben nemzetközi konferencián számoltunk be [8].

Az elektrofilterben mozgó porfázis áramlásával kapcsolatos befejezés előtt álló Ph.D. értekezés keretében megtörtént a vonatkozó szakirodalom feldolgozása, és jelenleg is folyamatban van a korábban kifejlesztett saját numerikus szimulációs kód és a fenti FLUENT szimulációs kód futtatási eredményeinek, illetve a lézer Doppler anemométeres mérési eredmények részletes elemzése és összevetése. A további tervezett modell fejlesztések már a kutatás keretében megvalósult FLUENT szimulációs modellre épülnek, mely keretében egy komplex elektrofilter szimulációs modell kifejlesztése a cél.

### III. Atmoszférikus határréteg modellezése:

Digitális térkép alapján elkészítettük a Balaton környékének háromdimenziós domborzati modelljét és kiszámítottuk a háromdimenziós atmoszférikus határréteg áramlást változó felületi érdesség feltételezése mellett.

Szimulációs vizsgálatokat végeztünk a szélcsatornában érdességi elemekkel előállított atmoszférikus határréteg modellekre. Megvizsgáltuk különféle turbulencia modellek alkalmasságát a szélcsatornában kísérleteknél használt atmoszféra modellek számítására.

Felismertük egy olyan módszer szükségességét, ami lehetővé tenné a numerikus felbontás méreténél nagyobb érdességi elemek (például házak, fák, növényzet) modellezését általános célú szimulációs rendszerekben impulzus és turbulencia források beiktatásával a szilárd felszín közelében. Felkutattuk a téma szakirodalmát és megkezdtük egy módszer kidolgozását, ami alapján lehetőség nyílik a mikro skálán (egy érdességi elem környezetében) végzett szimuláció eredményei alapján a sok érdességi elemet tartalmazó makro modell paramétereinek beállítására.

Sikeresen alkalmaztuk a numerikus szimuláció módszerét épületek körüli és épületek belsejében kialakuló áramlások számítására.

Szimulációs vizsgálatokat végeztünk épületekre ható szél erő meghatározása céljából. Elkészítettük a Budapest Aréna és egy német jégstadion háromdimenziós szimulációs modelljét FLUENT rendszerben. Az

épületek felületén k- $\epsilon$  turbulenciamodell alapján szimulációval meghatároztuk a nyomástényező megoszlását, a számítási eredmények igen jó egyezést mutattak a tanszékünk szélcsatornájában készült korábbi mérések eredményeivel [3].

Elkészítettük egy épületben terjedő tűz numerikus szimulációs modelljét. A tűz terjedését változó területű forró gáz bevezetésként modelleztük az égés hőmérsékletét és a felszabaduló hő mennyiségét reális értéken tartva. Az időben változó területű peremfeltételei zóna kezelését a FLUENT szimulációs rendszerhez illeszkedő, saját fejlesztésű C nyelvű szoftverrel valósítottuk meg. Modellt dolgoztunk ki a tűzben keletkező füst mennyiségének és az áramló füstöt a tiszta levegőtől elválasztó határfelület definiálására. A modellt a Budapest Aréna Sportcsarnok tűzvédelmi vizsgálata során gyakorlatban is alkalmaztuk. Eredményeinket egy numerikus szimuláció biztonságtechnikai alkalmazási lehetőségeit bemutató folyóirat cikk formájában publikáltuk [1] [12]. A terjedő tűz dinamikus modellezésére és a füst határvonalának definíciójára alkalmazott megoldásaink iránt élénk érdeklődés mutatkozott hasonló témával foglalkozó lengyel és svájci intézmények részéről.

Kétféle szimulációs rendszer (FLUENT és MISKAM) felhasználásával megvizsgáltuk a közlekedés okozta légköri szennyezők terjedését városi környezetben. Számítási eredményeinket szélcsatornában végzett nyomgáz kísérletek eredményeivel hasonlítottuk össze. Különös figyelmet fordítottunk a kibocsátó forrás modellezésére, megvizsgáltuk a mozgó gépjárművek okozta turbulencia hatását az atmoszférikus transzport folyamatra. A számítási eredmények validálásához szükséges volt a meglévő szélcsatornás mérőberendezés kiegészítésére rezgőtükrös lézersík generátorral, továbbá a szonda pozícionáló rendszer továbbfejlesztésére, amelyeket a kutatási projekt keretében hajtottunk végre. Eredményeinket egy Brüsszelben rendezett városklíma konferencián [20], továbbá egy Budapesten rendezett nemzetközi áramlástechnikai modellezési konferencián [9] publikáltuk.

