

## **Energetikai és környezetvédelmi rendszerek kísérleti és számítástechnikai modellezésének és a vonatkozó szerkezetek és folyamatok optimalizálásának összekapcsolása**

Az OTKA támogatás segítségével a Miskolci Egyetem Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszékén felgyorsultak az áramlás- és hőtechnikai vizsgálatok számítógépes modellezésének munkálatai. A megvásárolt FLUENT kereskedelmi szoftver oktatási-kutatási verziója és saját kódok, valamint laboratóriumi és ipari mérések segítségével a kutatási tervben megjelölt összes részfeladat kidolgozása megtörtént.

A pályázatban megjelölt négy részfeladat sorrendjében, ahhoz kötődően közöljük a kutatás lépéseit és az elért eredményeket.

### **1. Ipari üzemcsarnokok szellőzésének és a szennyeződés épületen kívüli tovaterjedésének CFD és laboratóriumi modellezése és a szellőzés optimalizálása.**

E részfeladat eredményeképpen kidolgozásra került egy ipari üzemcsarnok és annak környezetének 3D-s számítógépi modellje, amely alkalmas az üzemcsarnokon belül és az azt körülvevő térben különböző időjárási körülmények között a sebesség-hőmérséklet-nyomáseloszlások meghatározására, a szennyeződés terjedésének vizsgálatára. A modell segítségével nagymennyiségű számítás történt az eltérő időjárási körülmények esetén adódó légcseré és a komfortparaméterek meghatározására. [2, 6, 29] A numerikus eljárások beépítésre kerültek optimalizációs eljárásokba. A kutatás lépései és főbb eredményei az alábbiak:

- Első lépésként az üzemcsarnok 2D, majd 3D modellje készült el, amelyek tesztelése során számos numerikus problémát sikerült megoldani és nagyszámú számítási eredmény feldolgozásával sikerült tisztázni az épület természetes szellőzésének törvényszerűségeit és a bukóablakok állásszögeivel való összefüggését. [3, 5, 7, 8, 9, 10]
- Az optimalizálás első lépéseként az üzemcsarnok szellőzését leíró egyszerűsített FLUENT 2D modell beépítésre került a Dynamic-Q nevű optimalizáló szoftverbe. E tevékenységet a jelen pályázathoz is kapcsolódó magyar-délafrikai TÉT Kutatócsere Pályázat is támogatta. A közös munka eredményeképpen az egybeépített modellező-optimalizáló eljárás működik. Az optimalizálás során arra a kérdésre kerestük a választ, hogy különböző időjárási körülmények között hogyan kell a négy ablaksor állásszögét külön- külön beállítani úgy, hogy a szellőzés az előírt legyen. A szellőzés mértékének jellemzésére a légcsereszámot alkalmaztuk, amelynek kívánatos értéke a vonatkozó épület esetén 30 1/óra. Az optimalizálás változói mindkét esetben tehát az épület 4 ablaksorának állásszöge, a célfüggvény pedig a megadott légcsereszámotól való minimális eltérés voltak. [18, 31, 32, 39, 45] A sikeres egybeépítést követően a lényegesen bonyolultabb 3D modell beépítésének munkálatai folytak. Itt külön nehézséget a háromdimenziós modellben az ablakok automatikus állítását követő automatikus számítási hálóképzés programozása jelentette, amelyre egy különleges módszert dolgoztunk ki. [37]
- A gyakorlati tapasztalatok rávilágítottak arra, hogy a szellőzés globális paramétere a légcsereszám kellő értékének elérése, ill. növelése önmagában nem garantálja a dolgozók mozgáskörnyezetében az elfogadható klimatikus viszonyokat. E részfeladat kidolgozásának legutolsó lépéseként ezért arra kerestük a választ, hogy miként hat közvetlenül az üzemben dolgozó emberekre az üzemcsarnok üzemi hőterhelése és szellőzése. A komfortérzet leírására a vizsgált csarnok esetén egy, a szakirodalomból ismert komfort paramétert a várható hőérzeti értéket (*PMV*) alkalmaztunk, valamint egy saját kidolgozású eljárással a hőszugárzás emberre gyakorolt hatását is vizsgáltuk (az emberi fejre ható hőterhelés elemzése). Célunk a komfortérzet javítási lehetőségeinek feltárása és annak optimalizálása volt. [44,46]

