

MISKOLCI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



**FÉMSZERKEZETEK OPTIMÁLIS TERVEZÉSE ÁRAMLÁSTANI
ÉS SZILÁRDSÁGTANI SZEMPONTOK ALAPJÁN**

PH.D. ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

DÚL RÓBERT

okleveles gépészmérnök-közgazdász

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
GÉPÉSZETI ALAPTUDOMÁNYOK TÉMATERÜLET
GÉPEK ÉS SZERKEZETEK TERVEZÉSE TÉMACSOPORT

Doktori Iskola vezető:

Dr. Tisza Miklós

a műszaki tudományok doktora, egyetemi tanár

Témavezető:

Dr. Jármái Károly

a műszaki tudományok doktora, egyetemi tanár

Társ-témavezető:

Dr. Palotás Árpád Bence

egyetemi tanár

MISKOLC, 2012

Bíráló bizottság tagjai:

Elnök:	Dr. Szabó Szilárd, CSc, egyetemi tanár	
Titkár:	Dr. Kovács György, PhD, egyetemi docens	
Tagok:	Dr. Orbán Ferenc, PhD, főiskolai tanár	Pécsi Egyetem
	Dr. Szabó Tamás, PhD, egyetemi docens	
	Dr. Kapros Tibor, CSc, ny. egyetemi docens	TÜKI Zrt.
Hivatalos bírálók:		
	Dr. Tímár Imre, CSc, egyetemi tanár	Pannon Egyetem
	Dr. Kalmár László, CSc, egyetemi docens	

1. BEVEZETÉS

Az értekezésemben feldolgozott feladatok megoldásának alapvető eszköze a számítógéppel segített optimalítás.

Az optimális megoldás kidolgozása során azt keressük, hogy a függvény formájában megfogalmazott célt – fémszerkezetek esetében leggyakrabban tömeg vagy költség minimum, de lehet ez akár a képlékeny alakváltozás során elnyelt mozgási energia maximuma is – a méretezési feltételek ismeretében a tervezési változók mely értékei adják. Méretezési feltételek lehetnek méretkorlátozások, szilárdságtani feltételek, a szerkezet tönkremenetelét leíró függvények, a tervezési változók pedig a szerkezet kialakítását meghatározó paraméterek, mint hossz, a vizsgált tartó keresztmetszeti méretei.

Az alábbiakban vázolt két – tárgyában meglehetősen különböző – feladat szakmai pályafutásom két jól elhatárolható korszakát is jelenti, a feladatok megoldása között több év telt el.

Ami azonban szorosán összekapcsolja őket és lehetővé teszi a disszertáción belüli közös kifejtésüket, az a megoldásukhoz használt módszer: a számítógéppel segített optimalítás.

Az értekezés első részében ismertetett optimalítási feladat jelenlegi hivatásomhoz és ahhoz a mérnöki területhez kötődik, amelyet hosszú ideje a legizgalmasabbnak tartok: az áramlás- és hőtani szimulációkhoz. A felvázolt problémával a disszertáció készítését közvetlenül megelőző években foglalkoztam, ezért a terjedelme is nagyobb, a felhasznált eszközök is korszerűbbek.

E feladatot egy iparban felmerült probléma generálta: egy 8kW hőteljesítményű acél kandalló hatásfokát kellett növelni. A megoldáshoz egy, a kandallóhoz illeszthető füstgáz-levegő hőcserélőt terveztem, illetve optimaltam. Az elméleti eredmények validálása céljából két különböző geometriájú hőcserélő prototípusát is elkészítettük és ezeken kontrollmérésekkel igazoltuk a hatásfok javulását.

Az értekezésben ismertetett másik optimalítási probléma első munkahelyemhez, a székesfehérvári ALCOA-Köfém Kft. Járműfelépítmény Gyáregységéhez kapcsolódik, ahol 1997 és 2002 között termékfejlesztő mérnökként foglalkoztam az italszállító felépítmények fejlesztésével, a teherautó alvázak átalakításával.

A felépítmények tervezési folyamata során több, párhuzamos célnak is meg kellett felelni: a megbízhatóan működő termék terveinek előállítására, mint fő feladat mellett olyan konstrukciót kellett létrehozni, mely hatékonyan, költségtakarékosan gyártható és a vevő igényeit a lehető legjobban kielégíti.