Numerikus szimulációs vizsgálatokat végeztünk egy acél konverter üst folyékony vassal történő feltöltése során keletkező úgynevezett primer kiporzásának meghatározására. A számítási eredményeket jó egyezést mutattak a korábban, tanszékünkön készített laboratóriumi kisminta kísérletek során felvett árnyképi megjelenítésekkel és az áramló gázban végzett hőmérséklet mérésekkel. Számítási eredményeinket nemzetközi konferencián publikáltuk [11].

Kísérleti és szimulációs vizsgálatokat végeztünk nehéz gázok atmoszférikus terjedési sajátosságainak meghatározására. Megvizsgáltuk a természetes érdesség (növényzet, lomb) és épített környezet (elővárosi és belvárosi beépítés) esetében a nehéz gázok atmoszférikus transzportjának jellemzőit. Feldolgoztuk a sűrűség szerinti rétegződés turbulencia módosító hatásával foglalkozó szakirodalmat. A növényzet és az elővárosi épületek áramlás módosító hatását az integrál jellemzőiben megegyező zónákkal modelleztük, amelyekben az áramlást leíró transzportegyenleteket megfelelően megválasztott forrástagokkal egészítettük ki.

Modelleztük egy városrészben pontszerű forrás által kibocsátott vegyi vagy biológiai harci anyag terjedését, adott domborzat esetén a szennyezők atmoszférikus terjedését, valamint pontszerűen kibocsátott szennyező épületen belüli terjedését. Számítási eredményeinket szélcsatornás és kisminta modell berendezésen végzett mérésekkel validáltuk. A numerikus szimuláció ezen alkalmazásainak főként honvédelem és biztonságtechnikai területeken van jelentőségük, hazánkban azonban nem alkalmazzák a fejlett szimulációs eszközöket e területeken. A numerikus szimuláció védelmi alkalmazásának lehetőségeit haditechnikai konferenciákon ismertettük [15], [29].

Újszerű eljárást fejlesztettünk ki az atmoszférikus áramlások belépő peremfeltételeinek meghatározására. Az atmoszférikus áramlás sebességprofilja általában adott (standard sebességprofil vagy szélcsatornás mérésnél előállított sebességprofil), azonban a belépő áramlás turbulens jellemzőit egy adott sebességprofilhoz úgy kell meghatározni, hogy kompatibilis legyen az alkalmazott turbulencia modellel, ellenkező esetben a sebességprofil a számítási tartomány elején gyorsan átrendeződik és a vizsgált térrész nem az előírt sebességprofillel kap megfűvást. A turbulens jellemzők megfelelő eloszlásait egy virtuális csatorna alkalmazásával hoztuk létre, amelynek alsó felületén a fali csúsztatófeszültség értékét az előállítani kívánt sebességprofilnak megfelelően választottuk meg. E módszer felhasználásával különböző geometriai paraméterekkel jellemezhető fennsíkok fölötti áramképeket vizsgáltunk meg. Eredményeink konferencia előadás formájában publikáljuk 2005-ben [23].

A FLUENT szimulációs rendszer sikeresen alkalmaztuk pontforrásokból kibocsátott szennyezők atmoszférikus terjedésének vizsgálatára – például hűtőtorony fáklyájának számítására [13] – olyan

esetekben, amikor a függőleges áramlások viszonylag csekély kiterjedésűek, így azokat az atmoszférikus hőmérsékleti rétegződés nem befolyásolja. Az atmoszféra rétegződésének modellezése nemcsak szélcsatornás méréseknél, hanem az általános célú CFD programok alkalmazásánál is jelentős nehézséggel jár. E jelenség numerikus modellezési problémáinak megoldásán 2005-től a Szegedi Egyetem Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék közös OTKA pályázat keretében dolgozunk tovább.

#### IV. Gördülő kerék körüli áramlás számítása:

Felkutattuk és elemeztük a kerék körüli áramlás kísérleti és numerikus áramlástani vizsgálatra vonatkozó szakirodalmat. Kapcsolatot építettünk ki Siegeni Egyetemmél, ahol e témában már nemzetközi szinten elismert kutatás folyik. Ennek részét képezte Rékert Tamás 3 hónapos tanulmányútja is, amelyet más forrás bevonásával finanszíroztunk (TÉT). Numerikus szimulációval elemeztük egy kísérleteknél alkalmazott kerék modell körüli áramlást forgó és álló kerék esetén egyedülálló kerékre és kerékházba beépített kerékre vonatkozóan. A kutatási eredményeit angol és német nyelvű konferencia cikkekben publikáltuk [6], [7].