- A számításokkal párhuzamosan azok validálásához laboratóriumi vizsgálatokra is sor került. A vonatkozó üzemcsarnok modelljét beépítettük a tanszéki szélcsatornába, ahol mind az épületen belül, mind az épületen kívül vizsgáltuk az áramlás jellemzőit. A vizsgálatok az áramlás olajköddel való megjelenítését és sebességmérő és nyomásmérő szondákkal a sebesség és nyomáseloszlás mérését jelentették. [26]
- A laboratóriumi vizsgálatok számára beüzemelésre került a 64 csatornás multiplexer nyomásmérő rendszer, amelyhez beszerzésre került egy Scanivalva digital Interface Unit (Nyomásmultiplikátorhoz feldolgozóegység).
- Az automatikus adatgyűjtés végrehajtására új típusú adatgyűjtő kártya (General Instruments) került beszerzésre és rendszerbe állításra.
- A numerikus számítások validálásához a nagyméretű üzemcsarnokban több ezer helyszíni mérést végeztünk.
- Az épületszellőzés során szerzett modellezési tapasztalatainkat felhasználtuk egy pelletraktár természetes szellőzésének javítására a tárolt anyag minőségének megőrzése céljából.
- A szennyeződés épületen kívüli tovaterjedésének numerikus és laboratóriumi vizsgálata sikeresen megtörtént. A numerikus vizsgálatokhoz kialakítottunk egy olyan speciális eljárást, amellyel az alapáramlásba bejutó porrészecskék nyomvonala követhető. A numerikus vizsgálat során a kapott porminta frakcióeloszlásának figyelembe vételével meghatározásra kerültek a szennyeződés épületet elhagyó porszennyezés terjedésének törvényszerűségei. Ezek alapján ismertté vált az üzemi területen lerakódó por mennyisége és területi, illetve frakcióeloszlása. Ugyancsak meghatározásra kerültek az üzemi területet elhagyó szennyeződés jellemző paraméterei is. A vonatkozó szélcsatorna méréseket elvégeztük, amelyek segítségével egyrészt validáltuk a numerikus eredményeket, másrészt a szennyeződés távolabbi tovaterjedésének jellegzetességei is kimutathatók voltak. Ennek alapján kijelölhetők az üzemi területet körülvevő monitoring rendszer telepítésének célszerű helyei.[27,28]
- A kutatás gyakorlati eredményeit a MAL Rt. hasznosította. Az Ajkai alumíniumkohó üzemcsarnokának szellőzése a kutatások révén javult, s tovább is javulhatott volna. A sors fintora, hogy éppen a kutatások befejezésekor gazdasági döntésként a csarnok eladásra és leszerelésre került.
- A kutatás egyes részei három doktorandusz munkáját segítették. Egy doktorandusz (Gyulai László) doktori munkájának gerincét e kutatás képezi, jelenleg a disszertáció összeállításán dolgozik.

## 2. Spirális hőcserélők optimális kialakításának elemzése.

E részfeladat során pályázatban megfogalmazottak szerint számos kialakítás lehetséges. Ezek közül négy különbözőt vizsgáltunk. Elkészítettük a vonatkozó numerikus modelleket, kísérleteket végeztünk a laboratóriumban. A numerikus eljárások közül egyet beépítettünk optimálási eljárásba is. A kutatás főbb lépései és eredményei az alábbiak:

### A. Hengeres spirális hőcserélő modellezése

Egy hőcserélő numerikus modellezése megtörtén, legfőbb nehézséget a bonyolult geometria felépítése és a numerikus háló elkészítése jelentették. Az elvégzett számítások dokumentálásra, publikálásra kerültek. A bonyolult számítási háló miatt az automatikus hálógenerálást igénylő optimálást elvetettük. [16, 35]