A két – látszólag egymástól független – feladatban nemcsak az közös, hogy konkrét ipari problémára kerestünk választ, tárgyuk fémszerkezet, hanem az is, hogy a megoldáshoz használt alapvető eszköz a számítógéppel segített optimalítás volt. E két probléma megoldásának együttes bemutatásával a disszertáció – reményeim szerint – bizonyítja, hogy komplex gyártmánytervezési, illetve fejlesztési feladatokhoz a korszerű informatikai eszköztár hatékony segítséget nyújt, valódi optimum gyorsan és költséghatékony módon csak e módszerek és eszközök alkalmazásával található meg.

2. AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI

2.1. KANDALLÓ HŐCSERÉLŐ FEJLESZTÉSE

Egy, a bevezetésben említett 8 kW teljesítményű, hasábfűtélésű kandallókályha keresztmetszete látható az 1. ábrán. Az ábrán megfigyelhető a tüztér kialakítása és a levegő tüztérbe történő bevezetésének módja. Egy modern, jól megtervezett kandallókályha esetén az égés hatásfokának növelése és esztétikai szempontok figyelembe vétele alapján a tüztérbe legalább három helyen vezetnek levegőt.

A hasábfűtéléséhez tervezett tüztér mindig meglehetősen magas kialakítású annak érdekében, hogy a fahasábközből felszabaduló fagáz és a levegő megfelelő keveredéséhez, a hosszú láng kialakulásához elegendően nagy tér álljon rendelkezésre.

Az 1. ábrán látható, a kísérleteinkben is szereplő 8 kW hőteljesítményű kandallókályha külső levegőcsatlakozóval van ellátva, amely lehetővé teszi, hogy az égéshez ne a fűtendő helyiség levegőjét használjuk. A levegő csatlakozó az ábra 1. jelű pontjában található. Innen egy megfelelően méretezett keresztmetszetekkel rendelkező elosztó vezeték szállítja tovább az égéshez szükséges levegőt.

A 2. jelű pont a primer levegő tüztérbe áramlásának helyét jelöli. A primer levegő a rostélyon és a parázsrétegen át jut a tüzelőanyag közelébe.

A 3. jelű pont a szekunder levegő tüztérbe történő beáramlásának pozícióját jelöli.

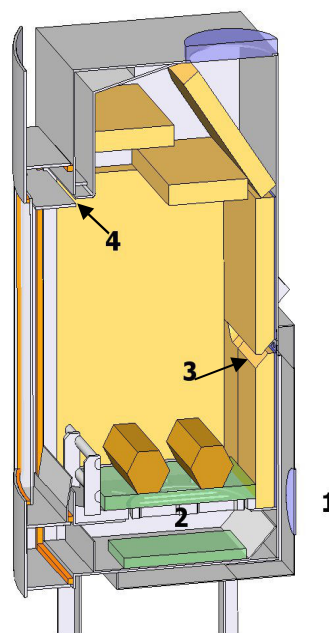
A hátfalon kialakított furatokon keresztül a tüztérbe történő szekunder levegő bevezetés célja az, hogy a felszálló forró, de a primer levegővel az égéshez nem elegendően elkeveredett fagázhoz keveredve segítse a minél tökéletesebb égés kialakulását.

Végül, az ábrán a 4-el jelölt pozícióban az úgynevezett ablakmosó levegőt juttatják a tüztérbe, amelynek elsődleges feladata – a nevéből is következően – a tüztér ablakának tisztán tartása, a ráakódó szilárd szennyezők eltávolítása. Természetesen e levegő is keveredik a fagázzal, de elégetéséhez alig, vagy egyáltalán nem járul hozzá mennyisége, bevezetésének módja valamint áramlásának jellege miatt.

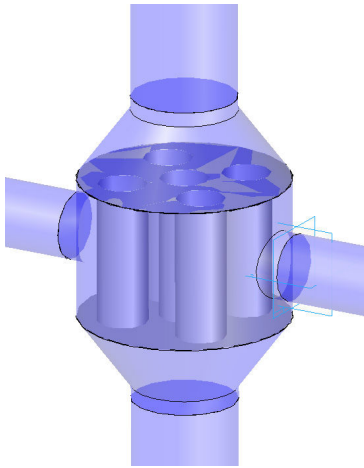
E fejlesztési feladat elsődleges célja a kandalló hatásfokának növelése egy olyan füstgáz hőcserélő létrehozásával, amely a kandallóból már kilépett füstgáz – egyébként veszendőbe menő – hőtartalmát használja az égési levegő előmelegítésére. Így a távozó füstgáz hőmérsékletének csökkentésével növelhető a kandalló hatásfoka.