Több különböző turbulencia modell felhasználásával háromdimenziós számításokat végeztünk forgó és álló helyzetben lévő egymagában álló kerékre. A stacionárius k-epsilon és SST k-omega (RANS) modell szimulációs eredményei igen jó egyezést mutattak a szakirodalomban korábban publikált mérési eredményekkel.

A kutatási projekt keretében elkészítettünk egy forgó kerék befogadására alkalmas jármű részlet szimulációs modelljét és felkészültünk a számítási eredményeinknek a Drezdai Egyetemmél együttműködésben történő szélcsatornás validálására. A szimulációs vizsgálat lehetővé tette a kerékszekrénybe épített forgó kerék áramkép struktúrájának vizsgálatát. A szimulációs modell validálása érdekében új méréseket végeztünk tanszékünk függőleges szélcsatornájában a felületi áramvonalak megjelenítésével (oil-flow visualisation). A felületi áramvonalak struktúrája a szimulációs eredményekkel jó egyezést mutatott. Újszerű áramlásszerkezet vizualizációs eljárást dolgoztunk ki a számítási eredmények utófeldolgozására, az örvényváz megjelenítési módszer továbbfejlesztésével. A kutatási eredményeket nemzetközi konferencián publikáltuk [10].

A jármű felületén kialakuló, numerikus szimuláció segítségével meghatározott nyomáseloszlás segítségével a szakirodalomban publikált kutatási eredményeknél sokkal részletesebben leírtuk a jármű modellre ható áramlástani eredetű erők kerekek és kerékházak általi megváltozásának módját. Az eredményeket folyóiratban publikáltuk [31].

Nagy előrelépést jelentett Rékert Tamás egyéves tanulmányútja a brüsszeli Von Kármán Intézetben, amelynek során jelentős eredményeket ért el a Proper Orthogonal Decomposition (POD) eljárás áramlás topológiai vizsgálat területén történő alkalmazásában. A POD eljárást továbbfejlesztette és módszereket dolgozott ki az időben és térben helyüket és méretüket változtató örvényekkel jellemzett instacionárius áramlások rejtett részleteinek detektálására. Módszertani elemzéssel a jelenleg és jövőben is egyre növekvő jelentőséggel bíró instacionárius LES számítások eredményeinek kezelésének módjára tett javaslatot.

Kutatási eredményeinket folyóirat cikk és [21] konferencia előadás [22], [32] formájában 2005-ben publikáltuk.

#### V. Hang terjedése turbulens áramlásban, a turbulencia zajkeltő hatásának vizsgálata:

Turbulens áramlások zajkeltő hatásának számításához feltétlenül szükséges a frekvencia spektrum és a fázis információk helyes modellezése. Ezeket az információkat állandósult áramlás modellre épülő turbulencia modellekből nem lehet meghatározni, ezért olyan időfüggő áramlástani modell alkalmazása szükséges, ami az örvények méretét és mozgását helyesen adja vissza. Az időfüggő turbulens áramlási modellek alkalmazása területén jelentős előrelépés volt Lohász Máté részvétele a brüsszeli Von Kármán intézet diplomakurzusán, amelynek során kutatásait a Large Eddy Simulation (LES) alkalmazására összpontosította. Eredményeit nemzetközi konferencián publikálta [16]. A LES módszer alkalmazása kulcsfontosságú lehet,

akusztikai alkalmazásain túlmenően, épületek és más szerkezetek dinamikus terhelésének számításában és az áramlástechnikai gépek szimulációjának néhány területén.

Sikeresen alkalmaztuk az LES módszert egy közúti híd körüli turbulens áramlás számítására. A numerikus modell alapján meghatározható volt a turbulens áramkép szerkezete és a leváló örvények jellemző frekvenciája is. A számítással meghatározott, időátlagolt nyomástényező megoszlások a Reynolds-átlagolt turbulencia modelleknél jobb egyezést mutattak az ugyanerre a hídra tanszékünkön végzett szélcsatornás mérések eredményeivel. E vizsgálat eredményeit 2006-ban tervezzük publikálni.

2003 évben kiépítettük egy hosszú távú közös kutatási együttműködés alapjait a Magdeburgi Egyetemmel LES módszerre épülő akusztikai szimuláció területén.