### B. Síkbeli spirális hőcserélő modellezése

Kialakításra került egy síkbeli spirális csőkégyőt tartalmazó hőcserélő modell. Ennek segítségével összehasonlítottuk azonos csőhosszúságú egyenes és spirális hőcserélők hőátadási tulajdonságait. [1, 4, 12, 13, 17]

### C. Villamos fűtésű spirális hőcserélő modellezése

- A vizsgálatainkat kiterjesztettük a villamos fűtésű hőcserélőkre. Elkészítettük egy spirális hőcserélő modelljét, amely egy csőben áramló levegőáramot fűt, a csőbe helyezett spirál alakú villamos fűtőszál segítségével. A modell összekapcsolja az áramlás hő- és áramlási adatait a villamos paraméterekkel. A modell figyelembe veszi a fűtőszál villamos paramétereinek a hőmérsékletfüggését is. [24] A numerikus modellt úgy építettük fel, hogy alkalmas legyen az áramlás- és hőtani, valamint a villamos paraméterek olyan optimális paraméterrendszerének optimálással való meghatározására, amely adott geometria esetén maximális hőcserét jelent minimális energiabetéplálás mellett. Ezen optimálás elvégzése még a közeljövő feladata.
- Mivel problémák merültek fel a villamos fűtés modellezése során, ezért alap kutatás jelleggel hozzákezdünk e feladat alapos tanulmányozásába. Ennek során egyetlen egyenes fűtőszálban és az azt körülvevő keresztáramlási térben lezajló villamos, hőtani és áramlási folyamatok együttes kezelésével foglalkozunk. A vizsgálatokhoz e pályázat keretében légcsatornát építettünk a tanszéki laboratóriumban, ahol egy OTKA műszerpályázatból beszerzett CTA berendezéssel mérjük a fűtőszál körülvevő sebesség és hőmérsékletér jellemzőit. [33, 41, 42]
- A kutatás e résztémája egyben két doktorandusz fő témája. Egyikük (Liptai Zoltán), a mérés-technikai problémák kezelését és az alapelvből kiindulva egy új mérési eljárás kidolgozását kapta témájául. Sajnos nevezett hallgató elhagyva az akadémiai pályát egy kutatóintézetben helyezkedett el. A másik résztéma a numerikus szimulációk végzése különös tekintettel a villamos és hőtani jelenségek összekapcsolására. Ezt a résztéma jól halad (Bolló Betti), doktori eljárás befejezése kb. 1 év múlva várható.
- Ez az új kísérleti vonal jelenti az átmenetet jelen pályázat és az újonnan elnyert 2007-2010 futamidejű új OTKA pályázat között, amelynek címe: *Áramlásba helyezett, elektromosan fűtött prizmatikus testek körül kialakuló áramlási és hőjelenségek vizsgálata.*
- A téma perspektivikus voltát felismerve egy DAAD-MÖB kutatócsere projekt (*Mérési módszer kifejlesztése nagyméretű áramlási keresztmetszetben kialakuló sebességprofil monitorozására*) is indult a kutatás továbbfolytatására a Magdeburgi Egyetemmel (2007-2008). E kutatócsere keretében különösen a német félnél meglévő magas szintű mérés-technikára és kieső doktorandusz miatt a kísérleti munka személyi feltételeinek erősítésére számítunk.

### D. Lapos lángú égővel fűtött spirális hőcserélő modellezése és üzemének optimalítása

- Elkészítettük egy csőalakú hőcserélő modelljét. A cső egyik végén egy lapos lángú égővel tüzelünk, a cső másik végén egy szűkület okoz egy bizonyos visszatorlasztó hatást. A csőben egy spirál helyezkedik el koaxiálisan. A csőben folyadék áramlik. A szimuláció kiszámítja az égést, valamint a gáz és a folyadék közti hőcserét is figyelembe véve, a csőben és a spirálban a sebesség és hőmérsékleteloszlásokat.
- A modellt beépítettük a DYNAMIC-Q optimaló eljárásba. Az optimalás célfüggvénye konstans belépő folyadékáram és hőmérséklet mellett a maximálisan átadódó hő, amit a spirálból kilépő folyadék hőfokkal detektálhatunk. A változó az égő légfelületnyezője volt, konstans gázmennyiség mellett. Tehát adott geometria mellett az üzem optimalálásával foglalkoztunk. [40]