A kandallóhoz csatlakozó füstgáz hőcserélők kialakításának alaptípusai a következők voltak:

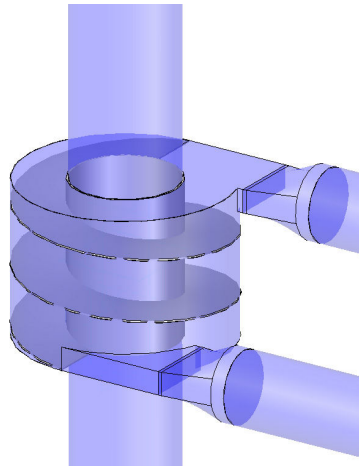
1. Keresztáramú csöves hőcserélő betéttel szerelt konstrukció (2.a. ábra),
2. Spirállemezes hőcserélő betéttel szerelt konstrukció (2.b. ábra),
3. Spirálcöves hőcserélő betéttel szerelt konstrukció (2.c. ábra).



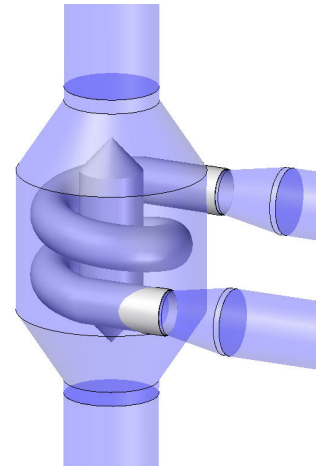
1. ábra Kandallókályha tüztérének metszete a levegő bevezetési pontokkal



2.a ábra Keresztáramú csöves konstrukció



2.b ábra Spirállemezkes konstrukció



2.c ábra Spirálcsőves konstrukció

A spirálcsőves hőcserélő kivételével minden altípuson belül elkészítettem több geometria változatot is, ahol az adott konstrukció egy-két jellemző paraméterét változtatva azt vizsgáltam, hogy a hőcserélő betét teljesítménye és áramlással szembeni ellenállása hogyan változik a geometria módosításával.

Mind a spirállemezkes, mind a spirálcsőves hőcserélő felhasználható egyen- és ellenáramú kialakításban.

A disszertáció keretein belül elvégzett munka során a kandallóhoz illesztett hőcserélő alakját, méreteit az áramlás- és hőtani szimulációhoz kapcsolt szoftveres optimalás segítségével határoztam meg.

2.2. JÁRMŰFELEPÍTMÉNY PADLÓ FEJLESZTÉSE

Az italszállító felépítmény szerkezetének 95%-a préselt alumínium profil, e felépítmény padlója a disszertációban ismertetett másik feladat tárgya. E típus fantázianeve Butterfly, azaz „pillangós”, amelyet az oldalajtók nyitási megoldása ihletett. Egy ilyen felépítmény látható egyik oldalán zárt, másik oldalán nyitott ajtókkal a 3. ábrán. Nyitáskor a két ajtófél egyszerre mozog, az alsó ajtóhoz rögzített drótkötél hozza működésbe a felső ajtófelet.

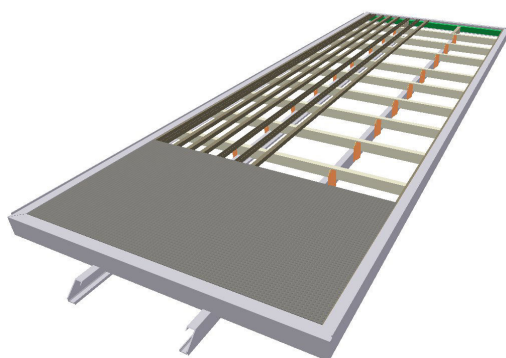
A pillangós típusú felépítmény szerkezete leginkább egy három oldalán merev falú alumínium doboznak tekinthető. A padlóhoz hegesztett alumínium homlokfal és a két hátsó alumínium oszlop tartja a tetőt, azonban az oldalajtók és az emelőhátfal zárt állapotukban nem növelik a szerkezet merevségét, az oszlopokhoz kapcsolódó egyszerű zárszerkezetük azt a célt szolgálja, hogy az ajtók haladás közben ne nyílhassanak ki.

Ebben a felépítményben tehát a legfontosabb teherviselő elem a padló, amelynek számítógépes modelljéről készült kép a 4. ábrán látható.