Folytattuk a zárt csatornába helyezett érdesítő elem turbulencia módosító hatásának vizsgálatát LES módszerrel. A Von Kármán Intézetben készült mérések eredményeivel összehasonlított szimulációs eredményeket 2004 évben a MTA Áramlás- és Hőtechnikai Bizottság Numerikus Áramlástan Albizottsága által rendezett "CFD workshop" meghívott előadás keretében mutattuk be (<http://simba.ara.bme.hu/~cfdworkshop>), továbbá 2005 évben nemzetközi konferencián [17] és folyóirat cikk formájában [18] publikáltuk.

Megvizsgáltuk a bársonyhoz hasonló bevonat alkalmazásának lehetőségét ventilátor lapátok zajának csökkentésére. A bevonat hidrodinamikai hatásait szélcsatornás nyomásmegoszlás és sebességmező mérésekkel, a hangkibocsátásra gyakorolt hatást zengőtérben, csendes szabadsugár alkalmazásával készült akusztikai mérésekkel mutattuk ki. Eredményeinket 2005-ben nemzetközi konferencián publikáltuk [28]. E mérésorozat eredményei alapot adnak arra, hogy a ventilátorok szimulációs vizsgálata területén végzett kutatásokat a későbbiek során a zajemissziójának numerikus optimalizálása irányába terjesszük ki.

#### VI. Turbulencia modellezése felszíni vizekben:

Elkészítettük a Duna egy 3 km hosszúságú, Szekszárd közelében található szakaszának geometriai modelljét a mért mederszelvény vízmélység profilok alapján. Kifejlesztettünk egy szoftvert, amely lehetővé teszi lapos tartományok - így például tavak és folyók - hálózását háromszög alapú prizmatikus térfogatelemekkel.

Ennek segítségével elkészítettük a folyószakasz numerikus hálóját közepes vízhozamnak megfelelő mélység esetére. A folyószakasz modelljének belépő peremfeltételeire (sebességkomponensek és turbulens jellemzők megoszlására) mérési adatok nem álltak rendelkezésre, ezeket ellentétes folyásirány esetén kapott kilépő áramlás profiljainak megfelelő transzformációjával állítottuk elő. A szakirodalomban hasonló esetekre publikált modell paraméterek mellett elvégeztük a folyószakasz áramlásának háromdimenziós szimulációját. A VITUKI Rt. munkatársai rendelkezésünkre bocsátották az adott vízhozam mellett végzett helyszíni sebességprofil mérések eredményeit a folyószakasz több metszetében. A mérési eredményeket és a szimulációs eredményeket az összehasonlítás céljából azonos pontokra interpoláltuk. A mért és számított profilok nem mutattak kielégítő egyezést. Megvizsgáltuk az eltérések lehetséges okait, ezek közül a legnagyobb bizonytalanságot a mederalak pontatlan ismerete jelenti. A rendelkezésre álló sebességprofil mérések és a mederalak felmérése között több év telt el, ez idő alatt a meder alakja számottevően megváltozott. Célszerűnek látszik a folyami áramlás numerikus modelljét a későbbiek során megfelelő részletességű kisminta mérésekkel validálni, mivel a meder geometriája a szimulációs modell minősítéséhez megfelelő részletességgel ilyen módon egyszerűen meghatározható.

Jelentős eredményeket értünk el fürdőmedencék áramlásának modellezésében. A Harkányi Gyógyfürdő Vállalattal együttműködésben méréses és szimulációs vizsgálatot végeztünk, amelynek célja a medencében kialakuló turbulens áramlás modellezése, valamint a klórkoncentráció és a hőmérséklet megoszlás számítása volt. A turbulencia modellezésére a víztérben jelenlévő lassan mozgó, nagy kiterjedésű örvények jelenléte miatt időfüggő Reynolds-átlagolt (URANS) megközelítést alkalmaztunk. Elkészítettük és FLUENT rendszerben implementáltuk a szabad aktív klór megkötésének kémiai reakció modelljét, a reakció modell paramétereit a fürdővízből vett mintákon végzett mérésorozat eredményei alapján kalibráltuk. A helyszíni méréseket fürdővendégektől mentes éjszakai állapotban végeztük, az áramlás 6 db. világító bolya segítségével vizualizáltuk és két videokamerával, szakaszos expozícióval rögzítettük. A helyszíni mérések során tapasztalt áramkép kvalitatív egyezést mutat a szimulációs modelltől kapott áramképpel.