- Az eredmények azt mutatták, hogy van olyan légfeleslegtényező (értéke nagyobb, mint 1), amely mellett konstans felhasznált gázmennyiség esetén a csökígyó fűtése maximális. Természetesen a konkrét eredmény erősen geometriafüggő, de rávilágít arra, hogy lehetőség van adott geometria és peremfeltételek mellett az üzemvitel optimalására. Éppen ez volt kutatásaink egyik kiemelt célja, hogy bizonyítsuk, hogy a numerikus szimuláció és az optimalítás összekapcsolása alkalmas üzemi paraméterek optimális beállítására. Jelenlegi fázisban erős korlátot jelent az időbeliség. Egy ilyen egyszerűsített modellen is az optimalítás a jelen pályázatból beszerzett, az átlagosnál jelentősen erősebb PC-ken heteket vett igénybe. Tehát a változó üzemi viszonyokhoz gyorsan megkeresni az optimális beállításokat még a jelenlegi technikai színvonalon nem lehet. A jövő viszont feltétlenül ez kell, hogy legyen.
- A kutatás e résztémáját magyar- német együttműködés (TÉT tartományi projekt) is segítette (*Turbulens hőátadás numerikus modellezése-alkalmazások*).

A résztéma kidolgozásának egyéb eredményei, tényezői:

- A tanszéki laboratóriumban összeállításra került egy hőcserélők alapvizsgálatára szolgáló mérőkör, amely a numerikus eredmények mérésekkel való kontrolljára szolgált. A kísérleti munka az első években szoros együttműködésben folyt az OTKA T37580 pályázattal.
- A kutatáshoz kapcsolódóan a hőcserélők vizsgálatára kialakított mérőberendezésen speciális csöves radiátorok, mint hőcserélők vizsgálati is folytak. Az üzemi paraméterek mérése mellett termokamerás felvételekkel követtük a felfűtés folyamatát és a hőmérsékleteloszlást. Ezzel párhuzamosan a radiátorokban kialakuló hő és áramlási folyamatok számítógépes modellezésére is sor került.

### **3. Hőkezelő kemencék gázcirkulációjának modellezése és optimalítása.**

A kutatás tervezésekor egy villamos fűtésű hőkezelő alagútkemence modellezésének feladatából indultunk ki. Időközben a Tüzeléstechnikai Kutatóintézetrel közösen a kutatást kiszélesítettük egyéb kemencetípusok vizsgálatára, valamint gázégők numerikus modellezésére is az alábbiak szerint:

#### **A. Alagútkemence modellezése**

- Elkészült a villamos fűtésű alagútkemence egy szektorának háromdimenziós modellje. Ebben a villamos fűtést hőforrásként modelleztük. A kemence tetején elhelyezkedő ventilátor keverő hatását a FLUENT programrendszer kínálta örvény segítségével vettük figyelembe. A kutatás későbbi szakaszában a ventilátor modellezést sikerült kicserélnünk egy saját elképzelés szerinti elkészített modellre. Ezzel a rendszer stabilitása nőtt, a számítási idő csökkent. [21, 22]
- Az elkészült modell segítségével szimulációs elemzéseket végeztünk a kemencetérben kialakuló áramkép meghatározására. Megállapítottuk, hogy az egymást követő szektorok egymásra hatása jelentős, különösen a tetőventilátorok által előállított légkeverés miatt.
- A legnagyobb munkát a kemencetérbe helyezendő ömlesztett betétanyag modellezése jelentette. Első lépésként gömb alakú testekkel próbálkoztunk. Ekkor jelentős, feloldhatatlan nehézségek jelentkeztek a testek közötti tér hálózásával kapcsolatban. Ezért áttértünk a téglatest alakú betétanyagokra. [36]
- Az elkészült modellen a számításokat elkezdjük. Terveink szerint a kemence teljes felfűtési folyamatának szimulációját terveztük. Sajnos a nagymennyiségű számítási cella és a sok megoldandó egyenlet miatt néhány másodperces valós idejű felfűtési szakasz számítása több hetet vett igénybe. Becsléseink szerint a jelenlegi modellen a jelenlegi számító-