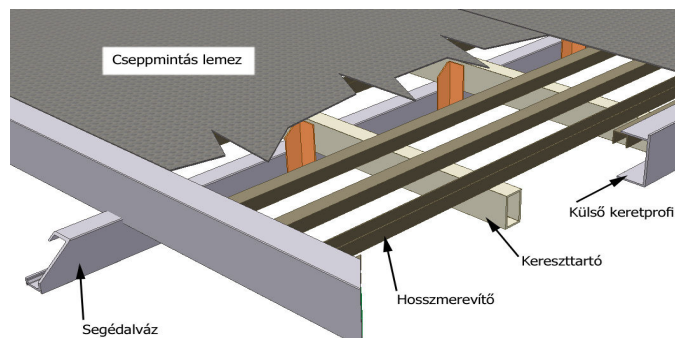


3. ábra Pillangós típusú felépítmény zárt és nyitott ajtókkal

A teherautó acél alvázához rögzített C-szelvényű hossztartó (segédalváz) felső övére helyezik az eredetileg négyszögletes zárt-szelvény keresztartókat, majd azok felső övére fektetik hosszában a 34 mm magas hosszmevitőket és végül az egész rétegelt szerkezetet alumínium cseppminta lemezzel burkolják és a lemezeket egymással, illetve a külső keretprofilal összehegesztik. E rétegeket mutatja be részletesen a 5. ábra.



4. ábra Pillangós felépítmény padló szerkezete



5. ábra A hegesztett padló szerkezet felépítése, rétegei

A hegesztett alumínium padló alváz vizsgálata során mindezeket az igényeket szem előtt tartva olyan új felépítmény padló konstrukció tervezését tűztem ki célul, mely könnyebb és olcsóbb, mint a tervezés idején meglévő szerkezetek.

Cél volt, hogy a padló szerkezet tömegét és költségét úgy csökkentjük, hogy számítógépes optimalizációs módszereket alkalmazva megváltoztatjuk a keresztartók szelvényét, darabszámát és a cseppminta lemez vastagságát.

3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

3.1. KANDALLÓ HŐCSERÉLŐ FEJLESZTÉS: OPTIMÁLÁS ÁRAMLÁS- ÉS HŐTANI SZEMPONTOK ALAPJÁN

3.1.1 Égéselméleti és a vonatkozó EN 13240:2005 szabványban előírt képleteket felhasználó számítások eredményei alapján felépítettem a kandalló hőcserélő numerikus áramlástani szimulációjához szükséges peremfeltétel rendszert: kiszámítottam az 1.9 kg szabványos minőségű bükkfa eltüzeléséből keletkező füstgáz és az égetéshez szükséges levegő mennyiségét. A számítások eredményeit összevettem a kísérletekhez felhasznált 8 kW hőteljesítményű kandalló gyártója által mérésekkel meghatározott füstgáz paraméterekkel.

3.1.2 Elvégeztem három hőcserélő alaptípus (keresztáramú csöves, spirállemezes és spirálcsöves), illetve ezek több, méretben és kialakításban különböző változatainak optimálást előkészítő áramlástani szimulációját annak érdekében, hogy meghatározzam az optimálásnak legjobban megfelelő, azaz geometriai paramétereiben rugalmasan változtatható hőcserélő alapkonstrukciót. Az eredményeket értékelve kimutattam, hogy az optimálásnak legjobban a keresztáramú csöves hőcserélő alaptípus felel meg, így a munkát e konstrukció fejlesztésével folytattam.

3.1.3 Az optimálási feladat előírásának keretén belül megfogalmaztam a hőcserélő vizsgálatához, teljesítményének értékeléséhez használt eredmény paraméter rendszert, amely a következő elemeket tartalmazta:

- Hőcserélőből kilépő füstgáz hőmérséklete (T_{fsg}),
- Hőcserélőből kilépő levegő hőmérséklete (T_{lev}),
- Füstgázoldali nyomásesés (Δp_{fsg}),
- Levegőoldali nyomásesés (Δp_{lev}),
- A hőcserélő tömege (K_{kts}).

3.1.4 A vizsgálandó paraméterekhez súlyfaktorokat rendeltem, amelyek az optimálás célfüggvényében e paramétereknek az optimálás szempontjából vett fontosságát fejezték ki. Az optimáláshoz a feladat jellege miatt a Nelder-Mead Downhill-Simplex algoritmust választottam.

Tekintettel az algoritmus működésére, az optimálás során felhasznált célfüggvényt a következő alakban fogalmaztam meg:

$$F(D, H, d, N, \Gamma) = a \frac{K_{kts}}{T_{lev}} + b \frac{\Delta p_{lev}}{T_{lev}} + c \frac{T_{fsg}}{T_{lev}} + d \frac{\Delta p_{fsg}}{T_{lev}} \quad (1)$$

A célfüggvényben az a , b , c , d paraméterek jelentik a fontosságot jelölő súlyokat. Az optimálás során e célfüggvény minimumát kerestem.