Eredményeinket két szakmai konferencián (Magyar Fürdőszövetség 2004 október 13-14, Nyíregyháza;

OTKA nyilvántartási szám: T037651

## RÉSZJELENTÉS

Uzodatechnika Egyesület, 2004 november 12., Balatonkenese) meghívott előadások alkalmával mutattuk be, továbbá folyóirat cikk formájában publikáltuk [24].



**Irodalomjegyzék**

1.  
G.Kristóf, T.Lajos, M.Lohász, T.Régert: Numerikus szimuláció alkalmazása a Budapest Sportcsarnok klímatechnikai és tűzvédelmi vizsgálatában, Energiagazdálkodás 2004/2, pp.3-5., 2004  
  
Folyóiratcikk 0.00 Nincsen megadva
2.  
G.Kristóf, E.Pap: Numerical Simulation of Radial Pump, GÉPÉSZET 2002 konferencia, 391-395, 2002  
  
Könyvfejezet 0.00 Nincsen megadva
3.  
T. Lajos, Zs. Szepesi, I. Goricsán, F. Paulik, J.Suda, T. Régert: Wind tunnel measurement and numerical simulation of wind load acting on buildings, GÉPÉSZET 2002 konferencia, pp 396-400, 2003  
  
Könyvfejezet 0.00 Nincsen megadva
4.  
Kristóf Gergely, Pap Elemér , Régert Tamás, Pöszmet István, Böhm Zoltán: A Numerikus szimuláció alkalmazása áramlástechnikai gépek vizsgálatára, MICROCAD konferencia, Miskolc, 2003 feb.27., 2003  
  
Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva
5.  
G.Kristóf, I.Pöszmet, G.Fodor, T.Régert, B.Mezősi, N.Dávidházi: Numerical simulation of a side channel pump, Conference on Modelling Fluid Flow konferencián, pp 997-1002., 2003  
  
Könyvfejezet 0.00 Nincsen megadva
6.  
T.Régert, T.Lajos: Numerical Simulation of Flow Field past Road Vehicle Wheel, Third Conference on Mechanical Engineering, pp.244-248., 2002  
  
Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva
7.  
T. Régert, T. Lajos: Numerische Untersuchung der Rad-Radhausströmung, Wissenschaftliche Mitteilungen der 14. Frühlingsakademie, pp.77-88., 2002  
  
Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva
8.  
SUDA, J.M., IVÁNCZY, T., KISS, I.: Turbulent flow field of the model ESP influenced by the inlet conditions - comparison of experimental and CFD results, Int. Conf. microCAD\05, 2005  
  
Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva
9.  
T.Lajos, Zs.Szepesi, I.Goricsán, T.Régert, J.M.Suda, M.Balczó: Wind Tunnel Measurement and Numerical Simulation of Dispersion of Pollutants in Urban Environment, Conference on Modelling Fluid Flow konferencia, pp.507-514., 2003

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

10.

T.Régert, T.Lajos: Investigation of Flow Field Past Rotating Wheels of Cars, Conference on Modelling Fluid Flow konferencia, pp.387-393., 2003

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

11.

T.Lajos, G.Kristóf, J.M.Suda, György Fehér, I.Mészáros: Experimental and Numerical Modeling of Secondary Emission Control System of BOF (Basic Oxygen Furnace), Conference on Modelling Fluid Flow konferencia, pp.459-464., 2003

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

12.

G.Kristóf, T.Lajos, M.Lohász, T.Régert: Application of Numerical Simulation in Comfort Analyses and Fire Case Studies of Budapest Arena, Climate Change - Energy Awareness - Energy Efficiency konferencia, 2003

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

13.

G.Kristóf, L.Varga, N.Kapás: A numerikus áramlástan néhány energetikai alkalmazása, Magyar Energetika, 2003/02, pp.23-26, 2003

Folyóiratcikk 0.00 Nincsen megadva

14.

J.Suda, B.Wunderlich, I.Kiss, E.Pap: On the Laser Doppler Velocimetry Measurements and Numerical Simulation of Particle Flow Field in a Model Electrostatic Precipitator, Conference on Modelling Fluid Flow konferencia, pp.728-735., 2003

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

15.

T.Lajos, G.Kristóf: Application of Advanced Numerical Simulation in the Defence Sector, II-nd International Symposium on Defence Technology, pp.218-226, 2003

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

16.