gépparkunkkal a teljes felfűtési szakasz számítása 16 évig!!! tartana. Ez tehát nem járható út. Ezért elkezdtük a modell egyszerűsítését és a hálózás felülvizsgálatát. Sajnos nem jutottunk eredményre. Ezért kétévi komoly munka után le kellett vonnunk a következtetést, hogy jelenlegi tudásunk és technikai felszereltségünk mellett e kemence optimalizására nincs lehetőségünk. Az erőfeszítéseink annak ellenére nem jártak sikerrel, hogy egy nemzetközi csoport (magyar-német) próbált a feladattal megbirkózni.

- E részfeladat lett volna eredetileg Bolló (Zámborszki) Betti doktori témája. A sikertelen próbálkozás miatt, a villamos fűtés terén elért eredmények felhasználásával tértünk át az új témára, amelyről már a 2 részfeladat során szóltunk.

#### **B. Kísérleti kemence hőtechnikai modellezése:**

- A kemencék numerikus modellezésének felépítéséhez egy egyszerűsített háromdimenziós kemencemodellen kezdtük meg vizsgálatainkat, amelynél a vonatkozó részletek (lángmodellezés, tűzálló falazat, szigetelés modellezése, stb.) kidolgozásával készítettük elő a bonyolultabb variációk vizsgálatát. [11, 14, 15, 19, 20, 23, 34]
- A Tüzeléstechnikai Kutató Intézetben elkészült a vonatkozó kemence laboratóriumi modellje. Az ezen elvégzett mérések jelentették az általunk végzett számítások kísérleti kontrollját (validálás).
- Elkészítettük két különböző típusú gázégő geometriai modelljét, majd azokat egyenként beépítettük a kemence modellbe, s meghatároztuk adott peremfeltételek esetén a kemencében kialakuló hőmérséklet-eloszlást, nyomáseloszlást és sebességmezőt.
- A kemence háromdimenziós geometriai modelljének felhasználásával két égőtípus esetén 3-3 bevezetett levegő térfogatáramnál meghatároztuk a fűtés nélküli üres kemencetérben kialakuló sebességeloszlást (úgynevezett hideg üzemállapot).
- A többretegű fallal ellátott kemence háromdimenziós geometriai modelljének felhasználásával két égőtípus esetén adott állandó fűtőteljesítmény esetén meghatároztuk az üres kemencetérben kialakuló stacionárius hőmérsékleteloszlást. Elkészítettük a kemence, a számítási idő csökkentése érdekében egyszerűsített geometriai modelljét, amely tartalmazza a hőkezelendő acéltuskót is. A kemencét két egymástól eltérő fűtési program szerint fűtöttük fel (instacionárius modell). Figyeltük a változó fűtés hatására mind a kemencetérben, mind pedig az acéltuskóban felmelegedés hatására változó hőmérsékleteloszlást.
- A számítási eredményeket összehasonlítottuk a TÜKI Rt. által végzett mérések adataival.

#### **C. Hőkezelő csőkemence modellezése és a kemence, illetve a tüzelés optimalizálása.**

- A hőkezelő kemencékben lezajló hő- és áramlástanai jelenségeket döntő mértékben befolyásolja a fűtésre használt gázégő modellezése. A FLUENT programrendszer alkalmas az égési folyamat modellezésére is. A beállítási lehetőségek sokrétűek. Ezért a Magdeburgi Egyetem szakembereivel ellenőrző számításokat végeztünk a kialakuló égés és a hozzátartozó lángalak megfelelő modellezésére. [25] Megállapítottuk, hogy a  $k-\omega$  turbulenciamodell túl hosszú lángalakot eredményez. A  $k-\varepsilon$  modellel viszont szinte teljesen azonos eredményeket kaptunk, mint amelyek az égő katalógusában meg voltak adva. Ezért a továbbiakban ezzel a modellel számoltunk tovább.
- A valós hőkezelő kemencék geometriai kialakításának és üzemének optimalizálása előtt egy egyszerűsített kemencemodellen próbáltuk ki a FLUENT-el való modellezés és az optimalizáló eljárás (Dynamic-Q) összekapcsolását. Az összekapcsolt programrendszer ugyanis jelentős mennyiségű számítást jelent. Az eljárás beállításához ezért egy hengersizmetrikus csőkemencét használtunk, amely a hengersizmetria miatt kétdimenziós modellként szá-