3.1.5 Az első optimálási ciklusban összesen 13 optimálási lépést hajtottam végre, elemeztem az optimáló alapprogram és a numerikus áramlástani szimuláció együttműködésének módját, elemeztem és értékeltem a ciklus végén az optimumnak elfogadott hőcserélő kialakítást.

3.1.6 A második optimálási ciklus végrehajtásával ellenőriztem, hogy az optimáló algoritmus globális optimumnak megfelelő megoldást adott-e az első ciklusban. E lépés sorozatban 7 iterációt, azaz ennyi geometria verziót vizsgáltam áramlás- és hőtani szimuláció segítségével.

3.1.7 A két optimálási ciklus eredményét összehasonlítottam, értékeltem áramlás- és hőtani szempontok alapján.

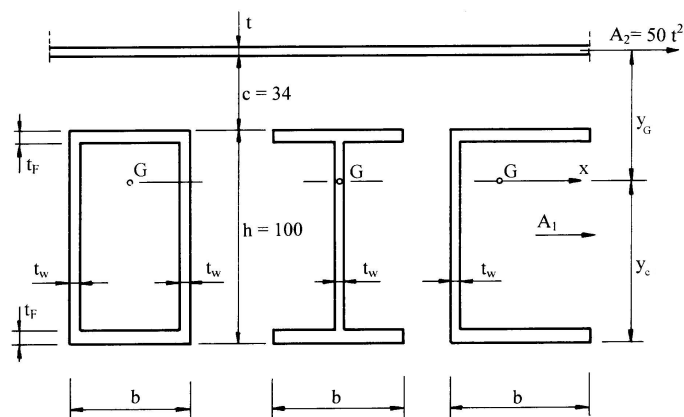
3.1.8 Kiszámítottam a hőcserélő nélküli és hőcserélővel felszerelt kandalló hatásfokát, amelynek során áramlás- és hőtani szimulációkat felhasználva modelleztem egy teljes égetési ciklus során a füstgáz hőmérséklet változását és az ennek következtében kialakuló égési levegő hőmérséklet változást.

3.1.9 A két optimálási ciklus végeredményeinek validálása céljából elkészítettük két hőcserélő prototípusát. A modellezés során kimutatott hatásfok növekedést a prototípusokon végzett mérések igazolták.

3.2 JÁRMŰFELEPÍTMÉNY PADLÓ FEJLESZTÉSE: OPTIMÁLÁS SZILÁRDSÁGTANI SZEMPONTOK ALAPJÁN

3.2.1 Meghatároztam a padló két vizsgálni kívánt terhelési esetét: az első a felépítmény hasznos terhelését és a szerkezet saját tömegét tartalmazta, míg a második esetben ezeken túlmenően figyelembe vettem a padló elcsavarodásából származó terhelést is, amelyet az egyik hátsó kerék útpadkára állása okozott.

3.2.2 A 6. ábrán látható zárt-, I és C-szelvényű keresztartókra vonatkozóan meghatároztam az optimálás során felhasznált célfüggvényt, amely minden szelvényre a keresztmetszeti terület minimuma.



6.ábra Az optimálás során vizsgált keresztartó típusok

3.2.3 Az optimáláshoz használt Rosenbrock-féle Hillclimb algoritmus segítségével kiszámítottam a két terhelési esetre vonatkozó, minimális tömeget biztosító keresztartó keresztmetszeti méreteit és darabszámát.

3.2.4 Az eredmények értékelése során összehasonlítottam az adott, optimálás során kiszámolt méretű szelvény gyártási költségeinek alakulását az eredeti keresztartó költségeivel.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

4.1 KANDALLÓ HŐCSERÉLŐ FEJLESZTÉSE

T1. Kidolgoztam a 8 kW hőteljesítményű kandallóhoz illeszthető füstgáz hőcserélő optimalizálásához szükséges célfüggvényt, ami a füstgáz hőmérséklet csökkentés, a füstgáz- és levegőoldali nyomásesés csökkentés, valamint a hőcserélő tömegére vonatkozó paraméterek prioritásán alapul. A Nelder-Mead Downhill Simplex optimalizációs algoritmus és numerikus áramlástani szimuláció felhasználásával olyan keresztáramú csöves hőcserélő konstrukciót terveztem, ami a szimulációs számítási eredmények ismeretében a 8kW-os fatüzelésű kandalló hatásfokát $6\pm 0,3\%$ -kal növeli.