Lohász, M., Rambaud, P., Benocci, C: LES simulation of ribbed square duct flow with Fluent and comparison with PIV data, Conference on Modelling Fluid Flow konferencia, pp.889-896., 2003

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

17.

LOHÁSZ, M. M., RAMBAUD, P., BENOCCI, C: Flow Features in a fully developed ribbed Duct Flow as a Result of LES, ERCOFTAC Int. Symposium on Engineering Turbulence Modelling and Measurements, ETMM6, 2005

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

18.  
LOHÁSZ, M. M. RAMBAUD, P. BENOCCI, C. KRISTÓF G.: Küszöbvel érdesített csatorna nagy örvény szimulációja (LES) és az áramkép topológiai vizsgálata, GÉP, 2005

Folyóiratcikk 0.00 Nincsen megadva

19.  
SUDA, J.M.: Elektrofilter modell berendezés kísérleti és numerikus áramlástan vizsgálat, GÉP, 2005

Folyóiratcikk 0.00 Nincsen megadva

20.  
GORICSÁN, I., BALCZÓ, M., RÉGERT, T. AND SUDA, J.M.: Comparison of Wind Tunnel Measurement and Numerical Simulation of Dispersion of Pollutants in Urban Environment. Impact of Wind and Storm on City Life and Built Environment, Conf. on Urban Wind Engineering and Buildings, D.6.1-D.6.10, 2004

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

21.  
Régert T., Lajos T.: Áramlás vizsgálata gépjármű kerékházában, GÉP, 2005

Folyóiratcikk 0.00 Nincsen megadva

22.  
Régert T., Rambaud P., Riethmuller M.L.: Extraction of coherent structures from unsteady flows by means of POD, Int. Conf. microCAD\05, 2005

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

23.  
GORICSÁN, I., LAJOS, T.: Numerical Simulation of Atmospheric Flow Using Fluent, Int. Conf. microCAD\05, 2005

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

24.  
CSÉCS, Á., KRISTÓF, G., URBÁN, J.: CFD Analysis of Water Quality in a Thermal Bath Pool, Int. Conf. microCAD\05, 2005

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

25.  
Vad, J., Kwedikha, A. R. A., Rábai, G.: A lapátozás kerületi irányú előreferdítésének hatása sugár mentén növekvő cirkulációra tervezett axiális átömlésű járókerékben, GÉP 2005 / 1, 2005

Folyóiratcikk 0.00 Nincsen megadva

26.  
Vad, J., Kwedikha, A. R. A., Kristóf, G., Lohász, M. M., Rábai, G., Watanabe, K., Rácz, N: Effects of Blade Skew in an Axial Flow Rotor of Controlled Vortex Design, 6th European Conference on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics (ETC6), 2005

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

27.

Vad, J., Lohász, M. M., Rábai, G., Rácz, N., Tajti, Á., Vassatis, A., Corsini, A.: A Synthetic Method for Judging the Validity of a CFD Tool Applied to Axial Flow Cascades, 6th European Conference on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics (ETC6), 2005

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

28.

Vad, J., Koscsó, G., Gutermuth, M., Kasza, Zs., Csörgő, T.: Reduction of Flow Generated Noise of Airfoils by Means of Acoustically Soft Coating, VSTech 2005, The First International Symposium on Advanced Technology of Vibration and Sound, 2005

Konferenciakiadvány 0.00 Nincsen megadva

29.

Á.Csécs, J.Csurgai, J.M.Suda, G.Kristóf, I.Pintér, J.Zelenák: ABV (NBC) anyagok épületen belül történő terjedésének numerikus szimulációja és modellkísérlete, Bolyai Szemle 2004 Különszám, Haditechnika 2004 - Szimpózium, ISSN 1416-1443, 2004.

30.

Suda, J.M., Wunderlich, B., Lanzke, A., Kiss, I. & Pap, E. (2002) On the measurements of particle flow field in a model electrostatic precipitator with Laser Doppler Velocimetry. *Proc. Third Conf. on Mech. Eng. GÉPÉSZET 2002*, HUNGARY Budapest, May 30-31. 2002.

31.

Régert, T., Lajos, T.: Numerical simulation of flow in wheelhouse of cars. *Journal of Computational and Applied Mechanics*. 2006

32.

Régert T., Rambaud P., Riethmuller M. L.: „Link between physics and POD modes”, AVT – 124 Recent Developments in Non-Intrusive Measurement Technology for Military Application of Model- and Full-Scale Vehicles, NATO meeting, Budapest, 2005.