mítható. E kemencébe helyeztük el a hőkezelendő munkadarabot. Négyváltozós optimalást végeztünk. Két változó a kemence méretét és abban a munkadarab elhelyezkedését jelentette. A másik két változó az égéshez használt levegő és gáz mennyisége volt. Az optimalás célfüggvénye a hőkezelendő munkadarabban keletkező hőfeszültség minimalizálása. Az optimalás és a modellezés összekapcsolása sikeresen megtörtént.

#### **D. Szakaszos adagolású és kocsizó kemencék hőtechnikai modellezése:**

- Az általános tapasztalatok kialakításához végzett további szimulációk első lépéseként, vizsgálatunk tárgya egy úgynevezett „szakaszos adagolású” kísérleti kemence volt, amelybe egy darab, szűrőlángot szolgáltató gázégő került beépítésre, s két eltérő (folyamatos és szakaszos) tüzelési programok esetén modelleztük a teljes instacionárius hőkezelési folyamatot.
- Második lépésként úgynevezett „kocsizó” kísérleti kemencét vizsgáltunk, ahol két darab, SW típusú, lapos lángot szolgáltató gázégő került beépítésre a kemence boltozatába. A gázégők által szolgáltatott lapos, szétterülő láng a kemenceteret és a boltozatot melegítette intenzíven. A kemence padlójára helyezett acél próbadarab a kemence légterében áramló forró gázok konvektív hőtadása, a lángsugárzás és a boltozatról, valamint a falakról érkező sugárzás révén melegedett. A teljes hőkezelési folyamat modellezése meg történt.

#### **4. Elszívóhálózatok modellezése, kialakításuk és üzemük optimalása**

Por és gázelszívó rendszerek tervezésekor több, részben egymásnak ellentmondó feltételnek kell megfelelni. Az alapkérdés a keletkezett szennyezőanyag elszívása. Az viszont, hogy ezt milyen költségek (beruházási és üzemeltetési) árán, az áramlástanai szempontból járulékos kérdés. A beruházás szempontjából minél kisebb csőhosszak és átmérők a kedvezőek. Ugyanezen irányba hat az a kívánalom, hogy lehetőleg kellően nagy sebességek legyenek a csőekben, hogy a lerakódást elkerüljük. Ellentétes szempont viszont, hogy a csőátmérő csökkenésével rohamosan nő a vezeték hidraulikai ellenállása, s így a kellő elszíváshoz tartozó üzemeltetési költség is. A különböző feltételek és szempontok közötti eligazodást támogatják az optimáló eljárások. Ezeket beillesztve az elszívóvezeték tervezési folyamatába segítik a tervezőt a legoptimálisabb paraméterkombináció kiválasztásában. Egy ilyen optimalási eljárás kifejlesztését és tesztelését tűztük ki célul. A kutatás fő lépései és eredményei az alábbiak:

- Első lépésként az általunk korábban kidolgozott - egy sokágú elszívóvezeték gerinchálózatára vonatkozó - áramlási modellt és a hozzá kapcsolódó számítógépi kódot aktualizáltuk és végrehajtottuk az optimaláshoz szükséges módosításokat. Ez az eljárás egy kvázi egydimenziós gázelszívó csőrendszerre vonatkozik, amelyben a gáz magas hőmérséklete miatt a hőtadási jelenségek is figyelembe vannak véve.
- Következő lépésként a numerikus kódot beépítettük két elvileg is különböző optimalási eljárásba. Az alkalmazott optimalási eljárások a Dynamic-Q és a genetikus algoritmus. Az optimalások változói a gerincevezeték átmérői, a célfüggvény pedig a csővezetéken való veszteség minimalizálása, végső soron szállítás minimális energiafelhasználással való megvalósítása. [43, 47, 48]
- A két eljárással kapott eredményeket összevetve megállapítottuk, hogy mindkét megoldás hordoz olyan előnyöket, amelyet a másik nem, de mindkettő lényegesen jobberedményt szolgáltat, mint az optimalás nélkül létrehozott eredeti elszívóhálózat. Az optimaló eljárásokat tehát eredményesen lehet alkalmazni csővezetékrendszer optimalis kialakításához.
- A Dynamic-Q módszerrel történő optimalásba besegítettek a délafrikai kutató partnerek. A genetikus algoritmus kidolgozását pedig a Magdeburgi Egyetem munkatársa végezte,