T2. Megállapítottam, hogy a 8,4 g/s tömegáramú, 300 °C belépő hőmérsékletű füstgáz és a 7,6 g/s tömegáramú, 0 °C belépő hőmérsékletű levegő esetén, továbbá kötött 300 mm-es belső dobátmérő és 500 mm-ben maximált csőhossz mellett az optimális keresztáramú csöves hőcserélő csöveinek hossza 488 és 492 mm között található és 24-25 db 25, illetve 31 mm átmérőjű csövet tartalmaz.

T3. Megépített kísérleti hőcserélőkkel végzett mérésekkel bizonyítottam, hogy azonos célfüggvény értékű csöves hőcserélők különböző csőszám és csőátmérő esetén is a füstgáz kilépő hőmérséklet célfüggvényben szereplő dominanciája következtében, közel azonos $5\pm 1\%$ -os hatásfok növekedést eredményeznek.

4.2 JÁRMŰFELEPÍTMÉNY PADLÓ FEJLESZTÉSE

T4. A Rosenbrock-féle Hillclimb algoritmusra épülő optimalizációs módszer felhasználásával meghatároztam egy 10 db 800 kg tömegű paletta szállítására alkalmas hegesztett alumínium járműfelépítmény padló tömegre vonatkozó optimumát. A hasznos tömegből, a felépítmény szerkezeti elemeinek tömegéből és a padló elcsavarodásából adódó terhelés mellett a kerestartók és a padlólemez együttesen 311 kg-os eredeti tömegét 170 kg-ra lehetett csökkenteni.

5. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Az eredmények közvetlenül hasznosíthatók a disszertációban megoldott mindkét fejlesztési feladat esetén.

A kandallóhoz kapcsolható hőcserélő segítségével egy, a korszerű kandallók között is jónak mondható, 80%-os eredeti hatásfok értéket tudtam további $5\pm 1\%$ -kal növelni. A kandalló gyártók katalógus adataira, valamint a kandalló gyártókkal folytatott közvetlen megbeszélésekre alapozva kijelenthető, hogy a hőcserélővel elérhető 85%-os hatásfokkal a hasábfűtélés gazdaságosságát az azonos teljesítmény kategóriába tartozó legjobb kandallók hatásfoka fölé emeltük.

A hőcserélővel felszerelt fatüzelésű kandalló hatásfoka ezáltal eléri, vagy megközelíti a hagyományos zárt égésterű, de nem kondenzációs gáztüzelésű fűtőberendezések hatásfokát is.

A járműfelépítmény optimalálás során egy konkrét gyártó egy bizonyos terhelhetőségű felépítményének padló szerkezetét vizsgáltam, ezért az eredmények is e gyártó számára jelentenek közvetlenül hasznosítható eredményeket. Az optimalálás során felhasznált optimáló algoritmus finomhangolásával, illetve más padló típusra igazításával azonban a módszer további konstrukciók optimalálására is alkalmas.

A kutatás továbbfejlesztésének lehetséges irányai:

- A keresztáramú csöves hőcserélő tekintetében további fejlesztés, optimalálási irány lehet a levegő oldali terelőlemez beépítés hatásának vizsgálata. Meghatározható lenne a lemezek függőleges pozíciójának, méretének és darabszámának hatása a levegő áramlására, a levegő oldali nyomásesésre és végső soron a hatásfokra. Meglátásom szerint a terelő lemezek beépítésével további néhány százalékos hatásfok növekedés lenne elérhető úgy, hogy a lemezek nem drágítanak jelentős mértékben magát a hőcserélő konstrukciót.
- Szintén a hőcserélő fejlesztés témakörében lehet érdekes az előmelegített égési levegő hatásfok növekedésre gyakorolt hatásának számszerűsítése, illetve annak vizsgálata, hogy az előmelegített levegő esetén csökkenthető lenne-e a jelenleg a kísérleteinkben szereplő 8 kW-os kandallóra jellemző 2,7-es légfelesleg tényező érték. A légfelesleg csökkentése további hatásfok növekedést eredményezne.
- A hőcserélő optimalálás további irányaként lehetségesnek tartom a nagyobb teljesítményű és méretű, hasábfűtélés és pelletet egyaránt felhasználni képes zárt tűzterekhez történő optimális konstrukció megtervezését.
- A felépítmény padló tekintetében fejlesztési irányként felmerülhet további terhelési esetek vizsgálata, mint például a felépítménybe rakodáskor a tele palettával esetleg behajtó hidraulikus emelő (ún. béka) kerekei által kis felületre átadott terhelés figyelembe vétele.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK

- [1] Dúl R., Palotás Á. B., Jármái K., Barkóczy P.: *Primer és szekunder égési levegőt előmelegítő hőcserélő fejlesztése kandallóhoz*
GÉP 63. (2) pp. 19-22. (2012)
- [2] Dúl R., Palotás Á. B., Jármái K., Barkóczy P.: *Kandalló hatásfokának javítása füstgáz - levegő hőcserélő alkalmazásával*
K+F eredmények összefoglalása: GDP-1 .1 .2-0B/1-200B-0002. Miskolc, Magyarország, 2012. 03. 09 Miskolc: UNI-FLEXYS, pp. 302-309.(ISBN:978-963-89509-0-1)
- [3] Jármái K., Farkas J., Virág Z., Dúl R.: *Hegesztett szerkezetek optimális méretezése*
26. Hegesztési Konferencia, Óbudai Egyetem, 2012. május 10-12. Konferencia kiadvány 81-90. old. ISBN 978-615-5018-28-2
- [4] R. Dúl, K. Jármái, Á. B. Palotás: *Heat Exchanger Development for Domestic Fireplaces via CFD Simulation*
microCAD 2011, A szekció: XXV. International Scientific Conference. Miskolc, Magyarország, 2011.03.31-04. 01. Miskolc: ME, pp. 1-6. Környezet- és energiagazdálkodás
- [5] Jármái K., Farkas J., Kovács Gy., Virág Z., Daróczy L., Barcsák Cs., Dúl R., Kota L., Oláh R.: *Szerkezetek és rendszerek optimalása*
A Magyar Tudomány Napja Erdélyben, AMTNE-MTÜ 2011.. Kolozsvár, Románia, 2011.11.26 - 27. Kolozsvár: pp. 16-18.
- [6] R. Dúl, Á. B. Palotás, K. Jármái: *Heat Exchanger Optimization for Domestic Fireplaces Via Computational Fluid Dynamics Simulations*
International Conference on Innovative Technologies.. Bratislava, Szlovákia, 2011.09.01- 02. Bratislava: pp. 1-6.
- [7] R. Dúl, K. Jármái, Á. B. Palotás: *CFD Simulation of a Fireplace*
microCAD 2010 F szekció: XXIV. International Scientific Conference. Miskolc, Magyarország, 2010.03.18-19. Miskolc: pp. 13-18.
Áramlás- és hőtechnika (ISBN:978 963 661 910 7)
- [8] K. Jármái, R. Dúl, J. Farkas: *Weight reduction possibilities of welded aluminium truck body floors*
microCAD 2004: International Scientific Conference. Miskolc, Magyarország, 2004. 03. 18-19. Miskolc: ME, pp. 17-23. I szekció., Gép- és szerkezettervezés (ISBN:963 661 617 5)
- [9] Dúl R., Farkas J., Jármái K.: *Hegesztett alumínium járműfelépítmény alváz optimalása költségminimumra*
Doktoranduszok fóruma 2003: Gépészmérnöki Kar Szekciókiadványa. Miskolc, Magyarország, 2003. 11. 06.
Miskolc: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, pp. 48-53.
- [10] J. Farkas, K. Jármái, R. Dúl: *Minimum cost design of a truck floor welded from aluminium-alloy profiles*
WELDING IN THE WORLD 45:(9-10) pp. 19-22. (2001)
- [11] J. Farkas, K. Jármái, R. Dúl: *Minimum cost design of a truck floor welded from aluminium-alloy profiles*
54th Annual Assembly of International Institute of Welding. Ljubljana, Szlovénia, 2001.07.07 - 13. pp. 1-10.

7. SUMMARY

In my dissertation I dealt with two development tasks that stand – at first impression – far away from each other. However the method I used to complete those developments, namely computer aided optimization closely binds them and makes it possible to present them in this scientific work.

The development project in the first part of the dissertation is closer to the current time and also its volume is significantly larger than the second one simply because it is connected to my current profession: Computational Fluid Dynamics (or shortly CFD) simulations.

Within the field of CFD I put the aim of developing an air-preheater that can be attached to an 8 kW domestic fireplace that uses air drawn into the fireplace from outside of the heated room.

With the optimized structure of the preheater the efficiency of the fireplace can be increased by using the heat content of the flue-gas – that already has left the fireplace – to increase the temperature of air for burning and thus reduce the temperature of flue gas.

In order to solve this problem first I examined what type of heat exchanger can be used for such an application. Out of three basic constructions I found that the tubular cross-flow type one behaves well in terms of performance indicators while changing geometric parameters of the structure.

After choosing basic preheater type, I created six geometry versions and made computational fluid dynamics simulation for each. These were necessary for formulating the startup database of optimization. Database of results contained flue gas and air temperatures after preheater and pressure losses on both flue gas and air side of the heat exchanger.

The most important aspects of choosing the suitable optimization algorithm were that it should require the least possible starting points and iteration steps to find optimum solution since every single starting point and step mean a new CFD simulation run till convergence that sometimes meant many hours of preparation work plus CPU time. Among examined algorithms Nelder-Mead Downhill Simplex method was chosen because it aggressively looks for the optimum solution and it usually does not take so many iterations to find the optimum.

In the first optimization cycle the algorithm produced a solution in step Nr. 13 that could be accepted as optimum. This version called Opt.13 was able to reduce flue gas temperature from 300 °C to nearly 200°C.

Since it was known from references that Nelder-Mead Downhill Simplex method has a tendency to find and stick to local optimum, a second optimization cycle was run, using the optimum of the first cycle among the elements of starting database. In this second cycle a solution was reached in the 7th iteration (Opt.2.7 version) that produced nearly the same aim function value as we received in the first cycle although its geometry was slightly different (number of tubes was 24 instead of 25 and tube inner diameter was 30 mm instead of 25.4).

As next move both optimum geometry versions were built in the workshop of the Department of Combustion Technology and Thermal Energy. Both of the prototypes were attached to an 8 kW fireplace and complete firing cycles were carried out, flue gas and air temperatures and also pressure losses were measured.

Measurements proved that same aim function values lead to same results in terms of flue gas and air temperatures. Of course minor differences in measured values were experienced because of slight differences in measuring circumstances: ambient temperature variations, quality differences of firing wood that can not be seen from the outside, etc.

Efficiency increase that I calculated from CFD simulations was 6,35% (this should be added to the ~80% efficiency of the fireplace), measurements showed 4,93% and 5,85% for Opt.13 and Opt.2.7, respectively. This means 96,6% accuracy in case of efficiency increase

for simulated results compared to measurements.

From the above one can see that the optimization method developed and used in this dissertation is suitable for creating air-preheaters that could significantly increase the efficiency of wood firing domestic heating devices.

The optimization task that has been worked out in the second part of my dissertation is connected to my first workplace: ALCOA-Köfém Ltd. Truck Bodies Division, where I worked as a product developer and designed welded aluminum beverage truck bodies.

The aim in this case was to reduce the weight of the floor of truck body by optimizing the cross section and the number of cross members. The aim function was the cross-sectional area of cross members and the thread-plate covering the structure. Cross members were originally made of aluminum rectangular hollow sections, during optimization I and C sections were also examined. Rosenbrock's Hillclimb algorithm was used to calculate optimization iterations.

Thank to the optimization the original mass of the cross members and threadplate assembly was reduced by 141 kg that meant a 10% reduction of the overall mass of the truck body. The optimized version contained 10 pcs of C-sectioned cross members, and using those not only the mass of the structure was changed but also the extrusion die production cost could be reduced by 30% compared to the original rectangular hollow sections.

8. NEW SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS

8.1 DEVELOPMENT OF AIR PREHEATER FOR DOMESTIC FIREPLACE

T1. I worked out the target function for the optimization of an air preheater that can be attached to a domestic fireplace having 8 kW heat performance. This aim function is based on the priority of temperature reduction of flue gas, minimum pressure loss on both flue gas and air sides of the preheater and also includes mass of the preheater. Using Nelder-Mead Downhill Simplex algorithm and computational fluid dynamics simulations I developed a cross-flow tubular heat exchanger that – according to simulation results – is capable of increasing the efficiency of the fireplace by $6\pm 0,3\%$.

T2. In case of the flue gas having 8,4 g/s mass flow and 300 °C inlet temperature and air having 7,6 g/s mass flow and 0 °C inlet temperature, and with fixed inside diameter of air drum of preheater with tube length limited to maximum 500 mm the tube length of the optimized preheater is between 488 and 492 mm and contains 24-25 pieces of Ø25, and Ø31 mm tubes, respectively.

T3. Measurements that were carried out with prototypes proved that preheaters having the same aim function value but different tube number and tube inner diameter results in approximately the same, $5\pm 1\%$ increase in efficiency because of dominant priority of flue gas temperature reduction in the aim function.

8.2 DEVELOPMENT OF WELDED TRUCK BODY FLOOR

T4. Using the optimization method based on Rosenbrock's Hillclimb algorithm I determined the mass-optimum of a welded aluminum truck body floor that is capable of carrying 10 pieces of 800 kg Euro pallets. Counting the load originated from payload, mass of structural parts of the whole truck body and twisting the body structure by standing on the curb the overall mass of the floor could be reduced from 311 kg to 170kg.