aki korábban az OTKA pályázat indulásakor még a tanszékünk munkatársaként részvételét a pályázatban aláírta.

- Mivel ennek a részterületnek a kidolgozása a kutatási terv szerint legutoljára indult, ez van a legkevésbé kész állapotban, jelenleg is az OTKA pályázat befejezése után az intenzív kutatómunka és folyóiratcikkekben való publikálása folyamatban van. Konferenciákon az eddigi eredmények bemutatásra kerültek.
- A vonatkozó kutatás egy magyar és egy német kutató habilitációs felkészülési folyamatában, annak részeként készült.
- Az elszívóhálózatok modellezése témakörben egy speciális modellezésre is sor került. Egy forró gázt és port elszívó kohászati elszívórendszer számára egy nagyméretű elszívóernyőt terveztünk, amelynek során numerikus szimulációval igazoltuk az elszívó hatás javulását az eredeti elszívóernyőjéhez képest. Ezen új ernyő a beüzemelés állapotában van. [30, 38]

#### **A teljes kutatás tekintetében érvényes megállapítások:**

- A kutatás eredményeit számos nemzetközi konferencián ismertettük, hazai és nemzetközi folyóiratcikkekben publikáltuk. Partnereink részére kutatási jelentésekben foglaltuk össze egyes nagyobb kutatási egység eredményeit.
- A kutatásban részt vettek hazai (TDK, diplomaterv) és külföldi (nyári cseregyakorlat) diákok.
- A kutatás egyes gyakorlati részei közvetlen felhasználást nyertek a MAL Rt.-nél, a Tüzeléstechnikai Kutatóintézetben és partnereiknél, és a Dunafer Rt.-ben. A kutatás egyik eleme (üzemcsarnok szellőzés modellezése) részben részét képezte egy, a MEAKKK (Mechatronikai és Anyagtudományi Kooperációs Kutatási Központ) által menedzselt projektnek is.
- A kutatás a fentiek szerint döntően a szerződésben megfogalmazottak szerint folyt, a megadott (csökkentett) pénzügyi kereteken belül.
- A beszerzések megfeleltek a szerződésben megfogalmazottaknak.
- A kutatás eredeti három oktatói résztvevője közül ketten (Dr. Janiga Gábor, Dr. Könözy László), doktorandusz résztvevői közül pedig egy (Benke Mátyás) időközben külföldre távozott. Őket az időközben belépett doktoranduszok (Bolló Betti, Liptai Zoltán) pótolták. Közülük is egy (Liptai Zoltán) a kutatási ciklus vége előtt szintén kilépett az Egyetem kötelékéből. Dr. Janiga Gábor új, magdeburgi munkahelyéről a kutatás résztvevője maradt, köszönhetően a közben elnyert DAAD-MÖB kutatócsere pályázatnak. Az eltávozottak nagy részben éppen e projekt kidolgozása során szerzett ismereteik alapján pályáztak meg és nyertek el külföldi és hazai kutatói állásokat. Lukács Tamás doktorandusznak menet közben letelt a képzési ideje, őt Szabó Ádám követte, aki a futamidőn belül szintén kilépett. Bátori Györgyné a Tanszék új dolgozóként az ügyviteli munkába segített be. Szabó Benő nyugdíjba ment.

Miskolc-Egyetemváros, 2007. augusztus 18.

Szabó Szilárd